

インタビュー

18 「稲作なんですよ!!高エネ実験も原子力も」

ノーベル賞受賞者 益川敏英氏に聞く

「上流から下流に水を引く田んぼでは、田植えは一斉にやらないといけない。高エネルギーの実験は、千人単位で行っている。この技術者集団を支配しているのは『恥の文化』だ。その起源は、稲作にあると思う」

聞き手 石橋すおみ

時論

2 東南アジアとエネルギー科学研究協力

東南アジア諸国が、将来の有望なエネルギー源として、原子力発電に注目しはじめた。日本はどのような形で、協力を進めていくべきだろうか。

石原慶一

シリーズ解説

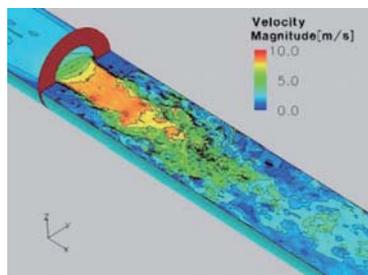
我が国の最先端原子力研究開発

No. 10

22 原子力発電事業を支える電中研の先端技術—新シリーズの連載に当たって

電気事業の中核研究所として、発送電や配電、電力応用そしてエネルギー—経済社会などの幅広い研究を進めている電力中央研究所。新連載の初回となる今回は、原子力に関連した電中研の代表的な先端技術について紹介する。

植田伸幸



オリフィスを通過する全速度の流れ方向断面分布 (MATIS-I コードを用いた解析例)

表紙イラスト フランス / コルシカ島北西部・カルヴィ

フランス・コルシカ島北西部にある「カルヴィ」は、港町でクルーザーなどがひしめき合うように停泊していた。夏の日差しがとても強く、船体の白い色がまぶしくて見られないほどであった。コルシカ島南部へ行くコルシカ鉄道の始発駅となっていたり、ニースなどからの高速フェリーが発着することで、観光客のとても多い町である。

巻頭言

1 夢が実現するとき

北澤宏一



解説

29 地球温暖化国際交渉の争点と日本の対応—セクター別アプローチは生き残れるか

地球温暖化をめぐる国際交渉は、温暖化を抑制するための負担を他国に押し付けることをめざす冷徹な外交ゲームである。

澤 昭裕

34 東海大学原子力工学科が再び立ち上がる—原子力マイスター育成への挑戦

東海大学原子力工学科は、10年ぶりに学生の募集を始めた。原子力教育の再活性化をめざしている同大学の挑戦とはどのようなものか。

大江俊昭, 浅沼徳子, 高木直行, 吉田茂生

39 東京都市大学の原子力新学科創設に参画して

昨年、原子力安全工学科を創設した東京都市大学。原子力カルネッサンスの先駆けとなった同大のこれまでの足跡と、今後を展望する。

吉田 正

Special Note 原産年次大会講演から

14 低炭素社会実現への挑戦 世界の安全保障と原子力

斉藤鉄夫

S.スクワッソニ

絵 鈴木 新 ARATA SUZUKI

日本美術家連盟会員・JIAS 国際美術家協会会員

報告

42 原子力人材育成の将来を考える —原子力機構原子力研修センター開講 50周年記念シンポジウムから

開講から50周年を迎えた原子力機構の原子力研修センター。この間に、延べ11万人がここで学んだ。

村上博幸

連載講座 軽水炉プラントの水化学(5)

45 水化学の基礎—水質計測

軽水炉冷却系における水化学制御のためには、水質を知ることが不可欠。今回は高温高压水のpH、溶存酸素、溶存水素、導電率および電気化学的電位の直接計測法について述べる。

原信義

連載講座 今、核融合炉の壁が熱い！ —数値モデリングでチャレンジ(12)最終回

51 まとめと今後の展望

ITER 建設開始と原型炉に向けた研究が本格的になるのに合わせ、核融合炉壁の数値モデリングに関する現状を概説してきた。実用炉に向けては、さらに高効率化と高安全信頼性による経済性の追求が待っている。

相良明男, 乗松孝好

新・不定期連載 未来型リーダーシップを拓く

56 創造性を自らの掌のなかに

科学技術とリーダーシップをテーマはいかにあるべきかという問題意識の下に、学生たちがネットワーク活動を始めた。

名倉 勝, 越田 溪

私の主張

58 地域の「思い」と「期待」

地元柏崎にUターンしてからもうすぐ30年。それは私が原子力発電所と関わりを持った年月でもある。

品田庄一

新連載 定点“感”測

62 町の宝が逃げていく……

発電所のおかげで町は過疎化をまぬがれたものの、子どもたちが地元には残らない。

佐藤晴美

4 NEWS

- J-PARC で、ニュートリノビーム生成(下に写真)
- 電力供給計画まとまる—2018年度までに9基運開
- 原燃、MOX 燃料工場を秋に着工
- 最高裁、柏崎刈羽1号訴訟で国側主張認める
- 横浜で第42回原産年次大会を開催
- 原子力国際協力センターを設立
- 原子力機構と6大学、原子力教育で連携協定
- 科学技術館に地層処分などの原子力展示室
- 東大、英国の大学と共同でワークショップ
- レーザー照射でがん細胞のDNAを切断
- 金属で遮へいされた爆発物を非破壊で測定
- 海外ニュース



写真はニュートリノビームライン

16 Nuclear News を見て

核セキュリティの強化と WINS の設立

遠藤哲也

ジャーナリストの視点

61 読んでみたい耐震安全50年の検証

佐々木英輔

28 From Editors

63 新刊紹介「インドの原子力事情」 嶋田昭一郎

64 会報 原子力関係会議案内、人事公募、新入会一覧、英文論文誌目次(Vol.46 No.7)、主要会務、編集後記

WEB WEBアンケート

3月号のアンケート結果をお知らせします。(p.60)

学会誌記事の評価をお願いします。<http://genshiryoku.com/enq/>

学会誌ホームページが変わりました

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

夢が実現するとき



独立行政法人 科学技術振興機構 理事長

北澤 宏一 (きたざわ・こういち)

東京大学大学院工学系研究科修士課程修了，東大大学院新領域創成科学研究科教授，科学技術振興機構理事を経て，平成19年10月から現職。専攻は物理化学，固体物理，材料科学，磁気科学，超伝導工学。

夢は時代が動くとき非現実から現実が変わる。2007年のJR東海の葛西会長と松本社長による「東京―名古屋間超伝導リニア2025年開通宣言」は人類の歴史をかなり早く塗り替える大きな決断になったと信じる。技術レベルが上がったことはもちろんであるが，長く続く日本の閉塞状況が新たな夢を必要としたことが後押ししたと考える。

リニア開発が始まったのは，新幹線開通の1964年よりもさらに2年も前のことである。この頃はまだ超伝導磁石も優れた性能のものがなく，重い車体を10センチも浮かせて走るなど無謀なことであった。超伝導が破れて，クエンチングという液体ヘリウムが吹き出す事故を引き起こすこともよくあった。にもかかわらず，超伝導磁気浮上が志向された理由の一つは「究極の安全性を求めて」のことだったとされる。

当時，国鉄で車輛に責任を持っていた京谷好泰氏は「円と直線が一点で接触」しつつ走る車輪とレールを使う鉄道的方式に満足していなかった。その一点に応力集中が起こるからである。事実，車輪事故はその後も海外の大規模な脱線転覆事故だけでなく，日本でも複数回起きている。浮かせてしまえば応力集中は起きないとする京谷氏の考えは奇想天外のものではあったが，原理的には正しいものであった。鉄道総合技術研究所は50年もの長い年月に耐えて，車上の超伝導磁石と地上コイルとの間に働く反発力を利用するという磁気浮上列車のアイデアを現実の形に仕立て上げ，そして数々のモデル実験を行い，本当に人を乗せて走ることのできる実用列車にまで技術を育て上げてきていた。

1958年に東海道新幹線の着工が最終的に決定された。東京―大阪間7時間を短縮する意味があるかどうか，巨額な投資に日本経済が耐えられるかどうかが大議論になっていた。新幹線が20世紀後半，日本の「ハイテク・高信頼性」の広告塔として世界最大の交通機関になるとは予想されていなかったであろう。

リニアモーターカーに関する今回のJR東海の決断は，経済的にも大きな波紋を投げかけるものであった。整備新幹線計画をはじめとして新幹線を全国にわたって完成させていこうとする国会議員の会があり，その完成以前にはリニア計画にはタッチしないという約束のもと，国土交通省もまったく動くことはできなかったとされるからである。「国の支援なしに自らの資金だけで開通させる」とJR東海の葛西会長と松本社長が宣言したのはこのような背景があったからであろう。社会の環境が熟して来たときに期待に応えられるレベルに技術が高められていたと言えるのであろう。国鉄・JRの奇跡的な技術開発に改めて敬意を表したいと思う。

考えてみると，原子力，リニア，太陽電池の本格的な技術開発は我が国ではそれぞれ1950，60，70年代にスタートしている。どの技術も世界最高のレベルに来てはいるが，社会に満足して受け入れられるためには，もう一步のレベル向上が必要な段階にある。満を持した技術レベルの達成にさらに注力し，天の時がそれを必要とするとき，技術はそれに応えねばならない。

私はエネルギーのベストミックス路線を支持するものである。そして，地球温暖化問題に 대응するための日本のエネルギー政策が強力に進んでいくことを期待している。そのためには，すでに力を持つ原子力はこれから伸びるかもしれない再生可能エネルギーにもエールを送りつつ，協調して地球温暖化に対処していく横綱としての姿勢をさらに強く国民にアピールしていくべきであろう。「地球温暖化問題」はいまや待ったなしの緊急性をもって，「地球環境」という新たなイデオロギーとしての力を有するに至ったという印象を私は持っている。地球環境イデオロギー時代において，世界の背景の中で私たちが子どもたちとなにを共有していきたいか，その夢を共に語る時代になってきたと信じる。

(2009年 5月1日記)



東南アジアとのエネルギー科学研究協力



石原 慶一(いしはら・けいいち)

京都大学大学院エネルギー科学研究科教授。研究対象は資源リサイクル, 先進エネルギー・環境材料, エネルギーシステムシナリオなど。

京都大学大学院エネルギー科学研究科が設立されたのは1996年である。当時、エネルギー科学への関心は国内外を通じてほとんどなかったといっても過言ではない。もちろん COP 3 が京都で1997年12月に開催されるなど、二酸化炭素削減に向けた国際的な関心はあった。それにも関わらず当時調べたところ、大学ではエネルギーという名のつく専攻名がむしろなくなりつつある時代であった。そのようなときに、人文・社会科学をも含めた学際的なエネルギー科学の確立を目指して京都大学にエネルギー科学が設立されたのはまさに先見の明があったといえる。本稿では特にエネルギー科学の定義について議論するつもりはないが、エネルギーの生産・変換・利用の各側面について、工学的な見地からだけでなく、経済を含む人文・社会科学的な視点を含んだ学際的な学問領域としてとらえたい。今では、このような専攻やコースが世界中の大学・大学院に設けられるようになってきており、エネルギー科学と呼ばれる学問領域が定着してきた感がある。

数年前、韓国のアジョウ(亜州)大学の先生から交流を持ちたいので訪問したい旨の電話が突然あった。話をよく聞くと、我々のエネルギー科学研究科ができるずっと前1987年にエネルギー研究科を設立したと聞き、驚いた。そこでは、原子力から材料科学、また工学から経済をも含む学際的なもので、まさに京都大学が目指しているものと同じであった。一方、タイでは1998年に JGSEE (キングモンクット大学をはじめとした5大学からなるエネルギー環境連合大学院)を設立している。この大学院においてもエネルギー経済を含み学際的なものになっている。このように、東アジア、東南アジアで欧米に先駆けてエネルギー科学に関する大学院が設立されていることに驚く。まさに、エネルギー科学はアジアからの発信であることは疑いのない事実である。

京都大学大学院エネルギー科学研究科とエネルギー理工学研究所が中心となって2002年に21世紀 COE プログラムに採択された。そのプログラムでは、タイのバンコクに拠点を置き、SEE(Sustainable Energy and Environ-

ment) フォーラムという組織を東南アジア諸国を中心に設立し、研究者間の交流を図ってきた。その発展として、昨年(2008年5月)、ASEAN COST+3(東南アジア諸国連合と日本、中国、韓国による科学技術委員会)で提案された NEFSE(New Energy for Sustainable Environment)国際会議を京都大学で開催した。出席者は東南アジア、東アジアのエネルギー科学の専門家および科学技術政策担当者である。そこでは、エネルギーに関する各国の状況、各国間の研究協力体制、人材育成について話し合われ、最後に、京都大学から地域内でエネルギー科学に関する大学コンソーシアムの設立を呼びかけた。このコンソーシアムについては、AUN(ASEAN 大学連合)を中心に細部の調整を行っている段階で、間もなく設立できる予定である。この会議の中で、各国がどのようなエネルギー分野に注目しているかを聞いた。最も多かったのが、エネルギー利用の効率化、バイオマス利用、太陽エネルギーの3つである。原子力発電についても注目している国があった。東南アジア諸国といっても、産油国のブルネイ、1人当たりのGDPが世界43位のシンガポールのように経済的に豊かな国もある。これら2国の1人当たりのCO₂排出量は日本より多い。一方、ラオス、ミャンマー、カンボジアなどこれから発展しようとしている国もある。このように東南アジア諸国においても国によってかなり差がある。研究や教育において東南アジアと共同の事業をするにはこれらのことを十分理解する必要がある。

さて、共通関心項目としてあげられた利用効率向上という面からみると、シンガポールをはじめ、東南アジア諸国で近年、急速に需要の伸びているのが冷蔵庫庫、エアコンである。これらの機器の効率向上には近年、目を見張るものがあるが、高効率の機器は価格が高く、発展途上にある東南アジア諸国への普及には時間がかかる。それに引き替え、高級ホテルやレストランなどでは冷房温度を非常に下げていて寒いほどであり、冷却能力を競っているとしか思われぬ。ところが最近、このような事情も変わりつつある。それというのも、2009年3月末、

ちょうどアースアワー(Earth Hour)2009の日にマレーシアを訪問する機会があった。Earth HourはWWF(世界野生生物基金)が呼びかけている電気を1時間一斉に消すという国際的な省エネルギー運動である。日本ではあまり積極的に参加していない様子であったが、マレーシアではホテルを含め街中にポスターが貼られ、多くの人々が参加していた。近い将来、冷房温度も適切に管理されるようになるであろう。

次にバイオマスの利用を考えると、確かに、東南アジアにおいては植物の成長速度が早く、バイオマスの有効利用を今後進めるべきであると思われる。しかし、木炭、牛糞など伝統的にバイオマスエネルギーを使用してきたわけで、発展に伴ってこれらの伝統的な利用を止めて化石燃料に依存するようになってきている昨今、バイオマスの利用効率を上げるだけでどれだけ化石燃料消費を抑えられるか疑問である。

太陽エネルギーについては、太陽光発電にはセルの製造やインバータによる制御など高度な技術が必要であり、まだまだ高価である。先進国ですら普及しないので途上国には困難であろう。それに比べ、風力発電は発電単価が安く、立地条件さえよければ可能性のある再生可能エネルギーであり、いくつかの国では実用化している。太陽エネルギーにおいては太陽熱エネルギーの直接利用が有効であると考えられる。中国では普及しつつあるが、熱需要のあまりない東南アジア諸国における普及は考えられない。

最後に、原子力に関する関心について述べたいと思う。上述のように、新エネルギーの普及にはいろいろと問題を抱えている。そこで、東南アジア諸国が将来の有望なエネルギー源として注目しているものの一つが原子力発電である。ベトナム、タイ、インドネシア、フィリピン、マレーシア、シンガポールで導入を検討している。この中で、シンガポールを除く5カ国においては研究用原子炉を有しており、原子力関連の人材育成を図ってい

る。また、シンガポールでも最近、原子力発電導入に対して積極的になってきている。

ベトナムの研究者に原子力発電について聞いてみた。巨大技術に対する羨望と意欲の高さはこの国独特のものがあるのだが、一方、ベトナム人だけで運転するのであれば何が起こるかわからず不安だといっていた。導入が本格的になれば、いろいろと問題が出てくるであろう。日本には40年以上の歴史があり、さまざまな問題を克服してきた経験がある。この経験をぜひ東南アジア諸国で活かし、まずは本当に何が必要か、どんな社会を望んでいるのかという基本的な所から協力を進めていくことが肝要であると思われる。

東南アジア諸国のエネルギー事情を書いてきたが、われわれがどのような形で今後関わっていけるのかについて考える必要がある。もちろん、天然ガスなどの資源供給国として重要であることはいうまでもないが、東南アジア諸国共通の事項として、人材育成の面で今後協力を進め、エキスパートの育成だけでなく、一般大衆に対する啓蒙も含めたエネルギー科学の普及に貢献すべきであろう。

京都大学では2008年度に始まったGCOEプログラムで世界規模において2100年までに二酸化炭素排出ゼロを達成する道筋を示すべく、要素技術の研究開発から将来のエネルギーシステムシナリオまでを東南アジア諸国とともに研究しようとしている。それと関連して、前述のNECSEの構築によるエネルギー科学の普及による研究協力体制の確立と人材育成協力を、京都大学に留まらず日本の各研究機関と連携をとりつつ推進している。その中で、原子力分野においても原子力発電の技術者養成や先進技術開発だけでなく、社会的重要性や経済性など幅広く国際協力体制を推進していく必要がある。とりわけ、原子力学会の役割が今後ますます重要になってくると思われる。

(2009年 4月3日記)



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

J-PARC ニュートリノ実験施設で、ニュートリノビーム生成開始

高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究開発機構が共同で茨城県東海村に建設した大強度陽子加速器施設 J-PARC のニュートリノ実験施設で 4 月 23 日、ミュオン粒子の信号が、ビームラインの最下流部に設置されたミュオンモニタにより初めて確認された。ミュオン粒子は、陽子ビームが物質に当たり生み出されたパイ中間子が崩壊した結果、ニュートリノとともに生成される素粒子であり、今回の観測は、ニュートリノが当施設において初めて生み出されたことを間接的に確認したこと、意味するものである。

今後、この実験施設により生み出されたニュートリノビームを、295km 離れた岐阜県神岡町にあるニュートリノ検出器「スーパーカミオカンデ」に向けて打ち出し、ニュートリノが飛行中に別の種類のニュートリノに変わるニュートリノ振動という現象を詳細に調べる。J-PARC のニュートリノ実験施設は、高エネ機構が中心となって設計、建設し、今年 3 月に完成させた。

ニュートリノ実験施設では、多数の電磁石を用いて、陽子ビームをターゲットステーション内のグラ

ファイト製標のまで導き衝突させる。そこで発生した多数のパイ中間子を、電磁ホーンと呼ばれる特殊な電磁石によって前方に収束させた後、ディケイポリウムと呼ばれる長さ 100m のトンネルに入射し、パイ中間子を飛行中にニュートリノとミュオン粒子の対に崩壊させる。

なお、今回の実験は、ビームラインの調整と、放射線施設としての運転時検査が目的で、5 月でいったん終了。その後、残りのビームライン機器や前置検出器の据付、最終調整を行った後、今秋からビーム供給を再開し、今後は、スーパーカミオカンデにおける最初の事象を検出することが当面の目標である。

東海村の T と神岡町の K の文字を取って「T2K 実験」と名付けられたこの実験は、世界 12 カ国から 400 人以上の研究者が参加する国際共同実験である。東海村から打ち出されたニュートリノが神岡町まで飛行する間に、別の種類のニュートリノに変わるニュートリノ振動と呼ばれる現象を詳細に調べることにより、ニュートリノが持つ未知の性質を解明し、物質をつかさどる究極の法則の手がかりを得る



J-PARC 全景(航空写真)と T2K 実験の概要

ことをめざす。

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

p09042302/index.html)

(資料提供: J-PARC センター)

経産省が電力供給計画まとめ—2018年度までに9基運開, 浜岡6, 川内3盛り込む

経済産業省は4月3日、電気事業者12社の2009年度電力供給計画を取りまとめ公表した。需要電力量8,916億kWh(対前年度比1.2%減)、最大需要電力1億7,343万kW(同1.0%減)に対し、供給力は08年度比112万kW増の1億9,426万kW(供給予備率12.0%)を確保。また、今後の電源開発では、8社で計15基2,022万kWの原子力発電開発計画が示された。

09年度は、需要電力量、最大需要電力ともに、07,08年度実績値と比べ年々、下降する一方、新設電源運転開始等により、供給力は07年度比3.0%増、08年度比0.6%増と、供給力増加対策の着実な推進を図っていく見通した。

今後の原子力発電開発計画は、2018年度までに運転開始する予定の発電所が計9基(1,226万kW)、建設中が3基(367万kW)、着工準備中が計12基(1,655万kW)で、合計15基(2,022万kW)となって

いる。新規の電源開発計画として、中部電力浜岡6号機(140万kW級)、九州電力川内3号機(159万kW)が追加される一方、昨年度計画から、計7基の着工予定と計8基の運開予定が先送りとなった。現在、建設中の発電所は、北海道電力泊3号機(09年12月運開)、中国電力島根3号機(11年12月運開)と、昨年5月に着工した電源開発大間(14年11月運開)の計3基。

18年度末までの電源構成は、原子力、石炭・LNG火力の開発進展により、発電設備構成比については、大きな変化はないが、発電量では、原子力が、08年度推定実績25.5%、09年度28.0%、13年度35.5%、18年度40.1%と、増加する一方、火力は、08年度推定実績65.9%、09年度62.3%、13年度54.2%、18年度49.8%と、減少する見通し。

(資料提供: 日本原子力産業協会)

日本原燃、MOX燃料工場を秋に着工 工事費1,900億円に

日本原燃は4月16日、六ヶ所村に建設を計画するMOX燃料加工施設(J-MOX)について、工事計画の変更などを図った事業許可申請の一部補正を経済産業省に提出した。

同施設は、07年10月着工、12年10月竣工の予定となっていたが、現在、原子力安全委員会による安全審査中となっており、今回の補正では、今年11月着工、15年6月竣工と、それぞれ延期し、また、工事

計画変更、建設用資材等の価格上昇、耐震対応、工場設備の製作・施工の詳細化などに伴い、工事費を約1,300億円から約1,900億円に増額した。

その他、東京電力、東北電力らによる地質調査結果を踏まえ、活動性を考慮することとなった横浜断層による地震を検討用地震の一つとして取り扱うなど、申請記載事項の充実・適正化を図っている。

(同)

最高裁、柏崎刈羽1号の行政訴訟で国側主張認め「適法」

東京電力の柏崎刈羽原子力発電所1号機(BWR, 110万kW)の原子炉設置許可をめぐる、周辺住民が「安全審査が不十分で許可は違法」として、国の許可処分取り消しを求めた行政訴訟の上告で、最高裁第一小法廷(甲斐中辰夫裁判長)は4月23日、

住民側の上告を棄却、受理しない決定を下し、国側勝訴の控訴審判決が確定した。

二階俊博経産相は24日、「最高裁判所の決定は、これまでの国の主張を基本的に認めた妥当な決定である」との談話を発表した。

柏崎刈羽1号は78年12月着工、85年9月から営業運転開始。住民側は79年から93年に3次にわたり新潟地裁に提訴。94年の地裁判決、05年の東京高裁判

決ともに、「許可は適法」として住民側が敗訴した。上告中、07年7月に新潟県中越沖地震が発生したが、最高裁は1、2審判決を支持した。(同)

横浜で第42回原産年次大会を開催

原産協会は4月13日から15日、横浜市・みなとみらいのパシフィコ横浜で、第42回原産年次大会を開催、「低炭素社会実現への挑戦—原子力は期待に応えられるか」を基調テーマに、原子力先進国、新規導入を目指す途上国から多くの発表があり、活発な意見・情報交換を行った。大会には、日本を含む30か国・地域、2国際機関から約1,020人が参加した。

大会2日目には、斉藤鉄夫・環境相が、環境相としては年次大会に初参加、「低炭素社会実現への挑戦—原子力への期待」と題して特別講演を行った。同大臣は、原子力発電を抜きに実効あるCO₂削減対策を打ち出すことは極めて困難であることを指摘、原子力発電への期待を前面に打ち出し、原子力関係者に直接、熱いメッセージを送った。

開会セッションでは、今井敬・当協会会長が所信表明を行い、石油文明から脱却を目指す「低炭素革命」の必要性を訴え、そのキーワードは「技術」にあると指摘した。また同会長は、「待ったなしの地球温暖化問題への対応と、エネルギー安定供給確保という2つの大きな課題を同時に解決し、持続的発展の中核的な担い手となるエネルギーは、原子力において他にはない」と強調し、「原子力の重要性が世界の共通認識となり、その利用拡大に向けた大きな動きになっていくことを願ってやまない」と述べた。

開催地を代表して松沢成文・神奈川県知事(=写真)と中田宏・横浜市長から挨拶。松沢知事は、地球温暖化問題の解決について、「私たち一人ひとりが地球市民として、問題の深刻さに気付き、意識改革を行い、自ら主体的に行動することが重要である」



と強調した。また、中田市長は、市民一人ひとりの省エネの努力とは別に、巨大都市のエネルギー確保も重要と指摘し、「原子力をはじめとして非化石エネルギーの多様性、ベストミックスを実現し、原子力の将来も含め、低炭素社会実現に向けた実のある大会にしてほしい」と訴えた。

原産協会の動画配信「Jaif Tv」が年次大会の総集編を配信中。当協会HP(<http://www.jaif.or.jp/>)からご覧下さい。なお、NHK国際放送局(インターネットTV)が、年次大会の様々や、海外参加者および役員会長のインタビューを交えた年次大会特別番組を放映しています(英語)。以下のURLをご覧下さい。

Renewed Interest in Nuclear Energy
<http://www.nhk.or.jp/nhkworld/english/movie/feature61.html>

(同)

原子力国際協力センターを設立

原産協会は3月18日、原子力発電の新規導入国等に対する基盤整備協力を実施する中核的組織として「一般財団法人 原子力国際協力センター」を設立し、4月から活動を開始した。

同センターは、服部拓也・原産協会理事長をトップに、電気事業連合会、日本電機工業会、日本原子力技術協会からの役員で構成されている。当面は、原子力発電導入を目指す諸国を対象として、情報収

集提供、相談窓口、専門家派遣、研修受入等の業務を行う。

世界的に原子力発電の新規導入を計画する国が増大するのに伴い、多くの国からわが国に対して、原子力発電を進める上で必要な関連法制度、規制プロセス・体制、人材養成などの基盤整備に関する協力

要請が寄せられており、同センターでは官民がもつ情報やノウハウを集約して、こうした要請にこたえていく。(同)

・第42回原産年次大会レポート(4月23日公開)

・解説 世界の原子力発電開発の状況(5月18日公開) (同)

原子力機構と6大学、原子力教育で連携協定

日本原子力研究開発機構と茨城大学、大阪大学、岡山大学、金沢大学、東京工業大学、福井大学の6大学は、学術および科学技術の発展に寄与するための教育研究や人材の育成の一層の充実を図るため『原子力機構および6大学との原子力教育大学連携ネットワークに関する協定』を締結、3月27日、原子力機構東京事務所(東京・千代田区内幸町)で締結式が行われた。

原子力機構と大学を結んで原子力教育、人材育成を行うという連携大学院教育とは、もともと各大学との2者間で進められていた。これを複数の大学間の連携に発展させたのが今回の連携ネットワーク。平成19年度は金沢大学、東京工業大学、福井大学と連携講座をはじめ、20年度には岡山大学、茨城大学

が参加、そして21年度からは大阪大学が新たに参加することになった。

原子力機構の石村毅理事の話「年々活動が活発化してきている。これまでに遠隔授業による単位認定ができるようになったことなど、連携が始められた当初から比べて大きく変ぼうしてきている。これらの成長にあわせ、今後を見通したものが今回の連携ネットワークといえる。世界各地で原子力カルネッサンスという現象が起き、これもしっかりとした人材があつてのことである。人材育成が急務で、研究機関、大学、産業界がネットワークを構築し、人材育成という事業にあたらなければならない。その意味で、今回の6大学との協定締結は大いに貢献するものである」(資料提供：科学新聞社)

科学技術館に地層処分などをテーマにした原子力展示室がオープン

電気事業連合会と原子力発電環境整備機構、日本科学技術振興財団は共同で、東京都千代田区にある科学技術館に新しい原子力展示室『アトミックスステーション ジオ・ラボ』を、3月24日オープンした。

この展示室は、“原子燃料サイクル”および、それに伴う高レベル放射性廃棄物の“地層処分”を中心テーマに4つのゾーンで構成され、その必要性和安全性を広く一般の人に理解してもらえるような展示となっている。特徴としては、来場者とともにする参加型の展示物や映像シアターをもとに、核燃料サイクルをはじめ、地層処分の仕組みなどを理解しやすく工夫している。

オープンに先立ち完成式典が同日、科学技術館で行われた。

森会長の話「エネルギーの安全保障や地球環境問題などから、欧米各国を中心に原子力カルネッサンスの動きが顕著となってきている。特に原子力燃料サイクル実現の要である六ヶ所再処理工場の本格操業をはじめ、プルサーマル、使用済み燃料の中間貯蔵、高レベル放射性廃棄物処分場の確保などの取組みを全力で行っている。こうした取組みを進めていくには、広く社会の人々の理解を求めることが必要不可欠で、今回リニューアルしたジオ・ラボに期待している」

山路理事長の話「高レベル放射性廃棄物の地層処分を、安全かつ確実に実施することが重要であることはいうまでもない。地層処分については30年以上前から研究が進められ、技術的基盤がすでに整備されているが、地層処分の実施主体として平成40年

代後半の操業開始に向け努力しているところだ。地層処分を着実に進めるには、広く国民に、その必要性、安全性をわかりやすく伝えることが大切であ

る。ジオ・ラボにより地下を身近に体験してもらうことで、さらに理解が深められるものと期待される」
(同)

東大、英国の大学と共同でワークショップ

東京大学大学院工学系研究科は4月28、29の両日、英国のImperial College Londonおよびケンブリッジ大学と共同で、「東大フォーラム2009」を開催した。テーマは、持続的発展における原子力エネルギーの役割—社会と調和した原子力の新展開。開催地となった英国の両大学では、原子力エネルギーの教育・研究に関するシンポジウムおよび原子力社会学に関するワークショップが催され、教員や研究者、学生が交流した。

このうち原子力エネルギーの教育については、東大がグローバルCOEの活動内容を、Imperial College Londonが、英国政府の主導の下で同大が中心となって進めている原子力教育プログラム「Keeping the Nuclear Option Open」の概要を紹介した。また原子力エネルギーに関する研究については、両大学の専門家が原子炉設計、伝熱流動、計算

科学および放射性廃棄物について講演。原子力社会学については、核不拡散および国際政治学を中心に、原子力エネルギー利用にとって必須である核不拡散の枠組み・課題などについて多方面から討論がなされた。
(資料提供：東京大学)



世界初 レーザー駆動陽子線照射によるヒトがん細胞のDNA 2本鎖切断を実証—超小型粒子線がん治療装置の臨床実証へ大きく前進

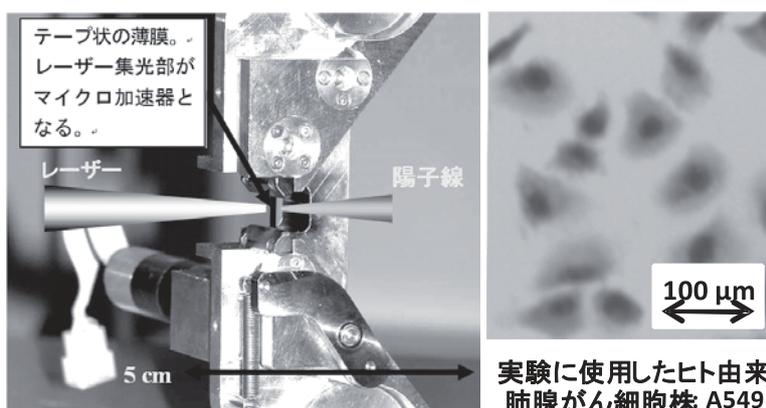
原子力機構などの共同研究グループはこのほど、レーザーを使って加速した陽子線を生物細胞に照射する装置を開発し、これを利用してがん細胞のDNAを2本切断することに成功した。このようなレーザー駆動陽子線を生物細胞に照射できる装置は世界にこれまで例がなく、実用化されれば超小型の粒子線がん治療装置が実現することになる。

この研究に取り組んでいるのは、原子力機構と大阪大学、兵庫県立粒子線医療センター、電力中央研究所、日本アドバンステクノロジー、新日本科学による共同研究グループ。なお、粒子線がん治療に使う装置は、大型の高周波加速型の加速器を利用するのが一般的だが、同グループは、レーザー駆動の原理を利用すれば装置を小型化できるとともに、より高電流で短い時間幅のパルス状に粒子を加速でき

ることに着目。このようなレーザー駆動粒子線を、生物学的効果に関する研究に応用するために、レーザー駆動粒子線を安定して連続的に発生させる技術や、発生した粒子線のエネルギーや粒子種を選別する手法を開発した。

その上で、高強度のレーザーを利用して加速した粒子線が体内のがん細胞と衝突する状態を再現することができる実験装置を製作。高強度のレーザー光を数ミクロンの厚さの薄膜ターゲット上に集光して陽子線を加速し、それをヒト由来肺腺がん細胞に照射した結果、がん細胞のDNAの2本鎖切断が発生することを実証した。

研究グループでは今後、この装置を使って生物学的効果に関する基礎データを網羅的に収集することで、レーザー駆動陽子線ならではの治療効果や適応



研究グループが開発したレーザー駆動イオン加速装置(左図)。図中の左側からレーザーを入射して、テープ状の薄膜に集光すると、右方向に陽子線が加速されて発生する。この陽子線を、がん細胞(右図)に照射するしくみだ。

疾患の確立をめざしていく。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2009/p09042301/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構，大阪大学，兵庫県立粒子線医療センター，電力中央研究所，日本アドバンステクノロジー，新日本科学)

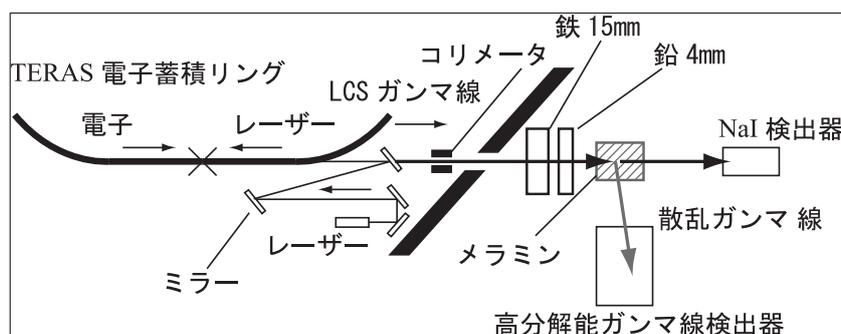
金属で嚴重に遮へいされた爆発物の非破壊測定法を発明

原子力機構量子ビーム応用研究部門の早川岳人研究主幹らと京都大学エネルギー理工学研究所の大垣英明教授，産業技術総合研究所計測フロンティア研究部門の豊川弘之主任研究員の共同研究グループは，高い透過力をもつガンマ線を使って，厚い金属で嚴重に遮へいされた爆発物を非破壊で検出する方法を発明した。

鉄や鉛などの厚い金属で遮へいされた爆発物や有害物質を非破壊で検出する手段は，これまで確立されていなかった。なおニトログリセリンなどの爆発物や有害物質は，一般に多量の炭素や窒素を含んでおり，その組成比は爆発物や有害物質の種類によ

て異なる。そのため，炭素と窒素の量を同時に計測することができれば，隠へいされた爆発物を検出できるだけでなく，その種類を識別することができる。

原子力機構を中心とする研究グループは，ガンマ線を用いて，厚い金属で遮へいされた物質の同位体を特定して測定することに既に成功している。今回は，その技術を改良し，エネルギーを調整したガンマ線を用いることで，厚い金属で遮へいされた物質に含まれる複数の元素の種類と量を同時に測定することができる非破壊測定法を考案した。その実証実験として，爆発物の模擬物質として用いられるメラ



放射光施設 Teras から発射されたガンマ線は鉄や鉛を貫通して，その奥にあった試料に到達。そこから散乱したガンマ線を調べることで，試料の組成を分析することに成功した。図はその模式図。

ミンを対象に実験を実施。4～5 MeV のエネルギーの幅を持つガンマ線を、厚さ15mm の鉄と厚さ4mm の鉛で遮へいされたメラミンに照射し、メラミンを構成する炭素-12と窒素-14の組成比を計測した。その結果、計測した組成比は、メラミンのものと一致し、考案した測定法の有効性が実証された。

本成果は、嚴重に隠へいされた種々の爆発物や有害物質を非破壊で検知することが可能であることを

示すものであり、港湾における爆発物や危険物質の検知に利用できる可能性がある。また、この非破壊測定法は、塩素やアルミニウム等の元素にも適用でき、さまざまな可能性を秘めている。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2009/p09042901/index.html>)

(資料提供：原子力機構、京都大学)

海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

[米国]

エネルギー省、GNEPの再処理・高速炉を中止

米エネルギー省(DOE)のJ・スタッツマン副報道官は4月15日、「オバマ政権は国際原子力パートナーシップ(GNEP)について、米国内での(再処理工場など)核燃料サイクル施設および高速炉の短期的な開発プログラムをキャンセルする」意向であることを明らかにした。ただし、「核燃料サイクルに関する長期的な研究開発プログラムはそのまま続ける」と明言。GNEPの対外的部分については、政府の複数の省庁で対応を審議中であるとしている。

これは米国の「ニュークリア・エンジニアリング・インターナショナル誌」のウェブサイトで伝えられたもので、同副報道官は「DOEはすでに、前政権が進めていたGNEP計画の国内プログラムを継続しないことを決定した」と述べている。

GNEPの「プログラム環境影響声明書(PEIS)」案へのパブリック・コメント募集締切り直後に発表されたことになるが、同募集期間は予定より90日延長されるなど一般からのPEISへの関心は高く、最終的なコメント数は1万5,000件に達することが予想されているという。GNEPの取消しはこれらのコメントをPEIS最終案に反映させる機会を失わせることになるが、同誌の報道の中で同副報道官は、「PEISの最終案を完成させるかどうかは未決定」であることを認めている。また、PEIS最終案が連邦官報に公表された場合、DOEは少なくとも1か月後に意思決定記録を出すことになるが、同副報道官はこれについても「何も決まっていない」と述べたと

伝えられている。

全米の原子力意識調査—原子力への支持最高に

全米を対象に3月に行われた調査で、米国人の70%が原子力を支持しており、反対派を2倍近く上回る結果となったことが明らかになった。

この調査は、ピスコンティ・リサーチ社の原子力部門がGfKローパー社と共同で、米国の成人1,000人を対象に電話で実施したもの。結果には3ポイント前後の誤差が含まれるものの、回答者の大半が現存の原子力施設利用拡大を望んでおり、「将来的に国内原子力発電所の増設をすべき」で、電力需要に見合った原子力・風力・太陽光発電への融資保証制度を支持するとしている。

既存原子力発電所付近に新たな原子炉を新設することを容認する米国人は70%で、70%を超えたのは今回で2度目。昨年9月の調査では、74%が原子力を好ましく思っており、反対派は24%であった。今回の調査で反対派は26%だった。

最新の調査では、米国人の30%が原子力を「大変好ましい」と考えており、「強く反対する」という意見は12%にとどまった。ピスコンティ・リサーチ社のA・ピスコンティ社長は、「原子力エネルギーへの強固な支持が示されている」と指摘。「世論調査で原子力を支持するとの回答は26年間ほぼ横ばいだったが、ここ数か月の原子力支持率の高さは前例がない。大きな変化が見られる」と説明した。

同社長はまた、「今日の世論は地球温暖化や大気汚染よりも、雇用、経済成長、エネルギー自給率に関心を持っている。しかしながら明らかに原子力はこれらの問題を解決する方法の一つと見られている」との認識を示した。

さらに、3月28日で、1979年のスリーマイル・アイランド事故から30年を迎えたが、調査では83%が原子力発電所は当時より安全になったと回答。46%の米国人が過去30年間で原子力施設が「かなり安全になった」と信じていることが明らかになった。

このほか、原子力エネルギー支持の傾向が見られた結果は以下のとおり。

(1)62%の米国人が将来より多くの発電所を建設すべきとの考えに同意、(2)70%が既存原子力発電所付近に新たな原子炉を新設することを受け入れられると回答、(3)81%が原子力・風力・太陽光利用施設建設に早期に着手するための連邦政府による融資保証を認めるとしている、(4)87%が原子力・風力・太陽光利用施設への税優遇を了解、(5)84%が連邦の安全基準に則った原子力発電所の運転許可更新を支持、(6)76%が今後10年以内に原子力発電所を新設する必要がある、事業者は今、準備をしておくべきだとしている。

[英国]

新規原子炉建設計画の建設候補地リスト案を公表

英国のエネルギー気候変動省(DECC)は4月15日、新規原子力発電所の建設希望地点として事業者が指名登録したサイトのリストを公表した。

これは現在、政府が進めている新規原子力発電所建設計画の「戦略的サイト選定評価(SSA)」手続きの一部。1月から3月末までの間、EDF エナジー社(英BE社を吸収して成立したフランス電力の子会社)やドイツのRWE社とE.ON社などの事業者が英国内で11のサイトを指名登録していた。

DECCはこれらのサイトで2025年までに原子炉の操業が可能であるか、また、事業者がサイトとして指名登録する計画を地元で十分説明したかなどの点について入念な事前審査を実施。今後1か月間かけてこれらに対するコメントを一般市民から募ることになっている。

得られたコメントは規制当局その他の専門家達からの助言とともに、これらのサイトが潜在的に新規立地に適しているかの審査に活用される。適正と評価されたサイトについては「国家政策声明書(NPS)案」に候補サイト・リストとして盛り込まれ、今年

の末にも公開諮問のために公表される計画だ。

DECCのE・ミリバンド大臣は「一般市民にはこの機会にぜひ、当省のウェブサイトからアクセスして関係情報を入手するとともに、指名されたサイトについて意見を残してほしい」とコメント。NPS案に対する公開諮問の期間でも一般市民がさらに意見を述べる機会が残されている点に触れ、新設計画が十分な透明性をもって進められていることを強調した。

今回指名登録された11サイトのほとんどは既存の原子炉が稼働中か、かつて稼働していた原子力発電所サイトの近郊。しかし、RWE社が指名したカンブリア州のプレストーンズ、およびカークサントンの2地点は、まったくの新規立地点である。

RWE社はこれらの用地の売買権をすでに購入済みであるという。プレストーンズの方はセラフィールド原子力施設が近郊で立地している一方、カークサントンでは原子力施設になじみがなく、住民の一部から不安の声が上がっているとも伝えられている。

[フランス]

関電、ウラン濃縮に参画—日本企業として海外で初、仏工場の株2.5%取得

関西電力は3月30日、仏アレバ社の遠心分離法ウラン濃縮工場ジョルジュベスⅡへのプロジェクト参画を発表した。双日(株)と共同出資した現地子会社「カンサイ・ソウジツ・エンリッチメント・インベスティング社」を通じ、ジョルジュベスⅡ工場を所有するSET社の持ち株会社であるSETホールディングズ社(アレバ社が95%の株式を保有)の発行済み株式の2.5%を取得する。日本企業が海外でウラン濃縮事業に参画するのはこれが初めてとなる。

カンサイ・ソウジツ・エンリッチメント・インベスティング社は2008年、関西電力が80%、双日が20%を出資し、ウラン濃縮事業への投資を目的としてパリに設立した。SETホールディングズ社は、ジョルジュベスⅡ工場を所有するSET社の持ち株会社で、アレバNC社が95%、ベルギーのGDFスエズ社が5%を出資している。

ジョルジュベスⅡ工場は、フランスのピエールラット市に位置し、2009年中に竣工する。最新鋭の

遠心分離技術により、現在、フランスが行っているガス拡散法によるプロセスに比べ50分の1の電力で運転操業できる。

本格操業後の2016年には、年間7,500トン SWUの濃縮ウラン生産が想定される。これは世界の濃縮ウラン需要の約13%に相当し、将来的なウラン燃料の安定調達に大きく寄与する。最終的には年間1.1万トン SWUの生産が可能とされている。

[ルーマニア]

欧州のエネルギー大手7社、チェルナボダ3、4号の建設会社を設立

ルーマニア国営電力のニュークリア・エレクトリカ(SNN)社は4月2日、チェルナボダ原子力発電所3、4号機の建設工事を再開するとともに、操業も担当する管理会社として、欧州のエネルギー企業7社が出資する「エネルゴニュークリア社」を設立したと発表した。同日、新会社の株主総会および取締役会が開催され、主要な役員が選出されている。

チェルナボダ発電所では現在、出力各70万kWのCANDU炉である1、2号機が稼働中。80年代に5号機までが相次いで着工したものの、1989年のチャウシェスク政権崩壊に伴い91年に建設を中断しており、1、2号機のみが完成まで漕ぎ着けた。

新たに設立されたエネルゴニュークリア社には、SNNが過半数の51%出資するほか、鉄鋼メーカーのアルセロール・ミタルのガラチ支社、イタリア電力公社(ENEL)、チェコ電力(CEZ)、フランスのGDFスエズ社、スペインのイベルドロージャ社、およびドイツのRWEパワー社がそれぞれ6~9%ずつ出資。登録資本金は約2,000万ルーマニア新レウ(約6億円)であると3月25日に同国の商業登記簿に記載された。

出力72万kWのCANDU炉となる3、4号機建設プロジェクトについては、今後18か月間の準備期間に両機の完成および長期的な操業に関わる商業的仕様項目や資金調達方法などを詰める計画。総工費は完成までの6年間で40億ユーロ程度を見込み、土木建築工事については国際入札に掛ける考えであると伝えられている。

[フィンランド]

政府、既設原子力を対象に課税へ

フィンランド政府は4月1日、温室効果ガスの排出量取引に伴い電力会社が偶発的に得ている収益を削減するため、水力および原子力を対象に課税していくことになったと発表した。

これは3月31日に開催された内閣の経済政策委員会で決まったもので、CO₂排出割当ての販売により無料で得られた利益の相殺が目的。新たな税制は固定資産税と似た形式とし、国が徴収する。遅くとも2011年初頭からの適用を目指しており、財務省および雇用経済省ができるだけ早急に税制整備の準備を開始するとしている。

風力や小規模の水力、および電熱併給システムなど、現在同国のエネルギー政策によって推進されている発電技術はこの税制から除外される一方、大規模の水力および原子力が対象となる。ただし、1997年の京都議定書採択以降に建設された、あるいは今後建設される設備は対象外となるほか、事業用電力および共同事業による発電電力も課税されることはない。税率を仮に1MWhあたり1~10ユーロとした場合、税収入の総額は年間で3,300万~3億3,000万ユーロにのぼると政府は試算。消費者が支払う電気料金には直接影響は及ばないとしている。

フィンランド政府の説明によると、欧州連合(EU)域内で2005年から適用が始まった排出量取引制度(EU-ETS)は電力市場に大きな影響を与えており、北欧諸国で発電コストに大きな変化がなかったにもかかわらず、昨年の卸売り電力価格は急激に上昇した。北欧の電力市場においては、卸売り電力価格は最も発電コストの高い発電所の電力を基準に時間ごとに変化。このため、発電コストが低い上、CO₂を排出しない水力と原子力は経済的に非常に有利であり、ETSはこれらの電源が主流である北欧の電力業界に数億ユーロもの利益をもたらしているとしている。



フィンランド政府のこの発表に対して、同国でロビーサ原子力発電所を操業するフォータム社は、「これでは国内でエネルギー生産するより輸入した方がよほどメリットがある」と反発。この税制はすべて

試算に基づいており、ほかの電源が政府の支援を受け一方、水力と原子力という特定の発電形式にのみ課税されるなど「電力市場における競争原理をゆがめるものだ」と批判した。さらに、この税はエネルギーの生産に対して課されることになり、消費に基づいて課すべきとするEUのエネルギー指令に反すると指摘している。

同社のT・カーティネン上級副社長はまた、「ETSの概念は低炭素発電に対する直接投資を促すことが目的であり、排出コストはCO₂を排出した者が支払い、出さなかった者は利益を得るというメカニズムだ」と強調。原子力に特別に課税するという事は、CO₂を出さない発電技術を実質的に懲罰するものであり、この概念の足を引っ張ることになると訴えた。

[ナイジェリア]

ロシアのロスアトムと原子力協力で覚書

ロシアの国営原子力総合企業であるロスアトム社は3月18日、原子力平和利用に関する協力でナイジェリア政府と了解覚書(MOU)に調印したと発表した。

これはモスクワで開催されていた両国の経済、および科学技術分野における協力に関する第3回政府間協議の席で結ばれたもの。調印式にはロスアトム社側からN・スパスキー副総裁、ナイジェリア側からは同国の大統領特別顧問で原子力規制機関の副長官でもあるE・エグボガ氏が臨んだ。

この覚書では、ナイジェリアに原子力開発インフラを整備するための2国間協力組織の設立が想定されており、具体的な協力項目として、(1)基礎研究と応用研究、(2)研究炉および発電炉の許認可、建設、操業、(3)放射性同位体の生産と利用、(4)ウラン資源の共同探査および開発、(5)人材育成——などが挙げられている。

ナイジェリアはベースロード電力の需要増に対処するため、原子力導入を検討中。すでに国際原子力

機関の支援により、医療や農業研究、基礎産業部門での利用を目的とした中性子活性化分析用研究炉について05年から調査しているほか、原子力発電導入のためのFS、将来オプションとしての原子力の役割を評価するプレ・プロジェクト活動も開始している。

[中国]

高速実験炉(CEFR)、ロシアの協力で年内に初臨界達成へ

ロシアの国営原子力総合企業であるロスアトム社は4月6日、傘下の実験機械製造設計会社(OKBM)の支援により、中国原子能科学研究院(CIEA)が北京で建設中だった「中国高速実験炉(CEFR)」で主要機器の設置および調整が完了し、今年中にも臨界に達することになったと発表した。

ロスアトム社によると、中国はロシアと同様に、核燃料を最も有効に活用する方法として高速炉の導入を国の原子力開発戦略としており、同国初の高速炉となるCEFRの開発計画は国家的な重要プロジェクトに位置づけられている。ナトリウム冷却方式で、熱出力は6.5万kW、電気出力2.5万kWの蒸気タービンに適合する。

ロシアはすでに国内で高速実験炉BOR60(出力12MW)および原型炉BN600(出力60万kW)を運転するなど、高速炉開発で豊富な経験を有することから中国のCEFR計画にも全面的に協力。OKBM社はロスアトム社の民需部門を統括するアトムエネルギーグループ(AEP)社の100%子会社としてCEFRの開発に携わっており、今回、同社の専門家が同機の原子炉安全システムや熱交換器、制御機器、および燃料交換機等の据付けを終えたとしている。

すでに原子炉の気密性試験も完了し、5月にはナトリウムの注入を開始。7月から8月にかけて、AEP社の核燃料製造子会社であるTVEL社製の燃料を装荷する計画で、今年の後半には臨界に達する予定だ。

低炭素社会実現への挑戦—原子力への期待

環境大臣 齊藤 鉄夫

私は、環境大臣として低炭素社会実現に向けて全力を挙げているところだが、その中心の役割を原子力に担っていただきたい、という話しを本日させていただきたい。

皆さんもよくご存知のとおり、10年あたりの温度上昇のグラフを見ると、過去100年間で世界平均気温は0.74度上昇し、最近50年間の気温上昇速度はほぼ2倍となっている。1978年と1998年のヒマラヤ氷河の写真を比較してみると、明らかに融けていることがわかる。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)も、「温暖化は疑う余地がない」ということを断定している。

温暖化ガスの中でもっとも影響が大きい大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度は、数千年の間、280 ppmで一定であったが産業革命以降増加し、現在では380 ppmである。IPCCは、これを450 ppm程度に安定させなければ地球上の温度は2度以上上昇し、壊滅的な方向に発散してしまうと警告している。一方、我々が人為的に排出している量と自然吸収量を比較すると、自然吸収量の約2倍以上を排出している。したがって、あるレベルに安定させるためには、排出量を抑えなければならない。世界全体のCO₂発生量は何もしなければこの調子で伸びてしまうため、現在、発展途上国中心で伸びている量を今後10～20年でピークアウトさせ、2050年までに地球全体で少なくとも半分以下とし、ある一定レベルに安定させようという計画をたてている。G8では合意されたが、まだ世界中の合意ではなく、まず、これについて世界中の合意が得られるよう、日本がリーダーシップを発揮すべく奮闘しているところである。地球全体で半分、当然、先進国はもっと減らす、ということである。日本は、2050年までに現状より60～80%削減することを閣議決定している。

日本の温室効果ガス排出量は、1990年を基準年として-6%が京都議定書での国際約束であったが、2007年度において+8.7%となっている。なお、-6%のうち、森林吸収源対策で3.8%、京都メカニズムで1.6%を確保できそうであるため、実質9.3%の排出量削減が今後必要となる。2008年は約束期間に入っているため、がんば

らなければならない。

排出量推移で見ると、原子力発電所の利用率を以前の実績である84.2%と仮定した場合、利用率低下による一時的な影響を原因とする現実との差は、2007年ではCO₂排出量5%分もある。原子力発電所の稼働率向上と新規建設の着実な実現が喫緊の課題である、ということが、閣議決定された「低炭素社会づくり行動計画」のポイントである。「目標は2050年までに現状から60～80%の削減」「2009年のしかるべき時期に中期目標を発表」となっており、4月14日開催された中期目標検討委員会において、中期目標についての6つの選択肢が提示された。これについては、今後国民と一緒に議論をしようという状況である。また、技術開発としてCO₂回収貯留(CCS)、太陽光発電、次世代自動車や、原子力発電の稼働率向上および新規建設の着実な実現、ということ盛りこんでいる。

平均的な火力発電所が135万kWの原子力発電所に置き換わることにより、年間600万トン、0.5%のCO₂削減が可能となる。原子力発電を、地域の皆さんの理解を大前提として安全に進めていくことが、日本の低炭素社会をつくる上で非常に重要だと考える。

私は、現職の環境大臣としてはじめて柏崎刈羽原子力発電所を訪問し、その復旧の状況をつぶさに視察した。これらの原子力発電所が安全を大前提に稼働し、低炭素社会づくりおよび京都議定書達成に貢献することを心から願っている。

環境省は、どちらかという原子力に対して厳しいと見られているが、私が大前大臣の間は「低炭素社会の中核に原子力はなくてはならない」ということを、政策の中心にすえたいと考えている。また、グリーン・ニューディールという政策を作っているが、これは環境を経済の活性化の軸にしようとするものである。優位な日本の原子力技術が、世界の低炭素化に貢献するということは、日本の経済力向上の上で非常に大きな意味がある。環境省としても、原子力産業界の皆さんと一緒にがんばっていき

(資料提供：日本原子力産業協会)

世界の安全保障と原子力—CEIP 報告書『原子カルネッサンス』

カーネギー国際平和財団(CEIP)上級研究員 シャロン・スクワッソーニ

化石燃料価格の高騰、エネルギー安全保障、気候変動の緩和といった要因により、原子力への関心が世界中で高まってきた。特にアジアなど、世界のいくつかの地域における原子力の新規建設の増大が予想されるが、気候変動の緩和に貢献できるほどの大規模な容量にまで増加するのは、つまり容量が3～4倍になるのは、今世紀半ばであろう。これでは、今後20年間で必要な二酸化炭素(CO₂)排出量削減には、はるかに遠い。また、国際エネルギー機関(IEA)が発表した「2050年の排出量を半減する」BLUE シナリオでは、2050年にCO₂削減に寄与する原子力の割合は6%に過ぎず、最終燃料効率が24%、再生可能エネルギーが21%など、他の割合に比べるとかなり少ない。

しかし、「原子カルネッサンス」は、原子炉の数が増加する以上の意味がある。現在、原子力発電を持たない25カ国以上が導入を考えているが、そのうちのいくつかの国では、セキュリティと管理に関する懸念があると思われる。原子力先進国では、再処理といった新たな技術が追求されている。原子力発電容量が大幅に増大すると、核燃料のためのウラン濃縮施設の増大が必要となり、また100万 kWe 当たり年間20トンの使用済み燃料が発生するため、使用済み燃料の再処理施設の増大が必要となる。

経済性、安全性、廃棄物、セキュリティ、核拡散といった原子力が従来から直面している課題は依然存在しており、原子力発電を進めるにはそれらの課題に取り組まなくてはならない。これらは新規導入国にとっては特に関連する課題であるが、結局のところ、すべての国の安全

性とセキュリティに影響を与えることになる。さらに原子力産業界は、現在の限られた製造能力と熟練労働力を、今後数十年にわたり増大させる必要が生じてくる。また、現在の金融危機により、今後電力需要は抑えられることになるであろう。

新規導入国における制約として、安全文化およびセキュリティ文化の発達には時間がかかることが挙げられる。また、法制面、資金調達、規制の枠組みも重要である。ウラン濃縮や使用済み燃料の再処理といった機微技術の拡散に対する懸念に対しては、二国間協定に含まれる自主的でその場しのぎの対策に頼るのでは十分ではない。その代わりとして、核兵器用核分裂性物質生産禁止条約(カットオフ条約: FMCT)のような核分裂性物質管理条約の下で、国有(注: 1ヶ国によって所有されている(私有の対話ではない))の濃縮と再処理の能力を段階的に廃止することが望ましい。これによって、機微な燃料サイクル技術とそれに付随する国家の威信を切り離すことができるであろう。

最後に、化石燃料への依存から脱却するには、エネルギー効率の改善を含め、あらゆるエネルギーオプションを促進すべきであり、今すぐが開発できてCO₂排出が少ないエネルギーオプションへの投資を優先させることが必要である。また、核拡散リスクの低減には、地域共同施設や地域燃料サイクルセンターといったすべてのアプローチを進めるべきであり、さらに国際原子力機関(IAEA)追加議定書の批准を供給基準とすべきである。

(資料提供: 日本原子力産業協会)

核セキュリティの強化と WINS の設立

標記の記事を読み、その重要性に鑑みて、まずは核セキュリティの歴史と WINS の設立の背景と意義を解説する。その上で、インタビューの内容を要約する。

1. 核セキュリティの正史

原子力の平和利用が確立されるためには、「安全」と「核不拡散」が大前提であるが、それに近年、「核セキュリティ」なる新しい概念が付け加わった。Safety(安全)、Non-proliferation(核不拡散……その代表選手としての Safeguards[保障措置])そして Nuclear Security(核セキュリティ)の「3S」である。「3S」のうち、安全と核不拡散については、かねてからその重要性、必要性が認識されていて、そのための制度が国内的にも国際的にも整備されてきたが、「核セキュリティ」は歴史が浅い。

核セキュリティが取り上げられるようになったのは、国際テロリズムが頻発するようになった1960年代後半からで、核物質(ウランおよびプルトニウム)防護対策の必要性が強く感じられるようになった。その口火を切ったのが米国であるが、IAEAも検討を始め、核物質防護のガイドラインとして INFCIRC/225なる文書を作成した(1975)。なお、この文書は時とともに次第に改訂され、強化されてゆく。さらに、核物質防護の観点から、最もリスクが高いとみなされている国際間輸送を規制するため核物質防護条約が採択され、1987年に発効、翌88年に日本も加盟した。

東西冷戦が終わり、ロシアの核の管理がルーズになり、また核兵器の解体が進む過程で核物質の盗取、密輸、核技術者の国外流出などが恐れられるようになった。特に、2001年9月11日の米国での同時多発テロを契機にして、核とテロの結びつきが深刻な脅威であり、核における現実の最大の脅威は核拡散よりはむしろ核テロであるとの国際的認識が高まった。

9.11以降、核物質防護の一層の強化に加え、放射性物質全般の防護や原子力施設の防護の強化の必要性が認識され、国際規範が強化されていった。核物質防護条約の改訂、IAEAにおける放射線源の安全とセキュリティに関する行動規範の策定、核テロ防止条約、国連安保理決議、PSI(Proliferation Security Initiative)などがこのための措置である。核セキュリティなる言葉が使われるようになったのはこの頃からである。

2. WINS の設立

核セキュリティ強化のための民間サイドの動きとして、WINS(World Institute for Nuclear Security)の設立があげられる。WINSは米国のNGOであるNTI(Nuclear Threat Initiative)が、米国核物質管理学会 INMM(Institute of Nuclear Materials Management)およびエネルギー省と協力してIAEAとの相談の下に設立したものである。原子力安全に関する WANO(World Association of Nuclear Operators)を参考にしたもので、核セキュリティに関するベストプラクティスの共有を通じて、事業者の核セキュリティ能力を向上させることを目的としている。2008年9月のIAEA総会中に設立総会が行われ、事務局はウィーンに設けられた。NTIが300万ドル、エネルギー省が同額、ノルウェーが10万ドルをとりあえず拠出するが、今後、世界の政府、企業などからの参加、拠出を仰ぎたいとしている。

WINSのなんたるかについては、発起人の一人である INNMの会長でありロスアラモス国立研究所の核不拡散部長である Nancy Nicholas氏が Nuclear Newsとのインタビューの概略に示す。

なお、日本では原子力専門家の間においても、「3S」のうち核不拡散についてさほどの関心がなく、ましてや核セキュリティになるとなさらである。核セキュリティに対して、認識が乏しいのは日本が島国であること、同質的なムラ社会であることから、これまでセキュリティに対する認識が必要とされなかったからではないかと思われる。しかし、核テロの脅威は間違いなく増えているし、世界がグローバル化しているし、日本が大規模な原子力活動を行っており、しかも核燃料サイクルを持っている国なので、核セキュリティに対しては、十分な配慮を払う必要があるし、国際的な動向もしっかりと把握し、資金面ばかりでなく、人的、技術的にも積極的に貢献していくことが必要である。例えば、WINSへの参加を検討してもよいのではないか。

3. インタビューの概略

・ WINS とは何か、成立の経緯は

WINSは核物質防護(physical protection:PP)および核物質、原子力施設のセキュリティを強化するために、この分野で初めて設立された組織である。当初、最も機微な高濃縮ウランとプルトニウムに焦点をあてるが、やがては核兵器に使われうるすべての物質を取り上げるこ

とにしたい。

WINS は2003年の夏, INNМ の年次総会で NTI のカーティス会長が核セキュリティを強化し, 核兵器, 核物質がテロリストの手に渡るのを防ぐために, 例えば, 新しい組織を設立して核セキュリティのためのベストプラクティスを共有してはと提案したのに端を発する。そこで, INNМ の我々は WANO をモデルとして検討を始めたが, 核セキュリティはそれ自身が微妙な問題であり, 公開に馴染まないところも多く, 新組織の構想を固めるのに数年かかった。

・ WINS は IAEA の担当部局である安全・核セキュリティ局とどう違うのか

IAEA は国連の一部であり, 第一義的に政府を相手とする組織であるが, WINS は電力会社を始め企業を相手とする。現在の国際社会には, セキュリティ面での個別のプラクティスを相互に話し合えるような場が存在しない。IAEA は規制の権限を持っているが, 各国が相互に率直かつ自由に意見やアプローチを話し合える場ではない。他方, WINS はまさにその場を提供しうる。もちろん WINS は IAEA と密接に協力してゆくつもりである。

・ WINS の事務局はどうなっているのか

Roger Howsley 氏が事務局長に選ばれた。ハウズレー氏は, NTI のコンサルタントであったが, 以前に BNFL で核セキュリティ, 核不拡散および国際関係の担当部長を長年務め, 核セキュリティの分野では豊富な経験を持っている。事務局がウイーンにおかれるのは, IAEA との関係性を密にすること, IAEA を訪れる専門家との協力を活用するためである。

・ 保障措置と核セキュリティはどう違うのか

保障措置はそれ自身安全および核セキュリティとは関係ないが, お互いに補完関係にある。保障措置は核物質が転用されないことを計量管理, 査察などによって検証するものである。他方, 核セキュリティは核物質, 原子力施設の実際の防護(PP)を目的としている。

・ WINS では情報交換をどうやって行うのか, 秘密情報の取扱いは

WINS への参加は完全に自発的であり, したがって, 情報の提供も自由に行われる。しかし, 参加国は核セキュリティ強化のため自発的に情報を共有することがお互いのためになるということを理解してほしいし, その方法としてピアレビュー, 訓練, 専門家の派遣, ベストプラクティスについての情報交換などが検討されている。なお, 機密情報は交換の対象にはならない。交換される情報は WINS の場で公開され自由に討議される。

・ WINS は規制的な役割をもつのか

答えは否である。WINS は WANO と同様に専門家の集まり (professional society) である。

4. おわりに

このように米国主導で「3S」を推進するための新たな組織が設立された。これは, 民間の NGO が基盤にあり, ボランティア的な性格が強い。欧米には, 宗教観を背景にした社会貢献活動の伝統があることが, このような動きを牽引している。日本は国が主導しないとなかなか物事が動かないが, そうこうしているうちに, “核不拡散の優等生”は世界の時流に乗り遅れてしまうのではないかと危惧する。

(日本国際問題研究所 シニア・フェロー,
元原子力委員長代理 遠藤哲也, 2009年4月1日記)

インタビュー 益川敏英 氏に聞く

「稲作なんですよ!! 高エネ実験も原子力も」

石橋 先生、今日は雨の中ありがとうございます。コーヒーでよろしいですか？

益川 はい、今日はこれで3杯めです。新幹線のなか、さっき別のところで一杯…

石橋 先生は朝お早いとか。

益川 今朝は京都6時32分発の「のぞみ」に乗りました。

石橋 随分早いですねえ。

益川 ええ、東京へ来る楽しみはこれですよ(といって鞆のなかの数冊の本を指差して)。書店に寄ってきました。

石橋 東京駅から徒歩ですか？先生は歩きながらお考えをまとめられるとか。

益川 いえ、この雨ではかないません。タクシーですよ。

石橋 私の父も京大の理学部出身なんです。なんでオマエが益川先生にインタビューするんだ、失礼じゃないかと言われました。

益川 ははは。ほう、そうなんですか。

……クラシックな九段会館。窓の外の新緑に降り注ぐ雨を眺めながら、和やかななかインタビューが始まりました。

戦争について語れる世代は、僕らが最後

—益川先生には物理学者に加えて、最近平和運動家のイメージもあるのですが、これは恩師である坂田昌一先生の薫陶を受けられたからでしょうか。

私はあくまで物理屋ですよ。

ただね、1月末に『戦争 200年でなくせる』っていうインタビュー記事が、さる新聞に載ったのですよ。そのせいがあるかもしれません。

私はね、60年安保の育ちだから、デモにはよく行ったな。もっとも、あの頃は皆行ってましたからね。64年に原子力潜水艦がきた。素粒子屋だったら原子力潜水艦のことがわかるだろうと言われて引っぱり出されたんです。

坂田先生は、なにかあればよく声明文を出してましたよ。ボクなんかはまだまだ下っ端だったから、ガリ版刷りをして封筒に詰め、郵送するのを手伝った程度で



益川敏英 氏(ますかわ・としひで)

1940年生まれ。名古屋大学大学院修了。京都大学基礎物理学研究所教授などを経て、2003年から京都産業大学教授。08年にノーベル賞物理学賞を受賞。

聞き手 日本原子力学会 編集諮問委員 石橋すおみ(東京電力)

した。

今も自分でなんかやろうなんて感じではない。私の体験が役立つのならとの思いで、呼ばれば講演にはできるだけ出かけます。

—幼児の頃の戦争体験を鮮明に覚えていらっしゃる。

もう69歳なんですよ。ボクらが戦争について語れる最後の世代だと思います。

終戦のとき5歳だったんです。自宅に焼夷弾が落ちたが、運良く不発だった。それがギリギリの記憶かな。焼夷弾はねえ、ペースト状の樹脂にアルミ等の金属が混ぜてある。爆発とともに酸化反応(テルミット反応)を起こした灼熱の金属が飛び散るんです。今から思えば、死ななくても大やけどをする可能性があった。恐ろしい兵器です。

記憶心理学って知ってますか？親から聞いた話や写真を見たりしていると、後から記憶が再構成されて蘇って

くる。空襲の時は母が私をリヤカーに積んで逃げてたんです。父はねえ、勤労奉仕でよく砲弾を運んだといっていました。そんな記憶があるから、なんか言わなきゃいけないという気分になった。

—名古屋や京都の研究が忙しい中で、平和運動にも取り組まれる……両方やっていくのは大変だと思いますが、どういう思いで？

自分の本務はどこまでいっても素粒子物理です。でもね、最近、少し違った気持ちが出てきて、もうそんな悠長なこと言っていないのかと。憲法改正の動きです。安保闘争の時のようにグワーッと盛り上がる可能性はあります。交戦権については、きっぱりダメだと言わないといけない。

憲法改正論者が本当のところ何考えているかわからない。このまま進むと大やけどをする可能性はあります。ボクの認識不足があるかもしれないが、きな臭い。

向こうが“今しかない”という気持ちなら、本腰をあげないといけないと思っています。

—さらに不穏な状況になれば、物理学者から平和運動家へ軸を移していくことも。

そうですね。可能性は否定できない。

—物理学者だから平和運動に携わる責任があるとお考えですか

物理学者がみんな平和運動をやっているわけじゃない。科学は平和にも戦争にも使えます。これは自明ですね。一市民として自分の子供や孫のことを考えると戦争には反対です。あたりまえですね。そのときに科学の知識が役立てられるんですよ。

やりとりに科学の知識が役立つというだけで、科学の知識があるから平和主義者になったわけではないですよ。

恩師の坂田先生は違うよ(微笑)……なんでもかんでも物理の論理でやれるって考えだった。平和の論理も素粒子論から出てくるんです。ユニークな先生でした。

—先生は、憲法改正に反対する護憲派グループ「科学者九条の会」の呼びかけ人になっておられますが。

あるときに、お声がかかったんですよ。それで“はい”という方に○を書きました。お邪魔にならない程度に末席でついていこうと、本気でそう思っていました。でも最近はそのではダメかなとね。

—最近はさらに危機的な思いがおりとか。

ええ、あれだけの数の人が憲法改正反対に署名をよせているんですよ。それほど多くの方々戦争の危機を感じておられるに違いないと思うんです。ボクが総理だったら、九条のことは持ち出さないよ。へたをすれば彼らがヤケドすると思う。ボクが思いもよらない手法を考えている人が、どうやらいるらしい。

—自衛隊の最近のソマリア派遣については。

今の憲法でも自衛隊はソマリア沖まで行くことができる。なにが足りないのかというのが私の素朴な思いで



す。九条の問題はね、交戦権の問題なんだと思います。

何年か前に不審船を20 mm 機関砲で撃ちましたね。警告的射撃です。向こうは逃げ切れないと思い自爆しました。20 mm 砲ってこんなもんですよ(指で輪っかを作って)。

九条がある限り交戦権に対してまだまだ強く抑え込めます。その歯止めが彼らにとって困るのです。

安全問題に徹底して対処している実績を示す

—科学の両面性について先生のお考えを。

1970年代に高層ビルが建つようになって、電波障害がおこりましたね。

そのことを日本ペイントの技術者が、塗料にフェライトを混ぜれば電波を吸収することを利用して解決した。その技術者は戦争とは全く関係なかった。しかし、その後、この技術がステルス戦闘機に使われたのです。フェライトを混ぜた塗料を使うことでレーダーに感知されにくくなる。この技術者に戦争利用を責めても『えええ？勘弁してくださいよ』だよ。科学とか技術ってそんなものなんですよ。

その先を言えば、科学者の役割は、市民としての感覚をしっかりとって、平和問題にちゃんと気付いていることだと思います。

そうすれば科学知識があるから、普通の市民とは違った役割がある。それを行うべきなんです。

私もある意味では今の立場をうまく利用するべしですよ。私の知識や立場が皆さんに役立つように心がけています。だから、お呼びがかかればできるだけいろんなところに出かけて行って話をします。ちょっとしゃちこばっていえば社会的責任ということですかね。

—核の平和利用としての原子力発電に関しては？

むかし、福井の高校で講演を頼まれたことがあって、その際に、ある女性記者さんに原子力について聞かれました。福井には原子力発電所が多いですから。ボクが“原子力は大変問題あり”と言うのを期待されていたフシがある。

ところがね、私はね、最終的にちゃんと使えるような安全な技術にしないとけないよと言った。

そうするとこの記者さんねえ、泣き出しちゃってね。ボクは困ってしまいましたよ。100年先だよと言って、

なんとかなだめたんです。

原子力は安全だ安全だと安全神話を言ってきたでしょう。だから、かえって知識のない一般の人たちが危険に思うようになってしまっている。本来ね、成熟途上の技術は慎重な上にも慎重にと言って、実際それを実践しているということをハッキリと言いつけないといけない。

他の火力でもいろいろなことが起っています……技術ってそういうもんなんです。安全面などはだましまし使いながら上げていかないといけない。それが技術の本質だと思うのです。そのことを技術者もちゃんと認識し言うべきなんです。

—私は原子力広報の仕事をしています。日本人の核アレルギーというのでしょうか、原子力といういろいろな壁にぶつかります。兵器利用と平和利用の区別を一般の人に理解してもらうのが難しいのですが、どうすればいいのでしょうか？

科学や技術と戦争と平和の関係はもう話しましたね。

安全の問題は、徹底してそれに対処しているという実績を示すべきです。大変な危険の可能性があるので事実でしょうから。

でもエネルギー問題や資源問題があるので、慎重のうえにも慎重にやっているという実績を示していくしかないのです。

—なにか起ったときに、情報を出してもなかなかこちらの思いが伝わらないというジレンマもあります。

それはこれまでの歴史がそうさせているんです。隠してきたでしょう。マスコミが媒介するのは事実だが、そういう状況をつくってきたのは自分たちであるということも事実です。それは負の財産だからね。これからの努力にかかっています。誠意をもって進めるんです。

まだ足りないところがあるかもしれないが、とにかく誠意をもって慎重にやっていると言いつけるしかない。

—濃縮再処理を考えれば、国際的な核不拡散への取組みとの関係が重要です。特に被ばく国として意義があると思うのですが。

原子力は使うなという人とは違って、エネルギー問題や資源問題を考えれば使うしかないと思います。ただし、だましましの部分はある。

大規模な装置を扱う技術者集団を支える「恥の文化」

—日本の役割はどうでしょう。



日本の役割かあ、それね、オモシロい話教えましょう。

ボクは稲作論理っていうのもってるんです。稲作ってね、水が命です。上流から下流に水を引きます……だからどの田んぼでも田植えは一

斉にやらないといけなくなっている。必然的に村の全員が一致団結して取組まないといけない。

高エネルギーの実験はね、今や千人単位でやるんです。1994年のトップクオークの存在を突止めた実験では、論文に名前が載った研究者だけで406人。実験装置を支えたテクニシャンの数ははいっていませんよ。高エネルギーの実験は、加速器利用権を取って実験を始め一年ほどかかる。このとき、次のマシンタイムを取るために計画を作り、測定装置の開発を行っている。実験結果の解析も行われている。自分たちに任されたパートの進行が遅れると、全体に大きな迷惑をかける。

この大集団を支配しているものは『恥の文化』です。皆で一斉にやるから、遅れては恥が大変だと。恥の文化って最近では評価低いけど、これ美德ですよ。起源は稲作だと思います。

もうわかるでしょ、原子力発電も高エネルギー実験も稲作と一緒になんです。

—ああーっ、なるほど。瑞穂の科学技術立国の日本人こそ高エネルギー実験や原子力に向いているのかもしれないね。この話、広報で使わせて頂きます。

ただし誠意を持ってマズいことはマズいと言わないといけないですよ。

“だましまし”の一方でシステム開発もちゃんとやってみようとしてしっかり発信する。

—はい、心します。

—先生は物理雑誌の『パリティ』で、難しい論理を数式も躊躇せず使って、大変わかりやすく解説されていました。なにかコツとか工夫があったのですか。

大学の教養程度の知識で読めるものという基準はもっていません。だいたいこんなもんだという“催眠術”にやったりするんだけど、ボクはそんなことしないよ。

—原子力でもある種催眠術を使っているかもしれません。

—そうですか。式が嫌いな人は飛ばして読めば良いんだがな。そういうことは、はじめに宣言しておかないといけないのかなあ。

—日本原子力学会には約8,000人の会員がいます。学協会が社会に対して果たすべきことは？

一番大事なことは、秘密をつくらないこと。自分の恥部をむしろ積極的にさらけ出す。安全のことももっと出す。別の言い方をすれば、もっと自信をもってやればいい。叩かれることを意識し過ぎていては萎縮する一方ですよ。ただし、謙虚さにはじみ出していないとダメです。横柄だと思われたら終わりです。

もう少しエネルギー問題も真正面からとりあげたいと思います。ここ数十年じゃなく、200~300年先を見据えているようなエネルギー源をそれぞれの個性に合わせて使いこなすしかないし、そうすべきなのです。

自分たちの子孫のことを考えて、真っ正面からやっていく。それが原子力学会が社会に果たすべき役割、責任

じゃあないですか。

隠し事やだましごとは絶対ダメ……信用失うだけです。最悪のシナリオの場合はこうだというようなことを提示することも大事。東海村のJCOが良い例です。安全だ安全だといってればあんなことになっちゃうんですよ。

門外漢が勝手なことって済まないけどね。

一子供たちの教育や科学教育については？

理科離れというけれど、小学校3年生までくらいはみんな好きなんだよ、勉強自体も好きなんだ……複雑な試験などを何回もやる。リトマス試験紙のようなものだから必要悪なんだけど、学力見るのにあんな複雑なことをやる必要あるのかなあ？

試験制度をもっとシンプルにしてね。マークシートにする話とは違いますよ。試験制度が一種の教育汚染になっています。つまり、子供たちから好奇心を奪っていると思います。

一益川先生は、幼い頃はどんな勉強が好きでしたか。

理科や数学はそれほど大変じゃあなかったなあ。だから授業中も余裕でね、内職してましたよ。国語は復習しなかったからね、成績は今ひとつだった。

一湯川先生はやはり目標でしたか。

仲間には湯川ノーベル賞で素粒子を指向したという人が多いですが、私はこのことを知らなかったんですよ。私を鼓舞したのは、坂田先生の複合模型^{a)}です。

勉強って、ちょっと嫌な言葉でね。お産のときに産みの苦しみを知っていうでしょう。勉強という言葉には同じような響きがある。英語のスタディ(study)の語源は好きになることだよ。知る喜びなんですよ。

江戸時代にお伊勢参りとかあったよね。お伊勢参りの長い道中、なぞかけのようなものが生まれて来た。問題をつくる面白さと解く喜びがある。人間は昔からクイズ好きなんだよ。子供ってなぞなぞつくるの好きでしょう。大人はあれを見逃しちゃあいけないよ。

試験で振り分けられちゃあ楽しいはずがない。あのやり方が知る喜びを奪ってしまっている。その結果、日本人の知的体力は衰える一方じゃないですかね。

先生も試験から解放してあげて、学生ももっと解放してあげて他のことに時間を使うべしだよ。試験は到達度を知る上で必要ですが、シンプル(易しいという意味ではない)なものにして先生も学生も他に振り向ける自由度を作るべきです。

一大学受験生から原子力工学が敬遠され、学科名の変



更を行う大学が増えました。東大の原子力工学科もシステム量子工学科になりました。

それこそ危機だと思います。

いまのトップは中曽根政策で、当時の最高の頭脳の人たちが原子力に集まってきた。いまはデモシカ的じゃあないのかな。自分たちで首を締めてる。それは過去のツケだよ。もっとオープンにやるべしですね。

“原子力止める”では済まないことをもっとちゃんと知らないといけません。最近ね、電気自動車とか騒いでいるけど、バッテリーの電気は発電所からくるでしょ。原子力が3割という事実が持つ社会的意味を知らないといけません。こういう大きな装置が必要だという正しい認識をもっと積極的に広めないといけません。それで私たちの生活や文明が支えられている。

原子力は大型な装置で、いろんなものを巻き込んでいます。したがって、大型加速器と同様に、建設計画立ててもすぐには出来ないものでしょう。いったん造ったらね、不具合があっても建て替えられない。飼いならす心構えが必要なんです。

そして、問題が起きればオープンにする。信頼性の回復は会社の問題ではなく、むしろ社会の問題なんだということを広め共有しないとね。

日本は特にエネルギーは問題です。これからもズッとそうです。石油だって安全じゃあないんだよ。

一最後に原子力に携わる若い人たちにメッセージを。

原子力に関連して働いているなら、社会的ニーズの高いところでやっているという誇りを持ってもらいたいですね。それが存続できるような信頼性を回復し保っていきけるような責任を果たす。社会的な問題だと言う認識で、キッチリ取り組んでいく心構えでやってほしい。なんでも隠しちゃあだめですね。

(企画編集：澤田哲生，白川典幸，佐田 務)

^{a)}1955年に提唱された。坂田模型ともいう。陽子，中性子，ラムダ粒子が最も基本的な粒子であり，他のハドロン(強い相互作用をする粒子)は，この3種の粒子とそれらの反粒子から組み立てられるという模型である。この模型はクォーク模型に発展していったと言われる。

我が国の最先端原子力研究開発

シリーズ解説 第10回

原子力発電事業を支える電中研の先端技術

新シリーズの連載に当たって

電力中央研究所 植田 伸幸

電力中央研究所は、電気事業の中核研究所として、発電、送電、配電、電力応用そしてエネルギー経済社会と幅広い研究を進めている。世界的な地球環境問題の高まりの中、低炭素社会の実現に向けて、大規模な低炭素排出電源である原子力発電への期待は大きい。新たな最先端技術シリーズの連載に当たり、原子力発電事業に係る研究の概要を紹介する。

I. はじめに

電力中央研究所(以下、電中研)は、幅広い専門分野・技術を活用し、電気事業を通じて広く社会への貢献を目指している。昨今の、電力を中心としたエネルギー技術への社会のニーズが変化中、電中研では「エネルギー・セキュリティの確保」と「地球環境問題への対応」を技術開発のミッションとしている。そして、「原子力技術」、「電力安定供給技術」、「環境・エネルギー利用技術」を研究の三本柱として研究課題に取り組んでいる。

電中研では、第1図に示すように、研究分野別に8つの研究所を設置しており、主に4つの研究所(第1図の緑に白抜きで表した研究所)が「原子力技術」の課題に係わっている。第1表に、各研究所における原子力利用と開発に関係する主な研究課題を示す。電中研の先端技術について、新たなシリーズ解説として開始するにあたり、初回は、電中研の原子力技術に関連した研究体制を含め、研究課題と関連した代表的な先端技術について紹介する。

II. 軽水炉発電技術

1. 軽水炉高経年化研究総括プロジェクト

ミッションを達成する上で、軽水炉発電の安定供給が一層重要な課題となりつつあり、電中研では、今後急増

High Technology Supporting Nuclear Power Industry in CRIEPI : Nobuyuki UEDA.
(2009年 4月23日 受理)

する高経年軽水炉への対策を確立することが必要と考えている。そのため、横断的な推進体制で総合的に軽水炉高経年化研究の一層の効率的推進を図るため、2007年5月、3つの研究分野を対象とするユニットから構成される「軽水炉高経年化研究総括プロジェクト(PLMプロジェクト)」を組織した。

本総括プロジェクトでは、高経年化の課題として現在最も重要とされている、中性子照射脆化、応力腐食割れ(SCC)、減肉の3つの材料経年化現象について、その基礎的なメカニズムの解明、新たな材料データベースの開発、そして経年化事象の予測・評価方法の開発を行っている。

そして、これらの成果を規格基準に反映させ、高経年軽水炉の健全性・安全性の確保に貢献することを目的としている。さらに、2008年4月からは、研究対象を、ケープル劣化や非破壊検査についても拡大している。

代表的な中性子照射脆化の研究では、3次元アトムブ

第1表 電中研の各研究所における原子力関連研究

研究所名	主な研究課題
社会経済研究所	原子力政策分析, リスクコミュニケーション, ヒューマンファクター
原子力技術研究所	炉心・燃料, 配管減肉, 熱流動・振動評価, 次世代サイクル 合理的な放射線・放射能評価
地球工学研究所	原子燃料サイクルバックエンド, 耐震裕度評価, 発電プラント機器の熱流動
材料科学研究所	中性子照射脆化 水化学の運用管理



第1図 電中研の組織の概要

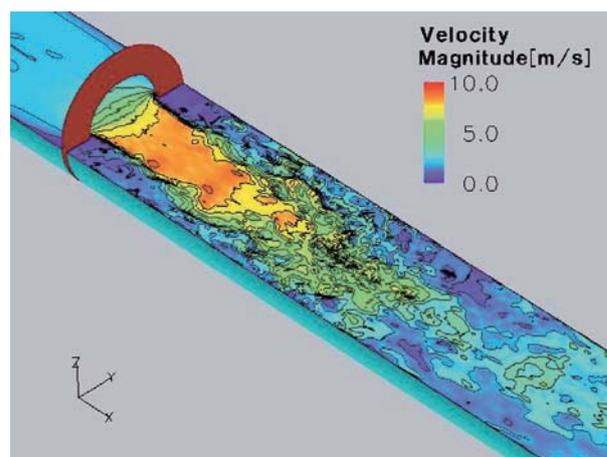
ローブ(3DAP)法や陽電子消滅法等の最新のナノ組織観察技術を活用した原子炉圧力容器の照射脆化メカニズムの解明研究がある。SCCに関しては、日本機械学会の「維持規格」のSCC評価手法の高度化・高精度化のための技術的知見の拡充を目指している。例えば、溶接境界部でのき裂進展について、試験とマイクロ組織の観察・分析と局所応力の測定を通しての挙動解明を行っている。

軽水炉では、配管の減肉現象を適切に管理することが重要となっている。2006年に配管減肉管理のための技術規格が策定されたが、電中研では主な配管減肉現象である流れ加速型腐食(FCA)と液滴衝撃エロージョン(LDI)について、実機環境下での減肉実験と電中研で開発した流体数値計算コードMATIS-I(高圧過熱～低圧湿りの広範囲の蒸気状態を取り扱え、流れ場に急激な変動を起こす非平衡凝縮も考慮できるCFDコード)を用いた局所的な流動評価を通して、メカニズム解明と減肉評価法の定式化を進めている(第2図)。

2. リスク情報評価技術

米国原子力規制委員会(USNRC)は、1995年に原子力安全規制全般に確率論的安全評価(PSA)の活用を展開していくという、「リスクインフォームド規制(RIR)」の政策声明を発表した。RIRの下、供用期間中検査(ISI)、技術仕様書における定例試験頻度の変更や、許容待機除外時間(AOT)の延長によるオンラインメンテナンスなどのアプリケーションが実施され、効率的なプラントの運営を実現している。

このような米国の動向を受けて、我が国の原子力業界でもPSAを応用する「リスク情報活用」を進める機運が



オリフィスを通ずる全速度の流れ方向断面分布
 $Re: 2.5 \times 10^5$, 配管径: 100 mm, オリフィス径: 60 mm
 第2図 MATIS-Iコードを用いた解析例¹⁾

高まり、規制側によるガイドラインの発行と学協会による関連する標準の策定活動が行われている。

電中研では、リスク情報活用基盤技術整備として、PSA用データ整備と、そのための手法整備を進めている。旧原子力情報センター(NIC)において、1982年度以降の国内トラブル事例を分析・整理してデータベース化し、NUCIA(原子力施設情報公開ライブラリー、2005年より日本原子力技術協会に移管)として公開した。

PSAで用いる機器の非信頼性等のパラメータ(平均値だけではなく確率分布が必要)については、原子力学会の「PSA用パラメータ標準」の要求事項に対応することが必要であり、パラメータ推定にはベイズ統計学の適用が推奨されている。ベイズ統計学を用いたパラメータ推定(ベイズ推定)とは、ある段階での情報(専門家判断を含めることが可能)に基づくパラメータの確率分布(事前分布)に対して、新たに発生した故障情報等を加味することにより、新たな確率分布(事後分布)に更新する推定方法である。

現在、NUCIAデータにベイズ推定を適用した国内機器信頼性パラメータの評価結果の妥当性評価および手法の高度化を進めている。また、データ整備の大きな課題の一つである共通要因故障率パラメータの整備も進めている。

3. 炉心・燃料技術

電気事業では、軽水炉の燃料サイクル費の低減および使用済み燃料の体数の削減のため、燃料の高燃焼度化が段階的に進められている。我が国では、燃料の健全性を確保しつつ、段階的な高燃焼度を進めてきており、PWR、BWRともに集合体取出最高燃焼度55 MWd/kgUを達成してきた。燃料を高燃焼度まで利用することによる燃料挙動の課題として、燃料ペレットでのリム組織の形成と被覆管の脆化現象が挙げられる。

リム組織とは、燃料の外周部で観察される、結晶粒が微細化して微小な気泡が集積した組織である。リム組織形成により燃料棒の温度・内圧の上昇が予測されている。燃焼度が増大するに伴いその範囲が拡大する傾向があり、電中研では国際共同研究を主催して照射後試験と解析の結果から形成条件を推定した。今後、大幅な高燃焼度化や MOX 燃料高燃焼度化の確証試験に活用する計画である。

被覆管の脆化は、腐食量および水素吸収量の増加による現象である。現行の被覆管材料と同等以上の機械特性を維持したうえで、耐腐食および耐水素吸収性能に優れた、新しいジルコニウム合金あるいはその他の合金の開発が進められている。今後、現在よりも長期間、高出力で燃料を利用するためには、脆化のメカニズムを解明し、現状と同等な安全の確保が必要とされる。電中研では、被覆管の脆化メカニズム解明のため、照射後の被覆管の透過型電子顕微鏡(TEM)、3DAP等を用いた微細組織の観察、加速器を応用した被覆管の模擬照射技術の開発などに取り組んでいる。

Ⅲ. バックエンド技術

1. リサイクル燃料の貯蔵・輸送技術

原子力政策大綱では、2050年頃にFBRを商業ベースで導入することを目指しているが、原子力発電の安定運転を支える上では長期的に軽水炉が主役となる。その場合、使用済み燃料対策が重要な課題の一つとなる。現在、使用済み燃料は原子力発電所の貯蔵プールに一時的に保管されているが、今後、再処理までのバッファの役割として、40～60年間の貯蔵が可能な発電所敷地外貯蔵施設の実用化が計画されている。

貯蔵方式としてプール貯蔵以外に、コンクリートキャスク、ボルト貯蔵と多様化しているが、電中研では、地震時健全性を含めて、許認可・安全審査を支援するための研究を進めている。コンクリートキャスク貯蔵では、使用済み燃料を銅製キャニスタに収めてその表面を空冷するが、海岸近くに立地する際には、海塩粒子による外面 SCC の発生が懸念されており、海塩吸湿～発錆～き裂発生³の3段階での発生条件の評価を進めている。

また、MOX 燃料貯蔵時の臨界安全性評価、遮蔽解析に必要な使用済燃料中の核種組成評価を、炉心・燃料研究と関連させて進めている。

使用済燃料の輸送については、燃料サイクルの進展に伴う大量輸送や国際輸送に向け、①内部収容物の目視検査を行わずに健全性を担保する手法の開発、②仮想海没時を含めた輸送リスクの評価、③輸送物の新規衝撃緩衝体の開発などを進めている。

電中研は、原子力発電環境整備機構(NUMO)および日本原燃株とそれぞれ技術協力協定を結んでおり、地

質・地下水環境調査評価技術、合理的な処分施設の設計・施工技術、並びに、バリア性能・安全評価手法等の確立と実証を目指した研究を進めてきている。

2. 放射性廃棄物処分技術

(1) 高レベル廃棄物(HLW)処分技術

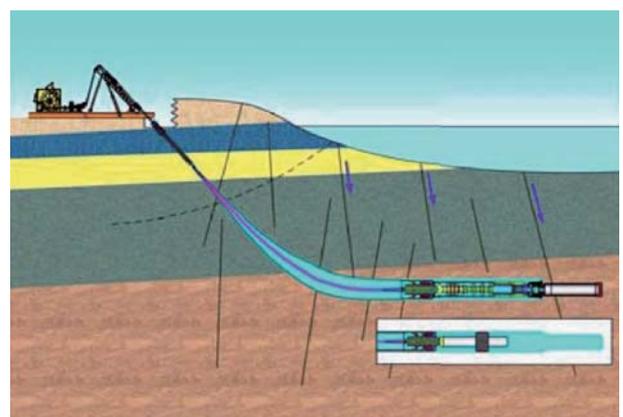
NUMOによるHLWの最終処分事業を技術的に支援するとともに、合理的な処分を行うための調査・設計・評価技術の確立を目指している。

沿岸地域の堆積性軟岩はHLW処分場の母岩となる可能性を有しているが、このような地域では地質年代の若い地層が緩傾斜で分布することが多い。そのため、対象母岩の地質、水理、力学特性を広く調査する際には、鉛直ボーリングを行うよりも、同一地層をトレース可能なコントロールボーリングが合理的な手段となる。電中研では、MWD^{a)}、LWD^{b)}によって掘削中に様々な孔情報や物性値を得るとともに、コア採取を可能とするシステムを開発している。断層の割れ目箇所は、採取したコアの室内試験では評価が困難なため、原位置試験での評価が可能な水理試験機も合わせて開発している。なお、本研究は経済産業省受託研究「ボーリング技術高度化調査」において実施したものである(第3図)。

(2) 低レベル廃棄物(LLW)処分技術

電中研では、世界的で初めての長期耐久性を期待した設計・性能評価を進めている。これまで、セメント系材料の溶脱試験^{c)}・解析コードの高度化、およびベントナイト系材料の変質試験、透気メカニズムの解明等により、六ヶ所村処分場環境条件での評価モデルへの反映方法を検討してきた。

処分場の管理終了後の長期にわたる期間の安全評価に



第3図 コントロールボーリングシステムの概念²⁾

^{a)}MWD(measuring while drilling)：掘削中に掘削方位、掘削ビット荷重を計測する方法。

^{b)}LWD(logging while drilling)：掘削中に音波、電磁波、マイクロ電気、自然 γ 線の4種の検層(ボーリング孔を利用して地盤の物理・化学的性状を測定する)をする方法。

^{c)}セメント系材料を構成するカルシウム水和物などが、周辺環境の水に分解溶出する現象を溶脱というが、その現象解明のために行う各種促進試験を指す。

については、リスク論的な考え方を適用した規制の検討の必要性が原子力安全委員会より指摘され、シナリオの発生の可能性に応じた段階的線量基準の考え方が示されている。種々の被ばくシナリオを評価する上では、それらに含まれる不確実性を考慮することが特に重要である。

不確かさには、岩盤の透水性の空間的不均質性のようランダムなもの、処分場の人工バリアの劣化時期や劣化後の特性のように情報や知識が不足しているもの (Ignorance) とに分けることができる。特に、Ignorance を数値化するには通常確率表現である頻度的な評価を適用するのは難しく、多様な専門家の判断に基づくことが有効と考えられる。電中研では、専門家への意見聴取結果に基づいて定量化する手法の構築を進めてきた。本手法は、放射性廃棄物の安全性を判断するにあたり、重要性が高い現象やシナリオを同定し、その根拠となる情報や専門家判断への追跡性を有すること、さらに、専門家間のコンセンサスの程度についても具体的に可視化できる手法である。今後、処分事業の各段階での意思決定の基盤情報を提供できる手法として有用と考えている。

IV. 次世代炉・サイクル技術

1. 金属燃料サイクル技術

2007年度より進められている「FBR サイクル実用化研究開発」(FaCT)で副概念に位置づけられている金属燃料+乾式再処理技術は、FBR サイクルの実現に当って求められる特性である安全で経済性に優れることに加えて、核拡散抵抗性が高いこと、環境への負荷を低減することにおいて高い潜在能力を持つ。

この技術の特徴は、原子炉の燃料として、酸化物ではなく金属を使用していることである。金属は、酸化物に比べて密度が高く、熱伝導が良いため、原子炉内の燃料装荷量が少なく済み、燃料の増殖性能や原子炉固有の安全特性が優れている。また、炉心での中性子の平均エネルギーが高いことから、マイナーアクチニド元素 (MA: Np, Am, Cm 等)の燃焼効率が良い。長期間発熱するものが多いMAの回収・再利用が今後の再処理技術開発では重要なポイントであり、これを回収し原子炉にリサイクルして燃焼すれば、原子力発電に伴って発生する廃棄体の処分場に必要面積が大幅に低減できる。

金属燃料の再処理では、乾式再処理と呼ばれるプロセスが採用されている。500℃で融解させた塩(熔融塩)の中で電気分解を行うことにより、ウランとプルトニウムを回収する。電極ではイオン化傾向に従って、様々な成分が溶解あるいは析出する。その性質をうまく利用して、鉄陰極を用いれば金属ウランが高純度で回収され、液体カドミウム陰極を用いればプルトニウムがウランやMAと一括して回収される(第4図)。特別なプロセスを



第4図 鉄陰極に析出した金属ウラン(左)とカドミウム陰極に回収したウラン-プルトニウム-MA合金(右)³⁾

付加しなくてもMAが回収され、かつ、プルトニウムが高い純度で回収されないという面からは、核拡散抵抗性が高いことが保障される。また、EUの超ウラン元素研究所 (ITU)と共同でMAを添加した金属燃料を高速炉で照射し、軽水炉で生成するMAを効率良く燃焼する研究を実施している。

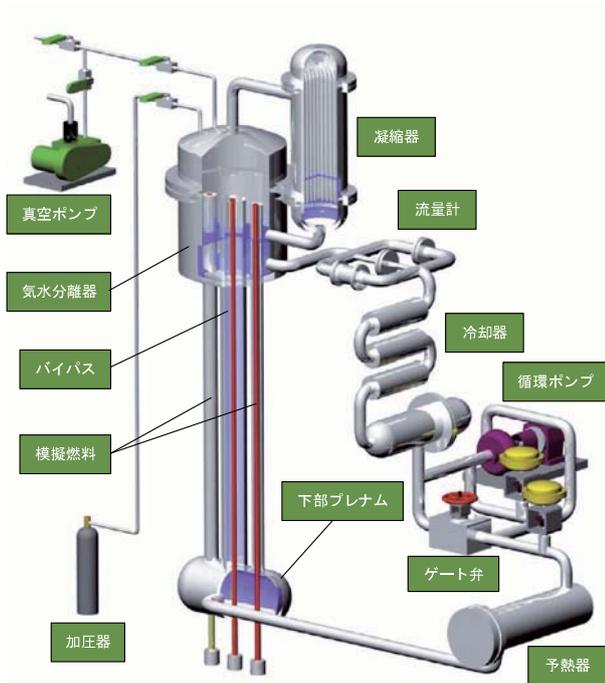
電中研では1980年代後半から研究に着手し、日本原子力研究開発機構 (JAEA)やITU等の国内外の研究機関、大学、メーカーなどと共同で、数kgのウラン、約100gのプルトニウム、さらに照射燃料まで用いて着実に研究を進展させてきており、現在は実用的な工学機器開発の段階に入っている。今後は、将来の工学規模ホット試験の実施に向けて、プロセス全体の工学的実証に加えて、遠隔操作や保障措置、許認可などにも対応した研究開発を進めていく計画が構想されている。

2. 原子炉システム安全評価技術

設置許可申請における設計基準事象の安全解析では、簡略モデルに保守性を考慮した入力データを用いた従来の解析手法に替わり、計算機性能の向上と数値解析技術の高度化の背景から、詳細な核特性モデルと熱水力モデルをカップリングさせた「最適評価コード」と解析モデルと入力データの不確かさ分布を考慮して統計的な評価を行う「統計的安全評価手法」が欧米で導入されている。我が国でも、原子力学会の計算科学部会を中心として検討がなされ標準を策定している。

統計的安全評価手法は、保守性を合理的に扱うことにより、安全裕度を適正化しようとするものである。しかしながら、使用する解析モデルや入力データの不確かさが大きい場合には、十分な合理化効果を期待できない。

そのため、適用する最適評価コードを高い精度で検証すること、そのためには、精度のよい検証データを取得することが必要となる。特に、炉型や燃料仕様に固有な検証データを得ることが重要である。電中研では、BWRの沸騰二相流動の安定性に関して、電源および流動を極短時間で制御して、核熱カップリングを精緻に模擬する試験装置 SIRIUS(第5図)を開発し、安全審査で用いら



第5図 BWR 過渡試験設備 SIRIUS⁴⁾

れる解析コードの精度を検証している。

FBR の分野でも、プレナム流動を多次元で扱うことが可能な動特性解析コード CERES を開発し、設計研究に活用するとともに、JAEA との共同研究で「もんじゅ」の試験データによる検証解析、米国アルゴンヌ国立研究所で開発された SAS 4 A/SASSYS-1 との比較検証解析を実施し、その性能を確認しており、今後、最適評価コードとしての活用を計画している。

CERES コードは、1988年より東芝と設計研究を進めてきたナトリウム冷却小型高速炉 4S (Super-Safe, Small and Simple: 電気出力 1 万 kW, 30 年間燃料無交換) の安全性の評価や設計合理化に活用してきた。この 4S の許認可性確認のため、2007年10月より東芝が代表者として米国 NRC (Nuclear Regulatory Commission) への申請前審査 (Per-Application Review) を行った。今後、安全解析上の課題などが抽出され、それを参考として CERES コードの高度化を進める計画としている。

V. 放射線安全技術

1. 放射線生物影響の評価技術

我が国の放射線防護の基準は、国際放射線防護委員会 (ICRP) の勧告に基づいて定められている。ICRP が採用している放射線リスクの評価方法は、被ばくによるリスクと被ばく量との間に、しきい値がない直線 (linear-non-threshold; LNT) モデルが成立することを前提としている。LNT モデルは、放射線管理を行う上では有用なモデルであり、また、高線量領域ではおおむね有効であることが認められている。しかし、低線量領域では不確

かさの大きな問題とされ、地域差などによるバックグラウンド被ばく線量のばらつきに対して、低線量 (0.1 Sv 以下) の放射線による変化を疫学的に検出するためには、統計的な検出力の不足により困難である場合が多い。

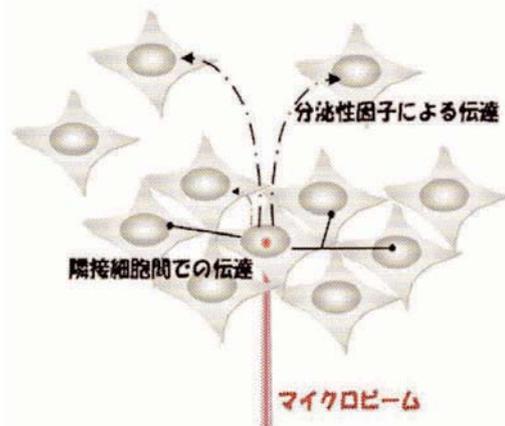
電中研では、低線量・低線量率の放射線の影響について、実験動物や培養細胞を使った機構解明研究を進めている。同時に実験技術の開発も進めている。

(1) 低線量率放射線照射技術

清浄な環境のもとで、マウスや培養細胞に対して低い線量率 (3 mGy/h から 0.03 mGy/h) で長期にわたってガンマ線を照射する技術である。放射線が生体に及ぼす影響を評価する上では、線量のみでなく、どれほどの時間をかけて被ばくしたかの線量率が重要な因子の一つである。これまでは低線量率照射ができなかったため、高い線量率で小線量を何回かに分割して照射するという手法によらざるを得なかったが、本技術の開発によって本来の意味での低線量率照射を行うことが可能となった。

(2) 単一細胞放射線照射技術

近年、ICRP 1990年勧告以降の新しいパラダイムとして、放射線による DNA 初期損傷に直線起因しない「非標的効果」が注目されるようになった。バイスタンダー応答 (第6図) は、その最も特徴的な現象であり、放射線が直接ヒットした細胞の周辺に存在する放射線がまったくヒットしなかった細胞に生じる生物応答である。この機構を解明するために、X線マイクロビームを細胞の標的部位に照射し、細胞の放射線応答を解析する技術を開発した。共焦点レーザー顕微鏡^{d)}で観察しながら、細胞の標的部位 (細胞核、細胞質) を、直径約 2 μm 以下の X線で局所照射することが可能である。放射線を照射した細胞の近傍に存在する非照射細胞に誘導されるバイスタンダー応答の機構解明や、DNA 損傷修復過程などをリ



第6図 バイスタンダー応答の伝達³⁾

^{d)}焦点距離がばらつく厚みのある試料でも鮮明な画像を得ることができ、かつ複数の焦点面の2次元画像から3次元画像の再構築が可能である。

アルタイム観察により解析することが可能である。

2. 合理的放射線安全確保

LLW 処分技術でも述べたように、安全評価ではパラメータの不確かさが保守的に扱われ、過度に保守的な評価となっている可能性がある。そのため、電中研では、合理的な評価の実施に向けた研究の一つとして、クリアランス測定技術の実用化や、大型容器による廃炉廃棄物の搬送のための放射能分布測定の研究を進めている。

再利用・再使用可能な解体金属およびコンクリート等のクリアランスレベル検認を行うためには、物品持ち出し基準の確認(β ・ γ 核種に対して 4 Bq/cm^2 以下であること)に加えて、クリアランスレベル(Co-60に対して 0.1 Bq/g)以下であることを確認しなければならない。

電中研では、レーザー形状計測技術とモンテカルロ計算を活用して微量な放射能を評価できるクリアランスレベル測定装置 CLALIS を開発した(第7図)。クリアランス測定においては、バックグラウンド計数率を評価することが重要であり、サンプルを用いた校正精度の評価と検出限界の評価を行っている。

また、CLALIS は検出限界が優れていることから、上記の検認確認を同時に行うことが可能である。それを確認するために、物品持ち出し基準の確認で使用する GM サーベイメータとの比較評価を通して適用性を明らかにした。今後、CLALIS の適用による合理的な表面汚染の管理が実現できるものとする。

VI. 共通技術

1. 耐震裕度評価技術

改訂された耐震設計審査指針では、確率論的安全評価手法(いわゆる地震 PSA)を活用して、「残余のリスク」を評価し、実行可能な限り合理的にこれを小さくする努力が求められている。

リスク情報を定量化する手法として、免震および耐震

の構造物を対象として、その損傷度曲線(最大地動加速度(PGA)などの地震動の強さ指標に対する損傷確率)の評価が必須である。しかし、軟岩系の基礎地盤および周辺斜面や、免震構造等の柔構造物を対象とした場合、それらの応答と PGA にはあまり相関がみられなかったため、解析に使用する地震動によって地震 PSA の結果が変わってくるとの問題点があった。このため、電中研では、構造物の応答と相関の高い地震動の強さ指標で地震 PSA を行う簡便で高精度な手法を提案し、実務に適用してきた。

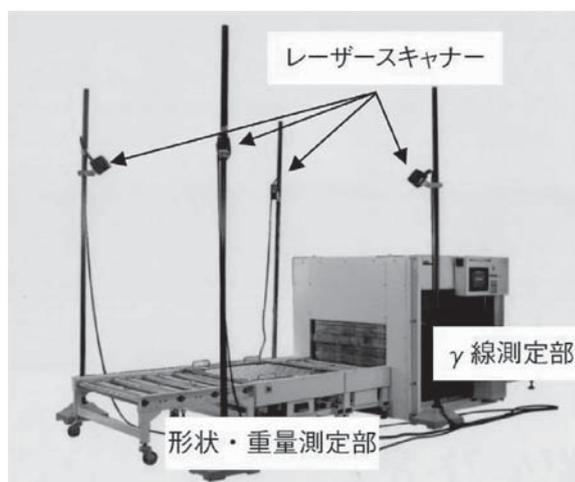
一方、現行の原子力発電所の総合的な安全性を確認するために実施するシステム解析は、PGA をベースに行われていることや、機器・建屋系との比較を行うには、同じ指標で比較する必要があるため、PGA を地震動指標とする損傷度曲線で表現することが望まれている。そこで、構造物の損傷度曲線における指標を PGA に変換する手法を提案した。免震建屋では、PGA よりも地震の長周期成分を反映したスペクトル強度との相関が強いが、これを指標として損傷曲線を作成し、その後 PGA を指標とする損傷曲線に変換する手法を開発した。これにより、評価対象構造物の地震に対する特性を加味しつつ PGA を指標として比較評価が可能となる。

2. ヒューマンファクター分析・パフォーマンス向上技術

ヒューマンエラー(HE)に起因する事故を防止するためには、HE によるトラブル事象を分析し、その背後要因(エラー誘発要因: ヒューマンファクター(HF)問題)を抽出して、本質的な問題点を是正するエラーマネジメントシステムの構築を行う必要がある。電中研では、実務者向けのエラー分析を目的としたヒューマンパフォーマンス事象分析支援ツール(HINT-HFC: Human Performance Incidents Analysis Tool-Human Factors Research Center)を開発した。

本支援ツールは、HE によるトラブル事象を時系列に整理して事実関係を把握し、問題となったエラー行為から、その背後要因を HF の観点から多面的に抽出して、対策の立案・評価までを体系的に行うことができる。これにより、現場担当者の経験的な知識に基づいていた要因分析は、整理された要因に基づいて的確に分析できるようになり、事故分析の専門家ではない現場実務者でも、HF の観点から効果的な対策を検討することが可能となる。

また、チームが高いパフォーマンスを発揮するためには、チームが持つ専門スキル(例: 運転操作技術など)に加えて、それらのスキルを最大限に発揮させるチームワークが重要である。そこで、発電所直轄チームのチームワークを、運転訓練シミュレータでの異常事象対応訓練時の行動観察評価から、また、リーダーを含むチーム



第7図 クリアランスレベル測定装置 CLALIS[®]

メンバー全員に対する質問紙調査から、チームワークのレベルを評価する“チームパフォーマンス評価”の開発も行っている。

Ⅶ. おわりに

新たなシリーズの連載にあたり、代表的な電中研の原子力技術に関連した研究を紹介した。誌面の関係から、説明が十分でないものや、紹介できなかった研究もある。次回以降は、個々の研究内容について紹介するが、アンケートなどを通して読者のご意見を参考にしていきたいと考えており、忌憚のないコメント等をお願いしたい。

—参考資料—

- 1) 森田 良, 他, 蒸気の非平衡凝縮を考慮できる3次元流体数値計算コード“MATIS-SC”の開発, 電中研報告, L 04002, (2004).
- 2) 木方建造, 他, コントロールボーリングによる掘削・調査技術の開発(フェーズ1), 電中研総合報告, N 01,

(2006).

- 3) 魚住浩一, 他, 電解精製によるウラン, プルトニウム回収技術の開発—液体カドミウム陰極への同時回収時におけるウラン, プルトニウムの電解挙動, 電中研報告, T 02004, (2003).
- 4) 古谷正裕, 他, SIRIUS-F 設備を用いたBWR-5炉心の安定性評価, 電中研報告, L 06004, (2007).
- 5) 富田雅典, 放射線誘発バイスタンダー応答研究の動向とその重要性, 電中研調査報告, L 07002, (2008).
- 6) 佐々木道也, 他, クリアランスレベル測定装置 CLALIS の応用—天然放射性核種に起因するバックグラウンド計数率の補正手法の開発, 電中研報告, L 05006, (2006).

著者紹介

植田伸幸(うえだ・のぶゆき)



電力中央研究所
(専門分野/関心分野) 原子炉システム安全
解析・評価, 金属燃料FBR

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—
(第11回編集幹事会)

【学会誌関係】

- ・新年度企画として、『読者に読まれる2ページ記事』の充実について検討。過去のWebアンケートの結果も参考にして、原子力、エネルギーを含む幅広い話題を取り上げていきたい。
- ・「春の年会」の講演や原子力歴史構築賞受賞事績より、適宜学会誌記事化を進めることとした。
- ・地域住民から発信される記事, 若手会員/学生の活動報告,

国際的な視野に基づいた記事, 海外各国からの情報, などについて記事企画の提案があった。

- ・ノーベル賞受賞者の益川敏英教授へのインタビューを, 石橋諮問委員の協力を得て実施(本号掲載)。
- ・各編集グループの活動報告と次年度活動方針について発表があった。
- ・学会誌掲載記事の著作権取扱いについて議論があり, 他学会の事例も含めて引き続き検討することとした。

【論文誌関係】

- ・2009年度の論文誌関係のグループ構成員案が認められた。
- ・Review(総説)の募集方法について検討し, 原案が認められた。候補があるので, 依頼することとした。
- ・Supplement 実施要領改定案が承認された。
- ・和文論文誌は以前に申請したがまだWeb of Scienceデータ化されていないので, Thomson社に再度要請する。また, 英文誌のSupplementに関して同様に申請の確認を行うこととした。

編集委員会連絡先 hensyu@aesj.or.jp

地球温暖化国際交渉の争点と日本の対応

セクター別アプローチは生き残れるか

21世紀政策研究所 澤 昭裕

地球温暖化国際交渉は、環境保護を第一目的として、善意の人たちが集まって、温室効果ガスの削減措置を検討しているのではない。「温暖化しない地球」という公共財供給に関する費用分担を、いかに他国に押し付けるかを目標とする冷徹な外交ゲームが繰り返されているのが実態である。そうした地球温暖化対策を巡る国際政治の中で、京都議定書にどのような問題点があるかを解説し、現在争点になっている次期枠組みに関して、日本がどのような外交姿勢を示すべきなのかを検討する。

I. 地球温暖化国際交渉の争点

本年12月にデンマーク・コペンハーゲンで行われる予定のCOP 15(第15回気候変動枠組条約締約国会合)において、京都議定書に続く2013年以降の温室効果ガス削減のための新しい国際枠組みについての合意が目指されることになっている。現在、それに向けての各国政府間交渉が精力的に行われているが、今後の国際交渉に向けて日本政府が採るべき戦略、交渉ポジション、得べき交渉成果等についての解説と政策提言を行うことにする。

1. 京都議定書の問題点

京都議定書は、地球温暖化を防ぐため、世界各国が温室効果ガスを削減するための国際的枠組みである。1997年12月の京都会議で合意されたもので、日本は2008年から2012年までの5年間で、1990年比▲6%の削減を行う義務を負っている。このことは最近の環境問題の高まりの中で、国民の中でもよく知られるようになってきている。

地球温暖化対策を巡る国際交渉は、単に環境保護を目指した善意の話し合いではない。むしろ、国益を背にした各国政府の間で行われる冷徹なゲームであると認識した方が、より実態に近い。そうした交渉ゲームの結果、成立した京都議定書は、さまざまな問題点を抱えている。ところが、現行の京都議定書の問題点は、それほど解説されず、報道もされていないために、あまりよく知られていないのが実情である。

京都議定書の問題点は次の通りである。

(1) 京都議定書の問題点 1—技術の観点の欠如

第1に、京都議定書の最大の問題は「技術」の観点が抜け落ちていることである。温室効果ガスは、化石燃料の燃焼、廃棄物の処分など、人間の生活や生産活動からいやおうなく発生する。したがって、今後とも人類(特に途上国)が経済発展や生活水準向上を追求する限り、温室効果ガスの排出増加は避けられない。人間が長期的な効用を優先して短期的な効用を抑制するようなことはあまり考えられないという現実を踏まえれば、生活水準向上を人為的に抑制することは、持続可能な政策にならない。結局、生活水準向上や生産活動の持続と温室効果ガスの抑制・削減を両立させるためには、画期的な技術の登場によるブレークスルーが必要とされるのである。

技術の革新には、科学的事実の発見と技術構造のパラダイム変換といった、いつ起こるのか予測できないような不確実性が伴い、新技術やそれを具体化した製品・サービスの普及に当たっても、ユーザーのすみずみまで行き渡るためには相当の時間がかかるという問題がある。例えばエネルギー技術の場合、原子力エネルギーは放射線の発見(1896年)から世界初の原子力発電所運転開始(1954年)まで約60年、太陽光エネルギーは光電効果の発見(1887年)から住宅用太陽光発電システム商品化(1992年)まで約100年、水素エネルギーの場合はグローブ卿発電実験(1839年)から人工衛星用燃料電池実用化(1965年)まで、実に約130年弱の期間を経ているのである。

このように、画期的な技術革新に必要なリードタイムを織り込むとすると、温暖化防止のための国際的取決めは、相当長期的な時間的枠組をもったものでなければ、真の解決策たりえない。その点、京都議定書は2008年から2012年の5年間で約束期間として、画期的な技術革新を期待するには短期的過ぎる視野で人為的に期間を区

切っている。そのため、議定書参加国は、その国内対策において、採りうる対策オプションを短期的な排出抑制策に偏重することになるのである。例えば、画期的な技術革新にとって重要な基礎研究への投資は劣後し、短期で効果が出る漸進的技術開発が優先される。また、技術構造が一定である短期において、エネルギー消費を押さえ込むような政策(排出枠設定)があたかも最善策であるかのような議論を誘発することになる。こうした縮小均衡的な対策を模索することを促進するような国際的取決めは、到底「持続可能」であるとはいえない。

(2) 京都議定書の問題点2—外交ゲームによる削減目標決定

第2に、京都議定書が規定する数値目標設定による規制方式を前提とすると、その交渉が科学的でなく外交ゲーム的になることである。「温暖化しない地球環境」は地球規模の公共財であるが、京都議定書の交渉方式のように外交力に削減目標を委ねるような方式では、公共財供給費用負担分配の衡平感が解決されない。

地球環境に関する公共財供給費用分担問題の本質は、世界政府が存在しないことにある。国内では、公共財供給費用負担の衡平性の問題は、国民による民主的意思決定手続きを経て、政府が「税金」を徴収するとともに、一元的にその公共財を供給することによって解決される。しかし、主権国家の集まりである国連には、そのような権限や権能はない。確かに、国際法的に厳密に言えば、「公共財」という観念はいまだ成立していない段階にあるが、こうした公共財的な考え方で、地球上の諸国が地球環境を保護する責務を衡平に分担するとともに、そこからの利益を享受できるような仕組みを、各国が協力して、法的にも政治的にも考えていくことには説得力と合理性が伴う。

京都議定書方式では、世界の国々が、それぞれ「温暖化しない地球環境」によって自国が享受する効用を考慮し、その環境を維持するためにどのくらいの費用を負担してもよいかを内部的に評価しながら、自国・他国の数値目標を巡って、外交ゲームを行うことになる。なるべく負担は他国に押しつけ、自国の負担は実質的に軽くなるように交渉を決着させることが、交渉担当者の能力となる。その結果、各国の数値目標は、それまでの交渉ポジション、技術的な削減ポテンシャル、エネルギー需給構造や実質的コストとは全く無関係な政治的数値目標が合意されることとなる。削減ポテンシャル等の要素を無視した政治的合意を将来、何度も繰り返す必要があるような条約構造では、到底維持可能な国際的取決めとはいえない。世界最大の排出国である米国は、国内の議会が京都議定書は自国経済にあまりに不利な影響を及ぼす国際政治的な取決めだとみなし、批准していない。オバマ政権になって、地球温暖化問題に積極姿勢が示されているにもかかわらず、同政権自身も批准のために議会で提

案することは考えていないようである。

(3) 京都議定書の問題点3—発展途上国の削減義務回避

第3に、京都議定書を前提とした交渉を今後とも続けていくとすれば、重大な問題点がある。京都議定書は、1994年に気候変動枠組条約が発効した後に開催されたCOP1で合意されたベルリン・マンデートという合意に基づく交渉で妥結したという経緯があるが、そのベルリン・マンデートにおいては、途上国が成長の権利を主張して追加的な負担(温室効果ガス削減義務)を免除されることが決まっていることである。今後、経済成長とともに急速に排出量が増えていく主要途上国の参加が必須の課題となっている中で、こうした経緯をもつ京都議定書の枠組は、むしろ問題解決を妨げる効果をもつものとなる。

また、一方で京都議定書は先進国に義務を課しながら、途上国には削減義務を課していないことによって、温室効果ガス削減の実効性が担保されないという問題もある。例えば、省エネが進んだ日本のように、追加的な一単位の温室効果ガスを削減するコスト(限界削減コスト)の高い国において、企業の生産設備に排出抑制策を課したとすると、その企業は削減義務が課されていない国に生産設備を移して操業を続けたほうが得になるという誘因が働くことになる。そうなれば、一国の政府としては削減義務を遵守できたとしても、削減義務の課されていない国において二酸化炭素は同量またはそれ以上排出され続けることになり、地球温暖化防止の実効は上がらない。これを「リーケージ(漏出)」問題といい、京都議定書の問題点の一つとして懸念されている。

2. セクター別アプローチ

前項で説明した京都議定書が抱えるさまざまな問題点を解決して、持続可能な国際的取決めを構築しようという意図から、日本政府が主導して国際交渉場裡に提案されたのがセクター別アプローチである。

(1) セクター別アプローチとそのメリット

セクター別アプローチとは、各国各部門(産業、民生業務、運輸)について、今後、導入可能な技術を前提に温室効果ガス削減ポテンシャルを分析し、導入費用との比較を行いながら、削減可能性を検討していくアプローチである。削減目標が外交交渉でトップダウン的に決定される京都議定書の交渉プロセスに対して、セクター別アプローチでは、削減ポテンシャルの分析が各国各部門のエネルギー/CO₂効率データを基礎として行われることから、ボトムアップ的に交渉が進んでいく。

京都議定書タイプのトップダウンアプローチに比較した場合のセクター別アプローチのメリットは、次のとおりである。

(1) セクター別アプローチは効率性(原単位)向上を目

標とすることから、温室効果ガス削減義務が総量規制型かつ先進国に限定されていた京都議定書に比べ、途上国を含めたより広い範囲の国の参加を促す可能性がある。

- (2) 各国の効率性を比較しながら、削減目標を決めるため、京都議定書で問題になってきた炭素リーケージなど競争力に悪影響を及ぼすような条約上の問題を回避できる。
- (3) セクター別アプローチによって導出された削減ポテンシャルを基に各国別削減目標を立てれば、各国間の公平性が担保でき、合意が得やすくなる。
- (4) 発展途上国の削減ポテンシャルの分析が導入すべき省エネ技術の検討に基づいて行われるため、適切な技術移転の仕組みが構築できれば、世界全体での効果的削減につながる。

セクター別アプローチは、単にコンセプトにとどまらず、既に実際に実践されてきている。2005年から、日米中など7カ国が参加して行われているアジア太平洋パートナーシップ(APP)という活動がそれであり、そこでは、鉄や電力など8つのセクター別に、官民協力して国際作業チームを設け、削減効果の高い技術に関する情報の共有、削減余地の分析、エネルギー効率の目標設定などを通じて、現実に温室効果ガスの排出削減が行われてきている。APPはもともとブッシュ政権が主唱して始まった取組みではあるが、実質的な成果が出始めていることから、オバマ政権にも継続するよう米国に働きかけていく必要がある。

(2) セクター別アプローチと日本の環境外交

セクター別アプローチは、地球温暖化国際交渉の歴史の中で、日本が初めて大掛かりな構想を打ち出したという意義を持っている。確かに、セクター別アプローチが各国各部門の技術や効率性に関するデータ収集可能性・信頼性の問題、効率性を分析する際の方法論的問題をはじめとして、原単位目標では環境効果が小さいのではないか、産業間でのセクター合意が成立した場合の政府の役割は何かなどの課題が指摘されてきている。

しかし、セクター別アプローチは、各国の削減目標を導出してくるプロセスが合理的であること、各国の産業競争力変化への懸念に対応していること、発展途上国に先進国からの技術移転が促進されるという期待を与えたことから、これまで欧米のみならず発展途上国からも、そのアイデアの深耕に期待が寄せられてきている。日本政府は、こうした外交的チャンスをつかみ、環境外交で世界をリードする機会としなければならない。

一方、現実の国際政治ゲームの中で、自国の主張を通そうと思えば、時に外交的譲歩もしつつ、また時に強硬な姿勢で臨むというしたたかさが要求される。次項では、そうした観点から、日本がコペンハーゲンのCOP15でどのような姿勢をとる必要があるのかを考えてみたい。

II. 国際合意と日本の対応

京都議定書の持つ上記の問題点を踏まえ、次の枠組みにおいては、日本は、以下の要素がすべて満たされてはじめて、新たな議定書に署名・批准することとすべきである。

1. 日本が新議定書を署名・批准するための必要条件

(1) 中期削減目標の各国間衡平性

次期枠組みに規定される日本の中期排出削減目標量については、

- (1) セクター別アプローチに基づく削減ポテンシャルおよび削減費用の分析を踏まえた米国を含むすべての先進国との比較において、
- (2) 温室効果ガス全体のみならず、エネルギー起源CO₂の削減目標量配分に関しても、
- (3) 京都メカニズムの活用および森林吸収量によって確保されるクレジット量を除いたうえで、

各国間の削減目標に関する衡平性が担保されることが必要である。

これまでの日本の外交努力が無駄でなかったことを証明しつつ、日本にとって衡平な中期排出削減目標量へのコミットにつなげるためには、当該目標量が、第一に「セクター別アプローチに基づく削減ポテンシャルおよび削減費用の分析を踏まえた米国を含むすべての先進国との比較」において衡平であることが証明されていなければならない。

京都議定書や次の議定書の削減対象になる温室効果ガスは、CO₂だけではなく、メタンその他のガスも含まれる。しかし、排出削減負担の一般経済への影響を比べるには、土地利用状況や家畜の存在によって国ごとに大きく変化するメタンなどその他のガスを含めた温室効果ガス全体だけではなく、エネルギー起源CO₂の削減目標についても区分けして、その部分のみで各国比較したうえでの負担分担の衡平性を実現すべきである。

また、京都メカニズム(例えば国際排出権購入)の活用度や森林吸収量も、各国の削減努力の比較を不透明にしまうことから、それらを除いた上での比較が必要であることにも注意する必要がある。

(2) 目標の現実的達成可能性

当該目標が日本にとって、技術的に達成可能であり、国民経済負担の観点から受容可能であることが必要である。この必要条件は当然のように思えるが、実は「技術的に達成可能」であるかどうか、「国民経済負担の観点から受容可能」かどうか、という点は、京都議定書の署名・批准の際には十分に検討されていない。むしろ、京都議定書の義務である1990年比▲6%という削減目標は、価格が不確定である排出権を外国から購入してこなければ遵守できないことは当初から認識されていたのである。

つまり、▲6%を技術開発・導入だけでは達成不可能だということが前提とされており、将来、価格が不透明な排出権購入で削減義務を補うことが必要であったにもかかわらず、国民経済負担の観点からは受容可能かどうかについての国民的な議論も経ずに批准されたわけである。

次期枠組みにおいて、日本がどの程度の目標にコミットするのかは、京都議定書の際の反省の上に立って、技術的な観点から分析した削減ポテンシャルがどの程度あるのか、それを達成するための政策措置に関する財政負担、炭素価格の上昇による家計負担、産業競争力の変化がどうなるのか等についての情報が、定量的に国民的議論に付するために提供されなければならない。その点で、中期目標検討委員会の責任は重く、同委員会で検討された経済・エネルギーモデルの構造や経済諸指標や導入される政策前提の現実性については、広く公開すべきである。

(3) 米国の参加

最大排出国の米国が新議定書に署名するだけでは足りず、同国議会における批准の見込みが確実にになっていること、または、最大排出国が批准することが発効要件である旨、新議定書の条文上、明白に盛り込まれていることが必要である。

COP3(京都会議)の経緯を振り返れば、それまで目標設定に慎重だった米国が、ゴア副大統領(当時)が会議に出席し柔軟姿勢を示したことから、一挙に合意に向かったというのが当時を知る人の共通の記憶である。その際、米国内での批准の可否見通しがどの程度各国交渉官の間で認識されていたかは定かでないが、経済・貿易交渉の専門家から見れば、米国内の議会がどのような反応を示すかによって、交渉の行方が左右されることは常識であるのに比べ、環境外交交渉に参加していた各国外交官(日本を含む)は、そこまで意識していたかどうかは極めて疑問である。仮に意識していたのであれば、米国内で京都会議よりかなり以前に、途上国が義務を負わないような国際合意は批准しないとの上院におけるバード・ヘーゲル決議が全会一致で通っていた事実をどのように評価していたのだろうか。

その後、クリントン政権は京都議定書を批准のために上院に提出することもせず、同じ民主党政権であるオバマ新大統領も、京都議定書を批准する努力を行うつもりは全くない。こうした米国の姿勢は批判されこそすれ、新たに外交交渉に積極的に参画するという態度表明を行っただけで賞賛されるべきものではない。特に米国とEUの立場の違いを調整し、議長国として何とか京都議定書をまとめた日本政府は、本来であれば、米国に対して京都議定書の批准に向けて再検討を促すことを申し入れるべきである。

ただし、現実的には今後アンブレラグループの仲間と

して、米国とは、次期枠組みに向けた交渉においてアライアンスを組んでいく必要があることから、その入り口で関係をとげとげしいものにするには得策ではないという判断も首肯できる。そうであるならば、次期枠組みの要素として、今度こそは米国議会が確実に批准するために何が必要なのかを、米国行政府と共通認識を形成しなければならない。しかし、米国議会が確実に批准するための必要条件を事前に知るには限界があるだろう。したがって、新たな議定書そのものに議定書の発効要件として、例えば「世界最大の排出を行っている先進国(および主要途上国、とするのも一案)が批准すること」を含めるというアプローチを取ることも検討に値する。世界各国とも、米国が参加しない温暖化対策の不毛性は、まさに京都議定書で深く認識しているわけであり、こうしたアイデアは一定の賛意を集める可能性は十分ある。

(5) 途上国の参加

途上国の削減行動に関しては、中国、インド等経済的に進んでいる主要排出途上国が、少なくとも経済全体(economy-wide)についての原単位目標を掲げ、明確な政策措置を講じて削減行動を取ることが最低限必要である。さらに、産業部門のうちエネルギー多消費産業セクターについて、先進国、途上国双方において、法的拘束力のある原単位目標にコミットすることができれば、より望ましい。

交渉の進め方としては、最終的には国連での交渉プロセスが中心になることは致し方ないが、日本としては、同じアンブレラグループの米国と交渉成果として目指すところについての認識を一致させるとともに、発展途上国の中でも経済的に進んでおり、排出も大きい中国の参加を得ることが優先課題である。

そのためには、日米中の3国間で温暖化対策の今後の方向性を検討する場を設置することが極めて重要となる。特に、アジア太平洋パートナーシップ(APP)での成果を基礎として、セクター別政策アプローチの考え方を取り入れた温暖化対策の枠組みを構築できれば、国連での交渉に提起していくことも可能だろう。

そのための具体的枠組み案としては、次のようなものが考えられる。

- (1) 日米間で、中期目標の設定について、削減総量並びに国際競争にさらされている産業セクター(APPにWGが存在している鉄鋼、自動車、紙、セメント、石油化学等)および電力セクターについての原単位(効率)指標に関する緊密な情報交換を行っただけで、合意に達する。
- (2) 中国に対しては、APPでの分析に基づき、各産業セクターおよび電力セクターについての原単位(効率)目標およびその目標を達成するための国内政策措置を採ることにコミットするよう働きかけ、コミットした場合には、下記(3)の方針に沿って、日米

両国が当該国内政策措置の実行に対して資金(ODA等の公的資金)・技術面で支援することを約束する。

- (3) さらなる要途上国支援としては、新たな資金バラマキの付与ではなく、貿易相互拡大措置を検討することが適当である。達成を約束した原単位(効率)をクリアしたことが中立的第三者から認定された工場・プラントで生産された製品についてラベリングを行い、ラベルが添付された製品には関税引き下げ・撤廃を行うことを検討することが一案である。

2. 揺るがない外交姿勢の重要性

ある条約を批准するかどうかは、当該条約で課される国際的義務を遵守することができるかどうかを判断することであり、そのために特定の国内政策を講じる必要があるため、国会で審議されることになっている。ただ、特に日本の場合、批准だけではなく、条約署名も軽々に行うべきではない。それは、日本は議院内閣制であり、米国などの政治体制と異なり、署名することそれ自体が批准と同じ重みを持つからである。

署名に慎重であるべしと強調するのは、もう一つ理由がある。それは、多国間外交交渉の最終段階において、日本以外の国々がある一定の交渉最終案を飲むよう日本に圧力をかけてきた場合、「国際的孤立」を避けるためという理由で、国益を守るためにそれまで必死で維持してきた外交ポジションを放棄してまでも当該案に賛同してしまうという、他国には見られない日本独特のマインド・行動パターンが存在しているからである。

「国際的孤立」というのは相対的な概念であり、外交の場ではすべての国が「国際的孤立」状況にあるといっても過言ではない。また、本当に「国際的孤立」的な状況になっているとすれば、それはそれまでの外交の持っていきかた(アライアンスを形成する、国際世論に訴えるなど)の失敗を意味しているに過ぎない場合もある。いずれにせよ、こうした意味での「国際的孤立」は、日本の国益を放棄する理由にはならない。

日本のメディアも、実際には日本政府が厳しい外交交渉を行っているからこそ、他国が日本政府の交渉ポジションを攻撃しているだけであって、むしろ逆に外交交渉が成功しているといってよい状況であるのに、意図的かどうかは別にして、それを「国際的孤立」だととらえて報道する傾向がある。そうした国内報道に政府・政治が過剰に反応して、「交渉上譲歩せよ」的な指示を出すようなことでもあれば、現場の外交努力は水泡に帰すことになる。

環境外交交渉の現場では、各国政府とも、交渉相手国内の世論の動向や外交上の「くせ」などについての情報を収集分析し、自国の有利・相手国の不利になるような交渉手法や提案を行うことが日常茶飯事である。以下に掲げる条件は相当タフなものではあるが、交渉プロセスの最終日最終期限まで「国際的孤立」だけを理由に安易に譲歩することがあってはならない。むしろ、そうした強硬姿勢は日本の環境外交には珍しいことであり、こうした日本の姿勢に直面した他国は、むしろ譲歩を申し出てくる可能性さえあるだろう。

— 参考資料 —

- 1) 「今後の地球温暖化国際交渉に関する政策提言」, 21世紀政策研究所, 2009年4月。
- 2) A. Sawa, A Sectoral Approach as an Option for a Post-Kyoto Framework, (2008)。
- 3) http://belfercenter.ksg.harvard.edu/publication/18736/sectoral_approach_as_an_option_for_a_postkyoto_framework.html

著者紹介

澤 昭裕(さわ・あきひろ)



21世紀政策研究所

(専門分野/関心分野) 環境問題/特に地球温暖化に関する政策問題

東海大学原子力工学科が再び立ち上がる 原子力マイスター育成への挑戦

東海大学 大江俊昭, 浅沼徳子, 高木直行, 吉田茂生

東海大学は、2010年度よりエネルギー工学科を原子力工学科に名称変更し、再度、原子力教育を推進する予定である。これは、原子力利用見直しの機運の中で、原子力技術者を輩出することを明確に打ち出すことであり、これまでエネルギー工学科において継続してきた原子力教育を見直し、重点補強と肥大したカリキュラムのスリム化という相反する目的を満足させる作業を行ってきた。しかし、原子力工学科の学生募集を停止して以来、10年間に及ぶブランクのため、教育現場での原子力への重点回帰にはカリキュラムの修正だけでなく、ゆとり教育に対応した初年次生への原子力導入教育の手法、卒業時の実力確保の具体策など、新たな課題も明らかとなった。そして、それらに対して、原子力技術コースの導入や、原子力人材育成プログラムなどを有機的に組み合わせて「原子力マイスター」を育てることをキーワードに、原子力教育再活性化に向けた挑戦を行っている。

I. 本邦初の原子力教育の歴史と新たな取組み

東海大学は、昭和31年に工学部応用理学科原子力工学専攻を設置して本邦初の原子力教育を開始し、12名の第1期生を皮切りに、以来50年以上にわたり3,700余名の原子力技術者を輩出してきた。昭和31年は原子力基本法の成立した翌年であり、日本原子力研究所創立の1年前になる。我が国で最初に原子力教育を開始できた理由には、前述の原子力基本法の制定や、科学技術庁の設立に尽力した本学創設者の松前重義博士の存在があることはいままでもない。しかし、1979年のスリーマイルアイランドや1986年のチェルノブイリなどでの事故もあって、ここ数十年ほどは、我が国のみならず、世界中の学生の「原子力」離れが進み、相次いで「原子力工学」に関連する学科が大学から消滅していった。東海大学も例外ではなく、2000年の原子力工学科の学生募集を最後に、原子力教育は徐々に後退せざるを得なかった。そして、原子力に留まらずにより広範にエネルギー問題を解決するために、2001年度には応用理学科エネルギー工学専攻を新設し、さらには2006年度よりエネルギー工学科として再スタートした経緯があった。しかし、新エネルギーを学ぼうとする受験生に対して科目構成が原子力を重点としていることや、原子力技術者を求める社会要請とのミス

Education of Nuclear Engineering in Tokai University Survives and Revives—Challenge for Encouragement to Master of Nuclear Engineers: Toshiaki OHE, Noriko ASANUMA, Naoyuki TAKAKI, Shigeo YOSHIDA.

(2009年 3月13日 受理)

マッチが見られるようになり、一たん廃した「原子力工学科」の名称を復活させることになった。

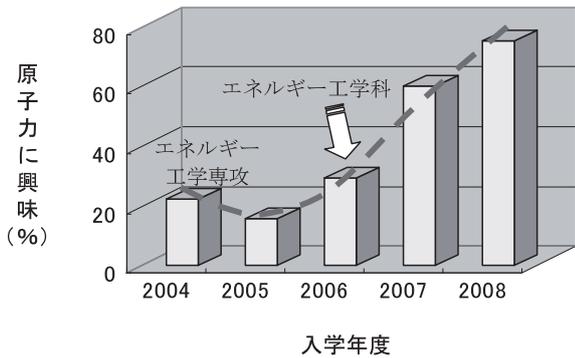
II. 原子力人材育成への取組みの再出発

1. 学生の動向

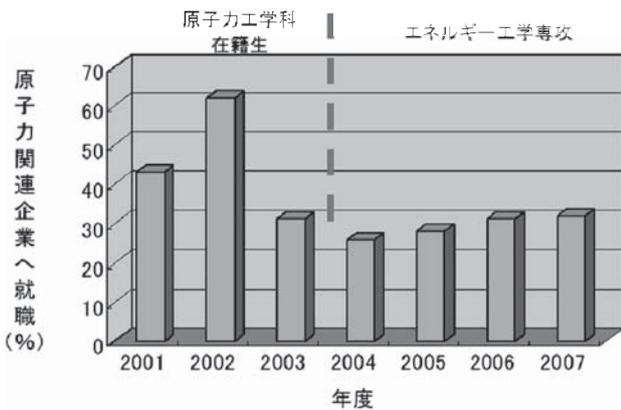
最近の石油資源の制約や地球温暖化の顕在化から原子力利用の機運が再び上昇しつつあるが、原子力の利用拡大には安全確保が大前提となることは間違いない。ところが、原子力産業に関わる人材の高齢化によって、いわゆる「団塊の世代」の大量定年による高度技術者の枯渇は憂慮すべき事態となりつつある。そしてこれに対して、「原子力立国計画」に見られるように、国家戦略として原子力の再活性化を目指した議論が活発に行われる現状となっている。

このように、社会が原子力に対する深い専門性を有する人材を求める一方で、より広範にエネルギー問題を解決するために設置されたエネルギー工学科のカリキュラムでは、「資源・環境保全」や「材料開発」などを加えながら、エネルギー学一般を理解することに重点が置かれているため、限られた時限数の中では原子力への専門性の深さが犠牲にされていたことは否めない。

第1図は毎年の新生生にアンケートをとった結果の一つであり、原子力あるいは放射線に関する興味があるかという問に対する答えの変化を示したものである。明らかに、ここ数年、原子力あるいは放射線に関する興味を示すか、あるいは拒否反応を持たない新生生が増えており、今年度は75%にも及び、我々教員も驚いている。一方、第2図は卒業生の就職動向を示したもので、原子力関連企業への就職割合の変化を示す。ここ数年、原子力



第1図 原子力・放射線分野に対する興味がある新入生の割合



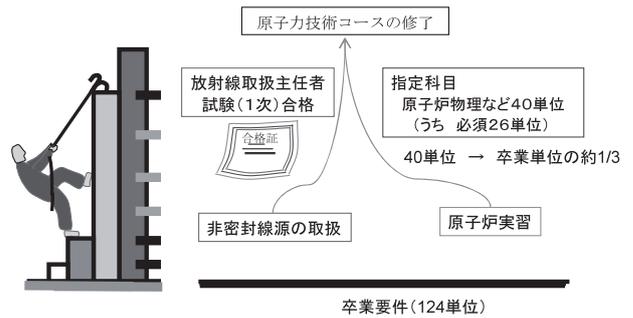
第2図 原子力関連企業への卒業生の就職割合

関連企業へ就職している学生は僅か30%程度しかいないことがわかる。これでは、今後、社会に貢献できる人材育成の観点からは大学の責務を十分果たせない懸念がある。そこで、当学のこれまでの資産を生かしつつ、社会の要請にも応えるものとして、2008年度にエネルギー工学科の中に「原子力技術者の養成」を明確に打ち出した「原子力技術コース」を設置し、原子力教育の重点化に着手したところである。

2. 原子力技術コース

このコースでは卒業よりも高いレベルを要求している。第3図に示すコースの概要からわかるように、学士の取得条件である124単位を習得すれば卒業はできるが、これだけではコースの修了要件を満たさず、原子炉物理など指定科目40単位(うち必修26単位)の取得、放射線取扱主任者試験の1次試験合格、という高いハードルを設定している。そのため、コースのカリキュラムは次の3点を重視した構成となっている。

- (1) 原子炉物理等の強化： 原子力工学教育の骨格ともいえる「原子炉物理」, 「原子炉工学」, 「核燃料サイクル」に関わる科目を新設し、強化した。
- (2) 資格の取得支援： 第1種, 第2種放射線取扱主任者試験の合格を支援するため、演習に力点を置いた講義科目を設けた。
- (3) 実習の重視： 原子炉実習, 非密封線源実験など



第3図 原子力技術コースの概要

の実習を加え、体験を重視した。

原子力技術コースは開設したばかりであり、即効性のある薬ではないが、初年度の放射線取扱主任者試験では、第1種試験および第2種試験の合格率はおおの、60%と55%といずれも全国平均¹⁾(前者は34%, 後者は38%)をはるかに上回る実績を上げている。本コースは今の3年次生から適用されているが、2009年度には第1期生として10名程度のコース修了生が輩出できる見込みである。

3. 原子力人材育成プログラム

2007年度から経済産業省/文部科学省が開始した公募事業「原子力人材育成プログラム」では、「チャレンジ原子力体験プログラム」(2007年度), 「原子力研究促進プログラム」(2007, 2008年度), 「原子力コア人材育成プログラム」(2008年度)の分野で提案が採択された。2007年度実施したプログラムのうち、前者は原子炉での実験を学生自ら企画・実施するもので、第4図はその実験風景の一コマである。原子炉を持たない我々が実際に原子炉で実験するノウハウを養う上で大いに参考になった。そして2008年3月の原子力学会では、プログラムに参加した学生が堂々と成果報告^{2,3)}している。また、後者は国家試験の第1種放射線取扱主任者の資格取得を目的としたもので、前述の主任者試験の合格率の高さからもプログラムの有効性がはっきりと認められる。そこで、2008年度はこのプログラム内容を「原子力技術コース」の中に組み



第4図 東京大学弥生炉を用いた学生提案試験の模様
DNA マーカーを用いたファントム内中性子線場の評価の照射試料の準備風景

込み、通常の講義のカリキュラムにはほぼそのまま採用している。

原子力人材育成プログラムは、正規の授業時間割に組み込まれないので、講義とはまったく別の時間帯で実施せざるを得ず、教員も学生も夜遅くまで大変な苦勞をしたが、当初の予想をはるかに超えた実効的な結果を得たと自信を持っている。

4. スケールメリットを生かした調査分析

2008年度は「ゆとり教育」のなかで育った大学初年次の学生に原子力への興味を持たせるための方法を具体的に探る活動として「原子力コア人材育成プログラム」を活用している。東海大学は、幼稚園から大学院までを全国に展開する総合学園であるという特徴を生かして、学園の初等・中等教育部門の全面的支援のもとで、附属高校での理科教育カリキュラムの現状を高校の教員とともに分析しながら、高校の段階まで振り返って、原子力への興味を呼び起こすためには何が欠けているかを探っている。この分析結果は、後述する2010年度「原子力工学科」の初年次教育カリキュラムにも反映する予定である。また、入口となる高校の分析とともに、出口である卒業生への訪問調査も同時に行い、実際に役立った大学の講義や、卒業時に不足していた知識、今後、必要となる専門知識、などの聞き取りを行っている。これも、様々な分野に、様々な年齢層の卒業生を輩出してきた長い歴史資産のおかげであるといえる。

5. アジア諸国の人材育成

「原子力人材育成プログラム」とは別に、経済産業省の「アジア人財資金構想」という公募事業にも、大学と原子力関連企業との産学連携活動として提案が採択された。これは、タイ、ベトナム、インドネシア、モンゴル、ウズベキスタンなどのアジア地域から留学生を募り、日本の原子力技術を日本語で教育し、日本企業への就業を目指すというもので、原子力関連企業の全面的な支援を頂きつつ、原子力工学の専門教育は大学院修士課程の応用理学専攻で分担する。2008年10月には第1期生として日本語教育を修了した1名が修士課程に入学し、2009年度4月からは現在、日本語教育を受けている4名が入学予定、2009年度も10名近くを受け入れることになっている。留学生は総じて勉強熱心で、日本語というハンディキャップを跳ね除けるだけの高いモチベーションがあるので、今後の成長が楽しみである。このように、東海大学は国内の原子力教育の復活だけでなく、国際的な底辺の拡大にも積極的にかかわっている。

6. 「原子力マイスター」を目指すPR活動

「原子力技術コース」の開設といっても、残念ながら受験を考えている高校生にはまだ浸透しているとはいえない

い。原子力復興とはいえ、受験生の数や入学者の数は伸び悩んでいるのが現状で、高校へのPR活動は欠かせない。そのため、手始めとして、学園内の附属高校生へのPR活動を通じて、何を訴えれば関心を持ってもらえるのか、また、高校生だけでなく、その保護者の方が何を心配しているのか、それにどう応えるべきか、などを探りながら活動を行っている。

附属高校だけでなく、全国の多くの高校に向かってPRを展開しなければならないと考えているが、日本全国の高校をくまなくめぐるとは事実上困難であるので、在学生のいる高校、原子力施設所在地の高校をターゲットに、2008年度初めには1,800部強のダイレクトメールを送付した。これは、前年度に行った試行において入学者の出身高校の約7割がダイレクトメールの送付先であったという事実によっている。その際、ダイレクトメールに何かインパクトのあるキャッチフレーズが欲しいと考えてPR用のパンフレットに謳ったのが、冒頭の「原子力マイスター」である。「原子力技術者」として恥ずかしくない実力を持った学生を育てることが重要であり、スマートさよりも地道に仕事ができる人材を目指すことに力を込めて「マイスター」とした。

Ⅲ. 原子力工学科の再出発

「原子力技術コース」は順調にスタートしたが、現行のエネルギー工学科としての活動であるため、学科の設立目的にある総合的エネルギー教育の枠内で原子力に特化するには時間的制約が多く、まだまだ不十分なことは否めない。そこで、原子力高度技術者養成を目標として、2010年を目標に「原子力工学科」に名称変更し、教育を加速することを目指すこととなった。本章では、「原子力工学科」(予定)に向けての検討状況について報告する。

1. カリキュラムの作成

過去の様々な努力にもかかわらず、東海大学には教育用の原子炉がないため、どうしても、原子炉の教育よりも放射線利用の分野に力を入れる傾向があった。そこで、原子炉物理の専任教員を新たに迎え、原子炉と放射線利用の科目比率がほぼ同じになるようにした。そして、原子力高度技術者養成に特化するという目標に対して、以下の3分野を骨格として、講義、実習科目を作成している。

- ・原子炉工学分野(現在の原子力技術コースを拡大)
- ・放射線応用分野(放射線の医用、工業への利用)
- ・エネルギー応用分野(原子力に関連した材料開発)

また、卒業後、第一線で即戦力となるよう、資格取得を配慮して講義の配置を工夫している。特に、第1種、第2種放射線取扱主任者試験の合格を積極的に支援し、資格取得した場合には大幅に単位認定(前者8単位、後者4単位)して学生にとっても受験のメリットを実感で

きるようにした。

一方、開講科目数が増加すると、学生が受講科目を絞り込むのが困難になるばかりでなく、学習指導も散漫になる恐れがある。そこで、総花的なカリキュラム構成を改め、開講科目を必要最小限度としつつ、かつ上記3分野が満たされるように、主専攻の開講科目数を全163単位(教職の一部、共通科目を除く)とした。第1表にこの3分野の科目を示す。

カリキュラムの年次展開としては、初年次教育において、なぜ、その科目が必要となるのかという重要性を把握させるための入門科目(原子力入門、放射線入門)を配置するとともに、基礎学力の構築に重点をおいて従来の理数系科目を整備し直して、個々人の未理解箇所をなくすための工夫を行った。高年次生に対しては、卒業後、社会の第一線で即戦力となるよう、「放射線取扱主任者試験」、「技術士 原子力・放射線部門」などの資格取得を促進するよう、上記の試験に十分対応できる学力を確保できるように科目を配置した。このような構成に対して、新たに設置した科目は、「エネルギーシステム概論」、「フロントエンド工学」、「再処理化学」、「バックエンド工学」、「原子炉実験・演習」の4科目であり、既存の一部の科目については講義内容をより明確にするために科目名称の変更を行った。また、類似科目は統廃合してスリム化することとし、環境に関する科目は思い切って削除した。

第1表 主な開講科目(名称など予定)

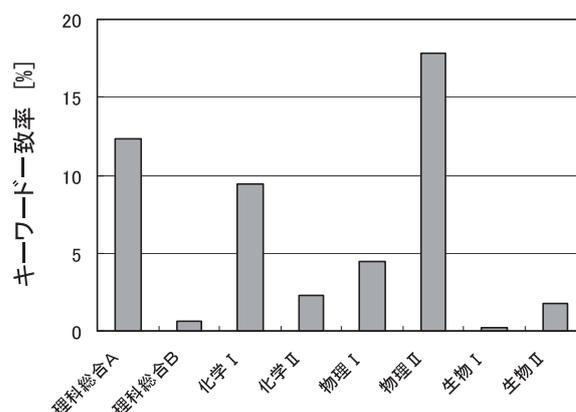
原子炉工学	エネルギー応用
原子力入門	エネルギー文明論
核反応物理	エネルギーシステム概論
原子炉物理	資源・エネルギー論
原子炉物理演習	エネルギーと物質の移動
原子炉工学	核融合入門
原子炉工学演習	エネルギー材料物理
原子炉材料	エネルギー物性科学
核燃料	エネルギー変換工学
原子力安全工学	
原子力プラント	実験・実習
フロントエンド工学	物理学実験(コンピュータ活用を含む)
再処理化学	化学実験(コンピュータ活用を含む)
バックエンド工学	問題発見演習 1
	問題発見演習 2
放射線応用	核燃料サイクル演習 1
放射線入門	核燃料サイクル演習 2
放射線の基礎科学	原子力工学実験 1
放射線計測物理	原子力工学実験 2
放射線分析科学	原子炉実験・演習
放射線医用工学	総合研究 1
放射線生物科学	総合研究 2
放射線防護の基礎	卒業研究 1
放射線管理技術	卒業研究 2

2. 科目の連続性・整合性

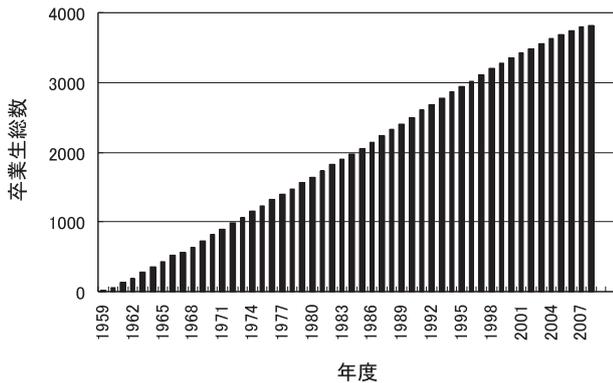
「原子力技術コース」開設に向けての検討は2006年ごろから開始した。その後から「原子力工学科」名称変更に至るまでに十分な時間があつたわけではないが、多忙な講義の時間をやりくりしながら、少しずつカリキュラムの骨格を形成していった。一方、議論の中で、様々なことが失われていたことにも気付かされた。例えば、テキストの問題がある。我々が勉強したテキストの多くは現在入手が困難であるし、これから入学してくる新入生にこれらテキストは難解すぎて、理解が深まるどころではない。そこで、カリキュラム作成においては、実際に入手可能な書籍から、核となる標準的なテキストを決め、それに過不足がないかを検討することから始めた。そのテキストの記載内容が高度であれば、その講義の前の学期において関連科目で説明がなされていることが必要であり、これによって講義科目の年次展開が決まってくる。学科の歴史が長いと、おのおのの講義科目の相互の関連に対する意識が薄れてきて、必要な知識を誰も説明せず、逆に、同じことが複数の講義で何度も説明されるという非効率的なことが起こる。このような科目間の整合・不整合のチェックは常に行わなければならない。

3. 初年次導入教育

ところで、高校における理数教科目の教科書を調べて見ると、第5図に示すような面白い傾向が見られた。これは教職課程を履修している学科学生の調査・分析結果の一つで、放射線を勉強する入門的なテキストとして「初級放射線⁴⁾」を取り上げ、この中にゴチック体で強調されているキーワード(原子核、半減期など)が、同様の教科書のキーワードとどれくらい一致しているかを数量化したもので、キーワードの多くが理科Ⅱ、化学Ⅰの教科書に記載されていることがわかる。しかし、高校教員へのインタビューや、入試問題の分析から、それらが入試問題に出る確率は極めて低いので、高校で教える優先順位が下がらざるを得ないこともわかった。このことは、



第5図 高校の教科書と放射線テキストに現れるキーワードの一致率



第6図 原子力工学科およびエネルギー工学専攻の卒業生数

高校の理数系科目の補習を目的とした工学系一般のレメディアル教育とは違った視点で、原子力に特化するためには、これらの科目の補強をしていかなければ、かつての初年次教育のレベルに達することも難しいということであり、初年次教育に対する原子力導入テキストの準備や、講義の展開などの具体的姿を見直さなければならない、など、我々の当初の想定にほころびが見えることになった。現在、これらに対する微修正を推進中である。

IV. おわりに

東海大学の原子力教育は、第6図に示すように、これまでに3,700名以上の人材を輩出しており、今回の原子力工学科の再活動に関しても、卒業生が組織するOB会から活性化に向けたアイデアを頂戴している。冒頭でも述べたように、我々は原子力技術者の養成を第一の目的としており、実際に学んだことが技術としてどのように生かされているのか、実社会とのかかわりを実感して学ぶことは極めて大きな意味を持つと考えている。カリキュラムには、このような取組みを可能とする枠をあらかじめ用意してあり、どの年次の学生に実施すれば効果的か試行錯誤を行って、学生には「原子力マイスター」の意味合いを感じ取ってもらえるよう、地に足のついた教育を展開するつもりである。

ここまで行ってきた原子力技術コースの導入、原子力工学科への名称変更は、原子力教育の再活性化の目標にとって一つの通過点に過ぎない。「ゆとり教育」に対する強い危機感から、ともすれば入学する学生の側の問題のみを強調し過ぎてしまうが、我々にとっては、10年間のブランクを埋める新たな挑戦であり、紙に書いたカリキュラムを実際に動かし実効を上げるためには、学科教員が目的意識を共有し、「原子力マイスター」育成という基本軸をぶれさせないことが最も大切なことであると認識している。原子力工学科の再生は、執筆した4名以外の東海大学エネルギー工学科の伊藤、内田、内海、岡本、

松村を含む教員全員が取り組んできた挑戦であり、本解説は代表して4名が取りまとめたものであることを改めて申し上げたい。

—参考資料—

- 1) 日本アイソトープ協会, *Isotope News*, 12[656], 46 (2008).
- 2) 立部洋介, 齊藤達也, 鈴木 将, 平 勝良, 高瀬信宏, 高橋 悠, 伊藤 敦, 吉田茂生, “原子力試験研究プロジェクトの体験型マネジメントプログラム(SWEEP); (2) DNA マーカーを用いたファントム内中性子線場の評価—線量評価”, 原子力学会「2008年春の年会」, N 45, (2008).
- 3) 高瀬信宏, 平 勝良, 高橋 悠, 鈴木 将, 齊藤達也, 立部洋介, 伊藤 敦, 吉田茂生, “原子力試験研究プロジェクトの体験型マネジメントプログラム(SWEEP); (3) DNA マーカーを用いたファントム内中性子線場の評価—損傷評価”, 原子力学会「2008年春の年会」, N 46, (2008).
- 4) 飯田博美編著, 初級放射線, 第7版, 通商産業研究社, (2005).

著者紹介

大江俊昭(おおえ・としあき)



東海大学
(専門分野)廃棄物環境科学, 放射性廃棄物の地層処分の安全性評価

浅沼徳子(あさぬま・のりこ)



東海大学
(専門分野)放射化学, 核燃料再処理・廃棄物処理

高木直行(たかき・なおゆき)



東海大学
(専門分野)原子炉物理, 炉心設計, 核変換技術, 炉型戦略

吉田茂生(よしだ・しげお)



東海大学
(専門分野)放射線計測学, 放射線の挙動・影響と有効利用に関する研究

東京都市大学の原子力新学科創設に参画して

東京都市大学 吉田 正

I. はじめに

「原子力ルネッサンス」という言葉が使われ出してから、もうかなり時がたつ。現今のこの分野の趨勢をうまく表現すると同時に、「ルネッサンス」という概念が持つ意味の曖昧さも含め、なかなか便利な言葉であると思う。かってルネッサンスといえば、古典・古代の知に再びそれにふさわしい地位を与えようとする、14～5世紀イタリアに始まる文化の潮流であり、その後の近代西欧の成立に道をひらいたという理解で片がついた。しかし、少し耳を澄ませば、「本当に中世は暗黒の時代だったのか?」、「いや、ルネッサンスはもう12世紀に準備されていた(いわゆる十二世紀ルネッサンス論)」、「動きはすでにカロリング朝時代から始まっていたのだ」、という具合に諸説入り乱れ、ここでの深入りにはあまり意味がない。

II. 新学科の創設

それでは「原子力ルネッサンス」はいつごろからいわれ始めたのか? ためしに米国原子力学会 *Nuclear News* 誌連載のコラム“Renaissance Watch”のバックナンバーをたどってみると、2005年7月号まで遡れた。コラムの内容は、米国でのCOL(Combined Construction & Operation License)の状況を、ほぼ月単位で追ったもので、その限りでは結構、楽天的なコラムである。この号以前にも「ルネッサンス」という言葉は散見される。たとえば、“IRIS, A global approach to nuclear power renaissance”(同誌2003年5月号)といったふうに。というわけで、この言葉、使われ出したのは存外古い。

しかしながら、原子力の世界での「ルネッサンス」の場合には、先立つ時代はもちろん暗黒の時代などではなく、第1次のブーム(1960～70年代)のあとの雌伏と蓄積の時代だったといえよう。

我々東京都市大学(旧武蔵工業大学)が工学部に原子力系新学科を創設しようと動き出したのは2005年頃だった

Start of “Department Nuclear Safety Engineering” in Tokyo City University : Tadashi YOSHIDA.

(2009年 5月12日 受理)

から、思い切りの良い迅速さであった。先の考察からも明らかなように、「原子力安全工学科」は「原子力ルネッサンス」の潮流に乗って生まれたものではなく、逆に、我が国の「原子力ルネッサンス」を自ら始動させる一因になったものと自負している。

当時、学部1年生の物理学を集中的に担当していた筆者にも学部長が声をかけてくれた。定員は、状況をにらみながら、30人という小ぶりの学科としてスタートさせることとしたが、果たしてどれだけの学生を集めることができるのか。原子力安全工学科設立準備室長の堀内則量教授の陣頭指揮の下、私も多くの高校、予備校へPRに奔走したが、やはり日々薄氷を踏む思いであった。

当時、原子力を名乗る学部レベルの学科はまだ全国に一学科しかない状況であり、一体どれくらいの高校生が応募してくるか、読みは難しい。幸い蓋を開けてみると応募者137人(複数の受験方式に起因するダブル/トリプルカウントあり)から、34人が入学し(第1図)、現在2年生として元気にやっている。もちろん今後解決していくべき課題は山積している。しかし、入学したてで落ち着きなど薬にたくもない新一年生に、自分のやりたいこととどこでどうつながっていくのか、そのあたりの説明も理解もそう簡単ではない物理学(主に初等力学)を教え続けてきた身からすると、聞く気のある学生の割合が



第1図 原子力安全工学科第1回入学式から(2008年4月)

増えたのはうれしいことである。特に「原子力」という、やはり少数派で、受験に際し、いまだに母親から反対されそうな学科をあえて選択した学生の中なればこそ、強い好奇心を持ち、将来に夢を持つ学生の割合は他分野に比して決して少なくはないことは実感できる。これに対応するとすれば、教える側の責任もまた重大である。一方、現今、理工系の多くの大学教員が指摘する学力分布の上下2極化は、他の工学部諸学科と同様に、悩みの深い問題であり、我々の新学科とて例外ではあり得ない。

Ⅲ. 学生と原子力

この4月から、新2年生を教え始めてまず再認識したのは、彼らにとって、TMIもチェルノブイリも、フェルミの黒鉛パイルCP1と同様、もはや歴史なのだった。TMIの1979年、チェルノブイリの1986年に対し、現2年生の大半は1990年の生まれなのである。だから彼らが、「あっ、それテレビで見て知っている」といっても、それは歴史を回顧する記録フィルムとして見知っているのであって、著者らが体験した同時代性にはそこにはない。その反面であるともいえようが、彼らは原子力学、例えば原子炉物理学を古くさい学術分野であるとは必ずしも思っていない。そこに希望がある。

筆者が1971年にNAIG(日本原子力事業株、後に東芝に吸収合併)に入社した時の課長、深井佑造博士は中性子輸送方程式の衝突確率による解法の世界的権威であったが、同分野の僚友R.Bonalumi氏について、「彼、もう炉物理に未来はないといってリベットを作る会社に転職してしまったよ」と語った。40年近く前の話である。当時、全炉心の詳細ピンモデル計算など考えられもしなかっただろう。しかしその後も原子炉物理学はなくなり、課題は山積している。原子力工学、原子炉安全学、……とその進歩は持続可能な基盤エネルギーの安全と安心な供給に直結する、苦勞しつつも歩きがいのある道である。

一方、学生が身を入れて勉強するには、その道の最前線は常に必要である。最前線あつての前進であつて、それを正しく見定めつつ仕事をし続ける責任は教員の側にある。常にもっとも責任を感じるところである。

Ⅳ. 原子力安全工学科

ここで、堀内主任教授の解説¹⁾に沿って、武蔵工大炉から、昨年の「原子力安全工学科」設立までの歴史に少しばかり触れさせていただきたい。途中参入者の筆者にとっては、これは自らあらためて自校の歴史を勉強することになる。原子力の平和利用がまだ模索を続けているかなり早い段階である1963年に、本学は定格熱出力100kWのTRIGA炉の臨界を達成した。一私学として、この実績は快挙と呼べるものであり、1976年からは全国の国公立大学の施設として、東京工業大学を窓口として共同利用が開始された。現在でも、「若いころ武蔵工大

炉で実験をしましたよ」とおっしゃる原子力界の指導層に属する方々にお会いすることは少なくない。もちろん、本稿の主題である「原子力安全工学科」の中核となる教員の多くも、この中から育っている。なお、この原子炉解体・処分を経験を逆に生かし「バックエンド安全工学」もカリキュラムに盛り込んである。

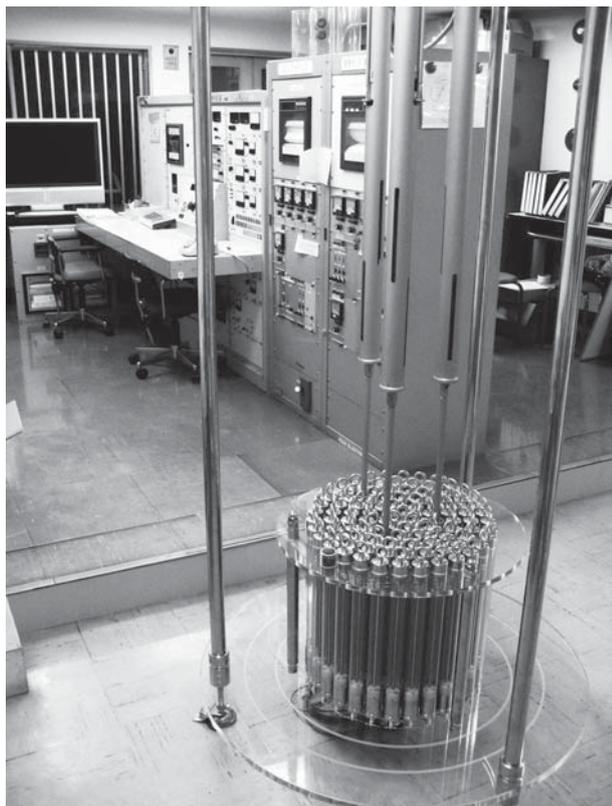
この武蔵工大炉を核に、1981年4月、大学院に修士課程「原子力工学専攻」が設置された。私立大学としては珍しい経緯である。さらに1997年、工学部に「環境エネルギー工学科」が新設されたのを機会に「原子力工学専攻」は燃料電池、水素エネルギー、太陽エネルギーなどの、いわゆる新エネルギー分野にも研究教育領域を大きく広げ、2000年から「エネルギー量子工学専攻」となる。翌年には修士後期課程(博士課程)も併設された。

一方、学部を目を転じると、工学部環境エネルギー工学科は、設立当初から、かなり網羅的で充実した原子力系カリキュラムを内包していた。そして、中村英夫学長の強いリーダーシップのもと、2007年4月に新学科「原子力安全工学科」が創設された。

原子力安全工学科では、原子力システムを総合技術としてとらえ、機械工学、電気電子工学、原子力工学・放射線工学の各分野を中心に、系統的に効率的学習ができるよう腐心してカリキュラムを作成している。その特色として数点を挙げれば、以下のようになろう。

- (1) 低学年では、狭義の原子力工学だけに限定せず、機械工学、電気工学等工学の基礎をしっかり身につけさせる。そのため、機械工作概論、機械工作実習、電気・機械工学実験なども必修とする。
- (2) 続いて、放射線概論、原子炉工学、放射線実習、原子力実験実習など、原子力の中核となる専門教育に力点を移し、原子力施設の建設、運転、管理、保全、そしてなによりも安全と安心をになう適性を持った人材育成を行う。
- (3) 3年次になると、原子炉伝熱流動、原子炉材料・燃料工学、放射線安全管理工学から国際エネルギー政策までを網羅し、「原子力工学」、「放射線工学」、「原子力政策」の3コースに分かれ、学生の適性になった各分野の専門家として育てもらう。この3つコースを貫くキーワードは「安全」と「安心」であることはいうまでもない。特に、新潟県中越沖地震に触発され、「耐震工学」にも特に留意している。

なお、すでに述べた武蔵工大炉はすでに運転を停止しているが、付帯設備等は健全であり、これらを有効に使って学生に体感を育んでもらうことにも特色がある。学科では、実験・実習を中心に「体感」に重きをおく。一例として、原子炉シミュレータの例を挙げよう。第2図に示すのは武蔵工大炉炉心の実物大モデルであり、その構造が容易に見て取れるようになっている。模擬炉における個々の燃料装荷位置は、模擬燃料棒ごとに異なる電気抵



第2図 原子炉シミュレータの模擬炉心(手前)と制御卓(背景)

抗により識別できるようになっている。また、図上部の制御棒駆動機構は実炉で使われていたものの予備機で、実際のものと同寸分の違いもない。同図背景の制御卓は「実物」の制御卓であり、模擬炉心と制御卓はシミュレーション計算を行うパソコンを介して連結している。学生は模擬炉心の動きを実際に目にしながらその構造を体感し(第3図)、臨界近接や制御棒価値校正等を体験できるようになっている。また、実機では経験しにくいスクラムも経験できるし、たとえば、時間スケールを数10分の1にソフト的に短くして、実炉では極めて重要なゼノン効果を短時間で体感することも可能である。

V. 今後の展開

一昨年、日々薄氷を踏む思いで見守った新学科への応募数であるが、この数は本年着実に増加し、平成21年4月には38人の新1年生を迎えた。これは希望的観測にすぎないかも知れぬが、現在の文化水準を発展的に持続させる上でのエネルギー、特に原子力の特別な重要性に若者たちは薄々気づき始めている結果なのではないだろうか。もちろんこの推測を立証するには、今後、長年にわたる努力の上に立った統計数字が必要になることはいうまでもない。

一方、東京都市大学大学院工学研究科には「エネルギー量子専攻」がある。これはすでに述べたように、もともとあった「原子力工学専攻」に新エネルギー分野をも糾合



第3図 原子炉シミュレータを使っでの実習風景

し、教育研究内容を拡大したものである。現在、原子力専攻をもとのかたちで独立させる方向で検討がなされている。本学と早稲田大学とは本年4月27日に「東京都市大学と早稲田大学との大学間交流に関する包括協定」を結んだが、原子力専攻の設立・強化もこの枠内で行われるよう話が進んでいる。

VI. おわりに

最後に学生たちに話を戻そう。一般の高校生の間では「物理Ⅱ」を履修している生徒は理工系を志望するごく少数派である。そのうえ「高等学校物理Ⅱ」では、入試に出ないという理由で第三部(あるいは第三章:教科書により多少構成が異なる)第一節「原子・分子の運動」までしか教えない高校が圧倒的である。この高等学校新カリキュラムが施行されたころ、応用物理学会は、少なくとも「分子運動論」までは教えるべきであるとアピールを出したほどである。そして、「原子の構造」、「原子核と素粒子」等はこの埒外に追いやられ、問題視すらされずに既成事実化している。どの教科書も「原子核と素粒子」の節では、放射線、結合エネルギー、核反応から原子力に言及し、クオークまで説明している(教科書により軽重は異なる)。しかし、決められた厚さの教科書の短い誌面での著者の努力がかいま見られる。これを考えると、特に「原子力」に興味を持ち、その重要性を理解しつつある原子力系学科の学生たちがとても貴重な若者たちに見えてくる。

—参考資料—

- 1) 堀内則量, エネルギーレビュー, **319**(8), 38~41(2007).

著者紹介

吉田 正(よしだ・ただし)



東京都市大学
(専門分野/関心分野)核データ/原子炉物理学/核燃料サイクル



原子力人材育成の将来を考える

日本原子力研究開発機構原子力研修センター 開講50周年記念シンポジウムから

日本原子力研究開発機構 村上 博幸

我が国の原子力技術者に係る人材育成はきわめて重要な課題であり、平成19年度に設置された「原子力人材育成関係者協議会」(座長：服部拓也日本原子力産業協会理事(会長))においては、産官学共同でそのあり方や方向性等が検討されているところである。

このような中、日本原子力研究開発機構は、平成20年12月4日、東京都千代田区の新生銀行ビル1階ホールにおいて、(社)日本原子力学会と(社)日本原子力産業協会の後援のもと、同原子力研修センターの開講50周年を記念したシンポジウム「原子力人材育成の将来を考える」を開催した。シンポジウムには約150名の参加者があり、来賓による挨拶、「原子力研修センター50年の足跡と原子力機構の今後の人材育成の方向」と題する報告講演および「これからの原子力人材育成の課題と展望」をテーマとしたパネルディスカッションが行われた。本稿では、同シンポジウムでの来賓挨拶をはじめ、報告講演およびパネルディスカッションの内容について紹介する。

I. 来賓挨拶

来賓挨拶は、我が国原子力界を代表する4人により行われた。発言内容についてその要旨を以下に示す。

近藤駿介原子力委員会委員長：

原子力人材育成組織において重要と考えるところを2つ申し上げる。1つは、多様性の確保に心すべきということであり、人材育成等の取組みにおけるネットワーク化の推進が資源の有効利用の観点でも重要である。もう1つが、これから原子力科学技術の恩恵を享受しようとする国の支援である。特に近隣アジア諸国のように原子力発電を計画する国々の人材育成を支援すべきと考えているが、支援範囲がこの原子力研修センターのカリキュラムの範囲を超えた場合の対応、および教科書に示されない暗黙知をどう伝えるかということが課題である。

岡 芳明原子力学会会長：

原子力研修センターの東大専門職大学院等のプログラム立上げに際しての協力や同プログラムの教科書整備等への協力に感謝する。原子力人材育成は幅広く、大学からメーカー、発電所とその需要は大きい。原子力研修センターは優れた人材を有しており、また実験・実習を実施できる施設、設備を有していることは人材育成の面で非常に役立っている。今後もその中核として活動することに期待する。

服部拓也日本原子力産業協会理事長(原子力人材育成関係者協議会座長)：

原子力研修センターは我が国の原子力開発の基礎を築いた。原子力産業界代表として礼を述べる。研修は、技術、知識だけでなく、人的ネットワーク作りにも貢献した。世界的に人材育成に係る原子力研修センターの重要性は拡大していく。原子力人材育成関係者協議会としても今後原子力研修センターとの連携を強めていきたい。

櫻井繁樹文部科学省大臣官房審議官：

我が国の原子力技術水準は高く、世界の中核として活動すべきである。今後も高い技術力を保持するためには、優秀な人材が必要である。人材なくして教育なし、研究なし、事業なし。原子力研修センターは原子力立上げ時の1950年代から重要な任務を果たし、今日の原子力の基礎を築いてきたと思うが、今後も求められる役割は大であり、文科省としても全面的に支援するので引き続き中核機関として原子力の基盤を支えてほしい。

II. 報告講演の内容

報告講演は、「原子力研修センター50年の足跡と原子力機構の原子力人材育成の今後の方向」と題するもので、原子力機構の石村 毅理事が行った。同報告では、まず原子力研修センターの前身である原研ラジオアイソトープ研修所(東京で昭和32年に開所)および原子炉研修所(東海村で昭和34年に開所)での研修から現在の原子力研修センターで実施されている研修までの変遷を往時の写真を含めて紹介が行われた。この報告の中では今まで

の原子力研修センターの実績等の紹介も行われたが、特に原子炉主任技術者試験の合格者に占める研修センター受講生の割合など興味深いデータも紹介され、参加者の注目を浴びた。現在までに延べ11万人にも達する受講生の数は、現在の原子力界における技術者・研究者の総数(数万人)と比較してもその貢献度の高さを示しているといえよう。さらに現在は、国際研修事業や大学との連携協力にも力を入れていることなども紹介され、我が国の原子力界において技術者の Off-JT(職場外研修)を支える代表的組織であることが再認識された。また今後はアジアにおける原子力人材育成の中核組織を目指していくことなど、同機構が原子力人材育成の面で目指していくべきと考えている事項などについて興味深い報告がなされた。

Ⅲ. パネルディスカッション

パネルディスカッションは、「これからの原子力人材育成の課題と展望」というテーマのもと、杉本 純原子力研修センター長を座長とし、4人のパネリストによる基調講演およびそれに対する質疑応答という形式で進められた。パネリストの4人およびその基調講演のテーマは以下の通り。

(1)辻倉米藏 電気事業連合会顧問

「原子力の現場における技術力継承に関する課題」

(2)村田扶美男 日立GEニュークリアエナジー技術主管

「魅力ある原子力界とは」

(3)齊藤正樹 東京工業大学教授

「国際原子力人材育成」

(4)上坂 充 東京大学教授

「原子力人材育成—大学としての取り組みと JAEA への期待」

各基調講演後に行われた質疑応答およびすべての基調講演後に行われた総合討論では、会場の参加者から熱心な質問やコメントがあり、討論は白熱したものとなった。以下に、基調講演および討論の概略を示す。

○杉本座長 本討論の趣旨は、情報の共有と人材育成のあり方を考える機会の提供である。

○辻倉氏 人材の高齢化とこれに伴う若年層の実体験機会の減少が問題である。これに対し、各電力会社とも独自の教育プログラムを実施しており、訓練装置の活用、過去のトラブル事例の疑似体験、OB 熟練技能者の活用等を行っている。また建設機会経験の減少には火発や他社建設への参画等で対応している。大学には広い視野を持つ人材の育成を、国には原子力の魅力の発信を期待する。

Q： 熟練技術者の減少は、古い体質の一掃になる良い機会ととらえてはどうか？新しい考え方をを持った技術者を育成するチャンスでは？

A： 今までのマイナス的な原子力イメージではなく、環境問題の認識や社会貢献できる職場との意識が若者に出てきており、そういう芽を伸ばしていくことが重要と思う。

Q： インセンティブ付与という観点で、原子力界以外との人材交流も必要では？

A： 自分たちが閉じられた世界にいるわけではないという意識は重要と思う。現在も職域間交流などにより、現場でも次第に広い視野で、かつ共通の価値観でという思いは広がりつつある。

○村田氏 エネルギー問題をベースとして原子力への使命感の醸成が可能か。外部から原子力の中身をよくわかかってもらう方策が必要であり、世の中への PR も必要である。社会的な評価を高くする、国際展開などを踏まえて原子力の魅力を伝えることも必要と思う。

Q： 原子力を外からわからせるという観点で、若い現役社員から学生に語らせてはどうか。原子力界がどんな人材を求めているか、何を学んでなければならないのか、学生に知らせることが重要では？

A： 学生に伝えるための活動としては、インターン制度、産業界からの講義対応等がある。学生は、自分を PR してほしい。原子力に関する基礎知識は少ないが、やる気だけはあるという者でも可能性はある。

Q： 女性にとって原子力はどうか。

A： 危険だという社会の先入観があり、今後、中身を周知すれば女性は増えると思う。

(杉本座長) 原子力機構も女性の研究者・技術者の数は少ない。今後、定量的な目標を掲げて増やすこととしている。

○齊藤氏 国際的に求められる人材とは、世界的に拡大する原子力産業で活躍する人材、原子力と国際社会との調和に貢献できる人材、新しい技術を研究することができる人材である。国際的に求められる人材の育成には、まず国内で足並みをそろえた産官学の強い連携が必要である。その国内連携をもとに国際的連携を取って人材育成を進める。今後、国際的人材ニーズ等を調査し、育成戦略・方策を具体的に検討することが重要である。

○上坂氏 全国の大学では原子力教育を強化している。立地自治体なども教育に熱心に取り組んでいる。また、今後、電力界や産業界と直結した教育や国際的リーダーの育成が必要である。相次ぐ教育用原子炉の使用停止に伴う原子力施設利用などのため、原子力機構の役割は重要であり、大学との連携は必須と考えている。また、大学や原子力機構など我々自身の人材育成も課題であると考えている。

C： 原子力機構では、JRR-4(研究4号炉)だけでな

く、今後、NSRR(安全性研究炉)の教育利用も考えている。

Q： 高レベル放射性廃棄物の処分研究の人材確保は非常に重い課題である。人材確保という面で、サイエンスハイスクール、人材育成プログラム等と連携し、高校などに出かけていくなど積極的コミュニケーションが必要ではないかと考えている。

A： 大学が積極的に高校に出向く活動も行われている。学園祭や学生の活用もある。

Q： 男女共同参画という視点での検討が必要では？今後、女性を人材確保という点で発掘していく必要がある。また、研究開発や連携協力についても新しい感性という意味で女性も重要と思う。

A： 医学系や生物系など、女性が来やすい分野へ原子力の広い応用を図ることが必要である。

○総合討論：

Q： 原子力界と一般社会の結びつきをどう作るかということが課題では？

A： 視野の広いバランス感覚を持った人材の教育が必要と考える。現在の原子力の位置づけを理解すれば自然に身につくものであり、このためには、小学、中学からの基礎教育の中で積み上げていくことが重要と思う。

Q： 大学で育てたい人材とは？

A： まず今ある基礎的なものを学び、それから新しいものを自ら作り上げていくような人材を育てたい。個性を磨くことが重要と考える。

A： 海外に一たん出て向こうで活躍し、そして戻ってくるような人材の育成を推進したい。

○杉本座長 フロアから多彩な観点からの活発なご意見、コメントを頂き感謝する。原子力人材育成関係者協議会も活動中であり、その中の検討にも反映されることもあると思う。また、当原子力機構への要望等は私どもの今後の検討に役立たせたい。基調講演者、出席者の全員に感謝する。

Ⅳ. シンポジウムのお話

原子力機構原子力研修センターは、今回のシンポジウム開催にあたり、研修を通じて協力関係にあるインドネシア、タイ、ベトナムおよびIAEAから送られたビデオレターをシンポジウムの中で紹介した。各国のビデオレターの内容から、原子力研修センターの国際協力活動がこれら各国において高く評価され、今後も期待されていることが伺われた。ビデオレターの送付者は表の通り。

また、原子力研修センターにおいて過去50年にわたって記録された写真(研修所の建物、研修風景、講師、受講生の記念写真など)が休憩時間等にスクリーンで紹介

ビデオレター送付者

Dr. Hudi Hastowo	Chairman, National Nuclear Energy Agency, Indonesia
Dr. Somporn Chongkum	Executive Director, Thailand Institute of Nuclear Technology, Thailand
Dr. Vuong Huu Tan	Chairman, Vietnam Atomic Energy Commission, Vietnam
Dr. Olli Heinonen	Deputy Director General, IAEA



原子力機構原子力研修センター開講50周年記念シンポジウムの様子

され、関係者のノスタルジーを誘っていた。

Ⅴ. 終わりに

今回のシンポジウムは、原子力機構の原子力研修センターの開講50周年を記念したシンポジウムということで、多分にお祝いの意味合いが大きいものではあったが、同時にパネルディスカッションでの討論などは、原子力界の技術者の人材育成に向けた参加者の強い思いが伝わってくるものであった。「原子力カルネッサンス」という言葉が広く知られるようになり、環境保護の面での原子力見直しなど、今後の原子力を取り巻く状況はさらに一層の人材育成の必要性を示唆している。今後は原子力研修センターのような人材育成専門組織だけではなく、原子力人材育成関係者協議会で議論されているように、産官学が一体となって原子力技術者の育成に取り組んでいくことがさらに重要性を増すと思われる。

著者紹介

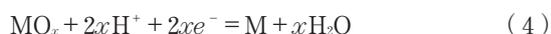
村上博幸(むらかみ・ひろゆき)



日本原子力研究開発機構
原子力研修センター
(専門分野/関心分野)放射線防護分野の研修

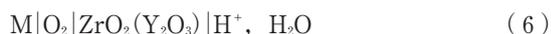
第1表 高温高压水用 pH 電極の種類と特徴

pH 電極	長 所	短 所
Pt 水素電極	・ 電位の理論値を熱力学的に計算可能	・ 水素の吹き込みが必要である ・ 溶液中の Redox 系の影響を受ける
Pd 水素化物電極	・ 電極構造が単純である ・ いくつかの仮定の下に理論的計算も可能	・ 200℃以上の高温では寿命が短くなる ($\alpha + \beta$ 2相領域が狭くなる)
TiO ₂ 半導体電極	・ 広い温度範囲で動作する (室温~250℃) ・ 溶存ガス種や Redox 系の影響を受けない	・ 電極面積を一定に保つ工夫が必要である ・ 電極容量測定装置が必要である
YSZ 隔膜型電極	・ 電位は Nernst 式で理論的に与えられる ・ 溶存ガス種や Redox 系の影響を受けない ・ 構造が比較的単純である	・ 200℃以下の温度では動作が困難である ・ 機械的強度が低い
金属/金属酸化物電極	・ 電極構造が単純で強度が高い	・ pH 依存性の理論式はない



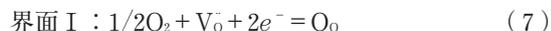
$$E = E_{\text{M}/\text{MO}_x}^0 - (RT/2F) \ln a_{\text{H}_2\text{O}} - (2.303 RT/F) \text{pH} \quad (5)$$

ここで、 $E = E_{\text{M}/\text{MO}_x}^0$ は標準電極電位であり、(4)式の反応に参与するすべての化学種が標準状態(活量が1)にあるときの電位を表す。 $a_{\text{H}_2\text{O}}$ は水の活量である。内部基準電極としては金属/空気電極を用いることも可能であり、この場合の半電池式は次式で与えられる。



I II

界面 I の反応、半電池全体の反応および電極電位は次式で表される。



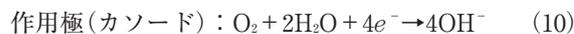
$$E = E_{\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}}^0 + (RT/2F) \ln (P_{\text{O}_2}^{1/2}/a_{\text{H}_2\text{O}}) - (2.303RT/F) \text{pH} \quad (9)$$

P_{O_2} は空気の酸素分圧であり、温度によらず一定(0.21 atm)である。(6)および(9)式から、電位は pH に対して Nernst 型の応答を示すことがわかる。金属/金属酸化物電極の場合の $E_{\text{M}/\text{MO}_x}^0$ は標準水素電極 SHE を基準とする M/MO_x 対の標準電極電位であり、これは MO_x の標準生成 Gibbs 自由エネルギーから計算できる。金属/空気電極の場合の $E_{\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}}^0$ は SHE を基準とした酸素電極反応の標準電極電位であり、各温度における H_2O の標準生成 Gibbs 自由エネルギーによって決定される。界面 I における反応(4)あるいは(7)式が熱力学的平衡状態にあれば、実測の電位は(6)あるいは(9)式によって計算される理論的電位と一致する。したがって、YSZ-pH 電極は校正を必要としない“primary sensor”として働く。金属/金属酸化物電極では Hg/HgO や Cu/Cu₂O が、金属/空気電極では Ag 電極が300℃付近の温度でも熱力学的平衡に到達することが知られている。

2. 溶存酸素計測

溶存酸素の計測には電気化学的方式が用いられている。電解液中の溶存酸素が電気化学的に還元される反応

は拡散支配の反応であり、ある電位範囲(拡散限界電流域)における電流は電極電位に依存せず一定値となる。これは拡散限界電流と呼ばれ、その大きさは電解液沖合の酸素濃度に比例する。そこで、電気化学セルを酸素に対する透過性の高い隔膜(ポリエチレンあるいは PTFE 製)によって試料水から遮断した構造を用いて拡散限界電流を測定することにより溶存酸素濃度を求めることができる。限界電流の測定方式にはポーラログラフ法とガルバニックセル法がある。ポーラログラフ法では作用極(Au あるいは Pt)と対極(Ag)の間に一定の電圧を加えて作用極を限界電流域の電位に分極し、そのとき両極間に流れる電流を計測する。

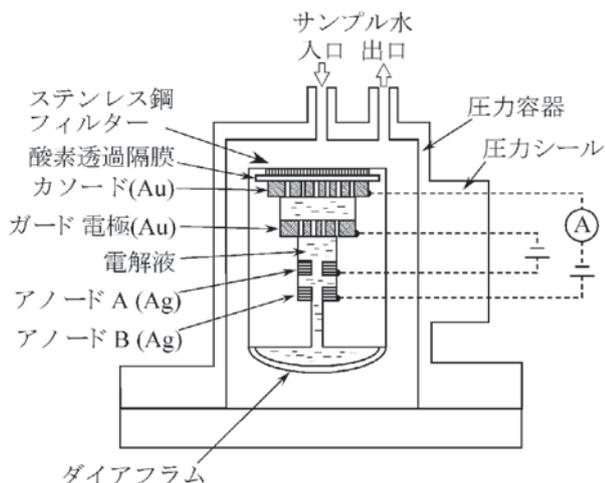


計測される電流 I は次式で表されるように、試料水の溶存酸素濃度 C_s に比例する。

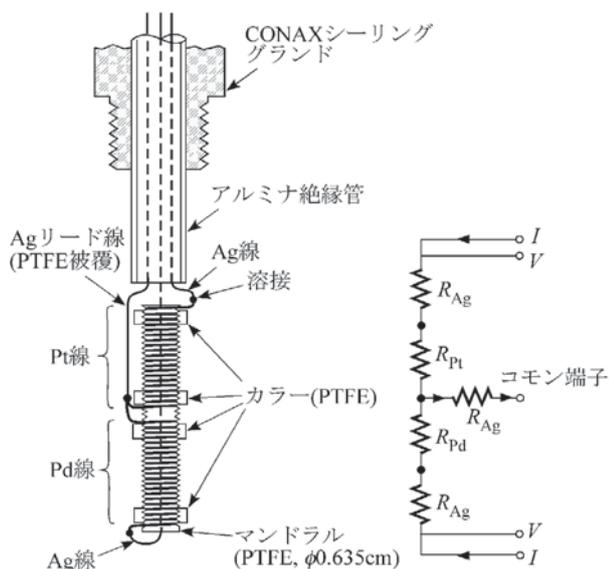
$$I = (4FAP_m/L) \cdot C_s \quad (12)$$

F はファラデー定数、 A は作用極の面積、 P_m と L は酸素透過隔膜の透過率と厚さである。ガルバニックセル法では作用極(Au あるいは Pt)と対極(Pb もしくは Al)を無抵抗電流計を介して短絡させ、異種金属接触による腐食電流を計測する。腐食電位が拡散限界電流域にあれば、腐食電流は酸素還元反応の限界電流に等しい。

第2図に、ポーラログラフ方式の高温高压水用溶存酸素測定装置を示す⁴⁾。高温になるとアノードの反応生成物である AgCl の溶解度が増し、溶出した Ag⁺ イオンがカソード電極上で還元されるために安定な拡散限界電流が観測されにくくなる。そのため、カソード電極の前にガード電極として多孔質 Au 電極を設置して、ここで Ag⁺ をカソード還元析出させる方式が考案されている。第2図の装置を用いることにより、22~285℃の温度範囲において、0.08~4.4 ppm の溶存酸素に対し(12)式の直線関係が成立し、検出限界濃度は0.03 ppm であることが報告されている⁴⁾。



第2図 高温高压水用溶存酸素検出器の概略図



第3図 高温高压水用差動抵抗式溶存水素センサの概略図

3. 溶存水素計測

常温では、空气中に抽出したのち、熱伝導度検出器で分析する方式や溶存酸素計と同様の隔膜型ポーラログラフ式の装置が実用化されているが、これらを高温水中の測定に適用した例はない。高温水中の溶存水素の計測のために考案されているセンサには以下の3つのタイプのものがある。①差動抵抗式センサ、②YSZ-pHセンサとPt電極を組み合わせたポテンシオメトリーセンサ、③YSZ固体電解質を用いる2電極セルと水素透過隔膜を組み合わせたポテンシオメトリーセンサ。第3図に、①の差動抵抗式センサの構造を示す。センシング素子は接合されたPd線とPt線であり、接合点と両端からAgリード線が引き出されている。図の右側の電気的等価回路から明らかなように、コモン端子を基準にしてPd線側とPt線側の抵抗を測定してその差を求めると、Agリード線の抵抗が相殺され、Pd線とPt線の抵抗の差が得られる。これは次式で表されるように、Pdに吸

収された水素の濃度に比例する。

$$\Delta R = R_{Pd} - R_{Pt} = \Delta R^{nh} + R_{Pd}^0 \gamma_c^{Pd} (C - C_0) \quad (13)$$

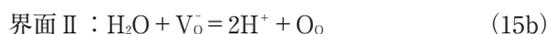
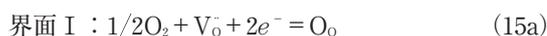
ここで、 ΔR^{nh} はPdが水素を吸収する前の抵抗差、 R_{Pd}^0 は基準状態のPdの抵抗、 C_0 は基準状態の水素濃度、 γ_c^{Pd} は水素濃度によるPdの抵抗の変化率である。このタイプの溶存水素センサは250~410℃の温度範囲で、0.01~11.25 ppmの溶存水素を検出できる⁵⁾。

②のYSZ-pHセンサとPt電極を組み合わせたポテンシオメトリーセンサは超臨界温度の455℃での使用実績があるが、Pt電極が被測定溶液に接しているため、酸化還元反応を生じる化学種(Redox種)の影響を受ける。これに対して、類似した動作原理であるが、センサを一体化し、かつ水素透過隔膜を用いた③のセンサはRedox種の影響を受けないという長所がある。このタイプのセンサの構造を第4図に示す⁶⁾。pHセンサに用いられているものと同じYSZチューブの内側にAg/空気基準電極を形成し、外側に多孔質PtあるいはPdの貴金属センシング電極を形成し、センシング電極側をPTFEの水素透過隔膜で覆った構造である。この電池の構成式は以下のように表される。

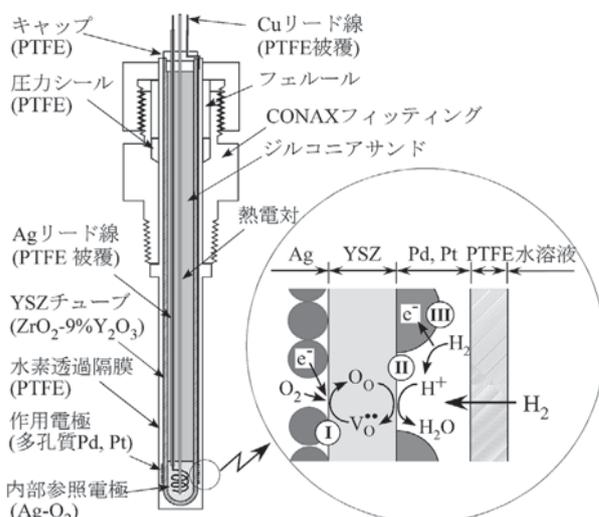


I II III

貴金属センシング電極側の H_2O はセンサ作製直後には存在しないが、センサが水素を含む水に触れると、PTFEを透過してきた H_2 が貴金属上で解離してH原子となり、これがYSZ中の酸素と結びつくことで生成する。その後、界面I、IIおよびIIIではそれぞれ次の反応が起こる。



したがって、(14)式の電池全体の反応は次式で表されるように、溶液中の水素とYSZ内側にある酸素の反応に



第4図 高温高压水用YSZ固体電解質型水素センサの概略図

よる水の生成反応となる。



内部 Ag/空気基準電極を基準とした貴金属センシング電極の電位は次式で与えられる。

$$E = E^0 - (RT/4F) \ln 0.21 - (RT/2F) \ln (\gamma_{\text{H}_2} m_{\text{H}_2} / K_{\text{H}}) \quad (17)$$

E^0 は(16)式の反応の Gibbs 自由エネルギー変化から計算することができ、溶存水素の活量係数 γ_{H_2} と Henry 定数 K_{H} も既知であるので、溶存水素の重量モル濃度 m_{H_2} に対する電位 E を計算することができる。250~300°Cの純水中において、 $7.61 \times 10^{-6} \sim 7.61 \times 10^{-4} \text{ mol/kg}$ (15~1,500 ppb)の H_2 に対する応答を調べた結果、実測の電位は理論値に一致することが報告されており、検量線を必要としない“primary sensor”として動作することが確認されている。なお、酸素が共存するときには、センサの電位は水素の酸化反応と酸素の還元反応の混成電位によって決定される⁶⁾。酸素濃度が水素濃度よりも低いときの混成電位は主として水素電極反応によって決定され、酸素の影響は無視できるくらい小さいことが確認されている⁶⁾。

4. 導電率計測

溶液の導電率の計測には平行平板電極間のインピーダンスを測定する方式が用いられている。直流で測定されるインピーダンスには電極-溶液界面の分極抵抗が含まれるため、交流インピーダンスを測定して電極界面の分極抵抗の影響を排除し、溶液の抵抗成分を評価する方法が用いられる。電極界面の電気的等価回路が電極容量 C と分極抵抗 R_p の並列回路で表されると仮定すると、測定される2電極間の全インピーダンスは次式で表される。

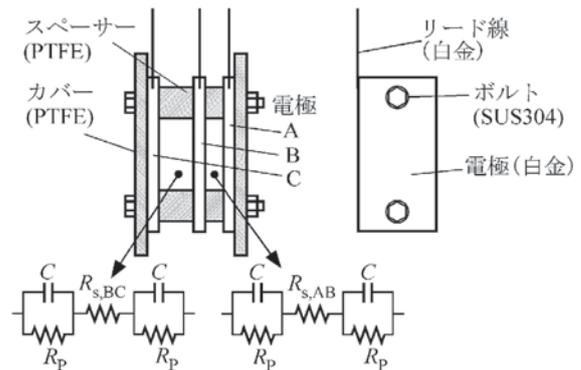
$$Z = R_s + 2R_p / (1 + j\omega CR_p) \quad (18)$$

ここで、 R_s は溶液の抵抗、 ω は角周波数である。インピーダンスの周波数依存性を測定し、周波数無限大に外挿すると R_s が得られる。しかし、純水のように抵抗が著しく大きい溶液では高周波数域でのインピーダンス測定が困難となる。そこで、第5図に示すように、同一面積の白金電極を3つ使用して、差動型の測定を行う方式が考案されている⁷⁾。AB間およびこれとは電極間隔が2倍異なるBC間のインピーダンスを測定し、周波数ゼロまで外挿して得られる抵抗の差を求めると分極抵抗成分は相殺され、溶液抵抗が得られる。

$$R_s = (R_{s,BC} + 2R_p) - (R_{s,AB} + 2R_p) = R_{s,BC} - R_{s,AB} \quad (19)$$

5. 電位計測

溶液の pH の計測においては、照合電極を用いて pH 電極の電位を測定することが必要である。また金属の腐食電位 (Electrochemical corrosion potential: ECP) を測定するためにも照合電極が必要である。そのため、高温



第5図 高温高圧水用の導電率測定電極の構成と電気的等価回路

水用の照合電極に関する研究も多数行われている。照合電極に必要とされる基本的な条件は以下の3つである。

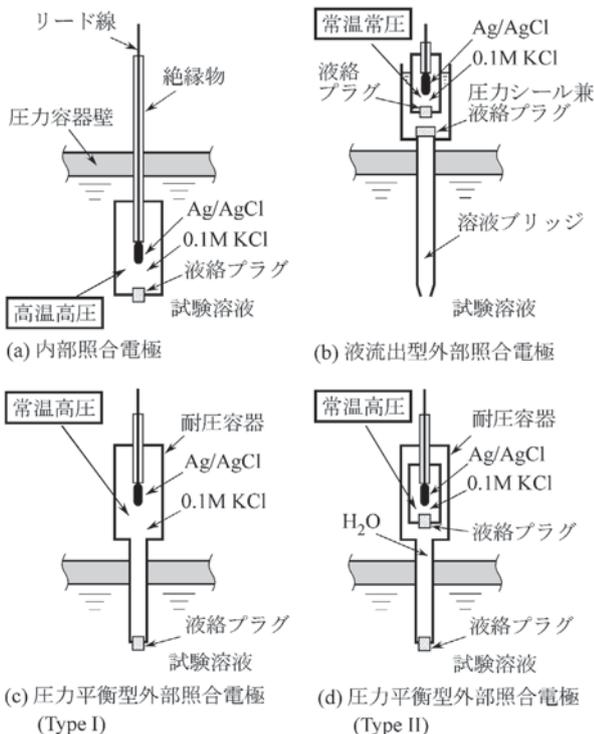
- (1) 電位が長時間安定で、再現性があること
- (2) 熱力学的に意味のある電位に換算可能なこと
- (3) 対象とする試験溶液との適合性があり、容易に使用できること

これらの条件は、常温常圧下で使用されている通常の照合電極の場合と変わらない。しかし、高温高圧水中では、電極を構成する材料の劣化や変形、液絡部分に生じる熱力学的不可逆電位や液間電位の存在などにより、これらの条件を完全に満たすことは容易ではない。したがって、いくつかのタイプの異なる照合電極を使用目的に応じて使い分け、また、熱力学的な電位基準 SHE に換算するための補正係数を実験的に求め、完全に熱力学的とはいえないが、実用上問題にならない誤差範囲内で SHE 基準への換算を可能にする方策が講じられている。

高温高圧水用照合電極は、電極の設置方式によって内部照合電極と外部照合電極とに大別される。内部照合電極は高温高圧環境に設置され、試料電極と同じ温度圧力条件で使用される。外部照合電極は常温環境に設置され、試料電極とは異なる温度で使用される。外部照合電極はさらに、電極部を常圧下に設置する液流型と、高圧下に設置する圧力平衡型とに分けられる。これらの高温高圧水用照合電極の基本形式を Ag/AgCl (0.1 M KCl) 電極を例として第6図に模式的に示す。また、それぞれの形式の電極の長所と短所を第2表に示す。内部照合電極は SHE 基準の電位への変換が可能であることから、実験室での電気化学測定や pH 電極の性能評価に用いられている。しかし、実際の装置での使用には制約が多い。これに対して、外部照合電極は実機向きの特徴を有している。特に、圧力平衡型外部照合電極では、誤差要因である液絡部の熱液絡電位差を補正して SHE 基準の電位への変換が可能であり、また試験液が系外に流出することもない。ただし、電極内部液 (通常は KCl 溶液) が試験液中に僅かではあるが漏出するため、その影響を最小限度にするために、第6図(d)に示すように、

第2表 Ag/AgCl を用いる高温高压水用照合電極のタイプと特徴

	内部照合電極	外部照合電極	
		液流出型外部照合電極	圧力平衡型外部照合電極
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・熱力学的に信頼できる電位が得られ、SHE 基準の電位に換算できる ・内部抵抗が小さい ・試験液は系外に漏出しない 	<ul style="list-style-type: none"> ・電位が安定している ・長期間使用が可能である ・試験液を汚染しない ・取扱いが比較的容易である ・試験中でも耐圧部以外は取外し、補修が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・電位が安定している ・電位の再現性が良い ・長期間使用が可能である ・試験液の汚染が少ない ・取扱いは比較的容易 ・SHE 基準への変換は許容誤差範囲内で可能である
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・耐久性に乏しい ・電極内部液が漏出し、試験液を汚染する恐れがある ・試験液の成分により電極が劣化する場合がある ・構造が複雑である ・試験中は電極の取外し不可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・電位の再現性に乏しい(液の流出速度、圧力シール材の充填度合いなどに依存) ・熱力学的に意味のある電位への換算が困難 ・液絡部が長く、内部抵抗が大きい ・試験液が絶えず系外に流出する 	<ul style="list-style-type: none"> ・完全に熱力学的ではない ・液絡部が長く、内部抵抗が大きい ・電極内部液の試験液中への漏出は内部電極より少ないが、若干はある ・封入ガス、試験液の成分による悪影響は内部電極に比べると少ないが、若干はある



第6図 Ag/AgCl 電極を用いる高温高压水用照合電極の模式図

液絡を純水を挟んで2段階にする方式が用いられる場合もある。

軽水炉の冷却系のように、水質の厳密な管理・制御が要求される場所では、照合電極由来の僅かな汚染であっても問題になる場合があり、また冷却水中に含まれる水素などが照合電極に浸入すると AgCl が還元される可能性がある。このようなことから、軽水炉の冷却系で Ag/AgCl 電極を使用することは難しい。内部液を含まない完全固体型であり、また冷却水成分による劣化が少ない電極材料で構成された照合電極が望まれる。このよう

な要求を満たす擬似照合電極として、YSZ 隔膜型 pH 電極が使用可能である。前述したように、YSZ 隔膜型 pH 電極の電位は Nernst の式によって定義できるので、溶液の pH が一定かつ既知であれば、この電極で計測した電位は SHE 基準の値に換算できる。軽水炉の冷却水環境はこのような条件を満たすと考えられるので、YSZ 隔膜型 pH 電極を擬似照合電極として用いることは有効であると考えられる。

IV. おわりに

軽水炉の冷却水の分析に関して、高温高压水の直接測定が可能な分析法に焦点を絞って概説した。現在までのところ、腐食電位以外の特性を高温高压のインラインで計測した実績はほとんどないと思われるが、よりの確な水化学制御の実現のためには、水質の直接測定が望まれる。そのためには、高温高压水の *in-situ* 分析手段の開発研究を継続的に進めることが必要である。誌面の都合上、半導体デバイス型センサ⁹⁾に関する記述は省略したが、常温における溶液の pH 計測および各種ガス分析には MOS 構造デバイスなどを応用した半導体デバイス型センサが研究されており、pH-ISFET などとして実用化されているものもある。これらは完全固体型であるため、軽水炉冷却系用のセンサとしての基本的適正を備えている。しかし、高温では Si 半導体が使用できないため、これまでのところ、n 型 TiO₂単結晶を使用した pH センサ⁹⁾以外はほとんど研究されていない。SiC などの高温用半導体を利用したデバイス型センサの開発研究が今後進展することを期待したい。本稿が水化学に携わる技術者および科学者に役立ち、水化学制御の発展につながれば幸いである。

第2表 Ag/AgClを用いる高温高压水用照合電極のタイプと特徴

	内部照合電極	外部照合電極	
		液流型外部照合電極	圧力平衡型外部照合電極
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・熱力学的に信頼できる電位が得られ、SHE 基準の電位に換算できる ・内部抵抗が小さい ・試験液は系外に漏出しない 	<ul style="list-style-type: none"> ・電位が安定している ・長期間使用が可能である ・試験液を汚染しない ・取扱いが比較的容易である ・試験中でも耐圧部以外は取外し、補修が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・電位が安定している ・電位の再現性が良い ・長期間使用が可能である ・試験液の汚染が少ない ・取扱いは比較的容易 ・SHE 基準への変換は許容誤差範囲内で可能である
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・耐久性に乏しい ・電極内部液が漏出し、試験液を汚染する恐れがある ・試験液の成分により電極が劣化する場合がある ・構造が複雑である ・試験中は電極の取外し不可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・電位の再現性に乏しい(液の流出速度、圧力シール材の充填度合いなどに依存) ・熱力学的に意味のある電位への換算が困難 ・液絡部が長く、内部抵抗が大きい ・試験液が絶えず系外に流出する 	<ul style="list-style-type: none"> ・完全に熱力学的ではない ・液絡部が長く、内部抵抗が大きい ・電極内部液の試験液中への漏出は内部電・極より少ないが、若干はある ・封入ガス、試験液の成分による悪影響は・内部電極に比べると少ないが、若干はある

— 参考文献 —

- 1) 内田俊介, 本連載講座第1回, 日本原子力学会誌, **51** [2], 106(2009).
- 2) 日本原子力学会編, 原子炉水化学ハンドブック, コロナ社, (2000).
- 3) L.W.Niedrach, *J. Electrochem. Soc.*, **129**, 1445(1982).
- 4) N. Nakayama, S. Uchida, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **21**, 288 (1984).
- 5) D. D. Macdonald, M. C. H. McKubre, A. C. Scott, P.R. Wentrcek, *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, **20**, 290(1981).
- 6) N. Hara, D. D. Macdonald, *J. Electrochem. Soc.*, **144**, 4152 (1997).
- 7) Y. Asakura, M. Nagase, M. Sakagami, S. Uchida, *J. Electrochem. Soc.*, **136**, 3309(1989).
- 8) 原 信義, 杉本克久, まてりあ, **34**, 1221(1995).
- 9) N. Hara, K.Sugimoto, *J. Electrochem. Soc.*, **137**, 2517 (1990).

著者紹介

原 信義(はら・のぶよし)

本誌, 51[3], pp.173参照



連載
講座今、核融合炉の壁が熱い！
—数値モデリングでチャレンジ

第12回(最終回) XI. まとめと今後の展望

核融合科学研究所 相良 明男, 大阪大学 乗松 孝好

国際熱核融合実験装置 ITER 建設開始と原型炉に向けた研究が本格的になるのに合わせ、核融合炉壁の数値モデリングに関する現状を1年にわたり概説してきた。この第12回で最終の第XI章となる。今回は、前半では各回執筆担当者による追記の場とし、本文のまとめや書ききれなかった本音などを自由に書いていただいた。後半に全体を見渡した今後の課題や展望についてまとめてみる。

1. 各章追記

第I章 「はじめに」(6月号)

核融合炉の各種概念設計を示しながら、炉心を囲む壁がいかに重要かを強調した。頭上の太陽においては、巨大な「引力の容れ物」の中で、陽子と陽子の核融合によってガンマ線とニュートリノのエネルギーを放出している。他方、我々が地上の太陽では、エネルギーを14 MeVの高粒子束中性子で取り出す全く別のシステムになる。これは見本のないチャレンジである。この中性子負荷と燃焼プラズマからの表面熱粒子負荷の両方からなる膨大なエネルギーを「壁」である面で受けなければならない。これもチャレンジである。その「壁」の役割は、除熱、熱変換輸送、燃料増殖、放射線遮蔽、などであるが、高効率、高信頼性、長寿命、再利用、などを目指す必要がある。これもまたチャレンジである。これらを数値モデリ

The Fusion Reactor Wall is Getting Hot!—A Challenge towards the Future for Numerical Modelling (12): Chap. XI Summary and prospect: Akio SAGARA, Takayoshi NORIMATSU.

(2009年 4月21日 受理)

各回タイトル

- 第1回 I. はじめに
II-1 壁の前で何が起きているか? (物理モデル)
第2回 II-2 壁の前で何が起きているか? (プラズマの攻撃)
第3回 III. 壁の表面で何が起きているか
第4回 IV. 壁の中で何が起きているか
第5回 V. 壁はどのくらい熱くなるか
第6回 VI-1 壁の中は傷まないか (放射線の照射によって受ける壁材料のダメージ)
第7回 VI-2 壁の中は傷まないか (放射線の照射によって受ける壁材料のダメージをいかに予測するか)
第8回 VII. 核融合材料のメソスケールシミュレーション
第9回 VIII. 壁が作る燃料をどうするか
第10回 IX. 壁は熱でどうなるか
第11回 X. 壁の熱をどうするか

ングによって理解して予測する専門ごとの研究はすでに始まっているが、「壁」の中で相互に関連し融合した統合的な工学モデリングが期待されている。それを目指した本企画もまた、今までにないチャレンジである。

(相良明男)

第II章 「壁の前で何が起きているか?」(6,7月号)

この章では、周辺プラズマモデリングについて、その「現状」を紹介した。ここでは、「今後の展望」について述べたい。

国際熱核融合実験炉では、約10万 kW もの熱が炉心プラズマ周辺の固体壁へと輸送される。原型炉ではその約6倍にもなる。周辺プラズマの理解と制御なしには、核融合の実用化はないといっても過言ではない。磁場閉じ込め核融合炉の中で、特に熱負荷が大きくなるダイバータ板の設計は、まさに、物理と工学の垣根を越えた“熱い”チャレンジであり、数値モデリングによる予測シミュレーションが大きな役割を果たす。

第II章で述べたとおり、周辺プラズマ(炉心プラズマと壁との間の領域、すなわち、SOL(Scrape-off Layer)領域やダイバータ領域)は中性粒子や不純物も絡んだ非常なる複雑系である。そのプラズマ特性は、サイズと熱パワーが大きな将来炉と現装置との間では、必ずしも相似的にならない。つまり、現実データベースを基に、核融合炉のダイバータ設計を単純に行うことはできない。したがって、その道筋において、個々の物理現象のしっかりとした理解とその統合化が必須である。すなわち、理論モデル、第一原理シミュレーション、実験データベースとの比較による物理/数値モデルの妥当性検証、それに基づく統合的なダイバータシミュレーションコードの開発、そうしてその信頼できるコードを用いた予測シミュレーションにより設計を進めることになる。

第II章でこの道筋の一端を理解していただけたであろうか。真に信頼できる統合的ダイバータシミュレーションコードは、残念ながら、まだ完成しているとはいえない。我々は、そこそこ信頼できるものを開発してきたという自負はある。また、これからの数年の努力で相当に信頼できるコードができあがるという信念も持っている。しかしながら、今後の核融合の真の実用化に向けて、周辺プラズマおよびダイバータ特性の信頼性の高い予測

シミュレーションには、若い力が絶対的に必要である。意欲ある若手研究者がこの分野に定着し、大規模コード開発や第一原理シミュレーション研究や数値モデル構築、さらにはシミュレーションコードを用いた設計研究に力を発揮できるようになることを切に願っている。この講座を読んで、若手がこの分野に興味を持ってくれること、核融合実用化に向けてぜひ、熱意と展望を持ってくれることを切に願う。そして、我々、古手は若手の熱意、展望をしっかり支えていきたいと思っている。

(滝塚知典, 畑山明聖)

第Ⅲ章 「壁の表面で何が起きているか？」(8月号)

プラズマ対向壁材料の損耗・輸送・再堆積の研究で、最近、 ^{13}C をトレーサとして用いる実験がいくつかのトカマク装置で行われている。ドイツ・ユーリッヒ研究機構のTEXTOR装置でも、プラズマ放電中にテストリミタと呼ばれるかまぼこ形あるいはくさび形の小さな材料片から $^{13}\text{CH}_4$ などの炭化水素ガスを放出し、放電後、取り出したテストリミタの表面分析を行って、 ^{13}C の再堆積率や再堆積分布を調べている¹⁾。それによると、テストリミタの材質(グラファイト、モリブデン、タングステン)や表面粗さによって違いがあるものの、テストリミタへの再堆積率は非常に小さく(0.11~0.17%)、実に99%以上の ^{13}C は装置内を輸送されてどこかへ行ったことになる。これをシミュレーションで再現しようとする、プラズマ中で解離したすべての炭化水素分子のテストリミタ表面への再付着率をほとんどゼロ、言い換えると炭素原子のみが再付着すると仮定する必要がある。これは、この連載講座第3回で述べたようなMDコードで計算した材料表面での炭化水素分子の反射率(反射成分-再付着成分;例えば、本連載講座第3回、第Ⅲ-6図)²⁾からはとても予想できない結果であり、現在、“熱くなつて”解析を進めている。

近年、様々な表面分析手法によるプラズマ照射後のタイル表面観察が行われるようになり、実機におけるプラズマ・壁相互作用はますます複雑になっているように思える³⁾。これらをモデル化し、核融合炉内のプラズマ対向壁で起こる現象を計算機シミュレーションによって予測するには、更なる実験データの蓄積が必要である。一方で、これまで個人的に開発されてきたシミュレーションコード間のベンチマークや、実験データ解析によるコード性能の評価といった予測精度向上のためのコード整備も進めなければならない。また、シミュレーションに必要な素過程データベースや、現象の時間・空間発展とセルフコンシステントな評価のためのコード結合など課題は多く、核融合研究におけるシミュレーションへの期待とコード開発者の責任が年々増加しているように思われる。

(大宅 薫)

第Ⅳ章 「壁の中で何が起きているか？」(9月号)および 第Ⅴ章 「壁はどのくらい熱くなるか？」(10月号)

核融合炉の数値シミュレーションは、この連載講座で詳述されてきたとおり、多くの計算コードを用いて実施した膨大な計算結果の集合体だった。そして、それらは有機的につながっており自己完結していた。外から見えるそれらの結果は華やかであるが、実はこの裏側には計算に必要な実に多くのデータベースが存在する。それらは表面には出てこないが(本連載講座でも陽にはあまり出てこなかったが)、その作成および作成に必要な計算コードの開発、作成に必要な実験データの測定など、実に様々な作業が必要となる。多くの研究者が、その作業に携わっており、熱い壁のシミュレーションの土台を2重にも3重にも下支えしている。

Ⅳ章およびⅤ章におけるそのようなデータベースは評価済核データライブラリーで、中性子輸送計算で使用されている。しかし、その作成には大変な労力を必要とする。中性子入射の核データライブラリーの場合は、大量に存在する実験データを参考に、理論計算により、様々なエネルギーの中性子に対し、それぞれの元素(同位体)と中性子の相互作用確率(核反応断面積)を数表化していく。この作業は容易ではなく、さらに、そのデータベース(評価済核データ)が正しいかどうかの検証作業も必要になる。小さいサンプルを用いた微分断面積測定実験および平板や球など計算に乗りやすい大きな体系を用いた積分実験等に対し、核データそのものや核データを用いた計算結果が実験値と一致するかどうか調べるわけである。このため実際には、さらにその土台として、それら多数の実験データを整理・管理する仕組みも存在している。微分実験データのデータベースはEXFOR⁴⁾として知られているし、SINBAD⁵⁾では大きな体系を用いた積分実験データがまとめられている。これらすべてが機能して初めて精度の高い核データライブラリーができあがり、熱い壁の数値シミュレーションが可能になるのである。

核融合炉用の核データライブラリーは、世界的に見ると、核融合炉設計用核データライブラリーFENDL⁶⁾を改訂し、新たにFENDL-3として整備するプロジェクトがIAEAでスタートした。日本にはJENDL-3.3⁷⁾が核融合炉用の核データライブラリーとしても使用可能である。また、すでに次世代のJENDL-4プロジェクトもスタートしている。数値計算時に、あるいは無意識のうちに使用しているデータベース(評価済核データライブラリー)が、どのようにして、どのような研究者たちにより作成されているのか、下記に主要なWebページをまとめたので、ぜひ一度ご覧になっていただきたい。

・原子力学会核データ部会

(<http://www.ndc.jaea.go.jp/ndd/>)

・原子力機構核データ評価研究グループ

- (http://www.ndc.tokai-sc.jaea.go.jp/index_J.html)
- ・核データ研究会
(<http://www.ndc.jaea.go.jp/ndd/symposium/index.html>)
 - ・核データ国際会議 (ND 2007)
(<http://nd2007.edpsciences.org/>)
 - ・核データ国際会議 (ND 2010)
(<http://www.nd2010.org/>)

(村田 勲)

第VI章 「壁の中は傷まないか」(11, 12月号)

本章で記述した材料照射損傷のマルチスケールモデリングは、実は、現象の見方の問題であった。ありとあらゆる時間・空間スケールを同時に眺める手法は存在しないので、実験手法にしても計算機シミュレーションにしても、それぞれの手法で各スケールを観測し、それらをつなぎ合わせることが現象全体の理解につながる。これが第VI-5図(12月号)の意味するところである。計算機シミュレーションは、実験よりも比較的、時間・空間スケールを自由に設定できるという利点がある。が、もちろん、それだけですべてが解明されるわけではない。こうして、現象をさまざまなスケールで眺めるための評価手法の多様性が必要となる。

異なるスケールの間をつなぎ合わせる行為には、マクロの立場からミクロの方向を見る(もしくは、長時間スケールから短時間スケールを見る)場合と、ミクロの立場からマクロの方向を見る(短時間スケールから長時間スケールを見る)場合がある。前者を微視化、後者を粗視化とよぶ。微視化の作業は、現象のメカニズムを知るための行為であり、たとえば、照射によって硬くなった材料の内部を電子顕微鏡で眺め、硬化因子である照射欠陥集合体を発見する行為である。一方、粗視化の行為は、より長時間スケールの現象を予測する行為である。したがって、メカニズムを知るための微視化と材料挙動予測のための粗視化は、それぞれ逆向きであり、ゆえにメカニズム究明が即予測につながるわけではない。要するに、ボトムアップでもトップダウンでもない、モデル化の新たな方法論の構築が必要になる。(森下和功)

第VII章 「核融合材料のメソスケールシミュレーション」 (1月号)

照射材料においては、原子のはじき出しや核変換等の原子スケールの過程が微細組織および機械的性質の変化に本質的な役割を果たしている。これらを数値シミュレーションにより予測するためにはマルチスケールモデリングをガイドラインにした取組みが不可欠である。なかでも、現実的に実験結果を予測し、その現象を素過程から理解するためにはメソスケール領域の数値手法の開発、改良が不可欠である。ここでの問題は、近年の計算

機の発達により可能になった第一原理計算や分子動力学、モンテカルロ法等により得られる原子スケールの結果といかに結合するかにある。この結合は、現象によってはうまくいく場合もあるが、ミクロとマクロのスケールの溝はかなり大きく、格子欠陥の挙動から微細組織の変化を記述するメソスケールの数値手法の開発が今後特に望まれる。このギャップを埋めるには数値的手法だけではなく、実験家の方々にもマルチスケールモデリングにおける基本的な実験の果たす役割の重要性を指摘したい。若い数値計算家と老練な実験家の組み合わせ、またはその逆等の協力により、未開のメソスケールにおける新たな方法論が確立されることを切に願いたい。

(燕木英雄)

第VIII章 「壁が作る燃料をどうするのか」(3月号)

第VIII章では、「壁が作る燃料をどうするのか」を題目に、ブランケットでおこる複雑な現象を数値計算でとらえるときの考え方、原子スケールのミクロから装置スケールのマクロまでをどのようにとらえるのか、核融合と社会との接点であるブランケットで熱とトリチウムを取り出すため、材料健全性とトリチウム安全性を保ち、経済性あるブランケット設計のための数値計算の例を挙げて説明した。誌面に限りがあり、またこのような難しいテーマを私たちの乏しい経験で説明することはおこがましかったが、少しでも今後の発展に寄与できればと思い、難しいとおしかりを受けながら、寄稿した。

核融合炉を一つの機能体、例えば、人間になぞらえると、プラズマ炉心が心臓に相当することについては、多くの方に同意していただけたと思う。ではブランケットは人間のどこに相当するのであろうか。筋肉や脂肪部分だと考えるとあまり重要なところではないように見えてしまう。しかしブランケットで取り出す熱と増殖トリチウムは、血液のように体全体(核融合炉全体)でうまくバランスをとる必要があり、機能的に人間を構成する基本要素なので、体(核融合炉)の隅々まで調和的に一つのシステムとして形成させる役割がある。熱とトリチウムを取り出すために難しいD-T核融合炉に向かって進んでいると考えてもよい。また肺で酸素を取り込み、二酸化炭素を吐き出す呼吸機能は、トリチウム燃料サイクルに例えるとわかりやすい。その場合、酸素の出入りが、ブランケットで中性子照射しトリチウムを発生する機能、 γ 線阻止機能と似ている。

一人一人が自由に思考できる人間全体をそのまま、第一原理数値計算で説明できる世がいつの日か来るとは思わないが、個人的にもそのような方向に向かってほしくないと思っている。それより、核融合炉が機能的に働くために、研究者が関心を持っているところ、いま解明したいところをわかりやすくモデル化し、広く受け入れやすい形式で、その部分の物理、化学、さらに工学システ

ムをうまく取り込んだモデルで理解することが数値計算の醍醐味と思っている。もしこのような観点を私たちのⅧ章で感じていただけたら望外の喜びである。

(深田 智)

第Ⅷ章 「壁は熱でどうなるか」(5月号)

連載講座第10回において、レーザー核融合炉設計の代表である KOYO-Fast の場合について、アブレーションにより生成されたプルーム(気体、液体、固体などの塊)中の粒子の温度・数密度・速度分布について、時刻 $2\mu\text{s}$ での結果を記した。第一壁がアブレーションされることを想定した KOYO-Fast 設計の場合、蒸発した液体金属がどのように排気され、次のレーザーショットに影響するのかチャレンジングな課題が残されている。

エアロゾルの生成の評価に関しては、現在のモデルではクラスタは周辺の流体と同じ速度で運動している、としている。この場合、エアロゾルと周辺蒸気との質量の移動は拡散が支配的であるが、実際は異なった速度で運動していると考えの方が妥当であり、エアロゾルの成長率も変わってくる可能性がある。またプルームの膨張が進み、質量密度が小さくなるとクラスタ粒子の蒸発が起こるが、この効果も精密に評価しなければならない。

α 粒子による液体面のアブレーション過程では、ブラッグピークで示されるように表面から数 μm 内部に入ったところで一番多くのエネルギーが放出される。そのため、表面は内部から加速されて吹き飛ばされる形になるので、流体力学的不安定性が発生し、大きさ数 μm 以上の塊が発生する可能性がある。

レーザー核融合炉チェンバ内では、プルーム同士が中心付近で衝突することが考えられている。その詳細な解析のためには、精密な放射輸送計算、気液混相領域を含んだ精密な状態方程式、クラスタ粒子の蒸発の精密な評価等、様々な物理における精密な評価が必要となる。プラズマ物理の専門家だけでなく、物性物理学、原子物理学などの多岐にわたる分野の専門家の知識を結集して、解析に臨みたい。

これらの影響の効果を見極めた上で、炉全体での流体の動きを解析し、実際に高繰返しが可能であるか議論する必要がある。

(古河裕之)

第Ⅸ章 「壁の熱をどうするか」(6月号)

ちょうどこの追記に当たる部分の執筆を在外研究先である ENEA(ローマ)で行っている。ENEA は日本原子力研究所(原研)に雰囲気も似ており、18年前の大学院修士時代の原研の特別研究生時代(私が若手研究者だった頃)を思い出す。当時、原研で行ったシミュレーションは、核融合研究には直接結びつかなかったが、私の核融合研究の基となった。それから10年後に乱流熱伝達の研究を核融合研究に応用して現在に至っている。

X章では、最新の核融合炉の第一壁冷却技術に関する数値計算や実験に関して述べたが、見方を変えると磁場が重畳した熱流体問題であり、核融合分野以外の特に私のような熱流体研究分野の従事者であれば、この分野の研究に参入できる。この講座を読んで、特に“熱い”熱流体研究分野の若手研究者が核融合分野に興味を持っただけ、核融合分野へ参加するきっかけになればと思う。

(佐竹信一)

2. 今後の展望

第I章で概観したように、定常運転が基本の磁場閉じ込め方式でも、パルス運転の慣性方式でも、核燃焼炉からの高熱粒子負荷と14 MeVの高粒子束中性子負荷をすべて壁で受け止めることによって、初めて熱エネルギーと増殖燃料として利用可能になる。しかし同時に、壁もダメージを受ける。したがって、そのプラス面を維持しながら、マイナス面をいかに低減して設計成立性を確保するか、が原型炉に向けて焦眉の急を要する重要課題である。実用炉に向けては、さらに高効率化と高安全信頼性による経済性の追求が待っている。

定常運転の磁場方式では、ダイバータでの表面熱負荷と粒子リサイクリング制御が壁の重要課題であるが、もちろんヘリウム灰の排気がダイバータ本来の使命である。ダイバータ機器構造としては、先進方式なども今後提案される可能性も含めて、ヘリウム排気を含めた総合的なモデリングが期待される。ブランケットに関しては、熱交換回収やトリチウム回収を含む、炉内と炉外を循環する熱流動システムは、ブランケット特性を規定する重要因子であるから、総合的なモデリングの中に組み込まれる必要がある。また、定期・非定期にせよ、保守交換は避けられないであろう。いかに長寿命化を可能にするか、マグネット空間と放射線の制約の中での交換方法、その構造とトリチウム増殖や熱輸送との整合性、なども総合的なモデリングの中に、少なくとも拘束条件として組み込まれることは必要である。

慣性核融合関係では固体壁と液体壁で課題は大きく異なる。慣性核融合の場合、容器は単なる真空容器であるため重量増加分によるコストの増大はあるものの、システム効率を下げることなく炉材料が耐えられる半径にまで大きくすることが可能である。学術的な興味は α 粒子、あるいは中性子の多重照射効果の有無に集約される。その他の部分の課題は磁場核融合炉とほぼ同じと考えられる。

連載講座第5回真木氏の解説に見られるように、 α 粒子がステンレス鋼に進入した場合、その熱拡散領域内の温度は8,000 K 近い、熔融状態になる。この領域内に、熱拡散時間以内に次の粒子が突入した場合、阻止能がどのように変わるのか、また、放出されたエネルギーがどのような効果をもたらすのか検証する必要がある。

液体壁の場合、固体壁炉に比べてずっと複雑であり、蒸発した液体金属がどのように排気され、次のレーザーショットに影響するのかチャレンジングな課題が残されている。詳細はIX章の追記に譲る。

慣性核融合炉の固体壁、液体壁共通の課題として最終光学系の中性子損傷の課題がある。従来、研究されてきた炉壁用金属系材料に比べ、光学材料の耐久性は十分に研究されているとはいえず、未知の挑戦すべき課題として残っている。

現在の概念設計では、最終光学系は炉心より30 m 程度離れたところに設置することになっているが、その場所における14 MeV 中性子のフラックスは 3×10^{16} 個/ $\text{s} \cdot \text{m}^2$ 程度となる。飯田氏の実験結果⁸⁾がすべて吸収による損失と仮定すると、10分も用いると、レーザー光の透過損による発熱量が100 W を超えてくるであろう。事実上、透過型の光学系は使用困難と考えられている。屈折率の異なるガラスを何層にもコーティングした反射型光学系の場合、反跳をうけ、原子が移動し、屈折率の分布が変化し、反射特性が変わる可能性がある。層数を増やすことにより、対処可能との説もあるが、実験データ、数値シミュレーションによる検証が実用炉システム設計の重要な鍵となる。

さて、スーパーコンピュータが強化されつつある中で、ブランケットなどの工学機器システムをコンピュータの中に構築して運転し、課題抽出と最適化の効率化を図る構想⁹⁾や、3次元構造設計と機器システム機能のモデル解析を統合的に推進する研究¹⁰⁾、動力炉のインタラクティブ運転シミュレータ¹¹⁾など、可視化を基本として各国で種々提案されている。実験炉をコンピュータの中に作る計画もある¹²⁾。これらの構想では、燃焼炉心のみならず、加熱、燃料供給、高熱機器やブランケットの炉内機器、さらには熱や燃料回収循環の炉外機器まで含んだ、物理工学の統合システムが期待される。したがって、要素実験とモデリングを基盤とした統合数値モデリングへの期待は急速に高まりつつある。正に“今、熱い”のである。

—参考文献—

- 1) A. Kreter, *et al.*, *J. Nucl. Mater.*, **263-365**, 179 (2007).
- 2) 大宅 薫, 相良明男, 日本原子力学会誌, **50**, 35 (2008).
- 3) 坂本瑞樹, 他, 小特集「マルチスケールでのプラズマ・壁相互作用の理解の現状」, プラズマ・核融合学会誌, **84**, 917 (2008).
- 4) <http://www.nds.iaea.org/exfor/exfor.htm>
- 5) <http://www.nea.fr/html/science/shielding/sinbad/sinbadis.htm>
- 6) <http://www.nds.iaea.org/fendl/21/>
- 7) http://www.ndc.tokai-sc.jaea.go.jp/jendl/j33/J33_J.html
- 8) T. Iida, *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **24**, 1073-1075 (1987).
- 9) A. Ying, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **83**, 1807-1812 (2008).
- 10) Y. Wu, FDS team, *Fusion Eng. Des.*, in press.
- 11) A. Sagara, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **81**, 2703-2712 (2006).
- 12) O. Motojima, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **83**, 983-989 (2008).

著者紹介

相良明男(さがら・あきお)



自然科学研究機構
(専門分野/関心分野)核融合炉工学/特にプラズマ壁相互作用における物質移行物理工学と炉システム設計統合

乗松孝好(のりまつ・たかよし)



大阪大学
(専門分野/関心分野)レーザー核融合/炉工学, トリチウム, ターゲット開発

創造性を自らの掌のなかに

STeLA Japan 代表 名倉 勝, 越田 溪

STeLA ってなに?—新たな創造の地平にむかって

私たち人類は、産業革命以降、自動車、原子力、インターネットなど多くの技術によって、便利で豊かな生活を手に入れてきました。同時に、戦争、エネルギー問題、環境破壊と多くの問題を生み出し、さらなる新規技術でそれらの問題解決に挑んできました。このような人類の歴史を支えてきたのが、科学の進歩と技術革新(イノベーション)です。つまり、Science and Technology(科学技術)の目覚ましい発展が基盤にあったのです。しかし、その発展の担い手である科学者やエンジニアたちの多くは、自分たちが生み出している科学技術が、社会や人類総体にどのような影響を及ぼすのかをどこまで意識し、その責任を担ってきたでしょうか。

科学技術政策の決定、またそれに基づく国の将来は、主に政治、経済、経営のリーダーの手に委ねられてきました。そのような、政治、経済、経営の分野において、科学技術をバックグラウンドとするリーダーはまだまだ少ないのが実状です。とりわけ、この日本の場合、社会における科学者、エンジニアの地位、存在感、影響力は諸外国に比べて依然として著しく低いのです。

つまり、科学者や技術者は、どちらかといえば研究室や開発現場に閉じこもり、あえて外に向けて発信したり、俯瞰的視点に立ってリーダーシップを発揮することがありませんでした。しかし、それでは科学技術立国を標榜するこの国の将来は決して明るくないと私たちは感じてきました。少なくとも、国際的な枠組みの中でリーダーにはなれないと思います。

科学技術の素養を基盤に持ち、国や世界の将来に深く関わる問題を解決するリーダーに育つ、それこそが今私たちが私たち自身のマインドと方法論で取り組むべき最重要事項の一つであると考えます。そうすることで、科学技術における創造性の新たな地平が見えてくると思うのです。ここでは、これらの課題に挑戦する学生主体の

活動を紹介します。

これまでのSTeLAの実績

“科学技術とリーダーシップ”……それはいかにあるべきかという問題意識に基づいて、STeLA(Science and Technology Leadership Association)は、2007年に活動を開始しました。その主な目的は、理工系分野をバックグラウンドとする学生が、リーダーシップ教育を通して、世界中にネットワークを広げることです。何のためか?

つまり、今や世界規模での協力を要するグローバルな問題が私たち人類社会に次々に挑んで来ています。私たちは、まず問題を共有し、新たな価値観やビジョンのもとに解決策を生み出していかなければなりません。そのことができてはじめて私たち自身が担う近未来のリーダーが育つのではないのでしょうか。私たちの使命は、近未来のリーダーが自発的に育つようなプラットフォームをつくり、人類社会に貢献していくことです。

STeLAの主な活動の場は、夏の間で開催する学生主体のフォーラムです。創始者である日米の大学・大学院の理工系学生を中心に、アジアと欧米から、約100名の学生が集い、8日間の期間中寝食を共にします。MIT スローン・スクールで開発された教材や理論をもとに、ディスカッション、企業・施設見学、講演会、グループワークを行います。つまり、国際的なリーダーシップのイメージを自らの経験を通して学び、それに基づいて各自のやり方でリーダーシップを創出することができる場を提供しています。

(1) 気候変動とものづくりから始まった

第1回のSTeLAは、2007年に「気候変動とエネルギー問題」と「ものづくりのグローバル化」をテーマに東京で開催しました。日米の理工系大学・大学院(東京大学、東京工業大学、慶應義塾大学、Harvard University、MITなど)の学生15名ずつ(総計50名)が、大学のキャンパスを中心に日夜激論を交わし寝食を共にしました。初めての試みでしたが、参加者の意気は大いに盛り上がり、問題設定とその解決手法に“これはイケル”という実感を持ちました。

翌2008年には、第2回目を「Global public health」をテーマに、ボストンで開催しました。上記の参加大学に加えて、中国からの学生(北京大学、精華大学)が新たに参加しました(参加者総数:60名)。このようにして一步一步ではありますが、着実にパートナーが増えていく道が拓けたのです。

(2) 科学技術の両面性に挑む



国境を越えた絆が生まれる(2008年, ボストン)

第3回目となる2009年は、東京のオリンピック記念青少年総合センターにて、2009年8月23日から31日まで8日間の日程で行われる予定です。今年は、フランスからの学生(Ecole Polytechnique, Ecole Des Mines, Ecole Centrale など)を加え、「科学技術の軍事利用と平和利用」(原子力、バイオテクノロジー、宇宙)をテーマに、さらに質の高いフォーラムを提供するため着々と準備を進めています。前回は日本人参加者の定員15人に対して109名の応募がありました。今年はそれ以上の応募数を見込んでいます。つまり、年々着実に学生の関心を集めるようになって来ています。私たちが掲げる“科学技術とリーダーシップ”の理念とその背景にある意欲が広く共有されて来たのだと思います。

なお、今年の原子力分科会では、原子力の軍事利用と平和利用をテーマとしたケーススタディー、この分野の第一人者によるレクチャー、参加者によるロールプレイを行う計画です。

リーダーシップってなんだろう

大学のカリキュラム内では国際的リーダーを育成することはできない。そういう思いがあってSTeLAの活動が手探りで始まりました。3年目に入って、私たちの考えと方向性は間違っていなかったと思っています。

リーダーシップを身につけるには、まず自主自律の精神を持たないといけない。いわばゼロから自分で考え、主体的な行動をおこすことから始まるのです。既存の枠組みやメニューにないものを見えるようにして共有する。それが第一義的なことだと思うのです。そして大学内では得られないような経験こそが参加者の価値観を変え、正しい方向に歩み出せるのではないだろうか。そのように思っています。STeLAはそういう思いの学生達によって設立され運営されてきています。私たちの身近な実感として、日本の理工系大学院生は他国の学生にくらべて、世界に目を向けることが少ないと感じます。世界を相手に、問題解決能力や議論力を養成する場がない現状を何とかして変えたい。しかも自分たち自身の手で……という発想が設立の大きな動機となっています。留学ではその国の文化習慣や所属した研究室の流儀に合わせますので、多数の国の意見を聴き多様な価値観を知ることが難しい。そして、ただの国際学生フォーラムでは一過性の国際交流に終わってしまい、私たち参加者が得られる実(じつ)が限られてしまう。そのような認識から現在のようなフォーラムが設計され、国際問題に対して実効的な解決力を育む活動が始められたのです。

これからの課題

まだまだ若い団体であるSTeLAには、解決していかなければならない問題も多々あります。前の年のフォーラム参加者と新規の参加メンバーによって構成されているスタッフは、1~2年のサイクルで交代していきます。この交代サイクルにおいて、私たちの理念を代々引き継ぎ、その活動内容の質を毎年維持していかないと



ロジスティック・シュミレーションに取り組む

けません。そして、さらに時代にあった最新のリーダーシップ理論を取り入れつつ発展させていくことが求められます。2007年に日本と米国を中心に始まったSTeLAは、2008年に新たに中国を迎え入れ、2009年にはフランスの加入によりヨーロッパまで広がりました。今後も毎年、数カ国を加えていき、さらなるグローバルな活動を目指していきます。その上で、全参加国で本質的な理念を共有していかなければならないのです。さらに、年々増えていく参加国数に対して、最も質の高いフォーラムをいかにして提供し続けていくかが重要です。また、世界中に増えていく同窓会メンバーのネットワークを活かしていくことも大きな課題です。

世界中の学生が集まり、数日を共に過ごすだけの自己完結的なフォーラムで終わるのではなく、STeLAは本当に自分たちの社会を自分たちの手で創造していける存在にならなければならないと思っています。そのためにも、グループワーク、メディア活動を通して、更なるアピールを続けていきます。

多くの問題を乗り越え、これからもSTeLAは成長し発展していかなければならない。STeLAの活動を通して、一人でも多くの理工系の学生が自分の専門だけではなく、その外にさらに広い魅力的な世界があるということを知ってもらいたい。さらに、そこには世界全体で協力し解決すべき問題が山積みしているということ。その責任は他でもなく自分たち科学者、エンジニアにむしろあり、自らがリーダーシップを取り、それらの問題に取り組んでいかなければならない。そういうことに共に目覚め解決に挑んでいきたいのです。

この変化の時代において、リーダーの不在、リーダーシップの欠如、リーダーシップ教育の不足が叫ばれる日本社会。私たちSTeLAは、理工系分野をバックグラウンドとする真のリーダーになりたい。そしてこの思いを共有できる科学者、技術者を一人でも多く世に生み出していきたい。

新たな価値観が、身近な社会、日本、そして世界を変えていくことを目指して、これからも活動を続けていく……そんな思いで満ちています。

STeLA オフィシャルウェブサイト：<http://web.mit.edu/stela-mit/jp/>
(2009年 4月10日 記)

私の 主張

地域の「思い」と「期待」

地域共生を考える柏崎刈羽の会 品田 庄一

ことのはじまり

原子力発電所の誘致が決まった頃、ボーリング調査の掘り出した「コア」を山から運び出すアルバイトをした。中学生の時の思い出だ。

地元柏崎にUターンしてからもうすぐ30年が経とうとしている。それは私が原子力発電所と関わりを持った年月でもある。Uターン間もない頃、町内会長さんから代表として原子力発電所の勉強会に参加してほしいといわれた。「原子力発電所建設と地域開発を推進する会」である。何もわからないままに、この長い名前の会に入会させられた当時の私は、無我夢中で原子力のことを勉強した。建設終了が近づくと、その会は「柏崎エネルギーフォーラム」と改名され、そこには“発電所と地域との共生”が明確にうたわれていた。

プルサーマルは白紙撤回へ

プルサーマル問題。その議論が始まった3年間は、実に慌ただしかった。プルサーマル騒動のさなか、フォーラムの会長に就任した。反対派との激しいやり取りが時には過熱し、不買運動にまで発展していった。私は柏崎警察から警護を受ける身となっていた。私たちは「地域共生を考える柏崎刈羽の会」を推進5団体で結集して作り、投票日まで寝食さえも忘れて活動を続けた。だが、残念ながら不本意な結果となった。

本来、議会制民主主義を考えれば、国策ともいえる事案が市町村の住民投票で問われること自体に疑問を感じる。プルサーマル問題のようなわが国のエネルギー政策、とりわけ原子力政策に大きく関わる事柄であればなおさら住民投票には馴染まないと思う。

当時は村外、市外はもちろん、県外から反対派が怒涛のように刈羽村入りし、様々なパフォーマンスを繰り広げていた。この時ほどもっと国が前面にでて、きちんとしたエネルギー政策を地域に説明してほしいと願ったことはなかった。それからしばらくたち、村長による村内へのひぎ詰め説明会が部落ごとに行われた。そして、いよいよ明日にはプルサーマル実施の合意がと期待されたその日、事業者の不祥事で一気にそれは崩れ去った。人災による自壊だ。一握りの原子力関係者の行為が地域民を失望のどん底に陥れ、多くの推進派市民の憤りが沸騰した。これまでの議論は当然、白紙撤回され、硬直状態のままいたずらに時が流れた。

時を経て、プルサーマルの必要性について再び議会で議論をされようとしていた。その矢先に、「新潟県中越

沖地震」が起きた。今度は天災かと悲嘆にくれた。

中越沖地震—そのただ中で見たもの

黒煙をもうもうとあげる発電所。テレビ画面を通した身近な発電所の映像は、ショッキングなものである。

しかし、地震直後の私たち地元民はこうだった。まずは自分の状態、家族の安否、住居の損壊を確認しながら、余震に怯え必死に情報を求めた。そうして現状を把握した後に、“いま発電所はどんな状況なのか”、“放射能漏れはないか”が脳裏をよぎった。

停電でテレビは映らず、ラジオからの情報も心もとない。救急車や消防車のサイレンの音、空には怪我人を搬送するヘリのけたたましい騒音。防災無線の音はかき消され、不安がつのるばかりだった。ライフラインが閉ざされ途方に暮れる被災者の気持ちを思いやることもない過激な報道合戦。道路は報道車両で埋まり、私たち地元民の移動を遮る。そんな悲惨な状態だった。この国の報道は明らかに「狂っていた」。

報道する側に人としての「心」があれば、最低限のマナーはあるはずだ。いたずらに不安を募らせる間違った報道は許されるはずがない。この失望感、立地地域民にしかわからない。地震後、多くのボランティアが地元に入った。人の心のやさしさや思いやりを改めて感じさせられた。そしてこの震災は、活断層に関わる知見や耐震構造、基準地震動への新たな警鐘を鳴らすことになった。私のなかでは、この震災も前向きにとらえようという気持ちが芽生え始めていた。それが日本の原子力のためになるはずだと。

私たちが求める本当の「あんしん」とは

原子力発電所は今や、地域のなかに溶け込んでいる。これまで反対派の大きな抵抗があったが、それが安全性への慎重さを増す効果もあった。しかし、反対派の「トイレなきマンション」との言質には、何も言い返せなかった。電力生産地で生活をしている人達の真の「あんしん」は、やはり原子燃料サイクルがキチンと動き出すことにある。再処理、中間貯蔵、プルサーマル、高速増殖炉、最終処分等が1日も早く進捗することを強く望む。

また原子力発電所は完成して動いてしまえば、送電線で電気を送るだけで、他の生産工場のような雇用や関連産業があまり生まれにくい。それゆえに、いかに発電所が地域と共生できるかは事業者の腹一つだと私は感じる。その地域が持つ特性のなかから、新たな産業となりうる

ものを発掘する。そしてそれを両者で創造していくために、行政や国の更なる力が注がれるべきである。それには立地地域が他人任せではなく、自らがリスクも背負い汗をかき努力をすべきことはいまでもない。

国のエネルギー政策、とりわけ原子力に貢献しているという甘えは捨て去る時期に来ているのかもしれない。何もしなくても、発電所があるから何とかなるとい時代ではもはやない。逆に発電所があることがマイナス要因にならずに、昨今の経済状況の中でもプラスに転じる地域行政の実行が私たちの責務であろう。

それぞれの立地地域が様々な問題を抱え、苦しんでいる。そんな時に素晴らしい出会いがあった。それは全国の推進派の人達のネットワークだ。これまで地域でバラバラに抱えていた悩みを、立地地域間の情報交換で共通の「思い」として持ち合う。各立地特有固有の問題にも、それぞれの立場で互いにアドバイスする。とても参考になり勉強もさせられた。とりわけプルサーマルについてはそれぞれの地域が、その推進に多大な努力とサイクル実現への共通の「思い」があることを確認した。産消交流一つについても様々な考えや意見があることを知った。そんな全国の立地地域の仲間と消費地の皆さんをも巻き込んで『コアメンバー会議』が動き出したのである。

私たちの「思い」の発信と共有をめざして

この会議で私は、皆さんにたびたびいろいろな話をした。電力生産地だからといって、消費地の皆さんに恩を売る考えは過去のことだ。消費地の皆さんのおかげで、私たち電力生産地の役割がある。そういう真摯な気持ちを保とう。

国の原子力政策の推進には、中間貯蔵、再処理、最終処分のおのおのを担う地域の役割が鍵になる。また、科学技術的な基盤を支える研究炉、実証炉、その他の研究施設を有する地域がある。そんな地域が各種の役割を分担している。これらが協調的に動き出すことで、資源のないわが国の将来のエネルギーが展望できるのである。

かつて国や事業者は、発電所の建設が決まれば、あらゆるインフラが整備されるといった。私たちは、夢のような地域に生まれ変わるかのような錯覚をもった。東海村 JCO の事故の際、被ばくした方はヘリで千葉の放射線医学総合研究所に輸送された。今後は万が一の放射線事故にも対応して、エリアごとに放射線医療体制を整備するのはどうか。さらにがん診断や長期的な入院治療の施設など、それぞれの研究施設で地域の役割分担が出来れば素晴らしい。

また電源立地地域をエネルギー特区として、そこでは省エネに関わるものすべてに助成し、環境にやさしい低炭素社会の実現を立地地域から身をもって全国に発信してはどうか。電気料金の無料化や割引は、逆に省エネ意識を忘れさせる弊害を心配する。それよりも電力生産地から省エネや低炭素社会の実現をリードすることによる

効果がより良い可能性を生むはずだ……といったような話をしたのである。

立地地域の同士の交流、つまり産々交流は少しずつ原子力以外の分野に広がり始めている。例えば、お互いの地域の名産品や特産物などを持ち寄り合う。地域間で、ないものをお互いが補填しあい協力して地域イベントや物産販売に貢献する。これによって忘れかけていた村おこしや街づくりの思いが再び興る。それが起爆剤となり、埋もれていた特産物の掘り起こしや新しい特産品の創成が進められている。立地地域同士がネットワークによって結ばれた結果、相乗効果が生まれるのである。

残念ながら立地地域においても、原子力に対する理解度や感じ方は千差万別である。私たちの地元で暮らす中高生は生まれた時から原子力発電所はすでに存在をしていた。なんら違和感を覚えない。特別な原子力の知識を持っているわけでもない。それどころか、原子力にまったく興味を示さない子供たちがいることも事実だ。これは学校教育、特に義務教育の場で原子力の基礎的教育がないことが要因であろう。原子力は国の電力の3割強を賄っている。それにもかかわらず、その実情を紹介しようとする教育のあり方にも大きな疑問を感じる。大学でも原子力関連の学部の多くが一たん廃止され、復活や創設はまだまだ少ないと聞く。日本の原子力プラントの技術力は、自動車産業に次いで世界に誇れるものでもある。そのためにも、義務教育での原子力教育をといいたい。

おわりに

原子力を取り巻く状況は、多くの困難と遭遇している。いま原子力は誰もが認める当然の選択肢であり、それは英知を集めて安全に使いこなせる技術のはずである。それを支える立地地域にさまざまな「思い」があることを全国の皆さんは感じてほしい。

電化製品のプラグをコンセントに差し込む瞬間がある。その時、一人でも多くの方がコンセントの向こう側を意識できるとしたら。これこそがエネルギー政策における国民の合意形成を図る「ものさし」ではないだろうか。国や事業者は地域の思いを積極的に汲み上げ、それぞれの立場で立地地域とのより良き共生策を推進して行くべきだと考える。

「国と立地点の共生」では、関係法令の整備と規制当局と事業者による管理を強化しつつ地域振興策を支援する。一方、「事業者と地域の共生」については、民意に鑑み、市民の合意を最優先しつつ両者で協調して共生策を形にしていくのはどうだろうか。

また地域における真の“あんしん”とは発電所が地域と共生しながら、その使命を受け安全に運転を続け、健全で開かれた発電所であること。そして国のゆるぎない推進のもと、整合性の取れた原子燃料サイクルが早期に実現することにあると感じる。(2009年 4月28日 記)

地元の人々が誇りをもって、原発を支えてほしい

原子力施設の地元の声が好評

(3月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」3月号に対して寄せられた Web アンケートの結果をご紹介します。今回は85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。3月号で高く評価された記事について、「内容」、「書き方」に分けてそれぞれ上位4件をご紹介します。

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	時論(1)	日本型合意形成モデルの構築に向けて—スウェーデン・フランスにおける中立機関とその取り組み	3.92
1	50周年記念 企画 解説	宇宙探索とエネルギー—原子力エネルギー利用の歴史・現状・将来	3.92
3	シリーズ 解説	我が国の最先端原子力研究開発 No.9—高レベル放射性廃棄物の地層処分をめざして	3.91
4	ジャーナリスト の視点	手で触れ実感できる原子力発電を	3.88

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	ジャーナリスト の視点	手で触れ実感できる原子力発電を	3.75
2	シリーズ 解説	我が国の最先端原子力研究開発 No.9—高レベル放射性廃棄物の地層処分をめざして	3.73
3	時論(2)	原子力政策を取り巻く現状と方向性	3.68
4	50周年記念 企画 シニアの自論(1)	マスコミを味方に原子力理解の促進を	3.63

今月は、廃棄物関連の記事が上位に入っています。

2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 今月は、高浜町からの報告があり、興味深かった。今後も、原子力施設の地元の様子が見えるような記事を企画してほしい。
- (2) 「宇宙探索とエネルギー」は、原子力と関係はあるが、学会では馴染みの少ない話題であり、興味深かった。地球から遠く離れた星の状況がいろいろわかれば、地球の成り立ちもわかるようになる。長生きして、その結果の報告を聞きたいものである。
- (3) 「連載講座」について、基礎知識に乏しい人には、とっつきにくいと思うが、専門的な内容なので仕方がない。
- (4) 「ジャーナリストの視点」に関して、今までのジャーナリストの視点と一味違った意見である。原発の組み立てられるおもちゃ(プラモデル)を作るとするのは名案だと思う。

3. 編集委員会からの回答

- (1) シリーズ解説の記事は、歴史的な経過や現状、今後の課題等がわかりやすく書かれていると、好評のようです。執筆者の腕の見せ所です。
- (2) 昨年8月号から掲載してきた、「50周年企画記事」は今月で終了しました。ご協力いただいた関係者の方々に御礼を申し上げます。

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。

ジャーナリストの視点 Journalist's eyes

読んでみたい耐震安全50年の検証

朝日新聞 佐々木 英輔

「原子力村からの脱却」とは思い切った学会スローガンだと思った。原子力を担当して1年と数ヶ月。関係者のひたむきな姿や前向きな取り組みに気づかされたことは少なくない。一方で、外からの問題提起を頭ごなしに否定するかなのような振る舞いに、がっかりさせられたこともあった。今年で学会設立50周年だそう。せっかくなので、あえて欲張りな提案をしてみた。

過去50年の耐震安全の変遷について、客観的で説得力ある報告書を作ってはどうか。広く関連学会や関係者に呼びかけ、第三者主導で時代ごとの学問や技術の水準をつぶさにレビューする。さらに電力、メーカー、ゼネコン、調査会社、行政、業界団体、学界などが、どう捉え、どう対応したか、事実関係や時代背景を整理し検証する。証言集や意識調査も付ける。要約版も作る。

事実や証言を積み重ねていけば、明らかに反省すべき部分、今から思えば努力できた部分、当時は仕方なかった部分がおのずと浮かび上がってくるはずだ。何がどこまで確かで、どこからどの程度意見が分かれるか、コンセンサスを得る形でまとめていけば、全体像が見え、相場観もつかめる。進行中の改善策に比べて後ろ向きに思われるかもしれないが、問題ない部分、安心できる部分への理解はむしろ深まるだろう。関係者にとっても、専門外の分野も含めた到達点、教訓や課題を共有できる。新聞の検証記事とはまた違った、価値ある資料になるのではないか。

というのも、新潟県中越沖地震や新指針によるバックチェックの審議などの取材を通じ、外からは相当に見えにくい世界だと感じるからだ。不確かさの幅が大きいという、学問的なバックグラウンド、安全規制やリスクに対する考え方の違い、時間軸などが複雑に議論に絡み、時としてかみ合わない。誰の話を信じればいいのか戸惑いも生じるし、各論点が安全性にどの程度影響するかもつかみにくい。かといって「重要機器に損傷はなかった」「新指針でも安全性を確認した」といった一言で済まされても、納得感はいま一つだろう。たまたまにも、後出しにも聞こえてしまう。

この50年の間に地球観、地震観は大きく変わった。それでも、まだまだ分からないことだらけだ。一方で、設計側はそれなりの余裕を見込んでいた。ならば、それがその時々でどこまで確かなものだったか示せないか。活断層などの理学的な評価は、工学的判断からどの程度独立し、どう橋渡ししていたか。そして、設計

側は活断層や地震動評価の不確実性やばらつきにどの程度意識を払い、何を割り切り、どんな裕度の肌感覚を持っていたか。手法の進歩や知見の蓄積などで、どこがどうはっきりしてきたか。

過去の活断層の認定や基準も改めて洗ってみる。撓曲や谷の屈曲が関係すること自体は30年前の文献にも載っている。分野ごとのアプローチの違いや互いのかかわり方、調査の目的や対象による要求水準の違い、地震動想定での位置づけなど、いくつか論点はあるだろう。さかのぼって白黒はつけられなくても、何がどこまで反映され、されなかったのかとその理由は示せるはずだ。

経済性や機能性との兼ね合い、原発への世論や地域事情、組織間の力学、反対運動、訴訟といった要素、社会全般の情報公開、広報、地震や安全への意識などの状況にも広く目を配りたい。

BSE 問題では、農水省と厚労省が設けた委員会が様々な資料を提出させ、海外で初確認された86年以降の対応を時系列で検証した。リスク評価と、判断を伴うリスク管理の不明確さも反省材料になった。半年で報告をまとめた限界はあったものの、過去に区切りをつけ、信頼回復に一定の役割を果たした印象がある。単純比較はできないにしても、中越沖地震をめぐる原子力安全・保安院の中間報告は、想定を超えた要因を記した程度で過去に深入りしていない。「率直に反省」した原子力安全白書も、以前の審査は「最善を尽くした」として具体的記述に乏しい。行政が現実には追われ余力がないのなら、ここは専門家集団の出番だろう。

バックチェックなどの会見で、各事業者は「以前の知見では分からなかった」「新指針に基づき調査し直した結果」と過去の活断層調査の妥当性を強調した。しかし、本当にすべて胸を張って言えるのか、との思いを筆者は払拭できないでいる。このまま地層処分への理解を求めていくことになるのだろうか。胸のつかえをすっきりさせてくれるような報告書を読んでみたい。



佐々木英輔(ささき・えいすけ)

朝日新聞東京本社科学グループ記者
東北大学理学部地学科地理学卒。94年入社、松山、大津を経て大阪、東京、西部の各本社で科学関連分野を取材。中越沖地震時は地震担当で、08年から原子力担当。02～03年に厚労省担当としてBSE・食品安全を取材した。

新連載



① 町の宝が逃げていく……



福島県富岡町 佐藤 晴美

子どもが小学1年生のとき、夏休みの宿題ドリルに「あなたの町の特産品を調べましょう」という設問がありました。地元出身ながら農業とも縁がなく、途方に暮れた私は町役場に勤務する知り合いに尋ねました。するとその人は、「富岡町には、これといって特産品はないんだよね。しいていえば、“電気”かな？ ハハハ…、いやこれは冗談だけど」と、なぜか自嘲気味にいったのです。その後、町が特産品として推奨している農作物をいくつか教えてくれましたが、それは町のスーパーではあまり見かけたことのない野菜でした。

特産品といえば、農作物と思い込んでいた私は、「そうか、電気も立派な特産品だ！」と納得したものでしたが、それでもそのときの相手の口調が心の片隅にとげのようにひっかかっていたのです。なぜあんな言い方をしたのだらう……と。

私が小学生のころ、原子力発電所の建設が始まりました。原子力発電所の存在は、私にとっては当たり前のこと、これといった産業のなかった町で、発電所は最大の産業であり、働く場であり、直接的・間接的にその恩恵を受け、私たちは生活してきました。原子力発電所によって町は過疎化に歯止めをかけることができたのです。けれど地域の大人達は、必ずしも原子力発電所の存在を誇りとは思っていなかった。そのように私は感じました。

原子力発電は原爆をイメージさせ、恐ろしいものという思いが強かったことは確かでしょう。放射線という目に見えないものの存在も不安をかきたてたことと思います。原子力というものに対する知識不足が不安感の大きな要因だったと思います。けれども、さまざまな場で原子力について知る機会を持ち、ひととおりの理解を得た現在でさえ、発電所の存在を負い目と受け止める地域の感覚はぬぐい去れません。

発電所に依存しなければ生きてゆけない状況、それなのに地域の人材のみでは管理しきれない発電所。地域の抱えるジレンマです。しかも地域の大人が誇りを持ってないとするならば、そんな町に住みたいと願う子どもがいるのでしょうか？ 発電所のおかげで過疎化をまぬがれた町からは今、どんどん子どもたちが流出していきます。発電所で働いたお金で高い教育を受けさせ、一人前に育てた子どもたちが地元に残らない現実。子どもたちは、町の将来を担う宝です。その一番大事な子どもたちを立派に育てるために、発電所を誘致し一生懸命にやっ

たはずなのに。どこでボタンをかけ違ってしまったのでしょうか。

発電所の存在によって簡単にお金も仕事も手に入ってしまうがために、どうにかして町を元気にしようとするエネルギーまでも薄れてしまったのかもしれませんが。

そんな状況の今だからこそ、発電所の存在をマイナスでなく、プラスのエネルギーに変える手立てを考えていきたいのです。

立地地域の子どもたちが原子力について深く学ぶ機会を設け、原子力の平和利用を研究する科学者や放射線を活用した医療に興味や関心を持つことができ、そしていざいざそういった仕事に従事できるような人材を育成できる環境を作ることができたら、地域をあげて原子力のあり方を誇れると思うのです。

福井県では関西電力社員によるサマースクールの取組みがあり、原子力発電の現場で働く社員と地元の子どもたちとの交流と人材育成が行われているそうです。地域に根差したすばらしい取組みだと思います。発電所がなかったら絶対に出会えなかった人たちとの出会いによって、視野が広がることもあります。そして、発電所の人達の顔がもっと身近に見えるようになってほしい。

原子力発電の問題は私たちの世代だけでなく、次世代へも多くの課題を残しながら続いていきます。立地地域の子どもたちが主体的にこの問題に立ち向かえるようにするのが私たちの責任です。そして原子力発電所がこの町にあることを負い目と感ずることのないよう、冷静に判断できる知識をもった町民に育てていくことが私たちへの課題であると思います。立地地域に元気がなくては、共生とはいえない。原子力に関わる人たちにもぜひ、そういった視点で、地域の子どもたちを温かく育てていただきたいのです。

(2009年 4月3日記)

佐藤晴美(さとう・はるみ)

高校教諭・小学校講師を経て、富岡町教育委員会生涯学習課・福島県教育庁相双教育事務所において、社会教育(主に家庭教育担当)に携わる。現在、福島県家庭教育インストラクター、福島県原子力発電所所在町情報会議委員、NPO法人さくらスポーツクラブ理事を務める。

お調子者の私を笑顔で送り出してくれる優しい夫、孝行息子、しっかり者の娘に支えられ、好奇心の赴くままに西へ東へ飛び回る！

趣味：エアロビクス、演劇・音楽鑑賞、散歩、読書。

座右の銘：笑う門には福来たる。

新刊紹介

インドの原子力事情

INSAC-2008年参加原産協会訪印団報告書

服部拓也著, 119 p. (2009. 2), 日本原子力産業協会.
(定価4,000円)

海外との原子力協力が解禁となり、現在、注目を集めるインドの原子力事情について、2008年11月末にインドを訪問した原産協会訪印団の記録とあわせ、現地 で収集した最新情報をまとめている。訪印団には、当協会日印協力調査会主査である東工大・関本教授のほかに産業界からの参加があった。

原産協会訪印団は、2008年11月23～29日にインドを訪問し、ムンバイで開催された第19回インド原子力年会 INSAC-2008に参加したほか、原子力関係施設の視察を行った。

本報告書には、INSAC-2008で発表された2032年までに63 GWeを達成するインドの原子力計画を始め、インドの3段階(重水炉, 高速炉, トリウムによる重水炉)原子力開発計画, 原子力委員長をトップとした原子力開発体制, インド原子力産業の状況等を収録している。また原子力委員長, およびインドのすべての原子力発電所の建設から運転管理までを行っているインド原子力公社(NPCIL)幹部との会談記録, イン

ド最大手のエンジニアリング会社ラーセン・アンド・トウプロ(L&T)工場, マドラス原子力発電所, 高速炉の研究を行っているインディラ・ガンジー研究所, 2011年の運転開始を目指す高速増殖原型炉(PFBR)の建設現場訪問記録も掲載している。さらに、米印原子力平和利用協力協定を巡るこれまでの経緯もまとめて収録している。

なお、参考資料として、INSAC-2008での日本側発表のパワーポイント資料、(1)服部拓也(日本原子力産業協会理事長)「世界の原子力カルネッサンスと日本の役割」、(2)関本博(東京工業大教授)「CANDLE 高速炉の実用設計」、インド側の発表のパワーポイント資料、(1)Dr. R. Chidambaram(元原子力委員長, インド政府首席科学顧問)「原子力カルネッサンスと気候変動」、(2)Dr. Baldev Raj(インディラ・ガンジー原子力研究所理事)「インドにおける高速炉技術の実現」、(3)Mr. S. A. Bhardwaj(インド原子力発電公社理事)「将来原子力技術と課題」が収録されている。さらに、木村悦康[海外電力調査会]による「米印原子力平和利用協力協定を巡るインドの状況」も収録されており、参考になる。

(元三菱重工業・嶋田昭一郎)



学会誌への投稿原稿採否に関する判断条件

2006年11月 編集委員会

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

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

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

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

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

以上

(註)

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