

巻頭言

1 原子力行政と自治体の役割

増田寛也

時論

4 リスクと不確実性から見た原子力発電事業

終わりのなきPDCAサイクルを実施することこそが、「不確実性」に対する当事者意識にほかならない。

上念 司

特集

13 福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質による環境汚染対策と放射性廃棄物処理・処分への取組み

土木学会は「放射性汚染廃棄物対策と土木技術の役割—早期の帰還と復興を目指して—」と題するパネル討論会を実施し、今後の方向性や土木技術が果たす役割などについて議論した。

河西 基、藤塚哲朗、吉原恒一、勝見 武、朽山 修

時論

2 国際社会における温暖化問題の現実とエネルギー政策の議論

先進国が中心になって世界のルールを決める時代は終わった。

藤沢久美

解説

23 原子力発電所の耐震・耐津波性能のあるべき姿—土木工学からの視点

基準地震動・津波を超えることなどにより「安全性」が損なわれた場合の「危機耐性」を、新たに性能として考慮することを提案する。

当麻純一

⑤研究等施設

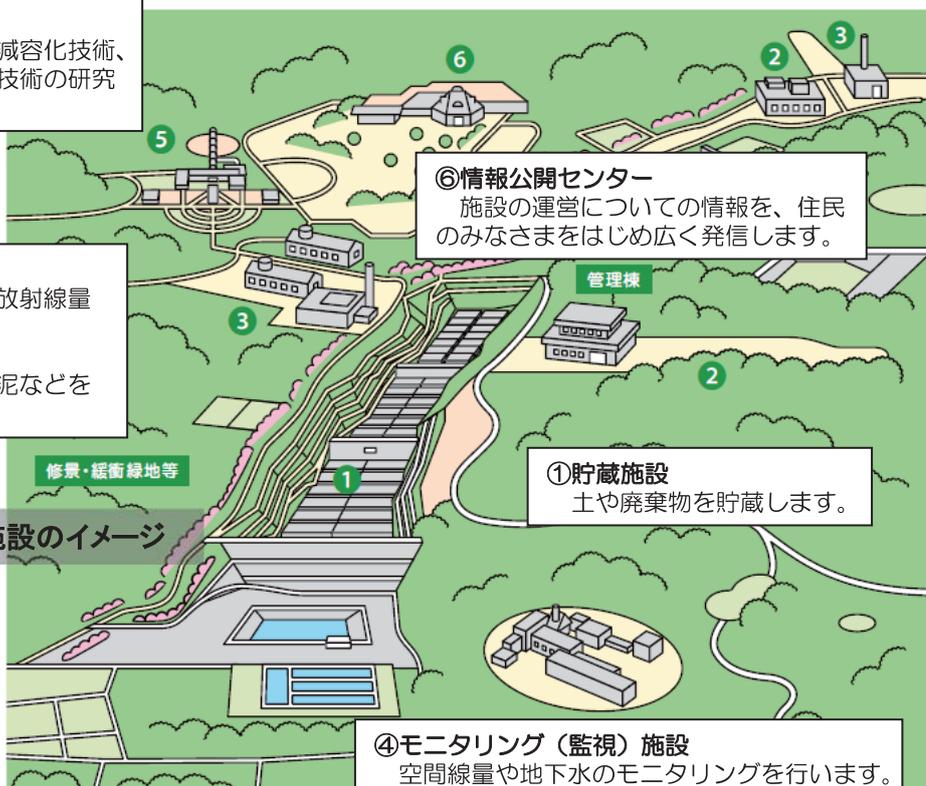
貯蔵する土壌や廃棄物の減容化技術、放射性物質の効果的な分離技術の研究などを行います。

②受入分別施設

搬入される土や廃棄物や放射線量の測定、分別を行います。

③減容化施設

除染で発生した草木・汚泥などを焼却・減容化します。



⑥情報公開センター

施設の運営についての情報を、住民のみなさまをはじめ広く発信します。

管理棟

①貯蔵施設

土や廃棄物を貯蔵します。

④モニタリング（監視）施設

空間線量や地下水のモニタリングを行います。

修景・緩衝緑地等

環境省 HP より「中間貯蔵施設の調査について」 <http://josen.env.go.jp/material/pdf/cyuukan.pdf>

表紙の絵(日本画) 「雲の海」 制作者 川崎 春彦

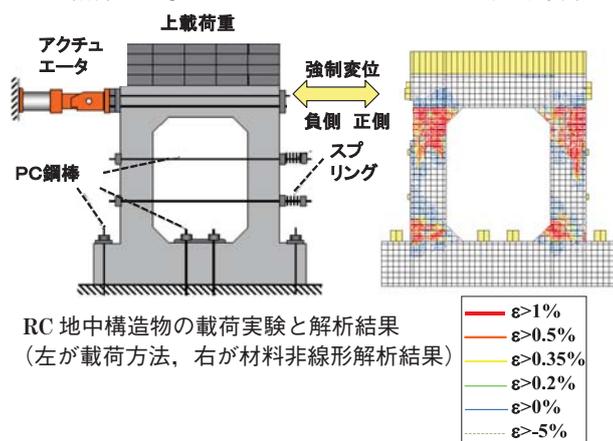
【制作者より】 雲の海 波間に浮かぶ 富士遙か

第44回「日展」へ出展された作品を掲載(表紙装丁は鈴木 新氏)

解説

28 鉄筋コンクリート製地中構造物の健全性評価技術—原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価に関するガイドラインの改訂を踏まえて

土木学会・原子力土木委員会が策定した構造健全性評価ガイドラインをベースにして、鉄筋コンクリート製地中構造物の健全性評価技術を紹介する。
松村卓郎



解説シリーズ

高レベル放射性廃棄物地層処分の工学技術—技術開発から理解促進へ(2)

34 緩衝材の製作, 搬送, 定置と定置後の品質に関する技術開発

オーバーパックの周囲に設置する緩衝材の製作, 搬送, 定置に関する技術開発について述べる。なかでも緩衝材と水との相互作用は, 施工品質の観点から十分な考慮が必要である。

朝野英一

方法	定置方式	
	処分孔縦置き	処分坑道横置き
ブロック		
一体型		
原位置締固め		
ペレット		
吹付け		

6 NEWS

- 電力4社, 10基の安全審査を申請
- 原子力予算, 前年より2%減
- 陽電子線源で世界最高のスピン偏極率
- 世界で運転中の原子力429基に
- 海外ニュース

報告

39 原子力核セキュリティ連携実験演習 大学大学院・高専の実験演習ネットワーク

文科省の「大学連携型核安全セキュリティ・グローバルプロフェッショナルコース」で実験実習ネットワークを構築し, 全国の拠点で実験実習を実施した。
上坂 充

44 Tokyo PSAM 2013国際会議報告 リスク評価の活用で原子力安全は向上できるか?

PSAM(確率論的安全評価と管理)のトピカル会合が開催された。
成宮祥介

談話室

47 緊急事態に備えるための危機管理

平時にはどのような備えが必要か, そして緊急事態にはどう対応すべきか。

植松真理 マリアンヌ

会議報告

49 「2013年春の年会」倫理委員会セッション 報告

作田 博

33 From Editors

50 新刊紹介 「原子力報道—5つの失敗を検証する」

木村逸郎

51 「チェルノブイリ原子力発電所事故—コンクリート構造物に及ぼした影響」

奈良林 直

52 会告 日本原子力学会定款の改定について

53 会報 原子力関係会議案内, 人事公募, 新入会一覧, 寄贈本一覧, 平成25年度役員紹介, 意見受付公告, 平成25年度原子力学会賞受賞候補者の推薦募集, 英文論文誌(Vol.50, No.8)目次, 主要会務, 編集後記, 編集関係者一覧

学会誌に関するご意見・ご要望は、学会ホームページの「目安箱」
(<http://www.aesj.or.jp/publication/meyasu.html>)にお寄せください。

学会誌ホームページはこちら

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

原子力行政と自治体の役割



野村総合研究所 顧問

増田 寛也 (ますだ・ひろや)

東京大学法学部卒業，建設省，岩手県知事，総務大臣を経て2009年より現職。東京大学公共政策大学院客員教授。

東日本大震災の発生から2年以上が経過し復興の遅れが指摘されている中で，ここにきて被災地の様相が二分化してきている。岩手・宮城の両県では，少しずつではあるが，町づくりなどが進みはじめている。これに対して，残念ながら，福島は明日は見えない。多くの人々が放射能による恐怖と闘いながら，不安な日々を送っている。

福島原発事故は原子力災害の恐ろしさをまざまざと見せつけた。チェルノブイリやスリーマイル島での深刻な事故の教訓が，何故わが国の原子力政策にきちんと反映されなかったのか。「絶対に事故を起こしてはならない」が，何故「事故は起きない」に変化したのか。原発の事故だけではない。「もんじゅ」の点検漏れや約20回も完成の延期をくり返す再処理工場の問題もある。こんなことは通常の組織ではあり得ない。原子力関係者の間だけで通用する特別の「空気」，内輪の論理と閉鎖性が，これほどまで強く組織のガバナンスに影響を与えていることについて強い危惧の念を抱く。

さらに深刻なのは，安全規制や政策推進などの行政当局，電力事業者，学界の信頼感が失墜し，お互いの不信の連鎖も生じているように見えることである。ひとつひとつの「何故」をきちんと解明し，それぞれの立場で，誠実に最善の策を講ずること。こうした石を積み上げるような地道な努力を，今後，長い年月続けなければ信頼感の回復にはつながらず，信頼感のない所に原子力の未来もないだろう。

しかし，それまでの間じっとしていればよいというわけではなく，現実問題として，すぐにも原発の再稼働の是非，福島の廃炉，高レベル放射性廃棄物の最終処分場などについて対応を迫られるだろう。これらはいずれも自治体も深く関わらなければ解決できない問題であるが，これまでの原発は国策民営で推進されてきたため，この部分での自治体の役割はあいまいである。この点で2点だけ指摘しておきたい。

第一に，原子力行政において住民の意思を反映させる経路は自治体に求めるしかないと思うが，それであれば，原発が立地する自治体の役割や法的位置付けをはっきりさせる必要がある。現在，立地自治体と事業者との間で締結されている安全協定は法的根拠がなく単なる紳士協定であるため，同意の基準や議会手続きすらあいまいである。同意するか否かの重要な判断を，首長が恣意的に運用していいはずはない。この際，自治体が果たすべき役割や責務を法律で明確化し，その中に安全協定も位置付ける必要がある。

第二に，より根源的な問題であるが，自治体は原子力行政においてどこまで住民を代表する存在たり得るかという問題である。一般的には自治体には住民の生命，財産を守る使命と責任がある。したがって，原子力施設の立地についてその観点から深く関与するのは当然であるが，例えば，高レベル廃棄物の最終処分場のよう何万年先までの人類に影響を及ぼす問題について，自治体が将来世代の住民代表となりうるかは考えれば考えるほど難しい。もちろん，住民投票も，現世代の意思しか表明されないのでは解決にならない。限りない未来にまでわれわれの代表制民主主義に基づく自治体の英知が届くと信ずるほかないが，その根底には，自治体も加えた関係者間に信頼感の醸成がなければならない。民主主義は相手を信頼することから始まるという原点を肝に銘じておきたい。

(2013年6月14日 記)



【雑感】国際社会における温暖化問題の現実とエネルギー政策の議論



藤沢 久美(ふじさわ・くみ)

シンクタンク・ソフィアバンク代表
 大阪市立大学卒業後、国内外の投資運用会社に勤務。日本初の投資信託評価会社、アイフィスを起業。「社会起業家フォーラム」副代表などを経て現職。
 著書は「なぜ、御用聞きビジネスが伸びているのか」(ダイヤモンド社)など。

排出権取引への疑問

私が温暖化問題やエネルギーについて興味を持つようになったのは、「排出権取引」が話題になったときだ。当時の私は、京都議定書は世界の温暖化問題を解決する地球の未来にとって重要な合意であると漠然と考えていたほど、温暖化問題にも、エネルギー政策にも、そして国際社会についても知見はなかった。ただ、長らく関わってきた投資信託の業界において、モーゲージ(住宅ローンなどの不動産担保融資の債権を担保として発行される証券)などをういたファンドの組成に関わっていたこともあり、「排出権取引」導入を大手新聞社が諸手を上げて歓迎していることに、いささか疑問を感じたのである。

モーゲージは結局、サブプライムローン問題を引き起こすことになったが、それでも担保には不動産という目に見えるものがあり、そもそも不動産の価格決定も実物を元にした需給で決まるが、排出権取引の担保に当たる温室効果ガスは、そもそも実物でもないし、需給のバランスを管理する市場も世界標準があるとは言いがたい状況であり、こうした場合は、ほぼ確実に、市場のルールを創り、市場運営者が儲けることになる。金融に限らなくても、ルール設定した者が、最も利益を得ることは、世界標準を持つ様々な分野で既に明らかになっている。

COP で感じた温暖化問題の終わりの始まり

こうして排出権取引に対する疑念が、様々な関係者との出会いへとつながり、全く門外漢である私が、温暖化問題やエネルギー政策などについて、学ぶ機会を持つこととなった。中でも、21世紀政策研究所澤昭裕研究主幹からご指導をいただき、COP15への参加の機会を与えていただいたことは、温暖化問題と国際社会の駆け引きを体験を持って学ぶ機会となり、深く感謝している。コペンハーゲンで開催されたCOP15から南アフリカのダーバンで開催されたCOP17まで、3年に渡ってCOPに参加し、3つのことを実感した。一つは、世界の意思決定の仕組みの変化、二つは、温暖化問題の終わりの始まり、三つは、外交交渉の場としての駆け引きである。

まず、世界の意思決定の仕組みの変化だが、新興国や途上国の台頭により、かつての先進国が呈示したルールに追随する国はもはやおらず、先進国と新興国の互いの利害の違いと、経済成長力・資源力などを持つ新興国の存在感のアップによって、先進国が中心になって世界のルールを決める時代は終わってしまった。京都議定書的な世界統一ルールは、もはや成立しない現実を、誰もが痛感した。そして、COPは、世界の多様な取組みや条件を互いに認め合うというよりも、とりあえずテーブルに載せて品評する場になりつつあるように感じた。

そして、二つ目の温暖化問題の終わりの始まりにつながるのだが、COP会場には、多くのNGOが参加している。胸に「I LOVE KP(京都議定書)」と書かれたTシャツを着た人も見かける。こうしたNGOの方々には、スポンサーは誰かと尋ねると、多くの場合が欧州の金融機関であり、結局のところ、排出権取引によって利益を得る金融機関がNGOを経済的に支援し、彼らに京都議定書を守る運動を通じて、排出権市場の確立の後押しをしてもらうという構図ができていた。さらに、こうしたNGOの人々に、「日本は京都議定書に反対を貫いているのだけど、どう思う?」と問いかけてみたところ、「そうみたいだね。どうしてだろうね。」といった、軽い反応が返ってくることもしばしばで、まるで年に1回のお祭りを楽しみに来ているような人もいた。COP1の頃とは参加者の意識も大きく変わり、惰性となっている参加者も多いのではないかという印象を受けた。

そして、三つ目の外交交渉の場としての色合いが、恐らくCOP1の頃よりさらに色濃くなっているのではないかと思う。先進国が互いにメリットを分け合いながら温暖化に対するルールづくりを始めた当初とは異なり、誰がもっともルールを通じてメリットを得るかの戦いの場になってしまったようだ。先に述べた通り、その背景には、新興国の台頭もあり、私が目にしたCOPの現場では、いかにしてルール設定のイニシアティブをとり、自国への経済的メリット等を最大化するかに各国がしのぎを削っていた。

その中で、異色を放っていたのは、日本政府の交渉だった。各国が自国の権利の主張をするなか、日本も京都議定書からの離脱を宣言したが、単なる離脱ではなく、日本政府は世界の温暖化問題の解決に向けての現実的なアプローチを提案し続けてきた。しかし、こうした日本政府のスタンスは、残念ながら日本のメディアでは報道されず、京都議定書離脱宣言が各国から批判されたというようなネガティブな報道のみで、日本のメディアは自国の応援をするのではなく、まるで他国の応援団のごとく報道をするという現実にも呆然とした。

日本のエネルギー政策や産業政策に大きく関わる温暖化問題を取り巻く環境は、前述の通り変化しているにも関わらず、日本国内では、表面的な議論が多いように感じるの、私だけだろうか。この私の懸念は、東日本大震災以降のエネルギーに対する議論にも通じるところがある。

世界経済フォーラムに見る日本のエネルギー政策

私は、温暖化問題への関わりを通じて、日本のエネルギー政策についても学ぶ機会を得た。なぜ日本がエネルギーミックスにいち早く取り組んだのか、そこに原子力を取り入れたのか、なぜ温暖化の原因となる石炭火力を廃止しないのか、エネルギーの専門家ならば当然持っている知識を私は持ち合わせていなかった。日々消費している電気が、どのような政策によって水や空気のような当たり前の存在へと進化してきたかを知ることとなった。そして、もっと国民全体が、この歴史を知り、これからのエネルギーについて考え、議論する機会が必要であると思った。そうした矢先に、東日本大震災が起き、福島第一原発の重大事故が発生し、もはや、エネルギーについて、冷静に議論することはできなくなってしまった。

こうした日本のエネルギー政策について、海外は冷静に議論をしている。私は、2007年からダボス会議を主催する世界経済フォーラムのヤング・グローバル・リーダーとして、フォーラムの様々な議論に参加する機会を与えられている。世界のトップ企業やトップアカデミアたちが集まるその場では、様々な分野にわたる議論が行なわれ、エネルギーについても New Energy Architec-

ture という審議会にて、世界の有識者と関係者がメンバーとなり議論が行なわれている。東日本大震災が発災した2011年に、この審議会は、日本とインドをターゲットカントリーとして、提言を発表している。

その一部を以下に、紹介する。

「日本は長期的に見て、エネルギー構成のイノベーションや他国のお手本となるような新たなエネルギーモデルの構築をけん引する存在となる可能性があり、そのためには、次の4つの目標を掲げるべきである。1. 日本経済をけん引する輸出産業を育てるための再生可能エネルギーの拡大と新エネルギー産業のサポート。2. 原子力発電は、日本のエネルギーミックスにおいて引き続き重要な役割を担う存在であるが故のより強い原子力産業となるような研究開発の継続、パブリックアクセプトランスを獲得するための説明責任と透明性の確立。3. 再生可能エネルギーの可能性の拡大および経済的・技術的効率性を拡大するような電力の送配電のための新たな市場とインフラの開発。4. エネルギー効率において新しいベストプラクティスモデルの創出。」

この提言からもわかるように、世界経済フォーラムでのエネルギーに関する議論は冷静である。もちろん、原発事故は、深刻に受け止められ、議論の対象となったが、新興国の成長を支えるエネルギー源としてどのように活用し、安全を担保していくかの議論が積極的に行なわれていた。原子力の危険性については、主にテロという側面からの議論のみで、発電所としての危険性はほぼ議論の対象外となっていた。エネルギーの素人である私から見ると、世界での議論は、超長期的には再生可能エネルギーなど新たな代替エネルギーへの挑戦を積極的に行ないつつ、その実現までの実用的エネルギー源として原発を位置づけているような印象を受けた。日本で議論されている廃炉や使用済み燃料についての議論はあまり目にはなかった。その意味でも、核廃棄物の処理に関しては、日本は世界のリーダーとなる可能性はあるのではないだろうか。

こうした世界での議論ももっと日本国内に幅広くフィードバックし、エネルギーの未来について、冷静に議論できることを願う。

(2013年6月19日 記)



リスクと不確実性から見た原子力発電事業



上念 司(じょうねん・つかさ)

経済評論家

1969年東京生まれ。中央大学法学部法律学科卒。日本長期信用銀行、臨海セミナーを経て独立。2007年、経済評論家勝間和代と共に株式会社監査と分析を設立。2010年、イエール大学浜田宏一教授に師事し、薫陶を受ける。

経済学者のフランク・ナイトによると、世の中には確率分布が予想できる「リスク」と、確率分布が予想できない「真の不確実性」があるらしい。

例えば、40代男性がガンで死亡する確率や、ある偏差値の子供が特定の大学に合格できる確率などは確率分布が予想できる典型的な「リスク」である。

これに対して、巨大隕石が地球に衝突する確率やイランが核武装してイスラエルを攻撃する可能性などは、極めて低い発生確率で確率分布は予想できない。こういったものを「真の不確実性」または単に「不確実性」と呼ぶ。

こういうと何か特別なことのように聞こえるが、私たちは日常生活で比較的多くの「リスク」と「不確実性」に接している。最も身近なものは商売だ。

分かりやすくするために保険業界について考えてみよう。保険が取り扱うのは「リスク」であって「不確実性」ではない。様々な計算を経て割りだされる保険料は、あくまでも予想可能な「リスク」をカバーするためのものだ。保険会社を利用する顧客にとって、商品価値は掛け金と保険金のバランスでしかない。例えば、死亡保険料1億円に対する掛け金が10万円の業者よりも、9万9,999円の業者の方が選好される。保険会社が安値競争となった場合、提示できる掛け金は採算ギリギリのラインで均衡する。

では、保険会社が超過利潤を得るためには何をすべきだろうか？ここで登場するのが「不確実性」である。「リスク」は確率分布が予想できてしまうため、結局、誰が計算しても保険料に対する掛け金は似たようなものになってしまう。これに対して「不確実性」は確率分布が予想できないため、それに対して顧客が感じる恐怖の度合いに応じて自由に値付けができるのだ。しかし、新分野の保険には一つだけ問題がある。それは「不確実性」が顕在化した場合、保険料の支払いが無限に拡大し、その保険会社が倒産してしまうかもしれないという点だ。

保険会社の経営者は「リスク」の範囲内でカツカツの商売を続けていくか、「不確実性」の世界で勝負して大きく勝ち越すかを選ぶ権利がある。前者ならば倒産の確率は

限定的だが、後者ならば倒産の確率はゼロではない。とはいえ、これはあくまで思考実験上での話だ。もちろん、現実には金融庁の指導により保険会社が後者を選択することは許されない。

この話を保険業界からビジネス全体に敷えんしてみよう。例えば、八百屋、ラーメン屋、自動車産業、家電業界などでも同じことが言えるのではないだろうか？

生活必需品や一般的な耐久消費財を作り続ける限り、その商売はあくまでも「リスク」の範囲内で収まっている。ハウレンソウも、味噌ラーメンも、カローラも、冷蔵庫も多くの人が必要としているものであり、作ればほぼ確実に売れるだろう。しかし、作ればほぼ確実に売れるということを業界内の他のプレイヤーも十分承知しているため、そこには先ほどの保険業界と同様の厳しい価格競争がある。同じ効用が得られるなら、より価格の安いものが選好されるのは間違いない。結果として、先ほどと同じく採算ギリギリの価格で均衡するという事態に陥る。

そこで経営者は何を考えるか？もちろんフロンティアは「不確実性」の中にしかない。売れるか売れないか分からない、まだ誰も見たことがない商品を開発し、それを市場に投入するわけである。かつてソニーが世に出したウォークマンなどは正に携帯ステレオプレイヤーという新しい鉱脈を掘り当てたわけだ。そしてその鉱脈を掘り当てたソニーは町工場から世界的な大企業へと成長した。

多くの経営者が超過利潤を得ようと新しい産業に参入する。しかし、誰かが成功しそれが確実に儲かる事業だと分かれば、すぐに多くのプレイヤーが群がり、価格競争が始まってしまう。一旦価格競争が始まると、顧客は同程度の効用が得られるのであれば、より価格の安い提供者を求めようになる。その結果、その業界における最安値が平均の価格となり、業界内のほぼすべての企業が超過利潤を上げることが難しくなってしまう。しかし、経営者はアニマルスピリットでこの局面を打開する。彼らは再び商売として成り立つかどうか「不確実」な

分野にどんどん進出し、そこでマーケットを作り上げる。そして、大きな鉞脈を掘り当てた者が勝者として巨万の富(超過利潤)を得るのである。不確実性へのチャレンジを止めれば企業は生き残れないのだ。

さて、ここで改めて原子力発電所について考えてみたい。平常運転時において、原子力発電所が対処しなければならないのはあくまでも「リスク」だ。例えば、応力腐食割れを防ぐために定期的に部品を交換するとか、作業員が放射性物質を外部に持ち出さないように使い捨ての靴下や手袋を使うといった、日常の様々な業務は正に「リスク」への対処だと言ってよい。日々の安全を確保するためには、愚直なほど基本動作に忠実に仕事することが重要であろう。これは行ってみれば「マジメにやった者が必ず勝つ世界」である。

しかし、一昨年(2011年)の巨大地震や今後予想される富士山噴火と言った想定外の大災害が発生した場合、原子力発電所の仕事は「不確実性」に向かい合うことに変化する。

「不確実性」を目の前にした時、当事者のやることは一つしかない。手持ちのリソースを出し惜しみせずに投入することである。かつてのソニーも今のアップルも、成功した企業がいつもバタバタしているのはそのためだ。そして、かつての競合相手が破れ去って行ったのは、正にこの「バタバタ」が足らなかったからである。

地震が発生した瞬間に原子炉を緊急停止し最悪の事態を回避したにも関わらず、そして、全電源停止という状況の中でも最初の数時間は炉心を冷やし続けていたにも関わらず、安全は守り切れなかったのはなぜなのか？その答えも正にこの「当事者がリソースを出し惜しみせずに投入する」という言葉にあると思っている。

これはあくまで私見だが、当時の首相だった菅直人氏および政府首脳は水素爆発が起こるまで、自分たちがこの事件の当事者だという意識を欠いていたと考えている。そもそも、原子力発電を国策民営で進めて行くと決めた時点で、運営者はあくまでも電力会社であり、政府は規制、監督する立場であって当事者ではないという意識があったのではないか？

例えば、東電・清水社長(当時)が震災当日に出張先の関西から東京に向かう際、彼を乗せた自衛隊機が政府との行き違いで空自小牧基地から離陸20分でわざわざUターンしていたことが報じられている。また、震災翌日に福島第一原発を訪問した菅直人首相(当時)にも多くの

批判が集まった。正にこれらが政府の当事者意識の欠如を示す好例だろう。

「安全神話」的な発想法は、何か理想の安全状態があって、それを達成すれば終わりである。例えば、「防波壁が〇m以上ありさえすれば安全」という考えに凝り固まってしまうと、発電所の敷地内に海水が入ることを想定することは「防波壁が〇m以上あっても安全ではない」という可能性を示すことになるので、そもそもそういう想定を考えないという思考停止に陥ってしまう。しかし、これではとても「真の不確実性」には立ち向かうことはできない。当事者意識の欠如とは、正に安全神話への依存でしかないのだ。

仮に、防波壁を作ることで津波が敷地内に侵入する「リスク」は低減できても、津波が防波壁を乗り越えてくる可能性を完全にゼロにすることはできない。何らかの理由により、津波が発電所の敷地内に入った時、建屋内に海水が浸入しないようにすることは、「リスク」では処理しきれない何かに対する対策だ。具体的には建屋内に海水が浸入しないような水密扉の設置が必要となる。しかし、水密扉によって浸水リスクは低減できてもやはり完全にゼロにすることはできない。再び何らかの理由によって建屋内が浸水し……と最悪の事態を徹底的に想定していけばキリがない。

これは安全への自問自答であり、おそらく永久に終わることなく続くものだ。正に安全への終わりなきPDCAサイクルと言っていいだろう。この終わりなきPDCAサイクルこそが、「不確実性」に対する当事者意識に他ならないのだ。

東日本大震災以降、各電力会社の地震対策、津波対策は格段に進歩した。しかし、惜しむらくは、なぜ今行われている対策の100分の1でもいいので福島第一原発がこれらを採用していなかったのかということだ。

確かに、原発に対する感情的な反発を鎮静化させる方便として「安全神話」は有効だったかもしれない。しかし、それはあくまでも方便であって、「不確実性」と向き合うという本当の仕事の代わりにはならないのである。安全への取り組みにおいて、完璧な対策を想定すること自体が間違いであり、安全対策に終わりが無いという現実を、勇気を持って国民に開示し、理解を求めていくべきだ。

(2013年6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(奥付欄掲載)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。

電力4社、再稼働に向け10基の安全審査を申請

北海道、関西、四国、九州の電力4社は7月8日、原子力発電所計10基について、新しい規制基準への適合性確認審査を受けるための申請を原子力規制委員会に対して行った。

申請が行われたのは北海道電力の泊1～3号機、関西電力の大飯3、4号機と高浜3、4号機、四国電力の伊方3号機、九州電力の川内1、2号機。

北海道電力では泊発電所について、主要設備は海拔10mの敷地に設置しているために津波による被害を受ける

おそれはなく、関西電力は大飯、高浜発電所はともに敷地内破砕帯には後期更新世以降、活動がないと評価。四国電力は伊方発電所について、基準地震動は570ガルであり、従来のバックチェック評価時と変わらず、安全性に影響を及ぼさないことを確認したとしている。九州電力は7月12日に、玄海3、4号機についても申請する予定。

また東京電力の廣瀬社長は7月5日、新潟県と柏崎市、刈羽村を訪問し、柏崎刈羽原子力発電所の運転再開について説明し、理解を求めた。(原子力学会誌編集委員会)

参院選、自民以外は脱原発を主張

7月21日の参議院選挙を前に、各党の選挙公約が出そろった。原子力政策では自民党が「原子力発電所の安全性については原子力規制委員会の専門的判断に委ねる」とした上で、「安全と判断された原発の再稼働については、地元自治体の理解が得られるよう最大限の努力をする」と容認姿勢を明確にした。民主党は「原子力政策を推進してきた国の社会的責任を認め、福島第一原子力発電所の事故原因の解明を徹底的に進め、規制基準等へ反

映する」とし、日本維新の会は、「先進国の主導する脱原発依存体制を構築し、世界最高水準の安全基準を設定し、原子力の運営をより安全にさせる」と明記。公明党は「原発の新規着工を認めず、原発への依存度を段階的に減らし、可能な限り速やかに原発に依存しない社会・原発ゼロをめざす」、みんなの党は「原発は市場原理によって淘汰される。核燃料サイクル計画は廃止する」としている。(同)

原発の新規制基準、7月から施行

政府は6月21日、原子力規制委員会が19日に決定した原子力発電所の新しい規制基準を閣議決定した。7月8日から施行する。新しい基準では福島原発事故の教訓を踏まえ、過酷事故や自然災害対策を強化した。過酷事故対策ではフィルタ付きベントの設置や電源車の配備、緊急時の対策所の設置を求めた。津波に対しては基準を厳

格化するとともに、津波防護施設にも高い耐震性を要求した。

また原子力規制委員会は7月3日、関西電力大飯原子力発電所3、4号機について、「安全上重大な問題が生じるものではない」とする報告書を了承し、両機の9月までの運転継続を正式に認めた。(同)

原子力予算、前年より2%減の3,254億円に

原子力委員会は5月9日、2013年度予算の原子力関係経費を取りまとめた。総額は3,254億円で前年度より2.0%減少。内訳は一般会計が504億円で同5.6%減、エネルギー対策特別会計が2,649億円で同1.4%増、復興特別会計は100億円で同42.3%減。省庁別では、文部科学省が1,687億円(同10.4%減)、経済産業省が1,510億円(同10.6%増)となっている。

一般会計では、内閣府が1.8億円(同0.2%増)、外務省はチェルノブイリ原発支援事業への支払いが終了したた

め、55億円と同21.3%の減額となっている。文部科学省は設備の減価償却による固定資産税等の減額や業務の合理化のため、日本原子力研究開発機構に必要な経費が減額したことなどにより、447億円と同3.3%の減額。特別会計では、エネルギー対策特別会計の電源立地対策が1,412億円で同4.2%減った。電源利用対策は1,237億円となっており、同8.7%増。電源立地対策では、原子力施設等防災対策等交付金が原子力規制委員会等へ移管したため97億円の減額。電源利用対策では、高速炉等の維

持管理に必要な施設・設備の更新が終了したため日本原子力研究開発機構施設整備費が9億円の減額となっている。

文部科学省分の復興特別会計については102億円と

なっており、核融合研究開発事業及び量子ビーム関連事業や2012年度単年度形状の施設整備が完了したため、前年度当初予算に比べ42.3%減となった。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

東大研究グループ、福島事故時の住民避難行動を解明

東京大学理学系研究科の早野龍五教授らは5月9日、福島第一原子力発電所事故に伴う周辺の人々の流れをGPS機能付き携帯電話による位置情報から解析し、推定結果を発表した。それによると発電所から20km圏内では、事故前の人数は約7万6,000人、放射性ヨウ素濃度が最も高かったとされる3月14日深夜から同15日深夜にかけての人数は最大でも約2,000人であることがわかった。地図ナビゲーションアプリの提供サービスを行うゼンリンデータコムとの協力により示されたもので、客観的データを用いて事故当時の人の流れを明らかにした

のは初めてとみられる。

調査ではGPS付き携帯電話の普及状況に注目し、250mメッシュ内の1時間ごとの人数推計値を求めることにより、福島第一発電所からの距離5km刻みの人数を、事故発生前日の3月10日から17日で、1時間ごとに算出した。早野教授は人数分布をドットで示した地図を「『パラパラマンガ』で見せるとわかりやすい」と説明。事故が発生し避難指示エリアが3km、10km、20km圏内と順次拡大されるごとに、当該圏内の人数が減り、逆に、その外側の人数が増える様子が見られた。

農研機構、福島に放射性物質分析の拠点

農業・食品産業技術総合研究機構は5月15日、福島原子力発電所事故に伴う被災地の営農再開・農業再生の一環として、作物への放射性物質の移行低減に関わる技術開発を行う「放射性物質分析棟」を、福島市内に開設した。

同機構では福島を拠点に、農地の除染技術と作物等への放射性物質の移行低減技術の開発を進めており、12年度には「農業放射線研究センター」を設置している。この

ほど開設された分析棟はさらに農地の除染技術体系の構築、除染廃棄物減容・安定化技術、水稻、大豆、そば等作物への放射性物質の移行低減技術の開発に必要な土壌・作物体等への放射性物質の分析を行うもの。放射線量を精密測定するゲルマニウム半導体検出器や、土質を分析するX線回折装置などを備えている。

原子力機構、高強度陽電子線源で世界最高のスピン偏極率

日本原子力研究開発機構の研究グループはこのほど、高強度の陽電子線源にゲルマニウム68を用いて、世界最高のスピン偏極率47%の陽電子ビームの開発に成功したと発表した。

スピンとは、電子が持つ自転のような性質。偏極率とは、その「上向き」と「下向き」の2つの状態の差をいう。このような電子の挙動を研究する「スピントロニクス」が近年、電子デバイス開発で重要となっている。

同グループでは、電子の反粒子である陽電子が、物質中の電子と結合して消滅する時に放出するガンマ線を観測することで、消滅相手の電子の運動状態を調べる「陽

電子消滅法」に着目。照射する陽電子ビームのスピンの向きを揃える(偏極させる)ことで、従来の陽電子ビームでは難しかった電子スピンの検出を目指して研究を進めていた。

検討の結果、スピン偏極率が高い核種はゲルマニウム68であることが判明した。生成にあたりサイクロトロン(加速器)で水素イオンビームを窒化ガリウムに照射するが、融点の低い(29℃)ガリウムを照射の熱にも耐えるような窒化物にするなどの工夫を加えた。これを線源として用いた結果、47%という高スピン偏極率をもった陽電子ビームの開発に成功した。

世界で運転中の原子力429基に、原産協会まとめ

原産協会は5月20日、世界の原子力発電所の現状に関する調査報告を取りまとめ、「世界の原子力発電開発の動向2013年版」として刊行した。13年1月1日現在、世界で運転中の原子力発電所は計429基・3億8,823万kW

で、前年より2基、376万8,000kW増えた。各国は安全対策強化を進める中で、新規の運転開始や建設着工などをおおむね計画通り進展させているものとみられる。

調査報告によると、12年中、新規に営業運転を開始し

たのは、中国1基、ロシア1基、韓国2基の合計4基・365万kW。これに加えカナダでは、ブルースA1、A2号機の2基が大規模な改修を終え、同年10月に十数年ぶりに営業運転を再開した。

新規着工(建設許可)は中国3基、韓国、ロシア、UAEが各1基の計4か国・6プロジェクト。これにより13年1月現在、世界で建設中の原子力発電所は、17か国で、合計76基・7,771万7,000kWとなった。さらに、計画中のプロ

ジェクトは、合計97基・1億1,091万kWで、前回調査より3基、589万9,000kW増えた。新たに計画入りした11基のうち、英国のヒンクリーポイントC1、C2号機(各PWR、163万kW)の許認可は、同国で実に25年ぶりとなっている。

一方、カナダではジェンティリー2号機が改修経費の関係で12年末に閉鎖。英国ではオールドベリー1号機(GCR、23万kW)とウィルファ2号機(同、56.6万kW)が、それぞれ2月、4月に営業運転を終了している。

放医研、乳がんの重粒子線治療臨床試験を開始

放射線医学総合研究所(放医研)は5月20日、早期乳がん患者を対象に重粒子線治療の臨床試験を開始すると発表した。乳がんの原発巣を重粒子線治療で根治できれば、手術が行えない患者に対して、低侵襲局所治療の適応が広がり、新たな選択肢の可能性が期待できる。

対象となるのは、腫瘍の大きさが2cm以下でリンパ節転移や遠隔転移がない「I期」にある60歳以上の乳がん患者。1週間で4回の照射で治療を行い、経過を判定し

ていく。乳がんでは、局所照射で根治可能である症例が特定できていなかったことなどから、乳房温存手術と全乳房照射を組み合わせた局所療法に必要な応じ全身薬物療法を組み合わせるのが一般的だった。近年の世界的な研究で、単発腫瘍で広範な乳管内進展がなくリンパ節や遠隔転移がない「低リスク群患者グループ」には再発予防効果が高いことがわかってきたため、手術や麻酔が使えない乳がん治療に適用することとなった。

総合エネ調廃棄物小委、最終処分計画見直しへ

経済産業省の総合資源エネルギー調査会・放射性廃棄物小委員会(委員長=増田寛也・野村総合研究所顧問)が5月28日、福島原子力発電所事故後、初めて開かれた。高レベル放射性廃棄物処分の立地選定が進まない状況のもとで、最終処分に関する取組の抜本的見直しを図るために、今回の小委員会再開となったもの。

高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けては、2000年の法整備を受け、02年より、実施主体である原子力発電環境整備機構(NUMO)が、全国市町村を対象に調査地区の公募を開始した。処分地選定は、文献調査、概要調査、精密調査の3段階で行われ、最終処分計画(08年3月閣議決定)によれば、精密調査地区の選定は、「平成20年代中頃」となっているところ、現時点、具体的進展はなく、12年9月には、日本学術会議が処分政策の抜本的見直しを提言している。

28日の会合では、資源エネルギー庁がこれら放射性廃棄物を巡る経緯・現状を、NUMOが処分事業に関する理解活動、技術開発などの取組について説明した上で、

これまでの反省点を、①処分事業の必要性・安全性に対する理解・合意が不足、②政府としてのコミットが不十分、③調査を行うことについての地元が負う責任・負担が重過ぎ、④調査や事業に対する地域住民の参加のあり方が不明確——などと推察し、整理した。

委員からは、地域ワークショップに関わったジャーナリストの崎田裕子氏が、安全性への信頼感不足を課題として指摘したのに対し、東京大学新領域創成科学研究科教授の徳永朋祥氏が、地層処分の信頼性を取りまとめた、いわゆる「2000年レポート」以降の技術進歩に言及し、概念が固定化されてしまうことへの危惧を示すなどした。また、福井県知事の西川一誠氏は、立地地域の立場から、県内発電所に蓄積される使用済み燃料の行方を懸念した上で、「消費地域でも考えて欲しい」などと訴えた。

小委員会では、最終処分計画の改定を目指す、特に、スケジュールは明示しておらず、検討が一定程度進捗した段階で、都道府県等が参加する「使用済み核燃料対策協議会」を設置し、意見聴取を行う見通した。

海外情報

(情報提供：日本原子力産業協会)

[米国]

ドミニオン社、キウオー二原発を予定通り閉鎖

米国のドミニオン社は5月7日、昨年秋に発表していた通り、ウィスコンシン州で約40年間操業したキウオー二原子力発電所(PWR、59万kW)を経済的理由により閉鎖した。今後は廃止措置を取り、60年以内に完全な緑地に戻す方針だ。

同原発の閉鎖についてドミニオン社は、ウイスコンシンを含む中西部12州の経済規模で原子力設備の拡大が難しいのに加え、地域内の電力卸売価格が低下傾向にある時期に同原発の電力販売契約が終了に近づいたためと説明。同炉は2011年2月には米原子力規制委員会(NRC)から2033年まで20年間の運転認可更新も認められたが、買い手が見つからなかったことからドミニオン社は閉鎖を決めた。

ただし、これを機に同社が原子力から手を引くということではなく、米国東部で保有する原子炉6基の操業、バージニア州におけるノースアナ3号機増設計画にも変更はないと見られている。

1974年に運開したキウォー二原発による総発電電力量は1,480億kWh。今後は数か月間かけて発電所のシステムを安全な貯蔵状態に置き、その数週間後から121体の使用済み燃料の取り出しを開始、貯蔵プールに保管する。また、NRCが承認した貯蔵方法(SAFSTOR)に従って、同炉を廃止措置のための長期監視・保管状態とする計画だ。

[スペイン]

ガローニャ原発、再稼働の可能性

スペインのニュークレノール社は5月17日、昨年12月に同社が閉鎖したサンタマリア・デ・ガローニャ原子力発電所(BWR, 46.6万kW)について、今年7月で切れる現行の運転認可延長が可能になるよう、昨年6月に出された省令の一部取り消しを産業省に要請した。今年から同炉に課されるはずだった電力税と使用済み燃料税から逃れるため、同社は2013年以降の運転認可は更新しない方針を昨年9月に表明していたが、今回の要請が認められれば、同炉で将来的に営業運転を再開する可能性が出てくる。

同炉では2009年の運転認可更新時に原子力安全委員会が「いくつかの安全上、放射線防護上の条件をクリアすれば2019年まで操業可能」と判断したにもかかわらず、政府は13年7月まで4年間の更新を承認した。その後、ニュークレノール社は12年、政府によるエネルギー改革計画が棚上げ状態にあり、莫大な税金が課される状況となったとして同炉の閉鎖を決定。すでに一部の燃料の取り出しが開始されたと伝えられている。

[フランス]

廃棄物最終処分場建設計画、10月まで公開討論を実施

フランスで高レベル放射性廃棄物(HLW)の深地層最

終処分場建設に関する公開討論が5月15日にスタートした。放射性廃棄物管理機関(ANDRA)は夏季休暇期間の8月を除く10月15日まで、フランス東部ピュールの粘土層に約135億~165億ユーロの予算をかけての「CIGEO」と呼称する処分場の設計、建設、操業、および閉鎖に関するプロジェクトについて、国民に広く周知すると共に意見を聴取。2015年の建設許可申請に続き、19年に着工、25年から操業開始することを目指している。

フランスでは折しも、昨年発足したF・オランド政権の公約、「原子力の発電シェアを25年までに50%に削減する」等で意見聴取するため、エネルギー源の移行に関する国民的な議論が昨年より展開中。委員7名の運営により6月までに意見聴取を終え、10月には法案の公布を予定している。

廃棄物の深地層処分場建設問題に関しては、1998年に政府が約30件の関心表明の中からムーズ県とオートマルヌ県にまたがるピュール地域を「地下研究所」の建設地として選定した。05年にANDRAが地下研究所周辺の250km²の範囲内に安全な深地層処分場の建設が可能とする報告書を提出したことから、国家討論会委員会はHLWと長寿命中レベル廃棄物の深地層処分オプションに関する公開討論を実施。翌06年に同オプションは議会で承認され、ANDRAは09年、放射性廃棄物等管理計画法に基づき指定地区の中心部、約30km²の地下区域を深地層処分場の地下施設設置場所として政府に提案した。規制当局や政府の承認を経て、今回、これらの施設に関する公開討論を行うことになったもの。

放射性廃棄物等管理計画法の定めるスケジュールによると、ANDRAは14年~15年にCIGEOの建設許可申請準備を行い、15年に申請書を提出。18年までこれを国家評価委員会が審査するほか、フランス原子力安全規制当局(ASN)による意見書および地元の見解書などとともに議会の科学技術選択評価委員会が評価することになる。

準備作業を含めた建設工事は議会での法案成立後、19年に開始。25年にASNの承認をもって操業を始め、30年以降は10年毎の定期安全審査に基づいて徐々に拡張していくことになる。

[ベルギー]

規制当局、ドール3とチアンジュ2の運転再開を承認

昨年夏、原子炉压力容器でヒビの徴候が検出されたため停止中のベルギーの2基について、同国の連邦原子力規制局(FANC)は5月17日、「安全な再稼働のために要求した11要件は完全に満たされている」として運転再開を認める判断を下した。最終的な可否は政府が決定する

が、2基を操業するエレクトラベル社はこれを受けて直ちに再起動に向けた準備作業を開始する考えだ。

エレクトラベル社による再起動準備は2～3週間かけて、FANCの綿密な監視下で行われる予定。最初の燃料サイクル終了後に、昨年夏に実施したのと同様の検査を行うとしている。FANCも過渡変化時の追加対策・行動として、ヒビが伸長する可能性の検知で追加の供用期間中検査を要求。安全裕度増強のために起動時と停止時に上昇温度と冷却温度の差を小さくする、安全注水用タンクの水温をあらかじめ30度Cに上げておくなどの対策を指示している。

[オランダ]

ウレンコ社が民営化へ、オランダ政府も株売却の意向

オランダ政府は5月23日、英国およびドイツと3分の1ずつ保有していたウレンコ社株を売却する意向を表明した。すでに英・独が揃って同社株の売却を希望していることに伴うもの。これにより世界のウラン濃縮市場で第2位のシェアを占める大企業が全面的に民営化される公算が強まったが、オランダ政府は売却条件として「核不拡散や原子力安全および供給保障の面で公共の利益が効果的に保証されること」を明示しており、売却内容やタイミングなどの詳細は3国が協議した上で、夏にも公表されると見られている。

ウレンコ社は、米国1国のみによる1960年代の世界の濃縮ウラン供給体制から脱却するため、英・独・蘭の3国がアルメロ条約に基づく国際共同企業体として1971年に設立。3国と米国で年間1万6,900トンSWU規模の遠心分離法濃縮設備を操業しており、現在はロシアのTENEX社に次いで31%の世界市場シェアを占めている。顧客は18か国の約50社にのぼっており、日本の原子炉がほとんど停止中にもかかわらず2012年の総収益は前年実績から23%増の16億ユーロ強となった。

しかし福島事故後、ドイツ政府による脱原子力政策の影響から、ウレンコ社株を保有していた同国のRWE社とE.ON社は株売却の方針を表明。英国政府も今年4月、「英国経済の堅実かつ持続可能な成長に公有資産の売却益を充てる」という政府戦略に従い、同社株の一部もしくはすべてを売却する手続きを開始したと発表した。ただし、英国の安全保障と核不拡散が守られ、英国の納税者に相応の価値がもたらされると確信した場合にのみ、実行するとしており、モルガン・スタンレー社の助言に沿って同国が進める手続きの詳細は他の2国による合意を経て明らかにする考えだ。

こうした動きを受けて、オランダ政府は英・独の保有

株が民間に売却された場合、同社の大株主として公益の保護を監督してきた公的機関が、もはや多数派でなくなる可能性に注目。内閣も「好ましい立場ではない」との見解を示しており、同社株を保有し続けるより別の方法で問題の公益が守られるのであれば、同様に売却すべきとの考えに至ったと説明した。

なお、同社株の買い手としては仏アレバ社、カナダのカメコ社、および日本の東芝が関心を表明したと伝えられている。

[スウェーデン]

バッテンフォール社、既存炉を最大60年稼働へ

スウェーデンの大手電力会社であるバッテンフォール社は5月22日、同社が所有するリングハルスとフォルスマルク両原子力発電所の7基で大規模な改修工事を行い、比較的新しい5基については最大60年間の稼働継続を念頭に置いていることを明らかにした。

同国では約30年間の脱原子力政策の後、2011年1月に既存炉の建て替えを許可する法案が発効したが、その後の福島事故を経て原子炉の建設は微妙な情勢だ。バッテンフォール社は昨年8月、既存炉を代替する原子炉の建設可能性について情報分析する申請を規制当局に申請していたが、今回は「長期見通しでは電力需要が伸びず、2030年まで原子炉新設の必要がなくなった」と述べた模様。新設計画を先送りする一方、これまで50年間としていた継続運転の上限を10年間引き上げる方針を打ち出したと見られている。

2サイトの7基は1975年から85年までの間に運転開始したもので、バッテンフォール社は近年、これらの運転を長期間継続させるための技術的および経済的な必須条件について新たな評価作業を実施。70年代に運開したリングハルス1,2号機は50年間、80年代に運開した同3,4号機とフォルスマルク原発の3基については60年間までという条件が判明したとしている。

同社は既に、スウェーデンの原子力開発利用史上、最大規模となる設備近代化プログラムを進めており、17年までの5年間で160億クローナを投入。この近代化プロセスを技術基盤とし、原子炉をさらに数十年間運転継続するための道筋を付けてとしている。

[UAE]

バラカ2号機でコンクリート打設

アラブ首長国連邦(UAE)の首長国原子力会社(ENEC)は5月28日、バラカ原子力発電所2号機(韓国製

PWR, 140万 kW)の建設工事で原子炉建屋の最初のコンクリート打設を実施した。昨年7月に正式着工した1号機に続いて、本格的な作業が開始。2018年の営業運転開始を目指す。

同日、アブダビ酋長国の建設サイトで開催された着工式には、工事を受注した韓国の尹相直(ユン・サンジク)通商産業資源相も出席。当初計画から数か月前倒しで正式着工にこぎ着けたことを祝福すると共に、炎天下での現地作業員の労をねぎらった。

ENECは今後、15年を目処に1, 2号機の運転認可を連邦原子力規制庁(FANR)に申請する計画。これらに続く3, 4号機についても既に今年3月、建設許可申請を提出済みとなっている。

[韓国]

検査結果偽造でケーブル交換、夏場の供給力に懸念

韓国の原子力安全委員会は5月28日、新古里原子力発電所1, 2号機と新月城原子力発電所1号機、および完成間近の同2号機(すべてPWR, 100万 kW)に、安全性評価結果の偽造された制御ケーブルが設置されていることが判明したと発表した。

事故時に原子炉冷却など安全系の動作信号を送信する重要部品であるため、同委はこれら4基のケーブルを直ちに交換するよう韓国水力原子力会社(KHNP)に指示。国内の原子炉23基のうち、すでに定検中だったものを含めて10基が停止したことになり、ケーブル交換作業に数か月を要するなど夏場に向けた予備電力の確保が難しくなってきたことから、朴槿恵大統領は閣議で夏の電力供給不足に対する懸念を表明。確実な原因究明と責任の所在を明確化する必要性を強調した。また、担当省には原発および電力需給の詳細な状況を国民に伝え、省エネのための協力を国民に求めるよう要請している。

安全評価結果偽造の事実、安全委が原子力産業界の不正情報聴取を目的に運営する「原子力安全目安箱」への情報提供により、4月末に発覚。提供された情報は、現在建設中の新古里3, 4号機におけるケーブル評価文書の偽造を指摘する内容だったが、同じケーブルが使われている新古里1, 2号機と新月城1, 2号機についても拡大調査したところ、元の評価結果では検査にパスできていないことが確認された。

また、同制御ケーブルの安全性分析の結果、一部は事故時の性能が確保されないと判明したため、稼働中だった新古里2号機と新月城1号機は運転を停止し、ケーブルを交換することになった。新古里1号機は4月8日から計画停止中だったことから、整備期間を延長して交換

を実施する。

このほか、運転開始を控えて機器の動作審査段階にあった新月城2号機については、運転許可取得前に交換を行う。新古里3, 4号機の場合は、今後の調査の後に安全性評価を実施し、結果に応じて適切な措置を取る計画だとしている。

「靈光」「蔚珍」発電所の名称変更

韓国水力原子力会社(KHNP)は5月8日、韓国南西部の靈光および東海岸にある蔚珍の両原子力発電所の名称をそれぞれ、「大きな光」を意味する「ハンビット」、「広い世界」という意味合いの「ハヌル」に変更すると発表した。立地地域名が呼称となっている原発の存在が、地元の経済や農水産品のイメージに悪影響を及ぼすとの懸念が地元住民から出ていたのを受け、配慮したもの。

KHNPは今年初め、稼働中原発4サイトの地元自治体に名称変更に関する意見聴取のための文書を送付。その結果、靈光と蔚珍の自治体から各2個ずつ希望候補名を含む変更要請文書を受領した。その後、候補名の地域社会における受容性や原発の象徴性等の適合性を検討した上で、最終候補名を選定し、取締役会で確定したとしている。

KHNPでは「許認可の変更や国際機関の登録名称変更など課題はあったが、地域住民の声に耳を傾け、一体となった原発にするため行った」と説明。立地地域社会と共生発展していく望ましいロール・モデルになることを期待すると述べた。

[国際]

UNSCEAR 報告、福島で「住民の健康に影響ない」

国連の原子放射線影響に関する科学委員会(UNSCEAR)は年次会合最終日の5月31日、「福島事故による被ばくが住民の健康に直ちに影響を与えることはなく、一般市民や作業員の大多数が将来、何らかの健康影響を被ることも考えにくい」と結論づける報告書案を承認した。今年後半に開かれる国連総会に提出される予定だが、国際放射線防護委員会(ICRP)勧告に技術的なベースを提供する立場のUNSCEARが、純粋に科学的所見から同事故による健康影響の小ささを保証したことから、日本の今後の放射線規制にも何らかの影響があると予想されている。

福島事故後の住民と環境に対する放射線影響の問題は27日に開幕していたUNSCEAR会合の主要議題の一つ。今回の報告書案は国際的に著名な科学者八十余名が

同事故から得られた情報を分析してまとめたもので、総会では UNSCEAR の加盟27か国の代表がこれを精査した。委員会としての勧告を盛り込んだ上で正式に公表されれば、これまでに同事故から得られたデータの国際的な科学分析では最も包括的な報告書になるとしている。

結論部で、同報告書は「全体的に見て、日本国民が受けた被ばく線量は低いか、あるいは非常に低く、以後も健康影響の出るリスクは相応に低いと言っていい」と明言。事故直後の避難指示など、住民を守るために取られた措置が線量を10分の1まで下げるのに大いに役立ったとしており、そうでなかった場合は事故後数十年間がん発症率の上昇といった健康影響が表れる可能性があったと指摘した。

報告書によると、福島ではヨウ素131による被ばくは事故後数週間以内に限定され、甲状腺の吸収線量が数十mGy 程度だった一方、セシウム134と137による全身線量は10mSv ほど。福島からの放射能放出により大部分の日本人が最初の1年間とそれ以降に受ける追加の被ばく量は自然放射線レベルである年間2.1mSv より低いとしている。

同報告書はまた、事故サイトに関わった東電社員と下請け業者を含む作業員約2万5,000名のなかに放射線による急性障害を受けた者や死者がいなかった点を強調。「高線量の被ばく者が少数であることを考えると、被ばくを原因とする甲状腺がんの発生が増加するとは考えにくい」としており、100mSv を超える作業員には個人レベルで潜在的な晩発性影響をモニタするため、甲状腺のほかに胃、大腸、肺の経過を毎年観察するなどの特別健康診断が実施されることになるとした。

同報告書はさらに、「事故直後数か月間の被ばく線量は動植物に影響を及ぼすレベルを上回ったものの、いずれの影響も皆、一時的だった」と断言。汚染水が海に放出されたエリアの水生植物は潜在的な例外としつつ、線量は概して水生および陸生の生物相に急性影響が現れないレベルに低かったと説明している。

IAEA, イランの濃縮活動継続を憂慮

国際原子力機関(IAEA)が5月22日付けで取りまとめたイランの原子力関連活動に関する報告書で、ナタンズにある遠心分離法ウラン濃縮工場(FEP)に設置された最新型遠心分離機「IR-2m」の基数が689基に達し、20%に濃縮されたウランも合計324kg となったことなどが明らかになった。

かになった。

IAEA の天野之弥事務局長は、国連安保理および IAEA 理事会による度重なる決議、および IAEA とイラン側関係者の協議にもかかわらず、同国がウラン濃縮や重水減速研究炉(IR-40)の建設活動を継続していることを憂慮。すべての核物質は平和利用目的だとする同国の主張を確証するには至らず、核開発疑惑問題を解明するため、すべての関連情報や文書、サイト、核物質および職員に対する IAEA のアクセスを可能にするよう訴えている。

この報告書は天野事務局長が理事会用に作成しているもので、今年2月の前回報告書以降のイランにおける原子力関連施設の活動状況を網羅。それによると、同国では2月から5月の間に5%の濃縮ウランを新たに689kg 生産、総量は8,960kg となった。また、20%の濃縮ウランは44kg 増加して324kg となっている。

施設別情報としては、5%までの濃縮を行う FEP で IR-1型遠心機に加え IR-2m 型の設置を継続中。5月15日現在、同機で4つのカスケードの設置を終えたほか、もう一つを部分的に設置。13のカスケードの設置準備が完了した。

また、フルドウにある濃縮工場(FFEP)では5%および20%までの濃縮が可能で、設置されている遠心機はすべて IR-1型。しかし、設計上の設置能力である2,976基の遠心機、16カスケードのうち、どれが5%濃縮用、あるいは20%用であるか、イランは未だに IAEA に情報提供していないとしている。

誤記訂正

2013年7月号 p. 9 のニュース記事「規制委が安全目標で論点整理、重大事故は100万年炉年に1回以下」に誤記がございました。お詫びして訂正いたします。

誤 「Cs-137放出量100テラベクレルは、福島第一発電所事故のおよそ100倍、チェルノブイリ事故のおよそ10倍のレベルに相当する。」

正 「Cs-137放出量100テラベクレルは、福島第一発電所事故のおよそ100分の1のレベルに相当する。」

特集

福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質による環境汚染対策と放射性廃棄物処理・処分への取組み

電力中央研究所 河西 基, 環境省 藤塚哲朗,
原子力安全推進協会 吉原恒一, 京都大学 勝見 武, 原子力安全研究協会 朽山 修

本稿は、平成25年3月13日に開催された土木学会主催シンポジウム「東日本大震災2周年シンポジウム」の個別テーマセッション8「放射性汚染廃棄物対策と土木技術の役割—早期の帰還と復興を目指して—」¹⁾のパネル討論会における講演および討論の内容をもとに書き下ろした。本パネル討論会では、環境省を中心に事故由来の放射性物質による周辺環境の汚染土壌・廃棄物を対象に除染・仮置きから中間貯蔵施設の設置に向けての取組み²⁾、ならびに福島第一原子力発電所の事故収束・廃止措置に向けた政府・東電を中心とした取組み³⁾の状況などについて各分野の専門家より話題提供を行い、それをベースに今後における早期の環境修復と避難住民の帰還を目指すための方向性や課題、さらには土木技術への期待・役割などについて活発な意見交換がなされた。

I. 背景と主旨

東日本大震災に伴い発生した福島第一原子力発電所(以下、「1F」)事故を受け、放射性物質により汚染された周辺環境の修復および1Fの円滑な廃止措置に向けて、わが国一丸となつての懸命な努力が続けられている。そこで、土木学会主催「東日本大震災2周年シンポジウム」の本討論会¹⁾では、環境省が中心となつて進めている事故由来の放射性物質による周辺環境の汚染廃棄物の当面の除染・仮置きから中間貯蔵施設の設置に向けての取組み²⁾、および1Fの事故収束・廃止措置に向けた政府・東電を中心とした取組み³⁾の状況について理解を深めるとともに、今後における早期の環境修復と避難住民の帰還を目指すための方向性や課題、さらには土木技術への期待・役割などについて討論を行うこととした。特に、1F事故由来の放射性物質による汚染土壌・廃棄物および1F構内において事故により発生する放射性廃棄物の処理・処分に関しては、共通的な技術課題も多い。

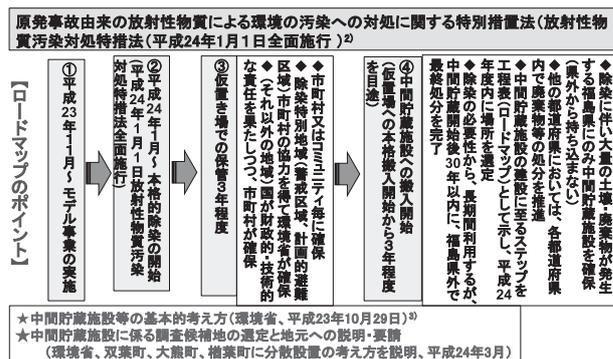
そこで、土木学会のみならず、原子力学会や地盤工学会あるいは関係機関の各分野において国や学会あるいは研究機関の立場で中心的に活動されている専門家が一同

Remediation Activities wrestling with Environmental Pollution and Radwaste generated by the Fukushima Daiichi NPP Accident due to the Tohoku District-off the Pacific Ocean : Motoi KAWANISHI, Tetsuro FUJITSUKA, Koichi YOSHIHARA, Takeshi KATSUMI, Osamu TOCHIYAMA. (2013年 6月3日 受理)

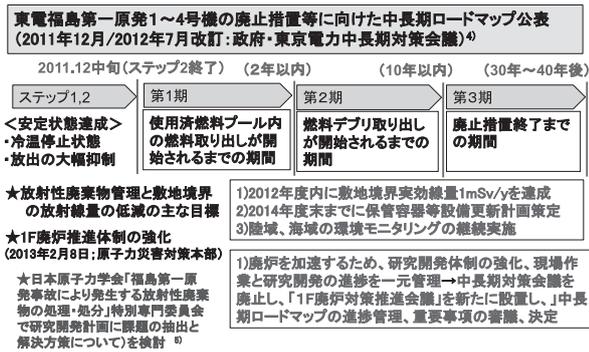
に会し、話題提供者として最新の取組み状況と今後の方向性について報告するとともに、それらをベースにして一般参加者の方々と交えて活発な討論がなされたのが、本パネル討論会の大きな特徴である。

事故由来の放射性物質による周辺環境の汚染廃棄物に関しては、放射性物質汚染対処特措法(平成24年1月1日全面施行)²⁾に基づき、除染～仮置き～中間貯蔵～最終処分へとという段階的目標のもと、第1図に示すようなステップで環境省による環境汚染への対処、とりわけ最近では中間貯蔵施設の設置に向けての調査・検討が地元の自治体の理解を得つつ具体的に動き出している。

一方、1Fの廃止措置に向けては、第2図に示すように、2012年2月に廃炉を加速させるという国の方針のもと、研究開発体制の強化、現場作業と研究開発体制の進捗を一元管理するよう強化を図るため、それまでの政府・東京電力中長期対策会議を発展的に廃止し、「福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議」が新たに設置され



第1図 放射性物質による環境汚染廃棄物への対処手順¹⁾

第2図 1Fの廃止措置に向けた中長期ロードマップ¹⁾

た。研究開発計画の策定、および中長期ロードマップ³⁾の進捗管理と見直し策定に向けた検討が行われている。このような最近の動きを受け、原子力学会では「福島第一原子力発電所事故により発生する放射性廃棄物の処理・処分」特別専門委員会を設置し、放射性廃棄物の処理・処分に向けた研究課題の抽出と解決に向けた考え方⁴⁾に関する報告書⁴⁾を取りまとめ公表している。

II. パネル討論における講演内容

上述のような最近の各方面での取組み状況を踏まえ、パネル討論では、次のような項目についてパネリストから話題提供が行われた。

- 1F事故に伴う汚染廃棄物への対処と中間貯蔵施設
- 環境修復技術に関する内外動向調査と適用性検討
- 災害廃棄物および汚染土壌・廃棄物の処理方策
- 1F事故に伴う放射性廃棄物の処理・処分方策
- 1F事故由来の汚染廃棄物対策への土木技術の貢献

各項ごとの講演内容は以下のとおりである。

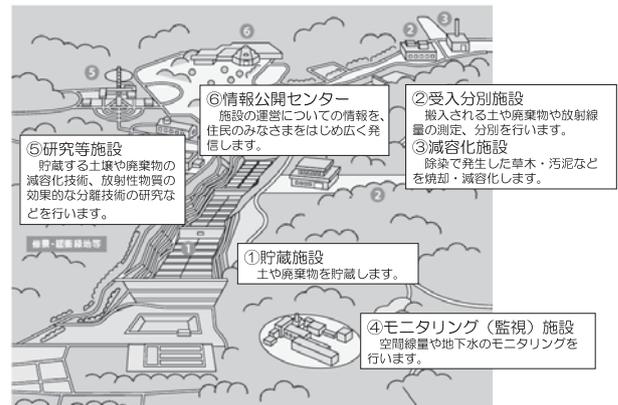
1. 汚染廃棄物への対処と中間貯蔵施設

除染に伴い発生した土や廃棄物などは、最終的に処分する必要があるが、それまでの間、福島県内の除染を一刻も早く進め、復旧・復興の目途をつけるためにも、安全かつ集中的に管理・保管する施設として中間貯蔵施設を設置する基本方針が国により示されている。

中間貯蔵するものはおおむね次の2つに大別される。

- 仮置場などに保管されている、除染に伴い発生した土や廃棄物：仮置場などに保管されている土や落葉、枝など
- 1kgあたり10万Bq(ベクレル)を超える放射能濃度の焼却灰など：可燃物は、原則として焼却し、焼却灰を貯蔵

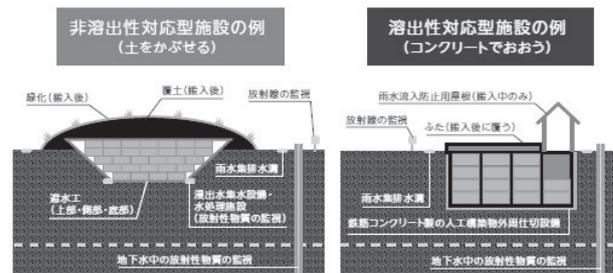
中間貯蔵施設の全体としての容量は、約1,500～2,800万m³程度になることを想定しており、第3図に示すように、土や廃棄物を安全に管理・保管するための各種施設が集まるため大規模な施設になるので、完成した部分

第3図 中間貯蔵施設のイメージ¹⁾

放射線の遮へいや放射性物質の飛散・流出防止に必要な構造にします。

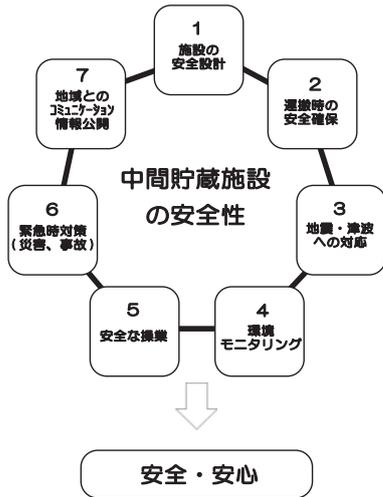


● 中間貯蔵施設のイメージ図

第4図 中間貯蔵施設の安全設計の例¹⁾

から順次施設の運用を開始することになる。中間貯蔵施設の安全設計のポイントは、第4図に示すように覆土やコンクリートにより放射線を遮ることで、施設周辺の空間線量率が上がらないようにするなど、放射線の遮へいや放射性物質の飛散・流出防止に必要な構造にすることである。この他、地域住民や中間貯蔵施設での作業員の方々の安全のために必要な対策を講じていく上で、運搬時の安全確保、地震・津波への対応、環境モニタリング、安全な操業、災害・事故時等の緊急時対策、地域とのコミュニケーションや情報公開といった7つのポイントを考慮して安全と安心を図っていく必要がある。これらの考え方を示したのが第5図である。

今後は、現地調査の結果等を踏まえて、安全対策の具体化を講じていくこととなるが、中間貯蔵施設の調査候補地については、第1表に示すような観点が考慮されて、双葉町、大熊町、楢葉町の3町が選定され、平成25年初頭に地元への説明・申し入れ等がなされた。一部地域では、現地調査やボーリング調査が開始されている。なお、これらの調査候補地では、次の3つの視点から、第2表に示すような建設地選定のために必要な項目に関



第5図 中間貯蔵施設の安全対策の基本的考え方¹⁾

して調査が行われることとなっている。

- ・施設の設計，設置の具体化のため
- ・環境への影響を評価するため
- ・安全な搬入のため

(藤塚哲朗)

2. 環境修復技術に関する内外動向調査と適用性検討

福島県および周辺地域における環境修復を迅速に進め、住民が安心して暮らせる生活環境を早期に取り戻すことが喫緊の最重要課題である。そのためには、福島県の除染情報プラザでの地元の方々の生の声なども参考に、次の2つが重要な課題になると考える。

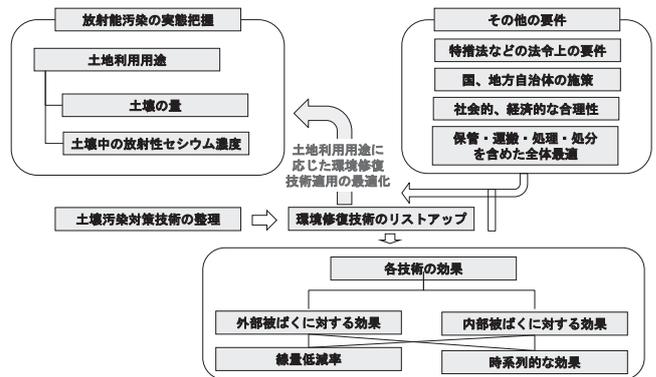
- (1) 除染の実施，仮置き場や中間貯蔵施設などの設置には住民の理解と協力が必要
- (2) 発生する除染廃棄物等の量は，膨大になるとの予測もあり，発生量の低減化(発生させないことも含む)が必要

上記のうち，課題(1)に対しては，修復作業による公

第2表 中間貯蔵施設の調査候補地の調査項目¹⁾

目的	調査項目	内容
施設の設計・設置の具体化のため	現地踏査	調査の実施地点の特定 ・水源の把握 ・地質分布状況の把握
	ボーリング調査	保管施設などの安全性確保 ・地質や地下水位などの把握 ・地盤の硬さなどの把握
	線量測定	作業員の健康管理 ・設計、安全性のための基礎データ取得 ・環境への影響の評価のための補完的データの取得
	盛土試験	盛土の踏み固めに必要となる重機の転圧回数などの把握
環境への影響を評価するため	環境調査	・動植物などの現況の把握 ・放射性物質による人や野生動物への影響の評価のためのデータ取得
安全な搬入のため	交通量調査・道路状況調査	・搬入計画策定のために必要な交通量や道路状況などの把握

衆の被ばく線量率目標を，国の基準等を参考にして，適切に設定することや，過度な除染による余計な廃棄物の発生を防ぐ努力などが必要と考える。また，原子力学会や土木学会等の関係学会および大学，研究機関等の専門家の協力・支援も得て，国や自治体などとの対話・理解活動を粘り強く実施していくことが重要となる。一方，課題(2)に対しては，迅速・効果的に空間線量率を下げ，かつ廃棄物発生量をできるだけ抑制できる環境修復法を確立して，短期的には遮へいや離隔距離の確保により国の基準 1mSv/y をクリアでき，中長期的にみても公衆の被ばく線量は国の基準や国際基準に照らして十分に低くできることなどを示すことが重要である。第6図は，



第6図 安全かつ合理的な環境修復方法の検討例¹⁾

第1表 中間貯蔵施設の調査候補地と選定理由¹⁾

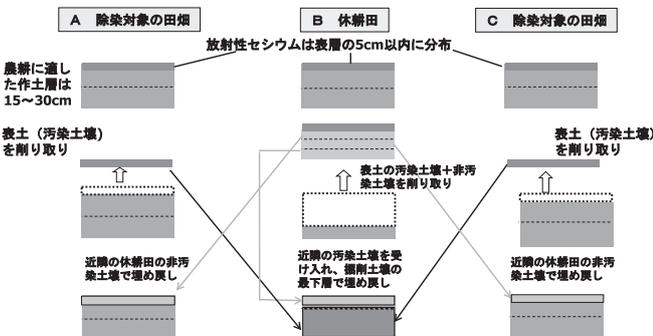
市町村	地点	選定理由	想定される搬入予定地域など	
			搬入予定地域	主な搬入ルート
双葉町	①	・地下水位が低く、造成済の土地のため、工事が容易 ・工業団地の建物等の既存施設が活用できる	相馬市、南相馬市、伊達市、桑折町、国見町、双葉町、浪江町、新地町、飯館村	国道6号他南北にルートをとる幹線道路
	②	・地下水位が低く、造成済の土地のため、工事が容易		
大熊町	③	・地下水位が低く、平坦で工事が容易	双葉町、楢葉町への搬入市町村以外	国道288号他東西にルートをとる幹線道路、常磐自動車道及び国道6号他南北にルートをとる幹線道路
	④	・平坦で工事が容易		
	⑤	・ショッピングセンターの建物等の既存施設が活用できる ・造成済の土地のため、工事が容易		
	⑥	・工業団地の建物等の既存施設が活用できる ・地下水位が低く、造成済の土地のため、工事が容易		
	⑦	・地下水位が低く、平坦な台地形のため、工事が容易		
	⑧	・地域の代表的な台地形であるため、土壌等を保管するのに適している		
楢葉町	⑨	・地域の代表的な台地形であるため、土壌等を保管するのに適している ・海岸堤防、河川堤防の復旧とあわせて、堤内地をかき上げすることにより、防災対策にも資することになる	いわき市、広野町、楢葉町	常磐自動車道及び国道6号他南北のルートをとる幹線道路

第3表 有望な環境修復技術と従来の土壤汚染対策技術との比較検討例¹⁾

環境修復技術	具体的な技術の例	参考となる土壤汚染対策技術
土壤汚染の除去	トラクタによる砕土の後、バックホーで掘削固化剤を用いた表層除去工法	土壤汚染の除去(掘削除去)
除草	ターフサイザーで切り取り、フロントローダーで切り取った草と表土を剥ぎ取り	土壤汚染の除去(掘削除去)*3
荒かき(水による土壤撈拌・除去)*1	バーチカルハローによる表層撈拌二次処理として汚染水のセシウム除去技術	土壤汚染の除去(原位置浄化: 原位置土壤洗浄)*3
土壤洗浄(表土の削り取り後の処理)	洗浄・分級 土壤の希酸洗浄とCsの吸着除去	土壤汚染の除去(掘削除去)→洗浄処理
被ばく経路の遮断	天地返し(入換) バックホーで掘削、埋め戻し(局所反転深耕、離隔20cm)	土壤入換え(区域内)*3
	反転耕(撈拌・入換) プラウ反転耕(30~60cm)	土壤入換え(区域内)*3
	深耕(撈拌) ロータリー(深)耕(作土層の倍程度)	土壤入換え(区域内)*3
移行低減栽培技術	施肥 カリウムが不足している場合にカリウム施肥	—
	低セシウム吸収作物の栽培*2	—
	吸着性の物質の投与 セシウムの吸着性の高い粘土分が少ない場合にゼオライトを投与	不溶化(原位置不溶化)
休耕地での措置	覆土 バックホーでの覆土(20cm)	盛土
	土壤の入換え 休耕地と他の耕地との土壤の入換え	土壤入換え(区域内)*3
	ファイトレメディエーション 高セシウム吸収作物を選定 汚染植物の処理技術	土壤汚染の除去(原位置浄化: ファイトレメディエーション)
汚染の流入防止	吸着性の物質の投与 取水口付近でゼオライトを投与	地下水汚染の拡大防止*3
	畦道、用水路の除染 表土の削り取り、底泥の除去等	—

*1 水田のみ *2 畑のみ *3 概念的に異なるが、考え方の参考となる技術

・汚染した休耕地等の下層部(汚染のない層)の土壤を耕作中の田畑の表層汚染部と交換し、そこでの農耕を可能にすると同時に全体の表層部を除染する修復法(天地返しに応用)



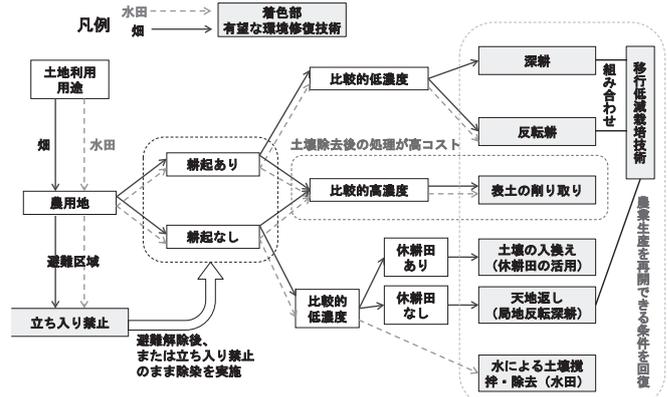
第7図 天地返しを応用した環境修復法の検討例¹⁾

安全かつ合理的な環境修復方法とその福島への適用性を検討した考え方の一例である。また、第3表は安全かつ合理的な環境修復方法の検討例として、環境修復の目的ごとに有望と考えられる技術を検討・整理したもので、比較のために従来用いられてきた土壤汚染対策技術の事例も併記して示している。

これらの中で、廃棄物をできるだけ発生させない修復法の検討例として、天地返しを応用する方法を示したのが第7図である。例えば、汚染した休耕地等における汚染のない下層部の土壤を耕作中の田畑の表層汚染部と交換することにより、そこでの農耕を可能にすると同時に全体の表層部の除染にも役立てるといえるものである。

また、第8図は環境修復技術を選定するためのデシジョンツリーを用いた検討方法の事例である。畑と水田との違いによって若干のルート上の差異はあるものの、耕起(耕地の土を掘り起こして耕すこと)の有無や土壤汚染度の高低などに応じてほぼ同様のツリー構造により環境修復技術の選定を行う考え方が示されている。

一方、このような環境修復対策を実施した場合の被ばく線量評価の事例検討を行った。被ばくの経路としては、地下水利用、河川・沢の飲用水・水産物摂取、あるいは地表での農作物や畜産物の摂取、居住や農作業に



第8図 農用地の環境修復技術選定手順の検討例¹⁾

第4表 環境修復に関する安全評価手法の検討例(被ばく経路の考え方)¹⁾

汚染土壤及びその修復地に居住する居住者の被ばく				
被ばく経路	対策工実施前	対策工: 天地返し	対策工: 反転耕	対策工: 深耕
居住者の被ばく	『①直接線による外部被ばく』と『②土壤粒子の吸入による内部被ばく』の合計			
①直接線による外部被ばく	地表の汚染土壤から	地表の汚染土壤から、覆土を通して(非汚染土壤の覆土が遮へいする)	希釈された汚染土壤から(Csの分布に応じて)	希釈された汚染土壤から(深耕の深さに応じて)
②土壤粒子の吸入による内部被ばく	地表の汚染土壤粒子を吸入する。	土壤粒子は吸入しない(汚染土壤は非汚染土壤の覆土によって隔離される)	希釈された汚染土壤粒子を吸入する(Csの分布に応じて)	希釈された汚染土壤粒子を吸入する(深耕の深さに応じて)

『居住者の被ばく』=汚染土壤及びその修復地に居住することにより、その居住者が受ける直接線による外部被ばくと土壤粒子の吸入による内部被ばくの合計

第5表 環境修復に関する安全評価手法の検討例(被ばく線量評価検討結果例)¹⁾

汚染土壤及びその修復地に居住する居住者の被ばく [mSv/y]				
被ばく経路	対策工実施前	天地返し	反転耕	深耕
居住者の被ばく線量の比	1	0.0066	0.075	0.37
居住者の被ばく	3.5E-1	2.3E-3	2.6E-2	1.3E-1
(内訳)				
①直接線による外部被ばく	3.5E-1	2.3E-3	2.6E-2	1.3E-1
(内訳)				
②土壤粒子の吸入による内部被ばく	1.1E-6	0	4.6E-8	3.2E-7

『評価開始時の放射性Cs濃度: 1,000Bq/kg (1Bq/g)
『評価開始時の放射性Csの比: Cs-134/Cs-137=0.578
『居住者の被ばく』=『直接線による外部被ばく』と『土壤粒子の吸入による内部被ばく』の合計

における吸引・外部被ばく等が想定される。ここでは、環境修復のための対策として、天地返し、反転耕、深耕の3パターンに関する検討例について、汚染土壤およびその修復地に居住する人間の被ばくを概略的な条件設定のもとに試算した。第4表は評価の前提となる各ケースにおける被ばく経路の考え方を、また第5表は被ばく経路ごとの被ばく線量評価の結果例を示している。これらの被ばく線量評価のケーススタディ等をもとに、環境修復後の留意点を次のように検討・整理した。

(1) 土壤等を除去しない場合: 掘り返し等による土壤

の移動を防止する措置/地下水への移行を促進する有機物、塩類の濃度への留意/外部被ばくに対し地表面の濃度の低減/跡地利用の制限

- (2) 土壌等を除去する場合：除去土壌の保管・貯蔵場や処分場の確保/移動中、定置中の外部被ばくおよび飛散の防止/地下水への漏出防止

以上、環境修復技術に関する検討結果の代表例を述べたが、比較的低汚染の地域での合理的な修復法として、環境省のガイドライン⁹⁾で推奨している天地返しや除去土壌の洗浄による減容化などの修復技術は、安全性の面でも福島県の汚染地域への適用性が高いと考えられる。一方、修復を迅速に進めていくためには、それらを地元住民の方々に分かりやすく、ていねいに説明して理解を得た上で作業を進めていくことが重要である。

(吉原恒一)

3. 災害廃棄物、汚染土壌・廃棄物の処理方策

地盤工学会では「地盤環境研究委員会」(委員長：勝見武(京都大学))⁶⁾において、東日本大震災の地盤環境課題の解決に向けて様々な活動を展開しており、その代表的なものは次のとおりである。

- (1) 「岩手県復興資材活用マニュアル」の監修：分別土砂等の品質評価指針および活用指針の提示/マニュアル改訂に向けての一斉試験の実施
- (2) 福島県沿岸部での津波堆積物調査：約80 km²、計158地点での現地調査/計400検体の室内試験による物性の評価
- (3) 各種指針の整備、公開：焼却主灰再生資材(焼却主灰を固化処理等したもの)の物性評価スキーム/セシウム含有土壌の土壌洗浄法の適用性評価方法、等

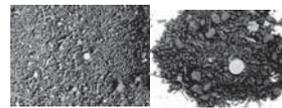
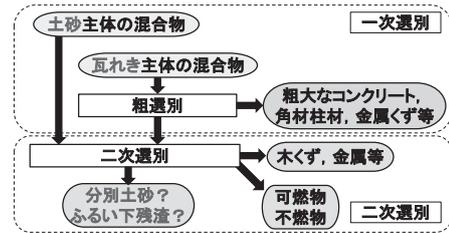
(1) 災害廃棄物の処理と復興資材としての活用

東日本大震災における災害廃棄物に関しては、津波堆積土砂も含めて3,000万トン級の処理が実施されている。種々のものが混合した状態で、相当量の土砂が含まれているのが特徴である。膨大な発生量となるため災害廃棄物処理物を復興資材として活用することが求められている。復興資材への活用に向けての課題としては、次の2点が挙げられる。

- (1) 分別土砂(特に混合廃棄物起源)やふるい下残渣の物性に及ぼす影響因子を解明し、土工材としての有効利用にあたっての基準化を行う必要がある。特に、現場では多種多様な処理手法が導入されており、得られる分別土砂の物性も異なる。また、地域により元の材料(土砂物性、仮置き状態等)も異なる。
- (2) 焼却灰を地盤材料として有効利用する際には、通常の地盤材料とは異なることに留意する必要がある。

(2) 土砂の分別と有効利用可能性の検討

第9図は土砂および瓦れきの分別と有効利用可能性を



・残存する可燃物によって、ガス発生や地盤沈下の悪影響が生じないか?
・有効利用のためには何を明らかにする必要があるのか??

第9図 土砂と瓦れきの分別と有効利用可能性

検討したものである。1次選別(粗大なコンクリートや角材柱材、金属くず等を分別する粗選別)の後にさらに2次選別(これにより、分別土砂、木くず、金属、可燃物・不燃物、等が選別されてくる)を行うことを想定し、その際には、残存する可燃物によりガス発生や地盤沈下の悪影響が生じる可能性、あるいは有効利用のために明確にすべき事項などを検討する必要がある。また、これらのことを踏まえ、分別物・土砂の物性評価に関する一斉試験(強熱減量、手選別組成分析、粒度分布、土粒子密度、他)を岩手県において実施した。

(3) 減容化を考慮した土壌処理技術に関する検討

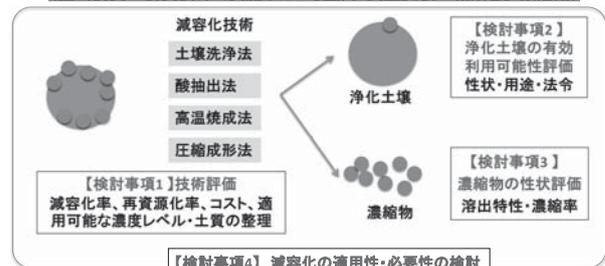
第10図は、大量に発生する土砂を対象とした土壌処理技術に関して、減容化する技術の適用性を俯瞰的に評価する方法の全体像を示している。まず、公開情報を用いた技術評価(減容化率、再資源化率、コスト、適用可能な濃度レベル、土質の整理について)を行い、それらに基づいて浄化土壌の有効利用可能性評価、濃縮物の性状評価を検討し、さらにそれらを総合的に俯瞰して減容化の適用性と必要性を検討・評価するという考え方である。

(4) 放射性セシウム含有土壌の土壌洗浄法適用性評価試験

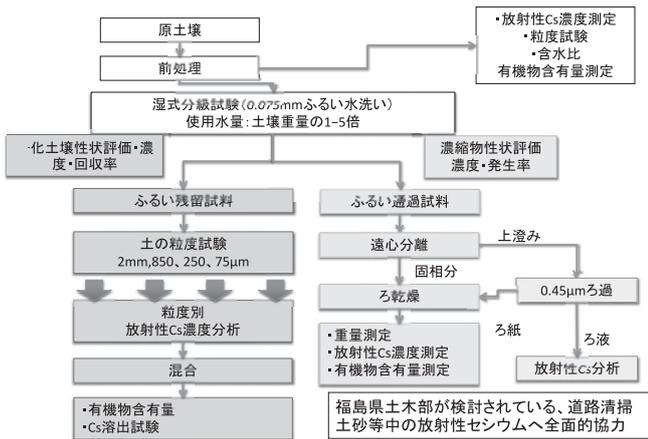
第11図は放射性セシウムを含有する土壌を洗浄する土壌洗浄法の適用性評価試験方法について検討し、取りまとめた案を示したものである。地盤工学会「地盤環境研究委員会」では、この適用性評価試験法の考え方に基づ

目的:減容化技術の適用性を俯瞰的に評価すること
(減容化の必要性も含めて議論・評価を実施)
方法:公表情報を用いた技術評価

(担当委員が委員会外で実施している室内・実証試験の結果を多数活用)



第10図 減容化と土壌処理技術に関する検討方法



第11図 放射性 Cs 含有土壌の土壌洗浄法適用性評価

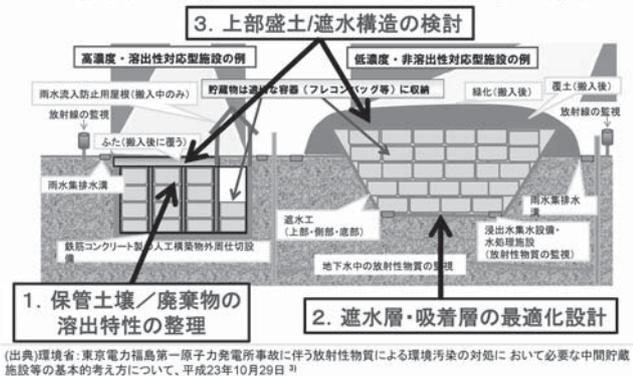
層の降雨涵養・浸透量抑制効果,あるいは底部遮水層の役割等に関する検討を実施

上記の第3項目の要素技術の一例としては,ジオシメンティッククレイライナー(織布と不織布でベントナイト層を挟み込んだベントナイト系遮水ライナー)を検討した。この方法は,ベントナイトの水和膨潤性から高い遮水性能の確保ができること,また優れた変形追従性やセシウム等の核種吸着性等が期待できる。

以上,詳細な内容については地盤工学会「地盤環境研究委員会」HP(<http://geotech.gee.kyoto-u.ac.jp/JGS/activity.html>)にて公表されている。

(勝見 武)

目的: 仮置き場、中間貯蔵施設、一般廃棄物処分場等における放射性Csの管理・保管に関する要素技術の最適化設計



第12図 中間貯蔵施設における土壌に関する要素技術

いて,福島県土木部における,放射性セシウムを含有している道路清掃土砂等の洗浄法検討に対して全面的に協力している。

(5) 汚染廃棄物の管理・保管に関する要素技術の検討

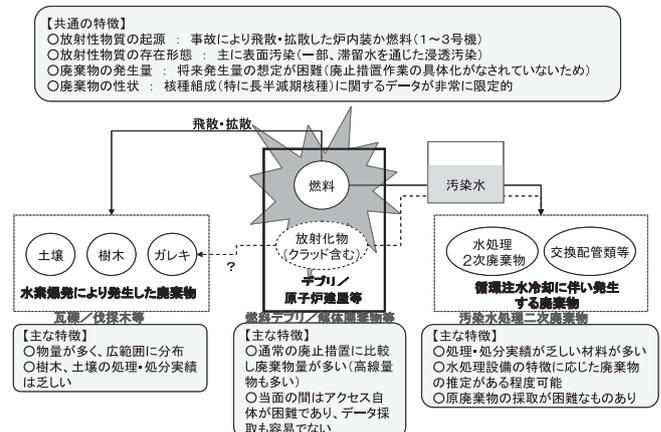
福島県における事故由来の放射性物質による汚染廃棄物は除染後に仮置き場,中間貯蔵施設において保管される計画である。特に,II-1節で述べた中間貯蔵施設は,今後の福島県における復旧・復興に向けて重要なカギとなることから,迅速な建設・運用が期待される。第12図は中間貯蔵施設を例として,放射性セシウムの管理・保管に関する要素技術と最適化設計について基礎的な検討を行った概念図を示している。主な検討対象としたのは,汚染土壌・廃棄物の溶出特性や保管・貯蔵施設への土壌活用に関わる次の3項目である。

- (1) 保管土壌・廃棄物の溶出特性の整理: 保管土壌および廃棄物の種類別に溶出特性を整理
- (2) 遮水層・吸着層の最適化設計: 保管土壌・廃棄物種類別の溶出液特性に応じた吸着層の材質(ゼオライト,良質土,プルシアンブルー)等の性能評価(吸・脱着特性,透水性,等)に関する評価を実施
- (3) 上部覆土・遮水構造の検討: 上部に設置する遮水

4. 1F事故に伴う放射性廃棄物の処理・処分方策

東電1F事故後,事故収束や廃止措置に向けた様々な取組みがなされてきており,これらの事故や作業に伴って,1F構内には種々の放射性廃棄物が大量に発生している。これら汚染廃棄物の起源は明らかであるが,炉心溶融およびその後の水素爆発により,どのような核種がどの程度拡散・飛散しているかなどについては,セシウム,ヨウ素など一部の核種を除いてはまだ十分に分からない。第13図は1F事故に伴って発生する放射性廃棄物の主な特徴を概略的に示したものである。

将来の1Fの廃止措置に向けた手順の概要は,政府・東京電力中長期対策会議(現在,東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議)による第2図に示すような「1F1~4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(以下,「中長期ロードマップ」)³⁾に示されているが,具体的な作業の内容はまだ十分に決まっていない。今後,発生する放射性廃棄物の性状把握を進めるとともに,現場の状況や研究開発の進展を踏まえつつ,廃止措置に向けてより具体的なアクションプランを明確化していく必要がある。既に,東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議においては,1F1~4号機の廃止措置スケジュールの加速化も念頭に,必要な研究開発計画



第13図 1F事故における放射性廃棄物の特徴

および新しい中長期ロードマップの策定に向けた検討作業を進めている。

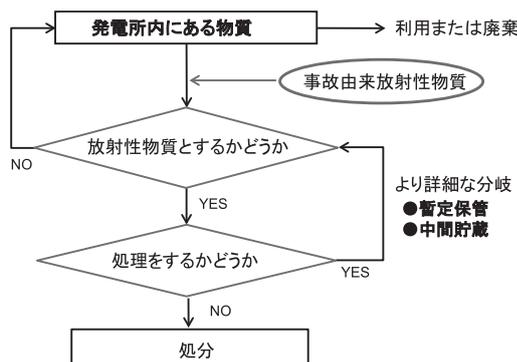
このような状況を踏まえ、廃止措置の進展に寄与するため、日本原子力学会では専門家の立場より検討・助言を行うための特別専門委員会「福島第一原子力発電所事故により発生する放射性廃棄物の処理・処分」(委員長：柘山修(原子力安全研究協会))を設置して、放射性廃棄物を安全に処理・処分するための技術的な見通しを得るのに必要な研究開発計画について、特に研究開発課題の抽出と解決に向けた考え方を中心に検討し、報告書の取りまとめ・公表を行った⁴⁾。以下、報告書内容の骨子について述べる。

まず、対象となる1F事故による放射性廃棄物は、次のような点において従来の原子力発電所から発生する廃棄物とは性状が大きく異なるのが特徴である。

- (1) 使用中あるいは使用済みの燃料起源の放射性核種により汚染されている
- (2) 処分場の性能に影響を与える塩分を含んでいる
- (3) ゼオライトやスラッジ、樹木、土壌などは廃棄物として大量に発生している
- (4) 多くの材料ではセシウムによる汚染は明らかではあるが、処理・処分の検討で重要なその他の核種に関する情報が十分に得られていない

これらの廃棄物の処理・処分にあたっては、事故後の措置として廃止措置作業が安全かつ効率的に行われるように配慮する必要があり、そのため廃棄物の特性(材質、物量、汚染濃度、核種組成)およびその後のプロセス(放射性物質としない扱い、処理・処分の方法)に応じて、第14図に示すような各ステップにおける判断基準と処理・処分の方法を、廃止措置作業の進展に応じて最適化することが重要となり、そのための研究開発が必要である。また、段階的にそれらの研究開発の結果を取りまとめ、安全に処理・処分ができるという技術的な見通しを得ることにより、必要な制度化検討および処理施設と処分場の確保を図っていくことが重要である。

上述のように、1Fにおいて発生している廃棄物性状の情報がまだまだ不足している状況ではあるが、これま



第14図 1Fにおける汚染物質の処理・処分の流れ

で把握された廃棄物情報や中長期ロードマップに記載されている作業内容等から想定すると、1Fの事故による放射性廃棄物は概ね次の3つに分類することができる。

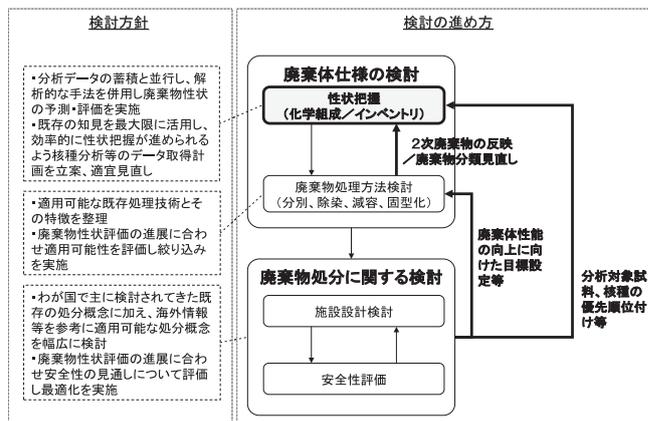
- (1) 汚染水処理2次廃棄物：汚染水の処理により発生する核種除去に用いた物質(廃ゼオライト、スラッジ、樹脂、等)
- (2) 瓦れき/伐採木、等：水素爆発により原発建屋外に飛散・拡散した放射性核種による汚染で発生した瓦れき、伐採木、土壌、および燃料デブリ取り出し終了までの廃止措置作業により建屋から撤去されるコンクリート、金属、等
- (3) 燃料デブリ/解体廃棄物：燃料デブリ取り出し作業によって燃料デブリ収納缶に収納されるもの、および燃料デブリ取り出し終了以降の廃止措置作業で発生する廃棄物
- (4) 汚染水の処理に伴い設置した設備のうち汚染水の通水により汚染した物質(配管、タンク、等)

なお、燃料デブリの処理方針はまだ決まっていないが、処理の有無によらず一部または全部を廃棄物として扱う必要が生じるため、ここでの検討に含めている。

研究開発計画の検討にあたっては、上述の廃棄物分類ごとに各廃棄物の特徴等を整理し、それらを踏まえて廃棄物処理方法や処分概念について幅広く検討・評価し、廃棄物性状把握の進展に応じて絞り込んでいくことにより、できるだけ早期に安全性の見通しを得るべく、効率的・効果的に研究開発を進めていく必要がある。また、それらを円滑かつ有効に進めるためには、情報が大量で相互関係が複雑化することを念頭におき、関係者が関連する情報を共有できるようデータベース化して活用できるように管理することも重要である。

第15図は、上述のような研究開発計画の検討にあたり、基本的な方針と進め方を整理したものである。

検討例として、汚染水処理2次廃棄物の検討概要を次に述べる。1Fでは、津波および炉心冷却用の水に起因する海水成分やホウ酸を含む大量の汚染水が発生してい



第15図 1F放射性廃棄物に関する研究開発の考え方¹⁾

第6表 汚染水処理2次廃棄物の発生・保管状況¹⁾

処理工程	廃棄物	発生量*	性状等	保管状況
セシウム吸着装置	ゼオライト・H	402本	ゼオライト (ハーシュライト)	吸着塔 (ステンレス鋼製、外径1.4 m、高さ2.4 m、重量約15 t) に装荷した状態で保管、吸着塔内水洗浄+温風乾燥、コンクリート製のボックスカルバート内で保管
	ゼオライト・SMZ	非公表	表面改質ゼオライト	
	ゼオライト・AGH	非公表	銀吸着ゼオライト	
第二セシウム吸着装置	砂	非公表	石英砂	吸着塔 (ステンレス鋼製、外径1.4 m、高さ3.6 m、重量約24 t) に装荷した状態で保管、鉛遮蔽体と一体、水洗浄+乾燥
	IE96	68本	ゼオライト (チャバサイト)	
	IE911	非公表	ケイチタン酸塩	
除染装置 (停止中)	スラッジ	597 m ³	硫酸バリウム、フェロシアン化ニッケル、水酸化鉄、ポリマー等の凝集沈殿物、約120 kg/m ³	・コンクリート製ピット (厚さ1 m) 内一括保管、空送攪拌 ・将来的に炭素鋼製タンク (厚さ25 mm、有効容量90m ³ /基×8基) への移送、保管を検討中
淡水化装置	濃縮塩水	215,967 m ³	液体	炭素鋼 (厚さ9 mm) 製のタンクに貯蔵
	濃縮排水	5,509 m ³	液体	
多核種除去設備 (未稼働)	水酸化鉄スラッジ	(約100基/年)	水酸化鉄スラッジ	HIC (外径1.5 m、高さ1.8 m) 内で保管予定
	炭酸塩スラッジ	(約600基/年)	炭酸塩スラッジ	
	活性炭	(約5基/年)	活性炭	HIC内で保管予定、乾燥状態
	Ag添着活性炭	(約10基/年)	Ag添着活性炭	
	チタン酸塩	(約10基/年)	チタン酸塩	
	フェロシアン化合物	(約5基/年)	フェロシアン化合物	
	酸化チタン	(約10基/年)	酸化チタン	
	キレート樹脂	(約30基/年)	キレート樹脂	
樹脂系吸着材	(約5本/年)	樹脂系吸着材	吸着塔内で保管	

*平成25年1月1日現在 (かつこ内推定量)

る。汚染水の一部は浄化後、炉心冷却のために再利用されているが、残水については敷地内にタンクを設置し、保管している。汚染水の浄化では、セシウム等の事故由来の核種の除去を目的とした種々の装置が用いられてきている。それらの構成は、油分分離装置、セシウム吸着装置 (Kurion 社製)、第2セシウム吸着装置 (SARRY)、除染装置、淡水化装置 (RO/蒸発濃縮) から成り、新たにセシウム以外の多核種の除去に対応するため多核種除去設備 (ALPS) の設置が進められている。その結果、様々な汚染水処理2次廃棄物 (汚染水に含まれる核種除去に用いられた材料や通水に伴い汚染した配管類等) が大量に発生している。第6表は、汚染水処理2次廃棄物の発生量と保管状況等を平成25年初頭時点の見込みに基づき整理したものである。

以上のような各廃棄物分類ごとに、それぞれの特徴と保管状況を整理した上で、今後の研究開発に関する考え方 (性状把握、処理・処分方法)、ならびに課題の抽出とそれらへの対応方法を検討し、さらにそれを踏まえて研究開発計画案 (目標、スケジュール) を検討・整理した。検討に際しては、廃棄物性状を評価する上で重要な情報が少ない状況を考慮し、その中で最大限の成果を得るための実施項目の内容、達成時期、情報のフィードバック等の整合性を図るように工夫した。これらの検討結果を全体的に俯瞰して、1F事故により発生する放射性廃棄物の処理・処分に向けて今後必要となる技術開発の手順を概略的に示したのが第16図である。

なお、本特別専門委員会の報告書の詳細については、日本原子力学会ホームページ (<http://www.aesj.or.jp/>) に公表されている。

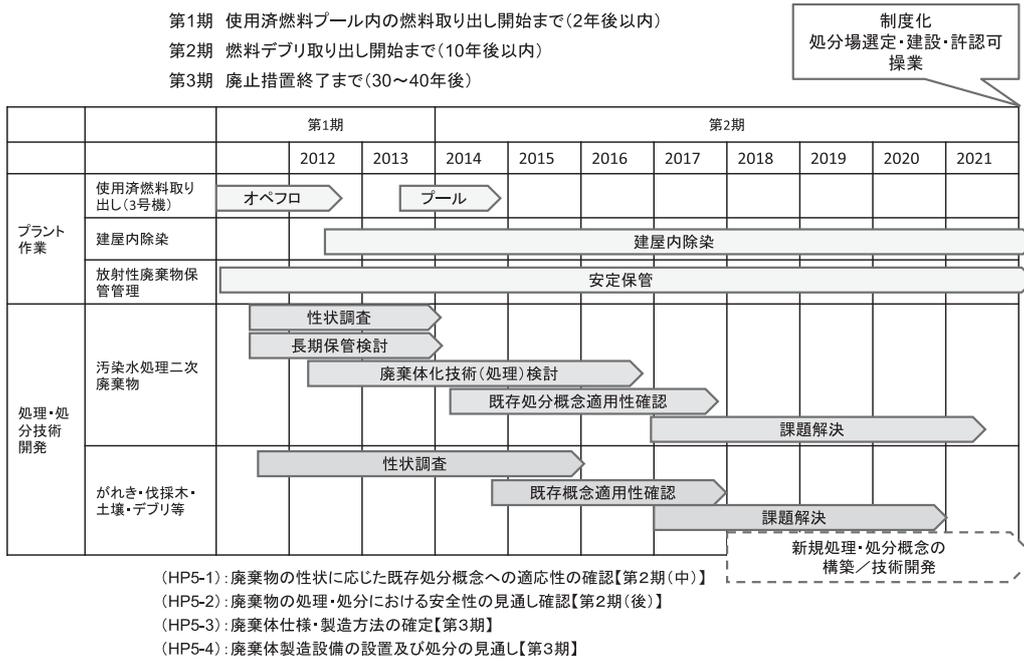
(柘山 修)

5. 1F事故由来汚染廃棄物対策への土木技術の貢献

土木学会では、東日本大震災特別委員会 (平成24年6月以降は同フォローアップ委員会へ移行) を設置し、被災状況の調査・分析、応急復旧や地域振興、今後の大規模地震 (津波を含む) 対策のあり方など、多方面の活動を展開してきている。その活動の一環として、「放射性汚染廃棄物対策土木技術特定テーマ委員会」 (委員長: 大西有三京都大学名誉教授) においては、II-1節で述べたような事故由来放射性物質による汚染土壌・廃棄物の中間貯蔵施設を主対象として、主に土木技術的な観点での安全設計や調査・設計・施工・モニタリング技術などに関する検討を行ってきている。

第17図は、土木学会特定テーマ委員会での検討における基本的な前提と目標を示したものであり、これまでの低レベル放射性廃棄物埋設処分に関わる原子力学会標準策定に連携しての土木学会技術報告書取りまとめ等での知見を踏まえて、国 (環境省) による中間貯蔵施設に関わる基本的な考え方²⁾ に基づいて、中間貯蔵施設の安全設計の具体化のための留意事項等を土木技術的な観点から検討・整理を行ってきている。第18図は、環境省による中間貯蔵施設の基本的考え方を念頭に、本特定テーマ委員会として、廃棄物性状や地域の特性に応じた安全設計や場所選定に関わる技術的な留意事項を検討した項目の全体像である。また、これらの検討例として、第19図は中間貯蔵施設における地下水監視の考え方を示している。中間貯蔵施設の安全確保を合理的に図り、それを確認することは安全と安心を得る方法としてきわめて重要であり、地下水監視はそのための一つの重要な役割を担う。

この他、今後、新たな技術や材料の開発・実用化も積



第16図 1F 廃棄物処理・処分の技術開発手順¹⁾

土木学会「放射性汚染廃棄物対策土木技術特定テーマ委員会」における検討の前提と目標

◀前提条件▶

- 中間貯蔵施設に関する“環境省の基本的考え方”に基づく。
- 中間貯蔵施設の立地は居住可能な低線量地域～居住困難な高線量地域が定される。
- 中間貯蔵施設に搬入されるものは①除染に伴う土壌・廃棄物(焼却が可能なものは原則として除く)、②10万Bq/kg超の焼却灰等、③減容化等の処理後の土壌・廃棄物等の多種かつ広範囲な汚染度が想定される。
- 物量は大量:①が2,800万m³(焼却後の物量に対する環境省の試算の上限値)と、全体の大部分を占め、②は極少量、③は計画次第と想定する。
- 検討対象とする主要放射性核種は、Cs-137 およびCs-134とする。

◀目標▶

- LLW埋設処分に関わる原子力学会標準や土木学会技術報告書等の検討で見をふまえ、国の基本的考え方に基づき、中間貯蔵施設の安全設計の具体的な留意事項等を土木技術的な観点から検討・整理・提言する。

第17図 土木学会特定テーマ委員会活動の目標等¹⁾

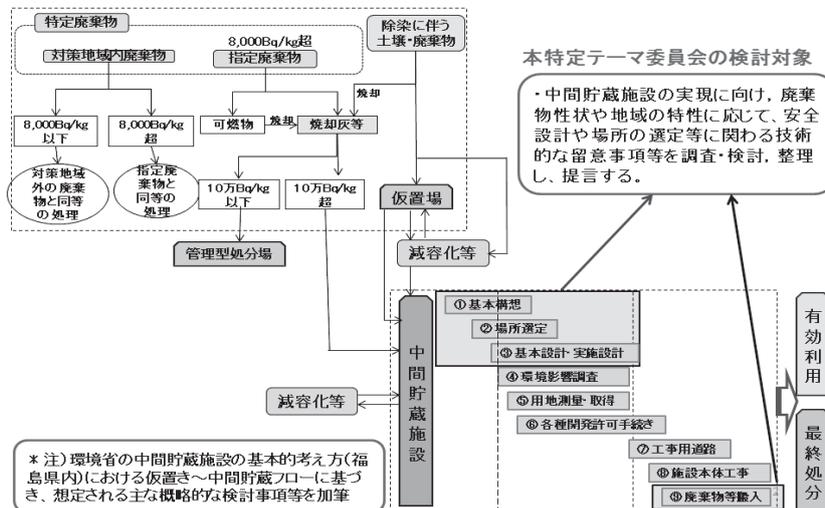
極的に進める必要があり、その一例として鹿沼石がセシウム吸着性と加工性にも優れたゼオライト岩として有効な実用化が期待されることなども紹介された。

(河西 基)

Ⅲ. パネル討論の概要

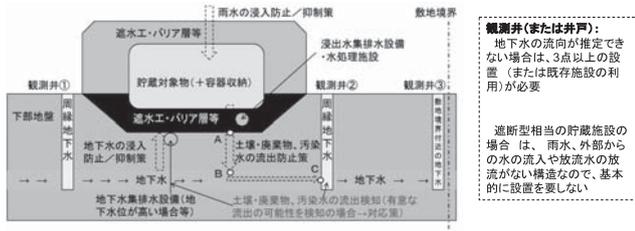
以上の各パネリストからの話題提供を踏まえ、今後、長期にわたると予想される、1F事故による汚染土壌・廃棄物対策や放射性廃棄物の処理・処分の実施を円滑に進めていく上では、関係諸機関や専門家の一層の連携を図るとともに、地域振興も含めた地元との理解・コミュニケーションの促進が不可欠であり、それらをいかにし

中間貯蔵施設の安全設計等の技術的検討



第18図 土木学会特定テーマ委員会の主な検討対象¹⁾

特措法上の地下水等の区分	観測井①	観測井②	観測井③	浸出水等の集排水(必要に応じ水処理施設へ)
	上流側の周縁地下水	下流側の周縁地下水	敷地境界付近の地下水	
放射性廃棄物処分場での地下水の区分(参考)	上流側の近傍地下水	下流側の近傍地下水	周辺地下水	—
地下水の監視の必要性	バックグラウンド・観測井②の比較用として活用可(参考用)	基本的に必要だが、観測井②の設置が難しい場合は、地下水集排水設備での代替も可	観測井②があれば必ずしも必須ではないと考えられるが、敷地境界での監視や念のための確認が必要な場合	下部に遮水シートを敷設する場合には必要→放流の前に水質検査→放流の基準値を超える場合は水処理が必要

第19図 中間貯蔵施設の地下水監視の考え方検討例¹⁾

て具体的な実行に移し、早期の住民帰還と福島復興につなげていくかについてフロアを交えての総合討論を行った。

フロアからは、土木学会が原子力学会等のいろいろな分野の専門家にも参画してもらい、総合的な視点での検討をしていることは有益であり、今後も積極的な取り組みが必要だとの意見があった。あるいは、年間の追加被ばく線量1 mSv/yは安全側に過度に偏っている可能性があり、現実の地元の厳しい状況に鑑みて、国際的な基準なども参考にしてもう少し現実的なものにできないか等の意見もあった。一方、地元福島からの参加者からは、土木学会で福島復興や住民帰還につなげるための検討をしていることへの謝意と期待感が表明されるとともに、中間貯蔵施設においては、その後の最終処分施設のモデル実証試験的なことも併せて行い、将来的にも十分に安全に実施できるという見通しと安心感を実感できるような方策も考えたかどうかという提言もなされるなど、パネリストとフロアとの間における活発な意見交換の場となった。

Ⅳ. おわりに

以上のパネル討論会を通じて、今後の福島復興・復興を早期に実現し、また1F1～4号機の廃止措置を遅滞なく進めていくためには、学会、大学、研究機関や関連機関等の連携・協力、また地元の方々との密接なコミュニケーション、正確な情報の公開と発信、透明性の確保などがますます重要であることの認識を新たにしました。今後一層、関係諸機関における連携・協力を深め、それらの加速的かつ持続的な取り組みに寄与できれば幸いです。

—参考資料—

- 1) 土木学会, 東日本大震災2周年シンポジウム, 個別テーマセッション8「放射性汚染廃棄物対策と土木技術の役割—早期の帰還と復興を目指して—」, (2013).
- 2) 原発事故由来の放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法, (2012).
- 3) 政府・東京電力中長期対策会議, 東京電力福島原発1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ, 2011/2012改訂.
- 4) 日本原子力学会, 「福島第一原子力発電所事故により発生する放射性廃棄物の処理・処分」特別専門委員会, 福島第一原子力発電所事故により発生する放射性廃棄物の処理・処分～研究開発課題の抽出と解決に向けた考え方～, (2013).
- 5) 環境省, 土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン改訂版, (2011).
- 6) 地盤工学会, 特集テーマ「汚染土壌・廃棄物等の処理」, 地盤工学会誌「土と基礎」, Vol.61, No.2, Ser.No.661, (2013).

著者紹介



河西 基(かわにし・もとい)
電力中央研究所
(専門分野/関心分野)放射性廃棄物処分/地下水理学/物質移行



藤塚 哲朗(ふじつか・てつろう)
環境省
(専門分野/関心分野)汚染土壌等の中間貯蔵/環境行政全般



吉原 恒一(よしはら・こういち)
原子力安全推進協会
(専門分野/関心分野)放射性廃棄物処分/ウラン等金属鉱山関連/鉱廃水処理



勝見 武(かつみ・たけし)
京都大学大学院
(専門分野/関心分野)地盤環境工学



朽山 修(とちやま・おさむ)
原子力安全研究協会
(専門分野/関心分野)放射性廃棄物処分/安全評価・核種移行

解説

原子力発電所の耐震・耐津波性能のあるべき姿 土木工学からの視点

電力中央研究所 当麻 純一

福島第一原子力発電所の事故を受け、原子力事故により社会が危機的な状況になることを防ぐには、設計で基準とする事象を超えても炉心の著しい損傷に至らないよう冷却機能を確保することが強く認識された。これを設計およびリスク管理の体系に組み入れることが必要である。本稿では、土木学会委員会での検討に基づき、深層防護の第4層、第5層の目的に貢献する技術的方策として、原子力発電所の敷地内外における「危機耐性」を高める設計法と継続的リスク管理の体系化を土木工学の視点から提案する。

I. はじめに—問題の所在—

福島第一原子力発電所の事故を踏まえると、放射性物質の大量放出により社会が危機的な状況になることを防ぐには、設計で基準とする事象を超えても炉心の著しい損傷に至らないよう冷却機能を確保することが設計およびリスク管理上の要求として明らかになった。土木学会では震災後に「原子力安全土木技術特定テーマ委員会」を組織し、この論点の議論を深め、このたび提言を取りまとめた。この提言は、原子力発電において土木工学が係わる安全規制行政、電気事業、国、自治体、建設業、学協会などで活動する技術者を主な対象としている。

原子力安全の確保は深層防護の考え方が基本とされている。国際原子力機関(IAEA)によれば防護層は、異常運転および故障の防止(第1層)、異常運転の制御及び故障の検出(第2層)、設計基準内への事故の制御(第3層)、事故の進展防止及びシビアアクシデントの影響緩和(第4層)、放射性物質の放出による放射線影響の緩和(第5層)により構築される¹⁾。

本稿では、この考え方に照らし、深層防護の第3層までの土木工学的課題に関しては基準とする地震動や津波に対する設計・施工技術で対応するものと捉え、主には深層防護の第4層に貢献すべき新たな土木工学的課題に注目した。さらには、第5層の目的を達成すべき課題の一部を検討した。

まず、議論の前提として今般の事故を土木工学から省みると、以下の問題が所在していることを委員の共通認識とした。

Performance-Based Design and Risk Management of Nuclear Power Plant for Earthquake and Tsunami: Junichi TOHMA.

(2013年 5月17日 受理)

1. 自然現象は設計で基準とする値を上回ることがあるという認識の欠如

設計地震動、設計津波を上回る事象に対して、どのような対策が現実的に適切であるかという認識が社会で共有されていなかった。

原子力発電所の設計では「極めてまれな地震、津波」を想定する。これらを科学合理的に設定する努力はこれまでもなされてきた。土木分野においても、断層の活動性研究や設計津波の研究に取り組んできた²⁾。しかし、新潟県中越沖地震では設計地震動を大きく上回る地震動が発生し、その後、東日本大震災では設計津波を大きく上回る津波が発生した。その結果、設計で基準とする値の決め方への疑念が社会に広がるとともに、設計で基準とする値を上回る事態への対応が大きな問題となった。

「極めてまれな地震、津波」に対応して設計地震動や設計津波を定めるということは、それがゆえに、その後の新知見への対応が容易ではないという問題を内包してきた。場合によっては、それ以前の意思決定根拠の否定につながり、原子力安全の説明性に一貫性を欠くからである。このことはまた、設計で基準とする値を上回る可能性への継続的リスク管理を妨げてきた原因にもなった。

「極めてまれな地震、津波」を科学合理的に設定することの努力と同程度以上に、設計で基準とする値を上回る事態に備えての事前・事後の対策を広く検討することが原子力に関わる各分野で必要であったのではないか。

2. 発電所周辺地域の視野からの安全技術の欠如

設計地震動、設計津波を上回る事象に対して、発電所敷地内だけでなく、敷地外との関わりを含めての対策の整備が不足していた。

東日本大震災で送電線やオフサイトセンターが機能喪

失したことに象徴されたように、発電所の安全で問題となるような地震や津波が発生すれば、敷地外においても相当の被害を生じている可能性があることを筆者は震災以前から次のように指摘していた。「地震にせよ、津波にせよ、自然現象は特定の施設を選択的に襲う訳ではない。したがって、これからは、「ある原子力発電所で設定している設計地震動や設計津波がもし発生したら、敷地内外全体はどうなるのか、地域はどうなるのか。近隣諸国はどうなるのか。」というイメージ力を持ち、それを国内外の多くの関係者と共有することが大事であるように思う。これは、原子力に携わる者だけでなく、原子力以外の社会インフラの設計・施工に携わる側に対しても裏返しに言えることである。それぞれの分野の技術基準によって設計された施設が、大自然災害時にどのような機能が果たせるか。緊急時の道路、港湾の機能はどうか。この社会的なやりとりこそが、常識的で適正な安全レベルを保つ手段となる。」³⁾

東日本大震災で、敷地外における道路交通や供給インフラの確保や、必要資材の備蓄も不可欠であり、関連行政や他事業者との連携が重要であることが強く認識された。

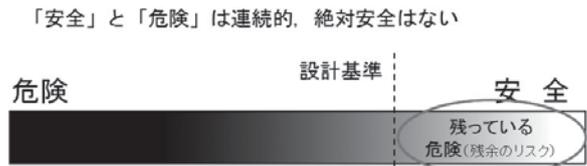
東日本大震災以前は、敷地外での実質的な防護措置が必要となるような事故の事態を想定してこなかった。その裏返しとして、事故を想定した議論がタブー視され、敷地内と敷地外とのかかわりが真剣に議論されることがなかった。設計で基準とする値以下の事象における発電所(あるいはその所有会社)で完結した事態収束が前提となっていた。

原子力安全の目標を達成するためには、こうした「発電所周辺地域の視野からの安全技術」の整備も十分になされていることが必要であったのではないかと。

II. 新たな耐震・耐津波設計とリスク管理への提案

1. 新たな耐震・耐津波設計とリスク管理の枠組み
従来考慮されていた、基準地震動・津波に対する性能である「安全性」に加え、基準地震動・津波を超えるなどにより「安全性」が損なわれた場合の「危機耐性」を新たな性能として考慮することを提案する。

原子力発電所に限らず、設計基準のレベルを高くすればするほど安全性は高まるが、それでも設計基準を超える事象に対しての危険は残っている(第1図)。ここでの「安全性」の定義は一般に「重大な損傷が発生しない」であり、原子力発電所施設では「緊急手段を必要とせずに放射性物質の大量放出という危機的な状況に至る可能性を十分に小さくする性能」と捉える。この「安全性」が損なわれたとしても直ちに危機的な状況に陥ることは避けなくてはならない。安全性能を超えることは構造物に重大な損傷が発生することを意味するが、そのような場合で



「安全性」：緊急手段を必要とせずに危機的な状況を回避
(構造物に重大な損傷を生じさせない)

「安全性」に関する設計 ⇔ 基準地震動、基準津波

それでも残っている「危険」への対処 → 「危機耐性」

第1図 安全性のレベルと設計基準(吉田, 土木学会主催シンポジウム「東日本大震災から2年」2013.3.13より)

も緊急手段の実行を可能とし、原子力発電所のシステム全体として危機的な状況に至る可能性を十分に小さくする性能を定義すべきである。この性能の名称として、「危機耐性(anti-catastrophe)」を用いる。

基準地震動・津波以下に対しては「安全性」、それ以上に対しては「危機耐性」が保たなくてはならない。なお、これらの性能を確保する上で構造物の劣化が「危機耐性」などの性能に大きな影響を与えないように適切な維持管理を行わなくてはならない。

2. 新たな性能「危機耐性」

「危機耐性」を考える場合、原子力発電所内の個々の施設や構造物の損傷による波及効果を十分に理解し、原子力発電所を一つのシステムとしてモデル化する必要がある。システムのモデル化は、原子力発電所内で生じる個々の施設や構造物の地震や津波による損傷・被害の影響範囲を明らかにすることに直結している。モデル化されたシステムに基づき被災シナリオが構築されるため、システムさらにはその中のサブシステム、さらにはその中の個々の要素の相互の関係を明確にしなければならない。原子力、土木、建築、機械、電気などの技術分野の垣根を越えた工学連携により各分野が係わるサブシステムで構成されるシステム全体について総合的に検討することが重要である。

例えば、屋外重要土木構造物や周辺斜面が被害を受けたとしても、それが原子力発電所の危機的な状況をもたらすような被害であってはならない。新潟県中越沖地震(柏崎刈羽原子力発電所)、さらには東日本大震災(福島第一、第二原子力発電所ほか)でも、これら自体が地震動で壊れることなく耐震性の高さを実証した形になったが、耐震重要度のより低い構造物との取り付け部に被害が集中するなどして、システム全体の修復・復旧を困難にした事例もみられた。また、水位計の止水部が津波の押し波で壊れたために、取水設備から原子炉建屋附属棟への海水流入により冷却系の重要機器が浸水し、冷却機能の一部喪失の危機につながる状況もみられた(女川原

子力発電所)。

これまで、壊れ方、壊れた後の影響の検討はあまり行っていないが、もし壊れるとしても危機的な状況を迎えるような壊れ方を検討することが今後重要である。そのためには部材レベルの照査だけではなく、構造物全体として、あるいはシステム全体として危機的な状況を迎えるための方策を考える必要がある。取水施設であれば基準地震動・津波を超えたとしても直ちに冷却水確保のための通水性が損なわれるような破壊形態は避けなくてはならない、通水性が損なわれたとしても緊急手段による対処を阻害するような被害形態は避けなくてはならない。このようにシステム全体として粘り強いものとするのが重要である。「危機耐性」の確保は、所定の設計外力に対して照査を行う従来の設計の方法とは異なり、ある施設の損傷がどのような波及効果を及ぼすかを考え、過酷事故に至るような状況を回避するための対策を講じることによって達成される。その具体的方法は今後議論を重ねる必要があるが、ストレステストと確率的リスク評価とを相互補完的に合わせて用いることはその一つの方法と解釈できる。

また、緊急手段により「危機耐性」を保つことも大変重要であり、その際、モニタリングの果たす役割は大きい。津波の到達前での建屋等の開口部の閉鎖および作業員の避難等の緊急手段は、原子力発電施設における津波の影響を低減し、危機的な状況から遠ざける効果がある。これらの方策を適切に実施するためには、津波の到達時刻や水位変動量の予測が必要である。沖合における水位モニタリングはその精度を高める有効な手段の一つであり、GPS 波浪計データや海洋レーダの活用が期待される。また、津波到達後に、危機的な状況を避けるために、浸水した機器の代替機器の設置などの緊急手段を行う可能性がある。しかし、巨大津波が発生すると、その水位変動は数時間から最大で1日程度継続する場合があります、作業の実施の可否判断には津波に関する情報が必要である。この情報を得る主要な手段の一つが、原子力発電所敷地内と周辺のモニタリングであり、例えば水位等の観測や映像によるモニタリングにより現場の状況を把握することができる。また、モニタリング結果を記録することにより、津波が発電所に与えた影響を直後に確認することは、緊急手段の選択に有効である。こうした情報を有効に活用した適切な緊急手段によって「危機耐性」を高めることが期待できる。

なお、新たな性能である「危機耐性」を導入したとしても、原子力発電所が地震や津波により危機的な状況に至る可能性を完全にはゼロにできないことを十分に認識し、継続的にリスク管理の改善を図っていかなくてはならない。

Ⅲ. 原子力安全確保に向けた発電所敷地外の周辺地域との関わり

1. 発電所周辺地域の視野からの修復・復旧

原子力安全土木技術の根幹は、地震・津波ハザードの評価技術や耐震設計及び耐津波設計に関わる技術であるが、一方で、原子力発電所の物理的・機能的な被害の可能性を想定すれば、危機的な状況を避けるための修復・復旧に係わる活動やそれらを支える周辺地域からの応援・支援は不可欠となる。そのためには、設計とする地震動や津波を超える自然現象を想定した場合に、原子力発電所の立地する地域全体の社会インフラがどのような地震・津波被害を受ける可能性があるのかが、危機回避の与条件として必要になる。たとえば、土木工学の視点からは、建物の倒壊、地域の浸水、橋の崩壊やトンネルの崩落、液状化による交通阻害などがある。これらのインフラが被災原子力発電所の復旧にどのような影響を及ぼすか、どの程度の事前・事後対策を用意すればよいかを、関係する機関が相互調整する必要がある。

電気事業者、国の関係機関および立地自治体を含めて、我が国の社会全体で原子力発電所の物理的・機能的な被害の可能性をこれまで暗黙裡に前提としてこなかった。それゆえ、被害収束に向けた原子力発電所の修復・復旧という考え方が原子力安全土木技術の枠組みの中で十二分に制度化されていなかった点が大きな問題の一つであった。その結果、危機的な状況での、時間的・空間的に極めて強い制約下において原子力発電所を修復・復旧させるためのアクションプランや具体的な方策が欠落していたと考えられる。

危機耐性の考え方を国際原子力機関(IAEA)による深層防護の考え方に対応づけると、第4層で必須となるアクシデントマネジメント、第5層で必須となる敷地外緊急対応に関与する性能であり、このような性能を確保するためには、周辺地域との関わりの中での修復・復旧という考え方が前提として求められることになる。

2. 修復・復旧を前提とした社会制度の枠組み

原子力安全土木技術に係わる修復・復旧の考え方を、社会制度の枠組みの中でどのように位置づけ、共有・運用・管理・維持していくかが、極めて大きな課題である。その課題解決には、様々な分野との協働・連携作業が不可欠である。

原子力発電所周辺の地域社会との関わりの中で、修復・復旧を前提とする原子力防災の基本的な枠組みを、災害対策基本法や原子力災害対策措置法といった上位法令の中で明文化し、それによって、各省庁の原子力災害対策マニュアル、関連自治体の総合計画・地域防災計画および電気事業者の防災業務計画の策定過程の俎上に載せ、アクションプラン等の具体的な施策立案の際に修

復・復旧の考え方を反映させる必要がある。

その際、学会や行政など中立な第三者機関の役割としては、アクションプラン策定のための指針や手引書の策定・公表・改定などの責任の立場が求められよう。さらに主体を広げると、政府機関には、住民を含めた、原子力安全に係わる個別分散的な主体間のリスクコミュニケーションを前進かつ効率化するために、原子力安全に係わるリスク情報を一元的に共有するプラットフォームを再構築した上で公開し、実質的かつ効率的な運用・管理・維持に向けた迅速な行動が強く求められる。

3. 原子力発電所の危機耐性を確保するための敷地外システムの耐性の向上

「危機耐性」という性能を原子力発電所に求めるためには、原子力発電所の修復・復旧を周辺地域との関わりの中で具体化し、効率的に実現することが不可欠となる。このためには、原子力発電所の敷地外システムの耐性の向上方策を講じておく必要がある。対象とする原子力発電所の物理的・機能的な被害による影響波及をイベントツリー解析の方法論を援用するなどして事前検討し、帰結となる事態の事故シーケンスを遡って敷地外システムの耐性を向上させる必要がある。

原子力発電所の敷地外システムとして、具体的には、国・自治体等が関わるオフサイトセンター等の危機管理および応急復旧の基点となる公的施設や、電気事業者等が関わる復旧人員・復旧資機材の供給拠点となる後方支援拠点群、また、それらから原子力発電所までの交通インフラ・アクセスルート、及び、電力供給、情報通信、水供給・水処理等のライフラインシステムが挙げられる。

先に述べた深層防護の第5層(放射性物質の放出による放射線影響の緩和)が発動される事態において、これが確実に達成されるためには、それぞれの事故シーケンスを想定した上で、地震動、液化状等による地盤の変状、斜面崩壊、津波、さらには空間放射線による被曝などに対する原子力発電所の敷地外システムのリスク管理が必要不可欠である。たとえば、避難や応援に支障となる被害が発電所周辺の道路、河川、港湾などに生じていないかは重要であり、その事前・事後対策は土木工学が大きく貢献できる技術分野でもある。

また、危機的な状況に応じて空間的に対象領域を拡大して修復・復旧の効率化に係る方策を検討する必要がある。したがって、原子力災害対策の重点区域だけでなく、さらに広域からの応援・支援を念頭に上記のリスク管理と具体的な方策の検討が必要である。

なお、このようなリスク管理と具体的な方策の検討にあたっては、電気事業者と他の事業者が密接に関わる必要があるため、実効性を高めるための制度設計が喫緊の課題となる。このような制度設計に際しては、上記の敷地外システムに関わる事業主体が具体的な方策を実施

する際のコストの負担について検討することも併せて必要である。

IV. 土木技術者の役割

一般の社会基盤施設では、地震、津波など自然外部事象への理解と対策において土木技術は大きく関与してきている。そうした総合的な防災技術力があるにもかかわらず、原子力安全においては土木分野からの情報発信や他の技術分野との連携が十分とはいえなかった。東日本大震災での原子力事故を機に、原子力、土木、建築、機械、電気の分野間での垣根を越えた協力関係が良好に構築されつつある。特に、次に示す課題について、分野間の協力関係を密にして対応していく必要がある。

1. 失敗・成功事例等の共有と活用

失敗事例から再発防止の教訓を得るとともに、東日本大震災で過酷事故に至らせなかった他のサイトでの経験を技術として体系化して今後を引き継いでいくべきである。

東日本大震災では過酷事故に至った失敗事例から、社会は多くの教訓を得た。これらを今後の安全に活かすことは当然として、過酷事故に至らせなかった成功体験もあり、これらを事例として共有して今後活かすべきである。たとえば、東北電力女川原子力発電所では、基準地震動 S_s と同程度の地震動を経験したが、耐震安全上重要な土木構造物、基礎地盤、周辺斜面に顕著な被害はなかった。最高水位13mの巨大津波であったが主要設備を設置している敷地には津波は到達しなかった。過去から現在に至るまでの土木技術が有効に寄与しているものと考えられる。また、震災後に各原子力発電所で個別に実施されている緊急安全対策についても、その設計法、施工法、耐震性評価法、耐津波性評価法などを技術として体系化し将来に引き継いでいくことが重要である。

2. 継続的なリスク管理への関与

原子力発電所は、常に最新の地震・津波工学に関わる知見を取り入れ、「危機耐性」などの新たに定義される性能も考慮し、継続的にリスク管理を行うことが求められる。さらには、今後も原子力発電所近傍における地震や津波の情報が新たに提供されることが予想されるため、これらに対する原子力発電所のリスクを管理し、受容できるように補強を含めた対策を施す必要がある。

継続的なリスク管理を行っていく上で、モニタリング技術の積極的な活用も重要である。中小の地震も含めた地震動、各種構造物の応答、津波などの観測情報から設計やリスク評価に用いたモデルの妥当性を確認し、必要に応じて更新する耐震・耐津波設計、リスク管理の仕組みを構築していくことが好ましい。

さらには、構造物の耐震性・耐津波性に関するリスクとその対策に関わる情報を第三者の立場から公開するシステムを構築し、市民感覚を反映した意思決定の仕組みを持つべきである。

V. 提言のまとめと今後の取り組み

設計で基準とする地震動や津波を超える事象が発生した場合でも、深層防護の目的を達成することを可能とし、原子力発電所のシステム全体として危機的な状況に至る可能性を十分に小さくする性能を「危機耐性」と定義した。これを発電所敷地内外の関連施設の設計やリスク管理の枠組みに取り入れることが必要である。

震災を受け、土木分野では、津波が浸水した場合の構造物への波力、津波浮遊物の構造物への衝突力、海洋レーダによる津波の沖合検知、周辺斜面の地震時変形予測と崩壊対策、地表断層変位が構造物安定性に及ぼす影響などの調査研究に力を入れている。これらは危機耐性の向上に寄与するものと考えている。

VI. あとがき

本稿は、東日本大震災を受け土木学会が設置した「原子力安全土木技術特定テーマ委員会」による検討に基づいたものであり、委員会が作成中の提言案⁴⁾の基本部を

土木学会主催シンポジウム「東日本大震災2年」(平成25年3月13日)で討議した内容に基づき紹介した。提言は関係資料とともに2013年7月を目途に完成し公表する予定である。

—参考資料—

- 1) 山口彰, 原子炉施設の確率論的リスク評価の動向と今後への期待, 日本原子力学会誌, 54〔3〕, 184(2012).
- 2) たとえば, (社)土木学会 原子力土木委員会津波評価部会, 原子力発電所の津波評価技術, 2002.2.
- 3) 当麻純一, 耐震安全性の相場観の形成, 土木技術, 土木技術社, 2010.8.
- 4) 原子力発電所の耐震・耐津波性能のあるべき姿に関する提言(土木工学からの視点)(案), 土木学会 東日本大震災フォローアップ委員会 原子力安全土木技術特定テーマ委員会, 2013.2.

著者紹介



当麻純一(とうま・じゅんいち)
電力中央研究所
(関心分野/専門分野)土木工学, 地震工学,
原子力土木

日本原子力学会誌 ATOMOS 広告のご案内

一般社団法人 日本原子力学会

「日本原子力学会誌」は、特集・解説・講演等、広く原子力に関わる記事を掲載し、我が国の原子力研究、産業の発展に資するべく、努力しております。学会誌は毎月約8,000部が発行されており、電力、メーカー、大学、研究機関を中心とする会員および賛助会員の原子力関係者はもとより、広く原子力関係機関、市町村、マスコミ等にわたっております。本誌への広告掲載は、発展の一助になるものと信じておりますので、ぜひ、広告の掲載をお願い申し上げます。

■賛助会員料金(消費税別)

表2	150,000円	前付	110,000円
表3	140,000円	後付	100,000円
表4	190,000円	差し込み	230,000円

※差し込みは本誌に同封となります。

■一般料金(消費税別)

表2	160,000円	前付	120,000円
表3	150,000円	後付	110,000円
表4	200,000円	差し込み	240,000円

■上記の金額は、1ページあたりのモノクロの料金です。カラーの場合、1ページあたり120,000円追加となります。

また、版下・フィルム製作費は別途申し受けます。

■過去1年以上毎月出稿された機関につきましては10,000円引きとなります。

■連絡先 105-0004東京都港区新橋2-3-7新橋第二中ビル3F, 一般社団法人日本原子力学会 学会誌編集担当 富田, 野口
TEL 03-3508-1262, FAX 03-3581-6128, E-Mail: hensyu@aesj.or.jp

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

鉄筋コンクリート製地中構造物の健全性評価技術 原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価に 関するガイドラインの改訂を踏まえて

電力中央研究所 松村 卓郎

原子力発電所の屋外重要土木構造物は、非常時に原子炉冷却用の海水を取水するポンプや配管などの安全上重要な機器・配管等を支持する機能や通水できる機能が求められる構造物であり、地震作用を受けた場合も含めてその健全性を評価することが重要である。土木学会・原子力土木委員会が策定した構造健全性評価ガイドラインをベースにして鉄筋コンクリート製地中構造物の健全性評価技術を紹介する。

I. はじめに

社会を支える多くの基盤構造物の経年化が進むなかで、わが国の原子力発電所においてもコンクリート構造物の健全性評価の重要性が増している。土木学会・原子力土木委員会では、構造健全性評価部会を設置し、経年化した地中構造物の健全性評価に関する調査研究を行い、その活動成果として2008年に「原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価に関するガイドライン」(以下、「ガイドライン」と称する)を刊行した。その後、新潟県中越沖地震による原子力発電所の被災を踏まえて、地震作用を受けた地中構造物の健全性を評価する方法について調査研究活動を行い、東北地方太平洋沖地震による鉄筋コンクリート(RC)製土木構造物への影響も考慮して、2012年に「ガイドライン」を改訂した¹⁾。

筆者らは同部会の一員として活動成果の取りまとめに参画した。本稿では、「ガイドライン」と地震作用を受けた地中構造物の健全性評価技術の概要を紹介する。

II. 構造健全性評価ガイドラインの概要

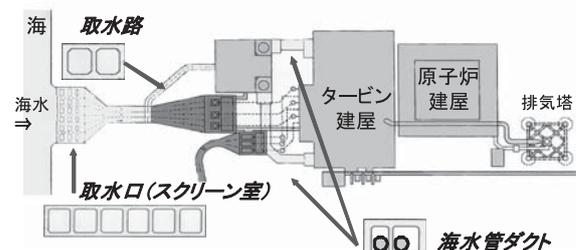
屋外重要土木構造物は、非常時に原子炉冷却用の海水を取水するポンプや配管などの安全上重要な機器・配管等を支持する機能や通水できる機能が求められる土木構造物である²⁾。想定される地震に対して、支持・取水・通水機能を維持し、構造物の内空空間を確保することが要求される。具体的には、第1図に示す構造物のうち、取水口や取水路、取水配管を支持する海水管ダクトなど

Structural Soundness Evaluation Method for Underground Reinforced Concrete Structures in Nuclear Power Plants:
Takuro MATSUMURA.

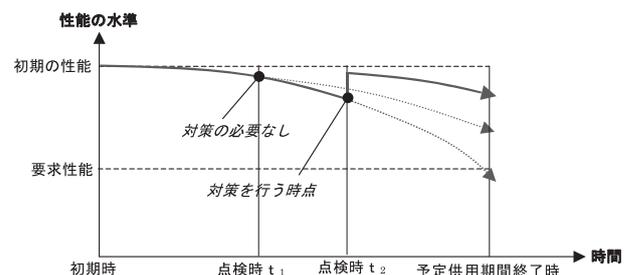
(2013年 5月31日 受理)

である。地中に埋設されたRCボックスカルバート形状(箱型の暗渠)であることが多く、また、海水によるRCの塩害劣化を考慮する必要がある環境にある。

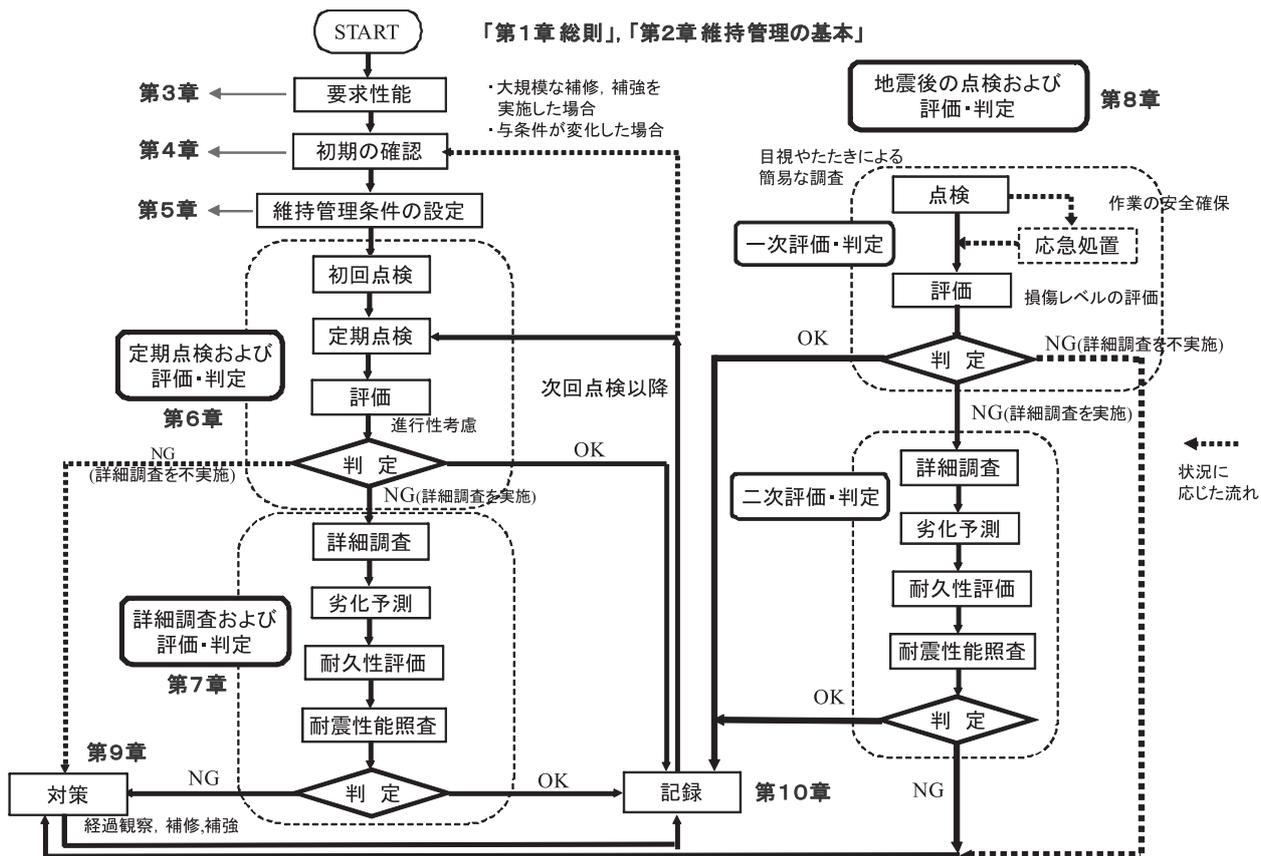
「ガイドライン」では、第2図に示すように、変状が顕在化して性能の変化が生じる以前から点検を行い、構造物の性能低下を予測(進行性を考慮)しながら、常に要求性能を満足するよう適切な対策を講じることを維持管理の基本的な方針としている。「ガイドライン」における標準的な維持管理の流れを第3図に示す。対象構造物の要求性能を明確にし、初期の確認を行い、維持管理条件を設定した上で、通常運用時の定期点検および評価・判定、詳細調査および評価・判定、対策および記録を行う。地震後についても同様に、臨時点検および一次評価・判



第1図 代表的な屋外重要土木構造物(斜体太字)の例



第2図 維持管理方針の概念図



第3図 ガイドラインにおける標準的な維持管理の流れと記載箇所

第1表 地震後の点検に用いる評価方法・項目の区分け評価方法

評価方法	点検			構造解析		
	残留状態(地震後)			最大応答(地震応答時刻歴)		
評価内容	全体	部分	局所	全体	部分	局所
評価対象	残留層間変形角	斜めひび割れの発生状況*1	残留ひび割れ幅	最大応答層間変形角	最大発生断面力(曲げ,せん断,軸力)	最大発生ひずみ*2
主な評価項目	沈下・ずれ量	剥離・剥落		最大応答荷重		

*1 目視による面外方向のズレや非破壊検査などから判断

*2 コンクリート圧縮ひずみ, 鉄筋引張ひずみ, コンクリートせん断ひずみなど

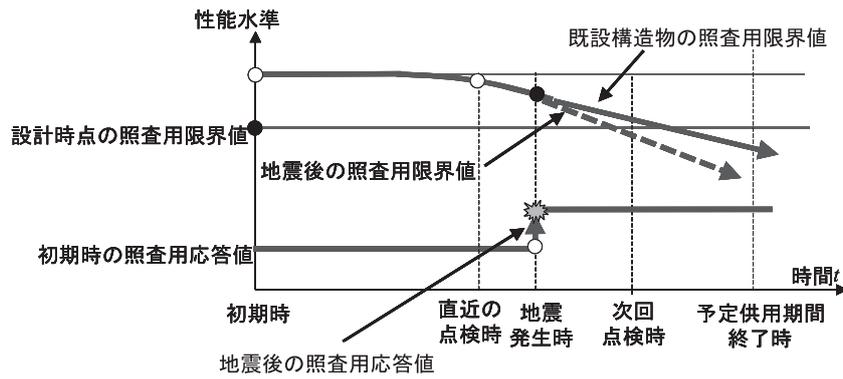
定, 詳細調査および二次評価・判定, 対策および記録の順序で行うものとし, その後は, 通常の定期点検の一連の流れに戻る。性能照査の考え方は「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針」²⁾を踏襲している。

地震後の評価方法は第1表に示すように「点検」と「構造解析」で構成される。点検では, 主に地震後の構造物の残留状態を評価するのに対して, 構造解析などを用いる方法では, 地震応答時刻歴における最大応答を推定することができる。また, 採用する評価手法によっても評価項目が異なるため, 両者を組み合わせて評価することも可能である。構造解析に基づく方法は, 二次評価で用いることを基本とするが, 一次評価においても, 損傷部位と損傷状態の事前予測などに適宜利用してもよい。

地震後の耐震性能照査では, 第4図に示すように構造物の耐荷性能の経時変化を念頭におき, 供用期間を通じて経年的に変化する既設構造物の照査用限界値と, 供用期間を通じて一定である設計時点の照査用限界値, あるいは地震後の照査用応答値との大小関係が評価される。

Ⅲ. 地震作用を受けた地中構造物の健全性評価技術

「ガイドライン」では, 健全性評価に係る方法および参考となる実験・解析結果などを技術資料として掲載するとともに, 技術資料に基づく具体例を提示している。ここでは, 地震後の点検・評価に関連した主な内容を紹介する^{1,3-6)}。



第4図 地震前後における性能の経時変化に関する概念図

1. 地震後の耐震性能評価手法

(1) 地震後の損傷評価

地震後の点検によって得られる主な損傷情報としてコンクリート表面のひび割れ幅がある。従来、ひび割れ幅を指標とした損傷有無の判定しきい値は、 10^{-1} mm オーダーの小さな値に設定されてきた。しかし、それ以上のひび割れ幅が観察された場合における力学的根拠のある安全性判定基準は整備されていなかった。そこで、次の検討・提案等を行った。

① RC 部材の静的載荷実験を行い、目視可能なコンクリート表面の残留ひび割れ幅と経験最大変位との関係を調べた。これまでの研究²⁾で曲げ破壊モードの限界変位が導出されているので、この検討により残留ひび割れ幅と設計図書レベルの情報から限界変位/経験最大変位比、すなわち変位余裕度を評価することが可能となった(第5図)。

② また、同実験の結果から、斜めひび割れ・割裂ひび割れの拡幅がもたらす部材厚の増分(はらみ)を指標としたせん断破壊モードの判定基準も提案した。ただし、部材厚増分は壁表面の点検で得られる値ではないので、直接の適用は側面も目視できる梁や柱のような線部材に限られる。

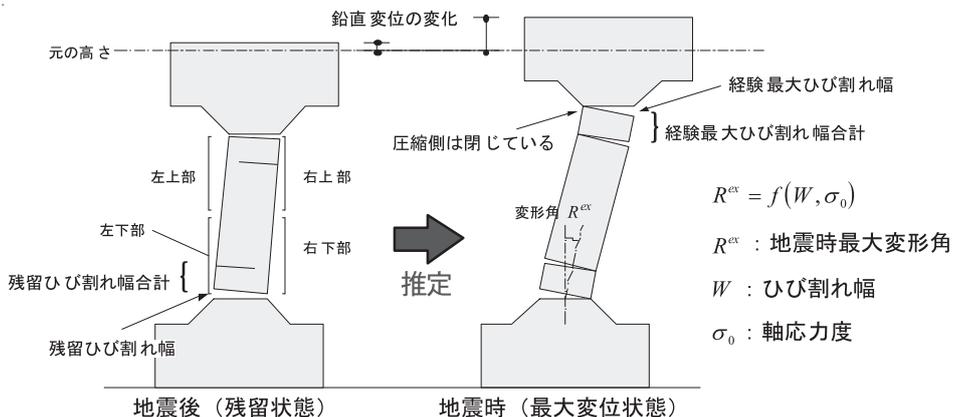
③ さらに、残留ひび割れ幅に加えて、並行して発生しているひび割れの間隔(1本だけの場合はひび割れ間

隔が十分大きいとみなす)を点検情報として得ていれば、既往の鉄筋-コンクリート間の付着挙動を表す微分方程式を応用して、内部の鉄筋の引張ひずみを推定することも示した。個々の事例で式を解くのは実用的でないので、代表的な条件について経験最大ひび割れ幅-鉄筋ひずみ関係をチャート化して示している。以上の方法は第1表の「点検」で活用可能である。

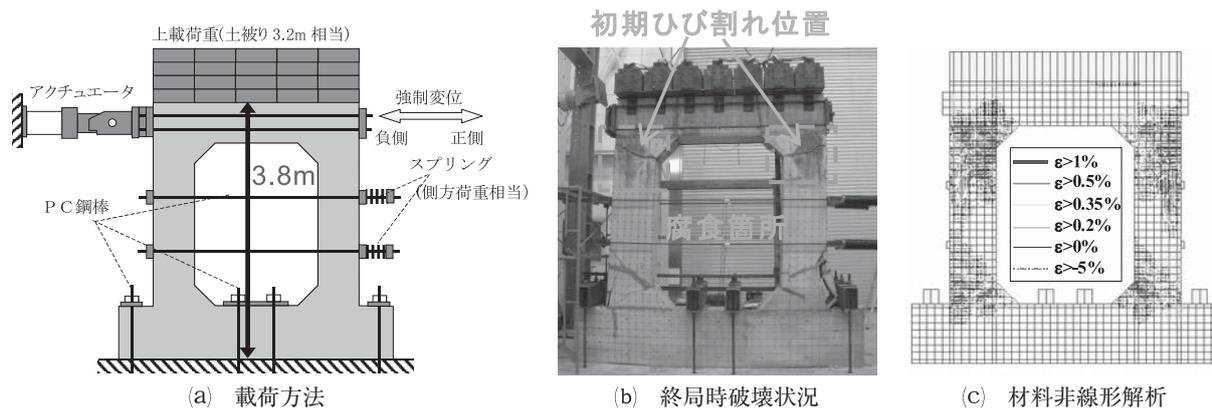
(2) 載荷実験および数値解析による耐荷性能評価

地震で発生したひび割れに起因する鉄筋腐食が耐荷特性に及ぼす影響を評価することを目的として、実規模のRCボックスカルバート試験体(幅3m、高さ3.8m、部材厚600mm)を用いて、地震作用により損傷を受けたRC製地中構造物が経年劣化した状態を想定した載荷実験およびその解析を行った(第6図)。

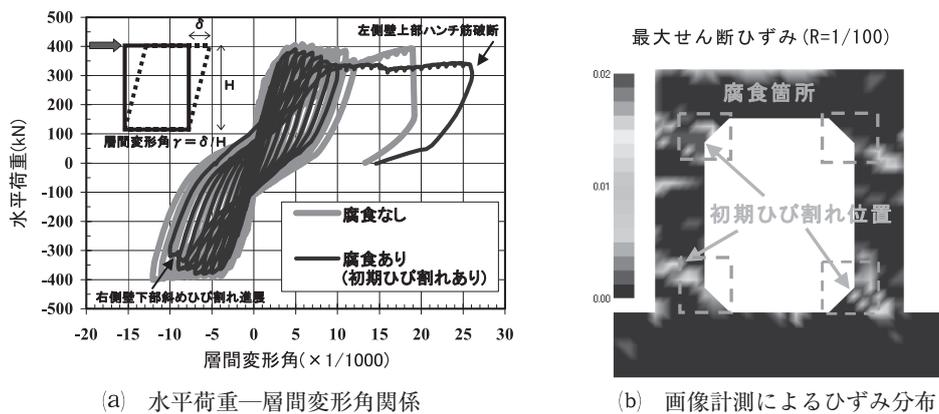
載荷結果(第7図)では、主筋の平均腐食量が約10%までの範囲では、初期ひび割れの程度にかかわらず、腐食がない場合と比べて最大荷重の低下は数%であることが確認された。これは、ひび割れ後に荷重が再分配されるためである。しかし、初期ひび割れが鉄筋降伏を超える程度(初期ひび割れ幅約0.4mm)の場合には、最大荷重以降に局所的な損傷が鉄筋腐食に伴って大きくなる傾向にあり、変形照査の限界値のひとつである層間変形角1/100における耐荷力は最小で約80%となることを示した。さらに、損傷および鉄筋腐食を考慮した材料非



第5図 RC 部材の損傷評価手法の概要



第 6 図 RC 製地中構造物の載荷実験と解析結果



(a) 水平荷重—層間変形角関係

(b) 画像計測によるひずみ分布

第 7 図 載荷結果の例(初期ひび割れが鉄筋降伏を超える程度)

線形解析を行い、ひび割れ損傷状況や最大耐荷力などの実験結果をおおむね表現できることが確認された。これらに基づいて、詳細な数値解析を実施することにより、耐荷性能を合理的に照査可能であることを示している。

2. 地震後の劣化予測手法

(1) 鉄筋腐食実験に基づく劣化評価

塩害劣化の生じる可能性のある環境においては、地震による損傷が構造物の経年的な耐震性能に影響を与えることが危惧される。これまで損傷を有する RC の劣化予測の検討は比較的かぶり(鉄筋からコンクリート表面までの最短距離)の小さい試験体による実験がほとんどであり、屋外重要土木構造物のような断面の大きな構造物を対象とした検討は行われていなかった。

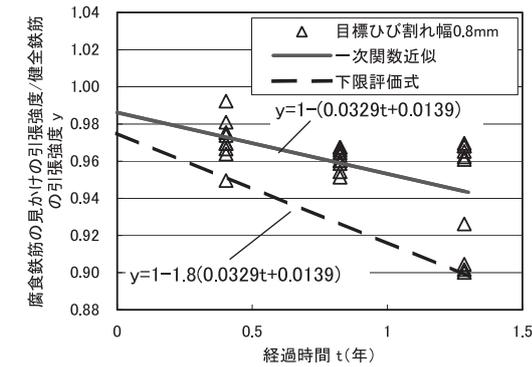
ひび割れを導入した RC 試験体(かぶり 90 mm)を用いて、干満環境(潮の満ち引きの影響を受ける環境)ならびに土中環境を模擬した劣化実験を行った。ひび割れ幅は鉄筋降伏が生じる程度の範囲とした。その結果、鉄筋の見かけの引張強度の低下傾向は、干満環境においては、ひび割れ幅が大きいほど大きかったが、土中環境においては、ひび割れ幅によらず同程度であった。これは、土中環境においてはひび割れ内部が常に湿潤状態であるためと推測された。また、第 8 図に示すように、干満環境、

土中環境のいずれにおいても、鉄筋の見かけの引張強度は初期(0.5年程度まで)に最も大きく低下し、以降はほぼ一定の低下傾向であることを見出した。これらの実験結果に基づいて干満環境、土中環境における鉄筋の腐食進行評価式を導出している。これら評価式を用いることにより、経年的な劣化進行を評価することが可能である。

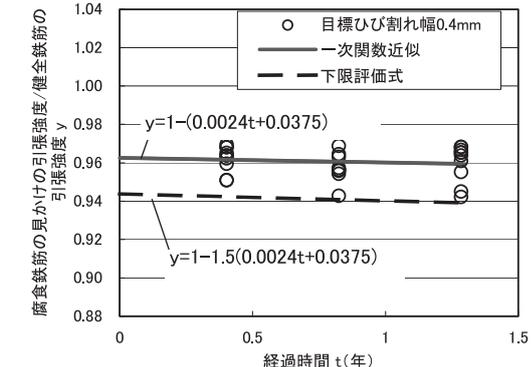
(2) ひび割れ補修領域における遮塩効果の回復性状

RC 構造物では、様々な要因によって、その表面にひび割れが生じることがあり、構造物内部の鉄筋の損傷を伴わない場合、エポキシ樹脂等の注入による補修が一般的である。構造物の長期的な供用を確実なものとするためには、被補修領域の諸性能の回復程度を定量的に把握することが重要となる。ここでは、コンクリートの遮塩性能を評価する塩化物イオン拡散係数に着目し、被補修領域における回復性状に関する検討結果を紹介する。

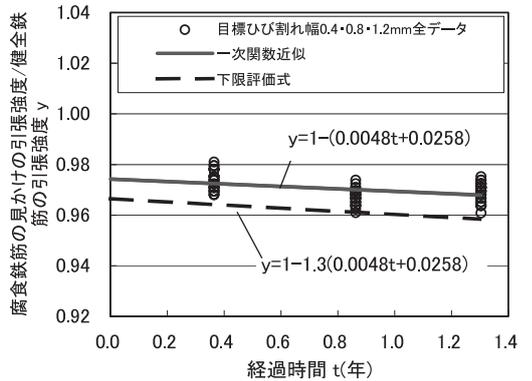
第 9 図は、Ⅲ-1(2)項で述べた載荷実験後の RC ボックスカルパート試験体において、曲げまたはせん断変形に起因して生じたひび割れを対象に、エポキシ樹脂を用いて補修を行い、その後、被補修領域からコアを採取し、塩害劣化評価に必要な物性値である塩化物イオン実効拡散係数を評価したものである。これから、補修領域の遮塩性能は、ひび割れ発生前の値にほぼ回復していることがわかる。



(a) 干満環境(目標ひび割れ幅0.4 mm)

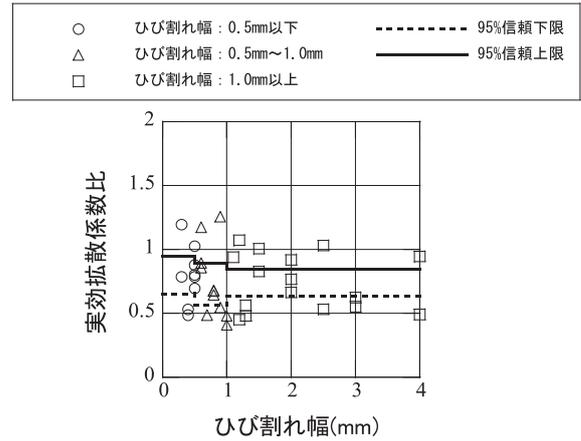


(b) 干満環境(目標ひび割れ幅0.8 mm)



(c) 土中環境

第8図 鉄筋腐食実験結果と鉄筋の腐食進行評価式

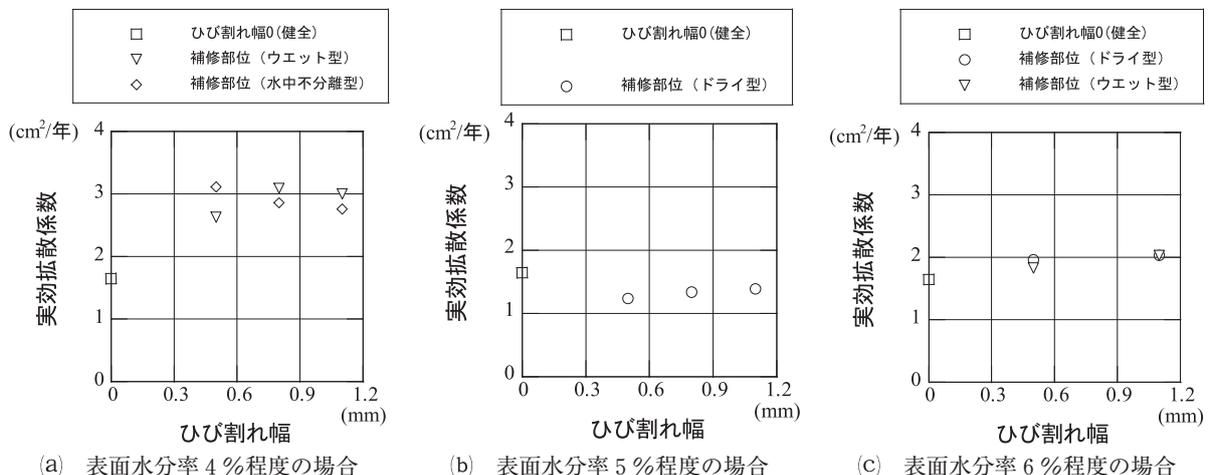


第9図 実効拡散係数比の平均に関する95%信頼区間とひび割れ幅の関係

第10図は、補修実施時におけるコンクリート表面の湿潤状態が、その後の補修効果に及ぼす影響について調べた結果をまとめたものである。最近では、水中での補修作業が可能なエポキシ樹脂が開発されているが、湿潤の程度が増すにつれ、やや拡散係数が増大する傾向にある。このことから、補修作業は、コンクリート表面ができるかぎり乾燥された状態で行うことが望ましいといえる。

IV. おわりに

「ガイドライン」をベースにRC製地中構造物の健全性評価技術を紹介した。「ガイドライン」は、最新の研究成果を反映した技術書であるが、劣化と構性能の関係や進行評価方法などについては研究途上の問題も多い。今後は、環境作用の詳細な評価に基づく劣化評価方法、性能回復・劣化予防方法の検討、荷重作用と環境作用による複合的な劣化の評価方法などについての取り組みが必要になると考えている。



第10図 補修領域の塩化物イオン実効拡散係数と表面水分率の関係

—参考資料—

- 1) 土木学会原子力土木委員会：原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価ガイドライン2012, (2012).
- 2) 土木学会原子力土木委員会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル, (2005).
- 3) 宮川義範, 他：鉄筋コンクリート製地中構造物の地震による損傷の評価(その2), 電力中央研究所研究報告(N 11006), (2011).
- 4) 松尾豊史, 他：鉄筋腐食が生じた鉄筋コンクリート製ボックスカルバートの耐荷特性評価, 電力中央研究所研究報告(N 12013), (2012).
- 5) 松村卓郎, 他：干満環境および土中環境におけるひび割れを有するコンクリート中の鉄筋腐食進行評価, 電力中央研究所研究報告(N 11013), (2012).
- 6) 松井淳, 他：ひび割れをエポキシ樹脂で補修したコンクリートの遮塩性能, 電力中央研究所研究報告(N 11045), (2012).

著者紹介

- 松村卓郎(まつむら・たくろう)
電力中央研究所
(専門分野/関心分野)コンクリート工学, 耐久性
- 松井 淳(まつい・じゅん)
電力中央研究所
(専門分野/関心分野)コンクリート工学, 耐久性
- 松尾豊史(まつお・とよふみ)
電力中央研究所
(専門分野/関心分野)コンクリート工学, 構造性能
- 宮川義範(みやがわ・よしのり)
電力中央研究所
(専門分野/関心分野)コンクリート工学, 構造性能
- 原口和靖(はらぐち・かずやす)
関西電力(株)
(専門分野/関心分野)地盤・構造, 耐震評価
- 宮川豊章(みやがわ・とよあき)
京都大学
(専門分野/関心分野)コンクリート工学, 構造材料学



From Editors 編集委員会からのお知らせ

—最近の編集委員会の話題より—
(7月2日第1回編集幹事会)

【論文誌関係】

- ・編集委員会委員長, 副委員長から挨拶があった。
- ・英文誌の出版状況が報告された。Web投稿・審査システムにより6月期に18論文が投稿された。8月号入稿済みで, そのうち6報は早期公開済み。9月号入稿済み。
- ・編集委員会の論文誌関連規定類の見直しを進めている。
- ・JNST Most Popular Article Awardの選考方法について, 検討経過が報告された。
- ・編集委員会の25年度の活動方針が了承された。

【学会誌関係】

- ・編集委員会委員長, 学会誌編集長から就任の挨拶があった。

- ・編集長から新年度の学会誌運営方針と編集委員の構成について説明があった。
- ・10月号から学会誌の印刷業務を, 富士美術印刷から美術出版社に移行するにあたり, 美術出版社の担当者の説明を聞いた。また, 美術出版社から提案のあった表紙絵については, 委員会で引き続き検討していくこととした。
- ・今後の記事企画について確認・検討を行った。
- ・新連載講座の記事提案書の提出があり, 担当委員から説明があった。執筆内容について出席委員からいくつかの意見があり, 執筆内容・回数を再度見直すこととなった。

編集委員会連絡先<<hensyu@aesj.or.jp>>

高レベル放射性廃棄物地層処分の工学技術

—技術開発から理解促進へ—

第2回 緩衝材の製作、搬送、定置と定置後の品質に関する技術開発

原子力環境整備促進・資金管理センター 朝野 英一

高レベル放射性廃棄物の人工バリア材料の製作や処分場の操業技術に関わる工学技術の開発が国の基盤研究開発として進んでいる。第2回目は、オーバーパックの周囲に設置する緩衝材について、実規模スケールの試験を基本にした製作、搬送、定置に関する技術開発、およびそれらの技術によって構築される緩衝材の水との相互作用の特性を施工品質として捉えて評価して緩衝材の設計、施工に反映しようとする検討の成果を紹介する。

I. 緩衝材に関する技術開発

1. 技術開発の背景

我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性と、処分予定地選定と安全基準の策定の技術的よりどころを提示した第2次取りまとめにあるように、地層処分ではガラス固化体を内包するオーバーパックと岩盤の間に緩衝材を設置して人工バリアシステムを構築する(本シリーズ第1回の第1図参照)¹⁾。緩衝材には放射性核種の移行抑制とオーバーパックの保護が求められている。前者に対しては、地下水移動抑制のための低透水性、放射性核種に対する収着性などが、後者に対しては力学的に安定な状態を維持する観点から応力緩衝性と強度などが基本的な設計要件として示されている。また、施工の際に生じる隙間を埋めることに対して、水を吸って膨潤するという自己シール性や、ガラス固化体からの発熱に留意した熱伝導性も同要件の一つとされている。こうした要求に応える材料として天然に産する粘土に着目し、圧縮したベントナイトを緩衝材として用いることとして、その仕様例—材質：ベントナイトとケイ砂の重量比7:3の混合物、厚さ：70 cm、乾燥密度：1.6 Mg m⁻³(この時の透水係数は 4.5×10^{-13} ms⁻¹、膨潤圧は

0.5 MPa程度。また含水比は自然含水比で10%程度)が示されている。処分場の岩盤は堆積岩(軟岩)と結晶質岩(硬岩)の2種類とし、廃棄物の埋設ピッチや処分坑道の離間距離を適切に取ることにより、緩衝材の経年挙動としての変質が抑制される100℃未満の温度条件に維持できることも確認されている。処分概念には処分孔縦置きと処分坑道横置きの2つの方式があるが、緩衝材の製作・施工技術として、現場締固め(本稿では原位置締固めという)、ブロック、一体型、吹付けの4方式を挙げ、前2者の実現可能性が指摘されている²⁾。

2. 緩衝材の製作、搬送、定置の特殊性と課題

以上の経緯と本技術開発での検討結果より、緩衝材の性状や製作、定置方法を組み合わせたものを第1図に示す。緩衝材はベントナイトとケイ砂の混合物を所定の密度に圧縮成形したものであることから様々な方法で作ることが可能である。そしてその方法—言い換えると緩衝材の形—により縦置きと横置きの2つの定置方式に適用できる技術も多様なものとなる。すなわち、緩衝材の形に適した方法で搬送、定置することが合理的である。一方、緩衝材に求められる機能は前述した通りであり、どのような方法で構築される緩衝材であっても、地層処分場の人工バリア材料として要求される機能は同じである。

そこで本技術開発では、以下の点に着目した試験、検討を行い、緩衝材の製作、搬送、定置技術について多様な処分場概念に対する技術選択肢の整備を目指した³⁾。実規模スケールの試験装置と実物の材料を用いた実証的な手法は第1回のオーバーパックの溶接に関する技術開発と同様である。試験は地上の施設において実施した。

(1) 縦置きと横置きの両技術の実現可能性の提示

Engineering Technologies for Geological Repository Program of High-Level Radioactive Waste—Turning Developing Technologies to Public Relation (2); R&D on manufacturing, Transportation and Emplacement Technologies for Buffer Material : Hidekazu ASANO.

(2013年 5月20日 受理)

■前回のタイトル

第1回 オーバーパックの溶接と溶接部の健全性評価に関する技術開発

方法	定置方式	
	処分孔縦置き	処分坑道横置き
ブロック		
一体型		
原位置締固め		
ペレット		
吹付け		

第1図 緩衝材に関する手法の組合せ

- (2) 定置後の緩衝材の品質(施工品質)の評価
- (3) 上記(2)に基づく緩衝材の施工品質に関わる指標の提示に向けた検討

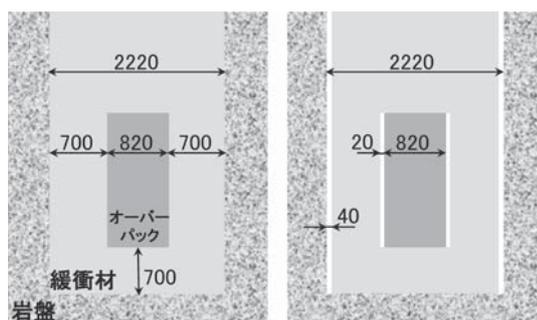
なお、緩衝材の製作、定置に関わる指針や技術基準はまだ定められていない。そこで、前述した第2次取りまとめの仕様例を基本とし、緩衝材に要求される止水性(透水性係数)や自己シール性(膨潤圧)に直結する乾燥密度をひとつの判断指標とした。

緩衝材ブロック(以下、ブロックという)を処分孔に縦置きにする場合の概念を第2図に示す。同図において、(a)は前述した緩衝材の要件に基づく概念、(b)は装置を用いて緩衝材を設置することを念頭に、オーバーバックと緩衝材、緩衝材と岩盤の間に隙間を確保したもので、ブロックの初期乾燥密度は、膨潤後に 1.6 Mg m^{-3} になるように 1.8 Mg m^{-3} としている²⁾。本技術開発では緩衝材を実際に製作、搬送、定置する試験を行うことから、供試体等の準備に際しては同図(b)を参考にした。なお、原料のベントナイトはクニゲルV1を用いた。

II. 緩衝材の製作、搬送、定置に関わる技術開発

1. 処分孔縦置き

処分孔縦置きには、第1図に示す様々な方法がある



(a) 要件に基づく概念 (b) 装置の利用を考慮した概念

第2図 処分孔縦置きでの緩衝材の概念(単位: mm)



(a) プレス機による成形 (b) 成形したブロック

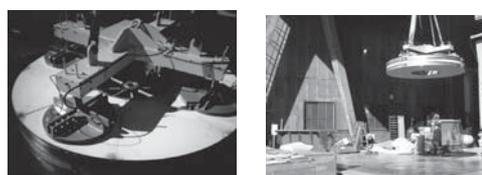
第3図 緩衝材ブロックの成形³⁾

が、いずれもケイ砂を30 wt%混合したベントナイト粉末(以下、緩衝材原料という)を所定の乾燥密度を有する形に成形する技術と、成形したものを処分孔に施工する技術が必要になる。本技術開発では、ブロック、原位置締固め、吹付けの3つの方式を実証的に検討した。

ブロックは緩衝材原料を金属製の型に入れ、1軸圧縮プレス機を用いて成形した。第3図にその状況を示す。本技術開発では2,000トンのプレス機を使用した(第2図よりブロックは直径2 m以上のリング型(オーバーバック周囲)あるいは、円盤型(オーバーバックの下部と上部)になる。その成形に必要な1万トン以上の圧縮能力を持つプレス機は、産業界では珍しくはないが、技術開発目的の利用には制限が伴った)。ブロックの形状は外径2.26 mのリングを8等分した1個分で、半径方向の厚さが700mm、縦方向の厚さは300mm。重量は約250kg。目標乾燥密度は 1.9 Mg m^{-3} (含水比は約9%)。ブロック表面は平滑で、ひび、縁や角の欠けは見られなかった。小型サンプルの切り出しによる1ブロック中の乾燥密度分布の測定では、ブロック側面の上部が高く(1.96 Mg m^{-3}) 同底部が低い(1.78 Mg m^{-3}) 傾向が見られた。中央部の密度差はそれより小さかった(上部 1.93 , 底部 1.87 Mg m^{-3})。

ブロックに割れや欠けを生じさせることなく持ち上げ(以下、把持という)、移動、積み上げを行う搬送、定置には、ゴム製吸着パッドをブロック表面に圧着し、内部の空気を排気して把持する真空吸引に着目した。製作した真空把持装置を第4図に示す。吸着パッド単体の把持能力を確認し、鋼製バンドを用いてリング型に組んだ緩衝材(総重量約2.3トン)を4個の吸着パッドで把持するものとした。同装置の装着、排気、吸引、吊り上げ、水平移動、降下、接地、真空破壊、吸着パッド脱着の一連の作業からその有効性を確認した。

原位置締固めと吹付けは処分孔に直接緩衝材を施工する技術である。前者は直径約2.3 m、深さ約3.3 mのコンクリート製ピットを利用して1層100 mm厚さ分の緩



(a) 真空把持装置外観 (b) ブロックの把持

第4図 真空把持装置とその使用状況³⁾

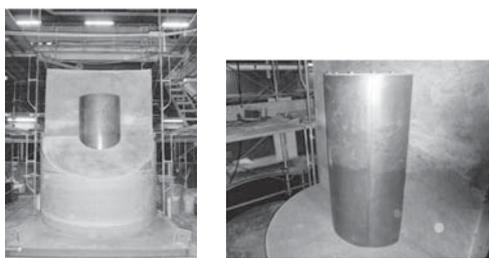
衝材原料を投入し、上から重錘(重り)を落下させて所定の密度に締固める作業を繰り返した。中心部には脱着可能な金属製型枠を設置してオーバーパック用の空間を確保した。緩衝材の密度分布は $1.54\sim 1.82\text{ Mg m}^{-3}$ (含水比は約15%)であった。一層分では上部の方が下部よりも乾燥密度が高くなる傾向が見られた。後者は緩衝材原料を圧縮空気を用いてノズルから噴出させて吹付ける技術である。直径約2.2 m、深さ約3.5 mの鋼製の模擬処分孔内に、模擬オーバーパックを設置して吹付けを行った。緩衝材の密度分布は $1.68\sim 1.72\text{ Mg m}^{-3}$ (含水比は約20%)であった。吹付けにより模擬オーバーパックを含めて模擬処分孔内に隙間なく緩衝材を施工した状況を第5図に示す。

2. 処分坑道横置き

処分坑道横置きは、第1図のPEM方式(Pre-Fabricated EBS Module, 以下 PEM という。EBS: Engineered Barrier System)とペレット充填方式の2つを実証的に検討した。本稿では前者を紹介する。

PEMはオーバーパックと緩衝材を地上で一つのパッケージにして地下に搬送し定置する。地下での作業の単純化が期待されるが、その製作と組立て、外枠の鋼製ケーシングを含めて約34トンの重量物の水平方向の搬送と所定位置での定置が求められる。鋼製ケーシングの中にブロック型の緩衝材を積み上げる製作試験では、ブロック同士、およびブロックと鋼製ケーシングの間に数mmから数10mmの隙間が発生した。そこで、鋼製のリング型ケーシング内で緩衝材原料を締め固め、これを重ねて接続し1ユニット分の緩衝材を組み立てる鋼殻リング方式を採用した。その状況を第6図に示す。締め固めた緩衝材の乾燥密度は、目標 1.6 Mg m^{-3} に対して、最大1.65, 最小1.57, 平均 1.62 Mg m^{-3} (含水比は約23%)であった。一方の端部と側面の鋼殻リングを接続後、模擬オーバーパックを内部に挿入し、もう一方の端部の鋼殻リングを取り付けてPEMの組立てを完了した。模擬オーバーパックと緩衝材の隙間にはペレットと呼ぶ粒状のベントナイトを充填した。

こうして製作した重量約34トンのPEMの坑道内での



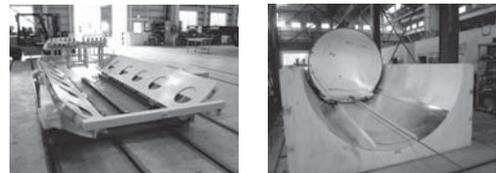
(a) 外観と断面 (b) 模擬オーバーパックと緩衝材の界面

第5図 吹付けによる緩衝材の施工³⁾



(a) 緩衝材原料の締め固め (b) PEMの組立

第6図 鋼殻リングによるPEMの製作と組立³⁾



(a) エアベアリングを装着した搬送装置 (b) 模擬処分坑道でのPEMの水平方向の移動

第7図 エアベアリングによるPEMの搬送³⁾

水平方向の搬送にはエアベアリングを採用した。搬送、定置試験の状況を第7図に示す。PEMを載せる搬送装置の下部にエアベアリングが5個ずつ2列に取り付けてある。圧縮空気の供給によりエアベアリングが膨張、コンクリート製模擬処分坑道の接地面との間に空気層が生じて摩擦を減じる。ウインチを利用して100~200 kgfの牽引力でPEMを所定の位置まで搬送し、圧縮空気の供給を停止。エアベアリングが収縮してPEMを降下させ模擬処分坑道中央部の台座上に定置した。その後、搬送装置を回収した。PEMと坑道内面との間の隙間は粒状のベントナイトで充填可能なことも別途確認した。

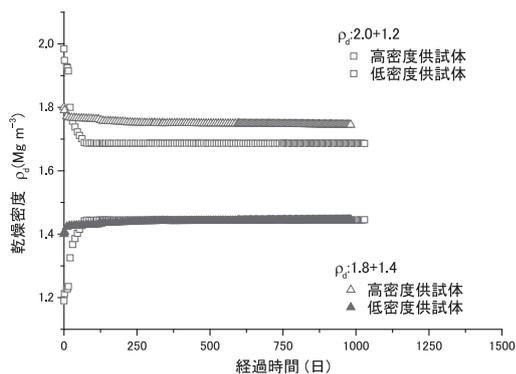
Ⅲ. 緩衝材の施工品質の評価

緩衝材は地下水を吸って膨潤することで機能を発揮する。一方、製作や定置の結果、緩衝材には隙間や密度分布が生じる。本技術開発では、定置後の緩衝材の状態を念頭に、吸水、膨潤する過渡期における力学、及び水理特性に着目して、密度の均質化、パイピング/エロージョンなどについて試験装置のスケールアップを図りながら調査を進めた。

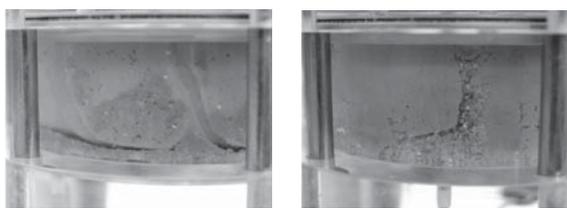
1. 定置後の緩衝材の品質

乾燥密度の異なる緩衝材(1.8 と 1.4 Mg m^{-3} , 2.0 と 1.2 Mg m^{-3})を直列につなぎ、給水した後の密度変化を第8図に示す。約1,000日経過後も乾燥密度は同じ値にはならなかった。この膨潤後の残留密度差について、高密度側の膨潤による密度低下と低密度側の圧縮による密度上昇を有効ベントナイト乾燥密度と圧密圧力の関係から検討し、両者の膨潤圧が均衡するところまで膨潤することの妥当性を説明した。これは緩衝材の機能を満足するための施工上の密度分布幅を規定する知見につながるものと考えられる。

定置した緩衝材の止水性については地下水浸入による



第8図 乾燥密度の異なる緩衝材の吸水後の密度変化³⁾



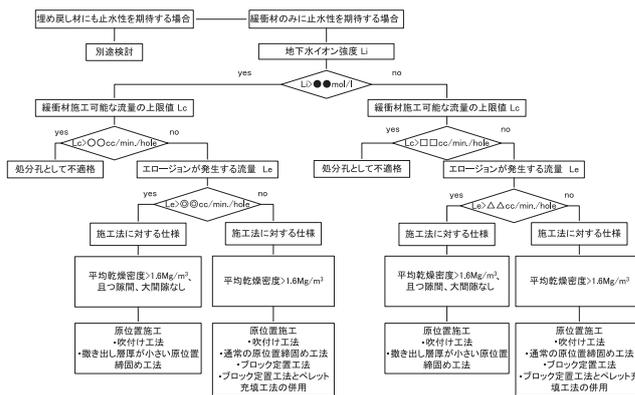
(a) 蒸留水(給水後6時間) (b) 塩水(給水後12時間)
第9図 ブロック供試体におけるパイピング/
エロージョンの発生³⁾

水みちの発生(パイピング)や緩衝材の流失(エロージョン)が指摘されている⁴⁾。第9図にブロック供試体におけるパイピングとエロージョンの発生と取れんの様子を示す。流量(0.1~100 cc/min)や液組成(蒸留水と塩水)を種々変えた試験、および長尺セルを用いた試験により、流量100 cc/minでは純水、塩水共に通水初期に複数のパイピングが生じた後、徐々に一つの水みちに取れんすること、また流量が減少すると緩衝材の膨潤により水みちが閉じることを確認した。このようなデータを水の組成や流量を変えて蓄積することで、湧水に対する定置場所の適否の判断、あるいは緩衝材の適切な施工方法を設定する際の判断指標が提示できると考えている。

2. 緩衝材の施工品質に関わる指標の検討

現状の知見に基づく湧水に着目した処分孔の使用可否判断と緩衝材施工方法の選定に関するフローを第10図に示す。ある量の湧水(降水系と海水系で分類)の上限値での適否の判断、及びパイピング/エロージョンの発生に対する湧水量とそれへの対策によって緩衝材の仕様(乾燥密度)と施工方法を提示しようとするものである。

緩衝材の機能は乾燥密度に大きく依存する。従ってその製作、搬送、定置という施工方法の選択には、吸水、膨潤する緩衝材の諸特性をあらかじめ考慮に入れておく必要がある。本技術開発では、密度差とパイピング/エロージョンのほかにイオン交換や水移行の現象と特性を考慮して、緩衝材が機能を発揮するための設計と施工における指標を与えるプロセスフローの提示も試みた。



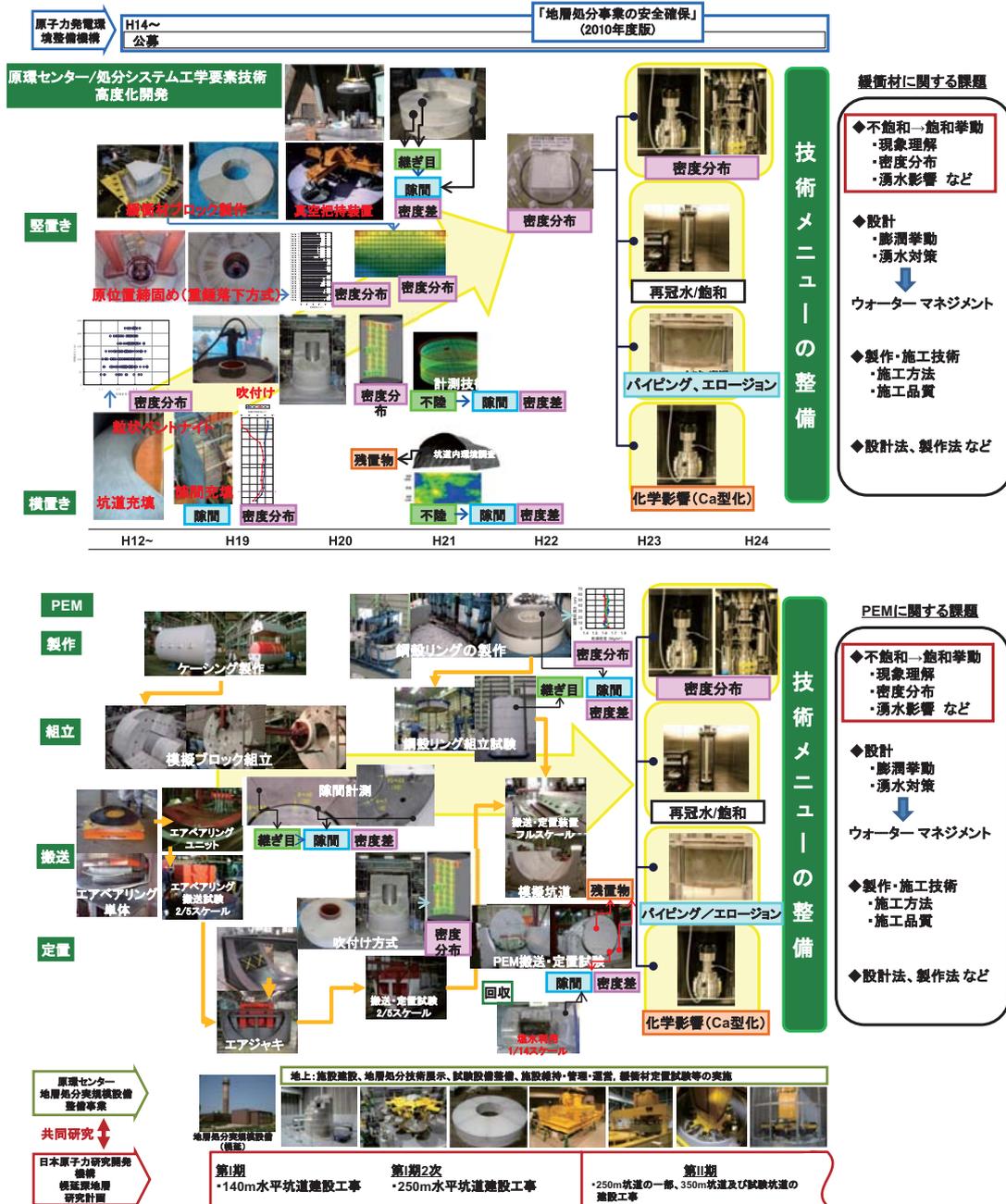
第10図 湧水に着目した緩衝材の施工方法の選定³⁾

IV. まとめ

平成12年度から平成24年度までの技術開発の展開を第11図に示す。書式は本シリーズ第1回と同様、時間に沿った年表形式で、品質に関わる部分は処分孔縦置きと処分坑道横置きで共通とした。開発初期は要素技術の適用性確認、その後、個々の技術を束ねて装置化し、実規模スケールでの実証的な試験を実施した。一方、地層処分において、緩衝材をどのような方法で製作、搬送、定置したとしても、その機能発揮が最も重要であるとの認識から、製作方法や、搬送、定置方法の結果としての緩衝材の施工品質の評価に調査、検討を拡げた。そしてその成果を「技術メニュー」と呼ぶデータベースにまとめた³⁾。これにより、本稿では紹介し切れなかったものを含めて、各要素技術の適用性や適用条件が系統的に把握できると同時に、処分坑道横置きであれば緩衝材の製作から定置、定置後の隙間充填まで一連の技術の組合せとその到達度を追うことが可能である。

本技術開発では、高レベル放射性廃棄物における緩衝材の役割(機能)とそれに基づく基本的な仕様を基に、製作、搬送、定置という実際のもの作りの部分の実現可能性と到達度を示すと同時に、その結果として生じる緩衝材の状態が処分場での環境条件、特に湧水との関係において成立するかどうかを施工品質という視点から検討した。両者は両立しなければならない。これは、地層処分の性能評価において前提となる人工バリアの状態を施工の段階で用意することができるかどうかに関わる課題である。もの作りでいえば技術の高度化と信頼性の向上が、施工品質に関しては定量的な指標の提示が求められる。また、両者の間でのフィードバックは不可欠である。同時に、性能評価に関連する長期性の問題とも関係する。これらの課題に取り組むことが、結果として緩衝材の仕様をより具体的に提示することにつながっていく。

この一連の技術開発は資源エネルギー庁の委託事業として実施されたもので、その成果は国の地層処分基盤研究開発の成果の一部である。



第11図 緩衝材の製作、搬送、定置に関わる技術開発の展開³⁾

— 参考資料 —

- 1) わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—総論レポート/JNC TN1400 99-020, 核燃料サイクル開発機構, 平成11年11月20日.
- 2) わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—分冊2 地層処分の工学技術/JNC TN 1400 99-022, 核燃料サイクル開発機構, 平成11年11月20日.
- 3) 平成24年度地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃

棄物処分関連：処分システム工学要素技術高度化開発報告書, 原環センター, 平成25年3月.

- 4) RD&D Programme 2007, Programme for research, development and demonstration of methods for the management and disposal of nuclear waste, TR-07-12, September 2007, SKB.

著者紹介

朝野英一(あさの・ひでかず)
本誌, 55〔7〕, p.402(2013)参照.

報告

原子力核セキュリティ連携実験演習

大学・大学院・高専・原子力機構の実験演習ネットワーク

東京大学 上坂 充

文部科学省原子力人材育成事業(平成22~24年度)「大学連携型核安全セキュリティ・グローバルプロフェッショナルコース」の中で、標記の実験実習ネットワークを構築し、和英でのテキスト整備を行い、全国拠点にて実験実習を実施した。各教育機関にてインターンシップ等で実習の単位化も実現した。平成25年度以降も国際化を目指し継続する。

1. 概要

文部科学省原子力人材育成事業のひとつとして、東京大学原子力専攻では機関連携型原子力安全セキュリティ実験実習を実施した(平成22~24年度)(第1図)。

本事業では、実験実習に特化した原子力人材育成プログラムとして全国の大学・高専・日本原子力研究開発機構と連携し、機関横断型の実験実習ネットワークを構築した。参画機関から相互に実習生を派遣し、各機関にてバイリンガル(日英)で留学生も含めた大学院生・高専生に対して実施している。狭義の理工学の実習のみならず、安全セキュリティの教育も行った。この横断型ネットワークでは、それぞれ特色ある施設を有する各機関が、放射線種・分野・特徴が有機的相補的にうける実習に供せるように整理した(第1図)。個々の大学の有する実験インフラには限りがあるが、このようにネットワークを構築し学生を相互派遣することで、広範囲で充実した実習を行うことが可能となった。放射線施設を有する各施設は、それぞれのキャンパスで放射線安全管理の中

核も担っている。この横の絆の強化で、さらにキャンパスでのプレゼンスを高めていただくことも本事業の重要な目的のひとつである。また、施設を保有しない大学や高等専門学校などにも実習の扉を開くことにより、原子力安全セキュリティ教育が全国的に広がり全体のレベルアップにもつながっていると期待される。

第1回目は平成23年8~10月にわたり全国で実施され、第2~4回目は3,9月期実施された。実習参加者の合計は258人。全国学生のWeb登録システム構築、放射線安全管理の徹底がなされ、インターンシップとしての単位化・評価も開始された。

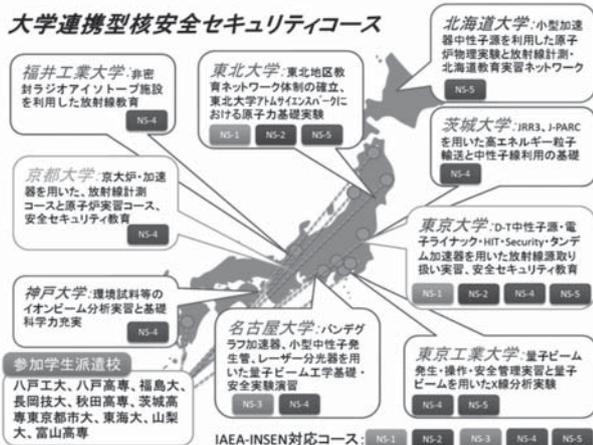
2. 各機関の実習内容

(1) 北海道大学実習(小型電子ライナック中性子源による原子炉物理・放射線計測・安全管理実習)(藤吉亮子)

実習は大きく2つのテーマに分けた。第1は、電子ライナックからの中性子源を利用した中性子スペクトル測定および中性子の絶対測定、第2は、加速器施設的环境ガンマ線測定である。平成22年度の本事業開始以来、全5回の実習を行い、道内外の大学から主に修士課程の学生が各回5~9名参加した。実習内容のうち第1のテーマでは、ライナックからの電子線(45 MeV, パルス幅100ナノ秒, 50回/秒)を鉛製中性子ターゲットに照射し、生成したパルス状高速中性子(約2 MeV)をポリエチレン製中性子減速材(異なるホウ素含量)に入射させてパルス状熱中性子を得た。減速材から放出された中性子が検出器に到達するまでの時間を測定して中性子の飛行時間スペクトルを取得し、それを変換して中性子のエネルギースペクトルを計算した。

いずれの実習も基本的な原理や手法をあらかじめ説明し、学生自らが実習で何を明らかにすべきかを明確にできるよう工夫した。

本実習(第2図)を通して、電子線ライナックからの中性子生成の原理、中性子の測定法および放射化物の同定



第1図 連携実験演習ネットワーク

Nuclear Safety Experimental Exercise Network in Japan : Mitsuru UESAKA.

(2013年 5月22日 受理)



第2図 北海道大学での実習風景

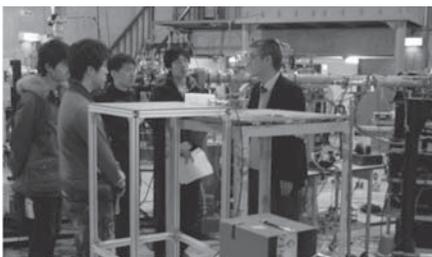
法を習得するとともに、原子炉中性子、施設の安全管理、環境放射性核種の存在および測定法に関する知見を提供することができたと考えられる。

(2) 東北大学実習(アトムサイエンスパークにおける原子力基礎実験)(江原真司)

東北大学では、遮蔽・保全・バックエンドに関連した原子力基礎実験、火災事故シミュレーションを利用した安全セキュリティ教育について整備を行い、以下5つのテーマについて実習を行った(第3図)。

①高速中性子実験室での中性子遮蔽実験：当該実験室に既設の4.5 MeV ダイナミトロン加速器を利用し、コンクリート材料による中性子の遮蔽効果を学ぶ。②コンクリートの製造および材料試験の基礎実験：コンクリート供試体の作製と圧縮強度試験を通じて、要求性能を満足するコンクリートの配合設計・製造方法、力学性能の確認試験および振動実験と地震応答解析の基礎を学ぶ。③配管内部の複雑流動場解析実験：保全上重要な流体力学上のトピックスである流動励起振動(FIV)を学ぶ。④核種移行評価のための取着分配実験：処分システム評価に重要な核種と固相との相互作用について学ぶ。⑤火災事故シミュレーションを利用した安全セキュリティ教育：原子力施設における火災事故のシミュレーションを利用した安全セキュリティ教育を実施する。

平成23, 24年度を通じて、他機関から合計26名の実習参加者を受け入れ、また学内においては上記テーマ③、④において学部3, 4年生(機械知能・航空工学科/量子サイエンスコース; 各40名程度)に対しても実施することができ、座学のみでなく、より実践的な教育をさらに進展させることができた。



第3図 中性子ビームラインでの実習風景(東北大)

(3) 原子力機構・茨城大学における原子力基礎実験(藤原健)及び核セキュリティ実習(出町和之, 松澤礼奈)

原子力機構/茨城大学では、放射線測定・放射線防護・除染・核燃料サイクルに関連した原子力基礎実験、安全教育について以下6つのテーマの実習を行った。

①Ge半導体検出器を用いたガンマ線スペクトル測定, ②サーベイメータを用いた α 線・ β 線・ γ 線・中性子の測定実習, ③NUCEF(Nuclear Fuel Cycle Safety Engineering Research Facility)にてグローブボックス・コンピュータを用いた核物質取り扱い実習, ④液体シンチレーション検出器を用いた β 線スペクトロメトリー, ⑤タイベックスーツ, ボンベを用いた放射線防護実習, ⑥放射線除染実習。

平成23, 24年度を通じて、他機関から合計18名の実習参加者を受け入れ、福島原発事故に関連した放射線測定・除染の実習から、最新の核燃料サイクルについての教育を行い、原子力の現在と未来を見据えた高い教育効果を得られたと自負している。

また、原子力機構核不拡散・核セキュリティ総合支援センター(ISCN)での核セキュリティ実習(3日間)も実施された。ISCNには、核セキュリティに係る国際取組の概要から核物質及び原子力施設の物理的防護(PP)システムの設計・評価プロセスの基礎まで、PPの重要性と基礎を体系的に学習できる体制が整っており、また、バーチャル・リアリティ(VR)システム及び核物質防護実習フィールドなど実習(第4図)の設備も高度に整備されている。平成24年度は24年9月と25年3月の計2回の実習を行った。それぞれの参加者は12名, 7名であった。専門家による講義と最新の設備を用いた実習を通じ、核セキュリティに対する参加者の理解を深めることに貢献できた。

(4) 東京大学における原子力基礎実験(藤原健)

東京大学では、東京大学東海キャンパスにて材料工学・放射線源・放射線検出器・放射線分析科学の理解を深めるために3つのテーマを設けて実習を行った(第5図)。実習生が実際にハードウェアに触れることを重要視し、工学・科学をより親しみがもてるようなプログラムとした。



第4図 原子力機構-ISCNでの実習で利用した核物質防護実習フィールド



第5図 東大電子ライナック実習風景

このうち比例計数管作製実習ではガス検出器の概要と原理を説明後、実際に実習生に比例計数管を作製させて放射線そのものだけでなく、放射線と物質の相互作用についての理解を深めた。参加者の中にはハンダゴテを初めて触る学生もいて、オシロスコープの使い方など工学の基本となる機器に触れるよい機会になったという声が聞かれた。

平成22～24年度を通じて、他機関から合計30名以上の実習参加者を受け入れ、実際に実習生がハードウェアに多く触れる実習プログラムとしたことで、放射線科学と原子力工学の高い教育効果が得られたと考えている。

(5) 東京工業大学実習(小栗慶之)

東京工業大学原子炉研の小型タンデム静電加速器システム、「複合照射実験装置」を用いて実習を行った。原子炉と並ぶ原子力の重要なツールである加速器の動作原理を理解させ、また加速器からの MeV 陽子ビームを用いた PIXE 分析法を題材として高度放射線利用技術を体験させることを目的とした。また核セキュリティに関連の深い原子力安全への理解を深めるため、加速器の安全系を実際に作動させる実習も行った。3日間コースとしたが、スタッフ及び実験スペースの制限から1回の受入れ人数を5名までとした。「バイリンガル実習」であったが基本的に全てを英語で実施した。テキストは英文で作成し、業者による英文校閲を受けたものを使用した。全参加者の内訳は日本人11名、外国人5名であった(第6図)。

まずスタッフの指導で加速器・イオン源の始動からビーム輸送系の最適化、標的上でのビーム調整に至る運転実習を行った。次に、加速器から得られる ^{16}O ビームの荷電状態分布測定を行い、加速の原理を理解させた。次に、キャンパス内で土壌試料を採取し、粉碎から内部



第6図 東工大加速器運転実習風景

標準添加、ペレット化、真空排気、ビーム照射、X線スペクトル測定・解析まで、PIXE分析の手順一通りを体験させた。さらにPIXE法の特長を理解させるため、電子ビームを用いた比較実験も行った。最後に、加速電圧を規定値以上に上げ、シャッターが閉じてビームが停止すること、また加速器本体室のドアを開け、加速器がスクラムすることを実体験させた。実験終了後にはデータ解析と討論の時間も用意し、レポートのまとめ方を指導した。

外国人参加者は全てアジアからの留学生であり、スタッフも含めて英語のレベルは決して高くはなかったが、逆に分かりやすい英語が使われたため、参加者にはおおむね好評であった。

(6) 名古屋大学実習(RI・レーザー・小型中性子源・イオンビームによる放射線計測・分析・安全管理実習)(曾田一雄)

名古屋大学では、本学の有するレーザー分析装置、加速器施設(中性子実験室およびイオンビーム表面解析装置室)、RI取扱施設(核燃料管理室)を利用し、中性子、ガンマ線、イオンなどの放射線計測とともにレーザー共鳴同位体分析を含む量子ビーム計測技術の習得を通じて核安全セキュリティ人材育成に資することを目的とした。

実習テーマは、ガンマ線分光分析、レーザー同位体分析、イオンビーム分析、高速中性子検出の4つであり、本学の3研究グループの教員8名と大学院生のTAが担当した。このうちガンマ線分光分析実習では、密封線源を用いて高分解能ゲルマニウム検出器のエネルギー較正を行った後、ガンマ線分光によって試料中の核燃料物質を分析した。いずれの課題も、原理を理解し、自ら機器を較正・調整、目的の分析測定を行って結果を評価する流れとなっている。

受講生は5名程度を1チームとし、放射線およびレーザーの安全取扱講習に加え、各チームが1日1テーマ計4テーマ4日の実習から成る原則5日間のプログラムを受ける。最大受講可能者数は4チーム分20名とした。第7図は、イオンビーム実習風景の一コマである。

(7) 京都大学実習(マイクロビームによるイオン誘起 γ 線分析・安全セキュリティ実習)(土田秀次)

本実習では、「イオン加速器を用いた核物質センシング技術」を題材に実習を行った。実習の主な目的は、イ



第7図 教員指導のもと、イオン加速器を調整中の実習生(名大)

オンビームによって人工的に発生する放射線の特性とその定量的計測法の基礎を理解すること、更に、将来、関連分野の研究および技術開発を担う人材の育成を考え、放射線物理教育の全体的レベルアップにつなげることである。

京大宇治キャンパスにある工学研究科原子核工学専攻放射実験室・附属量子理工学教育研究センターの加速器施設において、年に2回、3日間および2日間のプログラムを実施した(第8図)。本事業の3年間の実習において、7大学(北海道大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、福井工業大学、神戸大学、京都大学)から、合計41名の参加者があった。実習の具体的内容は、ガイダンスにおいて放射線および核物質取扱施設の安全管理等について法律(原子力基本法、放射線障害防止法など)を参照しながら解説した後、①各種放射線の定量測定法：各種サーベイメータの特徴、環境中の α 崩壊核種の捕集と崩壊挙動の評価および高純度Ge半導体検出器による放射性物質の同定、②荷電粒子マイクロビームの発生と物質分析の定量測定法：イオンビームの大気取り出しと飛跡観察およびガラスキャピラリーを用いた大気マイクロPIXE分析、③粒子線誘起 γ 線を用いた核物質探査法：静電加速器の運転・ビーム輸送実習、高エネルギー γ 線の発生とその検出技術および γ 線による核物質探査への適応評価などである。

参加者の主な感想は、①他大学との人的交流ができたこと、②教科書でしか知らなかった知識(放射線検出の定量や加速器工学など)を実体験により深めることができたことなどであった。また、本実習の実施時期が東日本大震災に伴う原子力発電所の事故直後であったことを反映して、放射線・原子力教育の一般社会への普及活動の重要性を述べる意見もあった。本実習の実施によって明らかになったこととして、各研究機関の設備を開放し連携教育を通して高い基礎学力を有する人材を育成することの重要性が挙げられ、本活動を今後継続して行う意義を改めて認識することができた。

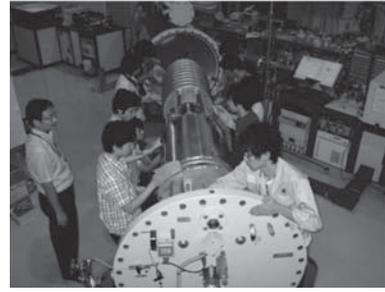
(8) 神戸大学実習(イオンビームによる加速器工学・分析・安全管理実習)(古山雄一)

本実習は平成23、24年度の2年間で8月期と3月期の計4回実施し、実習参加学生の延べ人数は31名(参加大学最多で6大学)であった。

機器の安全確保にはハードウェアに対する深い理解が



第8図 京大イオン加速器運転実習の風景



第9図 加速管引出後の加速管保守・点検作業(神戸大)

必要である。コンピュータの発達と共にソフトウェアが万能であるかのごとく考える風潮の中でハードウェア技術の継承が危惧されている。本実習プログラムの目的はハードウェア教育を主眼として、環境関連試料の加速器分析を実習させ(第1日目)、タンデムペレトロン加速器の保守・点検作業並びに復帰作業を体験させた(第2、3日目)(第9図)。

本実習を含め大学連携型実習の共通の目的として人材育成を行うことであったが、大学連携型実習全体が関連する研究を行っている他大学の学生達が出会う貴重な人材交流の場になっていたことも述べておきたい。

(9) 福井工業大学実習(非密封ラジオアイソトープ施設における核安全セキュリティ実習)(吉岡満夫)

福井工業大学ではアイソトープ研究所を持つことから、その施設を活用し、非密封ラジオアイソトープの使用とそれに伴う放射線管理等を通じて、放射線防護や安全取扱の実際を体得させ、国際感覚を持った原子力人材を育成することを目的として本プログラムに参加した。

実習メニューの具体的内容を列挙すれば、「施設立入前の放射線教育」、「放射線管理(測定)・放射線防護」、「イオン交換や溶媒抽出等の放射化学的手法による非密封ラジオアイソトープの分離と安全取扱」、「環境モニタリング技術を用いた福島第一原子力発電所事故影響として出現した放射性核種あるいは放射線の測定」等である。

実習は、東日本大震災発生等の理由で学内のみの参加者となった第1回および第5回を除けば、実質的には、第2回：平成23年9月13～15日、第3回：平成24年3月6～8日、第4回：平成24年9月4～6日に実施した。

参加校および参加人数は、各回6～7名が参加し、東北大学、東京大学、名古屋大学、神戸大学、カナダオンタリオ工科大学の大学院修士課程(うち留学生1名、他に博士課程1名)の計19名である。特に、最後尾のオンタリオ工科大からの参加は国際原子力人材育成に相応しい参加となった。このため、実習中の講義では和文/英文テキストや投影資料を準備し、半ばバイリンガルの講義を実施した。交流会参加も含め指導に当たったのは、回により異なるが、本学原子力技術応用工学科教員4名、オンタリオ工科大学教員1名である(第10図)。



第10図 ラジオアイソトープ実習風景(福井大)

実習の成果は、イオン交換や溶媒抽出分離で得られた各同位元素の分配係数、放射線管理(測定)における測定結果とその評価結果、福島関連試料の測定結果、身に付けたセキュリティ対策や放射線防護、安全取扱に関する知識及び技術等としてレポートに表されている。

実習に対する参加者からの評価は、参加者の多くが加速器関係者だったことから、非密封ラジオアイソトープ施設における放射化学的使用は目新しく、おおむね好評であった。

(10) 山梨大学からの学生派遣(武田哲明)

山梨大学からは2年にわたって修士課程の学生を東北大学に5名、北海道大学に1名派遣させていただいた。学生の所属は機械システム工学専攻であるが、学内では特に原子力関連の専門的な知識、情報に触れることはほとんどない。彼らの感想を聞くと、原子力工学は機械工学と密接に関係している部分が少なくないことから、専門的な内容の講義を聴講し実習を経験することで原子力に対する意識が変化するようである。今回、実験演習の機会をご提供いただいた各大学の先生方と関係者の方々に感謝するとともに、派遣した学生たちは、いずれも、火力・原子力関連の企業に就職しており、学生にとっては大変有意義な実験演習であったものと考えられる。

(11) 茨城工業高等専門学校からの学生派遣(冨永学)

茨城工業高等専門学校は、平成19年度より始まった文部科学省の原子力人材育成事業に採択されて以来、本事業も含めて継続的に原子力人材育成に参加している。本校の取り組みの特徴は、本事業の実験実習に加えて、東京大学大学院工学研究科原子力専攻の協力により、毎年、専攻科1年生(大学の学部3年生に相当)に対し、独自のプログラムを設定し、インターンシップ(科目名:実務研修, 3単位, 8時間×15日)を必修科目として実施していることである。これまでに合計7名の学生が参加した。参加学生の中には、この事業がきっかけとなり、原子力関係の大学院や企業に就職した者もいる。一般学生においても、茨城高専の所在地ひたちなか市が原子力発祥の地“東海村”に隣接していることや近隣に原子力に関わる多くの研究機関や企業があるという地域性から、卒業・修了後の就職先として原子力産業への関心が高い。この意味において、本事業への参加は大変有意義な

ものであったと考えており、今後ともこの取り組みは継続していく予定である。

(12) 富山高等専門学校からの学生派遣(高田英治)

富山高等専門学校からは総計15名の学生が本事業の実習に参加した。富山高専の規則では実習期間が1週間以上でないと単位化が難しいことから、今回は単位化を見送った。しかし、いくつかの実習を組み合わせると1週間以上参加すれば単位化の可能性もあり、今後、検討したい。参加した全ての学生が、内容は高度だったが指導者の分かりやすく親切的な解説により、おおむね理解することができたとの感想を持っている。高専にはない装置を使用した実習を通じ、学生に貴重な学習をさせることができたと考えている。また、今回参加した専攻科生の一部は原子力系大学院の受験を予定しており、原子力分野における人材確保という点でも有意義な実習であったといえる。

(13) 秋田工業高等専門学校からの学生派遣(坂本文人)

秋田工業高等専門学校からは、平成23, 24年度に東京大学へ計4名、24年度に東北大学へ3名の学生派遣を行った。秋田高専においては本科及び専攻科において原子力工学に関連する講義は極めて少ない状態である。このような状況で、エンジニアの一般教養を教授する課程として、本事業の実習を含んだ原子力基礎コースと称した教育課程を、希望学生を対象に実施した。この事業の成果として、本校卒業生の原子力関連企業・研究所・大学への進路数が上昇し、学生への原子力工学に対する関心が高まってきている。今後は、大学における実習をインターンシップとして単位認定するなど、秋田高専におけるカリキュラムの一環に含めることを目指している。

3. まとめと今後の方向

本事業実行委員会にて平成25年度以降も実習ネットワークを継続することが確認された。実習テキスト、登録Webサイトはすべて英語版についても整備されており、今後はIAEAやICFA(International Committee for Future Accelerator)とも協議して、国際化も検討していきたい。

また、本活動は、原子力委員会「原子力人材の確保・育成に関する取組の推進について(見解)」(平成24年11月27日付)にも対応しており、今後更に活発化していきたい。

著者紹介



上坂 充(うえさか・みつる)

東京大学大学院原子力専攻
(専門分野/関心分野)先進小型加速器開発、可搬型ライナックの医療・原子力応用、人材育成



Tokyo PSAM 2013国際会議報告

リスク評価の活用で原子力安全は向上できるか？

関西電力(株) 成宮 祥介

PSAM(確率論的安全評価と管理)のトピカル会合が開催された。福島第一原子力発電所事故の当事国での会議であったこと、国内外のPRA(Probabilistic Risk Assessment)の専門家呼び、講演と意見交換を中心に行ったことから、トピカル会合としては多くの参加者を集めた。PRA技術の研究開発にかかる発表に加え、原子力安全へのリスクの適用と原子力リスクの理解促進に有意義な会合であった。

1. はじめに

2013年4月14日から18日まで、新宿のハイアットリージェンシー東京を会場に、Tokyo PSAM 2013が開催された。PSAMはProbabilistic Safety Assessment and Managementの略であり、その会議は「確率論的安全評価と管理に関する国際会議」と呼ばれている。1991年の第1回会合から20年以上の歴史を誇り、今までに11回を数え、2000年には大阪で、アジアで最初のPSAM5が開催されている。

本年2013年は定例PSAMの開催年ではないが、2011年3月の福島第一原子力発電所事故の当事国として、将来の原子力安全の向上に向けて、地震津波、低頻度高影響事象、アクシデントマネジメントなどに焦点を当てたトピカル会合を開催することになったものである。トピカル会合はPSAMの歴史において初の試みであり、我が国が世界の原子力安全に貢献できる良い機会であった。

2. 実施体制と会議概要

PSAMは国際PSAM理事会が開催するものであるが、開催国には国内組織委員会が設置される。今回の会合でも、名誉委員長には原子力委員会委員長の近藤駿介氏、実行委員会委員長には大阪大学の山口彰氏が、それぞれ就任した。

参加者は221名。国内から137名、海外からは24カ国、84名であった。海外の参加者のうち、米国、韓国、フランスでその過半数に至った。定例会合の間の年に開催していることから考えると福島第一原子力発電所事故の国での開催ということでもかなり関心が高かったことがうかがえる。プレスから7社が参加し、開かれた会合となった。

PSAM Topical Conference in Tokyo ; Can the nuclear safety be enhanced with risk informed management? : Yoshiyuki NARUMIYA.

(2013年 5月28日 受理)

3. 会議スケジュール

本会合は、14日夕方からのレセプション、15日から17日午後3時まで2日半の会合、そして18日のサイトツアーからなる。ただ、意見交換に重点を置くという開催方針から、15日は講演とパネル討論に割き、16日午前も招待講演にあてることで、参加者にリスク評価に関する熟考を深めてもらう機会を設けた。特に17日のクロージングセッションでは、会議の総括とともに、原子力安全に向けてのメッセージ発信に重点を置いた。

4. 第1日の内容

(1) オープニングプレナリーセッション

名誉委員長の近藤駿介氏と米国NRC委員であるGeorge Apostolakis氏から、それぞれ基調講演があった。

近藤氏は、「Lessons Learned from Fukushima for PSAM Community : Leadership and Responsibility to Assess and Inform Risk for Safety Assurance」と題して、福島第一原子力発電所事故後の処理のための研究開発への必要事項、並びに発電所外の汚染状況と放射線リスクに関するコミュニケーションの必要性を示した。我が国のPSAM関係者(PSAにかかわり、それを用いてマネジメントを行う人たち、と解釈)に対して、次の5つの事項を提言した。

- (1) 人と環境へのリスクを合理的に達成可能な限り低く保つために潜在的なハザードに対する活動を遂行する組織においては、安全の専門家がリーダーシップを発揮することが重要であることを認識すること。
- (2) 国際的な会合、対話の場へ参加し、運転経験/情報を国際的に共有し活用すること。
- (3) リスク情報を用いた方法により外部事象設計基準の定期的な再定義を行うこと。
- (4) 設計基準事象を超える事象に対する堅固な能力を有していることを確認すること。ただ、この目的は

深層防護の増強ではなく、深層防護とリスク洞察の熟考された組み合わせにより、合理的に可能な限りリスクを低くすることを確実にすることである。

- (5) 新しいSAM(シビアアクシデントマネジメント)の構想と、実施ガイドライン、緊急時運転手順を作成すること。それらは国際的に協調したものであること。

続いて、Apostolakis氏は、「U.S. NRC Response to Fukushima」と題して、福島第一原子力発電所事故後にNRCが打ち出した報告書や指示を時系列でまとめた後、対策の取り組み状況を紹介した。設計想定外部事象を超える場合の緩和策(FLEXアプローチ)、強化ベント、SFP(使用済燃料プール)強化、溢水・地震ハザードに関するウォークダウン、溢水ハザードの再評価、地震ハザードの再評価、緊急対策、などを詳説した。結論の一つに、教訓からの良好事例を国際間で共有することを挙げた。

(2) スペシャルプレナリーセッション

午前後半に、原子力規制委員会委員の更田豊志氏、東京電力の姉川尚史氏による基調講演が行われた。

更田氏は、「How PSA Results are to be Utilized in New Nuclear Regulation in Japan」と題して、PRAの有効性と限界を認識して活用していくこと、起因となる特別な事象のより効果的で効率的な対策を求め続けること、原子力の専門家と他分野の専門家が話し合い協力して、特別な起因事象のPRAの結果を規制へ反映することを述べた。加えて、原子力規制委員会は、原子力安全委員会が出していた報告書を基にした安全目標に、環境防護の観点からの目標を加えた安全目標を打ち出したことを紹介した。

姉川氏は、「Lessons Learned from Fukushima Daiichi Accident (Safety Measures and PSA Utilization)」と題して、東京電力におけるPRAの取り組み、津波による被害を紹介した。次の点を強調した。

- ・自然ハザードは大きな不確実さを持っている。
- ・クリフエッジ効果は外部事象に対して重要である。そこから安全強化策には、多様性・柔軟性が重要であることがわかる。
- ・安全対策の有効性はPRAで評価される。
- ・フィルタドベントや静的自己触媒式リコンバイナーなどの格納機能の対策は、コストベネフィットを考えずに適用されている。

(3) パネルディスカッション

午後は、リスク、建築、地震の各分野の第一線で活躍の著名な国内外の専門家を交えてパネル討論が行われた。安全の専門家がリスク評価の技術課題及び意思決定に関して2つのテーマについて議論した。

テーマ1「原子力安全とリスク評価について最も重要な技術課題は？世界の安全の専門家は何をすべきか。」

については、地震などの各専門分野の立場から、多くの重要な技術課題が提示された。東京大学のRobert Geller氏は3つの「Don'ts」として、「PRA 専門家はハザードマップを信じるな」「電力・規制は日本海沿岸の津波リスクを無視するな」「公衆・政府は絶対安全を求めるな」を示し、原子力発電所には確実にリスクがある、専門家はそれを洗い出し定量化することだ、と強調した。米国NRCのNathan Siu氏は、リスクを扱う専門家への注意事項として、仮定に配慮せよ、寄与因子を探そう、意思決定者が質問する手助けをしよう、真の全体像を忘れてはいけない、と指摘した。東京大学の岡本孝司氏は、安全関係者が考えるべき最も重要なことは、アクシデントマネジメントの向上において想定する事象に応じた対策を考えることであり、PRAは結果が数値として明示されることから、その扱いは慎重に注意深く真摯にすべき、と述べた。

テーマ2「リスクに関する政策、コミュニケーション、公衆の問題に直面した意思決定者、政策者、規制者に対して、安全の専門家は、いかにすれば良いリーダー／アドバイザーになれるか」については、PRA 専門家の人的あるいは組織としての挙動に関するディスカッションが行われた。東北電力の加藤功氏からは東日本大震災で震源に最も近い原子力発電所であった女川原子力発電所が13mという高さの津波に襲われたにもかかわらず安全停止を達成できたことの原因が、40年にわたる各世代が専門家に真摯に耳を傾け、想定津波の更新を継続してきたことにもあるのではないかと説明した。東京工業大学の尾本彰氏は、意思決定においてリーダー／アドバイザーが直面する困難として、差し迫っていない脅威には意思決定までに時間がかかること、複雑な問題の決定、意思決定グループから専門家は視野の狭さ故に外されること、などを挙げた上で、それを乗り越えるために、①個人の力量、②組織化、③予想しない事態への訓練、④悪い決定に関連する制限・偏りを理解すること、が要るとした。

5. 第2日の内容

(1) インバイテッドセッション

午前に行われた招待講演は、地震リスク、津波工学、リスクマネジメント、PRA適用の4つのテーマに関して、それぞれ2名の講演者が発表を行った。これら4つのテーマは連関性を持つ。起因となる事象として地震と津波の脅威をいかに定量評価し、それらに耐えるプラントをいかに設計・対策するか、そして、それらからのリスクをマネジメントし理解すること、さらにPRA手法の開発、という『原子力の安全を確立する基本的プロセス』に則っている。

セッション1では、地震リスクをテーマに、米国のPeter Yanev氏は、経験と事実を伴った新しいパラダイ

ムとして、ウォークダウンを伴った耐震評価が必要なこと、経験した人こそリスクを認識できること、経験を得るには地震後のサイトを何度も訪れること、現在の耐震設計には除外されてきた実データがあること、を挙げた。東京大学の高田毅士氏は、「安全の抜け穴」として、福島第一原子力発電所事故後、リスク概念が現在の議論、すなわちゼロリスク、もっとも厳しい仮定、公衆への説明責任のための厳格な規制、において不必要に強調されている、とした上で、安全の抜け穴の対策に「レジリエンス工学」を提唱した。

セッション2では、津波工学をテーマに、British Geological SurveyのDavid R. Tappin氏と東京大学の佐竹建治氏より講演があった。波源モデルのより機構論的アプローチが必要であること、確率論的な津波ハザードが重要であることが議論された。これからの検討事項としては、予測信頼性の向上、原子力発電所での対策へ新知見の時宜を得た反映、波源モデルに関する不確かさの低減に寄与するメカニズムの研究、が挙げられた。

セッション3は、リスクマネジメントと理解と題して、United NuclearのJason Chao氏とABS ConsultingのDavid H. Johnson氏から、福島事故の根本的な原因は津波ではなくSBOに対する対応が従来は不十分であったことだが、PRAの活用により新しい対策がとれること、そのためにはリスクに対する正しい理解が必要、との発表があった。

セッション4では、PRAの適用をテーマに、KAERIのJoo-Eong Yang氏は、韓国の新しい研究プログラムがマルチユニットでSFPも含んだ全プラントを範囲とした外的ハザードレベル3 PRAの実施を目指すものだ、と紹介した。NELの倉本氏は、日本原子力学会で整備した外的ハザードPRA標準は、個別ハザードに加えて自然ハザード、人為ハザードの複合事象も含めていくことを説明した。

(2) 技術発表セッション

本会合は、講演や意見交換に重点を置いたので通常のPSAMよりも研究発表数は少なかったが、2日目午後と3日目午前を使って、54件の発表が行われ活発な質疑が展開された。

6. テクニカルツアー

会合の翌日の4月18日のテクニカルツアーでは、東日本大震災の影響と対策の実態を見てもらうため、3箇所の視察コースが用意された。

福島第一原子力発電所ツアーには37名が参加し、発電所構内をバスで巡り、被災の状況が残っている箇所及び復旧の様子、更に事故対応の拠点となった免震重要棟内を視察した。福島第二原子力発電所ツアーには12名が参加し、地震発生から冷温停止を達成するまでの所員の対応等を説明した後、原子炉建屋の格納容器内部、復旧が

進んだ熱交換器建屋等の現場を視察した。また、東海第二原子力発電所ツアーには14名が参加し、津波の影響を受けた箇所および津波対策施設を中心に、取水口周り、D/G防護壁、新設蓄電池設備、電源車等の現場を視察した。ツアーに参加した国内外の研究者、技術者は事故の現場の専門家と直接に活発な意見交換が出来、実際の設備を直接見ることで、有意義なツアーとなった。

7. クロージングセッション

3日目の午後のクロージングセッションが行われた。最後に、山口実行委員長からOpening Plenary Session、及びSpecial Plenary Sessionをまとめた上で、「原子力利用の正当化には、リスク受容性が重要。受容可能なリスクと安全目標に関する関係者間の意見交換を継続すべき。今後は、リスク三重項(シナリオ、確率、影響)において、どう取り組むか?はシナリオで、どう対応するか?はレジリエンス(しなやかさ)で受け持つ。」などのメッセージが出され、会議は成功裏に終了した。これ以降のPRA関連の国際会議としては、2013年9月にPSA 2013(米国サウスカロライナ州Columbia)が、2014年にPSAM 12(米国Honolulu)が、2016年にPSAM 13(韓国Soul)が開催される予定である。

8. Tokyo PSAM 2013を終えて

2日半の会合と1日の発電所見学という、通常のPSAMに比して期間は若干短かったが、200名を超えるPRAの専門家が国内外から集い、真剣な議論が展開された。PRA活用とリスクマネジメントをいかに進めていくかについて、前向きな意見が多数提言されたと思う。リスクの定量的な評価については、PRA手法の開発だけでなく、適用に際して考慮すべき事項(不確かさ処理、リスクの理解、など)、取り組むべき課題がある。最後に、山口実行委員長がクロージングで示した「原子力安全は不確かさを伴いゼロリスクはあり得ない。公衆の信頼を得るためには、原子力リスクに立ち向かっていることを明言すべき。」を記載しておく。

最後になったが、本会合の準備、運営に携わっていただいた多くの方々の尽力があつてこそ、今回の成功が得られたことを特記したい。この集いの結末が、今後の原子力安全の向上に役立つことを期待したい。

本会合の発表資料は、下記リンク先の「Presentation Materials」からダウンロード頂けます。

(<http://www.psam2013.org/>)

著者紹介



成宮祥介(なるみや・よしゆき)

関西電力㈱

(専門分野/関心分野)原子力安全、確率論的リスク評価、規格基準など

談話室

緊急事態に備えるための危機管理

初代 YGN 代表 植松眞理マリアヌ

科学技術を産業レベルで利用していくうえで、共通して認識すべき危機管理の原則がある。平時においてどのような備えが必要か、緊急事態においてどのように対応すべきか。福島第一原子力発電所の事故による原子力災害によって、いままで真の意味での危機管理がなされてこなかったことが浮き彫りとなった。本稿では、この原子力災害を教訓に危機管理がどうあるべきかを論ずる。

平時の備え：感情論を排除する

このたびの原子力災害では、それまでの安全確保対策や防災訓練による経験の多くが生かされなかった。なぜか？住民に不安を抱かせるのでは、技術が批判対象になるのでは、などという感情論に基づいた過剰な危機により、為すべきことを成してこなかった結果である。これを安全神話という言葉で終わらせてはならない。

原子力施設において事故が発生した場合、事故拡大防止は事業者の責務である。原子力発電所では設計対応やアクシデントマネジメントの整備並びに必要な資機材の備蓄を進め、発電所内での事故収束を目指した対策を取っている。しかし、不測の事態が生じ過酷事故に至った場合には住民避難や発電所外からの応援要請・資機材調達等の必要性が生じる。このような危機に備えるには、シナリオを設けた原子力総合防災訓練だけでなく、シナリオのない訓練が必要である。過酷事故に至るような緊急事態をあえて想定し、今ある資機材と人材で事業者だけでどこまで対策を取れるか。行政機関、地方公共団体等はどのように連携を取るべきか。この戦略シミュレーションを、関与者全体を対象として行っておくことが必要である。これはウォーゲームと呼ばれるものだ。こうしたシミュレーションを繰り返すことで、突発的な危機に対する備えの拡充や、発災時に即時に効果的対策を講ずることが可能となる。

このたびの原子力災害は国民安全に係る重大事故であった。このような重大事故に際し何が足りなかったか？事故時には、①関係自治体等による地域住民保護、②事業者による事故収束活動及び情報提供、③国による関係自治体等に対する住民保護活動への協力、との役割分担が明確となっている。一方、重大事故が発生した場合、国が事業者に対し適切かつ効果的な応援措置を行うことで事故拡大防止や情報提供が迅速に進み、結果として国

民保護につながる。しかし、このたびの事故ではこの観点からの国の関与が明確ではなかった。大前提として国は国民を保護する責務を負う。このため国は事業者の行う事故拡大防止活動に対し適切な応援措置を講じなければならない。従って、このたびの事故を教訓に、具体的に以下が整備される必要がある。なおこれは、原子力災害だけではなく、大規模コンビナートや化学処理プラントでの大規模事故、当該プラントを標的とした外部人為事象などの、国民安全に係る重大事故に共通して必要な備えである。

- (1) 国が積極的に応援措置を行うべき、国民安全に係る重大事故の「判断基準」を整備する。
- (2) 重大事故発生時に、事業者による事故拡大防止措置が円滑かつ効率的に実施されることをめざした、「事業者から国への応援要請系統、応援措置に係る指揮権限並びに応援措置に係る責任所在」を明確にする。
- (3) 重大事故発生時に、事故拡大防止に必要な対策として、放射性物質や有害化学物質などを放出しなければならないような、環境汚染を伴う措置が必要となる場合がある。この際の「国への認可申請系統、国による認可系統並びに環境汚染を伴う措置の実施判断に係る責任所在」を明確にする。
- (4) 社会動乱やテロ等の外部人為事象に対し、国が積極的に事業者施設の防護活動を行うための「判断基準」と、国の防護活動に対する「国の指令系統、事業者の現場指揮権限並びに防護活動に係る責任所在」を明確にする。

まず(1)「重大事故の判断基準」に関し、内閣危機管理センターへの緊急参集を求める緊急事態として、大規模自然災害、重大事故(原子力災害を含む)、重大事件(原子力施設に対するテロ事件など)などが例示されている。しかし、緊急事態に対する国の応援措置の内容、実施判断、実施責任等についての具体的検討がなされていない。

(2)「事業者による国等への応援要請」に関し、このたびの事故に際し国は応援措置を行ったが、(2)が整備されていなかったことから、国による応援措置には、その場しのぎの対応や後手に回る対応がしばしば見られた。事故

拡大防止に有効に働かないケースもあった。加えて国による事業者の事故収束活動への直接介入が発生し、現場に不要な混乱が生じた。あらかじめ(2)が整備されていれば、事故発生初期段階(津波襲来後数時間以内)において、注水ラインの敷設、瓦れき撤去のための資機材及び重機の手配支援や重機運転者等の応援人員派遣、電源確保に係る電源車や遮断器等の手配支援、必要資機材の搬送支援など、より迅速な対応ができたと考えられる。

(3)「環境汚染を伴う措置」に関し、このたびの事故では、格納容器ベントや低濃度汚染水の海洋放出について、事業者から国へ報告し、国による最終了解を得たうえで実施するとの臨機の措置が取られた。しかし、(3)が整備されていなかったことから、後日、環境汚染を伴う措置の実施経緯や実施判断責任が問題となった。また、国民及び近隣諸国への通知方法や通知遅れが問題となった。

(4)「事業者施設の防護措置」については、施設が外部人為事象の標的となる、或いは、外部人為事象により事故が発生し、事故拡大防止のため国による積極的な施設防護活動が必要となった場合に、国と事業者の権限分担、現場指揮権限や責任所在が不明確であると、現場の指揮系統に混乱が生じ、事故拡大防止に致命的な遅れが生じる可能性がある。さらに今後、自衛隊法改正により原子力発電所の自衛隊による警護が可能となった場合、(4)を明確に整備することは必須である。

緊急事態に備え、国は以上に挙げたようなことを、国が行うべき防災として、全関係者の協力のもとに整備しなければならない。こうした危機管理は原子力施設だけでなく、国民安全に重大な影響を引き起こす可能性のある全ての施設を対象としなければならない。また、原子力技術を含め、産業技術を利用する施設において実効的に安全を確保するためには、国、行政機関、規制当局の見解だけでなく、事業者の運用経験や視点もまた不可欠であり、これらを中立的かつ国際的な基準を踏まえて適切に評価し反映していくことが必要である。

このたびの事故教訓を受け、事業者は各原子力施設において重機、電源車等を配備し、必要人材の確保に努め、重大事故発生時に際してもサイト内で資機材を確保できるよう準備を進めている。これに加え、大規模電力施設を有する事業者間で、緊急事態情報及び相互支援要請を迅速かつ確実に共有できる相互情報共有システム(同報通信システム)や、各プラントでの事故対策資機材の在庫状況を常時共有するシステム(共同在庫管理システム)を構築することが有効である。情報及び在庫状況を共有することで、事故発生プラントへの支援、必要機材が機能喪失した場合の代替機材や大量消耗品などの迅速な融通が可能となる。なお、搬送道路の損壊が発生した場合に備え、国等による応援搬送を要請するなどの対応をあらかじめ検討しておくことも必要である。

過酷事象が生じる確率をゼロにすることはできない。安全機能を拡充することは必要だ。一方で、忘れてはならないのは、緊急事態に実効的な対策が行えるよう備えることだ。すなわち、想定を超える事象が生じた時に、事故による影響を最小限に抑える対応を迅速に考案し、事故収束活動を確実に実行できるよう、事業者、行政機関、地方公共団体、規制当局、全ての関係者が平時において戦略考案訓練を怠らないことである。

緊急事態の対応：トップダウンを徹底する

緊急事態発生時には、即時に適切な対策を講じ、かつ実施判断を下すことが求められる。原子力災害対策特別措置法では原子力災害対策本部長(内閣総理大臣)に大きな権限を与えており、トップダウンの原則が存在する。重大な権限を持つということは、すなわち重責を担うことである。それゆえトップには、緊急事態を克服するという目的を達成するために各関係者(行政機関、地方公共団体、事業者ら)が示す対応手段の選択肢を、最適に組合せ選択する能力を持たねばならず、同時に選択及び実施に関する最終責任を負わなければならない。

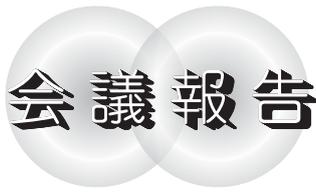
このたびの原子力災害では、放射性物質の放出を伴う措置について、首相、経済産業大臣の了承を得て実施することが決定され、その後しばらくして原子炉等規制法64条に基づく実施命令が下された。問題点は、放射性物質の放出を了承した時点において、地域住民への周知と避難が遅れたことにある。民間企業の情報や活動だけでは、避難への躊躇や避難判断の遅れが生じる危険性がある。このため国は、放射性物質の放出を伴う措置を了承した時点で、トップダウンの権限と責任をもって住民避難を徹底する必要があった。

おわりに

過日、福島第一発電所及び福島第二発電所の現場を訪れる機会を得た。発災当時、現場にて事故収束に携わられた方々には、過酷な環境と重責のなかで、投げ出すことなく、為すべきことを成したという強さを感じられた。このような表現を用いると、不謹慎であるのご指摘もあるが、事故収束に携わってきた事業者、グループ企業、メーカ、地元企業等の方々は、限られた資源と時間のなかで、有効な対策は何かを考え、困難な事態に責任を持って対処したことは確かに事実であり、誰もがなし得ることではない。敬意を表するのみである。

日本原子力学会は、中立的な原子力専門家の学術機関として、本稿に述べたような検討が必要と考えられる事項について、関係機関に対し積極的に提案し、情報提供をしていかなければならない。原子力発電所と生活を共にしてきてくださった地域の方々、原子力発電所に携わってこられた現場の方々の、多大な負担のうえに与えられたこの原子力災害という教訓を、正しく生かしてゆくことは原子力学会の責務である。

(2013年5月29日 記)



「2013年春の年会」倫理委員会セッション報告

技術倫理の理念と実践—レジリエンス・エンジニアリングの視点から—

2013年3月27日(近畿大学 東大阪キャンパス)

東京電力福島第一原子力発電所事故(東電福島事故)を防げなかった原子力専門家としての反省と、今後の責務については、学会員がしっかりと認識する必要がある。深層防護の理解と実践における不十分さや、社会からは原子力ムラの閉そく性や想定外として責任を逃れているとみられている実態がある。

本セッションでは、技術士会の原子力・放射線部会が東電福島事故後に取り組んできた内容と今後の活動の方向性を紹介した。また、最近脚光を浴びているレジリエンス・エンジニアリングの考え方などを参考に、新しい原子力安全の論理と、技術倫理とのかかわりについて、原子力界の実態を紹介するとともに議論した。

1. 3.11以降、技術士として行動し考えたこと

桑江良明氏(日本技術士会 原子力・放射線部会長)より、以下の紹介があった。

事故直後から、国の「避難住民の一時帰宅」プロジェクトや、「富岡町災害復興ビジョン策定委員会」への参加など、主に現場で被災者に寄り添う活動を行ってきた。こうした活動に対し技術士会内の他部会からは、好意的な声がある一方で、起きてしまったことへの後追い対応でありもっと本質的議論をすべき、原子力技術を進めてきた当事者としての反省が見えない、などの厳しい指摘もあると紹介された。

さらに技術士の「倫理的責任」に関する部会内での議論が紹介され、今後も「倫理」を掲げるのであれば、各人自らが立場に応じた事故に対する「責任」を自覚しそれを反省につなげ、今度こそ、言葉の倫理を行動に反映させ、「事故を未然に防ぐ」という本来の目的達成のための「技術者倫理」を確立する必要があるとして、締めくくった。

2. 技術倫理の理念と実践—レジリエンス・エンジニアリングの視点から—

北村正晴倫理委員(東北大学名誉教授, テムス研究所)より、以下の紹介があった。

冒頭、学会員が遵守することを期待されている倫理規程が結果的に、空文化していたと言わざるを得ないとし、理念や規程を共有化することに加えて、それらを空文化させずに実効性を持たせるための工夫と努力(実装化)が必要ではないかと、問題提起があった。

実装化の新たな方策として、近年、安全学分野で注目を集めているレジリエンス・エンジニアリング(RE: Resilience Engineering)を基盤とすることへの提案があった。

レジリエンスとは、変化や外乱の前、途中、後でシステムが自分の機能を調整し、それによってシステムが想

定内、想定外、いずれの状況に対しても必要な動作を維持することができる能力である。特に、「システムが破局的な状態に陥ることなく動作を継続できること(動的な概念)」という考え方が重要であるとうたっている。

システムは、以下のような特性を有しているとしている。

- a. システムも環境も常に変化している
- b. したがって、システムの完全な情報を獲得することはできないので、限定された範囲での意思決定や、効率性と完全性のトレードオフのもとで判断する
- c. システムにとっての重要な課題は、変化する条件下でも動作を継続することであり、安全最優先ではない。ただし、安全は継続のための重要な要件である
- d. 生産性向上やコスト低減などの圧力は常に存在し、失敗傾向を招く
- e. 組織・部署・分野によっては、かなり高い安全性が要求される

また、システムをレジリエントにするためには、特に次の4つの能力を重視し活性化することが重要としている。

- ①対処(Respond)：今直ちに何をすべきか知っている
- ②監視(Monitor)：事態の進行を何に注意を払って監視すべきか知っている
- ③予測(Anticipate)：さらにこの先どのような脅威と好機が出現しうるか知っている
- ④学習(Learn)：過去の成功と失敗双方からどんな教訓を引き出すのか知っている

民間事故調が言及している「ある種の空気が形成されてしまうと異議を言い出せない」という特性の影響可能性を否定できるのか。どのような対策をとっても心配だという市民とどう対話するのか。上述の特性a~eの理解と、4つの能力の醸成が、これらの解決方策につながるものと考えている。

会場からは、REは抽象的な感じを受けるが、PSA(確率論的安全評価)などと合わせて目に見える形でやらないと、わかりにくいのではないかと意見があった。REは、まだまだ発展段階のものではあるが、理念を実践につなぐ体系的な方法論として有効に機能するものと考えられる。技術倫理や安全文化について、「実装化」の重要性認識が高まり、具体的な実装化方法が開発されることを期待している。

(原子力安全システム研究所・作田 博, (倫理委員会幹事)

2013年6月10日 記)

最近のATOMOS 関連記事のお知らせ(編集委員会)

- 1) 日本原子力学会誌, Vol.54, No.11, 721-726(2012).
- 2) 日本原子力学会誌, Vol.55, No.5, 256-257(2013).

新刊紹介 原子力報道—5つの失敗を検証する

柴田鉄治著, 200 p. (2013.1), 東京電機大学出版局,
(定価2,400円 本体)ISBN 978-4-501-62800-0 C3030

ずっと以前から新聞などマスメディアと原子力の関係がよく問題になるが、その議論のために最適の本が出版された。著者は東大の理学部を出て、朝日新聞社に入り、原子力の研究開発が始まりかけた東海村に近い水戸支局を皮切りに、福島支局でも勤務し、論説委員、科学部長、社会部長、出版局長などを歴任し、現在は日本ジャーナリスト会議代表委員、日本科学ジャーナリスト会議理事であり、わが国の科学ジャーナリズムの頂点にある1人である。ただ科学部の記者よりも社会部での活動が長かったので、そのセンスも強い。これまでも『原発国民世論』などの著書があるが、この度、東京電力福島第一原発事故を受けて、「5つの失敗を検証する」というサブタイトルの付いた本書を出版した。

本文は、「はじめに」と「おわりに」との間に10章がある。「はじめに」は、「日本の科学報道の産みの親は原子力だった!」というサブタイトルがあり、福島第一原発事故は100%人災であり、第一に電力と政府の責任であるが、社会へのチェック機能という点でメディアにも責任がなかったかと問いかけている。第1章「呪われた出生」では長崎と広島に投下された

原爆に関する報道、とくに占領軍に規制されていた報道の紹介である。第2章から第7章までは、わが国の原子力の開発から利用までの歴史を中心に述べている。バラ色の1950~60年代、反対派が登場した70年代、米国と旧ソ連の原発事故を受けて揺れ動いた国民の意識、そしてJCOの臨界事故と省庁再編と続く。そして第8章は福島原発事故のこと、第9章は「四つの事故調の結果を再検証する」である。これらを通して、メディアは以下の5つの失敗をしたという。①原子力の特異性を強調しなかったこと。②推進側より反対派に厳しかったこと。③メディアの原発批判は「原子力ムラ」には届かず、空振りになったこと。④メディアが原子力行政をチェックできなかったこと。⑤福島原発事故に際し、メディアとして、「何が起こったか」に肉薄せず、発表に依存したこと。次に第10章「これから原発をどうするか」では、憲法論議と同様に原発についても新聞論調が2極分化していることを明示し、最後に国民投票を呼び掛けている。「おわりに」では「報道にはいつも検証が必要だ!」との反省を示している。

紹介者自身、内容に対していくつか反論もあるが、それでも本会会員に熟読をお勧めしたい重要な本であると信じる。

(大阪科学技術センター・木村逸郎)



目安箱への投書のご案内

日本原子力学会 編集委員会

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

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

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

学会誌、論文誌の編集活動への皆様の積極的なご参加をお願いいたします。

*個々の査読コメント等に関するお問い合わせ、ご意見等については受け付けかねますので、ご了承ください。

新刊紹介

チェルノブイリ原子力発電 所事故—コンクリート構造物に 及ぼした影響

A.F.Milovanov, V.V.Solomonov, Zh.M.Larionova 著,
青柳征夫訳, 86 p. (2013.5), 技報堂出版,
(定価2,000円+税), ISBN 978-4-7655-1804-8

2012年12月10日に訪問したウクライナのチェルノブイリ原子力発電所では、今も1号機から4号機に約3,000人が働いている。事故を起こした4号機は、これからアーチと呼ばれる高さ110mのトラス構造の覆いを被せ、遠隔操作のクレーンを使って、建屋の解体と溶融固化した燃料の回収という廃炉の作業に入る。高放射線環境で重作業ができるロボットも開発中で、福島第一原子力発電所の廃炉作業と共通項目も多い。福島第一原子力発電所より25年前に大事故を起こしたチェルノブイリ原子力発電所の事故の教訓と研究成果を学び、福島の復興に役立てることは極めて重要である。

その意を強くして帰国したところ、青柳氏からこの本が問もなく出版されることをお聞きし、カバー写真の提供するとともに、お送りいただいた本を拝読した。

本書は、1986年、チェルノブイリ原子力発電所において起こった事故の激しさをコンクリートという構造物に及ぼした影響から記述されている。巨大な原子炉建屋が強烈な威力を持った爆発によって著しく破壊された。原子炉上の屋根および北側の壁が完全に崩壊した。原子炉建屋を取り巻く建屋の上層階は廃虚と化した。機械室の屋根は損傷を受けた。核燃料のかなりの部分(約200トン)は、建物の内部空間に収拾のつかないほどに飛散した。

本書では鉄筋コンクリート床版に及ぼす溶岩の影響が詳細

に検討されている。温度と放射線の相互作用がコンクリートと鉄筋の性質の変化ならびにそのもたらす結果についての資料も提示されている。高熱によるコンクリートの溶融侵食に関する実験データの分析も行われている。燃料は3種類の状態になっている。すなわち、棒状や板状の純粋な燃料、放射能を持った燃料の粉塵およびガラス化した核燃料を含む物質(溶岩)である。爆発の中心部での事故による高温条件(1,400~1,600℃の範囲)において溶融した金属。コンクリートやその他の材料と燃料の破片との相互作用と混合の結果、生成された溶岩は、高温状態で原子炉下の区画の4, 3, 2, 1階の鉄筋コンクリート床版の上に流れ込んだ。

アカデミー会員 V.A.レラコフ博士は、「チェルノブイリの教訓はけっして忘れてはならない。すべての教訓は人民のために役立てなければならない。これらの教訓に如何なる多くの代価を支払ったとしても多すぎることはない。」と述べられている。コンクリート工学の観点から見ると、事故時の蒸気圧を鉄筋コンクリート(RC)床版の設計に考慮していたこと、蛇紋岩耐熱コンクリートがコンクリートの高温侵食を遅らせたこと、コンクリートの溶解や吸熱が大量の熱を溶岩状燃料含有物から奪ったこと、コンクリート中に埋設された鋼材が高温で溶解して耐力を失っても冷却後には大部分の耐力を取り戻すことなど、有用な示唆が含まれている。本書の溶融燃料とコンクリート構造物に関する知見を、福島第一原子力発電所の事故の解明とコアキャッチャーなどの過酷事故対策研究に活用すべきと考える。

(北海道大学・奈良林 直)

