

### 特集

#### 15 放射線安全の考え方と関連する基準の国際動向

放射線の安全に関する考え方は、ICRPを中心に体系化されている。その全体像は、どのようなものなのだろうか。また、含まれる放射性物質がごくわずかなものや、自然界の放射性物質に対する考え方は、どのようになっているのだろうか。

小佐古敏荘, 山本英明, 大越 実, 米原英典

### 解説

#### 28 ドイツ、フランスにおける原子力廃棄物最終処分地の選定状況

最終処分地の選定は、欧州各国では、すでに候補地の明確な地名が公表され、実施主体と地元住民との間で受け入れに向けた具体的な条件の話し合いが始まっている。ドイツとフランスの今を解説する。

松田美夜子

#### 32 食品の安全と消費者の安心感 —両者を結ぶのは信頼

刺身や生卵、生野菜を食べられる日本の食品の安全は、さきわめて高い。にもかかわらず、アンケート調査の結果では、消費者は食品に対する不安を訴えている。何が、このギャップをもたらしているのか。

唐木英明

### 巻頭言

#### 1 「今、原子力に期待すること」

弘兼憲史

### 時論

#### 2 地球温暖化と原子力産業の将来を考える

地球温暖化対策の省エネルギーと少子高齢化によってエネルギー需要は、それほど伸びない。このため原子力産業には、海外での原子炉建設や国内の需要を創出していくことが求められる。そこでの鍵となるのが、人材だ。

内山洋司

### 連載講座 軽水炉プラント —その半世紀の進化のあゆみ(7)

#### 37 日本の軽水炉開発(1) —軽水炉の導入(PWR)

1970年に大阪で開かれた万国博覧会。その会場へ、国内初の商用PWRである美浜1号機からの電気が試送電された。海外からの技術導入に始まったPWRは、やがて国産の技術として定着していく。第一世代に至るまでの歴史を、メーカーとしてその開発に携わってきた三菱重工の視点から記述する。

山田一太, 鈴木成光



大阪万博の会場へ、原子力の電気が試送電されたことを知らせる掲示板(「関西電力五十年史」より)

### 表紙イラスト 伊方発電所 愛媛県伊方町

四国の最西端、佐田岬半島に位置する伊方町に昭和52年に産声を上げた「伊方発電所」。南の宇和海側はなだらかな白砂の連なる海岸、北の瀬戸内海側はリアス式海岸を形成しており、美しい自然の中に共存している。満開の桜と青い海に発電所の姿が凛々しく浮かび上がる。

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

## 43 再処理関連の歴史と現状

高速炉から出た使用済燃料を再処理し、回収したプルトニウムを含む超ウラン元素をリサイクルする—将来の高速炉確立を考えるならば、この高速炉燃料再処理技術は不可欠だ。その技術開発は、どのように進んできたのか。これからどうなるのか。

船坂英之, 永井俊尚, 鷲谷忠博

## 談話室

## 49 原子力発電技術機構の解散と今後の事業展開

NUPECは1976年に、原子力工学試験センターとして発足。原子力安全に関わる試験研究を推進してきた。今年3月に解散するNUPECのこれまでの32年間をふりかえる。

内藤正則

## 特別寄稿

## 51 ハイゼンベルグと原爆開発

ナチス体制下のドイツで原爆開発に関わったハイゼンベルグ。しかし彼は、原爆をどうしても開発しようという忠誠心は持っていなかったのではないだろうか。

藤家洋一

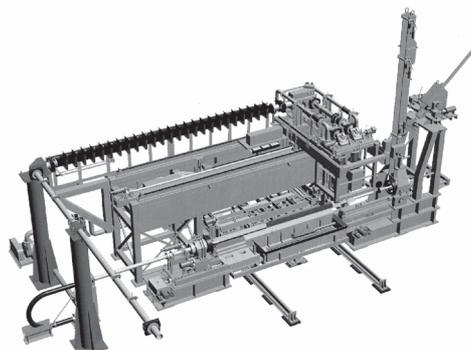
## 会議報告

## 53 トリウムが開く核エネルギーの新しい地平—中国から聞こえる足音(TU 2007)

亀井敬史, 吉岡律夫, 島津洋一郎, 本間悠斗

## 54 肌で感じたエネルギー教育の重要性！君は飲み会の席で原子力が語れるか？—「学生とシニアの対話 in 東京」より

羽倉尚人, 伊下信也, 成田 隼



燃料集合体を解体・せん断するために開発された炭酸ガスレーザー解体試験機(高速炉の変遷と現状 p.45)

## 4 NEWS

- 総合エネ調原子力部会長がメッセージ
- 原子力委がメルマガを創刊
- JAEA, 米仏とナトリウム冷却高速炉で協力
- 高崎量子応用研究所が放射線利用フォーラム
- 原産, 学生を対象に「原子力産業セミナー」
- 海外ニュース

## 13 Nuclear News を見て

米国の低レベル放射性廃棄物処分事情

鳥飼誠之

## リレーエッセイ

- 55 「備えあれば憂いなし」田中治邦／「海に行こう」松村文代

## 14 From Editors

57 英文論文誌(Vol.45, No.3, No.4) 目次  
和文論文誌(Vol.7, No.1) 目次

60 会報 原子力関係会議案内, 人事公募, 専門委報告, 新入会一覧, 主要会務, 編集後記  
後付 「第40回日本原子力学会賞」受賞概要

# WEB WEBアンケート

11・12月合併号のアンケート結果をお知らせします。(p.56)  
学会誌記事の評価をお願いします。<http://genshiryoku.com/enq/>

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

# 今、原子力に期待すること



## 弘兼 憲史(ひろかね・けんし)

昭和22年生まれ。松下電器産業で3年間、広告宣伝業務に従事した後、社会派漫画の第一人者として活躍。代表作は「課長 島耕作」(現在は「専務 島耕作」)、「黄昏流星群」など。

近年、第三次石油危機とも呼ぶべきエネルギー価格の急騰や資源ナショナリズムの台頭を背景に、エネルギー安全保障がクローズアップされています。また、地球温暖化への対応も喫緊の課題となっています。私自身もエネルギー問題に深く関心を抱いており、私の作品「島耕作シリーズ」の中で、題材としても取り上げることがあります。また、一昨年から東京電力さんのホームページで、世界や日本のエネルギー情勢や地球温暖化をテーマにして広くエネルギー問題全般をわかりやすく解説する「エネルギー問題を今考えるドラマ 東田研に聞け」を連載しています。こうした中、私がエネルギー問題に関して日頃から感じていることを何点か述べてさせていただきます。

わが国のエネルギー自給率は4%。今話題に上っている食糧自給率が40%ですが、そのわずか1/10にしか過ぎません。現在、世界の主要国はエネルギー政策の抜本的な見直しを行っています。中国はエネルギーの需要拡大に対応した供給量確保を重視し、米国は原子力推進への転換、EU諸国の一部は再生可能エネの拡大、省エネによる需要抑制に取り組もうとしています。またロシアは石油・天然ガスの輸出拠点化を目指し供給力拡大に注力といった具合です。いずれも、エネルギー事情の先を見据えた国家像を反映した施策に映ります。わが国も「原油価格が上がったから」という“対症療法”を超えた、より明確な国家レベルでのエネルギー戦略を打ち出し、実行に移すべき時ではないでしょうか。「エネルギー安全保障」の視点がますます重要性を帯びている、と感じます。

特にわが国の場合、エネルギー資源のほとんどを輸入に頼っている現状では、その供給を絶たれるようなことになれば、経済や社会生活そのものが立ち行かなくなるのは誰の目にも明らかです。エネルギー安全保障の観点からは、エネルギー源の多様化を図り、供給面でより安定的で信頼できる資源を確保することが求められます。その最も現実的な方策として、私は原子力発電の推進を挙げたいと思います。原子力発電の燃料であるウランは石油などと違い、産出の地域的偏りが少ない資源です。加えて、現在、準備が進められている原子燃料サイクル(既存の軽水炉を利用する「プルサーマル」等)が実現すれば、ウランの利用効率は格段にアップします。将来、高速増殖炉サイクルが実現すれば、利用効率は現在のなんと100倍程度にもなります。これは「半永久的な資源確保」が可能になることを意味します。エネルギー自給率の低いわが国にとって準国産エネルギーの確保は重要です。私も訪れたことのある六ヶ所村の「再処理工場」(現在最終試験中)やわが国初の高速増殖原型炉「もんじゅ」等でウラン燃料を再利用することで、エネルギーの長期安定確保を可能にする原子燃料サイクルに大きな可能性を感じます。

今年は「京都議定書」の目標達成期間のスタートの年でもあります。昨夏の記録的な猛暑や世界各地の異常気象をみるまでもなく、地球環境がどこかおかしくなっているのは確かです。こうした環境変化に大きく関与しているのが温室効果ガスによる地球温暖化だとされていますから、これらの排出削減に取り組むのは、社会的責務と言えます。私自身は京都議定書の目指す方向性を実現するためには、原子力のウェートを高めるしかないと考えています。原子力は発電時にCO<sub>2</sub>をまったく発生しないクリーンなエネルギーであります。もちろん安全性の確保は大前提ですが、地球温暖化防止の観点からも改めて評価してみるの必要性を感じます。

本年7月には洞爺湖サミットが開催されます。洞爺湖サミットではわが国が持つ原子力の高い技術や豊富な経験を活かして、国際的に地球環境保全に貢献できるよう、産・官・学それぞれの立場で大いにリーダーシップを発揮していただきたいと思います。その中核を担っていただく日本原子力学会の皆様のみまますのご発展とご活躍を心よりご祈念申し上げます(2008年 2月18日 記)



## 地球温暖化と原子力産業の将来を考える

筑波大学大学院システム情報工学研究科  
リスク工学専攻長 教授 内山 洋司

昨年はアル・ゴア米国前副大統領とIPCC(気候変動に関する政府間パネル)が地球温暖化についての積極的な活動が評価されてノーベル平和賞を受賞した。地球温暖化問題は、専門家の間では1990年頃から話題になり議論されていたことであるが、ここ数年の間に国際的な広がりを見せ、世界中の国々や人々に認識されるようになった。昨年12月にはインドネシア・バリで第13回締結国会議(COP 13)が開催され、2013年以降の削減目標を決める第二約束期間の国際的枠組みが議論された。さらに今年7月には洞爺湖サミットの開催が予定されており、地球温暖化問題は最重要課題とみなされている。

温暖化への対策技術として発電時に温室効果ガスを放出しない原子力発電の導入が期待されている。最近、温暖化問題に加えて原油価格高騰の影響もあって、中国、ロシアなどの発電所建設や、米国や欧州でも原子力発電の導入計画が進んでいる。過去10年以上にわたり欧米では原子力発電の建設がなく、原子力産業にとっては長い冬の時代が続いてきただけに、最近の建設計画は産業にとって明るいニュースであり、原子力カルネッサンスの到来とまでいわれ喜ばれている。

風力発電や太陽光発電、それにバイオマスエネルギーといった再生可能エネルギーも温暖化問題から開発に向けた取組みが進んでいる。再生可能エネルギーに対するマスコミや人々の評判はよく、原子力以上に世界各国で導入されている。再生可能エネルギーについては京都議定書の京都メカニズムでもクリーン開発メカニズム(CDM)と共同実施(JI)の案件として認証されており、それらが普及の後押しにもなっている。まだ計画段階にある原子力発電に比べれば再生可能エネルギーの導入規模のほうがはるかに大きい。

エネルギー特性を比較したとき、エネルギー密度が極めて大きい原子力のほうが再生可能エネルギーよりも変換技術として優れていることは間違いない。経済性についても、原子力発電の発電コストは再生可能エネルギーよりもかなり安価である。原子力は地球温暖化、エネルギー安全保障、それに経済性に優れており、社会にエネルギーを大量かつ安価に供給していく上で必要なエネルギー源である。それにも係らず、原子力の導入が再生可能エネルギーに比べて思うように進まないのはなぜか。

原子力には人々の不安感を完全に払拭できない特有の問題がある。それは、プラントの安全性、放射性廃棄物、そして核拡散への不安である。人々の間にはチェルノブイリ事故をきっかけにして広がった原子力発電の安全性

への不安がまだ消えていない。原子力利用で避けて通れない高レベル放射性廃棄物の最終処分も未解決である。さらにイランや北朝鮮などの核疑惑で、国際社会に核拡散への不安が発生している。これらは完全に解決できることではない。あらゆる技術に光と影があるように原子力技術にもある。光と影のどちらが大きくなるかは国の政策であり、人に依存している。今後、各国で原子力開発が進んでいったとしても、できるだけ影を拡大させない努力が必要になる。その努力は技術開発だけでなく、政治外交や人々との対話、そして小中高等学校と大学における教育も含まれる。そして何よりも大切なことは、原子力技術を支えていくこれからの若者が、こういった問題を自ら解決していこうとする使命感であり、社会が彼らを支援していくことである。

原子力には別の問題として、産業をどのように発展させていけるかという課題も残されている。原子力発電の発展が期待されているのは、エネルギー需要の伸びが著しい中国やインドなど新興国である。社会基盤施設が一通り整備されている先進国においては、今後、エネルギー需要はあまり伸びることはない。日本では少子高齢化と産業のサービス化の進展もあって、今後30年間のエネルギー需要の伸びは年平均で0.1%、電力需要についてみれば0.9%であり、長期的にみて伸びは鈍化していく見通しとなっている。

国内の原子力の市場規模は、今後どのくらい期待されるのだろうか。原子力発電は2006年末現在で55基4,958万kWの設備がある。計画によると14基、1,751万kWの設備がさらに建設される予定となっている。原子力発電の市場規模を決める一つに、負荷追従運転をしないベース運用の設備容量が考えられる。原子力発電の負荷追従運転はフランスなどでは実施されていることで、技術的には問題ないと考えられている。

しかし、負荷追従運転すればプラントに熱応力が働くことから補修点検の頻度も増えることになる。火力発電では、減価償却が済んだ老朽設備を負荷追従運転のミドル負荷対応プラントに使用しているが、同じことを原子力発電で実施していくことには課題がある。安全性だけでなく、汽力発電であるために発電効率の低下も大きく、また火力発電に比べて燃料費の割合が小さいことから経済的なデメリットも大きい。

現在の電気事業の電力負荷率は、年負荷率で60%程度である。この負荷率で将来も推移したとすると、原子力発電のシェアが設備容量で最大負荷の35%程度、電力量

で55%程度に達すると負荷追従運転のレベルになる。電気事業連合会によると、2015年の電気事業の電力需要は10,643億 kWhと予測されている。これからベース負荷運転の最大設備容量を計算すると設備利用率85%で約7,860万 kWとなる。すなわち、ミドル負荷対応になるまでには計画よりも多い20基程度の原子力発電プラントの建設がさらに必要となる。もちろんベース負荷運転には石炭火力もあるため、実際には現在計画されている設備が妥当な建設基数と考えられる。

地球温暖化問題はこれからの原子力産業の発展にプラスになるのだろうか。一般にはそう思われているが、必ずしもそうなるとは限らない。二酸化炭素の排出量を抑制していくためには省エネルギーが必要になる。政府の温暖化政策でも省エネルギーは重要な課題に位置づけられている。温暖化対策として代替エネルギー開発がうまく進まなければ、省エネルギーが加速されることにもなり、電力需要はほぼ横ばいか減少していくこともありうる。

需要がなければ大型電源を新たに建設していく必要はなくなる。既存プラントの維持補修で供給力は十分に確保できる。また電力自由化が進み、企業間の競争が激しくなっているために、電気事業は経営リスクのある大型投資を控えている。発電所を建設するのであれば、原子力発電より初期投資が小さく立地問題が容易なLNG複合発電のほうを選ぶであろう。原子力に対しては政府による政策支援がなければ、計画中の原子力発電プラント

の建設も先送りされることも考えられる。

原子力関係者が受身になっていけば、これからの原子力技術は既存の原子炉の維持補修が中心となる。そうなれば産業として活況を呈することはない。他の産業と同様に、原子力産業も市場開拓が必要で、そのためには海外での原子炉建設や国内の需要を創出していくことが求められる。小型炉の開発や発電だけにこだわらない熱供給炉なども新たな市場を開拓する技術として、期待される。最近、大学でも学生の就職先として、建築・土木、エネルギー産業などインフラ系企業への人気が今一つである。このような状態で、日本は国際競争力に勝てる原子力の技術力を維持し続けていけるのであろうか。日本の原子力技術の競争力を支えてきた団塊世代も退職し始めている。総合技術である原子力技術を支えていくためには様々な分野の技術者養成が必要になる。大学や研究機関は企業と互いに協力し合って広い分野で高度な原子力技術者を養成する役割を担っていくことが求められている。(2008年1月2日記)

内山洋司(うちやま・ようじ)



東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了。1981年に電力中央研究所入所、同上席研究員を経て、2000年から現職。



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

## 「原子力発電所の早期運転再開が不可欠」 —総合エネ調原子力部会長がメッセージ

総合資源エネルギー調査会(経産相の諮問機関)は2月6日に、原子力部会を開いて原子力政策の今後の方向性などについて議論し、部会長の田中知氏は、「科学的・合理的に安全を確保した上で、原子力発電所の早期運転再開等により、我が国の原子力発電所の設備利用率向上を実現することが不可欠である」というメッセージを公表した。

この日の会合では、放射性廃棄物の最終処分や、原子力政策を取り巻く現状と今後の方向性などについて議論。参加した委員からは「原子力発電はもっと高く評価されるべきだ」、「G8サミットの議長国として、原子力平和利用拡大に向けた国際的リーダーシップの発揮を」、「放射性廃棄物処分事業の推進に当たっては、国民との相互理解を深め、国が前面に立って進めることが重要である」などの議論がなされた。(議事要旨は <http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/data/080206a0.pdf> に掲載)

なお、部会長総括のメッセージのあらまは、次の通り。

- ・地球温暖化問題が一層深刻化する中、大量のエネルギーを安定的に供給し、発電過程において二酸化炭素を排出しない原子力発電は、経済成長と地球温暖化問題の解決とを両立させるエネルギーとして、他の省エネ・新エネといった取組みとの関

係においても、客観的に、かつ、高く評価されるべきである。

- ・本年は、我が国がG8北海道洞爺湖サミットや竣工を控えた六ヶ所再処理工場が立地する青森県で開催されるG8エネルギー大臣会合等の議長国となる。国際的なリーダーシップを発揮し、原子力平和利用拡大の重要性を世界にアピールしていく好機である。原子力発電の重要性や安全性について、政府は国民の相互理解を深め、官民一体となって世界にアピールしていくとともに、原子力安全や核不拡散等の原子力平和利用の基盤整備に貢献していく必要がある。
- ・こうした国際的取組みを推進するとともに、我が国の電力安定供給を引き続き確保するためにも、科学的・合理的に安全を確保した上で、原子力発電所の早期運転再開等により、我が国の原子力発電所の設備利用率向上を実現することが不可欠である。
- ・プルサーマルを始めとする核燃料サイクルの進展は原子力の推進に不可欠である。
- ・原子力の推進に伴って発生する放射性廃棄物の処分は、必ず解決しなくてはならない課題である。国民との相互理解を深め、関係者と連携して、国が前面に立ってしっかり進めていくべきである。

(資料提供：経済産業省 資源エネルギー庁)

## 原子力委員会がメールマガジンを創刊

原子力委員会は2月22日に、メールマガジンを創刊した。

我が国の原子力政策推進に当たって、原子力委員会の政策や活動がより広く国民に知られるために、原子力委員会の活動を迅速かつ的確に伝えることが目的で、配信は毎月2回(隔週金曜日)の予定。定例

会議および部会の開催状況や原子力政策に関するトピックス、事務局だよりなどを掲載する。

配信を希望する場合の登録手続きは原子力委員会ホームページ(<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/melmaga/>)まで。

(資料提供：内閣府 原子力政策担当室)

## 原子力機構、仏 CEA および米 DOE が、ナトリウム冷却高速実証炉/プロトタイプ炉協力を強化

日本原子力研究開発機構(JAEA)、フランス原子力庁(CEA)および米国エネルギー省(DOE)は、ナトリウム冷却高速実証炉/プロトタイプ炉開発への取組みの協力を強化するため、2008年1月31日に実証炉/プロトタイプ炉の協力覚書に合意した。

3機関は、将来の原子力システムの開発を目的とする第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(GIF)、およびクリーンで安価な原子力の使用を拡大するための国際原子力パートナーシップ(GNEP)ですでに協力関係にあるが、さらに、本覚書により、実証炉/プロトタイプ炉を導入するという最終的な目標に向けての研究開発協力をを行う。

各機関は、自国の開発計画に従い、先進的な実証炉/プロトタイプ炉開発に取り組みつつ、各国の高速炉技術の開発が重複しないよう、必要な技術と資

源を相互に活用するため、以下の内容の協力をを行う。

1. 設計目標、ハイレベルの設計要求および共通の安全原則の設定
2. 建設費、運転費、保守費の削減等のために必要な革新技術の抽出
3. プロトタイプ炉の出力、炉型、燃料およびスケジュールの検討
4. 各機関の共同利用可能な研究施設の抽出、整理

本覚書では6月までに報告書を取りまとめ、さらに次のステップについて協議する予定である。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2007/p08020102/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構)

## 原子力機構の高崎量子応用研究所、放射線利用フォーラムを開催

日本原子力研究開発機構(原子力機構)の高崎量子応用研究所(群馬県高崎市)は2月6日、高崎市と共催で、最新の研究成果の発表と研究成果を利用した技術移転の事例、そして高崎市と群馬県における産学官連携の取組み等を広くPRする場として、「放射線利用フォーラム2008 in 高崎」を開催した。

当日は、高崎量子応用研究所における研究成果の概要報告に続いて、最新の研究成果として、イオンビーム育種や水素センサーの開発についての発表を行った。その後、産学連携コーディネーターが高崎量子応用研究所における技術移転の取組みについての報告を行い、また民間企業への技術移転が間近な具体例の紹介を開発者が行った。

休憩時間を利用して、水素吹きかけによる水素セ



放射線フォーラム2008 in 高崎

ンサーの変色や越前和紙を使った団扇作りの実演等も行い、参加者から多くの関心を集めた。会場は、県内外の企業関係者等約140名の参加者で満席となり盛況であった。

(資料提供：日本原子力研究開発機構)

## 原産、学生を対象に「原子力産業セミナー」を開催

日本原子力産業協会は1月26日、来春の就職を目指す学生を対象とした合同企業説明会「原子力産業

セミナー」を東京・新宿エルタワーで開催した。32の原子力関連企業・機関がブースを設けた同セミ

ナー会場には、約240名の学生たちが訪れ、各社の若手社員などから業務内容について、熱心に説明を聞いていた。

原産協会は昨年と同セミナーを開いており、今回は2回目の開催。国内の電力、プラントメーカー等に加え、今回は海外からアレバジャパン、GE エナジー、テネックス・ジャパンが初参加。また安全規制分野からは原子力安全基盤機構が参加した。

セミナーでは参加企業によるブース展示に加え、「若手社員による講演」、「就職活動マナー講座」なども開かれた。講演を行った東電設計の福島将司氏は、使用済み燃料貯蔵施設のCAD設計に携わる日々の仕事内容を紹介、自身の関わった建物・機器が完成する喜びを語った上、「エネルギー問題と環境問題の双方を解決する切り札」として、原子力界で働く意義を学生らに呼びかけた。

参加企業による講演に加え、発電プラントや燃料集合体等の構造模型、放射線や環境保全に関するパネルの展示、IAEAの活動の紹介なども行われ、原



子力一般に対する学生の理解促進にも力を入れる内容となった。

原子力産業界では企業活動のグローバル化が進む一方、少子化、理系離れも進んでいる。また好景気により学生の売り手市場となっていることもあり、優秀な人材を確保し、技術・技能を維持・継承することが重要な課題だ。

(資料提供：日本原子力産業界協会)

## 海外情報

(情報提供：日本原子力産業界協会)

### [米国]

## DOE、長期エネルギー見通しで原子力発電拡大傾向が続くと予測

米エネルギー省・エネルギー情報局(DOE/EIA)はこのほど、2030年に至る米国のエネルギー需給を予測した「2008年版エネルギー見通し」(AEO2008)を発表した。AEO2008では、2030年の原子力発電設備容量は、前回の2007年版見通し(AEO2007)から上方修正されている。

AEO2008(標準ケース、以下同)によれば、米国のエネルギー消費量は2006年の100兆BTU(英国熱量単位)から年率0.9%で増加し、2030年には123兆7,600億BTUに達すると予測されている。今回、2030年のエネルギー消費量は前回見通しから7兆4,000億BTU下方修正された。これは、①原油および天然ガス価格の高騰、②経済成長およびエネルギー需要を若干低く見積もったこと——などが原因だという。そのため、エネルギー消費に伴う米国のCO<sub>2</sub>排出量は、2006年実績の58億9,000万トン

から、2030年には73億7,300万トンに達すると予測されており、前年度見通しよりも5億7,700万トン低減されている。

一方、原子力発電についてAEO2008は、2030年の米国の原子力発電設備容量は1億1,880万kW(2006年実績は1億20万kW)に達するとし、AEO2007の予測(1億1,260万kW)を上方修正した。

2005年版以前の同見通しでは、原子力発電所の新規着工件数はゼロと予測されていたが、米国の原子力カルネサンスの流れを反映し、2006年版以降、毎回、上方修正されている。特にAEO2008では、原子力発電所の新規建設分を2,000万kW(AEO2007から63%増)と予測。既存炉の出力増強分は270万kW、既存炉の閉鎖分は450万kWと見込んでいる。

AEO2008は、原子力発電設備容量の増大に伴い、原子力発電電力量は、2006年実績の7,870億kWhから2030年には9,490億kWhに拡大するとしたが、総発電電力量に占める原子力シェアは、2006年実績の19%から2030年には17%に低下すると予測している。これはAEO2008が依然として、石炭火力発電の大幅な拡大を盛り込んだ内容になっているためだ。

AEOは、作成時点でのエネルギー・環境政策を

ベースに取りまとめているため、AEO2008でも、今後、米国で導入が予想される気候変動防止のためのCO<sub>2</sub>排出対策等は一切考慮していない。そのため、2006年は3億520万kWだった石炭火力発電設備容量が、2030年には4億2,230万kWへ拡大すると予測されている。

## インディアンポイント原子力発電所 NY州知事が閉鎖要求

ニューヨーク州の南東部ウェストチェスター郡に立地するインディアンポイント原子力発電所。マンハッタンからおよそ40kmの距離にある同発電所では、2号機と3号機が運転中で、ニューヨーク州全体の電力需要の1割強を供給している。しかし同州のE・スピッツァー知事(民主党)が最近、同発電所の閉鎖を求める姿勢をより強化したことから、産業界に懸念が広がっている。

エンタジー社は昨年4月、それぞれ2013年、2015年に満了する両機の40年間の運転認可を、さらに20年間延長するよう原子力規制委員会(NRC)へ申請。現在NRCが審査中である。しかしスピッツァー知事は昨年12月、同州のA・クオモ司法長官(民主党)と連名で、「両機の運転認可更新を認可するべきではない」とする要望書をNRCへ提出。両機は老朽化しており、テロ攻撃や自然災害に対して脆弱だとし、安全上の理由から現行の運転認可期限で閉鎖すべきと主張。「大都市圏であるニューヨーク州に原子力発電所が存在することを許すわけにはいかない」と強調した。

これに対し米原子力エネルギー協会(NEI)は、「両機の運転認可延長については、安全性はもとより、あらゆる面からNRCが約2年をかけて慎重に審査する。NRCは審査するだけでなく、両機に対して年間最低でも2,200時間を費やして監視業務も実施している」と指摘。安全性を判断するのはNRCであって州政府ではない、と反論している。

全米製造業者協会(NAM)も、「ニューヨーク州の電力の一部がニュージャージー州の電力会社から融通されている現状を考慮すると、発電所の規制や閉鎖は、事業者や州民の電力需要を見て見ぬふりをするのと同じことだ」と指摘。「インディアンポイント発電所は、ニューヨーク州の電力網に不可欠。州政

府は、発電設備容量の減少を図り、コストの上昇を招こうとしている」と懸念を示している。

同発電所は、直接の経済効果をもたらすだけでなく、州の電力需要の約11%を供給している。同発電所が閉鎖された場合、ニューヨーク州南部地域では卸電力価格が13~25%上昇するとの試算もある。

またスピッツァー知事は、同発電所の代替電源について、明確な計画を示していない。計200万kWの出力で90%以上の設備利用率を誇る同発電所の代替電源として、風力や太陽光はまず役に立たないだろう。

環境にやさしい選択肢は天然ガス火力ということになるが、その場合、年間の燃料費とインディアンポイント発電所閉鎖にともなう資本回収コストとして、ニューヨーク州民の負担額は15億ドルを超えると見積もられている。費用の増加はニューヨーク州民の負担にとどまらない。天然ガスの需要増加は、米国北東部全域に価格高騰を招く。

一方、コスト的に現実的な選択肢である石炭火力で代替した場合、年間1,400万トン相当のCO<sub>2</sub>が新たに排出される。これは路上に270万台の自動車が増加することに匹敵するという。

スピッツァー知事は自らを環境主義者と称しているが、地球温暖化防止やエネルギー・セキュリティの観点から、米国で最も必要とされていることは、原子力発電所の増設や既存炉の確実な運転であろう。政治的なパフォーマンスから原子力発電所を閉鎖している場合ではない。

エンタジー社は2001年に、インディアンポイント原子力発電所を、コンソリデーテッド・エジソン社とニューヨーク電力公社から購入した。同年に同時多発テロが発生し、不安をおおる原子力反対派の格好の材料となり、同発電所は一躍注目の的となった。

さらに同発電所は、2005年エネルギー政策法で緊急時通報システムのサイレンを設置する発電所に指定され、その後、米連邦緊急管理庁(FEMA)などからサイレン音量の不具合を指摘されたことから、反対派の餌食となっている。

## WH もワッツ・バー 2 号機 プロジェクトに参加

ウェスチングハウス社(WH)は1月18日、テネシー峡谷開発公社(TVA)が進めるワッツ・バー 2 号機の建設再開プロジェクトへ、総額 2 億ドル規模の機器およびサービスを供給すると発表した。同プロジェクトの主契約者は、米エンジニアリング大手のベクテル・パワー社が担当しており、2012年の運開を目指している。

WH は、原子炉冷却ポンプ、計装制御系システムなどの機器を供給するだけでなく、確率論的リスク評価(PRA)や原子炉蒸気供給システム(NSSS)設計、安全性解析、認可申請のサポートなど、関連サービスも提供する

同プロジェクトは、1985年に工事進捗率80%で中断されたワッツ・バー 2 号機(WH 製120万 kW 級 PWR)を、5年間で24億9,000万ドルを投じ、年内に着工、2012年に運開させるもの。原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋や冷却塔など主要施設は建設済みだ。

同機はこれまで長期保存状態に置かれていたが、機材の中には、原子炉冷却ポンプやバルブ類など、TVA が所有・運転する他の原子力発電所に流用されているものもある。またツイン・ユニットである同 1 号機と同様のアップグレードを施すことも考慮すると、現時点での 2 号機の工事進捗率は60%と見積もられている。建設の規模としては、同じく TVA が実施したブラウンスフェリー 1 号機の運転再開プロジェクト(昨年 5 月に完成)に近い。

TVA は昨年 8 月に、ワッツ・バー 2 号機の建設再開プロジェクトを正式決定した後、同10月に主契約者としてベクテル・パワー社を選定。同機はすでに1973年に建設認可を取得(2010年まで有効)していることから、米国で浮上している数多くの建設プロジェクトとは一線を画している。

今後 TVA は、建設作業を開始する120日前までに、原子力規制委員会(NRC)にワッツ・バー 2 号機の建設再開を正式に通知。建設作業と並行して NRC へ、安全解析書の最終版や環境影響評価報告書等を添え、運転認可を申請する。また NRC も、同認可の発給に先立って独自の環境影響評価を実施

する。

## [スペイン] 産業界、総選挙にらみ、脱原子力の 見直しを要望

スペインの原子力産業団体であるフォロ・ヌクレアールは昨年12月26日、既存炉の運転継続と新規原子力発電所の建設を求める声明を発表した。

スペインでは3月8日に総選挙が実施される。今回の声明は、次期政権に向けたメッセージの色合いが濃く、原子力の役割について再確認するためのディベートを実施するよう求めている。

スペインでは 8 基、合計出力772万7,800kW の原子力発電所が運転中で、2007年の総発電電力量に占める原子力シェアは約20%。フォロ・ヌクレアールはこれら既存炉の運転継続だけでなく、新規に1,000万 kW 分の原子力発電設備容量が必要になると指摘している。

脱原子力政策を掲げるスペインでは2006年4月、最も古いホセカブレラ原子力発電所(PWR, 16万 kW)が閉鎖された。強硬な反原子力論者であるサパテロ首相は、同発電所の代替として原子力発電所を新規に建設する計画を却下し、天然ガス火力発電所で代替する方針を示した。サンタ・マリアデガローニャ原子力発電所(BWR, 46万6,000kW)も2009年に運転認可が失効するため、所有・運転者であるエンデサ社とイベルドロラ社が2019年までの運転認可延長を申請中だ。

スペイン政府は2005年7月、同国の総発電設備容量に占める原子力シェアを2011年までに10~16.5%に削減する計画を発表した。しかし京都議定書に規定された同国の CO<sub>2</sub>排出量削減目標の達成には原子力が不可欠なことから、その実現性は疑問視されている。なお OECD 国際エネルギー機関(IEA)は2005年10月、報告書の中で、スペインの脱原子力政策を「地球温暖化防止に対する意識に欠ける」と厳しく批判している。

[イタリア]

## 伊電力公社、原子力発電所新設に意欲

イタリア電力公社(ENEL)のF・コンティ CEOはこのほど議会公聴会で、政府が原子力発電所の新規建設を決定すれば、ENELはいつでも建設に着手する用意があると明言した。

CEOは、「ENELは新規建設を実施する十分な能力がある」と強調。スケジュールとして、計画立案に3年、建設に4～5年の計7～8年で新規炉を運用できるとし、強い自信を示した。

イタリアでは1987年に実施された3つの国民投票を受け、バックエンドを除き、原子力関連活動を禁止しているが、ENELは、国外での原子力プロジェクトには積極的に参加している。

2004年にはスロバキア電力(SE)の66%株式を買収し、現在、スロバキアの原子力発電所建設再開プロジェクトを実施している。また、フランス電力公社(EDF)のフラマンビル3号機(EPR, 160万kW)建設計画へ資本参加(12.5%)し、エンジニアを派遣してイタリアの原子力技術の維持をねらっている。

[フランス]

## アレバ社ら仏3社、2基のEPRをUAEへ

仏アレバ社、石油・天然ガス大手の仏トータル社、エネルギー・水道事業大手の仏スエズ社の3社は1月14日、共同でアラブ首長国連邦(UAE)への原子力発電所建設プロジェクトを計画していることを明らかにした。3社はすでに、プロジェクト実施に向けた協力協定を締結している。計画しているのは、出力160万kW級EPR×2基。アラブ首長国連邦と関係の深いトータル社がプロジェクト管理を、スエズ社が運転管理を、それぞれ担当するという。

アレバ社は、原子力機器および燃料を供給するだけでなく、原子力発電所の運営ノウハウもカバーする。トータル社とスエズ社は、これまでも同国で、発電・海水淡水化プロジェクトを実施するなど協力関係を築いている。

サルコジ仏大統領は1月13日から中東諸国を訪問

しており、15日にはアブダビで、原子力発電所建設に向けた政府レベルでの協力協定が締結される見通しだ。

[英国]

## 政府、原子力発電所新設の積極推進へ転換

英ビジネス・企業・規制改革省(BERR)は1月10日、新しい原子力政策(白書)を発表した。①既存の原子力発電所のリプレース、②民間事業者が原子力発電所建設プロジェクトを実施するための環境整備——を盛り込み、従来の原子力に対する消極的な姿勢から、積極的な原子力推進へ大きく舵を切った。またBERRは同日、新規に建設される原子力発電所のデコミ費用等について盛り込んだエネルギー法案も発表。英国における新規建設プロジェクトをめぐる動きが、一気に加速し始めた。

J・ハットン・エネルギー担当大臣は声明の中で、「クリーンで安全、低コストの原子力発電所の新設は、英国にとって長期的見地から不可欠。民間事業者に、新設プロジェクトを推進するよう働きかけたい」と強調。新規建設に向けた手続きを早急に開始し、民間事業者が2013年頃をメドに初号機を着工。2018年までに初号機が運開するとのタイムスケジュールを示した。

そのほか原子力白書には、新設促進策として、(1)今年2～3月をメドに、事業者が負担する新規原子力発電所のデコミ費用と、発生する放射性廃棄物の処理・処分費用についての指針を示す、(2)独立諮問機関を設立し、デコミ費用等の事業者の資金計画を評価する、(3)包括的設計審査(GDA)を円滑に進めるため、原子力施設検査局(NII)スタッフを増員する、(4)新設プロジェクトを国家インフラ事業として扱い、迅速な手続きを可能にするよう法体系を整備する、(5)今年3～4月をメドに、新設サイトに関する戦略的サイト評価(SSA)の評価基準を提示し、新設可能サイトを絞り込む、(6)今春までにGDA対象4炉型を3炉型に絞り、より詳細な検討を実施する、(7)欧州連合(EU)加盟国と協力し、原子力など低炭素電源が有利になるよう、EUの排出権取引スキームを強化する——等が明記されている。

一方、同時に発表されたエネルギー法案は昨年5

月に、貿易産業省(BERRの前身)が発表したエネルギー白書を具体化したもの。同法案では、①CO<sub>2</sub>の回収・貯留(CCS)の技術開発支援、②総発電電力量に占める再生可能エネルギーのシェアを、2015年までに現在の3倍、15%に拡大——などとともに、原子力発電所を新設する事業者が、デコミ費用および発生する放射性廃棄物の処理・処分費用に関し、適切に積み立てることを義務付けている。

英国ではこれまでに、①カナダ原子力公社(AECL)のACR1000(120万kW)、②仏アレバ社のEPR(160万kW)、③米GE日立ニュークリア・エナジー社(GEH)のESBWR(155万kW)、④米ウェスチングハウス社(WH)のAP1000(110万kW)——の4炉型が、GDA対象として規制当局に申請されている。

各炉型の供給者は、それぞれ電力会社の協力を取り付けており、ACR1000にはブリティッシュ・エナジー社(BE)が協力。EPRには、BE以外にもフランス電力公社(EDF)、仏スエズ社、独Eon社、独RWE社、スペインのイベルドロウラ社などが協力。ESBWRには、BE、RWE、イベルドロウラ社などが協力。AP1000にはBE、Eonなどが協力している。

エネルギー白書を補完する形で、昨年5月に発表された「原子力発電所の新設に関する評価報告書」は、建設サイトとして既存の原子力発電所サイト(全14地点)を候補に挙げた。そしてスコットランドおよびウェールズの両地方政府が原子力発電所の建設に否定的であることや、大型の原子力発電所建設に伴う送電系統への投資規模などの観点から、ヒンクリーポイント原子力発電所サイトおよびサイズウェル原子力発電所サイトが最適と指摘している。

### [フィンランド]

## オルキルオト3号、2011年夏に 運開へ

フィンランドでオルキルオト3号機を建設中の仏アレバ社と独シーメンス社のコンソーシアムは昨年12月28日、同機の運開時期を2011年夏と発表した。

2005年8月に着工された同機は、世界初のEPR(出力170万kW)を採用している。規制当局とのコミュニケーション不足による建設作業の遅れ、並び

に冷却系配管の再鍛造などで、建設スケジュールが大幅に遅れており、運開予定時期が当初予定の2009年から、これまで数度にわたって延期されていた。仏アレバ社が原子炉系統を、独シーメンス社がタービン系統を供給する。

現在サイトでは、タービン建屋の建設も進んでおり、今年4月にはタービン発電機が据え付けられる見通した。

### [東欧]

## ロシアとブルガリア ベレネ建設 契約を締結 PWRを2基

ロシアのV・プーチン大統領のブルガリア訪問に合わせ、ブルガリア電力公社(NEK)と露アトムストロイエクスポート社(ASE)は1月18日、ベレネ原子力発電所建設再開プロジェクトの建設契約を締結した。同計画は、ルーマニアとの国境に位置するベレネ地点に、ASE製AES92(VVER1000のV466型、100万kW)を2基建設するもの。ASEを主契約者とし、年内の建設再開、2013年の初号機運開を目指し準備作業が進行中だ。プロジェクトの総コストは39億9,700万ユーロと見積もられている。

NEKは2006年10月、同プロジェクトの主契約者としてASEを選定し、両社は同11月に合意文書に調印。その後ASEが、①既存サイトの基礎工事部分や設備の調査、②建設認可申請に向けた概念設計作業——など準備作業を実施していた。すでに建設認可がブルガリアの規制当局に申請されており、近く認可が承認される見通した。

ベレネ発電所は1984年に建設が開始されたが、住民の反対や資金難、また耐震面での問題などから1990年以降、建設工事が中断されていた。なお、1号機の工事進捗率は約65%といわれている。建設再開にあたっては既存の機器を出来る限り流用するが、計装制御系は仏アレバ社および独シーメンス社が担当する。地元自治体は、建設工事により1万人分の雇用が発生し、運開後も5,000人の定期雇用が発生すると試算している。

【欧州】

## 2020年の数値目標設定 排出削減と再生可能エネのシェア引き上げ

欧州委員会は1月23日、気候変動対策および再生可能エネルギーの利用促進に向けた広範な包括的提案を採択した。同提案は、欧州連合(EU)が2020年までに、(1)温室効果ガスの排出を1990年比で20%以上削減する、(2)最終エネルギー需要に占める再生可能エネルギーのシェアを20%に引き上げる——等を盛り込み、EU加盟各国ごとに法的拘束力のある数値目標を設定した。

特に欧州委員会は、EUの排出権取引制度(ETS)の強化・拡大を提案。現在はCO<sub>2</sub>だけが対象とされているETSを、2013年をメドに、CO<sub>2</sub>以外の温室効果ガスにも拡大し、すべての主要工業排出源が対象となるよう強化するとした。そして取り引される排出権の割り当て枠を年々減らし、最終的にはETS対象となる温室効果ガス排出量を2005年比21%減とすることを目指している。

EUの温室効果ガス排出量の大半を占める電力部門は、2013年から入札方式へ移行。航空部門や他の産業部門も、段階的に入札方式へ移行させる。これらは公開入札で、EU内の事業者であればどの加盟国でも排出権を購入できるようになる。

ETSからの収益は加盟各国に還元され、再生可能エネルギー、CO<sub>2</sub>の回収・貯留(CCS)などの研究開発に支給される。ETSによる収益について欧州委員会は、「2020年までには年間500億ユーロに達する可能性もある」としている。

一方、欧州委員会は、現在8.5%にすぎない再生可能エネルギーのシェアを2020年までに20%に引き上げることを目指し、EU加盟各国ごとに数値目標を設定した。ただしEU全体で20%の目標を達成する限り、加盟国は自国内での再生可能エネルギー開発にこだわる必要はないとされている。つまりEU加盟国全体で最も効率的な再生可能エネルギー技術に投資を集中できることになり、目標達成に必要なコストを18億ユーロ削減することが可能だという。

欧州委員会は昨年1月、EU共通のエネルギー政策案を発表。EUは京都議定書では、2012年までに1990年比8%削減と設定されているが、EU加盟国

全体の温室効果ガス排出量を、2020年までに1990年比20%削減すると明記した温暖化対策を打ち出した。欧州理事会(EU首脳会議)は同3月、同エネルギー政策案を承認し、欧州委員会に対して目標達成に向けた具体策を提示するよう指示していた。今回発表された包括的提案は、欧州理事会に対する回答と位置づけられている。

【オーストラリア】

## 国内で4番目となるハネムーン鉱山 新鉱山が年内操業へ

南オーストラリア州政府はこのほど、ウラニウム・ワン・オーストラリア社(加ウラニウム・ワン社の豪法人)が申請していたハネムーン鉱山の開発プロジェクトを正式に承認した。同社は、年末をメドに操業を開始したいと考えて、同国4番目となるウラン鉱山プロジェクトは、ようやく始動することになった。

今回承認されたのは、ハネムーン鉱山の開発ならびに、閉山後に現状復帰させるリハビリテーション・プログラム。同鉱山は昨年1月に、連邦政府から10年間の輸出認可(2016年末まで)を取得している。操業開始に必要な残るいくつかの認可も、今年10~12月頃に発給される見通した。

ハネムーン鉱山のウラン埋蔵量は約2,900トンUと見積もられている。ウラニウム・ワン社はインシチュリーチング法(鉱石を採掘することなく、鉱床中に酸またはアルカリ溶液を直接注入し、ウランなどを溶液中に溶かし出す方法)を採用し、年産400トンUを目指す。

南オーストラリア州東部に位置するハネムーン鉱山は、1972年に鉱床が発見された。その後、ウラニウム・ワン社は1981年、同州および連邦政府から年間450トンU規模の生産を許可され、年産110トンU規模のパイロット・プラントが建設された。

しかし労働党政権下の1984年から1996年にかけて、「三鉱山政策」として、輸出可能なウランをレンジャー、ナバレク(1988年に閉山)、オリンピック・ダム(1988年に閉山)の3つの鉱山に限定する施策がとられた。これは、オーストラリアは国内のウラン需要がほとんどないため、実質的に3つの鉱山以外でのウラン生産を禁止したものの。ハネムーン鉱山などその他の開発

予定鉱山に与えられていた暫定的な開発許可は、すべて取り消された。

その後1996年、保守連合政権(自由党・国民党)の誕生に伴い、「三鉱山政策」は連邦レベルでは事実上廃止され、ピバリー鉱山が開発された。しかし、鉱山の開発権は州政府が付与する権限を有しており、労働党が各州の政権を握っていたため、ウラン鉱山の新規開発は依然、停滞していた。

労働党は昨年4月、同党が長年にわたって堅持してきた「三鉱山政策」を正式に撤回。以前よりウラン鉱山開発に意欲的だった南オーストラリア州のM・ラン首相(労働党)は、ウラン鉱山開発の積極的な拡大を示唆していた。

---

## レンジャー鉱山生産量が増大

---

エナジー・リソース・オーストラリア社(ERA)は1月15日、同社が所有するレンジャー鉱山の操業実績を発表。同鉱山の2007年のウラン生産量は、前年比14%増の5,412トンUで、同鉱山史上2番目の生産量を記録した。

同鉱山は昨年3月、集中豪雨に見舞われ一時操業を停止したが、およそ1週間で操業を再開。11月には完全に水抜きに成功した。

ERAは、豪雨の影響で採鉱量は前年から11%減少したが、採鉱する鉱石の品質が向上したため、生産量の増大につながったと説明している。

# Nuclear News を見て

- Low-level radioactive waste disposal: Are we having a crisis yet? <sup>(1)</sup>
- Covering All the Bases at the Low-Level Summit—A report from the First Annual Low-Level Summit, held September 4-7, 2007, in Las Vegas, Nevada. <sup>(2)</sup>

(1) NUCLEAR NEWS, Aug. 2007

(2) Radwaste Solutions Buyers Guide, Nov./Dec. 2007

## 米国の低レベル放射性廃棄物処分事情

米国では、1980年に制定された低レベル放射性廃棄物政策法(1985年に改定)によって、商業施設から発生する低レベル放射性廃棄物(LLW)は、発生州の責任で処分することになっている。このため、いくつかの州がまとまって Compact と呼ばれる州間処分協約を締結して、これに対応しようとしている<sup>(1),(2)</sup>。

米国では、まだこの Compact によって新たに設置された処分場はないが、現在は、次の3カ所の商業用 LLW 処分サイトによって、なんとか商業 LLW (発電所廃棄物、医療用、工業用など)の処分先が確保されている状況にある<sup>(1)</sup>。

- ① EnergySolutions 社の Barnwell 施設(サウスカロライナ州)；Class A, B, C 廃棄物を受入れ(Class A～C は米国の放射性廃棄物分類クラスで含有核種と濃度によって区分されている—下表参照)
- ② 同じく ES 社の Clive 施設(ユタ州)；特定の Class A のみ受入れ
- ③ US Ecology 社の Richland 施設(ワシントン州)；Class A, B, C を受入れ

上記の3処分施設のうち、Barnwell 施設が2008年7月1日以降、Atlantic Compact に属している州(コネチカット州、ニュージャージー州、サウスカロライナ州)以外の州には閉ざされることになっており、これが現実のものになると、これまで同施設で処分されてきた同

Compact 外の36州で発生している Class B および C 廃棄物の行き場がなくなってしまうことになる<sup>(1),(2)</sup>。

同処分場の操業者である EnergySolutions 社もこの措置によって収入が減るため、州議会に対して盛んなロビー活動を展開し、なんとか執行猶予を勝ち取ろうとしているが、Atlantic Compact の意志に阻まれ成功していない。州や地方自治体にしても、Compact 外からの廃棄物受入れによる税収等でこれまで潤ってきた分がなくなるわけであるが、Atlantic Compact の政治的な動きにより、同 Compact 内の州や発生者から補助金や支援金を得ることによって自治体の収入低下を避ける措置を講じることに成功している<sup>(1)</sup>。

Compact による処分場としては最も実現に近いとされている Texas 州で計画されている米国の4番目の商業用処分場構想に対しては、Barnwell の代替処分場になり得るのではないかと廃棄物発生者の期待はあるが、これに応えられるか否かは、まずは州が計画通りに許認可を発給するのか否か、また、Texas 州が属する Texas Compact 以外の廃棄物を受け入れるのを許容するのか否か、といった州や同 Compact の判断にかかっている<sup>(1)</sup>。

このように米国の LLW 処分状況は先行き見通しが極めて不透明になっており、この状況を「危機」と見なすべきか否か、立場の違いによって見方が異なるようである。しかし、この事態を打開するためには、政治による解決を望むしかないところまで来ていることは間違いのないようである<sup>(1)</sup>。

米国では、このような商業 LLW 処分に係る大きな問題以外に、それ以外の LLW (旧原子力委員会—AEC—施設のクリーンアップ廃棄物、放射性/有害混合廃棄物、軍事廃棄物、“見捨てられた”廃棄物(orphan waste)、密封線源廃棄物、軍事施設解体廃棄物)も、最終的な処分にもどのように対応すべきかという問題を抱えており、これらも含めて、同国の LLW すべてに係る現況を関係者による報告によって再確認するため、2007年9月にネバダ州ラスベガスで第1回低レベルサミット年次大会が開催された<sup>(2)</sup>。

同会議では、米国の LLW 処分の関係者(発生者、処分事業者(民間も含む)、行政側、規制側など)が一堂に会して、おのおの立場から発言を行っており(IAEA

表 米国の低レベル放射性廃棄物分類(10 CFR 61.55による)

Class A	ドラム缶や金属容器に収納された放射性物質濃度の比較的低い廃棄物(発電所廃棄物、医療廃棄物等)
Class B	主として短寿命の放射性核種のみしか含有しない廃棄物(あるいは長寿命核種の含有濃度が規定値未満) このクラスの廃棄物は現在、耐用期間300年の高性能容器(HIC)に収納
Class C	浅層埋設に適合する最高濃度制限値以下の短寿命及び/あるいは長寿命核種を含有する廃棄物(放射化金属等)
超クラス C (GTCC)	通常は浅層埋設処分では受け入れられない廃棄物(炉内構造物等)GTCC=Greater Than Class C

も参加), 同国の LLW 問題をすべて浮き彫りにしようとしている。

米国においても, まだすべての LLW の最終処分のめどが立っているわけではない。また, その先行き見通しも不明確なため, 放射性廃棄物発生者側の活動への影響が生じてくるのではないかという危機感が徐々に顕在化してきている。上述のような会議で現状の課題を総ざらいすることで, 次なるステップを見い出そうとしているものと考えられる。

翻って我が国の低レベル放射性廃棄物処分はどのような状況であろうか。原子力発電所廃棄物については, 日本原燃株の低レベル放射性廃棄物埋設センターで処分事

業がすでに進められているが, 研究施設等廃棄物およびウラン廃棄物などまだ行き先が決まっていない廃棄物や原子力施設の解体によって短期間に大量に発生する可能性のある解体廃棄物の始末など, 課題も少なからず残されている現状にある。クリアランス制度も動き始めたところであり, 今後はただ単に発生した廃棄物の処分のみを考えるのではなく, 例えば, 有用物質(鋼材, 銅, 希少金属等), ウラン濃縮の廃遠心機材料, コンクリートなどのリサイクル利用にも視野を広げつつ, 関係者の叡智を集めて, トータルな「放射性廃棄物管理サイクル」とでもいうべき体系の構築を考え始める時期に来ているのではないだろうか。

(文責: 鳥飼誠之)

## From Editors 編集委員会からのお知らせ

### ○英文論文誌の全通過論文に 対して英文 Editorial Correction を開始しました



#### — ホームページ更新情報 —

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/> (3/10 現在)

- 学会誌ホームページに, Web アンケートで評点が高かった記事 (2007 年 1~10 月号) を掲載しましたのでご覧下さい (<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/atomos/index.htm>)。
- 英文論文誌について, 全通過論文に対する英文 Editorial Correction (素読校閲: 主として文法上のミスの修正や冠詞・接続詞などのチェック) を実施中。詳しくは, <http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/publication/071001suyomikosei.html> をご覧下さい。



#### — 最近の編集委員会の話題より —

(3 月 7 日 第 9 回幹事会)

- 4 月号より, 学会誌, 論文誌が少しでも会員の皆様の身近なものとなるように, 郵送用封筒の透明化を実施した。
- 【論文誌関係】
- 論文誌投稿規定・手引きについて, Web 審査化に伴う改定を進めている。システム開発進捗状況については現在, 全体的なチェックを行っている。
  - 第 1 区分の社会科学的分野の論文審査について議論があった。編集委員会としてもフォローするシステムができ

ないか検討したい。

- 学会賞「論文賞」の対象者は会員に限定されているが, この枠を外せないかとの議論があった。

#### 【学会誌関係】

- 編集幹事会出席の編集委員が春の年会, 秋の大会, 5 月の原子力総合シンポジウム等を聴講し, 学会誌の記事として掲載に値すると判断した場合は, 速やかに講演者の内諾を取得し, 追って正式に記事提案の手続きをすることにした。ただし, 特集記事は頁数管理のため, 事前に編集幹事会の了承を得て依頼することにした。
- 50 周年記念号について, 記事案の検討を進めている。また, 賛助会員からの記念号への広告出稿をお願いする計画を進めている。
- 記事の著者紹介欄で, 部会活動記事などで連名者が多い場合は執筆者を部会名とし, 執筆者名の紹介は簡略化することとした。
- 記事が規定頁数内に収まるかどうか, 著者があらかじめ見積もれるよう, テンプレートを作成することとした。
- カラー頁の印刷費については, 著者負担をお願いすることを確認した。
- 編集後記については, 掲載記事の担当委員が, 編集上の苦労や工夫を話題に取り上げることにした。
- Web アンケートの結果, 「ジャーナリストの視点」が興味深かったとの意見が目立った。
- 学会誌の寄贈については, 配布先機関にアンケート調査をし, 有効活用していただけるような方策を検討することとした。

編集委員会連絡先 [hensyu@aesj.or.jp](mailto:hensyu@aesj.or.jp)

# 放射線安全の考え方と関連する基準の国際動向

東京大学 小佐古 敏荘,  
日本原子力研究開発機構 山本英明, 大越 実,  
放射線医学総合研究所 米原英典

放射線安全の考え方は当初から“国際”的であった。国際放射線防護委員会(ICRP)の哲理に基づき、関連する国際機関が放射線安全基準の国際整合性を取ってきた。本稿では、これらの動向を概観し、最近のトピックスを紹介するために、3つのテーマを設定した。まず、これらの中心をなす国際原子力機関(IAEA)の放射線安全基準体系の概要とその役割を書いた。続いて、極めて小さい被ばくの考え方として、クリアランスの概念とその適用に関する国内外の動向に触れた。最後に、自然界からの被ばくのうち、自然起源の放射性物質(NORM)の考え方とその規制の適用性に関する国内外の動向について紹介をした。本稿は近年の放射線安全の考え方の理解の一助となる。

## I・序

放射線安全は、レントゲン博士によるX線の発見(1895年)ののち、主として医学利用における放射線障害の発現によりその必要性が認識された。初期においては、皮膚における赤色紅斑の発現を回避することなどに力点が置かれた。国際放射線単位測定委員会(ICRU)が設立(1925年)され、安全の議論の基礎をなす放射線の単位(r: レントゲン, 初期は小文字のr)が考えられた。1928年には、主として医療分野の放射線安全の国際基準の策定のため、国際X線・ラジウム防護委員会(IXRP)が発足している。また、第2次世界大戦後の1950年には、IXRPは原子力、加速器分野の放射線安全を含め、国際放射線防護委員会(ICRP)として名称を変え改組した。さらに、1957年には、原子力の推進と安全のための組織、国際原子力機関(IAEA)が設立されている。注目すべきは、これら放射線・原子力に関連する安全は、当初から、“国際”的であった点である。現在のわれわれの周りには様々なリスクが存在し、その安全基準が求められているわけであるが、必ずしもそれらの国際的整合性が取れているわけではない。放射線分野では初期から国際的な整合性がICRPの哲理に基づき、IAEA等の国際機関を中心に形作られてきたわけで、このような例は他にない。

さらに、この放射線安全の哲理はヒトの疫学データに

*Philosophy of Radiation Safety and Trend of Related International Standards*: Toshiso KOSAKO, Hideaki YAMAMOTO, Minoru OHKOSHI, Hidenori YONEHARA.  
(2007年 10月16日 受理)

より確たるものに仕上げられてきている。このことは一般にはよく知られていない点である。日本人の広島・長崎の約17万人になる被爆生存者の貴重な疫学データが、放射線安全のための哲理構築を支えているわけである。われわれは環境リスクを与える人工物質を万を超えて作ってきたといわれているが、そのどれひとつとして十万人を超えるヒトの疫学データ(それも、かなり完全形で)を基礎として安全基準を策定したものはないし、これからもないであろう。被爆者の苦しみの中での協力があってのもので、貴いことである。これらの疫学情報は、日米の合同機関である放射線影響研究所(RERF、従前は米国の機関、原爆障害調査委員会(ABCC)と呼ばれていた)で、疫学データとしてまとめられ、原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)や米国、電離放射線の生物学的影響(BEIR)委員会でヒトへの影響として検討され、ICRPで放射線安全の哲理としてまとめられていく。

近年のグローバル化は、コンピュータネットワーク、航空機などの交通手段の発展、高い経済成長による国際物流の活性化などにより引き起こされ、金融、情報、製品などの国際化、国際標準化(グローバル・スタンダード)が求められ、進められる時代へと急激に移ってきた。原子力・放射線の分野での安全基準も、従前からの国際統合の流れはますます強まっているといえる。原子力・放射線の安全分野における国際基準に関連する機関と委員会をあげれば以下ようになる。

国際放射線防護委員会(ICRP):

1928年設立, 任意団体, 約70名の委員

公共の福祉に供することをめざし、科学としての放

放射線防護を進展させることを目的とする。

- 第1委員会(放射線生物影響)
- 第2委員会(線量, 外部被ばく, 内部被ばく)
- 第3委員会(医学放射線防護)
- 第4委員会(委員会勧告の適用)
- 第5委員会(環境放射線防護)

<http://www.icrp.org>

国際放射線単位測定委員会(ICRU) :

1925年設立, NGO

放射線・放射線の量と単位, 測定と利用の手順, 物理データなどを策定することを目的とする。

<http://www.icru.org>

国際原子力機関(IAEA) :

1957年設立, 国連の機関

安全・セキュリティ部門の活動: 放射線・原子力分野における国際整合性の取れた安全基準文書体系を供給することを目的とする。

- 安全基準委員会(CSS)
- 原子力安全基準委員会(NUSSC)
- 放射線安全基準委員会(RASSC)
- 廃棄物安全基準委員会(WASSC)
- 輸送安全基準委員会(TRANSSC)

<http://www.iaea.org>

原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR) :

1955年設立, 国連の機関

あらゆる電離放射線源からの被ばくがヒトの健康と環境に及ぼす影響についての資料を収集・整理することを目的とする。

<http://www.unscear.org>

経済協力開発機構/原子力機関(OECD/NEA) :

1972年改組, 設立

原子力エネルギーの平和利用に必要な科学的, 技術的, 制度的な基盤を維持し, より発展させていくことを支援することを目的とする。

放射線防護および公衆衛生委員会(CRPPH)

<http://www.nea.fr>

21世紀に入り, ICRP では17年ぶりに, その基本勧告を2007年勧告(ICRP-Publ-103)としてまとめ, より練られ, わかりやすい放射線安全の哲理を展開している。その中でも放射線安全の原則が, どのように法令遵守事項と関連していくのか(具体的な規制, とりわけ国際整合性を持つ規則), 極端な被ばく時の考え(事故時の過剰被ばくなど), 逆に, 極めて小さい被ばく時の考え, (「免除, 除外, クリアランス」など), また, 1990年勧告以前は, 鉱業のラドン以外は系統的に扱われることのなかった, 自然界からの被ばく(ラドン, 自然起源の放射性物質(NORM), 航空機乗務員の宇宙線, 宇宙飛行士の宇宙線)などへと, 放射線安全の考え方(哲理)として展開

されている。

本稿では, これらのダイナミックな動きを, 一連の3編の論文: 国際原子力機関(IAEA)の安全基準体系, クリアランス, 自然起源の放射性物質(NORM)の形で紹介し, 国内の現状, 国際動向をまとめることにより, 読者の参考に資することとしている。(東大・小佐古敏荘)

## II・国際原子力機関(IAEA)の放射線安全基準

### 1. 放射線安全のグローバル・スタンダード

決められたルールにのっとり放射線源を取り扱うことにより, 放射線がもたらす有害な影響から人の健康や自然環境を防護することができる。国内では放射線安全に関する法令によって安全基準が示され, これを放射線の利用者が守ることによって放射線安全が確保されるという制度ができている。しかし, 放射線がもたらすリスクは国境を越える可能性がある。その場合であっても, どの国の人も等しいレベルの防護を受けられるように, 共通の規範が定められ, 制度が整えられているべきであろう。そこで, 放射線安全のグローバル・スタンダードが必要になる。国際原子力機関(IAEA)は, このような国際放射線安全基準の制定に大きな役割を果たしている。

「電離放射線に対する防護と放射線源の安全のための国際基本安全基準」という長い標題の出版物<sup>1)</sup>がある。英語を含め国際連合の6つの公用語版があるこの出版物は, IAEA がリードして, 国際労働機関(ILO), 国際保健機関(WHO), 国連食糧農業機関(FAO)その他, 全部で6つの国際機関が共同で作り上げ, 1996年に最終版が出版されたグローバル・スタンダードのひとつである。英語タイトルの Basic Safety Standards の頭文字をとって, BSS と呼ばれている。策定に参画した国際機関の顔ぶれからも推察されるように, BSS が扱っているのは, 放射線防護の原則から始まって, 放射線作業に従事する労働者の線量管理の基準, 放射線や放射性医薬品による医療被ばくに対するガイドライン, 大規模な原子力災害で影響を受けた食糧品に対する摂取制限の指標など, 放射線管理の実務に適用できる具体的な基準値を示しながら放射線防護のほぼ全領域(放射性物質の輸送の基準は別)をカバーしている。ごく一例ではあるが, BSS に規定されている放射線安全基準の項目例を第1表に示す。これは職業上の被ばくの防護に関して作業者の雇用主や放射線源の使用許可を受けた者などが守らなければならない項目(要件)の例である。BSS にはこれらの項目のそれぞれについて遵守事項, 禁止事項, 基準値などが示されている。

原子力開発利用の途上にある国々では, BSS が放射線防護に関する国内規則の役割を果たしていたり, 原子力利用に係る IAEA の援助を受けるためには BSS に基づく国内放射線安全関係法規の整備が条件になっていた

第1表 BSSに示された放射線安全基準の項目例

(例)職業上の被ばくの防護に関して守らなければならない事項(要件)
作業者の放射線防護の責任および義務に関する要件
女性作業員および若年作業員の放射線防護に関する要件
放射線管理区域の区分と設定に関する要件
事業所内規程および監督体制に関する要件
作業員の被ばく保護具に関する要件
作業員の被ばくモニタリングに関する要件
作業場所の放射線モニタリングに関する要件
作業員の健康診断に関する要件
被ばくモニタリング結果の記録に関する要件

りする。利用開発が進んでいる国々では、BSSを部分的に国内法令に取り入れている例もある。

## 2. 国際原子力機関(IAEA)の放射線安全基準

このように、BSSが放射線防護の実施において国際的に大きな影響力を持ち得、また、IAEAがBSSの策定をリードできるのは、どのような理由によるのであろうか。核兵器開発疑惑に対する調査の話題の中でさかんに名前が出てくるIAEAであるが、放射線安全に関する役割もあり、その使命と権限はIAEA憲章に規定されている。1956年に採択され、翌年に発効した憲章の第3条A.6に基づき、IAEAは、健康、生命、財産を保護するために安全に関する基準を制定または採択する権限を付与されている。また、それらの基準を適用する権限も付与されている。適用対象は、IAEA自身の業務だけでなく、援助業務(IAEAと加盟国との間の合意に基づき、物品、役務、機器、施設または情報の形でIAEAから援助が供与された業務)、IAEAと加盟国との間の協定に基づく業務、IAEAになんらかの要請をした場合の要請国の業務である。

この権限に基づいて、IAEAは1962年にBSSの初版を取りまとめた。この基準は、各国で活動する査察官の被ばく管理などIAEA自身の放射線防護に適用された。さらに、IAEAから核燃料物質や放射性同位元素の提供を受けて、それらの利用を行うIAEA加盟国は、この基準に従うことが求められた。

重要なのは、その序文の中で、放射線防護のための国内法規や指針を整備する際の基礎としてこのBSSを採用することが推奨されている点である。BSSの利用をIAEAの内部利用に留めないことを意図して、BSSはIAEA安全基準シリーズの1冊として公刊された。その後、放射線防護に関するその時々<sup>1)</sup>の知見を採用しながら定期的に見直しが行われ、1996年の最新版<sup>2)</sup>に至っている。

BSSは放射線防護に関する国内法規が未整備の加盟国にとっては、国内安全体制の整備の基盤となる。一方、加盟国は、国内法令をBSSに合わせる義務を課せられることはないし、BSSは現行の国内法令の規定との置

き換えを意図されたものではないとの立場がとられている。国内法規が整備されている加盟国にとっては、BSSは、自国の放射線安全体制を検証する際の規範にもなり得る。

## 3. 安全基準の科学的根拠

IAEAのもつ権限の下でBSSの制度上の役割は上述のように規定されている。しかし、放射線安全基準は実際に放射線防護の機能、つまり人の放射線リスクをコントロールするという実際の機能を有していなければ意味がない。そこでBSSには放射線リスクやそのコントロールのための科学的知見による裏付けが必要とされる。IAEA自身もつ科学的知見に加えて、BSSの科学的な根拠作りに2つの機関が重要な役割を果たしている。

国際連合の原子放射線の影響に関する科学委員会(UNSCEAR)は、放射線の健康影響に関する情報や自然界の放射線源と原子力施設を含めた人工放射線源による人の被ばくレベルに関する情報の集大成を継続的に行っている。これら放射線影響に関する基礎的な情報はBSSの内容に反映されている。

もうひとつは、国際放射線防護委員会(ICRP)である。IAEAの放射線安全基準の重要な性格は初版BSSに述べられているように、基準の根拠を、可能な限りICRPの放射線防護に関する知見に置いていることである。たとえば、初版BSSはICRPが1958年から59年にかけて示した職業人の最大許容集積線量や最大許容空気中・水中濃度に関する勧告などを導入して基準を制定している。これらの基準はどちらもその後廃止され、それから約35年後の最新版BSSはICRPが1990年に行った勧告<sup>2)</sup>に基づいている。

ICRPとIAEAとの関係は、ICRPが勧告する放射線防護の原理原則や考え方を、IAEAが放射線防護の実務に適用できる基準に具体化する、という関係になっているともいえよう。これは文章表現にも現れている。ICRPの文章が、「……とすればよかろう」とか「……と考える」とかの表現であるのに対し、BSSの文章は、「……ねばならない」とか「……とする」とかの法令的表現になっている。また、ICRPが具体的な数値基準を示している場合であっても、BSSではその数値基準の適用の仕方が、より具体的になっている例もある。たとえば、原子力施設周辺の住民などの公衆の被ばくについて、放射線の排気や排水を管理することによって、超えることにはならないようにしなければならぬ線量(線量限度)に関して比較してみる。ICRPは「線量限度は1年間に1ミリシーベルト(mSv)。特殊な状況では、5年間にわたる平均が年あたり1mSvを超えなければ、ある1年間にこれよりも高い線量が許されることがありうる」としているのに対して、BSSは「1年間に1mSv。特殊な状況では、5年間にわたる平均が年あたり1mSvを超えなければ、1年間につき5mSv」として、「許されうる高い線量」が具

体的に示されている。

#### 4. 安全基準の国際性の確保

BSSを含め、IAEA 安全基準の国際性はどのようにして生まれ、保証されているのであろうか。

安全基準には、IAEA 加盟各国の放射線安全に関する知識と経験が反映される仕組みが整えられている。これによって IAEA 安全基準の国際性が保証される。

IAEA の安全基準文書作成に係る組織を第 1 図に示す。IAEA 内に原子力安全、放射線安全、輸送安全、廃棄物安全の 4 分野の安全基準をそれぞれ専門的に検討する 4 つの委員会 (NUSSC, RASSC, TRANSSC および WASSC) が設置されている。それぞれの委員会は、選抜された加盟国の専門知識をもつ政府職員から構成されていて、年 2 回定期的に、通常はウィーンの IAEA 本部に招集される。全委員会を統括する安全基準委員会 (CSS) が最終検討結果を事務局長に勧告する役割を担っている。これら委員会の事務局は、原子力安全およびセキュリティ局 (Department of Nuclear Safety and Security) である。

安全基準草稿の作成から基準文書出版まではおおむね次のような過程をとる。まず、事務局が安全基準文書の作成計画を立て、担当する分野の委員会と CSS の承認を受ける。次に事務局は、文書草稿作成のために、内容の関連性や先進性の観点からあらかじめ選定した IAEA 加盟国に照会して専門家を選出し、少人数のコンサルタント会合を招集する。場合によってはさらに広範囲の加盟国に照会して各国から選出された専門家からなる技術会合を開き、コンサルタントの草稿の詳細な検討を行う。技術会合は参加各国の固有な事情が斟酌される機会となり、この段階で一部の加盟国の知見や意見が基準文書案に盛り込まれることになる。技術会合を踏まえて事

務局が修正した基準文書案は、各分野の委員会に諮られる。各委員会の段階でも参加国の意見が反映される。各国で施行されている法令や原子力開発利用計画の都合などの観点から、基準案の本質的な修正が要求されることもあり、事務局差し戻しになるものもある。委員会で承認されれば IAEA 全加盟国に草稿が提示され、すべての加盟国は意見を述べる機会を与えられ、広範な各国事情が修正意見などとして寄せられることになる。CSS でのレビューの後、理事会で承認を受けて出版となる。

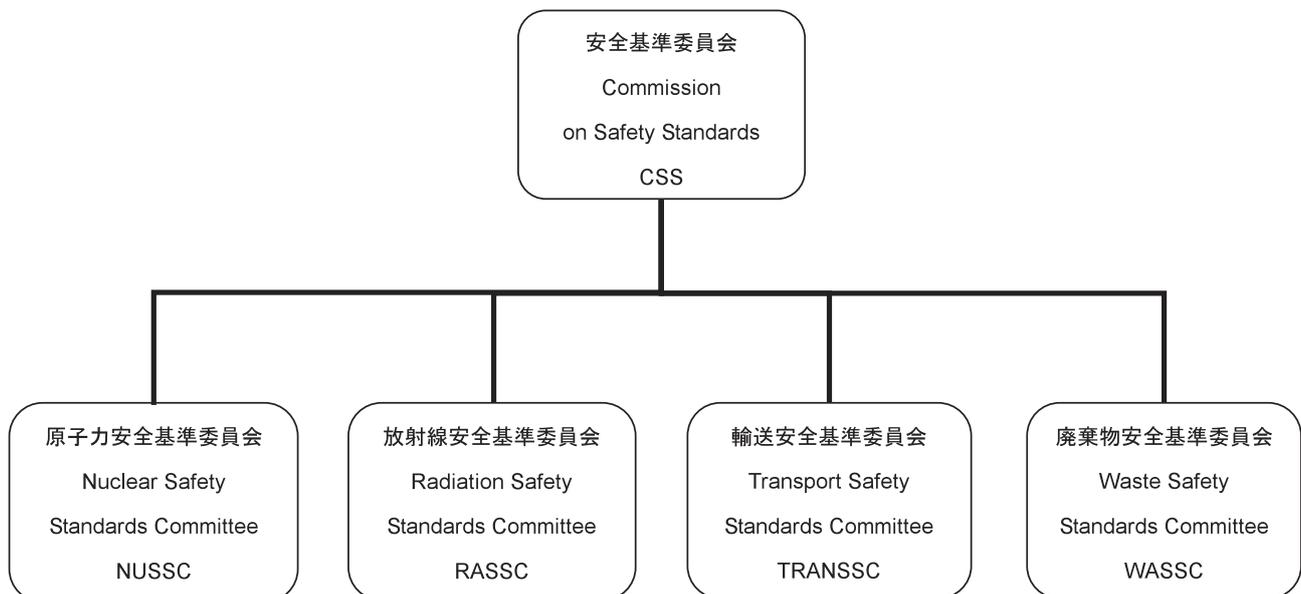
このような過程で各国の事情が盛り込まれることにより、安全基準は国際的なコンセンサスが得られたものとなっていく。

#### 5. 安全基準の体系化

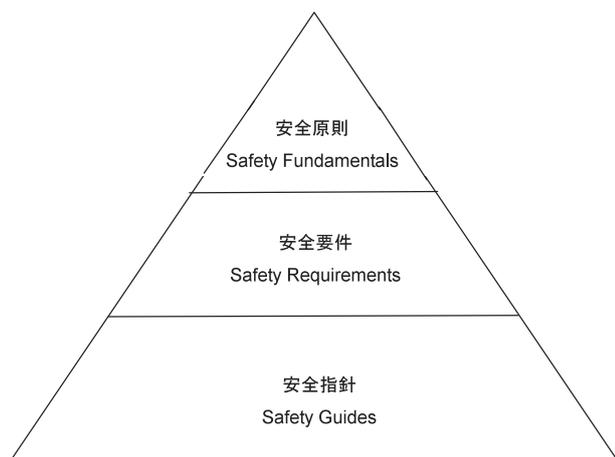
BSS のほかに、放射性同位元素の安全取扱、放射線診断、放射性廃棄物管理、加速器運転など個別の分野で放射線防護に関する基準や指針がさらに必要になり、IAEA はこれらを同時進行で作成していった。やがてこれら多くの文書の内容の相互の整合性や文書間の関係を整理する必要性が生じ、1990年代中頃から、文書作成に関わる体制の大改造が行われた。その結果のうち最も重要なのは、安全基準の体系化が図られたことである。

IAEA 安全基準シリーズという出版体系が設けられた。このシリーズは、原子力安全、放射線安全、輸送安全および廃棄物安全、これら分野のいくつかまたは全体に関係する総合安全を取り扱う。この出版体系によって、放射線リスクに対する安全のすべての領域が網羅され得ることとなった。出版される各文書は、第 2 図のような階層構造をなす体系に属するものとされた。

安全原則 (Safety Fundamentals) の文書は、階層構造の最上位のカテゴリーに属し、平和目的の原子力開発利用の基本となる目標、構想および原理を提示する。安全



第 1 図 IAEA 安全基準文書作成に係る組織



第2図 IAEA 安全基準文書の体系

原則は安全基準シリーズのすべての出版物の出発点となる文書である。

安全要件(Safety Requirements)の文書は、原子力・放射線利用の特定の領域(放射線源の安全取扱とか放射性廃棄物管理とか)において安全確保のために満たさなければならない基本的な要件を提示する。安全原則に提示された基本目標、構想および原理によってそれらの要件のあり方が定められる。安全要件の文書で使われている文体は「ねばならない文(shall文)」で表現され、法令文書の文体と調和するようになっている。これは、安全要件を、IAEA加盟国がその裁量で国内法規の中に採用する可能性があるからである。BSSは安全要件に属する文書である。

安全指針(Safety Guides)の文書は、各国の経験に基づく国際的コンセンサスを踏まえて、安全要件の遵守を徹底する手段に関しての勧告を提示する。これらの勧告は「すべきである文(should文)」で表現されている。安全指針は安全要件のような法的な文体ではなく、説明に多くの紙幅が費やされ、背景情報も充実している。

このような階層体系によって、文書間の一貫性、整合性が確保されることとなった。放射線安全確保の実務に直結する安全指針文書が順次、適切に作成されるシステムが整った。

## 6. わが国法令との関係

2000年に実施された放射線障害防止法令改正の基となった放射線審議会報告書の標題「ICRP 1990年勧告の国内制度などへの取入れについて」が示すように、わが国の法令はIAEAの基準を採用するというより、ICRPの勧告する原理に遡って法令整備の基礎としてきた。例外的に、もっぱらIAEAの基準を国内法令に取り入れてきたのは放射性物質の輸送に関する安全基準である。これは放射性物質の国際輸送において安全基準の国際的整合性の維持が必須であったためである。たとえば、海上輸送については、2004年以降、関連国は国際基準そのままの法令取り入れが強制されている。

同様に、国際的な整合性の観点からIAEAの基準が取り入れられたものとして、2005年に改正された放射線障害防止法の告示における放射性同位元素の「規制対象下限値」がある。これは、法令上の規制を受ける放射性同位元素の下限の濃度と数量を核種ごとに規定するもので、いわば、「法令上、放射性同位元素とは何か」を定義する数値基準である。放射線審議会での多年にわたる調査検討の末に出された報告書に基づき、BSSが提示している「免除レベル」が下限数量に取り入れられた。告示はBSS免除レベルの数値を基本的には採用しながら、日本での適用に併せて評価を行い、化学形が異なるもの(一酸化物、二酸化物等)に含まれる $^{14}\text{C}$ 、天然の組成を人為的に変えていないサマリウム中の $^{147}\text{Sm}$ など数種の核種の数値は別途定めている。

## 7. 今後の展開

2007年にはICRPの基本勧告の改定が行われたので、IAEAの安全基準類の見直しも検討され、計画が立てられている。IAEAの放射線安全基準は国内法規と補完し合いながら、引き続き各国と国際社会の放射線安全に関する基礎であり続けるであろう。

本文中で言及したBSSなどIAEAの放射線安全基準類は、以下のサイトから入手できる。

<http://www.iaea.org/Publications/index.html>

(原子力機構・山本英明)

## III. クリアランスに関連する放射線安全基準

### 1. クリアランスとは

原子力発電、放射性同位元素の利用の後には、放射性物質を含んだ廃棄物が発生してくる。このような放射性物質を含んだものの中には、放射線防護の観点から管理すべきものが存在している。その一方で、含まれている放射性物質の量のごくわずかで、そのものを処分、再利用または再使用したとしても、それらの行為に関与するものの被ばく線量が無視できるような状況も存在する。このような状況までも厳重に管理をすることは、管理に利用可能な経済的・人的資源が有限であることから、必ずしも合理的であるとはいえない。

そのため、このようなものを規制管理の対象から取り除くための概念、基準などについて、国際原子力機関(IAEA)などにおいて検討されてきた。このような概念およびその用語は、検討が進むに従って変化してきており、1996年以降は、すでに規制の対象となっているものを放射線防護の観点からの規制を解除することを指して、クリアランス(clearance)という用語が使用されるようになった。また、その際の判断基準として使用される放射性核種の濃度などをクリアランスレベルと呼んでいる。

クリアランスレベルについては、国際機関や各国の規

制機関において近年検討が行われてきている<sup>例え、3,4)</sup>。クリアランスレベルを算出するための基本的な考え方は共通であり、クリアランスされたものを処分または再利用することにより発生することが想定される被ばく事象に対して、線量規準(個人線量としては、無視できるリスクレベルに相当する10  $\mu$ Sv/年を使用すること)<sup>a)</sup>が一般的に相当する放射能濃度を算出することにより求めている。

クリアランスしたものは、有用資源として再生利用または通常の産業廃棄物として処分することが可能となる。したがって、クリアランス制度を導入することにより、合理的な放射性廃棄物管理が可能となるとともに、資源の有効利用および放射性廃棄物処分場の適正な運用が可能となる。このため、今後本格化する原子力施設の廃止措置に向けて、国内外においてクリアランスに関する検討が実施されてきている。本章においては、国内外におけるクリアランスの最近の動向について概説する。

## 2. クリアランスに関連する国内動向

わが国におけるクリアランスに関する検討は、原子力安全委員会がクリアランスを実施する際の判断基準となるクリアランスレベルの設定および検認の基本的考え方に関する検討を、経済産業省原子力安全・保安院および文部科学省がクリアランスの規制制度に関する検討を、また、日本原子力学会がクリアランスレベルを評価・判断するための手法の標準化を実施してきた。第2表に、これまでに国内で取りまとめられたクリアランス関連の報告書を示す。

これらの検討結果を受けて、2005年に、「原子炉等規制法」にクリアランス制度が導入された。また、同年に、クリアランスを実施するための規則が、経済産業省令と文部科学省令として、それぞれ定められた。

### (1) 原子炉に関するクリアランス

日本原子力発電(株)は、2006年6月に、東海発電所(GCR, 166 MWe)の原子炉建屋内の機器の解体撤去に伴って発生する金属をクリアランスするための放射能濃度の評価・決定方法に関する認可申請を行った<sup>b)</sup>。本認可申請によると、日本原子力発電(株)は、これらの金属を形状別、汚染状況(2次の汚染、放射化汚染または両者の混在)が同様と推定できる系統・領域別に分別した上で金属性のボックスに1トン以内となるように収納した上で、放射能を測定するとしている。放射能を評価する放射性核種としては、原子力安全委員会が選定した放射性核種(<sup>3</sup>H, <sup>54</sup>Mn, <sup>60</sup>Co, <sup>90</sup>Sr, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>152</sup>Eu, <sup>154</sup>Eu, <sup>239</sup>Pu, <sup>241</sup>Am)に加えて、東海発電所の汚染状況などを考慮して<sup>14</sup>Cが追加されている。これら放射性核種のうち、 $\gamma$ 線を放出する核種の放射能濃度の決定方法については、ボックス外部からバスケット型専用測定装置で直接全 $\gamma$ 線を測定し、全 $\gamma$ 線グループ測定法<sup>c)</sup>により評価することとしている。一方、 $\gamma$ 線を放出しない放射性核種は、

サンプル分析結果に基づく平均放射能濃度法<sup>d)</sup>、または、専用測定装置の測定結果およびサンプル分析結果に基づく放射性核種組成比法<sup>e)</sup>により放射能濃度を評価するとしている。

原子力安全・保安院では、認可申請書について内容の検討を行った結果、法令に定める基準に適合していると判断し、2006年9月に認可を与えた。日本原子力発電(株)では、認可された放射能濃度の測定・評価方法を用いて、クリアランス対象物の放射能濃度を測定し、2007年4月に約107トン分のクリアランスの認可申請を行っている。

### (2) ウランおよび TRU 取扱施設に関するクリアランス

原子力安全委員会は、2006年9月から、ウランおよびTRU取扱施設から発生する固体状物質のクリアランスレベルに関する検討を行っている。本稿執筆時点では最終的な結論は得られていないが、現状、以下のような方針で検討が行われている。

安全指針RS-G-1.7<sup>3)</sup>の考え方に従って、人工放射性核種のクリアランスレベルの設定にあたっては、従来のクリアランスレベルの設定と同様に、規準線量(実効線量10  $\mu$ Sv/年と皮膚の組織線量50 mSv/年)に相当する放射能濃度を想定される被ばくシナリオに基づき算出することとしている。一方、自然放射性核種については、土壤中に含まれるウランの放射能濃度を基に検討することとしている。

また、日本原子力学会は、2007年5月に、ウラン・TRU取扱施設クリアランスレベル検認分科会を設置して、検認手法の標準化の検討を開始した。

<sup>a)</sup>IAEA安全指針RS G 1.7<sup>3)</sup>では、クリアランスレベルの算出にあたって、発生頻度の小さなシナリオの場合で、低確率のパラメータを用いてクリアランスレベルを算出する場合の個人線量としては、1 mSv/年を使用している。また、自然起源の放射性核種については、線量規準を使用せずに、環境のバックグラウンドレベルとの比較で設定している。

<sup>b)</sup>わが国のクリアランス制度では、2段階の国の認可を必要としており、(1)第1段階としてクリアランス対象物の放射能濃度を「測定・判断するための方法」の認可を、(2)第2段階として認可を受けた測定・判断方法によって得られた記録についての確認を受ける必要がある。

<sup>c)</sup>「全 $\gamma$ 線グループ測定法」とは、 $\gamma$ 線検出用測定器により対象物が放出するすべての $\gamma$ 線の量を計測する方法<sup>3)</sup>。

<sup>d)</sup>「平均放射能濃度法」とは、代表サンプルの放射化学分析により得られる平均的な放射能濃度を用いて対象物の放射能濃度を決定する方法<sup>3)</sup>。

<sup>e)</sup>「放射性核種組成比法」とは、放射線測定器による測定が可能な放射性核種の放射能濃度と放射線測定器による測定が困難な放射性核種との間に相関関係が存在する場合、放射線測定結果と個々の放射性核種の放射能濃度の比率(核種組成比)を用いて放射線測定器による測定が困難な放射性核種の放射能濃度を決定する方法<sup>3)</sup>。

第2表 クリアランス関連の報告書一覧

機関名	発行年	報告書の表題
原子力安全委員会	1999	主な原子炉施設におけるクリアランスレベル
	2001	重水炉, 高速炉におけるクリアランスレベル 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
	2003	核燃料使用施設(照射済燃料及び材料を取り扱う施設)におけるクリアランスレベルについて
	2004	原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について
原子力安全・保安院	2004	原子力施設におけるクリアランス制度の整備について
文部科学省	2005	試験研究用原子炉施設等の安全規制のあり方について
日本原子力学会	2005	日本原子力学会標準「クリアランスの判断方法：2005」

### (3) 放射性同位元素使用施設および加速器に関するクリアランス

文部科学省に設置された「放射線安全規制検討会」は、(1)短半減期放射性核種のみを含んだ廃棄物の減衰保管によるクリアランス制度と(2)放射線発生装置(加速器)の解体物をクリアランスするための技術的な検討結果を、中間報告書<sup>6)</sup>として以下のように取りまとめている。

(a) 短半減期核種によってのみ汚染された廃棄物の減衰保管にあたっては、

- ・廃棄物に含まれる短半減期核種(半減期90日未満が適当)の放射能が、適切な減衰保管期間(3年以内が適当)を経ることにより十分に減衰し、クリアランスレベルを下回ること<sup>7)</sup>
- ・短半減期以外の核種の混入がないことが、施設で担保されていること<sup>8)</sup>
- ・事業者においては品質保証活動を確実にするとともに、国が適切に関与する制度とすること

が、重要であるとしている。引き続き、ニーズや制度の成立性についての検討を行う必要があるとしている。

(b) 加速器から発生するクリアランス対象物の汚染形態は、放射化による汚染であることから、クリアランスレベル以下であることの測定・判断方法として、先行事例である、原子炉施設の放射化物に係る事前評価方法の大・中規模の加速器への適用性について検討したが、加速器は、放射化計算用のモデル化、照射履歴の設定などを正確に行うことが困難であることから、原子炉施設の事前評価方法をそのまま加速器に適用することはできないことが確認され

<sup>6)</sup>発生した廃棄物の放射能濃度を測定して判断するのではなく、国が定めた年間最大使用数量を超えない範囲内でのみ使用することを認めることにより判断することが妥当であるとしている。

<sup>7)</sup>短半減期核種以外の核種の混入防止措置として、ハード面とソフト面の両方で担保することが求められており、ハード面としては、(a)短半減期のみを使用する事業所であること、(b)短半減期専用の「使用施設」、「廃棄施設」等を設けることが、例示されている。

ている。このため、今後、具体的なクリアランスの判断方法に係る検討を引き続き実施する必要があるとしている。

### 3. クリアランスに関連する国際動向

諸外国のクリアランスに関する動向を見た場合に、慣習的に実施されてきたクリアランスをIAEAの考え方に従って見直すための検討が行われている。本稿では、そのうちの3ヶ国の事例を以下に述べる。

#### (1) 米国<sup>7,8)</sup>

米国原子力規制委員会(NRC)は、2005年3月31日付けで、NRCの委員宛に、放射能に僅かに汚染をした固体廃棄物の処分(disposition: 実体はクリアランス)に関する規則案を提出した。しかしながら、NRC委員は、2005年6月1日付けで、

- ・現行のNRC規則は、公衆の安全を十分確保しており、直ちに改定を行う必要がないこと
- ・新規規則を必要とするような、大量の廃棄物が発生する原子炉の解体開始時期が遅くなると予想されていること

・施設のセキュリティや新規の原子力発電所の許可申請を含む、早期に実施すべき案件が他にあることを理由に、規則案を否決し、現行のケースバイケースの規制を維持することとした。

#### (2) カナダ

カナダでは現在、ケースバイケースの判断に基づきクリアランスが実施されている。カナダ原子力安全委員会は、国際的なクリアランスに関する方法論との整合性を図るために規則改定を計画している。カナダ原子力安全委員会が取りまとめた規制基準(S-307)<sup>9)</sup>には、自然放射性核種と人工放射性核種に対する濃度基準値が提案されているが、人工放射性核種については、IAEAの安全指針RS-G-1.7<sup>10)</sup>で提案されているクリアランスレベルが採用されている。一方、自然放射性核種については、第3表に示すように、安全指針RS-G-1.7で提案されている濃度基準値に加えて、天然Thに関する基準値が追加されている。

第3表 カナダ原子力安全委員会が提案している自然起源放射性核種の濃度基準値

放射性核種	濃度基準値(Bq/g)
$^{40}\text{K}$	10 (IAEA RS-G-1.7と同じ)
天然 Th	0.3 (カナダ AEC の定めた値)
$^{238}\text{U}$ , $^{234}\text{Th}$ , $^{234\text{m}}\text{Pa}$ , $^{234}\text{U}$	1 (IAEA RS-G-1.7と同じ)

### (3) スウェーデン<sup>10)</sup>

スウェーデン放射線防護庁は、現行のクリアランスに関する規則<sup>11)</sup>の見直しを次の理由により行っている。

- ・現行のクリアランスレベルが設定された時代に比べて、通常の廃棄物の管理方法が大きく変わってきている。
- ・現行の規則は原子力施設の解体から発生する物質をもともと意図していたわけではない。
- ・現在、スウェーデンの非原子力活動のためのクリアランスに関する規則がない。
- ・EC<sup>4)</sup>とIAEA<sup>3)</sup>の提案している国際的な勧告と調和する必要があるため。

新規則で検討されているクリアランスレベルの概要は、以下のとおりである。

- ・再使用、再利用または廃棄物処理対象物質：  
質量濃度については、安全指針 RS-G-1.7<sup>3)</sup>とEC<sup>4)</sup>で提案されているクリアランスレベルのうち小さな値。表面密度については、現行の基準値( $\alpha$ : 4 kBq/m<sup>2</sup>,  $\beta$ ・ $\gamma$ : 40 kBq/m<sup>2</sup>)からの変更なし。
- ・建物の再使用と解体：  
EC<sup>12)</sup>で提案されているクリアランスレベルの値を採用。ただし、追加の基準として、 $\beta$ ・ $\gamma$ 核種と $\alpha$ 核種の放射能総量は、それぞれ1 kBqと0.1 kBqを超えてはいけないとしている。

### 4. 今後の展開

わが国においては、法令整備が完了した原子炉施設を対象にクリアランスの放射能濃度を測定評価するための方法に関する認可申請が行われ、すでにクリアランスが実施された。また、法整備が完了していないその他の原子力施設および放射線障害防止法規制対象施設に対するクリアランスレベル、クリアランス制度の検討が、関係機関により鋭意進められている。

クリアランスの実施にあたっては、制度面の整備に加えて、クリアランスの社会的受容性も重要な要素である。EU加盟国に対して実施した2006年のアンケート調査結果<sup>13)</sup>において、「原子力施設で使用されていた非汚染物の再利用を受け入れますか」という問いに対しては、EU 25カ国の平均では、賛成14%とやや賛成33%、反対21%とやや反対23%となっており、賛成がやや多いが、賛否が拮抗している。また、「使用済燃料管理および放射性廃棄物管理の安全に関する条約」第2回検討会合のレビュー会合においても、クリアランス制度の導入

にあたっては、社会的受容性の確保が重要であるとされている<sup>14)</sup>。

社会的受容性の問題については、各国におけるクリアランスの着実な運用の実績を積み重ねることにより、一般の国民にとってクリアランスが安全に実施できるという安心感を得ることが重要であると考えられる。そのためにも、クリアランスの経験に関する情報共有は有益である。他方、クリアランスの失敗事例は、クリアランス制度自体の信頼性を根幹から損ねる可能性もあることから、慎重な制度の運用が肝要である。

(原子力機構・大越 実)

## IV. 自然起源の放射性物質(NORM)に関する放射線安全基準

### 1. 自然起源の放射性物質(NORM)とは

国際放射線防護委員会(ICRP)の1990年勧告(Publication 60)<sup>2)</sup>において、従来、明確に防護の対象としていなかった自然放射線による作業員の被ばくの一部について、職業被ばくとして管理する必要性が示された。それらはラドン、宇宙線などによる被ばくに加えて、「通常は放射性とはみなされないが、微量の自然放射性核種を有意に含む物質を扱う作業およびその物質の貯蔵に伴う被ばく」が示された。それを受けて、自然起源の放射性物質の利用に伴う被ばくのうち、レベルの高いものについては放射線防護の問題になる。NORMとは、自然起源の放射性物質(Naturally Occurring Radioactive Materials)の訳語で、自然に生成した放射性核種を含む物質を意味する。このほか、「自然放射性物質」(通常、自然のままに存在する放射性核種を含む物質を示す)という用語があるが、自然のままに存在する物質については、放射線防護の対象として制御することが困難であるために、そのレベルが極端に高くなければ「除外」(24ページ参照)の対象として規制から外される。NORMのうち、人工的に加工を加えて濃度を高めたTENORM(Technologically Enhanced NORM)の利用は、時として人への被ばくが問題となる。本稿では、これらの放射線防護の観点で問題となるNORMについての利用実態とその規制に関する検討状況について解説する。

### 2. 自然起源の放射性物質(NORM)の利用実態

NORMの中で被ばくが問題となる核種は、半減期の条件で考えると、地球誕生以来、現在までの約 $10^9$ 年以上の長さで有意な放射能が残存し、しかも地球上に存在する量で放射能が無視できるほど小さくないような $10^{11}$ 年程度以下の半減期の範囲に限られる。この条件で、鉍物、鉍油、岩石、土壌などのサンプル中に存在して、測定が可能な核種は、第4表に示すように、ウラン系列、トリウム系列、アクチニウム系列、 $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{138}\text{La}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{176}\text{Lu}$ などである。第4表右端欄のBSS免除レベルは、

第4表 通常環境で測定が可能と考えられる自然放射性核種

核種名	壊変	エネルギー (MeV) ( )内放出割合	半減期	天然 存在比 (%)	単体の 比放射能 (Bq/g)	BSS 免除 レベル (Bq/g)
<sup>40</sup> K	$\beta$	1.314(89.3) $\gamma$ :1.46(10.7)	$1.28 \times 10^9$ yr	0.0117	30.3	100
<sup>87</sup> Rb	$\beta$	0.273(100)	$4.75 \times 10^{10}$ yr	27.85	892	10,000
<sup>138</sup> La	$\beta$	0.254(32.9) $\gamma$ :0.7884(33) $\gamma$ :1.4356(67)	$1.35 \times 10^{11}$ yr	0.089	0.632	10
<sup>147</sup> Sm	$\alpha$	2.232(100)	$1.07 \times 10^{11}$ yr	15.07	127	10
<sup>176</sup> Lu	$\beta$	0.42(100) $\gamma$ :0.306(94.6) $\gamma$ :0.201(78.4)	$3 \times 10^{10}$ yr	2.6	65.2	100
<sup>232</sup> Th	$\alpha$	4.013(77), 3.954(23)	$1.41 \times 10^{10}$ yr	100	4,060	10
<sup>232</sup> Th 系列	<sup>232</sup> Th, <sup>228</sup> Ra, <sup>228</sup> Ac, <sup>228</sup> Th, <sup>224</sup> Ra, <sup>220</sup> Rn, <sup>216</sup> Po, <sup>212</sup> Pb, <sup>212</sup> Bi, <sup>208</sup> Tl, <sup>212</sup> Po					1
<sup>235</sup> U	$\alpha$	4.40(57), 4.368(12.3) $\gamma$ :0.186(54) $\gamma$ :0.144(10.5)	$7.04 \times 10^8$ yr	0.72	576	10
<sup>238</sup> U	$\alpha$	4.197(77), 4.15(23)	$4.47 \times 10^9$ yr	99.274	12,400	10
<sup>238</sup> U 系列	<sup>238</sup> U, <sup>234</sup> Th, <sup>234m</sup> Pa, <sup>234</sup> U, <sup>230</sup> Th, <sup>226</sup> Ra, <sup>222</sup> Rn, <sup>218</sup> Po, <sup>214</sup> Pb, <sup>214</sup> Bi, <sup>214</sup> Po, <sup>210</sup> Pb, <sup>210</sup> Bi, <sup>210</sup> Po					1
<sup>220</sup> Rn	$\alpha$	6.288(99.93)	55.6 s	—	—	—
<sup>222</sup> Rn	$\alpha$	5.4895(99.9)	3.824 d	—	—	—

国際原子力機関(IAEA)の国際基本安全基準(International Basic Safety Standards: BSS)<sup>1)</sup>に規定されている免除レベルを示す。この免除レベルはその核種を含む1トンのオーダーまでの物質について、作業員や公衆の被ばくの最大値が10  $\mu$ Sv/年に相当するレベルである。約1トン以上の物質の使用や貯蔵の場合は、欧州委員会(EC)の自然放射線源の規制免除に関する報告書(RP-122)<sup>15)</sup>では、線量規準を300  $\mu$ Sv/年で算出した例があり、これでは自然のU, Thについては0.5 Bq/g, <sup>40</sup>Kについては5 Bq/gとしている。またIAEAの安全指針(RS-G-1.7)<sup>3)</sup>では、この自然放射性核種に対する規制から免除するレベルは10  $\mu$ Sv/年や300  $\mu$ Sv/年のような線量規準に基づいて決めたわけではなく、除外の概念を適用して、一般環境レベルを考慮して決めた濃度レベルを示している。これでは、自然放射性物質を放射線防護から除外する濃度を除外レベルと呼び、U, Thについては1 Bq/g, <sup>40</sup>Kについては10 Bq/gを示している。これらを含め、産業利用や一般消費財の利用において問題となるのは、ウラン系列、トリウム系列、アクチニウム系列、<sup>40</sup>K, <sup>147</sup>Smである。これらに加えて、空気中の<sup>222</sup>Rn, <sup>220</sup>Rnやそれらの壊変生成物も重要な被ばく源となる。

主なNORMの利用実態は、国連科学委員会(UNSCEAR)の1977年から2000年の報告書<sup>16)</sup>に技術的に

高められた自然放射線源について、また、欧州委員会の報告書(RP-122)<sup>15)</sup>の中にも整理されている。これらの報告書で取り上げられているのは、建材(軽石、花崗岩、明ばん頁岩、石膏、フライアッシュ、泥炭土)、リン酸肥料(リン石膏)、金属鉱石(スズ、タンタル石など)、ウラン採掘、ジルコン砂、化石燃料(石油、天然ガス、石炭灰)、トリウム(溶接棒、マントル)、チタン顔料、ラジウム(蛍光塗料)などの生産、貯蔵、利用、廃棄などで多岐にわたっている。

わが国での利用については、その実態に関する研究調査は少ない。文部科学省が調査した結果として放射線審議会基本部会でまとめた報告書<sup>17)</sup>によると、モナザイト(健康用具、塗料、希土類)、リン鉱石(リン安、石膏、リン酸肥料)、チタン鉱石(酸化チタン、石膏)、バストネサイト(研磨材)、ジルコン(耐火物)、サマリウム(磁石)、石炭(フライアッシュ)などが産業用原材料として用いられている。それらのうち、比較的放射線核種を多く含む、モナザイト、バストネサイト、ジルコンについて、上述の報告書に示されている輸入量や利用の実態、放射能濃度について第5表に抜粋を示す。わが国では、モナザイトについて、家庭用のラドン温泉器、サポータや衣類にモナザイトを練り込んだ健康用品が一般消費財として普及している。被ばく線量としては、これらの

第5表 文部科学省によるウラン、トリウムを含む鉱石の利用実態の調査結果

鉱物名	年間輸入量 (産出国)	製品 (副産物)	工 程	核種分析濃度* (Bq/g)		
				試料名	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th
モナザイト	過去に約数十トン (ベトナム, マレーシア)	温泉浴素, 塗料	砂状のモナザイトを粉 砕処理し, 健康用品, 塗料および温泉浴素の 原料に使用	モナザイト	40程度	300程度
バストネサイト	約2,000~3,000トン (米国)	研磨剤	バストネサイトを湿式 の粉碎機で粉碎し, こ の後, 汙過, 乾燥, 焙 焼, 粉碎, 分級され, 研磨材生成 研磨材	バストネサイト 原料	1.1	5.8
				汙過フィルタ 分離固体分	1.0	4.9
				研磨材製品	1.4	7.1
ジルコン	約70,000トン (南アフリカ, オーストラリアな ど)	耐火物	ジルコンを秤量し, 混 練, 成形, 乾燥, 焼成 の後, 耐火レンガ生成	原料 (ジルコンサンド)	4.2	0.77
				耐火物レンガ (ジルコン100%)	3.5	0.81
				廃棄物一時置場 集塵	0.17	0.037

\* : 鉱石ごとの調査で比較的放射能濃度が高い試料を代表して記載した。(文部科学省原子力安全課原子力規制室調査2003年)

産業における製造過程や廃棄における作業者の被ばくと、これらの産業で生産される一般消費財の利用による公衆の被ばくが考えられる。この報告書では、わが国でのこれらのNORMの産業利用における被ばく線量は年間0.4 mSv以下であり、一般消費財の利用に伴う一般公衆の作業者の被ばく線量は年間0.1 mSv以下としている。ただし、これらの調査は、代表的な場所や代表的な製品における調査の結果であり、NORMの利用すべてを示すものはない。その他の一般産業用原材料の輸入量と放射能濃度の文献値<sup>18)</sup>について、第6表に示す。放射能濃度については、多くの論文の値から、その代表的な値を推定して示した。これらの論文では、濃度が高い地域の物質の特異性を示すために、濃度の高いものを選択的に収集している場合も含まれているので、これらの値を利用する場合には注意が必要である。

### 3. 自然起源の放射性物質(NORM)の規制の現状

従来からほとんどのNORMは、規制の対象外であった。上述のとおり国際放射線防護委員会(ICRP)の1990年勧告<sup>2)</sup>で、微量の自然放射性物質を扱う操業や貯蔵における作業者の被ばくであっても、有意なものは職業被ばくとして管理することを勧告している。しかし、NORMを人工放射線源と同様の基準で規制することは困難で、欧州委員会の報告書(RP-122)<sup>15)</sup>においては、人工放射線源の規制免除のための線量規準である数10 μSv/年とは異なる規準である300 μSv/年を利用することを提案している。

前述のように、IAEAの安全指針(RS-G-1.7)<sup>3)</sup>では、

一般環境レベルを考慮して決めた除外レベルが示され、これに基づいて、一部のEU加盟国などでは、規制が始められているが、そのレベルについては、統一的なものではなく、規制の方法も国によって異なっている。

わが国においては、現行の原子炉等規制法では、核原料物質についての使用の届出が必要ない濃度の限度はウラン、トリウムについて370 Bq/gであるが、この安全指針(RS-G-1.7)<sup>3)</sup>によると、自然起源の放射性核種について<sup>40</sup>Kが10 Bq/g、それ以外のウラン、トリウムなどすべての自然放射性核種は1 Bq/gとしている。今後、多くの国でこの基準が、NORMの免除レベルとして取り入れられることが予想される。

わが国では、放射線審議会基本部会でNORMに関する免除レベルについて検討され<sup>17)</sup>、すべて一律の規制ではなく、その物質の利用の実態の人為性や制御の可能性に基づき、第7表に示すような8つのカテゴリーに分類し、それぞれに対応した免除レベルや規制方法をとる方針を示した。ここで示された規制免除の方針は、同じ核種であっても、利用目的や方法が異なる物質ごとに、規制の範囲や規制基準が異なることを示している。この表の第3欄は、区分された物質による被ばくが、除外、行為と介入のいずれに該当するかについての考え方を示している。除外とは、制御できず、規制の対象としてなじまない被ばくを、規制の対象にしないことをいう。行為は、個人の被ばくや被ばくする個人の数を増やすなど、全般的に放射線被ばくを増やす、人間の活動のことであり、一般に、行為に関連する線源で、免除レベルを超え

第6表 主な産業用原材料の輸入量と自然放射性核種の濃度(文献値)

物質の種類	輸入量 (t)	<sup>238</sup> U (Bq/g)	<sup>232</sup> Th (Bq/g)	<sup>226</sup> Ra (Bq/g)	<sup>40</sup> K (Bq/g)
Fe 鉱石	132,284,755	0.47	0.16		0.032
Ni 鉱石	4,756,702				
Cu 鉱石	4,320,036	0.60	0.034		0.26
Al 鉱石	1,814,123	0.15	0.11	0.078	
Mn 鉱石	1,326,223				
Zn 鉱石	1,043,525				
P 鉱石	774,297	1.6	0.16	1.5	0.10
Ti 鉱石	509,797	190	0.59	0.35	0.33
Pb 鉱石	171,606				
水晶	154,554	0.025	0.029	0.0015	
Cr 鉱石	104,004				
Zr 鉱石	78,020	5.5	4.9	3.6	0.12
Mo 鉱石	40,406				
石炭	10,099,089	0.16	0.075	0.30	0.31
原油	4,733,462	350	180	73	1.3
石膏	1,960,178	0.097	0.022	0.38	0.18
セメント	951,051	0.037	0.027	0.29	0.31
棒状素材(スラグ), 金属垢(ドロス), 缶石	566,079	1.8	0.022	540	
リン酸肥料	166,634	0.30	0.48	0.070	
泥炭	136,666	0.012	0.0030	0.0075	0.017
粘土	118,390	1.9	2.6	4.5	0.47
褐炭	28,701	0.074	0.024	0.16	0.059

放射線医学総合研究所規制科学総合研究グループによる調査による<sup>18)</sup>

るものは、人工線源のように認可や届出を要件とするような規制の対象となり、ある個人が関連するすべての行為からの被ばく線量の総和が個人の線量限度を超えないように管理しなければならない。一方、介入はすでに存在している放射線源からの被ばくを低減するために実施される活動のことで、多くの自然放射線による被ばくや、過去の事故による被ばくの状況や緊急時の被ばくに適用される。このような介入の対象となる被ばくには、個人の線量限度は適用されず、制御しやすさに応じて設定される対策レベルや参考レベルを超えた場合に救済措置をとることとしている。このように行為の対象となる被ばくと、介入の対象となる被ばくは異なるアプローチで防護される。

NORM は、自然放射性核種をごく低濃度を含むものから、免除レベルを超える濃度を含むものまで連続的に存在し、同じ原材料でも産地によりそのレベルは異なることがある。ある一定の濃度で、それら物質すべてを規制するかどうかを決めることは極めて困難である。放射線審議会基本部会の報告書では、免除は濃度レベル値で一律に規定するのではなく、あらかじめ線量規準を越える可能性のある物質を定め、その物質を利用する際には実際に利用現場における被ばく線量を測定することによ

り、規制対象かどうかを判断することとしている。

#### 4. 今後の展開

NORM の規制については、IAEA 安全指針(RS-G-1.7)<sup>3)</sup>に除外レベルが示されたことから、ひとまず国際的な統一規準が示されたことになる。しかし、NORM の規制は、現在のところ、ドイツなど欧州の一部の国で規制を実施しているが、多くの国では、検討中である。わが国でも、NORM 利用の実態については不明な部分が多く、特に比較的放射能濃度が低い物質の利用に関する情報はほとんどない。放射線審議会基本部会で示された規制の規準を広く適用するためには、さらに広範囲の NORM について、その物質の放射能濃度と利用に係る線量評価の関係に関する知見が必要で、比較的濃度の低い物質の利用についてどこまでを規制の対象にするか、さらに調査が必要と考えられる。NORM による被ばくの防護については、どのように被ばくが高められているかに関する被ばくメカニズムの解析を進め、制御可能な場合にはそれを低減化する必要がある。

(放医研・米原英典)

第7表 放射線審議会基本部会による自然放射性物質を含む物質の分類と対応案

区 分	検討を要する事例 <sup>1</sup>	除 外、行 為、介入の 区 別	法 令 によ る 規 制	対応の方法	対応のため の線量の 目安/規準	
1	鉱物、鉱石等に含まれる自然放射性物質の比率を高める処理をしていないもの (区分2、3、4、5、6を除く)	除外	対象外	—	—	
2	過去に廃棄された自然放射性物質を含む残渣	介入	対象外	対策レベル	今後の検討 (1~10 mSv/年)	
3	産業で生成される灰、缶石など (原材料として取り扱う物質は免除レベル濃度以下のもの)	介入	対象外	対策レベル	今後の検討 (1~10 mSv/年)	
4	現在操業中の鉱山の残土、産業利用の残渣(処分)	行為/介入 <sup>*2</sup>	対象	・一定濃度を超える可能性のあるものを特定する ・特定物質の利用のうち、作業者または一般公衆が受ける線量に応じ放射線防護上の適切な管理を求める。	1 mSv/年 (これを超えたら規制するか、介入するかを検討)	
5	産業用原材料 (製造、エネルギー生産、採掘) (区分7を除く)	行為/介入 <sup>*2</sup>	対象	区分4と同様	1 mSv/年 (同上)	
6	一般消費財(使用)	行為	商品ごとに対象とするか否かを検討	基本的に BSS 免除レベルを適用 型式承認に相当する制度を検討	10 $\mu$ Sv/年 1 mSv/年	
7	放射線を放出する性質等を意図して利用するために精製された核燃料物質や放射線源として使用するもの	行為	対象	BSS 免除レベルを適用	10 $\mu$ Sv/年	
8	ラドン	規制下にあるラジウム線源から発生するラドン	行為	対象	BSS 免除レベルを適用	—
	核原料物質鉱山における職業環境のラドン	行為	鉱山保安法の対象	—	—	
	住居、一般職業環境におけるラドンで上欄を除く	介入	対象外	対策レベル	今後の検討	

\*1: ここにあげた事例は、文献調査及び自然放射性物質が比較的多く含まれていると考えられるものを実態調査したものについて記載したものである。なお、物質や鉱物の産地、種類、物量等により、自然放射性物質の含有量は異なってくることから、区分4及び区分5については、一定濃度を超える可能性のあるものを特定し、さらに放射線防護の必要があるものについては、適切な管理を求めることとなる。

\*2: 基本的には行為であるが、行為と介入の両面をもち、原材料を取り扱う初期過程は、介入の対象の要素が大きいが、(放射線審議会基本部会自然放射性物質の規制免除について<sup>17)</sup>より)

## V. 結 語

国際放射線防護委員会(ICRP)を中心とする放射線安全の体系化は、医療分野での経験、放射線生物学での基礎実験に加え、広島・長崎のデータ、環境のデータ、原子力発電所に関連するデータ、医療のデータ、等々を考察に加え、その応用とフィードバックにより構築されてきて、かなりの完成を見ている。それに従って研究者の関心は、極めて高いもの、極めて低いもの、環境に関連するもの、自然界に存在しているもの、化学リスクマネジメント等の異分野、国際間の整合性などに向かっている。これらのうちの、3つのテーマ(国際整合性、極めて低いもの、自然界に起源するもの)について本稿にて

まとめた。

大きな問題としては、ステークホルダー・インボルブメント(利害関係者の意思決定への関与)の問題がある。例えば、放射性廃棄物の処分の問題は直接、住民との接点でそれが行われるわけで、専門家としての安全の判断以外に、住民との合意、国民の安心が求められる。ICRP 2007年勧告(ICRP-103)においても、ステークホルダー・インボルブメントは重要なものとして認識されている。すでに、放射性廃棄物に対するクリアランスレベルの実施、NORMのガイドラインの策定と実施においては、わが国においてもこれらのプロセスは実施されてきたところであり、本稿においても一部触れられている。従前の放射線作業員を中心とした放射線安全の体系と異なる

り、環境放射線レベルの低いリスク・マネジメントの適用についてはこの問題を避けて通ることはできない。

放射線安全の哲理の確立とその展開は、その完成度を高めるため更なる進化を遂げようとしている。本稿をそのことを理解いただく際の参考にしていただければ幸いである。  
(東大・小佐古敏荘)

—参考文献—

- 1) International Atomic Energy Agency (IAEA), *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, Safety Series No.115, (1996).
- 2) International Commission on Radiological Protection (ICRP), *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, Publication 60, Pergamon Press, (1991).
- 3) IAEA, *Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance*, IAEA Safety Standards Series, Safety Guide RS-G-1.7, (2004).
- 4) European Commission (EC), *Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption—Radiation Protection 122(RP-122)*, Part I, Guidance on General Clearance Levels for Practice, (2000).
- 5) 日本原子力学会, 日本原子力学会標準「クリアランスの判断方法: 2005」, (2005).
- 6) 文部科学省科学技術・学術政策局放射線安全規制検討会クリアランス技術検討ワーキンググループ, 放射線障害防止法におけるクリアランス制度の整備に係る技術的検討について(中間報告書), (2006).
- 7) Nuclear Regulatory Commission, *National Rulemaking Issue Notation Vote*. SECY-05-0054, (2005).
- 8) C. Miller, NRC Perspective on Controlling the Release of Solid Material, *Proc. 4th Int. Symp.—Release of Radioactive Material from Regulatory Control—Harmonisation of Clearance Levels and Release Procedures*, 20-22 March 2006, Hamburg, (2006).
- 9) Canadian Nuclear Safety Commission, *Draft Regulatory Standards; Requirements for the Disposal of Nuclear Substances*, S-307, (2004).
- 10) H. Efraimson, Proposed New Clearance Regulations in Sweden, *Proc. 4th Int. Symp.—Release of Radioactive Material from Regulatory Control—Harmonisation of Clearance Levels and Release Procedures*, 20-22 March 2006, Hamburg, (2006).
- 11) SSI, *The Swedish Radiation Protection Authority's Regulations on the Discharging of Goods and Oil from Controlled Areas in Nuclear Plants*, SSI FS 1996: 2, (1996).
- 12) EC, *Recommended Radiological Protection Criteria for*

*Clearance of Buildings and Building Rubble from the Dismantling of Nuclear Installations*, RP 113, (2000).

- 13) EC, Eurobarometer Survey “Radioactive Waste” Special Eurobarometer 227/Wave 63.2-TNS Opinion & Social, (2005)
- 14) IAEA, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Second Review Meeting of the Contracting Parties, 15 to 24 May 2006, Vienna, Austria, (<http://www.ns.iaea.org/conventions/waste-jointconvention.htm>)
- 15) EC, *Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption—RP-122*, Part II, Application of the Concepts of Exemption and Clearance to Natural Radiation Sources, (2001).
- 16) United Nations (UN), *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, UNSCEAR 1977 Report, 1982 Report, 1988 Report, 1993 Report, 2000 Report,
- 17) 放射線審議会基本部会, 自然放射性物質の規制免除について, (2003).
- 18) 放射線医学総合研究所規制科学総合研究グループ, 自然起源放射性物質データベース, <http://www.nirs.go.jp:8080/anzendb/NORMDB/index.php>

著者紹介

小佐古敏荘(こさこ・としろう)



東京大学  
(専門分野)放射線安全, 遮蔽, 計測

山本英明(やまもと・ひであき)



日本原子力研究開発機構  
(専門分野)放射線管理

大越 実(おおこし・みのる)



日本原子力研究開発機構  
(専門分野)放射性廃棄物管理, 廃止措置,  
リスクコミュニケーション

米原英典(よねはら・ひでのり)



放射線医学総合研究所  
(専門分野)環境放射線の線量評価, 放射線防護

# ドイツ、フランスにおける原子力廃棄物 最終処分地の選定状況

内閣府原子力委員会 委員 松田美夜子

原子力発電所から発生する使用済み燃料は、日本ではリサイクルした後、残渣を高レベル廃棄物として地層処分することが決まっている。しかし、処分地の選定については、第1段階に当たる自治体からの文献調査の応募も、まだなされておらず、国民の理解も進んでいない。

一方、同じように原子力発電を実施しているフランス、ドイツ、スウェーデン、フィンランド、イギリス、スイスなどでは、原子力廃棄物の最終処分地の選定は、日本の第3段階に当たる最終処分地の候補地区選定の段階にあり、すでに明確な地名が公表され、実施主体と地域の議会や地元住民との間で受入れに向けた具体的な条件の話し合いが始まっている。

筆者は、2006年10月にスウェーデンとフィンランド、2007年8月にイギリス、10月にドイツとフランスを訪ね、サイト選定に向けた各国の取組みを取材した。そこには、日本が目指す最終処分地決定までのプロセスのお手本があり、道しるべになる事例が多く見られた。本稿では、ドイツとフランスの今を解説する。

## I. ドイツの原子力政策と原子力廃棄物処分施策の現状

ドイツの原子力政策は、政治的には現在モラトリアムになっているが、放射性廃棄物処分の責任は連邦政府にあると定められており、連邦環境・自然保護・原子力安全省(BMU)が所管する連邦放射線防護庁(BfS)がその実施主体となっている。実質的な研究開発、建設、操業は、ドイツ廃棄物処分施設建設・運転会社(DBE)が作業をしている。州政府は、その許認可権を持ち、それぞれの役割分担の中で、原子力に関する施策を連邦政府の下で実施している。

先に述べたように、ドイツの原子力政策は、現在モラトリアムになっているが、原子力発電所は稼動しており、それに伴って廃棄物の発生もある。廃棄物政策は原子力モラトリアム政策の中で、どのような経過をたどっているかをまとめてみよう。

### 1. ドイツの原子力廃棄物最終処分に関する現状とこれから

ドイツでは、ゴアレーベンの岩塩層とコンラッドの鉄鉱床が、放射性廃棄物の埋設地層として考えられている。ニーダーザクセン州には、これらの地層が広く分布していることから、州政府は1970年代から原子力廃棄物の受入れ準備を進め、地層処分地を誘致する計画を進めていた。しかし、1998年に社会民主党と緑の党との連立

政権が成立してからは、この計画は凍結されていく。ドイツの原子力政策は、政権に入った緑の党の意向で、2001年に段階的な原子力撤退が決まり、使用済み燃料についても、発電所内での貯蔵義務付けが合意され、原子力政策は冬の時代に入る。

2000年6月、連立政権は、原子力廃棄物政策に対してエネルギー供給企業との間で次の合意を交わした。「ゴアレーベンの岩塩ドームの研究は、最低3年、最長でも10年以内に中止する。その理由は、それ以上の年月をかけての研究は、埋設処分の研究概念や安全問題に貢献できないから」というものである。

さらに、連立政権は、連邦環境・自然保護・原子力安全省(BMU)を通して、連邦放射線防護庁(BfS)に「最終処分を決定するための12の概念(コンセプト)を確立すべき」とした。BfSは国際的エキスパートの援助の下、この課題について報告書にまとめ、2005年に総合レポートを国に提出した。

総合レポートは、「ドイツ国内には最高度の安全性を保持するサイトはないが、埋設コンセプトは、ドイツにあるすべての適正サイトで適用でき、埋設の技術も、サイトの特性に合わせて適用できる」、「連立政権から要請された12の課題は、これまでのドイツ国内の技術で対応できる」という内容になっている。

2005年の選挙で緑の党は政権を離れたが、政権を取ったCDU、CSU、SPDの連立政権は、連立する際に、原子力政策について次の合意を行っている。

- (1) 放射性廃棄物の問題は早急に解決することが必要
- (2) 後の世代に延期することはできない

*Recent Situations on Site Selection of Nuclear Waste Repository in Germany and France* : Miyako MATSUDA.

(2008年 1月16日 受理)

(3) 放射性廃棄物の最終処分は国家の事業である

(4) 社会との広いコンセンサスが必要

BfSは現政府の2005年の合意に基づき原子力廃棄物の政策を推進しているが、2007年に新しい動きがあった。

緑の党の政権時代、原子力廃棄物については、政策を最初からやり直し、埋設地は1ヶ所に統一すべきとの方針が出された。原子力反対派は、「コンラッドは非発熱性原子力廃棄物の埋設に適地ではない」との訴訟をしていたが、司法庁は「コンラッドは適地である」との判決を下した(コンラッド訴訟; 2007年6月)。この判決によりドイツの原子力政策に新しい展開が始まっている。緑の党の連立政権時代に決められた「すべての廃棄物を同一の処分地である」という決定が崩れたのである。コンラッドは非発熱性原子力廃棄物処分地であり、発熱性原子力廃棄物は地層的に埋設できないので、発熱性放射性廃棄物については、再びゴアレーベンが浮上したのである。

BfSとしては、コンラッドの非発熱性原子力廃棄物処分地を国民にきちんと政策として見せていくことで、ゴアレーベンへの国民の社会的合意も得られると考えている。

BfSは、コンラッドの埋設処分地を国民に広報していくための「ビジターセンター」の建設を決定した。センターはコンラッドの街の中心に建設される予定である。廃棄物は地下にきちんと透明な情報開示で埋めていく。原子力廃棄物埋設のキャッチフレーズは「We have to dispose of something but nothing to hide.」(埋設するが、隠すのではない)としている。

ニーダーザクセン州が最終処分地に指定されることこそ、持続可能な経済の自立、雇用の確保につながるという1970年代からの政策の軸はぶれていない。したがって、原子力反対派による「国によるコンラッドの処分地許可」に対する異議申立ての裁判が、司法により棄却され、州政府が勝利したことは、何よりも州政府として望むことなのである。

では、ドイツが地層処分の選定地としようとする地層を具体的に見ていこう。

## 2. ゴアレーベン地層研究所

北ドイツには、ゴアレーベンを中心として、2億5,000万年前から3億年前の古い岩塩層が広く分布している。北ドイツにはこのような岩塩坑が200以上あるが、ゴアレーベンのように岩塩層の上を、水を透さない粘土層が厚く覆っている岩塩坑、すなわち坑内への地下水の進入を完全にシャットアウトできる天然の条件、放射性廃棄物を埋設できる条件を備えた岩塩坑はドイツ国内でも数ヶ所しかない。中でもゴアレーベンの岩塩層は、地表から850~1,000 mの深地層に、厚さ250~350 mの層をなし、北西から南東に幅4 km、長さ14 kmにわたりナイフ状に広がっている。

ゴアレーベンが放射性廃棄物の最終処分地の候補にあ

がったのが1970年代。1979年から実際に地表での適地調査が始まり、1983年に正式な地層研究所開設の許可が下り、工事が始まり、1996年に地下の研究坑道での本格的な研究がスタートした。

地下1,000 mの研究ポイントには大きなポスターボードがあり、現在行われている研究の目的や成果がわかりやすく描かれている。すべての研究ポイントを回るには、テーマを安全性の研究に絞っても、2時間は必要である。

ゴアレーベンが研究モラトリアムになってから、坑道の整備などで働いていた地元の人々の仕事が激減したとのこと。地元議会としては、1970年代から地元は受入れを希望しているのに、国の政策はいっこうに進まない。2007年の春にも、地元議会として、地層研究所の再開の要望書を国へ提出しているが、秋になっても回答がないなど、ゴアレーベンの調査研究再開の必要性を熱心に社会に訴えている。ゴアレーベンの関係者たちは2009年に予定されている総選挙や社会の意識の変化にも期待しながら、根気強く政治の変化を待ち続けている。

## 3. コンラッド地層研究所

コンラッドは、非発熱性放射性廃棄物の埋設予定地である。地層は鉄鉱石で、地表から800~1,300 mの深地層に位置し、鉄鉱床の厚さは12~18 m、長さは南北50 km、東西12 kmにわたり広域に存在する。この鉄脈の上を傘のように厚い粘土層が覆っている。この地質構造は、ゴアレーベンの岩塩層と全く同じである。粘土層のお陰で、水は坑内には1滴もなく、坑道は頑丈である。非発熱性放射性廃棄物の最終処分地としては最適として、1970年代から研究が進められてきた。

2007年6月、連邦裁判所によって「コンラッドは最終処分地として有効」との判決が出され、非発熱性放射性廃棄物の最終処分地として国の許可が決定した。2007年から2年かけて最終処分地建設の準備を始め、4年以内に最終処分地としての建設を終え、2013年から実際に埋設が始まる。

地下の見学をするときは、次のような準備が必要である。地下1,300 mは気温が30℃以上になる所もあるので、更衣室に用意した作業着にそっくり着替える。万一の事故に備えて、ライト付きのヘルメットを被り、酸素ボンベも携帯する。地下1,300 mにはエレベーターで降りる。地下の坑道は、天井高さ5 m、道幅6 mで、地上の道路と変わらないくらい立派である。移動はすべて電気自動車である。

## II. フランスの廃棄物処分施策の現状

### 1. バタイユ法の成立(1991年)から改正バタイユ法の制定(2006年)まで

政治と政策が対立構造になっているドイツ。それに比べて、政治と政策が足並みをそろえて、順調に目標にむ

けて進んでいるのがフランスである。しかし、このフランスも、1989年に高レベル放射性廃棄物の問題で、国民からの強硬な反対を受け、政策をゼロからやり直すという苦い、しかし貴重な体験をしている。

そのきっかけは1987年、国が高レベル放射性廃棄物を埋設するため地下研究所を建設することとし、その候補地として4ヶ所を発表したときである。公聴会も開催し、4ヶ所に許可を出そうとした矢先、そのうちの3ヶ所の候補地で反対運動が発生、それが激化し、やむなく1990年「少なくとも1年間、この問題を凍結する」という結論を出し、政府の提案は白紙に戻った。

この事件は、フランスの原子力政策の転換期となった。それまでは、主に原子力関係者だけで原子力政策を進めていたが、原子力政策が始めて社会問題として位置づけられ、この問題は国会の管理下において国が解決すべき問題となった。上からの押し付けで物を決め、十分に地元の人々の意見を反映させなかったというのが政府の得た結論であった。

国会科学技術選択評価委員会は、1990年12月に、「今後のあり方」を決める報告書をまとめ、それは1991年12月30日付で法律となった。報告書をまとめる際、取りまとめた中心となったバタイユ議員の名前を冠して、通称「バタイユ法」といわれている。この法律は、15年間の時限立法となっており、2006年に終了する。2007年以降は、2006年6月28日に交付された「改正バタイユ法」により、新たな計画が策定された。

では、この2つの法律において、フランスはどのように原子力廃棄物政策を進めてきたのか、また新法では何を指すのか、具体的に見ていこう。

まず、国民の意見を反映させずに、国独自の政策を進めようとしたことに反省し、1991年に施行されたバタイユ法(放射性廃棄物研究法)では、3つの原則を決めた。

- (1) 責任の所在を明らかにする。
- (2) 透明性を貫き、すべてをガラス張りにする。
- (3) 国民が反対することはしない。

この法律は、まず深地層研究所の必要性を規定し、2006年までの15年間に地下研究所の候補地を決め、地下に研究所を建設、研究の成果を見て、その場所が最終処分地として最適か否かを国会が評価することを決めた。バタイユ法は、フランス放射性廃棄物管理機構(ANDRA)をフランス放射性廃棄物管理庁(CEA)から独立させ、すべての放射性廃棄物管理の実施責任をANDRAに委ねることも決定した。

1994年に4ヶ所の候補地が選択され、その中から1997年にムーズ・オート＝マルヌサイトが地下研究所建設地として了承された。そして、ビュールに地下研究所を建設することが決定した。筆者は、1999年8月にこのビュールを訪れている。研究所の建設許可が1週間前におりたときで、いよいよ建設がスタートすると、担当者

は喜びのさなかにあった。現場は、広い丘陵地で、その中に建設地点を示す目印のくいが打たれているだけの、のどかな田園風景であった。

今回、8年ぶりに再訪して、目の当たりにしたのは、立派な研究施設の建物と、ひっきりなしに訪れる大勢の見学者の群れである。研究用坑道はまだ建設中で、工事は続いていたが、地下500mには研究用坑道が見事に整備されている。隣接するビジターセンターには、実物大の模擬研究坑道が作られ、地下に入らなくても、地下と同じ体験ができるようになっている。またこのセンターでは、地下の研究状況がテレビモニターから、刻一刻と見学者に伝えられるようになっている。

センターの見学者は現在、年間7,000人。センター内を案内するANDRAのスタッフは農学や地質学を大学で学んだ人たち。説明者が専門知識を持っていることが見学者にも信頼され、安心されるというねらいがある。

ANDRAは、15年間の研究成果を「2005年報告書」にまとめ、国へ提出した。その内容は「ビュールを基点とした約250km<sup>2</sup>ゾーンから最終処分地を選定する。この地域はビュール研究所のある地質と同じ地質特性を持っているので、互換性がある」という報告である。国は、この結論を妥当であると評価した。この報告に基づき、2006年に制定された改正バタイユ法は、地層処分について、新しい次の展開を示した。

- ・究極の廃棄物(地上や半地下では管理が不十分な廃棄物)は深地層に埋設する。
- ・深地層処分地は、ビュール地層研究所と同じ地層を持つ1億6,000万年前のカルボ・オックスティマン粘土層とする。
- ・少なくとも100年間は、処分した廃棄物が再取出しできること(可逆性)を設計時に採用する。
- ・実用認定するまえに、さらに10年の研究が必要(2015年頃)。
- ・2025年、深地層処分を開始。

ANDRAはこの決定を受けて、最終処分地の選定に向けて、限定地域の地質学的データを豊富にするため、新たなボーリング調査を段階的にすすめ、2007年以降、詳細な調査活動をしている。

## 2. 始まった新しい地域共生政策

2007年初頭、「放射性物質・廃棄物の管理に関する国家計画」が公表され、地元地域振興策も新しい展開を始めた。それは、従来の国による助成制度の見直しである。2005年までは、ANDRAが中心になって地元への支援対策を行ってきた。具体的には、道路の改修、学校の建替え、古い教会の修復などで、これらはすべて地元の人々のためになった。しかし、政策評価をしてみると、新しい産業やニュービジネスは創出されてはならず、持続可能な地域振興にはなっていなかった。地元が望むのは一時の支援ではなく、持続可能な地域産業の創設である。

2015年の地層処分場設置の認可申請を滞りなく進めるには、技術的、社会的、政治的な合意をもたらさねばならない。各関係機関の力を結集する必要がある。そこで新法は、ある地域に処分場が新設された場合、同地域への社会・経済的支援を国が支援して強化することを決定した。

これを受けて、ムース県およびオート＝マルヌ県においては、すでに設置されている地域振興のための公共事業共同体(GIP)の強化が図られた。また、地域情報フォローアップ委員会(CLIS)の規定も強化された。今まで停滞していた活動を、委員のメンバーを新しく組み替えて、2007年10月に再出発することになった。

新しい共生政策のスタートに当たり、ANDRAと地元とのこれまでの関係に加えて、地元と国との関係を強化するため、経済大臣の下に「高レベル委員会」が設立された。この委員会は、地元議会議長、副議長、電力会社社長、産業団体会長など、要職にある10人以下のメンバーで構成され、持続可能な経済支援に向けてこの国家プロジェクトを、責任を持って推進していくことになる。

最も注目されているプロジェクトが木質バイオマス施設である。2008年から可能性調査が始まり、2009年に設計、2010年に建設し、2011年から本格稼働する。最初は、パイロットプラントでスタートするが、本格稼働すると年間10万トンの間伐材を活用することができる。このバイオ燃料精製工場は、第2世代のバイオマス、つまり間伐木材からエタノールを精製する方式である。この技術は、CEA原子力庁の技術移転によるもので、Bio-Refinery Projectと称されている。

このプロジェクトには、周辺整備費用をあわせて1億ユーロの投資が見込まれている。ムース県およびオート＝マルヌ県は面積の2/3が森林地帯。このバイオマスシステムを稼働することで、現在の地元経済も相互に育成していく配慮がされている。例えば、成木に育てる木は伐採しないシステムや、生長の速い木を育成していく林業など、従来の木材産業と競合しないシステムが実施される。

現在、積極的に最終処分地受け入れ、誘致を申し入れているオート＝マルヌ県とムース県は、地層処分に適地とされており、区域周辺には300以上の村(フランスの自治体は小さく、人口は80人から200人くらい)が、最終処分地の適正地区に指定されている。ビュール研究所のあるオート＝マルヌ県議会議長シド氏は、研究所を引き受けてきた歴史の流れからも絶対、当県に来てもらいたいと熱心に語っている。処分地指定に先導的役割を果たしてきたシド氏や副議長のアルメッシュ氏は、ビュール研究所施設開設に同意したオート＝マルヌ県こそ、最終処分地に選定してもらいたい。それゆえに、バイオマス工

場の設置を絶対に誘致したいと頑張っている。最終処分地は300の自治体から公募で決められる。処分地の地上建物をどこに建設するかを2015年までに決めねばならない。コミュニケーションをする対象は2万人から36万人に広がる。現在、地元ではどんな議論が交わされているのだろうか。

彼ら議会人が語るのは、最終処分地を受け入れることで国のエネルギー政策の持続可能性へ地域が貢献できるという自負である。ANDRAの広報担当部長ティゾン氏は、地域の人々に次のように説明する。

「最終処分地に決まると、地域の社会的価値が高くなります。地層処分に関する高度な科学技術水準を備えた施設が誘致され、それに伴って、国際交流事業の機会が得られます。まず、地下研究所が建設されますが、さらに処分場立地が進んでいくと、産業・観光、PR館、科学・技術博物館、研修施設、あるいは大規模科学技術センターなど、様々な可能性が将来計画として考えられます。それらは地元の人々の生活を質的に向上にすることに貢献し、住民の皆さんは、最前線の専門知識にあふれた市町村に住んでいることが、きっと誇りになるようなまちとなります。」

しかし、ANDRAの彼らは次のことも認識している。地元や社会の信頼を得るために、最も大切なことは、処分場の安全性を保障すること。そのためには、処分場の設計そのもの、処分場の構造、操業方法など、様々な面で情報を公開し、人々に判断材料にしてもらう必要がある。地元への経済的保障も必要である。

## おわりに

政治と政策のねじれの中で、したたかに原子力復活のときを待つドイツ。最終処分地の決定に向けて、さらに踏み込んだ持続可能な地域共生策を立地地域に提案していくフランス。お国柄の違いはあっても、原子力エネルギーを持続可能にしていくという強い信念は、我々と同じである。日本は、原子力廃棄物最終処分地選定のスタート地点に立ったところだが、各国の取組みに励まされながら、みんなで力をあわせて目標に向かって行こうではないか。

## 著者紹介

松田美夜子(まつだ・みやこ)



元富士常葉大学環境防災学部教授。専門は「廃棄物」と「環境社会科学」。2007年1月より現職。著書「原子力廃棄物を考える旅」

# 食品の安全と消費者の安心感

## —両者を結ぶのは信頼

東京大学名誉教授 唐木英明

食中毒の原因には、食中毒菌、ウイルス、きのこ毒、ふぐ毒などがある。食中毒患者数はこの50年間を通じて年3万人前後でそれほど変わっていないが、かつては年間500名を超えることもあった死亡者数は、このところ10名前後まで大きく減少している。このような統計値から見て日本の食品の安全性は高いといえる。しかし、アンケート調査の結果を見ると、食品の安全に対する消費者の不安は大きい。不安の原因として遺伝子組換え食品などいくつかの要因が挙げられているが、食品添加物や残留農薬のような化学物質は常に不安の上位に出てくる。ところが、戦後の混乱期に基準を大幅に超えた量を使用した例を除いては、化学物質による食中毒は起こっていない。にもかかわらず不安を感じるのは、多量の化学物質により起こる毒性が少量でも出るという誤解に基づく不適切な報道の影響が大きい。さらに食品関連企業の偽造が消費者の不信を招き、不安をさらに大きくしている。

### I. 食品の安全とは？

英国の若者がBSE(牛海綿状脳症)に感染して致死性の新型ヤコブ病にかかった事件はヨーロッパの消費者をパニックに陥れ、各国政府が食品安全対策を根本から見直すきっかけになった。日本でも政府に対する消費者の信頼は2001年9月10日のBSEの発見で音を立てて崩れた。ヨーロッパ各国と同様に、日本政府は消費者保護を柱とする食品安全基本法を制定し、内閣府食品安全委員会を設置した。こうして先進国の食の安全は以前に増して厳しく守られるようになった。食の安全とはなんだろうか。それは次のように考えられている。

広い意味での食の安全とは、必要なだけの食糧を確保することである。食料の中で主食になる米や小麦を食糧というが、現在必要な量の食糧を確保するとともに、将来の保障も考えておくことが国の重要な責任である。2002年の世界各国の食糧自給率を見ると、オーストラリアが230%、フランスが130%、米国が119%で、食料輸出国である。一方、ドイツ91%、英国74%、スイス54%、韓国50%などは食料輸入国である。さらに自給率が低いのが日本で、昨年は40%を下回った。食糧の一部がバイオエタノールやバイオディーゼルオイルに振り向けられつつあり、将来にわたって日本が食糧を安定して輸入することができるのか大きな課題である。

狭い意味での食の安全とは、食品の安全性を守ること

*Food Safety and Ease of Mind of Consumers ; Confidence Builds Bridges* : Hideaki KARAKI

(2008年 1月28日 受理)

である。食品を食べることにより起こる急性胃腸炎や神経障害などを食中毒症と呼び、その原因物質によって細菌性食中毒、ウイルス性食中毒、自然毒中毒、化学物質による食中毒などに分類される。2006年に発生した食中毒事件数は1,491件、患者数39,026名、死者6名であった。患者数が最も多かったのはノロウイルス中毒で27,616名、続いてカンピロバクター2,297名、サルモネラ2,053名(うち死者1名)、ウェルシュ菌1,545名(うち死者1名)、ぶどう球菌1,220名、キノコなど植物性の自然毒446名(うち死者3名)、フグなど動物性の自然毒65名(うち死者1名)などであった。1954年から2005年までの統計では、患者数は3万名前後でそれほど変わっていない。しかし、1967年以前は毎年100名以上であり、多い年には500名を超えていた死者が、1985以後は10名前後まで減少している。

食品の腐敗や変敗を防ぐことも重要である。歴史を見ると、江戸時代に白米が庶民の手に入るようになると米に生えたカビの毒で死者が出て、米の保存方法が向上した昭和初期まで中毒事件が続いた。戦後起こった黄変米事件は輸入米が有毒なカビで汚染していた事件である。戦後しばらくの間、家庭では味噌もしょうゆもカビが生え、下肥が主な肥料であったために野菜を経由して寄生虫が蔓延し、野菜も生鮮食品はよく火を通して食べるのが常識だった。

高度経済成長とともに冷蔵庫が普及し、公衆衛生が発達するとともに、食品添加物の進歩により食品の腐敗や変敗の防止が可能になり、食品の安全性は大きく進展した。しかし、その後もBSEや水産物への水銀の蓄積な

どの新たな問題も発生している。

2003年に制定された食品安全基本法には2つの大きな原則が盛り込まれた。その一つはリスク分析法である。これは食品がもつリスクを科学的に評価し、その結果に基づいてリスク管理を実施する手法であり、関係者との協議を行うことで政策決定過程の透明度を高め、信頼を確保しようとする方法である。2番目は「フードチェーン」という考え方である。食品は、生産者、加工業者、流通業者、消費者と、「農場から食卓まで」移動するが、食品の安全を守るためにはすべての関係者が「安全を守る」という共通の目的を持って努力することが必要であり、その一人でも問題を起こせば食品の安全は損なわれる。そのためにはすべての関係者が食品安全についての知識を持ち、重要な情報を共有することが重要である。リスク分析法に取り入れられているリスクコミュニケーションは、関係者が情報共有し、どのような安全対策を採るべきか意見交換を行う場である。また食育基本法により食育が行われ、その中でも関係者の意見交換が実施されている。

## II. 安全だけれど安心ではない？

それでは日本の食の安全はどの程度守られているのだろうか。食中毒による死者が減少したことや、刺身、生卵、生水、生野菜などを心配せずに食べられる現状を見ても、日本の食品の安全性はきわめて高いといえる。毎日の食事の安全性をみかけや味やにおいで慎重に判断しながら食べたわずか数十年前の記憶は人々の脳裏から消え去り、現在では食卓に出される食品に不安を感じながら食べる人はほとんどない。

しかし、アンケート調査の結果では、消費者は食品に対する不安を訴えている。例えば、平成19年6月に内閣府食品安全委員会が食品安全モニターを対象に実施した調査では、「非常に不安」と「ある程度不安」を合わせた数字は、汚染物質88.4%、農薬80.2%、有害微生物78.3%、家畜用抗生物質74.2%、食品添加物67.3%、BSE 64.4%、いわゆる健康食品62.8%、遺伝子組換え食品61.5%であった。

これらの項目の中で健康に対する被害が出ているのは、ふぐ毒やきこ毒などの自然毒と有害微生物(細菌・ウイルス)である。いわゆる健康食品についても2002年に中国から輸入したやせ薬で死亡者が出ている。したがって、これらの項目に対して不安感を持つことは理解できる。しかし、消費者は健康に対する被害が出ない項目についても同様に不安感を示している。

食品の安全対策は健康に被害を出す人の数を減らすことであり、その意味では日本の食品安全対策は有効に機能している。しかし安全対策の成果を国民に伝え、正当な評価を受けるといふ点では落第点に近い成績といえよ

う。安全な食品を楽しんでいる国民が、なぜ不安感を表明するのか、以下、その原因について考えてみる。

## III. アンケート調査の落とし穴

食品の安全を脅かす要因を示して、その要因にどの程度の不安を感じるのかをたずねる。これが上記のアンケートの方法である。その結果、すべての要因について半分以上の回答者が「不安」と答えた。これを見て「消費者の不安はきわめて大きい」と解釈するのが普通であろう。

しかし、この結果が消費行動と一致しないことは明らかである。農薬が「非常に不安」と答えた消費者が31.1%、「ある程度不安」が49.1%、食品添加物が「非常に不安」が21.9%、「ある程度不安」が45.4%あったことから考えると、少なくとも20~30%の消費者が無添加や無農薬食品を購入してもおかしくない。しかし、農林水産省の統計では農薬を使わない農家は全体の1%以下で、無農薬野菜の販売量も少ない。食品添加物については「無添加」と表示した食品は多いが、多くの食品添加物の一部を使わないで「無添加」と称する食品が多く、食品添加物をまったく使っていない食品の数は把握できない。しかし食品添加物を使用しない加工食品はほとんど不可能なので、その数は極めて少ないと考えられる。そして無農薬野菜や無添加食品が少ないことに対する消費者の不安を聞くことはほとんどない。オランダの調査では80%の消費者が遺伝子組換え食品は不安と答えているが、店頭で非組換え食品を購入するのは50%という結果がある。

アンケート調査と消費行動に違いがある原因の一つは、メリットとデメリットの計算である。オランダの場合には、組換えではない食品は値段が高い。消費者は、「組換えは危険」という情報と、目の前にある「組換えは安価」という事実を秤にかけてどちらを購入するのかを決める。残留農薬や食品添加物もまったく同じである。

一方、「不安の程度」を答えてもらうアンケートを前にしたときに、回答者はどのように考えるだろうか。「この項目が危険なのか知っていますか?」と聞かれたように感じ、新聞やテレビで見た情報を思い出して、自分がそのような情報を知っていることを示すために、「不安」と書くのではないだろうか。そして「その不安が自分の買い物にどの程度の影響を与えるのか」についてはほとんど考えていないだろう。要するに、アンケートは回答者の「知識を調べるもの」ということが、アンケート結果と消費行動の違いの原因であろう。

消費者の不安感を把握することは、対策を立てる上で重要だが、知識と不安感は明らかに違う。知識ではなく不安感の調査が必要であろう。

## IV. 不安の要因

アンケート結果ほどではないにしろ、消費者が食品に不安感を抱いていることは事実である。その原因は、食品関係企業の不正、消費者の誤解、メディアの報道などがある。

### 1. 食品関係企業の不正

かつて人々は身近な場所で食料を調達し、自分で調理し、食品の安全性を自分自身で注意深く判断してきた。しかし、高度経済成長を遂げて輸入食品と加工食品と外食や調理済みの食品を多用する時代が来ると、食品の安全性を消費者が判断することが難しくなり、企業が安全を守る責任を負った。

リスク分析法では、科学者が実験結果と確率論を用いてリスク評価を行い、化学物質の無毒性量を計算し、行政はこれをもとに十分な安全域を設けて規制を行う。安全域は規制違反が直ちに中毒につながらないための予防措置である。したがって規制に違反しても行政が直ちに回収命令を出すことはなく、食中毒を起こす恐れがある重大な違反のときには回収命令が出される。このような「健康に被害がないリスクは受け入れる」という現実論が機能して食の安全が保たれている。しかし消費者は「食品はゼロリスクであるべき」という理想論に傾きやすく、「基準違反は危険」という単純な白黒判断を行う。

とくに誤解が大きいのは賞味期限・消費期限である。未開封の食品で保存期限がおおむね5日以内のものを消費期限、それ以上のものを賞味期限と呼び、企業が自主的に決めるもので、消費者の選択の目安とする目的である。企業は大きなゆとりを持って期限を決めるので、期限を越えてもすぐに味が変わったり安全性が低下することはない。逆に開封した食品は期限内でも腐敗や変敗などによる品質の低下が起こる可能性がある。ところが多くの消費者がこの目安に過ぎない期限を絶対視して、期限切れの食品を廃棄し、期限切れの食材を使用することを犯罪視する風潮が広がっている。

食品企業経営者の最も重要なモラルは「食中毒を起こさないこと」である。最近多くの基準違反が報道されたが、1万人を超える中毒患者を出した雪印食中毒事件以外には食中毒事件はほとんどない。経営者は食品の安全性を経験で判断し、それは多くの場合間違っていない。その自信からか、一部ではあるが、健康とは無関係な賞味期限などの基準を軽視する企業が出ている。実際に輸入食品を含め大多数の基準違反は安全域の範囲内であり、食中毒を起こすようなものではない。しかし内部告発の増加で多くの企業の違反が明るみに出て、企業は信頼を失い、これが消費者の間に不信と不安を広げることになった。

### 2. 化学物質に対する誤解

「塩は毒か?」そんな質問に、500年前のスイスの内科医パラケルススは「すべてのものは毒であり、その毒性は量で決まる」と答えた。塩を200g以上食べたら死ぬ。毎日20gを食べ続けると脳溢血や心臓病のリスクが高まる。すると塩は毒である。しかし1日7g以下なら、一生の間、毎日食べ続けても害はない。動物は少量の塩がないと生きていけない。すると、塩は毒ではない。どんな化学物質も多量なら毒だが、量が少なければ何の作用もない。パラケルススがいうように「量で作用が決まる」のだ。

このような「用量作用関係」の原則に従って、化学物質を安全に使用するためには量を規制することが重要になる。そのために、まず実験動物を使って全く毒性がない「無毒性量」を決める。ゆとりも持って、その1/100の量を「1日摂取許容量」とする。これは一生の間、毎日食べ続けても健康に何の影響もない量で、残留農薬や食品添加物の基準になる。

化学物質についての消費者の誤解の第1は、多量で現れる毒性が少量でも出現すると勘違いすることである。実際にインターネットや出版物で見ると記事のほとんどがこのような「量と作用の誤解」に基づいて「化学物質は危険」と断じている。その影響を受けているのが食品添加物と残留農薬である。大昔からの悩みの種であった食品の腐敗や変敗を長期間にわたって防止し、食品の安全性を高めたのは保存料の功績だが、これが嫌われている。その理由は量と作用の誤解と、長期間腐らない食品はなんとなく気持ちが悪いという感情などである。農薬もまた量と作用の誤解が広がっている。

2番目の誤解は、「複数の化学物質を同時に食べると体内で反応して、想像もできない恐ろしいことが起こる」という有吉佐和子氏の小説『複合汚染』の警告である。体内で複数の化学物質が相互作用を起こす可能性があるのは薬の場合である。薬は身体に効く量、すなわち細胞や遺伝子の機能を確実に変化させる量を飲む。このような多量の化学物質を複数一緒に飲むと互いの作用を強めたり弱めたりすることがある。しかし食品添加物や残留農薬では、基準を守っている限りこれはあり得ない。細胞の機能や遺伝子に何の影響もない基準以下の微量を複数いっしょに飲んでも何の作用もないことは、理論的にも、実験的にも、経験的にも証明されている。これもまた量と作用の関係である。

こうして保存料を入れない商品が流行っているが、当然のことながら、保存期間が短くなり捨てる量が増えるので余分な経費がかかる。さらに、保存料がないと食中毒菌の繁殖を抑えられず、食中毒の発生が心配される。それらのリスクを消費者が負っている。基準を守っている限り添加物が入った食品を一生の間、毎日食べ続けても何の問題もない。逆に無添加のほうが安全という科学

的な根拠は何もない。

### 3. 天然・自然ブーム

「天然や自然は安全」という誤解もある。国は「一定の農場で3年間以上、農薬や化学肥料を全く使わずに栽培したもの」を有機農産物として認定しているが、それでは有機野菜は何が良いのだろうか。味が良い、栄養素が多いなどといわれるが、実はそれを証明した科学論文を見たことがない。では安全性が高いのだろうか？そうではないことを示す有名な論文がある。

トキシコロジー(毒性学)の第一人者であるカリフォルニア大のエイムズ教授は1990年に、次のような論文を発表している<sup>1)</sup>。すべての野菜や果物は多くの化学物質、すなわち「ファイトケミカル」を含んでいる。害虫や細菌から身を守るための農薬の働きをするものが大部分だ。そのうち52種類を調べたところ、27種類に発ガン性があった。その中にはパセリなどのメトキサレン、キャベツなどのアリルイソチオシアネート、ゴマのセサモールなどがある。最近、食品安全委員会が発ガン性の疑いで禁止したアカネ色素もセイヨウアカネの根から抽出したものである。

米国食品医薬品局が発ガン性の化学物質を人工農薬として使用することを規制した結果、米国人は規制化学物質を1日当たり0.09 mgしか摂取していない。しかし、天然化学物質の規制は不可能なため、米国人は規制化学物質と同様の危険性を持つ天然化学物質を毎日1.5 g摂取している。これは規制化学物質の摂取量の10,000倍以上になる。野菜や果物に天然の農薬と人が散布した農薬が合計で1 g含まれるとすると、無農薬野菜はそのうち0.0001 gを減らすだけで、天然農薬の0.9999 gはそのまま残っているのだ。自然の化学物質なら安全だが、人工の化学物質は危険。そんな話も聞かすが、それも誤解だ。化学物質の毒性は量で決まるという原則はすべての化学物質に当てはまる。しかもファイトケミカルの約半分には遺伝子を傷つけてガンを引き起こす作用があるが、人工の農薬でそのような作用をもつものは全て禁止されている。無農薬栽培には食品安全上何の意味もない。野菜がもつ化学物質の危険性を避けるためには多くの種類の野菜をバランスよく食べることであり、これは昔からやってきたことだ。

ファイトケミカルの中にはビタミンのほかに、お茶や赤ワインのポリフェノール、トマトのリコピン、ブルーベリーのアントシアニンなど抗酸化作用を持つものもある。これらの食品はガンや老化の防止が期待できるとしてブームになっている。このように野菜や果物が含む化学物質の作用は総合的に見ると身体に良いので、野菜や果物はたくさん食べた方がよい。

「身体に良い」ということになると、それを抽出して濃縮し、錠剤などにした、いわゆる健康食品が出回る。し

かし、たくさん飲むほど身体に良いと誤解すると危険である。食品安全委員会は大豆のイソフラボンを含む健康食品を食べ過ぎないように注意している。ビタミンでさえも飲みすぎれば危険である。

### 4. 中国食品の誤解

中国国内のあやしげな食品をめぐる報道や、中国からの輸入食品の違反のニュースが相次いだことも消費者の不安を大きくした。中国の食品が大きな問題になったのは今回が3回目である。

第1回目は1980年代の鄧小平時代で、農業近代化と農作物の商業栽培が盛んになり、農家は農薬を使い出した。知識と技術不足で残留農薬事件が多発し、上海や香港で中毒や死亡事故が発生した。戦後の混乱期には日本でも同じような事件があった。その後、1990年代の江沢民時代には農業技術が改良され、農薬事故は激減した。このころから日本への野菜輸出が増加し、日本の輸入業者が指導して、日本の規制に合った野菜作りを進めた。

ところが2002年には中国産のハウレンソウなどの冷凍野菜に基準を超えた残留農薬が見つかった。残留量は少なく健康に被害はなかったが、中国製ダイエット食品で体調を崩す人が続出して死亡者も3名出る事件が重なり、不安が一気に高まった。その結果、中国産野菜の輸入は大幅に減り、中国では規制が厳しくなって中小輸出農家が倒産し、農家再編が進んだ。そして農家、加工工場、輸出入企業による品質管理が進んだ。これが2回目だ。

今回の騒動のきっかけは2006年に中米パナマで薬剤をジエチレングリコールに溶解した咳止めシロップを飲んで約100人が死亡した事件である。中国製のグリセリンが実はジエチレングリコールだったことが原因といわれる。その後、米国などでジエチレングリコール入りの歯磨き粉が見つかって騒ぎになった。ジエチレングリコールの致死量は大人では75~100 gといわれ、これを多量に飲んだ咳止め事件では死亡者が出たが、少量しか入っていない歯磨き粉は健康に影響がない。しかし、量と作用の関係を無視して「毒入り歯磨き粉」と大きく報道された。続いて2007年には北米でペット数千匹が死亡した事件が起こり、その原因は中国製のペットフードの材料に化学物質メラミンが入っていたためといわれる。米国で中国産ウナギから禁止抗生物質が見つかったことも大きく報道された。これは規制違反ではあるが抗生物質の量は微量で健康に影響はなく、米国政府もウナギを回収していない。しかし、大きな報道により不安が大きくなった。

中国政府の輸出食品の安全管理、また日本の輸入業者の独自の努力、そして厚生労働省の検疫という3段階の安全策により中国輸入食品の安全性は高く、これまでの基準違反は健康に影響を与える心配はない。厚生労働省

の検査結果では、中国食品の違反の割合は他の国の食品と変わらない。また東京都の調査では、国産の食品と輸入食品の違反率には変わりがない。このように、中国食品は危険、あるいは輸入食品は危険という報道は誤解に基づくものとしか考えられない。

一方、報道を見ると、中国国内にはかなり粗悪な食品もあるようで、中国の食品は安全性が高い輸出用高級品と、そうではない国内食品に二極化しているともいえる。

この原稿を書いているときに、中国製冷凍餃子に付着した農薬で病人が出る事件が報道された。同じ工場違った日に製造され、違った経路で日本に入った2種類の餃子製品で中毒が起こっていること、袋の内側に濃度が極めて高い農薬が付着していたことなどが報道されている。農薬が付着する機会は3回ある。第1は原材料の野菜に散布した農薬が残留した可能性だが、濃度が高すぎることで、ごく一部の製品しか付着していないことなどから、この可能性は薄い。次は加工時に混入する可能性だが、加工工場に農薬を使用した形跡がないという報道が正しければ、この可能性も小さい。第3は誰かが製品に農薬を故意に付着させたことだが、加工工場の保安は厳しいという。冷凍餃子の残留農薬検査をしなかったことを手落ちとする記事もあるが、検査は原料の野菜の段階で済んでいるので、再度の検査は必要ない。原因がわからない時点で早くも「中国食品はやはり危険」という声が大きくなっている。混乱を避けるためにも両国政府の協力による早急な原因究明が望まれる。

## V. 情報の非対称性

人は危険を瞬間的に見分けるために、安全が確認できないものはすべて危険とする「白か黒か」の判断を行う。また、危険情報と利益情報に敏感で、安全情報には無関心という性格も持つ。「量が少ないから安全」といわれても、多量を実験動物に与えたときの成績を引用して「残留農薬や食品添加物は危ない」という本や報道番組を見ると「危険情報重視」の本能が働いて、「避けておこう」という気持ちになる。多くの消費者が不安を持つとこれは商売になる。無添加・無農薬は安全の代名詞になり、コンビニやスーパーの目玉になる。これを消費者は「農薬や食品添加物が危険なため」と考え、誤解はますます広がっていく。

誤解を商売に利用し、商売のために誤解を広げる商法がある一方で、その被害を受ける人もいる。たとえば、「中国食品は危険」という報道の結果、横浜中華街の売り上げは半減したという。類似の例は中越沖地震時の原子力発電所放射能漏れ報道で、夏休みの海水浴シーズンを

前に地域のホテルや民宿はほとんどキャンセルになった。すると新聞は「風評被害があった」と報道したが、その原因が報道にあることを素直に反省した記事は見えない。

「新聞記者ならだれでもトップ記事を書きたい。そのためには危険を強調するのが一番早道だ。」引退した米国のジャーナリストに聞いた言葉だが、彼は、「しかし、米国の多くのジャーナリストは厳しく自己規制をしている」と続けた。もし彼が書いた記事で風評被害が起これば、彼自身も彼のテレビ局も莫大な賠償金訴訟に巻き込まれるためだ。振り返って日本の現状を見ると、被害者がメディアを訴えたのは所沢のダイオキシン騒動くらいしか知らない。日本でも弁護士の数が大きく増加して訴訟がもっと一般的になれば、この状況は少しは変わるのではないだろうか。

## VI. 安全と安心を近づけるために

不安の原因がわかれば、対策が立てられる。対策の第1は、農場から食卓までの関係者全員が「食の安全」という目標を共有して努力することである。生産者と加工業者は安全な食品を供給する責務を負い、行政はそれを監視・指導する役割を負う。消費者は不安をあおる報道に惑わされることなく、科学に基づいた判断をする必要があるが、これは簡単ではなく、危険情報を信ずるのか、行政・事業者を信ずるのかの選択になる。事業者の基準違反は、それが軽微なものであっても大きく報道され、消費者の信頼を大きく損なう。流通・小売業者は消費者の不安を先取りした売り上げ対策として無添加、無農薬、遺伝子組換え不使用こそが安全といった宣伝を行い、これが消費者の科学的な判断を妨げる。メディアの責任が極めて大きいという批判に対するあるメディア関係者の言葉を引用しよう。「メディアの質が悪いというが、質の悪いメディアが生残るのは読者の選択だ。読者がいい加減な記事を見れば、メディアの質も上がる。」

### — 参考文献 —

- 1) B. N. Ames, M. Profet, L. S. Gold, "Dietary pesticides (99.99% all natural)". *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 87, 7777~7781 (1990).

### 著者紹介

唐木英明(からき・ひであき)



東京大学名誉教授・日本学会議会員  
(現在の活動分野)生命科学, トキシコロジー, 食品安全, リスクコミュニケーション

連載  
講座軽水炉プラント  
—その半世紀の進化のあゆみ

## 第7回 日本の軽水炉開発(1)—軽水炉の導入(PWR)

エンジニアリング開発(株) 山田一太,  
三菱重工業(株) 鈴木成光

## Ⅰ. はじめに

日本の原子力発電プラント、わけても加圧水型軽水炉(PWR)は、三菱重工業(株)がメーカーとしてその初期から現在まで一貫して携わってきている。「軽水炉の導入(PWR)」について記述するに当たっては、国や電力会社などの活動を抜きに語れないのはいうまでもないが、本稿では主にメーカー側の視点から記述することとする。

## Ⅱ. 万博に原子の灯を

1970年3月から半年間、大阪千里丘陵で開催された万国博覧会(EXPO-70)には、史上最高の6,421万人が入場した。この会場に8月8日、関西電力(株)美浜1号機から原子力発電による電気が試送電され、「万博に原子の灯がともった」と当時、大変面白い話題としてとりあげられた。日本のPWRによる商用原子力発電の最初である(美浜1号機は11月28日に営業運転を開始した)。この日を実現させるため、「万博に原子の灯を」を合言葉に、関西電力(株)を始め、関係者一同が一丸となって取り組んできた賜であった。(第1図)

## Ⅲ. 草創期

この日を遡ること15年、1955年には三菱原子動力委員会、1956年には三菱原子力政策会議が発足し、三菱グループとして統一した原子力の開発に踏み出している。また、1956年には関西電力(株)が電気試験所、三菱グループと「原子力発電研究委員会」を発足させ、各種発電炉の試設計を行い、九州電力(株)は「九電原子力研究会」を発足させ、電力メーカーの共同研究会を実施した。また、海運業界では、大阪商船、三菱海運(いずれも当時、現商船三井および日本郵船)等と原子力船に関する設計研究等を行った。この時期は原子力の平和利用が世界の趨勢であり、1955年には民主・自主・公開の原子力基本法が公布され、国と民間の関係機関が新設され、原子力の勉強が始まっていた。国を挙げて原子力に対する将来の希望・夢・ロマンを見る時代であった。

1957年には日本原子力発電(株)が設立され、商業規模の原子力発電所計画の機運が高まるに及び、1958年4月に三菱原子力工業(株)が設立され、三菱各社の原子力関係の技術者が同社に集められた。1959年4月には新卒の学生も採用され、その後、数年にわたり、新しい技術である原子力に希望を抱いた多くの若い技術者が入社してくるようになった。当時はベテランの技術者も新入の若い技術者も海外の原子力の同じ文献で勉強する時代であり、

*LWR-Plants - Their Evolutionary Progress in the Last Half-Century—(7): Light Water Reactors Development in Japan①; Introduction of LWR Technology (PWR):*  
Ichita YAMADA, Shigemitsu SUZUKI.

(2008年1月8日受理)

各回タイトル

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



第1図 万博試送電の電光掲示板(写真提供: 関西電力(株)「関西電力五十年史」より)

この時代に勉強した技術者がその後の三菱の原子力技術を支える中核メンバーとなっていった。三菱原子力工業(株)はそれ以来、三菱グループの原子力事業の中で、いわゆるソフト分野の開発を担当してきたが、1995年に三菱重工(株)と合併し、現在は基本計画から建設まで、三菱重工(株)が一貫した体制を担っている。

当時の日本で原子力発電を早期に実現するには、米国の先進メーカーからの技術導入が不可欠であったことから、1961年、三菱原子力工業(株)を窓口として米国ウェスチングハウス社(WH社)との技術援助契約を締結した。

三菱は電気製品や原動機分野でWH社と多年にわたって極めて友好的な提携関係にあったが、原子力分野でもPWRを開発したメーカーとして世界をリードしていたWH社と提携関係を結ぶことができた。この契約のもと、それまで原子力の技術習得のために米国の国立研究所に技術者を派遣していたが、WH社での技術習得に切り替えて、WH社のPWR技術の習得に専念することになった。こうしてWH社に派遣された三菱の技術者は当時、原子力発電プラントの設計に多忙を極めていたWH社の設計陣の一員として、OJTによる技術習得に取り組んだ。また、WH社との連絡を密にするために、WH社の設計事務所のあったピッツバーグに三菱の駐在員事務所を置き、PWRの技術情報を早期に入手するように努める一方、WH社との間で頻繁に技術情報交

換会議を開催するようになった。

#### Ⅳ. 日本の原子力発電炉

国内の実用発電炉としては、日本原子力発電(株)が英国のコールダー・ホール改良型原子炉(ガス炉)を導入し、1966年7月に東海村において16.6万kWの運転を開始したのが最初であり、その後、沸騰水型軽水炉(BWR)である敦賀発電所1号機(電気出力35.7万kW)が1970年3月に営業運転を開始、同年11月には関西電力(株)が加圧水型軽水炉(PWR)を美浜発電所(美浜1号機)に、翌年(1971年)3月には東京電力(株)がBWRを福島第一原子力発電所(1号機)に完成し、運転を開始した。それ以降、日本における実用発電炉はすべて軽水炉が採用されている。PWRとしては初号機である美浜1号機の主な仕様を第1表に、また理解のためPWRの基本構成を第2図に示す。

#### Ⅴ. 美浜1号機(電気出力34万kW)の製作・建設

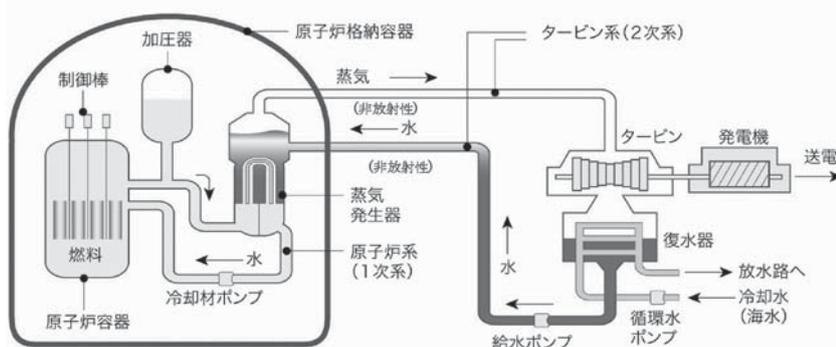
関西電力(株)は、1962年11月に美浜町を原子力発電所の建設地点に選定し、1966年4月に第1号機の炉型として加圧水型炉を選び、原子力蒸気発生設備(1次系)をWH社から輸入し、タービン発電機設備(2次系)は三菱製を採用することを決定した。原子炉、蒸気発生器などの1次系主要機器は輸入であったが、補機や配管設備は極力国産化することになった。仕様書の作成、試作・検証試験など、材料、機器、部品の供給メーカーとも国産化に努力した。材料仕様書1つをとってみても、米国の規格(ASME)と日本の規格(JIS)では異なっており、両者の規格を満たす狭い範囲の仕様で製作するなどして、国産化の比率を高めた。

また、美浜1号機の計画・製作・建設を遅滞なく推進するため、関西電力(株)本社の所在する大阪にWH社と三菱のプロジェクト事務所(大阪事務所)を設け、関西電力(株)とWH社・三菱との連絡をスムーズに行うようにした。

1967年5月16日に美浜町・丹生の建設現場で、電力会社、関係官庁、地元代表、三菱を含む建設業者が参列する中、約600名の建設技術者が入場行進し、コンクリート打設によって着工式が行われ、「総力を結集し万博に原子の灯を！」の決意の下、建設が開始された。この時期には土木工事が一段落しており、建築工事が岩盤検査に引き続き行われ、地下約15mの基礎工事から開始された(着工式は1967年5月に行われたが、基礎掘削は

第1表 美浜1号機の主要仕様

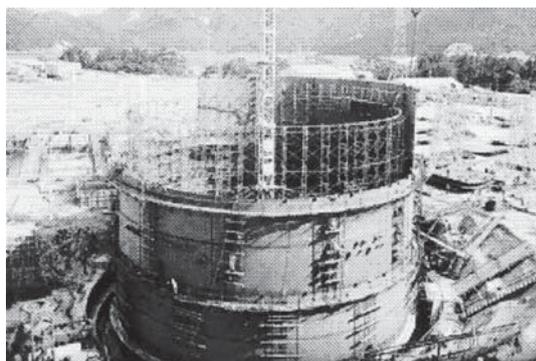
プラント主要諸元	
発電端電気出力	340 MWe
炉心熱出力	1,031 MWt
原子力蒸気発生設備	
運転圧力	157 kg/cm <sup>2</sup> ・G
冷却材ループ数	2
原子炉格納容器	
形式	鋼製円筒型
内径×全高	33.4 m×66.5 m
タービン	
蒸気圧力	55 kg/cm <sup>2</sup>
回転数	1,800 rpm



第2図 PWRの基本構成

1966年12月より開始されていた)。その後、内径33.4 m、高さ66.5 mの原子炉格納容器の建設が始まった。原子炉格納容器は、原子炉施設の主要部分その中に収容して、万一、事故が発生した場合でも放射性物質の飛散による従業員および周辺住民の被ばくを防ぐための耐圧性の密閉容器であるが、当時、格納容器建設に携わった筆者は、“ボウズ”と呼ばれたクレーンを格納容器基礎部中央に建て、放射状にワイヤを張り巡らして支持し、クレーンで吊り上げた鉄板を空中で円筒に組み上げる方式で建設を行い、耐圧・漏えい試験にこぎ着けた段階では、石けん水を片手に溶接線をはいずり回ったことを思い出す。最新の格納容器の建設が、大型のクレーンを格納容器基礎部の横に組み立てて胴体、頂部ドームを地組みして、一体にして500トンからの鋼材を吊り上げる“力の方式”であるのに比較して、この時代の方式は、建設機材の能力が大きくなかった時代の“技の方式”といえよう。(第3図)

格納容器に続き、主要建物の建設、タービン発電機の据え付け、機器の据え付け、配管、配線等の工程となる。この段階では、建築工事と埋込み金物の地味な戦いが続く。建築は建屋をブロックに分割して、鉄筋、型枠、コンクリート打設の作業を続けるが、機械側はドレン管、アンカーボルト、スリーブ、インサート、埋込み板を製作準備しつつ、工事可能日を絶えず確認する日々が続くことになった。機械側は、鉄筋、スリーブ、型枠、埋込み金物が混在する中で、手順を尽くして共同作業を行い組み立てる場面も多々あった。一方、設備の製作では、自社のタンク、熱交換器等の設備は順調に製作が進んだが、資材も国内で調達するため、WH社の設計仕様に合った材料と設備の手配に奔走した。特に仕様制限が厳しく種類の多い弁類については仕様に合致した弁を探し出すのに苦労し、その上、鋳型作りから製品までの納期も長く、現場への入荷待ちで首を長くした。また、配管については設計の変更が続く中、材料手配と工場製作の時期を見極め、決定することが重要になり、遅れない期日を選択することを迫られた。美浜1号機はPWRの初号機であったため工程管理には大変な苦労があった。その



第3図 建設中の美浜1号機(写真提供：関西電力㈱「関西電力五十年史」より)

後は機械設備と電気設備の据付け工事になり、大勢の作業員が整然と建設を進めていくが、その工事の進捗度を管理するため、事前に大阪事務所ではWH社と作成したネットワーク手法(PERT/TIME)を用いた。この工程管理手法は、この経験を基に、後に、設計から製作・建設までを各部門間の作業内容に至るまで分析して、情報の授受を結ぶネットワークに組んだ工程管理ツール「総合日程(IPS)管理システム」として確立した。

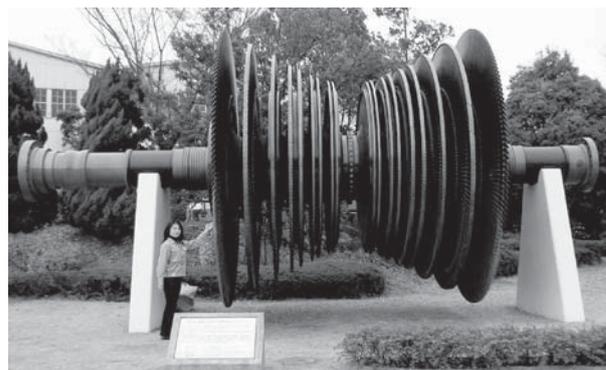
現場では機器搬入のために建屋の壁に仮開口が目立ち、通路に配管、ケーブルトレイ、空調ダクトが走り、弁室では狭いところで配管と弁を溶接し組み立てている。こんな狭いところで調整して作業していることに感心した反面、もう少し何とかならないかと思った。この思いが後続のプラント設計と工事手法に反映され、機器を先入れして後打ちコンクリート作業を減らし、配管と電線の通るエリアを分け、また配管工事については密集部分の配管を工場を組み立てる、いわゆるユニット工法の採用等につながっている。

多くの困難を乗り越え、試運転を開始したのは1970年4月であった。8月8日には万博会場に試送電でき、「万博に原子の灯を」の目標が達成され、11月28日には営業運転に入ることができたのは前述の通りである。

余談であるが、この美浜1号機の初代タービンロータがその役割を終えて新しいものに交換され、2006年夏に、生まれ故郷である三菱重工業㈱高砂製作所に里帰りし、現在は第4図のように屋外に展示されている。

## VI. PWR 技術導入から自主化、自立へ

こうして美浜1号機は完成を見たのであるが、主契約者はWH社であり、主要機器のほとんどは輸入品で、また、A/E(Architect Engineering)設計はギルバート社(GAI社)という米国の会社の担当であった。A/E設計は、機器、盤、配管等のプラント設備を中心に放射線の遮へい壁、建屋構造を含めて原子力発電所全体を形造る設計であり、非常に重要であるため、初号機のA/E設計には米国で経験のあるGAI社が選ばれた。これらの



第4図 美浜1号機初代低圧タービンの屋外展示

主要技術(主要機器の調達, A/E 設計, 工程管理等)を国産化することは, 米国からの PWR 技術(設計・製作技術)の導入とともに, ぜひとも達成すべき目標であった。

美浜 1 号機契約当時の社内報には, 「原子炉部分を除くタービンおよび発電機部分が三菱へ発注されたのは, 国内メーカーに十分な製作建設能力があると判断されたからであるが, 同時に, わが国の原子力産業の育成を考慮された結果でもあり, 近い将来国内メーカーが原子力発電に関する主契約者になる道を開いたものとして注目されている。」と意欲を示す記述に続き, 「しかし今回の建設について, 関西電力(株)は同社の最初の原子力発電所であることを重視し, 万全を期するために, WH 社に対し三菱の供給範囲を含めて指導的立場をとり, 建設工期の確保と運転開始後の安全性および性能保証について, 総括責任をとるよう要求している。」とあり, 淡々と記述しているものの, 「早く客先から全体を任せてもらえる国内メーカーになりたい」という当時の気持ちを感じ取ることができる。

三菱では, 初期の一連のプラントを第 1 世代 PWR と呼んでいる(ただし, この「世代」は米国エネルギー省(DOE)のフォーラムの中で用いられる“Generation-IV”等の原子炉の「世代」とは一致していない)。これは美浜 1 号機受注時からの課題である「米国 PWR 技術の導入」と「主要技術の国産化」を具現化していったプラント群で, 関西電力(株)の美浜 1 号機, 美浜 2 号機, 高浜 1 号機, 高浜 2 号機, 美浜 3 号機, 大飯 1 号機, 大飯 2 号機, 九州電力(株)の玄海 1 号機, 四国電力(株)の伊方 1 号機の 9 プラントである。(第 5 図)

PWR プラントは出力に応じ 2, 3, 4 ループの形式があるが, 各形式の初号機は, WH 社が主契約者, A/E 設計は GAI 社担当で建設し, 続く 2 号機以降は, 三菱が主契約者となって建設するというパターンでおおむね進んできた。以下に第 1 世代 PWR で主要技術の国産化をしていった経緯を技術分野ごとに紹介する。

## 1. 設 計

美浜 2 号機では A/E 設計を三菱が担当した。最初は建設設計担当のゼネコンを含めた陣容でスタートした。当初は, 美浜 1 号機を担当した GAI 社の設計資料を参考としつつ, 設計用語の内容解釈等の基礎から業務を開始し, 多くの時間をかけて設計を理解した。美浜 1 号機の 1 年半遅れで建設の美浜 2 号機では, ツインユニットでミラー配置を基本に設計するが, 電気出力は 1 号機の 34 万 kW に対して 50 万 kW と向上されたので, ひたすら 1 号機のフォローと出力向上に伴う変更の反映に専念した。配置配管設

計では WH 社と GAI 社のレビューを受け, 打合せを行い, これは基本の習得に有効だった。

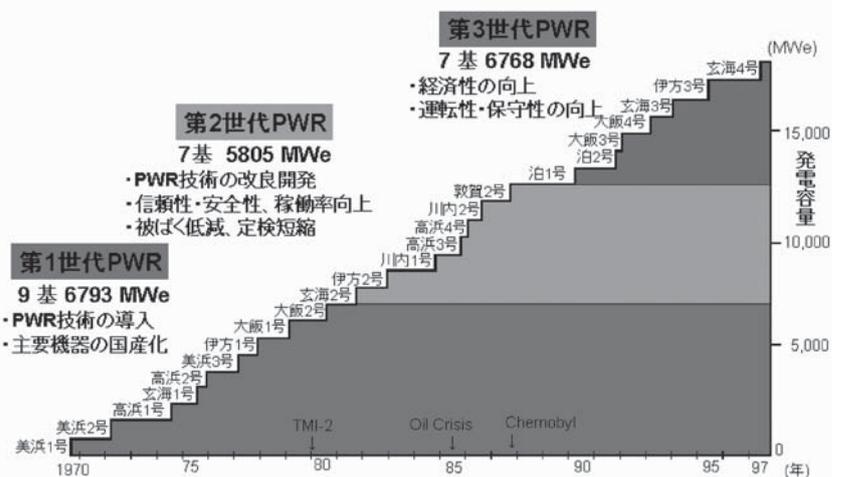
次の PWR プラントは 3 ループ初号機の高浜 1 号機(1974 年運開)で, A/E 設計は GAI 社, 高浜 2 号機(1975 年運開)は A/E 設計を三菱が担当した。美浜と同様, 同ループの初号機(高浜 1 号機)と同一仕様設計を原則とした。このころには三菱の技術も GAI 社と議論できる程度に向上していた。また, 高浜 1, 2 号機は整備されてきた米国の安全設計基準を反映したプラントであり, この面では後続のプラントのベースとなっている。

高浜 2 号機とほぼ同時に設計に着手した玄海 1 号機は, 美浜 1, 2 号機を参考としたが, 地形条件に適合した建屋形状と機器配置にした。

玄海 1 号機と高浜 2 号機では, 本格的なコンポジット図(1 区画内に配置されるすべての設備を 1 枚の図面に書いたもの)を初めて作成し, 設計手法の面においても独自技術の確立へ一歩前進した。コンポジット図による検討はモデルエンジニアリング(プラスチックモデルにより検討する手法)を導入するまで続いた。

三菱が, 安全審査助勢から起動試験まで一連の設計作業を行った最初の炉心は玄海 1 号機であった。伊方 1 号機では装荷パターンも変更したが, 設計通りの炉心性能が得られ, 炉心設計面でさらに自信を深めた。

1 次系の系統構成は WH 社の技術提携情報によったが, 設計そのものはプラント個々の要求, 設計基準のその時々の変遷を反映して実施された。美浜 2 号機は原子炉蒸気供給系統を WH 社, その他の 1 次系補助系統を三菱が担当した。高浜 1 号機は, 主契約者である WH 社が原子炉蒸気供給系統および廃棄物処理系を, スプレッドシステムおよび海水系統を GAI 社が, その他の 1 次系補助系統を三菱が担当した。1970 年代になると高浜 2 号機, 玄海 1 号機, 美浜 3 号機, 伊方 1 号機が国産プラントとして次々に設計されたが, これらの設計では原子炉蒸気供給系統, その他の補助系統とも三菱が担当した。



第 5 図 三菱 PWR の歴史

2. 製作

美浜1号機では、主要機器(原子炉容器、蒸気発生器、炉内構造物、1次冷却材ポンプ等)のうち、国産のものは加圧器のみであった。

美浜2号機は三菱原子力工業(株)が主契約者となり、原子炉容器と蒸気発生器の国産化を目指した。原子炉容器と蒸気発生器は関西電力(株)に近い三菱重工業(株)神戸造船所に専用工場を造り、美浜2号機で原子炉容器と蒸気発生器の国産化を実現できた。

高浜2号機(電気出力82.6万kW)では、玄海1号機(電気出力55.9万kW)同様、炉内構造物と制御棒駆動装置を国内で生産し、国産化率をさらに高めた。なお、1次冷却材ポンプの国産は第2世代の玄海2号機からであった。

3. プロジェクト管理

第V章で簡単に記述した原子力プラントの総合日程(IPS)管理システムは、従来の工程管理が社内の関連事業所やその関連課で個々に行われていたことによる関連部門の工程のずれ、設計着手の立ち遅れ、下流工程へのしわ寄せなどの問題を解消するために開発された工程管理のシステムである。基本設計から建設までのすべての業務をネットワーク手法(PERT/TIME)によって日程計画し、これらの業務に携わる各部門の日程管理を行うものである。

IPS管理システムは、伊方1号機の建設で試験的に適用した(正式には玄海2号機から採用)。当時は、汎用コンピュータを使って日程計算をしていたが、コンピュータの能力に「すべてが英文で字数は20文字まで」という制約があり、短縮した工程名称について技術者の理解を得るまでは苦勞の連続であった。当時のコンピュータの能力から、日程調整の計算が1日に最大2回程度しかできなかったため、日程調整には数日間の深夜残業が避けられなかった。当時のコンピュータはパンチカード方式で、変更のつど、2,000枚ものカードを作成して差し替える労力は大変な

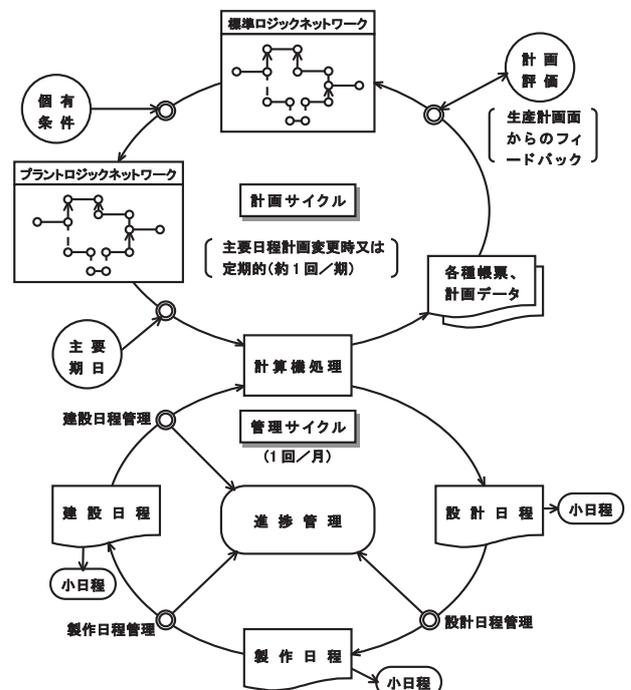
ものであった。

また、導入初期のIPS管理システムは期日に幅があるなど使いにくい面もあり、定着するまでには経験による種々の工夫と試行錯誤が必要だった。

現在では建設工事の前工程である計画、設計、製作工程をIPS管理システムによって正確に把握し、管理することにより、建設工事への遅滞のない部品供給を確保し、建設工事の進捗と完工を納期どおりに実現している。(第6図)

4. 建設

原子炉格納容器の初期の建設方法では原子炉格納容器内中央にクレーンを立てていたが、最新のものでは原子炉格納容器の横にクレーンを立て(サイドクレーン方式)、重量のある大きなブロックを吊り上げる方式になっ



第6図 IPS管理システムのしくみ

第2表 第1世代PWR

プラント名称	出力(万kW)	ループ数	事業者	主契約者	A/E会社	原子炉容器	蒸気発生器	炉内構造物
美浜1	34.0	2	関西電力(株)	WH/MAPI	GAI	CE	CE	WH
美浜2	50.0	2	関西電力(株)	MAPI	MAPI	MHI	MHI	WH
高浜1	82.6	3	関西電力(株)	WH/MC	GAI	MHI	WH	WH
高浜2	82.6	3	関西電力(株)	MC	MAPI	MHI	MHI	MHI
玄海1	55.9	2	九州電力(株)	MHI	MAPI	MHI	MHI	MHI
美浜3	82.6	3	関西電力(株)	MC	MAPI	MHI	MHI	MHI
伊方1	56.6	2	四国電力(株)	MHI	MAPI	MHI	MHI	MHI
大飯1	117.5	4	関西電力(株)	WH/MC	GAI	MHI	WH	WH
大飯2	117.5	4	関西電力(株)	WH/MC	GAI	MHI	MHI	WH

WH: ウェスチングハウス, MHI: 三菱重工業(株), MAPI: 三菱原子力工業(株), GAI: ギルバート, CE: コンパッションエンジニアリング, MC: 三菱商事(株)(三菱重工業の代理店)

たことや、配管をあらかじめ工場で組み立てるユニット工法について、第V章の中で記述しているが、第1世代PWRの建設工程の中で原子炉格納容器組立開始から、1次系水圧試験までの純粋に機械工事と建築工事の期間だけを見ると、同じ2ループプラントでは美浜2号機が31ヶ月に対して、玄海1号機が30ヶ月、伊方1号機が29ヶ月と短縮されている。ただし、サイドクレーン方式に代表される短縮工法の本格的な導入は第2世代のPWRである玄海2号機からとなる。(第2表)

これら、美浜1号機から大飯2号機までの9機のプラントの経験とその間の技術開発によって自主技術が確立され、プラントトータルとして技術の自主化、自立化ができたことがその後、信頼性の向上、稼働率の向上、安全性の向上、被ばく量の低減などの社会ニーズに対応した、いわば日本型PWRとも呼べる第2世代PWR、さらに改良・高度化された第3世代PWRへの発展につながることになる。

#### —参考文献—

- 1) 荻野周雄, “三菱の原子力開発への取り組み”, 原子力eye, 7月号, (2000).
- 2) 佃 俊雄, “美浜発電所第1号機の計画”, 火力発電, 17

[12], (1966).

- 3) 岡野茂夫, “美浜発電所の計画”, 火力発電, 18[6], (1967).
- 4) 浜口俊一, “美浜発電所の概要と建設状況”, 火力発電, 19[12], (1968).
- 5) 関西電力五十年史, (2002)
- 6) 三菱重工技報, 19[6], (1982).

#### 著者紹介

山田一太(やまだ・いちた)



エンジニアリング開発(株)  
(専門分野/関心分野)軽水炉プラント設計, 後進の指導・育成, 技術伝承など

鈴木成光(すずき・しげみつ)



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

### 広告記事(PRのページ)新設と募集のお知らせ

#### 1. 広告記事(PRのページ)の募集

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

・掲載場所

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

・掲載料金

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

・広告記事のページ数：1～2頁(2頁の場合は「見開き」とする)

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

#### 2. 広告記事原稿の提供等

・版下は広告出稿主が提供する

・カラーの場合は出稿主がカラー印刷代を負担する

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

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

連載  
講座

## 高速炉の変遷と現状

## 第9回 再処理関連の歴史と現状

日本原子力研究開発機構 船坂英之, 永井俊尚, 鷲谷忠博

## I. はじめに

高速増殖炉(FBR)サイクルを確立するために不可欠となるFBR燃料再処理技術の開発は、FBR開発に合わせて昭和50年から本格的に開始され、PUREX法をベースとした再処理技術については、プロセス・機器開発の成果に基づき、国内で試験施設を建設できる段階にまで仕上がった。その後、環境負荷低減、核不拡散性への配慮等、将来の社会の多様なニーズに対応できる技術の可能性を追求し、技術の選択の幅を広げていくことが重要視され、「アクチニドのリサイクルを行う先進的な核燃料リサイクル技術」の研究開発に取り組む必要性が謳われ、平成9年12月の原子力委員会「高速増殖炉懇談会」の報告等も踏まえ、開発は「FBRサイクル実用化戦略調査研究」(FS)に受け継がれ、現在の「FBRサイクル実用化研究開発」(FaCTプロジェクト)に至っている。以下においては、FBR燃料再処理技術開発の歴史と現状について述べる。

## II. 経緯の概要

1. FBR燃料再処理技術開発の始まり<sup>1)</sup>

FBR燃料再処理技術開発の歴史は、昭和50年代に遡る。原子力委員会が策定した「動力炉・核燃料開発事業団の動力炉開発業務に関する第2次基本計画」(昭和50年3月31日)にFBR燃料再処理技術の研究業務が追加さ

*Fast Breeder Reactor: The Past, the Present and the Future*  
—(9)History and Current Status of Nuclear Fuel Reprocessing Technology: Hideyuki FUNASAKA, Toshihisa NAGAI, Tadahiro WASHIYA.

(2008年2月5日受理)

各回タイトル

第1回 高速炉の誕生

第2回 高速炉型式の変遷

第3回 米国の高速炉開発の歴史(I)

第4回 米国の高速炉開発の歴史(II)

第5回 欧州・アジアの高速炉開発の歴史

第6回 日本の高速炉開発の歴史(I)

第7回 日本の高速炉開発の歴史(II)

第8回 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究の成果

れたのを受け、当時の動力炉・核燃料開発事業団(以下「動燃」という)は、昭和50年度から本格的に開発に着手した(当時の高速増殖炉「もんじゅ」の臨界は昭和60年代初頭に計画<sup>2)</sup>)。

FBR燃料は、軽水炉燃料と比較した場合、①集合体構造が異なる(ラッパ管の存在等)、②プルトニウム(Pu)含有率が高い、③燃焼度が高い、といった特徴を有している。動燃は、まず、当時すでに軽水炉燃料再処理で実績のある湿式法(PUREX法)と乾式法を主体とした他の方法を比較した結果、PUREX法を改良することで10年程度の短期間でFBR燃料再処理を完成させることが可能であると判断し、FBR燃料特有の課題解決を中心とした技術開発を進める方針を立てた。具体的には、化学プロセスおよび機械式(回転鋸)解体機、バッチ式溶解槽、パルスカラム等のプロセス機器の開発に取り組むとともに、「もんじゅ」等の使用済燃料処理を通じてFBR再処理技術のプラント規模での実証および経済性を見通しを得ることを目的としたFBR燃料リサイクル試験施設(パイロットプラント)の設計を進めた。また、動燃は、これらの開発を効率的に進めるために、実験室規模のホット試験施設である高レベル放射性物質研究施設(CPF)や、工学規模のコールドまたはウラン試験施設(応用試験棟、第2応用試験棟、実規模開発試験室)を茨城県の東海事業所内に順次建設した。

昭和57年に改訂された原子力開発利用長期計画<sup>3)</sup>(長計)では、FBR燃料再処理技術の確立とパイロット規模の再処理試験施設の計画推進が新たに盛り込まれた(この時の「もんじゅ」臨界は平成2年(1990年)頃に計画)。

さらに、原子力委員会・高速増殖炉開発懇談会の高速炉燃料再処理小委員会の報告(昭和59年2月)では、(1)自主開発により国内技術として確立する、(2)動燃の技術開発施設におけるR&Dおよび軽水炉燃料再処理の経験を生かし、再処理技術の実用化に向けて再処理試験施設を建設し、その運転経験を通じて技術の蓄積を図る、(3)自主技術を補完し、開発の効率化を図るため、国際協力の活用を図る、との基本的考え方が示された。

昭和59年9月に、動燃は、CPFで回収したPuを用いて再加工した燃料を高速実験炉「常陽」に再装荷し、小規模ながらFBRサイクルの輪を閉じた。

## 2. 開発計画の見直し—RETF 計画への取組み<sup>4)</sup>

昭和60年代に入り、動燃は、技術開発の重点を連続溶解槽や遠心抽出器等の経済性の向上に向けた新型プロセス・機器の開発に移行させた。しかしながら、「もんじゅ」臨界時期がさらに遅れることが予想されたことから、動燃は、ホット工学試験施設(後のリサイクル機器試験施設(RETF))構想を提案した。これは、パイロットプラント建設の前のステップとして、プロセス・エンジニアリングの確立を図り、我が国の再処理技術の基盤の強化を図ることを目的としたものであった。この計画は、昭和62年に改訂された長計<sup>5)</sup>でも新たに盛り込まれた(この時の「もんじゅ」臨界は平成4年(1992年)頃に計画)。

その後、動燃は、「もんじゅ」等の実際の使用済燃料集合体を用いて工学規模のホット試験を行う RETF の設計を進めた。また、これまでに蓄積してきた新型プロセス・機器に関する知見をさらに向上させ、開発を加速させるために、昭和62年(1987)から平成6年(1994)まで「高速炉燃料再処理技術開発に関する日米共同研究」も実施し、レーザー解体機、連続溶解槽、遠心抽出器等について共同で開発を進め、これらの成果を RETF の設計に反映した。

RETF では、上記の新型プロセス・機器を採用した解体・せん断、溶解・清澄、抽出、溶媒洗浄の各工程を開発・試験対象とした。このうち、抽出工程については、FBR 燃料中の Pu 含有量が多く、Pu 分配用試薬として従来の硝酸ウラナスをを用いた場合、その使用量が多くなることが考えられたため、硝酸ウラナスではなく硝酸ヒドロキシルアミン(HAN)を使用することとした。また、溶媒洗浄工程については、ナトリウムを含まないソルトフリー試薬を用いた洗浄法を採用する等、PUREX プロセスに対する改良を行った。また、RETF における試験の結果発生する Pu やウラン(U)の処理、廃棄物の処理・貯蔵は東海再処理工場(TRP)において行うこととした<sup>6)</sup>。

動燃は、平成4年1月に、RETF を TRP の「その他再処理設備の附属施設」の「主要な試験施設」として設置する「再処理施設設置変更承認申請」を行った。その後、国による安全審査が行われ、平成5年8月に承認を得た。さらに設計および工事の方法の認可を経た後、平成7年1月には建設工事に着手した。

その後の RETF の建設工事の計画は、平成7年12月の「もんじゅ」事故、平成9年3月のアスファルト固化処理施設の事故を受けて見直されることとなった。平成10年に動燃から改組した核燃料サイクル開発機構(以下「サイクル機構」という)が定めた中長期事業計画では、RETF については「(1)FBR 再処理の技術開発の進展を適切に反映するため、RETF 計画は柔軟に進める、(2)「実用化戦略調査研究」(後述)の結果と整合を取りつつ、その後の RETF 計画を作成する」ということとなり、平成

12年の第1期工事終了をもって工事を中断した<sup>7)</sup>。

以上のように、PUREX 法をベースとした FBR 燃料再処理技術については、プロセス・機器開発の成果に基づき、国内で、一からプロセス設計、機器設計を手掛け、許認可を経て、試験施設を建設できる段階にまで仕上がった。現在は、以下に述べるように、経済性や環境負荷低減および核不拡散性へ配慮した研究開発に取り組んでいる。

## 3. 「先進的核燃料リサイクル」への取組み

平成6年に改訂された長計<sup>8)</sup>で、環境負荷低減、核不拡散性への配慮等、将来の社会の多様なニーズに対応できる技術の可能性を追求し、技術の選択の幅を広げていくことが重要視され、「窒化物燃料、金属燃料等の新型燃料によるリサイクルやアクチニドのリサイクルを行う先進的な核燃料リサイクル技術」の研究開発に取り組むことが新たに盛り込まれた。

動燃は、平成8年までに、U/Pu およびネプツニウム(Np)を共抽出する「単サイクル抽出工程」を提案し、CPF における試験によりプロセスの成立性を確認した。合わせて、経済性向上に寄与できる可能性のある「晶析法」を提案した。

## 4. 「実用化戦略調査研究」フェーズ<sup>9)</sup>

平成11年度に、サイクル機構は電気事業者と「FBR サイクル実用化戦略調査研究」(FS)フェーズ1を開始した。核燃料サイクル技術の候補については、幅広く国内外からのアイデアを募集した。その結果、再処理については PUREX 法を含め合計27の技術が挙げられ、これらについてまず再処理システム全体の経済性評価が可能な提案か否か等を基準として1次スクリーニングを行い、10候補に絞った(湿式は7候補(①従来湿式法、②簡素化溶媒抽出法、③晶析+簡素化溶媒抽出法、④イオン交換法、⑤アミン抽出法、⑥超臨界直接抽出法、⑦パイプレスプラント(晶析+過酸化物沈殿法))、乾式は3候補(金属電解法、酸化電解法、フッ化物揮発法))。

その後、これらの設計を行い、あらかじめ定めた設計要求に従って技術の比較を行った。その結果、主に経済性の観点から「晶析+簡素化溶媒抽出法」(先進湿式法)の検討を深めることとした。

## 5. 「実用化戦略調査研究」フェーズ<sup>2)10,11)</sup>

平成13年度からフェーズ2を開始した。先進湿式法の MA 回収プロセスについては、経済性の観点から抽出クロマトグラフィー法を選定した。

最終的に、炉、燃料および再処理のシステムとしての観点から、フェーズ2が終了する平成17年度までにナトリウム炉-先進湿式法再処理-簡素化ペレット法燃料製造の組合せを主概念として選定した。

上記の結果は、文科省の委員会(科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会 原子力分野の研究開発に関する委員会)にて審議され、主概念は上記の通りとし、さらに開発リスクを考慮して、今後集中的な研究開発を行うことなく革新的な技術を代替できると見込まれる技術(従来型 PUREX ベース技術:Co-Processing 法)を代替技術とした。

以上のような経緯を踏まえて、現状は FaCT プロジェクトの中で、先進湿式法の研究開発を進めているところである。

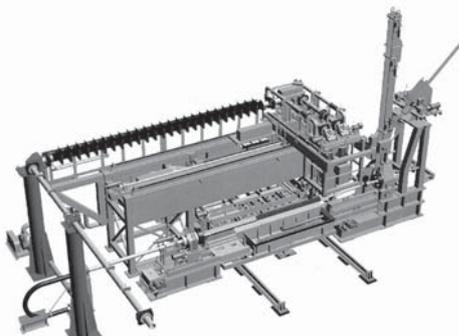
### Ⅲ. 研究開発の歴史と現状<sup>12)</sup>

#### 1. 解体・せん断技術<sup>13,14)</sup>

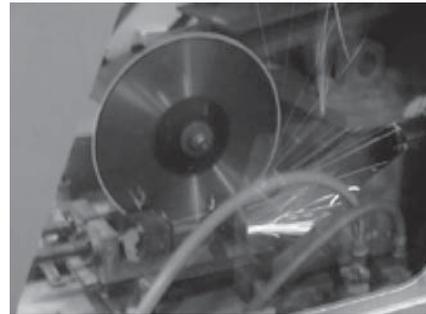
燃料集合体からラップ管やノズル部を切断除去する解体技術として、当初、機械式とレーザー式の両方を評価し、機械式では切断工具の損耗が激しいことからレーザー式を選定し技術開発を進めてきた。また、当時の動燃の開発実績を踏まえて米国との共同研究を実施し、炭酸ガスレーザーを用いた解体試験等によりレーザー解体機の基本性能を把握するとともに RETF 用解体機の基本構造を構築した(第1図)。しかし、一方ではレーザー発振部から切断箇所までの伝送系の遠隔調整の困難さ、ラップ管切断時におけるラップ管の直下にある燃料ピンの損傷、の課題も明確となった。前者の課題については、炭酸ガスレーザーを光ファイバーによる伝送が可能な YAG(Yttrium Aluminum Garnet)レーザーに変更することにより解決を図ったが、後者については現状のレーザー制御技術では完全に回避することは困難と考えられた。

一方、この間に機械式切断技術については、せん断工具の開発が進み、耐久性が飛躍的に優れた CBN(立方晶窒化ホウ素)等の切断工具が開発され、再び有力な候補技術として注目された(第2図)。また、燃料ピンの損傷を避ける方法としては、ラップ管の軸方向の切断を削減したラップ管引抜方式が開発された。

現在、機械式を主とした切断性能の把握試験を行うとともに、ラップ管引抜方式を採用した解体機の構造検討



第1図 炭酸ガスレーザー解体試験機



第2図 模擬ラップ管の切断

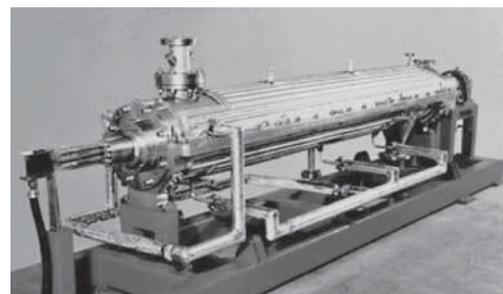
を進め、燃料集合体の遠隔ハンドリング等を含めた解体システムとして成立させるべく工学規模での評価試験を計画している。

燃料ピン束のせん断技術については、軽水炉燃料再処理と同様の技術を活用することとしているが、軽水炉と高速炉での燃料ピンの違い(ピン径、ピン束の拘束等)によるせん断状況への影響把握等の試験を進めている。特に先進湿式法では、晶析工程で用いる高濃度溶解液を効率良く調整するため、せん断長さを短くし、せん断後の燃料粉化率を高めることが要求されている。

#### 2. 溶解・清澄技術<sup>15,16)</sup>

せん断燃料の溶解技術については、CPFにおいて常陽等の使用済燃料を用いたホット基礎試験を数多く実施し、Pu 富化度の高い高速炉燃料の溶解反応速度やその経時変化等のデータを蓄積している。現在は粉化率の高いせん断燃料の溶解挙動の把握を主目的に試験を実施している。

溶解槽の形式としては当初、バッチ式と連続式の比較評価を実施し、運転時のオフガス発生量の平坦化、臨界安全管理を考慮した装置の小型化等の観点から連続式を選定した。その後、様々な型式について検討を行った。米国との共同研究では円筒水平の回転ドラム型連続溶解槽を開発対象として選定し、工学規模の試験装置を用いたU試験により基本的性能を把握した(第3図)。その後、溶解槽内部でのせん断片(ハル、ワイヤ等)の移行挙動の把握、閉塞発生抑制のための内部構造の改良等を実施するとともに、RETF 連続溶解槽の基本構造を構築した。また、現在では処理能力の向上について検討を進



第3図 回転ドラム型連続溶解槽試験装置

めている。

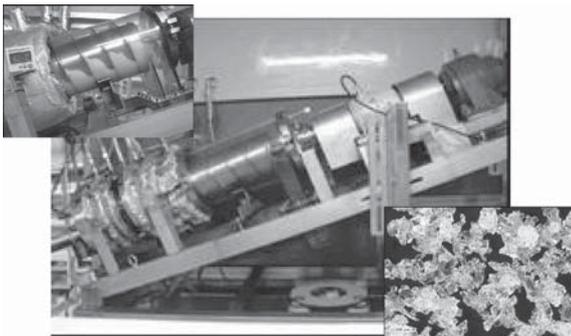
溶解液中の固形物(スラッジ)を除去する清澄技術については遠心法について開発を進めている。高速炉燃料の溶解液は軽水炉燃料と較べてPuやスラッジの量が多いこと、加えて、先進湿式法では後工程の晶析工程へのフィード液として高濃度溶解液を対象とすること等への対応が必要である。遠心清澄機については、遠隔保守を考慮した基本構造を構築し、模擬物質を用いた工学規模での清澄試験等により基本的性能を把握した。現在、上記の高濃度溶液に対応した改良について検討を進めている。

### 3. 晶析技術<sup>17,18)</sup>

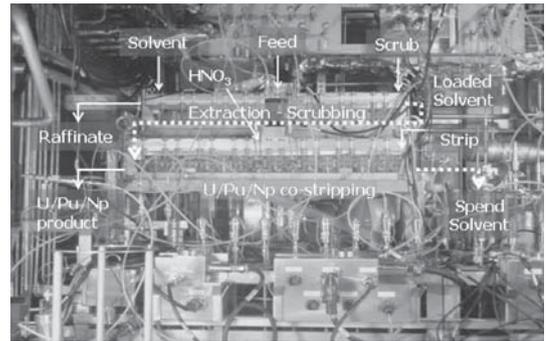
晶析法は、温度制御のみにより目的物質を分離し試薬等の添加を必要としないという分離技術である。実用化戦略調査研究では、先進湿式法の革新的技術の一つとして、溶解液からのU粗回収技術として、この晶析技術を選択した。晶析技術は1980年代に西独でU、Pu精製工程の技術として検討された実績があるが、不純物を多く含む溶解液からのU回収法としての適用例は無く、革新性の高いプロセス技術である。溶解液に対して晶析技術を適用する場合の開発課題として、プロセス上の観点からU晶析へのPuやFP元素の同伴挙動の解明、また、装置上の観点から固体ハンドリングや冷却温度制御等が挙げられる。

晶析プロセスの開発としては、模擬FPを用いたU基礎試験により、晶析率、模擬FPのDF等のデータを取得するとともに、Pu試験やホット試験により、PuやFP元素の挙動把握を実施してきている。Puについては、原子価の制御によりU結晶への同伴を抑制できること、FP元素の中には複塩形成等により同伴する可能性が高いものがあること等を把握しており、現在、U結晶の除染係数の向上等の技術開発を進めている。

晶析装置としては様々な型式について比較評価を行った結果、連続処理、臨界管理、結晶のハンドリング等の観点からロータリーキルン型を最適な型式と選定し、その運転安定性等について試験を行い、基本的性能を把握した(第4図)。現在、非定常時の状況把握や冷却方式の



第4図 ロータリーキルン型連続晶析試験装置



第5図 CPFホット基礎試験装置(小型遠心抽出器)

改良等の開発を進めている。

### 4. 抽出技術<sup>19,20)</sup>

溶媒抽出技術ではCPFにおいて常陽等の使用済燃料を用いたホット基礎試験を数多く実施し、PUREX法を用いた高速炉燃料のフローシート研究を進めてきた(第5図)。この中で、HANによる還元分配やU、Pu、Npの共回収技術を開発してきた。また、PUREX法をベースとしつつ、プロセスの簡素化や廃棄物発生量の低減などを目的として、晶析法、簡素化溶媒抽出法と抽出クロマトグラフィを組み合わせた先進湿式法を提案し、そのフローシートを検証するためのホット基礎試験を実施した。簡素化溶媒抽出法は、分配と精製の工程を廃した抽出—逆抽出のみの単一サイクル抽出工程であり、晶析工程であらかじめUを粗分離し、溶媒抽出工程でU、Puを共回収することでU逆抽出工程を省略するとともに、溶媒抽出設備で取扱う溶液量の最小化が図れる。

抽出器の開発については、当初、臨界安全性の観点からパルスカラムの開発を実施し、適用の見通しを得た。その後、機器の小型化、溶媒接触時間の短縮化、起動停止時間の短縮等の観点から遠心抽出器を選定し開発を行ってきた(第6図)。遠心抽出器のシステム開発では、当時の動燃の開発実績を踏まえて米国との共同研究を実施し、複数の遠心抽出器をつないだ工学規模(10 kg-HM/h)のシステム試験装置を用いてU試験を実施しシステム運転特性を把握した。また、駆動部の耐久性や耐放射線性を考慮した設計を進め、長時間運転試験等により、遠心抽出器の耐久性を把握している。また、大型化に向



第6図 遠心抽出器試験装置(工学規模試験用)

けた駆動部の高度化の一環として軸受けの非接触化を図った磁気軸受型遠心抽出器を開発中であり、現在、機械的な耐久性に加えて耐放射線性の評価を進めている。また、大型プラントへの適用性を高めるため、臨界安全性を維持した大型遠心抽出器構造として、ロータ内部に中性子吸収材を配置した中性子内包型遠心抽出器の開発を進めている。

### 5. MA 回収技術<sup>21)</sup>

MA 回収技術に関しては、米国において開発された溶媒抽出法である TRUEX 法 (TRansUranium EXtraction) をベースに原子力機構が開発した SETFICS 法 (Solvent Extraction for Trivalent-f-elements Intra-group separation in CMPO-complexant System) (CMPO; n-octyl(phenyl)-N, N-diisobutylcarbamoyl-methyl-phosphine oxide) について、ホット試験等より、MA 元素の分離、回収性能を評価し、その基本性能に問題が無いことを確認した。一方、このような溶媒抽出を利用した MA 回収において問題となる廃液発生量の増大に対しては、これを大幅に改善する可能性を有している抽出クロマトグラフィに注目し、研究開発を開始した (第7図)。

吸着材の担体としては、安全性や処理性能等の点から優れた性能を有する SiO<sub>2</sub>-P 粒子 (多孔質の SiO<sub>2</sub> 粒子にスチレン-ジビニルベンゼン高分子を被覆した粒子) を選定し、この担体に CMPO や HDEHP (Di-2-ethylhexyl phosphoric Acid) 等の各種抽出剤をそれぞれ担持させた吸着材を対象として、MA 等の分離性能評価、耐酸性や耐放射線性等の安全性評価、さらには使用後の吸着材の処理方法について検討を進めている。今後、これらの結果を踏まえ、抽出クロマトグラフィによる MA 回収フローシートの構築及び各抽出剤の相互比較評価を行い、最良のフローシートを選定する。

機器開発の面からは、分離塔内における水溶液や放射線分解ガス、吸着材等の流動性評価や、温度制御性評価、さらには繰返し運転時の性能評価を実施するとともに、通常運転時及び異常時における計装制御システムの構築

や吸着材交換時等の運転保守における遠隔操作性に関する検討を進めている。

今後は以上の研究成果を集約し、工学規模抽出クロマトグラフィ試験等により、分離性能、安全性、計装・制御及び遠隔運転保守に関わる基本性能を総合的に確認・評価していく。

### 6. その他関連技術<sup>22)</sup>

再処理工程より発生する各種廃液を濃縮操作等により、ガラス固化する高レベル廃液と海洋放出可能な極低レベル廃液に 2 極化する廃液処理技術は、廃棄物全体の発生量を大幅に削減できる可能性を有している。このような廃液の 2 極化を達成するためには、廃液の濃縮効率を高めること、すなわち濃縮の妨害となる廃液中の金属塩濃度を低減させることが必要となる。この観点から、再処理工程における金属塩を含んだ試薬の使用を極力排除する、いわゆるソルトフリー化に関わる検討を進めている。

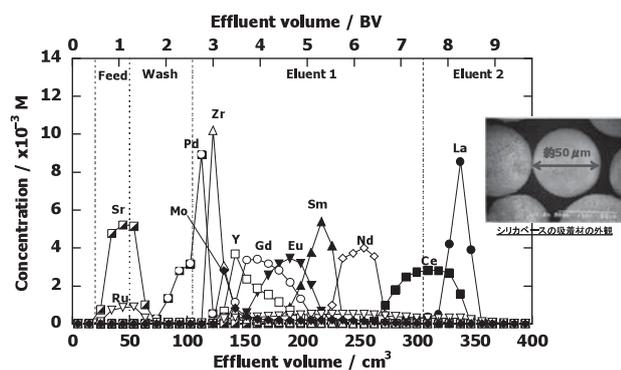
従来ナトリウム塩を使用していた溶媒洗浄工程については、新たに炭酸ヒドラジン等のソルトフリー試薬を採用し、その洗浄性能に問題がないことを各種コールド試験等により確認した。また、使用後のソルトフリー試薬を窒素、水等へ分解する手法として電気分解法を選定し、分解条件等の検討を行うとともに、工学規模電解装置についてその基本性能を確認した。現在、分解条件の最適化に資するため、DBP (リン酸ジブチル) 等の不純物の影響や分解副生成物の挙動に関する評価を進めている。

このほか、分析試薬等を含めた更なるソルトフリー化の可能性についても検討を進め、濃縮効率の向上による廃液 2 極化を図っていく。

## IV. 今後の展開

FBR 燃料再処理技術開発は、実用化戦略調査研究にて主概念と選定された先進湿式再処理法について、炉や燃料開発と整合を図り、FBR サイクル実用化研究として進めていく計画である。FBR サイクルは 2050 年頃商業ベースでの導入を目指しており、再処理技術もこの長期にわたる開発も段階を区切ってチェックアンドレビュー (C&R) を行いつつ着実に進めていく必要がある<sup>11)</sup>。

最初の C&R を 2010 年に設定しており、この時点で晶析技術や MA 回収技術を始めとする革新技術についてその採用の是非を判断することとしている。次の C&R は 2015 年に設定しており、採用を決めた技術について開発を進めるとともに、FBR 燃料再処理の実証施設、実用施設についての概念設計を行う計画としている。概念設計の実施により施設イメージが得られるとともに、技



第7図 CMPO/SiO<sub>2</sub>-P による分離試験結果 (模擬高レベル廃液)

術開発への要求事項も一層明確化してくると考えており、これにより実用化までの研究開発計画をまとめ上げることができる。

再処理技術の実用化に向けては機器の信頼性をホットの環境下で確認することが重要なステップである。この工学規模ホット試験を積み重ねることにより、その後のサイクル実証施設を経てサイクル実用化に向け、着実に開発を進めていくことができると考えている。

再処理技術開発についてはさらに、第二再処理工場に係る2010年頃からの検討に向けた準備として、予備的調査・検討が我が国の関係機関の間で進められており、FBRサイクルの平衡期ばかりではなく、軽水炉サイクルからFBRサイクルへの移行期を念頭において今後の再処理技術のあり方を検討する必要があることが認識されている。軽水炉サイクルにおける再処理技術を含む今後の再処理技術のあり方についての調査・検討において原子力機構は中核機関と位置付けられており<sup>23)</sup>、調査・検討結果を踏まえ再処理技術開発計画を検討していく必要があると考えている。

#### —参考資料—

- 1) 動燃二十年史, (1988年10月).
- 2) 原子力の研究, 開発および利用に関する長期計画, (昭和53年).
- 3) 原子力の研究, 開発および利用に関する長期計画(昭和57年).
- 4) 動燃三十年史, (1998年7月).
- 5) 原子力の研究, 開発および利用に関する長期計画, (昭和62年).
- 6) リサイクル機器試験施設(RETF)計画について, 動燃技報 No.100, 1996年2月.
- 7) 核燃料サイクル開発機構 中長期事業計画, (平成11年3月, 平成13年7月改訂).
- 8) 原子力の研究, 開発および利用に関する長期計画, (平成6年).
- 9) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究; フェーズI 報告書, JNC TN 1400 2001-006, (2001).
- 10) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究; フェーズII 最終報告書, JAEA-Evaluation 2006-002, (2006).
- 12) 小島久雄“高速炉燃料の再処理技術開発”, 日本原子力学会誌, 36[10], 911(1994).
- 13) 小泉 務, 他, “FBR 燃料再処理用解体機の開発”, 日本機械学会[No.00-11]第7回動力・エネルギー技術シンポジウム2000講演論文集, (2000).
- 14) Y.Tooya, *et al.*, “Design Study of Mechanical Disassembly System for FBR Fuel Reprocessing”, *Proc. Int. Conf. ICONE-14*, Miami, July 17-20, 2006, 89374,

(2006).

- 15) Y. Sano, *et al.*, “Dissolution of Irradiated MOX Fuel for Highly Concentrated Solution”, *Proc. Int. Conf. GLOBAL 2005*, Tsukuba, Oct. 9-13, 2005, No.259 (2005).
- 16) T. Washiya, *et al.*, “Structural Improvement on the Continuous Rotary Dissolver”, *Proc. Int. Conf. I CONE-8*, Baltimore, Apr., 2000, (2000).
- 17) K. Yano, *et al.*, “Uranium Crystallization for Dissolver Solution of Irradiated FBR MOX Fuel”, *Proc. Int. Conf. GLOBAL 2005*, Tsukuba, Oct. 9-13, 2005, No.118 (2005).
- 18) T.Washiya, *et al.*, “Development of Crystallizer for Advanced Aqueous Reprocessing Process”, *Proc. Int. Conf. ICONE-14*, Miami, Florida, July 17-20, 2006, 89292, (2006).
- 19) M. Nakahara, *et al.*, “Actinides Recovery by Solvent Extraction in NEXT Process” *Proc. Int. Conf. GLOBAL 2005*, Tsukuba, Oct. 9-13, 2005, No.262, (2005).
- 20) 鷺谷忠博, 他, “高速炉燃料再処理用遠心抽出器の開発”, サイクル技報, No.21, (2003).
- 21) 駒 義和, “抽出クロマトグラフィ法によるマイナーアクチニド回収技術の開発”, 原子力 eye, 53[11], (2007).
- 22) 鷺谷忠博, 他, “ソルトフリー電解酸化槽工学試験”, 動燃技報, No.83, (1992).
- 23) 平成19年第50回原子力委員会資料第1号「第二再処理工場に係る2010年頃からの検討に向けた予備的な調査・検討について」, (平成19年12月).

#### 著者紹介

船坂英之(ふなさか・ひでゆき)



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

永井俊尚(ながい・としひさ)



日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)燃料再処理

鷺谷忠博(わしや・ただひろ)



日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)燃料再処理

## 談話室

## (財)原子力発電技術機構の解散と今後の事業展開

(財)原子力発電技術機構\* 内藤 正則

財団法人原子力発電技術機構 (NUPEC) は1976年3月に、当時の通商産業省所管の財団として「原子力工学試験センター」の名称で創立され、原子力発電用機器の安全性、信頼性の実証試験を中心として多くの貢献をなした。2003年10月に、独立行政法人原子力安全基盤機構 (JNES) が新たに設立されたのを機に、それまで NUPEC が実施していた規制関連の事業が JNES に移管された。その後の NUPEC は国の規制行政に直接関与しない安全解析業務、情報提供業務、廃止措置関連業務、および多度津振動台試験装置の貸与・運転業務等を継続するのみとなった。2005年7月には多度津工学試験所が廃止され、NUPEC は2008年3月末をもって解散し、NUPEC 事業の多くは財団法人エネルギー総合工学研究所 (IAE) に継承されることとなった。

本稿では、NUPEC の32年間の活動実績を紹介するとともに、IAE に引き継がれた事業の概要を紹介する。

### 1. NUPEC の設立

わが国の商業用原子力発電は1966年の東海発電所 (ガス炉) の運転開始に始まる。その後、軽水炉発電プラント (PWR, BWR) の運転が相次いで開始され、原子力発電実用化の時代を迎えた。一方では、1971年に米国アイダホ国立研究所における ECCS 実証試験結果を発端とした安全性実証問題が発生した。国内では、1972年に PWR 蒸気発生器伝熱管の減肉、1974年には BWR 配管応力腐食割れ等のトラブルが発生し、原子力発電所の設備利用率は50%前後で低迷した。このため、原子力発電所の安全の確保と、原子力利用に関する国民の合意形成が社会的に要求されるようになった。このような中、当時の通商産業省の積極的な指導により、産学官が結集して原子力安全の試験研究を推進することとなった。その機関として1976年3月、財団法人原子力工学試験センターが設立された。

### 2. NUPEC 基盤の充実 (1976~1981年)

NUPEC 創立当初の管理部門以外の部署は耐震部と機器部であり、耐震試験のための大型振動台の建設とバルブや燃料集合体の実証試験の基本計画立案を進めていた。

1977年11月に、香川県多度津町内の地点に約10万坪の用地を確保し、大型振動台の建設工事が開始された。翌1978年には燃料部が機器部から独立し、燃料集合体実証試験が軌道に乗った。並行して機器部所掌のバルブおよびポンプ信頼性実証試験、ならびに応力腐食割れや供用期間中検査の実証試験が相次いで推進された。これらの実証試験を実施するサイトとして、1978年に磯子工学試験所、1982年に勝田工学試験所が開設された。

1978年10月に原子力安全委員会が設置され、安全規制の一元化が図られることになった。これに呼応して、1980年に原子力安全解析所を発足させ、安全審査申請書の内容についてのクロスチェック解析や安全性実証解析等を行い、国の安全審査の支援体制を確立した。

この間、1980年に技術部を、1981年に開発部を設置し、事業基盤を整備して改良・開発技術の確証試験にも着手した。こうして NUPEC の事業規模は順調に拡大し、1982年の総人員は125名、予算規模は148億円に達した。

### 3. 各種事業の展開 (1982~1989年)

1982年に大型振動台が竣工したことにより多度津工学試験所を開設し、PWR 格納容器、BWR 再循環系配管等各種設備の耐震実証試験を開始した。また、立地確証調査、高耐震構造立地技術確証試験にも着手した。1983年には高砂工学試験所を設置し、供用期間中検査試験、PWR 蒸気発生器の各種試験等を推進した。1984年には、原子力発電安全情報研究センターを発足させ、国内外の事故トラブル情報等についてのデータベースを整備し、国の要請に即応して行政支援ができる体制を固めた。

1979年3月の米国 TMI 原子力発電所事故、1986年4月のソ連チェルノブイル原子力発電所事故の経緯から、ヒューマンファクターの重要性が強調されるようになった。これに対応して1987年、ヒューマンファクターセンターが設置された。また、これらの事故の影響で原子力に対する一般の不安が亢進する傾向にある中、1989年に緊急時対策技術開発室が設置された。同時に広報企画室が設置され、国の原子力広報を支援する体制を整備した。

### 4. 変化する環境への対応 (1990~2002年)

国の規制行政を支援する事業が軌道に乗り、1989年を挟む数年間の NUPEC は、総人員約240名、年間予算180

\*2008年4月1日以降：(財)エネルギー総合工学研究所

億円前後の規模となっていた。さらに1992年に、「寄附行為」(民間会社の「定款」にあたる)を変更し、安全性の確保のための技術開発と原子力発電に対する一般の理解獲得を目的とした総合的事業を展開することとなった。同時に、財団の名称を現在の原子力発電技術機構に改めた。この機構改革に伴い、企画室、国際協力室、プラント機器部(それまでの機器部の主要な事業を継承)、およびシステム安全部が設置された。1993年には安全対策計画室が設置されるとともに、それまでの耐震部を発展的に組織替えし耐震技術センターが発足した。1994年には、物理モデルに立脚した解析コード開発を指向する高度解析システム部が設置された。

シビアアクシデントの研究は、チェルノブイル事故の翌年1987年から原子炉格納容器信頼性実証試験としてシステム安全部にて実施された。さらに1992年からは国際協力を活用してアクシデントマネジメント(AM)を視野に入れた事業へと展開していった。

また1994年からは、それまでの高機能炉心技術調査事業に引き続いて、高減速MOX炉心を対象としたプルトニウム有効利用炉心技術調査事業を実施した。

機器関連では、1995年から原子力プラント保全技術信頼性実証事業が実施され、その成果は予防保全技術に供された。また、ABWR、APWR採用の新技术について、インターナルポンプ、FMCRD(Fine Motion Control Rod Drive)の略。制御棒の通常操作は電動で、緊急停止時には水圧で駆動する機構であり、ABWRで採用されている)等の実証試験が実施された。1999年からは将来型軽水炉安全技術開発事業として、BWRの炉容器下部の散水冷却によるシビアアクシデント時の事故拡大防止(AM)技術について開発試験を実施した。

1995年1月に発生した兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)は原子力発電施設の耐震安全性に対する一般の関心を高めた。多度津工学試験所における大型振動台による公開試験、乗台試験による振動の体験には1995年だけでも7,000名を超える見学者が訪れた。この後、一般建築物の耐震性にも強い関心が寄せられ、大型振動台はそれらを対象とした民間の試験にも供せられた。

1999年9月、茨城県東海村でわが国では初めての臨界事故が(株)JCOのウラン燃料加工施設で発生し、大きな社会的影響を及ぼした。これを機に、2000年に防災センターが設置され、緊急時支援システム技術の整備、防災研修の実施、防災訓練支援等の事業を進めてきた。

NUPEC 総人員はピーク時(1997年)で346名、年間予算は1996年度で266億円に達した。

## 5. NUPEC の解散に至る経緯(2003~2008年)

国の行政改革の一環として、原子力規制行政の支援を担う(独)原子力安全基盤機構(JNES)が2003年10月に設立された。これに伴い、NUPEC の事業の約3/4にあたる

規制に係る事業がJNESに移管され、役員職を含む約260名が移籍した。高砂、磯子両工学試験所も廃止された。これに先立ち、広報企画室が担当していた受託事業のうちの一般広報事業が2003年4月より財団法人社会経済生産性本部に移管された。

JNES が設立された2003年10月以降、NUPEC が実施してきた主な事業は、

- (1) プルトニウム有効利用型炉心安全性調査および将来型軽水炉シビアアクシデント対策設備安全性調査(システム安全部)
- (2) 大型振動台の貸与・運転業務(多度津工学試験所)
- (3) 安全性に係る情報収集・分析・提供業務(技術部)
- (4) 安全解析業務(安全解析部)
- (5) 廃止措置関連業務(技術部)、等である。

上記のうち、(1)は2004年3月で完了し、同時にシステム安全部および勝田工学試験所が廃止された。(2)は、JNES が実施する耐震事業のために、多度津工学試験所に設置されている大型振動台の賃貸借契約をJNESと締結したものである。JNESにおける耐震試験の完了に伴い、大型振動台は2005年5月末をもって運用を停止し、多度津工学試験所は同年9月に廃止された。この間、1982年11月の施設完成以降、2005年3月までの約23年間にわたり、国からの委託試験25件、民間からの委託試験21件、計官民合わせて46件の耐震試験を実施した。これらの概要はNUPEC ホームページに掲載されている。(3)の事業では、事故、トラブル、および原子力推進に係る国内外の情報を整理分析して関連機関に提供してきた。(4)の安全解析事業では、民間資金による解析評価、使用許諾契約によるNUPEC 所有の熱流動・安全解析コードの提供等を推進している。さらに、2005年度より国の提案公募事業(経済産業省、文部科学省)に連携機関として参加している。(5)の廃止措置関連事業では、民間資金による技術調査、ロードマップ作成等を進めている。

なお、2005年に撤去された多度津工学試験所の大型振動台に代わる新しい施設として、(独)防災科学技術研究所が兵庫県三木市に「実大震動破壊実験施設」(愛称：E-ディフェンス)を設置した。この施設は2005年に運用を開始しており、搭載質量1,200t、搭載テーブル寸法20m×15m、震度7程度の振動を起こすことが可能である。

## 6. 今後の事業展開

(財)原子力発電技術機構(NUPEC)は、2008年3月31日をもって32年間の活動の幕を下ろすこととなった。前記(3)の事業はNUPEC の解散とともに完了とした。残りの(4)、(5)の事業および多度津工学試験所で実施した耐震試験の技術資料の活用事業は(財)エネルギー総合工学研究所(IAE)に継承され、それまでの事業の継続と新たな展開を目指している。(2008年2月1日記)

## 特別寄稿(3)

## ハイゼンベルグと原爆開発

藤家 洋一

## 不確定性原理と原爆開発のハザマ

軽水炉利用の原子力発電が基幹電源としての位置を確保した21世紀初頭の今、原子力研究開発の歴史を振り返ってみる時期に来ているのかもしれない。19世紀の終盤のX線、電子、放射能の発見で原子の内部への関心が一気に深まり、物質の外の世界を記述するニュートン力学の世界から物質の内部を記述する量子力学の世界への大きな転換がもたらされた。連続から飛び飛びへの、実在から確率的存在への哲学的ともいえる転換でもある。アインシュタインですら確率的量子世界を十分認識できず、「神は実在を好む」と離れていった。しかし原子力は相対性理論と量子力学がその基本に存在していることに違いはない。

半世紀も前、大学で不確定性原理に初めて出会ったとき、「へえ」と思った。着想はとても真似できないが、その論旨はわかりやすく、見事な証明だと思えた。不確定性という名前はボアによる命名とされるが、ハイゼンベルグは不満だったようだ。不確定性原理は実験の精度が悪く誤差があるというのとはまったく違うもので新しい物理法則だという意識が彼にはあったようだ。Uncertaintyでなく、ドイツ語の不確定性関係(Unbestimmtheitsrelation)のほうが不確定性原理を表現する言葉としてよかったのかもしれない。

20世紀前半の大きな変化に、不確定性原理に始まる量子力学の構築と同時に、ヨーロッパから米国への核科学と巨大技術を中心とする科学技術の拠点の移動およびそれに結果する原爆開発がある。ハイゼンベルグはこの時代の代表的人物の一人であろう。1971年以後の親友ギュンター・ケスラー博士はハイゼンベルグの孫弟子とは言えないまでもその系統にいる。ドイツの原子力安全委員を永く務めた彼とはこの辺の話を良くした。彼が紹介してくれたハイゼンベルグに関する多くの著作の中にマイケル・フレインの戯曲コペンハーゲン[Copenhagen]を見つけ、その書き出しの1ページに魅せられ、原子力委員長を退任したら翻訳したいと考えていた。退任間近になって日本語に翻訳されていることを教えてもらった。いささかがっかりしたが、読んでみて見事に訳されていることに安心した。訳者の小田島恒志氏に敬意を表したい。

## ナチスドイツとユダヤ人追放

19世紀末のミクロ世界はその幕開け以来、世界の科学者の関心を引き起こし、1930年代はじめの頃にかけて大きく広がりを見せてきた。錬金術の時代の到来と位置付けたラザフォードの核反応への着手と原子構造の解明にいたる実験、チャドウィックの中性子の発見など多くのことが見い出され、現象が解明されていった。ところで私の手元に古希を祝ってケスラーが送ってくれたチャドウィックの直筆の手紙がある。

このようなサイエンスとしての喜びも、オット・ハーンによる核分裂反応の検出とリーゼ・マイトナーの証明が、反応に際して解放される複数の中性子と巨大なエネルギーの存在を確認するに及んで、原子爆弾開発の可能性を示し、それまでの研究開発の事態を一変させ核の世界を暗いものにしてしまった。

時あたかもナチスの世界戦略とユダヤ人追放の中で多くのユダヤ人学者がドイツ、ヨーロッパを追われ、物理学者の多くは英国や米国に亡命し、そこでナチスドイツが手にする前にと原爆開発を望み、あるいは計画に参加している。アインシュタインもルーズベルト大統領に原爆開発を進言している。この頃の話は常にナチスドイツとユダヤ人の関係を見ておかないとわかりにくい。ハイゼンベルグもこのころ米国に招かれ、大学などで講演する中で米国に亡命するよう勧められているが、彼はこれを拒否し、ドイツに戻ってナチス体制下のドイツで原爆開発のリーダーに任じられている。そのとき彼がなんといったかはよくわからないが、「俺はドイツ人だからナチスドイツに忠誠を尽くす」といったとは聞いていない。

ハイゼンベルグは戦後、「だんまり」を決め込み、このあたりを明確にしていないこともあって、ドイツの原爆開発の責任者としての彼の行動にはなぞの部分も多い。そのせいか、彼の人物像はおろか、人格にまで踏み込んだ好意的ではない発言や著作も見られる。

## 1941年コペンハーゲンにボアを訪ねる

若いとき、その門をたたき助手の席を得て量子力学の構築、コペンハーゲン解釈に大きく貢献し、夫妻とも親交のあったハイゼンベルグとボアの師弟関係は第2次世

界大戦の中で壊れたといわれている。戦争の中でデンマークはドイツ軍の占領下に入り、1941年に占領下のコペンハーゲンにボアを訪ねたことが戯曲「コペンハーゲン」の中でその目的、趣旨を中心に語られる。両者の間には師弟関係と同時に、占領、被占領国の代表的科学者としての思いもあったようだ。それにしてもボアとハイゼンベルグはこんな議論や互いに対する感情を持っていたのかと思わせるところが随所にある。もちろん戯曲なので、すべてを事実に基づくとはいえないし、その必要もない。作者のアルフレッド・フレインはもちろんジャーナリストで、専門的な話についてはブリストル大学のジョーイ教授に教えを請うている。後書きに対応する部分で事実との関連について書いているが、私はここにも関心を覚えた。

確かに、ハイゼンベルグは1941年に、父親がかつてデンマーク大使を務め、当時の外務次官であった親友のワイスゼッカーとともにコペンハーゲンを訪ねている。その主目的はボアの母親がユダヤ人であったためボアの立場が難しくなっていた。ボアの立場を守り、救うためには親交のあるハイゼンベルグがコペンハーゲンに行くのが良いと考えたためである。彼らは文化講演会を計画し、ハイゼンベルグを招いてプログラムに参加する形を取り、一方で、ボアを訪ねることになった。ボアと話をしたのであろうが、しかし「ドイツ大使館の関係者と良好な関係を持って」という提案はデンマークを代表するボアにはとうてい飲むことはできなかったのだろう。ボアが家族と英国を経て米国に亡命したのはその2年後のことである。

### ハイゼンベルグと原爆開発

私の関心の一つはハイゼンベルグが果たして原爆開発が可能であると考えていたか？またナチス政権のために開発意欲を持っていたかである。

1991年にドイツのライプチヒで開かれた「物理学者で哲学者でもあったワーナーハイゼンベルグ」というシンポジウムの報告書には、彼のライプチヒとベルリンでの仕事の様子が書かれている。私には壁に囲まれて過ごしたベルリン工科大学で客員教授の時代の記憶がよみがえる。ハイゼンベルグは濃縮ウランと軽水の組合せと天然ウランと重水の組合せの双方にチャレンジしており、原子炉の実現性は確信していたように思える。ハイゼンベルグが原爆開発に成功しなかったのはなぜかについての議論は多い。不確定性原理の証明に当たって計算ミスをしたのと同じように、原爆の臨界質量の計算を間違えて

10キロでなく1トンとしたため、原爆開発の実現性がほとんどなくなったと判断したためともいわれている。前者のミスは物理でいうオーダーが合えばいいという原理的な話では許容範囲だが、後者はあの段階での原爆の実現性を左右するだけに問題は大きい。ハイゼンベルグは原爆についてボアとの会話を始め何人かと話している。またドイツが1945年5月に降伏し、ハイゼンベルグはとらえられ、ハイガーロッホホから英国のファームホールに移送され監視下に置かれるが、8月に広島、長崎に原爆が投下されたことを聞かされると、彼はそこで原爆のことを細かにオット・ハーンに説明したという。ここに彼が本当は臨界量を知っていたのではないかとの疑念も生まれている。しかし彼が臨界量をたとえ知っていたとしてもデンマークからの重水供給が遮断され、濃縮ウランも作れない状況の中で原子炉は兎も角、原爆が作れるとはとても思えなかったであろう。

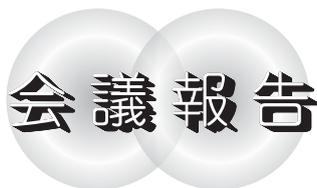
人間の心の奥底にまで入り込むことは不可能に近いが、ワイスゼッカーにナチスドイツについて聞かれたハイゼンベルグは「ナチスはあと1年もすれば破滅に至るだろう」と答えたという。事実はこの通りにはならなかったが、彼はヒトラーに忠誠を尽くそうとは考えていなかったと思われる。

結局のところ、ナチス体制下でハイゼンベルグはもちろん、ドイツの科学者達が原爆をどうしても開発しようという忠誠心も熱気も持っていなかったのではないだろうか。それが私には救いに思える。

### 終わりに

新しい科学技術はこれまで常に負の世界を同時に持っていた。化学反応に根ざす文明も爆弾を持ち戦争に使ってきた。核エネルギーはその密度が化学エネルギーに比べて数百万倍も大きく、原爆に代表されるように、使い方によっては社会や環境を世界的規模で破壊に導く可能性を秘めている。21世紀以降の世界がこのような核エネルギーの持つ負の世界から完全に脱却できるか、人類は一度手にしたものを放棄できないという前提では問題解決にはつながらないのではないかとと思われる。

化学反応に根ざす文明から核反応に根ざす文明への緩やかな移行が始まって1世紀余が過ぎた現在、「究極的核の廃絶と原子力の平和利用」とは、本来同じゴールに向けての努力であることを明確にしておきたいものである。



## トリウムが開く核エネルギーの新しい地平 —中国から聞こえる足音(TU 2007)

International Workshop on Thorium Utilization for Sustainable  
Development of Nuclear Energy (TU 2007)

2007年12月4~6日(北京, 中国)

2007年12月4日、「核エネルギーの持続可能な開発のためのトリウム利用に関する国際ワークショップ：TU 2007」が中国・清華大学においてIAEAと清華大学の共催で開催された。冬の張り詰めた空気が会場前の近春園湖面を冷たく包む朝、近春園賓館では熱さを秘めた面々が集い始めていた。中国を筆頭に、カナダ、日本、米国、インドなどから総勢66人が集まった。

清華大学のWang Kan教授より開会が告げられた。CNNC(China National Nuclear Corp)のLi Guanxing氏やCNEA(Chinese Nuclear Energy Association)前会長のXu Yuming氏などが挨拶し、中国でのウラン不足によるトリウム(Th)利用の重要性や中国の豊富なTh埋蔵量が紹介された。IAEAのR. Sollychin氏は、早急にインフラを整備してTh利用を開始すべきと述べた。

5日からの研究報告では、カナダAECLを中心に、CANDU(カナダ型重水炉)の高い転換率(CR)や運転中燃料体交換などの利点、CANFLEX(CANDU用改良核燃料)のバンドル設計や700 MWe級CANDU炉などの事例が紹介された。しかし使用済燃料の再処理のめどが立っていないことから、<sup>233</sup>Uリサイクルは先になるとの認識も示された。仏アレバ社のD. Grenecheは、Th利用では準増殖炉とすることが重要であり、CANDUは軽水炉より良いもののCRは1より小さく、その点で溶融塩炉は魅力的だと述べた。またThの放射性廃棄物の毒性の大幅低減も大きな利点と指摘した。ほか、ロシアやインド、韓国での固体燃料炉へのTh装荷に関する報告が見られた。

日本からは溶融塩炉に関する3件の報告があった。亀井は、米国MSBR(Molten Salt Breeder Reactor)で検討された連続化学処理および炉心減速材黒鉛の定期交換を廃して、炉の単純さと燃料自給自足を確立した小型溶融塩炉FUJIを含むTh溶融塩核エネルギー協働システム(THORIMS-NES)の開発戦略を説明した。参加国のうち日本のみTh資源がないが、技術開発能力および資金を有することから、京都議定書のクリーン開発メカニズムなどを考慮した国際協力体制について強調した。吉岡は、FUJIの最新研究として<sup>233</sup>Uを用いたCR=1となる3領域炉心設計の核計算結果を紹介し、本間は、Puを

初期燃料とするFUJIの炉心設計や起動方法などについて述べた。

溶融塩炉に対しては多数の質問が寄せられた。溶融塩と炉構造材との共存性、加速器溶融塩炉の利点、また溶融塩へのPu溶解度による挙動の不安定化についての質問があり、それぞれ改良型 Hastelloyにより解決されていること、核分裂性物質生産と廃棄物処理上の利点、溶解度以下にとどめておけば問題がないことを説明した。D. Grenecheは連続化学処理を捨ててバッチ化学処理とする利点をたずねたが、連続化学処理でも増殖比は小さいため連続化学処理を廃して燃料自給自足型を目指すと言った。ノルウェーのR. Oyanは開発段階について質問し、米国のJ. PleasantがロシアでのminiFUJI建設計画を紹介した。座長のYangqiang Ruanは経済性について質問し、PWRとの比較では、建設費はやや小さく、燃料費は大幅に低減されうると答えた。オランダのH. Widerがたずねた国際協力体制については、GIFの溶融塩炉グループに日本から参加していることなどを紹介した。会場から、今後は政府機関の支援が必要だとコメントがあった。

6日には清華大学の高温ガス炉と「万里の長城」の見学が催された。高温ガス炉は日本のHTTRに比べれば出力も小さく、こぢんまりとした印象である。長城は宇宙から見える唯一の人工物といわれるだけに驚愕に値する。筆者の一人(吉岡)と東芝時代の知己である清華大学・核能技術研究院(1970年代に溶融塩試験ループを所持)副院長のJiang Shengyao教授は我々の溶融塩炉研究を激励してくれた。

中国やインドなどの途上国では、核エネルギーへのシフトが急速に進む可能性があり、ウラン不足に対応するためにTh利用を重要な要素と考えていることから、我が国としても独自のTh炉設計を持つておくことは不可欠であろう。中国側はこの会議での成功から、今後もTh利用研究の継続に強い自信を持った模様で、今後の動向を注目したい。

(京都大学 亀井敬史, 日本システム安全研究所 吉岡律夫, 北海道大学 島津洋一郎, 本間悠斗, 2008年1月12日 記)

# 会議報告

## 肌で感じた エネルギー教育の重要性！ 君は飲み会の席で原子力が語れるか？ 「学生とシニアの対話 in 東京」より

秋も深まる11月末、にぎやかな学園祭の一角で、学生連絡会とシニアネットワークの共催企画である「学生とシニアの対話」が武蔵工業大学で開催された。今回は、武蔵工大を中心に、東大、東工大、東海大、神戸大、東京海洋大から30名を超える学生が集まり、原子力・エネルギーについて活発な「対話」が行われた。また、平成20年度、武蔵工大に新設される原子力安全工学科の先生方も加わり、原子力分野での魅力的な学科作りや、将来の原子力教育のあり方について議論が交わされた。さらに、武蔵工大出身の衆議院議員・大畠章宏氏にもご講演いただいた。

実に盛り沢山な内容となった「対話」の一端をご紹介します。

### ものづくりの喜びを感じて

大畠氏の講演の冒頭では、近年、工学を志す学生が減少していることについて触れられ、「ものづくりや未知の領域を解明する喜びは、お金にはかえられないものである。目標と自信を持ってがんばってほしい」と激励の言葉がかけられた。また、「エネルギー政策はぶれてはいけない」ことを強調し、現在、党派を超えて議論が始められていることを説明された。

### エネルギー教育の重要性を実感……その方法は？

対話を終えた学生からは、エネルギー教育、特に原子力に対する知識の少ない一般の方々にどう説明するかが重要であることを感じた、という感想が多数あげられ



た。そうした感想を聞いてシニアの方から「友達と飲んでいるときに、エネルギー問題について語り合うことはあるか？」と質問を投げかけられた。これに対し、学生は「あまり話題にすることはない」、「飲み会の席でエネルギー問題や原子力について話したことがあるが、あっさり拒絶されてしまった」と経験を告白。シニアの方は、「若年層への教育も大切であるが、まずは自分たちの仲間と語り合うことも重要であり、それが一番身近な活動ではないか」と提起した。

### 10年後の原子力安全工学科は？

「原子力の魅力とは何か、その魅力は伝わっているのか？」いくつかのグループがこうしたテーマで議論した。国は原子力立国計画などを掲げ、原子力の重要性を謳っているが、一般の市民にまで浸透しているとは思えない、もっと国を挙げての伝える努力が必要なのではないか、と訴えたのは先生方のグループ。これに対し学生のグループは、「10年後も原子力安全工学科は存続していただけるか」という過激なテーマで議論した。原子力業界が魅力的であることが伝われば、志願する高校生も増えるのではないかと主張。そのためには、まず求人が増えることが重要だとした。一方で、ある学生は、企業がとりたいたいと思うような人材になるよう学生として努力することが先ではないかと提起した。

### 未来への期待

「就職したら WEN(Women's Energy Network)の活動に参加したい」と感想を語った女子学生がいた。学園祭の中で同時に開催していた原子力オープンスクールの手伝いを通して感じたことだという。また、「一般の方々も原子力や放射線について知りたがっていると感じる。正しい知識を伝えられるようにしたい」と述べる学生もいた。こうした思いを持った学生が世の中に出て活躍すれば、「原子力アレルギー」を払拭できる日も近いのではないかと感じた。

(武蔵工業大学 羽倉尚人(博士後期課程1年)、  
伊下信也(修士課程2年)、成田隼(学部4年)、  
2007年 12月22日 記)

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

### 憂

#### 備えあれば憂いなし

人間は時間軸に沿って自由に移動できない。  
学生時代、反発していた父が病床に着いた際、

もっと一緒に酒を酌み交わして素直に語り合いたかったと反省したが間に合わなかった。自分が親になって残念に思う番も来た。子供はあっという間に大きくなり、なかなか父親と話さない。小さくて可愛かった時期は短く、その時に思う存分一緒に遊んでおくべきだったが、過去をやり直すことができない。

一方、将来に夢を持ち、向上の努力に励むのは当然としても、将来の完全な制御は困難。例えば、誰しも自分の健康維持に努めるが、体力に自信があっても生活習慣に注意しても、本人の責に帰せない病気がある。組織に勤める者は誰しも自分の人事が気になる。自らの人事は自らの努力だけではどうにもならない。子供の受験も親が手伝ってやれるうちは良い。大きくなり親に理解できない分野を選ばれると全く力になれない。未来へ先に行き結果を知りたいが不可能だ。この1年間だけを振り返って見ても、予想だにできなかったことがたくさん自分の身に降りかかった。

企業にとっても同じ。原子力には反省すべき過去が多い。その最たるものが東電を中心とする情報公開不足に関わるもので、当事者達の切迫感には企業のみならず社会環境にも一因があったと思うが、あれだけ多くの隠し事をしなければならなかったのか。最早やり直しは効かない。

将来を見通せず無念な実例は、中越沖地震で被災した柏崎刈羽原子力発電所の停止。その震源断層を立地当初誰も発見できなかった。原子炉の安全性を守ることに注力し、地震国日本で発達した建築基準法をベースに、さらに3倍の強度を持たせたことが原子力災害の発生を防いだが、東電が原子力開発の集大成として建設した世界最大の発電所が発電できない状態にある現状を誰も予想できなかった。

過去のやり直しは効かない。将来何が訪れるかを先に知ることでもできない。可能なことは、将来同じ過ちを繰り返さないよう努力と万全の備えを保つことだけである。それにしても備えあれば憂いなしのはずと知りつつ、個人的には憂いは次々と浮かんでくならず、まだ見ぬ将来を楽しみにできるような心境には一体いつなれるのだろうか。

田中治邦(東京電力)



### 海

#### 海に行こう

人間はとっつちぼけな存在だ。以前、インド洋の宝石、モルディブの海にスキューバダイビングで潜ったときに、そんな思いに強く囚われた。いや、モルディブに滞在中はその美しくダイナミックな海に感動しっぱなしだった。日本に戻ってから楽しかった思い出をうっとりと思い返していたら、インド洋の早い流れの海中で、岩にしがみついて流されそうになりながら大物(サメや回遊魚の群など)をじっと待っていたことや、海上に浮上して360度何も見えない広大な海の真ん中にポツンと浮かんで迎える船を待っていたことなどが、突然、私の頭の中で空からの俯瞰図としてよみがえったのだ。思わず自分の存在のあまりの小ささに少し身震いした。日本に帰る日、滞在していた小さな島の桟橋でリゾートの従業員がみんな手を振ってフェリーを見送ってくれた。1周1.2kmの島は本当に小さくてあっという間に見えなくなり、温暖化ですぐにも沈んでしまいそうであった。自然の素晴らしさに感動すると同時に、その中で生かされている人間の小ささを知る体験だった。今でも海で潜るたびに、自然を愛しむ気持ちと同時に、畏れの気持ちがよみがえる。その気持ちを忘れないように、私は繰り返し海に行くのかもしれない。

さて、私は以前、原子力技術者だったが、ひょんなことから現在は環境製品の仕事をしている。「消せるトナー」という熱で色を消してオフィスの紙を繰り返し何度も使えるようにした製品である。どちらも地球環境問題とは切り離せない仕事である。ちっぽけな人間の営みが温暖化という形で自然に影響を与えているなんて、とっつちぼけい！やはり何かしなくてははいられない。そんな気持ちが私と海と仕事をつなげている。

昨年末、日経ウーマン・オブ・ザ・イヤー2008を受賞した。受賞理由は、消せるトナーを製品化した新規性と先見性、製品の社会への貢献度等とのこと。思いもかけない出来事にビックリしたが、これも周りの皆様のおかげである。特に私のまわりのパワーあふれる働く女性たちには感謝している。なんせ、海からもらう以上のエネルギーを私に与えてくれるのだから！

松村文代(東芝, WEN 会員\*)

\*WEN(ウイメンズ・エナジー・ネットワーク)：エネルギー分野に関わる企業、団体などで働く女性のネットワーク



# 合併号により，学会誌の発行時期を変更

時論が好評，タイムリーな記事を求める声も(11・12月合併号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」11～12月号(合併号)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102名の方から，回答がありました。

## 1. 高く評価された記事

Web アンケートでは，各記事の内容および書き方について，それぞれ5段階で評価していただいています。11～12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	時論	中越沖地震「誰も知らない技術力」	4.19
2	時論	「新潟県中越沖地震考」	4.12
3	連載講座	軽水炉プラント—その半世紀の進化のあゆみ(3) 日本の研究用原子炉の始まり	3.79
4	報告	論文誌はこのような変わってきました	3.67

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	時論	中越沖地震「誰も知らない技術力」	3.91
2	時論	「新潟県中越沖地震考」	3.74
3	報告	論文誌はこのような変わってきました	3.54
4	連載講座	軽水炉プラント—その半世紀の進化のあゆみ(3) 日本の研究用原子炉の始まり	3.48

今月は，2つの時論が，「内容」，「書き方」ともトップを占めました。

## 2. 自由記入欄の代表的なコメント，要望等

- (1) 2名の時論は特に興味を持った。
- (2) 今回の合併号により，学会誌の届く時期が適正になった点はとても良かったと思う。
- (3) 以前は，記事の時間遅れ(タイミングを逸した)が随分気になったが，最近は改善が進んできたことを実感している。今後ともタイムリーな記事の掲載を望む。
- (4) 時論に関して，学会が原子力専門家集団として，一般社会に情報発信する際に留意すべき事項が述べられており，参考になった。
- (5) NEWSに関して，原子力機構提供の記事以外には，参考情報源が記載されていないものが多い。できるだけ記載されることを希望する。。

## 3. 編集委員会からの回答

- (1) 文字通り，時のトピックスを扱った時論が先月号に続き，今月号でも好評でした。今後も，タイムリーな記事を望んでいる読者のニーズに対応していきたいと思えます。
- (2) 上記(5)のコメントは，おそらく，NEWSの中の「海外 NEWS」を指しているものと思われますが，「海外 NEWS」に関しては，「海外 NEWS」の先頭に，「情報提供：日本原子力産業協会」と情報源を記載しています。ご確認ください。

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。