

インタビュー

6 「日豪主導の国際委員会で 核不拡散・核軍縮の推進, 核廃絶へ」

日豪政府の主導により、核軍縮と核不拡散をめざした国際委員会として発足した ICNND。その具体的な目標について聞いた。

川口順子
ICNND 共同議長に聞く
聞き手 近藤吉明



解説

24 カオス現象の解説と一提言

カオス現象は、現象の全体を包む風呂敷の上
にあり、理想化された不規則現象ではなかろう
か。もちろん、この風呂敷は境界の意味で、その
厚さ、構造、性質は想像以外の何ものでもない。

上田皖亮

ATOMOS Special

世界の原子力事情(3) 欧州 総括編

29 フィンランドの原子力事情

原子力発電所の新規建設が進むフィンランド
は、高レベル放射性廃棄物処分施設の立地にお
いても他国に先行している。

東海邦博

巻頭言

1 「未来のための原子力」をめざして

鈴木達治郎

時論

2 重粒子線治療

がんを照射を絞って効率よく照射できるの
が、重粒子線だ。その治療の最前線を紹介する。

辻 比呂志

4 シンポジウムの開催と、その問題点

シンポジウムは、対象とする聴衆と扱う主題
によって、類型化することができる。

横手光洋

シリーズ解説

我が国の最先端原子力研究開発

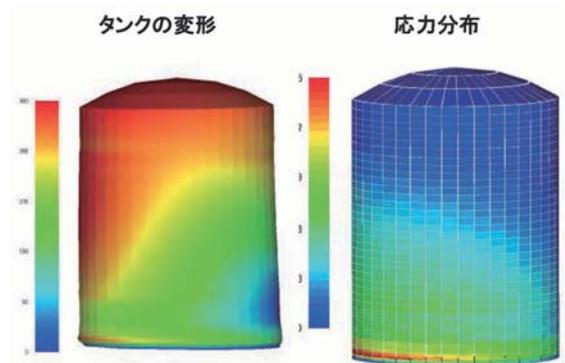
No. 18 電中研

19 原子力施設の地震に対する安全性

—実験とシミュレーションによる
実現象の再現と予測

構造物や施設は、どの程度の強さの地震動に
まで耐えられるのか。それは最終的にどのよう
に破壊していくか。最新の手法でそうした現象
の再現性や裕度評価を分析した例を紹介する。

平田和太、矢花修一、酒井理哉



鋼製円筒タンクの地震時座屈挙動解析

表紙 定期検査中のタービン建屋にて

(写真提供) フォトグラファー 柏木龍馬

(表紙デザイン) 鈴木 新

連載講座 21世紀の原子力発電所廃止措置の技術動向(7)

32 廃止措置技術—コンクリート再利用

大型の原子力発電所を1基解体すると、非放射性コンクリート廃棄物が約50万トン発生する。それを再生路盤材や再生骨材に、経済的に有効活用する道筋をつけることが望まれる。

小川秀夫、鳥居和敬、石倉 武



コンクリート廃棄物から製造した再生路盤材の例

談話室

37 ウィーンから見た日本、そして原子力の未来(2)—ウィーンの日本人社会と原子力

杉本 純

39 編集で現場の事実と乖離してしまった報道番組—NHKスペシャル「原発解体～世界の現場は警告する」

この番組は、廃止措置の現場の事実と全く乖離してしまい、視聴者に誤った認識と恐怖感を与えてしまった。

佐藤忠道

会議報告

40 ケーブル・コンクリート劣化の評価技術—高経年化対策強化基盤整備事業3ヶ年成果報告会

滝沢真之、芦田高規

41 本会主催の原子力教育シンポジウムを開催「世界の原子力をリードする大学教育の飛躍を目指して」

干場静夫、福崎孝治

YGN 活動報告

43 若手で語ろう！これからの技術者像—2009年秋の大会 YGN・学生連絡会合同企画セッションより

羽倉尚人

9 NEWS

- 来年度の原子力予算は5%減の4,323億円
- 柏崎刈羽6号機が営業運転を再開
- 保安部会・基本政策小委が報告書案
- 原子力委員会の5委員が1月に就任
- 東大と原子力機構、マイクロ波でロケット打ち上げ
- JMTRの中性子照射の環境制御手法を開発
- 強迫性障害に関与するタンパク質の挙動を解明
- 東京都市大と早稲田大が原子力機構と連携協力
- 原子力学会、高校教科書の記述で提言
- 原子力産業セミナー2011を東京と大阪で開催
- 原産協会と中国原子力産業協会が協力協定
- 核融合炉用ビームの高エネルギー化に成功
- イーター超伝導コイル用導体の製造を開始
- 新しい色素を持つシクラメンをビーム照射で創成
- 海外ニュース



ビーム照射でできた
赤紫色の花をもつ
芳香シクラメン(News p. 15)

定点“感”測⑨

44 原子力災害に医師として携わって感じてきたこと

原口義座

ジャーナリストの視点

46 “切り札”扱いに慢心するなかれ

原田成樹

31 From Editors

42 支部便り 関東・甲越支部 佐伯 潤

47 お知らせ 「2010年春の年会」の見どころ

54 会報 原子力関係会議案内、主催・共催行事、人事公募、平成22年度日本原子力学会誌「奨学生」の決定、平成22年度新役員候補者ご推薦のお願い、第22回平成22年度派遣学生募集、英文論文誌(Vol.47, No.3)目次、和文論文誌(Vol.9, No.1)、主要会務、編集後記

WEB アンケート

12月号のアンケート結果をお知らせします。(p. 45)
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/>

「未来のための原子力」をめざして



原子力委員

鈴木 達治郎(すずき・たつじろう)

東京大学工学部卒業，マサチューセッツ工科大学(MIT)修士課程修了。MIT 国際問題研究センター，電力中央研究所などを経て，今年1月から現職。専門は原子力政策，科学技術政策。

「青天の霹靂」とはまさにこのことを言うのだろう。おそらく，本人も含めてこの人事を予想した人は誰もいなかったと思う。政権交代による意思決定プロセスの変化が，原子力委員会人事にも及んだ結果だと思うが，任命された以上，推薦された方やこれまで支援していただいた方への感謝の気持ちを忘れず，その期待に応えるべく，覚悟を決めて取り組みたいと思っている。実は，10年以上も前から，私は「原子力未来研究会」の一員として，原子力政策について多くの提言を行ってきた。その心は「原子力のための未来」を語るのではなく，「未来のための原子力」を考えようというものであった。巻頭言もこのテーマに沿って，私自身の抱負とともに新たな原子力政策の目標を記しておきたい。

第1の目標は「原子力政策の国際化」である。急速に進む政治経済のグローバル化は原子力にも当然及んでいる。温暖化対策などから高まる原子力ルネッサンスへの期待，東芝のWH社買収に見られる産業の国際再編，そして米オバマ政権発足後，急速に進みつつある核軍縮の流れ。これらがすべて，原子力平和利用の国際的枠組みに大きな変化をもたらすと予想される。すでに前政策大綱，原子力立国計画などでもその兆しがみられていたが，核燃料サイクルの多国間管理構想に象徴されるように，その流れは予想以上に早い。日本の原子力政策をどう国際化していくか。核廃絶をめざすパグウォッシュ会議のメンバーとして活動に参加している私にとっても，原子力平和利用と核不拡散の両立はライフワークの一つであり，是非この分野での新たな政策実現に貢献したい。

第2の目標は「納得と信頼の原子力政策」である。国内に目を向けると，国，地方自治体，事業者，環境NGOなど主要ステークホルダー間での信頼感を醸成していくことが必要とされている。特に，高レベル廃棄物の処分場立地プロセス，使用済み燃料の中間貯蔵など，バックエンド分野で，国民が納得でき，かつ信頼される意思決定プロセスを再構築する必要がある。それには，各ステークホルダーの意見を率直に反映するプロセスとともに，それぞれの「責任」も明確にすることが求められる。単に「合意形成」を強いるプロセスではなく，「納得と信頼」を醸成するプロセス形成に向けて原子力委員会は重要な役割を持つと思うし，その実現に貢献したい。

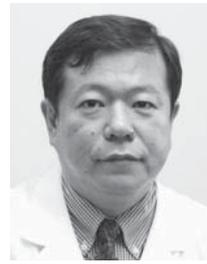
第3の目標は「合理的で柔軟性の高い原子力政策」である。短期的には，原子力発電所の稼働率向上，長寿命化，原子力発電所の更新確保が，エネルギー政策としても最も重要な課題である。一方で，長期的には，不確実な未来に対応した柔軟で戦略的な研究開発の継続が必要だ。これらに必要な政策は，科学的・経済的合理性に基づくと同時に，《不測のリスク》への対応を考えておく必要がある。そのためには民間事業の柔軟な活力を十二分に発揮させる一方で，リスクに対応するために多様な選択肢を国が確保しておく枠組みが必要だ。国の研究開発と民間事業の円滑な技術移転も急務の課題である。このような国としての合理的な政策の枠組み作りも原子力委員会の大きな責任だと思う。

これら3つの目標を実現するために，これまで以上に原子力学会からの知見の提供，建設的な提言が必要である。学会は，民と官をつなぐ重要な役割を持っている。「未来のための原子力はどうあるべきか」を共通のテーマとして，ぜひ皆さんと一緒に3年間を務めさせていただきたい。よろしくご協力のほどお願い申し上げます。

(2010年 1月5日記)



重粒子線治療



辻 比呂志(つじ・ひろし)

放射線医学総合研究所重粒子医科学センター病院第3治療室長

1982年北海道大学医学部卒業後、同大放射線科、筑波大学陽子線医学利用研究センターに勤務の後、1997年放射線医学総合研究所入所。重粒子線治療に従事し、2007年から現職。

1. はじめに

重粒子線治療とは、本来、陽子(水素イオン)以上の質量を持った粒子を加速して治療に用いる放射線療法の総称である。実際の粒子線を用いたがん治療においては、普及しつつある炭素イオン線による治療を重粒子線治療と呼び、その他の重粒子線治療は、より具体的に陽子線治療、中性子線治療などと呼ばれることが多い。本稿でも特に区別しない場合は重粒子線=炭素イオン線として解説する。

重粒子線は現在、治療に用いられている放射線の中で、最もがん治療に適した性質を持つ放射線であると考えられる。後述する物理的特性、生物的特性の両面において、がん治療における大きな利点を有しており、その特長を生かした治療を行うことによって、優れた臨床的成果が期待され、実際に放射線医学総合研究所(以下、放医研)において多くの成果が得られてきた。

放医研において短期間のうちに多くの疾患で優れた成果が得られたため、国内外で新たな施設建設が多数計画され、そのいくつかは実際に準備が始まっている。今後さらに普及していくことによって、この治療のもつポテンシャルがさらに明らかとなって、がん治療における役割もより重要になると期待される。

2. 重粒子線の特徴

炭素イオン線のように電荷を持つ粒子(荷電粒子)を加速した重粒子線(重イオン線)の最大の物理的特徴は、いわゆる Bragg peak を形成することである。これは粒子線が媒体に与える線量が、粒子の速度が最も遅くなる飛程の終末部分でもっとも高くなることに由来する Peak である。その深さ(体内飛程)は粒子のエネルギー(速度)で決まり、制御可能であるため、病巣の位置に一致させることによって集中性の高い治療が可能となる。実際に治療に用いる際には、フィルタ等を用いてビームにエネルギー分布を持たせ、対象となる病巣部での治療効果が一定となるように広げる。この広げられた peak を拡大 Bragg peak (SOBP: Spread-out Bragg peak) と呼ぶ。炭素イオン線ではその生物学的特性により、他の粒子線よ

りも SOBP 部とその手前(plateau 部)での効果の差が大きくなるため、粒子線の中でも特に腫瘍に集中した治療効果が期待できることになる。

さらに、炭素イオン線は比較的質量の高い粒子線であるために媒体通過中の散乱が少なく、ビームに直行する断面での、いわゆる側方分布においても優れた線量集中性を示す。これらの特性により、少なくとも同じ条件(例えば1方向)での照射を行えば、あらゆる放射線の中で炭素イオン線が最も集中性の高い線量分布を形成でき、その点だけでも治療上極めて有利な物理的特徴を有しているということになる。

加えて、重粒子線には生物学的に高い効果を持つという特徴もある。これも粒子の質量が大ききことと関連しており、照射された組織中に生じる電離の密度が通常の放射線より高い高 LET (Linear Energy Transfer) 放射線であることから、物理的に同じ量(物理線量)を照射された場合に組織の損傷が強力に生じることになる。このような高い生物効果は腫瘍のみならず、正常組織に対しても同様に作用する可能性があるが、重粒子線では同時に、良好な線量集中性を有していることにより、正常組織の照射体積を可及的に小さくすることで重大な損傷を回避することが可能となる。

3. 放医研における重粒子線治療

放医研における重粒子線治療は、世界初の医療用重イオン加速器(HIMAC: Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba)を用いて行われている。HIMACは1993年に完成し、物理、生物の基礎実験を行った後、1994年6月から臨床研究が開始された。その際、基礎実験の結果のみならず、放医研で行われてきた中性子線、陽子線そして光子線(X線、 γ 線)治療での経験を基に、疾患ごとに安全かつ有効な治療法の確立を目指した。

この臨床研究は多くの外部委員からなる研究組織を形成して実行され、客観的かつ科学的に行われた。まずは、対象疾患ごとに線量増加試験を行って、主として副作用の点から安全な線量ならびに照射方法の確立を行った。

その際、副次的に抗腫瘍効果の評価も行い、安全性、

有効性の両面で妥当と考える線量，照射法が判明した場合には，線量を固定して有効性を確かめるための試験へと移行した。実際に，頭頸部腫瘍，肺がん，肝臓がん，骨軟部腫瘍，前立腺がんなど多くの疾患で安全かつ有効な治療法が確立され，その成果によって2003年秋に先進医療の承認を得ることができた。その後も，先進医療の運用と並行して臨床試験を継続しており，また先進医療の中でも適応の拡大や治療成績の改善を目標とした臨床研究を継続している。

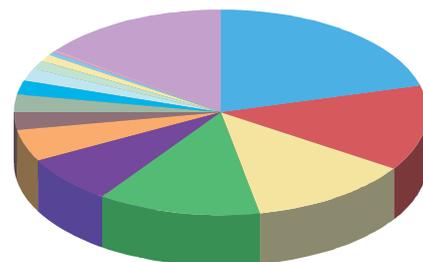
症例数は年々増加し，現在では年間700名前後の治療が可能で，2009年夏までに新患者数4,800名を超える治療実績を達成した。臨床研究の一例として，現在最も多くの患者を治療している前立腺がんの経過を紹介する。

前立腺がんに対する重粒子線治療は1995年6月に開始され，2000年3月までに2つの線量増加試験を行って，安全で有効性の高い治療法の確立を目指した。副作用に関しては明らかな線量依存性が確認され，適正線量が明らかとなった。その後，2000年4月からは抗腫瘍効果を検証するための第Ⅱ相試験によって有効性の確認を行い，2003年11月に先進医療の承認を得て治療を継続している。患者数は年々増加を続け，21年度には年間患者数150名，総患者数1,000名を超えた。

前立腺がんに対する重粒子線治療の特徴は，特に高リスクといわれる再発のリスクが高い症例群において，他の治療法に比して再発が少ないことと副作用発生率が少ないことである。特に良好な成績が得られているため治療を希望する患者の多く(約57%)が高リスクであるが，全体の5年非再発率は90%，高リスクに限っても87%という高い数値が得られている。この成績には重粒子線治療の高い生物効果が大きく貢献していると考えられる。また，前立腺がんに対する放射線療法で最も重視される直腸の副作用についても，内科的治療を要する程度(2度)の副作用が2%と非常に低率で，これは重粒子線の優れた線量集中性を実証した結果とみなすことができる。

さらに，先進医療移行後も副作用の減少と効率の向上を目的とする臨床研究が推進されている。中でも，分割法を5週間20回分割から4週間16回分割に短期化(少分割化)した結果，症例数の大幅な増加と同時に，副作用発生率の低下も得られ，二重の成果を得ることができた。現在はさらなる短期化を目指して，3週間12回分割法への移行を準備中である。

前立腺がんを例にとりて解説したが，その他にも図のグラフに示すように，頭頸部腫瘍，骨軟部腫瘍，肺がん，肝臓がん，直腸がん術後骨盤内再発など多くの疾患で重粒子線治療の高い有用性が示されている。前立腺がんの例でもわかるように，放医研では良好な成績を上げるだけでなく，短期化をはじめとする効率化のための研究も推進しており，着実に成果を上げている。特に，肺が



放医研における重粒子線治療・疾患別患者数
(総数；4818，期間1994年6月—2009年7月)

んや肝臓がんでは1週間以内に治療を完結する超短期照射法に取り組み，重粒子線治療の効率向上に貢献している。さらに，子宮がん，膵臓がんをはじめとして，将来的に良い適応となる可能性のある疾患の臨床試験も継続して，適応の拡大を図っている。

4. 将来展望

放医研における重粒子線治療では，すでに15年間の経験と5,000例に及ぶ患者の治療を行い，多大な成果が得られてきた。その成果は，学会や論文によって報告されているが，なにより年々患者数が増加していることがこの治療の有用性を示すなよりの証拠である。無論，広報活動により患者自身が情報を集めて受診してくる場合も少なくないが，良好な治療成績が知れ渡るにつれ，主治医がこの治療を薦めるといったケースが増えている。

こうした実績が，現在国内外で推進されている新たな施設建設計画の支えとなっていることはいうまでもない。建設計画が順調に実現すれば，数年後には国内だけでも数カ所の重粒子線治療施設で治療が可能になる。そうなった時に，この治療は始めて本当に医療と呼べる段階に達するのだと思われる。複数の施設が相互に協力して臨床研究を推進するのはもちろんのこと，場合によってはライバルとして切磋琢磨することで，炭素イオン線という優れた放射線の利点がさらに明確となり，またより多くの患者がその恩恵を受けることができるようになる日が近づいている。

(2009年12月21日記)

—参考文献—

- 1) H.Tsujii, et al., *Clinical Results of Carbon Ion Radiotherapy at NIRS.*, JRR 48: Suppl. A1-A 13, (2007).
- 2) H.Tsujii, et al., *Advancement of Hypofractionation of Carbon Ion Radiotherapy for Prostate Cancer*, IJROBP 75: Suppl. 2830, (2009).



シンポジウムの開催と、その問題点



横手 光洋(よこて・みつひろ)

日本原子力文化振興財団 専務理事
 東京大学工学部卒、関西電力原子燃料部長、同支配人、原子力エンジニアリング常務、日本原子力文化振興財団常務理事を経て、2004年より現職。

最近、原子力に関する各種のシンポジウムが開催されている。

「シンポジウム」とは、一般的には、設定された主題に関して、数名の発表者が、主題の異なった側面やおのおのの発表者の立場を踏まえた意見を発表し、コーディネーターが意見の集約を行い、主題に対する、ある一定の結論や、異なる側面をまとめて、聴衆に示していく手法をいう。さらに、必要であれば聴衆から意見や質問を出してもらふことがある。

ずいぶん昔の本であるが、最近『パーキンソンの広報の法則』という本を読む機会があった。パーキンソンといえば、「仕事の量は、完成のために与えられた時間をすべて満たすまで膨張する」とか、「支出の額は、収入の額に達するまで膨張する」という法則で知られた人である。

この本の中で、実践・広報戦略が、

- ・目標の設定
- ・対象の明確化
- ・メッセージの明確化
- ・意識調査
- ・広報の武器(使うべきチャネルのこと)

という章立てで説明されている。

シンポジウムの開催に際しても、このようなステップを明確に意識して行う必要がある。今、シンポジウムを開催する主題が明確になっているとの前提から出発すると、主題と聴衆によって、シンポジウムの構成要素は次のように分けられる。

- ・聴衆では、一般の人を対象とするのか、あるいは限られた範囲の専門家を対象とするか
- ・主題では、一般の人が知りたがっているような時事的な主題か、専門的分野での主題か

この2つの組合せで、4つのタイプのシンポジウムが考えられる

- (1) 一般の人を対象に、時事的な話題を主題とする
(例：財団の原子力の日記念シンポジウム等)
- (2) 一般の人を対象に、専門的な話題を主題とする
(例：高レベル廃棄物の処分問題等)

- (3) 関係者を対象に、時事的な問題を主題とする
(例：日米間の外交課題等)

- (4) 関係者を対象に、専門的な問題を主題とする
(例：学会の発表等)

このような組合せで考える場合、難しいのは(1)と(2)の一般の人を対象とする場合であろう。問題は、

- ・できるだけ多数の人をどのようにして集めるか(集客の問題)
- ・一般の人にわかりやすく説明できるパネリストやコーディネーターをどのようにして人選するか(コーディネーター、パネリスト選定の問題)

である。

財団が最近開催したシンポジウムの具体例で、このような問題が、どうようになっているかを示そう。

2009年10月22日に東京の朝日ホールで開催された、一般の人を対象とした財団主催の「グリーン・ニューディール時代と原子力——環境と経済の調和と原子力の役割」というシンポジウムを例にとってみよう。

このシンポジウムは、元NHKの手嶋龍一氏、作家の鈴木光司氏(小説「リング」で有名)、環境科学者の秋元圭吾氏、動力協会の榎本晃章会長の各パネリストと評論家の小沢遼子氏をコーディネーターにむかえて実施された。

手嶋氏が・米国の原子力政策の根底を流れる考え方は、カーター政権下でフォード財団が出した、いわゆる「フォードマイターレポート」に端を発しているとの紹介を行った後、グリーン・ニューディールの具体的な政策として、プラグインハイブリッド車の製造や再生可能エネルギーの利用拡大によって、500万人の雇用創出を考えている、との説明があった。

この講演に引き続き、小沢氏をコーディネーターとしてパネル討論会が行われ、パネリストから、「日本が新しいルールをつくるのが大切」、「アジア太平洋共同体構想で目標達成を目指す」、「原子力を基幹として使っていく必要がある」、「表現するということは常に勇気を伴う」等の意見が出された。

このシンポジウムの参加者は、一般の人530名で、性

別では男性が86%、年齢構成では60歳代以上が67%であった。また、事後アンケートの結果では、

- ・内容については、良いが60%、同様のシンポジウムへの今後の参加については89%が参加したい、という答えであった。
- ・また、「温室効果ガスの中期目標」について知識が深まった、あるいはある程度深まったと合わせて、78%であった。

このように、ほとんどの意見が肯定的であったが、一部否定的な意見があったので、これを紹介すると、

- ・あまり専門的すぎるので詳しく解説した資料を配布してほしかった
- ・原子力の役割についてもっと議論し、新政権への要望を話してほしかった
- ・政治家を交えて討論する場にしてほしかった
- ・グリーンニューディールの中身がいまいちわからない、これで原子力はどれくらい広まるのか

等であった。

もうひとつの例として、2009年11月7日に東海村で実施した「原子力安全フォーラム2009—私たちが考える、これからの原子力との歩み方」シンポジウムを取り上げてみよう。

このシンポジウムは、第1部のワークショップと第2部のフォーラムに分かれており、第1部のワークショップでは原子力機構の金盛正至氏とシーキューブの土屋智子氏がファシリテーターとして、「原子力安全・安心は実感できるか」というテーマで議論とその取りまとめがなされた。

第2部では、まず近藤駿介原子力委員長から「今後の原子力利用のあり方について」講演をいただき、その後、2つのパネルディスカッションが実施された。

第1のパネルでは「JCO事故から10年、教訓はいかされたか」という主題で、東大教授の岡本孝司氏をコーディネーターとし、茨城新聞常務の木村雅人氏、原子力安全・保安院安全広報課長の原昭吾氏、東海村経済課長の小野寺節雄氏をパネリストに迎え、ワークショップの結果報告をもとに議論が行われた。

第2のパネル「原子力とともに、今後の東海村は」では、茨城大学教授の渋谷敦司氏をコーディネーターとし、住民代表の坏洋右氏と照沼勝浩氏、原子力機構理事の横溝英明氏、東海村教育委員長の越塚ゆかり氏、東海

村長の村上達也氏をパネリストとして議論がなされた。このシンポジウムの参加者は、一般の人400名で、性別では男性が90%、年齢構成では60歳代以上が35%であった。事後アンケートの結果、

- ・内容については、良いが40%、同様のシンポジウムへの今後の参加については80%が参加したいと思うであった。
- ・また、「JCO事故から10年、教訓は生かされた」について、わかりやすかった、ある程度わかりやすかった」を含めて、81%であった。

このように、ほとんどが肯定的な意見であったが、一部否定的な意見があったので、これを紹介すると、

- ・防災の避難対策がまだできてないと思った
- ・時間が足りなかった
- ・その他

であった。

この2例のシンポジウムのアンケート結果をパーキンソンの実践・広報戦略にあてはめて評価すると、

- ・目標の設定と対象の明確化については一応及第点だと思うが、集客面では、女性や若い人の参加を増やすという面でのさらなる努力が必要であるといえる。
- ・メッセージの明確化では、主題の性格上、明確であったと思われるが、アンケートの結果にもあるように、JCO事故関連シンポジウムでは若干「テーマを欲張りすぎた」点があるのは否めない。
- ・意識調査の実施については、アンケート調査の実施と分析を行っており及第点だと思う。
- ・広報の武器(使うべきチャンネルのこと)としては、原子力の日シンポジウムでは、財団の広報誌「原子力文化」(購読数約3万人)で採録しているので、その目的は十分達成されている。また、JCO事故に関するシンポジウムについても、財団のホームページ上で事後広報を行う予定にしている。

いずれにしても、シンポジウムは、目的、対象を明確にしたうえで、適切なコーディネーターと適切なパネリストを配置して実施した上で、PDCAをまわすために、適切なアンケート調査で、結果の把握をすることが大切であるといえる。

(2010年 1月15日 記)

インタビュー

「日豪主導の国際委員会で 核不拡散・核軍縮の推進, 核廃絶へ」

川口順子 ICNND 共同議長に聞く

日豪政府の主導により、核軍縮と核不拡散をめざした国際委員会として発足した ICNND。その共同議長として活躍しているのが、川口順子氏だ。ICNND がめざす目標と、環境問題や原子力への取り組み方について聞いた。

聞き手 本誌編集長 近藤吉明
(取材：2009年12月9日)



川口順子氏(かわぐち・よりこ)

東京大学教養学部卒, 通商産業省入省。在米大使館公使, 通産大臣官房審議官, サントリー常務, 環境大臣, 外務大臣などを歴任。現在は参議院議員。

核軍縮と核不拡散をめざす ICNND

近藤 最近、テレビニュースで豪州のエバンス氏との会見を拝見しました。ICNND*つまり“核不拡散・核軍縮に関する国際委員会(日豪主導の国際賢人会議ともいわれている)”での川口先生のご活躍の様子を、日本原子力学会の会員に広く伝えたいと思います。まず、この委員会についてご説明下さい。

川口 この委員会は、ひと言でいえば国際的な有識者のグループです。核軍縮、核不拡散、そして原子力平和利用、それを推進するためになにをしたらよいかを議論しています。まもなく、その報告書がでます。

—核軍縮の目標は。

核軍縮の最終的目標は、地球上の核兵器をゼロにすることです。

国際的に活躍してきた代表的な15人の専門家に参加して頂いています。いろんな分野から集めています。専門家のみならず、政治家のような大所高所からものを見る方。また、発展途上国と先進国との間のバランスもとるようにしています。元軍人も入っています。メンバーには、ノルウェーのブルントランド元首相、メキシコの元大統領ゼデーニョ氏、米国の国防長官を務めたウィリアム・ペリー氏などがいます。可能な限り、あまねく核問題の現状と背景が映し出せる陣容と考えています。

*International Commission on Nuclear Non-proliferation and Disarmament

—核保有国はどこまで入っていますか。

核をもっている7カ国は入っています。NPTに加盟しているか否かを問わず。ただし、イスラエルは入っていません。

—そもそもの始まりについては。

オーストラリアのラッド首相が2008年6月に訪日した際に提案しました。その年の7月9日に当時の福田総理とラッド豪首相の間で、日豪共同イニシアティブとして立ち上げることが合意されまして、ギャレス・エバンス元豪外相と私が共同議長に任命されました。正式な外交交渉ではなく、いわゆるセカンド・トラックと呼ばれる有識者の活動です。

—豪が共同議長になる必然性は。

豪はウランの資源国であり、その立場からも将来的に不拡散を貫くことを徹底したい。また、持っているウランをどのように使っていくかは豪にとっては重要なテーマです。

—なるほど

より具体的な背景として、核をもつことの危険性の方が、不拡散の観点から大きい問題です。これまでは幸いにして、広島・長崎以降、核は使用されていません。ただ、いま実際に米口で2000の核が数分で発射可能な状態にあります。誤発射の可能性やテロリストの手に渡る危険性は依然として大きいのです。

—原子力の平和利用との関連性は。

原子力は温暖化の防止に有効で、今後、途上国の需要が見込まれます。原子力は、フロントエンドからバックエンドまで必要ですから、そこでまた拡散リスクがあります。

核は使えない兵器ですので、核をなくすことが、核を持ちたいという国を増やさない上で非常に重要です。

■ 2025年には2千発まで削減

—核の問題は4つに区分して考える必要があると思います。まず核保有の5カ国がありますね。2つ目は印パやイスラエルのようにNPTの外の国々……

イスラエルは持っているとも持っていないとも公言していないですね。

—3つ目は北朝鮮やイランのような国、そして4つ目はアルカイダのようなテロ組織ですね。米ソはまず、おのおのの核を約1,600発に削減するとの話ですが、委員会で最終的にゼロにもっていくのですね。

大きく分けて2つのフェーズがあります。第1期は2025年までで、最小化フェーズといいます。第2期がエリミネーション・フェーズです。

—おのおののフェーズではどこまで目指しますか。

第1期をさらに2つに分けています。1期目の終わりは2025年です。配備予備も併せて全世界で2,000発まで削減します。米ロで500発ずつ、残りの国々はどれだけ持っているか分かりませんが1,000発としています。米ロ以外の国々もどんどん減らしていくのです。

第2期目までの政策的な対応としては、各国は no first use を宣言します。配備状況もそれを裏付けるものにする。第1期の短期目標として、2012年までに、START (戦略兵器削減条約)の後継条約に合意をするおよびCTBT (包括的核実験禁止条約)を発効させる。そしてFMCT (兵器用核分裂性物質生産禁止条約)の交渉を開始します。



前提として申したいのは、核をゼロにする道のりはいろいろあるが、現実的でなくてはならない。理想に走らず、実行可能なアクション・オリエンティドなものにすることが重要です。

—12月1日から天野大使がIAEAの事務局長になりましたが、期待をひとこと。

われわれはIAEAの強化が必要だといっています。財政的な支援が必要なことはもちろん、核の不拡散においてはIAEAの役割が一番重要です。人材育成や検証などの面を支援するというスタンスです。難しいポストだと思いますが、やることはきちんとするべきで、まずは事実を正確に押さえることが重要だと思います。

—せっかく日本から局長がでたのですから、活躍してほしいと思います。

そうですね。世界のために働いてほしいです。

—オバマ大統領は今後1年以内に核セキュリティに関するサミットを開催するとか。

オバマ大統領は大変果敢に取り組んでいると思います。ノーベル賞委員会もそれを認めてのことかと思えます。核サミットは日本も支援して、12月初めにシェルパ会合を開催しました。日本は3S (IAEA Safeguards, nuclear Safety, nuclear Security) などのプロポーザルを出しています。

—委員会からの直接の働きかけは。

昨年2月、オバマ政権発足後、20日後にはバイデン副大統領、ジョーンズ大統領補佐官 (国家安全保障問題担当)、ケリー上院外交委員長、バーマン下院外交委員長等に働きかけをして、米国からも非常に心強い支援を頂いています。6月にはモスクワにも訪問しています。その報告書が12月半ばに発表になります。NPT運用検討会議が5月にあるのでそれを成功裡に進めてもらうための働きかけを続けなければならない。

—ロシアは戦術核を地域紛争に使う可能性を言い出しています。軍縮に逆行すると思いますが。

ロシアの外務大臣に会った際に話題にしました。彼らは、どういうときに first use (先制使用) が可能かを決めていて、そこに地域紛争を入れることを検討中です。それは間違いなく逆行する動きです。核は使えない兵器で非合法化していかなければならないのです。ロシアには考え方を改めてほしいと思っています。中国にもいろんな働きかけをしています。

—米国は、核弾頭を取り外すことも削減としてカウントしていますね。

私たちはありとあらゆる核は核兵器だといっています。弾頭から取り外しても削減にはなりません。予備も含めて、すべからず全部を対象にしています。

—ヘッドから外せばいいのではないですね。

それはわれわれの発想ではありません。

—先生は環境問題にも取り組んでこられました。いまCOP 15が開催されています。どこの国がどれだけCO₂を出しているかを見ますと、米国が20%、中国が21%でこの2カ国で40%以上を占めています。日本はたかだか4%に過ぎない。そして、米国も中国の排出量削減の基準が見えにくい。どういうプロセスで進めたらこの問題を解決していけるでしょう。

一番難しい質問ですね。いま京都議定書の締約国の排出量は3割です。米中が入らないと話にならない。なんらかの方法で入るための合意を見つけなければならぬ。これが一番大事。これは難しい問題です。

環境問題は大事であるという合意をつくりながら、同時に経済の発展と環境問題の解決に取り組む。両者にシナジーをつくらないといけないのです。

—なるほど。そのためには排出権取引も意義があると。

私は、京都議定書の細目の交渉をやったのですが、合意から発効まで8年かかりました。いまはもっと大変で、発展途上国へ何らかの制約を課そうということから、途上国の反対が強く合意はなかなか難しい。とにかく今ここでなんとかしないと将来はありませんので、折り合おうよというリーダーの共通認識がないとだめだと思います。利己的に自分の国の国益が大事だというのはいけない。地球温暖化を防止するためにどういうコストを払う用意があるかということについての思いを、求心力をもってまとめられるかどうかだ、と思います。

■ 原子力には透明性とわかりやすさを

—これからの原子力発電のありかたについてコメントを。

私は、原子力なくしては温暖化問題もエネルギー問題も解決しないと思っています。しかし、世界にはこの問題に関してものすごい理解の幅があるのも事実です。この問題も必要性を説いて理解を深める粘り強い働きかけ

が必要だと思います。大事なのは安全性についての国民の信頼を一步一步勝ち取っていくことです。

メディアを通じていろんな情報がでると、私も含めて不安になるものです。そこを解消していかないといけないですね。

—信頼は一度失うとなかなか取りもどせない。

こういったオープンで透明な時代には、オープンにやるのが大前提です。

—原子力は、二酸化炭素の排出量の削減にどれだけ寄与しているかを電気料金票にわかりやすく示せばよいと思います。

電力会社の料金の紙の工夫はもっとできると思います。再確認したいと思いながら、まだできていないのですが、米国に住んでいたとき、この時間帯の電気使用量を減らせばもっと安くなりますよ、料金パターンを選んで、どこを節約すればよいかアドバイスが書かれていたと記憶しています。日本の電力会社ももっともっと工夫ができると思います。

また、家庭用の太陽光発電でも余った電気が売れるようになったという事実は、国民に一つ関心を持たせたことで非常に良いことだと思います。

—日本原子力学会、学会員、学生会員へのメッセージを。

日本は世界で有数の原子力産業を持っています。日本の技術やノウハウは世界にとっての宝です。これは大事にして世界のために役立たないといけません。

さる会合で、ある女性の原子力の技術者の方と話をしまして、何をしていますかと聞きましたら、「私、お風呂の温度を測っています」と仰るんですね。そう言われると非常に近くなるのです。それが原子炉の……と、言われたりすると非常に遠くなる。国民にわかりやすい伝え方というのは大事で、いろいろ工夫されているとおっしゃっていました。そういうことが大切ではないでしょうか。

今日お持ち頂いた学会誌もいろんな工夫がされていて、私でも読んでみようかと思う記事もあるのでとてもよいと思います。

—今日は大変お忙しいところ、貴重な時間を割いて頂きましてありがとうございました。

(企画・編集：編集委員 澤田哲生)



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。

来年度の原子力関係予算、総額では5%減の4,323億円

2010年度の政府全体の原子力関係経費予算案は4,323億円で、前年度に比べ5.1%のマイナスとなった。1月12日の原子力委員会で報告されたもの。内訳は一般会計が1,161億円(前年度比0.2%減)、エネルギー対策特別会計の電源開発促進勘定が3,162億円(同7.0%減)。省庁別では文部科学省分が2,478億

円(同1.9%減)、経済産業省分が1,750億円(9.4%減)。おもな機関では日本原子力研究開発機構が1,790億円(同2.9%減)、放射線医学総合研究所121億円(同2.5%増)、大学共同利用機関法人119億円(同5.1%減)となっている。

柏崎刈羽6号機が営業運転を再開

東京電力の柏崎刈羽原子力発電所の6号機が1月19日、2年9カ月ぶりに営業運転を再開した。同機は昨年8月に試運転を始めたが、同12月に制御棒の表示にトラブルが発生したため、営業運転再開が延

期されていた。同発電所ではすでに7号機が営業運転を再開しており、残る5基のうち1号機と5号機が系統機能試験を実施している。

保安部会・基本政策小委が報告書案、ステークホルダー・コミュニケーションなど提言

経済産業省の原子力安全・保安部会基本政策小委員会(委員長=村上陽一郎・東京理科大学科学教育研究科長)はこのほど、今後の安全規制のあり方を方向づける報告書案「原子力安全規制に関する課題の整理」を取りまとめた。

同小委員会は昨年4月より、01年の原子力安全・保安院発足以降の安全規制を取り巻く環境の変化を踏まえ、今後、取り組むべき安全規制の課題について、審議を行ってきた。

同報告書案では、今後、保安院が取り組むべき課題を、(1)安全規制における経験と知見の活用、(2)規制対象の変化を見越した取組、(3)経済的・国際的な状況変化への対応、(4)ステークホルダー・コミュニケーションに関する取組(5)機能的な規制機関への取組——の観点から、抽出・整理している。

「規制対象の変化を見越した取組」については、発電炉の高経年化、中間貯蔵事業の進展、原子炉施設廃止措置の本格化、放射性廃棄物処理・処分に係わ

る状況の進展、次世代軽水炉等開発といった規制対象の拡大・多様化を見通し、適時・的確な対応の必要性を述べている。

「経済的・国際的な状況変化への対応」では、出力向上、新検査制度導入に伴う長期サイクル炉心の評価など、既存設備の有効性に関する安全規制や、原子力利用のグローバル化への対応、安全規制の国際協調について、課題を整理した。

また、「ステークホルダー・コミュニケーションに関する取組」では、国民の理解と信頼を得つつ安全規制を的確に実施していくため、立地地域を中心とした国民とのコミュニケーションの充実を図るほか、産業界については、現場の実態を把握する観点から、特に、労働者とのコミュニケーションの活性化も指摘している。

(資料提供：日本原子力産業協会)

5 原子力委員が国会で承認，1月に就任

衆院は昨年12月4日の本会議で，自民党欠席の中，参院に次いで原子力委員会の近藤駿介委員長(再任)ほか4名の新委員を賛成多数で承認し，新委員は1月初旬に就任した。任期は3年。

原子力委員会は，近藤委員長は3期目，新たに鈴木達治郎・電力中央研究所社会経済研究所研究参事

(東京大学公共政策大学院客員教授)，秋庭悦子・日本消費生活アドバイザー・コンサルタント協会常務理事(以上は常勤)，尾本彰・東京電力顧問(日本原子力産業協会国際担当役)，大庭三枝・東京理科大学准教授(以上は非常勤)が選任された。

(同)

東大と原子力機構，マイクロ波利用し126gの金属製ロケットを打ち上げ

東京大学大学院新領域創成科学研究科の小紫公也教授らは原子力機構と共同で，ジャイロトロンで発生させたマイクロ波を利用し，126gの金属製ロケットモデルを打ち上げることに成功した。マイクロ波を使った推進システムは，新たな宇宙輸送手法として期待されている。1月14，15日に行われたJAXAの宇宙輸送シンポジウムで発表した。

日本の基幹ロケットであるHⅡAロケットや米国のデルタロケット，ロシアのソユーズロケットなど宇宙開発を担うロケットの多くは化学ロケットだ。これらは，推進剤(燃料)の重量が打ち上げ時の9割を占めるため，コスト低減や小型化を阻んでいる。

研究チームでは，高出力のマイクロ波発振器のジャイロトロン(発振周波数170GHz，出力1MW)をマイクロ波源にしたマイクロ波ロケットシステムを試作した。マイクロ波ロケットは，推進剤を使用しないことからロケットの小型軽量化が可能で，そのため打ち上げコストも格段に抑えられる。軌道上げや月への物資輸送での活用が期待されている。

マイクロ波ロケットは，マイクロ波のパルスビームを機体に集光して，大気中で約1万度Cのプラ

ズマをつくりだし，付近の空気を爆発的に膨張させることで推進力を得るしくみ。パルスビームを繰り返し照射することで定常的な推進力をつくり出す。今回の実験は，国際熱核融合実験炉(ITER)のプラズマ加熱用に開発が進められているジャイロトロンが，繰り返しパルス作動できるように改良されたことに合わせて行われた。

研究チームは03年，9.5gのプラスチック製ロケットに930kW，0.4ミリ秒のマイクロ波パルスビームを単発照射して2mまで打ち上げた。今回は，126gの金属製ロケットを600kW，1ミリ秒のビームを100Hzで繰り返し照射して，1.2mまで打ち上げることに成功した。ジャイロトロンからのマイクロ波をロケット下にある平板鏡に当て，ロケット下部で推進力をつくり出す。

今後は，マイクロ波の高出力化，ビーム伝送部の改良などにより，重い機体をより高く打ち上げる試験を行い，最終的には100kg程度の物資を軌道投入することを目指す。

(提供：科学新聞)

JMTR 照射利用高度化へ向け中性子照射の環境制御手法を開発

原子力機構はこのほど，ベリリウム金属微小球を充填した照射キャプセルホルダーを用いた世界初の中性子照射環境制御法の開発に成功した。これにより，世界の照射試験炉に先駆けて，利用者が求める中性子照射条件に対して，より満足のいく中性子場の提供に目処が得られたことになる。

JMTRなどの汎用照射試験炉による中性子照射試験は，一般的に箱型の無垢材(ベリリウム金属またはアルミニウム金属)から内部をくり抜いて製作したホルダーに，照射試料を入れた円筒形の容器を挿入して行われていた。ただ，一定の厚さの中性子調整材料を装荷することが必要なため，照射キャ

セル内のスペースが狭くなり、照射試料の数量や大きさに制限が出てしまっていた。

新しく開発された中性子照射環境制御手法は、照射キャプセルを保持するための箱型のアルミニウム製ホルダー（照射キャプセルホルダー）に0.2から2mm程度のベリリウム金属微小球等を詰め、その詰め具合を調整して中性子散乱断面積を制御し、照射試料への中性子のあて方を無段階に制御できるという。

原子力機構大洗研究開発センター照射試験炉セン

ターの土谷邦彦課長は「今後、軽水炉の長期利用に係る安全研究、医療診断用ラジオアイソトープ製造などの産業利用の拡大および科学技術の向上などの照射研究に利用されます。特に、照射キャプセルホルダー内のベリリウム金属微小球の充填率を変更することにより、同一照射孔での熱中性子束密度のきめ細かな調整が可能となり、医療や非破壊検査に使用される短半減期RIであるIr192やMo99製造などの民間利用にも期待されています」と話している。

(同)

強迫性障害患者の脳内ではセロトニンを神経細胞内に取り込むタンパク質が減少

放射線医学総合研究所分子イメージング研究センターの菅野巖センター長、須原哲也グループリーダー、松本良平客員協力研究員は、東京慈恵会医科大学などと共同で、強迫性障害患者の脳内の大脳外側頭部（島皮質）で、神経細胞から放出されたセロトニンを細胞内に取り込むタンパク質“セロトニントランスポーター”が減少していることを世界で初めて明らかにすることに成功した。

強迫性障害とは強迫観念や強迫行為によって生活が障害される精神疾患で、人口の約1,2%が罹患する。症状は多様で、本人も他人に理解されないという思いから相談できないケースが多い。

松本研究員によると、この強迫性障害の治療にはセロトニントランスポーターに結合する薬剤が有効であることから、その病態にセロトニンの関与が指摘されていた。一方、強迫性障害患者では、情動に関連する大脳皮質領域の活動の変化が指摘されていた。セロトニンは情動にも関与しているため、強迫

性障害において、大脳皮質のセロトニントランスポーターを定量することは長年の課題であったという。

そこで、PET*および高性能のPETプローブを用い、10名の強迫性障害患者と18名の健常者を対象に、大脳皮質におけるセロトニントランスポーターの量を測定、脳内のさまざまな部位での結合能を比較した。その結果、強迫性障害患者群で、島皮質のセロトニントランスポーターが30%健常者に比べて減少していることがわかった。島皮質は不安・不快感・恐怖といった情動に重要な役割を果たしているだけに、松本研究員は「今後は、より検討数を増やすことで、症状や治療への反応性との関連を検討することが期待されます」と話している。

(同)

*positron emission tomography

陽電子(positron)を放出して崩壊する放射性同位元素を用いて、非侵襲的に生体機能の断層画像を得る方法

東京都市大と早稲田大が原子力機構と連携協力

東京都市大学と早稲田大学、原子力機構は1月15日に連携協力に関する協定を締結した。これにより、相互の研究資源を連携活用し、研究および人材育成のより一層の充実を図ることで、我が国の学術および科学技術の振興に大きく寄与することが期待される。

中村・東京都市大学長の話「東京都市大学は、武

蔵工業時代に自前で原子炉を造り、研究に利用し、廃炉にまでもっていたという経験や実績がある。早稲田大学と共同で人材を育てていくことになるが、ただ都心にある大学では、大型の装置等を持ちにくいのが現実で、そこで原子力機構の力をかりて実践教育に役立てていきたい」

白井・早大総長の話「両学は今年の4月から大学

院共同原子力専攻をスタートさせる。早稲田大学は、原子力そのものを教える人材が必ずしも多くはないが、今後のエネルギー事情を考えれば原子力を有効利用していくことが不可欠で、世の中に優れた人材を輩出するためにも手を携えてやっていきたい。その際には原子力機構のもつ力を借りずにはできないことである」

岡崎・原子力機構理事長の話「最近の原子力に関

する研究開発や産業界の取り巻く状況を見ると、どうしても人材の養成が不可欠である。原子力機構は、両大学を含めて18大学・大学院と協定を結んでいるのがその現れである。やはり、若い人たちが現場で原子炉なり放射線機器等に直接接触れること、研究者と交流することが不可欠だけに、できる限り協力を惜しまない」

(同)

原子力学会，高校教科書のエネルギー関連記述で提言

日本原子力学会原子力教育・研究特別専門委員会(主査, 工藤和彦九州大学高等教育開発推進センター教授)は、現在使われている高等学校の教科書の記述を調査し、高等学校の学習指導要領の改訂に基づき、今後編纂される新しい教科書のエネルギー関連記述の充実を求める事項を抽出し、『新学習指導要領に基づく高等学校教科書のエネルギー関連記述に関する提言』としてまとめ、1月29日の同学会理事会で報告した。

同委員会は、昨年1月に小中学校の学習指導要領の改訂(平成20年3月告示, 小学校は平成23年度, 中学校は平成24年度から全面実施)に基づき、編纂される小中学校向け教科書を念頭に、「新学習指導要領に基づく小中学校教科書のエネルギー関連記述に関する提言」を策定。また、高等学校でも教科書執筆の指針となる学習指導要領が改訂され(平成21年3月告示, 平成25年度の第一学年から学年進行で実施, ただし, 数学と理科は平成24年度から実施), それに沿って新しい教科書が編纂され、検定を受け

ることになった。このため、ここ数年がより充実した教科書の完成を目指すうえで大変に重要な時期であるとの考えから、新たに編纂される高等学校の教科書において、エネルギー関連の記述として充実を望む事項を提言としてまとめた。

毎年約2百万人弱の義務教育修了者を出すだけに、教科書の社会的影響力は大きい。今回の提言は、教科書の内容の正確性を含めた充実を望む声を反映させたものとして注目される。

工藤主査は「教育は教科書だけで知識の習得が定まると考えてはおりませんが、全国の児童・生徒が共通に学ぶ基本的な知識が集約されたものであるだけに、教科書が正確でかつ生徒に理解しやすく記述されていることは極めて重要であると考えます。この提言が教育界の皆様のご理解を得て、今後の教科書編纂および教育の実践に反映されることを切望いたします」と話している。

(同)

「原子力産業セミナー2011」を東京と大阪で開催，学生1,116名が参加

原産協会は昨年12月に東京と大阪で、合同企業説明会形式のイベント「原子力産業セミナー2011」を開催した(写真)。本セミナーは、学生と企業の就職・採用活動の支援、原子力産業への理解促進を目的に開催したもので、4回目となる今回は、従来の東京会場に加え、大阪会場でも開催。東京・大阪を合わせ、延べ60の企業・機関が出席、理工系の大学院生・大学生を中心に1,116名の学生が参加した。

両会場とも開場前から学生たちの列ができ、セミナーへの関心の高さが伺えた。開場時刻になると、早速学生たちは各ブースへと向かい、各企業もパワーポイントでのプレゼンテーションやブースに設置した模型を使っての説明を行うなど、熱心な会話が行われた。コミュニケーションエリアでは、訪れた企業のメモを確認しながら同じ研究室の仲間たちと情報交換する学生の姿も見られたほか、日本に留

学中の外国人学生の姿もあった。

学生たちからは、「環境問題について学ぶうちに原子力エネルギーの持つ可能性に興味を持った」、「留学先で学んだ外国語を活かして国際的な仕事がしたい」、「原子力業界・電力会社に絞って話を聞きに来た」、「まだ進路に悩んでいて手始めにいろいろな業界のセミナーを回っている」、「地元で就職したいから電力会社を希望する」など、セミナーに参加した目的を語った。

出展者からは、専門的な内容についても学生から質問が出ることもあり、手応えを感じたとの声があった。一方で、会社の一般的な知名度が低いので、まずはこの場をきっかけに事業内容などを知ってもらったことに意義があったとする企業もあった。また、「全体的に学生たちの原子力分野への関心が高まっており、期待以上の人数の学生に会えた」、「昨



年は学生たちもまだリーマンショックの影響が見えてこなかったが、今年になって深刻さを実感していることが感じられ、就職活動に対する姿勢も力が入っている」という意見も聞かれた。

(同)

原産協会と中国原子力産業協会が協力協定に署名

日本原子力産業協会(JAIF)と中国原子力産業協会(CNEA、中国名称：中国核能行業協会)は昨年11月26日、中国浙江省海塩県のホテルにおいて、「原子力平和利用分野における協力協定」に署名した(写真)。この協定は原子力分野における日中の原産協会の協力を強化し、両国間での原子力平和利用における協力を推進することによって原子力産業の発展と原子力の安全の確保を目指すもので、あわせて行われたシンポジウムでは、日中双方の原子力産業協会と日本原子力技術協会の活動の紹介、また、中国における原子力発電所の運転レビューと経験交流などについての紹介が行われた。

協定には以下のおもな協力内容が盛り込まれている。

・原子力分野の情報と経験に関する交流



- ・原子力関係者の相互訪問と情報交換
- ・年次会議等の案内・招待及び出席
- ・セミナーの交互開催
- ・原子力安全、人材育成分野での情報交換と協力

(同)

大面積電極を用いた核融合炉用大電流ビームの高エネルギー化に成功—ITER用中性粒子ビーム入射装置の開発に大きく貢献

原子力機構は、世界最大級の核融合実験装置「臨界プラズマ試験装置(JT-60)」の中性粒子ビーム入射装置の心臓部であるイオン源の耐電圧を大幅に改善することに成功し、3Aの水素イオンビームを500

kVにまで加速することに成功した。これは1A以上のビームを500kVまで加速した世界初の成果であり、現在JT-60の後継装置として建設中のJT-60SAにおける要求を達成するとともに、国際熱核融

合実験炉(ITER)の中性粒子ビーム入射装置の開発に大きく貢献するものである。

中性粒子ビーム入射装置は、核融合反応に必要な数億度にプラズマを加熱したり、プラズマ中に電流を駆動したりするために用いられるもの。プラズマの中心部まで効率よく加熱・電流駆動するために、JT-60SAでは500kV、ITERや将来の核融合炉では1000kV以上の高エネルギービームが必要とされる。このような高エネルギービームを生成するためにはイオンを高電圧で加速する必要があることから、高い耐電圧を有するイオン源の開発が急務とされてきた。しかしながら、この開発に必要な耐電圧特性については、200cm²程度の面積をもつ電極についての研究は進められているが、JT-60SAやITERで要求される2万cm²程度の面積をもつ電極についての研究はこれまでなされていなかった。

このため原子力機構は、大面積電極間の真空耐電

圧特性を詳細に調査。その結果、大面積電極の耐電圧特性は小型電極と異なり、大きな距離を電極と電極との間にとらないと耐電圧を確保できないことを初めて明らかにした。また、単純に電極間の距離を広げると、加速電界が弱まることでビームが広がって電極に衝突し、イオンビームが減少するという問題があったため、イオンビームの軌道を詳細に計算して最適な電極間の距離を計算。その結果、JT-60SAの実験に必要な500kVまでイオンを安定に加速することに成功した。

今回の成果は、同様の大面積の加速電極を有するITERの中性粒子ビーム入射装置への応用や、大型化が見込まれる半導体基板の製造で使用するイオン注入装置等への波及効果が期待される。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2009/p09122201/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構)

国際熱核融合実験炉(イーター)超伝導コイル用導体の製造を開始—最先端技術の導入で高品質製造技術を世界に先駆け確立

原子力機構と新日鉄エンジニアリングは、国際熱核融合実験炉(イーター)に使用する超伝導コイル用導体の製造を始める。福岡県北九州市に完成した工場では、当初はTFコイル用導体の模擬導体を製造して導体製造技術を実証し、3月から合計33本(約23km分)の実機導体製造を本格的に開始する予定だ。

イーター計画は日本、欧州、米国、ロシア、中国、韓国、インドの7極の協力により、フランスのカダラッシュにイーターを建設する国際研究開発プロジェクト。原子力機構はイーター機構と2007年11月に、このイーター装置の一部となるトロイダル磁場コイル(TFコイル)用超伝導導体の調達取決めに署名しており、新日鉄エンジニアリングと共同で、製造に向けた準備を進めていた。

このほど北九州市に完成した製造工場(写真)は、建屋の長さが直線距離で950mあり、ここで、約1,000本の超伝導素線を撚(よ)り合せた撚線(よりせん)を、ジャケットと呼ばれる金属製保護管に入れた導



体の製造を始める。

なおTFコイル用導体は欧州、米国、ロシア、中国、韓国も製造する計画で、今回の製造開始により、日本はその先駆けとなった。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2009/p10011201/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構、新日鉄エンジニアリング)

新しい色素を持つ芳香シクラメンをイオンビームで創成 —将来は青色の品種ができる可能性も

埼玉県農林総合研究センターと日本原子力研究開発機構、農業・食品産業技術総合研究機構は共同で、赤紫色の花と良い香りをもつシクラメン(写真)を作りだすことに世界で初めて成功した。「香りの舞い」という品種にイオンビームを照射して突然変異を起こさせたもので、将来は青色の花が咲く品種ができる可能性がでてきた。

シクラメンの園芸品種は香りがほとんどないため、これまでは良い香りを持つ野生種と交配させて、3つの芳香シクラメン品種が作り出されてきた。しかし、これらの品種の花の色は、紫色かピンク色に限られていた。

このため共同研究チームは、「香りの舞い」にイオンビームを照射。その結果、花の形や大きさ、香りはそのまま、花の色が赤紫色になったシクラメンを作ることに成功した。葉片から再生させた植物体の中から赤紫色の突然変異体を得られ、その花の色素の主成分は、青いバラなどで有名なデルフィニジンという色素であることがわかった。

デルフィニジンを主要色素とするシクラメンの野生種や園芸品種はこれまでになく、今回創り出した品種は、今までになかった新しい花の色の芳香シクラメンとして商品化が期待される。この研究は、農林水産省の先端技術高度化事業(平成14~18年)およ



び生物系特定産業技術研究支援センターの異分野融合研究支援事業(平成19~23年)の受託研究として実施された。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2009/p09122101/index.html>)

(資料提供：埼玉県農林総合研究センター園芸研究所、日本原子力研究開発機構、農業・食品産業技術総合研究機構花き研究所)

海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

[中国]

日中の原産協会が協力協定、安全などで包括的に協力

日本原子力産業協会と中国原産協会(CNEA、中国語名は中国核能行業協会)は昨年11月26日、秦山原子力発電所に近い中国・浙江省海塩県のホテルで、「原子力平和利用分野における協力協定」に署名するとともに、記念シンポジウムを開催した。

この協定は、両機関間の協力関係を強化・促進することにより、両国の原子力産業の発展と原子力安

全の確保を目的としたもの。情報交換や相互訪問のほか、相互の年次大会への参加や共同セミナーの開催等を含んでいる。26日の署名式では、原産協会を代表して服部拓也理事長が、CNEAを代表して張華祝理事長がそれぞれ署名した。

服部理事長は、30年後には日・中・韓の東アジア地域で150基もの原子力発電所が運転される時代が予想できるとして、「この3国は原子力大国として、全世界に大きな責任を負うことになる。この責任を自覚して協力していきたい」と述べ、日中のみならず、韓国も含んだ東アジア地域での原子力協力を提案した。

張華祝理事長は、「日・中の相互理解を深めるとともに、安全を第一として原子力を推進し、将来的にはより広い分野で、持続的な発展を目指したい」との抱負を述べた。

2007年4月に設立されたCNEAは、現在約250社・団体の会員を持つ民間組織。中国の原子力産業界と政府との橋渡しの役割を果たしているほか、原子力利用の普及・啓発、建設中・運転中の原子力発電所のピアレビュー、人員の教育・訓練、各種基準のとりまとめなども行っている。

[台湾]

原子力発電は計画外停止削減で高稼働率、日台安全セミナーで発表

原産協会の第24回日台原子力安全セミナーのために名古屋を訪れていた台湾電力会社の黄憲章・副総経理は昨年11月17日、同国の原子力発電の現状と将来展望について講演し、当面は出力向上や運転期間の延長によって既存炉を最大限に活用していくとの方針を明らかにした。

黄副総経理によると、台湾では2007年のCO₂排出量が世界で第22位だったことから、台湾では2017年までにエネルギー利用効率を2%向上、25年までに低炭素電源シェアを40%から55%に拡大——などにより25年の排出量を2000年レベルに抑える方針。原子力に関しては、過去4～5年の平均設備利用率が約90%と良好である一方、02年に長期的な脱原子力発電政策を取ったことから、新規の建設計画は停滞している。このため、しばらくの間は既存原子炉を①出力向上②運転期間の延長——により最大限に活用するとしている。

[インド]

ラジャスタン5号機が初臨界、容量は18基・430万kWに

インドのラジャスタン原子力発電所5号機(RAPP 5)(PHWR, 22万kW)が昨年11月24日、最初の臨界に達した。これによりインドの商業炉は18基、434万kWとなった。

同機はインド原子力省と原子力発電公社が自主開発した加圧重水炉で、昨年1月に、新たに国際原子

力機関の保障措置下に置かれた民生用原子炉8基のうちの1基。2月にロシアと結んだ原子燃料の長期供給契約に基づいて、ロシア産の天然ウランが装荷されている。

国外からの導入技術としては、クダンクラムで現在、ロシアのVVER-1000(100万kW級PWR)を2基建設しつつ、さらに2基の建設を計画中。また、ジャイタプールでは、仏アレバ社製EPR(欧州加圧水型炉)を最大6基導入する計画も進められている。

インドのM・シン首相は昨年9月、ニューデリーの国際会議で、「うまく計画管理できれば2050年までに4,700万kWの原子力発電設備容量を達成できる」と演説。昨年9月に原子力供給国グループが同国への原子力禁輸を解除して以降、ウェスチングハウス社とGE日立とは原子力技術協力や原子炉建設協力に関する覚書も締結した。ロシアと仏国からは、国内で不足していた原子燃料の供給も確保されつつあることから、今後同国の原子力開発利用は一層加速度を増して拡大していくと予想される。

原子力公社とL&Tが原子力用大型鍛造品製造で合併

インド原子力発電公社(NPCIL)と同国の総合重機メーカー最大手のラーセン&トゥブプロ(L&T)社は昨年11月30日、原子力発電所の大型機器製造用の特殊鋼と超重量・鍛造品を製造する合併企業を設立した。素材となるスチール鋼の溶解から大型機器完成品の製造まで、将来的には軽水炉技術の国産化と輸出をも視野に入れた大がかりな原子力拡大戦略が官民の総力を結集して推進されつつある。

NPCILは同国で原子力発電所の設計・建設および操業を担当する国営企業。L&T社との合併により、グジャラート州西海岸のハジラにあるL&T社の製造施設を本格的な統合製造施設に作り替え、原発用の重要機器を製造していく計画だ。

同施設には重さ600メトリックトンのインゴット生産が可能なスチール溶解工場、および鍛造プレス付きの重鍛造品工場が設置されるなど、世界でも最大規模のものになる。加圧器や蒸気発生器(SG)といった原子炉用鍛造品のほか、火力発電所や炭化水素部門の重要大型機器用鍛造品も製造する予定。ハジ

ラの港湾に直接アクセスすることにより、様々な方法で製品の輸送や輸出が可能になるとしている。

インド原子力省のA・カドカール前長官はこの構想により、国内の原子力設備を自力で着実に拡大させるとともに、原子炉供給チェーンにおける間隙を埋めたいと強調。NPCILのS・ジェイン会長も、「原子力設備を2020年までに2,000万kWに、32年までに6,300万kWに拡大するという目標達成のための大掛かりな戦略的ステップとなるだろう」と述べたほか、将来的には軽水炉機器製造技術の国産化や原子力の重要機器輸出にも可能性を拓くとの見解を表明した。

原子力省長官にバネルジー氏

インド原子力省(DAE)はA・カドカール長官の後任として、バーバ原子力研究所(BARC)のS・バネルジー所長を昨年11月30日付でDAE長官兼原子力委員会委員長に任命した。

バネルジー氏は1968年にBARCの冶金部門(当時)に入所。74年にインド工科大から冶金工学の博士号を取得した。熱機械処理を加えたジルコニウム合金の知識に基づき加圧重水炉(PHWR)の圧力管製造で新たな手法を開発するなど、インド独自の原子力技術開発に貢献している。

[ヨルダン]

原子力委員会、研究炉の建設で韓国を選定

ヨルダン原子力委員会(JAEC)は昨年12月3日、同国初の研究炉を建設するため、韓国の企業連合を建設業者に選定した。

この研究炉は、ヨルダンの医療用放射性同位体生産のほか、アカバ近郊で計画している発電炉のための原子力エンジニアや研究者の訓練用に建設するものと見られる。アルゼンチンのINVAP社、中国核工業総公司(CNNC)、ロシアのアトムストロイエクスポート(ASE)社を交えた競争入札の結果、韓国原子力研究所(KAERI)と大宇建設の連合が来年から首都アンマンの北70kmのラムサ市近郊にあるヨルダン科学技術大学(JUST)で出力5MWの新型中性子束応用炉(HANARO)の建設を開始し、2014年

の完成を目指すことになった。契約総額は約2,000億ウォン(約1億7,300万ドル)と伝えられており、今年3月に正式調印される。

韓国が国産炉を輸出するのは初めてのこと。出力30MWで開発したHANAROをヨルダン用の5MWにスケールダウンして建設する。韓国・教育・科学技術省によれば、HANAROの技術はほぼ100%同国の独自開発によるため、他の原子力先進国との原子力協定に支障を来す心配はないという。

米仏やロシアなどの有力メーカーが競合する大型商業炉市場に比べ、研究炉の建設はニッチ市場のような位置付けだとし、こうした枠組みの中で今後も受注の機会を見出したいとしている。

[ロシア]

ロシアとインドが2国間原子力協定、印ハリプールにも口製PWR

ロシアとの年次定例会合のためモスクワを公式訪問していたインドのM・シン首相は昨年12月7日、D・メドベージェフ露大統領と共同声明を発表し、両国が民生用原子力の平和利用分野で2国間の枠組み協力協定を正式に締結したことを明らかにした。インド国内でロシア型PWR(VVER)設置用の新たなサイトも明示されたことから、今後、さらに多くのロシア製原子炉と核燃料がインドに輸出されることが確実となった。

インドでは現在、1988年に締結された既存の協力協定の下で、2基の100万kW級VVERがクダンクラム原子力発電所で建設中。昨年12月に両国は、同サイトにVVERを4基増設することで合意に達していたが、今回の枠組み協定締結により、クダンクラムの4基のほかに、新たなサイトである西ベンガルのハリプールでもVVERが建設されることになった。両国はまた、原子力研究開発の共同実施や原子燃料供給協定の設定などで一層緊密に連携していくとしている。

[スロバキア]

ボフニチェ5号計画でJV発足へ

スロバキアの経済省は昨年12月9日、国営のバックエンド企業であるヤピス社とチェコ電力(CEZ)

の合併企業である「JESS 社」の設立を承認した。欧州委員会(EC)はすでに昨年11月に同社を承認しており、JESS 社はスロバキアのボフニチェ原子力発電所で5号機の増設・運転担当会社として、建設計画を加速していく見通した。

JESS の設立については1昨年5月、ヤビス社とCEZ 社が株主間契約を締結し、株式の51%をヤビス社が、残りの49%をCEZ 社が保有。経済省によると、ボフニチェ5号機の建設はスロバキアの歴史においても最大規模の投資事業で、同国のエネルギー自給率向上に重要な役割を果たす。経済危機下での投資とはいえ、新たな雇用の創出が可能になるほか、直接的、間接的な税収と企業配当金が見込めることから、JESS 社の設立を承認したとしている。

ボフニチェ原子力発電所では、スロバキアが欧州連合に加盟する際の条件として、旧ソ連製の古いPWRである1,2号機(各44万kW)が2006年と08年に閉鎖。現在、3,4号機(旧ソ連製PWR, 44万kW×2基)のみが稼働している。5号機については、2010年中に実行可能性調査を実施、13年頃に出力100万~160万kWの西欧製原子炉の建設を開始し、20年の完成を目指す計画だと伝えられている。

[フランス]

アレバ社がアルストムに送電部門売却へ

仏アレバ社は昨年11月30日、同社の送配電機器部門であるアレバT&Dの売却で国際競争入札を実施した結果、仏国のタービン機器メーカーであるアルストム社とシュナイダー・エレクトリック社の企業連合と独占的に交渉を行うことになったと発表した。

この入札には、仏企業連合のほかに米ジェネラル・エレクトリック(GE)社、および日本の東芝と産業革新機構(INCJ)。日本政府が昨年7月に設立し

た投資ファンド)の連合が応札。東芝らが最高価格の約50億ユーロを提示したと非公式に報じられていたが、仏国政府が株式の約9割を所有するアレバ社の1部門ということで、欧州の従業員や事業所の処遇等売却条件を考慮した結果、あえて国内企業を選択したとの見方が有力だ。

アルストム社らが提示した価格は株主価値で22億9,000万ユーロ、企業価値換算で40億9,000万ユーロ。アレバ社によると、3つの企業連合はいずれも同程度の価格を提示したと説明しており、同社が5年前に同事業で支出した価格の4倍ほどだという。

[米国]

NRC 委員にオステンドルフ氏

米国のB・オバマ大統領は昨年12月10日、昨年10月に辞意を表明していた米原子力規制委員会(NRC)のD・クライン委員の後任として、全米アカデミーで科学・工学・公共政策理事および地球科学技術評議会理事を務めているW・オステンドルフ氏を指名した。上院の承認が得られ次第、クライン委員は2011年6月末までの任期満了を待たずに退任する。

オステンドルフ氏は米海軍兵学校でシステム工学の学位を取得したほか、テキサス大およびジョージタウン大で法学の学位を取得。1976年から2002年まで米海軍士官として攻撃型潜水艦隊の指揮をとる。2003年から07年までは、米エネルギー省(DOE)の原子力防衛活動に監視責任を負う下院軍事委員会・戦略兵力小委員会付きの理事兼弁護士となった。その後、今年の4月までは国家核安全保障局(NNSA)の首席副長官を務めていた。

米原子力エネルギー協会(NEI)は同日、「高度に技術的で制御された原子力環境においてもオステンドルフ氏の広範な経験が如何なく発揮されるだろう」とし、歓迎の意を表明した。

我が国の最先端原子力研究開発

シリーズ解説 第18回

原子力施設の地震に対する安全性

実験とシミュレーションによる実現象の再現と予測

(財)電力中央研究所 平田 和太, 矢花 修一, 酒井 理哉

近年、設計地震動を上回る地震動が原子力発電所敷地内で観測された事例が、新潟県中越沖地震をはじめ、いくつか報告されている。そのような場合でも、構造物、施設には損傷が生じたとしてもほとんどの場合、軽微なものに止まっている。構造物、施設がどの程度の強さの地震動にまで耐えられるのか、最終的にどのように破壊していくかといった地震時の終局挙動の把握は、原子力施設が設計地震動あるいは実際に発生した地震動に対して有する耐震余裕や耐震安全性を定量的に評価する上での重要な課題となっている。本稿では、原子力施設が設計地震動を上回るようなレベルの地震動を受けた場合の現象の再現性や裕度評価を最新の実験手法、シミュレーション手法によって行った例をいくつか紹介する。

I. はじめに

地震国である我が国においては、地震に対する原子力発電所の安全性の確保は最重要課題の一つに位置付けられている。また、原子力発電所に対する国民の合意形成の上でも、耐震安全性に対する説明性の向上は重要な課題となっている。兵庫県南部地震以降、国レベルでの地震防災研究や地震防災施策の見直しが行われ、2006年9月には「発電用原子炉施設に対する耐震設計審査指針」の改訂版が原子力安全委員会により定められている。耐震指針改訂を受けて現行プラントの耐震バックチェックが実施されているが、2007年に発生した新潟県中越沖地震では、東京電力柏崎刈羽発電所において設計時の想定を大きく上回る地震動が観測され、安全上の影響はなかったものの発電所に大きな影響を及ぼしたことは記憶に新しい。この地震による地震動および施設への影響については地震後に精力的な調査、検討が行われ、それによって得られた新たな知見や教訓は、今後の原子力発電施設の耐震安全評価に反映されようとしている。

原子力施設の耐震関連研究は広い範囲に及ぶものであ

*Safety of Nuclear Facilities Against Earthquakes—
Reproduction and Prediction of Real Phenomena Through
Experiment and Simulation*: Kazuta HIRATA, Shuichi
YABANA, Michiya SAKAI.

(2009年 12月21日 受理)

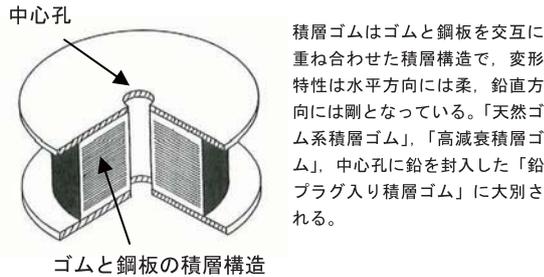
あるが、電力中央研究所(以下、電中研)ではこれらのうち、地質(活断層)、地震動(震源モデル、地下構造)、地盤(基礎地盤、周辺斜面)、構造(免震構造、屋外重要土木構造物、容器・配管、輸送貯蔵施設)、津波等についての研究をこれまで行ってきており、これらの研究成果は、原子力耐震に関する各種学協会指針にも反映されている。本稿では、これらの中から最近注視されている原子力耐震の課題について、電中研がかかわってきたものをいくつか紹介することにする。

II. 免震構造

免震構造は、建物や機器類の下部または中間層などに免震装置を設置して、対象物の振動周期を長周期化することで、地震動による共振を防ぎ、対象物に作用する地震力を低減するものである。地震動の性質などにもよるが、従来の建物に比べ、水平応答加速度を1/3~1/5程度に低減することが可能である。免震装置としては、積層ゴムとダンパーの組合せが一般的に用いられている。免震構造はすでに一般建築などでは普及段階に入っているが、我が国における原子力発電所に対しては、2006年の耐震設計審査指針の改訂で“剛構造規定”が撤廃されており、規制上からも導入が可能となっている。

1. 原子力免震システムの確証試験

電中研では、電力施設、特に原子力施設を対象とした



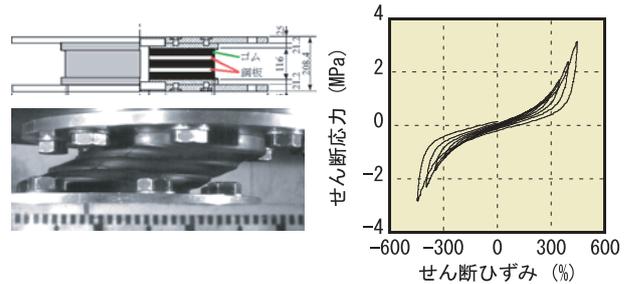
第1図 積層ゴムの構造

免震構造に関する研究にいち早く取り組み、種々の成果を上げてきた。1986～1996年には、通商産業省(当時)の「高速増殖炉技術確証試験」の一環として、水平免震構造適用に向けての研究を実施した。当時はまだ免震装置として用いられる大型積層ゴム(第1図、原子力用としてはゴム部直径1,600 mm程度、設計支持荷重500～1,000 トンを想定)の力学特性について十分な把握がなされておらず、天然ゴム系積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴム、高減衰積層ゴムを対象として、積層ゴムの設計レベルの変形域から破断域にわたる力学試験を実施し、数多くの貴重なデータを取得した。

積層ゴムは、ある水平変形レベルまでは荷重-変位関係は線形であるが、線形限界とよばれる変形レベルを超えると、剛性が急激に増加する(硬くなる)ハードニング特性を示し、さらに変形すると破断する。これが破断限界であり、鉛直応力が圧縮域ではせん断ひずみ450%程度で破断し、引張り域では引張り応力が大きくなるに従って破断せん断ひずみが低下することが明らかとなった。上記のような免震装置の力学特性試験のほか、長周期地震動に関する検討や免震構造の全体挙動についても振動台試験や解析、免震構造における品質管理・維持管理などの検討を実施した¹⁾。その後、これらの結果に基づいて、2000年には日本電気協会の「原子力発電所免震構造設計技術指針 JEAG 4614-2000」が策定されている。

2. 3次元免震システムの開発

前述の免震構造は、水平地震動を対象にその地震力を低減する「水平免震」方式であったが、その後、原子炉建屋に設置される機器のより一層の設計合理化に向けて、上下地震力も低減する3次元免震の開発が研究課題として挙げられるようになった。3次元免震の方式を大別すると、建屋全体を免震化する建屋3次元免震方式と、建屋全体は従来の水平免震方式とし、上下地震応答の低減が必要な機器のみを上下免震とする建屋水平免震+機器上下免震がある。電中研では、構造がシンプルで導入のハードルが比較的低いと考えられる厚肉積層ゴムを用いた建屋3次元免震システムを提案している。厚肉積層ゴムは、従来の水平免震用の積層ゴムと同等の水平性能を持たせながら、ゴム1層の厚さを厚くすることで上下剛性を下げた免震装置である(第2図)。厚肉積層ゴムによ



第2図 3次元免震に用いる厚肉積層ゴム

る3次元免震の上下固有振動数は4 Hz程度であり、空気ばねを用いた方式に比べ上下地震力を低減できる振動数域は狭いものの、主要機器の固有振動数域での地震力低減は十分に期待できるとともに、ロッキング振動も小さく対応は不要である。また、厚肉積層ゴムのみで水平・上下両方向に免震効果を発揮することから、機構的に単純で保守性にも優れている等の利点がある。

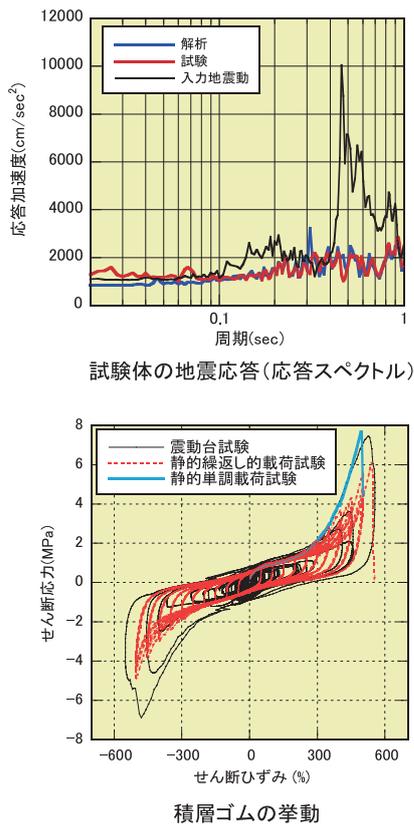
厚肉積層ゴムの力学特性試験の結果、厚肉積層ゴムの水平方向の力学特性は、水平免震用の積層ゴムとほとんど変わらず、破断限界もほとんど差はないことが確認されている。上下固有振動数は設計目標値である4 Hz以下をおおむね満足するものが製造可能で、想定した3次元免震システムについて実現の見通しが得られている²⁾。このほか、3次元免震の導入による機器設計合理化効果の評価、振動台試験による3次元免震効果の検証やシミュレーションなども行われている。

3. 免震構造の終局挙動試験

原子力施設に免震構造を採用するにあたっては、今後、その耐震裕度評価や地震リスク評価が求められることが予想される。それらの評価を行うためには、積層ゴムの破断に伴う免震構造の地震時終局挙動を把握することが重要となる。2008年に日本原子力研究開発機構からの委託により、電中研は防災科学技術研究所の世界最大の震動台(E-ディフェンス)を使用して大規模な免震構造(水平免震)の終局挙動把握試験を実施した(第3図)。600 tonの上部構造を直径505 mmの鉛プラグ入り積層ゴム6体で支持する試験体を作製し、暫定的に設定した設計地震動の加速度振幅を拡大した地震波を入力するこ



第3図 震動台上の大型水平免震模型



第4図 大型水平免震模型の終局挙動

とで、積層ゴムのハードニングによる応答増幅、上部壁構造の非線形挙動および積層ゴムの破断といった一連の終局挙動を把握した(第4図)。想定した設計地震動の4倍以上の加振レベルで積層ゴムは破断したが、破断に至るまでの耐震裕度、破断時および破断後の応答特性に対する貴重なデータが得られており³⁾、今後、終局域での免震構造物(免震装置、耐震壁)のシミュレーション手法の高度化や耐震裕度評価への反映が考えられている。

Ⅲ. ハイブリッド動的力学試験

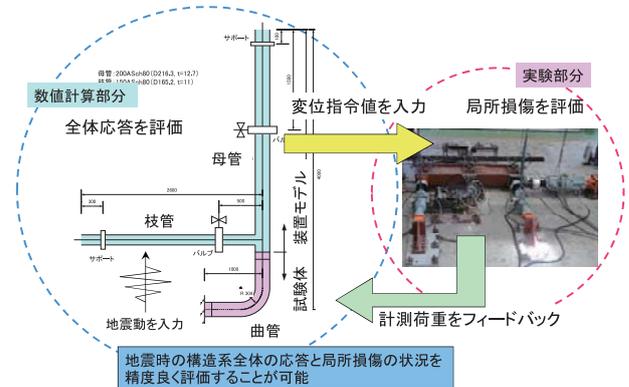
原子力施設の耐震安全評価や耐震設計手法を構築するために、大型の容器や機器配管の模型を作製し、振動台を用いた振動実験が行われてきた。振動台実験においては、各種連成挙動を考慮して終局的な耐震強度まで評価することが要求されている。しかしながら、振動台のテーブルサイズと加速度の加振限界、模型の境界条件によるモデル化の制約が存在し、また、縮小模型によるスケール効果などにより、実際の応答挙動を再現できないなどの限界が指摘されている。

一方、構造物単体の力学的挙動を評価するために、対象構造物の一部分をモデル化して、載荷実験を行い、荷重変形特性を求める評価も数多く行われてきている。これらの部材モデルの載荷実験では、各種連成挙動を考慮した構造系の評価を直接行うことはできない。このような技術的な課題を克服する方法として、構造物の一部分

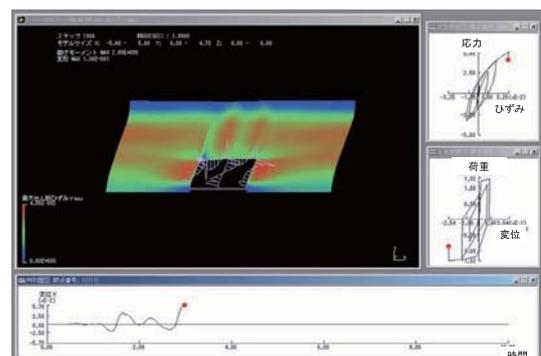
について実大規模の模型を用いた載荷実験を行い、構造系全体に数値解析を適用し両者を連携することにより、地震動の慣性力による動的荷重を考慮するハイブリッド実験(仮動的実験)がこれまでに提案されている。

1. ハイブリッド動的力学試験システムの開発

ハイブリッド実験は1970年代から研究が進められ、ばね-質点系の数値モデルと力学実験の連携による地震応答評価が実現されてきた。これら既往のハイブリッド実験方法は、計算機の演算性能の制約により数値モデルの自由度が限られており、連携する力学実験は制御機構が単純な載荷条件の下でのみ実現していた。より高精度な地震応答評価を実現するためには、数値シミュレーション部分には非線形多自由度を考慮するための改良が、力学実験部分には多様な載荷機構の適用が必要となる。電中研では、複数の加振機を組み合わせる運動学処理に基づく多軸載荷機構(加振機相互の干渉を排除するための幾何学演算に基づく載荷制御)による力学実験と、非線形多自由度有限要素法による数値解析を連携させることにより、地震荷重による構造物の終局的な応答挙動まで評価できる耐震試験システム「ハイブリッド動的力学試験システム」の開発を行い⁴⁾、実用化を進めてきた(第5図)。ハイブリッド試験システムは、①数値解析モジュール、②試験モジュール、③監視モジュール、④可視化モジュールの4つのモジュールより構成される。第6図は本システムの可視化モジュールで表示される地盤および



第5図 ハイブリッド地震応答実験の概念



第6図 ハイブリッド地震応答実験の可視化

地中構造物の変形図, ひずみコンター図であり, 数値解析結果と実験計測データを統合してコンピュータグラフィックにより表示することにより, 地震荷重に対するモデルの全体応答の把握が容易に行えるようになっている。

2. 配管エルボのハイブリッド地震応答実験

ハイブリッド動的力学試験システムの適用事例として, 減肉した配管系のハイブリッド地震応答実験について紹介する。

減肉加工した配管エルボを試験体とし, 直管・枝管・バルブ・サポートなどを数値モデルとして設定した配管系のハイブリッド地震応答実験を実施した⁵⁾(第5図, 第7図)。実験は健全管, 全周減肉および部分減肉を考慮した条件で実施した。全周減肉のケースでは, エルボ横腹に低サイクル疲労によるき裂が貫通した。一方, 健全管および部分減肉エルボにおいては, 全周減肉エルボの倍以上の80秒を超える加振でも損傷は生じず, 部分減肉エルボは断面の減少により剛性は低下するものの, 地震荷重による低サイクル疲労損傷に対しては影響が小さいとの結果が得られている。このように, 減肉した配管の耐震評価において, 全周一様に減肉する条件では保守性が含まれることが明らかとなり, 減肉配管に対する評価法の合理化の可能性が示された。

IV. タンクの耐震解析

大地震の発生に対処する必要のある我が国のプラントにおいては, タンクのような薄肉構造物の地震時健全性の評価や耐震裕度の把握は重要な項目の一つである。

電中研では, 「高速増殖炉技術確証試験」の一環として, 薄肉構造物の座屈評価に関する研究を実施した。ここでは比較的薄肉の円筒容器である原子炉主容器を主な対象として非線形応答の効果を考慮した地震時座屈評価技術の開発のための種々の実験, 解析を行った。また, 流体連成効果(容器内流体と容器が互いに及ぼす影響)を考慮した地震時弾塑性座屈現象を効率的に解析するために, 軸対称要素を用いた流体連成動的座屈解析コードを開発した。以下では, 開発したコードとタンクの地震時

挙動解析例を紹介する。

1. 流体連成動的座屈解析コードの開発

鋼製円筒容器の地震時の座屈や振動を解析するためには, 材料非線形(弾塑性), 幾何学的非線形(大変形), 流体連成を考慮した時刻歴解析, 座屈固有値解析を備えた解析コードが必要となる。これらを含めた一般シェル要素を用いた地震応答解析は, 自由度数も計算量も大きく, 実用性に問題があった。そのため, 軸対称要素を用いて自由度と計算量を削減できるコードを開発した⁶⁾。本コードは軸対称要素を採用することにより, 解析対象構造が軸対称形状のものに限定されるという制約が生じるが, 変形を周方向にフーリエ展開するため, 局所不安定現象に支配されにくく, 動的解析を安定して実行しやすいという利点を有している。

2. 鋼製円筒タンクの地震時座屈挙動解析

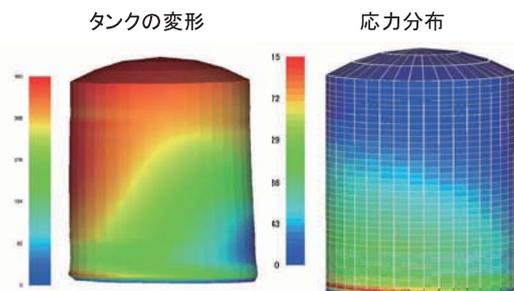
新潟県中越沖地震においては, 東京電力の柏崎刈羽原子力発電所の一部の屋外鋼製タンクの基部に座屈変形が認められた。地震時の座屈, 変形挙動を明らかにする目的で流体との連成を考慮した弾塑性大変形時刻歴解析を実施した。上述の軸対称要素を用いた弾塑性大変形流体連成座屈解析コードを用いて, 水平動, 上下動の同時入力による時刻歴解析を行った結果, 実際のタンク被害に対応して, タンクの基部の象脚変形(地面の固定端付近の側板が膨らむ変形)が発生することが確認された(第8図)。解析により得られたタンク頂部および側板部の変位履歴に基づいて詳細に分析した結果, まず, 円筒下部の象脚変形が発生し, 次に, その後の主要動部の入力に継続する時点まで変形が進展していくことが確認され, 象脚変形は座屈を伴う塑性変形の累積により発生したことが明らかになった⁷⁾。

V. 溢流を伴うスロッシング挙動評価

近年, 長周期時地震動による石油貯蔵タンクに見られたスロッシング(液面揺動)被害を踏まえ, 電中研では波高が増大して溢流を伴うような非線形スロッシング評価を目的としてVOF (Volume of Fluid)法に基づく流体解



第7図 試験体(配管エルボ)

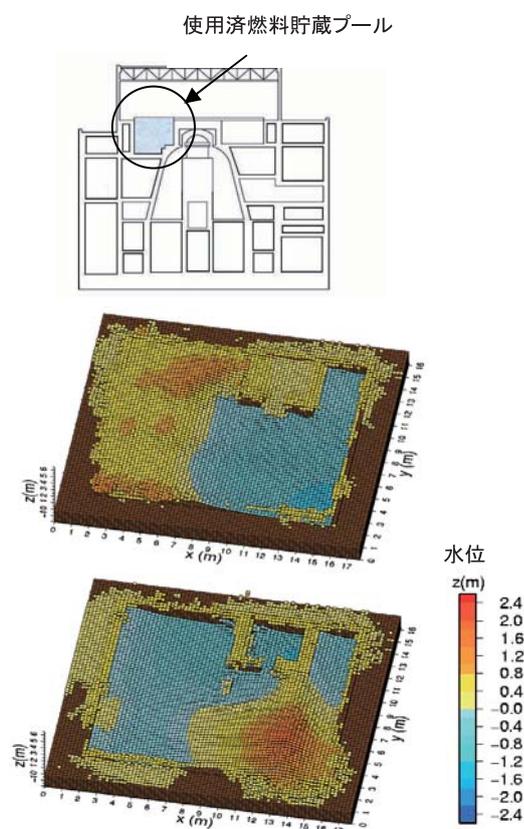


第8図 鋼製円筒タンクの地震時座屈挙動解析

析コードを開発し検証を行ってきた。新潟県中越沖地震の際に原子炉建屋の使用済燃料貯蔵プール(以下、燃料プール)の内容水が、スロッシングによりオペレーションフロアに溢れ出す事象が報告されており、映像記録としても収録、公開されている。詳細な自由液面挙動を数値解析的に把握するため、電中研で開発された3次元流体解析コードにより溢流を伴うスロッシングのシミュレーションを行った。オペレーションフロア上の観測地震波3成分(南北、東西ならびに上下方向成分)の同時入力による時刻歴応答解析を実施した。燃料プール内容水液面での三角波の発生位置、溢流発生箇所は映像記録とも整合しており、内容水の溢流を伴う時々刻々のスロッシング挙動を、3次元可視化画像により再現することができた⁷⁾(第9図)。

Ⅵ. 今後の展望

耐震工学の発展には、実験、シミュレーション、観測(被害事例の調査、分析を含む)の3者が欠かせない。原子力施設の耐震分野においても、これまでに様々な実験やシミュレーションが行われてきているが、これらに加えて、大地震時の観測事例に基づく実現象の分析・評価



第9図 使用済燃料プールの溢流解析

を通して原子力施設の耐震安全性に関する評価手法の高度化や説明性向上を図っていくことが重要と考えられる。

—参考資料—

- 1) 平田和太, 矢花修一, 大鳥靖樹, 石田勝彦, 澤田義博, 塩尻弘雄, 松田泰治, 高速増殖炉免震設計法に関する研究, 電中研総合報告U34, (1998).
- 2) 矢花修一, 松田昭博, 厚肉積層ゴムを用いた建屋3次元免震システムの設計法に関する研究, 電中研報告U02044, (2003).
- 3) 北村誠司, 森下正樹, 矢花修一, 平田和太, 他, 大型震動台を用いたFBR水平免震システムの終局挙動把握試験 その1~6, 日本建築学会大会学術講演梗概集B-2, (2009).
- 4) 酒井理哉, 大友敬三, 萩原 豊, 堂菌美礼, 福山満由美, 堀内敏彦, 今野隆雄, 非線形有限要素解析と載荷試験の連携によるハイブリッド耐震試験手法の開発, 日本機械学会 MOVIC 2005講演論文集, (2005).
- 5) 酒井理哉, 佐藤雄亮, 松浦真一, 稲田文夫, 減肉した配管エルボの地震応答評価法, 日本機械学会 M&M 2009 材料力学カンファレンス, (2009).
- 6) 松浦真一, 萩原 豊, 酒井理哉, 中村秀治, 軸対称要素を用いた動的座屈解析コードの開発(その2), 流体連成動的座屈解析コードの開発, 電中研報告, (1994).
- 7) 電力中央研究所 地球工学研究所・環境科学研究所, 研究概要 2008年度研究成果, (2009).

著者紹介

平田和太(ひらた・かずた)



電力中央研究所
(専門分野/関心分野) 構造物の地震リスク評価

矢花修一(やばな・しゅういち)



電力中央研究所
(専門分野/関心分野) 電力施設の耐震・免震設計技術

酒井理哉(さかい・みちや)



電力中央研究所
(専門分野/関心分野) 実験とシミュレーションの融合, 可視化

カオス現象の解説と一提言

早稲田大学 理工学術院 上田 暁亮

I. はじめに

カオス現象が脚光を浴びて以来、およそ35年が経過した。現象の存在を示唆する、力学系研究(時間の経過に伴う状態の移り変わりを追及する学問分野)の起源は19世紀末のポアンカレの研究にさかのぼる。その後、この現象に関連する研究は、アメリカ合衆国では数学者パーコフやレヴィンソンによって継承されたが、彼らとともに20世紀の初期に途絶えた。

一方、ソヴィエト連邦ではアンドロノフ、ポントリヤギンほか、錚々たる研究者達によって綿々と地道な研究が継続され現在に至っている。ソヴィエト連邦における研究は非線形振動の研究といった方が適切である。

合衆国では1960年代に入って以来、スモールやアブラハム達によって再開され現在に至っている。これらの研究は、数学的なものが多く、数理物理学においても理論的なものがほとんどであった。

わが国では現在の電子情報通信学会(当時は電気通信学会)内に非直線理論研究専門委員会が高木純一、後藤以紀、林千博達によって1951年に創設された。'50年代後期は電子管式アナログ計算機の勃興期で、自動制御系や非線形常微分方程式のシミュレーションが可能となりつつあった。しかし、汎用のデジタル計算機はなかった。

1959年に学部から大学院へ進学した筆者がアナログ計算機実験で得ていたデータが現実の物理系において観測・記録された最古のカオス現象といわれており、このオリジナル・データは米国のブルックヘブン国立研究所に保管されている(BNL Photo. Div. No.1-380-90)。記録紙には日付 '61. 11. 27が記されていた。

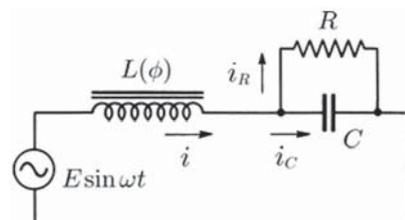
実験内容は、発振回路(自励振動系)に固有の発振周波数と異なる周波数を持つ信号を(発振回路に)注入した時に生じる同期現象に関連したもので、主として同期の外れた唸り振動の解析であった。注入信号を同期領域の内

部から外部へ変化させた時、振動系を模擬するアナログ計算機の出力を、ストロボ観測(周期は注入信号と同じ)によりプロットを行ったデータが、記録紙に“割れた卵”形状を描出した。系の構成およびパラメータ値の選択は同期化の機構“引き込み”と“抑制”間の移り変わりを解明する目的によって決められた。

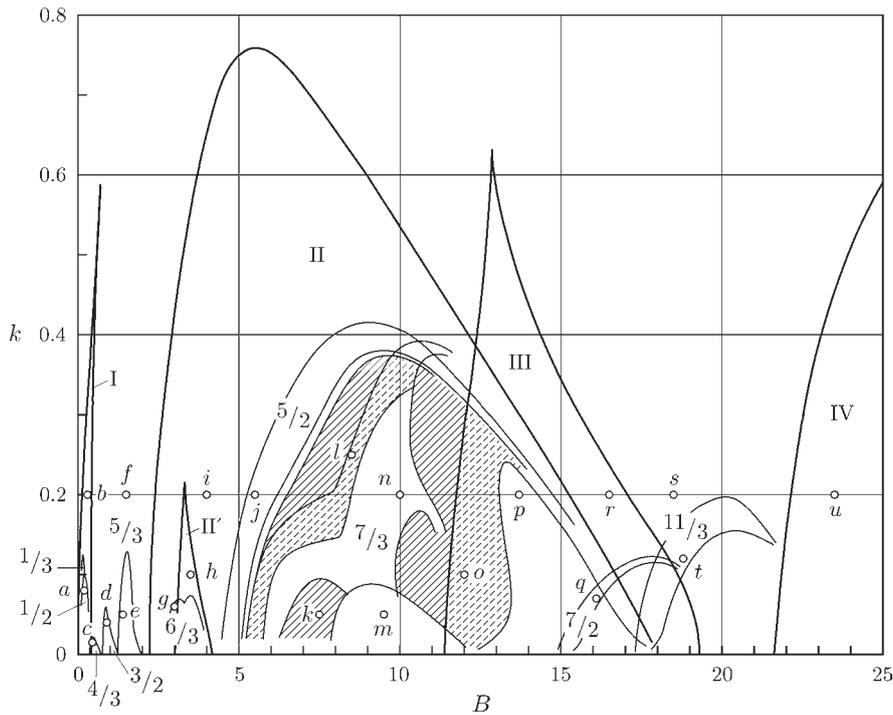
前置きはこのくらいにして本題カオス現象に入る。割れた卵アトラクタに関連する資料で説明を行いたいが、説明用の図が分かりやすいので、鉄共振回路に生じるカオスでジャパニーズ(ウエダ)・アトラクタと呼ばれているものを例に挙げて解説を試みる。割れた卵アトラクタ関連事項は文献1), 2)を参照されたい。

II. 直列共振回路(インダクタンスは非線形特性)に観測される振動現象

第1図の電気回路は可飽和インダクタンス(図中の二本線は鉄心)を含んでいるため、線形回路においては観測することのできない興味深い種々の現象が現れる。例えば、電圧源の周波数を60 Hz、すなわち、 $\omega = 120\pi$ [rad/s]とし、振幅 E [V] を変化(増加)させれば、振幅の小さな(非共振)電流 i [A] が流れるが、これがある E の値(臨界、限界、分岐などと呼ばれる)において不連続的に跳躍し振幅の大きな(共振)電流が流れる(跳躍現象)。この状態から逆に、振幅 E を減少させればこの共振状態が持続し、非共振状態から共振状態へ跳躍した E の臨界値より小さな E の値において、共振状態から非共振状態へ跳躍する(飛び降りる)。つまり、ヒステリシス(履歴)現象が観られる。この現象は鉄共振現象として知られており、電力事業の黎明期に電力回路における変圧器



第1図 可飽和インダクタンスを含む直列共振回路



第2図 方程式(1)によって表される系に生じる各種定常振動の発生領域(分岐集合)

焼損事故の原因であった。電力機器には鉄心が多用されているが、これらの機器は非共振状態において動作するように設計されることが原則である。

ここに述べた現象では、第1図の回路に流れる電流 i の周波数成分は、非共振状態では60 Hz 成分のみといっても過言でない。しかし、共振状態では60 Hz のほかに、180 Hz, 300 Hz, …の高調波成分が僅かながら含まれる。電力工学において、これらは正弦波が歪む、と呼ばれてきた。

第1図の回路において、回路定数や初期値に依存して60 Hz のほかに、20 Hz あるいは30 Hz 成分を顕著に含む電流 i が流れることもある。このような現象は分数調波振動と呼ばれる。先の鉄共振現象に述べた以上の電圧 E を加えれば(印加すれば)高調波成分を顕著に含む電流 i が流れる。現実の回路実験を試みるなら、相応の対策(定格)を講じておかねばならない。

一般に E を大きくするに従って、 m/n 調波振動が生起する。これは60 Hz の $1/n$ 調波振動を基本とした顕著な m 倍高調波を含む振動を意味し、例えば、 $5/2$ 調波振動は150 Hz 成分が顕著なものを言う。 m あるいは n のいずれかが偶数の場合は直流成分および偶数次調波成分が含まれるが、常に強制振動の60 Hz 成分が存在することはいうまでもない。第1図の回路の動作を記述する方程式は、可飽和鉄心の磁束・電流(飽和)特性を磁束の履歴現象を無視し、原点を通る3次曲線で近似した場合は次式となる。現実の鉄心はより複雑であり、数式も複雑となる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= y \\ \frac{dy}{dt} &= -ky - x^3 + B \cos t \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、変数 x は鉄心中の磁束を、 y はインダクタンス端子間の電圧を、 k は回路に内在する損失を表す減衰定数を、 B は E を、正規化した定数を表している。

方程式(1)は決定論的(不確定性を持つパラメータを含まない)方程式であるため、この式によって表される現象は未来永劫に予測可能な秩序現象のみと見なされてきた(確定系と確率統計系間の乖離概念)。

これらの、 k および B の値は回路を造るときに設計値として与えられる(あるいは、素子の特性によって定まる)。また回路が動作中に値を変化させることができるものもある。それゆえ、これらの定数はシステム、あるいは制御パラメータと呼ばれる。

本解説では方程式(1)を鉄共振回路をもとに導いたが、この型の方程式は非線形復元特性を持つバネの振動系をはじめ、多くの分野に現れる強制振動現象を記述したもので、非線形(動)力学における最も簡単かつ代表的な方程式として知られている。したがって、第1図の回路には(必ずしも)とらわれずに、以下に方程式(1)によって表される(正確には、近似される)物理系に生じる現象の全容を説明する。

そのためにアナログ計算機を用いて、方程式(1)の計算機解(アナログ計算機の出力電圧)を永年にわたって追跡して描いた(k, B)チャートを第2図に示す。すなわち、方程式(1)のパラメータ(k, B)がどこにあれば、どのような定常振動が観測されるか、が描かれている。す

なわち、図中の各領域内に記した m/n は、その領域内において m/n 調波振動が発生することを示している。非線形力学ではこれらの領域の境界線を分岐集合と呼び、パラメータ (k, B) を分岐集合を横切るように変化させた場合、系に定性的に性質の異なる振動現象が出現する(分岐現象)。この図ではカオス領域、つまり、この領域内にパラメータ (k, B) を設定すれば、カオス現象の生じる領域は斜線を施して描かれている。斜線が点線となっている領域においては、秩序現象とカオス現象が共存する。図中の点アルファベット(a) - (u)における定常現象の軌跡一覧は文献1)にある。秩序・カオス現象が共存する場合、各アトラクタの引力圏を現した相肖像図などについても文献1)を参照されたい。

方程式(1)は決定論的(解に不規則性の入り込む余地のない)方程式であるため秩序領域が広いのは当然であるが、カオス領域も、無視されるように狭いものでなく、非線形振動現象の一形態であることを誇示している。

Ⅲ. カオス発生機構の核心

方程式(1)は決定論的な方程式であり、解に不規則性が入り込む余地はなく、方程式(1)の解は常微分方程式論における“解の存在と一意性”の定理によって保証されている。

しかるに、カオス現象が観測されるとはいかなることか!、といったもっともらしい疑問が席卷し、説明を聴こうとするよりは、胡散臭いこと、とみなされ続けて来たのが実情である。恐らく、ここまで読み進んで下さった読者諸賢のほとんども、同じ疑問を抱いておられるのではないだろうか。

ここで、本解説でのカオス現象を“非線形の確定系(決定論的な系)に生じる不規則(確立統計的性質を顕す)現象”と定義しておく。

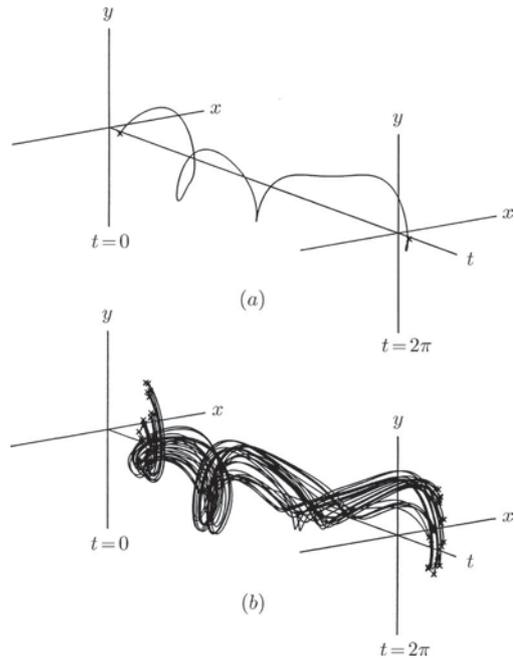
カオス現象(振動)は上記の、常微分方程式の一連の基礎定理に矛盾するものではなく、系の定常状態を表す、決定論的方程式の(厳密)解の大域構造によって現れる。紙面の制約上丁寧な解説はできないが、その発生機構は下記のように要約される。

秩序現象は定常状態を表す単独の定常解(主として周期解)によって表される。当然、この定常解は漸近安定性を持っており、動作点は解曲線に沿って運動する。

動作点とは、ある時刻における物理系の状態を表す (x, y) -平面上の点をいう。漸近安定性とは、谷底に沿って運動会の玉転がしを行った状況を想定すれば、微風(外乱, 擾乱)などの影響を受ける玉は谷底に沿って運動することに比喩すれば、容易に理解されよう。

ところが、カオス現象は無数個の定常解(主として、鞍型不安定周期解)の束(集合)によって表される。

方程式(1)の定常解とは、詳しくは、方程式(1)の周期性を利用して定義される写像の極小集合(定常解の最



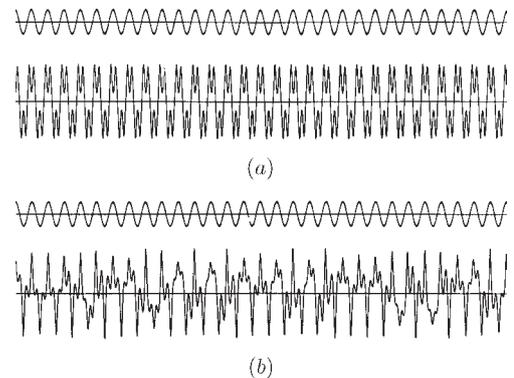
第3図 定常解を表す解曲線
(a)秩序現象, (b)カオス現象を表す解曲線の束

小単位)によって表される解をいう。不安定な(定常)解とは、上述の玉ころがしを尾根道(稜線)において試みる状況を想定すれば直観的に理解されるだろう。

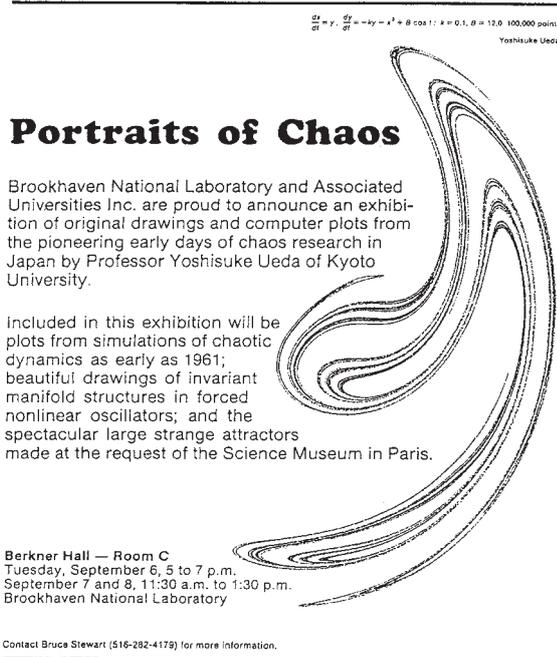
第3図はパラメータ (k, B) をカオス領域と秩序領域が重なっている点線斜線の領域内に設定した時に観測される(計算機)定常解曲線を表わしている(第2図(o)点)。方程式(1)の 2π 周期性から時間軸は区間 $[0, 2\pi]$ のみを描いた。長時間の t に関する時間経過は、この図を前後に 2π 並行移動したものを連結すればよい。第4図は対応する振動波形である。図中(a)は三倍高調波振動(秩序現象)を(b)はカオス振動を表わす解の束(現実には無限本)に対応している(束が漸近安定性を持つ)。

この例題系に秩序現象が現れるか、カオス現象が現れるか、は初期条件に拠る。

物理系の時刻 t における状態(動作点 (x, y))は方程式



第4図 アナログ計算機の実出力振動波形
(a)三倍高調波振動, (b)カオス振動



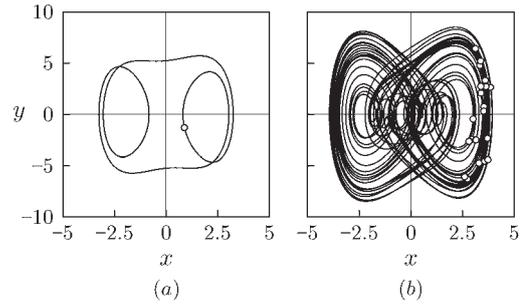
第5図 カオス・アトラクタ，すなわち解の束の初期値集合（このアトラクタは中央部に在る鞍形不動点の出集合の閉包で与えられる。この図はBNLにおいて開催された展示会のポスターである(1988)）

(1)の解 (t, x, y) によって近似的に表される。ここで注意していただきたいことは，方程式(1)の厳密解は計算機によって得ることはできないこと，現実の問題において状態変数は常に微小な擾乱(外乱)に曝されていること，および物理系を数式モデルによって表すに際しては各種の近似や仮定が用いられていること，さらにそれらの特性は微小に揺らいでいる(変動している)ことなどである(構造安定問題)。

つまり，物理量は微小な不確定量を伴っており無限桁の実数で表わされる，と言うより有限桁の実数によって(近似的に)表される。

したがって，定常解の構造が(b)の場合は，系の状態を表す動作点 (x, y) は過渡状態終了後，解の束に属す一本の解曲線に沿って短時間しか運動することができず，微小な不確定量の影響により解の束に属す定常解曲線相互の間を永遠に彷徨し続けざるを得なくなる。解の束に属す任意の近接した二本の解曲線に着目すれば，これらを微視的(局所的)に見れば，これらは現実に指数関数的に離れていく(初期値鋭敏依存性：厳密解と計算機解を混同した記述であり，かつ長時間に対しての記述でないことに，ご注意ください)。

つまり，定常状態を表す解の(大域)構造に由来して，現実に見られる動作点の運動は確率統計的な性質を示さざるを得なくなる。ところが，観測されるカオス振動の確率統計的な性質(例えば，時系列解析)は系に作用する微小な不確定量の性質にはほとんど依存せず，定常解の束を構成する無限個の解曲線の性質が現れているものと



第6図 計算機解の軌跡とストロボ観測点

判断される(実験的根拠に基づく推測)。

筆者は現実の動作点が束に属する極小集合(異なった周期を持つ周期解曲線)間を遊走し続ける振動現象を不規則遷移現象と呼んだ。第5図は，第3図(b)の解曲線の束の時刻 $t = 2n\pi$ (n :整数)における断面を表しており， (x, y) -平面上を運動し続ける動作点をストロボ観測(ストロボ位相はゼロ)によって描画したものである。動作点の運動とストロボ観測点の関係を第6図に示す。図中白丸がストロボ観測点である。第5図のカオス・アトラクタは100,000個のストロボ点を描いたものである。このカオス・アトラクタはフランス高等科学研究所のダヴィド・リュエルによってジャパニーズ・アトラクタと名付けられ，フランス語，英語，チェコスロバキア語によって紹介された(1980.2)。

このカオス・アトラクタの数理構造の詳細は解明され尽くされていない。

カオス現象を理解する核心は，定常状態を表すアトラクタが無数個の不安定極小集合(これらは決定論的に定まる)などによって構成されていることである。第3図(b)を熟視していただきたい。言うまでもなく，動作点が描いた第6図(b)の軌跡は方程式(1)の短時間での近似解であるが長時間では近似解といえない。また，僅かな誤差が増大するとの記述も散見されるが，カオス現象の場合，厳密解を得ることができないため，誤差が増大するという表現は妥当性を欠くのではないだろうか。

筆者は無数個の極小集合(定常解)などが (x, y) -相平面上の有界領域に詰め込まれてアトラクタを構成することが，アトラクタがフラクタル構造となることに密接な関連があるものと想像している。カオス・アトラクタの任意の箇所を直線で切断すれば，裁断線とアトラクタの交点の集合はコントロール集合状となっている。コントロール集合はフラクタル構造の代表例である。

余談になるが，ギリシャ語本来の語義“カオス現象”は自然科学の対象になり得ない。ヨークと李が本来の語義から不規則性のみを抽出して用いたことが(1975)，カオス・ブームをもたらし，多くの人々，のみならず研究者の関心を惹いたことは否めない事実である。

IV. おわりに

カオスについて述べたいことはたくさんあるが、誌面の制約により割愛する。ご興味をお持ちの方は文献1, 2)などを参照されたい。なお、本稿に述べたカオス現象は最も現実世界に近い、つまり実測されるカオス現象の一例と考えている。

森羅万象といえば大袈裟に過ぎるが、カオス現象は定義にもよるが、決定論的な現象の全体を包む風呂敷に相当するものがあるならば、その風呂敷上にあり、理想化された不規則現象、と筆者は考えている。この風呂敷は境界の意味で、その厚さ、構造、性質は想像以外の何ものでもない。

実世界に観測される不規則現象の多くは、カオス以上に解明が困難なものではないだろうか。流体力学における乱流はカオス理論では説明されつくせない厄介な問題のようである。カオスの解説が原子力学会誌にいかに関連するかは、読者諸賢のご判断にお任せしたい。

長期にわたって筆者の研究活動に快適な環境を整え、種々のご配慮を下さる、早稲田大学の大石進一教授に深甚なる謝意を表したい。

本解説の執筆を機会に、以下の提言をもって本稿を締め括りたい。

— 提 言 —

最近エコ、エコ、…がまかり通っており、高額税金が投じられている。しかし、自然科学・技術に関連する仕事に携わっておられる諸賢はどのように感じておられるのだろうか。自然エネルギーは確かにクリーンである。太陽電池などは代表例といえよう。しかし、太陽電池ありきの前提の下での話である。

資源から太陽電池を作る過程において、消費されたエネルギー量を回収する寿命があるのだろうか。保守・性能維持に関する問題は大丈夫なのだろうか。自然科学的エネルギー収支のみならず、重金属の処理に関わる諸問題の広報活動は、控え目に過ぎるのではないだろうか。

筆者は直感的に、国債を子孫に残すのと同じ、あるいはそれ以上の環境破壊・汚染を子孫に残すことを、エコ、エコ、…とやっているように感じられて仕方がない。もちろん、真のエコを心掛けておられる方々には、失礼極まりのない記述であることも承知している。

温暖化・環境問題は深刻である。CO₂のみが問題だろうか。それほど単純な問題でないと感じている。人類のエネルギー総消費量ならびに消費形態を問題にすべきだろう。自然の浄化力に頼る健全な生活は江戸時代にまで

遡らなければならないと聞いている。何よりもエネルギー消費量を減らすことが肝要である。時すでに遅しかもしれないが、継続的な努力を怠ってはならない。

原子力発電の可否についても、己の意見を開陳する知識も信念も持ち合わせていない。ただ、感じられることは廃棄物の処理を子孫に残すという大問題である。これらの問題に対処するための、少数精鋭の人材を地球規模で育成する (IAEA を絶対的強化) 体制の構築が定着できるのであれば、原子力発電は人類の生存を維持し得るエネルギーが確保される唯一の手段でないだろうか。

筆者の持論は“停電の日を創りませんか!”の提案である。地域ごとに予告して輪番制で年に数回実施すれば、国の中枢機関や病院などに備えられている自家発電設備の点検や整備に有効な機会を与えることのみならず、人々にエネルギーの重要性和現状の無駄使いを認識して頂ける最も手っ取り速い省エネ意識の普及、ならびに向上に繋がるだろう。

停電の日を経験し、多くの人々が省エネ意識に目覚め実践すれば、現状のわが国の生活レベルはそれほど変ることなく、10-20%の省エネは、容易に達成されるのではないだろうか。また同時に、自然災害の危機に対処する自衛意識も高まることが期待される。

日本人の“勿体無い精神、節約・儉約精神”を蘇らせて頂きたい。繰り返しになるが、提案“停電の日を創りませんか!”

— 参 考 資 料 —

- 1) 上田院亮, カオス現象論, コロナ社, (2008).
- 2) 京都大学学術情報リポジトリ“紅”:
<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/71101>

著 者 紹 介

上田院亮(うへだ・よしすけ)



1959年京都大学工学部電気工学科卒, 大学院, 助手, 講師, 助教授, 教授(電力系統工学講座担任), 2000年停年退官, 京都大学名誉教授, 公立はこだて未来大学教授(複雑系科学科), 2007年同大学停年退職。2007年4月-早稲田大学理工学術院客員研究員, 2007年9月-理化学研究所客員主管研究員(兼任), 2009年1月- University of Aberdeen (UK), Honorary Professor.

ATOMOS Special

欧州 総括編

世界の原子力事情 第3回

フィンランドの原子力事情

(社)海外電力調査会 東海 邦博

フィンランドは、西欧で原子力発電の新規建設再始動に加えて、高レベル放射性廃棄物処分施設の立地においても他国に先行している。その背景には、地球温暖化問題への対応に加えて、原子力によってロシア依存の脱却を目指すという国際政治事情もある。以下、同国の最近の原子力開発動向を紹介する。

I. 電源開発と原子力発電の現状

1. 原子力は最も重要な電源

フィンランドは化石燃料資源に乏しい人口500万人の小国で、化石燃料はロシア等からの輸入に依存している。エネルギー資源としては、水力、泥炭、森林資源等が存在するが、水力はスウェーデンやノルウェーなど他の北欧の国ほど豊富ではない。そのため、フィンランドは、1970年代の石油危機を契機に石油代替エネルギーとして原子力開発を進めてきた。70年代後半から80年代初めにかけて原子力発電所が建設され、2010年初め時点で合計4基280万kWが運転されている。2008年は220億kWhを発電し、総供給電力量の24.2%を占める。

このフィンランドの原子力発電開発には、冷戦下で同国の置かれた国際政治上の立場が色濃く反映されている。第二次世界大戦でソ連に敗戦したフィンランドは戦後、中立政策を掲げ、西側で唯一対ソ友好政策をとってきた。原子力開発では、スウェーデン・アセアトム社製の沸騰水型軽水炉(BWR, オルキルト1・2号機)に加えて、ソ連製の加圧水型軽水炉(VVER-440/V213, ロビーサ発電所1・2号機)を導入した(計装制御システムは西側製)。

2008年の設備利用率は、ロビーサ1・2号機がそれぞれ86.0%、93.9%、オルキルト1・2号機がそれぞれ93.7%、96.9%と、好調な運転を誇っている。

2. 電力の輸入依存が高率

もちろん、原子力以外の電源も開発されている。水力(電力供給の19.4%)のほかに、天然ガス(12.6%)、バイオ燃料(9.9%)、石炭(9.8%)、泥炭(6.7%)、廃棄物燃料(0.7%)、石油(0.3%)、風力(0.3%)があり、再生可能エネルギーや泥炭などの国内資源を活用した電源の多様化が進んでいる。また、コージェネレーション(電力と熱の同時生産)が盛んである。

しかし、輸入電力の比率が14.8%と高いことがフィン

ランドの弱点であり、化石燃料同様、ロシアからの輸入が大半を占める。

II. エネルギー政策と原子力新規建設動向

1. 西欧での原子力発電開発再始動の先駆けに

実際、フィンランドが西欧で原子力発電の新規建設再始動で先行しているのは、もちろん、地球温暖化対策ということがあるが、このロシア依存の軽減ということが大きい。政府は京都議定書に基づき設定された温室効果ガス削減目標(2010年に1990年水準を維持=0%増。2007年は10.6%増、ただし森林吸収分を含むと0.0%増)の達成、およびさらに長期的な削減を目指し、2001年には「国家エネルギー・気候変動戦略」を策定(2005年、2008年と改訂)し、その中で再生可能エネルギー、コージェネレーションの開発促進とともに、原子力開発の推進を挙げた。

この政策に沿って、現在、テオリスーデン・ボイマ社(TVO)がオルキルトに3号機を建設中である。建設されている炉はEPR(欧州加圧水型炉, 出力160万kW)で、フランスAREVAグループの原子炉メーカーAREVA NP社がフルターンキー契約で受注した(タービンなどはドイツ・シーメンス社)。契約額は30億ユーロ(約4,200億円, 1ユーロ=140円で換算)である。同サイトが選定された理由は、すでに発電所が存在しパブリック・アクセプタンスが良好であることに加えて、高レベル廃棄物処分施設もオルキルト近隣に建設される予定であるため、使用済み燃料の輸送が簡単であることなどが挙げられる。

また、この3号機の建設では、TVOの株主である配電会社や大口電力需要家である製紙会社などが建設資金を拠出し、運転開始後、電力を受け取る形で資金調達し、投資リスクの低減を図ったことも特筆される。

2. 建設工事は大幅な遅れ

この3号機の建設工事は現在、大幅な遅れが生じている。TVOへの引渡しは、当初予定の2009年4月から2012年6月へと3年以上もずれ込む見込みである。原因とし

ては、EPRの初号機であったことに加えて、フィンランドでは35年ぶりの新規建設であったことから、メーカー側や地元下請け企業サイドで、原子炉基礎用コンクリートの品質問題や、機器・設備の製造面で技術的な問題が発生する一方、TVOや規制当局サイドでは、安全審査に予想以上に手間取ったことなどが指摘されている。この遅れによって、建設費用は当初予定より1.5倍以上の53億ユーロ(約7,400億円)に膨らむものと見られており、現在、費用負担を巡って、メーカー側とTVOが係争中である。

3. 事業者はさらに新規建設を計画

このオルキルト3号機の建設遅延にもかかわらず、フィンランドでは、さらなる原子力発電プラントの建設が計画されており、3つのプロジェクトが進行している。

1つは同3号機を建設しているTVOによる計画である。同社は2008年4月、オルキルト4号機(炉型は未定、100~180万kW)の建設に向けて、原則決定(DIP)申請を政府に対して行った。このDIPは建設許可手続きの第1段階に当たるもので、政府から原則的な同意を取り付けるものである。政府から同意を得て、議会が了承して初めて、建設許可の申請ができる。4号機の運転開始は2020年を計画している。

2つ目は、ロビーサ発電所を運転しているフォルトゥム社による計画である。同社は2009年2月、同3号機についてDIPの申請を行った。5つの炉型から決定する予定で、出力は100~180万kWとなる。また、コージェネレーションとする計画で2020年の運転開始を予定している。

3つ目はフェンノボイマ社による計画である。同社はフィンランドの大口電力消費産業需要家や公営電力会社のほか、隣国スウェーデンの電力多消費産業需要家や電力会社も参加する国際的なコンソーシアムで、2009年1月、DIPの申請を行った。3つの炉型を検討中で、出力は150~250万kW(1~2基)の予定である。候補地点は3箇所(ピュハヨキ、ルオツインピュハター、シモ)あったが、2009年12月、地元住民の反対でルオツインピュハターは放棄され、今後、残りの2地点での立地を進める方向である。2018~20年の運転開始を見込んでいる(第1図)。

4. 政府も建設計画を支持

政府も事業者の建設計画を支持している。フィンランドにも原子力反対政党は存在するが、2007年3月の総選挙で成立した連立政権(中央党、国民連合党、スウェーデン人民党、緑の党)は原子力発電の容認で一致している。2008年11月の政府エネルギー戦略では、温室効果ガス削減目標達成のためには、原子力発電が必要とし、現



第1図 フィンランドの原子力発電サイト・候補サイト
出典：日本原子力産業協会「世界の原子力発電開発の動向」
2009年版

政権の任期中(2011年3月)に6基目の建設について政府決定を行うことを明言した。ただし、3社がそれぞれ建設するのか、あるいは1基に絞り込むのかについては、政権内で意見が分かれている。

Ⅲ. 放射性廃棄物を巡る動き

1. 高レベル放射性廃棄物処分でも先行

フィンランドは、高レベル放射性廃棄物処分施設の立地・建設でも世界に先行している。同国は使用済み燃料を深地層へ直接処分する方針であり、ポシヴァ社(POSIVA, TVO 60%, フォルトゥム社40%の合弁会社)が事業を進めている。同社は現在、発電所の所在するオルキルト近郊のユーラヨキに、地層処分地の岩盤の特性などを調査する地下研究施設(ONKALO)を建設し、調査を実施している。ONKALOは最終処分施設建設の前段階と位置付けられるもので、らせん状につながる総延長5.5kmに及ぶアクセス坑道や地下520mの通気立坑(シャフト)などで構成される。

同地点への立地は、地元住民に加えて原子力安全当局STUKも同計画を支持したことから、2000年に政府が建設を承認する原則決定を下したのに続いて、議会も2001年に承認した。ポシヴァ社はユーラヨキの利点として、(1)オルキルト発電所に隣接しており、使用済み燃料の輸送作業が大幅に削減できる、(2)沿岸部であるため海上輸送ができる、(3)オルキルトのインフラが利用できる、ことを挙げている。

今後、ONKALOでの調査で問題がなければ、最終処分施設自体の建設・運転の認可申請を行い、2013年に着工、2020年には運転開始になる予定である。しかし、ユー

ラヨキが詳細調査の結果、不適格だった場合は、ユーラヨキ以外で現在詳細調査が行われている3箇所の地点(ロビーサ近郊、中東部のクーモおよび中部のアーネコスキ)から新たに候補地が選定されるが、発電所がすでに立地しているロビーサが最有力代替候補地と目されている。

なお、前述の原子力発電の新規建設計画を受けて、ポシヴァ社は処分施設の処理量を12,000トンに拡張する計

画であり、2009年6月には政府からDIPが交付されている。

使用済み燃料は現在、各発電所内の施設に貯蔵されている。また、低・中レベル放射性廃棄物も各発電所内に設置されている処分施設で管理されている。ロビーサの処分施設は発電所の地下110mにあり、1998年から運転されている。一方、オルキルオトには地下60~100mに処分施設があり、1992年から運転されている。

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—
(2月5日 第8回編集幹事会)

【学会誌関係】

- ・編集関係の規程、手順類の見直しを行い、あわせてホームページに改訂版を掲載することにした。
- ・巻頭言、時論、インタビュー、シリーズ解説等の企画記事の予定を確認した。
- ・新企画として、マスメディアの論説委員・解説委員による記事掲載の提案があり、検討することになった。
- ・「原子力関連機関の紹介」を新たにスタートし、関係機関には順に執筆をお願いすることにした。
- ・幅広い分野の記事、たとえば放射線や医療、異分野のサイエンス記事などを取り上げるよう今後検討することになった。
- ・原子力歴史構築賞をもとに、わが国の原子力黎明期の

活動を連載講座とする企画案があり、12案を今後進める。

- ・支部便り、部会便りは一般の会議報告とは別に扱い、1/2ページで会報内に掲載することにした。
- ・4月以降の表紙候補を決定。日展に展示された作品をシリーズで掲載することを決めた。
- ・日本原子力文化振興財団の横手理事より、最近の活動内容の紹介があった。
- ・原子力学会異常事象解析チーム(チーム110)の概要を4月号に掲載する。

【論文誌関係】

- ・英文誌の出版について、Taylor & Francis 日本支社の担当者から説明があった。また財務に関する試算が紹介された。継続して検討することとし、また理事会等に説明することとした。
- ・編集委員から提案のあった総説執筆依頼に関連して、掲載料の取り扱いを議論した。継続して検討することとした。
- ・論文審査電子化に必要な査読委員登録のための調査と登録を進めることとした。
- ・論文誌編集の新しい担当者が紹介された。

編集委員会連絡先 hensyu@aesj.or.jp

連載
講座21世紀の原子力発電所廃止措置の
技術動向

第7回 廃止措置技術—コンクリート再利用

(株)太平洋コンサルタント 小川 秀夫,

清水建設(株) 鳥居 和敬, (財)エネルギー総合工学研究所 石倉 武

I. はじめに

大型の標準的な原子力発電所を1基解体すると、非放射性コンクリート廃棄物が約50万トン発生すると試算されている。これは、福井県や福島県で1年間に排出されるコンクリート量に相当する。このため廃止措置において、コンクリート廃棄物の再利用方法を十分に検討することは、重要な課題の一つであると考えられる。

原子力発電所の解体に伴って発生するコンクリートは、その発生場所から放射線管理区域外と放射線管理区域内に分類できる。放射線管理区域外から発生するコンクリートは一般コンクリートである。管理区域内から発生するコンクリートでも、汚染の履歴がなく汚染の可能性がない放射性廃棄物でないコンクリート(以下、NRコンクリートと記す)や、汚染レベルが極めて低く、放射性廃棄物として扱う必要のないクリアランス対象のコンクリートは、一般コンクリートと同様に扱うことができる。本稿では、これらを総称して非放射性コンクリートと呼ぶことにする。非放射性コンクリートは、産業廃棄物処分場が逼迫する今日、有効に資源として活用することが望ましいと考えられる。

現在、土木建築分野におけるコンクリート廃棄物の大半は、再生路盤材(第1図)や埋め戻し材として用いられている。しかし、路盤材の需要は、今後減少すると予想されている。一方、近年では、資源循環の観点から、コンクリート用再生骨材の実用化が進められている。原子



第1図 コンクリート廃棄物から製造した再生路盤材の例

力発電所の非放射性コンクリート廃棄物は、他施設の一般のコンクリート廃棄物と同じ扱いであり、再生路盤材、埋め戻し材、コンクリート用再生骨材などに利用することができる。

本報告は、まず一般および非放射性コンクリートを対象とした再利用技術について紹介し、次いで原子力発電所の非放射性コンクリート廃棄物を対象とした再利用における課題を述べる。さらに、放射性コンクリートの充填材への適用を図った研究事例についても紹介する。

II. コンクリート再利用の概要

第1表に原子力発電所から発生するコンクリート廃棄物の主な再利用方法の候補¹⁾を示す。

1. 非放射性コンクリートの再利用

原子力発電施設から発生する非放射性コンクリートの再利用方法としては、前述のとおり、路盤材および埋め戻し材、再生骨材が有望である。また、再生骨材の製造時に副産される微粉の利用も併せて検討する必要がある。

(1) 路盤材および埋め戻し材

路盤材および埋め戻し材は、コンクリートを破砕して用途に合うように粒度を調整して用いるものであり、コンクリート再利用としては最も実績が多い。コンクリートの破砕には、固定歯と可動歯の間に挟んで圧縮破砕す

Trend on Decommissioning Technology of Nuclear Power Plants in 21st Century (7); Decommissioning Technologies—Concrete Recycling Technologies: Hideo OGAWA, Kazuyuki TORII, Takeshi ISHIKURA.

(2009年10月8日 受理)

各回タイトル

- 第1回 廃止措置の世界の概況とわが国の現状
- 第2回 廃止措置技術—鋼材解体の技術動向
- 第3回 廃止措置技術—コンクリート解体/はつりの技術動向
- 第4回 廃止措置技術—放射線計測の技術動向
- 第5回 廃止措置技術—除染
- 第6回 廃止措置技術—処理処分の技術動向

第1表 コンクリートの再利用方法の候補

原コンクリート 分類	再利用物の 形態	再利用方法
非放射性 コンクリート	破砕物	再生路盤材・埋め戻し材
	再生骨材 ^{a)}	再生骨材 H, 再生細骨材 H
		再生骨材 M, 再生細骨材 M
		再生骨材 L, 再生細骨材 L
副産微粉	コンクリート材料 土材料	
放射性 コンクリート	破砕物 スラッジ	廃棄体の充填材

^{a)}再生骨材およびそれをを用いたコンクリートは、その品質に応じて3種類に分離され、それぞれのJIS規格が制定されている。

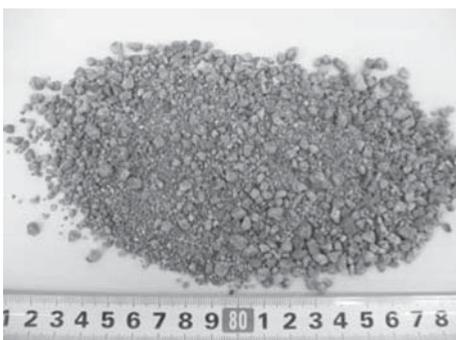
るジョークラッシャや、衝撃で破砕するインパクトクラッシャ等の破砕機が使われる。

(2) 再生骨材

コンクリートから骨材を回収して再度、コンクリートの骨材として用いるのが再生骨材である。再生骨材の一例を第2, 3図に示す。原子力発電所の廃止措置においては、良質な同じ種類の普通骨材を用いたコンクリートが短期間に多量に発生することから、天然骨材の品質に近い再生骨材Hの利用を目指した実用化研究²³⁾が進み、2003年のJASS 5⁴⁾への採用、および2005年のJIS A 5021(コンクリート用再生骨材H)制定の先駆けとなった。一方、再生骨材Hよりも低価格で再生できる付着ペーストの多い再生骨材を、用途を限定して用いる方法



第2図 再生粗骨材の例



第3図 再生細骨材の例

もある。土木学会からは2005年に設計施工指針案⁵⁾が示された。また、2006～2007年には、再生骨材L,Mを用いたコンクリートのJIS規格が制定された。これらにより、再性骨材を用いたコンクリートの製造に際し、それまで必要であった大臣認定の手続きを省くことができるようになった。

2. 放射性コンクリートの再利用

(財)原子力発電技術機構は、放射性コンクリートを対象として、廃棄体の充填材および固化化材料への利用を検討した²⁾。ブロック状のコンクリートを収納した廃棄体容器の隙間に、コンクリートガラおよびスラッジを、充填材および固化化材料として充填する方法である。詳しくはV章で述べる。

Ⅲ. 非放射性コンクリート再利用の最新技術動向

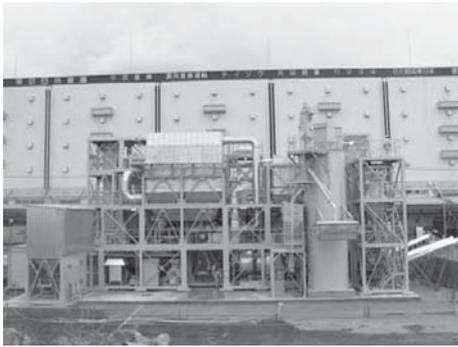
近年、既存構造物の解体時に発生するコンクリート廃棄物から骨材を回収し、構造体に使用するコンクリート用骨材として再資源化する方法が複数提案され、実際のコンクリート構造物にも実用に供されている。2006年の調査では、加熱すりもみ法(ダイヤゲイト[®])、機械的すりもみ法(サイクライト[®])、スクリュー磨砕法(TRASS[®])、機械的すりもみ法(ボールミル方式)によりそれぞれ製造した再生骨材Hを用い、国土交通大臣認定を取得して合わせて42,000 m³の再生コンクリートの実績が確認され¹⁾、その後も実績は伸びている。また、再生骨材Mコンクリート¹⁾、または品質の劣る再生骨材を一定の割合以下で普通骨材と混合して用いたコンクリート⁶⁾も、大臣認定を取得して実用化された実績がある。

代表的な再生骨材製造方法のうち、加熱すりもみ法(ダイヤゲイト[®])、機械的すりもみ法(偏心ロータ方式、サイクライト[®])、スクリュー磨砕法(TRASS[®])、機械的すりもみ法(ボールミル方式)の製造方法について概説する。

1. 加熱すりもみ法(ダイヤゲイト[®])

加熱すりもみ法は、コンクリート塊を約300℃に加熱してセメント水和物を脱水、脆弱化し、すりもみ処理をして、骨材表面のセメント分を除去し、高品質の再生粗・細骨材を製造する技術である。装置を第4図に示す。再生粗骨材Hおよび再生細骨材Hの両方を同時に製造できることが最大の特徴である。

加熱すりもみ法による再生骨材の製造は、実用段階である。廃止措置技術ハンドブック¹⁾に報告されている使用実績は、最も多い。大型の工事实績が複数報告されて



第4図 加熱すりもみ装置



第6図 スクリュー磨砕法装置の外観(TRASS)

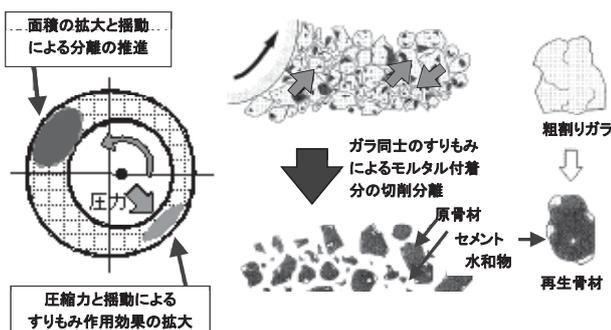
いる。

本製造法は、コンクリートの加熱に熱エネルギーを多く消費するため、経済性の課題が懸念されるが、原子力発電所の廃止措置のように同一場所で短期間に、かつ多量のコンクリートが発生するような場合は、単位あたりのコストも低減され、有効な方法の候補の一つであると考えられる。

2. 機械的すりもみ法(偏心ロータ方式、サイクライト®)

機械的すりもみ法(偏心ロータ方式)の製造原理を第5図に示す。本製造法は、堅型の外筒と偏心回転する内筒(偏心ロータ)の間にコンクリート塊を投入し、ロータの揺動によってコンクリート塊をお互いにすりもみ合わせ、骨材を傷めることが少なく粗骨材とモルタル分を分離できる作用を利用したもので「偏心ロータ式」と呼ばれている。前処理としてガラを40 mm程度以下に破碎する。それを偏心ロータ式処理装置に投入してすりもみ処理を行い、5 mm以上の粗骨材(サイクライト®)と5 mm以下の細粒分に分離する。

本装置によれば、再生粗骨材Hの規格値である絶対乾密度(骨材の絶対乾燥状態の質量) 2.5 g/cm^3 以上、吸水率は3%以下を1次処理で達成できる。セメントを脆弱化するための熱を用いないにもかかわらず、1回の処理で再生粗骨材Hを製造できることが特徴である。乾式であるので、水処理を要しない点も有利である。



第5図 機械式すりもみ法の原理

3. スクリュー磨砕法(TRASS®)

スクリュー磨砕法の装置を第6図に示す。スクリュー磨砕法は、40 mm以下に破碎したコンクリート塊を原骨材が破碎しない程度の圧密・磨砕作用により、原骨材の周辺に付着したモルタルを除去することを特徴とする再生粗骨材の製造法である。処理回数により、再生粗骨材Mまたは再生粗骨材Hを製造できる。また、この装置は、分解、移動、仮設が容易であり、小規模工事にも向いている。

4. 機械的すりもみ法(ボールミル方式)

機械的すりもみ法(ボールミル方式)は、機械的すりもみ(ボールミル方式)により再生粗骨材Hと再生細骨材Mを製造する装置である。装置の構造の概念を第7図に示す。ドラム本体を仕切り板で細かく区切り、これにすりもみ用の鋼球を装填し、仕切り板を回転させることにより、骨材試料および鋼球に上下・水平方向の運動を行わせるものである。仕切り板により空間を狭くし、滞留時間を調整することにより、骨材品質の向上を図っている。再生粗骨材はH、再生細骨材はMを同時に製造できる。

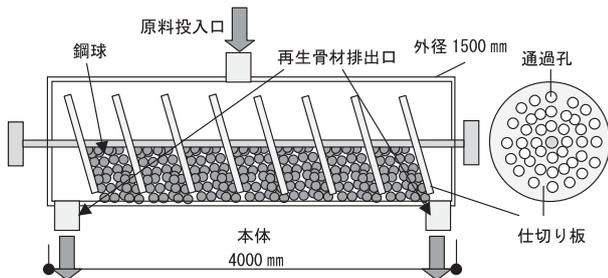
Ⅳ. 原子力発電所から発生する非放射性コンクリートの再利用に向けた課題

原子力発電所の解体により大量のコンクリートが発生する。その多くは放射性廃棄物として扱う必要がないコンクリートである。管理区域外の一般コンクリートはもちろん、管理区域内から発生するNRコンクリート、さらにはクリアランスコンクリートをも有効に再利用していくことが重要である。

原子力発電所から発生する非放射性コンクリートの再利用実現に向けた、課題および対策案を以下に示す。

(1) 再生細骨材および副産微粉の利用拡大

再生細骨材の実用化は、再生粗骨材と比べて遅れている。再生細骨材は、粗骨材よりも付着ペーストが除去しにくいことがその理由である。また、再生粗骨材よりも再生骨材コンクリートの特性に悪影響すると指摘する報



第7図 機械式すりもみ法(ボールミル方式)

告もある。

また、副産微粉は再生骨材を製造する時に生じるが、再生骨材を高品質化すると、その発生量が増える傾向がある。このため、再生骨材の製造時に副産される微粉利用用途を開発する必要がある。微粉の利用用途としては、土材料やコンクリート材料に用いる方法の研究例が多く報告されている^{1,2,5,7,8)}が、実用された例は限定されている。今後、再生骨材利用の事業促進のためには、微粉の利用拡大を図っていくことが重要であると考えられる。

(2) 総合的な取組み

非放射性コンクリートの再利用は、再生骨材や微粉利用の個々の技術論だけでなく、再生製品の品質保証、経済性、環境への影響、副産物の利用、解体工事から実工事への工程等を総合的に取り組む必要があると考えられる。例えば、再生骨材利用においては、高品質な再生粗骨材を製造してこれを用いた再生コンクリートを製造し、フレッシュ性状(固まる前のコンクリートの状態)、力学性状、耐久性能が普通コンクリートと同等であるこ

とを確認し、さらに2年間にわたる調査を行って、再生コンクリートの実用性を示した研究報告がある⁹⁾。

この報告では、再生粗骨材の製造に伴って副産される低品位の細粒の再利用方法についても検討している。

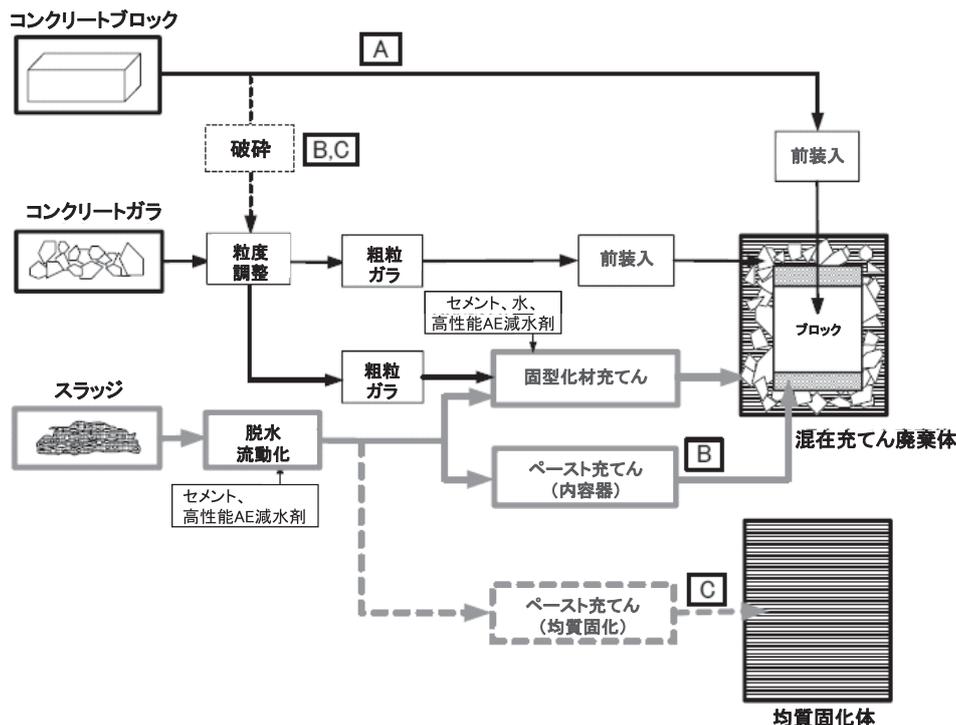
(3) 地元との連携

廃止措置で発生するコンクリートの利用について、原子力発電所立地地域において検討された例がある。再生骨材コンクリートをズワイガニの保護礁や波消しブロック等、若狭湾における海洋構造物に適用する案¹⁰⁾などである。このように地元と連携した取組みが大切であると考えられる。

V. 放射性コンクリートの再利用研究事例

原子力発電所の廃止措置において、放射性コンクリートは、軽水炉では標準プラントにおいて1,000トン以上、ガス炉では10,000トン以上発生し、その形状別内訳はブロックが65 wt%、コンクリートガラが25 wt%、残り10 wt%は微粉であると試算されている。原子力発電技術機構は、解体中に伴い発生する低レベル放射性コンクリートを廃棄物処分容器中に充填するモルタル用細骨材として利用することにより、放射性廃棄物の処分体積を減少させることを目的とする確証試験^{1,2,11)}を行った。第8図に、放射性コンクリートから廃棄体を製造する工程を示す。

第8図に示したとおり、廃棄体の容器には、もともとガラとして発生したブロックを前装入する。次に、ブロックは、必要に応じて破碎して粒度調整し、粗粒ガラも容



第8図 放射性コンクリートの再利用

器に前装入する。ガラのうち、比較的細かな細粒ガラおよびスラッジ等の微粉から充填用モルタルを製造して、ブロックやガラを前装入した容器に充填し、廃棄体を固める。また、スラッジからペースト状の充填材を製造して均質固化体を得る方法もある。以上の工程を検討した結果、ブロックやガラから試製した細骨材が、廃棄体の細骨材として要求されているモルタル性能を満足することを確認した。

本確認技術の減容効果については、処分容器へのブロックとガラの前装入率が50%と仮定すると、充填材モルタル中の再生細骨材使用率は約50%であるため、処分容器中の放射性廃棄物割合は、放射性モルタルを使用しない場合の50%から75%に増加でき、したがって、処分容器数は2/3に削減できる。

VI. おわりに

原子力発電所の廃止措置に伴い発生するコンクリートを有効に再利用していくことを目指し、再利用技術の分類、最新技術動向、実用化のための課題などを紹介した。非放射性コンクリートは、従来から用いられている再生路盤材や埋め戻し材、また近年、急速に開発が進み規格等の整備が進んだ再生骨材により、有効に活用されることが望ましいと考えられる。また、放射性コンクリートは、適切に減容処理することにより、廃棄体数を低減することができる。

いずれに分類されるコンクリートも、単なる廃棄物として処分するのではなく、有効に再利用していくことが重要である。

—参考資料—

- 1) 財原子力発電技術機構，廃止措置技術総合調査委員会，廃止措置技術ハンドブック，(2007)。
- 2) 財原子力発電技術機構，実用発電用原子炉廃炉技術調査報告書，(1996～2004)。
- 3) 石倉 武，他，高品質再生骨材の実用化のための実証試

験，コンクリート工学，41〔12〕，(2003)。

- 4) 日本建築学会，日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，(2003)。
- 5) 土木学会，コンクリートライブラリー120，電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針(案)，(2005)。
- 6) 道正泰弘，他，骨材置換法による再生粗骨材コンクリートの建築構造物への適用，コンクリート工学年次論文集，28〔1〕，(1995)。
- 7) 石倉 武，他，再生骨材製造副産微粉の利用技術，コンクリート工学，41〔6〕，(2003)。
- 8) 鈴木健介，他，再生骨材副産微粉の細骨材置換利用に関する実用化研究，第64回年次学術講演会講演概要集，Vol.379，(2009)。
- 9) 木村 博，他，原子力施設の廃止措置により発生する解体コンクリートの再利用法の確立，コンクリート工学年次論文集，28〔1〕，(2006)。
- 10) 中村秀男，立地地域の廃止措置への取組みについて，廃止措置技術総合調査委員会，第4回廃止措置技術セミナー，(2008)。
- 11) T. Ishikura, "Utilization of Crushed Radioactive Concrete for Mortar to Fill Waste Container Void Space", *J. Nucl. Sci. Technol.*, 41〔7〕，(2004)。

著者紹介

小川秀夫(おがわ・ひでお)



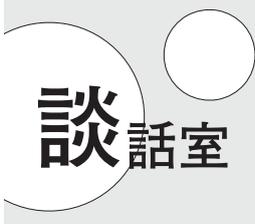
(株)太平洋コンサルタント
(専門分野)コンクリート

鳥居和敬(とりい・かずゆき)

本誌，51〔10〕，p.43(2009)参照。

石倉 武(いしくら・たけし)

本誌，51〔8〕，p.47(2009)参照。



談話室

ウィーンから見た日本, そして原子力の未来(2)

ウィーンの日本人社会と原子力

日本原子力研究開発機構 杉本 純

前号¹⁾に引き続き, 日本原子力研究開発機構のウィーン事務所長としての業務を通じた体験等に基づき, ウィーンの日本人社会と原子力に関する雑感を述べたい。

オーストリアと原子力

中欧に約650年間君臨したハプスブルク帝国の中心地オーストリアは, 水力が豊富で全発電量の約59%を占める。全発電量の約39%を占める化石燃料のほとんどを輸入に依存している。この依存度を下げるため, 1972年, ウィーンの西北西約40 km のツヴェンテンドルフに原子力発電所(沸騰水型軽水炉, 72万 kW)が着工され, 77年に完成した。78年には営業運転を開始し, 約180万世帯に電気を供給するはずだったが, 原子力反対運動を受けて78年に実施した国民投票では, 賛成49.53%, 反対50.47%と僅差で否決された。水力発電が多い西部4州が反対, 発電所に近いウィーンなど東部5州が賛成した。国境に近いスイスの原子力発電所に反対する最西部のフォアアールベルク州の反対は7割を超えた。時の与党社会党と野党国民党の政争の具となり, 原子力発電が実際に必要な州の住民の声が無視される結果となった。これを受け国民会議は原子力禁止法を可決し, 運転が禁止された。当初は再開を求める動きが議会や国民にあったが, 86年のソ連チェルノブイリ原子力発電所事故でそれもなくなった。筆者がウィーンに勤務時, 電力会社で同発電所の建設に関わり, 退職後ウィーン大学講師をしていた方が日本訪問の件でウィーン事務所を来訪された。当時の運転断念の事情について, 本当に残念だったと語っていた。得られた最大の教訓は「技術的問題を政治に絡めるべきでない」という。

その後, 発電所の燃料や主要機器は売却され, ドイツで運転中の同型炉5基の予備品供給庫となっていたが, 2005年から運転員の訓練用原子炉として活用している。09年6月には, 約1,000枚の発電パネルを設置した太陽光発電試験施設として再出発した。出力は最大でも原子力発電の4,000分の1以下とほとんどゼロに等しいが, 再生可能エネルギーの象徴としている。これに関連し同年7月, マイケル・ジャクソンを追悼する野外コンサートが同発電所で開催された。

前号で触れたように, オーストリアの原子力では, 57

年にウィーンに本部が置かれた国際原子力機関(IAEA)の存在が重要である。ドナウ川左岸のウィーン国際センター内にあり, 賃貸料は年約10円。国際機関があることは世界の平和と発展に貢献するイメージをアピールするとともに, その活動に伴う経済効果も莫大。何よりも, 冷戦時代において国際機関の招致は, 国の安全保障に寄与することで十分ペイすると考えられたのである。加盟国は現在151ヶ国, 我が国は設立当初から加盟国かつ指定理事国である。

この「原子力のメッカ」とも言うべきIAEAを擁しながら, オーストリアの全政党が反原子力の立場を取っており, 近隣諸国の原子力発電にも強く反対している。特に, 隣国チェコのテメリン原子力発電所は, 国境から約60 km の位置に旧ソ連型の原子炉が2基あることから, その建設・運転に一貫して反対してきた。04年のチェコのEU加盟に対しても, 拒否権行使を背景に, 安全性や環境影響評価, 増設不可などを要求し, 03年に両国間で合意したが, その後も何かと外交問題になりがちである。国民性は概して楽天的なのだが, 反原子力の意見が強いのは, 政府が原子力に否定的なメッセージを送り続けたことによると言われている。近年急増した風力, 太陽発電など再生可能エネルギーは, 総発電量の約2%に過ぎず, 電気代が欧州平均より割高となるなど, 課題も多く残されている。ただし, ウィーン郊外のサイバースドルフにはIAEAの研究所が置かれ, 主として放射線利用分野における物理, 化学, 計測, 農業, バイオ等に関する研究, および保障措置分析を実施している。また, 街中に近いドナウ川沿いのウィーン工科大学には, 62年に初臨界となった250 kW の研究用原子炉が運転中であり, 研究と教育に利用されている。

ウィーンの日本人社会

オーストリアには日本大使館に登録しているだけで2,200名近くの日本人が住んでおり, その4分の3に当たる1,600名超がウィーン在住である。このうち, 女性の数が男性の約2倍であることが大きな特色である。女性のかなりの部分が学生を含めた音楽関係者である。原子力関係者は, IAEA勤務の職員約45名, 在ウィーン国際機関日本政府代表部職員約25名中の原子力関係者約10名, 包括的核実験禁止条約機関(CTBTO)勤務の職員約

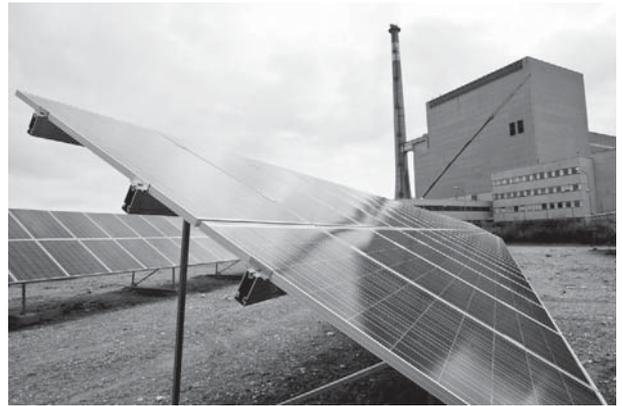
6名、原子力機構ウィーン事務所勤務の2名とこれらの家族、計百数十名である。

ウィーンに住む日本人にとって最大のイベントは、オーストリア日本人会が主催するソフトボール大会である。70年代初頭、IAEA勤務の日本人職員と日本大使館職員が中心となってドナウ川岸で始めたのがそもそもらしい。大会は大観覧車で有名なプラーター公園内の球場で開催される。日本大使館、IAEA、日本人学校、日系企業、日本食レストラン、大学生などからなる約12チームにより、日曜朝からトーナメントを行う。応援する家族や友人、日本人学校生徒も加わり、多い時は300名近くの日本人が公園の一角に集まり、昼食時は芝生の上で弁当を広げたり、鍋でカレーを暖めたりの大にぎわいとなる。

筆者は健康管理も兼ねて、和風レストラン店長が監督を務めるソフトボールチームに所属し、日本人女性チームとは合同練習をよくしていた。女性チームの選手も半分位は楽器奏者やオペラ歌手など音楽関係者だった。チェロを弾く音楽家の選手が師事する先生がウィーン・フィルのチェロ首席奏者と聞いた時は心底驚いた。わがチームにも指揮者やバイオリン奏者の学生がいた。他には、日本のプレス特派員や企業の駐在者、土産物店長、観光関係者などメンバーは多士済々だった。名譽4番の筆者らクリーンアップが全員50代のわがチームが05年の大会で奇跡の優勝を果たしたこともあった。

地元でもウィーンっ子たちをはじめ、米国、中南米出身者が中心となりソフトボールの試合が行われていたが、日本人との交流はほとんどなかった。ところが、05年秋、我がチームがドナウ公園で練習しているのをたまたま目撃した地元チームの監督から練習試合の申し込みがあり、これを契機に06年春に第1回「国際ソフトボールリーグ」が開催される運びとなった。日本人会ソフトボール大会の同好の士を中心に「チームジャパン」を結成し、最年長の筆者が監督となってリーグに参加した。リーグ戦では8チーム中5位と苦しんだが、決勝トーナメントでは見事優勝して監督胴上げとなった。甲子園級の選手もいたが、50代後半から中学生まで、老若男女より構成されるメンバーのチームワークの賜だった。筆者帰国後の07年および08年のリーグも参加チームが増えて強豪がひしめく中、チームジャパンは3連覇を達成している。これらを通じ、原子力とは別分野の方々との人的ネットワークを拡大するとともに、ウィーンの日本人社会にささやかながら貢献できたと思っている。

この他にもオーストリア日本人会は、クリスマス会、バス遠足、音楽家の足跡を訪ねるウォーキングツアー、コンサート、スポーツ観戦などのイベントを実施し、筆者も可能な限り参加した。ややミーハー的であるが、国立オペラ座の音楽監督だった小澤征爾氏を囲む夕食会で講演を聴き、氏と握手をしたり、ザルツブルクでのサッカーの試合で宮本とサントスのプレーを見ることができ



発電パネルを設置したツヴェンテンドルフ原子力発電所



第1回ウィーン国際ソフトボールリーグ優勝メンバー
(2006年6月、優勝カップを手にしてるのが筆者)

たことは貴重な体験だった。

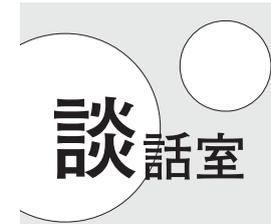
将来に向けて

前号で紹介した地元情報誌「月刊ウィーン」²⁾には、筆者の帰国後も「ウィーン大学が輩出した巨星たち」として、ボルツマン、マイトナー、シュレーディンガーの紹介を始め、08年4月からは「原子力の話」として、放射線利用、原子力発電、欧州原子力事情等について、現在もエッセイを毎月連載させていただいている。IAEA勤務の日本人を中心としたウィーン関係者とは適宜会合を持ち、情報交換を継続している。原子力機構内部と外部の2種類の「ウィーン会」の運営に関与している。筆者が勤務する原子力研修センターの大学連携協力関連の大学生からIAEA勤務の相談を受けたこともある。こうしたウィーンとの繋がりを今後も大切にするとともに、これまで筆者が行ってきた研究や人材育成で培った知識、経験、知的ネットワークを活用することにより、我が国の原子力の発展とプレゼンスの向上に少しでも貢献できればと思う。

(2010年1月25日記)

—参考文献—

- 1) 杉本 純, ウィーンから見た日本, そして原子力の未来—JAEAウィーン事務所から見た日本の原子力, 日本原子力学会誌, 52(2), 113-114, (2010).
- 2) <http://gekkanwien.blog14.fc2.com/>


 談話室

編集で現場の事実と乖離してしまった報道番組

NHK スペシャル「原発解体～世界の現場は警告する」

 日本原子力発電株式会社
 原子力デコミッションング研究会・主査 佐藤 忠道

NHKは2009年10月11日に「原発解体～世界の現場は警告する」と題する番組を放映した。番組の企画意図は原子力発電が世界中で改めて着目され推進に向けたうねりが起きている今、バックエンドが抱える課題を視聴者に示し、原子力発電のことを真剣に考えて貰うことだという。プロジェクトチームを編成し国内外を1年間以上かけて取材して、満を持してゴールデンタイムにオンエアされた番組は、廃止措置の現場の事実と全く乖離してしまい、課題提起どころか視聴者に誤った認識と恐怖感を与えてしまった。

番組は極めて一方的なネガティブ情報のみで編集されており、廃止措置関係者にとって看過できないもので、急遽、原子力デコミッションング研究会(会長：石川迪夫・日本原子力技術協会最高顧問)は、内容を詳細分析した。その結果、報道には数多くの誤りと不適切な編集があることが確認され、その数は52カ所に及んだ。その例をいくつか示す。

ふげんの廃止措置現場で配管の切り口から滴り落ちる水滴の映像に、「いたるところに汚染がある可能性がある」とのナレーション。実際は、これは汚染のない系統配管の凝縮水である。主蒸気配管エリアでの解体作業の映像に、「特別教育を受けた作業員、二重ゴム手袋に半面マスクの特別な防護装備、予想外の汚染検出で緊急会議、溶断工法に変更し有害なヒューム用の特殊マスク」等々あたかも初めて経験する予想を超える危険で特殊な作業のような編集。実際は、当該解体作業は放射線環境が低い作業で、あらかじめ計画した放射線作業手順どおりに進められ、これらの防護措置は全て計画に織り込み済みであった。

東海発電所の原子炉の遠隔解体計画が建設当時の図面がないため進めることができない事態に陥っているかの編集。実際は、より高効率の切断手順の検討用3DCADモデルを作るための詳細図面の整備作業であり、それがなくても遠隔解体作業に支障はない。ドイツのビルガッセン原子力発電所の原子炉圧力容器の遠隔解体を取材し、予定の手順通り切断できなかった一事例を取り上げ、あたかも技術的な困難性のために、プロジェクト全体がうまく進まず当初計画より工期が7年遅れ、費用も5割近くも膨らんでしまったかの編集。実際は、工期が伸びたのは許認可手続きが主因であり、費用は為替レ

ーの変化を正確に取り扱えば15%程度の増加にすぎない。

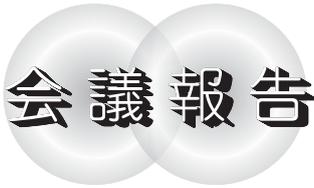
ドイツのアッセ処分施設を取材し、住民の反発、不信が根強いこと解体の時代を迎えても住民が処分場を受け入れるのは極めて難しいと編集。実際は、ドイツではモスレーベン処分施設が操業していた間に解体廃棄物を受け入れているし、新たにコンラッド処分施設が2013年操業開始を目指して建設中である。イギリスでも、処分場がないため余分な費用が高み閉鎖した原子力発電所25基の解体に11兆円もの費用負担が発生すると編集しているが、実際は、この金額にはセラフィールドの再処理施設を始めとするサイクル施設やドーンレイのFBR関係施設などの廃止措置費用とクリーンアップ費用が含まれており、11兆円のうち原子力発電所の廃止措置費用は2.2兆円である。

以上のように、本番組は、分かりやすい問題提起を追求したばかりに、本来あるべき客観的で正確な事実の提供の基本姿勢が忘れられ、全体像を示さずに一部のマイナス情報だけを誇張し一般化させ、視聴者に誤った認識を与えてしまったと言える。原子力デコミッションング研究会は、NHKに2回にわたり抗議文を発信するとともに制作スタッフ、責任者との意見交換会により、誤りを指摘し強く抗議してきている。

番組全体の訴求ポイントは、「原発解体には関係者の事前の想定を越える壁が立ちふさがっている」、「各国とも解体で発生する大量の放射性廃棄物を処分する場所が未だに決まっていない」である。前者については、日本のみならず世界の結論は、今までの数多くの廃止措置の実績から現有の技術で十分安全に解体できるである。後者については、原子力発電を行っている各国は、放射性廃棄物の処分施設を計画し、順次建設、操業してきている。燃料を取出した後の原子力発電所の解体で発生する放射性廃棄物は大部分が低レベルのもので、既に多くの国で処分が行われている。

最後に、番組では原子力発電所の解体を暗く重苦しいイメージで伝えているが、実際に廃止措置プロジェクトに携わっている人間は大変明るく、活気があり、やる気に満ち溢れている。原子力発電のプラントライフの安全、確実な完結に向け真剣に仕事に取り組んでいる。

(2010年 1月15日 記)



ケーブル・コンクリート劣化の評価技術 高経年化対策強化基盤整備事業3ヶ年成果報告会

2009年10月6日(東京大学武田ホール, 東京)

高経年化対策強化基盤整備事業3ヶ年成果報告会を10月6日午後、東京大学の武田ホールで開催した。本報告では、報告会での発表内容のうち、従来からの研究や取り組みが少ないとされるケーブル劣化とコンクリート劣化の診断に関する成果報告に絞り、概要を紹介する。

ケーブル劣化

実機原子炉プラントに適用可能な試験方法および非破壊の劣化診断技術の確立を目的に、「劣化メカニズム調査」「広帯域インピーダンス分光法(BIS法)による劣化診断」「マイクロ波による劣化診断」に関する3テーマの研究を実施している。これらの3テーマは、事業内に設置されたケーブル劣化検討会で適宜情報共有を行い、連携をとりつつ、研究を進めている。

ケーブル劣化のメカニズム解明を目的とした「劣化メカニズム調査」では、ケーブル中の酸化防止剤の効果に着目し、原子炉プラントに特有の熱劣化と放射線劣化に分けて整理を行った。高温条件では、酸化防止剤の濃度の減少により活性化エネルギーが変化し、ケーブル表面での劣化が進行することがわかった。「BIS法による劣化診断」では、ケーブル劣化の新規評価手法として、リアルタイムな電氣的計測法であるBIS法の信頼性と適用性の検証を目的としている。BIS法を用いることにより、熱・放射線による局所劣化を検出したほか、物理的な損傷位置を特定できる可能性を示した。マイクロ波誘電吸収法を用いた「マイクロ波による劣化診断」では、ケーブル破断時の伸びによりマイクロ波出力電圧が低下することを確認し、実用ケーブルに適用できる見通しを得た。

コンクリート劣化

高経年化技術評価審査マニュアル(コンクリートの強度低下および遮へい性能低下)で示された評価方法や学協会標準への反映を目的に、コンクリート構造物の「微視的評価に基づく強度メカニズム」「健全性二次評価に係る評価法」「放射線影響」「ひび割れによる鉄筋腐食評価法の高度化」に関する4テーマの研究を実施している。これらの4テーマは、事業内に設置されたコンクリート劣化検討会で適宜情報共有を行い、研究を推進している。

コンクリート構造物の健全性評価を目的とした「微視的評価に基づく強度メカニズム」では、原子炉プラント特有の加熱および中性化の影響により、コンクリートの強度と微細構造が変化する可能性を言及した。「健全性二次評価に係る評価法」では、劣化が生じた構造物を継

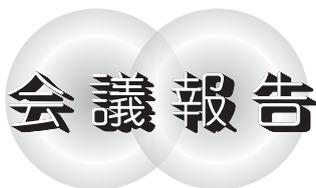
続的に使用できるか否かを判断するための二次評価で検討すべき項目を劣化要因ごとに整理し、二次評価の枠組み構築のための検討課題を明確にした。「放射線影響」では、放射線照射に対するコンクリートの健全性評価に関わる問題点を確認し、劣化要因を水の放射線分解と熱による乾燥、放射線照射による劣化という新たな視点で整理・検討を行った。また、実際の照射試験のための試験計画を立案した。構造物のひび割れ程度に応じた高経年化特性を明らかにすることを目的とした「鉄筋腐食評価法の高度化」では、鉄筋腐食はひび割れ位置だけに存在するのではなく鉄筋材軸方向にも広く進展することを明らかにし、ひび割れ内部への中性化に関する中性化進展予測式を提案した。予測式に基づいた、構造物の耐久年数評価法が期待される。

高経年化対策強化基盤整備事業

高経年化対策強化基盤整備事業は、わが国の原子力発電所における高経年化対策に資するため、国内実用原子力発電プラントにおける高経年化に係る技術情報基盤の整備を行うことを目的とし、経済産業省原子力安全・保安院からの委託により実施している。平成18年度から5ヶ年の計画で立ち上がり、本年度は4年目に当たる。本事業では、4地域を拠点とする統括機関(インテリジェント・コスモス研究機構、日本原子力研究開発機構、原子力安全システム研究所、三菱総合研究所)の下に、複数の研究機関が参画した地域クラスタ制を採用している。さらに、各クラスタで実施する安全基盤研究を類似テーマごとにグルーピングし、テーマごとに研究担当者が議論する場としてのクラスタ横断の個別検討会を設置している。この個別検討会は、「技術情報基盤」「照射脆化」「応力腐食割れ」「減肉配管健全性評価」「ケーブル劣化」「コンクリート劣化」の7つがある。3ヶ年成果報告会では、個別検討会ごとに各主査が平成18~20年度までの3ヶ年の成果と今後の方針を講演した。本報告会の発表内容からもわかるように、当該事業は年次を経るごとに着実な成果を創出してきており、今後は我が国の高経年化対策における技術情報として活用されることが期待されている。

本報告会の発表資料は、事業専用のポータルサイト(<http://nisaplml.jp/>)にて公開している。ご関心のある方は参照いただきたい。

(三菱総合研究所・滝沢真之, 芦田高規,
2009年11月30日記)



本会主催の原子力教育シンポジウムを開催 「世界の原子力をリードする大学教育の飛躍を目指して」 Steps toward Leading the World in Nuclear Education of Universities

2009年11月25日(東京大学 武田ホール)

背景と目的

地球環境保護とエネルギー安全保障のために原子力が世界的に再認識されている一方、社会と原子力利用とのかわりにおいて、従来の原子力工学では解決できない多くの課題が生じている。大学における原子力教育に対しては、文理の学際複合領域である原子力の特徴を世界に先駆けて教育研究に取り入れ、体系的教育の基礎の上に、社会の中の原子力問題の解決をはかり、原子力の未来を切り開き、世界をリードする人材を育成することが期待されている。

この状況を踏まえ、本シンポジウムは、人材育成のグッドプラクティスなどの情報交換を通して、世界の原子力をリードする人材育成の必要性と期待に応えることを目的とし、本学会及び共に開催を提起した東京大学グローバルCOE原子力拠点との共催で開催することとなった。

内容

国内の各大学からは、原子力教育に関するグッドプラクティスの紹介(8件)と、新たに開始あるいは準備中の教育プログラムの紹介(8件)がなされるなど、国内の大学のまとまった原子力教育はほぼ網羅されるものであった。カリフォルニア大学バークレー校の安俊弘教授からは、米国の競争社会を支える優れた研究・教育・運営の仕組みについて、インターネットを利用した遠隔講演があった。また、文部科学省、経済産業省、日本原子力産業協会、日本原子力研究開発機構原子力研修センター、日本技術士会原子力・放射線部会からの、原子力における人材育成と認証に関する講演(6件)も実施した。

誌面の都合上、詳細は東京大学グローバルCOE原子力拠点ホームページ*を参照いただくこととして、主要なトピックスを以下に紹介する。

トピックス

グッドプラクティスと新プログラムに関しては、各大

学から学科・大学院の学生を対象とした様々な工夫の紹介があり、同じ原子力工学の教育でありながら多様性に富んでいた。文科系を含む全学生を対象にした環境・エネルギー問題の教育、少人数による演習形式の講義、地元の研究機関・企業との連携による実習の多様化、等である。さらに複数の大学間での教育研究の連携も進められており、2010年4月からスタートする共同大学院原子力専攻もある。積極的に国家試験に挑戦させたり、「原子力マイスター」という称号を与えて、学生のやる気を出させるとともに質の確保を図る工夫もある。優秀な留学生受け入れのために、英語による教材作成と講義実施が当たり前になりつつある一方、留学生に日本語教育を実施し、母国と日本の技術交流の中核となる人材を育成する報告もあった。

原子力人材育成プログラムを推進している文部科学省と経済産業省資源エネルギー庁からは、日本の国際競争力復活を目指し、国際化に力点を置く方針が示された。産業界や研修・認定機関からは、人材の質の向上に対する期待が述べられた。

米国カリフォルニア大学バークレー校原子力工学科の安俊弘教授の特別講演「米国の教育の現状」では、工学部の大学院生すべてが何らかの財政的サポートを得ていること、原子力工学科の人気は高く、学部・大学院とも倍率が10倍以上あること、学生による授業評価が教員の昇進・昇給に反映されること、さらに、教員にとって学内行政や外部貢献も人事考課の対象となるため、バランスには注意しながらも、「雑用」という概念がなく、積極的に買って出る傾向があること、等の興味深い紹介があった。

シンポジウムには、大学関係者に留まらず企業、官庁、報道と多方面からの参加があり、大学における原子力教育に対する関心の高さがうかがわれた。

なお、本シンポジウムに引き続き、11月26・27日には、東京大学グローバルCOE原子力拠点主催のシンポジウムが連続して開催され、原子力教育の国際交流やサステナビリティに関する講演・パネル討論とともに、同拠点の活動成果の報告があった。

* http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/index_j.html

(日本原子力研究開発機構・佐田 務、
東京大学・干場静夫、福崎孝治、2009年12月22日 記)



開会あいさつをする
工藤和彦副会長



インターネット遠隔講演をする
安俊弘教授

支部便り

関東・甲越支部

第8回若手研究者発表討論会

—原子力・放射線 未来・夢・創造

2009年11月13日(電力中央研究所 狛江地区31会議室, 狛江市)

発表討論会の概要

関東・甲越支部では、大学生、院生、若手研究者を対象に「第8回若手研究者発表討論会」を開催した。この発表討論会は、若手研究者同士の討論やベテランの学会員からのアドバイスなど、若手研究者の交流の場を提供することを目的として、2002年から毎年開催されている。今年も「原子力・放射線 未来・夢・創造」をテーマに、若手研究者の創意的で夢のある研究を募集し、大学、研究機関、メーカーの若手研究者・技術者から13件の発表(発表15分、質疑10分)が行われ、支部会員、学生、研究者、一般参加者を含めて約40名の参加があった。

発表討論会は、【材料、燃料】、【X線利用】、【技術・製品開発】、【解析、評価、化学】の4つのセッションで構成され、発表ごとに、着想のユニークさや研究成果といった内容、発表の態度、発表資料の点から複数の採点者により採点が行われた。発表案件は、幅広い分野から集まったが、基礎研究より実際の製品開発あるいは適用目的が明確な研究が多い傾向にあった。

特別講演では、日本原子力研究開発機構の田辺裕美氏より『「もんじゅ」運転再開に向けて』と題し、運転再開を目前にした『もんじゅ』のこれまでの改造工事の内容、プラント確認試験の結果、今後の性能試験の予定、FBR実用化に向けた課題等、精力的な取組みに関する講演があった。1995年のナトリウム漏れ事故で停止以降、運転再開までの道筋は遠いものだったと想像するが、講演者の真摯な説明ぶりから、『未来・夢・創造』を現実にする大変さと一方でそのすばらしさが伝わり、若手研究者のみならず、発表討論会参加者全員にとって良い刺激になった。

研究奨励賞(4件)

- 発表討論会終了後、懇親会が催され、採点の結果から、以下の発表に対し、研究奨励賞の表彰が行われた。
- ・大型加速器施設対応中性子個人線量計の開発
嶋田和真(東京大)
 - ・プラント内ケーブル探査技術の開発 新聞大輔(日立)
 - ・原子炉内作業用ロボットマニピュレータの自動動作生成手法の開発 松崎謙司(東芝)
 - ・ヘリウム・空気の対向置換流挙動の可視化と流量評価
大川修平(湘南工科大)

交流と意見交換の場として、今後も期待

発表討論会では、開会の挨拶で関本支部長からあった「原子力に対するニーズが高まっている今、(学会の)中からも積極的な発信が重要であり、若手に期待する。年寄りを喜ばしてほしい」の言葉どおり、ベテラン学会員のみならず、学生会員からも、積極的な質問があった。通常の学会よりも質疑応答の時間が充分にとられていたこともあり、いずれの発表においても活発な討論が行われた。懇親会においても若手研究者間の交流も生まれ、支部基本目標である「会員間の交流の増進、切磋琢磨の機会の提供」についても達成できたと思われる。

本発表討論会は、継続的に開催することにより、参加大学、研究機関も増加し、発表の質量ともに充実してきた。来年は海外研究者との交流も企画予定であり、今後も本発表討論会が様々な分野で活躍する若手研究者の交流の場として活用されていくことに期待する。

(支部企画委員・佐伯 潤(GNFJ), 2009年 12月23日 記)



Young Generation Network

若手で語ろう！ これからの技術者像 「2009年秋の大会」YGN・学生連絡会合同企画セッションより

東京都市大学 羽倉 尚人

「原子力の職場は魅力的」、「入社して3年はきついが、知識が増えたのを感じる」……。原子力業界で働く先輩からの言葉に、真剣に耳を傾ける学生の姿があった。

「やりがいを感じる時はどんなときですか」、「仕事でつらいことはどんなことですか」……。学生からの質問に、具体例を交えながら回答があった。時折、笑い声も聞こえてくる和やかな雰囲気の中、膝をつき合わせての「ホンネ」での対話が繰り返し広がられた。

人材育成への貢献 YGN にできること

セッションのはじめに、原子力人材育成のために、どんなことが必要と考えられているかを日本原子力産業協会編の報告書¹⁾から引用する形で紹介した。報告書から、(1)原子力業界が学生にとって魅力的な存在となる、(2)学校教育および企業内教育が進められる、(3)原子力に対する国民の理解と信頼が深まる、といったことが重視されていることに着目した。これまで、YGNでは、初等教育段階でのエネルギー・環境に対する理解促進を目的とし、すごろくゲーム「GEN-6(ゲンロック)」²⁾を開発し、原子力オープンスクール等で実際に試行してきた。これにより、(3)に対する貢献については、少しずつではあるが実を結びつつあると感じている。

そこで、次は(1)に焦点を当て、学生と積極的に対話をしていきたいと考えている。YGNでは、2005年には福井大学、2007年には大阪大学において対話を実施し、これらの会に参加した学生からは、活躍する若手の意見をじかに聴くことができ、大変参考になったと好評であった。本セッションでは、この対話を「学会大会バージョン」として実施し、若手同士のコミュニケーションの輪を広げようと試みた。

いざ 対話

本セッションでは、参加者一人一人がなるべく多く発言し、相互にやり取りをすることに重点を置いた。そこで、14,5名ずつのグループ2つに分かれて対話を行うことにした。ディスカッションのテーマは、「どうすれば原子力業界の魅力を伝えられるのか」、「原子力業界に対する学生の印象と実際の職場の違いは何か」、「原子力を選ばれる職場となるためにはどうすればよいのか」と設定したが、この枠にとらわれることなく、さまざまな



膝をつき合わせての対話

観点での活発な意見交換を行うことができた。

コミュニティーの足場固めとして

企画セッションというと、講演者を招き、ある特定のトピックスについての勉強会として位置づけるというやり方が一般的であるのかもしれない。しかし今回のような「地味な」セッションもまた、コミュニティーの足場固めとして貢献できるのではないかと考えている。YGNでは、これからも本当の意味で充実した活動とは何かを探り続けたいと考えている。

YGN(Young Generation Network)³⁾は、IYNC(International Youth Nuclear Congress)⁴⁾の日本の窓口として2001年に設立され、35歳以下の若手の国・機関を超えた交流や自己啓発の場として国内外で活動している。

学生連絡会⁵⁾は、日本原子力学会に所属する学生による組織として1998年に設立された。年会・大会におけるポスターセッションの運営や、世代を超えた対話活動を通して、学生間のネットワーク作りに貢献している。

YGNおよび学生連絡会では、それぞれ中心になり活動していただける運営委員を随時募集しています。興味のある方は、以下のHP^{3,5)}にアクセスしていただき、ご連絡をいただければと思います。(2009年9月30日記)

—参考文献—

- 1) 原子力人材育成関係者協議会 報告書, 原子力人材育成に向けた取組, 日本原子力産業協会, (平成21年4月).
- 2) 日本原子力学会誌, 48[12], 978(2006).
- 3) YGN <http://www.ygnj.org/>
- 4) IYNC <http://www.iync.org/>
- 5) 学生連絡会 <http://www.genshiryoku.com/>



⑨ 原子力災害に医師として携わって感じてきたこと

国立病院機構災害医療センター外科・臨床研究部 原口義座



はじめに

世界的に大きな災害が多発していると感じるのは私だけではないでしょう。私は医者として災害医療に携わってきました。いろいろな災害に関わってきましたが、「原子力災害」を中心にその経験を振り返ってみます。災害の話はどれも暗くなる傾向がありますが、あまりその面に焦点を当てないようにしたいと思います。お読みになって、「自分ならどうするか?」、あるいは「冷静にあらかじめ考えておくのも無駄ではないな!」、「家族にも話しておこう!」と考えていただければ幸いです。

JCO 事故

本格的に関わった最初の原子力災害は、皆さんもよくご存じの「東海村 JCO 施設での臨界事故」です。1999年9月30日に発生しました。その後も、「美浜原発の事故」等でもお手伝いをしましたが、それは別の機会に譲ります。臨界事故が発生したその時、私は、現在勤めている医療施設で「災害医療従事者研修会」の真っ最中でした。研修会での指導を途中で切り上げ、その日の午後厚生労働省(当時は、厚生省)の緊急会議に駆けつけました。

その時点では、科学技術庁(当時)からの情報では、この事故は収束に向かっているとされ楽観視する方向で指示されました。ところが、夜になっても臨界状態が継続していることが判明しましたので私は、翌早朝に現場に向かいました。厚生労働省の専門家と4日間にわたり、避難所を中心に健康診断・診察にあたりましたが近隣の多数の住民が健康を心配して受診されました。

「自分は近くに住んでいたが、放射能で汚染されていないか?」「子供は大丈夫か?」「現在妊娠しているが、大丈夫か?」というような質問は当然です。また、「大分離れたところを車で通っただけが大丈夫か?」という質問もありました。事故現場の正確な情報はなかなか得られない。そんな状況では、説明は容易ではありません。臨界事故は翌日早朝には終焉していること、サーベーターでの放射線の測定では周辺地域への放射線の問題はないという事実をもとに、基本的には健康障害はほとんどないと考え説明しました。その他、この際に経験した逸話の一部を、少しご紹介しましょう。

・タクシー運転手：私達は電車で東海村に向かいました。しかし水戸駅までであとは不通。そこでタクシー乗り場で、東海村に向かってもらいたいと言いましたら、何台も断られました。もちろん、「怖いから」という理由です。でも何台目かのタクシーの運転手さんから OK ができました。この運転手さんは「おれは全然平

気だ」「痛くもなんともないし」などと明るく言っていました。……皆さんはどう思いますか?

- ・小さい子供を連れのお母さん：車で抜け道を通って帰宅。道路は交通調整(道路閉鎖)されていることがわかりましたが、裏道を知っていたので、そちらを通って自宅へ帰りました。あとで、当方も地図で調べましたが、JCO の臨界事故の発現場から一番近い道路を通っていたことが判明しました。
- ・裁縫(内職)をしていたおばあさん：市の広報車が避難所への避難を呼びかけていたのは聴こえましたが、忙しくて、数時間そのまま仕事を続けたそうです。

災害文化への志気

この事故の発生原因については、いわゆる“裏”マニュアルの存在、職員の知識、特に危険性の認識、経済面優先の会社の考え方等、様々な問題が指摘されました。一方、ほとんどの原子力災害の事故対策の指導書は、中性子の問題はまず扱っていませんでした。

それらはさておき、私の意見としては、その根底にもっと深い根っこがあったと思っています。当時は、「原子力災害、特に多くの人命・健康をおびやかすような大規模な災害」は、起きないように仕組みになっている。それゆえ、災害を想定して、いろいろ「心配する」「準備する」ことは無駄である、間違いである、というような雰囲気がありました。つまり一種の「タブー」視が公然とまかり通っていたと言えますし、言い方を変えると十数年前は、まだわが国の「災害文化」への考え方が後ろ向きであったといえるかと思っています。

わが国が世界に最たる科学知識や技術を有している国であることは誰もが認めることだと思います。これらを生かして、世界的な大災害にも立ち向かう方向に進めてもらいたいと思います。専門家も一般の方々も老若男女含めて、災害に立ち向かう志気を育成することが大事です。それが災害文化の醸成に繋がります。私も、医療を通してこれからも貢献していきます。

(2010年 1月27日 記)

原口義座(はらぐち・よしくら)

医師として三十数年。1995年の阪神淡路大震災・東京地下鉄サリン事件以降、災害医療に従事。国内外での災害現場経験は、延べ20回以上。「災害医療大系」・「災害医療カレンダー」・「現代災害医療はわかりやすい辞典」・「原子力災害(核災害)に対する医療面から見た対応マニュアルとシミュレーションモデル(和文訳、英文版)」などを作成。災害医療には地域性への配慮が重要と考え、「災害医療の風土記」を編纂中です。協力者を募っています。

幅広い分野の情報が好評

自らの視点が広げられるとの声も

(12月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」12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96名の方から、回答がありました。

1. 高く評価された記事

Web アンケートでは、各記事の内容および書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。12月号で高く評価された記事について、「内容」、「書き方」に分けてそれぞれ上位4件をご紹介します。

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	談話室	広島，原爆投下(その1) — トルーマン声明	4.21
2	定点 “感”測	夢実現	3.93
3	時論(2)	大学における原子力教育・研究 と人材育成	3.89
4	私たちの 主張	原子力界をリードしてきた4氏 が思いを語る	3.83

第2表 「書き方」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (書き方)
1	談話室	広島，原爆投下(その1) — トルーマン声明	3.88
1	定点 “感”測	夢実現	3.88
3	私たちの 主張	原子力界をリードしてきた4氏 が思いを語る	3.74
4	NEWS	NEWS 12月号	3.66

今月は、談話室、定点“感”測、私たちの主張が好評でした。

2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 興味深い記事が多く、かつ読みやすくなっているのが実感できる。
- (2) 今後掲載を希望する記事として、UAEの原発を受注した韓国の原子力事情についての解説または特集記事をお願いしたい。
- (3) 解説(2)「国産放射線挙動シミュレーション計算コードシステム開発の必要性と展望」に関して、米国がモンテカルロコードの使用を他国に禁止してきたが、日本ではそれに対応できるコードが準備されていることを知って安心した。それまでに努力された開発者に敬意を表する。
- (4) 最終回であった水化学の連載講座に関して、水化学の縁の下の力持ちの話は興味深く読ませていただいた。派手な仕事ではないが、それなくして軽水炉のいろいろな分野での成功はなかったと思う。

3. 編集委員会からの回答

- (1) 上記(2)のコメントに対して、今年の1月号から、「ATOMOS Special」として、「世界の原子力事情」を連載中です。現在は、ヨーロッパの国々を掲載中ですが、その他の地域の国々の連載も現在企画中です。

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

“切り札”扱いに慢心するなかれ

産経新聞 原田 成樹

新政権が誕生しましたが、開けてみて学会員の皆様はほっとしたことでしょう。2020年に温室効果ガスを1990年比25%削減するという鳩山由紀夫首相の国際公約とリンクするように、民主党マニフェストには「安全を第一として、国民の理解と信頼を得ながら、原子力利用について着実に取り組む」と書かれ、川端達夫文部科学相も原子力研究開発の重視を表明。九州電力で始まったプルサーマル発電で、実質プルトニウムをエネルギー源としていることが周知されれば、中断していた高速増殖炉計画再開への風当たりもやわらぎ、人類のエネルギー問題は少なくとも次のミレニアムまでは解決する。国際協力が進められている国際熱核融合実験炉(ITER)も継続される雰囲気の中にある…。

科学技術を主な取材対象にしてきましたが、1995年の「もんじゅ」ナトリウム漏れ事故以来、原子力の冬の時代、「失われた十数年」が続いていました。戦後、GHQによって航空機開発が禁止されたときを「失われた7年」などというそうですが、それよりもずっと長い間、トラブル・不祥事続きで停滞期にありました。ただ、不幸中の幸で、世界中に原子力への逆風が吹いていたため、日本は世界からみて周回遅れにはならなかった。ITERも誘致合戦に加わるのができ、機構長ポストを手に入れることができるなど、ポジションは相対的には高まっているようにみえます。

順風満帆。雌伏の時を耐えた甲斐あった一。ただ、そう一筋縄にいかないのが、科学の世界でしょう。一つの発見・発明がそれまでの常識をがらりと変えてしまう。原子力も、登場時には非常に大きな衝撃だったはずです。

核エネルギーは、確かに20世紀の大発明でした。1950年前後の初の原子力発電以降、化石燃料枯渇後の持続的社會を担う唯一のものとして認められてきました。しかし、世界中の頭脳が集まって研究しても、廃棄物問題についての決定的なアイデアが出ず、「適正に管理すれば汚染は防げる」にとどまっているのも事実です。

経験的に、自然科学の課題というのは、シンプルで美しい解を持っているものではないでしょうか。という流れで、あえて、自然エネルギーのなかでも最も根源的なものの一つで、地表に降り注ぐ太陽光エネルギーの可能性を持ち出します。自然エネルギーを持ち出した時点で、空想論者か反原発派のように思われるかもしれません。「(水力を除けば)自然エネルギーによる発電シェアはたかだか数%に過ぎない」という批判もよく聞きます。しかし、逆説的にみれば、現在数

%のものが10%、20%と拡大していくこともよくあることです。

気になっているのは、太陽光を励起光にしたレーザーでマグネシウムを還元し、これを燃料として使うという技術。もともと日照時間の短い国内で太陽電池発電をすれば日陰だらけになり非現実的ですが、海外の砂漠などで製造すれば高効率な太陽エネルギーの貯蔵が可能だそうです。これを提案している東京工業大学の矢部孝教授は、元々はレーザー核融合の研究者。「原子力がいらなくなりますね」と振ると、「そうですね」と答えました。

水素、マグネシウム、蓄電池、光合成によるバイオマスと、媒介するものはさまざまですが、失われた十数年がなければ大きく引き離していたであろう太陽エネルギーの利用技術開発がすぐ後ろに迫っています。

化石資源の少ないわが国の国策として、立地など難しい問題を絡めながら推進され、今後も推進されようとしている原子力。しかし、民主主義国家の手続きは遅い。一方、革新的技術は突然やってきます。そして、その時、どんな政権が国の舵取りをしているか分かりませんが、新エネルギーへの政策転換は十分ありえます。

科学者は柔軟な発想で、新しいものに関心を持ち続けてほしい。そして、原子力が現在、国内の発電量の約3割を支えているのも確かで、その大きな財産である実績や各種の技術を、ときには新エネルギーの研究開発に生かす。そうした、「化石燃料に頼らない」という共通の目標に向け、学会の垣根を超えた協力を期待しています。

(2010年 1月15日 記)



原田成樹(はらだ・しげき)

産経新聞編集局 経済本部記者

1990年東京大学卒。電子情報通信学会正員。日本工業新聞(フジサンケイビジネスイ)科学技術部、産業部を経て、産経新聞との編集部門統合により移籍。横浜総局デスクを経て、現在は文科省常駐でベンチャー・産学連携担当。科学技術庁、文部科学省記者クラブは通算15年ほど在籍。潜水船しんかい2000で水深1,000メートルを体験、スペースシャトル搭乗もねらっていたのだが…。原子力関連では、JCO 臨界事故や各種の技術開発を取材。