

講演

17 日本株式会社を再構築する！

菅 直人

インタビュー

18 「原子力の開発を軸に産業の活性化を」



空本誠喜
衆議院議員に聞く

「原子力での実務経験を政治の場に生かしたい」と語る民主党の空本誠喜氏。同氏に、その想いを語っていただいた。

聞き手 石橋すおみ

羅針盤

6 さらによく見るということ

すべての科学的認識は、何らかの新しい発見を基礎に置いている。

松浦祥次郎

座談会

23 日本の国際貢献からみた魅力的な人材とその育成—国際原子力機関(IAEA)での経験を軸に

原子力分野の国際機関で活躍する日本人は、多くない。その背景には何があるのか。国際機関で働く経験をもつ4人に、語ってもらった。

尾本 彰, 小西俊雄, 中込良廣, 谷津祥一
聞き手 澤田哲生

シリーズ解説

我が国の最先端原子力研究開発

No. 21 電中研(最終回)

28 変化する将来に柔軟に対応するサイクルオプション—乾式リサイクル技術と金属燃料FBR

米国やインド、中国、韓国などで、FBRサイクルの実用化候補技術とされている乾式リサイクル技術と金属燃料FBR。世界は今、それらをどこまで開発したのか。

小山正史, 尾形孝成

巻頭言

1 外から見た日本の原子力とその課題

尾本 彰

時論

2 脱「融資保証頼み」米国原子力政策への提言

米国のエネルギー政策の中で原子力は決して主役ではない。それだけに事業者には、融資保証頼み一辺倒ではなくコストダウンの努力が求められる。

村上朋子

4 原子力の国際展開と日本の役割

世界中で起きている原子力カルネッサンスは、本物である。そこでの日本の役割とは何か。

水町 渉

解説

40 社会から信頼される原子力専門家に求められるスキル—非言語コミュニケーションの重要性を確認するための試行調査

原子力が社会と共生していくために重要なのが、社会との双方向コミュニケーションだ。そこでの橋渡しを行う原子力専門家には、どんなスキルが必要か。

郡司郁子



表紙の絵 「HANABI」 竹永克彦

第41回「日展」へ出展された作品を掲載いたします。(表紙装丁は鈴木 新氏)

夢と希望を一杯に詰め込んだ花火玉が打ち上がる。夏の夜空に咲く大輪は輝く星となって降り注ぐ。瞬時に消えるその星を老若男女は全身に浴びている。少女が浴びて掴んだその星はどんな星か分からぬが、未来に向けて成長し大きく輝く星に違いない。夢と希望の塊りの HANABI を意識して描きました。

解説

35 海の国のアトム(2) —モナリザは地球の肖像画

私たちの生活に極めて身近な存在である微生物の利用と生物の進化、そして海溝型の巨大地震の研究と防災について、地球科学の視点から解説する。

工藤君明

ATOMOS Special 世界の原子力事情(7) 欧州 総括編

47 ドイツの原子力事情

2009年秋の保守連立政権の誕生で、ドイツも脱原子力政策の見直しに向かって動き出した。

東海邦博

連載講座 ICRP 新勧告—新しい放射線防護の考え方と基準(4)

50 放射線防護の基礎—防護体系と原則

ICRPは2007年に、最新の知見を反映した放射線防護の基本的考え方を、新勧告としてまとめた。ここではその基礎概念・防護体系と原則について解説する。

杉浦紳之

会議報告

55 RIや放射線をいかに利用するか —第45回 RI・放射線利用促進セミナー

天野 光

56 制御室近代化などの安全運転に関する研究状況—拡大ハルデン・プログラム・グループ会議

久保田龍治

未来型リーダーシップを拓く④

57 学生としての自由な対話を未来に繋げる—日米学生会議の伝統と挑戦

安川皓一郎

日米欧学生交流

59 CERN 滞在記

小川達彦

Relay Essay ドナウ川の畔から(2)

60 異国での挑戦!!

奥村 智

7 NEWS

- 「もんじゅ」、14年半ぶりに性能試験を再開
- 原子力部会、稼働率90%を目標に
- 世界の原発の稼働率、ベスト50に日本8基
- 文科省が原子力課を設置
- 原子力白書、経済成長に貢献を強調
- 原産協会がベトナムに事務所設置
- 世界の原発、432基に
- 原産協会が海外展開で提言
- IAEAが国際核反応データセンターネットワーク技術会議を北大で開催
- 文科省、革新的原子力技術を事後評価
- 放医研、ペットボトル用樹脂で放射線を計測
- 太陽系で希少な同位体タンタル180の起源を解明
- 核融合炉のトリチウム回収性能を実証
- 高温ガス炉が50日間の高温連続運転を達成
- 海外ニュース

Scope 原子力関連機関の紹介(2)

45 日本原子力産業協会(JAIF)

民間原子力界の要としての役割を果たしている原産協会。毎年4月に開催している年次大会は、国際的なコミュニケーションの場となっている。



22 From Editors

62 新刊紹介『物理学と核融合』 堀池 寛

63 会報 原子力関係会議案内、主催・共催行事、人事公募、支部便り、英文論文誌(Vol.47, No.7)目次、主要会務、編集後記、編集関係者一覧

WEB アンケート

4月号のアンケート結果をお知らせします。(p.61)
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はこちら
<http://www.aesj.or.jp/atomos/>

外から見た日本の原子力とその課題



原子力委員

尾本 彰(おもと・あきら)

東京大学工学部原子力工学科卒業後、東京電力勤務。2004年よりIAEA原子力発電部長。現在、原子力委員と東京大学原子力GCOE特任教授を兼務。

今年初め原子力委員に就任した。原子力界には立派な識見と経験をお持ちの方がたくさんおられるにもかかわらず、私にお鉢が回ってきた理由の中には、私が外から日本の原子力を見てきた時間が多少なりとも長い(米国3年、IAEA6年弱)ことがあるらしい。グローバル化と国際ネットワーク化が進む一方で、複雑な国際問題と熾烈な国際競争のある中で、現政権は、日本の原子力が国際社会の中で果たす役割を考え原子力政策を決めていくには、こうした背景の委員も必要と考えたようだ。であれば、「過去に生きている」「日本で汗をかいてない」と非難されることも覚悟の上、この経験を生かして日本の原子力は外からはどう見えたか。それに立脚して日本の課題は何か、その解決のために何をなすべきかを論ずるのが義務かと思いつき、非常勤というには多すぎる会合に驚きつつ職責を果たしている次第である。

内田 樹氏の『日本辺境論』によれば、常にかような問いかけを通じて自らを規定するのが日本人の習い性であるらしい。そこで僭越ながら、外での経験から日本の原子力について次のような観察を述べたい。

- (1) 日本の情報と人にアクセスするのは容易ではない。外国から英文で閲覧／利用できる情報が大変少ない。したがって、国外の原子力関係者は、マスメディア情報を超える情報をあまり持たない。IAEAを例にとれば、日本からの情報アクセスと活用は少ない。IAEAの活動は技術レポート作成やミッションへの参加など外部専門家の協力にかなり依存するが、これに貢献する日本人は非常に少ない。
- (2) 世界の標準的な慣行等からの乖離が目立つ。世界の科学的合理的な考えに基づく優れた慣行(長期サイクル運転、出力増強、検査期間の短縮、炉設計と燃料の型式認定など)を機敏に取り入れていない。世界が卒業しつつある低稼働率にいまなおあえいでいる、原子力産業が経済成長と雇用との関連で見られておらず、低炭素社会への寄与認識が原子力推進の民意につながっていない。同様の機能を有する機関が幾つか存在して人材が分散、食品照射の適用範囲が異常に狭い等々、多数の例を枚挙できる。
- (3) 理念や基準や仕組みの発信が乏しい。
- (4) 結果として、世界市場の中でプレイヤーとして影が薄い。

これには、原子力導入当初は別として、国内に心地よい繭にくるまれた閉鎖的な日本原子力界を形成できたこと、組織を超えて専門家が移動することが少ない社会構造(縦割社会(組織)の中だけで通用する専門家)であることが関係すると考えるが、これでは損である。ではどうすればよいか。とりあえずの考察でいささか具体性を欠くが、まず以下の課題に真剣に取り組むべきと考える。

1. 世界標準からの乖離の解消。
2. 短期的な成長戦略を超えて、持続可能な発展戦略の中で原子力技術の利用を明確に位置づける。
3. 国民が十分な情報に立脚した判断をなし得るように、リスクはあるが便益をもたらす技術の利用に関するリテラシーを向上させるための仕組みづくり。これは原子力に限らず、他の先進技術利用にも共通する技術立国の基本課題と思う。
4. 世界の知的、人的、組織的ネットワークに参加し、これらを積極的に活用すること。
5. 他国の作った仕組みに動かされる者から「仕組みや基準をつくり動かす者」(これはIAEA事務局次長として活躍中の谷口さんが提唱)を指向し、世界の原子力の将来のあり方についての日本の考えを提示すること。
6. 原子力技術(発電だけでなく医療や農業での放射線利用も)を活用し、世界の持続可能な発展追求に寄与するとともに、我が国の雇用と経済成長を確保することにも貢献すること。(2010年4月21日記)



脱「融資保証頼み」米国原子力政策への提言



村上 朋子(むらかみ・ともこ)

(財)日本エネルギー経済研究所 原子力グループ リーダー

1992年東京大学大学院工学系研究科原子力工学修士課程修了。同年、日本原子力発電(株)入社、高速炉開発や既設炉安全審査等に従事。2005年より現職。

米国のエネルギー構造における原子力の比率は、1次エネルギー供給の約10%、電力の約20%であり、石油や石炭と比較してそれほど高くはない。そのためか、エネルギー政策において、原子力の推進それ自体が第一の目標になったことはない。2001年、前ブッシュ政権のもとで積極的な支援策が示された原子力政策ではあるが、その当時も主要な柱はエネルギー安全保障であり、輸入石油依存度の低減であり、原子力の拡大はそのための手段の一つであった。

米国において、原子力は決して第一の主役ではない—このことは米国原子力政策を語る上で重要な論点かと思われる。なぜなら、原子力政策だけを見れば、確かにブッシュ政権でこれまでにない注力がなされ「ルネサンス」と呼ばれるようになり、その後、支援が強化・進展するにつれて更なる拡大が期待されているかのように見える。しかし実は米国というエネルギー大消費国においては、原子力は主役でもそれ自体目的でもなく、エネルギー安定確保と輸入石油依存度の低下、加えて昨今は環境問題や雇用問題、といった諸課題への対応手段の一つである。この認識に基づいて米国の原子力政策の動向を概観し、見通しを展望することを、本稿では試みることにしたい。

1. 政府融資保証枠の拡大案発表

2010年5月12日、米国上院のケリー外交委員長(民主党)とリーバーマン議員(民主系無所属)は、上院で審議中の地球温暖化対策法案の新しい修正案を発表した。同法案は米国のエネルギー・環境政策を包括的に盛り込んでおり、オバマ政権の最大公約である雇用・景気対策とも整合するよう「消費者保護」と「クリーンエネルギー開発を通じた競争力向上」とを強調している。併せて地球温暖化防止への貢献も明記しており、そのため排出量取引を全米で導入し、温室効果ガス排出を2020年に2005年比17%、2050年に同80%削減するという、中期・長期の目標を掲げている。

この新修正案における原子力新設に向けた支援策が注目されている。2005年エネルギー政策法で定められた「規制側の要因による建設遅延リスク保証」を6件から12

件に拡大、投資額の10%に減税措置、原子炉の加速償却(5年)もさりながら、最もインパクトがあるのは「DOEの融資保証枠を540億ドルに拡大(現行185億ドルの約3倍)」であろう。米国の原子力産業団体である原子力エネルギー協会(NEI)は、540億ドルあれば原子炉10基を建設でき、雇用創出と温室効果ガス削減とに寄与するとして歓迎の意を表明している。

しかし、これが米国原子力業界にとって実効的かつ健全な競争を促進する施策といえるであろうか。

新規建設計画推進に向け財務支援が必要であるとして、「原子力2010」が提唱されたのは2001年であった。4年後、連邦政府の融資保証が2005年エネルギー政策法にて法制化され、それを受けて電力各社が新設に向け活動を開始した。2007年、コンステレーション社のカルバート・クリフス3号機を皮切りに、新設に向けた建設・運転一体認可(COL)申請が相次いで各社から米国原子力規制委員会(NRC)に提出された。2008年6月30日、DOEは第1回の融資保証枠を185億ドルとすることを発表し、募集を開始。電力各社はこの募集の締切に間に合うようCOL申請を急ぎ、2008年末に募集が締め切られた時点でCOL申請は計17件に達していた。2009年春頃、融資保証の最終選考対象が4件に絞られ、2010年2月、サザン社のジョージア州ボーグル発電所における2基のAP-1000への83億ドルの融資保証付与が決定した。これと相前後する時期、2011年予算教書で融資保証枠の増額についても言及されている。

2. 融資保証の意義

一連の経緯を見ると、電力会社にとってDOEの融資保証がいかに原子力新設に向け重要な要件であるかが伺える。2008年からの金融危機の中でも新設案件の多くが中止とならなかったのは、融資保証の存在が一つの歯止めになったと想像される。また、2009年春に最終選考対象4件が明らかになった後、それに残らなかった一部の電力会社の中に、COLを取り下げ、新設計画自体も時期・炉型など白紙に戻したところがあることも一つの傍証である。すなわち、DOEの融資保証、あるいはそれと同等の財務上の好条件は、電力会社の新設を進める上

で必須に近い条件であるといつてよいであろう。

原子力産業界からこれだけアテにされている融資保証という支援策はしかしながら、十分な効果を発揮しているとは言い難い。2005年の法制化からすでに5年がたとうとしている現在、実際に融資保証を付与された実績がわずか1件、しかも融資保証付与が即断即決で決定されるわけではないことも明らかになった。公費を原資とすることから厳正かつ透明性のある審査が必要なことは当然ではあるが、5年という年月は民間企業にとっては待つには長い期間である。現実にはその間、政権交代によるエネルギー政策の重点の変更、スマート・グリッド等新技術の台頭、風力発電等再生可能電源の急激な普及とコスト低下、経営環境面でもリーマン・ブラザーズ破綻をきっかけとした金融市場の大混乱、原油価格高騰等、電力会社の電源選択に有意な影響を及ぼす環境変化はいくつか生じている。特に生産税控除という税支援が有効に働き、投資を呼び込む効果が順調に機能している風力発電は著しい進展を見せている。

対して原子力の場合、民間事業者にとって最大の懸念材料である長期リードタイムと許認可の不確実性に起因するリスク低減には、迅速な政策措置こそ最も望まれるところであるにも関わらず、現施策はそのようには機能していない。さらに、融資保証の実行に伴う保証料の負担割合に関して産業界と政府予算局との間で意見調整がついていないこと、原子力に支援が偏ることへの批判もあり、米国エネルギー政策における位置づけが安定していない状況にある。

3. 産業界のなすべき努力

融資保証を巡る上記の課題に関しては、政府の対応が遅いと批判することは簡単であるが、一方で原子力産業界側にも融資保証に頼りすぎている面がないかどうか省みる必要があるであろう。本来なら成熟した技術であるはずの原子力新設に財務的支援が必要とされた理由は、原子力と他電源とのコスト構造の違いにあり、初期投資負担をある程度低減することで事業者は合理的な電源選択ができるはずという判断であった。それがいつのまにか、一部の事業者にとってはあたかも「これがあれば総事業費が上がっても安心」のように受け止められ、一種のモラル・ハザードを引き起こしている可能性も否定できない。5月に東京電力が出資を発表したサウステキサス・プロジェクト3/4号機増設計画に7.65%を出資しているサンアントニオ市の公営エネルギー企業CPS社は、かつて同計画の40%を出資していたが、不透明なコストアップ経緯を理由に離脱しようとした結果、出資比率を下げた経緯がある。その際に明らかになったところによれば、同増設計画の総事業費は、プラント主契約者

である東芝が当初説明していた130億ドル(ABWR×2基)よりさらに数十億ドル高いものであるという。2基300万kWでの130億ドルは建設単価約4,400ドル/kWに相当し、決して安いとはいえない。米国でのABWR初号機であること、数十年ぶりの新規建設であること等様々な事情から、かつてのGEによる試算値2,000ドル/kWの再現は困難であるにしても、4,000ドル/kWを超える建設単価に対してまずコスト低減の努力ではなく、コストアップの言い訳と出資増額を求めるようでは、顧客から批判を受けても仕方ないであろう。融資保証はあくまで支援策であり、事業者の努力を不要とするためのものではないことを肝に銘じていなければ、原子力は「成熟技術であるのに政府の支援頼み」という評価を下されることとなる。

4. 鍵は許認可の迅速化

他国のエネルギー産業の事例を見るまでもなく、政府保証のみに頼っている事業はその保証の枠内でしか進まない。米国のエネルギー規模、電力産業規模、何より国際的な原子力産業の技術力から考えれば、20年で30基という新設基数は、市場を介した事業者間の健全な競争により本来達成可能なはずである。米国原子力産業界およびその米国新設市場に参画する世界の原子力関連企業が、融資保証頼み一辺倒ではなく、確かな技術力とマーケティング分析に基づく経営努力によりコストダウンを図り、米国エネルギー政策が求める消費者保護とエネルギー安全保障に整合した形で参画していく姿勢を見せてはじめて、融資保証の意義も十分に活きるものと考えられる。併せて施策側には、民間企業の経営のスピードに対応し、原子力特有のリスク低減に対して真に効果ある意思決定の迅速化こそ、融資保証枠の拡大よりも先に求められることであろう。

(2010年 5月21日 受理)

—参考文献—

- 1) J.ケリー議員ホームページ, "The American Power Act", 2010年5月12日, <http://kerry.senate.gov/americanpoweract/intro.cfm>
- 2) White House プレスリリース, 2010年2月11日.
- 3) *Nucleonics Week*, 2008年5月8日, 2009年5月21日, 2009年9月10日, 2009年11月12日, 2010年1月7日, 2010年2月4日, 2010年5月13日の各号.
- 4) DOE プレスリリース, 2008年6月30日, 2008年10月2日.
- 5) "World Nuclear News", 2009年7月1日, 2009年9月1日, 2009年11月5日.
- 6) 東京電力プレスリリース, 2010年5月10日.



原子力の国際展開と日本の役割



水町 渉(みずまち・わたる)

(独)原子力安全基盤機構(JNES)技術参与
IAEA, NEA ISOE 委員会第7代議長, 東
京大学工学部卒, ミシガン大学院工学修士
(フルブライト留学生), 東芝原子力プラ
ント総合設計課長として柏崎, 浜岡, 女川, 福
島原発の総合設計責任者, NUPEC 安全情
報研究センター所長, JNES 安全情報部長。

1. 世界の原子力ルネッサンスは本物

今年1月定例のフロリダ会議, バリ, ヘルシンキなどを訪問したが, 去年暮のイギリスも含め, 世界中でルネッサンスを実感した。イギリスのサイズウェルを訪問すると, 3, 4号機の敷地が整備され, 2012年の規制当局による原子炉の認可を待っている状況であった。また今回, 東京電力が120億円の出資を決めたアメリカのサウス・テキサスを訪問したが, ここでも広大な3, 4号機用の敷地が整備され, 東芝と報道されている ABWR の建設を待っている様子を目の当たりにして来た。フィンランドではオルキオ3号機として建設中の EPR の建設が, コンクリート打設や電気計装設計の問題で大幅に遅れ, 次期プラントは実績のある日本の ABWR 等にしたいたとの意見を多く聞いた。言うまでもなく, アジア, 中東の熱気も大変なものである。

現在, 世界で運転中の原子力発電所は436基あり, 約4億kWの規模である。また建設中の原子力発電所は15ヶ国で66基あり, 昨年より14基増えている。また, 計画中のものは74基である。WNA(World Nuclear Association)の最新の報告では, 今後10年に建設する原子力発電所は195基, その後10年で344基, 合計540基と, 現在運転中の436基より多くなり, 今後の原子力発電所関連の世界市場は, 800兆円の規模と予想している。

特に中国では, 現在11基が運転中で, 国内電力の1.4%であるが, 建設中が22基で, 計画の中に入れて, 合計60基, 6,000万kWで4%を原子力にする壮大な計画である。2020年までにロシアが40基, インドも20基を計画している。

2. 原子力ルネッサンスとは, サルコジ大統領演説

今年3月, フランスでの原子力民生利用の国際会議におけるサルコジ大統領の演説は, 原子力の有用性を自分の哲学で語り, 絶賛に値するものであった。「我々は, 新たなる原子力の時代を迎えており, 原子力ルネッサンスと呼ばれている。ルネッサンスはヨーロッパ史上, 最も輝かしい時代であり, 現在はそれと共通点がある。それは, 古い考え方や不合理な畏れに疑問を呈し, 科学や

技術に対する信頼が, ルネッサンスの原動力になっていることである。この原子力の再発見を, 人類の進歩と協調の好機と捉える必要がある。[原子力学会誌, 2010年5月号 p.24-28参照] さすがに自分の哲学を持っている大統領の, 心に響く重い発言である。日本人そして日本のトップの人に嘯みしめてほしい言葉である。

3. 原子力のクリーン化(ISOE)委員会

このような原子力ルネッサンスに対し, 一般の国民の最大の恐怖は放射能である。逆に言えば, 原子力発電所で放射線量を許容レベルに抑えれば, CO₂も SO_xも NO_xも排出しない環境に最も優しい発電設備である。まず原子力発電所の周辺住民への放射線災害を失くすことである。現在まで柏崎の大地震でも, サイト周辺の放射線モニタに全く異常はなく, 一般国民への放射線の問題は起こっていない。

一方, 原子力発電所で働いている人の放射線被ばくも重要である。私は世界で運転中の原子力発電所436基の半分は訪れているが, 原子炉建屋に入った時, 電気ケーブルの上など掃除の跡はなく埃がたまっていたり, 壁や床も汚いプラントでは, 一般的に管理が悪い。一方, 年間の従事者放射線当量が世界一低いと ISOE 委員会で表彰した東通原子力発電所は設計から運転まで放射線管理が行き届いている。

ISOE 委員会とは, IAEA と NEA が共同事務局を務める従事者の放射線量の削減を図るための委員会であり, 本件の世界最大のデータベースを所有している。原子力発電所を運転している国の29ヶ国の規制機関と電力会社が参加している。世界の各原子力発電所に代表メンバーがおり, お互いにいつでも連絡が取れる組織である。原子力発電所では改造工事が行われているが, 例えば蒸気発生器の交換など最初に工事したプラントは大変な期間と放射線量をかけていたが, 世界で経験を重ねるたびに技術が進歩し, 工事期間も放射線量も画期的に減少している。このような最良技術を Golden Nugget(金塊)と称してデータベース化しており, 次にその改善工事を行うプラントでは, 最良技術を ISOE から学び, べ

ンチマーク訪問をして、更なる技術向上を図っている。ISOE 委員会の成果として、アメリカや日本の各原子力発電所当りの放射線量は、当初に比べ1/8くらいまで減少しており、大きな改善を図っている。ISOE 委員会の6代目までの議長はすべて欧米人であったが、7代目で初めて私が就任した。昨年は原子力発電所における放射線量を大幅に削減した140の世界の実例を載せたグリーン・ブックを発行し、世界の放射線量の低減のバイブルとなっている。また次世代プラントの設計に採用すべき技術もまとめている。

4. アメリカのルネッサンスと日本企業の活躍

アメリカのブッシュ大統領は、イラク戦争などで評判はいまいちであったが、歴史に残る包括エネルギー法を制定した。彼は石油の輸入量を劇的に減らすため、原子力発電所の新設、国内油田の開発、新エネルギーの開発に、1兆5千万円を投じた。特に原子力発電所の重要性を強調し、カルバート・クリフ原子力発電所を訪問し「経済発展のために電力は不可欠であり、農業でも医療でも必要である。私は野球が好きでナイターをよくテレビで見るが、これもこの原子力発電所で働いている皆様のお陰です。」とアメリカ人らしいわかりやすい演説をして拍手喝采をあげた。オバマ大統領も今年の2月に、「環境に優しい大量の電力源は唯一原子力であり、新設のボーグル原子力発電所3、4号機に83億ドル(7,500億円)の融資保障を決定した。(ここはまだ炉型の最終決定はしていないが、東芝-WHのAP1000を候補としている)また2011年予算として、540億ドル(約5兆円)の融資保障を決定した。」と明言した。これを受けてアメリカでは現在33の新設が計画されている。その中で今回、三菱重工がUS-PWRでコマンチ・ピーク原子力発電所2基に加えノース・アナ3号機170万kWを受注したのは朗報である。東芝も前記の2基と傘下のWHがアメリカで6基、中国で4基すでに受注している。GE-日立もアメリカおよびインドで電力会社と提携するなど受注活動を強化しており、日本企業が活躍している。

5. 中東のルネッサンス

アラブ首長国連邦が500万kWの原子力発電所を総額3.7兆円で韓国と契約した。昨年の暮、私はウィーンのIAEA本部とパリで、最終の段階の話聞いた。韓国に決まった理由はたくさんあるが、主な点は李大統領の約束で60年運転の保障である。もう一点、日本ではあまり報道されていないが稼働率の問題で、2008年の韓国の稼働率は93.1%で日本が58.0%である。石油国アラブでは、石油プラントの稼働率はコストの生命線との認識であり、日本の技術がいくら良いと豪語しても稼働率58%

では、買う気になれないのは当然である。

国内の問題が国際的な評価にまで影響しているのであり、今後、国際的な視野に立つことが重要である。

6. 島根原子力発電所の機器点検漏れ

中国電力での506件の機器点検漏れには正直驚いた。同電力は、その原因と対策につき報告書を発表した。それと経緯につき説明を受けた。「新検査制度で、従来の自主点検項目を間違えて保安規定の中に点検項目として記入したという、完全なる中国電力のミスであり、弁解の余地はない」との報告であった。ところで506機器のうち、原子力発電所の安全にかかわる機器は、島根1、2号機で33機器とのことである。これらは安全システムであり、毎月一度テストをすることが国により義務付けられていて、すべて順調に作動することが確認されていた。今回の問題の発端となった高圧注入系の隔離弁も、毎月テストで合格している。しかし書類上のミスにより弁作動用の電動機は10年に一度交換することに誤記され、13年経過し今回の大問題に発展した。この電動機は40年保障付であり、問題はなかった。すなわち島根原子力発電所のハードは健全で安全である。ただし、安全性が重要な原子力発電所での手続上のミスは許されない。

このような場合、欧米ではプラントは安全であるので運転は継続し、根本原因分析を徹底的に行い、再発防止に努め、手続上のミスを犯した件については高額の罰金を科している。島根は電力が自主的な判断で運転を停止しているが、プラントは安全であり、このような手続上のミスにより、大量の代替火力の運転をして、無用のCO₂放出になり、稼働率の悪化に繋がっている。国際的な観点から見て、早い機会の運転再開が望まれる。

7. 原子力ルネッサンスへの日本の役割

去年の夏にシカゴでの会議で、私と共同議長を務めた当時のNRCコミッショナーのライオンズ氏は「アメリカでは30年間、原子力発電所を建設していない。今回、島根3号機のABWRの建設現場を見て驚愕した。すべてが大型のモジュールとして建設され、4年で建設する世界最高の設計及び建設技術を持っており、日本の協力なしにアメリカのルネッサンスはありえない。」と多数の写真を見せて講演した。

またチュニジアとドバイに行った時、彼らは砂漠の上に住んでおり、電力と共に水が生命線であると切実に言われた。中東では、電力と共に原子力発電所による海水淡水化を期待しており、日本の伊方や柏崎の技術を切望している。このような原子力の設計建設及び運転技術の協力は、世界の環境問題解決への貢献にもなり重要である。
(2010年 5月17日 記)



さらによく見るとということ

(財)原子力安全研究協会 理事長 松浦 祥次郎

すべての研究は認識に始まる

宇宙の始まりといわれるビッグバンや、ずっと身近なわれわれ自身の誕生を思い描くだけでも、「物事には始まりがあり、始まりには飛躍がある」との考え方には反論の余地がないようである。「始まりのない物事」というものを考えようとした途端に、その矛盾に気づかされる。ところで、すべての科学的認識は何らかの新しい発見を基礎に置いている。そうであれば、科学研究というのは上述の考え方をより高度に証明し、体系付けるための営みであるとも考えられる。すなわち研究の本質はものの始めを究めること、始まりをもたらず飛躍が何かを明らかにすることとなる。この「明らかにすること」が研究における飛躍である。そしてこの研究における飛躍とは、根本的に新しい認識を得ることから始まるのは議論の余地がない。研究の対象に含まれる実体が何か、実体の態様がいかなるものであるか、実体が関わる現象が実体間のいかなる関係性に基づくものであるか等を可能な限り精密、正確に認識することで、世界の科学的理解のレベルが飛躍してきたと考えられる。

近代科学はよく見ること始まった

中世から近世にかけての科学史上の決定的に大きな飛躍は、宇宙に対して天動說的認識から地動說的認識に変わったこと、いわゆるコペルニクスの転回によるものである。コペルニクスがこのような認識に至った基礎はそれに先立つティコ・ブラーエやケプラーの綿密な天体観測によって準備された。まさに「よく見ること」が飛躍を準備したといえる。さらによく見ることの対象を天体はもちろん、身の回りの現象を簡潔な枠組みに切り取って観察すること、すなわち実験から現象に含まれる関係性を見出すことで、次々と飛躍を遂げたのがガリレオ・ガリレイであった。よりよく見ることの重要性が望遠鏡や顕微鏡の発明と発達を促す強い契機になったのは間違いない。その後の科学的認識の連鎖的な飛躍は実験機器と観測・測定機器の発達と軌を同じくしている。

原子力科学技術とよく見ること

19世紀から20世紀にかけての原子物理学、核物理学、電磁気学、電気・電子工学、計算機科学技術、これらを支える冶金・材料工学、機械工学、精密加工技術の相互関連した発達は、観測・測定技術に何段階もの飛躍をもたらした。現在も日進月歩が継続している。

原子力科学技術はこれらの科学技術の総合体系とも考えられる。原子力科学技術がエネルギー生産手段として、また放射線作用の利用手段として社会に大きく役立っているのは言うまでもない。この他にもうひとつの「観測手段としての原子力科学技術」が果してきた効果、さらに今後果しえる役割は、余り指摘されないが、考え及ばないほどの広さを有している。観測は対象が何らかの物理化学的過程で発する信号を検出するか、もしくは対象との相互作用を検出することでなされる。その信号や相互作用が検出可能でなければならない。原子力科学技術が対象とする各種の粒子線や放射線は広い範囲でこの条件に適合している。すでに、 α 線、 β 線、陽電子線、陽子線、重粒子線などの荷電粒子線、レーザー線、X線、 γ 線等の電磁波、中性子線などは研究のための観測手段としてだけでなく広く実用的に検出手段として利用されている。これは対象との相互作用が理解可能で、かつ検出が容易であることによる。

原子力科学技術が拓く可能性

最近あることで原研勤務時代の古い業務手帳を確認する機会があった。1996年のある頁に「新しい展開は新しい事象の発見や解明によってもたらされることが多い。そのための重要な働きをするのが新しい観測手段、測定手段、解析手段である。」とのメモがあった。当時、大強度陽子加速器建設計画(昨年、第1期建設計画が完成したJ-PARCの原計画)をなんとか立ち上げようと、仲間と四苦八苦していた時に、計画の趣意文の一節としたものであろう。しかし、現在でも上に述べたように、飛躍は新しい観測でなされることに変わりはない。原子力研究開発の方向に迷うような時には、「さらによく見る観測手段」をひたすら考え、準備するところから迷いの雲が晴れて来るのではなかろうか。とにかく、根本は「何をさらによく見たいか」である。

(2010年 4月20日 記)



松浦 祥次郎(まつうら・しょうじろう)

2008年7月より現職。2000年より原子力安全委員長を6年間務める。それ以前は旧日本原子力研究所でLWRの炉物理研究、研究計画管理、研究所経営に当たる。京都大学卒。京都生まれ。(74歳)



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

高速増殖原型炉「もんじゅ」、14年半ぶりに性能試験を再開

日本原子力研究開発機構は5月6日午前、高速増殖原型炉「もんじゅ」の性能試験を再開、8日午前10時36分、臨界となった。95年12月8日にナトリウム漏えい事故で停止して以来、およそ14年半ぶり。

新たなスタートを切った「もんじゅ」は今後、発電設備を有する国内唯一の高速増殖炉プラントとして、性能試験、続く本格運転を通じ、高速増殖炉実用化に向けて、「発電プラントとしての信頼性の実証」と「ナトリウム取扱技術の確立」を目指していく。

「もんじゅ」試運転再開に際し、原子力安全・保安院による立入検査が5月3日から開始され、①不適合の処理状況、②系統構成・安全機能等の確保状況、③運転手順書・性能試験要領書の制定状況、④運転員の確保状況、⑤試運転再開に向けた管理体制——について、最終確認を行い、6日10時30分頃、制御棒の引抜き操作に入り、8日に臨界となった。

原子力機構敦賀本部では、運転を開始した6日以降、日ごとに試験の実施状況を公表しており、12日現在、軽微な操作不手際による制御棒挿入の一時的な中断・回復などはみられたものの、大過なく試験は

進められている。

今後、7月下旬頃まで、極低出力での炉心確認試験を実施した後、40%出力確認試験、出力上昇試験の3段階で、約3年間にわたり試験を行うとともに、試験項目の節目ごとにホールドポイントを設け、評価結果を公表していく。性能試験は、商業炉という試運転に相当するが、「もんじゅ」が発電炉としてデビューし、本格運転に入るのは13年度初頭の予定だ。

「もんじゅ」の臨界到達を受け、原子力機構の岡崎俊雄理事長は、「安全確保を最優先に、実証炉や実用炉の設計・建設・運転につなげる多くの貴重な成果をあげるよう全力で取り組む」との談話を発表した。

今回の運転再開は、去る2月の国による安全性評価終了後、原子力機構より、福井県ほか、地元自治体との安全協定に基づく協議を申し入れ、4月28日に了承を得ていた。了承に際し、西川一誠県知事は、県の専門家会合の検討結果も踏まえ、「安全確保に万全の体制で」などと要望している。

(資料提供：日本原子力産業協会)

原子力部会、「今後の方向性」で、世界最高水準90%の稼働率を目標に

総合資源エネルギー調査会の第24回原子力部会(部会長＝田中知・東大院教授)が4月19日、経済産業省で開かれ、「核燃料サイクルおよび国民との相互理解促進・地域共生」についての議論と、経産省が取りまとめた「今後の具体的な取組の方向性(案)」について審議した。

取組の方向性では、2020年までに9基の原子力発電所の増設を行い、設備利用率を98年度並の約85%にまで持っていくことを目標にしている。さらに30年までにはこの9基も含め少なくとも14基以上

の原子力発電所の増設を行い、設備利用率も18ヶ月以上の長期サイクル運転を達成し、世界最高水準の約90%を達成したいとしている。

増設の着実な推進と合せて、設備利用率の向上にも力を入れる方針だ。新検査制度を積極的に活用するほか、日本原子力技術協会は事故トラブル情報を収集、分析、評価した結果などを活用し、11年度から発電所の運営実績評価を実施する。国としても、エネルギー供給構造高度化法における判断基準を通じて、設備利用率向上や増設などを推進し、

立地交付金の交付配分なども検討するとしている。

そのために、国と地方自治体との間で、原子力が有する国家レベルでの政策的重要性について、認識の共有に努める。

安全規制に関する国と事業者などとの対話の深化では、「事業者は、規制当局との規制課題の共有の

重要性を認識し、運転管理などの現場における実態を踏まえた規制課題や、これに対する取組方針について自らの考えを明らかにし、規制当局と共有することの重要性を指摘している。

燃料サイクルの確立、原子力の海外展開などの必要性についても盛り込んでいる。(同)

川内 1 号が最高位、09 暦年世界の稼働率ベスト 50 に日本 8 基

米国プラッツ社が発行する原子力専門誌「ニュークレオニクス・ウィーク」(NW 誌)の 4 月 1 日号では、2009 年の世界の原子力発電所の運転実績を特集しており、日本の九州電力・川内 1 号機(PWR, 89 万 kW)が世界一の高稼働率 105.0% を記録し、ベスト 50 の中にも日本の 8 基が入ったことが明らかとなった。

ニュークレオニクス・ウィーク誌によると、世界

の 2009 年の原子力発電所 441 基の平均設備利用率は 76.0% で、前年の約 79% から低下した。世界中の中央値は 82.8% だった。

稼働率ベスト 50 には、川内 1 号機をはじめ上位から高浜 4 号機(103.0%)、伊方 3 号機(同)、泊 1 号機(102.5%)まで 4 基がベストテン入りし、次いで大飯 4 号機、福島第二 3 号機、美浜 3 号機、福島第二 2 号機が高い実績を示した。(同)

文科省「原子力課」を設置、原子力行政強化へ

文部科学省は 4 月 1 日付けで、原子力行政の実施体制を強化するため、研究開発局の原子力計画課と原子力研究開発課を統合し、「原子力課」を設置、開発企画課にあった立地地域対策室も統合した。

原子力計画課にあった核融合開発室は「環境エネルギー課」に移管。科学技術・学術政策局の原子力安全課にあった保障措置室は研究開発局の開発企画課に「核不拡散・保障措置室」として移管した。

その結果、世界的な原子力利用の拡大に対応し、原子力科学技術に関する企画立案と原子力研究開発の推進を一元的に実施するために新設された「原子力課」は、核燃料サイクル室(新設)、立地地域対策室、放射性廃棄物企画室、原子力国際協力室(新設)の 4 室体制となり、課長には板倉康洋氏(原子力研究開発課長)が就任した。

(同)

原子力白書 「経済成長に貢献」強調、分かりやすさ前面に

原子力委員会は 4 月 9 日、2009 年版の原子力白書を発表した。

政権交代に鑑み、新政権のめざす「グリーン・イノベーション」と「ライフ・イノベーション」に対し、前者に関しては温室効果ガスの排出量が格段に少なく大規模発電が可能であり、さらにはプラント輸出等で経済成長も見込めること、後者に関しては診断・治療の際の放射線利用で健康大国を実現できることを挙げ、原子力が貢献できるとした。

また、オバマ大統領のプラハ演説などで核不拡散への認識が高まったとし、日本人である天野之弥氏が事務局長を務める国際原子力機関へ資金的・技術

的な貢献をしていくとともに、日本に適した核セキュリティのあり方に関する基本方針を取りまとめるとした。

研究開発においては、研究開発専門部会の提言を踏まえて効果的な取組みを推進していくとし、人材育成についても、産学官の連携を強化しながら継続的・総合的に取り組んでいくとした。

全体を通じて「ですます調」に変更し、1 文を原則 3 行以内とした。また、原子力委員が執筆したコラムをそれぞれの写真入りで掲載。読みやすくする工夫がこらされている。

(同)

原産協会がベトナムに事務所設置、情報発信などを強化

日本原子力産業協会は3月25日、ベトナムの原子力発電導入に対する協力推進の一環として、同国ハノイ市に「JAIF ベトナム連絡事務所(所長=利光聡)」をベトナム当局からの正式認可を受けて開設した。

当協会はこれまでも、2000年にベトナム原子力委員会(09年にベトナム原子力機構(VAEI)に改称)と協力覚書を締結して以来、要人の受入れや専門家の派遣、人材育成支援等の基盤整備に関する協力を積極的に実施してきた。同国では昨年11月25日に国会が同国初の原子力発電プロジェクト(2サイトに100万kW級原子炉を各2基建設。初号機は20年に運

開予定)のプレ・フィーヅリビティ・スタディを承認しており、計画の具体化に向けた動きが本格化している。

こうした背景から、当協会も同国との協力の一層の促進を図るため、昨年12月から基盤整備に関する活動拠点となる連絡事務所の開設準備を開始。同事務所の正式開設により、原子力国際協力センター(JICC)を始めとする関係機関と連携しつつ、ベトナムの動向把握と日本の原子力に関わる情報発信を強化していく。

所在地は「ホテル日航ハノイ」の426号室(電話+84-4-394-124-60)。(同)

世界で432基が運転中、原産協会が『世界の原子力発電開発動向』

日本原子力産業協会は4月15日、『世界の原子力発電開発の動向2010年版』を刊行した。当協会が世界の電力会社等から得たアンケートの回答などに基づき、2010年1月1日現在のデータを集計。今日の原子力業界を俯瞰できる内容となっている。

本書によると、世界全体の原子力発電所基数は432

基で、出力は3億8,915万6,000kW。昨年と同じ基数だが、設備容量は昨年の3億9,044万1,000kWに比べ、128万5,000kW減少している。

問合せは、原産協会(電話03-6812-7103)情報コミュニケーション部まで。

(同)

原産協会が海外展開で提言、競争力強化に国の支援を要請

日本原子力産業協会は、日本の原子力発電技術を国際展開するための意義や必要性を盛り込んだ「我が国の原子力産業の海外展開に向けての提言」を取りまとめ、4月19日、仙谷由人・国家戦略担当相など、関係府省、原子力委員会などに提出した。

原産協会では、昨年10月から「原子力産業海外展開検討会」(委員長=柳井俊二・元駐米大使、原産協会顧問)を設置して検討を重ねてきており、国が策定中の「新成長戦略」に合わせて提言を取りまとめたもの。

同提言では、原子力産業を海外に展開することの意義を整理した上で、他国との競争に勝ち、海外展開、特に原子力発電の新規導入国への展開を成功裏に進めることをめざしている。

「世界への貢献」では、地球温暖化対策やエネルギー・セキュリティはもとより、アジア地域の持続的発展と地域安全、原子力の平和利用の推進と同時

に核不拡散体制の維持に貢献する、と訴えている。

また、「我が国にとっての意義」では、(1)雇用促進、産業空洞化防止および持続的な経済成長の牽引力となる、(2)国内の技術力の向上と人材の確保、(3)近隣諸国における原子力安全の確保に資する、(4)海外展開を進める中で、原子力発電への国民的理解が深まる、(5)海外を含めた運転経験の蓄積や共有化が進み、原子力運用システムの高度化およびグローバル化が進展する——などの点を挙げている。

そのため国への要望は、①首脳レベルでの働きかけ、②国と民間で構成する戦略本部の設置、③大使館を含む外交機能の強化、④二国間原子力協力協定締結への積極的な対応、⑤国際競争力を高めるために国の何らかの制度的措置、⑥政府開発援助(ODA)を活用した社会・経済インフラ整備支援などの幅広い戦略的な取組みの検討——などを要請している。

(同)

IAEA が国際核反応データセンターネットワーク技術会議を北大で開催

国際原子力機関(IAEA)は4月21~23日の3日間、北海道大学大学院理学研究院附属原子核反応データ研究開発センターで、国際核反応データセンターネットワーク(NRDC)技術会議を開催した。

このネットワークは、加速器や原子炉などで取得される原子核反応に関する実験データを平和利用するために、全世界で交換することを目的に作られた国際協力組織。冷戦時代を経て今日に至るまで40年以上にわたって活動を続けてきた。これまでに、およそ18,000件の実験で取得された実験データをEXFORという公開データベースへ収録。原子力分野や医療分野はもとより、原子核物理や宇宙核物理などの基礎学術分野に至るまで、世界中で広く利用されている。

関連する諸問題を議論する場として、毎年、米国・フランス・オーストリア・ロシア間で交互に本会議が開催されてきたが、日本での開催は今回が初めて。会議前週末のアイスランドの火山噴火にも関わらず、欧州からの参加者の欠席は2カ国(スロバキア、ハンガリー)に留まり、7カ国(インド、ウクライナ、韓国、中国、日本、米国、ロシア)と2国際機関(IAEA, OECD)から関係者が集まった。会議日程は当初の4日間から3日間に縮小されたものの、予定されていたほぼすべての議題が処理された。

会議は、初日の加藤センター長とRobin Forrest IAEA核データ課長の挨拶に始まり、核データの収集と流通に関する現状分析と方針策定を行うとともに、データの国際間での交換に関する様々な技術的課題が原子核物理学や情報科学の観点から議論された。米国によるデータ公刊雑誌出版国別の収集分担への移行の主張が今回の最も大きな議題だったが、

今回の会議では、従来通りデータ測定国別の収集分担を続けることで合意を得ることができ、ここ5年来の懸案が解決した。これにより、データ収集活動に関する各国の研究者とデータセンターの密な協力関係が今後とも維持されることが期待される。

なお、日本では、北大理学部を中心とする「日本荷電粒子核反応データグループ」が日本国内の加速器施設で測定された実験データを一括収集し、IAEAを経て各国の研究者に提供し続けてきた。この国際協力をより安定して継続させたいIAEAからの要請を受け、2007年4月にそれまでのグループが北大の附属組織として再編され今日に至っている。今回の会議の結果、わが国の加速器などで取得されたデータは、引き続き当センターが収集責任を負うこととなった。

関連サイト 北海道大学原子核反応データ研究開発センター <http://www.jcprg.org/>
国際原子力機関核データ課 <http://www.nds.iaea.org/>
問合せ先：加藤幾芳(011-706-2684, kato@nucl.sci.hokudai.ac.jp)



文科省が革新的原子力技術2件を事後評価

文科省は、02年からスタートした革新的原子力システム技術開発公募の採択課題2件(02年採択、04年採択)の事後評価を行った。

京大、三菱電機が取り組んだ「FFAG加速器を用

いた加速器駆動未臨界炉に関する技術開発」は、想定通りの結果が得られ、今後期待できる(b)との評価を得た。これは、安価で加速効率の高いエネルギー可変型固定磁場強集束型(FFAG)加速器の開発

を行ったもの。加速した陽子ビームをターゲットに当てて中性子を作り出し、未臨界核燃料体系に入射することで増倍させ、同体系による入射中性子エネルギー依存のエネルギー増倍特性や出力制御特性を確認し、FFAGによる加速器駆動未臨界炉の技術基盤整備をした。

原子力機構、阪大、茨城大が取り組んでいる「革新的高温ガス炉燃料・黒鉛に関する技術開発」は、最高評価となる想定以上の結果が得られ、今後に大

いに期待できる(a)だった。このプロジェクトでは、1,600℃を超えても使用できるとされるジルコニアカーバイド被膜燃料粒子の製造技術の確立、検査技術の開発、照射挙動の解明を目指している。燃料破損挙動を評価するモデルを開発、高温ガス炉で用いられる黒鉛構造物の使用により変化する機械的特性について評価し、健全性を確認する技術開発を行っている。

(資料提供：科学新聞)

放医研、ペットボトル用樹脂で世界で初めて放射線の計測に成功

核医学診断(PET)などに用いられるシンチレーション検出器の命であるシンチレータ(放射線を受けると微弱な光を発する)には、無機質を使うことが少なくないが、非常に高価で、加工や製造が難しいといった問題点があった。放射線医学総合研究所基盤技術センター研究基盤技術部の中村秀人研究者らの研究グループは、ペットボトル用の樹脂(主成分はポリエチレンテレフタレート)が放射線の計測に極めて優れた性質を持つことを発見、実査に樹脂を用いた放射線計測に世界で初めて成功した。

研究グループはこれまで、さまざまなプラスチックについて、シンチレータとしての性能を評価してきた。その中で、市販のペットボトル用樹脂での実験では、光電子増倍管(光電効果を利用して光エネルギーを電気エネルギーに変換する光電面を基本に、電流増幅機能を付加した高感度光検出器)の量子効率(波長別の感度)のピークが約370nmで、ペットボトル用樹脂の蛍光量のピークが約370nmと一致していることがわかったという。これはペットボ

トル用樹脂が光電子増倍管の最も感度の高い波長を発光し、放射線計測に優れた性能をもつことを意味するという。実際、放射線をペットボトル用樹脂に当て、光電子増倍管で計測したところ、電気信号が検出されている。

また化学分析結果から、炭素と水素のみで形成される従来のプラスチックシンチレータやそのベース素材の密度が1m³当たり1.0gであったのに対し、ペットボトル用樹脂には酸素が含まれているだけに1.35gと屈折率($n=1.34$)が高くなり、それだけ放射線計測に適していることも示されたとしている。

中村研究者の話「患者という立場を体験し、患者の心の痛みや苦しみを理解できるようになりました。最終目標は生きる希望を与えてくれる診療装置を実現することですが、提案が必ずしも、そのままの形で具現化しなくてもよいと考えています。研究を通して、今後、診療装置がより多く生み出されることに一歩でも近づけていきたい」。

(同)

太陽系で最も希少な同位体タンタル180の起源を解明 —超新星の爆発で発生したニュートリノで生成したことを裏付け

自然科学研究機構・国立天文台の理論研究部の梶野敏貴准教授、日本原子力研究開発機構の量子ビーム応用研究部門の早川岳人研究主幹、先端基礎研究センターの千葉敏研究主幹らの共同研究グループは、これまで宇宙における起源が不明であったTa-180(タンタル180)が、超新星爆発において発生する膨大な量のニュートリノによる核反応で生成したこ

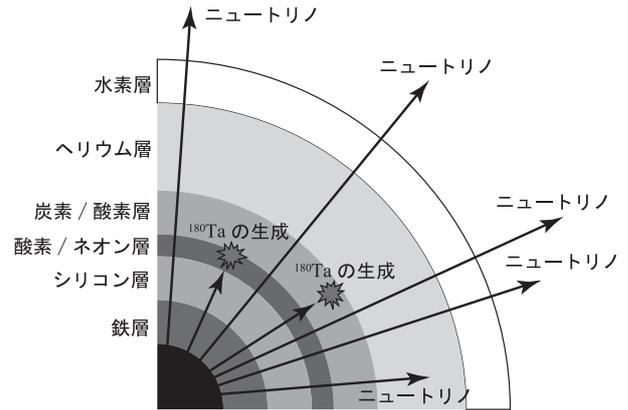
とを理論的に明らかにした。

太陽系には約290種類の同位体が存在しており、それらが宇宙のどのような天体環境で、どのような核反応で生成されたかという起源の解明が進められてきていた。しかし、太陽系で最も希少な同位体であるTa-180の起源は残された大きな謎だった。超新星爆発で発生したニュートリノが外層のHf-180

等と反応して Ta-180 を生成したとする仮説が有力視されていたが、この仮説による計算では、太陽系に存在すべき Ta-180 の推定量が実在量より多すぎるという問題があった。Ta-180 には準安定な核異性体が存在している（基底状態は約 8 時間でベータ崩壊する）が、従来の理論計算では超新星爆発における基底状態と核異性体のそれぞれの量を計算できないためであった。

このため共同研究グループでは、基底状態と核異性体を異なる核種と見なす新しいモデルを構築し、それによって超新星爆発において刻々と変化する温度に対する核異性体の割合を計算することを可能にした。この結果、超新星爆発ニュートリノによる Ta-180 の推定量が実在量と一致し、初めて太陽系に存在する Ta-180 を定量的に説明できた。同時に、超新星爆発における電子型ニュートリノの平均エネルギーが 12 MeV であることも判明した。

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



中性子星
超新星爆発時の恒星の内部の模式図

超新星爆発において重力崩壊によって生成した中心部の原始中性子星から多量のニュートリノが発生する。そのニュートリノが外層で既存の核種と反応して、Ta-180 を生成する。

p10051201/index.html)

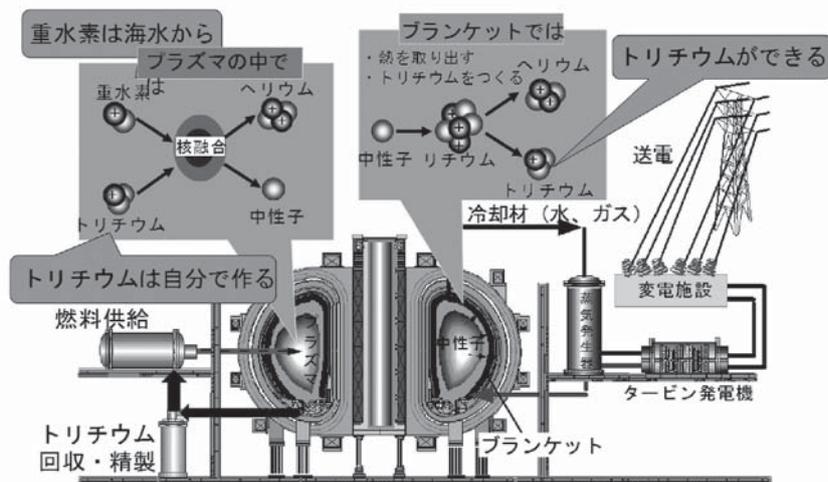
(資料提供: 自然科学研究機構国立天文台, 日本原子力研究開発機構)

核融合炉ブランケットのトリチウム回収性能を世界で初めて実証 —ITER 試験用ブランケットのトリチウム技術開発が大きく前進

原子力機構の核融合研究開発部門は、核融合炉のブランケットを模擬した構造体に高エネルギー中性子を照射し、核融合炉の燃料となるトリチウムの製造効率に関するデータを世界で初めて取得するとともに、トリチウム回収性能を実証することに世界で初めて成功した。この成果により、核融合炉の燃料

となるトリチウムガスを核融合炉で生産し、供給する自己供給技術の確立に向けて大きく前進したことになる。

核融合炉のブランケットは、炉心プラズマで発生する高エネルギー中性子を用いて、熱の取出しや燃料となるトリチウムを製造する機器。核融合炉発電



核融合炉は発電するとともに、使った量と同じだけの燃料(トリチウム)を作り、回収して利用する(燃料自己供給システム)

を実現する上で最重要機器となるため、我が国を含む ITER 参加各極では、トリチウムの効率的な生成などをめざして、技術開発競争を展開している。

しかし、高エネルギー中性子を発生することができる設備が世界でも限られることや、最高900度に達するブランケット内のリチウム材料環境をつくり出すことができなかつた等の理由により、高エネルギー中性子を用いたブランケットの照射実験はこれまで、行うことはできなかった。

そこで原子力機構は、核融合中性子源施設(FNS: Fusion Neutronics Source)を用いてヒーターと断熱材の配置を工夫し、1,000度まで試料を加熱制御できるとともに、実際の核融合炉ブランケットと同

じ環境による高エネルギー中性子照射実験が可能な「ブランケット模擬容器」の製作に成功した。さらに、照射した模擬容器中のリチウム材料を加熱しながらガスを流して、生成されたトリチウムガスを容器の外に取り出し測定した結果、トリチウムがほぼ100%回収できたことを確認した。

このような照射技術や回収技術は、材料中のリチウム定量分析や炭素-14やフッ素-18等の医療用ラジオアイソトープなどを効率的に回収する技術への応用も期待される。

(参考: <http://www.jaea.go.jp/02/press2009/p10032601/index.html>)

(資料提供: 日本原子力研究開発機構)

高温ガス炉(HTR)が50日間の高温連続運転を達成

原子力機構の高温工学試験研究炉(HTR: 定格出力約30MW, 原子炉冷却材温度最高950℃)が3月13日、世界で初めて50日間の高温連続運転に成功した。

今年1月22日から運転を始めていたもので、この運転の達成により、高温ガス炉の技術基盤の確立に資する原子炉の核・熱特性や冷却材(ヘリウム)管理、高温機器の性能、炉内構造物の健全性等に関する多くのデータを取得した。また、高温ガス炉は、温室効果ガスを排出しない革新的な熱化学水素製造等の熱源として期待されているが、本運転の達成により長期間安定して高温のガスを供給できることを、世界で初めて実証した。

今後、原子力機構では、原子力による水素製造の実現に向けて、HTRを用いた高温ガス炉の利用性、安全上の限界性能等を確認するための試験を行



50日間の高温連続運転達成時に挨拶する
大洗研究開発センターの廣井博所長

う予定である。

(参考: http://htr.jaea.go.jp/index_top.html)

(同)

海外情報 (情報提供: 日本原子力産業協会)

[米国]

核安全保障サミットで声明、プル管理で特別措置

米国のオバマ大統領が提唱し、核兵器や核物質を使ったテロを防止するため、ワシントンで4月12, 13日、核安全保障(セキュリティ)サミットが開かれ、

世界47か国の代表が参加し、最終日に「ワシントン核セキュリティ・サミット声明」を発表した。

声明では、「すべての脆弱な核物質の管理を4年以内に徹底する」というオバマ大統領の呼びかけを歓迎し、これに参加する、と表明。核軍縮、核不拡散および原子力の平和利用という共通の目標に、「我々は皆、核セキュリティという目的も共有する」と述べ、「核セキュリティを強化し、核テロリズム

の脅威を低減させることを約束する」としている。

そのために、高濃縮ウラン、分離プルトニウムは特別の予防措置を要することを認識し、これらの物質の管理を徹底するための国際原子力機関(IAEA)などの措置を強化・促進することに合意した。

第2回目の核セキュリティ・サミットは2012年に韓国で開催することが決まった。

[イタリア]

EPR 建設で仏伊が協力強化、伊産業界の参加拡大へ

イタリアでのEPR(欧州加圧水型炉)建設計画を一層加速していくため、イタリア電力公社(ENEL)とフランス電力(EDF)、およびイタリアのアンサルド社は4月9日、パリで協力覚書に調印した。

これはフランスのN・サルコジ大統領とイタリアのS・ベルルスコーニ首相の定期会合の場でまとめられたもので、協力期間は最短でも5年間。EDFとENELは昨年2月、イタリアに少なくとも4基のEPRを建設することで実行可能性調査の実施で合意し、折半出資の合併企業を設立している。この計画はイタリアにおける原子力復活を意味するもので、今回の協力を通じて、同国原子力産業界が参画する機会を最大限に拡大するのが主な目的だ。また、将来的にはイタリア以外のEPR建設計画にも協力範囲を広げることが可能になるとしている。

覚書では3社が潜在的に協力可能な分野を明記。EDFとENELは投資者およびアーキテクト・エンジニアとしての役割とともに原子炉の設計・建設および起動、プロジェクト管理全般に責任を負う。一方、アンサルド社は原子力システムの調査や設計、認可手続きに関するノウハウを提供。機器の供給および設置、エンジニアリング・システム一式に関してEDFらが実施する認定・入札手続きにも参加することになっている。

なお、EPRを開発した仏アレバ社は同日、イタリアの原子力産業界および学界の3者と長期的な原子力パートナーシップ契約を締結している。

[スロバキア]

ロシアがモホフチェ原発に長期燃料供給契約

ロシアの原子燃料製造企業であるTVEL社は4月7日、スロバキアで建設中のモホフチェ3、4号機用の燃料供給でスロバキア電力公社(SE)と長期契約を結んだ。

両機の建設計画では、チェコのスコダ社が原子力系統設備の供給者となり、2012年と13年に44万kWのロシア型PWR(VVER)として完成させる予定。今回の契約でTVEL社は、両機の初装荷燃料と5回の交換燃料を、12年から17年まで納入する。

TVEL社によると、これらの燃料は従来の燃料に比べて燃焼度が高く、補給用の燃料集合体も少なくすむという付加価値付き。さらに、関連サービス一式と原子炉の熱出力向上オプションも提供している。

なお、同社の親会社であるロスアトム社はTVEL社をベースとする新たな原子燃料会社の創設準備を進めている。世界市場で勝ち抜ける競争力と効率性をつけるため、傘下にある燃料サイクル関係企業の合理的な管理システムを構築するのが主な狙い。同時に、西側企業と連携していくための諸条件を改善し、燃料製造施設の技術革新に必要な技術開発促進を目指す。この第1段階の作業としては、ロスアトム社傘下の遠心分離機・製造プラントや燃料製造業者などを統合する計画。

関連報道では、同社は6月末までに株式の統合作業を終え、年内にも新会社を設立する予定だと伝えられている。

[UAE]

ブラカを候補地に選定、運開目標は2017年

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

作業を進める。

08年半ばに開始したサイト評価で、ENECは国際社会の安全基準に照らして作業を実施。連邦原子力規制庁(FANR)のほか、電力研究所および米原子力規制委員会(NRC)、国際原子力機関(IAEA)のガイダンスに基づいて、地震履歴や人口密集区域からの距離、大量の取水の可能性、既設の送電網との接続、インフラ状況などを鑑みた結果、ブラカの約13km²の敷地を選定した。

[クウェート]

原子力利用でフランスと協力協定

クウェートは4月16日、原子力平和利用に関するフランスとの協力協定に調印した。

今年1月、同分野の協力に関して両国が仮調印した取決めに基づくもので、水資源の97%を海水淡水化に依存するクウェートに、フランスが今後、原子力による効率的な脱塩および電力を提供していく枠組みとなる。防衛分野などですでに協力関係にある両国は今後、戦略的パートナーとしての協力を一層、促進・強化する方針だ。原子力分野でフランス側は、EPR(欧州加圧水型炉)と核燃料、および再処理を含めた関連サービス一式を提供する用意があるとしている。

クウェートを含めた中東6か国からなる湾岸協力会議(GCC)は2006年12月、原子力開発平和利用計画策定のための調査開始を公表。昨年12月にはアラブ首長国連邦(UAE)が先頭を切って、4基の原子炉建設を韓国の企業連合に発注した。

両国に続いてサウジアラビアも4月17日、アブドラ国王が同国の法令に照らし、「アブドラ国王・原子力および再生可能エネルギー都市」を、同国の原子力開発計画担当科学センターとして創設する王室命令を発布した。

[インド]

英印の2メーカー、軽水炉の建設・受注目指し覚書

インドの総合重機メーカー最大手のラーセン&トップロ(L&T)社と、民生用原子力事業に大々的に乗り出している英国のロールスロイス社は4月1

日、インドをはじめ国際的に拡大している軽水炉の建設需要に共同で応えていくため、了解覚書(MOU)を締結した。

両社の認識では、世界では民生用原子炉の60%以上が軽水炉。インドでは現在、稼働中の原子炉のほとんどがカナダの技術をベースに自主開発した加圧重水炉であるため、今後、大型の軽水炉を野心的に建設していく上で、国内の既存供給チェーンに欠けている間隙を、ロールス社の支援で埋めていく計画だ。中でも、計装制御(I&C)系関連の協力は、両社のパートナーシップの第1段階という位置付けになっており、今年2月に、インドと英国の両政府が調印した民生用原子力協力に関する共同宣言を受けたもの。

両社の具体的な協力項目としては、I&C系のほかに原子炉機器とその他の工業製品およびシステム、エンジニアリング業務、原子炉の供用期間中支援、廃棄物処理などが含まれている。

[ベトナム]

米国と覚書締結、2国間協定に向け準備

米国とベトナムは3月30日、民生用原子力利用分野における協力覚書(MOU)を締結し、安全保障の最大化と核拡散リスクの最小化を図るという共通の目標に向けた協力の推進で合意した。

この覚書には、米国のM・ミハラク駐越大使とベトナム科学技術省のL・ティエン副大臣が調印。将来、米国の原子力企業がベトナムの原子力市場に参入するなど、両国の協力を実質的に進展させる法的枠組みとなる二国間の原子力平和利用協力協定締結に向けて、両国政府が交渉していく足がかりとなる。

今回の覚書では、原子力関係の人材養成や安全保障インフラの整備、放射性廃棄物と使用済み燃料の管理のほか、発電炉の規制要項と核燃料サービスの手配について協力の拡大が明記された。今後、数十年間にベトナムが初めて導入する発電炉のために、核燃料サービスの国際市場で信頼できる供給源の確保が可能となることを盛り込むなど、その他の国との原子力協力と同様、原子炉の操業に不可欠の堅固なインフラ開発に向けて慎重に計画を進めていく方針だ。

[中国] 海南島の発電所が着工、国産 CNP 600を採用

中国核工業集团公司 (CNNC) と中国華能集团公司は4月25日、中国南端の海南島で昌江原子力発電所1号機のコンクリート打設を実施した。

起工式には同国の李克強第一副首相をはじめ、同プロジェクトに共同出資する両会社の代表者、および地元関係者らが出席し、中国では初めてとなる島での原子力発電所の正式着工を祝った。

サイトは昌江県の手尾鎮塘興村で、中国が開発した第2世代の65万kW・PWRであるCNP600を最終的に4基建設する計画。最初の2基は秦山原子力発電所2期工場の原子炉技術を基準とする設計で、総工費は約190億元。1号機の運転は2014年末までに開始する予定だ。

全基が年間7,000時間稼動すれば、同規模の火力発電所で260万トンの石炭を節約でき、CO₂とSO₂の排出量をそれぞれ780万トンと1,600トン削減できるとしている。

[アルゼンチン] 新規建設に向けロシアと協力強化

アルゼンチンとロシアは4月15日、原子力の平和利用分野で相互交流を図る合意文書に調印した。

アトーチャ原子力発電所で3号機の建設を検討しているアルゼンチンは、ロシア型PWR(VVER)を建設する可能性調査のための技術情報をロシアと共有するとともに、同計画にアルゼンチン産業界が参画する度合いを定める共同作業グループの設置を目指す。ただし、具体的な建設計画を前提にしたものではないと強調しており、VVERの設計・建設および燃料供給でロシアから協力の準備があることを示す内容だ。具体的な建設仕様や入札については今後、同国政府が決めることになるとしている。

また、アルゼンチンは現在保有している燃料製造工場などのほかに、国内でその他の燃料サイクル施設を建設することも検討中。今回の合意の下で研究開発協力を実施する可能性も視野に入れている。

両国の合意は、ロシアのD・メドベージェフ大統領がアルゼンチンを訪問したのに合わせたもので、調印はロシアの総合原子力企業であるロスアトム社のS・キリエニコ総裁とアルゼンチン計画投資サービス省のJ・デビド大臣が行った。

両国間の原子力関係協力としては3番目に当たり、二国間の原子力協力協定は1990年10月に締結済みだ。また、ロスアトム社とアルゼンチン計画投資省は2008年12月にも平和利用協力で共同声明を出している。今回は今年2月に交わした了解覚書(MOU)が正式承認されたことになる。

講演

菅直人氏が東工大でスピーチ

日本株式会社を再構築する！

科学技術立国を考える

2010年4月30日、当時副総理であった菅直人氏が、母校東工大で開催されたシンポジウムにおいてスピーチを行った。

久しぶりに、この大学にやって来ました。私は本来、昭和44年に大学を卒業する予定でしたが、にぎやかな時代でしたので、1年卒業を延ばしているんなことをやっていました。そのことがもしかしたら今の政治家への道につながっているかもしれません。

今日は科学技術立国日本を考えるということですが、思い起こしますと昨年の9月に鳩山政権ができた時に、鳩山総理にひとつだけ陳情いたしました。

従来は科学技術担当大臣には、科学技術の専門家や関係のある方がなっておらず、兼任でおられることが多かった。それで、科学技術大臣だけは、この方面に経験や知見のある人、多少は理系のバックグラウンドを持った人になった方が良いのではという、アドバイスあるいは陳情を致しました。

ご承知のように鳩山総理は東大の工学部を出たあとに、われわれの母校東工大の助手もやっておられました。

結果として、私が昨年9月から12月まで、その役目を仰せつかることになりました。ただ今年1月には財務大臣を仰せつかりましたので、科学技術担当大臣の任から離れました。今は川端文部科学大臣が兼任をされています。川端大臣は化学の専門家であります。

私が任にあった時に、総合科学技術会議には2,700億円という研究費の補正予算がついていましたが、その見直しを行い、多少皆さまにご迷惑をおかけしたかもしれません。

私も科学技術について、学生の時代からいろんなことを考えておりました。その中でも、当時、最も考えたことは「原爆」というものを人間が作り出したということです。人間をすべて抹殺できるものを人間が創り出した。これは、「ネズミがネズミ取りを発明した」ようなものであり、本質的な矛盾があると思いました。

人間は、人間が考え出した科学技術で滅びるのか、それとも人間が考え出した科学技術をうまく使いこなして、より幸せな社会を維持できるのか。これをコントロールするためには、政治の力が必要なのだと当時考えたことが、今の私のような立場に立ち至る最初の理由であったかもしれません。

大学時代には学問とは何かということもよく議論しま

した。今から40年以上前のことです。得た結論は極めて単純です。「学問とは遊びである」。科学技術の研究も学問も、その本質は自由な営みであるべきだということが、私の根底にはある。

その一方で、今やらざるを得ない科学技術もあります。世界で、特にアジアでは科学技術はどんどん進展しています。またわが国もかつては日本株式会社と言われるほどに、科学技術、そして企業や政府が関わりあって、世界を相手にトランジスターに始まるさまざまな製品を、どんどん売ってきたわけです。ところが、そういう活力を相対的に日本が失ってきている。かわりに韓国や中国などの他の国が興ってきている。

今、私達の政権では、語弊を恐れずに言えば、日本株式会社を再構築する、科学技術を中心に、新しい技術を世界に使ってもらえるように売り込む。そのためには、例えば金融制度を整備し、政治家のトップセールスを進めていく、そんなことを議論し、実行に少しずつ移しているところであります。

そのためには、総合科学技術会議などで議論をしていただいて方針を決め、科学技術の適正な予算配分をしていければと思っております。

最後にひとつだけ。今の国会議員の中で東工大の卒業生は、斉藤前環境大臣、藤末議員と私の3人です。一方で中国では、胡錦濤さんと温家宝さんなど、トップのほとんどが理系出身者なんです。できれば東工大からも有意な人材をだしてもうちょっと永田町にもご貢献いただけないかと思っております。

*本シンポジウムは「科学技術立国日本を考える会」が主催した。
(取材・編集 本誌 澤田哲生)



INTERVIEW

「原子力の開発を軸に、産業の活性化を」



衆議院議員 空本誠喜氏に聞く

東大大学院で原子力工学を専攻し、東芝で原子力の実務に携わった後に、2009年の衆院選で広島4区から初当選した民主党の空本誠喜氏。温暖化対策を進めるために原子力は不可欠だとするとともに、環境との調和を図りながら、原子力の開発を軸として産業の活性化をめざす「環境土木」を提唱する。「原子力での実務経験を政治の場に生かしたい」と語る同氏に、その想いを語っていただいた。

空本誠喜氏(そらもと・せいぎ)

1964年、広島県生まれ。早稲田大学理工学部、東京大学大学院工学研究科修了。工学博士。東芝勤務を経て、2009年の衆院選で初当選。

聞き手 石橋すおみ

(本誌編集諮問委員)



「21世紀はエネルギーの世紀になる」

石橋 原子力との出会いは。

空本 幼少の頃から政治家になろうという夢を持っていました。

原子力に進んだ原点は、高校生時代に「21世紀はエネルギーと食料の世紀になる」と考えたことです。原子力工学は、電気、機械、材料、化学、核物理などの幅広い、まさに「ミニ総合工学」であり、21世紀の主たるエネルギーであることから、原子力の分野に進みました。

一ご出身の広島は被爆地ですが。

原爆で亡くなった親戚もおりますし、祖母も子どもを背負って、甥や姪を探しに投下直後に爆心地に入り、被爆しています。大学には同郷の先生方が多くおられ、保健物理などの放射線影響の基礎なども教えていただきました。

一どんな学生でしたか。

放射線計測や核計装技術の開発に取り組んでいました。東海村の弥生炉に毎週通って、新しい放射線計測技術の開発実験をし、週末は友人とスキー場に通いました。そして学位取得後、東芝に入社しました。

一東芝を選んだ理由は。

幼少の頃から「可能ならば35歳くらいで政治家の道に

進みたい」と考えており、被爆地ヒロシマ出身の政治家としてエネルギー安全保障、特に原子力政策に取り組みたいと思っていました。

技術現場を実体験として知らなければ、政治の場でエネルギー政策を深く語れないと強く思っていました。そんな現場を知りたくて、東芝に1993年に入社し、8年間在籍しました。

隣の国、中国の政府要人は、技術系の方が多いです。逆に、日本では文系が多いですね。これからも中国とは経済的な競争をしていかなければなりません。特にエネルギー・資源の確保獲得の競争は激しくなり、重要です。日本は「ものづくり立国」ですから、中国と競争するには、技術者上がりの政治家が必要だと思います。

東芝時代には計装と保全を担当

一東芝では主にどのような業務を。

入社当時は、原子力プラントの電気計装に係わる開発部門で、主にプロセス計装に携わりました。またPSIやISI、プラント保全関係のエンジニアリングにも取り組みました。

特にシュラウドや炉内構造物の保全に携わり、炉内点検(UT技術、水中点検ロボット)やレーザーピーニングなどを研究所と一緒に開発し、実機導入していました。水中点検ロボット「ビークル」の改良に携わりました。

またサイト内の各種タンク点検や、塗装面の剥離状況(ぼこぼこになっているような部位)の点検にはロボット

が有効なので、ロボット点検の多様化にも取り組んでいました。

—水中ロボットは東芝製なのですか。

そうです。もちろん日立製などもあります。東芝のものは研究所で開発し、通称『金魚』と呼ばれています。

—え、キングヨですか。

ええ。今、炉内点検は大きなビジネスに成長していますが、実機導入の初期の頃からエンジニアリング部門として携わってきました。

—システム全体を俯瞰できる業務に携わっておられたのですね。

当時から、プラントが高経年化する中で、維持基準をどうするのが大きな課題でした。このため委員会や分科会などで、維持基準原案の策定にも参画しました。溶接片を作って様々なUT検査手法を評価し、欠陥評価(評価不要欠陥など)や補修・取替の基準づくりに携わりました。これらの経験が、これからの原子力政策推進における基礎として活かせると考えています。

原子力での実務経験を政治の場に

—東芝時代の思い出は。

とにかく、設計部門は忙しかったですね。検査技術の開発をエンジニアリングとしてやり、実機へ導入しました。ASME XIの会議にも代理出席し、基準づくりにも貢献できたと思っています。その頃、当時設計部長だった現佐々木社長が設計部の部長で、ASMEの会議に合わせて、米国の発電所に行って点検技術や点検ロボットなどの機器を米国に売ってこいという命を受け、米国南部のプラントを営業で回る経験もしました。

—政治家への道は、スケジュール通りにいったのでしょうか。

幼い頃から、政治家になろうという夢を持っていました。そして、「機会があるならば、35歳くらいで政治家の道に進もう」と考えており、1998年に小沢自由党で国会議員の候補者公募コンテストに応募したのが、政治家への道の始まりです。

そのころに、尾崎行雄記念財団の相馬雪香先生に出会いました。憲政の神様「尾崎行雄」先生の娘さんにあたります。尾崎財団の“罌堂塾(がくどうじゅく)”が新しい国政の有志をつのっており、2000年に友人の衆議院選挙を手伝い、2001年に東芝を退社。広島に帰って2003年に初出馬し、2005年に2回目の挑戦を行いました。2009年に初当選しました。退社してから、8年かかりました。相手の方が皆さんよくご存じの大物の先生ですか

らね。

—政治家としての信念は？

相馬先生から「世のため人のため生きれば、人間は活かされる」と教えていただきました。それが基本の信念です。自分だけがこうあるべきといえば、政治家は小さくなってしまいます。代議士は地元の代表者であり、代弁者です。地域の声をしっかりと聞き、それを国政に届けるのが仕事です。

エネルギー分野も政治主導で原子力推進を

—その信念をどのように実践されていますか。

例えば5年に一度、「食料・農業・農村基本計画」の見直しが行われます。今回の見直し作業は、官僚に任せるのではなく、政治主導、若手議員主導でやりました。

このため私は地元で、ミニ集会を20~30回行いました。そこでは見直しの参考となる、いろんな本音の意見を農家の方々が訴えてくれ、私はそれらの意見を、地域の代弁者として基本計画に組み入れていきました。

もともとの素案を、私たち新人議員が中心となり、地元の多くの皆さんの代弁者として全面改訂しました。その結果、計画は、農水省が作成した素案の原型をとどめないほどに、改訂しました。ここにあるので、どうかご覧ください。

また計画は、かつては堅い言葉ばかりだったのですが、地域の人々の実状に即したわかりやすい言葉になりました。例えば、“森は海の恋人”、“森栄養分が海を育てる”というような言葉を今回提案し、採用していただきました。

このような“世のため人のため”“皆で一緒に政治をつくっていこう”という視点と私は、8年間の浪人経験を通じて、培ってきたことです。

もちろん、エネルギー開発も同じ視点で、皆さんの意見を大事に聞くとともに、日本の将来を考えた時には、基盤となるエネルギー源や電源として、原子力がなくてはならないものであることを訴えていくつもりです。そういう理解をいただくための“対話”が重要だと思います。

—その対話に経験が活かされるのですね。

実務経験がありますので、海外へプラントの売り込む際には、日本製の良いところをきちんと伝え、主張することができます。この間の国会の予算委員会では、日本の政治家のトップに、日本の技術力をしっかりと認識していただきたいという思いがあって、直嶋大臣への質問で日本の技術の「成熟度」について質問いたしました。

電源計画を核に産業の活性化を図る

—エネルギー基本計画には、原子力発電所14基新設や設備利用率90%といった、高い目標が掲げられています。原子力政策へのお考えを。

エネルギー資源の少ないわが国では、エネルギー確保と安全保障の観点から、原子力はなくてはならないものです。

再生可能エネルギーはがんばっても、2020年で、最終エネルギー消費の20%が限界であり、1次エネルギー供給量の1割程度がせいぜいだと思います。ですから、安全を前提としつつも、政治家がもっとよく原子力を理解した上で推進していかないといけないと思います。しかし、原子力については、政治家はあまりご存知でない。このため研究会等を開いて、意見交換をしながら、理解促進のために何とかしていきたいと考えています。原子力についての勉強会を開いてほしいとの提案もいただいております。

景気を底上げするシナリオでも、エネルギー源の開発は大変重要です。メガソーラーでも原子力でも、建設や土木の工事が伴いますね。そうすると建設資材等の原材料の需要が発生する。次に、物流が動く。さらには関連するサービス業が回り、産業が順次活性化する。一連の流れのチェーンをつくらなるといけません。

これをエネルギー基本計画のなかで“核”として、流れの景気浮揚のチェーンを作りたいと思っています。上下水道など老朽化した生活インフラとエネルギー開発をセットにしながら、産業を活性化させて上向かせていく。さらに半導体産業まで含めて、渦を巻いていく。エネルギー開発を呼び水にして、活性化のチェーンができていくようにしたいのです。同時に、環境に優しい「環境土木」といった言葉も広めていきたいと思っています。

—温暖化ガス25%削減のロードマップとの整合は？

25%削減を実現するためには、原子力の位置づけが非常に重要なのは明らかですね。太陽光や風力だけでは25%削減は技術的に不可能でしょう。

排出権取引も原子力をテコにして、原子力エネルギーと再生可能エネルギーが互恵的にWIN-WINの関係になっていくことを目指すべきです。原子力だけでもダメですし、再生可能エネルギーだけでもうまく行かないですね。25%削減が絵に描いた餅にならないように。

—14基新設の中に上関が入っていますが。

中国地方のエネルギー源として、二酸化炭素などの削減の観点から、原子力発電所の増設は必須です。上関の早期完成に向けて政治からも支援して行きたいと思っています。ただし、さまざまな意見の方々もおられますの

で、ていねいに対応することが大切です。上関の方はもちろん、近くの祝島住民の方々にも、政治面からのご理解をいただくために努めていかなければならないと考えます。

海外へは、パッケージにして売り込む

—原子力発電のシステム輸出についてのお考えを。

原子力の国際展開に向けて、さまざまな国と原子力協定を結ぶ努力をしています。カザフスタンとの原子力協定も今の国会で承認されます。ロシアやUAEとの原子力協定の締結承認も予定されております。今後も、ベトナムやインドと協定を結んでいくことが必要です。ただし、核不拡散やNPTの問題がありますので、原子力先進国と新興国の間で合意されるように進めていかなければなりません。

今、電力やメーカーと官民一体となって原発の受注に動こうとしています。UAEやベトナムのこれまでの受注状況を見ると、政治が少し出遅れているのは否めないところですね。だからこそ、世界で最も成熟した日本の技術力をどのようにして海外に売り込むかが重要となりますね。

他国はいろいろな合わせ技で、受注を獲得しています。日本としても、新幹線等との合わせ技で受注に取り組むという考え方があります。いずれにしても、トップ外交をさらに深めていく必要があるでしょう。

今回、直嶋大臣や仙谷大臣がインドやベトナムを訪問されたことは、非常に意義深いことです。外務省も副大臣や政務官が各国に向けて今動いていますので、これから2～3年以内にはいくつかの国でプラント受注に向けた結果が出てくるのではないのでしょうか。

—日本のビジネス、売込み方の理想型は？

最終的に建設から運転、保全、核燃料サイクル、そし



て廃炉までを見据えて、パッケージにして売り込む手段を考えないといけないと思います。同時に、高速炉開発も含めた核燃サイクル関連産業の強化も重要となります。

さらに、関係する各国と連携強化を保障できるようにしていかなければならない。日本は、カザフスタンやロシアと精鉱から成型加工まで協調し始めています。核セキュリティ上も、核燃サイクルの各プロセスを各国で役割分担していくことが重要です。

—プラントだけでなく、保全やサイクルも含めてですね。

日本の強みである、建設から運転、保全、核燃料サイクルをパッケージにして売り込むことが効果的です。

「もんじゅ」は高速炉開発戦略で、きわめて重要

—「もんじゅ」が運転再開しました。一方でインドやロシアも、FBRの開発を進めています。日本の国際競争力は今後とも維持できるのでしょうか。

高速炉については、フランス、ロシア、そして日本が最先端でしたね。ロシアも開発を進めていますが、技術や安全性の観点からすると、日本が最先端だと思います。そこに中国やインドが追随してきている。

核燃料サイクルにおいては、「もんじゅ」の位置づけが非常に重要となります。日本は今先行していますが、中国やインドの勢いが非常に気になります。

日本の技術力は成熟したものですが、発生したトラブルが問題でした。日本では小さな故障やトラブルも、事故として報道されがちです。少し残念です。

—ロシアは2020年までに、FBRの商用炉を開発する計画で、インドや中国は2050年までに、高速炉だけで2億キロワットを導入する計画があります。日本は2050年頃の商用炉導入が目標ですね。

技術の成熟度は日本が一番なのではないでしょうか。高速炉を世界が売りまくる時代が来れば、核燃料サイクルが重要です。その意味では、サイクルの中核である「もんじゅ」が約15年間止まっていたのは大変残念ですね。今後期待しています。再処理技術を含めた上での開発を成功させて、それを含めたパッケージで売ることが重要です。人材も含めて重要だと思っています。

若い人に「原子力による社会貢献」を伝える

—原子力の人材育成については。

近いうちに国内外で原子力人材が不足することは間違いないです。原子力に特化した人材育成を急いでやらないといけない。

日本の原子力工学科は、ひところはずいぶん減りましたが、復興の兆しがありますね。本格的に復興しなければ。原子力は、21世紀の柱となる技術であること、そして専門性を持てば、非常に就職に有利になるという事実を理解していただくことも重要です。特に、これから未来を支える高校生や中学生に、理系の中でも工学部、そして原子力はおもしろくて就職も良く、海外進出もできるということ、原子力にはバラ色の人生があることをもっとアピールして、理解してもらわないといけないでしょう。本当の実物を扱う体験することの面白さを理解してほしいですね。例えば核計算のための技術が、これまで世界の大型コンピュータなどのコンピュータ技術発展をリードしてきたということなど、原子力開発がさまざまな分野で貢献してきたことも、伝えるべきだと思います。

—小学校や中学校から原子力産業の魅力を伝えていく必要があると思いますし、それが原子力の国民合意につながっていくものと思います。

また、原子力工学科の中にマスコミ報道を扱うような専門科目をつくって、マスコミについて研究する分野があってしかるべきです。さらに技術系や原子力工学科出身の方が、報道のトップを目指すこともいいと思います。公正な報道のためには、内容をよく理解している人が重要でしょう。原子力を修めて、例えば、マスコミや政治などの最前線に出て行けるような、そんな学科のあり方もあってほしいですね。

—最後に、若い人へメッセージを。

自分たちが、日本の未来のエネルギーを支えていくんだという自覚と誇りをぜひとも再認識していただきたいですね。あなた達がいなければ日本の電気は消えてしまう……そういう非常に大事なポジションにあるという自覚を！

事業仕分けでおわりの通り、研究開発も政治に左右されます。特に原子力は、政治とも切り離せない密接な関係にあります。“日本のエネルギー政策=皆の仕事なんだ”ということを再認識していただければと思います。

また、原子力業界の中には、業界だけでしか通じない『原子力語』があると思います。だからこそ、『原子力語』から『日本語や共通語』への翻訳機を、若い人が各人持っていただきたい。

さらに反対派の意見にも耳を傾ける。特に、広報については自己満足になってはいけないと思います。電気の3分の1は、原子力で作られている。だからといって、その事実を楯に、なくてはならないものだと言説は、自己満足に過ぎないと思います。そこから脱却し、どうやって理解してもらおうかということをいつも考えて

いってほしいですね。

誇りと政治への関心、そして一般の方々が理解できる翻訳装置を持つことを、心にとどめてほしいと思っています。

—今日は貴重なご意見を聞くことができました。

私も、ひとりの原子力学会員として、これまでの現場での経験を踏まえて、考えながら政策立案して参ります。そして、折にふれ、皆さんのご意見を伺っていきたいと思います。よろしくお願いたします。

(2010年 5月19日 取材)

企画：澤田哲生，編集協力：佐田 務



From Editors 編集委員会からのお知らせ

○学会誌記事執筆者のための

テンプレートを用意しました
執筆要領と合わせてご利用下さい



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

○「投稿の手引」「和文論文テンプレート」を
改定しました。

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

—最近の編集委員会の話題より—
(6月4・11日 第12回編集幹事会)

【学会誌関係】

- ・編集委員会関連規程類の改定案が提出され、確認を行った。
- ・編集作業の進め方について審議が行われ、記事企画など個別に記事案の採否・審議は編集連絡会および編集幹事会で行うということを確認した。
- ・各グループ主査より、H21活動報告・H22活動計画の最終版の確認があった。
- ・8月号に掲載する会長等就任挨拶の掲載場所を変更することとした。

【論文誌関係】

- ・論文誌関連各グループの21年度の活動報告と22年度の活動計画が報告された。特に、審査遅滞防止対策を検討することとした。
- ・22年度のグループ構成員に一部未定の人がいるので、事務的に配置することとした。
- ・論文誌規約の改正案について検討し、投稿者が目にする投稿規定(規約扱い)に必要な情報を網羅し、重複を避けて、全般の取り扱いを論文誌規約に入れることとして、再度整理することとした。運営内規等について改正案が示された。
- ・特集号実施要領と手順書の改正を承認した。要領は編集委員に回議する。
- ・論文賞推薦の対象を Article(論文) だけから、Rapid Communication(速報)を含めることが提案され承認された。
- ・論文誌の書店卸価格が印刷原価割れしているため、来年度の価格を見直しすることとした。次回、案を提示する。
- ・新論文審査システムの開発状況、契約状況が報告された。2010年中の運用開始を目指す。
- ・英文論文誌9月号は、NTHAS6 特集号となる。

編集委員会連絡先 hensyu@aesj.or.jp

座談会

日本の国際貢献からみた魅力的な人材とその育成

国際原子力機関(IAEA)での経験を軸に

各国から、原子力分野の人材が集まる国際原子力機関 IAEA。その大きな役割の一つが、各国の原子力の安全を向上させることだ。しかし、そのような国際舞台で活躍する日本人は、多くない。その背景には語学力やコミュニケーション能力だけでなく、人材を送り出す企業や役所などの組織の論理が、国際水準とずれていることがあるという。そこでは何が問題なのか。国際的な舞台での貢献が、ひいてはその人を送り出す組織や、あるいは日本そのものの国益につながることを理解してもらうためには、何が必要か。国際機関で働く経験をもつ 4 人に、語ってもらった。

内閣府 原子力委員会委員 尾本 彰

(社)日本原子力産業協会 参与 小西俊雄

(独)原子力安全基盤機構 副理事長 中込良廣

文部科学省 核不拡散・保障措置室保障措置評価専門官 谷津祥一

聞き手 澤田哲生(本誌編集委員)

はじめに

澤田(聞き手) 本日は IAEA と関係の深い 4 人の方にお集まりいただきました。最初に IAEA という国際機関での人材、特に日本からの寄与の現状などについてご意見をいただきたく思います。まず 2004 年から IAEA の原子力発電部長を 6 年間務められた尾本さんから。

尾本 IAEA で働く人にはレギュラースタッフ、コストフリー・エキスパート、短期特別契約のエキスパート、それにインターンがいます。IAEA で働いている日本人の割合は拠出金割合に比べておおむね 1 桁下ですし、コストフリー・エキスパートが多いのも特徴です。

—それは大きい問題ですね。

尾本 インターンには日本人が結構多いんです。IAEA でのインターン経験は、世界の中で日本の原子力がどうなっているのかを知るのに良い機会となります。私は、IAEA への日本人の貢献を議論するとき、IAEA の実務はエクスターナル・エキスパート(external expert: EE)のお陰で成り立っている面を忘れてはならないと考えています。基準づくり、ミッション、ワークショップなどにおいて IAEA を支えています。そのほかにも中込さんのように、IAEA の活動の方向性についてアドバイスする方々もいます。

—エクスターナル・エキスパートとは外部の専門家ですか。

尾本 そうです。IAEA 職員ではありません。例えば

IAEA は加盟国に専門家ミッションを送るとき、当該分野の専門家を世界中から集めます。そういう専門家の情報、つまりデータバンクがあるのです。そういう専門家は IAEA のいわば宝です。日本人の貢献の議論をするとき、レギュラースタッフにやや焦点が合い過ぎだと思っています。

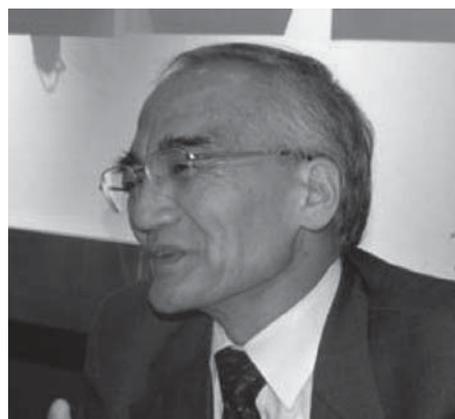
—EE は日本人の貢献が手薄なのですか。

尾本 そうです。特に Nuclear Energy 分野は弱い。Safety はややあります。

エクスターナル・エキスパートになるには

……鍵はロースター

中込 個人でも手を上げれば EE のメンバーに入れてく



中込氏

れるのですか？

尾本 Scientific secretary が集めます。ですから彼らに情報が届いていることと、“顔が見えている”ことが重要です。国の代表部に誰か専門家を送ってほしいと依頼することもあります。来てほしい専門家を指名するケースが多数あります。指名されるにはIAEAだけでなく世界の専門家の間で知られて信頼されていないといけません。

小西 IAEA のロースター(roster:名簿,ここでは「専門家としてIAEAの会合に来てもらえる候補者」の意)に、日本人が載るようにすることが大事です。顔が見えないと呼んでもらえない。私が「職員増強」に力を入れてきたのは、その顔を見る人を内部に作りたいからです。

中込 小西さんがロースターの作成に関与したのですか？

小西 尾本さんの要請で少しやりました。この分野はどこそこの誰々っていうのがわかればいい。日本人がロースター作成者に情報と顔を繋ぐことができる人を、IAEAに送り込まないといけない。私が邦人職員に期待したい柱の一つです。

—で、どんな人がほしいのですか。

小西 日本での経験、専門的なことを語れる人ですかね。他国は日本を知りたいのです。それを伝えられる人、ということで語学力は必須です。

—うーん。ちょっと深刻な感じですね。

尾本 ロースターに載る人は、専門的知識が豊富でないとだめですね。また、ベストプラクティスをIAEAの場を通じて流布させないといけないので、それをよく知っている人。知識としてだけではなく、実際その現場にいた人がベターです。

異文化を理解しコミュニケーションする

—それなら結構いませんか。保安院, JNES, 電力, 機構, メーカー, その他……。

尾本 そう思います。ところがね、英語のコミュニケーション能力というところがちょっと弱いのです。相手の考えを理解し、自分の意見をいう能力です。IAEAは多国籍の場です。異文化を知って、異文化への尊敬が必要だと思います。

小西 相手の目線で考え、相手の言葉で語ることが大事だと思います。

尾本 ひとつの言葉にしても、文化的背景によって意味する所が違うことがあります。そういうこともわかる人がほしい。

—ハードルが高いですね。

中込 異文化相互理解の重要性はわかっているけど、いざとなると日本人は視野狭さくなる。その点、IAEAはすごく分野が広い。

尾本 多様性を認めることですね。

中込 日本人は多文化環境の中で、落ちこぼれてしまいかねない。

小西 本来、アジアの仏教性がいきるところだと思うのですがね。

谷津 私の見ていたところでは、そもそもコミュニケーションしない人が日本人には結構いますね。コストフリー・エキスパートなどには特にその傾向が強い。

中込 日本は人材を送り出す組織側にも問題があるのではないのでしょうか。

組織的なサポート体制を

—ところでロースターへの自薦はできるのですか？

尾本 IAEAにはさまざまな分野のロースターがあります。私も、小西さんを通じて日本から貢献できる人のロースターづくりをやろうとしましたが、うまくいかなかった。もちろん、小西さんのせいではありません。原産や学会が、自信を持ってIAEAにロースター候補を出すような仕組みがあるべきですよ。

中込 個人がいくら頑張っても、組織的なサポートがなければ、やはりダメだと思いますよ。その意味でもロースター作成の“核”となる人物がいて、かつ組織的に支援する体制が必要だと思います。

小西 結局、メーカーなどの各組織は本当の人材資源リストを出すのを躊躇する。自分の本当の手の内(人的資源の実際)はあからさまにしたくないのでしょう。

—そうなんですか。

小西 私が働きかけた当時、アジア原子力安全ネットワーク(Asian Nuclear Safety Network)の科学秘書(Scientific secretary)を務めていた日本人職員から「こんな専門家がほしい」という相談を受けました。某社にあたったら、「うちが判断、処理するので、情報と相手方連絡先を教えてください」との答でした。不特定のニーズに応えるためのロースターは不要だということです。

—うーん、それはイタイですね。

小西 こんな経験を通じて、IAEAの活動に積極的に協力するための基盤となる“専門家データベース”は作れないと実感しました。これは経産省が号令をかけても本当のものではないと思います。逐次メンテナンスも大事です。私が採用情報をもっていますというリエゾンの連絡会ぐらいならできるかなと思っています。原産の「国際人材協議会」のメンバーの方との個人的会話からの着想です。要するに、実のある人材を抱えている組織の理解とサポートがなければ、IAEAへの実質的な国際貢献はできないってことです。

またロースターの維持管理の実質的な運用において、人のつながり、つまり口コミの輪が予想以上に大きいと思っています。IAEAでいえば、職員間の口コミ、会合に参加した専門家(EE)からScientific Secretaryへの口コミです。

なお昨今は国際展開といって、メーカーが急に国際原子力ビジネスに出ていこうとしています、IAEA の場などでじっくり醸成された人間関係から国際関係の素地ができていないと、長続きはしないとしますよ。

—組織のバックアップがなければどうなるのでしょうか。

中込 人材のデータを教えることは、組織にとって損することになるのではなく、結果的に良い人材を出すことで組織にとってもメリットが跳ね返ってくるのではないかと思うのですが。

尾本 一般論ですが、組織の長にお願いしてもなかなか難しい。

背景にはIAEAに対する評価があると思います。間違った想像かも知れませんが、産業界には「IAEAは途上国支援中心の組織だから、人を出すことにメリットはない」との見方が支配してきたと思います。

最近、フランス電力公社(EDF)のInspector Generalの立場にある人が「EDFは世界一の原子力発電会社だけれど広く世界から学ぶことがたくさんある」と明言しています。

小西 日本の貴重な人材をScientific Secretaryに伝えるパスが極めて細い。だから、国内のある会合である人が「行く気があるのに声がかからない」と不思議がっておられました。

—EEが少ないことが、ある意味すべてなのですね。

中込 「私は日本の代表ではない」と言って逃げる人が多い。聞き置くだけの人がいる。

国際的な場で意見を表明し共有する能力

—自分の意見を言わない限り、意志があるのかないのかわからない。つまり相手にしようがない。日本では、そういう自分の意見をキッチリ表明し説明できるような能力を身につける教育や人材育成がされてないでしょう。国際社会では自己主張をしなければ、存在さえ認められないなかで、どうすればいいのですか。

小西 国際社会では、自分の意見をちゃんといえりスペクトされる。IAEAでこんな経験があります。私が担当していた原子力海水淡水化が議題になった幹部会議に出たことがある。二度目の会議には呼ばれなかった。「なぜ？」と上司に尋ねたら「お前は自分の意見を言わない、言わない人を会議に連れていく意味がない」とハッキリ言われました。

—それでどうしました？

小西 それ以降、長年の自分を改造し、「意見を言う」姿勢に変えました。逆に何も言わなければ……「存在しないようなものだ」というわけです。

中込 役所からも大学院にたくさん来ています。しかし、「役人」という枠が邪魔をするのか、自分の言葉でなかなか意見を言わない。



小西氏

尾本 その背景には、組織を離れて個人としての発言や行動が控えめということがあります。組織の壁を超えた活動や人材の流動性が低い。組織を超えて通用する知識やスキルが身に付かないといけない。

中込 やはり会社型社会なのかなあ。少しでも組織や体制と違うことというといったりすると批判されることがある。

自由な発言の後のキャリアパスはどのようなのか

—出身組織という本籍を離れてどこまで自分の意見を表明できるか……それが国際的に求められている。しかし、そのことが本籍にもどってから評価されないと脱力しませんか。

小西 そういう例が多いですね。

谷津 いったん国際組織で働く身になれば、出元の組織を離れてやることの重要性がよくわかるはずですよ。せっかく国際的な舞台上上がったのですから、大いに声高にやるべきです。そこでの経験やそこから出てくる反省を活かし、取りまく状況を作って、国際的に活かしていく。そして、JPO(Junior Professional Officer)などを育てていくとよいのではないのでしょうか。

中込 例えば、ウーンで5年間働いて帰国したとする。すると周りから、「5年間、ご苦労さんだけど良かったねえ？」となる。ウーンは音楽の都、ワインも旨い観光地だよという思いが背景にある。羨望の目でみら



谷津氏

れる。IAEAで査察のエキスパートになって戻って来たのに、畑違いの部署に配属されたりする。これではせっかくの人材が活かせてなく、もったいないことになる。谷津 IAEAはスペシャリストを求めています。一方、わが国のお役所はジェネラリストを必要としている。小西 帰って来た人のキャリアパスの保証とまではいえなくとも、人脈とおのおのの専門分野で培ったノウハウとデータベースのようなアセット(財産)として活用できないですかね。これは雲散霧消すべきものでなく利用しましょうってことです。結果としてその人が活かされる道の厚みを増すべきだと思います。

学会や原産の役割

中込 まさにこれからそれをやりましょう。学会や原産に機会を設けて、各界をつないでね。

小西 人間、情報、データベース……こういったものに政策決定者がアクセスできる。そういう受け皿になる枠組みと中身のデータが必要なのではないのかなと思います。実際にIAEAで研鑽し、IAEAを離れた人は最大限活かされないかね。その意味で、尾本さんのIAEAでの経験や実績が、東大の客員教授、原子力委員という新しいキャリアにつながったわけですから。良い事例として大いに周知させたいですね。

国際人材文化

一さて、多くの問題点が指摘されました。まず、組織が人材そのもののみならず、人材情報を出しながらないのが非常に大きなバリアだということですね。

小西 短期的なメリット、つまりリターンが見えにくいのです。こういう人が欲しいとIAEAなりがいつてくる。けれども、そんな有能な人は、うちだって長期間だせませすか、となる。

一では、いったい国際化とか国際性ってなんなのですか。国際〇〇と銘打った企画や人材育成がたくさんありますが。

谷津 人材〇〇とよく謳われ予算もついた。その結果、国際舞台で働こうという若者も増えました。この背景には、異文化理解もふくめて“国際人材文化”のようなものが共有され醸成されつつあると思うのです。ただ、なかなか出にくく、再び帰ってからどうなるかという不安や事情はあまり変わっていない。

中込 良い人材を国際舞台に出して、ひと回り大きく育て、さらに国際的に大きなビジネスにつなげていく……という発想は欠如していると思うよ。

尾本 現場の管理職は近視眼になりがちですね。その一方、もっと上層部の経営層は、事情を知れば許容してくれるのでは。しかし、その上下の管理者相互での意思疎通がどうもうまくいってないのかもしれない。こと国際貢献に関しては。

一さて、ではこれから日本として業界としてどうすればいいのか？

尾本 何をしたらいいのか3つ提案します。

(1) 出るのを許容する。世界舞台での活躍は長い目で見れば組織にも利がある。投資として許容してもらおう。

(2) 日本が心地よくて離れたくない人が多いらしい。一方、リスクをおかして、武者修行に行つてこいと……そういうことをフランスなどの大学院では卒業の条件としているところもあります。

(3) それぞれの専門家が原子力を良くしたいと思えば、世界から学ぶことはたくさんあります。世界から学ぶ時に利用できる機関の例としてIAEAがあるということをもっと知ってもらおう。

一居心地が良いっていうのは非常に厄介です。ハングリー精神やモチベーションがないのですね。

谷津 一番大きいのは給料ですよ……開発途上国でも、とりわけ貧しい国などと比較すればわかりやすいです。自国の給料の何十倍ももらえるわけですから、モチベーションはおのずとあがります。

中込 まずね、意欲のあるひとが数人から始める。

小西 花を摘みに行くのではなく、肥料をまくところからやれと……。他国はやっていると思うんです。

中込 評価すべきところはキッチリと評価されるような仕組みも必要だね。

谷津 チャンスが、職を得る口があるのです。つまり、活躍の場があることをまず知らしめるべしです。

学会と産業界への期待と人材育成の課題

一どうやって知らせるのですか？

谷津 鍵は情報共有と啓発活動です。そういう場を、学会を軸に産業界の協力を得てつくっていく。

小西 学会と原産は今までも「国際人材」で一緒に取り組んでいますが、関係者の輪を広げてリンクを強めるべしってことですかね。

中込 学会の大会で“国際環境”などというセッションを設けるのも一つの方法です。

尾本 学会誌で興味をひくようなことを紹介して情報を広める……IAEAはこんなことをしていますよ。こんなに面白いですよ。そういうページを設けて情報発信する。

また人を送るためには、奨学金制度を充実すべきです。産業界としても将来の海外展開を意識した奨学金制度を設ける……投資が必要です。

小西 学会はWEBなど使ってもっとフレキシブルで双方向の情報発信をやってほしい。まずは学会で国際人材環境のHPをつくって情報発信すべきでしょう。

一役所の枠を超えた人材育成についてはどうでしょう。

尾本 そういう実例を増やすことがまず重要です。ひと



尾本氏

つの組織にとどまらない人が世の中の主役になるようになれば変わってくるんです。米国のように、発電運転経験のある人が規制に回ってもよいのでは。それが日本の原子力界のみならず、日本の国際的な足腰をより強くすると思います。

中込 個々はもとより、総体的な視点でやる必要がある。総論的視点が欠けていけば、個々のシステムは100点でも、全体では50点くらいの評価になってしまうこともある。それが国際社会の厳しさでしょう。

—コンポーネントは良いけれど総体としてシステムティックに連動して動いていない……いまのメーカー間や役所間、政治とも動きがちぐはぐな国際展開の現状と共通しているような気がしますね。

おわりに

—最後に、それぞれにIAEAでの経験豊富な方々より、IAEAに関連して言い残したことは。

尾本 IAEAでは出身国を意識して働いてはいけません。Conflict of interestという視点が大事です。個人が世界の原子力の正しい発展に貢献していければよい。日本人だからというものではない。ただ、出身国の事情やそこでのgood practiceや教訓には詳しいだろうという期待は当然ありますので、それには答えていくべきです。一方、IAEAは職員採用にあたってcountry profileを意識します。つまりIAEAにおける職員のバランスの良い分布ですね。

中込 出資額に比べて日本人員の数の比率は低くてもよいのではないかな。

尾本 日本の看板背負っているわけではないのでね。

小西 日本人の忠義心からして、送り出す側からは『行ってこい。あとの面倒はちゃんとするから』とってもらった方が行きやすいんじゃないかと思います。

—過保護じゃあないですか。まあ、飢えてないから仕方ないか。

小西 IAEAの発電と放射線利用それとSafeguardsは非常に重要です。もっと日本から貢献した方がよい。原子力の平和利用に徹する国として国際的に受け入れられている日本は、非核兵器国としてのベストプラクティスもっているのですから。「貢献は布施」だと思わず、「親切は人のためならず」の意を噛みしめたいですね。

谷津 私はIAEAに在職した頃から、常々日本人を増やすキャンペーンをしてほしい、また日本の各方面にも協力して頂きたいと思ってきました。廊下の立ち話で議論できるような人が必要なんです。日本人なんて目が合わないように廊下の隅っこをうつむきかげんに歩いたりする。情けないですよ。

—IAEAは日本人に対してもっとメッセージを発しろということですか。

谷津 そうです。一般の人にもかなりIAEAは浸透して来ました。天野事務局長の誕生は絶好の機会ですね。

中込 IAEA全体としては米国主導になっている。もっと日本の考え方があって、それを出していいのではないかな。もう少し、日本の独自性をいれて発信すべきだと思うな。

尾本 言葉を尽くさないとお互いに理解できないのが世界ですよ。

中込 異なる民族や文化も、同じ人間としてみるってことですよ……そして異文化の人々ともっとコミュニケーション能力を研鑽していくことが必要ですね。あのね、ボクたち、いちいち“I love you!”といわない傾向がありますね……。

小西 ええっ!? 私は言ってますよ(一同大笑)

国際的な場ではわかりきったこともハッキリいわないとね。日本のような単一文化社会の“暗黙の了解”ではコミュニケーションできないと思いますよ。

—今日は大変良い話が聞きました。国際的にも国内的にも様々なパートナーに理解と協力をお願いして、国際人材文化の醸成に乗り出すということですね。キーワードは異文化コミュニケーション。そのために、日本原子力学会、原子力産業協会が取りまとめる産業界、IAEAが互助体制を組んでいかなければならないということだと思います。大学などでも異文化コミュニケーションの演習など取り入れて、多様な価値観を認める能力を身につける必要がありそうですね。

大変ありがとうございました。

(2010年4月26日 都内ホテルにて取材)

我が国の最先端原子力研究開発

シリーズ解説 第21回

変化する将来に柔軟に対応するサイクルオプション

乾式リサイクル技術と金属燃料 FBR

(財)電力中央研究所 小山 正史, 尾形 孝成

原子力が長期にわたって安定電源としての役割を果たすためには、FBR サイクルの実現が不可欠である。しかし、長期の研究開発が必要なため、将来の世界の変動を十分に考慮し、柔軟性に優れた技術の選定が重要である。本稿では、米国やインド、中国、韓国などで、FBR サイクルの実用化候補技術とされている乾式リサイクル技術と金属燃料 FBR につき、世界における開発状況を俯瞰するとともに、電力中央研究所の研究開発を紹介する。

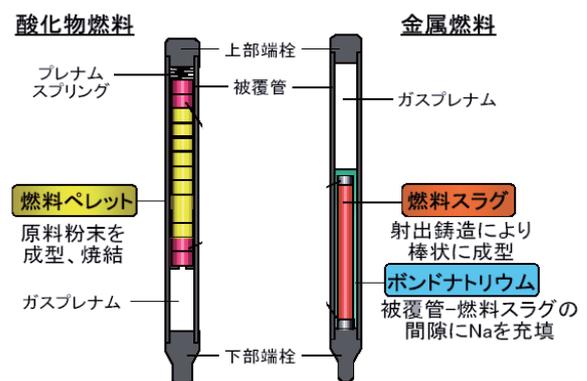
I. はじめに

中国やインドを始め、著しい経済成長を続ける発展途上国の多くは、増大するエネルギー需要を支えるために、原子力発電の導入・増設を積極的に進めている。しかし、ウラン(U)を用いる軽水炉のみでエネルギー需要を支えていく限り、石油と同じく資源的な制約を受けるようになることは明らかである。したがって、原子力を長期的に安定したエネルギー源として利用するための方策を、今のうちに準備することは極めて重要であり、消費した以上の核燃料が生まれる高速増殖炉(FBR)の実現が最も有効かつ現実的な手段である。このため、我が国では、原型炉の「もんじゅ」の運転と並行して、実用化を目指した研究開発(FBR サイクル実用化研究開発: FaCT)を、日本原子力研究開発機構(JAEA)と電気事業者が協力して進めている。

FBR 開発の特徴は、炉と燃料サイクルを同時期に実用化する必要があることで、これは、プルトニウム(Pu)を核燃料とする FBR では、再処理により燃料が供給されるためである。したがって、FBR 燃料サイクルは軽水炉燃料サイクルに比べて、より迅速、かつ高い信頼性で行われることが重要である。ところが、FBR 燃料は、集合体が頑丈な SUS 製ダクトに入っていてせん断の前にその解体が必要であることや、Pu 濃度が高く FP や

マイナーアクチニド(MA)含有量が多いため、臨界管理や放射線遮蔽、除熱などに一層気を配る必要があり、燃料サイクルの技術的負担が大きい。このため、経済性の低下や廃棄物の長期的発熱の増大などが懸念されている。したがって、軽水炉サイクルと同等の経済性の確保と、U, Pu に加えて MA を回収・利用する技術の開発が課題である。

FaCT では、これらの課題に対応するため、従来からの MOX ペレット燃料製造と PUREX 再処理を大幅に改良した、先進湿式再処理/簡素化ペレット製造法を用いた FBR サイクルを主概念、金属燃料を対象とした乾式再処理/射出鑄造燃料製造による FBR サイクル(金属燃料サイクル)を副概念と位置付け、研究開発を進めている。いずれの燃料ピンも第 1 図のように、外形・寸法は同じため、Na 冷却 FBR システムの開発に差はない。FaCT では、副概念は増殖性など主概念より優れた性能



第 1 図 酸化物燃料と金属燃料の比較

Metal Fuel Cycle Technology for Sustainable Future Nuclear Fuel Source with Flexibility: Tadafumi KOYAMA, Takanari OGATA.

(2010年 5月19日 受理)

第1表 米国 GNEP で採択された燃料サイクル実用化提案

	CFTC 軽水炉再処理	ARR 高速炉	AFCF 高速炉再処理
AREVA/三菱重工/日本原燃	湿式(COEX/ DIAMEX-SANEX)	MOX燃料 ループ型	湿式(COEX/ DIAMEX-SANEX またはGANEX)
GE-Hitachi/Lockheed Martine/ IBM/Burnes&Roe etc.	乾式 (PYROX)	金属燃料 タンク型PRISM	乾式 (PYRPROCESS)
EnergySolutions/Westinghouse/ Toshiba/NexiaSolutions etc.	湿式 (改良PUREX)	金属燃料 タンク型モジュール	乾式 (PYRPROCESS)
GeneralAtomics/OKBM/UKAEA/ Russian Institutes etc.	湿式 (UREX)	金属燃料 タンク型モジュール	乾式 (PYRPROCESS)

を期待できるが、実績が少なく実用化に不確定性が高いとして、主概念に重点化した研究開発が進められている。

一方、海外に目を転じると、金属燃料サイクルを、Pu 利用時代の燃料サイクルの本命と位置付けている国が多い。例えば、昨年まで行われていた米国の燃料サイクル実用化技術開発(GNEP)では、第1表に示すように、実用化案の4案のうち3案は金属燃料FBRサイクルを採用している。また、2020年頃に商業FBRサイクルの実現を目指す中国とインドは、いずれも金属燃料サイクルの採用を明言しており、特に50万kWe原型炉の運開が真近なインドでは、90年代中頃より乾式再処理に関する積極的に着実な研究開発を進めていることが知られている。さらに、韓国では、金属燃料FBRを目途とする乾式法による軽水炉使用済燃料の処理技術開発を積極的に進めており、実使用済軽水炉燃料での乾式再処理試験の実施を米国に要請していることが新聞等で報道されている。すなわち、今世紀前半にFBRを建設する国の多くが金属燃料と乾式法による燃料サイクルを指向していることになる。

各国の事情により異なる部分はあるが、この燃料サイクルが有する以下の特性を重視しているものと考えられる。すなわち、金属燃料は酸化物燃料に比べて増殖性が高く、発電量あたり必要なPu量も少なくすることができるため、FBRの需要増により柔軟に適應することができる。また、乾式再処理は純粋なPuの分離が原理的に困難なため、核拡散抵抗性の高い再処理技術と見なされている。これに、射出鋳造を併用すれば、回収Puは高放射性のままで燃料に加工できるため、燃料サイクル全体を通して高い核拡散抵抗性を確保することが期待される。さらに、乾式再処理でMAがPuとともに回収される上、中性子速度の減速が小さい金属燃料はMA燃焼効率が高く、廃棄物固化体の長期的発熱の低減による、処分場負荷の低減も期待されている。

電力中央研究所(以下、電中研)では、燃料サイクルコストの低減によりFBRサイクルの早期実用化を目指す技術オプションとして、さらには高レベル廃液からMAを回収して廃棄物の毒性を低減する再処理オプションとして、80年代より自主研究として乾式法と金属燃料の開

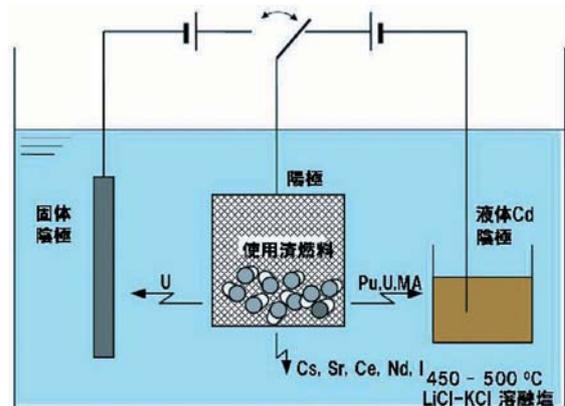
発を進めてきた。FaCTでは、JAEAとの研究協力協定および共研契約に基づき、副概念の研究開発に協力しており、現在2006~2010年の研究成果の取りまとめと2015年度までの研究計画の立案を共同で実施している。本稿では、電中研が主体となって実施してきた研究開発結果を世界の研究状況とともに取りまとめ、技術の現状について紹介したい。

II. 乾式法と金属燃料による燃料サイクルオプション

1. 乾式リサイクル技術と金属燃料の概要

乾式再処理技術は、FBR用金属燃料(U-Pu-Zr合金)の再処理技術として米国アルゴンヌ国立研究所(ANL)が1988年頃に提案したものである。金属燃料が良好な電気伝導性を有することから、第2図に示す電気分解(電解精製)により燃料の溶解とFPの分離、アクチニドの回収を一つの装置で実施できることが特徴である。析出電位の差を利用して固体陰極で金属のUを回収し、さらに電極を液体Cd陰極に差し替えることで、Pu/U比を高めて金属のPu-Uを回収することが可能である。なお、熔融した塩(LiClとKClの混合塩)を電解質とするため、450~500℃の高温と不活性ガス雰囲気が必要となることが短所であるが、熔融塩が放射線により劣化せず2次廃棄物とならないことや、MAがPuに随伴して回収できるという利点がある。

電解精製の陰極で回収されたUとPu-U-MAはそれぞれ熔融塩やCdが付着している。そこで陰極処理と呼ばれる高温槽でこれらを蒸留除去し、UおよびPu-U-MAの金属インゴットとすることができる。射出鋳造では、これにZrを加えて高温で熔融し、ジルコニアを塗布した石英管モールドに鋳込んで30cm程度の長さの棒状燃料合金を作る。ANL(組織改変で現在アイダホ国立研究所INLの所掌)は、第3図に示す射出鋳造装置で、高速実験炉EBR-IIのリサイクル燃料合金を遠隔で1万本以上製造した実績があり、実用に近い技術と考えられ



第2図 電解精製による金属燃料再処理の原理

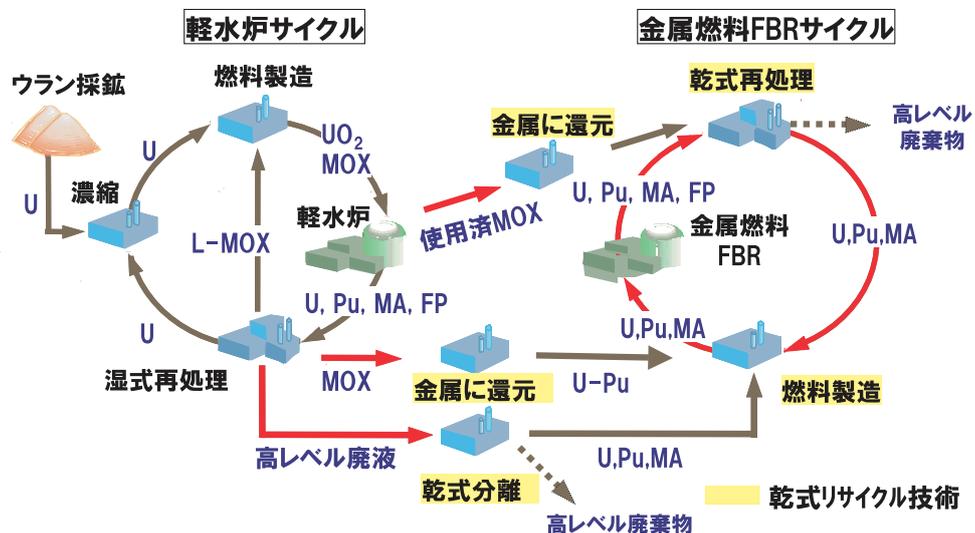
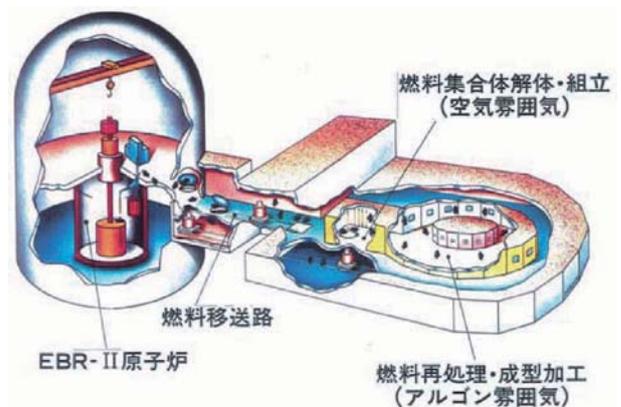
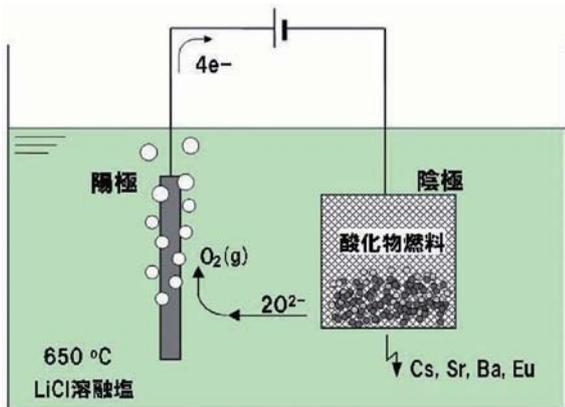
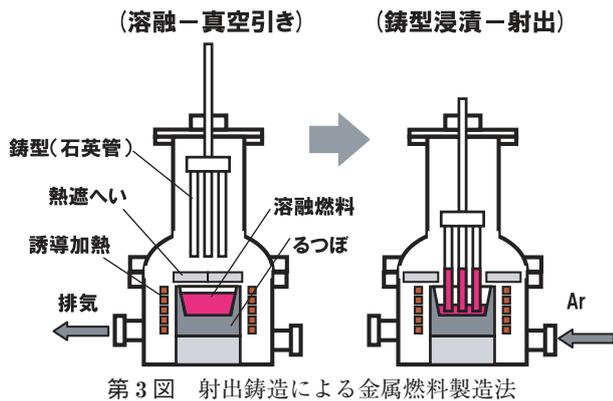
る。

また、軽水炉サイクルから、FBR 金属燃料サイクルへの移行に対応する技術として、近年、電解還元技術(第4図)の開発が進められている。本技術で、酸化物燃料を原料とする金属燃料の製造に加えて、使用済酸化物燃料を金属に転換することで電解精製を用いた乾式再処理を適用することを目指している。U や Pu は酸化物の安定性が高いので、これまでは Ca や Mg を還元剤とする高温反応が用いられていたが、CaO 等の酸化物が2次廃棄物となることが問題であった。電解還元法は還元剤

を用いないため、これらの2次廃棄物の発生量が低減できることが利点である。

さらにこれら技術の応用として、湿式再処理の高レベル廃液に残留する長寿命の MA を分離回収し、FBR で燃焼・核変換して、高レベル廃棄物の処分負担を軽減する、いわゆる「分離・核変換」を、乾式と金属燃料 FBR で行うことも可能である。

なお、乾式リサイクルの製品となる燃料はいずれも、MA や若干の FP を含有する金属のため、金属燃料 FBR での利用が前提である。FBR 内における金属燃料の性能は、米国の EBR-II (第5図) と FFTF における10,000 本以上の U-Zr 燃料と約600本の U-Pu-Zr 燃料の照射実績によっておおむね明らかにされており、最高燃焼度約 20 at% を達成している。特に、金属燃料はその高い熱伝導度により運転中の中心温度が低いため、安全性に優れた炉心が成立すると期待されている。その顕著な例として、1986年に金属燃料を装荷した EBR-II で実際に行われた安全試験(人為的な全電源喪失によるポンプ停止)で、原子炉スクラムしなくても炉が自然に停止する固有安全性が実証されている。



2. 乾式リサイクルと金属燃料を適用した軽水炉から FBR への移行シナリオ

前節に示したように、乾式法は、使用済み金属燃料、使用済み酸化物燃料、高レベル廃液など多様な対象からの MA を含む U, Pu の回収に適用できるため、射出製造による金属燃料製造と併せて、「乾式リサイクル技術」と総称している。すなわち、乾式リサイクルが燃料サイクルにおいて果たしうる役割は、第 6 図のようになり、軽水炉から FBR への移行に複数の経路を与えつつ、MA を含む全アクチニドのサイクルを閉じることにある。そこで、本節では、乾式リサイクルと金属燃料の導入シナリオを例示し、将来へのインパクトを考察する。

まず、六ヶ所に続く軽水炉燃料の再処理施設(第 2 再処理工場)が 2050 年頃より運開するものと仮定する。第 2 再処理では、UO₂燃料に加えてプルサーマル燃料(MOX)の処理が必要である。信頼性と経済性を最重視すると、現行の施設と同じ技術(PUREX 法湿式再処理)を採用することが現実的であり、フランス UP2-800 の試験等を見ると、軽水炉 MOX 燃料処理に技術的に問題はないと考えられる。ただし、軽水炉 MOX は Pu や MA 濃度が高いので、臨界の観点から処理総量を削減せざるを得ないこと、また MA は PUREX で回収されず廃棄物の発熱量が増大することなどが課題である。そこで、一部あるいは全部の軽水炉 MOX 燃料を、別の乾式リサイクル施設で処理すれば、これらの課題に対処することが可能となる。すなわち、PUREX 施設の UO₂処理量を確保しつつ、乾式リサイクル施設で MOX から Pu, U と MA を回収できることになる。さらに同施設は、MOX 処理終了後、FBR 金属燃料の再処理施設に転用す

ることも可能である。原子力大綱に従って軽水炉から FBR への移行を想定すると、第 7 図(a)のように、2050 年より廃炉する軽水炉を順次 FBR に建て替えることとなる。FBR 初号機から金属燃料/乾式再処理とした場合、金属燃料 FBR は増殖性が高く、また、乾式再処理は冷却期間の短い燃料の処理が可能のため、ウラン需給が逼迫する局面への対応に余裕がある。一方、FBR に MOX 燃料/PUREX 再処理を最初に導入した場合も、順次、金属燃料に炉心転換していくことや、軽水炉の PWR と BWR のように、酸化物燃料サイクルと金属燃料サイクルを共存させることも考えられる。

軽水炉 MOX 燃料および FBR 燃料から MA の回収を行うと、高レベル廃棄物の長期的な発熱が大幅に低減されることが知られている。そこで、蓄積する廃棄物に必要な処分場定置面積が年代と共にどのように変化するかを計算すると、第 7 図(b), (c)のように、2150 年頃には、ほぼ半分となることがわかる。したがって、できるだけ早期に MA の回収・利用が図れる燃料サイクル技術に移行することが望ましく、金属燃料/乾式再処理は、MA の回収・利用という観点では最も実現性が高く、重要な役割が期待される。

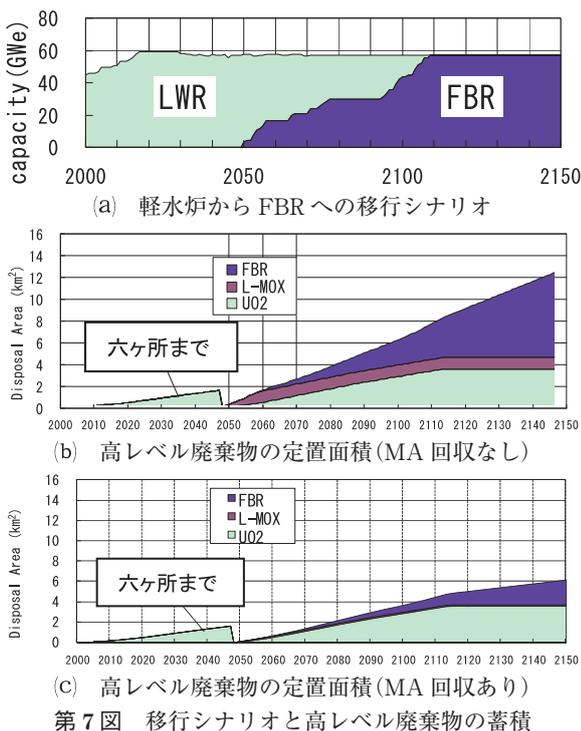
また、これらのシナリオを実現する実用化ステップは、以下のように考えられている。すなわち、連続処理の湿式では機器開発は実用化まで長いステップ(1 t/y⇒数 10 t/y⇒数 100 t/y)を要するが、バッチ式で工程数の少ない乾式は、数 10 t/y 規模モジュールの複数台設置で大型処理を行っても低コスト実現の見通しがある。このため、開発のステップが短く(1 t/y⇒数 10 t/y)、需要に応じた増設により順次、機器の改良を図ることができるため、実用時期には機器として成熟した設計を提供できる可能性がある。

III. 研究開発の現状

1. 海外における乾式リサイクル技術と金属燃料開発の現状

(1) 米国における研究開発

米国では、核拡散抵抗性の向上と廃棄物処分場面積の低減を目指した先進燃料サイクルイニシアティブ(AFCI)を 2003 年に立上げ、その結果、乾式技術と湿式技術の成立性のめどが得られたとして、燃料サイクル施設的具体化を目指したグローバル原子力パートナーシップ(GNEP)を 2006~2009 年で実施した。このプログラムでは、年間処理容量 2,500 t の軽水炉使用済燃料を処理する燃料サイクルセンター CFTC と先進リサイクル高速実証炉 ARR, FBR 燃料サイクル施設 AFCF をいずれも 2020~2025 年頃に運開することを目指して、必要な技術情報(プロセス構築、概念設計)や開発提案(R&D ロードマップ、ビジネスモデル)を内外の産業界から公



募した。その結果、(a)AREVA チーム、(b)Energy Solution チーム、(c)GE-Hitachi チーム、(d)General Atomic チームの4案が採択され、それぞれがDOEと契約して2008年に報告書を提出した。各チームの技術概要は第1表に示した通りで、軽水炉サイクルは3チームが湿式再処理を採用しているのに対し、FBRサイクルは逆に3チームが乾式再処理を採用している。この報告書により再度DOEで評価を行い(a)~(c)の3チームが契約延長を認められ、2009年9月に最終報告書が提出された。なお、当初計画ではそれをもとにDOE長官が以降の開発計画を決定する予定であったが、民主党への政権交代によりGNEPは中断され、建設時期を明記した開発計画は提示しない方針となった。ただし、現政権でも長期的な燃料サイクルの研究開発は積極的に継続されている。

乾式リサイクル技術はINLとANLが中心となり、FBR使用済金属燃料を対象とする乾式再処理と、使用済酸化燃料を対象とする電解還元技術開発が進められている。第5図に示したアイダホの燃料サイクル試験施設では、電解精製と陰極処理、塩/金属廃棄物処理の工学ホット試験を進めており、2009年までに高速実験炉EBR-IIの約3.5tの使用済金属燃料の再処理が実証されている。ただし、EBR-II燃料の大部分は濃縮ウランを用いたU-Zr燃料のため、使用済燃料中のPuが少なく、液体Cd陰極でのPu回収試験は4回(1回あたりPu, MA, U合計で1~2kgを回収)に留まっている。また、乾式特有の高レベル廃棄物(セラミック廃棄物固化体と金属廃棄物固化体の2種)については、実廃液を用いた小さな固化体サンプルで2001年にDOEの許可を取得しており、現在は工学規模の固化体製造装置をホットセルに設置して、ルーティンでの廃棄物固化体の製造を開始しようとしている。一方、少量の軽水炉使用済燃料を電解還元し電解精製でUを回収する試験が成功したことが報告されている。

また、金属燃料については、AFCIプログラムの下でMA含有燃料の製造技術開発と照射試験が進められている。GNEPプログラム開始前は、MA核変換を目的としたターゲット燃料の開発に一時シフトしていたが、INLの熱中性子炉ATRを用いた最近の照射試験では、MA濃度を下げたFBR燃料開発に再帰しつつある。

(2) 中国・インドにおける研究開発

著しい経済発展によるエネルギー需要の急激な増加に対応するため、中国やインドでは積極的なFBR開発計画を発表しており、増殖比の高い金属燃料での実用化を目指している。中国は、現時点はロシアより技術導入したFBR実験炉の運開準備を進めている段階であるが、2030年を目途に、実証炉から商業炉までを一気に立ち上げることを目指している。ただし、金属燃料や乾式再処理に関する具体的な技術開発は、これまでのところほとんど報告されていない。

一方、インドはすでに実験炉を運転中であり、2012年頃の運開を目指した50万kW原型炉の建設も進められている。この原型炉の実績をもとに改良を進め、2020年までに50万kWの商業炉の実現を目指している。燃料サイクルについても、金属燃料と乾式再処理の基礎的な研究を90年代初頭より進めていたが、近年は工学技術開発に着手するなど、実用化に向けた具体的な研究開発を着実に進めている模様である。

(3) 韓国の研究開発

韓国では使用済燃料の再処理が許可されていないため、従来、使用済燃料を熱処理し揮発性FPのみを除去してCANDU炉で燃焼するDUPIC法の研究が進められてきた。ところが、近年、韓国原子力研究所(KAERI)を中心に、乾式リサイクル技術の開発を国家を挙げて推進している。これは、乾式リサイクルは単独のPu回収を行わず使用済燃料の処分負担低減を目的とするため、再処理Reprocessではないとの主張に基づいている。使用済軽水炉燃料を対象とした乾式再処理技術については国内での工学規模のウラン電解還元装置の開発に加えて、I-NERIを活用して米国INLとの共同研究による小規模ホット試験などを実施してきた。現在これらの成果を反映した20kg/バッチ規模の電解還元試験設備をKAERIのホットセル(空気)に構築しているが、実使用済燃料を用いた試験は、米国の許可が得られないため未着手の模様である。

2. 電中研における乾式リサイクルと金属燃料開発の現状

電中研では金属燃料FBR/乾式再処理の高いポテンシャル(経済性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性など)に着目し1986年より研究開発を開始した。米国における金属燃料FBRサイクルの本格化の可能性を鑑みて、電気事業の中核研究機関として、1990年から1994年にかけて米国DOE/ANLの統合型高速炉(IFR)プログラムに参画した。また、Uを用いた基礎研究の後、日本原子力研究所や核燃料サイクル開発機構(現JAEA)あるいは超ウラン元素研究所、米ミズーリ大などの外部機関と共同で試験を行うことにより、不足していたデータを整備し、プロセスの成立性を確認して、UやPu, MA, FP等の各元素の基本的な挙動を把握した。現在の重点課題は、Puや実照射済金属燃料を用いた乾式再処理試験による詳細なマスバランスの評価と工学装置開発にある。前者はJAEAや超ウラン元素研との共研で、また後者は文部科学省の公募研究等により推進している。最近の代表的な進捗を以下に紹介する。

(1) 再処理プロセスの開発

JAEAと共同でPu試験設備を東海の高レベル放射性物質研究施設(CPF)に設置するとともに、超ウラン元素

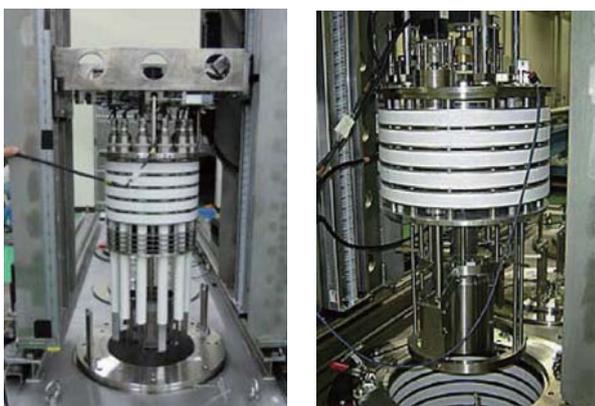


第10図 超ウラン元素研究所での乾式再処理ホット試験

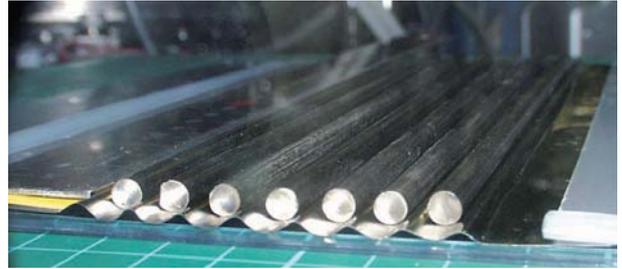
研と共同で第10図の乾式用 Ar 雰囲気ホットセルを開発した。これにより、Pu や照射燃料を用いた乾式リサイクル試験を実施し、最適プロセスの構築と詳細マスマランスの評価を進めている。CPF では MOX を用いた還元～電解～蒸留～インゴット回収などの一連の試験を実施した。酸化物燃料からの U-Pu 製品の回収を実証するとともに、残渣などを評価して高い物質収支を得ている。一方、超ウラン元素研で、使用済み MOX 燃料(44.5 GWd/tU, 冷却期間18年)を金属に電解還元し、電解精製によりアクチニドを回収する試験を行った。これにより、プルサーマル燃料から MA を Pu, U と共に回収できることを世界に先駆けて示している。さらに、フェニックスで照射した U-Pu-Zr-MA 金属燃料を用いた電解精製試験を実施中である。

(2) 再処理プロセス機器の開発

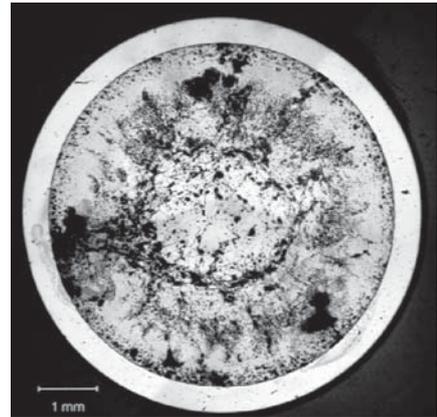
処理容量の向上を目指し、工学規模のプロセス機器の開発を U や模擬物質を用いた試験により2000年頃より実施している。これらの成果を発展させ、1 t/年程度の処理容量で一連の金属燃料サイクル(電解還元～電解精製～Cd 蒸留～射出鑄造)の準工学 U 試験を文部科学省の受託研究として平成21年度より実施している。第11図に、この研究で開発した電解還元と電解精製の U 試験装置を示す。さらに、電解精製で残留する TRU を熔融塩から回収する向流多段抽出装置等の開発も進めている。今後は、これらの主要機器の機能向上を図るとともに、廃棄物処理装置などの機器開発を進めていく予定で



第11図 工学規模の電解還元装置と電解精製装置



第12図 「常陽」照射に製造した棒状の U-Pu-Zr 金属燃料



第13図 照射した MA 含有金属燃料の断面

ある。

(3) 射出鑄造による金属燃料の製造と燃料・炉心開発

射出鑄造法は、遠隔操作性が EBR-II リサイクル燃料で実証済みであり、MA を含有した FBR 燃料製造技術として期待されている。電中研は JAEA と共同で、「常陽」での照射に向けて U-20 wt%Pu-10 wt%Zr 合金を射出鑄造法によって製造(第12図)し、実用燃料を想定して定めた Pu 濃度の均一性や不純物制限値などの仕様を満足することを確認の上、Na とともに被覆管に封入し照射用金属燃料ピンの製造を進めている。また、超ウラン元素研と共同で MA (Np, Am, Cm) を 3 および 5 % 添加した金属燃料を製造し、フェニックスで最高燃焼度 11 at% まで照射した。現在、超ウラン元素研で照射後試験を実施中で、照射健全性の確認や核変換効率の実証を進めている(第13図)。

さらに、JAEA と共同で、金属燃料の性能をより高める炉心検討を進めており、ブランケット集合体なしで増殖する炉心や、Pu 炉内装荷量が大幅に低減する炉心などの概念が得られている。

Ⅳ. おわりに

U と Pu のみをリサイクルし、燃料として用いるという観点では現在、 UO_2 燃料で実用化されている PUREX 再処理技術を、軽水炉や FBR の MOX ペレットに適用することは可能と考えられる。しかし、FBR サイクルが実現される将来には、基幹電源としての高い信頼性は

もちろん、核拡散や経済性、MA 増による廃棄物処分負荷増加への対応性や、社会変化に応じた高い柔軟性(Pu 増殖の制御幅、集中/分散の立地適応性)など、多くの付加的な性能が要請される可能性がある。これらをすべて実現する必要があるかどうかは時の社会状況に依存するが、できるだけ性能を高めるよう技術開発を継続していくことは、Pu 利用による長期的な原子力エネルギー源の確保という選択肢の社会的受容性を高めるためにも望ましい。

PUREX をベースとする湿式再処理法と MOX 燃料ペレット製造は UO_2 で商業プラントとしての実績を有する一方、MA を回収するプロセスの追加や溶媒の放射線耐性、遠隔での MA 含有ペレット製造などの課題を克服する必要がある。本稿で取り上げた乾式リサイクル技術と金属燃料は、MA 回収や使用済燃料冷却期間の短縮、遠隔燃料製造が比較的容易である一方、プラントとしての実績(歩留まり、計量管理など)が少なく、実用性についての信頼性が熟成していないことなどが課題である。いずれも一長一短で、どちらが実用化されるかは、技術開発の進歩や商業化ビジネスモデルの優位性、さらには、核を巡る世界の受容性に大きく依存することになると思われる。独自資源をほとんど持たない我が国が長期的な原子力エネルギーの確保という選択肢を取り続けるのならば、ビジネスモデルと開発リスクを公正に評価して方向性を定めつつ、国際的な連携を深めて透明性を保ち、着実に研究開発を進めることが不可欠であろう。

本誌 2 月号の川口順子元外相のインタビューで紹介された国際核不拡散・軍縮委員会(ICNND)では、今後の核燃料サイクル技術に必要な条件として、「閉じた燃料サイクルの核拡散抵抗性を上げるため、Pu を単体で分離しない再処理、兵器級 Pu を生産しない高速炉を開発すること」が提案されている。原理的に Pu の分離が困難な乾式リサイクルと、同位体純度の高い Pu が生産されるブランケット集合体を必要としない増殖炉が成立しうる金属燃料は、この方向性に最も合致していると思われる。

電中研では、米国にならう形で本技術の研究開発に着手したが、政治的状況により米国の研究が停滞している間も、JAEA や大学などとの国内連携を強めて研究開発を継続し、独自の成果を積み上げてきた。このため、現在では韓国、欧州等に加えて、元祖の米国からも国際協

力の打診を受けるに至っている。したがって、乾式リサイクルと金属燃料は、我が国の将来にとって非常に重要な核燃料サイクルオプションであるとともに、上述の核拡散抵抗性が共通認識となれば、国際競争力を有する我が国の独自技術として国際展開の役割を担うことも、あながち不可能なことではないと考えられる。電中研では、今後も内外の機関と協力しつつ着実に研究開発を進めていきたいと考えている。

なお、本稿には、文部科学省のエネルギー対策特別会計委託事業による委託業務として、電力中央研究所が実施した平成21年度「実用化に向けた金属燃料サイクルの工学技術実証に関する研究開発」の成果を含みます。

— 参考資料 —

- 1) 小山正史, “次世代燃料サイクル技術の現状と展望”, 日本原子力学会九州支部, 第28回研究発表会講演会予稿集, (2009).
- 2) 国際核不拡散・軍縮委員会 ICNND 最終報告書(<http://www.icnnd.org/reference/reports>)
- 3) T. Koyama, “Chap. 6 Innovative separation technology: Pyrochemical process to treat spent nuclear fuel”, K. L. Nash, G. J. Lumetta ed., *Advanced Separation Techniques for Nuclear Fuel Reprocessing and Radioactive Waste Treatment*, Woodhead Publ., To be published in summer 2010.

著者紹介

小山正史(こやま・ただふみ)



電力中央研究所
(専門分野/関心分野)核燃料サイクル, 乾式再処理

尾形孝成(おがた・たかなり)



電力中央研究所
(専門分野/関心分野)高速炉, 金属燃料

海の国のアトム

2. モナリザは地球の肖像画

海洋研究開発機構 工藤 君明

現代の地球科学における重要なキーワードは地球内部の水循環である。水を含んだ海洋地殻が大陸地殻の下にもぐりこんでいくときに、水は絞りだされて循環する。熱水現象も、地殻内微生物の存在も、また地震発生のメカニズムも地殻内水循環が重要な役割を果たしている。今回は私たちの生活に極めて身近な存在である微生物の利用と生物の進化、そして海溝型の巨大地震の研究と防災について考える。

I. はじめに

「モナリザ」はルネサンスの巨匠レオナルド・ダ・ヴィンチの傑作であり、その神秘的な謎の微笑によって多くの人を魅了してきた。モナリザのモデルはフィレンツェのラ・ジョコンダ(ジョコンド夫人)であろうとされているのだが、鼻や額はなんとなく作者のダ・ヴィンチ自身にそっくりなので、若いころの自画像ではないかという説もある。目の視線が左右非対称だし、口元も向かって右側はほほ笑んでいるのに、左側は憂いを含んでいて、観ている者を不安にさせる。そして肖像画には珍しく、背景が自然の風景になっていて、しかも左右の背景が連続しているようには見えない。ダ・ヴィンチが終生この絵を手ばなすことがなかったということからすると、モデルはラ・ジョコンダであったかもしれないが、なにかを表現しようとしたのだろう。

モナリザはダ・ヴィンチの地球観を表したものであるという説がある。進化生物学者ジェイ・ゲールドが科学エッセー「ダ・ヴィンチの二枚貝」の第1章のなかで、アルプスの山中で発見された二枚貝の化石について、ダ・ヴィンチがどのように考えていたかを論証した¹⁾。海洋生物の遺骸である貝の化石がなぜ山の地層のなかに埋まっているのかということについて、当時の一般的な考え方では、すべての化石はノアの大洪水によって山の上に運ばれたとされていた。しかし貝が生きていたような環境にそのまま保存されているのはおかしい、という疑問があった。もう一つの「科学的」な考え方では、化石は岩石内で「成長」したものとされていた。この説にも、破片とかに「成長」することが説明できないなど、多くの疑問があった。ダ・ヴィンチは当時の一般的な説を否定

Atom's Adventures in Ocean ; 2. The Mona Lisa : A Portrait of the Earth : Kimiaki KUDO.

(2010年 5月3日 受理)

しようとしたのだ。実はダ・ヴィンチは、現象を緻密に観察し実験によって確かめる、という近代的な方法論を実践していた。16世紀の初頭にあつて、すでに19世紀の地質学者のような研究をしていたのである。

ダ・ヴィンチは地球をマクロコズム(大生命体)、人間をミクロコズム(小生命体)とみだてて対照させ、両方を因果の糸で結びつけようとした。人体も地球も4つの元素(土、水、空気、火)から成り立っている、人体は4つの元素を循環させることによって維持されている、それなら地球も循環によって自らを維持するメカニズムがあるはずだ、地球内部にも血管のような水脈があり、水を高いところに送っていなければならない、というのがダ・ヴィンチの地球理論である。

しかしダ・ヴィンチは水を循環させる仕組みを見つけることができなかった。それでダ・ヴィンチは自説の地球観を絵に表そうと

したのではないだろうか。モナリザの背景には水の複雑な循環の様子が描かれており、その流れがラ・ジョコンダの髪や衣服のしわへとつながっていく。微妙なウェーブをみせながら垂れさがる美しい髪は水の動きと一体となっている。肉体と地球はこれほどまで似ているのだから、肉体に血管があるように地球の内部にも水脈がある、と



ダ・ヴィンチ(1452~1519)の傑作「モナリザ」は地球の肖像画?

第1図 モナリザ

いうことをダ・ヴィンチは表現したかったのだろう。

ダ・ヴィンチの予想はいまでは単なるアナロジー(類推)にすぎないとされている。しかし現代の地球科学における重要なキーワードは地球内部の水循環である。水を含んだ海洋地殻が大陸地殻の下にもぐりこんでいくときに、水は絞りだされて循環する。熱水現象も、地殻内微生物の存在も、また地震発生のメカニズムも地殻内水循環が重要な役割を果たしている。現代地球科学の常識などまるで想像もつかなかった500年も前に、ダ・ヴィンチはこれだけのことをアナロジーでできた。アナロジーによってこそ、それから何百年もかけなければ確証できない予測をたてることができたし、疑問を提起し、問題や現象の統合を行えたのだ。

II. 極限環境と生物の進化

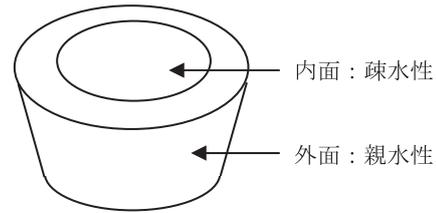
1. 冷たいお茶

日本へ観光に来る中国人は、日本人が冷たいお茶を飲んでいるのに驚くそうだ。中国では古来より、アルコール度数の低い酒と冷たい茶は飲むな、とされてきたからである。たしかに中国人は熱いお茶を飲みながらおしゃべりするのが好きみたいだ。お茶を冷蔵庫に冷やしておいて飲んでみると、たしかにまずい。ところがペットボトルのお茶は冷たくておいしい。

この違いは、お茶の香りに関係している。ふつうのお茶を冷やしておく、香りがぬけてしまうのだ。ペットボトルのお茶はこの香りがぬけないように工夫してある。これはシクロデキストリン(CD: cyclodextrin)という物質のおかげである。デキストリンとは「デンプン性の糊」のことであるが、その基本要素となっているブドウ糖が6~8個、環状(cyclo-)につながったものがシクロデキストリンである。ドーナツ状の構造の内部は比較的小さな分子を包みこむことができるくらいのおおききなので、ここにお茶の香り成分を閉じこめておいて揮発するのを防ぎ、お茶を飲んだとき、このカプセルが唾液で溶けて、おいしさが口に拡がるというわけである。

実はこんなことを利用したものが身のまわりにたくさんある。練りわさびなどの辛みが抜けてしまわないように、あるいはアイスクリームやドレッシングの乳化性を改善するために、CDが使われている。CDは内部が疎水性なので油性のものを包みこめるからなのである(第2図)。

CDは百年ほどまえから知られている物質なのだが、現在のように利用されるには、ある微生物研究者の苦悩と発見が必要だった²⁾。掘越弘毅博士(現海洋研究開発機構特任上席研究員)がいまから40年ほど前のある夕刻、イタリアのフローレンスという街で、その若き研究者はこれからどんな研究をしたらいいのかと悩みながら、ドーム型の屋根をもつ建物を眺めていた。その時、ふと金閣寺が思い浮かんだという。ルネッサンスと室町時代



環状構造となっており、空孔の内径はグルコースの数にもよるが0.5 nm から1 nm くらい、比較的に小さな分子を包みこめる

第2図 シクロデキストリン(CD)のモデル

は同じ時期なのに、建物はどうしてこんなに違うもののできたのか、きっと違う世界の存在を知らなかったから違う文化に気づかなかっただけだろう、だとすると微生物の世界も、違う考えでやったら違う世界が見えてくるのではないかと直感した。当時は微生物学の祖であるパスツールの教えに従い、微生物は中性から弱酸性で培養することになっていた。日本に帰ると、早速、アルカリ性の培地をつくり、そこらの土壌で微生物を培養してみた。なんと、微生物がうじゃうじゃわいてきたのだ。好アルカリ性細菌の発見である。この細菌はパスツールのやり方では培養できず、だれも気づかなかったのだ。好アルカリ性細菌はアルカリ環境でタンパク質やデンプンを分解する酵素をたくさん作れることがわかった。このうちデンプンを分解するものは、CDを効率よく作れることがわかり、産業化されることになったのである。

2. 極限環境の微生物と古細菌

好アルカリ性細菌の発見がきっかけとなって、微生物はいままで考えられなかった環境に生きていることが認識されるようになっていった。それとともに、生命の進化そのものが見直されるようになっていったのである。現生の目にするほとんどの生物は極端な環境には生きていけない。しかし温度が高かったり、塩分が高かったり、酸素のない環境で生きている細菌が続々と発見されていったのである。深海11,000 m という高压の海底にもいるし、110℃の高温が好きな微生物もいる。このような細菌はまとめて極限環境微生物といわれている。

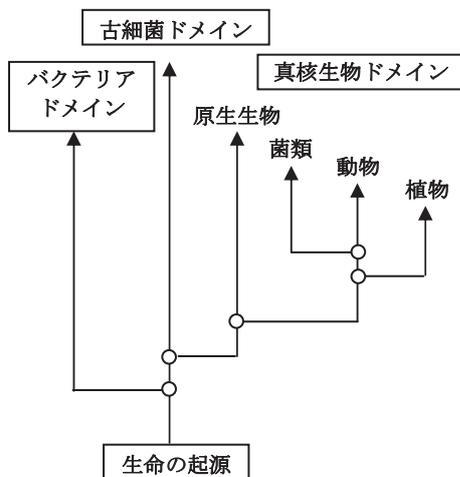
私たちが生きている環境からすれば、「極限環境」ではあるけれども、かつて地球が誕生してからしばらく、といっても何億年ものあいだ、地球の環境はふつうに「極限環境」だったわけである。そんなところに生命が誕生したとすれば、それは極限環境微生物であるはずなのだ。極限環境微生物というと、いろんな極限環境に生きる雑多な微生物の総称というイメージをもつかもしいが、実はその多くは「古細菌(アーキア Archaea)」という共通の特徴をそなえている。

いまから20年ほど前まで(高校レベルでは今でも)、生物は5つの界に分けられると教えられてきた。生物は種・属・科・目・綱・門・界に分類され、最高位の「界」

には、植物界・動物界・菌界・原生生物界・モネラ界があるとされた。細胞の中には遺伝子をもつ染色体があり、これが裸のまま、ばらばらに存在するものが原核生物とされ、大腸菌などの細菌とか藍藻などがモネラ界を構成している。その他の界に属する生物はみな染色体が核膜に包まれて保護されており、真核生物といわれる。栄養を摂取する仕方から、餌をとり体内で消化吸収する「動物」、体表面で消化吸収する「菌類」は植物のように細胞を保護する細胞壁を有するけれども光合成はしない、また細胞壁があり光合成によって栄養を生産する「植物」、さらにミドリムシなどといった真核の単細胞あるいはその集合体である「原生生物」があるとされたのである。

1977年に、牛の胃などに棲んでメタンを生成する昔からよく知られたメタン菌はこれまでの原核生物とも真核生物とも異なることが発見され、これを第3の生物群として古細菌(アーキア)が提唱され、これまでの五界説は見直され、3つのドメインに分類されることになった(第3図)。古細菌にはメタン菌のほかに、沸点に近い高温の温泉などに棲む好熱菌とか、イスラエルの死海などの塩湖や岩塩のなかから分離された高度好塩菌がいる。好熱菌とバクテリアがかつて細胞核をもたない生物群であるモネラ界という同じグループとして扱われてきたのは、ともに原核生物であり、形態的には区別がつかないからであった。しかし分子レベルの研究が進むにつれて、細胞膜に大きな違いがあることがわかってきた。

古細菌のなかでも好熱菌は生命の起源ではないかと考えられている。深海の熱水活動域では、好熱の古細菌が発見されており、好熱菌は進化系統樹の根元に位置すると考えられている。地球の冷却とともに、進化的には、まず古細菌からバクテリア(Bacteria)が分岐し、その後古細菌から真核生物が分岐したとされている。



かつて生物は、植物・動物・菌類・原生生物・モネラ(バクテリアなど)の五界に分類されていた。現在は、古細菌(アーキア)の発見により、3つのドメインに分類されている。

第3図 生物進化の概念図

深海底には高温高圧の熱水活動域があり、また海底下にはまだまだ未知の微生物が棲んでいる。海洋の微生物の約1/5は古細菌とされている。これらから新しい遺伝子や酵素が発見されていくことが期待されている。このような極限環境からいい試料を効率よく採集するには、海洋研究開発機構(JAMSTEC)の有人潜水船や無人探査機、あるいは地球深部掘削船などの活躍が期待されている。

Ⅲ. 海溝型巨大地震

1. 地震と「安全・安心」の防災

科学技術の話に「祟り」を持ちこむと日本では「科学者」から軽蔑される。地震は地球科学的な事象であり、祟りなどという「非科学的な」ものが入りこむ余地はない。しかし日本人の多くは数十年前までは祟りや靈魂を心のどこかで信じていた。不可思議な自然現象による災害などはすべて、祟りで説明されたし、祟りを防ぐためにいろいろなことをやってきた。天照大神に滅ぼされた大国主命が祟らないようにするため出雲大社に封じこめられたし、学問の神として祀られる菅原道真は左遷された恨みを抱いて亡くなったため、祟りを封じこめるために大宰府天満宮が造られた。

伊勢神宮は天照大神を祀っている。なぜ現在の位置に祀られたのか。古代の天皇が住んでいた飛鳥の宮とかの真東にあるからだ。なぜ東方なのか。古代の日本人の方位感覚では太陽の上がる東が主方位だった。後に中国から南北が主軸の方位感覚が持ちこまれ、平城京や平安京のように南向きの都造りが行われるけれども、古代の日本では祖霊は都の東に祀られた。当時あって祟りとは天変地異や疫病だった。伊勢神宮は当時の都の「巨大建築」を地震から守るためだったのだろう。それで地震を防げるわけではないけれども、「安心」はできたらう。むかしから日本では災害を防ぐための技術的な「安全」ばかりでなく、国民が納得のいく「安心」もしっかりと考えなければならなかった。「安全・安心」の防災である。時代が変わり、技術が進歩すれば、「安心」のさせ方は変わっていくだろうが、根本が変わらないことに注意しなければいけない。

戦前の日本では「稲むらの火」という話が子供に教えられていた³⁾。ある夜に海辺の村の高台に住む庄屋の主人が気味の悪いゆっくりとした地震の揺れと地鳴りを感じた。津波が来る、と予感した主人は自分の田んぼに積んであった刈りとったばかりの稲の束に火をつけてまわり、村人に庄屋の家が火事だと思わせ、高台に集めてみんなを津波から救ったという物語である。災害についての知識や教訓を忘れず、災害が発生したら迅速に行動し、日ごろから災害への備えを怠るな、という教訓を子供心に教えていた。しかし日本ではこのお話はいつの間にか忘れられてしまった。「祟り」も「戦前の教訓」も古奥

いと捨てられたのか、それとも「防災」対策はしっかりしてきたから心配することはない、国民は防災計画と防災予報に従って行動すればいいということなのだろうか。

2004年12月26日にスマトラ島沖で発生した巨大地震はインド洋沿岸の各地に津波による大災害をもたらした。この直後に開催された被災地支援の緊急首脳会議の昼食会で、我が国の総理がシンガポールの首相から、日本には「稲むらの火」という話が残っているそうだが、その話は本当かと尋ねられ、総理はいたく感心したという。おかげでこの話は津波防災の分野で復活しているというので嬉しいかぎりなのだが、2010年

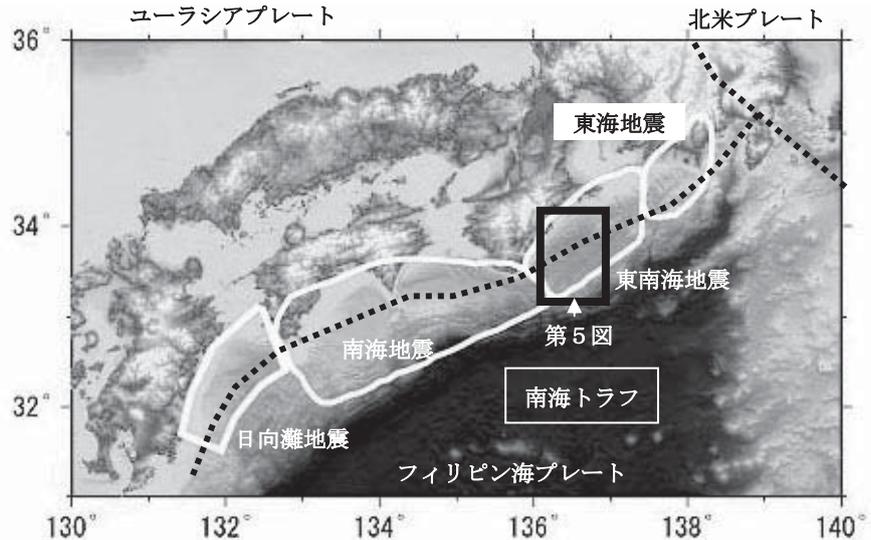
2月27日に発生したチリ沖地震(M8.8)の津波警報にほとんどの日本人は避難しなかった。教訓はまだ活かされていないようだ。

2. 横並びの震源域

「稲むらの火」の物語にはモデルがある。江戸末期の1854年(安政元年)に起きた安政南海地震のとき、広村(いまの和歌山県広川町)で実際にあった話が元になっている。このときには東海地震(M8.4、東南海地震も同時)と南海地震(M8.4)という巨大地震が32時間とわずかの差で相次いで発生した。広村は紀伊半島の西海岸にあり、東海地震の影響はたいしてなかったのだが、南海地震による津波の被害はかなり大きかった。なにしろ日本は地震が多い。しかもわずか1日で巨大地震が続いて起こるとは、すべての地震は連動しているようである。

日本列島の関東から九州に向けた南岸にはフィリピン海プレートがほぼ北西方向に年間に4~6cmの速度で沈みこんでいる(第4図)。このプレートの東方には太平洋プレートが北西方向に押し寄せ、マリアナ海溝に沈みこんでいる。フィリピン海プレートは太平洋プレートの巨大な「かけら」であろうと考えられている。これがユーラシアプレートの東端にある日本列島の南岸に沈みこんでいる。ずるずると沈みこむだけなら地震は起きないのかもしれないが、プレートがずいぶん深いところまで沈みこんでから地球的なスケールでぽきっと折れるかもしれない。海洋プレートは比較的平坦であるが、それなりに凸凹しており、富士山級の海底火山があったりする。これが陸側のプレートの下にもぐりこむとき、抵抗となり、いっしょにひきずりこんでいき、いつの日にか、耐えられなくなって「ロック」が外れると、弾けて地震となり、海水が押し出されて津波となる。

なにがきっかけでロックが外れるのかわかってはいな



注：点線はプレート境界の大まかな位置、なお平野部は配色により不鮮明
第4図 海溝型巨大地震の想定される震源域(白線区域)

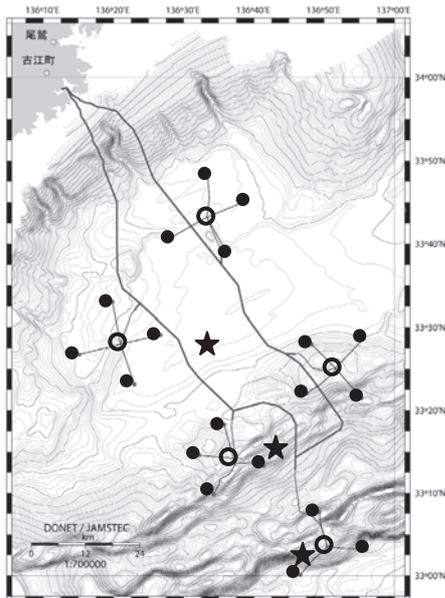
い。隣りのブロックが続けて地震を起こすことからすれば、最初の地震もきっかけになるのだろう。むかし「お伊勢参り」などで、多くの日本人が「ええじゃないか」と踊り狂い足踏みすると、間もなく巨大地震が起こるとされており、踊狂現象もきっかけとなったのかもしれない。なにしろ緊張状態が限界点にあるときに、わずかのショックでバランスが崩れることはありえるのだ。

3. リアルタイムの観測監視システム

地震が起きるきっかけはなにか不明だが、プレートの動きは地球的スケールではほぼ一定であり、歪がだんだんと蓄積していき、その溜まったエネルギーがあるとき一挙に開放される事象である。これはどんな地震でも同じであるから、地盤の相対的な動きを観測していれば地震の徴候を捕まえられることが期待される。日本の各地にはこのような観測網がかなりきめ細かく張りめぐらせてある。しかし海溝型巨大地震の震源域は海洋であり、そこに観測網はなにもない。そこで海底で地殻活動をリアルタイムで観測するシステムが構築されつつある。動くすれば最初だろうと考えられる東南海地震の震源域に観測機器を設置して常時観測するシステムが設置され、一部が運用を始めている(第5図)。

三重県の尾鷲市から海底ケーブルをループにして深海まで這わせてある。基幹となるケーブルから5つの拡張ケーブルが分岐しており、それぞれのノード(結節点)に4ヶ所の観測点がつながれている。合計で20の観測点が水深1,900~4,300mにつくられる計画である⁴⁾。観測点の海底には高精度の地震計と津波計が埋めこまれて使用される。

このような海底観測システムでは設置はもとより維持や保守点検が最大の課題となる。まず第1の特長は、基幹ケーブルがループとなっているために、どこかで破断



海底ケーブルのルートと5つの拡張分岐、白抜き丸が分岐点、黒丸は観測装置。また★は南海掘削計画で「ちきゅう」が掘削する主な位置。

第5図 地震・津波観測監視システムと掘削点

しても、データは連続して陸上に送られることである。また観測装置はノードと海中でも着脱できるコネクタで接続されており、観測装置に不具合があると全体を作業船まで上げることなく、海中で交換作業が可能なことである。そしてこのような海中作業にはJAMSTECの所有する遠隔操縦艇「ハイパードルフィン」が改造されて活用されている。

このような海洋調査をする場合に大切なことは、関係者の協力である。地震・津波の観測は重要と頭のなかでわかっている、漁業活動と当面は利害が対立することがある。これについてもJAMSTECの担当者が地元の関係者に納得していただけるよう説明にあたっている。どんなに時間がかかってもみんなに納得してもらうために談合を重ねる、という古き良き伝統がこんなところに残っている。このようにして東南海地震の震源域を観測監視することが動きだそうとしている。

4. 断層を掘削する

東南海地震の震源域では深海掘削計画も同時に進められている。この任務に当たっているのが、地球深部探査船「ちきゅう」である。掘削によって、地震断層から試料を採取するとともに、断層近傍の物性が現場で計測され、また地震と関連するさまざまな物理量を長期にモニタリングすることになっている。海底から、7,000 m くらいを掘削すれば、陸側の地殻とフィリピン海プレートとの断層の境界を突破することが期待されている。

地球深部探査船「ちきゅう」は科学掘削船としては初めてライザー掘削が可能になったものである。地中に穴を掘るときは、先端に硬いダイヤモンドがついたビットを

回転させながら掘り進んでいくわけである。通常の非ライザー掘削の場合には、だんだん深く掘り進むにつれて、削りカスは溜まり、掘削孔が圧力ですぼまるなどして抵抗がだんだんと増えていき、ついには回転させられなくなってしまう。その限界は深度2,100 m といわれている。石油探査の世界で開発されたライザー掘削はこの課題を解決している。船上と海底の掘削点までは、掘削パイプをライザーという外套管で包んでいる。船上から掘削パイプの中に液状の泥水(デイスイ、Mud)を送りこみ、この泥水はビット先端から出て、削りカスとともに孔内を上がっていき、ライザーを通して船上に回収される。このようにして、削りカスをとり除き、途中の孔壁の崩落を防いで、もっと深くまで掘り進むことが可能となったのである。

2009年には、海洋科学史上初めてライザー掘削が成功した⁵⁾。海底下1,600 m を超えていた。JAMSTEC は海底下7,000 m まで掘削して断層岩を採取する計画であり、そのスタートが切られたわけである。また南海トラフに沈みこむ前の堆積物と基盤岩の境界も掘り抜かれている。この基盤の玄武岩は海底下6,000 m 以深の地震発生帯に持ちこまれると、深部の流体の影響を受けて破壊し、地震を起こすと考えられているものである。

5. アトムの夢

地殻のプレートの下にはマントルがある。人類がマン托ルの試料を手にしたと初めて願ったのは1957年のことである。深海なら海洋のプレートは比較的に薄いので、5,000 m も掘ればマントルに達することができる、と提案された。それ以来、多くの研究開発が進められてきた。

アトムもマントルの石を見てみたいものだ。

—参考資料—

- 1) S. J. Gould, ダ・ヴィンチの二枚貝, 渡辺政隆訳, 早川書房, (2002).
- 2) 掘越弘毅, “セレンディピティー/掘り出し物を見つける幸運”, 生命誌19号, (1998).
- 3) 伊藤和明, 津波防災を考える: 「稲むらの火」が語るもの, 岩波ブックレット No.656, (2005).
- 4) 海洋研究開発機構, 世界初の海底リアルタイム観測システムの構築へ, Blue Earth 103, (2009).
- 5) 斉藤実篤, 南海掘削計画の進展—地震発生帯の理解へ向けて, JAMSTEC 2010, (2010).

著者紹介

工藤君明(くどう・きみあき)



独立行政法人 海洋研究開発機構
(専門分野) 海洋構造工学, 海洋環境工学

社会から信頼される原子力専門家に求められるスキル 非言語コミュニケーションの重要性を確認するための試行調査

日本原子力研究開発機構 郡司 郁子

原子力が社会と共生していくためには、優れた技術力・開発力のみならず、社会からの信頼も重要である。社会から信頼を得るためには、知性と感性を兼ね備えた原子力専門家が社会との双方向コミュニケーションを推進することが重要である。本稿では、主に文献調査から得られた知見および社会とのコミュニケーションを実践し、信頼の構築を目指す原子力専門家に必要とされるスキル、特に非言語コミュニケーションの重要性を確認するために行った試行調査の結果について紹介する。

I. 原子力専門家とコミュニケーション・スキル

1. 専門家は社会との信頼構築に欠かせない存在

コミュニケーターとは、企業側の情報伝達者で、多様な利害関係者を理解した上、関心に応えた情報をわかりやすく効果的に説明できる人材であり、多岐にわたる分野で活躍が期待されている。日本でも、国策として、科学技術の研究内容や意義を伝える、科学技術コミュニケーターの養成を推進してきた。

米国原子力エネルギー協会(NEI)は、公衆意識調査の結果、情報伝達者は、専門知識と経験を持ち合わせた研究者・技術者の説明が「信頼性」に優れると公表している¹⁾。

また、米国のリスクコミュニケーション専門家でNEIの講師を務めるコベロ博士によると、原子力は社会からの信頼・信用が求められており、情報伝達者は、専門知識などの知的スキル(Intelligence)だけでなく、感受性などの情動的スキル(Emotional Intelligence)を兼ね備えるべきとのことである¹⁾。

上記した、NEIおよびコベロ博士の知見を踏まえると、原子力が社会から信頼されるための情報伝達者は、コミュニケーション・スキルに優れた原子力専門家(研究者・技術者)が望ましい。豊富な専門知識・経験を持つ専門家は、非言語コミュニケーション、チームワーク、情動的スキル、傾聴などのスキル向上に重点をおく必要がある¹⁾。

本稿で述べる原子力専門家とは、社会との双方向コミュニケーションを推進し、社会との信頼構築に寄与する人材、原子力コミュニケーター(以下、コミュニケーター)のことである。

2. 世論調査結果から改善すべきこと

内閣府の世論調査結果によると、研究者・技術者を身近に(親しみを)感じている国民は、わずか15%しかおらず、縁遠い存在としている²⁾。また、研究者・技術者の話を聞きたくない理由で最も多かった回答は、「専門的すぎてわからないから(36.6%)」、次いで「科学技術に関心がないから(24.3%)」という意見であった³⁾。

コミュニケーターは、これらの反省点を踏まえ、現状を改善すべく、社会から信頼を得るという重要な責務を理解した上、「わかりやすい説明」と「関心喚起」を促すコミュニケーション・スキル向上に努めるべきである。

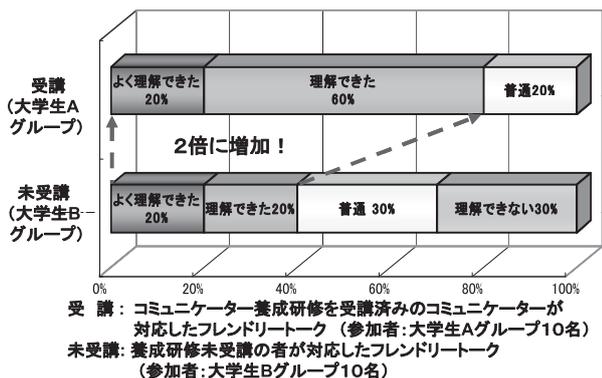
3. コミュニケーション・スキル向上効果の具体例

原子力安全基盤機構の委託研究の一環として、大学生とのリスクコミュニケーションに係る実証試験を行った。リスクコミュニケーションとは、利害関係者とのリスクに関する情報と意見の交換を行う双方向コミュニケーションである。ここでは、参加者の大学生に対し、「東海再処理施設の環境監視」に関する情報提供および職員との意見交換会(フレンドリートーク)を行った。

実証試験より、コミュニケーション・スキルが高い対応者がいる研修受講グループの参加者(大学生Aグループ)の理解度が、もう一方の研修未受講グループの参加者(大学生Bグループ)の理解度より2倍高かったという結果を得た(第1図)。コミュニケーション・スキルが高い対応者は、相手の話をよく聞き、話し方も上手だったことが評価されており、対応者のコミュニケーション

Methods for the Nuclear Communicators to Establish Trust and Credibility—Trial Research Emphasizes the Importance of Nonverbal Communication for the Nuclear Communicators: Ikuko GUNJI

(2010年 4月6日 受理)



第1図 研修受講グループの理解促進効果確認結果

ン・スキルが参加者の理解度向上に寄与することがわかった⁴⁾。

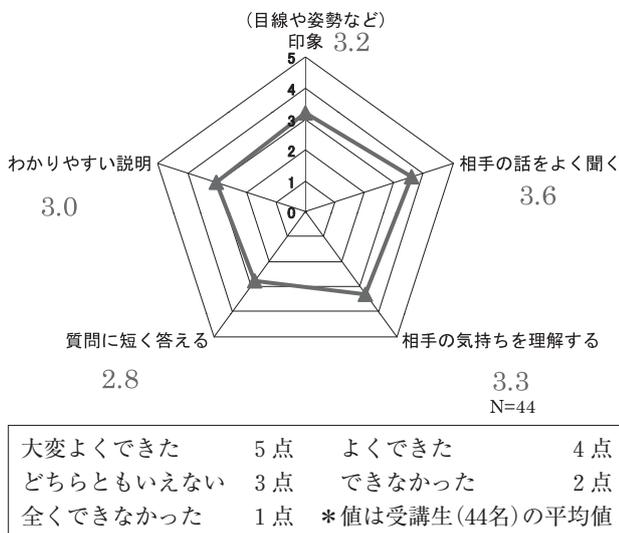
4. コミュニケーターの課題

原子力機構核燃料サイクル工学研究所では、リスクコミュニケーション活動を担う129名の職員がコミュニケーターとして登録されている。そのうち36%がコミュニケーション・スキルのさらなる向上を主な目的とした所内研修や外部講師による講演会に参加している。研修は、講義だけでなく、より実践的なロールプレイ(住民役と事業者役との模擬の意見交換会)を実施している。

研修終了後に行ったアンケート結果から、ロールプレイ実行度に対する受講生の自己評価の平均値を第2図に示す。

自己評価結果によると、「質問に短く答える」ことが特に苦手であったが、他の項目も同様に容易ではなかったとしている。また、受講者の主な意見は以下のとおりである。

- ・ いざ実践してみると、思うようにいかず四苦八苦してしまった。
- ・ 他者に述べた注意点(説明が長い、内容が難しい、



第2図 ロールプレイにおける自己評価

等)が、そのまま自分にもあてはまってしまった。
 ・ 素人視点での考え方に戸惑い、専門用語をできるだけ使わず、わかりやすく話することに苦慮した。
 受講生は、ロールプレイの実践において、コミュニケーション・スキル向上の重要性・難しさを実感したことがうかがえた。

II. 社会から信頼される原子力専門家に必要なコミュニケーション・スキル

1. 「コミュニケーション」について改めて考える

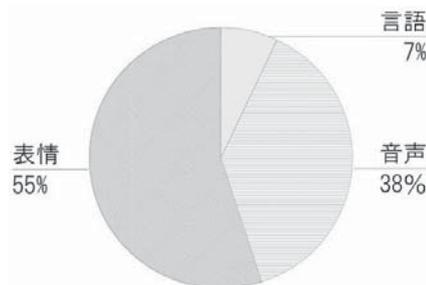
コミュニケーションは、単なる会話ではなく、会話を繰り返すことで、お互いの理解を深め、双方が影響し合うことである。人と人とのコミュニケーションでは、相手や状況で変化しやすいため、相手のニーズや場の空気をよく考慮した上で適切に対処しなくてはならない。

コミュニケーション・スキルを向上させるためには、まず、言語(Verbal)および非言語(Nonverbal)コミュニケーションに対する理解を深めることが必要である。言語コミュニケーションは、言語表現を工夫し、わかりやすく、興味深く伝えること。非言語コミュニケーションは、言語以外の表現を工夫、例えば、表情や感情をうまく操り、相手にメッセージを伝達することである。

2. 信頼のキーメッセージは「非言語コミュニケーション」

米国の心理学者メラビアン博士は、非言語コミュニケーションを単なる非言語的なふるまい(Nonverbal Behavior)として解釈するのではなく、暗示的(Implicit)コミュニケーションとして重要視すべきと指摘している⁵⁾。メッセージの伝わり方は、音声(声の抑揚)や人の表情、すなわち、非言語コミュニケーションによってほとんど決まってしまうという有名な研究例(第3図)がある⁵⁾。

また、30年前から原子力分野におけるコミュニケーター教育を米国原子力規制委員会(NRC)、NEIなどへ提供している、コペロ博士の長年にわたる研究によると、人は非言語コミュニケーションに敏感で、75%以上のメッセージが非言語コミュニケーションによって解釈され、より緊迫した状況(例えば謝罪会見など)では、さ



第3図 メラビアン博士による研究例 (メッセージの伝わり方)⁶⁾

らに非言語コミュニケーションの重要性が増すとされている⁶⁾。また、信頼・信用を構築する要素と割合について、最も重要な要素である、思いやりと共感に対する認知(Perceived Caring and Empathy)が50%、次に示す3つの要素、適正能力と専門知識に対する認知(Perceived Competence and Expertise)、誠実と率直さに対する認知(Perceived Honesty and Openness)、奉仕と責任に対する認知(Perceived Dedication and Commitment)がそれぞれ15~20%の割合で構成されるとしている^{7,8)}。信頼の構築には、現在進行するコミュニケーションの過程と相当の時間が必要である⁷⁾。しかし、思いやりと共感に対する評価は、出会った即時(30秒以内であることもしばしばある)に判断され、一旦判断されるとその評価を変えることが困難となるため、コミュニケーション・スキルの重要性を指摘している⁸⁾。

3. コミュニケーション・スキルの効果的向上と実践応用力を高める方法

社会との信頼構築に重要な影響を与えるコミュニケーション・スキルは、実際に経験しなければ、自らの強み、弱みを理解することができない大変特殊なスキルである¹⁾。また、先進的である科学分野は技術進歩が早いいため、コミュニケーション・スキルが低下しやすい傾向にある¹⁾。そのため、コミュニケーターのスキル向上には、「ロールプレイでの疑似体験や一般人との接触経験」、「自己認識力の向上(ロールプレイの結果について、自己分析を行い、他者の客観的評価を踏まえて省みる)」、「自己認識フィードバックの継続性(ロールプレイを継続して実施)」が有効で、トレーニングにより、コミュニケーション・スキルの効果的向上および実践応用力の向上が期待される¹⁾。

Ⅲ. 信頼とコミュニケーション・スキルとの関連性・重要性確認のための試行調査—主婦の意見を参考に「信頼される原子力専門家のロールモデル」をデザインする

1. 「信頼される原子力専門家のロールモデル」デザインの経緯

あるコミュニケーターの素朴な疑問「信頼されるためには具体的にどうすればよいのでしょうか?」がロールモデル提案のきっかけである。ロールモデルとは、模範となる人物像である。前述した、信頼とコミュニケーション・スキルとの関連性・重要性を確認するため、信頼される原子力専門家のロールモデルを提案するという試行調査を行った。調査を行うにあたり、原子力機構核燃料サイクル工学研究所リスクコミュニケーション室が主催

する、メッセージ作成ワーキンググループのメンバーに調査協力を依頼した。

2. メッセージ作成ワーキンググループ

メッセージ作成ワーキンググループは、原子力や放射線について疑問に思ったことをテーマに、勉強会や体験学習を通して得たことをメッセージとしてまとめる活動を行っている。これまでに第1期、第2期グループが活動成果をまとめてきた⁹⁾。第3期のメンバーは、茨城県東海村とひたちなか市に在住する30代から40代の主婦6名である(第4図)。平成21年10月より週に1回程度の会合を開き、女性視点のわかりやすい原子力のメッセージ発信を目指して、原子力に関する専門用語を分かりやすく伝えるための方策について検討している。

3. 信頼される原子力専門家のロールモデル

信頼される原子力専門家のロールモデルを提案するため、第1表に示す調査を行い、総合評価を実施した。調査1は、コベロ博士が指摘する信頼構築要素等^{4,7,8)}に基づき、機構対応者および機構対応者が発信した情報内容に対する信頼性について調査した。調査2は、当研究所のコミュニケーターが地域住民と意見交換している様子(写真)の印象について調査した(調査1、調査2の結果について、ここでは省略する)。

調査3は、言語・非言語コミュニケーションに対する信頼度と相手が受ける印象について調査した。調査結果の一部を第2表に示す。信頼度は、コベロ博士の推奨⁶⁾より選抜した項目および独自の検討項目の計74項目に対



第4図 メッセージ作成ワーキンググループ

第1表 信頼される原子力専門家のロールモデル提案のために行った調査

調査1	機構対応者および情報発信内容の信頼性に関する調査
調査2	コミュニケーターの非言語コミュニケーションに関する調査
調査3	言語・非言語コミュニケーションに対する信頼度と相手が受ける印象に関する調査

第2表 言語・非言語コミュニケーションに対する信頼度と特性形容詞尺度¹⁰⁾を用いた印象評価結果(N = 6)

順位	特に重要な行為	信頼度 ^{b)}	相手が受ける印象	特に注意すべき行為	信頼度 ^{b)}	相手が受ける印象
1位	a. あいづちを打つ ^{a)} b. 温厚(優しい)表情 c. 朗らかな笑顔	4.83	・信頼できる(a) ・共感できる(a) ・誠実な(a) ・社交的な(b) ・思いやりのある(b) ・感じのよい(a, b, c)	思いやりのない発言	1.17	・感じの悪い
2位	d. (タイミングよく目が合う程度)アイコンタクト e. 話をよく聞いてくれる	4.67	・信頼できる(d, e) ・共感できる(d) ・友好的な(d) ・思いやりのある(e) ・感じのよい(d, e)	無表情	1.33	・非社交的な ・冷淡な ・感じの悪い
3位	f. 大きくはっきりした声 g. 低く落ち着いた声	4.33	・信頼できる(f) ・自信のある(f) ・責任感の強い(g) ・感じのよい(f, g)	h. 視線が下で全く目が合わない i. 小さく聞き取りにくい声	1.5	・信頼できない(h) ・感じの悪い(h) ・自信のない(i) ・消極的な(h, i)

^{a)}複数項目が同一順位であった場合(例: a, b, c)「a. あいづちを打つ」の相手が受ける印象は「信頼できる(a)」、「共感できる(a)」、「誠実な(a)」、「感じのよい(a, b, c)」となる。

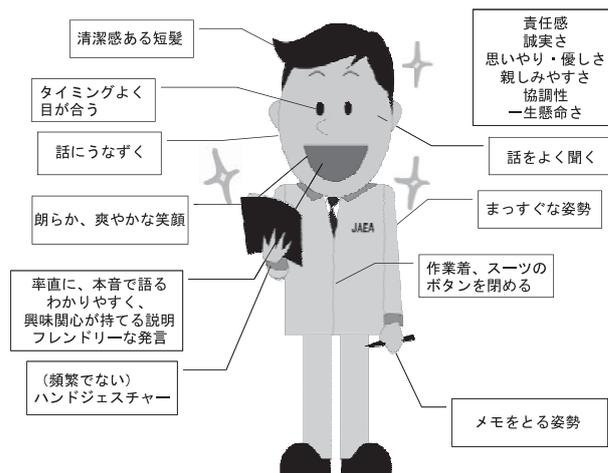
^{b)}信頼度は非常に信頼できる→5点, 信頼できる→4点, 場合による→3点, 信頼できない→2点, 全く信頼できない→1点とみなして, 平均点を算出した(5段階評価)。

し調査した。印象調査は, 特性形容詞尺度¹⁰⁾(人物印象評価項目で相反する形容詞対, 例: 信頼できる—信頼できない)を参考に, 行為から受ける相手の印象について調査した。他に信頼できると評価された, よい例として, 「メモを取る」という行為があった。また, ネガティブな情報でも率直に説明し, 本音で語ることも信頼感が増すという意見があった。特に注意すべき行為, 第1位の「思いやりのない発言」とは, 相手を見下したような発言のことである。例えば, 「そんなことも知らないの」というような趣旨の発言や相手を軽視するような表情で, このようなことが無意識のうちに出てしまわないよう, 日頃から相手を尊重する豊かな心を育てることが重要と考える。

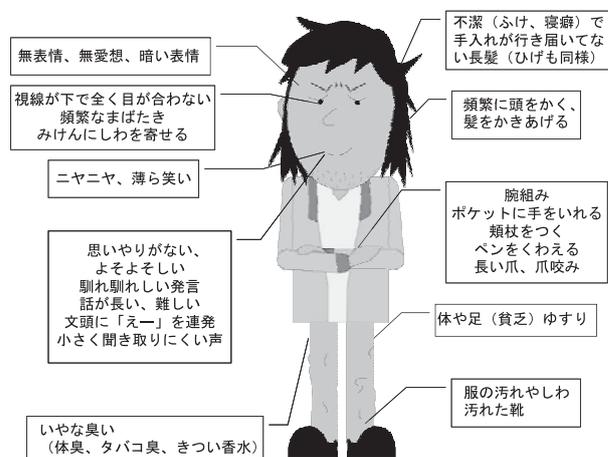
総合評価結果を踏まえ, 特に信頼度が高かった/低かった項目をまとめた, 30代~40代主婦が考える「信頼される原子力専門家のロールモデル」(第5図) / 「信頼されない原子力専門家の例」(第6図)をデザインした。結果的に, 原子力専門家に限定されない, 一般的な社会人のよい例, 悪い例として, 公然かつ一目瞭然のモデルとなった。しかし, 当事者はなかなか自分の欠点や素人視点を認識しにくいので, 今後コミュニケーターのチェックリストとして, 活用していく予定である。

IV. 考察と結論

今回, 文献調査から得た知見, 「信頼とコミュニケーション(特に非言語コミュニケーション)との関連性と重要性」を確認すべく試行調査を行った。対象者とした30代~40代主婦の意見を要約すると, コミュニケーター



第5図 30代~40代主婦が考える「信頼される原子力専門家のロールモデル」



第6図 30代~40代主婦が考える「信頼されない原子力専門家の例」

は、原子力とは無縁・無関心な立場である相手を考慮し、パートナーシップの形成促進が図られるよう努めてほしい。すなわち、原子力の話に耳を傾け、関心を持ってもらえるよう努めてほしいとのことだった。そのためには、コミュニケーターが、専門知識や経験を踏まえ、中立的な立場で、率直に、わかりやすく、興味深い話ができることが重要であることが明らかとなった。また、信頼される原子力専門家のロールモデルは、原子力に限定されることのない、模範的な社会人としてあるべき姿が結論となった。

試行調査における主婦の方々の率直な意見により、コミュニケーターに必要とされるコミュニケーション・スキルについて、コベロ博士が推奨する言語・非言語コミュニケーション⁹⁾を参考に詳細な項目を明確化し、オリジナルのロールモデルをデザインすることができた。また、抽象的な発言の具体例(例：思いやりのない発言)を調査することができた。

今後は、ロールモデルの精度向上に資するため、信頼構築要素やコミュニケーション・スキルに関する文献・事例研究を推進し、原子力特有の信頼因子や社会的視点を探るための手法について検討していく。また、ロールモデルの提案に留まらず、得られた知見は、実際のコミュニケーター養成の場で活用していきたい。

本調査により、「専門知識のみ優れ、感情表現が乏しい単なる専門家(インテリジェンス・コミュニケーター)」が社会から信頼を得ることは難しく、「相手を尊重し、優れた感情表現でコミュニケーションができる専門家(◎エモーショナル×インテリジェンス・コミュニケーター)」が重要な存在であるという知見が確認された。したがって、コミュニケーション、とりわけ、「非言語コミュニケーション」に優れた原子力コミュニケーターが社会との信頼の構築に多大に貢献するものと考えられる。

—参考資料—

- 1) 大歳幸男, 他, リスクリテラシー向上のための広報広聴体制と住民参画の研究, 平成17年度原子力安全基盤調査研究, 研究成果報告書, (2006).
- 2) 内閣府, 科学技術と社会に関する世論調査, (2004).
- 3) 内閣府, 科学技術と社会に関する世論調査, (2007).
- 4) 大歳幸男, 他, リスクリテラシー向上のための広報広聴体制と住民参画の研究, 平成16年度原子力安全基盤調査研究, 研究成果報告書, (2005).
- 5) A.Mehrabian, *Silent messages: Implicit communication of emotions and attitudes 2nd ed.*, (1981).
- 6) World Health Organization, *Effective Media Communication during Public Health Emergencies, A WHO HANDBOOK*, (2005).
- 7) V. Covello, *et al.*, "The determinants of trust and credibility in environmental risk communication: An empirical study", *Risk Anal.*, (1997).
- 8) V. Covello, "Risk communication and occupational medicine", *J. Occup. Med.*, (1993).
- 9) 日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所ホームページ: <http://www.jaea.go.jp/04/ztokai/katsudo/risk/message/index.html>
- 10) 林 文俊, "対人認知の基本次元についての一考察", 名古屋大学教育学部紀要, (1978).

著 者 紹 介

郡司郁子(ぐんじ・いくこ)



日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター核燃料サイクル工学研究所リスクコミュニケーション室
(専門分野/関心分野) リスクコミュニケーションの実践, コミュニケーター教育にかかわる業務に従事

このコーナーでは、国内の原子力を担う関連機関を紹介します。

社会・海外とのインターフェースを目指す原産協会

1956年に発足、06年に改組して戦略性を強化

社団法人 日本原子力産業協会(原産協会)は1956年3月、原子力に関するわが国最初の総合的な民間団体「社団法人 日本原子力産業会議」として発足した。我が国のエネルギー問題における原子力利用の重要性を踏まえ、国民的立場に立って原子力の平和利用を進めるべきとの産業界の総意に基づき、多岐にわたる民間産業界の中核組織として、直面する課題の解決に向けて主体的に行動することを目的としている。また、政府の原子力開発利用計画の策定と政策推進に協力し、原子力平和利用を促進することによって、我が国の国民経済と福祉社会の健全な発展向上に資することとしている。

(社)日本原子力産業会議は、設立から50年を数えた2006年4月に改組し、(社)日本原子力産業協会と名称を変更、「自ら戦略的に行動する団体」として再発した。原産協会は、組織を構成する会員(会社・団体)が、電力会社や原子力関係企業のみならず、原子力発電所立地自治体や地方マスコミを含む約480社にのぼっていることが特徴であり、幅広い社会層に原子力の重要性を訴えることに適した組織体系になっている。会長には元経団連会長の今井敬・新日鉄名誉会長を迎え、服部拓也理事長をはじめとする常勤理事3名、非常勤理事17名の体制で事業運営にあたっている。

原産協会の役割と事業

原産協会は、原子力界と社会とのインターフェース役を果たすとともに、日本の原子力界にとっての海外への窓となるべく、活動している。現在は主な事業分野を、「理解促進・社会合意形成」「規制対応・基盤整備」「国際関係」「会員連携」の4分野に定め、さらに「人材」「国際」「地域」をキーワードとして重点的に事業を実施。選択と集中によるメリハリのきいた、顧客満足(CS)の向上につながる事業運営を目指している。

理解促進・社会合意形成へ向けて

原産協会は、原子力の理解促進・社会合意形成へ向けて、「原子力推進を国論」とすべく、政界・経済界を含む社会各層へ向けた理解活動を行っている。その一環として、会長、理事長が先頭に立って、原子力発電所立地県

の知事や地方自治体首長を訪問し、原子力の重要性などについて意見を交換するなど、マスメディアを含め、政治・経済界で活発に活動する人々をターゲット層として、原子力の重要性を訴え、情報発信を行っている。

毎年4月に各地で開催している原産年次大会は毎回、国内外から、市民層も含めて1,000名程度が参加。海外の原子力関係者から各国の原子力政策などの最新情報を直接聞くとともに、日本の原子力の状況や将来計画を広く国内および海外に発信し、国際的なコミュニケーションの場となっている。原産年次大会は、2009年4月は横浜で、2010年4月には松江で開催、大会を通して課題提起・発信活動などを行っている(写真は松江での年次大会の様態)。

立地が難航している高レベル廃棄物処分事業については、地域オピニオンリーダーを対象に少人数の対話集会を行い、処分事業の必要性や安全性に関する情報を提供するなど、草の根活動を行っている。また、高レベル廃棄物に関するシンポジウムを開催、関係者間での意見交換の場としている。

人材育成

原子力発電を将来とも安定して安全に運転し、社会経済に貢献し続けていくためには、十分な人数の良質の人材を適時に教育・訓練し、産業界に提供し続けていくことが重要である。また原子力発電を新規に導入しようとしている途上国においても、原子力発電を安全に保守・運転していくための人材育成の重要性は言をまたない。

原産協会では2007年に「原子力人材育成関係者協議会」(座長：服部拓也原産協会理事長)を設置。同協議会は産官学の関係者が人材育成に関する中長期的課題の認識を



共有し、産官学がその枠を超えて検討し、また取組みの整合性を図る場としての活動を始めた。2008、2009年にそれぞれまとめられた中間報告では、原子力人材に関する定量的データを提供するとともに、人材育成に関する提言を行っている。同協議会の検討結果を生かし、原子力界の人材育成全体をコーディネートできるような組織を原産協会内に設置できないか、検討を開始している。

また、理工系の大学生・大学院生を対象として、2006年度から「原子力産業セミナー」と題する就職セミナーを開催、2009年12月の第4回セミナーでは東京と大阪で開催し、かつてない数の参加者を集めた。このセミナーは同時に、学生への原子力産業の紹介・PRと、原子力関連企業に人材確保の機会を提供することも目指している。

原子力の国際展開と国際協力

原子力技術は、その誕生の時から国際的なつながりを深くもつエネルギー源であり、日本自身も原子力発電の黎明期には、米国、英国などの先進諸国からの協力を得ながら、開発を進めてきた。世界第3位の原子力発電国である日本は今や、これから原子力発電を導入しようと計画している開発途上国を支援して、安全かつ安定した原子力導入が行えるよう、支援する立場に立っている。新興国の原子力発電導入を支援していくことは、安全運転を最優先する原子力発電の「日本モデル」を、ハードウェア（機器）とソフトウェア（運転・保守）とをセットの「システム」として、世界に広めていくことにつながる。また、急速に発展する新興国の成長エネルギーを取り込み、自らの発展につなげることも期待される。

このような観点から、原産協会の「原子力産業海外展開検討会」（座長：柳井俊二・元駐米大使）は2010年4月、国が策定中の「新成長戦略」に合わせて提言を取りまとめ、仙谷由人国家戦略担当大臣、岡田克也外務大臣ほか関係政府機関に提出した。提言では、原子力産業の海外展開の意義を整理するとともに、「運転保守のノウハウを有する電気事業者が中心となり、新たな体制を構築して、ハードとソフトを組み合わせた原子力システムの輸出を図るべき」とするとともに、民間企業が対応できないリスクについては、国の対応を求めている。

原産協会は旧原産会議時代から、原子力界における国際協力のパイオニアとして、欧米の先進国だけでなく、中国、韓国を含むアジア諸国との協力を力を入れて取り組んできた。

原子力発電導入を計画しているベトナムについて、2000年にベトナム原子力委員会と協力覚書を結び、電力会社、メーカー、商社など、原子力関連企業と密接に協力しつつ、原子力発電に関する人材育成に協力するとともに、ベトナムの政界要人の訪日の際に、原子力施設を



見学・訪問してもらう活動、原子力展示会への出展やセミナー等の開催などを行ってきた(写真は日本大使も参加してのハノイでの原子力展示会の開会式の模様)。

ベトナムの原子力発電計画が本格化する中、原産協会は現地での情報収集と活動を強化するため、2010年3月、ハノイに「JAIF ベトナム連絡事務所」を開設した。ベトナムでは、南部ニントアン省の2サイトで、それぞれ100万kW級原子力発電所2基の建設が計画されており、日本は日本原子力発電が中心となって、フィージビリティ・スタディの受注を目指している。

アジア諸国・地域とはこれまで、中国、韓国、台湾などと共同セミナーを開催してきたが、2009年12月には新たに中国原産協会と協力覚書を結んだ。今後、日中韓の原子力産業界が手を携え、共通の課題を持ち寄り、解決に向けた専門家会合などの開催が検討されている。

原産協会は、1960年に民間組織としてはじめて国際原子力機関(IAEA)から「諮問機関」の地位を与えられた。毎年9月のIAEA通常総会に代表団が出席しているほか、総会時の展示会へ出展を行っている。また、IAEA事務局に職員を派遣し、職員OBが日本人のIAEA職員応募にアドバイスを与えるなどの活動を行っている。

このように日本原子力産業協会は、民間原子力界の要として、その直面する課題だけでなく、中長期的な課題や将来ビジョンから見た原子力界の課題について、積極的に取り組みを行っている。

日本原子力産業協会(JAIF)の概要

主要業務：理解促進・社会合意形成、規制対応・基盤整備、国際関係、会員連携

設立：1956年に(社)日本原子力産業会議として発足、2006年に日本原子力産業協会に改組。

会長：今井 敬

職員数：65名(平成22年5月現在)

予算規模：約11億5,100万円(平成22年度予算)

HP：<http://www.jaif.or.jp/>

ATOMOS Special

欧州 総括編

世界の原子力事情 第7回

ドイツの原子力事情

(社)海外電力調査会 東海 邦博

2009年秋の保守連立政権の誕生で、ドイツも脱原子力政策の見直しに向かって動き出したが、これまで紹介してきたフランス、フィンランドなどの国々とは異なり、原子力の新規建設は依然として難しい状況にある。以下、ドイツでの最近の動向を紹介する。

I. エネルギー・電力事情

ドイツは褐炭と石炭を豊富に産出する国であり、これらの石炭資源は歴史的にドイツ産業の発展に大きく寄与してきた。一方、石油や天然ガスは産出せず、輸入に依存している。1960年代以降、国内炭は安い輸入石油に押されて主役の座を追われ、現在、石油が1次エネルギー供給の約40%を占めている。

しかし、1973年の石油危機を契機に、政府はエネルギー・セキュリティの観点から自給率向上のため、石炭への再転換策を打ち出し、石炭産業保護に政策変更した。特に発電部門では国内炭の引取りを義務付けられた(1996年まで)。その結果、2008年現在、褐炭と石炭で国内エネルギー生産の37%、また発電の46%を占めている。

II. 原子力発電開発

1. 開発の経緯と現況

(1) 開発の経緯と現況

ドイツでも原子力発電開発は石油危機以前から着手されていたが、石油危機以降、前述の国内炭への回帰とともに、原子力発電開発の推進が打ち出され、大規模な開発が行われた。その結果、原子力は2010年現在17基(PWR 11基, BWR 6基)、合計2,150万kWの設備によって総発電電力量の23%(2008年実績)を賄う重要な電源となっている。

2. 脱原子力政策

(1) 脱原子力への経緯

しかし、1998年に政権に就いた社民党(SPD)と緑の党の連立政権は、脱原子力政策を打ち出した。同政権は2000年に原子力発電所を段階的に閉鎖することで電力会社と合意し、2002年には脱原子力政策を盛り込んだ原子力法の改正を実施した。

この脱原子力というのは、急に出てきたものではない。ドイツでは1986年のチェルノブイリ事故を契機に原

子力反対運動が激化し、それまで原子力推進であった社民党が原子力反対に転じた。また、原子力反対の緑の党が州レベルで党勢を伸ばし、社民党と連立を組む州政府も出現した。その結果、これらの州では、燃料取替え後の運転再開が州政府の介入で遅延するなど運転に支障が発生するとともに、新規建設は完全にストップしていた。

この改正原子力法では、割り当てられた発電量(32年間の運転期間を元に算定)が尽きた発電所から順次、閉鎖される。ただし、発電所間や事業者間で割当て量を交換し、運転延長を計ることは認められる。これまでにシュターデ発電所、オブリッヒハイム発電所の2基が閉鎖されたが、改正法に従えば、2020年頃にはすべての発電所が閉鎖される。

3. 再生可能エネルギー発電開発

(1) 現況

原子力に代わって、政府が開発を推進してきたのが再生可能エネルギー(RES)である。特に電源として、政府はRESとコージェネレーション(電気と熱を同時に生産)の開発に熱心で、政府は電力会社に対して、法律でこれらの電源からの発電電力を高い価格で買い取ることを義務付けた(「固定価格買取制度」(FIT)と呼ばれ、現在日本でも導入が議論されている)。

このような奨励策が奏功し、ドイツでのRES、特に風力発電開発は目覚しく、2009年初め現在約2,400万kWと世界第2の規模を誇っている。また、太陽光発電は約600万kWと世界一である。その結果、ドイツ全体の消費電力量に占めるRESの比率は1997年の4.5%から2008年には15%にまで増大した。

また、この順調なRES開発に加えて、環境税の導入、石炭から天然ガスへの燃料転換、産業界の削減計画実施等によって、温室効果ガス削減も順調に進んでいる。ドイツの京都議定書による削減目標は1990年比21%減(2008~2012年)であるが、2008年は21.5%減とすでに目標を達成した。

(2) 問題点

政府はこの勢いを借りて2030年には30%にまでRES

発電を拡大することを計画している。しかし、今後もこの勢いで進むかどうかは不透明である。第1に風力は地上での開発がほぼ終わり、現在、開発地点は洋上に移っているが、系統接続コストなど開発コストが高く、地上より制約要因が多く存在する。また、RESは気象等の自然要因に左右され発電効率が低い。風力の年間稼働率は15~30%程度であるのに対して原子力発電は80~90%であり、現在のドイツの原子力発電(kWh)を風力で置き換えるためには、6,000万kW以上の設備が必要である。

また、原子力の代替電源がRESだけで間に合わない場合は、ガス火力や石炭火力の建設が必要になる。しかし、ガス火力は燃料価格が大きく変動する。また、石炭火力は新規建設にはCCS(CO₂回収・貯留装置)の設置が求められる方向にあるが、その商業開発の見通しが不透明であるのに加えて、石炭火力の建設には住民の反対もある。

そのため、脱原子力が予定どおり実施され、RES発電やガス・石炭火力の建設が思ったほど進まなかった場合には、第1図に見るように、2012年頃から供給力不足が始まり、2020年には約1,200万kWの不足に陥る恐れがある。

また、CO₂削減の観点からも、政府の掲げる2020年で1990年比40%減という目標の達成も難しくなる。

4. 脱原子力政策の見直し

(1) 政治動向

以上に述べた情勢から、ドイツでも脱原子力の見直しは必至の状況となっている。

原子力推進派のキリスト教民主社会同盟(CDU・CSU)と社民党との前大連立政権下では、連立協定で見直しは行わないことを決めたため、結局、動きはなかった。しかし、2009年9月の総選挙で、CDU・CSUと原子力推進の自由民主党(FDP)による連立政権が成立し、ついに脱原子力見直しへの道が開けた。

ただし、当面、見直しは限定的なものに留まる見込みである。連立協定では、既設炉の運転期間の延長が盛り込まれたものの、新規建設の禁止は今後も継続するとされている。また、運転期間の延長もCDUとFDPで延長年数を巡って意見の対立がある。CDUは原子力推進派ではあるが、政治的な思惑もあり、慎重な姿勢を見せており、原子力はRESの大規模開発が成就するまでのつなぎのエネルギーと位置付けている。

(2) 電気事業者等の動き

そのため、E.ONやRWEなど電気事業者は国内では運転期間の大幅な延長を求めて行くとともに、新規建設は当面、欧州各地の子会社を通じて展開する方向である。

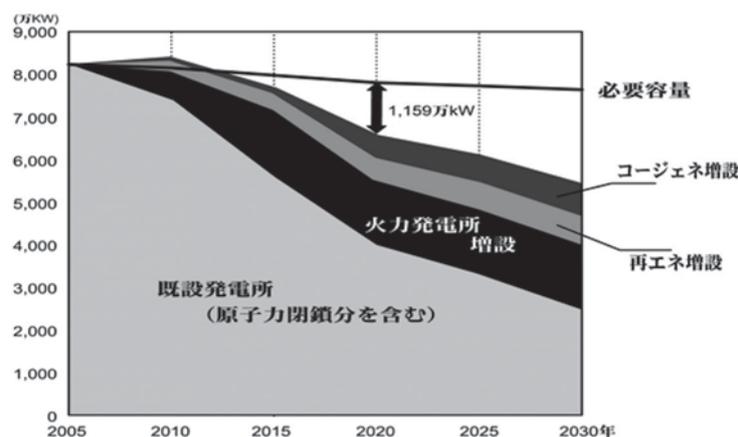
英国ではE.ON、RWEは共同会社を設立し、2つのサイトに合計600万kWの設備を建設する計画である。RWEは別途、2つの新規サイトでの建設も計画している。

また、RWEは英国だけではなく、ブルガリア、ルーマニアの原子力発電所建設にも参加する予定である。一方、E.ONはフィンランドのフェンノボイマ社が計画している新規原子力発電所(150~250万kW規模)の建設計画に34%の出資を行っている。

メーカーでは、国内で建設計画がない中、仏AREVAと組んでいたシーメンス社が、2009年、AREVAからの資本撤退を表明し、ロシアのロスアトムとの提携に転じた。

Ⅲ. 原子燃料サイクル

ドイツもかつてはフランス、日本同様、再処理リサイクル路線を取っていた。70年代にはフランス、英国に再処理委託を行うとともに、ゴアレーベンに再処理を含むバックエンドセンターの建設を計画していた。しかし、80年代に入り原子力反対運動が激化し、再処理施設の建設計画が中止されるとともに、高速増殖炉も運転中止となった。1994年には直接処分もオプションとして認められるようになったのに続いて、2002年には上述の脱原子力に合わせて再処理が禁止(2005年7月以降)となり、発



出典：ドイツエネルギー機関(DENA)2008年資料

第1図 ドイツの電力供給力予想

電所サイト内での中間貯蔵施設の建設が求められた。

濃縮については、オランダ、英国との共同事業ウレンコを継続しており、遠心分離方式のグローナウ濃縮工場(年間製造能力1,800トンSWU)が運転されている。

Ⅳ. 放射性廃棄物処理処分

放射性廃棄物の処分責任は、連邦の環境・自然保護・原子炉安全省・放射線防護庁(BfS)にあるが、実際の研究開発、建設・運転は、その委託を受けて「廃棄物処分施設建設・運転会社」(DBE)が実施している。

高レベル放射性廃棄物は深地層処分する方針である。1977年にゴアレーベンが候補サイトとして選定され、調

査が行われてきたが、前述のように2002年に凍結された。しかし、2010年3月、環境相は連立協定に従い、凍結を解除する方針を示した。今後、政府は2010年中に同サイトの安全要件に関する同意を表明し、7年間で安全審査、さらに13年間で許認可審査を行う意向である。

現在、使用済み燃料は中間貯蔵施設で貯蔵されている。施設は各発電所サイト内のほか、ゴアレーベン、アーハウス、ノルトに集中貯蔵施設がある。ゴアレーベンには、ガラス固化体など英仏への再処理委託で発生した返還廃棄物も貯蔵されている。

一方、低中レベル廃棄物処分施設は、現在、コンラッドに建設中である。

学会誌への投稿記事の採否に関する判断基準

日本原子力学会編集委員会

学会誌への投稿は、記事原稿の作成に先立ち、記事提案書(学会HPに記載)の提出が必要となります。提出された記事提案書は編集委員会で審議し、通過したものについて記事原稿を提出していただくことにしています。

投稿記事の内容については著者に責任がありますが、記事提案書の審議において、投稿記事が下記のいずれかに該当すると判断した場合は、学会誌に掲載することをお断りすることになっています。なお、記事提案書に基づいて執筆された記事原稿につきましても、下記のいずれかに該当すると判断した場合や、記事提案書と異なる内容の原稿が提出された場合は、掲載することをお断りすることになっています。

- (1) 事実を無視し、あるいは歪曲した意見。
- (2) 真偽が不明な内容を含む場合。
- (3) 文章に論理性がない場合。文章が意味不明な場合。
- (4) 掲載することにより、学会の品位に傷がつく恐れがある場合。
- (5) 良識に欠けるとされる意見。例えば、個人あるいは組織の中傷・誹謗、一方的な極め付けなど。
- (6) 美醜、好悪に類する判断に依拠している場合。
- (7) すでに掲載された記事と同様の内容である場合。
- (8) 商業的な広告・宣伝などを目的とする場合。
- (9) 会員にとって掲載する価値がない場合。
- (10) 余り期間を空けない同一者からの投稿。

(註1) 記事提案書の審議結果については約1か月で事務局よりお知らせいたします。

(註2) 掲載否の場合、該当事由の番号をお知らせしますが、それ以上の説明は致しません。

(2010年 6月4日 改定)

連載
講座ICRP 新勧告
—新しい放射線防護の考え方と基準

第4回 放射線防護の基礎—防護体系と原則

近畿大学 杉浦 紳之

I. はじめに

放射線防護の基本的考え方は、放射線・原子力利用の歴史とともに変遷し、体系化の観点からみれば1990年勧告(Publ. 60)においてほぼ完成され、2007年勧告(Publ. 103)でその間の発展が整理され、まとめられた。

2007年勧告の総括に勧告の特徴が示されているが、本稿で扱う防護の基礎概念、防護体系と原則に関する事項について、下記の点が述べられている。

- ・委員会が勧告した放射線防護の3つの基本原則(正当化, 最適化, 線量限度)を維持し, 被ばくをもたらす放射線源と被ばくする個人についてこれらの基本原則をどのように適用するかを明確化したこと
- ・従来, 放射線被ばくに関係する人間活動を, 被ばくを増加させる「行為」と被ばくを減少させる「介入」に区分し, それをベースに防護概念を組み立ててきたが, 本勧告では, 被ばく状況を「計画被ばく/緊急時被ばく/現存被ばく」の3つに整理した上で, 個々の被ばく状況に対して放射線防護の基本原則を適用する形に発展させたこと
- ・計画被ばく状況におけるすべての制御されている線源からの実効線量と等価線量に対する個人線量限度を維持したこと

次回以降の各被ばく状況についての詳細な解説に先立ち, 基礎概念・防護体系と原則について解説する。

II. 防護の基礎と体系

2007年勧告では, 放射線防護の目的と対象について第2章に述べられており, 目次は以下のとおりである。

2. 勧告の目的と適用範囲

2.1 勧告の目的

New ICRP Recommendation—New Radiation Protection Principle and Standards(4); Basic System and Principles of Radiation Protection: Nobuyuki SUGIURA.

(2010年 5月21日 受理)

各回タイトル

第1回 放射線防護の歴史的展開

第2回 放射線防護の生物学的側面

第3回 放射線防護に用いられる諸量

2.2 防護体系の基礎と構成

2.3 勧告の適用範囲

2.4 除外及び免除

1. 勧告の目的

勧告の主な目的は「被ばくに関連する可能性のある人の望ましい活動を過度に制限することなく, 放射線被ばくの有害な影響に対する人と環境の適切なレベルでの防護に貢献する(26項, 以下, 項番号は断りのない限り Publ. 103)」ことである。ここで目に留めておくべき言葉は「望ましい」である。有害な影響のみをもたらすものであればそのものの利用自体が認められないはずで, 人に社会に有益で望ましいことであるからこそ利用がある。したがって, 正当化や最適化の議論が重要であり, 過度に制限することがないようバランスのとれた判断が放射線防護上要求されることが強調される。

「放射線防護体系は, 第1に人の健康を防護することを目的としており, すなわち, 確定的影響を防止し, 確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させることである。(29項)」

ここで, 「人の健康」とあるが, ヒトとカタカナで表されていないのは単に生物学的な影響を論じているのではないからであり, 家族があり仕事をする社会の中で生きている人間を放射線防護では対象としていることも忘れてはならない。

第1が人ならば第2は何か。環境を新たに防護対象に含めたことは2007年勧告の大きな変更点の1つである。詳細については, 本連載講座の最終回で解説されることになっているので, そちらを参照されたい。

2. 防護体系の基礎と構成

1990年勧告における放射線防護体系は, 人間活動を行為と介入の2つに区分し, それぞれに正当化, 最適化, 線量限度(行為のみ)を適用すると述べられている(Publ. 60 112-113項)。したがって, まずは2×3のマトリックスとして考えればよく, 枠組み全体の把握は比較的容易であったと考えられる。

2007年勧告は, 従来とは異なりドラフトがパブリックコメントにかけられたことから, 検討の経緯を関係者が

知ることができた。途中、Controllable dose や PAL (Protective Action Level) といった用語が現れ、線量限度の廃止も提案されるなど、最終案となるまで様々な検討が行われた。冒頭にも述べた通り、2007年勧告への改訂は防護概念の発展と整理のために行われた。検討の最終段階に至るまで構成要素の羅列となっていた嫌いがあり、ドラフトの勉強をよく行った者ほど全体像の把握、つまり切り口としてどの順番で考えればよいかについて混乱が残ったかもしれない。

個々の具体的内容については、第2章に述べられている部分もあるが、第5章「人の放射線防護体系」に詳しいので、次のⅢで解説することとし、ここでは主に構成(体系)について述べる。

放射線防護体系の主要な構成要素は、以下のように要約される(40項)。

- ・放射線被ばくが生じるかもしれない状況の特徴づけ(計画被ばく状況、緊急時被ばく状況、現存被ばく状況)
- ・被ばくのタイプの区分(起こることが確実な被ばくと潜在被ばく、さらに職業被ばく、患者の被ばく、公衆の被ばく)
- ・被ばくした個人の同定(作業員、患者、公衆の構成員)
- ・評価の種類のカテゴリー化(線源関連と個人関連)
- ・防護原則の正確な記述：正当化、防護の最適化、線量限度の適用
- ・防護対策又は評価を必要とする個人線量のレベルの記述(線量限度、線量拘束値及び参考レベル)
- ・線源のセキュリティ及び緊急時への備えと対応のための要件を含む、放射線源の安全のための条件の明確な説明

40項の記述の順序に従って、第1表のように被ばく状況と被ばくのタイプのマトリックスでまず考え、そこに個々の防護原則を適用すると考えるとわかりやすい。

1990年勧告と比較してみると、放射線防護体系として前面に出されていた正当化、最適化、線量限度の基本原則の適用がかなり後の方で記述されていることに気付くであろう。これは、「放射線被ばく状況は様々であり、また幅広い適用範囲にわたって一貫性を達成する……。この体系は多数の被ばく源を取り扱わなければならないが……。この防護体系は、このような複雑なネットワークを1つの論理的構造により取り扱うことができるよう

第1表 被ばく状況とタイプのマトリックス

	職業被ばく	医療被ばく	公衆被ばく
計画被ばく			
緊急時被ばく	(個々に防護原則を適用)		
現存被ばく			

に策定された(31項)。』とあるように、放射線・原子力利用の種類・範囲が増大し放射線防護方策が必要となる対象・状況も拡大してきたことが背景にある。したがって、まず被ばく状況の整理を徹底して行った上で、一貫性のある1つの論理的構造としての放射線防護の基本原則を適用しようと考えたのである。

Ⅲ. 防護体系の具体的内容

2007年勧告の第5章の目次は以下のとおりである。

5. 人の放射線防護体系
 - 5.1 線源の定義
 - 5.2 被ばく状況のタイプ
 - 5.3 被ばくのカテゴリー
 - 5.4 被ばくした個人の同定
 - 5.5 放射線防護のレベル
 - 5.6 放射線防護の諸原則
 - 5.7 正当化
 - 5.8 防護の最適化
 - 5.9 線量拘束値と参考レベル
 - 5.10 線量限度

1. 線源の定義

「線源」は、単一の物理的な線源(例えば、放射性物質又はX線装置)、施設(例えば、病院又は原子力発電所)若しくは手法あるいは類似の特性を持つ物理的線源のグループ(例えば、核医学的手法又はバックグラウンド若しくは環境放射線)でありうる。(174項)」と様々に記述されていることから、防護対象とすべき線源をどのように考えたらよいかという議論を聞く。この答えは175項に、「線源の定義は、最適化にふさわしい適切な防護戦略の選択に結び付いているであろう。」とあり、どうすべきかが定められているものではなく、防護を考える個々の状況で主体的に定めることができるものととらえるべきである。ただし、許可対象など規制上のものについては監督官庁と明確にしておく必要がある。

2. 被ばく状況のタイプ

すでに述べた通り、被ばく状況は、①計画被ばく状況、②緊急時被ばく状況、③現存被ばく状況の3つに分けられる。(176項)

- ・計画被ばく状況は、例えば原子力発電のように、放射線源を意図して使用する状況である。
- ・緊急時被ばく状況は、例えば原子力発電所事故による環境汚染のように、計画被ばくの運用、悪意ある行動あるいは予想もしない状況から発生した好ましくない結果を避けたり減じたりするために緊急の対策が必要とされる状況をいう。
- ・現存被ばく状況は、例えば高自然バックグラウンド

地域での居住のように、管理(防護方策)の導入について検討が必要とされるような長期にわたる被ばくが存在する状況である。

従来の行為と介入との関係では、行為が計画被ばく状況に相当し、介入が緊急被ばく状況と現存被ばく状況に分けられたと考えてよい。変更の理由として、緊急時被ばく状況と現存被ばく状況はまったく異なる状況であるので、介入として1つの範疇とせずに分けて考えた方がよいということはもちろんあるが、むしろ「状況」と「対策」をはっきり分けて考えようとしたことの方が重要である。上述した通り、複雑な被ばく状況の整理を徹底して行うという考え方が貫かれているのである。

このことが明確になるよう該当部分の記述を抜粋して以下に示す。

「今後もこの用語(行為)を、放射線被ばくの増加を生じさせる活動を意味する用語として引き続き使用するであろう。(48項)」

「この用語(介入)の使用を被ばくを低減する防護“対策”の記述に限定し、一方で、“緊急時被ばく”又は“現存被ばく”という用語を、被ばくを低減するためにそのような防護対策を必要とする放射線の被ばく状況を記述するために使用することがより適切である。(50項)」

複雑な被ばく状況の整理に関連して、「人の被ばくの原因となるプロセスを、事象と状況のネットワークとして考えると都合が良い。このネットワークの各部分は線源から始まる。放射線や放射性物質は、次に、環境や他の経路を通して個人の被ばくへとつながる。最後に、放射線又は放射性物質による個人の被ばくが(個人が放射線を受けることによって)個人の線量になる。(169項)」との記述がある。この部分は、放射線管理マニュアルなどによく記述されている①線源管理、②環境管理、③個人管理に通じるところといえよう。

3. 被ばくのカテゴリー

被ばくのカテゴリーについては、従来通り、①職業被ばく、②公衆被ばく、③患者の医療被ばくであり、変更はない。しかしながら、患者の医療被ばくは計画被ばく状況の1つではあるけれども被ばくの性質上、別に考えた方がよいことや、介助者と介護者の被ばく、研究における志願者等の問題も詳細に扱うために、第7章「患者、介助者と介護者、生物医学研究志願者の医療被ばく」として別の章を設けて検討している。

4. 被ばくした個人の同定

前述の3つの被ばくのカテゴリーに対応して、作業員、公衆、患者を別々に扱う必要がある。それぞれ自明であるが、留意点をいくつか示す。

(1) 作業員

「雇用主の重要な職務の1つは、被ばく源及び職業上

被ばくする作業員の防護の管理を維持することである。これを達成するために、委員会は作業員の分類よりも作業場所の分類を引き続き勧告する。線源を含む作業場の区域を正式に指定するように要求することは、それらの管理に役立つ。委員会は2つのそのような指定、すなわち管理区域と監視区域を用いている。(184項)」

繰り返しになるが、ネットワークが線源から始まり人につながることを意識した記述となっている。しかし若干の注意が必要で、作業員と作業場がセットになっている場合は構わないが、作業員がいくつかの作業場をまたぐこともあり(雇用主も1人ではない場合もある)、後述する個人関連の視点からの方策が重要となる。

さらに、職業被ばくの特別な考察が必要な事例として、妊娠中又は母乳授乳中の作業員の被ばく、航空機及び宇宙空間における被ばくが考察されている。

(2) 公衆の構成員

「委員会は公衆の放射線防護の目的について、従来の決定グループの概念の代わりに、“代表的個人(representative person)”を用いることを勧告する。(193項)」

公衆の構成員については、関連する人々すべてを個人モニタリングするわけにもいかず、どのような人を対象として線量評価を行うかの検討が必要である。公衆の構成員は様々な線源から被ばくを受け、結果として公衆の個人線量は高いものから低いものまで広く分布することになる。公衆の防護のためには(評価対象として)、ある線源から被ばくを受ける集団の中でより高く被ばくをしている個人を代表とする決定グループ(critical group)の概念が用いられてきた。公衆の線量限度は決定グループの平均線量に適用されるなど、決定グループの概念は有効に活用されてきた。

代表的個人の定義は Publ. 101に見られ、「公衆の線量は、環境濃度若しくは被ばく率と適切な習慣データ(食習慣などの行動様式)を用いて推定しなければならない。公衆の防護の目的として、線量拘束値の遵守の判断に用いられる人を定義することが必要である。これが代表的個人である。集団の中で比較的高く被ばくする複数の個人を代表する線量を受けるものであり、ほとんどは仮想的な存在である。(57項)」となっている。

変更の理由としては、公衆の構成員の線量評価に用いられる技術の進展、とりわけ確率論的手法の使用が多くなるようになったことが大きい。また、“critical”に危機的という意味合いがあることや、評価された線量は個人に対するものであるのに対して“group”という言葉がわかりにくいといったことも示されている。

(3) 患者

「患者個人に対する線量限度と線量拘束値は、委員会は勧告しない。なぜなら、それらは患者の診断又は治療の有効性を減少させるかもしれず、便益よりもむしろ害

になるからである。(195項)」

従来から、医療被ばくに線量限度が定められていない理由として、①放射線の医療利用による利益がはっきりしている、②医療関係者は患者の被ばく線量の最適化について努力している、③診断と治療では必要とする線量は異なり、一律に線量限度のような形で示すことができないなどが言われてきた。医療被ばくを、計画被ばくと別に考えるべき重要な理由がここに示されているものと考えられる。

5. 放射線防護のレベル

この節では、タイトルにもある放射線防護のレベルを示すための概念である線量拘束値、リスク拘束値、参考レベルについての記述がある。第5回「計画被ばく」で防護基準としてまとめてこの内容については詳述されることになっているので、ここでは線源関連と個人関連の説明を主として行ったあと、線量拘束値、リスク拘束値、参考レベルについては概念を紹介するのみに留めることとする。

「もし個人の線量が確定的影響のしきい値よりも十分に低いならば、ある単一の線源からの個人線量は他の線源からの線量とは無関係の効果を持つだけである(注：確定的影響のしきい線量以下の被ばくであれば、もたらされるのは確率的影響のリスクであり、しきい値なしの直線仮説によって、それぞれの線源から受けた線量の分だけリスクが増すことになる)。したがって、各々の線源あるいは一群の線源は、他の線源と独立に扱うことができる。しかし、各個人はいくつかの線源からの放射線に被ばくする。その結果、防護の有効性の評価は、個人線量をもたらし線源に関係させることもできるし(線源関連評価)、また、ある人がすべての関連する線源から受ける個人線量に関係させることもできる(個人関連評価)。(Pub.60 103項)」

かなりわかりにくい記述である。簡単にいえば、ある1つの線源を使用すれば、多くの公衆に被ばくがもたらされる。その1つの線源に着目して、個々人への防護方策全体が十分であるかという見方が線源関連評価である。一方、個人は様々な線源から被ばくを受ける。個々の線源について防護方策が取られているとしても、合計してみると個人の線量が線量限度を上回っているかもしれない、個人に着目した見方も必要である。これが個人関連評価である。防護の基本原則との関係でみれば、正当化と最適化は線源関連評価であり、線量限度は個人関連評価である(次節を参照)。

線量拘束値は、線源関連評価において、ある線源が1人の個人に与える線量の制限値を表す。Aという製薬会社の研究所は防護方策を導入して事業所境界の線量を低減する必要がある。どこまで下げればよいかの判断を行う場合、合理的な防護方策を取った状態、すなわち最

適化された状態の予測線量を基準とすることができる。これが線量拘束値である。線量拘束値とリスク拘束値の違いは、通常被ばくにおいて線量で評価されるか、潜在被ばくにおいてリスクで評価されるかの違いである。

また、参考レベルは意味合いとしては線量拘束値とほぼ同様である。線量拘束値は計画被ばく状況において用いられ、参考レベルは緊急時被ばく状況及び現存被ばく状況において用いられる。

「線源関連の制限は、複数の線源がある場合には十分な防護を提供しないであろう、という議論もありうるであろう。しかし委員会は、大抵の場合そこには支配的な線源があり、適切な参考レベル又は拘束値の選択が適切な防護レベルを保証すると推測する。(199項)」

施設の重畳の評価についての議論につながる。具体例で示せば、Aという製薬会社の研究所があり、道路を挟んでBという病院がある。どちらも放射線使用事業所で道路側の事業所境界の線量が0.6 mSv/年という状況であれば、道路の上の線量は $0.6 + 0.6 = 1.2$ mSv/年となり、公衆の線量限度である1 mSv/年を超えてしまうがそれでよいかという議論である。ここでICRPが述べている結論は、個々の事業所が十分に最適化を図っていれば、そのような状況は起こらないということである。AもBも最適化した結果、0.6 mSv/年ずつということはあるのではないかという疑問には、評価されるべき線量は正確には道路上の点ではなく代表的個人の線量であると答えよう。もちろん、ICRPの概念と放射線障害防止法の規定の話は別物であり、精緻な議論が必要になる場合もあろう。放射線審議会基本部会での2007年勧告の法令取り入れの議論はまだ中途であるが、中間報告の取りまとめの際に行った最適化(線量拘束値)に関する議論では、通常は道路上の点の評価で十分であり、もし必要があるなら代表的個人の線量拘束値を評価することも可能という意味合いの整理であったと記憶している(このような具体的な問題設定をした議論ではなかったが)。

6. 放射線防護の諸原則

「2つの原則は線源関連で、すべての被ばく状況に適用される。

- ・正当化の原則： 放射線被ばくの状況を変化させるいかなる決定も、害より便益を大きくすべきである。
- ・防護の最適化の原則： 被ばくする可能性、被ばくする人の数、及びその人たちの個人線量の大きさは、すべて、経済的及び社会的な要因を考慮して、合理的に達成できる限り低く保たれるべきである。

「1つの原則は個人関連で、計画被ばく状況に適用される。

- ・線量限度の適用： 患者の医療被ばくを除く計画被

ばく状況においては、規制された線源からのいかなる個人への総線量も、委員会が勧告する適切な限度を超えるべきではない。(203項)」

1990年勧告から内容について変更になったことはあまりない。1990年勧告の行為に対する防護原則(介入に対する原則は線量限度の適用はないため)を引き続き防護体系の基本と考えるとされていることと、線源関連・個人関連と個々の原則の関係が明記されたことが目につくところであろう。

正当化について、「正当化は正味便益がプラスであることが必要である、とだけ勧告する。利用できる代替案全ての中から最良のものを採り出すことは、放射線防護当局の責任の範囲を超えた課題である。(205項)」とあり、正当化の概念は堅持するものの、放射線防護上の考察だけでは閉じることができない限界も示している。一方で、医療被ばくの正当化の重要性が209項で強調されたり、正当化されない被ばくとして「放射性物質の故意の添加又は放射化により、食品、飲料、化粧品、玩具及び個人の宝石や装飾品などの製品の放射能を高めること。(210項)」といった具体的な記述がされていることにも注意が必要である。

放射線防護の考察において、最適化が重要であることは1990年勧告においても強調されていたが、2007年勧告でも引き続き同様である。線源関連アプローチが重要であるという記述があったり(197項)、線量拘束値及び参考レベルの重要度が高まったため、5.9「線量拘束値と参考レベル」(225-242項)という独立の節が設けられ、詳細な記述がされていることから知ることができる。

前述の通り、2007年勧告第5章の線量拘束値及び参考レベルから後の記述については線量限度を含めて、次回の記事に防護基準として委ねることとしたい。

Ⅳ. おわりに

2007年勧告は、基本的に従来の内容を変更しておら

ず、1990年勧告からの進展を含めた整理を行ったと説明される。整理の眼目は、本稿で述べた通り、複雑な被ばく状況に向けられた。拙い解説ではあったが、この理解の上に次回以降の個々の被ばく状況の解説を読み進めていただければ理解が進むものと信じる。

我が国における放射線防護の議論、とりわけ放射線審議会における2007年勧告の法令取り入れや原子力安全委員会における放射線防護の基本的考え方の検討に代表される行政(文部科学省、原子力安全・保安院)における議論において、現在の新しい考え方は何かを大切にしている方向性が強くなっていると感じている。審議は公開であるし、検討結果はパブリックコメントにもかかる。この一連の連載講座がそのような機会に参考となれば幸いである。

—参考資料—

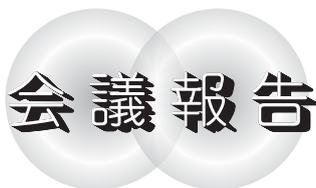
- 1) ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals ICRP, 37[2-4], (2007).
- 2) ICRP Publication 60, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals ICRP, 21[1-3], (1991).
- 3) ICRP Publication 101, Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and the Optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process, Annals ICRP, 36[3], (2006).

著者紹介

杉浦紳之(すぎうら・のぶゆき)

近畿大学 原子力研究所
(専門分野/関心分野)放射線防護





RI や放射線をいかに利用するか 第45回 RI・放射線利用促進セミナー

2010年2月19日(名古屋商工会議所, 名古屋市)

RI や放射線は両刃の剣で使い方を誤れば大変な事態も招く可能性があるが、危険性を認知し適切に使えば応用範囲は限りなく広がる可能性を持っている。本セミナーの主催は日本原子力産業協会中部原子力懇談会である。

サイエンスへの利用

生命の起源は人類に遺された最大の謎の一つである。横浜国大の小林憲正氏による「生命の起源と宇宙—宇宙線による有機物の生成の検証」に関する講演では、生命の誕生以前に、アミノ酸などの生命をつくる有機物がどこでいかに生成したか最新の研究成果が報告された。生命をつくる有機物は宇宙から地球に届いた可能性がある。原始地球には現在よりはるかに多い頻度で隕石や彗星が衝突したであろう。炭素を多く含む隕石「炭素質コンドライト」からは多種類のアミノ酸などが検出、土星の衛星タイタンには大量の有機物が存在し、タイタン大気を模擬した窒素・メタンからなる混合気体に加速器からの陽子線を照射すると、アミノ酸を生ずる高分子有機物のもやが生成することがわかった。

計測技術実用化への応用

日本分析センターの天野による「加速器質量分析(AMS)—環境科学や保健物理への利用」では、AMS法は、放射能測定によらず、極微量の長半減期放射性核種等を高感度・高精度に測定でき、すでに実用段階に入っており、年代測定に係わる考古学のみならず、地球化学、環境科学、保健物理などの分野でも威力を発揮し、今後ますますの利用が見込まれている。北九州で発掘された遺跡からのすす等の解析により、わが国の弥生時代開始がこれまで考えられていた時代より数百年も遡ることなど、新たな発見が見い出されている。また AMSによる¹⁴Cをもちいて地球温暖化を解析するのも最近のトレンドであるし、¹²⁹Iを用いての海水流動も研究されている。

有用 RI 生産への期待

日本原子力研究開発機構 河村弘氏「世界を代表する照射試験炉 JMTR の新たな挑戦—医療診断用放射性同位元素⁹⁹Mo の国産化に関する技術的検討」で、^{99m}Tc(半減期: 6 h)は日本国内で流通する医療用 RI の約80%を占め、年間約100万件のがん等の診断などに利用されているが、^{99m}Tcの親核種である⁹⁹Mo(半減期: 66.7 h)は我が国では全量を輸入しており、国内生産による安定供給が切望されている。平成23年度からの JMTR 再稼働の主な役割の一つとして産業利用の拡大があり、中性子放射化反応による⁹⁹Mo 製造の国産化について技術的検討を行っている。ウランを用いない核不拡散上有効な(n,

γ)法を用いることで、現在のわが国での輸入量の約20%に相当する⁹⁹Moの供給が可能である。これまでは照射ターゲットとして三酸化モリブデン粉末に樟脳を混合して加圧成型・焼結していたが、粉末を直接加圧成型し焼結することで製造時間を大幅に短縮できるとのことである。

ビジネス分野における応用と利用普及

照射食品とは、野菜や根菜の芽止めや、付着する昆虫および寄生虫の不妊化、病原菌の滅菌、一般細菌の殺菌などを目的に、放射線(ガンマ線、電子線、X線)を照射した食品のことである。現在、世界では約30カ国で約40品目が実用化されているが、我が国では食品衛生法で食品への放射線照射を原則として禁止し、発芽防止の目的での⁶⁰Coのガンマ線によるジャガイモの照射は特例として認可している。海外では流通している照射食品でも我が国への輸入は禁止されている。国立医薬品食品衛生研究所の宮原誠氏「照射食品の検知法の現状」では照射食品の検知法などについて紹介、代表的な検知法は食品を放射線照射すると食品に極微量含まれる石英などにより生ずる発光 TL を計測する TL 法で専用の測定装置も開発・実用化されている。EU では TL 法が一般的に使われているが TL 法にもいくつかの判定法がある。TL 法のほかにも試料にマイクロ波を照射し共鳴磁場を測定する ESR 法についても紹介した。

わが国では照射食品に関しては、世界の動向も見極めたうえで改めて国民的な議論が必要と思われる。

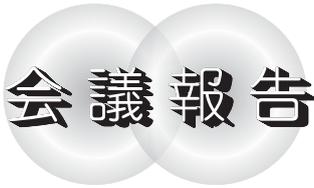
セキュリティ・安全管理の重要性

文科省放射線規制室の村上恭司氏「最近の放射線安全行政の動向について」では、放射性同位元素等の管理の強化を強調、医療用・溶接検査用などの大線源 RI も、セキュリティー(テロの道具に使われないかの懸念)について、行政の責任として管理の具体化、実効性の確認などが重要であり、原子炉等規制法に準じたクリアランス制度を放射線障害防止法においても導入する方針で、大学や研究所廃棄物について適用する予定とのこと。

本セミナーに出席し、RI・放射線の利用に関して改めてその利用範囲の広さを認識した。RI・放射線を厳しく管理することはもちろんであるが、リスクとベネフィットを考え、最終的な RI 処分方法も熟慮し、未来への大きなついても残さない方策を考える必要がある。

(日本分析センター・天野 光,

2010年 3月31日 記)



制御室近代化などの安全運転に関する研究状況

拡大ハルデン・プログラム・グループ会議

2010年3月15～18日(ストアフィエル, ノルウェー)

10数年ぶりの日本からの参加

拡大ハルデン・プログラム・グループ会議では、OECD/NEA ハルデン・プロジェクトの加盟機関共同契約プログラム(2009～11年)の研究成果はもとより、加盟機関個別契約プログラムの研究成果や個別参加者の独自研究成果も発表される国際会議である(今回で第35回)。

ハルデン・プロジェクトの研究は、燃料や材料照射関係の研究と MTO(Man-Technology-Organization)関係の研究に大別されている。

1980年代には、わが国が先行していた MTO 関係も、ABWR プラント建設以降は急速にその活動を減速した。日本の加盟機関による MTO 関係への参加は10数年ぶりで、昨年度の日本原子力研究開発機構から引継ぎ後初めてである。近代化された制御室や新型炉のレビューの技術やガイダンスを得るための米国 NRC の急速なハルデン MTO への接近、デジタル技術などの新技術導入に伴う MTO への新たな回帰など欧米の最新の状況把握のために参加したので、報告する。

今回、19ヶ国から163名の参加があり、そのうち MTO 関係は77名で、日本からは報告者1名のみであった。プロジェクトの実施主体であるノルウェー・エネルギー技術研究所の研究者約130名と一緒にバスで移動し、首都オスロから約3時間半のストアフィエル・リゾート・ホテルにて会議が開催された。

会合の全体の動向

会議初日の合同セッションは、会議ホスト機関であるハルデン・プロジェクト・マネージャのウブレ所長の歓迎の挨拶で幕を開けた。基調講演では、スイス・ポール・シェラー研究所から人間信頼性評価(HRA)に関する多国間共同研究の状況報告が行われた。この研究は、13ヶ国15組の HRA チームが参加する共同研究である。ハルデンの原子炉シミュレータを用いて PWR プラントの事故シナリオを模擬し、スウェーデンの実機運転クルーが被験者として対応した状況を観察したビデオを分析する。その分析結果と、HRA 研究者が事前に予測した主要な行動形成因子 PSF とを比較評価するものである。

合同セッションの最後に、次期(2012～14年)共同契約プログラムの研究テーマについて発表があった。MTO 関係については、計算機化された次世代の中央制御室における人間とシステムのインタフェース(HSI)や少数精鋭な運転員数の研究、定検作業時の現場や中央制御室をネットワーク化した停止時管理センター構想、デジタル計装制御の導入に伴うソフトウェア信頼性(検証と妥当

性確認や共通原因故障と誤差伝播)などが挙げられた。

MTO 関連研究の概要・日本の経験との差異

初日午後からの発表は、燃材料関係と MTO 関係の2つの会場に分かれ、並行したものとなった。MTO 関係では、①ヒューマン・パフォーマンス(14件)、②制御室近代化および HSI 設計と評価(19件)、③可視化技術(12件)、④ソフトウェア・システム信頼性(12件)、⑤プラントの運転と保守(9件)の5セッションで計66件が発表された。

ヒューマン・パフォーマンスでは、運転クルー構成などの国別の差異についての運転文化の研究状況、スウェーデンにおけるプラント性能指標に応じた根本原因分析による人的・組織的要因の区分状況、フランス原子力庁による液体金属冷却高速増殖炉 LMFBR の緊急時運転手順書に対する提言、次世代炉のためのヒューマンファクター研究のトピックス(米国 NRC)などが報告された。運転文化については、異常事象発生後の運転員操作のヒューマンクレジットである30分ルールの解釈や当直長の配置が米国と欧州で異なるので、その差異が自動化設計に及ぼす影響を研究中である。

制御室近代化および HSI 設計と評価では、大型スクリーンやマルチ・タッチ・インタフェースの効果、フランス電力公社による停止時管理センター構築状況などが注目された。大型スクリーンの効果に関して、ABWR プラントで効果があった運転クルー・コミュニケーション増加の効果が挙げられてない理由を質疑し、欧州のプラントでは当直長が運転クルーから離れた配置であることによるとの回答があった。

可視化技術では、仮想現実感や拡張現実感技術の成果、フランスアレバ社による欧州加圧水型原子炉 EPR の制御室設計に使用する3Dモデル化ツールなど先端技術が報告された。ソフトウェア・システム信頼性では、世界的にも関心が高い、米国 NRC が2009年に公表したデジタル・システム研究プラン2010～2014年(ドラフト版)の改定方針が発表された。プラントの運転と保守では、欧米が先行している状態監視保全向けの状態監視システムの実績などが発表された。

デジタル化・先進技術適用など今後の取組み

以上、デジタル技術などの先進技術の導入に対する欧米の取組みなど、今後、わが国でも取り組むべき技術の進捗状況を改めて確認できた。大変参考になる会議であり、継続的かつ広範な研究者の参加を期待したい。

(原子力安全基盤機構・久保田龍治、

2010年4月22日記)



学生としての自由な対話を未来に繋げる

日米学生会議の伝統と挑戦

第62回日米学生会議 実行委員長 安川皓一郎

1. 日米学生会議の沿革—将来に繋がる対話の生まれる場所

「世界の平和は太平洋の平和にあり、太平洋の平和は日米間の平和にある。その一翼を学生も担うべきである」この言葉の下に1934年に創設された日米学生会議(英文名称: Japan-America Student Conference, 以下 JASC)は、日本初の国際的な学生交流プログラムである。

JASC 創設のきっかけは1931年に勃発した満州事変にある。満州事変への国際社会からの批難の声が高まる中、日本のイメージが必要以上に悪化する状況を憂いた4人の日本人学生は太平洋を渡り、自らの手でその状況を打破するため、米国の学生に日本と満州の真実を見せようと全土の大学から参加者を募った。これが第1回 JASC の出発点である。そして以後、太平洋戦争勃発に伴う会議中断をはじめとした、幾多の困難を乗り越えながら現在まで、共同生活とディスカッションという主軸を変えずに75年の歴史を築いてきた。学生同士の率直な対話が相互理解を深め、将来の平和の実現に貢献するという創設者の信念は継承され今日に至り、創設時より学生自身の手による会議の企画、運営が行われ続けている。

旧来は日米学生会議として、両国間に横たわる問題にフォーカスした会議が行われてきたが、現代では両国の立場から世界の社会問題について考えるというスタンスに移行しつつある。成熟し尽くしたといわれる日米がいかに国際社会に貢献していくのか。私たちは常にそのような視点を持ちながら活動をしている。

2. 日米学生会議の活動—様々な体験から「共に考える」場として

JASC とは、異なる個が集まり、様々な体験をもとに「共に考え抜き」、そして「衝突と共鳴」を繰り返す場である。オバマ大統領は就任演説で「新たな責任の時代」というメッセージを世界に発信したことは記憶に新しい。そのメッセージの中で彼は、我々に全世界の一人一人の個人が社会に対して確かな責任を負う時代の到来を説いていた。それでは今、学生である私達の責任とは一体何なのであろうか？それは未来の担い手として、今ある複雑な世界の問題を「自ら解くべき課題」としてとらえ直し、

真摯な姿勢で「共に考え抜き」ことだ。学生である今だからこそ、あらゆる縛りを超え、異なる背景と考えを持つ個人が自由に意見を表明できる。そして誰にも縛られない本音の対立から逃げないことで、未来を作る「絆」が生まれる。これが「衝突と共鳴」である。

JASC の主たる活動としては、全参加者が参加することになる7つの分科会でのディスカッションがある。加えて全体の活動としては、フィールドトリップやホームステイなど、各地の文化や人との交流を通して各自の視野を広げ、討論と対話の充実を図る。また開催各地で行うフォーラムでは、分科会での討論の結果など本会議の成果を社会に向けて発信する。このような複合的なプログラムを通して、参加者たちはおのおのの言葉を互いにぶつけ合い、対話力を磨いていく。後に述べるが、この対話力はリーダーシップと大きな関わりがある。

3. JASC から考察する—リーダーシップとはなにか

JASC OB には、故宮澤喜一首相、ヘンリー・E・キンシジャー元国務長官など、名実ともに世界のリーダーたる人材を輩出してきたと同時に、脳科学者の茂木健一郎氏や元 NASA 宇宙医学研究所員などの各分野をリードしてきた人材もいる。余談ではあるが、このような先輩方と気軽に話すことのできる環境もまた、我々学生にとっては刺激的な経験である。自らの想像する将来を現実にした各界トップの方々との対話の機会もまた、JASC でしかできない体験である。

さて、話を戻すと JASC の経験から考察するリーダーシップとはいかなるものなのだろうか？私自身リーダーシップとは何か探り続けている状況であるが、少なくとも、リーダーといわれる存在に必要な素養については JASC を通して理解することができる。それは、互いの違いを受け入れ、認めることができる力であり、かつその上で相手の立場に立って物事を考えられる力である。

JASC 参加者たちは1ヵ月の期間を通して、「人と人」の関わりあいの難しさに直面する。JASC の1ヵ月間は4つのフェーズに分けることができるだろう。「1. 日米相互不安」「2. 日米相互疑念」「3. 日米国交断絶」「4. 日米相互理解」である。大学生同士が1ヵ月もの間寝食を

共にし、毎日、顔を突き合わせて討論をする。これだけでもストレスフルな生活だが、その中に異なる文化を持つ見知らぬ外国の学生が現れた瞬間、多くの学生が残りの時間に不安を覚えます。その不安と共に感じる多くの違いは苦痛以外の何者でもない。そしてその苦痛は相手を拒絶する姿勢につながっていく。しかし、最後の1週間となったとき学生達は、それまでの時間の心のぶつかり合いすらもが大切な時間であったと気づき、互いの違いを超えて絆を結んでいく。この絆こそが青臭くも生涯にわたる最も大切なものなのである。

全員がその絆を結ぶきっかけ、それはこの第3フェーズから第4フェーズに向かう際、周りをリードできる限られた学生達にこそ存在する。この学生たちは、それまでの3週間の間に多くのコミュニケーションをとり、曖昧な「違い」を綿密なコミュニケーションを通して具体的な言葉として相手から直接聞いている。そしてその違いの本質に気づき、受け入れ、相手のために自分を変えることができる力を持っているのだ。その学生達の姿勢を通してJASC参加者は全員が同じ力を手にしてそれぞれの生活に戻っていく。これがJASC参加者たちの将来のリーダーシップに繋がっていくのではないかと考える。

1ヵ月という時間を通して、日米学生会議ではおのおの本音は徐々に見えるようになり、飾らずに生きることの難しさに気づき、表面的な言葉だけではやり過ごすことはできない人間同士の深い関わり合いを持つ。20年近く自分を確立してきた学生たちですらも、1ヵ月間の間に少なからず飾り立ててきた「自分」が音を立てて壊れていくのだ。しかし、その飾らない自分ですらも受け入れてくれる仲間ができたとき、人は自信を持って自分自身を柔軟に修正していけるのではないだろうか？

仲間に見守られ、新たな環境でいかに自分の築きあげてきたものが崩れようとも、また新しい自分を見つけていく。「一つの自分」に留まらず、新たな価値観にふれ、新たな物事を体験し、今まで関心のなかった物事にチャレンジする。そこから自己を修正していける力、そういった柔軟さこそがリーダーとしての土壌であろう。

4. これからの日米学生会議の目指すもの—様々な多様性を求めて

昨今、国際交流プログラムは充実し、個々人で留学することも容易となっている。しかし、そのような中でも1ヵ月間の充実した「人と人との関わり合い」をするJASCはなお、他に類を見ない貴重な機会であろう。その証拠に、本年度の会議には28名の枠に対し、北海道から宮崎県までの全国の大学から267名の応募があった。

JASCでは毎年、医学生を初めとし、様々な専攻の理系学生も自身の専門分野とは異なる安全保障や社会起業といった社会問題に関連する分科会に所属し議論を行う。彼らが一様に述べるのは、「他者に理解されない専門分野だからこそ、他者と対話しその価値を理解してもらう力が必要になる。学生の間には様々な他者と交流し、言葉を交わし、心を通わせる経験は、例え研究を主とする職業についてとしても色あせない貴重な経験である」ということだ。これからいかなる分野においても日本人は世界を視野にいれ、いかに国際社会に貢献できるかを追求していかなくてはならない。しかし、社会に出るその前に、学生という「縛られることなく自由な討論ができる環境」を最大限利用し、そのときになってからではできないおのおのの純粋な思いや考えの語り合いを大いにしてほしい。

私たちは、より多くの学生にこの“Life Changing Experience”を体験してもらえよう、地方大学へのパブリックリレーションズ活動をより充実させていく。語学や勉強ができる力を超え、それぞれのバックグラウンドの中でより多くの物事を経験し、考えてきた学生こそがJASCを活性化してくれるであろう。JASCでは毎年冬1～2月の間にエントリーを受け付けしている。自らの殻を破り新たな自分になるための“Life Changing Experience”を体験したい方はぜひ、2011年度開催の第63回日米学生会議に応募していただきたいと思う。

日米学生会議 HP : <http://jasc-japan.com>

E-mail : contact@jasc-japan.com

(2010年 5月26日 記)



第1回日米学生会議参加者(於 青山学院大学)



第61回日米学生会議参加者(於 青山学院大学)

日米欧原子力国際学生交流事業派遣学生レポート

CERN 滞在記

東京大学大学院工学系研究科
原子力国際専攻博士課程1年 小川 達彦

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

私が本事業(日米欧原子力学生交流事業)で活動したのは、欧州原子核研究機構(CERN)の物理部門 ATLAS グループというところです。滞在はCERNが雪で覆われる1月4日から、春めいた風が吹く3月31日までの3ヶ月間でした。CERNはスイス ジュネーブの郊外、スイスとフランスの国境沿いに位置しています。

CERNの最大の目的の一つは素粒子物理における知見の探求であり、世界でもFermi labを除けば、ここにしかないTeVクラスの加速器「巨大ハドロン衝突器(LHC)」が地下深度約80mにて運転中で、Higgs粒子発見に関する研究などが行われています。私の滞在中に、質量中心エネルギー7TeV(設計上の限界は14TeV)における陽子・陽子衝突実験が成功し、報道陣が駐車場を埋め尽くすほどの大騒ぎになりました。

私はその中核から少し離れ、施設の安全研究に携わりました。LHCは、陽子・陽子衝突をCMS, ATLASなど複数の検出器内で起こしますが、衝突時に放出された放射線が検出器を貫通すると周囲の建屋に拡散し、作業員や実験者の被曝を招きます。特に、ATLASは遮蔽壁が他と比べて薄く(おおむね2m)設計されているため、慎重な検証が必要です。私の仕事は、LHCとATLASの実際の設計値をインプットにして、厳密に放射線の漏れを計算することです。特に、ATLASの真上にある地上建屋(SX1), ATLAS側面にある実験坑(US15, USA

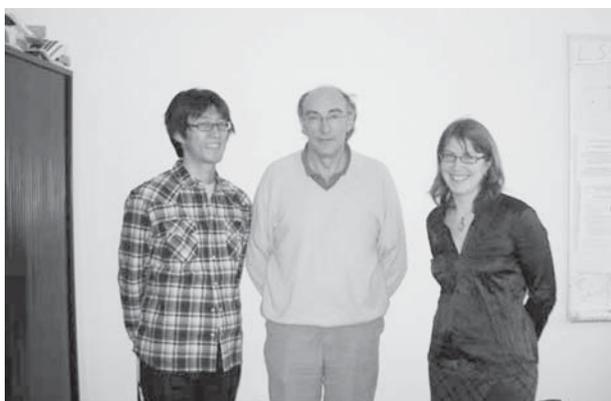
15)で線量が決定的になると予想し、そこでの評価を行いました。研究チームは、ATLASグループリーダーを務めるDr. Giuseppe Mornacchiを指導者とし、Dr. Zuzana Zajacovaと著者が実働人員というコンパクトなものです。Zuzanaと著者で計算コード(FLUKA)のお互いの知識を共有し合いながら、日々互いのデータを交換しつつ計算をし、2人で定期的にGiuseppeに報告をしては方針を微調整するという進め方でした。

この手の計算(遮蔽計算)のネックは計算時間です。巨大なATLASのことですから、ATLAS内で起こる放射線の生成・散乱すべての物理過程をそのまま再現すれば、数ヶ月・数年単位の長大な計算時間がかかり、現実的ではありません。そこで、例えば、放射線としての害が極めて少ないニュートリノを無視する、放射線が多いところでは追跡を粗くするなどの方法で、計算時間の問題をクリアしていきました。その結果、実験坑US15はLHC運転中に立入り禁止とすべきこと、SX1は追加のパラフィン遮蔽を設けないと、そこでの線量がCERNの放射線規則に引っかかってしまうことがわかり、報告書とATLAS改造計画会議での発表を通じて結果を報告してきました。この結果は、2010年6月の国際学会SATIF-10で発表されます。

CERNは特にヨーロッパの大学から多数の学生を受け入れており、彼らは卒業後もしばらくフェローとして残るため、私は同じくらいの年頃の友人(基礎物理の博士学生から、機械工学のテクニカルスタッフまで)に恵まれました。週末は食堂に集まってボードゲームに興じたり、劇場やお祭りに繰り出したりと、過ごし方に事欠いた記憶がありません。

最後に、このような機会を提供して下さった日本原子力学会日米欧原子力国際学生交流事業の先生方、手続きから放射線物理に至るまで全面的な支援をして下さったDr. Mornacchi, Dr. Zuzana Zajacova, 本派遣のお世話を下さった小佐古先生, Dr. Mikhail N. Morev, 各位に心から御礼申し上げます。

(2010年 4月19日 記)



研究チームの3名(中央が指導者のDr. Mornacchi, 右が同僚のDr. Zajacova)

異国での挑戦!!

奥村 智

ある日、一念発起をしてウィーンで自動車免許取得にチャレンジすることにした。そうは思ってもまず何をしたらいいかわからず、とりあえず日本大使館に確認、「前例はあんまりありませんねえ…」という不安な言葉だけを受け取り、まだ何もわからないまま、今度は地元の警察を尋ねる。そこでわかった仕組みはこう。日本の一発試験のようなシステムはない(要は必ず自動車学校に通わなければならない)、日本の指定教習所のようなものではなくプライベートの学校だけ、救助法の資格を持っていないといけない、専門医の運転可能という承諾書がある、等々である。「大変だー」と少し怯みはしたが、ここで時間を置いてしまうとますますやる気を損なってしまう!! と思い、すぐにもらったリストを基に数か所の自動車学校を訪れてみた。これも警察から聞いていたので織り込み済みではあったが、教習料に決まりはないため、本当に? と思うほど料金の違いがあった。また、どの学校もプライベートと呼ばれるだけあってとにかく小規模でももちろん、日本のような運転を練習するコースなどを持っているところはない。ただ、丁寧で親切、場所によっては説明の時にコーヒーの出るところまであったのは救いであり、気持ちも前向きにさせられたひとつであった。

心を決めて実際に通いはじめてみるとこれもびっくり。実技では、はじめ教官の運転する車に乗り工場跡地に連れていかれ、そこで基本的な動かし方を15分、そして「はい、道路に出て」という言葉と共にいきなり実践である。高速道路に乗ったのもここから40分後のこと、「本当にいいの?」と思うほどの展開であった。駐車練習も枠を使うのではなく、実際に路上に止まっている車の中に入れる。ぶつかってもお構いなしである。教官は涼しい顔をしているが、こちらは緊張で汗びっしょりである。トラムが多く走るこの国では独特の交通ルールもたくさんあり、わからないことだらけではあったが、「為せば成る」の言葉通りどうにか乗り越えた。

授業もあっという間に済み、ここまでたった2週間。「さあ試験!!」となったが、これもおもしろかった。実技は教官だけでなく交通局から呼ばれた試験官も乗りこみそこで採点を行うのだが、運転している間、本当によく話しかけてくる。そこに質問も織り交ぜられていて、運転にゆとりはあるのか、また交通ルールをわかって走っているのかということと同時に判断しているらしい。もちろん、採点にも加味される。また、学科の方はコン

ピュータを使い4択に答えるだけだが、日本と違い一問一答ではなく、ひとつの問題にいくつ正解があるか決まっておらず、場合によっては正解のない問題などもあり、「なんて悪質な!!」と怒鳴りたくなった。実技合格後に、学科試験で80%以上正解すれば、すぐに免許をもらえる。ただし、それでも1年間はプロベトといって練習期間となり、この期間はどんなに細かい違反でも許されず、あれば免許取消となる。また取得後4ヵ月でもう一度試験官にチェックを受けなければならないという決まりもあり、それらを乗り越えようとやっと正規の免許として認められる。

ちなみに、話はそれるが、オーストリアは飲酒運転に限っていえば非常に寛大で、ある程度飲んでいても違反にはならない(0.74プロミリから違反となる)。さすがワイン大国だけのことはある。それでも飲酒による事故をほとんど聞くことはない。免許の更新もなく、はじめの1年以外管理も甘いが、ドライバーの自覚に委ねることによってうまく機能している部分である。その他の違反もほぼ罰金で処理されている。それも日本よりはかなり安い金額であるが違反防止への役割は充分果たしているようである。

ウィーンの手車は激増しており、数年前まで渋滞という言葉に無縁であった街が、現在は混雑状況をラジオというほどになっている。また、ここでは1年で1万円程度払ってチケットさえ買えば、自分の住んでいる地域での駐車は路上でも自由にできるシステムなのだが、近年はそのスペースも少ないので、住居を建てる際にその建物の地下に居住者分の駐車場を作ることを義務づけている。他にも、今後もさらに増え続けるであろう車の交通状況を良くするために、路面電車の路線を通常の道路化するような計画も出されてきている。車の便利さは自覚するところであるが、この美しいウィーンが排気ガスまみれになる光景だけは見たくないものである。

(2010年 3月7日 記)



奥村 智(おくむら・さとし)

大学在学中であった19歳の夏休みに初めてこの地を訪れる。縁あってそのままウィーン国立音楽大学に入学、卒業後はロシア、ウクライナを中心に活動を行っていたが、2003年、学生の時にアルバイトをしていた旅行会社より誘いを受け、ウィーンに戻り入社。現在は独立をして現地法人を中心に、日本人を対象とした旅行会社を設立、その運営にあたっている。

世界の原子力をめぐる動きに高い関心

学会の「異常事象解説チーム」にはエール (4月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」4月号に対して寄せられた Web アンケートの結果をご紹介します。今回は75名の方から、回答がありました。

1. 高く評価された記事

Web アンケートでは、各記事の内容及び書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。4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	ATOMOΣ Special	世界の原子力事情(4) 欧州総括編 英国の原子力事情	4.00
2	NEWS	4月号	3.87
3	シリーズ 解説	我が国の先端原子力研究開発 No. 19 電中研 原子力発電所のリスクを定量的 に把握する	3.83
4	ジャーナ リストの視点	もんじゅ仕分傍聴記	3.75

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	談話室	WIN-Japan 主催「サイエンス・ ディナー in 松山」	3.78
2	ATOMOΣ Special	世界の原子力事情(4) 欧州総括編 英国の原子力事情	3.65
3	NEWS	4月号	3.64
3	羅針盤	綱渡りから脱却できるか	3.64

国内外の情報を発信する NEWS, ATOMOΣ Special が上位にきています。

2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 学会からのお知らせ「異常事象解説チーム(チーム110)が活動開始」に関して、今まで何かあったとき、聞かれた人がてんでに答えるために、正しい答えが返らず、マスコミに振り回されることがよくあった。今後そういうことがないように110番さん頑張ってください。
- (2) 解説「原子力発電の新しい保全への取組み」に関して、今回の新検査法で安全を確認しつつ無駄な時間と物質の浪費を繰り返さないように願いたい。
- (3) 報告「核廃絶に向けて」に関して、世界に核廃絶を呼び掛けていくのがいかに困難かがよくわかった。

3. 編集委員会からの回答

- (1) 上記(1)に関しては、今後の異常事象解説チームの活動に関しても、学会誌で取りあげてほしいという要望が多数ありました。
- (2) 4月号から、表紙が一新されました。「日展」へ出品された作品から、編集委員が選んでいます。

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

新刊紹介

物理学と核融合

菊池 満著, 258 p. (2009.12), 京都大学学術出版会.

(定価3,150円) ISBN 978-4876989317

著者の菊池氏は、長らく日本原子力研究開発機構でJT-60でのプラズマ閉じ込め研究開発、核融合炉の設計や開発戦略の策定等に携わってきており、50周年記念IAEA核融合エネルギー会議プログラム委員長を務めるなど、核融合研究を代表する第一線の研究者である。その彼が著したこの本は、佐藤文隆京大名誉教授が本の帯評で述べているように、プラズマ閉じ込めの物理の非常に大部な事項を手際よくまとめている。また、各章および節の主張がそのタイトルと副題に物理学の言葉でうまく表現されている。

本書は第1～2章の核融合反応の紹介で始まり、ビッグバン宇宙論で宇宙に水素がなぜ多く残り、星が核融合エネルギーを生み出しているのか、そして太陽を1億分の1のサイズで地上に実現する壮大な試みについて熱く語っている。第3～9章は、著者が専門としている、閉じ込め磁場のトポロジー、粒子運動論、MHD安定性、波動、輸送、乱流について斬新な記述がなされている。前書きに書かれている通り、本書は一般向けというよりも物理教育を受けた大学生・大学

院生を意識して記述されている。タイトルが「核融合・プラズマ物理学」ではなく「物理学と核融合」となっている通り、基礎物理学と数学が核融合の学問形成に有効に寄与していることをサロンやノートを交えて論ずるスタイルを取っており、核融合の記述のみに終始している本ではないところが面白い。かつて数学や物理学を専攻した読者にとっては、京大の長崎教授が核融合フォーラムの書評に書いているように、核融合・プラズマ物理学がいかにか他の数学・物理学分野と関連しつつ進展してきたかを知ることができるという意味で有益であるし、核融合の物理学分野での立ち位置を確認する上でも有益だろう。本学会の幅広い分野の方々にも、核融合の面白さと科学としての競争力を感じてもらえる本である。第10章は著者が関わってきたITERと幅広いアプローチ計画を中心として、核融合エネルギーの実現に向けた研究の現状と進展を平易に記述している。また、原子力機構の2100年原子力ビジョンにおける核融合の役割についてもコメントしているが、今世紀中には核融合エネルギーが核エネルギーの平和利用と温暖化抑制に貢献できることを期待したい。



(大阪大学・堀池 寛)

□ 目安箱への投書 □

2005年10月
日本原子力学会編集委員会

編集委員会は、読者・会員・投稿者・査読委員等からのご意見、ご提案を頂き、よりよい学会誌・論文誌編集活動を目指すべく、意見窓口「目安箱」を設けております。

- ・学会誌・論文誌の企画、編集、掲載記事・論文に関すること
- ・論文査読方針・審査方針およびシステムに関すること*
- ・新刊図書の書評の推薦

などについてのご意見・ご要望がございましたら、学会ホームページ <http://www.soc.nii.ac.jp/aesj/publication/meyasu.html> または E-mail (宛先 aesj2005meyasu@aesj.or.jp) にてお寄せ下さい。編集委員会にて検討後、担当編集委員より回答させていただきます。

学会誌、論文誌の編集活動への皆様の積極的なご参加をお願いいたします。

*個々の査読コメント等に関するお問合せ、ご意見等については受け付けかねますのでご了承下さい。