

解説

18 米国オバマ政権の核不拡散・原子力政策

オバマ大統領は長期的目標として核兵器のない世界をめざすと演説し、注目を集めた。オバマ政権の核不拡散・核軍縮・原子力政策について解説するとともに、その今後を占う。

千崎雅生, 山村 司

23 100年にわたるエネルギー需給構造の变革シナリオ

これから100年後のわが国のエネルギー需給構造はどのようなのか。どうすべきなのか。原子力機構では、それを原子力主体に移行させることで、二酸化炭素排出量を大幅に削減できる「2100年原子力ビジョン」をまとめた。

立松研二, 川崎弘嗣, 根本正博

28 世界の核セキュリティの現状と動向

9.11米国同時多発テロ事件以降、原子力施設に対するテロ行為の脅威が懸念されるようになってきた。核燃料を含むすべての放射性物質を有する施設に対し、その脅威を「核セキュリティ」の視点から解説する。

中込良廣

33 原子力と日本人の安全観

アンケート調査の結果、一般住民の原発への考え方は、不安の中の許容という複雑な構造にあった。また単にリスクとベネフィットの問題だけでなく、日本人の「生き方」に深く関わっていることがわかった。

中村 功, 関谷直也

39 「運転上の制限の逸脱」とは何だろう？—最近の運転上の制限の逸脱事象について

運転上の制限とは何か。制限を逸脱して運転してもよいのだろうか。なぜ最近になって、それが増えているのか。その原因は、いったい何なのか。

幅 聡

巻頭言

1 クリーン・エネルギーが開く未来

田中伸男

時論

2 国民の信頼獲得には国民の健康と安全を守る基本姿勢を示すことが重要

国内での新規立地が難航している。安全規制機関は、自らが「国民の味方」であることを明確に説明することが必要ではなからうか。

諸葛宗男

4 平和のリアリズムとはなにか？

—ガザで想う

停戦協議が行われていた2月はじめ、イスラエル南部のアシュケロンに滞在し、ガザ入境の機会を待った。

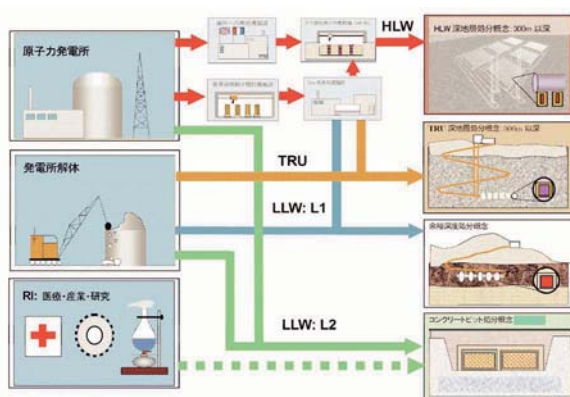
加藤 朗

解説

44 放射性廃棄物地層処分施設の建設技術—パッシブ・セーフティへの移行まで

放射性廃棄物の地層処分は、地下施設に廃棄体と人工バリアを定置し、残された空間を埋戻して完成する。ここでは閉鎖後の影響まで考慮した地下施設建設技術について、歴史的な変遷を含め概説する。

河村秀紀



放射性廃棄物の発生源と処分場概念

表紙イラスト コンク / フランス・ミディピレネー地方

「コンク」は、フランス・ミディピレネー地方にある人口300人位の小さな村である。スペインのサンチャゴに向かう巡礼の村で、村の中心に立派なサン・フォア教会がある。ル・ピュイからこの「コンク」を通り、ピレネー山脈を越えて行く巡礼者たちで大変賑わったという歴史を持っている。村はずれから一望できる場所を見つけスケッチした。

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

50 水化学の基礎—放射線化学

減速材や冷却材など多様な役割を果たす軽水炉中の水は、炉心を循環するために強い放射線にさらされ、放射線分解を受ける。そのメカニズムと、それがもたらす影響や対策について紹介する。

勝村庸介

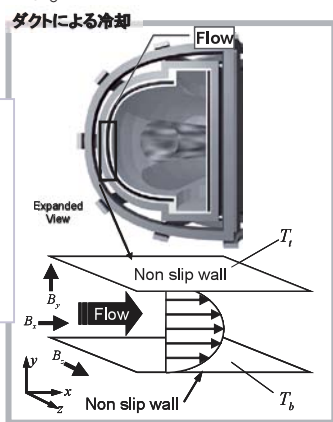
連載講座 今、核融合炉の壁が熱い！ —数値モデリングでチャレンジ(11)

55 壁の熱をどうするか

核融合炉の壁は高温にさらされる。それが溶けだすことを防ぐために、第一壁の表面を液体金属で冷却して保護する「液体壁概念」が提案され、検討されている。

佐竹信一、
刃刀資彰

核融合炉の壁を液体金属で冷却する概念図と熱流体計算モデル(冷却材が管内を流通するダクト流れ方式)



会議報告

60 廃棄物利用を含む燃料サイクルについて討議—第2回先進オリエント研究開発セミナー

山岸 功, 小澤正基

61 国際水化学会議2008ベルリン会議報告

莊田泰彦, 山崎健治

倫理委員会セッション

62 人の振り見て、我が振り直せ！
—09年春の年会 倫理委員会セッション

谷 雅明

追悼

17 元会長 秋山 守先生の逝去を悼む

班目春樹

7 NEWS

- 島根2号機のプルサーマルに地元了解
- 北海道知事、泊3号プル計画を了承
- 名古屋高裁は志賀2号の運転継続認める
- ITER用ダイバータ試験体で高熱負荷試験
- 電子の集団励起を世界で初めて観測
- 植物と根粒菌の窒素固定を観測
- ベトナムのフック大臣が浜岡発電所を視察
- 世界原子力大学夏季研修に4名の派遣決定
- 原産協会提供の動画番組のご案内
- 学会が創立50周年で記念式典(下に写真)
- 海外ニュース



当学会が開催した「創立50周年記念式典」(News p. 13)

日米欧学生交流

63 Purdue University 滞在記

嘉村明彦

ジャーナリストの視点

65 地震と原発そして火災

管谷友美子

6 会告「第51回通常総会」のご通知

38 新刊紹介

「Reactor Accidents 2nd Edition」

吉田至孝, 木村逸郎

66 会報 原子力関係会議案内, 人事公募, From Editors, 「2009年秋の大会」参加事前登録申込要領, 英文論文誌目次(Vol.46 No.6), 和文論文誌目次(Vol.8 No.2), 主要会務, 編集後記

WEB アンケート

2月号のアンケート結果をお知らせします。(p. 64)

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/>

クリーン・エネルギーが開く未来



国際エネルギー機関(IEA)事務局長

田中 伸男 (たなか・のぶお)

1950年3月3日生まれ。1973年通商産業省入省。経済産業省通商機構部長、在米日本大使館公使、経済協力開発機構(OECD)科学技術産業局長等を経て、2007年9月から現職。

昨年7月に1バレル140ドル台をつけた原油価格は、その後約100ドルも値を下げた。価格の乱高下の幅を大きくしているのは投機資金だが、価格変化の方向を決めているのは、現実の需給関係である。これまでの価格高騰は、需要側が低油価にあぐらをかいて省エネや代エネ投資を怠ってきた一方、供給側も採算の悪化により投資を控えてきた結果、世界需要が急速に拡大する一方、供給側がそれについてこれなくなったことに起因していた。これに対し、現在の価格の低下は、金融危機に端を発した世界経済の低迷の結果、需要が大幅に落ち込んだためである。

今後1年間、石油価格が40ドル前後で推移すれば、昨年と比べ、石油輸入国にとっては約1兆ドルのエネルギー・コスト軽減につながり、その分、景気刺激効果も期待できる。しかし、急な需要の鈍化で供給サイドでは投資計画の見直しが進んでいる。需要サイドももちろん。油価が低下した結果、再生可能エネルギーや原子力は一時に比べ、石油に対する価格競争力を失っている。現に、昨年末以降、再生可能エネルギーへの投資が減少し始めているというデータもある。このままでは、将来、景気が回復するとき、再び需要の伸びに供給が追いつかず価格高騰を招くおそれもある。我々は今回の石油価格高騰から学んだ教訓を活かさなくてはならない。

ことは、それだけに止まらない。より長期に目を向ければ、気候変動問題に対応していくためにも、温室効果ガス排出量の約6割を占めるエネルギー起源の二酸化炭素についての対策、すなわち省エネやクリーン・エネルギーの導入等を加速度的に強化する必要がある。

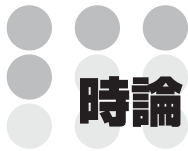
昨年11月に国際エネルギー機関(IEA)が発表した世界エネルギー見通し(World Energy Outlook)によれば、現在のまま何らの追加的対策も講じない場合、世界のエネルギー需要は2030年までに45%増加。エネルギー起源二酸化炭素の排出量も同様に45%増加し、約406億トンとなると見込まれる。これに対し、昨年の北海道洞爺湖サミットでG8首脳が合意した2050年までに温室効果ガスの排出量を現在の半分にするとの目標を実現し、気温上昇を2度台に止めるためには、これを260億トンまで減少させる必要がある。

そのためには、何が必要か。IEAの分析によれば、約半分は省エネで達成できる。残りは再生可能エネルギー、二酸化炭素の隔離貯蔵技術(CCS)、原子力による発電分野の脱炭素化だ。2030年の原子力の発電能力は現在の約1.8倍の6億8千万kW、発電量は5兆2千億kWhと総発電量の2割近くに達する見込みである。同様に、水力発電、その他の再生可能エネルギー発電もそれぞれ2割に達し、この3つで総発電量の約6割に達する。

これには膨大な設備投資が必要となる。原子力発電所についていえば、これまで40年間かけて建設してきた発電能力にほぼ匹敵するような規模の発電能力を今後20年間で増加させなければならない。1年間に約20基のベースで原子力発電所を新設することが必要だ。そのために必要な人材や製造設備への投資も必要であり、これらは一朝一夕でできるものではない。

しかし、逆の見方をすれば、これほど活躍の機会が約束されている分野もない。世界各国は経済刺激策を活用して、これらクリーン技術の開発に取り組んでいる。原子力、太陽光、省エネ、クリーン自動車等、日本は世界でも最先端の技術を持っている。日本は大胆にこれらの技術の強化・普及に取り組むべきだ。

(2009年 4月15日 記)



国民の信頼獲得には国民の健康と安全を守る基本姿勢を示すことが重要



諸葛 宗男(もろくず・むねお)

東京大学公共政策大学院

1946年生まれ。東芝でウラン濃縮、再処理等の燃料サイクルプロジェクトを経験した後、2006年から東大公共政策大学院特任教授、2008年度から日本原子力学会社会環境部会長。

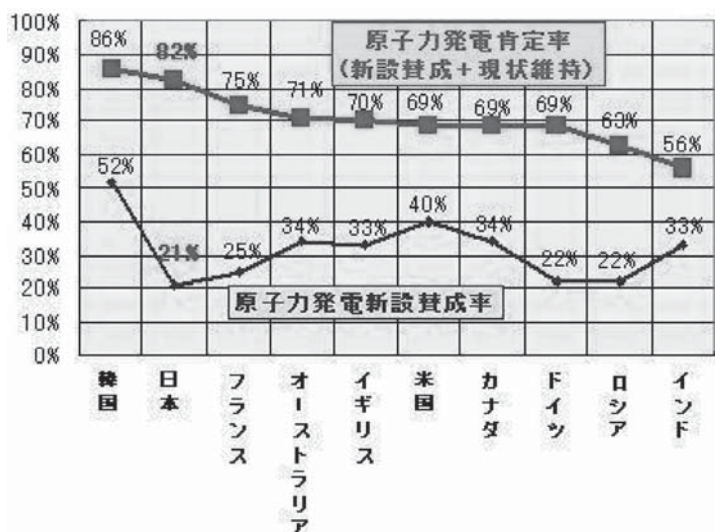
わが国の原子力の社会的受容性が低いといわれて久しい。その原因の矛先をマスコミ報道に向けられることが多いが、日本の国民はそれほど単純ではない。むしろ厳しいマスコミ報道がされているにもかかわらず、原子力発電に対する肯定的な意見は、後述するとおり先進国の中でも非常に高い。問題は、それにもかかわらず、原子力発電の新設に対する支持率が先進国の中で最低だという点にある。原子力発電所の新規立地や、高レベル廃棄物処分場の立地調査に難航している根本原因はここにある。この点を改善しなければ原子力立国計画は絵に描いた餅になりかねない。新設に対する支持率の改善は、原子力立国計画を実現する上でどうしても乗り越えなければならない最重要課題の一つである。本稿は、国の安全規制機関の基本姿勢の説明改善がその鍵ではないかということを描き、その改善を提案するものである。

結論から先に示すと、本稿が主張しているのは、国の規制機関は国民の健康と安全を守るために安全規制を行っているのだ、ということ国民にはっきりとわかるように説明すべきではないか、という実に簡単なことである。その考えに至った理由を以下に説明する。

まず、日本では原子力発電の社会的受容性が低いといわれているが、実は意外にも日本の世論の原子力発電肯定率は先進国の中でも非常に高いのである。図は、国際原子力機関(IAEA)が2005年に世界の18ヶ国で調査した原子力発電に対する世論調査データから主要10ヶ国のデータを抽出したものである。原子力発電肯定率を「新設賛成+現状維持」と考えれば、日本は韓国に次いで第2位の82%と、非常に高い。第3位のフランスの75%より7%も高く、原子力カルネッサンスに沸く米国の69%より13%も高い。日本の世論の原子力発電肯定率は相当高いといえる。もし、日本の国民が原子力発電の安全性に疑問を抱いているとすれば、原子力発電肯定率がこれほど高率になるとは考えにくい。逆にいえば、日本の国民は原子力発電の安全性には高い理解を示していると考えられる。

しかし、残念ながら新設賛成率は10ヶ国中最低の21%である。韓国の52%は別格としても、米国の40%は日本の約2倍、イギリスやカナダの33~34%は日本の1.5倍である。チェルノブイリ原子力発電所の崩壊のロシアと原子力発電所の順次廃止を決めているドイツ両国の22%よりも低い。フランスの25%はすでに電力供給に占める原子力の比率が80%以上にもなっていることを勘案すればうなずける。

図は世界の中でも日本の社会的受容性が際立って特異な状況にあることを示している。「既設の原子力発電所の運転は認めるが、新設することには余り賛成できない」という不思議な意識が形成されている。この意識の背景を推測すれば、「原子力発電の安全性は理解できるから、既設の原子力発電所の運転は認めるが、原子力発電の進め方が信頼できないから新設することにはあまり賛成できない」と読み取れる。すなわち、日本の国民は原子力発電がいくら安全だとわかっていても、主観的には安心できない、という傾向が強いと考えざるを得ない。それは一体なぜなのだろうか。



出典：“Global Public Opinion on Nuclear Issues and the IAEA Final Report from 18 Countries”, IAEA, Oct. 2005
主要10ヶ国の原子力発電世論調査(IAEA)

多くの関係者が原因として挙げる、マスコミが事故や不祥事を面白おかしく書き立てるのは日本に限ったことではない。むしろ環境派が幅を利かせ、グリーンピースなどの原子力反対派が活発に活動し、マスコミ報道も原子力に厳しい論調が多いといわれている欧州各国の方がマスコミ環境は厳しい。その欧州各国の新設賛成率が日本より高いことを考えれば、原因をマスコミ報道に求めることには無理がありそうである。

ではなぜ、日本では原子力発電所の進め方への信頼感がこれほど低いのだろうか。安全性への理解が高いということは、技術的な不信感があるとは考え難い。ひょっとして原子力発電推進の基本的な姿勢が信頼されていないのではないかと、この仮説を立て、各組織がどのような基本姿勢を国民に示しているのかをホームページで調べてみた。すると、国の安全規制の組織はいずれも、自らの活動の基本姿勢が「国民の健康と安全を守る」ためであることを明示していないことが判明した。原子力安全・保安院は「産業活動の安全を守る」のが使命だと書いており、原子力安全委員会はその役割として「行政庁の再審査と監視・監査をすること」であるとしか書いていない。念のため、原子力委員会はホームページで「国の施策を計画的に遂行し、原子力行政の民主的な運営を図る」と謳っている。

それでは海外ではどうか。原子力発電に積極的な3カ国の規制機関のホームページを見てみると、米国の原子力規制委員会(The U.S. Nuclear Regulatory Commission : NRC)では、使命(Mission)は「国民の健康と安全を守る」とし、達成目標(Goal)もそれと全く同じ「国民の健康と安全を守る」ことであると明記している。フランスの原子力安全機関(The Nuclear Safety Authority : ASN)は最優先使命が「人と環境を守ること」であると、戦略計画書に大変明快に書いている。フィンランドの放射線・原子力安全局(Radiation and Nuclear Safety Authority : STUK)は使命が「人、社会、環境と将来世代を守る」ことであると、達成目標(Strategic Goals)は「公衆の健康と安全及び環境を適切に守る」こととしている。これら海外3カ国の規制機関は表現に若干の相違があるものの、いずれも自分達の使命が「国民の安全を守る」ことであることを大変わかりやすく説明している。

既述のとおり、日本の安全規制機関はその役割が「国民の健康と安全を守る」ことであることを明記していなかったが、それでは、日本の安全規制の基礎となっている法律にはどう書いてあるだろうか。主要3法の「目的」の条項を見ると、若干の表現の差はあるものの、ほとんど共通して「国民の健康と安全を守る」ことが目的であると書かれている。原子炉等規制法では「公共の安全を図るために(中略)必要な規制を行う」、電気事業法では「公共の安全を確保し、及び環境の保全を図る」、放射線障

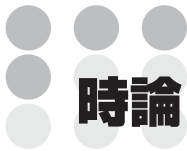
害防止法では「放射線障害を防止し、公共の安全を確保する」と謳っている。法律の目的に書かれているのに、それを執行する組織の使命や目標にそれが明記されていないのはどうしてであろうか。

欧米ではリスクを軽減し、安全性を高めることが安心につながるといわれているが、日本の場合は主観的な安心感が優先しているため、客観的な安全性向上が必ずしも安心につながるまいといわれている。わが国の国民の多くが、「原子力の必要性」を認めているのにもかかわらず、十分な安心感を持ち得ないのは、当事者(国と事業者)に対する信頼感が欠けているせいである。それは実際に行われている安全規制に不満、というよりも感覚的に信頼されていないのである。原子力のように中身の技術を理解することが難しい場合、誰もが「この人達は自分達の味方なのか、事業者の味方なのか」という点に非常に敏感になるものである。われわれが食品や医療の安全問題を考えるときのことを思い起こせば合点が行くはずである。

安全規制を実施している立場からは、「これだけ丁寧に審査、検査をしているのにどうして安心してもらえないのか」との思いが募っていることと思うが、安全性を高めることがわが国では直接的に安心感の向上につながるののである。最近は説明責任が重要視されるようになって透明化が進み、安全規制に関する技術的説明は随分増えているが、何のためにこれだけ丁寧に安全規制を行っているのか、という基本姿勢に関する説明が余りにもおざなりにされている。「任せる」文化の根強い日本の場合、当事者にとっては当たり前のことであっても、「国民の味方」という基本姿勢を明快に説明しないと国民は信頼してくれないのではないかと。

安全性向上が比較的安心につながる、といわれている欧米の安全規制組織でも、その使命や達成目標に「自分達は国民の健康と安全を守る」とはっきり明記し、国民の信頼感獲得に意を配っている。欧米より主観的な安心感が優先するわが国こそ、安全規制機関は国民の信頼感醸成にもっと意を配るべきである。また、欧米の規制機関はホームページ上で使命や達成目標が明確に示されているが、日本の規制機関の場合はそのような見出しが見当たらない。既述した「使命」は組織を説明する文章の中から拾い読みしたものである。基本姿勢はいの一番に国民に伝えるべき重要事項である。見出しをつけて強調するなどしてわかりやすく掲載することは、信頼感、安心感醸成の第一歩である。これだけで国民の信頼が獲得できるわけではないが、少なくとも必須条件の一つである。安全規制が国民の健康と安全を守るためのものであることを明確に説明することにより、国民の信頼感が改善されることを切に願う。

(2009年 2月24日 記)



平和のリアリズムとはなにか？ —ガザで想う



加藤 朗(かとう・あきら)

桜美林大学

1951年生。81年早稲田大学大学院政治研究科国際政治修士修了。同年防衛庁防衛研究所。96年桜美林大学国際学部助教授。現リベラル・アーツ学群教授。『入門・リアリズム平和学』(勁草書房、08年)他。

ガザ紛争の停戦協議が行われていた2月はじめ、イスラエル南部のアシュケロンに滞在し、ガザ入境の機会を待った。人口15万人、地中海に面したリゾート地アシュケロンの郊外は、目も覚めるような青空、光輝く地中海そして野には赤いポピー、まるでカリフォルニアやハワイを思い起こさせる平和な風景が広がっていた。

しかし、日常生活は緊迫感にあふれている。一見平和に見えるアシュケロンの街も、ガザ境界から約10キロ程度しか離れておらず、これまでも何度かロケット弾の攻撃を受け負傷者が出たことがある。宿泊したホテルには一般客はほとんどおらず、エジプト側国境の国境監視を支援するEUの国境支援団(EUBAM: EU Border Assistance Mission)の要員が事務所を構えていた。

今回のガザ攻撃の発端は06年1月にイスラム宗教勢力ハマスが、それまで自治政府を牛耳っていた世俗派のファタハを破り、パレスチナ自治評議会(国会に当たる)選挙で大勝したことにある。その後、ハマストファタハの間でガザの治安権限をめぐる武力抗争が勃発した。内紛の結果、07年6月にガザは完全にハマスの支配下に置かれることになった。一方、ヨルダン川西岸のパレス

チナ自治区はファタハが抑えた。

イスラエルとの2国家共存路線をとる穏健派ファタハと異なり、急進派ハマスはイスラエルの存在を認めない。イスラエルはハマストファタハ同様に、イスラエルを承認させようと、検問所を閉じ経済封鎖で圧力をかけた。エジプトもイスラエルに同調し検問所を閉じた。まさに陸の孤島となったガザ地区からハマスはロケット弾や迫撃砲でイスラエルを攻撃した。これに対しイスラエルは07年9月にガザを「敵地」とみなし、同地への燃料や電力の供給削減を実施した。これにハマスはさらなるロケット弾攻撃で反撃した。ちなみに08年にハマスが発射したロケット弾は1,750発、迫撃砲弾は1,528発(global-security.org)であった。停戦明けの12月18日からハマスの攻撃が激化し、それに対抗してイスラエルが「ノー・トラレンス」の方針の下で苛烈な報復攻撃をしかけたのである。

10キロ以上飛ぶ長距離ロケット(射程12キロのQassam 3, 20キロのGrad, 40キロのWS-1E)ならともかく、短距離ロケット弾や射程数キロの迫撃砲で攻撃しても射程内には畑が広がり農家が点在するだけで、イスラエル側にあまり実害はないように思われる。たしかに住宅に命中することもあるが、全く運が悪いとしかいいようがない。実際、何度かロケット弾攻撃を受けたアシュケロンでも週末ともなれば住民は海岸での散歩や釣り、公園でのバーベキューなど、ロケット攻撃など全く気にする風もなくのんびりと暮らしを楽しんでいる。

ただ検問所は全く様相が異なる。ガザ北部のイスラエル側エレズ検問所に行くと、きわめて嚴重に警備されている。数メートルの高さのコンクリートの分離壁が続く、大きな建物の検問所入り口には、銃を構えた警備員が巡回し、空にはロケット弾や迫撃砲の発射を監視しているのか小型の気球が揚がっていた。時折、報道記者や許可を得たNGO関係者が入っていくだけで、人の出入りはあまりなかった。私もイスラエル当局にNGO書類を提出して許可を待ったが、入境を認めたくないとの態度がありありと見え、結局、2週間の滞在中にイスラエ



外務省 HP より転載。一部加筆。

ル側から許可はおりなかった。

イスラエル側の許可を待つ間にひょっとしてエジプト側から入境できるのではないかと思い、ヨルダン経由でカイロに飛び、そこからバスで6時間シナイ半島を横断してエジプト側の国境の町アリーシュに到着。現在、そこから国境に行くバスはなく、タクシーを雇ってラファの検問所に行った。エジプト側の検問はイスラエル以上に厳しく、途中の一本道で三度も検問を受けた。そしてやっとたどりついた検問所では、入り口に近寄ることさえも拒まれ、数分だけ引き返さざるを得なかった。兵士が銃を構えているだけではない。土のうを積んだ銃座には重機関銃も据えつけられ、兵士がいつでも引き金を引ける態勢で警備していた。

ただし、エジプト川の警備の厳しさは表向きだけだとされている。エジプトとガザの境界線の下には何百ものトンネルが掘られ、物資や武器の密輸が行われている。エジプト政府はトンネルを見て見ぬ振りをしているらしい。トンネルの出入り口は見つからないように、家の中や何かで隠されているのかと思っていたが、境界近くには家らしい建物はほとんどなく、畑が広がっているだけである。出入り口があればすぐにわかる。今回のガザ攻撃の目標の一つがトンネルにあったといわれているが、完全には破壊できなかつたようだ。

イスラエル、エジプトの両国からガザ周辺を見たが、徹底した経済封鎖が実施されているようで、ガザに物資を運搬するトラックらしき車両をほとんどみかけなかった。ガザでは東京都区部の約6割の面積に約150万人もの人々が暮らしている。これだけの人々の毎日の暮らしを支えるには、大量の物資を運搬しなければならないはずだ。しかし、イスラエル、エジプトのいずれの道路でもガザ行きのトラックの姿はみかけなかった。

一方、ファタハが支配しているヨルダン川西岸地域は、厳重な検問にもかかわらず、人々や物資の輸送は絶えることなく続き、検問所付近は行き交う車や人々でごった返していた。パレスチナ自治政府の首府であるラマッラーの中心街は大変な活況を呈していた。街には新車のミニバス、トヨタやベンツなどの高級車が目につく。また観光都市ベツレヘムそして中核都市ヘブロンなども25年前の面影がないほどに発展していた。ハマスへのあてつけか、欧米諸国がイスラエルを承認すれば経済発展を約束するといわんばかりに、ファタハに経済援助をしているからだろう。

イスラエルの境界に最も近い町ネティボット郊外の丘からはガザ市街が望見できる。ガザ攻撃当時、世界各国

の報道陣が陣取った場所に間違いはない。丘からは遠くに高いビルが立ち並び、一見すると日本の中都市のような比較的大きな町並みが広がっている。町の大きさに正直驚いた。イスラエルのガザ攻撃は、たとえていえば新宿を集中攻撃したようなものである。これほどの人口稠密地域への攻撃で、死者が1,300人、負傷者数千人とは、その程度で犠牲が収まったという印象だ。

パレスチナ問題の本質は、今や領土問題でも宗教問題でもない。それは人口問題である。イスラエル滞在中、ちょうどイスラエルの総選挙の最中で、テレビでも連日、選挙関連ニュースが流れていた。その時に印象に残ったのが、人口問題がイスラエルの抱える大きな問題だということである。2005年末時点で西岸とガザのパレスチナ人の人口は383万人、そしてイスラエル国内に113万人がいる。一方、イスラエルのユダヤ人は06年時点で約583万人。つまりユダヤ人とパレスチナ人はほぼ同数である。またパレスチナ人の特殊出生率は6~7人、ユダヤ人のそれは3~4人といわれている。このままでいくと、いずれユダヤ人はパレスチナ人に飲み込まれてしまう。

イスラエルにとって人口問題解決の方策の一つは移民の促進である。冷戦後、ソ連、東欧からのユダヤ人が多数イスラエルに移住してきた。それを証明するようにロシア語の標識や立て看板をよく目にした。またロシア語や東欧系の言葉しか話せないタクシーの運転手にも出会った。そして今一つの解決策が、分離壁を作りユダヤ人とパレスチナを分離することである。シャロン元首相がガザを放棄したのも、もはや人口稠密なガザではユダヤ人が人口的に上回ることもできず、支配できないと判断したからだといわれている。

その結果、パレスチナ人は分離壁に取り囲まれた小さな地域に閉じ込められことになった。特にガザでは人口爆発によるさまざまな問題が噴出している。生活環境の悪化、失業問題、貧困、教育の不足など、それらの問題がパレスチナ住民の不満やイスラエルへの恨みとなり、対イスラエル強硬派のハマスを勢いづけ、イスラエルへの攻撃となっている。特にパレスチナの若い世代の人口爆発を解決しない限り、彼らの不満のはけ口がイスラエルに向かい、パレスチナ問題を悪化させることになる。

常に銃を持たなければ安心できないイスラエルの若者、壁の中で不自由な生活を強いられるパレスチナの若者。不幸の連鎖はいつ断ち切ることができるのか。ガザの分離壁を前に、暗澹たる思いしか残らなかった。

(2009年 3月19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。

島根 2 プルサーマルに地元了解, 中国電力は2010年度装荷に全力

中国電力は3月24日、島根原子力発電所2号機(BWR, 82万kW)でのプルサーマル計画について、地元の島根県と松江市から地元安全協定に基づく事前了解を得た。

山下隆社長が溝口善兵衛・島根県知事と松浦正敬・松江市長から、それぞれ了解の回答を受け取った。中国電力では「今後とも地域の皆さんの理解を得ながら、安全確保を最優先にプルサーマル実施に向けて取り組んでいく」とコメントを発表した。

今後、ウラン・プルトニウム酸化物(MOX)燃料の製造に向けて準備を進めるが、山下社長は記者会見で、2010年度のプルサーマル実施スケジュールは非常に厳しいが、可能な限り早期に実施できるよう

進めて行きたい、と述べた。

同プルサーマル計画の安全審査は、経済産業省から08年10月に原子炉設置変更許可を得ており、地元了解が大きなハードルになっていた。

同2号機は、08年9月7日から第15回定期検査のため発電を停止していたが、24日から調整運転のため発電を再開した。

今回の定期検査では、耐震安全性を一層向上させるため、耐震裕度向上工事を実施したほか、原子炉再循環系配管にひび割れが確認され、当該配管の取替え工事を実施したことから、発電停止期間は当初計画の昨年11月から約4か月延長され、6か月を超えた。(資料提供：日本原子力産業協会)

北海道知事、泊3号プル計画を了承

北海道の高橋はるみ知事は3月5日に知事公館で、泊村、共和町、岩内町、神恵内村の地元4町村長同席のもと、北海道電力の佐藤佳孝社長に泊発電所3号機のプルサーマル計画を事前了解する旨を伝えるとともに、回答書を手渡した。これを受けて北海道電力は3月9日、経済産業大臣に同計画に関する原子炉設置変更許可を申請した。

高橋知事は北海道電力への正式な回答に先立つ同日の記者会見で、同計画検討に対する基本的な考え方として、安全確保、道議会の議論への考慮、地元意向の尊重の3点を挙げた。その上で、安全性では4町村と共同で設置した有識者会議の結論、道議会では定例会および所管委員会の丁寧な議論、地元の意向では今年2月の了解表明などを指摘。「道民理解も考慮、総合的に勘案し了解することとした。事業者には発電所と日々向き合い暮らしている地元の

意向を十分くみ取り、信頼感や安心感を高めてほしい」と述べた。

佐藤社長は同日、「これまでの議論、検討に深く感謝し、要請については真摯に受け止め、適切に対応する」とのコメントを発表した。

9日の原子炉設置変更許可申請によると、泊発電所3号機では、燃料集合体157体のうち、最大40体のMOX燃料を装荷する計画。3号機は17×17型のウラン燃料を使用する許可を受けており、MOX燃料集合体の燃料棒の配列も同一で、プルトニウム含有率は集合体平均で約4.1wt%ウラン燃料相当以下としている。

プルサーマル実施の許可申請は、国内発電所で泊3号機が11基目。すでに認可済みはBWR5基、PWR4基で、審査中は女川3号機の1基となっている。(同)

名古屋高裁は志賀2号の運転継続認め、北陸電力が逆転勝訴

北陸電力の志賀原子力発電所2号機(ABWR, 現

在出力120万6,000kW)の耐震安全性をめぐる、周

辺住民らが北陸電力に運転差し止めを求めた民事控訴審判決で、名古屋高裁金沢支部の渡辺修明裁判長は3月18日、同電力側の安全性確保の主張を認め、運転停止を命じた一審金沢地裁判決を取り消し、住民側の請求を棄却した。住民側は逆転敗訴し、最高裁に上告する方針。

06年3月の金沢地裁判決は、当時の耐震指針には妥当性がないとし、地震で事故が起きる可能性を認め、国内の商業用原子炉で初めて運転停止を命じた。住民側は、一審後に改定された新耐震指針や地震の想定は不十分と指摘。07年の能登半島地震では、原子力発電所が設計時の想定を上回る揺れに見舞われたと危険性を指摘した。

北陸電力は旧耐震指針でも発電所は安全であり、活断層の調査対象を拡大し基準を厳格化した新指針に沿って補強工事を行い、耐震性には十分な余裕があると主張してきた。

特に、地震の想定や周辺の活断層について双方の見解が分かれ、住民側は未知の断層による直下地震を最大でマグニチュード(M)7.3として「北陸電力のM6.8は過小評価」と強調。邑知湯(おうちがた)断層帯の存在を軽視していると批判した。

電力側はこの断層帯の影響力は少ないと反論、能登半島地震の震源とされる笹波沖断層帯の方が影響は大きいと考えるが、耐震性に問題はないとした。

(同)

ITER 用ダイバータ試験体の高熱負荷試験に成功—従来の工学機器を凌駕する熱負荷耐久性能を実現

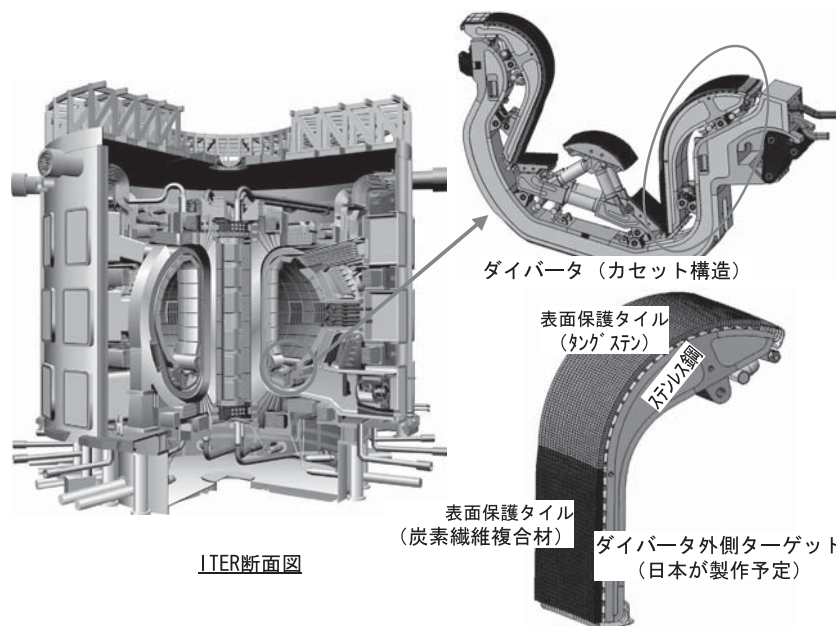
日本原子力研究開発機構は、ITER(国際熱核融合実験炉)計画の実現に向けて開発を進めてきたダイバータ(核融合炉内機器)の試作機を製作し、熱負荷に対する十分な耐久性能を有していることを実験により確認した。

ITER用のダイバータは、従来の工学機器では未経験の高熱負荷に耐える構造が不可欠であり、炉心プラズマの高い熱負荷に耐え、かつ高い熱伝導性が要求される。

原子力機構は、高熱負荷に耐え純銅を超える高い

熱伝導性をもった炭素繊維複合材に着目し開発を行ってきたが、炭素繊維複合材(表面保護タイル)と銅合金(冷却管)の接合不良の克服が大きな課題であった。

今回、これまでのITER工学設計活動で得た知見に基づき、表面保護タイルと冷却管の間に柔軟な純銅製緩衝材を挟むこと、さらに接合面にあらかじめチタンを塗布して金属化を図るなどの方法により接合不良を克服し、性能評価試験用ダイバータ試験体を完成した。この性能評価試験用ダイバータ試験体



を用いての高熱負荷試験をITER機構の指定するエフレモフ研究所(ロシア)で実施した結果、最大20 MW/m²の高熱負荷に耐えることを確認し、性能評価試験に合格した。今後、原子力機構は平成21年度から実規模プロトタイプ製作を開始し、平成23年

の実機用ダイバータのITER機構納入開始を目指し開発を進めていく。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p09032601/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構)

強く相互作用した電子の集団励起を世界で初めて観測 —高温超伝導機構解明への応用にも期待

原子力機構量子ビーム応用研究部門の脇本秀一研究副主幹らは、東北大学および米国アルゴンヌ国立研究所と共同で、物質の中で強く相互作用した電子が起こす集団的な揺らぎを観測することに世界で初めて成功した。

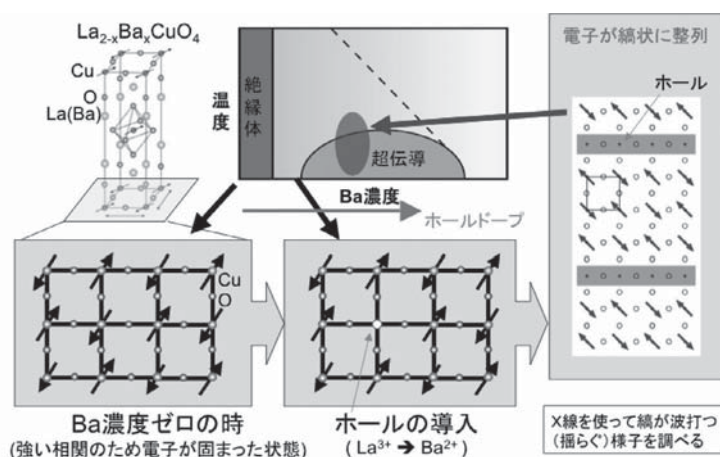
現代の物理学において、金属中の伝導電子のように互いに相互作用のない電子がどのように振る舞うかはよく理解されているが、互いに強い相互作用を持つことで集団的に振る舞う場合には理論的扱いも困難であり、よく理解されていない。しかし電子の相互作用が強い物質では、高温超伝導を代表例とした数々の新規かつ有用な性質を示すことが知られている。

今回、当研究グループは、電子が強い相互作用を示す典型例である銅酸化物高温超伝導体と関連物質のニッケル酸化物において、電子の集団的振る舞いを調べた。これらの物質では強い相互作用のため

に、縞状に電子が整列した状態が実現する。当研究グループは、大型放射光施設 SPring-8と米国アルゴンヌ国立研究所の大型放射光施設 Advanced Photon Source を用い、電子の時間的・空間的な運動の周期を観測することができる共鳴非弾性X線散乱法という手法に独自の改良を加えることで、銅酸化物及びニッケル酸化物において、縞状に整列した電子が集団で周期的にその位置を変えること(電子の集団励起)を直接観測することに成功した。

今回の観測の成功により、電子の集団励起という物質科学における新たな研究ジャンルを開拓した。電子の集団励起の研究を進めることで、その観測物質が示す高温超伝導の機構の解明につながることも大いに期待されている。

(資料提供：日本原子力研究開発機構、東北大学、米国アルゴンヌ国立研究所)



物質中の電子が格子状に整然と並んでいるために、電気を流さない絶縁体の状態になっている銅酸化物(左下の図)。ここから一部の電子を抜き取る(中下)と、銅酸化物は絶縁体から高温超伝導体へ変化する。そこにX線をあてると、電子は集団で周期的に、その位置を変えることがある(右)。

植物ポジトロンイメージング技術により共生的窒素固定の観測に成功

原子力機構と新潟大学は、植物と微生物(根粒菌)が共生的に空気中の窒素を栄養として取り込む「共生的窒素固定」の様子を、植物ポジトロンイメージング技術を用いて、植物体を自然な状態に保持したままに観測することに成功した。

大気中の窒素ガスをアンモニアなどの窒素化合物に変えて大地に戻す窒素固定の作用は、食糧生産の基盤をなしている。生物による窒素固定は工業的な化学窒素肥料生産のおよそ倍の規模があると見積もられ、中でも植物と微生物が共同で行う「共生的窒素固定」が重要である。ダイズなどのマメ科の植物は根に根粒という器官を発達させ、そこで土壤微生物

物の一種である根粒菌と共生的窒素固定を行う。この能力を活かすことが食糧の生産性を高める鍵となる。

今回、窒素の放射性同位体(^{15}N)で標識された精製度の高い窒素ガス($[^{15}\text{N}]\text{N}_2$)を製造し、植物ポジトロンイメージング技術を用い、植物体を分解することなく自然のままの状態、ダイズに着生した根粒の窒素固定の様子を観測した。さらに得られた画像データを元に根粒の窒素固定の速度を測定した。(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p09031701/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構，新潟大学)

ベトナムからボー・ホン・フック計画投資大臣一行が浜岡原子力発電所を視察

ODA 協議のために来日したベトナムのボー・ホン・フック計画投資大臣一行とグエン・フー・ビン駐日ベトナム大使ら15名が、2月27日に中部電力・浜岡原子力発電所を視察した(写真)。

同大臣は昨年、ベトナム政府内に発足した原子力発電所建設国家評価委員会の委員長であり、今回の同発電所訪問はベトナムの原子力発電導入計画に協力を表明している各国の原子力発電所を視察する一環として訪問したもの。

日本原子力産業協会では、日本の原子力発電に対する理解促進を図るため、来日の機会を捉えて視察を要請した。

訪問当日は、浜岡原子力館において概要説明を受けた後、展望台から周辺全景を見渡し、一行からは、周辺住宅地と発電所の距離、放射線安全管理等についての質問があった。その後、館内の実物大原子炉模型等を視察した後、浜岡5号機サイトへ移動し、中央制御室、タービン建屋、原子炉建屋を視察し、



安全性、セキュリティがしっかり保たれていることに感心したとの発言があった。また、発電コスト、放射性廃棄物の処理等についての質問や、日本からのベトナムの原子力発電導入計画への種々の協力に対する謝辞、今後の協力に対する期待等が述べられた。(資料提供：日本原子力産業協会)

今夏の世界原子力大学(WNU)夏季研修に4名の派遣決定、 研修前連絡会を開催

原産協会は、原子力分野において国際的な視野を持ち、国内外で活躍・貢献できる若手リーダーの育成を目指し、昨年10月に「向坊隆記念国際人育成事業」を創設した。

同事業では、今年7月に英国オックスフォード大学で開かれる世界原子力大学(WNU)の夏季研修に若手実務者の派遣を計画しており、このほどWNUの審査が終了し、4名の参加が確定した。

WNUの夏季研修に参加するのは、貝森公大氏(日立GEニュークリア・エナジー)、鶴田健介氏(東京電力)、中里道氏(三菱重工業)、松澤幹浩氏(中部電力)の4氏。

当協会では3月19日に、同研修のこれまでの参加者や講師を交えた研修前連絡会を開き、情報交換した。

WNUの今年の夏季研修は7月5日～8月15日の6週間にわたって、英国オックスフォード大学で開かれる。課題解決能力と同世代の次期リーダー間のネットワーク構築が目的で、研修はすべて英語で行われる。例年、30数か国から100名程度の30歳前後の実務経験者らが参加し、国際機関や各国リーダーから直接講演を聞き、少人数での議論を経て、自らの結論を皆にプレゼンテーションする合宿形式の研修。(同)

原産協会提供の動画番組のご案内

原産協会では、原子力関係の情報を毎月、動画配信(インターネット・テレビ)「Jaif Tv」として、原産協会ホームページ(<http://www.jaif.or.jp/>)から、無料でお届けしている。

2009年2～4月の番組(予定も含む)は以下の通り。

- ・中部電力浜岡原子力発電所リプレース計画等について(2月16日公開)
 - ・FNCA(アジア原子力協力フォーラム)ー活動と将来展望(3月16日公開)
 - ・第42回原産年次大会レポート(4月23日公開)
- (同)

学会が創立50周年で記念式典

創立50年を迎えた日本原子力学会は4月21日、「創立50周年記念式典」を東京・大手町のサンケイプラザで開催した。

350人が参加した式典は、工藤和彦実行委員長の開会の辞に始まり、岡芳明会長の挨拶のあと、浮島とも子文部科学大臣政務官、石田徹資源エネルギー庁長官、金澤一郎日本学術会議会長が祝辞を述べた。

続いてW. E. Burchill 米国原子力学会会長、Jong-In Lee 韓国原子力学会会長、Guanxing Li 中国核学会会長が、それぞれの国の原子力情勢や原子力学会の活動状況を紹介。原子力ルネッサンスの中で、各国とも原子力の利用拡大に積極的に取り組まれている現状が報告された。

また今回の式典では、原子力歴史構築賞の初の表

彰式が行われた。この賞は、原子力の平和利用の進展や定着に貢献をした原子力関連施設や事績、あるいは資料などを讃えるもので、今回は日本原子力研究開発機構のJRR-1など65件が受賞。苫米地顯氏が受賞者を代表して、岡会長から記念品の贈呈を受けた。

続いて成合英樹第24代本会会長が「日本原子力学会の歴史」、中塚亨本会ビジョンマップWG主査が「2050年原子力ビジョンマップ」というテーマで講演した。

その後の「祝賀懇親会」には、200名近くの会員が参加。近藤駿介原子力委員長、鈴木篤之原子力安全委員長が祝辞を述べた後、各国の原子力学会会長も交えて、一同和やかに歓談した。



記念式典における講演

*50周年記念事業にあたり、会員はじめ多くの皆様方にご協力を賜り、厚く御礼申し上げます。今後



各国原子力学会会長と近藤・鈴木両委員長

とも一層のご支援を賜りますようお願い申し上げます。(日本原子力学会)

海外情報

(情報提供：日本原子力産業協会)

[米国]

オバマ大統領、2010会計年度の ユッカマウンテン予算を最少限に

米国のB・オバマ大統領は2月26日、議会に2010会計年度(09年10月～10年9月)の予算教書を提出し、ユッカマウンテンの廃棄物処分場計画については予算を必要最少限に抑える考えを明らかにした。

大統領は「放射性廃棄物と核物質の汚染除去と管理」の項目で、「当該予算では国の核兵器開発が環境に残した遺物について、健康上、安全上のリスクに取り組むことにより説明責任と実行の改善に焦点を合わせる」と明言。ユッカマウンテン予算は米原子力規制委員会(NRC)からの照会に答えるのに必要な最少限レベルに削減する一方、同政権が放射性廃棄物の新たな処分戦略を検討する考えを強調した。

オバマ大統領はかねてより、ユッカマウンテンの処分場としての科学的な適性に疑問を表明しており、「健全な科学に裏打ちされた安全かつ長期的な代替案を模索する」、あるいは「国の処分場受入れをいとわない州を探す」などの方針を明らかにしていた。このため、同計画に強力で反対しているネバダ州選出議員らは、「大統領は公約を果たす重要な最初の一步を踏み出した」と評価している。

ユッカマウンテン計画に対する予算配分は、2008

会計年度に3億8,640万ドルだったが、昨年10月から始まった09会計年度予算では、約1億ドル削減されて3億ドル程度になるとの見通しが伝えられている。10年予算ではこれをさらに下回ると予想されるが、産業界では、NRCの審査を継続するということは、少なくとも新たな処分戦略が発表されるまでは同計画が審査対象として留まることを意味するとの受止め方も残っている。

DOEのチュー長官、上院委員会で ユッカマウンテン計画中止の可能性を示唆

米エネルギー省(DOE)のS・チュー長官は3月5日、上院・エネルギー・天然資源委員会の公聴会で、「オバマ政権はユッカマウンテンの高レベル放射性廃棄物(HLW)および使用済み燃料処分場の建設を選択肢としない」方針であることを改めて強調した。

この公聴会はエネルギー研究開発の将来の方向性を審査するとともに、その際の科学技術上の課題を特定するために開かれたもの。

席上、大統領選でオバマ氏と争ったJ・マケイン議員(共和党・アリゾナ州選出)が、「オバマ大統領とあなたが断固としてユッカマウンテン計画を選択肢としない方針だと(メディアに伝えた)という話は本当か？」と質問したのに対し、チュー長官は「本当だ」と断言。マケイン議員が「では、原子力は将来のエネルギー供給に不可欠とする一方、全米の使用済

み燃料を冷却プールに沈めて、再処理も貯蔵することもできないと原子力産業界に伝えることになるが、ユッカマウンテンの何がまずいのか？」と畳み掛けると、同長官は「原子力規制委員会がいついのように、廃棄物を固化して発電所サイト内に保管しておいても環境上のリスクはない」と答えた。同長官は、廃棄物を固化し中間貯蔵することが今我々にできることだとの見解を表明しており、中間貯蔵で時間を稼ぎ、その間に廃棄物処分のための包括的な計画を策定する考えであることを強調した。

続いてマケイン議員の「再処理する計画もあるか？」との問いには、「再処理の研究は支援する」と回答。「欧州諸国や日本がすでに安全かつ効率的な方法で実施しているのに、一体どのような研究が必要なのか？」との質問に対しては、「彼らの方法には核拡散のリスクが伴う」と述べている。

同長官としては、リサイクルは使用済み燃料の容量を劇的に減じることが可能であり、長期的には非常に有益と考えているとした。しかし、リサイクル技術の開発には個人的に2、30年かかると見ており、時間的な尺度が違うとの認識を表明している。

チュー長官のこうした見解に対して、ユッカマウンテン計画支持派の上院議員達からは強い不満の声が上がっており、L・マコウスキー議員(共和党・アラスカ州選出)は同日、声明文を発表。オバマ政権は一貫して原子力を米国のエネルギー対策において不可欠と言いつけながら、ユッカマウンテン計画を停止させる判断を下したとして落胆の意を表明すると同時に、同政権に対して放射性廃棄物問題への実行可能な代替案を提示するよう強く促した。

ジョンソン氏が DOE 次官に

米エネルギー省(DOE)は3月12日、B・オバマ大統領が同省のエネルギー担当次官にジョンズ・ホプキンス大学のクリスティーナ・ジョンソン学長を指名したと発表した。上院の承認により正式決定する。

ジョンソン博士は1999年~07年までデューク大学のプラット工学学校で学部長を務めていた電気技術者で、米国内外で129件以上の特許、および出願中特許を保持。これらには、LCOS(反射型液晶素子)超小型ディスプレイの開発に関する発明などが含ま

れるという。

エクセロン社、NRG 社買収計画で新たな展開

米シカゴの大手電力であるエクセロン社は3月2日、同社が昨年から買収を働きかけているNRG社が他の電力会社の小売事業購入を計画しているとの発表を受け、「当社の買収計画にどのような影響が及ぶか評価中」とのコメントを明らかにした。

エクセロン社は昨年10月、原子力発電会社であるNRG社に対して、NRG社株1株につきエクセロン株0.485株と交換する(総額62億ドル相当)との買収案を提示。NRG社取締役会の拒否回答とは裏腹に、今年1月初頭までにNRG社の株主達から同社の発行済み普通株の45.6%を購入することに成功した。

2月26日になると、NRG社株主から売却の申し出のあった株式割合は51%に達し、同社は「NRG社があくまでも拒否回答を翻さないのであれば、NRG社取締役会を拡大し、株主の利益のために動く独立の立場の取締役を選出するよう、働きかけることも辞さない」との見解を表明。同時に、両社の株式交換提案の期限をさらに6月26日まで延長し、それまでの間にNRG社の次回総会で取締役を選出するための委任勧誘状、および買収取引そのものに関する承認を証券取引委員会(SEC)から得たいとしていた。

しかし、3月2日になってNRG社は突然、リライアントエナジー社からテキサス州における電力小売事業を2億8,750万ドルで現金購入する計画を公表。NRG社がテキサスの電力供給市場で第2位の事業者となることが判明したことから、エクセロン社がNRG社買収計画で新たな検討を迫られることになったとしている。

原子力協会が調査報告書、新原発計画は「雇用と経済に寄与」

米原子力エネルギー協会(NEI)はこのほど、「米国における新規原子炉建設プロジェクトが良質な雇用の創出と経済成長を促す」と結論付ける調査報告を公表した。

それによると、原子力産業は短期的および長期的

な雇用と経済効果の両方を生み出すなど、新たな職の創出と経済拡大を刺激するいかなるプログラムの中でも重要な役割を果たす。米国経済の中では比較的拡大傾向にあり、数少ない明るい材料の一つだとNEIは指摘。このことは、次のような一般的見解によって裏付けられるとしている。すなわち、(1)地球温暖化への取組みは原子力のように低炭素技術を盛り込んだものでなくてはならない、(2)米国には新たなベースロード電源が必要——だ。こうした理由から、新規原子炉建設計画に対する財政支援は、エネルギーのインフラ開発と雇用創出を刺激する総合的政策の中に含まれるべきだとNEIは主張している。

70年代末以降、米国の電気事業者は初めて、新規原子炉の建設計画に着手しているが、これらはまだ初期段階で、着工までにはさらに3～5年の時間が必要。それでも、新規の建設が見込まれるとの予想はすでに、原子力機器・サービス業者に相当規模の投資と新規雇用を促した。08年末現在のNEIの試算では、新規計画は2011年までの着工前段階で1万4,000～1万5,000名もの雇用を創出。電気事業者はサイトの準備活動用に労働者を雇い、サプライチェーン企業は今後の需要増を見込んで、既存設備の増強や更新を始めている。

NEIの調査によると、仏アレバ社は08年に米国内の事業所で約350名を雇用、09年はこれに200～250名を加える計画。ウェスチングハウス社は過去3年間で3,000名を採用したのに続き、新規の建設工事需要に合わせて年間400～500名ずつ増員していく見通しだ。これにより、過去数年間に原子力産業界がつぎ込んだ投資総額は40億ドルを超えたとNEIは指摘している。

また、新設計画の着工が2011年から12年にかけて現実的になってくるとの見通しの下、今後、数年間にさらに80億ドルを投資する計画になっているとNEIは指摘。建設期間の雇用は、ピーク時で2,400名分にのぼると推測している。

このような短期の雇用は、中期および2011年以降の長期にはさらなる雇用の急増につながるとNEIでは予測。十分な投資による刺激と財政支援により、雇用は今後5年間およびそれ以降でさらに拡大し続け、最初の8基で建設工事が始まる11年以降、2万名の直接雇用が見込まれる。また、仮に認可申請

中の26基すべてが着工すれば、その数は6万2,000名に達するなど、雇用は劇的に増加していくとの見方を示した。

2016年以降の運転期間に関しては、原子炉の耐用年数を60年として、1基あたり約700名分の正規雇用が見込まれるとNEIは試算。これら職員の勤務に伴い、学校施設や道路、小売商店といった地元インフラなどで、さらなる雇用も生まれると説明している。

一方、NEIは、こうした投資刺激がなくなれば、近年の雇用創出ペースは次第に減速していき、大規模な雇用の可能性も将来的に完全に消えうせると警告。そうした雇用は、新規原子炉の機器製造や建設工事、発電所の操業など多様な職種にわたると指摘した。

ジョージア州公益事業委、ボーグル新設計画を承認

米ジョージア州の公益事業委員会(PSC)は3月17日、ジョージア・パワー社がアルピン・W・ボーグル原子力発電所サイトで進めているAP1000型炉2基の建設計画を承認した。

PSCによる承認は州法に則って必要となる手続きで、ジョージア・パワー社が昨年8月に申請していたもの。同社はすでに昨年3月、ボーグル・サイトに3,4号機を建設するための建設・運転一体認可(COL)を米原子力規制委員会(NRC)に申請し、同年4月にはウェスチングハウス(WH)社およびショー・グループとエンジニアリング・資機材調達・建設(EPC)契約を締結済みだ。

今回PSCは、建設計画のほかに、建設費と資金調達コストを電気料金に上乗せして回収する件についても承認しているが、これはPSCのS・ワイズ委員の提出した動議に過半数のPSC委員が賛同した結果による。同動議は、ジョージア・パワー社が資金調達コストを「未成工事支出金(完成していない工事のために支出した工事原価)」として建設期間中に回収することを許可する一方、顧客の料金負担増が過度にならないよう、PSC職員とジョージア社が協力して代替のリスク分担メカニズムを構築することを勧告している。

同動議に盛り込まれた条項は次のとおり。

(1)ジョージア社が新規原子炉建設のために保証される資金調達コストは64億4,600万ドル、(2)ジョージア社は毎年、独立の建築監視モニターに最高60万ドルを支払う、(3)ジョージア社は建設期間中、半年毎に建設監視報告を、4半期ごとに進捗状況報告をPSCに提出、(4)ジョージア社は09年8月31日付けで最初の監視報告を提出、2回目は10年2月28日付けとする。

[カナダ]

JOGMEC がサスカチュワン州で ウラン探鉱、現地企業と契約締結

石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)は3月11日、カナダ・サスカチュワン州の新規ウラン共同探鉱で、同国ピッチストーン・エクスプロレーション社と契約を締結した。

このほど、探鉱を開始することとなったのは、サスカチュワン州北部のアサバスカ盆地に位置する「ウルバリン地域」で、シガーレイク鉱床やマッカーサーリバー鉱床といった世界屈指の大規模鉱床から50km圏内、今後の物理探査やボーリングによりウラン採掘が期待されている。

JOGMECは、4年間で計200万加ドルの探鉱費用を負担し、本プロジェクトの50%の権益と、取得した権益に応じた生産物の販売権を獲得する。

対象地域ではこれまで、詳細な調査は実施されていないが、鉱区近隣の試錘で、鉱床母岩となりうる変性泥質岩の基盤岩が確認されており、4月以降の物理探査で鉱徴の有無を確認する。

[フランス]

アレバ社、単純化BWRを 「KERENA」と命名

仏アレバ社は3月11日、SWR1000の呼称で開発していた出力125万kWの「第3世代+」原子炉設計に、「KERENA」という正式名称を付けたと発表した。

これはドイツの複数の電気事業者と結んだ契約、および欧州の国々との協力によって同社が開発している改良型・単純化BWR設計で、重力や対流など物理的な現象を利用した受動的な安全システムを採

用する予定。

まだ設計段階ではあるが、今年1月に新設計画の原則決定をフィンランド政府に申請したフェンノボイマ社では、同設計を3つの炉型選択肢の一つとして指定しており、採用されれば、2018~20年にも実際に稼動することになる。

[ヨルダン]

カナダと原子力協定に調印

ヨルダン・ハシミテ王国国営のペトラ通信社は2月17日、ヨルダンとカナダが原子力の平和利用で協力協定に調印したと発表した。

これは昨年6月、ヨルダン原子力委員会がカナダ原子力公社(AECL)およびカナダの大手エンジニアリング・建設企業であるSNCラバリン社と原子力協力分野で了解覚書(MOU)を締結したのに伴う措置。2国間の原子力協力協定としては、対フランス、中国、韓国に次いで4か国目ということになる。

この協定により、カナダはヨルダンに発電と海水淡水化用の原子炉建設で支援を提供するとともに、原子力安全や緊急時計画の策定について協力。ヨルダンの原子力部門で業務にあたる人材の養成や原子力の医学・農業・工業利用に対しても協力の道筋を付けていくことになった。

なお、SNC社およびAECLとのMOUでは、(1)CANCU炉をヨルダンに導入する場合の技術的・経済的実現可能性を実証するためのエンジニアリングおよび経済性調査を実施、(2)ヨルダンにおける規制要求項目の枠内で改良型CAUDU6(EC-6)を建設する可能性評価のために、インフラ開発の必要事項とサイト選定プロセスの事前評価を実施、(3)燃料加工施設、技術移転、人材養成に関する調査と、ヨルダンのウラン資源をCANDU炉で使用できる可能性保証のための支援実施——などが明記されていた。

AECL側は、EC-6の規模がヨルダンの送電網や天然ウランによる燃料サイクル、燃料転換能力などと適合性が高い点を挙げ、ヨルダンのエネルギー自給性を高めるのに役立つと強調している。

[インド]

GE 日立, インド原子力公社らと ABWR 建設で覚書締結

GE 日立ニュークリア・エナジー(GEH)社は3月23日、インドにおける複数の ABWR 建設協力に関して、インド原子力発電公社(NPCIL)など現地の2社それぞれと了解覚書(MOU)を締結したと発表した。

NPCIL はインド国内で稼動する17基すべての原子力発電所を操業する同国唯一の原子力発電会社。もう1社はバーラト重電公社(BHEL)で、ニューデリーを本拠地とする同国の主要な原子炉機器・設備製造業者である。両社ともインド国営で、インドの現在の原子力発電設備容量410万 kW を2032年までに6,000万 kW に拡大するという同国政府の計画を強力に支えている。

今回の MOU により、GEH は出力135万 kW の ABWR を複数、インドに建設するために必要となる製造および建設管理のための資源調達について両社とともに検討していく。GEH は、ABWR 設計には商業的に実証された第3世代の原子炉技術が組み込まれており、世界で採用された最初の4基がすでに稼働しているほか、さらに4基が建設中である点を強調。このほか、米原子力規制委員会(NRC)で設計認証審査中の ESBWR(高経済性・単純化沸騰水型炉)についても今後、顧客に勧めていく方針だとしている。

インドは昨年10月、米国と原子力平和利用協力協定に調印したほか、原子力賠償法およびその他の規制の国内適用を進めている。また、今年2月には民生用原子力施設に国際原子力機関の保障措置を適用する協定に調印した。原子炉メーカーとの協力に関しては、GEH 以外にウェスチングハウス(WH)社と AP1000 の導入で同様に協議しているほか、ロシアのアトムストロイエクスポート社とは VVER 1000 で、また仏アレバ社とは EPR(欧州加圧水型炉)の導入に向けて協議中である。

[国際]

独シーメンスと露ロスアトム, VVER 販売・建設の JV 設立で覚書

独シーメンス社とロシアの原子力総合企業であるロスアトム社は3月3日、ジョイント・ベンチャーの創設を含め、原子力分野で協力していくための了解覚書(MOU)に調印したと発表した。

シーメンス社によると、同 JV では特に、ロシア型 PWR(VVER)の技術開発をさらに進展させ、既存炉の設備近代化や出力増強のみならず、新規原子炉のマーケティングや販売、建設についても取り扱う。燃料の成型加工から原子炉の廃止措置に至るまで、原子力発電の全ステージに沿って総合的な事業チャンスを探っていく計画。ロスアトム社が JV の50%を超える比率で出資する可能性や、具体的な協力の項目および条件については今後、交渉することになっている。

同社はまた、ロスアトム社が原子炉の運転を含め、原子力発電全体を取り扱う総合企業として世界でも特異な存在である一方、シーメンス社はタービン機器製造の総合的なノウハウの蓄積や大型施設のプロジェクト管理で豊富な経験を保有するなど、相互に補い合える関係だと指摘。ロスアトム社の S・キリエンコ総裁も「本格的なパートナーシップを通じて、我々は世界の原子力市場におけるリーダーになることを目指したい」との展望を明らかにした。シーメンス社では、2030年までに世界で約400基の新規原子炉が建設され、総投資額は1兆ユーロを超えると見込んでいる。

なお、1月26日にシーメンス社からアレバ NP 社での合併解消を告げられた仏アレバ社は、シーメンス社とロスアトム社の JV 設立表明について4日にコメントを発表。「2001年のアレバ NP 社設立時に結んだ株主間契約には、「協業避止義務(1企業の営業機密を利用した競合他社との競争的取引を禁じる義務)」などの強制義務条項が含まれている」と指摘し、シーメンス社の今回の行為は契約違反であると主張している。

元会長 秋山 守先生の 逝去を悼む

東京大学大学院工学系研究科 班目 春樹



本会第22代会長、東京大学名誉教授、(財)エネルギー総合工学研究所理事長、秋山 守先生は、かねて病氣静養中のところ薬石効なく平成21年4月1日逝去されました。享年73歳でした。ここに謹んで哀悼の意を表します。

秋山先生は昭和10年8月23日、岡山市にお生まれになり、昭和33年東京大学工学部機械工学科をご卒業後、日本原子力研究所に入られました。昭和38年に東京大学工学部原子力工学科の拡充とともに講師に着任され、翌年には助教授、昭和49年には教授に昇任、停年により退官されるまで原子力教育に尽くされました。平成8年の退官後は、先生ご自身が先頭に立って昭和53年に創立された(財)エネルギー総合工学研究所の理事長に就任されていました。平成11年から平成15年までは併せて埼玉工業大学の学長もされています。

先生は生涯、研究の第一線に立たれていました。原子力熱工学の創成期においては、沸騰や二相流に関して多くの論文を発表するとともに、その体系化にも寄与されました。事故時の原子炉の挙動の研究が必要とされた時期には、重点領域研究「蒸気爆発の動力学」の代表者として原子力工学のみならず、

機械工学から火山学に至るまでの研究者を組織し、新しい学問のパラダイムを開かれました。多忙を極める中でも教授室に実験器具を設置され、ご自身での実験も続けられていたことに頭が下がります。

先生は産官学の協力の重要性に早くから気付くとともに、その具体化に努力されました。(財)エネルギー総合工学研究所の創立もその一つです。エネルギーと環境の問題を短期から超長期にわたる視野で総合工学としてとらえ、情報基盤・評価基盤を整備するのがその目的です。産や官がばらばらに取り組むのではなく、学も入ったオールジャパンの体制を作り上げられたことは偉大な業績です。そのほかにも、産官学の協力に関しては大変熱心で、例えば、我が国初の汎用流体解析システム α -FLOW の開発を企画・指導され成果を取めたことなど、数々の業績を残されました。

国際的な活動にも大変熱心でした。原子力工学国際会議(ICONE)は本年7月にベルギーで第17回が開催されますが、これは平成3年に東京で第1回を開催して以来続けられているものです。第1回開催に当たっては、先生自らが米国機械学会や産業界にその必要性を説かれ、実現にこぎつけられています。そのほか、原子炉熱流動国際会議や環太平洋原子力学会でも中心的役割を果たされるなど、国際的なご業績も数え上げたらきりがありません。人に担がれてではなく、自分から積極的に行動されるという基本姿勢は、ここでも一貫されていました。

原子力安全規制でもご活躍されたことはどなたもご存知だと思います。原子力発電技術顧問として、また原子力

安全委員会の専門部会等の委員として、多くの問題に取り組みされました。例えば、昭和64年1月に起きた福島第二原子力発電所3号機再循環ポンプ損傷事故では調査特別委員会の委員長を務められています。原子力開発やエネルギー開発のあり方に関しても高い見識を持たれており、日本学術会議会員としていくつもの提言等をまとめられたり、原子力委員会の長期計画策定に参画されたりしておられます。最近では、原子力二法人統合準備会議の実質的なまとめ役として日本原子力研究開発機構の発足に貢献されました。

日本原子力学会では、平成2年に熱流動研究連絡会を設立、初代委員長に就任されました。これが熱流動部会へと発展していきます。学会全体の仕事としては、企画委員長、副会長を務められた後、平成10年から12年まで会長として活躍されました。今後の学会は社会との関わりをもっと深めるべきとの方向性を打ち出され、標準委員会の設置などを実現されました。

秋山先生の将来を見通す力が素晴らしいことは、手がけられたことがみな大きく発展することから明らかです。先生はご自分には大変厳しく、責任感の強い方でした。同時に、周囲へはこれ以上はないという気配りをされる方でした。薫陶を受けた我々がもっと気を利かせ、ご負担を少しでも軽くしていれば、もっと長生きをされご活躍されたのではないかと思うと、悔やんでも悔やみきれません。先生のご業績や人柄を偲びつつ、謹んでここにご冥福をお祈り申し上げます。

(2009年 4月17日 記)

米国オバマ政権の核不拡散・原子力政策

日本原子力研究開発機構 千崎 雅生, 山村 司
核不拡散科学技術センター

大統領に就任から3ヶ月後の4月5日、オバマ氏はプラハで、長期的目標として核兵器のない世界をめざすと演説し、注目を集めた。軍縮や核不拡散に関して初めて発表した包括的な政策の中で述べたもので、年内に第1次戦略兵器削減条約(START I)の後継条約を締結する意向も示した。本稿では、これらの演説や共同声明、選挙キャンペーン等での核不拡散・原子力に対する政策表明、また主要閣僚の指名公聴会における発言や関連ポストの人選等を踏まえ、特に原子力平和利用に関連するオバマ政権の核不拡散・核軍縮・原子力政策について解説するとともに、プッシュ前政権などとの政策の比較、我が国の原子力計画への影響や課題などを考察する。なお、本稿は、日本原子力学会「2009年春の大会(核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会)」での講演内容を、筆者が加筆修正したものである。

オバマ大統領の政策表明

1. 核兵器のない世界をめざす

オバマ大統領は4月5日にプラハで、長期的目標として核兵器のない世界をめざすと演説した¹⁾。軍縮や核不拡散に関する包括的な政策の中で発表したもので、同氏はそのための具体策として、今年中に第1次戦略兵器削減条約(START I)の後継条約を締結し、他の核兵器保有国も含めた軍縮を推進すると表明。また米国による包括的核実験禁止条約(CTBT)の批准に向けた早急かつ精力的な取り組みを実施することや、検証条項を含む核兵器用核分裂性物質生産禁止条約(FMCT)の交渉を開始すると述べた。

さらに原子力の平和利用と核不拡散を進めるために、保障措置の強化をめざしたIAEAのリソースと権限の拡大が必要だと指摘。核不拡散規範に違反した国や、核兵器不拡散条約(NPT)から脱退した国に対しては、制裁を強化することが重要だと訴えた。同時に国際核燃料バンクなど、原子力平和利用協力に関する新たな枠組みを構築する必要性についても言及した。

一方、世界が関心をもつ核テロについては、「緊急に対処すべき課題」だと強調。世界中に脆弱な形で存在する核物質のセキュリティを4年以内に確保する国際的な取り組みを実施することや、核の闇市場の解体、核物質の不法移転の探知と阻止、そのために金融手段を活用することを主張。また、拡散に対する安全保障構想(PSI)や、核テロリズムに対抗するためのグローバル・イニシア

US Obama Administration's Policy on Nuclear Non-proliferation and Nuclear Energy : Masao SENZAKI, Tsukasa YAMAMURA.

(2009年 4月17日 受理)

ティブ(核テロ対抗イニシアチブ)といった取組みを永続的な国際機関へと発展させること、核セキュリティに関するグローバルサミットを米国がホスト国として2010年に開催することも提案した。

オバマ大統領が演説で述べた内容の多くは、これに先立つ4月1日の米露共同声明²⁾でも言及されており、米露が核軍縮、核不拡散の推進で歩調をそろえたことが注目される。

核不拡散, エネルギー, 環境政策のキーパーソンとその発言

今後のオバマ政権のエネルギー政策を占う上で、重要な役割を果たすのが、同氏を支えるキーパーソンの存在である。長官クラスを除けば、主要ポストの指名、承認は遅れている状況にある。しかしながら現在までの人事を見ると、大統領自身の立場を反映し、環境重視派を多く登用しているのが目立つ。また今後、大統領府や国務省等の関連ポストには、クリントン政権で要職を占めた軍備管理、核不拡散の専門家の登用が予想されている。

ここからは、キーパーソンの顔ぶれと、これまでの発言内容を紹介する。

1. NPTを支え、包括的核実験禁止条約の批准に取り組む—クリントン国務長官

NPTは核不拡散の礎石であり、それを支えていくとともに、CTBTの批准や、検証条項を含むFMCTの交渉開始に取り組んでいく。また個別の外交課題に応じ、外交や経済、軍事、政治、法、文化など利用可能なさまざまな手段を適切に組み合わせることによって、課題を解決していくことを意味するスマートパワーを駆使していかなければならない。さらに、クリントン政権時代に国務省の要職を占めていた軍備管理・核不拡散分野の専

門家を再登用していく」(1月13日, 上院外交委員会の指名承認のための公聴会におけるヒラリー・クリントン国務長官の声明³⁾)

「今後4年間でIAEA予算を倍増し, 追加議定書の普遍化を推進する。また, 追加議定書以上の検認権限をIAEAに付与することでIAEAの検認能力を強化し, 国際核燃料バンク構想や使用済燃料についてのサービスを保証することを支持する」(ケリー上院外交委員長との質問に対する同氏の書面による回答⁴⁾)

2. ヤッカマウンテンプロジェクトはもはや、オプションではない—チュー DOE 長官

「原子力が今世紀においてエネルギーミックスの重要な部分であるという事実を支持する。また原子力発電の新設にあたっての政府による債務保証を, より利用しやすいものに変えていく取組みを実施する。廃棄物を安全に処分する計画が必要であり, その方法を見出すために最適な科学的手法を用いるべく, 本委員会と協働する。原子力推進の前提は廃棄物問題の解決であるという政策はとらない。かつてのカーター政権の時代とは異なり再処理(リサイクル)は検討すべきオプションの一つ。ただ, 現状の再処理技術は理想的なものではなく, いかにか核拡散抵抗性が高い方法で再処理を実施するかが課題。経済性を克服することも重要で, DOEが今後, 重点的に検討していくべき研究課題である。再処理(リサイクル)は放射性廃棄物の量および寿命を低減する可能性があり, そのための研究開発が行われるべきである」(1月13日, 上院エネルギー・天然資源委員会の指名承認のための公聴会におけるスティーブン・チュー DOE 長官=ノーベル賞受賞物理学者で, ローレンス・バークレー国立研究所前所長の発言⁵⁾)

「ヤッカマウンテンプロジェクトはもはや, オプションではない。その代替策を検討するために専門家による委員会が設置され, 今年中に提言をまとめることが想定される。他の国に参加を求めることも考えられる。ヤッカマウンテンプロジェクトの代替策は, 短期的な貯蔵サイト, 長期的な貯蔵施設と, 最終処分施設を含むものであり, これらの施設は地理的に分散されるのが望ましい」(3月5日, 上院エネルギー・天然資源委員会の公聴会における同氏の発言⁶⁾)

3. 今後は副長官クラス以下の人事に注目

また, 国務省の軍備管理・国際安全保障担当次官に指名される予定のエレン・トーシャー下院議員は, CTBTの批准や検証条項を含むFMCTの締結を主張するなど, 下院において特に軍縮問題に精力的に取り組んできた実績をもつ。

クリントン政権下の国家安全保障会議において, 核不拡散政策の策定を担っていたダニエル・ポネマン氏は当初, 国務省の国際安全保障・不拡散担当次官補への指名が取沙汰されており, DOE副長官への指名はワシントン

でも驚きをもって受け止められている。DOE傘下の国家核安全保障庁(NNSA)が所掌する核不拡散の専門家ではあるが, エネルギー政策全般に関する考え方は必ずしも明らかではない。また, DOEのエネルギー担当次官に, ジョーンズ・ホプキンス大学のクリスティーナ・ジョンソン副学長が指名された。承認が得られれば, 同次官は原子力, 化石エネルギーおよび再生可能エネルギー, 核廃棄物並びに環境浄化を含むDOEのエネルギー計画に関する責任を有することになる。原子力政策の策定に実質的に責任を有するのは, 同次官の下の原子力担当次官補であるが, このポストに誰が任命されるかによって, 米国の原子力政策は大きく変り得る。

大統領府に目を転ずると, 気候変動エネルギー環境担当補佐官に任命されたキャロル・ブラウナー氏は, クリントン政権時代に環境保護庁(EPA)長官を務めるなど, 環境派として知られる。ブラウナー氏が省庁横断的に気候変動やエネルギー政策を調整することが期待されているが, チュー長官との権限の配分がどうなるかが注目される。

核兵器廃絶論者として名高いハーバード大学のジョン・ホルドレン物理学教授は, 科学技術担当の大統領補佐官のポストに就任。同教授は, 核兵器の廃絶を目指す科学者の国際組織「バグウォッシュ会議」の有力者であり, 核軍縮を進めようとする姿勢を反映したものとして注目される。同氏は, 民生再処理とPu利用については反対しているが, 欧州や我が国による核燃料サイクル政策には干渉しないとしたクリントン政権の政策を, 同政権における科学技術委員会委員長として容認している。

また, バイデン副大統領の不拡散問題担当特別補佐官として, セキュリティ, 核不拡散問題の専門家であるジョン・ウォルストール氏が起用された。バイデン副大統領は, これまでの副大統領と異なり, 政権内で核不拡散政策を統括する役割を担うとされており, ウォルストール氏の動きに注目が集まる。

今後の政策の見通し

以下では, オバマ政権の核不拡散・核軍縮・原子力平和利用に関する動きや政策を展望する。

1. NPTを中心とした核不拡散体制を強化

核不拡散のプライオリティは, イラン, 北朝鮮, シリアといった個別の地域問題の解決, 来年のNPT運用検討会議など, NPTを中心とした核不拡散体制の強化にあり, より厳格な検証手段, 機微技術の移転に対する規制の強化, 執行手段の強化を求めるものと思われる。

オバマ大統領は3月20日のビデオ演説で, イランに対し建設的な対話を求めている。北朝鮮に関しては, 4月5日の北朝鮮によるミサイル発射以降の状況変化を受け, 六者会合の枠組みを維持しようとするか, 米朝二国間の枠組みで解決を図ろうとするのが注目される。

3月13日の共同通信の記事は、クリントン国務長官が11日に中国の楊外相と会談し、ブッシュ前政権下で休眠状態にあった軍備管理・核拡散防止に関する米中外務次官級対話を早期に再開し、会合の定期化を目指すことで合意していたと伝えており、核軍縮、核不拡散に関し、ロシア、中国との関係を重視する姿勢が見てとれる。

なお前述したように、オバマ大統領はプラハでの演説で、原子力平和利用協力に関する新たな枠組み(国際核燃料バンク等)の構築を重要課題だと表明。核燃料サイクルの多国間管理について、ブッシュ前政権以上に前向きに取り組むことになろう。特に、国際核燃料バンク構想は、米国の核脅威イニシアティブ(NTI)が提案してきたものであること、原子力に関心を持つ国が独自の濃縮施設あるいは再処理施設を建設するインセンティブを低減する可能性から推進されると思われる。

また4年間でIAEA予算の倍増する提案を示すなどIAEA強化を目指し、DOE/NNSAが、国際保障措置への米国の支援の強化を狙って開始した次世代保障措置イニシアティブとともに、保障措置強化が今後、本格的に推進されることになる。

対口協力については、ポネマン氏や国務次官補(検証・遵守担当)に指名されたローズ・ゴッテミューラー氏など、1990年代に、ロシアを核不拡散のパートナーとして協力してきた経験をもつ専門家が軍縮、核不拡散関連のポストに就任見込みであることから、解体Pu処分や核セキュリティの分野など、核不拡散に関するロシアとの協力プログラムが進展する可能性がある。

アプローチの面からいえば、自国のみで、あるいは、一部の友好的な国との有志連合により核不拡散政策を履行する傾向にあったブッシュ政権と異なり、対話を重視するオバマ大統領の基本的姿勢から、NPTやIAEAといった多国間条約、国際機関を重視する政策を採る可能性が高い。国務次官に指名される予定のトーマス氏はNPT脱退に対する制裁の強化を主張しており、2010年のNPT運用検討会議において、本問題に関する合意ができるか否かが注目される。

2. 予想される原子力政策

国内の原子力政策についてオバマ氏は、いまだ明確な政策表明を行っていない。しかしながら大統領選中には、エネルギーミックスの一つとして原子力発電の果たす役割を認めるが、原子力発電拡大には、安全性、長期的廃棄物管理および核不拡散が必須の課題であることを表明している。またヤッカマウンテンプロジェクトには明確に反対しており、他のサイトでの処分、中間貯蔵、当面の発電所サイトでの保管等を考慮すべきだとの考え方を表明している。個別の政策課題に関しては以下の方向性が予測される³⁾。

(1) 原子力発電所の新設に対する支援

これまでオバマ氏が原子力発電所の新設を推進するエ

ネルギー法案等に賛成してきたことや、民主党にも支持者が多いことから、原子力発電所の新設に対する支援は継続されると思われる。ただし、太陽光や風力等の再生可能エネルギーに力点を置いていることから、ブッシュ政権の原子力積極推進からは後退するものと考えられる。実際に、緊急経済支援策として、2009年2月17日に成立した「2009年米国回復・再投資法」に盛り込まれた債務保証には、原子力発電は含まれていない。

(2) ヤッカマウンテンプロジェクトには反対

オバマ政権は、予算の大幅な削減により、実質的に中止する方向に持っていかようとしている。オバマ大統領やチュー長官は本プロジェクトに強く反対してきているが、直ちに原子力規制委員会への許認可を取り下げるなどの措置を取らなかったのは、代替策がないまま、本プロジェクトを放棄することで、電力会社からのさらなる訴訟の提起を恐れたためとされている。今後、専門家による委員会を設置して代替策を検討していくこととしているが、直ちに履行可能な有効な代替策は見出しにくいと思われる。

(3) 国際原子力エネルギー・パートナーシップ(GNEP)の国内プログラムの見直し

DOEのスポークスマンは、4月15日のNuclear Engineering International誌とのインタビューの中で、「DOEは国内のGNEP計画を継続しないことをすでに決定し、長期的な核燃料サイクル研究開発は継続するが、核燃料サイクル施設や高速炉の早急な建設は行わないことを確認し、また国際的要素については関係省庁でレビュー中」と述べた。

ブッシュ政権が強力に推進しようとした、商業規模の再処理施設や高速炉の早期導入路線を支持する勢力は政権内部や議会においてこれまで以上に弱体化し、この路線は中止になるのではないと思われる。ただし、研究開発については、議会や全米科学アカデミー等の議論で一定の評価がなされており、チュー長官の公聴会での発言やDOEスポークスマンの発言にもあるように、先進核燃料サイクルイニシアティブ(AFCI)の下での国立研究所を中心とする研究開発およびそのための国際協力は継続されるものと思われる。ただし、再生可能エネルギー等、本政権が重視するDOEの他のプログラムとの関係で、十分な予算が確保できるかが課題となる。

(4) 新規原子力導入国に対する原子力協力

オバマ政権は、GNEPの下でブッシュ政権が推進した25か国からなる国際プログラムについては、継続されるにしても、別の名称のプログラムとなり、より核不拡散に重点が置かれるものと考えられる。

また、ブッシュ政権が推進したアラブ首長国連邦(UAE)との原子力協力協定の取扱いも注目される。ブッシュ政権は本協定に署名しただけで、議会への提出はオバマ政権に委ねられた形になっているが、本協定はUAE

による濃縮，再処理の放棄を前提とする点においてこれまで米国が締結してきた他の原子力協力協定と異なっており，今後，中東諸国などとの原子力協力協定締結にあたってモデルとなり得る可能性がある。

(5) 米ロ原子力協力協定

本協定は2008年5月に米国議会に提出されたものの，グルジア問題を契機として，2008年9月に取り下げられた。しかしポネマン氏やゴッテミューラー氏は本協定を支持しており，再度，議会に提出される可能性が高いものと思われる。

(6) 第4世代原子力システム研究開発(GEN-IV)

クリントン政権の下で開始された第4世代原子力システム研究開発(GEN-IV)については，継続される可能性が高い。ただし，現状の GEN-IV 予算のほとんどは，アイダホ国立研究所に建設される予定の次世代原子力プラント(NGNP)に当てられており，ナトリウム冷却高速炉の開発予算がどれだけ確保されるかが焦点となる。

(7) 予算

オバマ大統領は3月11日，成立が遅れていた2009年度予算を含む一括法案に署名した。DOE 予算全体は前年度に比べ増加しているが，原子力関連予算は逆に減額になっている。主要な原子力関連の予算を第1表に示す。

また2月26日に発表されたオバマ政権の2010年度予算の概要資料⁷⁾では，原子力発電の推進に関する記述は含まれていない。ヤッカマウンテンプロジェクトについては，NRC の許認可対応に必要な額に制限されるとしている。なお，プログラムごとの予算額は現時点(4月17日時点)で発表されていない。

■ **ブッシュ政権との比較**

1. ブッシュ前政権の政策の総括

ブッシュ政権は，濃縮，再処理といった機微技術の，既存の技術保有国以外への拡散については，原子力供給国(NSG)ガイドラインの強化，国連安全保障理事会決議1540の採択，拡散に対する安全保障構想(PSI)の開始等の手段により厳しく制限しようとした。

また，当初の GNEP の構想に見られるように，燃料供給保証の前提として，受領国に濃縮，再処理技術の取得を放棄するよう求める政策を強く打ち出した。こうし

第1表 原子力関連主要項目の予算(単位：百万ドル)

予算項目	2008年 度認可	2009年 度要求	2009年 度認可
NP 2010	133.8	241.6	177.5
第4世代原子力システム研究開発	114.9	70	180
原子力水素イニシアティブ(NHI)	9.9	16.6	7.5
先進燃料サイクルイニシアティブ	179.4	301.5	145
MOX プラント	281.3	487	487
ヤッカマウンテン	386.4	494.7	288.4

たアプローチは途上国の反発を招いて必ずしも成功せず，政権末期には，GNEP の国際プログラムは，新たな国が原子力を導入することは国際的にも望ましいとの考え方の下に，原子力導入にあたってのインフラの整備等に関する多国間協力の枠組みの構築を目的にしたソフトなアプローチに変わっていった。背景には核不拡散や核セキュリティなどを担保する措置が適用されれば，原子力発電導入に伴う核拡散リスクは大きなものではないとの考え方があったものと思われる。

国内においては，エネルギー安全保障と地球温暖化対応の観点から，新たな原子力炉の建設を支援する政策を採っただけでなく，GNEP を提唱する中で，従来のワンスルー路線を転換し，商業規模の再処理施設や高速炉の早期導入を実現しようとした。その意味で，カーター政権以降，ブッシュ政権は最も強く原子力を支持する政策を採った政権であるといえよう。

一方，核軍縮については，CTBT の批准や検証条項を含む FMCT に反対するなど消極的姿勢が目立った。

2. それに対してオバマ政権は

オバマ政権は，核軍縮，核不拡散，そして環境保護，地球温暖化に積極的に取り組む政策を進めるものと思われる。機微技術の拡散については，ブッシュ前政権と同様に，厳しい態度で臨むことが考えられ，機微技術放棄のインセンティブとしての燃料供給保証等の構想に関する国際的議論には，引続き積極的に関与していくと思われる。ただし，ブッシュ政権の第1期のように，燃料供給保証の前提としていきなり機微技術の放棄を求めるようなアプローチはとらないと思われる。また，新規原子力発電導入国に対しては，原子力平和利用の推進というよりは，より核不拡散を重視する観点からの協力に重点が置かれるものと考えられる。

国内のエネルギー政策に関しては，再生エネルギーやエネルギー利用の効率化の推進に重点があり，原子力の占める比重は，相対的に低下することが予想される。また，ブッシュ政権が強力に進めた商業規模の核燃料サイクル施設の早期導入路線は中止に追い込まれる可能性が高い。また，核軍縮については，START I の後継条約の締結等，米露間の核軍縮の推進，CTBT の批准，検証条項を含む FMCT の交渉開始等に積極的に取り組むことは間違いなく，この点にブッシュ政権との最大の違いがある。

ブッシュ政権との比較において，総じて，原子力平和利用と核不拡散の関係でいえば，核不拡散重視，国内のエネルギー政策においては，相対的に原子力の比重の低下，軍縮の積極的推進ということがいえるであろう。

■ **日本の原子力計画への影響**

1. 当面の影響

当面，六ヶ所再処理工場の本格操業や「もんじゅ」の運

転再開, 軽水炉の MOX 燃料利用などの民生 Pu 利用を全面否定するような介入は想定し難い。しかしながら, 核セキュリティなどの強化, また核燃料供給保証, 多国間管理構想, IAEA 強化などへの協力を求めてくることも考えられる。その理由は以下の通りである。

- ・クリントン元民主党政権は, 日本や欧州の民生 Pu 利用については容認した。
- ・日米原子力協力協定上, 六ヶ所再処理工場での米国起源の使用済燃料の再処理, 海外からの Pu 返還輸送, 「もんじゅ」での米国起源の Pu 利用については, 包括同意が与えられており, NPT に対する重大な違反や脱退, 保障措置協定や日米原子力協力協定等に対する重大な違反のような例外的なケースでない限り, 包括同意は撤回できないため, 日本の核燃料サイクル計画に介入することは法的にも困難であると考えられる。なお日米原子力協力協定は2018年が期限である。

GNEP に関する米国の商業規模の再処理施設・高速炉の早期導入路線は中止になる可能性が高く, DOE が AREVA・三菱重工(日本原燃も参加)のグループ等, 3つのコンソーシアムとの間で行っている設計概念検討等に関する新たな契約は締結されない可能性が高い。

2010年頃から検討が開始される我が国における第2再処理工場や FBR 実証炉の検討に関し, 核拡散抵抗性, 保障措置や核セキュリティの強化, そして多国間管理化などに関し新たな枠組み構築への協力などを求めてくる可能性が予想される。

2. 日本の課題

日本国内の関係者は連携し, オバマ政権の核不拡散および原子力政策をまずはじっくり分析した上で, 我が国の原子力政策への影響を見極め, 国際的な貢献を含め国全体としての対応策を検討する必要がある。

かつて, 動力炉・核燃料開発事業団のプルトニウム燃料製造施設において, 工程内におけるプルトニウムの滞留問題が表面化し, 米国議会で大問題となった。今後, 国内のプルトニウム利用施設において, 類似の問題が発生すれば, 核不拡散を重視するオバマ政権は, クリントン政権と同様に, 問題視する可能性が高く, 日本の核燃料サイクル計画に悪影響を与える可能性がある。また, 核拡散上の機微な原子力技術の管理においても, 問題が発生しないように十分な対策を講じる必要がある。

また, 原子力カルネッサンスと呼ばれる時代にあって, 昨年の G8 北海道洞爺湖サミット首脳宣言に, 3S(保障措置・核不拡散, セキュリティ, 安全)を確保することの重要性が盛り込まれたが, わが国としては, オバマ政権と連携しこの3Sの具体的な取組みについて, 国際的な

イニシアティブを発揮することが重要と思われる。

先の話ではあるが, 再選された場合, オバマ政権は, 日米原子力協定の期限切れの直前まで続くことになる。我が国として, 本協定の改正を求めるのか, あるいは自動延長をめざすのか, もし改正を求める場合, どのような方針をもって改正交渉に臨むのか, オバマ政権の政策, 日米両国における原子力プログラムの進捗状況などを勘案し, 検討しておくことが必要である。特に検討や技術開発に時間がかかる核不拡散などに関する技術的措置については十分な検討を進めておくことが重要であろう。なお, 2014年に期限を迎える米韓原子力協力協定については, オバマ政権下で本格交渉が行われることとなる。そこでは, 韓国が志向する高速炉開発, 乾式処理(パイロプロセッシング)などの扱いが焦点となると思われ, 我が国としてその成り行きには十分注視する必要がある。

— 参考資料 —

- 1) <http://prague.usembassy.gov/obama.html>
- 2) http://www.usembassy.org.uk/potus_09_april/potus_03.html
- 3) http://foreign.senate.gov/testimony/2009/Clinton_Testimony_090113_a.pdf
- 4) http://www.foreignpolicy.com/files/Kerry_Clinton_QFRs.pdf
- 5) http://energy.senate.gov/public/index.cfm?FuseAction=Hearings.Hearing&Hearing_ID=a71a3a1f-a497-7c36-a9f4-b4b37844f1fb
- 6) http://energy.senate.gov/public/index.cfm?FuseAction=Hearings.Hearing&Hearing_ID=aa73d7c2-b769-9950-6c6d-71c60fd14096
- 7) http://www.whitehouse.gov/omb/assets/fy_2010_new_era/Department_of_Energy.pdf

著者紹介

千崎雅生(せんざき・まさお)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)核不拡散, 核拡散抵抗性, 保障措置, 核セキュリティ, 核物質輸送, 非核化支援

山村 司(やまむら・つかさ)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)核不拡散, 国際法, 二国間原子力協力

解説

100年にわたるエネルギー需給構造の変革シナリオ

日本原子力研究開発機構 立松 研二, 川崎 弘嗣, 根本 正博

日本原子力研究開発機構は、わが国のエネルギー需給構造が原子力主体に移行することによって、わが国の二酸化炭素排出量を大幅に削減できる「2100年原子力ビジョン」を2008年10月に発表した。地球温暖化の議論が高まる中で、将来のエネルギーに関する社会的な議論の一助とすることを狙い、2100年までの超長期間での原子力の貢献度を具体的かつ定量的に推定し、地球温暖化問題の解決に対する原子力分野の潜在的ポテンシャルを顕示したものである。

I. 2100年原子力ビジョンの含意

アカデミアの世界では、この10年間で持続可能な社会の構築に関する議論が急激に高まってきている。これは、1999年にブタペストで開催された世界科学者会議において「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言」(ブタペスト宣言)が採択されたことに起因するとみることができる。また、IPCCが地球温暖化への警鐘を鳴らし続け、数次にわたって報告書を取りまとめ広く情報発信をしていることも、日本学術会議をはじめとするアカデミアでの議論に大きな影響を与え続けてきている。かつてエネルギーと環境は距離の離れた研究分野であったが、それらが属する研究領域では近年、不可分の課題として活発に議論されており、さらには関連施策の議論においても地球温暖化抑制における原子力への期待が高まっている。

日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)は、国の原子力の研究開発を担う中核機関であり、人類社会の福祉などに資する原子力に関する研究開発遂行に加えて研究開発の成果による社会への貢献も組織の目的としている。とりわけ、「社会のための科学」を体現するものとして、エネルギー環境問題で原子力が果たすことのできる役割を社会に説明する責務を負っているといえる。

原子力機構では、2050年より前に実用化を目指した高速増殖炉をはじめとして、核融合、高温ガス炉の研究開発を精力的に進めており、いずれもエネルギー環境問題に対処できる能力を内蔵した科学技術である。これらの科学技術はエネルギー環境面で定量的にどれだけの負託を受ける能力があるのだろうか。日本原子力学会に籍を置く読者からは、研究開発や社会科学など多くの専門的な視点に立った多くの考え方が示されるであろう。その

Revolution Scenario of Energy Demand—Supply Structure for 100 Years: Kenji TATEMATSU, Hirotsugu KAWASAKI, Masahiro NEMOTO.

(2009年 2月6日 受理)

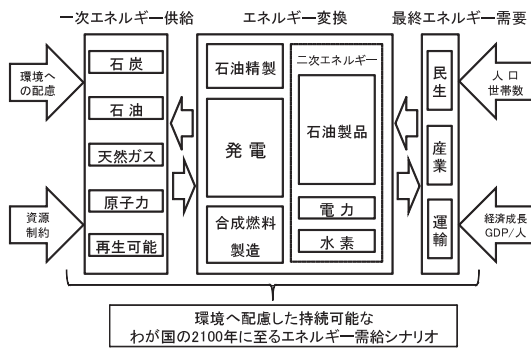
ような議論や検討を誘起するために、われわれがひとつの仮説に基づいてひとつの道すじを示すことは、各人が地球温暖化抑制方策での原子力の係わりを自らの問題として考えるという面で大きな意義があると考えられる。また、原子力以外のさまざまな研究領域で活動する方々や専門家でない一般の社会人の方々に対する具体的議論の喚起のメッセージとなることを期待している。

本稿では、「2100年原子力ビジョン」¹⁾の内容および検討事項などを概説しながら、第II章でエネルギー需給分析の全体像、第III章でエネルギー需給像の実現によって期待できる低炭素社会での環境・資源の有様、第IV章で本ビジョンへの反響を踏まえた今後の取組みを述べる。

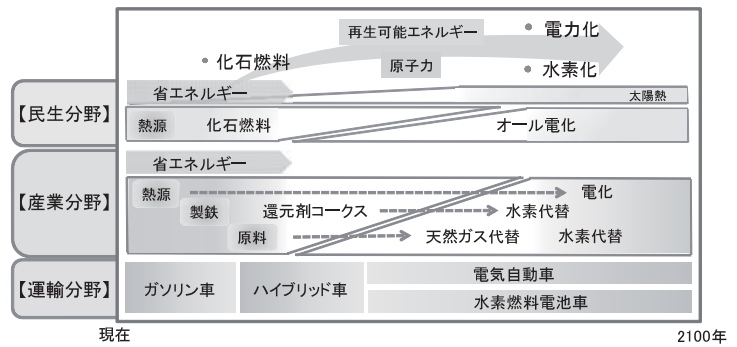
II. 超長期エネルギー需給シナリオ

1. 定量分析の方法

持続可能な低炭素社会の実現に向けたわが国のエネルギー需給像を定量的に示すため、まず目標とする将来社会におけるエネルギー利用の姿を想定し、そこに到達するためのエネルギー需給のあり方を遡って描くことにした。分析に際して最終エネルギー需要からエネルギー変換を経て、1次エネルギー供給に至るエネルギー需給分析の枠組みを構築した(第1図)。需要側では将来人口²⁾、世帯数および1人あたりの国内総生産(GDP/人)などを想定して長期的な最終エネルギー需要を推計した。他方、供給側ではさまざまな1次エネルギー源やエネルギー技術の利用の可能性を考慮に入れて、化石燃料や天然ウランなどのエネルギー資源消費量および二酸化炭素や高レベル放射性廃棄物などの環境排出量に配慮しながら、エネルギー技術の選択およびその利用規模を決定した。その際、本分析では、化石燃料依存への低減、積極的な電化および原子力利用の推進を通じて、二酸化炭素排出削減およびエネルギー安定供給を両立させた持続可能な低炭素社会の実現を目指しており、これを念頭に



第1図 エネルギー需給分析の枠組み



第2図 エネルギー利用の変遷

行っている。

このような分析から、われわれが導き出した将来社会のエネルギー利用の姿として、民生、産業および運輸分野で利用される、現在から2100年に至るエネルギー技術やエネルギー媒体の変遷を図式化した(第2図)。各分野とも化石燃料の直接燃焼の低減を目指し、積極的に電化や水素化を進めることとした。例えば、民生分野ではオール電化住宅や太陽光発電の推進、産業分野では鉄鉱石の還元を使うコークスを核熱水素で代替、化学コンビナートにおける自家発電や蒸気供給の熱源として多目的高温ガス炉の導入、ナフサなど原料用の石油製品を天然ガスや核熱水素で代替、化石燃料への依存が極めて高い運輸分野では現在普及が進んでいるハイブリット車の利用を経て、最終的には電気自動車や燃料電池車などの無公害車の利用を想定した。

2. 最終エネルギー消費量の推計

エネルギー需要は、総人口やGDPなどの社会経済指標に比例すると考えて、分野/部門ごとにそれぞれ推計した。具体的には、民生/家庭は世帯数、民生/業務、産業およびトラックを除く運輸/貨物はGDP、乗用車とバスを除く運輸/旅客は総人口にそれぞれ比例するとしてエネルギー需要を推計した。また、運輸の乗用車は15歳以上の人口、バスは総人口、トラックは総人口とGDPの両方に車両保有台数が比例するとして、乗用車、バスおよびトラックなどの各輸送機関の保有台数と燃費からエネルギー消費量を推計した。なお、各分野とも資源エネルギー庁の「長期エネルギー需給見通し」³⁾に準拠した省エネルギーを考慮して最終エネルギー消費量を推計した。ここで、推計の基準となる将来人口は、厚生労働省が参考値として公表している2100年までの推計人口のうち高位ケースを使用した。ただし、高位とはいえ、人口は減り続け2100年に約6,400万人である。また、経済活動レベルは将来の生活の豊かさを想像でき、かつ必要十分な産業基盤を維持し得る水準として、GDP/人を2100年で約2倍と想定した。この将来推計人口およびGDP/人より算出されるGDPは、今世紀半ばまで増加した後減少に転じ、2100年で現在(2005年)とほぼ同じ水準とな

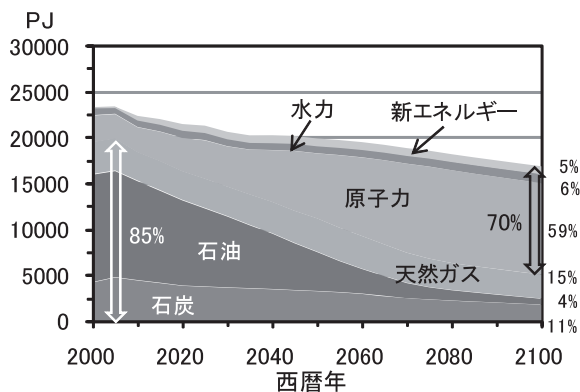
る。このように分野/部門ごとに推計された最終エネルギー消費量に対して、エネルギー利用シナリオとしてエネルギー媒体のシェアなどを設定し、エネルギー媒体別の最終エネルギー消費量を推計した。

民生分野では積極的な電化を進め、2100年において家庭部門では95%、業務部門では98%を電力が占める。家庭部門は中期的には省エネルギー効果、長期的には人口の減少に伴い最終エネルギー消費量が減少し、2100年には現状の55%減となる。他方、業務部門は2100年において現状の23%減にとどまる。産業分野は中期的には省エネルギー、長期的には水素還元製鉄などの導入に伴い最終エネルギー消費量が減少し、2100年には現状の24%減となる。運輸分野では自動車によるガソリンや軽油などの化石燃料の直接利用から電気や水素などの合成燃料の利用へエネルギー媒体の中心が移る。燃料電池車や電気自動車はTank-to-Wheel(燃料タンクから車両走行まで)効率が極めて良いため、最終エネルギー消費量を著しく削減でき、2100年において現状の78%減となる。最後に、3分野全体の2100年における最終エネルギー消費量は、省エネルギーに加え、運輸分野における無公害車の導入により、現在の42%減の水準になる。電化が大幅に進み、電力のシェアは現在の24%から62%に増える。水素は2100年において最終エネルギー消費の8%を占める。

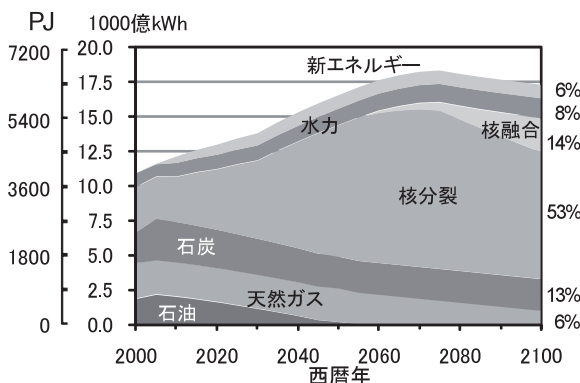
3. エネルギー供給システム像

わが国の将来の1次エネルギー供給量は削減できると推計された。2100年では1次エネルギー供給量に占める化石燃料の割合が現在の85%から30%に減る一方で、再生可能エネルギーおよび原子力の割合が現在の15%から70%に増える(第3図)。原子力利用の拡大は、二酸化炭素の排出削減に配慮した大幅な電化および核熱水素利用によるものである。また、2100年に向けて大幅に減る石油の消費は、最終的には非エネルギー利用および運輸分野の一部(航空機や船舶)に限られる。

わが国の将来の発電電力量は、2100年において現在の1.5倍に増える中で、石炭、石油、天然ガスなどの火力発電のシェアは、現在の66%から19%に大幅に減る(第4



第3図 1次エネルギー供給量



第4図 電源別発電電力量

図)。原子力発電は、電力需要の増分の供給に加え石油火力を代替し、また蓄電設備の導入や天然ガス火力を負荷調整用電源として利用するなどにより、高い利用率を維持しつつそのシェアは26%から67%に大幅に増える。なお、新エネルギーは2100年において総発電電力量の6%を占め、これに水力発電を含めた再生可能エネルギーは総発電電力量の14%に達する。原子力発電が大幅に増える中で、その供給形態は当面、核分裂炉である軽水炉が電力供給の主力となるが、今世紀中頃から今世紀末にかけて徐々に高速増殖炉に入れ替わることを想定している。また、今世紀中頃からは核融合炉の利用も始まることを想定した。

積極的利用を想定した原子力および再生可能エネルギーについて、個別発電技術の利用に関する概略を述べる。核分裂発電炉(軽水炉および高速増殖炉)の最大設備規模は2075年で145 GWeであり、2100年には116 GWeとなる。これは1基あたりの設備規模を1.5 GWeとした場合、現在、わが国で運転中の原子炉の2倍である約100基分に相当する。この中で高速増殖炉は、2045年に導入開始とし、ウラン資源節約のため、プルトニウムバランスに応じて最大限導入した。ただし、分析に際して、年間の建設基数は過去の最大値を参考に過大にならないように配慮して各年の新規建設を決定している。多目的高温ガス炉は運輸分野および産業分野への水素供給を中心に、化学コンビナートへの併設などさまざまな用

途およびエネルギー形態で利用することを想定した。2040年から商用ガス炉の利用を開始し、2100年までに120基(600 MWt/基)導入する。当初は、燃料電池車用の水素製造および化学コンビナートの自家発・熱供給から導入し、順次、化学コンビナート用水素製造、製鉄用水素製造に導入していく。核融合炉の導入計画は、原型炉が2036年頃から運転されており、技術的成立性が確認されていることを前提にした。今世紀前半には原型炉を中心とした実用化に向けた準備を完了し、実用1号炉の送電開始は2056年とした。その後、軽水炉を代替しつつ、2100年において33基(1 GWe/基)の導入を想定している。

太陽光および風力発電についても最大限の利用を考慮した。本ビジョンの2040年以降の太陽光発電の設備規模(37.5 GWe)は、わが国の太陽光発電の物理的限界潜在量の約4分の1に相当する。これは家庭用の3 kW_e太陽光発電パネル12.5百万基に相当する設備規模であり、本ビジョンでの2100年の総世帯数26百万世帯の約半数に設置されることに相当する。また、風力発電の2040年以降における設備規模(3.0 GWe)は、現状における最大規模1,000 kW_eの風車3,000基に相当する。これは、日本列島(本土)の脊梁山脈に沿って1列に設置するとした場合では約600 mに1基、また太平洋および日本海沿岸部に設置するとした場合では約1.5 kmに1基の間隔で設置が必要な設備規模である。更なる利用拡大の達成には、①日照条件および風況条件の悪い地点への立地の拡大(設備利用率の低下)、②需要変動への対応および供給安定性確保のための大規模蓄電設備の増強(経済性の低下)などの課題に取り組んでいく必要がある。

III. 低炭素社会を実現する原子力

本ビジョンで示したエネルギー需給シナリオは、低炭素社会を実現するためにどの程度貢献しているのだろうか。これを定量的に把握するため、環境排出抑制と化石燃料消費削減の観点から、地球温暖化抑制のための二酸化炭素排出量や、エネルギー安定供給のための資源消費量を概観する。

1. クリーンな環境を目指して

二酸化炭素排出量の削減は、地球温暖化抑制のために必須と考えられるため、化石燃料消費の削減とともにCCS(二酸化炭素の回収・貯留システム)の技術導入の効果を考慮した。石炭火力と天然ガス火力に対して2020年からCCS導入が進み、2100年で100%導入が進むものとした。ただし、回収に必要な熱源として燃料の一部を消費するため、発電システムの総エネルギー効率は悪化することを考慮に入れている。なお、CCSについては、回収した二酸化炭素を液化した後、船舶(重油機関)でわが国から約5,000 km離れた海域まで輸送し、海

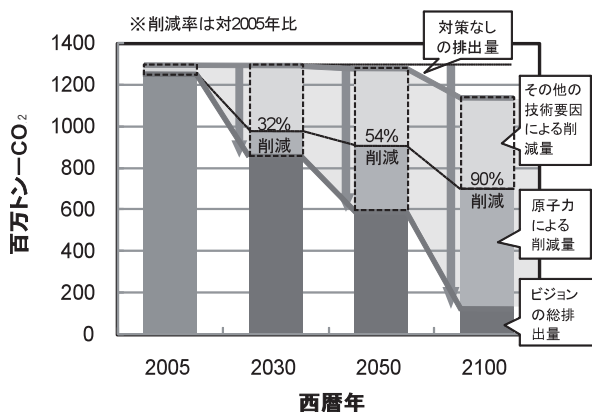
底下の帯水層へ貯留することを想定した。ここで二酸化炭素の回収・貯留率は、二酸化炭素の回収熱源や輸送燃料からの二酸化炭素排出が過大とならないよう考慮し、石炭火力およびガス火力でそれぞれ約70%および約85%とした。

また、森林吸収の効果も盛り込んでいる。森林の追加整備を行い、算入対象となる森林をさらに確保できるとし、わが国の森林吸収量の算入上限値(1,300万炭素トン)を2012年から2100年まで削減量として考慮した。

二酸化炭素の年間排出量は、2050年では現状(2005年)から54%の削減を達成しており、2100年の排出量は現状の約1割に抑えられる(第5図)。また、京都議定書における二酸化炭素排出削減の基準年(1990年)の排出量と比べても、2050年で49%、2100年で89%の削減となる。2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量の少なくとも50%を削減するというG8北海道洞爺湖サミットの合意目標において、わが国は予測される応分の負担をすることができるシナリオとなっている。今後、わが国がさらに大幅な削減目標を定めるのであれば、その達成のためには、本シナリオでは想定していない未開発の技術などによる一段と強力な省エネルギー対策の実施や産業構造における製造業のシェア大幅減など、主としてエネルギー需要側での更なる対応が必要と考えられる。

二酸化炭素総排出量削減に寄与する主な技術要因としては、原子力発電や多目的高温ガス炉の利用といった原子力エネルギーの利用により約半分の削減が得られている。なお、その他の技術要因としては、再生可能エネルギーの利用拡大、運輸分野での燃料電池車による水素化、省エネルギー、CCS導入、森林吸収などが含まれる。

原子力の積極的導入に伴い、発生する使用済燃料は多くなることが懸念される。ここで、想定した規模の原子力プラントから発生する使用済燃料を再処理する場合、必要となる再処理施設の設備容量は次のようになる。軽水炉用再処理施設は、年間処理量800 tHM/年の六ヶ所再処理工場の後、2030年に1,200 tHM/年の規模で第2



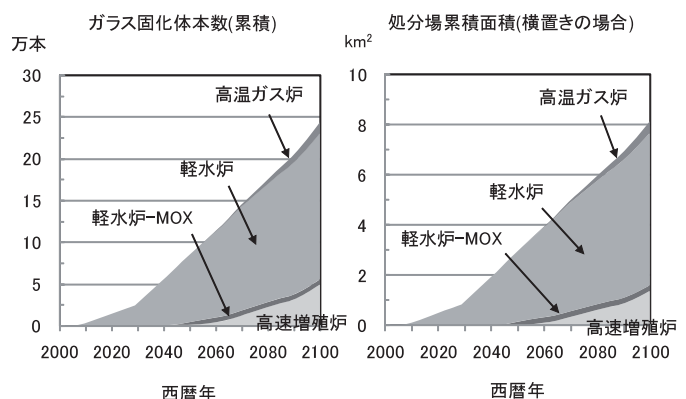
第5図 二酸化炭素排出の削減量

再処理施設の導入を想定している。また2047年には、年間処理量300 tHM/年の規模で多目的高温ガス炉用再処理施設の導入を想定している。他方、高速増殖炉の使用済燃料の再処理施設は、数百トン HM/年の規模で適宜増設している。濃縮ウラン使用済燃料の再処理は、ピーク時でも2,000 tHM/年の規模の施設を確保できれば、十分処理可能である。

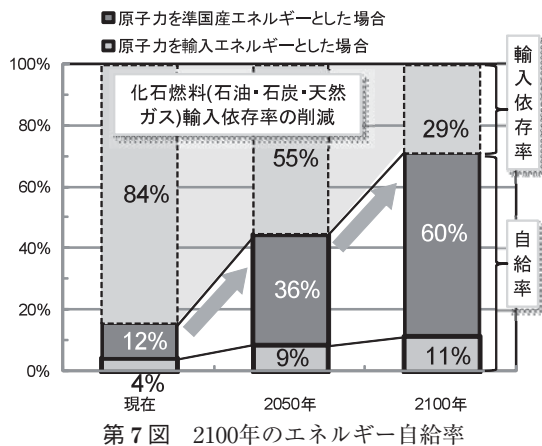
使用済燃料の再処理により発生する高レベル放射性廃棄物については、地層処分を想定し、その発生量(ガラス固化体本数)および、その最終処分に必要となる処分場面積については、2100年までのガラス固化体の累積本数は約24万本であり、この処分に必要な最終処分場の面積は約8 km²となる(第6図)。例えば、羽田空港の面積が約12 km²であり、本分析で想定した規模での原子力利用(核融合は除く)により発生する廃棄物の処分には、羽田空港程度の処分場を確保すれば100年以上にわたって処分が可能である。ただし、原子力の利用に伴い発生する放射性廃棄物は高レベル放射性廃棄物ばかりでなく、原子力発電所の廃止に伴う発電所廃棄物や再処理工場で生じる長半減期放射性廃棄物など、低レベル放射性廃棄物の処理・処分が持続的な原子力利用に支障をきたすことのないよう、処分施設の計画的整備を進めるとともに、クリアランス制度(放射能濃度が一定の基準を超えない廃棄物を通常の産業廃棄物として取り扱えるように認定する制度)の導入などにより発生量の削減を図る必要がある。

2. 資源節約とエネルギー自給

エネルギー資源のほとんどを海外からの輸入に頼っているわが国にとって、将来、化石燃料の消費量(輸入量)の削減は必須である。化石燃料依存からの脱却を目指した本エネルギー需給シナリオでは、2100年において、石油の消費量を現在より9割以上削減できる。石炭は安価で埋蔵資源量も多いため、ある程度の消費を見込んでいるものの、CCSの利用を前提に6割程度削減できる。



第6図 高レベル放射性廃棄物発生量の推移



第7図 2100年のエネルギー自給率

天然ガスは、産業分野において化学工業用の原料として使用するナフサなどの石油製品の代替および電力需要の変動に対応するための発電設備(ピークロード電源)の燃料としての需要増を見込んでおり、2割程度削減となる。

こうした化石燃料消費の削減により、わが国のエネルギー自給率は向上できる。現在、わが国のエネルギー自給率は約4%と低い(第7図)。ただし、原子力の燃料となるウランは、エネルギー密度が高く、備蓄が容易であること、使用済燃料を再処理することで燃料として再利用(高速増殖炉やプルサーマルによるプルトニウムの利用)できることなどから、資源依存度が低いため、原子力を準国産エネルギーと考えれば、わが国のエネルギー自給率は約16%に達する。国内生産は、水力、地熱および新エネルギーなどの再生可能エネルギーに加え準国産の原子力があり、さらに僅かながらの石炭、石油、天然ガスの生産量があるのみである。ここで示した1次エネルギー供給に対し、将来のエネルギー自給率は、原子力を国内生産に含めるか否かによって大きく異なるが、原子力を国内生産に含めない場合では、2100年のエネルギー自給率は11%程度、原子力を国内生産に含めると71%程度の高い自給率となる。

いずれにせよ、2100年には化石燃料(石油、石炭、天然ガス)の輸入割合を現在の約1/3にまで削減できることが期待できる。将来的に、高速増殖炉による軽水炉の代替が進めば、原子力は完全な国内生産エネルギーとなるため、原子力開発はわが国におけるエネルギー安定供給の確保に不可欠な技術といえる。

原子力を積極的に利用する本エネルギー需給シナリオにおいては、燃料として天然ウランの消費を伴う。軽水炉による天然ウランの需要は、2045年の高速増殖炉の導入開始とともに抑制されるが、2040年から導入される多目的高温ガス炉によって新たな天然ウラン需要が生じる。しかし、高速増殖炉による軽水炉代替が進めば天然ウラン累積消費量は頭打ちとなり、さらに多目的高温ガス炉にMOX燃料を利用することでウランの消費量は抑

制され、わが国の天然ウラン究極消費量は、OECD/NEA“Uranium 2007”でいう在来型資源の10%までは増えないと考えられる。

また、世界的な原子力エネルギー開発利用の拡大に伴う天然ウランの需要増を通じて、ウラン市場の逼迫を招く可能性も否定できない。しかし、軽水炉、高速増殖炉および多目的高温ガス炉は、ライフサイクルで見れば総コストに占める燃料費の割合(3割程度)が火力発電(4~6割程度)に比べて小さく、仮にウラン価格が相当程度上昇したとしても、十分な量のウランが確保できるならば、価格上昇自体は火力発電に比べてそれほど大きな問題とはならない。さらに、海水ウランの回収技術開発の取組みは、将来のウラン需給問題の解決にもつながるであろう。

Ⅳ. 今後の取組み

本ビジョンで取り扱ったエネルギー需給の将来像は、一つのシナリオに過ぎないが、二酸化炭素の排出削減とエネルギー安定供給の両立を目指した低炭素社会実現の可能性を示すものである。今後の検討では、制度的枠組みによる開発導入の誘導や費用対効果を含めた評価を進めることが課題となる。

—参考資料—

- 2100年原子力ビジョン—低炭素社会への提言、
<http://www.jaea.go.jp/02/press/2008/p08101601/>
- 国立社会保障・人口問題研究所、日本の将来推計人口平成18年12月推計、平成18年12月。
- 経済産業省資源エネルギー庁 総合エネルギー調査会需給部会、長期エネルギー需給見通し、平成20年3月。

著者紹介

立松研二(たてまつ・けんじ)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)炉型戦略/エネルギー・環境、経済性

川崎弘嗣(かわさき・ひろつぐ)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)材料力学/エネルギー需給、経済性

根本正博(ねもと・まさひろ)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)プラズマ計測/科学技術施策全般、イノベーション

世界の核セキュリティの現状と動向

京都大学名誉教授 中込 良廣

近年、世界的に、種々の要因によるテロリズムの発生が多く見られてきている。とりわけ、9.11米国同時多発テロ事件を契機に、原子力施設に対するテロ防止対策が話題になってきた。核燃料を含むすべての放射性物質に関し、脅威という観点から「核セキュリティ」問題を取り上げ、国際的な現状と今後の動向を解説する。本稿を通して、国際情勢およびわが国の事情を踏まえ、わが国でできる原子力施設防護のあり方を考える材料となることを期待する。

I. はじめに

2001年9月11日の米国同時多発テロ事件以来、原子力施設に対するテロ行為(近年、これらを総称して「核テロ」と呼ばれてきている)が、現実的なものになりつつあるとして、原子力関係者および一般の人々の関心が高くなってきている。原子力施設に対するテロリストからの防護対策については、国際原子力機関(IAEA)のガイドライン文書 INFCIRC/225の基準に基づく「核物質及び原子力施設に対する核物質防護」要件(この要件を“核物質防護措置”と呼んでいる)がわが国の規制に取り入れられ、原子力施設ではすでに適用されているところである。

近年、核テロの目的の一つであるとされる放射能の飛散行為に注目が集まり、とりわけ核物質以外の放射性物質、すなわち放射性同位元素に対するこれらの脅威に関心が高まってきている。このように、これまでの核物質を限定対象とした防護から、あらゆる放射性物質の不法使用に対する脅威を対象とする概念変更が求められており、特に、9.11同時多発テロ事件以降、核物質防護に代わって「核セキュリティ」という言葉が用いられるようになってきている。

わが国の原子力関係の専門家の集団である「日本原子力学会」において、原子力に関係する会員として、核不拡散はもとより、保障措置や核セキュリティといった、これまで(技術的な)研究対象とされなかったテーマに対する認識が、先進諸外国に比べてあまりにも低すぎるのではないかと感じている。2007年度に、日本原子力学会に「核不拡散・核セキュリティ・保障措置連絡会」が発足した。これを機会として、原子力研究・開発を進めていく上で、とりわけ研究者や事業者にとって「迷惑措置」と映る「核セキュリティ」について理解を求めたい。

筆者は現在、エルバラダイ IAEA 事務局長の諮問組

Current Status and Tendency of Nuclear Security in the World : Yoshihiro NAKAGOME.

(2009年 2月2日 受理)

織の一つである「核セキュリティ諮問グループ(Advisory Group on Nuclear Security: AdSec)」に日本代表委員として出席していることから、ここに最近の世界における核セキュリティの現状および動向について解説したい。わが国では「セキュリティ」そのものに対する認識に乏しい(というより、認識が不要な日本社会のためか?)という背景を考えても、少なくとも原子力関係者として、この解説を通して、核セキュリティに対する国際的な感覚を持つことを願うものである。

II. 核物質防護から核セキュリティへ

1. 核物質防護

(1) 歴史的背景

1955年の国連での米国アイゼンハワー大統領の、いわゆる「Atoms for Peace」演説に端を発し、原子力の平和的利用を奨励および軍事転用を監視する組織として、1957年7月に国際原子力機関(IAEA)が設立された。

1960年代後半に入ると、国際的にテロリズムが頻発するようになり、原子力施設からの核燃料物質(核物質)の盗取による核兵器製造や施設に対する妨害破壊行為による一般社会への不安感の増長といった脅威が懸念されるようになった。このような背景の下、米国は、テロリストによる核拡散の防止、社会の安全確保および国家安全保障の観点から、核物質の防護対策を行うようになった。1969年4月に、米国原子力規制委員会規則「NRC 10 CFR Part 73」を定め、核物質の防護に乗り出した。当初は、規制範囲は「核物質の盗取防護」に限られていたが、1972年に「原子力施設に対する妨害破壊行為からの防護」が追加された。以降、これらを総称して「核物質防護(PP: Physical Protection of Nuclear Material)」と呼ばれることになる。

一方、1960年代後半には、米ソ冷戦の影響を受け大国による核実験が競争的に行われ、大量破壊兵器の使用が現実の脅威として懸念されるようになってきた。この状態を拡大させない方策として、1970年3月に、当時の核

兵器保有国(米国, 英国, フランス, ソ連, 中国)以外の諸国の核兵器保有を禁止するとして「核兵器の不拡散に関する条約(Treaty of Non-proliferation of Nuclear Weapons: NPT)」が発効した。ところが, NPT に非加入のインドがカナダから輸入した原子炉の使用済燃料(燃料は自国産)から取り出したプルトニウムを使って, 1974年5月に(自称)“平和的核爆発”実験を行った。これがきっかけとなり, 平和的利用における核燃料サイクル関連の設備や技術, 核物質の核兵器開発への可能性が議論されることになり, その結果, 核不拡散強化政策として, いわゆるロンドンガイドラインと呼ばれる原子力資機材・技術の輸出管理のガイドラインが合意され, IAEA 保障措置や核物質を盗まれないようにする措置, すなわち PP 措置等が輸出の際の条件とされることになった。PP の観点からは, 国際的な核防護体制の確立の必要性が認識され, 核不拡散を支える重要な措置と位置づけられることになったといえる。

(2) 核物質防護ガイドライン「INFCIRC/225」

IAEA では, 1969年12月に東京で開催された IAEA パネルにおいて核物質防護(PP)に関する措置の議論が発端となり, 1971年6月に1次草案の検討が始まった。各種委員会での見直し等を経て, 1975年9月に INFCIRC/225(Information Circular No. 225)として発行された。この文書は, PP の目的, 基本的考え方, 国の制度, PP の要件等を定めたもので, PP のガイドラインとしての位置づけを持っている。II-1(1)で述べたように, 米国 NRC での規則が IAEA 文書より先行していたことから, INFCIRC/225は, 基本的には米国規則に準じたものになっているといえる。

INFCIRC/225は当初, 核物質の盗取防止に関する防護要件が述べられたものであったが, 1999年6月に INFCIRC/225/Rev. 4として, 原子力施設に対する妨害破壊行為の防止要件が追加された。このように1975年の文書発行後, PP 体制における品質保証の導入や輸送情報の管理等, 幾多の改訂が行われて現在の Rev. 4 に至っている。これまでの INFCIRC/225の改訂時期と改訂概要については, (財)核物質管理センターが一覧表としてまとめている¹⁾ので, それを第1表に示す。

わが国では, 「核原料物質, 核燃料物質および原子炉の規制に関する法律(以下「原子炉等規制法」と呼ぶ)に INFCIRC/225が全面的に取り入れられ, 現実的な規制が行われているところである。

なお, 現在 IAEA において, 脅威の一つである放射性物質のばらまきを視野に入れた Rev. 4 の改訂作業が行われており, 核セキュリティ文書の整備とともに INFCIRC/225/Rev. 5として勧告文書(Recommendations)の形で発行されることになっている。

(3) 核物質防護条約

上述のように, 原子力の平和的利用は NPT の下に実

第1表 INFCIRC/225文書の改訂

	時期	文書番号	改訂の概要
1	1975. 9	INFCIRC/225	
2	1976. 2	INFCIRC/225修正	一部修正
3	1977. 6	INFCIRC/225/Rev. 1	・核物質の区分表の見直し
4	1989. 12	INFCIRC/225/Rev. 2	・原子力施設の防護 ・品質保証の導入
5	1993. 9	INFCIRC/225/Rev. 3	・高レベルガラス固化体の除外 ・輸送情報の管理 ・核物質防護区分表
6	1999. 6	INFCIRC/225/Rev. 4	・表題の変更 ・設計基礎脅威(DBT)を国が明示 ・妨害破壊行為の章を新設

施されているのが現状である。原子力活動においては当然のことながら, 国内外での核物質の移動, すなわち核物質輸送が含まれる。核物質を盗取から守る観点からは, 輸送状態が最も困難とされる。特に, 国際間の輸送における核物質の防護は, 各国での取組み方に相違があることから, 国際的な取決めが必要とされた。

1977年2月に INFCIRC/225の見直し会議の中で, 核物質の国際輸送時における核物質防護等の国際協力の必要性が議論され, 1979年10月に核物質の国際輸送時の核物質および国際間の犯罪の取扱いを目的とした「核物質の防護に関する条約(PP条約)」の草案が採択された。この草案は1987年1月に21ヵ国の批准が満たされ, 同年2月に PP 条約として発効した。わが国は1988年11月に加入した。

PP 条約は目的として, ①平和利用の核物質の国際輸送に関し, 締約国は条約の付属書に規定される防護措置をとること, ②核物質に対する犯罪を特定し, 締約国が裁判権の設定, 容疑者の引渡しおよび検察当局への付託を行うこととしている。具体的には, 輸送モード(陸・海・空)に対する適切な防護措置がとられていない場合の入港や通過の禁止, 自国内法での防護措置, 引渡し犯罪者の自国内法による処罰が定められており, 通常の国際条約と比較して, (犯罪者の取扱いまで規定しているという点から)若干踏み込んだものとなっているのが, 特徴である。

PP 条約については1999年11月以降, INFCIRC/225/Rev. 4の内容を反映するための作業が IAEA で開始されたが, 条約改正までには至らなかった。しかし, 2005年4月にわが国を含む25ヵ国共同提案による条約改正案が提出されたことに伴い, 同年7月に88の締約国とユーラトムの参加を得て, 条約改正のための締約国会議が開

催された。2005年8月にPP条約の改正が採択され、現在各国において国内手続きが行われているところである。

PP条約の主な改正点は、(1)原子力施設に対する妨害破壊行為からの防護体制の整備が追加、(2)国際人道法下での武力紛争における軍隊の活動で、国際人道法で規律されるものは除く、(3)犯罪行為に、核物質の不法移転(核密輸)と妨害破壊行為(放射能の飛散行為を含む)が追加されたことである。

(4) 2国間協定での核物質防護

2国間の原子力協力協定においてもPPに関する規定が盛り込まれている。当初の各協定にはPP措置に関する規定は設けられていなかったが(中国とユーラトムを除く)、改定時に盛り込まれ、現在、わが国として、カナダ(改定1980年)、オーストラリア(同1982年)、中国(1986年)、米国(同1988年)、フランス(同1990年)、英国(同1998年)、ユーラトム(2006年)と2国間原子力協力協定を結び、PP措置がとられている。

2. 核セキュリティ

(1) 9.11米国同時多発テロ以降のIAEAの対応

2001年9月11日に米国で発生した同時多発テロ事件は、原子力施設に対する重大な“脅威”として、また現実味を帯びた行為として受け止められた。とりわけIAEAにおいて、エルバラダイ事務局長の動きは速く、事務局長の諮問グループとして同年11月に「核セキュリティ諮問グループ(Advisory Group on Nuclear Security: AdSec)」を発足させ、年2回のペースで会合が開催されている。

同時多発テロは、原子力施設におけるこれまでのPP措置のうち、“妨害破壊行為”に相当するものであるが、一般には、それまで懸念されていた放射性物質の飛散行為(かつては「ダーティ・ボム」として脅威の対象とされていた)として認識された。飛散行為は核物質に限ったことではなく、いわゆる放射性同位元素をも巻き込むことになることから、以降、IAEAでは「核物質防護」を「核セキュリティ」と呼ぶようになったと理解している。

なお、米国多発テロ事件以降、原子力施設に対するテロ行為は、核物質の盗取よりも妨害破壊行為→放射性物質の飛散行為というイメージが強く、したがって「核セキュリティ」は「核物質防護」と若干異なり、核テロ対策の響きを持った言葉といえよう。AdSecでは、核セキュリティを、「核物質その他の放射性物質の、及び関連施設における盗取、妨害破壊行為、不法アクセス、不法移転その他の不法行為の防止、探知および対応」と定義している。

ちなみに、IAEAでは以下の4つを“脅威”と想定し、核セキュリティ活動を行っている。

- (1) 核物質、核兵器の盗取
- (2) 盗取された核物質による核爆発装置の製造

(3) 放射性物質の飛散

(4) 原子力施設や輸送等に対する妨害破壊行為

(2) 核セキュリティに関するIAEAの活動

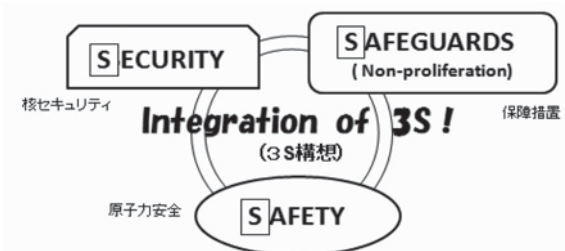
IAEAでは、原子力安全・核セキュリティ局(Department of Nuclear Safety and Security: 谷口次長所掌)が中心となって核セキュリティ活動を行っており、2002年3月に核セキュリティに関する第1次活動計画(2002~2005年)を立案・実施、同時に“核セキュリティ基金(NSF)”を設立して資金問題対策に取り組んでいる。その後、2003年9月に放射線源の安全とセキュリティに関する行動規範の改訂を実施、2005年3月にロンドンで「核セキュリティに関する国際会議」を主催、2005年9月には第2次活動計画(2006~2009年)を立案・実施している。現在、第3次活動計画(2010~2013年)が立案中である。

一方、核セキュリティに関するIAEA文書の整備が進められており、現在、基本文書(Fundamentals)1編、勧告文書(Recommendations)3編、実施ガイド(Implementing Guides)10編、技術ガイダンス(Technical Guidance)15編が計画されている。すでに、3編の実施ガイドと6編の技術ガイダンスが発行され、6編の実施ガイドと3編の技術ガイダンスが出版の段階にある(2008年末現在)。

(3) いわゆる「3S構想」について

IAEAでは、核セキュリティが大きな問題となる以前から、核不拡散の対策として「保障措置(Safeguards)」活動を実施してきている。また、原子力利用の促進の観点から「安全性(Safety)」について力を注いでいる。IAEAとしては、原子力の平和的利用促進のために、近年、両活動にセキュリティ(Security)活動も不可欠な事業として展開することになってきた。この3活動は、その頭文字が“S”で始まることから、3SとしてIAEA活動に関する世界の注目を集めることになった。これらのSは、異なる方向性を持った活動であるが、すべてIAEAで行う事業であることから、3S活動の接点を見いだすべく検討を開始しているところである。IAEAが構想する3Sの関係を図式化すると、第1図のようになる。

2008年7月の洞爺湖サミットのG8声明で、福田首相(当時)が原子力の平和的利用の促進のために、3Sに立脚した活動をすることを提唱した。3Sの接点に関する議論は、その存在自身を含めて多くの議論が展開されて



第1図 IAEAの3S構想—目指すことは3Sの統合?

いる^{2,3)}。

原子力創生期から議論されてきた「安全」問題および数十年の歴史と実績を持つ「保障措置」問題と比較して、「核セキュリティ」問題は歴史が浅く、相手という敵対意識を持った“人間”を対象とする視点に立った議論が必要である。

(3) IAEA 以外での核セキュリティ活動

(a) 核テロ防止条約の発効

1996年12月の国連総会において「国際テロリズム廃絶措置」決議が採択され、これを契機として1997年2月にロシア提案として核テロ防止に関する交渉が国連で開始された。2005年4月に「核によるテロリズムの行為の防止に関する国際条約(核テロ防止条約)」が国連総会で採択され、本条約は2007年7月に発効した。わが国は2005年9月に署名した。

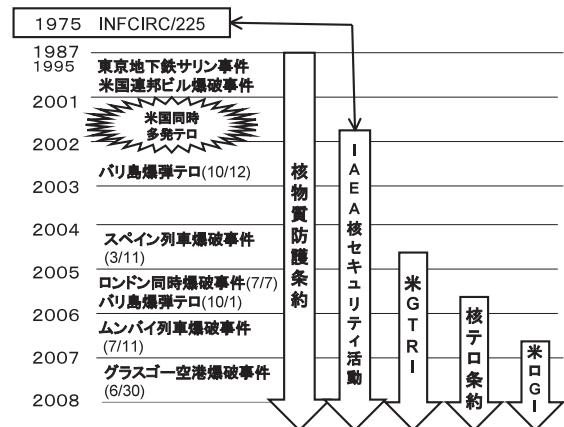
この条約の目的は、「核によるテロリズムの行為が重大な結果をもたらすこと及び国際の平和と安全に対する脅威であることを踏まえ、核によるテロリズムの行為の防止並びに同行為の容疑者の訴追及び処刑のための効果的かつ実行可能な措置をとるための国際協力を強化すること」となっている。

(b) 米国およびロシアの取組み

米国では、9.11事件以降、テロ防止対策は国家の最重要課題の一つとしてとらえられ、特に核テロ防止対策に関してはエネルギー省に設けられた国家核セキュリティ局(National Nuclear Security Administration: NNSA)が中心となって活動を行ってきている。2004年5月に「地球的規模脅威削減イニシアティブ(Global Threat Reduction Initiative: GTRI)」が提唱され、特に高濃縮ウラン燃料を使用している試験・研究用原子炉の濃縮度低減化計画が加速されることになった。この計画は当初、核不拡散政策の一環として、使用しているウラン燃料の濃縮度を高濃縮(濃縮度90～93%)から低濃縮(同20%未満)に低減化することを目的としたものであったが、GTRI政策の提唱により、核セキュリティ上の“脅威削減”という認識に変わったといえる。

また、2006年7月には、ロシアのサンクトペテルブルク会議での米ロ両首脳(当時、ブッシュ米大統領とプーチン露大統領)発表による「核テロリズムに対抗するためのグローバル・イニシアティブ(Global Initiative: GI)」において、①原子力施設のセキュリティの改善、②核物質等の不法移転・活動の探知および防止、③核テロへの対応および発生後の緩和措置、④核テロ対応のための技術的手段の開発協力、⑤テロリストの自国内排除措置、⑥核テロリスト処罰のための国内法の強化、⑦多国間共同訓練、専門家会合の実施および支援提供、が明確に打ち出された。この発表では、すでに核物質防護ではなく核セキュリティという言葉が用いられている。

本章で取り扱ったPP条約やIAEAの核セキュリティ



第2図 主なテロ事件と核セキュリティ活動

活動等と、主な社会的テロリズム発生時期との関係を一覧表にしたものを、第2図に示す。この図から、ここ10年間に毎年のように大きなテロ事件が発生しており、それに対応するかのようになり、いろいろな核テロ防止対策が講じられてきている。これまで世界において、特記するような核テロ事案は発生していないが、種々の核セキュリティ活動が功を奏しているといえよう。

III. 核セキュリティ関係国際会議

核テロの脅威が現実味を帯びてきた状況において、IAEAや核物質管理学会(Institute of Nuclear Material Management: INMM)による核セキュリティ関係の国際会議やシンポジウムが開催され、多くの議論・研究発表・情報交換がなされてきている。一般的に、これらの会議での情報は入手しにくい。特に技術開発や研究は、特定の部署や研究所で行われているが、発表されることはまれである。ここでは参加に制限を受け、また情報の開示制限のある国際会議の現状を紹介する。

1. 核セキュリティ国際会議—NUMAT および NUSEC

この会議は、ザルツブルク大学において2002年9月に「核物質防護の強化に関する専門家会議(NUMAT)」として第1回が、2005年7月に「原子力とセキュリティに関する国際会議(NUSEC)」として第2回が開催された。

第1回の会議には、27カ国から118名が参加し、わが国からも筆者を含めて3名が出席したが、改めてわが国の核セキュリティに関する関心の低さを実感させられた。そもそもこの会議の目的は、①PPの強化に関する国際的努力の必要性の喚起、②PP技術に関する技術・規制の情報交換、③PP対策に関する実際の解決策への国際協力とされた。主要な話題としては、以下の通りであった。

- (1) PPの標準化
- (2) 核密輸に対する情報交換と検知手段の開発
- (3) PP開発研究での重点項目

(4) PP教育および訓練への支援

(5) 各国における「セキュリティ・カルチャ」の強化
会議を通して、脅威の定義に始まる“そもそも論”からセキュリティ・カルチャという考えの有無に至るまで、専門家が経験および論理的思考に基づいた多くの発表があり、セキュリティ全般について認識の低い我々日本人にとって、刺激的な会議であった。この会議において、SafetyとSecurityに基本的な違いがあることが、僅かながらに理解できた気がした。

第2回は、同じザルツブルク大学での開催であったが、「核防護」ではなく、Nuclear Energy and Security (NUSEC)と名称が変更されて開催された。参加国および機関数も17カ国4機関、参加者数82名(わが国からは筆者を含めて3名参加)と第1回と比較して小規模であった。会議の目的は、原子力の脅威に関する各国の現状および関連情報の交換とされ、話題として、テロ緊急時の被ばく評価、核密輸問題、輸送および放射性廃棄物に対するセキュリティ問題、ダーティ・ボムに代表される放射能飛散装置(RDD)が主要なものであった。会議全体を通して、世界の関心事は核物質を盗取して核兵器を造る想定脅威よりも、広く利用されている放射性物質を使用したテロという“身近な脅威”に移ってきていることを実感した。

2. 核物質不法移転に関する国際会議⁴⁾

2007年11月に英国エディンバラでIAEA主催で開催された。正式名称は「International Conference on Illicit Nuclear Trafficking : Collect Experience and the Way Forward」というもので、参加国数69カ国11機関、参加者324名の大規模な国際会議であった。会議の目的は、核物質の不法移転防止対策に関する全世界の経験をレビューし、不法移転の予防(Prevention)、探知(Detection)および対応(Response)に関する国際的に可能な戦略を考えることであった。参加希望者は各国政府の承認が必要とされており、わが国から筆者を含めて3名参加であった。世界的に核セキュリティの重要性が認識され、多くの政府・民間専門家が参加した中で、IAEA支援重要国のわが国からの参加者が3名(ちなみにテロ対策担当の国務次官補代理をトップとした米国の34名をはじめ、主要先進諸国からは10名以上が参加)であったのは、わが国の産官学界における核セキュリティに対する認識の低さを露呈したものと思っている。この会議で、あらためて核物質の不法移転が核テロに関係すること、国境での核物質の不法移転(いわゆる「核密輸」)の防止が、テロ防止に大きな影響を持つこと、対応能力の増強のために、教育・訓練および国際協力体制の確立が不可欠なこと等が討議された。核テロの脅威(特にRDD脅威)は現実のものになりつつあることを認識すること

が、会議のまとめとして取り上げられた。このことは、国際化が進むわが国においても、他人事として看過できない状況にあることの警鐘と理解する必要がある。

IV. おわりに

SafetyとSecurityの区別が明確でない日本人にとって、“迷惑なもの”と受け止められがちなセキュリティ対策のなかで、特に原子力施設にかかわる核セキュリティ対策は、設備面(ハード面)のほかに、安全と情報管理の関係、安全管理従事者への信頼と行動監視の関係(ソフト面)等々、複雑かつ相反する関係を議論しなければならないという“やっかいな題材”として見られている。

一方、我が国民は、過激なことは好まず、話し合い路線が好きな性格の持ち主といえる。このことは、大いに誇るべきと思っている。しかし、国際的には好むと好まざるとに関係なく、核テロの脅威が増しつつあることは確かである。したがって、上述のような核セキュリティの世界の現状を理解した上で、「わが国の国情に合った防護体制はいかなるものか?」を皆で考えることが重要である。と同時に、諸国に対し金銭的のみならず、人的・技術的貢献を積極的に進めることが肝要である。

また、いずれの分野もそうであるが、核セキュリティの世界において人材の確保および育成は最も大きな問題となっている。若手不在原因の一つとして、守秘情報が多いため開発研究成果を公表できないことが挙げられよう。今後、核セキュリティ関連研究成果の評価をいかに行うかが、人材問題の解決の糸口にならう。

— 参考資料 —

- 1) 財核物質管理センター、やさしい核物質管理読本, p.33 (2006).
- 2) 坪井 裕, “保障措置, 核セキュリティ, 原子力安全の相互の関係と今後の展望”, エネルギー政策研究, 5 [1], 7 (2007).
- 3) 入江一友, “原子力安全, 保障措置及び核セキュリティの相互関係”, エネルギー政策研究, 5 [1], 35 (2007).
- 4) 中込良廣, “核物質の不法移転に関する国際会議”, 核物質管理センターニュース, 37 [2], (2008).

著者紹介

中込良廣(なかごめ・よしひろ)



京都大学, 原子力安全基盤機構
(専門分野)原子核物理学, 核燃料管理学

解説

原子力と日本人の安全観

東洋大学社会学部 中村 功, 関谷 直也

安全・安心は現代のキーワードだが、安心と安全は別なものである。アンケート調査の結果、一般住民の原発への考え方は、単にリスクとベネフィットの問題ではなく、日本人の「生き方」に深く関わっていることがわかった。また原子力関係者の考え方が理性的一貫性を持っているのに対し、一般住民は不安の中の許容という、複雑な構造にあった。

はじめに

今日では、食品安全問題、環境問題、災害、犯罪など、さまざまな脅威が社会問題となっていて、安全・安心な社会の実現は、現代のキーワードの一つとなっている。そのなかで原子力発電に関する安全・安心も重要な問題である。筆者らは災害や環境問題そして原子力事故などに関する人々の心理について長年研究してきたが、そこでいつも不思議に感じるのは、実際の危険の大きさに対して、人々が抱く不安や対処行動はいつもずれがある、ということである。すなわち災害に対しては、人々は鈍感なことが多く、環境問題や原子力については敏感なことが多いのである。なぜそのようなことが起きるのだろうか。

本稿では、原子力発電に関する人々の安全観について、どのような構造になっているのかを検討する。

なお、本稿は原子力安全基盤機構の受託研究(2002～2007年)の研究成果の一部である。

I. 日本人の安全観(2002～2004年度調査より)

1. 安心と安全は異なる

まず安心と安全の概念について考えておきたい。最近では「安全・安心の社会を作る」などという言葉がよく聞かれ、安全と安心がセットになっていると考えることが多いようである。これは事実として安全であれば、人は安心する、という理屈である。しかし、現実の社会的不安を考えると、これは正しい認識とはいえない。たとえば最近、殺人事件や災害についての社会的不安が高まっているが、統計をみれば明らかなように、両者とも、その死者数は近年減少しているのである。むしろ、安全と安心は別のものであると考えたほうがよいのである。安全と安心には3つの要素がある。

第1に、科学的安全性(あるいはその裏返しの危険性)である。これはある危険(リスク)の発生確率とリスクの大きさの積で表すことができる。例えば、自動車事故の発生確率は高いが、一度あたりの被害の大きさは小さい。一方、原子力の事故の確率は低い、一度起きた時の被害は大きい、などと考えるのである。これは科学者の感覚である。

第2に、客観的安全性についての認識がある。これは人々のもつ、ある事柄がどれほど危険であるかの認識である。ただし一般人には危険性がよくわからない、あるいは考えたこともないということがある。

第3に、人々のもつ不安感情がある。これはあるリスクに対する不安心理で、理由なき不安や安心もありうる。

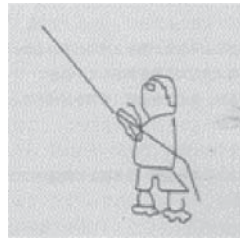
そして、この3者の関係は専門家と一般人では異なっていると考えられる。すなわち、専門家は科学的安全性(あるいは危険性)のことについてよく知っている、それと安全性への認識が結びついていて、それが不安感や安心感につながっている。一方で、一般の人々は科学的安全性については詳しく知らない、それかが安全性(危険性)への認識に与える影響が少ない。その一方で、安心・不安意識と安全性への認識は結びついていて、安全観(不安観)とはこの不安感や危険視が結びついたものである。

2. 「正確なこと」は「正しいこと」「適切なこと」か

では、客観的・科学的安全性(危険性)を正確にわかっている一般人は、間違っているのであろうか。「リスクコミュニケーション」の分野では、リスクコミュニケーションは安全性を「説得」するのではなく、専門家と住民の間の了解・納得・相互理解が重要と考えている。しかし、それでもリスクの客観的認識(重大性×頻度)が、「正しい」認識の頂点にあると考えているのではないだろうか。逆に、そもそも人々の主観的不安は正しくないといえるだろうか。

たとえば、第1図のような図を見た時、健常者はそこ

に風が描かれていなくても風あげをしている、と認識するが、失語症の患者はそれを認識することができないという。ここで、失語症患者の認識は正確ではあるが、「正しい」認識とはされないのである。



第1図 風上げの図

さらに社会的に考えれば、客観的「正確さ」が社会的な「正しさ」や「適切さ」とは一致しない例はいくつもある。ここから、客観的正確さが認識の頂点にあるという認識を、ひとまず脇に置いておく必要がある。

3. 不安・安心にかかわる要素

不安・安心にかかわる要素にはさまざまなものが考えられる(第1表)。たとえば、リスクの性質にかかわる要素としては、発生確率、重大性、日常性、ダメージを受けるメカニズムの不明瞭性がある。原発事故では、発生確率は低いものの、発生した場合の重大性が大きく、非日常的で、放射線被害のメカニズムは不明瞭と考えられる。

次にリスクへの対処にかかわる要因がある。たとえばリスクに適切に対処していないと考えられれば、不安は高くなるし、原発の近くに住んでいてリスクに慣れていたり、飛行機搭乗など、他に手段がなく、あきらめざるを得ない場合などは、不安は低くなると考えられる。

さらに認識する人の信念に関係する要素がある。これには、科学観や技術観、怒りと罰の心理、自然志向、時代背景などがある。たとえば、人間のやることに完璧はないという信念や、科学技術への不信は原発への不安を高めることになるだろう。

4. 原子力への不安観は世界観・人生観とのセット

以上、考えられる諸要因と、原子力発電への不安・危険視(不安観)との関係性を示したのが第2表である。これは、東京都民に対して行ったアンケート調査で、原子力への不安と危険視を合計した変数と各変数とを偏相関分析にかけたものである。偏相関分析とは、互いに関係のある見かけ上の関係性を消し、真の関係性だけを取りだそうとするものである。各要因は因子分析で似たような回答傾向を示したものをまとめ、回答値を足しあげて分析した。

これによると、第1に、原子力発電への不安は、単独に存在しているのではなく、環境問題への不安、食の安全性への不安、災害不安など他の不安と高い関係性がみられた。

第2に、安全神話の否定(人間のやることに完璧はないので安全といわれても信用できない)、天譴論(大事故などの人災は、人間への、天からの警告である)、人間

第1表 安心・不安にかかわる要素

リスクの性質に関する要素	リスクの確率、リスクの重大性 非日常性、メカニズムの不明瞭性	
対処にかかわる要素	関係者への不信任、マスコミ論調・接触慣れによる脱感作 ^{a)} 、代替コストが高い	
信念	科学観	利害関係者への不信、お上意識
	怒りと罰の心理	犯人探し、犯人処罰、構造的問題の無視
	自然志向	人工物排除
	時代背景	不安の時代、予防原則

^{a)}脱感作は医学用語。これは、アレルギーを引き起こす物質を少量から次第に大量に投与していくと、身体側がアレルギー反応を起こさなくなっていくこと。

第2表 原子力の危険視・不安感と関係する諸変数

危険+不安	環境問題	食品問題	災害			
	0.518***	0.410***	0.270***			
関心+情報	原子力	環境問題	食品問題	災害	新聞接触時間	テレビ視聴時間
	0.664***	0.382***	0.319***	0.169**	-0.014	0.013
安全にかかわる意識	自然環境主義	エコ省エネ原則	ゼロリスク原則	情報公開原則		
	0.517**	0.102	0.094	-0.050		
安全を巡る観念	未知性の心理	不可視の心理	被害映像不安喚起	映像の不安喚起	種保存の心理	忌避の心理
	0.276***	0.081	0.173***	0.277***	0.232***	0.287***
	あきらめの心理					
	-0.080					
人間観・人生観	安全の神話化・人災論	天譴論	運命論	無力感	天恵論	天然論
	0.199***	0.157**	-0.017	-0.140*	0.096	0.189**
	進歩史観	事故処罰観	事故抑止観	利害関係者不信		
	-0.052	0.141*	0.109	0.145*		

*** : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

不信(利害関係者は不都合な情報を常に隠している)、自然崇拜(自然に手を加えず、あるがまま保全することが大事だ)、種の保存への関心(事故は将来子供に影響があるかも知れず心配)といった人々の考え方も高い関連性があった。原発はリスクとベネフィットの問題であると同時に、その人の「生き方」にかかわる問題でもある。

第3に、原子力発電への不安は、原子力発電、環境問題、食品問題、災害などについての、関心や情報接触と

も正の関係があった。

これらを総合して考えると、原子力発電への不安にかかわる要素は、3層によって構成されているのではないかと考えられる。第1層はマスコミ報道で、不安観に直接作用する。これは大事故があったときには海の表面の風(マスコミ報道)が強まり、波(不安)が高くなるというイメージである。しかし報道が一段落すれば、不安感はおさまる。第2層は、未知性、不可知性、ゼロリスク原則など、安全を巡る心理である。これは第1層より不安観への関与は間接的である。第3層は、人間不信、自然崇拜、種の保存への関心、安全神話の否定など、人間観・人生観に関するもので、これは報道に影響されない深層構造である。

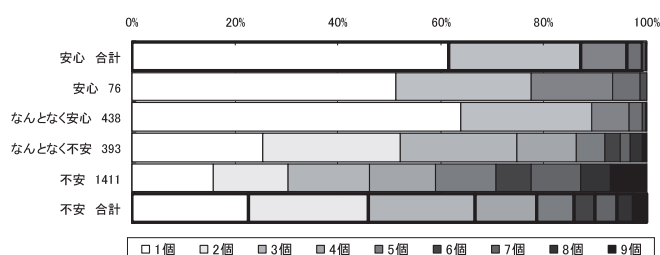
また、不安には具体的理由があり、安心は漠然としている。原子力発電についての不安-安心の程度と、そう思った理由を尋ねたところ、不安とした人は具体的根拠を多くあげているのに対し、安心とした人はあげた理由の数が少なかった(第2図)。このように、安心は、安全の理由を積み上げての結果ではないので、説得が難しいのである。

5. 関係者への信頼

他方、原子力関係者への不信感は不安感につながっている。たとえば、「原子力事業者は信用できない」という回答は原子力発電への不安感と結びついている(相関係数0.47, 有意水準1%)。そして原子力事業者への信頼感を聞いてみると、「とても信頼している」が1.6%、「やや信頼している」が32.7%と低く、その数字は「街頭の人」に対する信頼と同程度であった。

6. ロハス志向・スピリチュアル志向と原子力への不安

ロハス(LOHAS)とは、Life styles of Health and Sustainabilityの略語で、「健康と地球環境」意識の高いライフスタイルとされている。(1)環境にやさしいライフスタイルを心がけている、(2)持続可能な経済の実現を願っている(地球環境に負荷をかけない、風力発電等の自然エネルギーの活用、サステナブルな農業、地球温暖化の防止、エネルギー源の水素化の実現など)、(3)予防医学・代替医療を心がけ、なるべく薬に頼らない、(4)



第2図 原子力不安×その理由の数

ヘルシーな食品やナチュラルなパーソナルケア製品を愛用している、(5)自己啓発のために投資する、といった態度とされている。

こうしたロハス志向と原子力発電への不安との相関係数をみると、「健康や地球環境にやさしい物は多少高くても買う」、「エコロジーにもつながっているという生活をした」といった項目と原子力発電への不安感には正の相関関係があり、ロハス志向がある人は原子力発電への不安が高いことがわかった(第3表)。

一方、スピリチュアリティは霊性とも訳されるが、近代科学とは異なる次元で物事を理解し、対処しようとする思考である。そこでは精神世界、宗教、魂、瞑想などが重視されている。スピリチュアル志向は女性や高齢者でよくみられる傾向があるものの、原子力の不安観とはあまり関係がなかった。ただ、「体の不調は、近代医薬より自然治癒を重視すべきだ」という近代医学を忌避する傾向の人は、原子力発電への不安が高かった。

II. 一般住民と原子力関係者の原子力観(原子力発電に関する意識や感情)の比較(2005~2007年度調査より)

2005~2007年度の調査では、一般住民と原子力関係者の意識構造の違いを明らかにするために、全国大都市の一般住民と、全国9の電力事業者の原子力部門の従業員に対して、アンケート調査を行った。

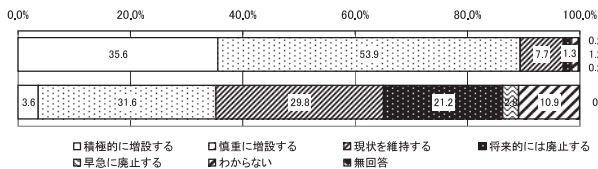
1. 原子力発電の社会的許容

今後の日本の原子力発電の方向性について尋ねたところ、関係者が増設するべきと考えているのに対して住民

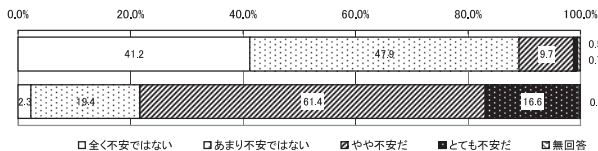
第3表 ロハス・スピリチュアリティと原子力発電への不安(相関係数)

ロハス志向	原子力への不安度
(A)人間は豊かになりすぎると墮落しがちなものだ	0.14**
(G)健康や地球環境にやさしい物は多少高くても買う	0.13**
(H)エコロジーにもつながっているという生活をした	0.14**
スピリチュアリティ	
(A)人には前世があると思う	0.02
(B)江原啓之の霊視は信じられる	0.02
(C)占いは信じられる	-0.01
(D)体の不調は、近代医薬より自然治癒を重視すべきだ	0.12**
(E)瞑想、霊、気功、ヨガなどに興味がある	0.05
(F)身近な自然とところを通わせた経験がある	0.08

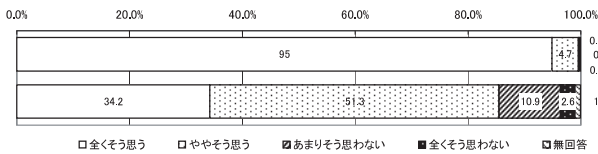
** : p<0.01



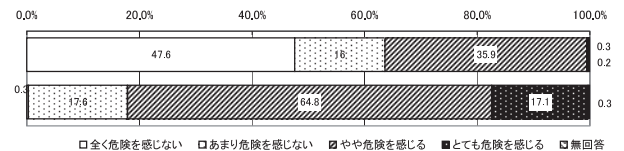
第3図 今後の日本の原子力発電の方向性



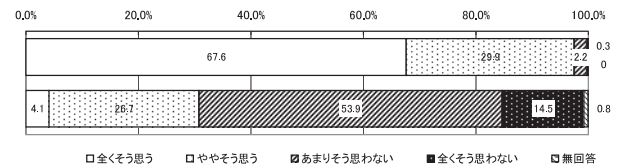
第5図 原子力発電への不安



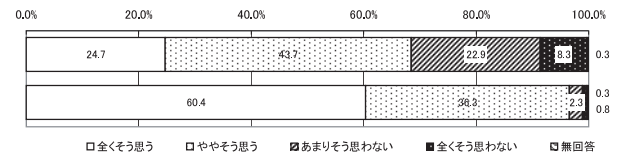
第7図 原子力発電は、エネルギー自給のために必要



第4図 原子力発電への危険認識



第6図 原子力発電の危険性は技術的に管理されている



第8図 「人間のやることに完璧はないので原子力発電所は安全といえない」

グラフ上：原子力関係者(N=599) グラフ下：一般住民(N=386)

はそうではなく、両者間にかなりの違いがあった。ただ、住民でも現状維持と増設をあわせれば、2/3が原子力発電所の存続を望んでいる(第3図)。原子力発電への危険認識についても原子力関係者のほうが危険性を感じないという方向で、住民とは異なっている。もっとも原子力関係者でも35.9%は「やや危険」と感じている(第4図)。

また、それが不安意識となると、原子力関係者が不安をより感じないという方向で、その差はより著しくなる(第5図)。

そして、原子力発電の危険性が技術的に管理されているという認識も、関係者と住民は大きく異なる(第6図)。

一方、原子力発電の必要性やメリットについては、関係者と住民の間に全体の回答傾向の類似性がみられる(第7図)。

原子力技術への懐疑的態度については、原子力関係者と一般住民にともにあるが、こちらは一般住民のほうがより懐疑的という方向で、程度の差がある(第8図)。

2. 理性的一貫性 vs. 不安の中の許容

以上のデータをまとめると、次のようなことがいえる。すなわち、一般住民が原子力発電反対派で、関係者が賛成派といったように、正反対の位置に対峙しているかという点、そう単純ではない。というのは、両者の相違には、大きなものと小さなものがあるからだ。さらに、関係者は、原子力発電に肯定的な方向で、一貫性をもつものに対して、住民は相矛盾する方向性を持っていた。原子力関係者は危険性の認識が多少あっても、それは科学的に管理されていると考え、不安感が低下している。こうした態度は「理性的一貫性」をもっているといえる。

一方、住民は原子力の必要性は感じているものの、安全対策が十分とも、放出される放射線が少ないとも思っておらず、危険性や不安を感じる人が多い。しかし原子力発電所は現状維持や慎重に増設するべきなど、容認する考えが過半数を占めている。こうした態度は、「不安の中の容認」といえるのではないだろうか。

さらに、原発への不安にかかわる、主要素間の相関関係を、原子力発電関係者と住民別にみみると第9、10図のようになる

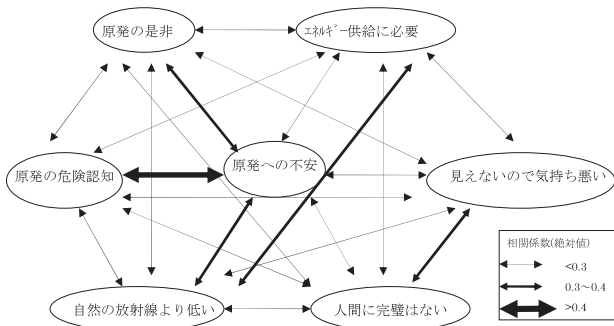
ここで、原子力関係者における相関関係図には、原子力発電の不安(の低さ)と危険性(が低い)という認知の間に強い関係性が見られる。一方、住民においても、最も強い相関関係は、原子力関係者と同様に、原子力発電に対する不安と危険性認識の間にみられる。その相関係数は0.762と原子力関係者の場合より高く、回答分布もほぼ同様なので、住民では不安と危険認識が一心同体となっているといえる。

しかし、住民で原子力発電の是非と最も関係が深いのは、原子力発電のメリットである。一般の人は不安や危険を感じつつも、原子力発電のメリットがあるので原子力発電を許容しているのである。これはいわば「大人の態度」といえるのかもしれない。

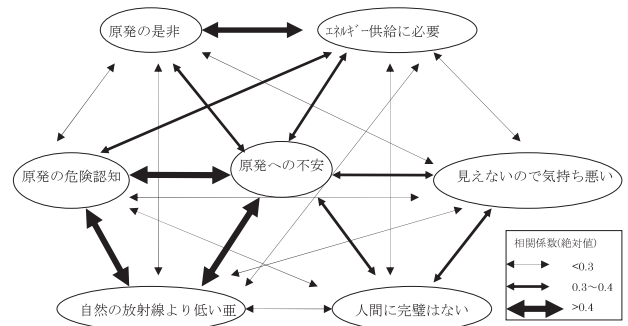
しかし、こうした状況では、トラブルなどにより、原子力発電に対する不安が高まると、人々の間のストレスが著しく高まってしまうのである。

3. 意識の浮動性と固定性

たとえば、原子力発電所の是非を住民にたずねると、柏崎原発問題の起きた新潟県中越沖地震(2007年)の前後



第9図 原子力関係者における相関関係



第10図 住民における相関関係

第4表 柏崎前後の原発推進

	積極的に増設	慎重に増設	現状を維持	将来的に廃止	早急に廃止	わからない
一般住民'08	3.6	31.6	29.8	21.2	2.8	10.9
福井'06	0.7	30.9	31.2	19.0	3.3	14.9
東京'06	2	32.2	18.4	24.1	2.4	20.8
原子力関係者'07	35.6	53.9	7.7	1.3	0.2	1.2

第5表 柏崎前後の原発不安

	全く不安ではない	あまり不安ではない	やや不安だ	とても不安だ
一般住民'08	2.3	19.4	61.4	16.6
福井'06	3.7	29.0	47.6	19.7
東京'06	2.4	32.2	55.9	9.4
原子力関係者'07	41.2	47.9	9.7	0.7

を比較すると、ほとんど変動がない(第4表の'06年調査と'08年調査を参照)。一方、原子力発電の危険性の認識や、不安感はトラブル後に増加している(第5表)。

4. 問題は原子力報道か

調査で、原子力関係者にマスコミ報道について尋ねると、原子力事故報道をよく目にしており、「危険性を強調し、不安をあおる報道が多い」と大変厳しい見方をしていた。しかし、不安の原因を報道だけに押しつけることは適切ではない。

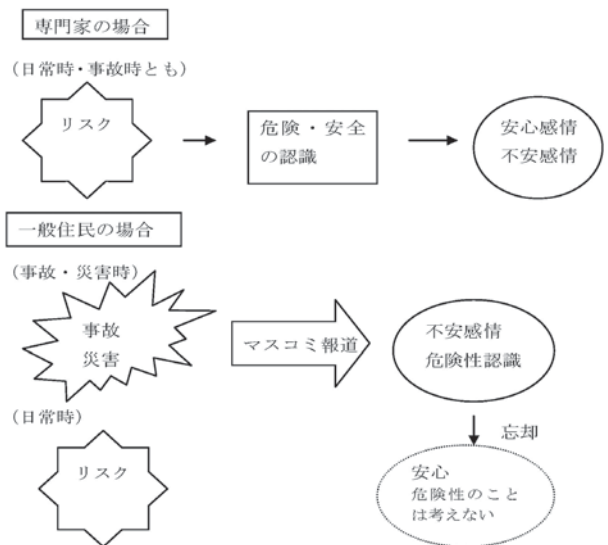
調査によれば、住民は関係者に比べ原発事故報道に接する頻度が少なく、大げさとも感じていなかった。そもそもマスコミの本質には「大変だ!」と伝えることがあり、それゆえ、危険は伝えやすく、安全は伝えにくいということがある。たとえば、毎日、原子力発電所が正常に運転しているということは、ニュースになりにくい。

5. 安心は忘却と上塗り

では、どうしたらよいのか。安心は説得しにくい感情で、第11図に見るように、危険を忘却していることによって実現される部分が多い。

もう一つ考えられるのは、他イメージの上塗りである。たとえば、BSE事件のとき、吉野家の牛丼の味が恋しいと騒がれることで、危険性に他のイメージが上塗りされている。原子力発電も何か楽しいイメージを上塗りするということもよいかもしれない。

もっとも、そもそも全く安心な社会が理想かという、そうともいえない。防災でも交通安全でも健康でも



第11図 不安—安心のメカニズム

そうだが、適度な不安は必要な対策を促すからである。本質的に危険性をはらむ原子力発電では、適度な不安の中で社会的に許容されていくことが望ましい。そして、それはある程度実現されつつある。人々の不安と監視の中で安全操作を続け、原子力発電の安全性について、ことさらに考える機会が少なくなっていく、というのが理想なのではないだろうか。

—参考資料—

- 1) 原子力安全基盤調査研究「日本人の安全観」(平成14年度～16年度)報告書, (2004).
(<http://www.soc.toyo.ac.jp/~nakamura/anzenkan.htm>)
- 2) 社会からみた「原子力のリスクコミュニケーション」, 災害情報調査研究レポート6, (2006).
- 3) 原子力関係者からみた「原子力のリスクコミュニケーション」, 災害情報調査研究レポート10, (2007).

著者紹介

中村 功(なかむら・いさお)

東洋大学
(専門分野)災害情報論, 情報行動論

関谷直也(せきや・なおや)

東洋大学
(専門分野)環境情報・災害情報論

新刊紹介

Reactor Accidents 2nd Edition (原子炉事故 第2版)

David Mosey 著. 120 p. (2006). Nuclear Engineering International Special Publications, U.K. (£45.00)

米国スリーマイルアイランド原子力発電所2号機事故が1979年に発生してから30年が経過した。我々はこれまで幾度か大きな原子炉の事故を経験してきたが、それらは多くの教訓を残している。その一つに米国SL-1事故から得られたワンロードスタックマージンの考え方があり、これは原子炉の安全原則の根幹となっている。しかしながら、過去の事故の分析に制度上の問題、すなわち組織的、管理的要因にまで踏み込んでまとめられた書物は少ない。本書は、過去に経験した大きな原子炉の事故の起因となったヒューマンエラーの背景にある制度上の問題に焦点を置き、執筆されている。著者のD. Moseyはカナダの原子力業界で30年間、原子力の安全に携わり、原子炉事故の制度上の問題の分析を専門とする英国人である。

内容は、1. 序論, 2. カナダチョークリバー研究所NRX研究炉事故, 3. 英国ウインズケール軍用炉1号機事故, 4. 米国SL-1軍用炉事故, 5. 米国エンリコ・フェルミ高速増殖発電炉事故, 6. スイスリュサンス実験炉事故, 7. 米国スリーマイルアイランド原子力発電所2号機事故, 8. 旧ソ連チェ

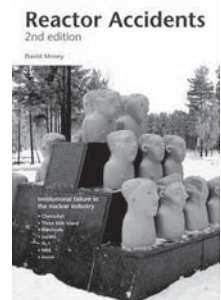
ルノブイル原子力発電所4号機事故, 9. 制度上の失敗の様相について、の9章よりなる。

序論では、鉄道を例にとり、これまでの重大な事故が組織内部の風土、各種法令や規制によって強く影響された制度上の失敗であるとし、マンマシンインターフェースの問題で片付けるべきでないことを主張している。

2～8章では、7つの代表的な原子炉事故について、その設計と発生に至る経緯、発生時の状況が図や写真を用いてわかりやすく解説され、事故調査結果から得られた教訓についてまとめられている。

9章では、相互に関連した4つの管理エラー(機能不全の誤認識、安全より生産優先の風土、不明確な安全の責任と権限、不十分あるいは悪化している安全状態の是正失敗)は鶏と卵のような関係にあるとし、7つの事故例を分析して、制度上のヒューマンパフォーマンスのあり方を述べている。わが国でも、原子力事故・故障の根本原因分析が始まっているが、原子力発電に携わる行政、設計、運転管理、保守の各分野の専門家はもちろん、広く安全に携わる識者や学生に一読を勧めたい本である。

(原子力安全システム研究所・吉田至孝, 木村逸郎)



「運転上の制限の逸脱」とは何だろうか？

最近の運転上の制限の逸脱事象について

日本原子力技術協会 幅 聡

最近の原子力発電所のトラブル等の発表を見ると、「運転上の制限の逸脱を宣言しました」という内容が記載されていることが多々ある。「運転上の制限って何だろうか？どうして制限を逸脱して運転しても良いのだろうか？」と疑問に思う人も多いのではないだろうか。そこで、運転上の制限とは、どのようなことで、なぜ最近になって運転上の制限を逸脱する事象が多く発生しているのか。また、どのような系統、設備、機器の故障によるもので、その原因が何であるのか等について分析した結果を紹介する。

I. 運転上の制限とは

事業者は原子力発電所を運用するために、運転管理、保守管理、燃料管理、緊急時の処置などの遵守すべき基本的事項を保安規定に定めている。この保安規定の中に、安全機能を確保するために必要な動作可能機器等の台数や原子炉の状態ごとに遵守すべき温度・圧力等の制限が定められており、これを「運転上の制限」(LCO: Limiting Conditions for Operation)という。保安規定に定められている機器等に不適合が生じ、一時的にLCOを満足しない状態が発生すると、事業者はLCO逸脱を宣言し、あらかじめ定められた時間内に当該機器を復旧させるか、それができない場合は原子炉を停止させるなどの措置を講ずることとしている。これを遵守していれば、LCO逸脱がそのまま保安規定違反に該当するというものではない。なお、これまでLCO逸脱から直接安全上重要な事象に至ったものはない。

II. 最近のLCO逸脱事象

1. LCO逸脱事象の概要

(1) 分析データ

LCO逸脱事象の分析は、日本原子力技術協会が事業者の協力のもとで運営している「原子力施設情報公開ライブラリ」[<http://www.nucia.jp/>] (以下「ニューシア」という)を用いて行った。ニューシアには、国内の原子力発電所のトラブル等情報^{a)}が登録されている。

LCO逸脱事象の分析については、ニューシアのトラブル等情報詳細検索を使い、LCO逸脱の有無を選択することにより、2008年3月末までに発生したトラブル等

What is the Deviation from Limiting Conditions of Operation? : Satoshi HABA.

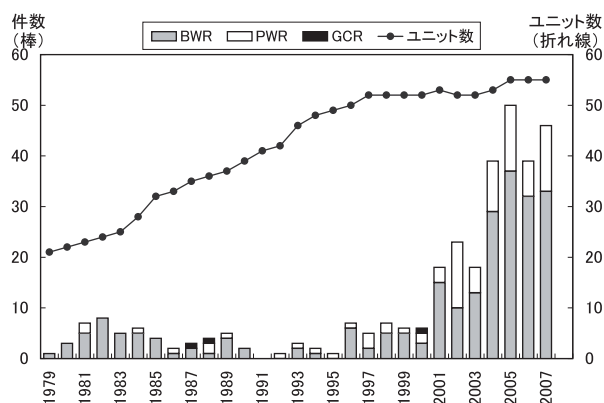
(2009年 2月9日 受理)

情報(約3,000件)から、LCO逸脱事象(321件)を抽出した。この件数は、全トラブル等情報の約11%に相当する。

(2) 発生件数の推移

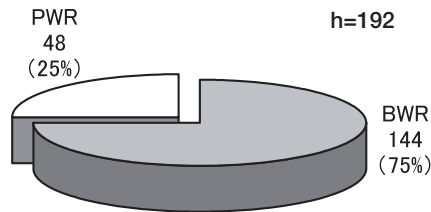
第1図にLCO逸脱事象の発生件数の推移を示す。これを見ると、2001年度に増加し、さらに2004年度に急増している。この理由として、以下の点が考えられる。

1999年9月に発生したJCO臨界事故を契機に、同年12月に原子炉等規制法が改正(2000年7月施行)され、原子炉施設保安規定の遵守状況の検査を行う保安検査制度の導入や米国原子力規制委員会の標準技術仕様書を参考とした保安規定の改正(LCOを適用する対象設備とその制

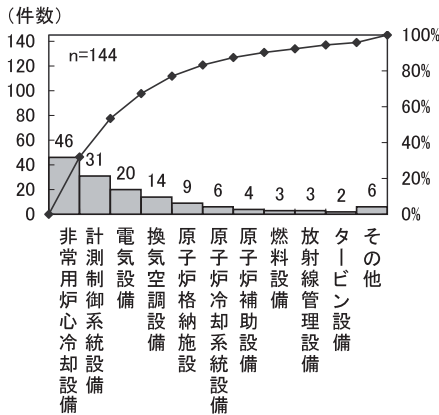


第1図 LCO逸脱事象の発生件数の推移

^{a)}原子力施設の故障が原因で原子炉停止や基準を超える放射性物質が漏えいした場合など、法令に基づき国への報告が必要となる事象を「トラブル」と呼び、トラブルの内容や原因・対策などを「トラブル情報」と呼んでいる。また、ニューシアでは、機器・配管の小さな傷など、国へ報告する必要のない軽微な事象のうち、保安活動向上の観点から情報共有化することが有益な情報を「保全品質情報」として登録している。これらの「トラブル情報」と「保全品質情報」とを合わせて、「トラブル等情報」と呼んでいる。



第2図 炉型別件数の比較



第3図 BWRの特徴(設備別)

限条項の倍増(例：計測制御系統設備等を追加)等がなされた。その後、東京電力の自主点検作業記録に係る不正問題の発生を受け、2002年12月に電気事業法および原子炉等規制法が改正(2003年10月施行)され、原子力安全規制の抜本的な強化が図られた。その内容は、品質保証体制・保守管理活動の強化、事故・故障等の報告基準の明確化等である。

これらの要因により、最近5年間(2003~2007年度)のLCO逸脱事象(192件)が全トラブル等情報(約850件)に占める割合は、約23%に増加した。以降は、この5年間のデータを基に分析を行った。

(3) 炉型別件数の比較

LCO逸脱事象の炉型別件数の比較を第2図に示す。これより、BWRとPWRの比率は3：1の割合でBWRが多い。また、BWRとPWRのユニット数の違いを考慮してもBWRの方が多く、次に、BWRとPWRの炉型別の特徴について調査・分析を行った。

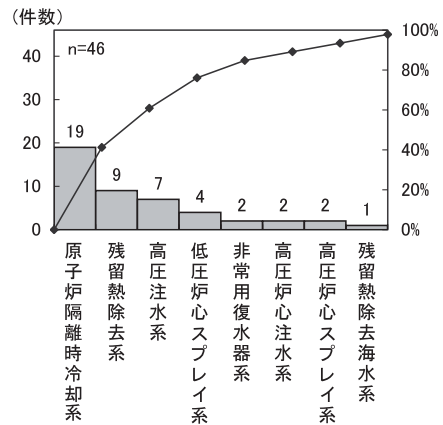
2. BWRの特徴

BWRの設備別のLCO逸脱件数を第3図に示す。非常用炉心冷却系設備32%、計測制御系統設備22%、電気設備14%の順に多く、これらで67%を占めている。

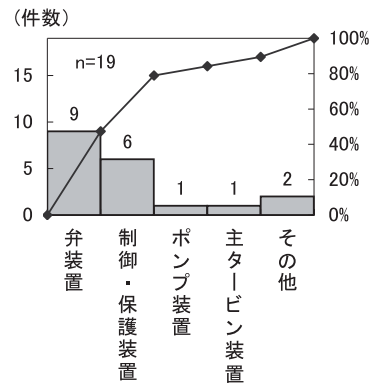
以下、これらの3つの設備について分析する。

(1) 非常用炉心冷却設備

最も多い非常用炉心冷却系設備について、その系統別内訳を第4図に示す。原子炉隔離時冷却系^{b)}41%、残留熱除去系20%、高圧注水系15%の順に多く、これらで76%を占めている。そこで、最も多い原子炉隔離時冷却系について分析を行った。



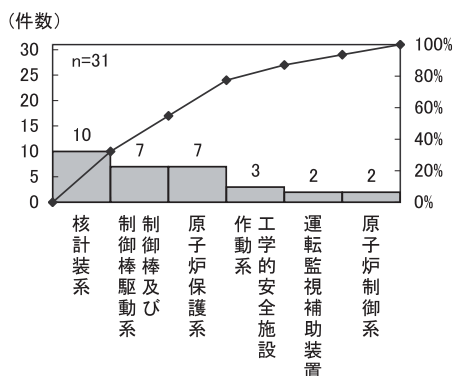
第4図 BWR[非常用炉心冷却設備]の系統別内訳



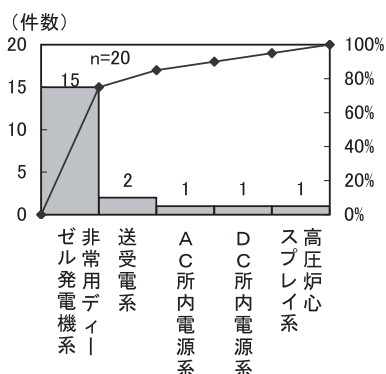
第5図 原子炉隔離時冷却系の装置別内訳

原子炉隔離時冷却系の装置別内訳を第5図に示す。弁装置と制御・保護装置の不適合が多い傾向にある。しかしながら、弁装置では特定の弁に不適合が頻発しているわけではなく、ランダムに発生している。ただし、その原因は取付け不良等の保守不完全が多い。次に、制御・保護装置について調べた結果、電源ユニット内の抵抗の断線事象が3件発生している。原因は当該箇所の温度環境(100℃以上)と部品の品質のバラツキにより劣化が早まったものと推定されている。この抵抗は、制御装置(電源ユニット含む)とともに海外メーカー製のものであり、すでに製造中止となっている。また、同メーカー製の制御装置を使用している高圧注水系でも同様の事象が発生している。そのため、事業者は計画的に制御装置を代替品に交換することとしており、早期の更新による信頼性向上が望まれる。原子炉隔離時冷却系ポンプはタービン駆動であるため、原子炉起動後の原子炉蒸気を通気して初めて試運転を行う。このため試運転で発生した不

^{b)}原子炉隔離時冷却系は、なんらかの原因で通常の原子炉給水系が使用不可となり、原子炉水位が低下した場合等に、原子炉蒸気を駆動源にしてポンプを回し、原子炉の水位確保および炉心冷却を行う系統である。ABWRでは非常用炉心冷却設備に、それ以外のBWRでは原子炉冷却系統設備に分類されているが、ニューシアではまとめて非常用炉心冷却設備に分類している。



第6図 BWR[計測制御系統設備]の系統別内訳



第7図 BWR[電気設備]の系統別内訳

適合により LCO 逸脱となってしまうことが多い。これが BWR の LCO 逸脱件数が多い要因の一つと考えられる。

(2) 計測制御系統設備

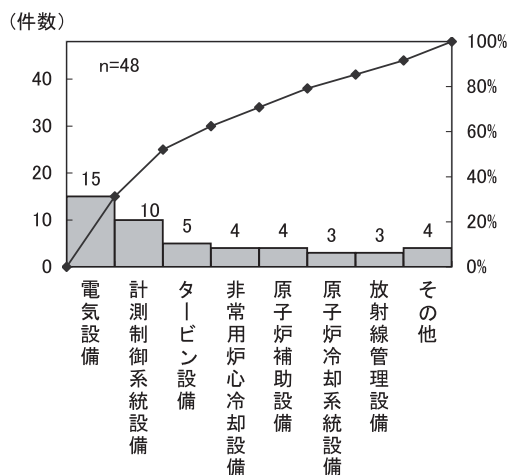
計測制御系統設備の系統別内訳を第6図に示す。核計装系32%、制御棒および制御棒駆動系23%、原子炉保護系23%となっており、これらで77%を占めている。計測制御系統設備に共通しているのは、電子部品や半導体部品(基板等)の故障であり、約半数を占めている。原因不明や偶発的な原因も多いことから、類似のトラブル等情報の収集・分析に努め、交換頻度の見直しなどの対策につなげることが望まれる。

(3) 電気設備

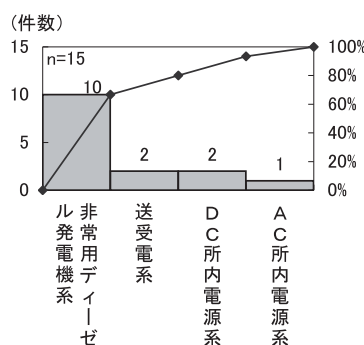
電気設備の系統別内訳を第7図に示す。非常用ディーゼル発電機系が全体の76%を占めており最も多い。非常用ディーゼル発電機系の設備は、PWR も BWR と同様であり、LCO 逸脱件数も多いため、BWR と PWR を合わせて分析した結果を後述する。

3. PWR の特徴

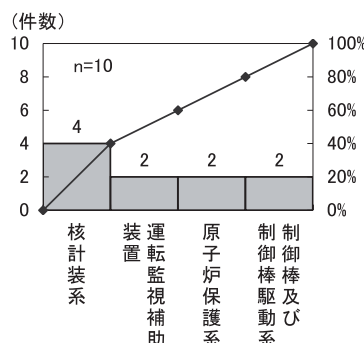
PWR の設備別の LCO 逸脱件数を第8図に示す。電気設備31%、計測制御系統設備21%の順に多く、それ以外は5件以下で大きな差はない。電気設備の系統別内訳を第9図に示す。非常用ディーゼル発電機系が全体の67%を占めており最も多いため、BWR と合わせて分析を行った。計測制御系統設備の系統別内訳を第10図に示す。



第8図 PWR の特徴(設備別)



第9図 PWR[電気設備]の系統別内訳



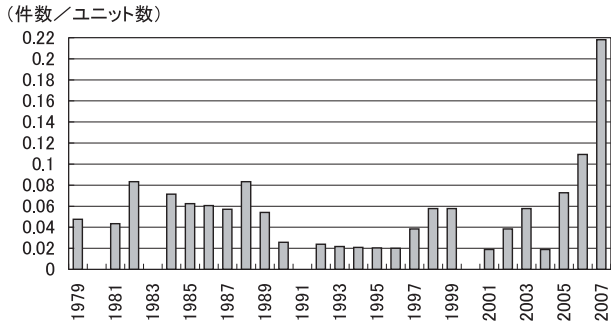
第10図 PWR[計測制御系統設備]の系統別内訳

す。核計装系がやや多いが発生件数は4件のみであり、特に顕著な傾向はみられない。

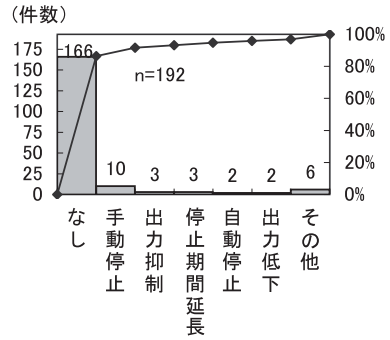
4. 非常用ディーゼル発電機系の LCO 逸脱事象

非常用ディーゼル発電機系は、2000年の法律改正以前から LCO 逸脱の対象設備である。また、BWR/PWR の炉型に関係なく同様の設備であり、第7, 9図のとおり多く発生している。そこで、分析対象データを2003年度以前もすべて含めて分析することとした。ユニット当りの発生件数の推移を第11図に示す。2006年度から2007年度にかけての発生件数は特に増加しており、それらの要因も含めて調査・分析を行った。

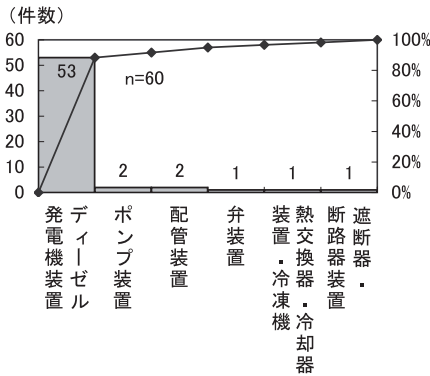
非常用ディーゼル発電機系の装置別内訳を第12図に示すが、ディーゼル発電機装置が88%と大半を占めてい



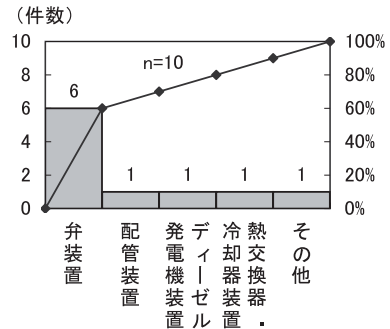
第11図 非常用ディーゼル発電機系における LCO 逸脱発生件数の推移



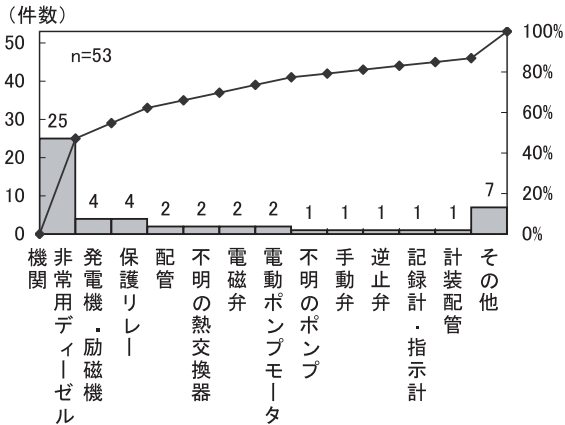
第15図 LCO 逸脱事象の発電所への影響



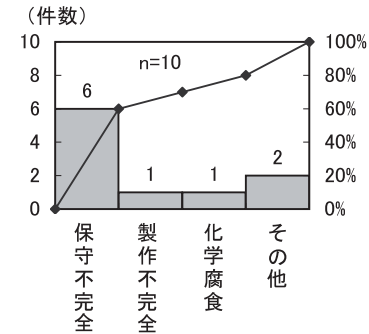
第12図 非常用ディーゼル発電機系の装置別内訳



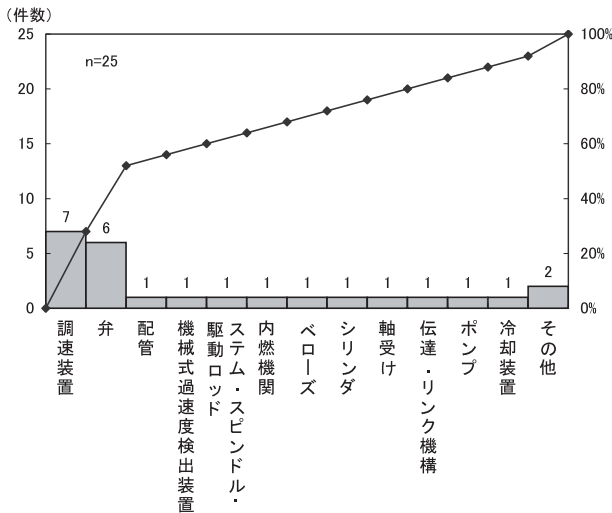
第16図 手動停止事象の装置別内訳



第13図 ディーゼル発電機装置の機器別内訳



第17図 手動停止事象の原因別内訳



第14図 非常用ディーゼル機関の部品別内訳

る。ディーゼル発電機装置の機器別内訳(第13図)をみると、非常用ディーゼル機関が47%を占めている。さらに、非常用ディーゼル機関の部品別内訳(第14図)をみると、調速装置28%、弁24%となっている。調速装置の不適合7件の具体的な内容を確認したところ、経年的な応答性の低下(出力の追従が円滑でない等)によるものが4件発生していることがわかった。今後は、経年変化にも着目した点検計画・内容の充実が望まれる。また、弁の不適合6件の具体的な内容を確認したところ、締付不良、異物混入、作業者の過失等、作業上の不適合が多く、その再発防止対策は手順書の改訂などのソフト改善のみにとどまっているものも多い。専門的な知識・技術・技能を養成する総合的な教育・訓練、管理強化等による対策が望まれる。また、世代交替が進む中、技術伝承にも力を入れる必要がある。

5. LCO 逸脱事象の発電所への影響

LCO 逸脱からの復旧のために、発電所へ影響を及ぼした事象の割合を第15図に示す。これより、91%が発電所の出力への影響を及ぼさなかったもの(なし、停止期間延長、その他)であり、7%が影響を及ぼしたもの(手動停止5%、出力抑制2%)で、残りの2%は他の要因で自動停止および出力低下し、LCO 逸脱となったものである。このうち手動停止に至った事象10件中の6件が弁に関するもの(第16図)であり、原因別では保守不完全によるもの(第17図)である。これらは作業不備や異物混入等の作業上の不注意で発生していることから、より厳格な作業管理の徹底により、トラブル等の未然防止に努めていくことが望まれる。

III. ま と め

最近のLCO 逸脱事象の発生件数は、法律改正による対象設備の増加等により、2004年度に増加して以降、ほぼ横ばいになってきている。

LCO 逸脱事象で、特に多く発生している系統は、BWRは原子炉隔離時冷却系であり、BWRとPWR共通は非常用ディーゼル発電機系である。

原子炉隔離時冷却系では、弁装置の取付不良等の保守不完全によるものや、制御装置内の電源ユニットの不適合が多数発生している。

非常用ディーゼル発電機系統では、調速装置の経年変化による応答性の低下や、弁の保守不良等による不適合事象が多数発生している。

LCO 逸脱事象の全体の傾向として、原因が保守不完全など、人が関与する不適合が多いことから、以下のことがいえる。

機械設備については、トラブル等の再発・未然防止のために、設備改良および手順書等の充実などが行われているが、主に手順書の改訂等の対応に期待する傾向がある。このため、再発・未然防止をより確実なものとするために、専門的な知識・技術・技能の養成に加えて、いわゆる勘所を養うことも重要であり、それらを踏まえた総合的な教育訓練を行っていくことが必要である。

電気設備・計装設備については、技術進歩が著しいため、製造中止情報の収集と計画的かつ迅速な対応を図っていくことが必要である。

今回調査対象としたLCO 逸脱事象の91%は、発電所の出力に影響を及ぼさない事象であり、定められた時間内で復旧している。また、手動停止に至った事象は、復旧のために適切に原子炉を停止しており、現在までに直接安全上重要な事象に至ったものはない。

しかしながら、原子力発電所の安全性の裕度を高め、信頼性の向上を図っていくために、LCO 逸脱件数を減らす様々な努力を継続して行っていく必要がある。今後もLCO 逸脱事象に着目し、再発・未然防止を実現していくことは、原子力発電所の安全安定運転に極めて重要である。

著 者 紹 介

幅 聡(はば・さとし)



日本原子力技術協会
(専門分野/関心分野)トラブル等情報の傾向分析、根本原因分析、自主保安体制推進活動の支援業務に従事。

放射性廃棄物地層処分施設の建設技術

パッシブ・セーフティへの移行まで

(株)大林組 河村 秀紀

放射性廃棄物の地層処分については、これまで主として処分場の閉鎖後の安全性確保に多くの研究と議論が費やされてきた。本来、建設とは、施設を構築するまでの行為とされているが、地層処分は、建設した地下施設に廃棄体と人工バリアを定置し、残された空間を埋戻し、パッシブ・セーフティに移行して初めて完成する概念である。本稿では、地層処分場の建設技術を閉鎖前のセーフティケースを構築する役割を担う行為と位置付け、閉鎖後の影響を考慮した地下施設建設技術について、歴史的な変遷を含め概説する。

I. はじめに

本稿は、日本原子力学会「2008年秋の大会」バックエンド部会企画セッションにおける「高レベル放射性廃棄物地層処分の実現に向けた技術開発の現状」で講演した内容を中心にまとめた。講演での主要なメッセージは、放射性廃棄物処分場の閉鎖前のセーフティケースと閉鎖後のセーフティケースを処分場の建設(建設・操業・埋戻しまでの行為)を通じていかに結びつけるかであり、そのために必要とされる現状の建設技術レベルがどこまで準備されているかを主題とした。

トンネルや地下空洞の建設技術の歴史は、現在の人類の文化の発展とともに進化してきた。地下に空洞を建設し埋戻すという行為は、古くはエジプトの王家の谷や中国の古墳にも見ることができる。本稿では、わが国での近代史に着目し、放射性廃棄物の地下施設を建設する場合に適用が想定される国内外の技術に焦点を当て、その特徴と現状での課題を紹介するとともに、安全と効率確保のために適用されている対策が処分にとってどのような影響を及ぼすかについても解説する。

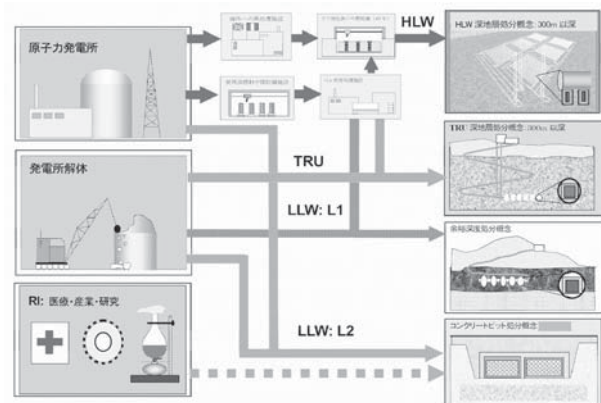
II. 地下施設の建設

1. 放射性廃棄物の地下施設

わが国における放射性廃棄物の地下処分施設は、地表近傍での余裕深度処分から300 m以深の地層処分まで、対象とする廃棄物の違いにより分類できる(第1図)。これらの施設の建設には、処分候補地の選定段階での地下調査施設の建設に始まり、許可後の本格的な処分場の掘削段階、人工バリアの設置を含めた操業段階、その後

の埋戻しと関連施設の解体、アクセス坑道の埋戻し閉鎖段階を経て、処分の長期安全性の基本とするパッシブ・セーフティに移行するまでが含まれる。つまり、建設行為には、地下に空洞を建設することだけでなく、どのようにして処分場を閉鎖にもっていくかが課せられた使命といえる。

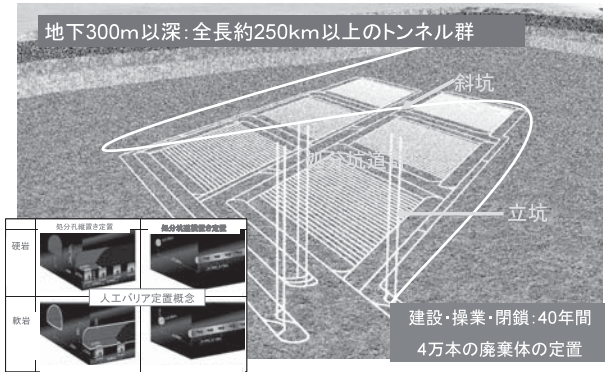
300 m以深の地下に建設する処分場には、高レベル放射性廃棄物処分場(以下「HLW 処分場」)と TRU 放射性廃棄物処分場がある。第2図に例示された HLW 処分場は、数 km²の広がりをもつ坑道延長が250 km 以上にも及ぶ。図では、処分場が均質な岩盤内に建設されているが、わが国では数 km²にわたり均質な地層を探すことはきわめて難しい。現状では、候補サイトが決定されていないこともあり、理想的なモデルでの概念が示されている(原子力環境整備機構, 2002年¹⁾)。一方、第3図はわが国での地質構造と比較して広範囲に均質な地質が分布しているといわれているスウェーデンが実際の地質環境を用いて作成した処分場レイアウトである²⁾。処分場は、高透水ゾーンや弱層面を避けるように配置されている。図を比較しても、理想的な概念と現実とのギャップが大きいことがわかる。



第1図 放射性廃棄物の発生源と処分場概念(筆者作成)

Construction Technologies of Underground Radioactive Waste Disposal Facilities—A Way forward to Passive Safety: Hideki KAWAMURA.

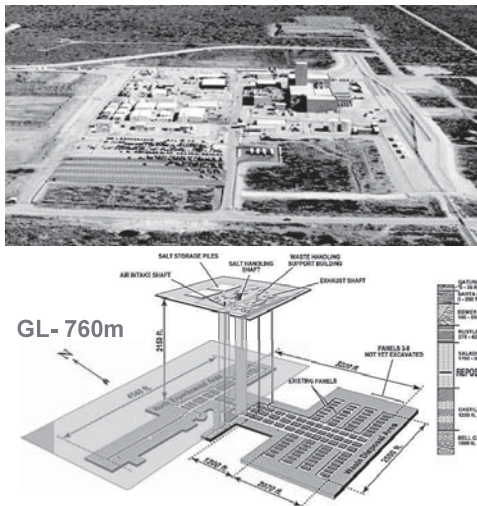
(2009年 2月10日 受理)



第2図 理想的な地質環境での処分場レイアウト例
(原子力発電環境整備機構, 2002)



第3図 実際の地質環境での処分場レイアウト例
(SKB, SR-Can, 2006)



第4図 米国 WIPP 地層処分場(WIPP 紹介パンフレット)

したがって、処分場の建設技術を検討するには、現実的な地質環境のもとに、前述した放射性廃棄物処分場として求められる建設への要件(パッシブなセーフティへの移行)と、地下施設の建設が実際に直面する技術的な課題解決に適用される現状技術の認識に立ち、実現性を議論することが不可欠となる。

世界的に見て、300 m 以深に施設が建設され、操業が展開されている地層処分の例は、第4図に示す米国のニューメキシコ州カールスパッドにある WIPP(Waste

Isolation Pilot Plant)のみである。この施設は、約3億年前に水平に堆積した岩塩層(Salado層)内の地下760 mに建設されている。1983年に建設が開始され、1999年に廃棄物の持込みが開始されたが、初期の建設に日本企業が参画したことはあまり知られていない。

2. 歴史からの教訓

地下施設の建設技術は、新しい施設の建設に向けての課題解決策として、あるいは災害や事故による教訓から開発されてきた対策に大別される。前者は、例えば、青函トンネルや水封式石油岩盤備蓄施設の大断面掘削技術や地下水制御技術があり、後者は、落盤防止、避難スペースや通路の確保、換気や排水などの作業環境改善技術が相当する。

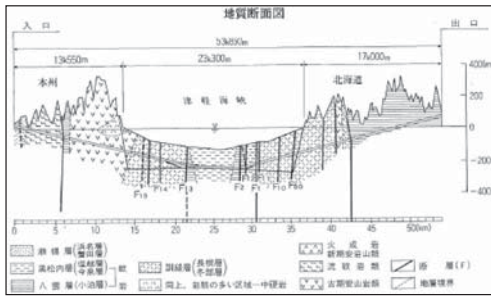
このような技術開発に対するトンネルの建設の近代史は、土木工学の専門書よりも例えば、以下の一般書籍に代表例が紹介されている。

- ・『闇を裂く道』吉村 昭著, 文春文庫, 1990年: 丹那トンネル建設工事(鉄道トンネル: 1918年から1934年)→掘削中に関東大震災, 断層が動く(トンネル内で2mのずれ), 排水による地表の水枯れ
- ・『高熱隧道』吉村 昭著, 新潮文庫, 1966年: 黒部第三発電所建設工事(水路・軌道トンネル1936年から1940年)→岩盤温度166℃, 発破掘削の困難さ
- ・『関門とねる物語』田村喜子著, 毎日新聞社, 1992年: 関門トンネル建設工事(鉄道トンネル: 1935年から1942年)→最初の海底トンネル, 水没, シールド掘削
- ・『青函トンネルから英仏海峡トンネルへ』持田 豊著, 中公新書, 1994年: 青函トンネル建設工事(鉄道トンネル: 1964年から1983年)と英仏海峡トンネル建設工事(鉄道トンネル: 1983年から1990年)→大量の出水とグラウト, 先進ボーリングと先進導坑

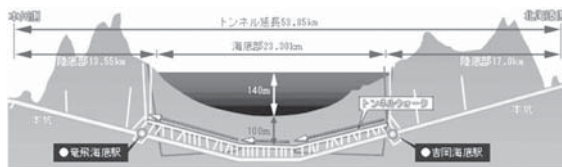
鉄道トンネルとして世界最長である青函トンネルの工事では、現在のわが国で用いられている建設技術の多くが開発された。特に、第5図に示すように、きわめて複雑な地質構造とともに多くの不連続面が存在し、掘削時に地山の安定性確保と地下水の浸入をどのように防ぐかという課題を抱えての施工であった。

このような環境に対応するために、青函トンネルの施工では、実に大量のセメントと鋼材が用いられた。第6図は、建設記録から編集した建設材料の数量を提示している。約54 kmの鉄道トンネルを建設するために先進導坑を含めて総延長で約124 kmのトンネルが掘削され、50 m²のトンネルを掘削するのに、1 mあたり約20 m³のセメントと1 tの鋼材が使用されたことになる。このセメントと鋼材の使用量は例外ではなく、多くの工事でも同様な傾向にある。

『闇を裂く道』で紹介された丹那トンネルの建設では、

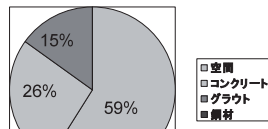


第5図 青函トンネル建設地点の地質・地質構造(持田, 1994)



鉄道トンネルの延長: 53.9km トンネル総延長: 124km

・トンネル掘削量: 6,270,000 m^3
 ・コンクリート使用量: 1,639,000 m^3
 (吹付、覆工、インパート等)
 ・グラウト(セメント系が主): 930,000 m^3
 ・鋼材: 168,000 t



50 m^3 の空間を構築するのに
 20.5 m^3 のコンクリートを使用

第6図 青函トンネルとセメント使用量(筆者作成)

支保工の強度不足による落盤により多くの作業員が死傷した。この教訓が、地山を補強する支保材に鋼材を使用することにつながっている。また、建設途中に発生した地震により、断層が動き、トンネルが2 m横にずれるという事象が観測された。さらに建設中に関東大地震が発生したが、トンネル建設現場では、その震動に気づく作業員はいなかったとの報告もなされている。

『高熱隋道』では、きわめて地熱の高い岩盤の掘削で直面した技術的な困難さを紹介している。岩盤の掘削には火薬(ダイナマイト)が用いられた。当然ながら発火点があり、166 $^{\circ}C$ の岩盤に火薬を装填するときの自然発火をどのように防ぐか、高温の狭い空間での作業環境をどのように確保するか(現在では、労働安全衛生法で、作業環境として37 $^{\circ}C$ 以下に規定されている)、高温に耐える発破工法の開発と、通気設備を含めた労働環境確保技術の開発の努力がなされた。

断面の大きいトンネルでは、まず先進導坑(パイロットトンネルとも呼ばれる)という小断面のトンネルが本坑に先駆けて掘削される。現在では、先進ボーリング技術や物理探査技術が進み、掘削する前に前方の地質環境を把握する技術も導入されているが、先進導坑は、大断面の本坑を掘削する前に、地質環境の状態を把握するという重要な役割を果たすと同時に、建設中とトンネル完成後の換気、排水、避難通路としても活用されている。

3. トンネル施工技術と仕上がり

トンネルや地下空洞の建設技術は、発破を用いた掘削

と機械掘削に大別される。発破を用いる掘削方法は、1970年代にオーストリアのラブセビッチ教授が提案したNATM(New Austrian Tunneling Method)が現在では標準工法として広く用いられている。NATM工法は在来工法と比較して以下の特徴を有する。

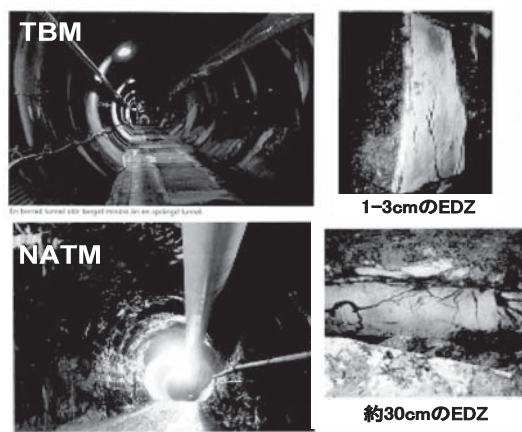
- ・地山が本来有している耐荷能力(強度と変形能)を積極的に活用しながら、吹付コンクリートとロックボルトを主な補強手段とするため、支保の断面を削減することができる。
- ・計測管理に基づき、合理的に掘削を進めるため、地山の状況に対応した補強を準備できる。

在来工法では、発破による掘削のあと、岩盤応力やひずみの進展による変形を強固な支保工で支えるという概念に対し、NATMは、地山の応力を減しながら補強をするということで、応力緩和によるひずみの進行を抑えるロックボルトが必要とされるが、結果的に岩盤の安定性を確保し、支保工の数量を大きく削減することができる。また、ひずみの進行を抑えることで、支保工の背面のゆるみ領域に大きな差がでている。

岩盤のゆるみ領域(Decompression Zone)とは、岩盤力学の分野では、掘削により岩盤の応力が緩和され、ひずみが増大する領域とされている³⁾。放射性廃棄物の分野では、ゆるみ領域を掘削影響領域(EDZ: Excavation Disturbed Zone)と呼び、岩盤応力の緩和と変形による間隙が増大(透水係数の増加)し、間隙水圧が減少した範囲として、処分場閉鎖後の安全評価する上で重要な領域と認識されている(例えば、スイス Nagra, EN 2002⁴⁾)。このEDZの発生は、岩盤の掘削工法によっても大きく変化する。例えば、第7図に示すスウェーデンSKBがエスベ島の地下研究施設(Hard Rock Laboratory: HRL)で実施したZEDEX試験⁵⁾がその代表的な試験結果である。

HRLでのZEDEX試験では、花崗岩を対象に地下420 mの地点で、TBM(Tunnel Boring Machine)を用いた全断面掘削工法と制御発破工法(NATM)を用いて実施された。どちらも仕上がり径を5 mとし、10%の勾配を有する斜坑である。TBMでは、EDZが表面から数cm、NATMでは数10 cmまでEDZが広がっていることが観測された。EDZを小さくするには、明らかにTBMのような機械掘削工法が優れていることがわかる。

制御発破工法は、発破のエネルギーの方向を制御する、あるいは爆発の時間を制御することで周辺の岩盤の損傷を最小限に抑え効率よく岩盤を破壊する工法である。発破を用いてNATMで建設されたトンネルの標準的な断面は第8図のようになる。この断面からわかるように、実際に施工される地下施設では、防水シートを含め様々な材料が安定性を確保するために用いられている。地下深部のトンネルでは、水圧が高いこともあり、基本的に覆工コンクリートの裏で水抜きが恒久的に実施



第7図 スウェーデン SKB が実施した ZEDEX 試験⁵⁾

されている(ドレーンシステム)。これらの材料は、処分施設のようにトンネルを埋戻される時にはすべて地下に残置されることになる。

Ⅲ. 処分場の建設技術

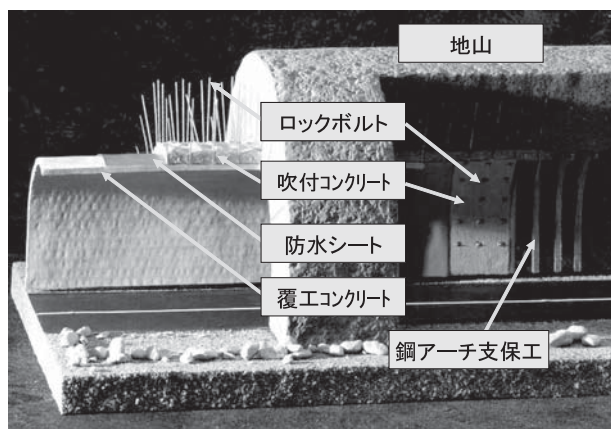
1. 処分場の掘削技術

第2図に示した HLW 処分場は、地下へのアクセス方法として斜坑と立坑が、地下での250 kmにも及ぶトンネル群と縦置き概念では、廃棄体を定置するための4万本分の処分孔が必要とされる。核燃料サイクル開発機構が作成した第2次取りまとめ⁶⁾では、このような地下の施設の建設の標準的な工法として、以下の工法が提示されている。

- ・機械掘削工法
- ・発破掘削工法

処分場が建設される岩盤の特性に依存するため、どの工法が採用されるかは、今後の検討結果次第である。発破工法については、前章で代表的な NATM を含めて紹介したので、本章では、機械掘削工法について、その用途に対応した技術を紹介する。

機械掘削工法は、TBM に代表される全断面掘削機と自由断面掘削機からなる。全断面掘削機は、その適用性から TBM とシールド・マシーンに大別される(第9



第8図 NATM 工法によるトンネル標準断面例(筆者作成)

図)。TBM は硬い岩盤(硬岩)に、シールド・マシンは都市部での地下鉄建設など柔らかい地盤を対象に開発されたが、岩盤への適用例も多く存在する。全断面機械掘削では、前方がブラインドとなるため、先進導坑や先進ボーリングによる事前の岩盤状況の取得が不可欠となる。

軟岩と呼ばれる比較的柔らかい岩盤では、自由断面掘削機が多く適用されている。例えば、前Ⅱ-1節で紹介した米国の WIPP での岩塩掘削では、第10図に示した自由断面掘削機により地下の処分トンネルが建設された。

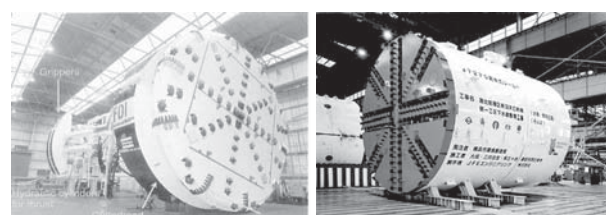
地下へアクセスする立坑の掘削では、発破工法が主に選定されている。現在、日本原子力研究開発機構(JAEA)が北海道幌延町で建設中の深地層研究施設、岐阜県瑞浪市で建設中の超深地層研究施設の立坑では、ショートステップ工法と呼ばれる発破を用いた施工法が採用され、掘削と支保工建設が2~3mのサイクルで繰り返されている。

立坑を掘削する工法としては、このほかに、第11図に模式的に示すレーズ・ボーリングと呼ばれる機械工法がある。レーズ・ボーリングとは、まずパイロットとなるボーリング孔を建設し、そのボーリング孔に設置したシャフトにより全断面掘削機を引き上げる工法で、この工法を採用するには、地下に空洞が建設されている必要がある。前述したスウェーデンの HRL の換気孔などはこの方法で掘削されている。掘削ズリを下方に落下することで、地表から掘削する通常の立坑に比較し、岩盤の強度によるが10倍以上の速度で立坑が建設できる。

このようなレーズ・ボーリング工法を横方向に応用したのが第12図に示す処分孔を水平に掘削する機械である(Pull Reaming 工法と呼ばれる)。SKB が HRL で使用済燃料の処分のための様々な掘削工法の実用化試験の一環として実施した試験である⁷⁾。

SKB とフィンランドの POSIVA は共同で、共通の処分概念としている KBS-3V(処分孔縦置き概念)を対象に、様々な処分孔の建設技術の適用性を実験した⁷⁾。第13図では、POSIVA が実施したパーカッション・ドリル工法(上)と SKB が実施したシャフト・ボーリング・マシンの掘削状況を示している。

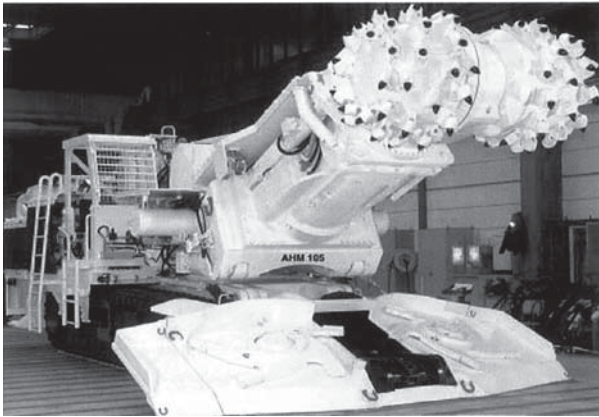
実際の処分環境下で実施されたこれらの掘削技術の適用性試験では、図中に記述したように、掘削にかかる時間が100時間を越えている。岩盤の硬さにも依存する



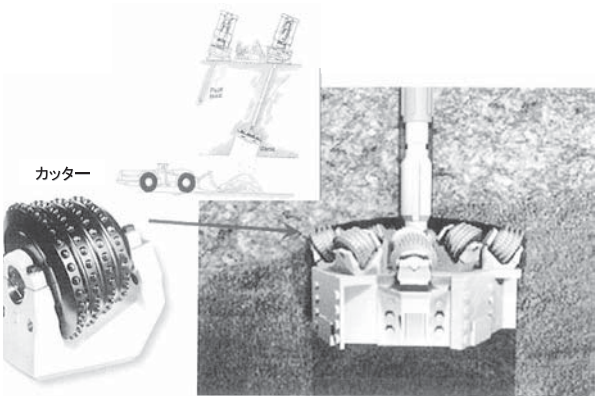
TBM

シールド・マシーン

第9図 全断面機械掘削機⁷⁾



第10図 自由断面掘削機：ツインヘッド⁷⁾



第11図 レーズ・ボーリング工法⁷⁾

が、1日当たり5本の処分孔を準備するわが国の概念への適用には、まだ多くの課題が残されている。

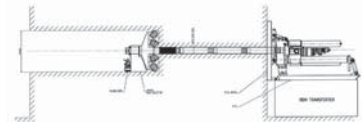
IV. 処分場の建設に向け考慮すべきこと

1. 様々な地質環境への対応

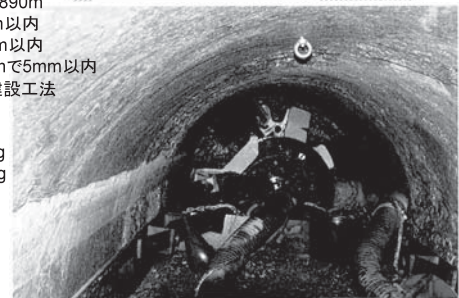
地下300 m以深に建設される地層処分場は、おおよそ4 km²の規模になると想定される。約54 kmに及ぶ直線的な青函トンネルが遭遇した複雑な地質・地質構造を貫通する必要はないが、第14図に示すように、どのような場所が選定されたとしても均質で同じ環境の場(水理条件や地化学条件も含む)はない。そこでは、高圧の高透水ゾーンや破碎帯、膨張性の岩盤や高温環境が存在し、さらに想定以外の現象にも遭遇するであろう。しかし、どのような困難に出会ったとしても土木技術者は、設計された施設を建設してきた歴史がある。通常の土木工事では、切羽(掘削している面)で直面した課題に対し、多くは経験に基づく判断で解決してきている。地層処分場の建設は、地下に施設を安全に建設することが主たる命題となるが、それが最終目的ではないことを留意しておくべきである。

2. 建設が及ぼす影響

地層処分場の建設は、廃棄体を地下に埋設後、「いかに人間の管理から手を離せる状況を作り出すか」、つま

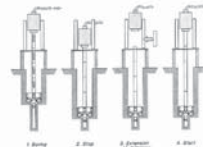


- ・直径の出来型範囲:
1850mm- 1890m
- ・表面の粗さ:5mm以内
- ・表面の段差:5mm以内
- ・坑道の曲がり:6mで5mm以内
- ・比較対象とした建設工法
 - TBM
 - Pull reaming
 - Push reaming
 - Cluster boring



第12図 プル・リーミング工法：KBS-3Hのための横置き処分坑道の掘削試験⁷⁾

- 1) Olkiluotoではpercussion drill工法を用いたドライ掘削工法を使用
 - ・φ=1.524m(カッターヘッドの径)、深さ7.5m
 - ・真空吸入でズリあげ
 - ・中心線からの変位:17~32mm
 - ・出来型の壁面の粗さ:最大で49mm
 - ・建設に要した時間:180時間/ビット(掘削に要した時間は16.3時間)



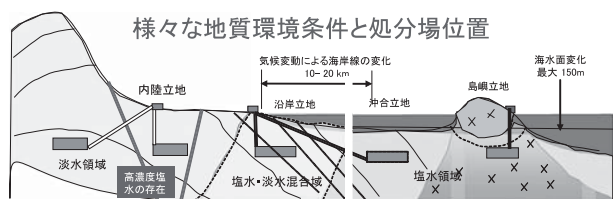
- 2) ÄspöではShaft Boring Machine (SBM: Robbin)を用いた建設工法
 - ・φ=1.75m、深さ7m
 - ・掘削には水を使用
 - ・中心線からの変位:0~16mm
 - ・壁面の粗さ:10mm
 - ・建設に要した時間:105時間/ビット(掘削に要した時間は18時間)
- 3) Äspöでの掘削影響測定に用いた機器
 - C14
 - ヘリウムガス
 - AE測定
 - 超音波測定



第13図 処分孔掘削工法の試験工法⁷⁾

り長期の安全性確保の基本とするパッシブ・セーフティに円滑に移行することが最終目的となる。パッシブ・セーフティとはメンテナンスや修復を必要としない安全確保の状態⁸⁾をいい、その要件は、「処分の長期安全性は、将来世代への負荷をかけないようにすること、そのためには、モニタリングや監視による制度的管理に依存しない状態を作り出すこと⁹⁾」という安全原則に基づいている。

地下深部に処分場を建設するには、そこで遭遇する様々な現象への対応のため、事前の対策や事象発生後の対策が施される。前述した青函トンネルの例では、出水により、大量のセメント系グラウトが実施され、事前の水抜きや補強がなされた。処分場では、通常のトンネル工事では当たり前のこれらの対策工法が、閉鎖後の長期の安全性に与える影響を評価していく必要がある。例えば、コンクリート支保工の人工バリアへの影響、グラウトに用いるセメント材料の周辺岩盤への影響、長期の水



第14図 想定される様々な地質環境と処分場の位置
(筆者作成)

抜きによる地下水流動系や化学特性の変化、建設中の地下水排水による不飽和領域、酸素の持込みによる微生物の活動などが想定される。

地下の建設から発生する掘削ズリや排水の処理についても周辺環境への影響の観点から留意しておかねばならない。地下深部では通常、還元雰囲気であり、鉱物の溶解度は低い環境にあるが、建設プロセスにより持ち込まれた酸素により、急激に鉱物が地下水に溶出し、その地下水が排水として、また掘削ズリに混じって地表環境に排出される。地下水やズリの中には、われわれの生活環境への負荷の観点から受け容れられない物質も含む。したがって処分場の掘削量を少なくし、地下水の排水量を少なくする工夫が求められる。例えば、HLW 処分では、廃棄体の縦置きと横置きと概念では、縦置きのほうが掘削量で約2.5倍、排水量は表面積で見積ると約5倍多くなり、閉鎖前のセーフティケースとして、安全な作業とともに地表への環境負荷の削減も重要な要素となる。

また、これまでのわが国でのトンネル工事や鉱山活動では、掘削作業時の事故や災害で多くの人命が失われてきた。最先端の技術を用いた青函トンネル建設でも36人の死亡者が発生した。放射性廃棄物の地層処分場は、原子力施設であることから、事故に対する国民の関心は極めて高いと推定される。閉鎖前のセーフティケースとして、処分場建設には相応に高度な安全性が要求されるとともに、建設時の安全確保のための方策が、長期の安全性に与える影響を常に考えておかねばならない。両者は決してトレード・オフされるものではないが、工学的に最良の方策で対処することにより、長期的な評価の不確実性を削減し、安全性を確保することで、処分場閉鎖後のパッシブ・セーフティへの円滑な移行と、閉鎖前のセーフティケース構築への第一歩につながっていく。

V. おわりに

地下に施設を作る技術は、機械化施工を含め、近年、急速に進歩してきている。革新の大きなトリガーは、新しい施設の建設に伴う品質の確保とともに、ヒューマン・エラーによる事故の防止を含め、自然災害への対策、労働環境の改善によるものである。結果として、経験に依存した技術から IT による情報化施工に移行し、

また、地下深部の情報を事前に調査できる方法も開発されてきた。しかし、想定外の事象として発生する多くの困難への迅速な対応は、状況の適切な把握と専門家の判断に大きく依存している。それは、自然環境には一つとして同じ条件がなく、複雑な事象の組合せが無数にあるためである。現実的な対応の中で、最良の方策を見つけるのが技術者の使命となる。選択された方策は、地層処分特有の要件であるセーフティケースの根幹として、関連する多くのステークホルダーに受け容れてもらう必要がある。

最後に、地層処分場というこれまでにない施設を建設していく次世代の技術者に向けて、青函トンネルの建設に携わった持田さんの言を引用し、まとめたい。

「トンネル建設は、自然との闘いではなく、自然に受け容れてもらうという気持ち、すなわち、自然の命ずるまま調和に心がけて足元の隙間を通りぬけるという真摯な気持ちでの対応が成功に導く」(持田 豊, 1997年)

なお、本稿の作成にあたっては、(株)大林組土木本部の三上哲司氏からの助言と資料の提供を受けました。

—参考資料—

- 1) 原子力発電環境整備機構, 公募関係資料, (2002).
- 2) SKB, Interim Main Report on the Safety Assessment SR-Can, (2004).
- 3) E. イザクソン著, 高橋・小林共訳, トンネル技術者のための岩盤力学入門, 鹿島研究所出版会(1973).
- 4) Nagra, Project Opalinus Clay Safety Report, EN 2002.
- 5) SKB, ZEDEX—A study of damage and disturbance from tunnel excavation by blasting and tunnel boring, TR 97-30, (1997).
- 6) 日本原子力研究開発機構, わが国における高レベル放射性廃棄物放射性廃棄物処分の技術的信頼性—第2次取りまとめ, (1999).
- 7) SKB, Choice of rock excavation methods for the Swedish deep repository for spent nuclear fuel, R-04-62, (2004).
- 8) OECD/NEA, Environmental and ethical aspects of long-lived radioactive waste disposal, (1994).
- 9) IAEA, The Principles of Radioactive Waste Management, (1995).

著者紹介

河村秀紀(かわむら・ひでき)



(株)大林組
(専門分野/関心分野)耐震工学, 放射性廃棄物処分/安全評価, セーフティケース, リスクマネージメント

連載
講座

軽水炉プラントの水化学

第4回 水化学の基礎—放射線化学

東京大学 勝村 庸介

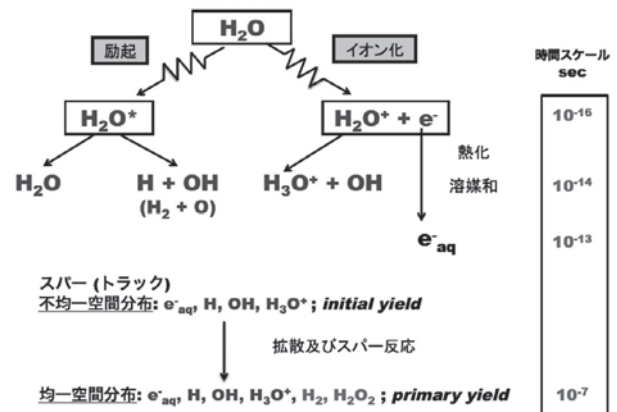
I. はじめに

軽水炉プラントで冷却材としての水は、中性子の減速材であるとともに核分裂反応で発生する熱を伝える役目も果たす。冷却水は、高速中性子、ガンマ線の強い放射線場である原子炉の炉心を循環するため必然的に放射線分解を受け、この放射線分解が冷却水の化学環境を最も強く支配する因子の一つとなる。したがって、冷却水中の原子炉構造材や燃料被覆管の腐食挙動も放射線分解の影響を受けることになり、原子炉の健全性の維持のためには原子炉冷却水の放射線分解についての理解は不可欠となる。本稿では水の放射線化学反応を説明し、原子炉中での放射線反応のシミュレーション法や現行の原子炉で広く適用されている水素注入の評価の具体例を紹介する。

II. 水の放射線分解

1. 水の放射線分解と反応

放射線には様々なものが存在し、共通する物質への作用はイオン化と励起で、引き続き起こる物理、化学反応を対象とする分野を放射線化学と呼び、様々な物質が対象となる^{1,2)}。このうち、液相水中で進行する反応をまとめたものを第1図に示す。励起では水分子の結合が切れてOHラジカルとH原子が生成する。イオン化により水分子から電子がたたき出され、正イオン(H_2O^+)を生ずるのに対し、たたき出された電子は急速にエネルギーを失い、周りに形成される強い電場に周囲の水分子を特定の方向に配置し、これらの間隙に形成されるポテンシャル井戸中に存在する。この状況を水和と呼び、周りに配向した水分子(通常6個)を引き連れていると考えられ、この電子を水和電子(e_{aq}^-)と呼ぶ。一方の正イオン、 H_2O^+ は、周りの水分子と反応し(イオン分子反応)、 H_2O^+



第1図 水の放射線分解のスキーム

$+\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}$, すなわち H_3O^+ とOHラジカルに変換される。これらの反応は放射線エネルギー吸収後 10^{-12} s で終了する。これらの反応の結果、水和電子、 H_2O^+ 、OHラジカル、H原子が生まれ、この時点での取量をイニシャル取量と呼び、これらは数 nm スケールの空間に局所的に存在すると信じられている。この局所存在領域をスパーと呼び、ガンマ線照射ではこのスパー間隔は200~300 nm である。これらのミクロな空間分布は放射線の種類により異なることが知られており、これについては後で触れる。

これら化学種は反応性に富み、しかも局在するので、相互に反応すると共に拡散する。相互の反応はスパー反応と呼び、第1表で*印を付した反応である。この過程で分子生成物である H_2 、 H_2O_2 が生まれる(反応(1)、(2)、(8)、(14))。同時に、水分子が再生する過程も存在する(反応(9))。これら反応と拡散が 10^{-12} から 10^{-7} s まで進行した後、水分解生成物は空間内に均一に分布する。通常、水の分解量はこの時点のものを対象とし、プライマリー取量と呼び、G値と呼ばれる100 eVの放射線エネルギー吸収量当たりの生成あるいは消滅の個数で表示する。これらは第2表にまとめておく。ガンマ線はコンプトン散乱により高エネルギーの電子に変換され、電子として作用するため、ガンマ線と高エネルギー電子の水分解G値は等しい。イオン照射では飛程当りのエネルギー付与が大きく、いわゆる高LET性により、先に述べたスパーの生成間隔が密となりスパー反応の寄与が大きくなり、

Water Chemistry of LWR-Plants⁽⁴⁾; Fundamental of Water Chemistry—Radiation Chemistry; Yosuke KATSUMURA.

(2008年10月8日受理)

各回タイトル

第1回 軽水炉プラントにおける水の役割と水化学制御

第2回 水化学の基礎—腐食と電気化学

第3回 水化学の基礎—酸化皮膜特性

第1表 水の放射線分解にかかわる反応式

Reactions	k_{25} (AECL) ^A	k_{285} (AECL) ^A	k_{285} (JB) ^B
(1)* $e_{aq}^- + e_{aq}^- + 2H_2O \rightarrow H_2 + 2OH^-$	6.44 E+09	2.93 E+11	2.96 E+10
(2)* $e_{aq}^- + H + H_2O \rightarrow H_2 + OH^-$	2.64 E+10	3.68 E+11	1.97 E+12
(3) $e_{aq}^- + OH \rightarrow OH^-$	3.02 E+10	1.34 E+11	3.17 E+11
(4) $e_{aq}^- + H_2O_2 \rightarrow OH + OH^-$	1.41 E+10	2.53 E+11	1.38 E+11
(5) $e_{aq}^- + O_2 \rightarrow O_2^-$	1.79 E+10	2.57 E+11	2.01 E+11
(6) $e_{aq}^- + O_2^- + 2H_2O \rightarrow H_2O_2$	1.28 E+10	1.65 E+11	1.94 E+11
(7) $e_{aq}^- + HO_2 \rightarrow HO_2^-$	1.28 E+10	1.65 E+11	2.12 E+11
(8)* $H + H \rightarrow H_2$	5.43 E+09	9.20 E+10	1.06 E+11
(9)* $H + OH \rightarrow H_2O$	1.53 E+10	6.58 E+10	2.12 E+11
(10) $H + H_2O_2 \rightarrow OH + H_2O$	5.16 E+07	1.03 E+09	3.10 E+09
(11) $H + O_2 \rightarrow HO_2$	1.32 E+10	9.72 E+10	2.01 E+11
(12) $H + HO_2 \rightarrow H_2O_2$	9.98 E+09	7.33 E+10	2.12 E+11
(13) $H + O_2^- \rightarrow HO_2^-$	9.98 E+09	7.33 E+10	2.12 E+11
(14)* $OH + OH \rightarrow H_2O_2$	4.74 E+09	2.00 E+10	4.76 E+10
(15) $OH + H_2 \rightarrow H + H_2O$	4.15 E+07	1.26 E+09	1.27 E+09
(16) $OH + H_2O_2 \rightarrow HO_2 + H_2O$	2.87 E+07	5.42 E+08	3.91 E+08
(17) $OH + HO_2 \rightarrow O_2 + H_2O$	1.08 E+10	3.10 E+10	1.27 E+11
(18) $OH + O_2^- \rightarrow O_2 + OH^-$	1.10 E+10	8.44 E+10	1.27 E+11
(19) $HO_2 + HO_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$	6.64 E+05	2.41 E+07	9.30 E+07
(20) $HO_2 + O_2^- + H_2O \rightarrow H_2O_2 + O_2 + OH^-$	7.58 E+07	3.82 E+08	5.16 E+08
(21) $O_2^- + O_2^- + 2H_2O \rightarrow H_2O_2 + O_2 + 2OH^-$	—	—	3.29 E+08
Equilibria			
(22) $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$	1.95 E-05	7.57 E-02	1.86 E-01
(-22)* $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$	1.10 E+11	9.76 E+11	1.52 E+12
(23) $H_2O_2 \rightleftharpoons H^+ + HO_2^-$	7.86 E-02	4.40 E+01	—
(-23) $H^+ + HO_2^- \rightarrow H_2O_2$	4.78 E+10	5.42 E+11	—
(24) $H_2O_2 + OH^- \rightleftharpoons HO_2^- + H_2O$	1.27 E+10	1.37 E+11	—
(-24) $HO_2^- + H_2O \rightarrow H_2O_2 + OH^-$	1.36 E+06	1.31 E+08	—
(25) $H \rightleftharpoons H^+ + e^-$	6.32 E+06	1.36 E+05	1.00 E+05
(-25)* $H^+ + e^- \rightarrow H$	2.25 E+10	4.31 E+11	2.54 E+11
(26) $e^- + H_2O \rightleftharpoons H + OH^-$	1.57 E+01	8.28 E+03	1.69 E+02
(-26) $H + OH^- \rightarrow e^- + H_2O$	2.49 E+07	3.40 E+10	6.88 E+08
(27) $OH \rightleftharpoons H^+ + O^-$	7.86 E-02	4.40 E+01	—
(-27) $H^+ + O^- \rightarrow OH$	4.78 E+10	5.42 E+11	—
(28) $OH + OH^- \rightleftharpoons O^- + H_2O$	1.27 E+10	1.37 E+11	—
(-28) $O^- + H_2O \rightarrow OH + OH^-$	1.36 E+06	1.31 E+08	—
(29) $HO_2 \rightleftharpoons H^+ + O_2^-$	7.14 E+05	2.70 E+05	8.46 E+06
(-29) $H^+ + O_2^- \rightarrow HO_2$	4.78 E+10	5.42 E+11	5.29 E+11
(30) $HO_2 + OH^- \rightleftharpoons O_2^- + H_2O$	1.27 E+10	1.37 E+11	—
(-30) $O_2^- + H_2O \rightarrow HO_2 + OH^-$	1.36 E+06	1.31 E+08	—
Thermal decomposition			
(31) $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$	—	—	2.00 E-02

k_{25} , k_{285} はおのおの25°C, 285°Cでの速度定数を示す。

Aはカナダ AECL の報告, 文献³⁾による。 Bは国内 BWR プラント対象に使用されているもの, 文献⁴⁾による。

1次反応は s^{-1} , 2次反応は $M^{-1}s^{-1}$ の次元をもつ。同種の反応の場合 2k を示す。[H₂O]の数値は速度定数に組込済。

反応(1)~(21)は, 水分解ラジカル生成物と分子, H₂, O₂, H₂O₂との反応, 水分解ラジカル生成物同士との反応を表し, さらに反応(22)~(30)は, 酸塩基の平衡を表現している。H₂O \rightleftharpoons H⁺+OH⁻のように, 水分子はH₂Oのみならず, 一部H⁺やOH⁻として存在し, 平衡状態を形成する。これら存在比を表現する定数を酸塩基解離定数と呼ぶ。OH \rightleftharpoons H⁺+O⁻, HO₂ \rightleftharpoons H⁺+O₂⁻, H₂O₂ \rightleftharpoons H⁺+HO₂⁻等も酸塩基平衡を形成する。この反応リストには, 水の解離度(反応(22))や, H(反応(25)), HO₂(反応(29)), H₂O₂(反応(23)), OH(反応(27))などの酸塩基反応が考慮されている。強アルカリ条件での計算のために, HO₂(反応(30)), H₂O₂(反応(24)), OH(反応(28))が考慮されている。これらは中性条件下では寄与は少なく, 無視しても問題ない。

第2表 水分解プライマリー収量(G 値)

放射線\生成物	e_{aq}^-	H	H ₂	OH	H ₂ O ₂	HO ₂
γ 線室温 ¹⁾	2.5	0.56	0.45	2.50	0.70	0.02
1 MeV H ¹⁾	0.48	0.31	0.94	0.67	0.91	0.06
5 MeV He ¹⁾	0.26	0.12	1.12	0.38	0.95	0.10
γ 線高温 ³⁾	3.41	0.87	0.60	4.86	0.31	—
高速中性子 高温 ³⁾	0.68	0.52	1.52	1.80	1.22	—

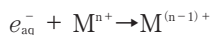
結果的に分子収量が高く、ラジカルの収量が減少する。第2表のプロトン、ヘリウム照射のデータとガンマ線照射の数値の違いに現れている。

Ⅲ. 生成化学種の反応性

水分子の分解から生ずる化学種のうち、水和電子、水素原子、OH ラジカルは反応性に富み、これらの反応が水溶液中の反応を特徴づける^{1,2,4)}。

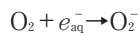
1. e_{aq}^- (水和電子) の性質と反応性

水和電子は非常に強い還元剤で、多くの金属イオンを還元する。

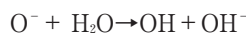


多くの反応速度定数は $10^{10} M^{-1} s^{-1}$ 程度の拡散律速反応であることが多い。

また、電子親和力の大きな化合物と反応し、アニオンを生成する。酸素、N₂O はその代表で、酸素との反応は



なる捕捉反応で記述できる。後者の反応は



で、生成したアニオンが非常に短時間で解離するため、解離的電子捕捉と呼ばれている。

2. 水素原子の性質と反応性

水和電子同様、強い還元剤であるが、水和電子よりやや弱い。金属イオンの還元を行うことも多い。水和電子は酸中でプロトンと反応し、水素原子になる。また、水素原子は最も単純なラジカルの一つで、ラジカルとの反応、二重結合への付加等の反応をする。有機物からは水素原子を引き抜き、有機物のラジカルと水素分子を生成する。

3. OH ラジカルの性質と反応性

OH ラジカルは強い酸化剤で、多くのイオンを酸化する。酸塩基平衡定数、 $pK_a = 11.9$, $OH \rightleftharpoons H^+ + O^-$ であり、OH ラジカルは強いアルカリ溶液中では解離して O^- として振る舞う。OH もラジカルであるから、ラジカルとの反応、二重結合への付加、有機物からの水素原子の引き抜き等の反応が生じる。

以上、簡単に述べたように、水の分解で生成する e_{aq}^- (水和電子)、水素原子、OH ラジカル等は活性であるた

めに、第1表で示したような相互の反応だけでなく、水溶液中に存在する溶質と反応し、イオンの酸化還元状態の変化や、有機物の分解、分子量の増減等様々な効果が引き起こされる。溶質が有害物質であれば有害物質の分解を意味し、水の浄化技術に結びつく。生体中では水分解生成物、特にOH ラジカルとDNA との反応はDNA の損傷を引き起こし、放射線による生物効果のスタートとなる。

4. パルスラジオリシス法

水分解生成ラジカルの収量や反応性はパルスラジオリシス法によって測定されてきた。この手法はパルス放射線、通常は数 MeV 以上のエネルギーを有するパルス幅マイクロ秒以下の電子線パルスの水溶液試料に照射し、試料中に生成する短寿命の化学種を、時間分解能を持った光学吸収測定で追跡する。現在、国内で数ヶ所、世界で約20ヶ所のシステムが稼働中である。パルスラジオリシスで評価された反応速度定数はすでに数千以上にのぼり、これらはデータブック⁵⁾や、米国ノートルダム大学放射線研究所のデータセンター⁶⁾に整理され、インターネットで検索することが可能である。

Ⅳ. 水の放射線分解とシミュレーション

水の放射線分解で生成する化学種のかかわる反応を第1表に示した。多くは以下のような2次反応である。



ここで、化学種 A あるいは B の時間変化は、次の微分方程式で表現できることが知られている。

$$d[A]/dt = d[B]/dt = k[A][B]$$

この反応の速度を示す比例定数 k は、反応速度定数と呼び、 $M^{-1} s^{-1}$ の次元を持つ。反応速度定数は反応のスピードを決定づける定数で、これまでに数多くのパルスラジオリシス実験等により評価されてきており、室温では精度のよい速度定数が整備されている。反応速度定数が既知で、A、B の濃度が与えられれば、微分方程式を解くことにより、時間挙動を予測することができる。

水溶液中での放射線照射による反応は第1表に挙げた反応が同時に進行する。この中から化学種 i を取り出してその時間変化を記述すると以下ようになる。

$$dC_i/dt = GI - \sum_j k_{ij} C_i C_j + \sum_{j,k \neq i} k_{jk} C_j C_k - k_i C_i + \sum_{j \neq i} k_j C_j$$

右辺の第1項のうちの I は放射線の線量率、化学種 i の生成 G 値を G_i で示し、放射線照射による化学種 i の生成を示す。第2項は化学種 i が化学種 j と反応して消滅する部分を、第3項は化学種 i 以外の化学種 j と化学種 k との反応から生成する化学種 i の寄与を示す。第4項は化学種 i の1次減衰での消滅、第5項は化学種 j の1次減衰により生成する化学種 i を示す。すべての化学種について同様の式が成立し、これらの連立微分方程式を

解くことにより、水中の放射線反応を解析することができる。しかし、1つ、2つの微分方程式は解析的に解くことができるが、それ以上の数になると腕力では計算できなくなり、計算機を用いて対応せざるを得ない。専用の化学計算用ソフトが開発され、FACSIMILE, CHEMKIN, CHEMISIMULなどが使用されている。

V. 炉水放射線分解のシミュレーション

冒頭で述べたように、原子炉内の冷却水は高温、高圧の強い放射線場に存在し、放射線分解を受けることから、冷却水の化学環境を決定する最も大きな因子となる。しかし、原子炉プラント内の各所での測定により化学環境を評価することは高圧、高温下であることから多くの場合、制約を受ける。そのため、放射線分解反応を計算機シミュレーションで評価することが行われてきた^{3,4,7,8)}。

1. G 値と反応速度定数

高温の冷却水の放射線分解をシミュレーションで計算評価するためには、高温での水の分解生成物の G 値、水の分解で生成する化学種のかかわる反応の高温での速度定数の2つのデータセットが必要である。これまで30年にも及ぶ研究により、実用的にはほぼ十分なデータが整備されてきている。高温の G 値についてはガンマ線以外に高速中性子による分解 G 値も必要である。核分裂で発生する高速中性子は2.2 MeV程度の平均エネルギーを有する。これらは水分子のうちの水素原子と何度も弾性散乱することで中性子はエネルギーを失い、熱中性子となり、次の核分裂に利用されることになる。高速の中性子と衝突した水素原子は平均として高速中性子の持つ半分のエネルギーを受け取る。受け取るエネルギーはMeVにも達し、水素原子は水分子からたたき出されて、電子を失い、反跳粒子として高エネルギープロトンが生成されることになる。したがって、高速中性子照射はプロトンビーム照射に等価である。プロトンの水中のエネルギー付与密度はガンマ線に比し大きく、その結果、水の分解 G 値はガンマ線のそれとは異なる。具体的にはラジカル(e_{aq}^- , OH, H)収量が減少、分子生成物(H_2 , H_2O_2)収量が增大する。高温でのガンマ線と高速中性子による水分解 G 値は第2表に記載してある。これらの値は報告者により多少異なるが、現在広く使用されているものを記している。高温では水分解が加速され、ラジカル生成物の収量が室温より増大している。これらの評価はおおむね妥当と判断されているが、さらに評価精度を上げる必要がある。

室温では H_2O_2 は安定であるが、高温では熱分解する。第1表の反応(31)が熱分解を示し、半減期は35 s程度である。

反応速度定数についても、現在使用されている数値を

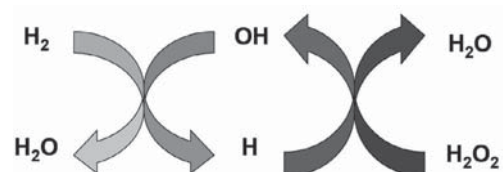
第1表にまとめて記載しておく^{3,4)}。これらの多くは200-220°Cまでの測定値のアレニウスプロット(速度定数の対数を温度の逆数でプロットした図)から、その傾きである活性化エネルギーを評価し、285-320°Cへ外挿し評価したものである。アレニウスプロットが直線を示さない反応もあり、実際の高温での測定が望まれる。

2. 原子炉中の計算と水素注入

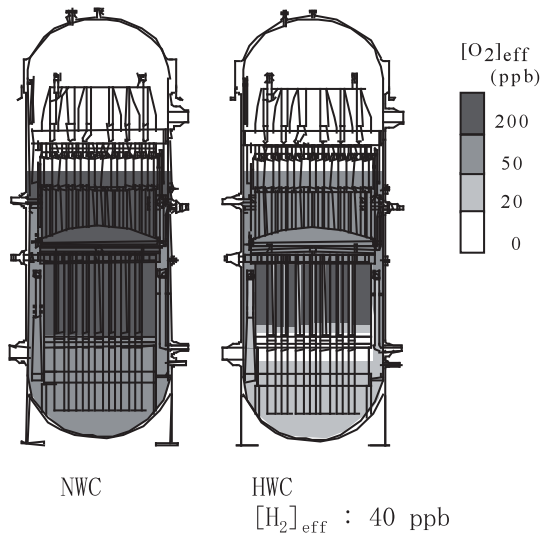
冷却水は1次系を循環し、場所によって滞在時間も異なり、放射線強度も変化する。これらを合理的に扱うためには、1次系内の冷却水の循環をモデル化し、冷却水の移動に従ってそれぞれの場所に対応する放射線を受けるとして計算すればよい。そのためには、冷却水の流量、滞在時間、放射線の線量分布など原子炉設計上の各種データを活用して整備する。BWRでは炉心での沸騰が生じる。冷却水中のガス成分が気相に移行することも配慮せねばならない。

冷却水の放射線分解シミュレーションの具体例として実際に広く適用されている水素注入を取り上げる。放射線照射により H_2O_2 や O_2 の定常濃度が上昇することから冷却水は酸化雰囲気になり、SCC(応力腐食割れ)を助長することから、これらの濃度を抑制する必要がある。水素注入による H_2O_2 と O_2 の濃度抑制の原理を第2図に示す。添加された H_2 はOHと反応し、 H_2O とH原子を発生する。このH原子は H_2O_2 と反応し H_2O とOHを生成する。このOHは元に戻り、 H_2 と反応し、再度同じ反応が繰り返され、連鎖反応で進行する。一言で表現すれば、 H_2 を注入して H_2O_2 を水に変換することで H_2O_2 濃度を低下させる。

第3図に実際の計算例として、110万kWクラスBWRの水素注入前後の炉内酸素濃度分布の計算結果を示す⁸⁾。 $[O_2]_{eff}$ とは $[O_2] + 1/2[H_2O_2]$ を示す。また、 $[H_2]_{eff}$ は給水中の水素濃度を流量で割ったもので、平均の水素濃度を示す。炉底部では水素注入前では50~200 ppbの $[O_2]_{eff}$ であったものが、注入により20~50 ppbに低下した様子が見て取れる⁸⁾。水素注入量の増加で実効酸素濃度は減少するが、構造の違い、出力、流量などに依存し、プラントごとに水素注入量と実効酸素濃度の関係は異なってくる。(ここでppbはparts per billion(10億分の1)の略、重量比で 10^{-9} を示す。)



第2図 水素注入の原理



第3図 110万 kW クラス BWR における水素注入前後の
炉内実効酸素濃度変化の計算例

VI. 今後の課題と展望

本稿では、水の放射線分解反応の基礎を紹介し、水分解挙動のシミュレーションと、それを原子炉中の高温冷却水の反応に利用した例について述べた。

原子炉中の冷却水の放射線分解評価に対し、現状の知識はそれなりに充実している。しかし、水分解シミュレーションをこれまで以上の精度で実現するには精度の高い G 値と反応速度定数が必要である。現在の反応速度定数の大部分は最高温度 225°C までの測定データを高温に外挿して使用しているものが多く、稼働温度である 300°C 前後の実測が必要である。最近、速度定数の再評価がいくつか報告されてきているが、十分でなく、更なる整備と精度評価が必要である。同時に、 G 値についてもガンマ線のみならず、高速中性子による水分解 G 値の精度の高い測定での確認が必要であろう。特に、PWR を対象とした場合、反応度制御用ボロンの、 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応による α ラジオリシスの高温でのデータ整備が必要である。

原子炉内の線量率については、炉設計にかかわる核計算の結果から評価しているが、これらの精度については不明で、この点についても検証、確認作業が必要と思われる。

最近になり、高温の水分解 G 値を拡散モデルやモンテカルロ法により計算し、実測の温度依存性の説明がなされてきた。比較的再現性がよく、計算による評価手法が、実験に代わる手法として、今後発展するものと思われる。

先に紹介したように、現在までの水分解シミュレーションはバルクの水を対象にしていた。しかし、放射線分解が腐食過程にどのような影響を与えるのかを考える場合、バルクのみでのシミュレーションでは不十分で、炉

内構造物や燃料棒の表面近傍での把握が重要と認識されるようになった。バルクから材料表面までの広い空間をカバーし、水分解生成物と腐食電位 (ECP) との関係もさらに精度よく整理する新しい試みも始まっている。

実際の原子炉中の炉水の分解挙動をシミュレーションで再現することを最終目標におくとしても、すべて原子炉を利用した検証は実際上困難である。したがって、高線量率の得られる簡便な照射施設を設置して実験することが望ましい。電子線加速器からの高エネルギー電子線やそれらを変換した制動放射 X 線の利用が期待され、このような施設は放射線分解評価以外にも腐食への放射線の与える評価実験や ECP 実験、放射線場のベンチマーク実験には有効と考えられる。世界に先駆け国内に照射実験設備を設置すれば、日本がこの分野の発展に主導的な役割を果たせるのではないかと期待している。

— 参考資料 —

- 1) 放射線化学会編, 放射線化学の進め, 学会出版センター, (2006).
- 2) M. Spothem-Maurizot, *et al.*, *Radiation Chemistry— from Basics and Applications Material and Life Sciences*, EDP Press, (2008).
- 3) A. J. Elliot, *Rate Constants and G-values of the Simulation of the Radiolysis of Light Water over the Range 0–300°C*, AECL-11073, COG-94-167 (1994).
- 4) S. Yamamoto, *et al.*, “A Parameter Survey of the Radiolysis Model for the Standardization”, 6th International Workshop on LWR Coolant Water Radiolysis and Electrochemistry, Oct.27, 2006.
- 5) Buxton, “Critical Review of Rate Constants for Reactions of Hydrated Electrons, Hydrogen Atoms and Hydroxyl Radicals (OH/O) in Aqueous Solutions”, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **17**, 513-886 (1988).
- 6) NDRL Radiation Chemistry Data Center: <<http://www.rcdc.nd.edu/index.html>>
- 7) 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).
- 8) H. Takiguchi, *et al.*, “Evaluation of Effectiveness of Hydrogen Water Chemistry for Different Types of Boiling Water Reactors”, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **36**, 179 (1999).

著者紹介

勝村庸介(かつむら・ようすけ)



東京大学
(専門分野/関心分野)放射線化学, 原子炉水化学

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11回 X. 壁の熱をどうするか

東京理科大学 佐竹 信一, 京都大学 切刀 資彰

I. はじめに

核融合炉の第一壁は熱流束 $0.5\sim 2\text{ MW/m}^2$ の高温・高熱流束環境下にあり、第一壁の構造健全性を保つためには高性能な熱伝達システムを構築しなければならない。現在まで考えられている核融合炉第一壁やブランケットの冷却材としては、液体Liや液体LiPbなどの低プラントル数流体(プラントル数 $Pr = \nu/\alpha$:運動量の粘性拡散 ν と熱拡散 α の比を表す無次元数)を利用した例¹⁾、水²⁾や溶融塩Flibeなどの高プラントル数流体(運動量の粘性拡散よりも熱拡散が小さい流体)³⁾、ヘリウムガスによる冷却⁴⁾が検討されている。特に、液体金属の場合には磁場の影響も考慮しなければならない。ここでは主として電磁流体(MHD:Magneto-Hydro-Dynamics)の乱流熱伝達に焦点を当てるが、レーザー核融合炉の第一壁を液体金属で冷却する概念(液体壁概念)についても紹介する。

II. 液体冷却材の熱伝達特性

核融合炉の内部構造の詳細は、第I章等で紹介されているので、詳細は省略するが、第一壁冷却方法と加熱条件の説明のために解析モデルを第1図に示す。

図に示すように、核融合炉第一壁やブランケットを液

The Fusion Reactor Wall is Getting Hot!—A Challenge towards the Future for Numerical Modelling (11): Chap. X How is the high heat flux removed from the wall?: Shin-ichi SATAKE, Tomoaki KUNUGI.

(2009年 1月18日 受理)

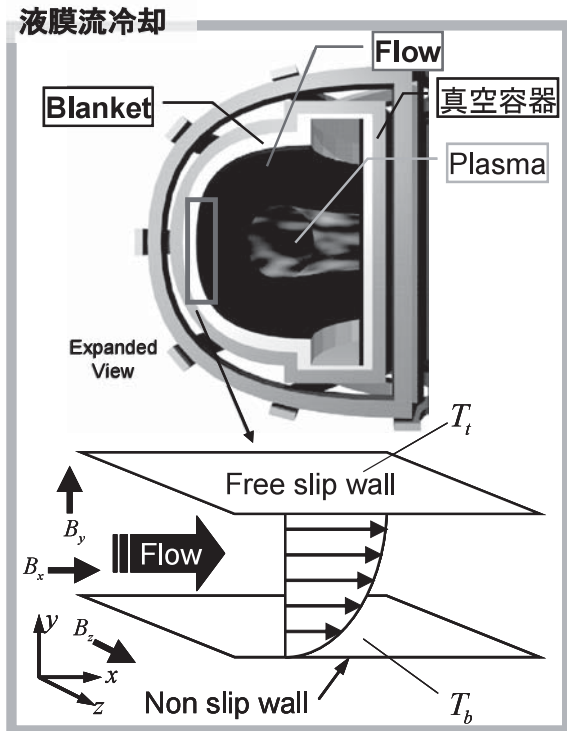
各回タイトル

- 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のか
- 第10回 IX. 壁は熱でどうなるか

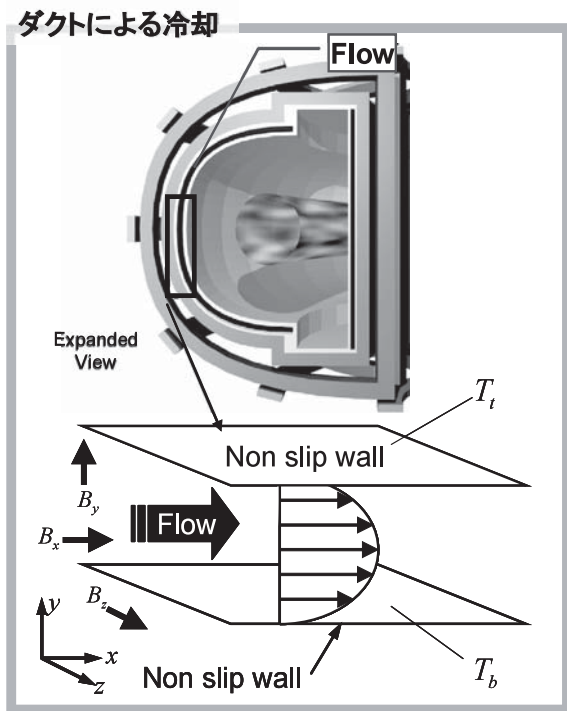
体で冷却する場合、第一壁のプラズマ側を自由界面流として流下する方式(第1図(a))と冷却材が管内を流通するダクト流れ方式(第1図(b))の2つの流路モデルが考えられる。後者は、いわゆるダクト内流れの問題であり、前者は、自由界面流の問題である。特に、自由界面流の問題として考えた第一壁液膜冷却の場合、液膜流表面はプラズマからの強加熱により高温化し、プラズマ維持のためには液膜流表面の蒸発量を抑制する必要がある。このため、乱流渦によって液膜内を攪拌し、表面温度を低下させることが重要であり、液膜内の乱流熱輸送機構の解明が重要となる。この液膜流による冷却方法については、後述するように、慣性核融合炉第一壁冷却に関連した水実験で原理実証されている⁵⁾。自由界面乱流の熱伝達に関しては、冷却材のプラントル数を系統的に変えた場合について、DNS(Direct Numerical Simulation)と呼ばれる乱流数値解析によって磁場なし条件で検討した結果⁶⁾(第2図)が報告されており、低プラントル数(例えば、液体金属)の場合は熱伝導が支配的な伝熱機構(無次元温度 θ^+ :代表温度で規格化された温度)がほぼゼロ)であり、乱流による熱伝達促進効果は望めない。

一方、高プラントル数流体(Flibeなど溶融塩)では、自由界面近傍(プラズマ側からの高熱放射を受ける側)で乱流拡散が増大するものの、温度の瞬間場は細かな温度変動分布を示す(第3図(c))。この局所的な大きい温度変動が、乱流熱流束を低下させる原因となる。したがって、高プラントル数流体を冷却材に使用する場合、熱混合を促進する方法(例えば、伝熱促進体)が必要であることを示唆している。そのような促進技術としては、冷却管内に比較的大きな球を充填する方法や、スワール管を用いる方法が提案されている。

ダクト流れについては、従来から多くの研究が行われており、壁乱流モデル構築のためにデータベースとして最も研究されてきた流れ場である⁷⁾。しかしながら、核融合炉で想定されるレイノルズ数(Re :流れ場の相似性を表す無次元数)の範囲でDNSが実現できるようになってきたのは、最近の計算機の発達による所が大きい。第4図はダクト乱流および円管乱流のレイノルズ数と計算規模を表している。図中の太斜線はプラントル数ごとの計算を実行すべき範囲を示している。例えば、レイノルズ数が 10^4 の場合、 $Pr=30$ (溶融塩など)の計算に



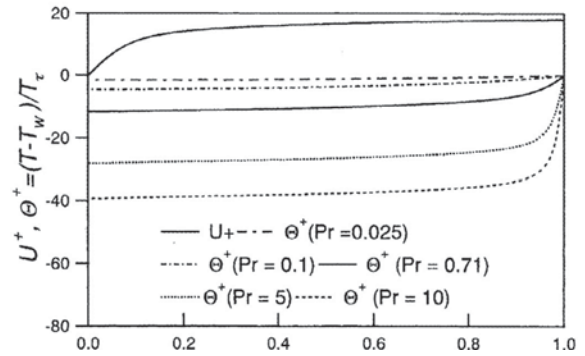
(a) 自由界面流として流下する方式



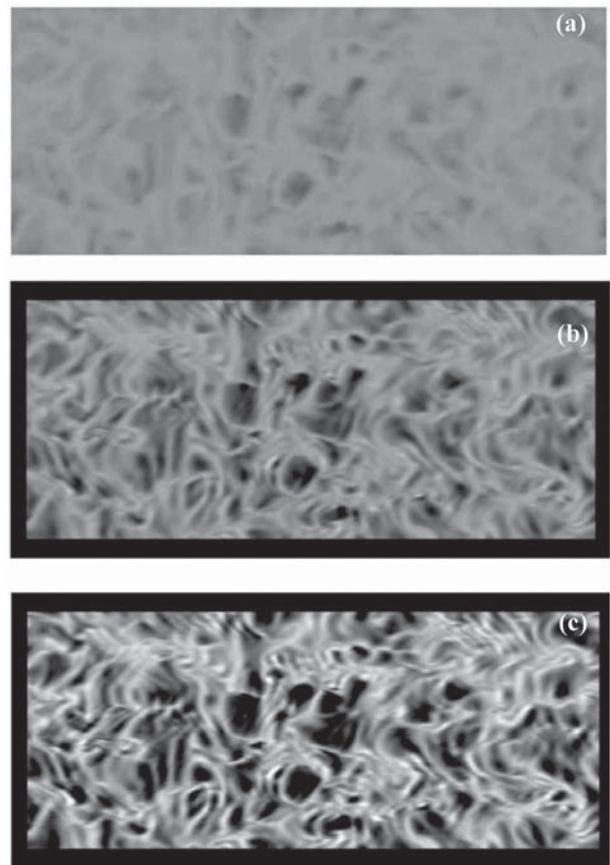
(b) 冷却材が管内を流通するダクト流れ方式

第1図 核融合炉の冷却概念図と熱流体計算モデル

必要な記憶容量(メモリー)は、 $Pr = 0.02$ (液体金属Liなど)の場合の計算より1,000倍近く必要となる。これは、高プラントル数流体を対象とする場合、運動量拡散に比べて熱拡散がかなり小さいので、その温度場を空間的に解像する格子点数が速度場のそれより多く必要であり、一般に計算負荷が増大することを意味している。このため、核融合炉の設計検討では、高レイノルズ数で、



第2図 液膜流を仮定したDNSの温度分布⁶⁾

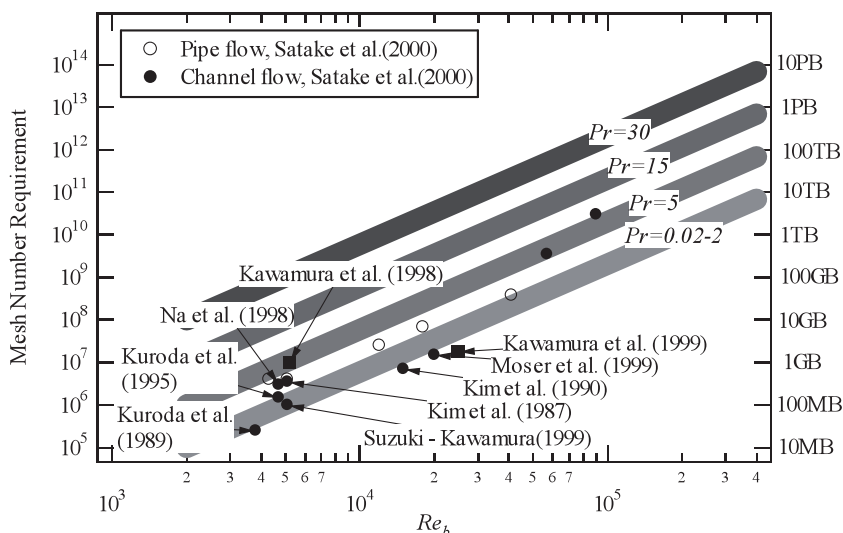


第3図 液膜流を仮定したDNSの自由界面近傍の温度変動分布：(a) $Pr = 0.71$, (b) $Pr = 5$, (c) $Pr = 10$ ⁶⁾

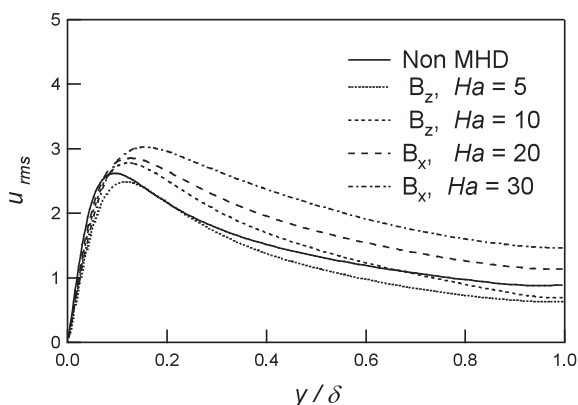
かつ高プラントル数の冷却材熱流動を考えるのであれば、高精度な乱流モデルの構築⁸⁾を行わなければならない。高精度の乱流モデルを構築するためには、DNSによる乱流統計量データベースをさらに拡充・整備する必要がある。

Ⅲ. 磁場効果による熱伝達特性の変化

磁場の影響を受ける冷却材(液体金属など)を用いた場合、磁場印加によって流れ場中にローレンツ力(印加磁場と流体運動に伴って発生する誘導電流の相互作用によって生ずる流れ方向と逆向きの力)により乱流状態から層流状態へ遷移するため、伝熱性能の劣化が生ずるこ



第4図 DNS計算におけるレイノルズ数と計算機メモリーの関係

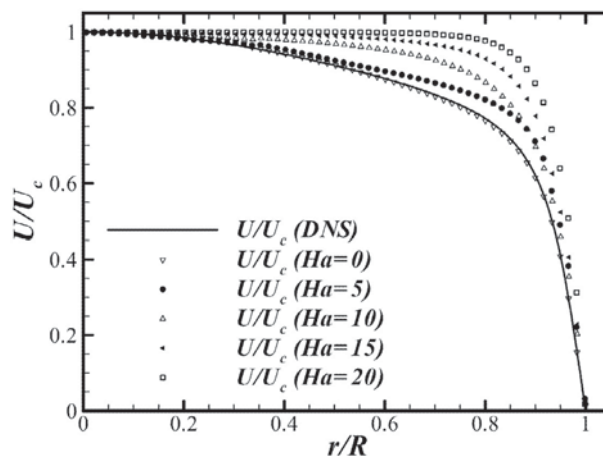


第5図 MHD自由界面乱流の乱れ分布(DNS)⁹⁾

とが知られている。第5図は、印加磁場下の自由界面乱流のDNSの結果を示している。MHD流はハルトマン数(Ha :ローレンツ力とせん断応力の比)で特徴付けられ、流れ方向磁場 B_x と垂直方向磁場 B_z では、 B_z の方がMHD乱流の乱流変動の減少の程度が大きいことがわかる⁹⁾。

このほか、印加磁場方向で乱流挙動が変わる例として、横磁場を有するMHD円管内乱流に関する先駆的な実験研究¹⁰⁾があり、その結果は上述のような非等方効果の発現であり、DNSでも確認されている。

近年、日米科学技術研究協力事業(JUPITER-II)の熱流動研究では、KOH水溶液を用いたMHD円管内流動についてPIV(Particle Image Velocimetry:粒子速度可視化)計測が行われており¹¹⁾、DNSとの統計量の一致が確かめられている(第6図)。従来の研究は流動体に水銀などの内部流動の詳細な可視化が困難であったが、MHD模擬流体としてKOH水溶液を用いて磁場効果を再現しながら、円管内部の瞬間的な流動を捕えたことは有益である(第7図)。これは、高磁場下でPIVによる世界初のMHD乱流速度の測定結果であり、さらに同実験流路とKOH水溶液を用いた熱伝達実験を行い、高プラントル数流体の磁場による熱伝達の低下について論じてい



第6図 MHD円管乱流のPIV計測とDNSの比較¹¹⁾

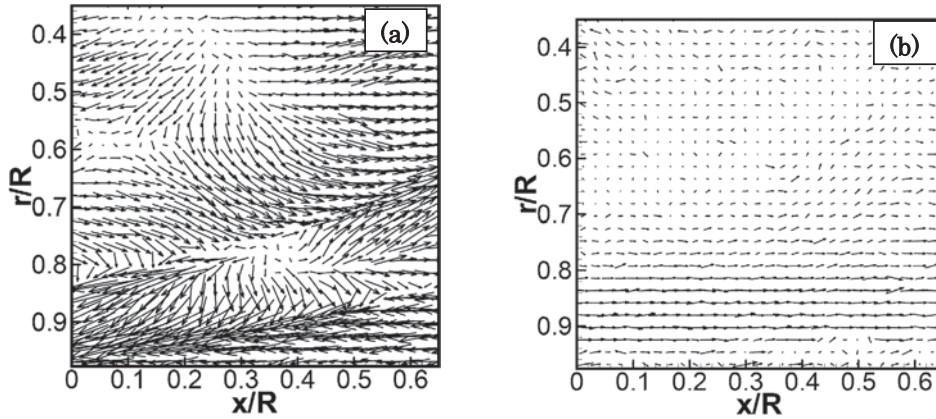
る¹²⁾。

近年の計算機の発達により核融合炉設計条件程度の大きなレイノルズ数でのMHD乱流や低プラントル数MHD乱流のDNSが可能となり、磁場効果で乱流の大規模構造(高レイノルズ数においてダクト中心に発生する乱流構造)が減少することが確認されている。今後は、この大規模構造がMHD伝熱性能に及ぼす影響を及ぼすのかを実験およびDNSを援用して解明する必要がある。

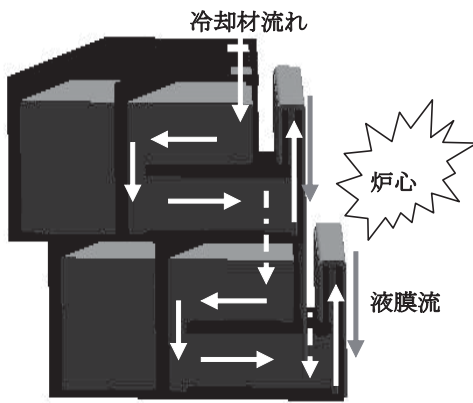
IV. レーザー核融合炉の第一壁冷却

第I章で述べたように、レーザー核融合炉では核反応時に発生する高エネルギー流束やデブリ衝突などの対策の一つとして、炉チェンバ内の第一壁を液体金属の液膜流を利用して冷却・保護する「液体壁概念」が提案され、検討されている。

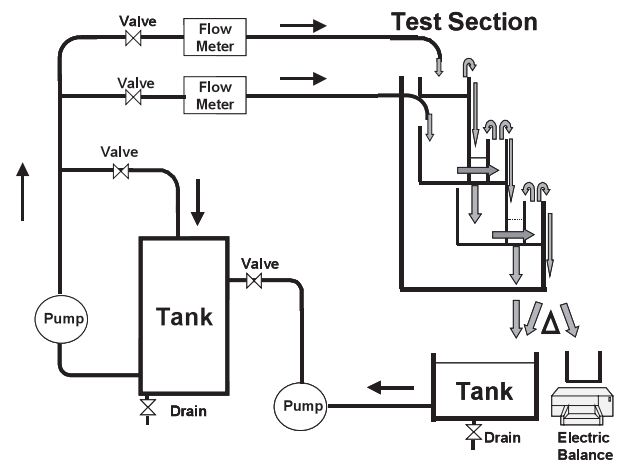
第X-IV節では、液体壁を多段にして液膜の高温化を避ける「カスケード型液体壁」概念について、原理実証のための可視化実験および数値計算によりその成立性につ



第7図 MHD 円管乱流の PIV 計測による瞬間場ベクトル；(a) $Ha = 0$, (b) $Ha = 20$



第8図 液体壁カスケード構造



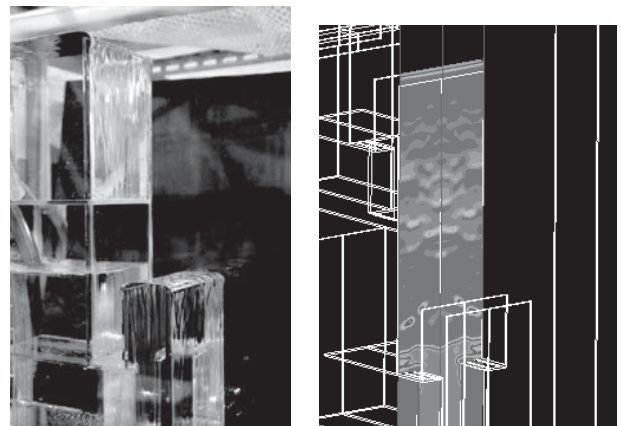
第9図 原理実証実験装置の概略⁵⁾

いて検討した結果⁵⁾について述べる。

第8図は、加熱された液膜と裏面の冷却材の確実な混合を実現するためのカスケード状に冷却材が滝のように壁面に沿って流下する構造の概念図である。実機では冷却材として液体 LiPb、壁面の材料に SiC を想定しているが、原理実証実験では流体力学的相似性を考慮し、作動流体として水を用いた場合の液膜の安定性について、実機と実験でのウェーバー数 (We ：慣性力と表面張力の比を表す無次元数) が一致する流速条件を基準として実験を行った。

第9図は、原理実証実験装置の概略を示しており、カスケード滝各段の静水圧が一定となり、安定した液膜の形成を目指した液体壁概念の実験が可能な試験部となっている。各段(第一壁)の高さはレーザーのパルス周期(4 Hz)を考慮して30 cmとしている。試験部の上段・中段の水槽に水を供給し、カスケード型液体壁の構造模型の前面(実機では第一壁に相当)の各段の出口から溢流させて液膜を形成した。

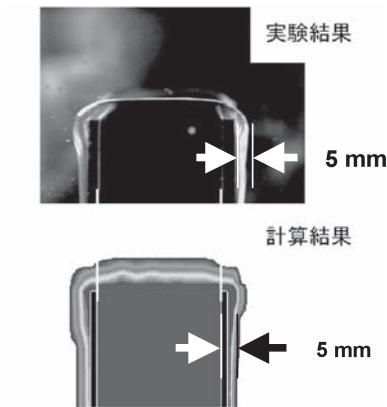
第10図(左図)に示すように、ウェーバー数が一致する水流速条件(実機の液体 LiPb 流速の1.21倍)以上の流量を与えれば、第一壁をすべて覆う液膜が各段に形成できることが確認できる。さらに、第10図(右図)は実験を模擬した液膜流の計算結果を示しており、実験観察と同様



第10図 液膜流の可視化(左)と数値解析結果(右)

な流動様相を捕らえている。また、流量を制御する事により、液膜厚さを制御できることが確認できた。すなわち、実機でも液膜厚さと流速を制御できる可能性を示した。

第11図は溢流部での液膜厚さについての実験と計算結果の比較を示している。計算結果から、実験観察と同様な液膜形成が確認でき、形成される液膜厚さも5 mm程度であることがわかった。以上のように、実機に対応するモデル実験で、平均流速条件(ウェーバー数一致条件)



第11図 溢流部での実験と計算結果の比較⁹⁾

より過大な流速においても、液膜が安定に形成できることを確認した。

この原理実証実験の結果より、実機においても流量を制御することにより、安定な液膜が形成できる見通し、すなわち、液体壁概念の成立性についての見通しを得た。さらに、数値計算でも実験体系でのシミュレーションを行い、実験結果と酷似した液膜形成および溢流部の流動状態が得られており、実機条件に対する数値シミュレーションの可能性が示された。今後は温度混合に関する実験および計算を実施し、カスケード型液体壁の温度混合特性を把握する必要がある。

—参考文献—

- 1) G. Aiello, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **82**, 2189-2194 (2007).
- 2) M. Enodeda, *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **38**, 921-929 (2001).
- 3) A. Sagara, *et al.*, *Fusion Technology*, **39**, No.2, Part 2, 753-757 (2001).
- 4) A. Ying, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **82**, 2217-2225 (2007).
- 5) T. Kunugi, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **83**, 1888-1892 (2008).
- 6) T. Kunugi, *et al.*, *Nucl. Instrum. Methods, Phys. Res. A*, **464**, 165-171 (2001).
- 7) J. Kim, *et al.*, *J. Fluid Mech.*, **177**, 133-166 (1987).
- 8) S. Smolentsev, *et al.*, *Int. J. Eng. Sci.*, **40**, 693-711 (2002).
- 9) S. Satake, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **61-62**, 95-102 (2002).
- 10) R.A. Gardner, *et al.*, *J. Fluid Mech.*, **47**, 737-764 (1971).
- 11) J. Takeuchi, *et al.*, *Fusion Sci. Technol.*, **52**, 860-864 (2007).
- 12) T. Yokomine, *et al.*, *Fusion Sci. Technol.*, **52**, 625-629 (2007).

著者紹介

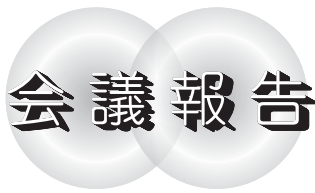
佐竹信一(さたけ・しんいち)



東京理科大学
(専門分野/関心分野)数値熱流体力学/特に
核融合炉冷却に関する MHD 乱流熱伝達

切刀資彰(くぬぎ・ともあき)

本誌, **51**[5], pp.419 (2009)参照



廃棄物利用を含む燃料サイクルについて討議

第2回先進オリエント研究開発セミナー

2008年11月7日(茨城県東海村, リコッティ多目的ホール)

使用済燃料中の長寿命核種の分離・変換および希少核分裂生成核種(原子力レアメタル)の有効利用を目指した新しい核燃料サイクルについての研究発表と意見交換を目的として、本会と日本原子力研究開発機構(JAEA)は11月7日に標記会議を開催した。本会第13回「核燃料サイクルの物質利用」研究専門委員会との同時開催であり、参加者は委員23名を含む63名であった。副題の「先進オリエントサイクル」(Advanced Optimization by Recycling Instructive ElemeNTs)は、JAEAが大学等の連携機関と開発を進めている有用元素回収利用を含む高速炉燃料サイクルであり、塩酸という従来の再処理では取り扱わなかった媒体でのイオン交換分離も検討対象としている。本セミナーでは、オリエントサイクル技術に関する6件の報告と、レアメタル資源等に関する3件の特別講演があった。以下に概要を述べる。

平成18年度から開始した先進オリエントサイクル研究は、以下の要素技術基礎試験から全体のプロセス設計段階に移りつつある：①3級ピリジン樹脂によるアクチノイド(An)分離、②白金族元素-Tcの電解採取、③ナノ吸着剤による発熱性Sr・Csの分離、④塩酸系耐食性材料の開発、⑤イオン交換樹脂の熱化学安全研究、⑥長寿命核種の同位体分離に関する調査研究。

An分離に用いる3級ピリジン樹脂の窒素原子は直接金属イオンに配位結合でき、また、水素イオンを配位して陰イオン交換樹脂としても機能する。前者はイオン半径の類似したAnとランタノイド分離に重要であり、本樹脂では硝酸+メタノール溶液によりAmとCmを単離できることが示された。塩酸系で白金族をよく吸着するが、硝酸系ではRhを吸着しない。いずれの系でもPdを非常に強く吸着するため、Pdの溶離回収が今後の課題である。

白金族-Tcの電解還元採取法は、3級ピリジン樹脂との整合を考慮して塩酸系での試験結果が報告された。Rhの共存下でRuおよびTc析出率が増加し、共析効果が示された。一方、PdはRh濃度が高くなるとPd析出速度が低下した。Rh濃度に依存して白金族の析出結晶形態が変化し、水素製造触媒に適した高い水素活性が得られている。

Csの分離では、微細粉末の無機イオン交換体(ヘテロリ酸塩等)を有機マイクロカプセル(MC)に固定して分離操作を容易にしておき、高酸濃度でも高い分離性能を得ている。Srの分離は疎水性クラウン化合物と添加剤を内包したMCで行い、SrとBaに対する選択性が示

された。

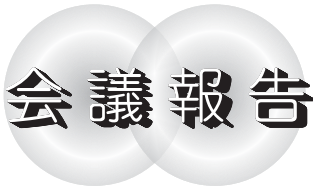
塩酸系分離プロセス成立性のカギを握る耐食材料開発では、濃塩酸中での腐食試験について報告され、Taは常温・沸騰・暴露状態でも完全な耐食性を有し、Nb, ZrおよびハステロイBはステンレス鋼よりも耐食性は良いものの腐食速度は0.1 mm/yrを超えた。今後は塩酸系模擬廃液を使用した試験、材料加工性、コスト等についての検討が望まれる。ピリジン樹脂を使うプロセスの火災爆発安全性研究では、塩酸系での樹脂の発火爆発の可能性は極めて低いが、硝酸+メタノール系では175℃で激しい発熱が認められ、運転温度に注意を要する。模擬廃液を用いて共存元素の触媒効果を調べることが望まれる。同位体分離技術では、レーザーによる選択的励起が難しい長寿命核種Cs-135と非放射性Cs-133の分離の可能性について報告された。会場ではオリエントサイクル要素技術の整合性や実用化について活発な討議があり、今後のプロセス開発に反映される予定である。

特別講演の1件目は、東大・岡部徹氏による「レアメタル概論」であった。レアメタル→希少元素→枯渇という構図は偏見や誤解によるものであり、副産物であるレアメタルは主産物の生産量に応じて生産されるので枯渇の心配は少ない。例えば、RuとRhはPtの副産物であり、当面枯渇の心配はないが、供給量が少ないために需要の変動で価格が大きく変化する。燃料電池自動車などが本格的に普及すると桁違いのレアメタル量が必要になるので、国内備蓄とリサイクル技術開発が一層重要になると考えられる。田中貴金属工業・海野哲也氏の講演「貴金属触媒の利用とリサイクル」では、貴金属の微妙な需給バランスと白金族の用途(特に触媒利用の詳細)の説明があった。分離精製は沈殿・イオン交換・電解等の湿式法で行われており、回収・精製例と今後の動向が報告された。原子力研究バックエンド推進センター・森久起氏は、大学・民間等の保有する低レベル廃棄物の特徴、その処分主体のJAEAと取りまとめ機関である同センターの役割について述べ、種々の廃棄物の集荷・保管・処理・搬出を安全かつ合理的に行う物流システムの重要性を指摘するとともに、高レベル廃棄物処理処分においてオリエントサイクルの果たす役割に期待を寄せた。

本セミナーの発表資料は「第2回先進オリエント研究開発セミナー講演集」(JAEA-Review 2008-083)として刊行されており、JAEAのwebサイトにて公開されている。

(日本原子力研究開発機構・山岸 功, 小澤正基,

2009年 3月12日 記)



国際水化学会議2008ベルリン会議報告

International Chemistry of Nuclear Reactor System 2008 Berlin

2008年9月15~18日(ベルリン市, ドイツ)

はじめに

本水化学会議は2年に1度、欧米アジア持ち回りで開催され、世界中の水化学、燃料、材料に係わる技術者、研究者が一堂に会し、実プラントでの経験、基礎技術についての発表、意見交換を行う場である。今回の会議はドイツ・ベルリンで9月15~18日にかけて開催された。21ヶ国から約260名が出席し、口頭発表、ポスター発表合わせて約200の論文が発表された。(日本からは水化学部会員を中心に23名が出席)

発表された論文は、BWR, PWR 1, 2次系での水化学管理の最近の動向と知見、流れ加速型腐食(FAC: Flow Assisted/Accelerated Corrosion)をはじめとする材料健全性確保に関する研究、燃料健全性に係わる研究など多岐にわたり、活発な議論が繰り広げられた。

本稿では、発表された最新技術、水化学管理の新しい動向とともに、原子力プラント安定運転に対する水化学技術の貢献について、トピックスとして紹介する。

技術トピックス

(1) BWR 水化学関連

BWRの構造材料応力腐食割れ(SCC)環境緩和技術では、オンライン貴金属注入(OLNM)によるシュラウドき裂進展抑制効果が先行プラントで確認され、その実施プラント数が増加している。起動時のSCC環境緩和技術として、わが国では起動時水素注入が実機で適用され、米国では起動時ヒドラジン注入が検討されている。BWRの被ばく低減では、米国を中心に亜鉛注入が引き続き行われている。わが国からは極低鉄・高Ni制御の実機経験が示された。

(2) PWR 1次系水化学関連

PWR 1次系の被ばく低減技術として、高リチウム(Li)運転と亜鉛注入の適用が進んでおり、亜鉛注入では、線量率低減のみでなく、燃料クラッド付着量の低減効果も認められてきている。亜鉛注入は同時に、1次系構造材応力腐食割れ(PWSSC)、PWRの炉心出力分布の異常事象(AOA: Axial Offset Anomaly)抑制についても効果的な多機能水化学制御法であるとの報告があった。わが国では亜鉛注入の適用が開始され、全プラントへ展開されつつある。

また、PWSSCに及ぼす炉水溶存水素濃度(DH)管理について、米国では現状の30~35 cc/kgから50 cc/kgまで増加させることが最良の対策との発表があったが、わが国ではDHの低下が被ばく線量増大につながることも懸念し、DHを低下させる方が有効であると判断して

おり、まさに反対の対応を志向しており、今後も関連情報の集約、情報交換が必要である。

(3) PWR 2次系水化学関連

蒸気発生器(SG) 2次側スケール付着に対する給水pH上昇効果について報告があった。また、スケール付着抑制技術としてスケール分散剤の実機適用例が紹介され、給水鉄濃度と同等のPAA(ポリアクリル酸)の添加により、給水から持ち込む鉄の50%の排除が期待できると報告があった。わが国では、高pH処理(アンモニア, ETA)の適用が推進され、スケール付着抑制に良好な効果が得られつつある。

一方、SG伝熱管損傷に対し、系統水中の硫酸が還元され亜硫酸または硫化物となると割れ感受性を増大するとの報告があった。わが国では系統水中の硫酸の供給源は復水脱塩装置(コンデミ)のカチオン樹脂の酸化劣化生成物であると判断しており、カチオン樹脂の酸化劣化耐性向上、コンデミ運用の適正化等により、系統内への硫酸持込み低減に取り組んでいる。

(4) 燃料健全性関連

PWRでは亜鉛注入による燃料被覆管の腐食に対する影響が評価されている。実機では1次系亜鉛濃度25 ppbまでの運転により燃料被覆管の腐食が通常レベルであったことが確認された。ラボ試験を含めて、燃料健全性への影響が引き続き検討されている。AOAについては、燃料クラッドのNi/Fe比が高いケースで起こりやすいことや、AOA発生の予測と抑制のためのモデル化の試みが報告された。

その他トピックス

ポスターセッションでは、内容、ポスターデザイン、説明対応が採点され、河村氏(電中研)、寺地氏(INSS)が栄誉あるポスター賞を受賞した。(詳細は部会ホームページに掲載)

おわりに

発表内容は多岐にわたったが、国内外ともプラント長期信頼性向上を主目的とした水化学改善のベクトルは同一であり、その効果が得られつつあることを再確認した。わが国原子力水化学の位置付けを再確認するとともに、新技術情報収集、協議の場として非常に有効であったものと考えられる。次回は、2010年秋にカナダでの開催が予定されており、国内からも積極的な参加が望まれる。

(三菱重工業・莊田泰彦, 東芝・山崎健治,

2009年2月24日記)

会議報告

人の振り見て、我が振り直せ！ 「2009年春の年会」倫理委員会セッション

3月25日午後、あいにくの雨にもかかわらず、桜が咲き始めるなか、東京工業大学のH会場において、「技術者倫理の更なる定着に向けて」と題して、倫理委員会の企画セッションが開催された。

三好義洋委員が座長を務め、まず、谷雅明委員からはセッションの趣旨、内容について、北村正晴委員長からは、倫理委員会の活動状況として、行動する委員会をめざしケースブック発行、公開セッション開催、不祥事に対する発信などを行っているとの説明があった。

次に、会員企業から、技術者倫理定着活動に関して、最近の事例も織り込みながら講演があった。

○北陸電力(株)の高橋敏彦氏

平成19年3月に公表した志賀原子力発電所1号機臨界事故について、事故を隠し、実施すべきことをしなかった根本原因として、経営層の責任、工程優先意識、真実究明からの逃避、意思決定に係る閉鎖性と決定プロセスの非透明性、議論できない組織風土があげられる。これを受けて、隠さない・隠せない仕組みの構築、企業倫理最重視への意識改革からなる隠さない企業風土づくりと、原子力を支える体制作り、安全・品質管理の強化など安全文化の構築を中心として、28項目の再発防止策を策定した。

平成20年度の実施状況は、迅速かつ確実な対外通報・報告の徹底、集合研修、集団討議、経営層と現場第一線社員とのフランクな対話、失敗事例の共有化などを行うとともに、各種のアンケート調査でチェックし、社外有識者からなる委員会からも、隠さない風土と安全文化の定着が進んでいると評価されている。今後とも、日常業務への取り込みに努め、PDCAを回し、地域の皆さまへ積極的な説明を行っていく。

○日本原子力研究開発機構の山口恭弘氏

技術者倫理活動を経営理念の一部として位置付け、行動基準の公開、職員等を対象とした講演会、役員教育、

管理職昇任者教育、原子力学会作成のケースブック配布など技術者倫理に関する教育・研修に加えて、法務室職員による講義、研究開発活動上の不正防止に関する取組み、メール配信、ハンドブック配布、eラーニングなどのコンプライアンス活動を行っている。

東海村の原子力科学研究所における汚染事例(19年6月公表)では、原因究明、全拠点の点検調査、水平展開策が実施された。もんじゅの通報遅れ等の問題(20年3月、9月発生)については、原因、背景要因の抽出に続き、経営の現場への関与の強化、品質保証の強化、安全文化の醸成およびコンプライアンスの徹底、業務の透明性の向上、外部からのチェック機能の強化からなる42項目の行動計画に基づき改善に取り組んでいる。

○北海道電力(株)の石毛孝二氏

コンプライアンス行動指針の制定、相談窓口の設置、適正な企業行動の推進役となる企業行動マネージャーの配置などを進めてきたが、18年3月、ほくでんグループCSR行動憲章の制定など、CSRへの取組みも強化した。

18年度下期にデータ改ざん問題が起き、火力、水力で改ざん事例が発見されたことから、再発防止策を策定し、コンプライアンスの徹底、業務品質管理の徹底、コミュニケーションの充実、地域との信頼関係構築の取組み強化を図るとともに、PDCAを回している。

19年夏、泊発電所3号機建設現場でボヤ等が連続発生した。原因判明には至らなかったが、不要可燃物の撤去、防火パトロールの強化、監視の強化などを行った。

安全風土の意識調査(20年度)では、過去よりも定着しつつあると評価しており、今後とも、同じ過ちを繰り返さないため、継続的な取組みを行っていく。

最後に、大場恭子副委員長から、講演に対して謝意が表されるとともに、取組みを開始した時には効果が出るものだが、大切なのは継続すること、緊急時に対応することであるとの指摘や、学会としても関係者の倫理観を高めるために努力していきたいとの表明がなされ、セッションはお開きとなった。

各社から丁寧な説明がなされたこともあり、質疑応答の時間はあまり取れなかったが、技術者倫理に関する問題点、原因、再発防止策などについて、大いに理解を深めることができた。

50名余りの参加の皆様、講演者その他協力いただいた関係者の方々に心から感謝を申し上げる。

(東京電力株・谷 雅明、2009年 3月27日 記)



会場風景

日米欧原子力国際学生交流事業派遣学生レポート

Purdue University 滞在記

東京海洋大学海洋科学技術研究科
海洋システム工学専攻
動力エネルギー研究室修士課程1年

嘉村 明彦

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

これまで東京海洋大学賞雅・波津久研究室と米国パーデュー大学(Purdue University)石井護・日引俊両教授は、熱流動の研究に関して共同研究を行ってきています。このたび私は、日米欧原子力学生国際交流事業の援助をいただき、2008年11月1日から2009年1月4日まで約2ヵ月間、世界的権威として知られているこの石井護・日引俊両教授の原子力熱水力安全研究室に滞在する機会を得ることができました。

この滞りで従事した研究は、原子炉炉心を構成する燃料集合体の中を流れる冷却材に関する気液二相流の伝熱流動実験です。現在の炉心熱設計では、二流体モデルを用いた解析が主流となっており、現状では、気泡流からチャーン流における気泡の合体と分裂に関してはよくモデル化されているのですが、沸騰開始条件は、未だ明らかとなっていません。このような背景から、同研究室では、同心二重円管からなっている環状流路を構成している管内の初期流入水温、内管(蒸発管)熱流束、および実験ループ内の圧力をそれぞれ変化させることにより、沸騰開始条件がどのように変化していくかを研究するという実験を行っています。私はその実験に、Researcher AssociateのBasar Ozar氏のご指導の下、従事しました。しかしながら、私は伝熱の実験を行った経験が少なく、また、基礎知識、研究における専門知識の不足から、

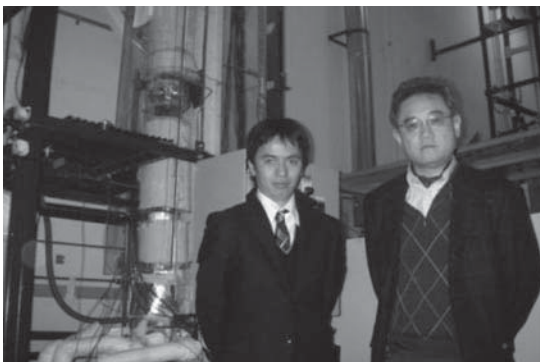
実験装置の構成や実験における計測方法、データ処理等、理解できない箇所が多々あり、Basar氏にたびたび質問をぶつけていたのですが、お忙しいにもかかわらず、私でも理解できるように丁寧に教えていただきました。その中で、氏の研究に対する取組み姿勢、並びにその紳士的な対応を垣間見ることができ、研究者、並びに人間としてプラスになる非常に貴重な経験でした。

さらに石井教授のご好意で出席する機会を得ることができた研究科の授業は、私にとって、非常に難しかったのですが、熱流体を扱うに当たり、どのような理論的アプローチをしていけばいいかがわかる非常に有益なものでした。また、研究室での会議は、毎週2人ずつ自分の研究のプレゼンテーションを行い、傍聴者は必ず1人1つずつ質問するという形式で、そのプレゼンテーションの内容や質問のレベルの高さからまるで毎週、学会が開催されているように感じました。

研究室のメンバーは、専門知識が豊富で、仕事も早くこなす等、個々の能力が非常に高く、中国、韓国、インド、トルコ各国の原子力系大学において、首席だった学生ばかりでした。その上、ほとんどの修士もしくは博士の学生は、日本と違い、給料を貰っているということ、また、解雇された場合、母国に帰国しなければならないということから、彼らが研究に対して命を賭けているようにさえ思えました。この研究室に2ヵ月間滞在することにより、知識レベルに関しては当然それほどの進展はありませんでしたが、留学の目的である研究者としての姿勢、米国の世界最高レベルの研究をほんのわずかではありましたが学ぶことができたと思います。

最後に、このような貴重な経験を与えて下さいました日本原子力学会原子力学生国際交流事業の関係者の皆様、また、私の滞在接受入れていただいた米国パーデュー大学(Purdue University)の石井護・日引俊両教授、研究室の皆様へ深く感謝いたします。

(2009年 2月12日 記)



滞在先でお世話になった日引先生と筆者

軽水炉の連載講座が終了

読者が活用できるような記事が好評

(2月号のWebアンケート結果)

「原子力学会誌」2月号に対して寄せられたWebアンケートの結果をご紹介します。今回は114名の方から、回答がありました。

1. 高く評価された記事

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

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	談話室	核分裂は誰が発見したのか? (その3)	4.00
2	時論(1)	DOEの原子力諮問委員会に参画して	3.83
3	ジャーナリストの視点	「平和」への問いを	3.74
4	NEWS	NEWS	3.69

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	核分裂は誰が発見したのか? (その3)	3.74
2	時論(1)	DOEの原子力諮問委員会に参画して	3.68
3	時論(2)	生命圏の安全保障	3.48
4	ジャーナリストの視点	「平和」への問いを	3.47

談話室が、「内容」、「書き方」とも第1位になっています。

2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) いろいろな分野の話題がのっており、興味深い記事が多かった。
- (2) もう少し学術系の記事があったほうが良い。
- (3) 「会告」については、今後見直しが必要だと思う。将来的には、学会のホームページの掲載のみでいいのではないか。
- (4) 今後、掲載を希望する記事として、J-PARCやRIBFなど加速器利用と原子力とのかかわりや可能性などを解説する記事。
- (5) 軽水炉に関する連載講座は、非常によく整理されており、勉強になった。今後、軽水炉関係でレポートをまとめる場合には、今回の連載講座を読み返し、活用したいと思う。

3. 編集委員会からの回答

- (1) 軽水炉に関する連載講座は、2月号で終了です。企画者、執筆者の方々のご努力により、PWR(14回)、BWR(17回)とも好評でした。上記(5)のコメントにあるように、今後も読者の方々がさまざまな場面で活用できるような記事の企画をしていきたいと思えます。
- (2) 「内容」、「書き方」とも1位の談話室は(その1)、(その2)とも上位で好評でした。読まれる記事の代表例といえます。

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

地震と原発、そして火災

NHK 新潟放送局 管谷 友美子

海沿いの国道を走ると見えてくる、柏崎刈羽原子力発電所の航空障害灯の光。発電所の存在を示すかのようにチカチカと点灯するあの障害灯も、自前の電気ではなく、首都圏から逆送電された電気で点灯しているというのだから皮肉だ。820万キロワットという世界最大の発電量を誇るはずのこの原発は、おとし7月の新潟県中越沖地震以降、今も発電をストップしたままだ。

この間の地元の動きをご紹介したい。地震後、新潟県では県の技術委員会の体制が強化された。技術委員会は専門家が原発の安全性を議論し県に助言を行う機関だが、地震後、地質・地盤と設備についての小委員会が設けられ、そこでの議論に県内外から高い関心が集まった。なにしろ、原子炉関連の専門家から地質の専門家まで、異なる主義主張の専門家を一つのテーブルに着かせて議論していたのだから当然だ。真っ向から対立する主張がぶつかり合い白熱した議論が展開された。「～委員会」と名のつくものにありがちな形式的な議論は一切なされず、シナリオがないゆえに会合はいつも予定の時間を大幅に超えて行われ、最終見解のまとめにも時間がかかった。技術委員会の体制強化の目的は「県民にわかりやすい議論を」ということだが、相反する意見が出されたり見解のまとめに時間がかかったり、必ずしも住民にわかりやすい議論がされていたとは言えないのかもしれない。しかし、技術委員会を通じて、住民には一つだけ明確にわかったことがある。それは「専門家が本気で議論してもなお未知のもの、それが地震と原発だ」ということだ。どんなに最新の知見を駆使してとことん議論しても、地震と原発の関係にはなお未知の領域が残る。ここで暮らすためには、そうした未知なる部分も引き受けてうまく付き合っていくしかないのだというのが、技術委員会の議論を目の当たりにした住民の率直な感想だろう。専門家でも明確な答えを導き出せない領域があることを知った住民は、ある意味で、そうした未知の領域に放り出される形になってしまった。かくなる上は、どうあがいても未知の領域が残されるゆえに、絶対の安心というのもまたあり得ないというのが住民の冷静な受け止め方だと私は感じている。家が崩れ道路が寸断され、自分たちの身の安全は「絶対」ではないということ

が地震によってリアルに認識された今、彼らが求めているのは謙虚さをもって安全を追求していく姿勢だ。謙虚さというのは、言い換えれば不断の努力ということになる。国や技術委員会には、胸を張って原発の安全性にお墨付きを与えることも求められているが、それを喧伝するだけではなく、さらにその安全性を高めたり地震や活断層のメカニズムを解明するために不断の努力をしていくことに住民は真の期待を寄せている。その意味で、原発の耐震安全性について「常に最新の知見を反映していく」と明言した国のこれからは注目が集まるだろう。

そしてもう一つ、地震後の柏崎刈羽原発といえば、とにかく火災の連続だった。9件の火災は原因も程度も様々だが、原発は外からは閉ざされた空間である。一たんけたたましくサイレンを鳴り響かせて消防車が原発に入っていけば、それが広い構内のどこで起きた火災なのかは外から伺い知ることはできず、不安を覚えられない住民はいない。ましてやそれが9回も繰り返されているのだから、不安を通り越して呆れ果てている人も少なくない。東京電力は地震後、涙ぐましい「地域の皆様への理解活動」を行ってきたが、火災がここまで繰り返されると「地域の皆様」という台詞自体が白々しく、謝罪が繰り返されるたびにしらけてしまうというのが住民の本音だ。誠心誠意の謝罪が単なるマニュアル通りの対応としか受け取られないという状況は悪循環でしかない。必要なのは、やはり火事のようなわかりやすい失敗をもう二度としないということに尽きる。万策を講じて火災を防ぎ、情報公開で対策のすべてをつまびらかにしていくことが大事だ。電力会社の情報公開は徹底しているが、もう少し交通整理が必要かなと思う。とって出しの情報提供だけでなく、対策と対策を講じた結果の部分についても積極的な情報発信を求めたい。



管谷友美子(すがや・ゆみこ)

NHK 新潟放送局、長岡報道室記者
東京大学文学部卒。06年に入局、07年から原子力取材などを担当。