

インタビュー

1 田原総一郎が語りつくした原発の今、そして未来



「臆病風をふかせるな！
姿を見せて語れ！」

聞き手 澤田哲生

時論

6 電力自主で世界に誇れるストレステストを

ストレステストは、電力会社が自らの発電所の潜在的な脆弱性を把握し、継続的に安全性を向上させることが目的だ。
班目春樹

8 日本のエネルギーの今後と産業復興

“再稼働反対”ならば“電力料金値上げ賛成”を覚悟する必要がある。
金子祥三

10 原子力/エネルギーの未来は国民との対話によって決まる

エネルギー問題は専門家だけではなく、すべての市民が考え、みんなで話し合っていくてはならない。
枝廣淳子

解説

29 エネルギー政策における国民的議論とは何だったのか

政府が主催したエネルギー政策に関する討論型世論調査(DP)とは何だったのか。DPの第三者検証委員会の一員としてこれに関わった筆者が、その結果を読み解く。
八木絵香

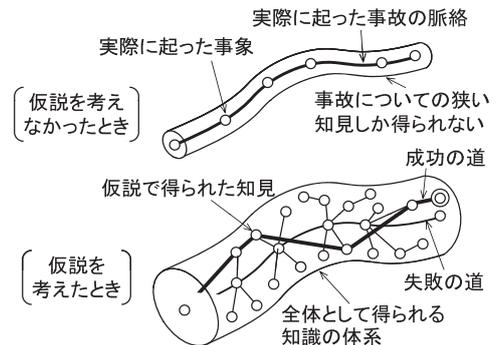
35 津波を起因とした確率論的リスク評価

産業界が検討した津波PRA評価手法のうち、「事故シーケンス評価」の項目を中心に解説する。
小原教弘, 長谷川圭子, 黒岩克也

報告

24 福島原発事故が教えるもの—政府事故調委員長を終えて

事態が進展していく過程には、多くの選択肢が登場する。そのうち事故は、失敗に至る道筋を選択した結果として起こる。別の選択をしていれば、成功に至る道筋がありえた可能性がある。複線的な思考により、事故をとりまく全体像が見えてくる。
畑村洋太郎



第3図 事故で起こった事象に仮説を加えて全体像を作ると豊かな知識体系ができる

人材問題を考える2 座談会

18 どうしたら若い人たちに、原子力の魅力を伝えられるか

原子力政策の先行きは不透明であるが、将来を見据えた上で、若い人たちにどうしたら、原子力の魅力を伝えられるか。そのためには何をしたらいいのか。若手の4人に、この問題について語ってもらった。

勝又尚貴, 関根将史, 竹生諭司, 城 隆久, 工藤和彦(司会)



表紙の絵(洋画) しらかわごうせっけい 「白川郷雪景」 制作者 黒沢信男

【制作者より】 岐阜県最北部、白川郷荻町の合掌造り民家の雪景色を描いた。平成7年に「白川郷五箇山の合掌造り集落」として世界遺産に登録された地。この地方はまた、日本有数の豪雪地帯だ。厳しい自然の環境の中で生まれる風景美。魅了されて筆を執る三月半ばの取材。

第43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

40 福島における除染・処分コスト —単位工事コスト係数法による除染・ 処理・貯蔵処分費用の試算

福島地域の修復にはいくら必要か。クリーンアップ分科会の協力を得て試算した結果、除染と中間貯蔵施設、管理型処分場にかかる費用は6～9兆円と推定された。

石倉 武, 藤田玲子

報告

53 IAEA 原子力エネルギーマネジ メントスクール日本開催—アジアにお ける原子力人材育成の中核をめざして



上坂 充 ほか

講演

57 放射性廃棄物地層処分の実施に むけて進むべき道

高レベル放射性廃棄物を地層処分する候補地が決まらない。実現するために、何をどのように考えればよいのか。

杉山 修

談話室

61 直接処分に適した燃料の開発を 進めよう

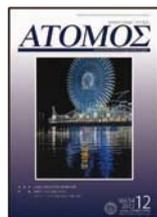
使用済燃料の直接処分方法として、岩石型燃料(ROX)の活用を提案する。その概念は、すでに一定の技術的見通しが得られているものだ。

岩村公道

12月号表紙絵の制作者名の訂正

2012年12月号に掲載いたしました表紙絵の制作者名に誤りがありました。

お詫びするとともに、制作者名を訂正致します。



表紙の絵(洋画)「横浜夕景15・観覧車」
制作者 小林理恵

12 NEWS

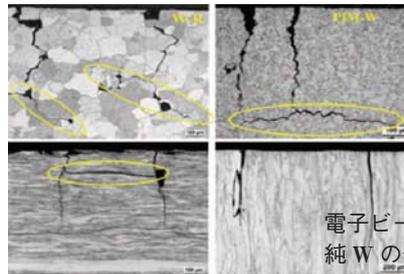
- 原子力政策めぐる各党の公約まとまる
- 規制委が新安全基準作り開始
- 災害対策指針でヨウ素剤投与基準
- 原子力防災会議が発足
- 東電の原子力改革監視委が初会合
- もんじゅ作業部会が初会合
- 意識調査で「原子力は不要」が微増
- 原子力委が新大綱策定会議を廃止
- 日立がホライズン社買収
- 海外ニュース

連載講座 これからの原子力システムを 担う新原子力材料(第5回)

48 V および W 合金

高融点遷移金属であるバナジウムとタングステンに核融合炉の第一壁やダイバータ等の極限環境下で利用しようとする研究開発が行われている。課題は環境脆化と粒界脆化だ。

長坂琢也, 栗下裕明



電子ビーム熱衝撃負荷による
純Wの表面変化

アトモス時評

63 原子力安全の論理について深い議論を 福島事故以降のアトモスの記事を、つぶさに読 んでみた。

滝 順一

47 From Editors

65 会告 平成25・26年度代議員選挙 投票のお願い

67 会報 原子力関係会議案内、主催行事、人事公募、 新入会一覧、寄贈図書一覧、英文論文誌(Vol.50, No.1) 目次、主要会務、編集後記、編集関係者一覧

INTERVIEW

田原総一郎が語りつくした原発の今、そして未来 臆病風をふかせるな！ 姿を見せて語れ！



30年前に『原子力戦争』を著した田原総一郎。長年にわたって原子力界を見守り、その内情をえぐり出してきた。3・11以降の社会の変遷と原子力ムラの実態を胸に、民主党政権末期のエネルギー政策、悪者にされた原子力ムラと原発反対派の混沌、東電の責任、福島再生の問題点に鋭く切り込む。そして、最後に原子力の専門家の責任を問いかける。

聞き手 澤田哲生(本誌)

民主党のエネルギー政策

澤田 昨年9月、民主党政権は新エネルギー戦略を発表しています。まず、これについて田原さんの批判を。

田原 民主党は昨年の9月14日に2030年代に原発をゼロにするという政策を発表しました。あれには矛盾がいっぱいあると思います。一番の矛盾は原発をゼロにするためには、再生可能エネルギーが3割以上できないといけない。僕は、これは前提となる3パターンのときから逆だと思っていました。つまり、2030年原発ゼロ、原発15%、原発20~25%ではなくて、再生可能エネルギーがどのくらいできるかによって原発を決めるべきです。

澤田 その通りだと私も思います。

田原 再生可能エネルギーが、海のものと山のものともわからないわけですから、これによって原発のパーセンテージを決めるなんて、前提自体に矛盾ありだと思っていました。ところが、2030年代に原発ゼロと決めた。一体、再生可能エネルギーはどうなるんだと、14日の発表の後すぐに、民主党の当事者に聞きました。そうすると今の再生可能エネルギーを2030年までに3倍にするそうです。3倍というのは、一見なんかリアリティーがありそうですが、ちょっと待ってくれと、今の10%のうち8.5%が水力です。太陽とか風とか、あるいは地熱とか、全部1%少々に過ぎません。再生可能エネルギー全体を3倍にするということは、太陽、風、地熱をあわせて今の20倍にするということです。20倍にできる可能

性があるのかと。そうしたらそれはそのために努力するんだという。

それで、できないとわかったらどうするんだと聞いたら、それは今から10年後ぐらいにもう1回見直しをするということをしていました。

澤田 10年の停滞とは無責任きわまりない。それでエネルギー政策といえるのか。議論の進め方にも問題ありですね。

田原 2030年に原発をゼロという話は、僕は当事者たちに何度も話を聞いていますが、当初は15%にしようと考えていた。

澤田 橋川さんの「原発のたたみ方」ですか。

田原 というのは、再生可能エネルギー35%というのは無理だろうと。原発が20から25%になると3.11前の状況と大差ない。原発依存度も減らしていこうというんだから、20から25は選択できない。要するに2030年には、原発15%でいこうと思っていた。

澤田 なんか最初に結論ありき。しかも拙い。

田原 ところが討論型世論調査とか、それから幾つかの地域でやった意見聴取会では、原発ゼロが非常に多かった。これは民主党が予想しているよりもはるかに多かった。これを世論と受けとめたのかもしれない。

澤田 あれは制度設計と運用が欺瞞に満ちている。

田原 討論型調査や聴取会に恐らく影響されたというのがひとつ。それに加えて、民主党内から原発15%では選挙に落選するという声が非常に強まって……。

澤田 どのみち菅政権時の対応の大失敗で、民主の信頼は回復不可能でしょう。

田原 まあ、いずれにしても長い討論をした結果、14日の発表はあんなだった。国民にいろいろ調査する前にまず国会で審議や、討論をやらねばいけません。そこをやらぬでにおいて、あのような方式は拙速です。ああいうことをやるのが民主的だというふうに思っているんだと思いますが、まず国会でやるべきです。国会が黒川委員会に依頼して、金を出し、労力や時間も使って調査報告書を出したわけだから、これを議論しなければいけないのに全くやっていない。これが大変問題です。

澤田 14日の発表後、さまざまな矛盾が露呈されてきました。

田原 「もんじゅ」つまり高速増殖炉については、研究の一定の期限が来たら、やめると発表しました。これは、福井県に話をしたのか、福井県が了承しているのかと民主党の幹部に聞いたたら、していないと言うのです。こういうのは福井県に頼むときには、三拝九拝して頼んだのに、今全く福井県に内緒でいいのか、それは大変な問題だ。もう一つ聞きたいと。青森県の問題ですね。

澤田 私はあのゴタゴタの最中に青森で地域の皆さんと話しましたが、事前に何も説明がなかったと怒りが沸騰していました。特に六ヶ所村の住人の方が。

田原 青森の六ヶ所村は本当に2030年代原発ゼロをOKしているのかと。僕はこんなことを決めたら、六ヶ所村、あるいは青森県と言ってもいい、は、恐らく今後一切使用済核燃料を預からないと言うと思う。それだけではない。今、預かっている使用済核燃料を日本中の原発に返すと言ってきたらどうするんだと。それが大問題で、今青森県とその折衝をしているという。折衝して、青森がOKになったらいいんだけど、折衝中に発表するというのはおかしいじゃないか。こういう点は幾つか言いました。矛盾だらけだと思いました。そうしたら、発表したすぐ後に、枝野経産大臣が青森へ飛んだ。青森へ飛んで、新しい原発はつくりたくない、40年で全部廃炉にするという宣言をしたけれども、大間の原発と島根の原

発はつくといいました。これも矛盾しているじゃないかと聞いたら、これは青森県に使用済核燃料を返すとか、使用済核燃料を預からないと言ってほしくないための妥協であると、こういうふうに言っていました。でもこれは多分、うまくいかなかったのだと思います。そのため結局、19日閣議決定をすると言っていたのに、決定はしたけれども単なる文書で、参考文書としての閣議決定だということになりました。だから、9月14日の発表は世論迎合だと。9月19日は改めて、現実を考えてこうせざるを得なかったのだと私はとらえています。

悪者の原子力村と反対派

澤田 事故後、原子力界は叩かれています。

田原 今原子力村には厳しい批判が集中している。反対派は、澤田さんなんかは大悪人だと見ている。つまり原発の専門家というのは一部の反対派を除くと皆原子力村に入ってしまう。だから原子力村の人間を入れないで原子力の議論をしようとする、素人論議になってしまう。ここに一番問題がある。つまり原子力規制委員会は委員長が原子力村だということで、規制庁長官には、元警視総監が就きました。警視総監は原発の素人です。原子力村には問題がたくさんあると思うけれども、原子力村は悪いということで原発に関わっていない人間を選ぶと素人集団の論議になってしまう。そういう問題があると思います。

澤田 そこを誰も巧く説明できていない。マネージできていない。

田原 僕は東電、あるいは「もんじゅ」、あるいは六ヶ所村の責任者たちに言いたいものだけれども、事故が起きてから原発というのは日本の悪者になった。

澤田 大メディアの誘導も影響大です。

田原 一番問題は、朝日と毎日と東京新聞が、これ全部反原発です。だから僕は今言った人たちに、これらの新聞の論説の責任者に説明に行ったのかと聞くと、行ってないのです。大江健三郎さんや鎌田慧さんはいいとして、やっぱり朝日や毎日や東京新聞の影響力は大きだ。だから東電のトップにも、2回でも3回でも10回でも30回でも、これらの新聞に行って、議論をするところをやるべきだと言った。ところが1回も行っていない。

澤田 原発の専門家たちも対応する術をもっていない。

田原 原発の推進派も非常に問題がある。僕の番組に、推進派は京都大学の山名さんしか出てくれない。後は皆黙っている。本当にけしからん。

澤田 私を呼んでくれれば…(笑)

田原 ともかく、だから、今出ないところを見ると、やっぱり現役時代にインチキしていたんじゃないか、そういうふうな勘ぐりたくなる。そこが問題です。もっとも推進派って実は中心になる人の人数は多くないですね。



澤田 反対派は？あそこも村だと思えますが。

田原 反対派も、毎週金曜日のデモやっている人たちだって、多くの人が原発は怖い怖いと言っているだけです。それは事故起こすんだから怖いに決まっているけれども、原発にかわるエネルギーと言ったって、いつごろ再生可能エネルギーができるかわかりません。だから本当は推進派でなくても、原発についてもう少し客観的に考えている人が出てきて発言しなくてははいけない。

澤田 それは物理学者をはじめ科学者の責任が大きい。原子力村のルーツは、かなりの部分が物理村にある。

田原 この雑誌『ATOMOS』にも問題ある。これはいわば内輪で言っているだけ。こんなの皆読まないよ。もっとチャレンジが必要だよ。努力というのは結果なんだよ。

澤田 うー、そう来ますか(笑)。ところで毎週官邸に集まる反対派はどういう人達ですか。

田原 反原発には二通りあります。一つは、哲学的に反対している人。日本は広島と長崎に原爆を落とされた。原爆を投下された国が、原子力の平和利用なんてことで原発やっていいのか、おかしいじゃないかという哲学的反対です。倫理といてもいい。そういう人たちは少々今の生活水準が落ちたっていいじゃないかと。これは澤田さんと討論された小出さんも言っています。だから哲学的反対というのがあります。朝日新聞もどちらかといったら哲学的反対です。それと危険だから反対する人。これは別です。原発は事故が起きたから危険だと。

澤田 その危険派というのは、ニューウエーブと考えていいんですか。実際の過酷事故を目のあたりにした。

田原 リアリティがあるわけです。だから事故が起きるまでは反対ではなかった人です。もっと言えば、こんな事故が起きるとは思わなかった。事故が起きて危険だとわかった。僕もそういうところがあるんです。原発の事故は起きるかもしれないと思っていました。実際に起きたらこんなに東電や政府がだらしないとは思いませんでした。真っ暗になって計器も全部見えなくなり使い物にならなくなった。大混乱が起きましたね。だけど、僕らはひそかに地震が起きて津波が起きて、計器は、あるいは自家発電装置とか、そういうものが稼働するのだろうと思っていました。そこが全部アウトになるなんてことは、想像していなかった。そういう意味で黒川委員会が人災だと言うのは、割に当たっていると思います。だけど、黒川委員会は人災を問題だと言っていますが、原発自体が危険で人類がこれを使うのは無理だとは言っていない。

澤田 そこをわれわれ専門家は、いまこそキチンと丁寧にかつ粘り強く説明しないとイケない。

田原 原発は危険だと言う人たちの多くは、やめるのはいいという意見です。やめたときに今の生活がやっていけるのかという問題になっていくわけね。それは再生

可能エネルギーがいつどのくらいから出来るのかということが裏表なわけです。これに対して、反対派は、飯田哲也なんて典型的でそんなことはたやすくできると言えます。飯田哲也さんができると言っているのだからできるんじゃないかと僕も思ったりするのね。

澤田 田原さんご自身は、原発あってもいいんじゃないかというスタンスだと思っていました。世間もそう見えていますよ。

田原 僕は後者です。原発は危険だと思っています。哲学的反対じゃない。

澤田 原発反対なんですか。

田原 反対ではないけれども、このままでは今後どんどん原発をつくるわけにはいかなと思う。だからそのために最初に言ったことだけれども、やっぱり黒川委員会とそれから畑村委員会の調査報告を国会でもっと徹底的に討論してほしいわけ。徹底的に討論する中で、当然ながらマスメディアもそれに絡んで議論をやるでしょう。そこをやらないと反対も賛成もないんです。

澤田 いずれにしても、畑村委員会にしても黒川委員会にしる、まだまだ道半ばということですね。

田原 彼らは最終報告を出しているのだから。それを国会が、議員たちがだらしないから。

澤田 最終報告を出しているけれども、このままでは何にもならないというようなところがある訳ですね。

田原 だってあれは原発についていいか悪いかではなくて、事故が起きた、事故がこんな大きくなった原因は何だということを調べているだけですからね。

一番危険なのは、原発について論議することが一つのタブーになっているんです。

澤田 そうですね。

田原 論議自身がね。

澤田 僕はだから今回、非常にいい機会だと思うわけです。今までは村の中だけでやっていたのが、そうでは済まなくなった。だからこそ村の人たちもこぞって表に出て、自己の考えを主張しなければいけなくなったのですが、実際には何もやらない。これは日本人の国民性でこの村だけじゃないような気がします。

田原 それは竹島の問題、尖閣の問題など、日本は今までなれ合いでやってきました。日本人はあいまいが好き国民ですが、近代文明というのはあいまいでは済まされないものがあります。近代文明は危険と共存しているのだと思います。飛行機にしたって、新幹線にしたって、車にしても。全部危険と共存している。原発もそう、危険との共存の範
原発は危険との共存の範



疇に入るか入らないかというのは今、つまり原発に哲学的理由で反対している人達は入らないと言っているんです。

東京電力について

澤田 東京電力についてはどう見えていますか。

田原 東京電力を僕は相当理解をしているつもりで、「朝まで生テレビ!」で何度も原発をやっています。1980年代には、那須さんという東京電力の社長は「原発というのは田原さん危ないんです。危険な原発をいかに安全に運転するか。これが東京電力の役割なんです」と明言していた。危険なものだという認識を那須さんは持っていたし、平岩さんも持っていた。

澤田 ではなぜその認識が廃れてしまったのか。

田原 はっきり言うと、福島の大葉とか浪江とか大熊とか楢葉、あの辺の人たちを説得するには絶対安全と言うしかOKが出なかった。これは東電から聞いています。本当は99%安全だと。1%は問題ありだと。それは近代文明ってみんなそういうものですが、悪いけれども絶対安全と言ってくれと町のほうから頼まれて、絶対安全と言った。絶対安全なものだから避難訓練もできない。あるいは何か改良しようと思っても、絶対安全なものになぜ改良しなけりゃいけないんだと、こういう話になってしまって、改良もできない、避難訓練もできない。だから一種の自縄自縛になってしまった。だから、そういう意味では、東電かわいそうだと思っているんです。

澤田 安全神話の発祥の経緯を多くの人々が誤解している。ただ、田原さんの言い方だと東電擁護にも聞こえますが。

田原 そうでもない。今回の事故の背景には、やはり東電自体に企業だという意識が強過ぎたんじゃないかという面があります。

澤田 企業意識が強過ぎた。どういうことですか、それは。

田原 それは、千何百年前の津波をそんなものまで想定したら企業はやっていけないよという意識があったと

思う。だっていつか、事業仕分けのときに、蓮舫さんが200年に一度、400年に一度の台風の対策を考えなければいけないのかと言いましたが、東電も企業だという意識が強くてそこまで想定しなかった。

近藤 今回のような事故までは想定しないでよろしいというのは規制している役所が決めているのですが。

田原 それはやはり東電の責任です。つまり事故が起きたら東電だけでは済まない。日本全体の問題になるという意識がなかった。

福島県の再生は

澤田 今後3.11以降の話をどうすればいいのか、どこにどう手をつければいいのかと思いますか。特に福島からいまだに避難を強いられている多くの方々に。そして避難はしてないが不安な状況で暮らし続けている皆さんに。

田原 一番大きいのは、放射能の問題です。つまり放射能の強さが1ミリシーベルト以上は危険なのかという問題。一方では100ミリシーベルト以下は危険かどうか分からないというデータもある。これは全く割れていませんね。政府は1ミリシーベルト以上は危ないという立場をとっている。専門家の中には、いや100ミリシーベルト以下は分からないが、100ミリシーベルト以上だと5%がんになる可能性が増えるという。ここが極めてあいまいなのです。マスコミは安全と言うよりは危険かもしれないのはオーバーに危険と言ったほうが良いという立場でみんな危険だ危険だと言っている。この放射能の健康影響が最大の問題。除染も皆それに関連してくる。

澤田 5ミリシーベルトというのが1ミリになったり、時の担当大臣細野さんがブレまくっていた。あれでは住民は不安になるし、反対派は煽る。

田原 そこなんです。例えば、原子力工学の専門家あるいは医師は、年間20ミリシーベルト以下はOKなんです。それをもっと丁寧に粘り強く語っていかないと。

澤田 これは言い方が難しいのですが、人体影響という点からするとおっしゃったようによくわからないのです。

田原 だからそこが人によって違うのです。20ミリシーベルト以下はOKだと言う人と、そんなこと言われていないという人がいるのです。

澤田 ICRPが出した一つのおすすめは、事故からの復旧期においては“1~20ミリシーベルト/年”という枠のなかで状況に応じて参考レベルを設定し防護するということです。

田原 国民の一番不安はこの放射能です。一体、何ミリシーベルト以上は危ないのかと。何ミリシーベルト以下ならいいのかと。ここが極めてあいまいだから





ら、これがこの日本の最大の問題だと思います。

澤田 おっしゃるとおりです。あいまいであるということが、ほぼそのまま不安につながっていくんですね。

田原 もっと言うと、学者に2説あるんです。1ミリシーベルトを超えると危ないと。本当はゼロがいいのだという学者と、いやそんなことはない。100ミリシーベルト以下は実はわからないのだと。ではどのぐらいなら安全なのか。福島の人々にはこの問題がとても大きい。福島に住み続けられるのか。福島で農業ができるかどうかの問題はすべてここなんです。ここがあいまいだからみんな困る。なぜ政府がその議論を広範に丁寧に行わないのかというのが問題です。

澤田 政府はなぜやらないのでしょうか。

田原 怖いんでしょう。触りたくない。政府にも2説あって、除染なんか余りやらなくていいよという人もいます。つまり政府の幹部です。一方、もっとやらなければいけないという人達と2つある。これも2つに分かれている。

澤田 そうすると国民というか、特に汚染された地域の人たちはほとんど置き去り状態という許せない状況で

すね。これを改善するにはどうすればいいんですか。民主党の政治体制では無理だということですか。

田原 一番問題は、放射能はどれだけ危険でどれだけ安全かということがはっきりしないと、福島問題はこれ全くけりがつかない。つまり、5ミリシーベルト以上は危ないのだったらなかなか帰れませんよね。今、毎年測っていますが、事故から1年半ぐらい経ったところで、大体2ミリシーベルト前後が多かったと聞いています。けれども、政府は2ミリだと危ないと言っているんだよね。

澤田 目標は1ミリへとやっぱり回帰していくところがある。私は結局、それは“逃げ”だと思いますよ。放射線の疫学の人の方がもっと発言しないと。

田原 そう。だから新聞なんか2ミリシーベルトもあると書く。

澤田 2ミリシーベルトなら、復旧期のレベルとしてはそう酷くもないのではないかと言いたいところですが。

田原 だから本当は新聞紙上で専門家同士が論議をしないとイケない。世論ってメディアがつくっているんだから。メディアを巻き込むしかありません。

澤田 最後に、原子力村つまり日本原子力学会に対してひとこと。

田原 原子力村にはストリート・ファイターがいないんだね。臆病風をふかせて内に閉じこもっている。もっと表に出てきて姿を見せて語る勇気を持てと。

澤田 勇気を持って堂々と発言しろ行動しろと。マスクももっとうまくつきあっていけと。利用しろと。

田原 そうだね。まあ、利用というより、まず勇気を持って発言しろと。余りにも臆病過ぎるんだよ。

(2012年9月24日実施、

取材・企画：澤田哲生、近藤吉明、

取材協力：齋藤 隆)



電力自主で世界に誇れるストレステストを



班目 春樹(まだらめ・はるき)

東京大学 名誉教授
1972年に東京大学大学院修士課程修了後、東京芝浦電気(現東芝)総合研究所に勤務。1975年から東京大学講師、同助教授を経て、1990年から同教授。2010年4月に東京大学を退職し、2012年9月まで原子力安全委員会委員長を務めた。

1. はじめに

東京電力福島第一発電所の事故を経て、原子力規制委員会が発足し、原子力安全規制行政も大きく変わろうとしている。これまでの規制行政が抱えていた問題を考えれば、これは当然の方向であるが、大きく変わらなければならないのは規制行政だけではない。規制行政以上に変革が必要なのは、原子力安全確保に向けた事業者、すなわち電力会社の姿勢である。原子力発電所の安全確保の一義的責任は電力会社にある。規制行政がどうであろうと、電力会社は原子力施設の安全確保に努めなければならないのはもちろん、国民への説明責任も果たさなければならない。その安全活動が規制当局にのみ顔を向けたものであってはならない。国民への説明も、規制当局のお墨付きを錦の御旗のように振りかざすのではなく、自らの言葉で語り、皆に納得してもらおうよう、原子力事業者として努力しなければならない。

2. ストレステストの現状

原子力規制委員会の田中俊一委員長は、停止中の発電所の再稼働の是非の判断に直接的にはストレステストを用いないと述べている。ところでこのストレステストは、福島第一発電所の事故を踏まえた既設の発電所の安全性に関する総合的評価の実施を平成23年7月に原子力安全委員会が原子力安全・保安院に求めたことから始まり、定期検査で停止中の発電所の運転再開の可否を判断するための1次評価と全発電所を対象とする2次評価の実施が決まったものである。これを受け、保安院は電力会社にその実施と結果の報告を求めた。その後、1次評価については平成24年8月末までに30の号機に関する電力会社の評価結果が保安院に報告された。うち大飯3、4号機については原子力安全委員会における確認も行われ、両号機は平成24年7月に発電を開始した。一方、2次評価については電力会社からの報告は全くなされず、宙に浮いた状態となっている。

このストレステストは、WENRA(西欧原子力規制者連合)が事故直後の3月23日にその骨格を提案したもの

で、まず欧州で導入されている。その後IAEAも、原子力安全行動計画の中で加盟国に対し、過酷な自然災害に対する防護についての評価を迅速に実施することを求めた。そこで日本政府はIAEAに対し、我が国のストレステストの手法と計画や、電力会社の評価結果の保安院の審査について、レビューを要請している。これを受けてIAEAは平成24年1月にレビューを実施し、報告書を取りまとめた。その際、保安院はIAEAのレビューチームに対し、ストレステストは2次評価までの確認が終わった時点で完了と見なされること、すなわち1次評価と2次評価はセットであると説明している。2次評価までのストレステストの実施は、我が国の国際社会との約束とも言える。

我が国では、このストレステストの1次評価結果が定期検査で停止中の発電所の運転再開の可否の判断基準としたが、ストレステストをこのような運転再開の条件としている国にはない。そもそもストレステストは、電力会社が自らの発電所の潜在的な脆弱性を把握し、継続的に安全性を向上させることが目的であり、繰り返し実施すべきものである。ストレステストを運転再開の可否の判断基準とすることに法的根拠があるわけでもない。したがって、新たな安全基準を法制化し、それに基づいて運転再開の可否を判断する際に、ストレステスト結果はあくまで参考資料だとする田中委員長の発言は当然である。

3. 規制側の動きと電力の対応

原子力規制委員会設置法案が国会で可決され、原子炉等規制法の改正も今後段階的に施行されることとなった。改正炉規法では、新たに「発電用原子炉施設の維持」という条文が設けられ、電力会社は発電用原子炉施設を原子力規制委員会規則で定める技術上の基準に適合するように維持することが義務付けられた。さらに「発電用原子炉施設の安全性の向上のための評価」も義務付けられ、電力会社はその評価を実施して、その結果等を規制委員会に届け出なければならなくなった。この中で重大

事故(シビアアクシデント)の発生に至る可能性についても自ら評価するよう求められている。そのほかにも様々な改正が行われているが、具体的な基準等は規制委員会規則として今後定められることになっている。このため、現在、規制委員会では発電用軽水型原子炉の新安全基準に関する検討チームを組織し、新たな基準骨子案の策定を開始している。炉規法改正に伴い規制委員会規則として新たに定めなければならない技術上の基準は膨大なものであり、規制委員会が平成25年7月の公布・施行に向けた作業に集中せざるを得ないことは理解できる。

ただ、規制委員会が定める基準は、電力会社が最低限守らなければならないものである。基準策定のための作業は、電力会社が自らの発電所の有する余裕や潜在的な脆弱性を把握し、安全性を向上させるためのプロセスの一環であることを意識して実施するストレステストとは趣旨が違ふ。そこで電力会社に望みたいのは、この規制委員会の検討とは別に独自に実施するストレステストである。改正炉規法によれば、安全性向上のための評価が規制委員会規則で定める方法に適合していないと認めるときは、その届け出をした電力会社に対し、調査もしくは分析又は評定の方法を変更することを命ずることができるとなっている。電力会社には、規制委員会の基準策定に先立ってストレステストを実施し、基準に適合していないとされての再実施という二度手間を避けたいという気持ちがあるのかもしれない。しかしそれでは原子力施設の安全確保についての国民への説明を含む一義的責任を果たす姿勢に欠けると言わざるを得ない。

4. 電力に望むストレステスト

ここで電力会社に望みたいのは、2次評価まで含めたストレステストである。その目的は、あくまで自らの発電所の安全性向上策を見出すことであり、そのためには過度な保守性を排除した現実的な評価でなければならない。評価に過度な保守性が含まれていると、その部分に目が向くことで安全性への過信を生じ、新たな安全神話を生みかねない。また、現実的な評価として初めて安全性向上策が見出せる。

これまで提出された1次評価を見ると、必ずしも現実的とは言えない割り切りが行われている。たとえば、想定を超える地震への裕度評価でクリティカルとなる配電用機器(開閉装置)の機能限界として使用された許容値は、それを調べる試験装置の能力に制限があったため、確認が可能だった上限値を保守的に採用したもので、本当の意味での許容値ではない。過度な保守性を含み、現実的な評価とは言にくい。現実的な評価に少しでも近付けるべく、機器の機能限界を調べること、必要に応じてクリティカルな機器の耐震性を上げることなどが検討されるべきである。

一方で、事故の発生シナリオや事故回避の成功パスに

ついては、1次評価でも重要度の高いものが選ばれているものの、発電所の立地条件や型式等に応じた安全性向上策の検討に資することができるよう、2次評価でもっと多様な検討があって然るべきである。外部電源には期待しないことを前提としているが、それ以外の機器に関しても万一機能しないとしたらどうなるのか、一通りのチェックを行うことは、発電所の運転管理に従事する者にとって、個々の機器の管理が全体としての安全確保にどれだけ寄与するか理解するのに役立つ。そうした上で、発電所の現場からも日々のウォークダウン(現場への立ち入りや聞き取り等による現場実態調査)を踏まえて安全性向上策の提案が出てくれば理想的である。万一、発電所までの道が崖崩れで塞がれたら何が起きるのか、安全性向上対策は、そんな素朴な疑問から出発してこそ本物である。

炉心損傷後の対策の評価が1次評価に含まれなかったことも、2次評価までの実施が求められる理由の一つである。防災指針の見直しは規制委員会で重点的に実施されると思われるが、防災対策は本来、放射性物質の大量放出の可能性をどこまで低くできるかという考察と同時に考えるべきものである。可能性の大小は防災対策にも反映すべきで、その考察なしに防災対策の整備を考えることは難しいと思われる。

なお、ストレステストの2次評価に向けた注意点については、大飯3、4号機について原子力安全委員会がまとめた文書¹⁾も参照されたい。

5. ストレステストの評価への学協会の参画

ストレステストでは発電所の潜在的な脆弱性が明らかにされるので、細かい点まで公開することが妥当か、慎重な判断を要する。当面は規制委員会がストレステスト結果の提出を求めないなら、そのことも考慮して、学協会に委員会を設け、電力会社の自主的ストレステストの評価を行うのはどうだろうか。既に法改正により安全性の向上のための評価は義務付けられている。規制委員会が基準を定めるのに先行して、ストレステストの実施や評価が実施されることで、基準も実効性のあるものとなる。何もせずに規制委員会の基準策定を待つのではなく、電力会社が自主努力をしていること、一義的責任を果たしていることを示すべきではないだろうか。そうすることこそが、原子力利用への信頼を取り戻す道、国際社会への約束を果たす道ではないかと考える。

(2012年11月7日 記)

— 参考資料 —

- 1) <http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/anzen/shidai/genan2012/genan015/siryol.pdf>



日本のエネルギーの今後と産業復興



金子 祥三(かねこ・しょうぞう)

東京大学生産技術研究所 特任教授
 東京大学工学部機械工学科卒業後、三菱重工業㈱に入社し、主として火力発電プラントの設計および研究開発に従事。2001年取締役技師長で退社。その後㈱クリーンコールパワー研究所でIGCC 実証機の設計・建設・運転に従事。2008年9月より現職。

1. 今後のエネルギーの動向

2011年3月11日の東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故により、原子力比率について①0%、②15%、③20~25%の3案で検討がなされ、日本のエネルギー情勢は大きく変わろうとしている。2010年のエネルギー基本計画では、2030年に原子力比率50%とする計画であったが、今後、原子力比率を下げることになれば、この減少分を火力と再生可能エネルギーでカバーしなければならない。つまり、3案のうち、いずれの案でも火力発電の負担が増えることになる。原子力の比率低下と火力の増加が直接的に与える影響は、燃料費の急増に伴う発電コストの上昇である。さらにはCO₂の発生量増加により地球温暖化対策の逆行が懸念される。

さらに、電力料金の大幅な値上げとなれば、国際競争力が損なわれ、製造業の海外移転による国内の雇用喪失・貿易収支の赤字・税収減の三重苦となり“負のスパイラル”に陥る危険がある。この原子力の稼働停止による輸入燃料費の大幅増加は、いま日本が直面する最大の経済的課題といえる。

2. 火力発電の増加と燃料費の急増

日本のエネルギー自給率はわずか4%であり先進国の中で最低の値である。そのため、燃料を輸入するため外貨を稼ぐ必要がある。1989年頃から2002年まで電力消費量が40%増えていたにもかかわらず、日本の輸入燃料費はほぼ横ばいであった。これは、エネルギーベストミックスの方針のもと、原子力の比率増加と石炭火力増加により燃料費の増加が抑えられてきたことによる。今回、原子力が停止し、さらには天然ガス価格の高騰もあり一挙に輸入燃料費が増加し、たちまち国際収支も赤字に転落した。

火力や原子力の発電原価は、固定費(設備費)、変動費(燃料費、人件費、保守費)、その他で構成され、この合計値は原子力、石炭、天然ガスともにほぼ同レベルである。原子力の場合、設備費は高いが燃料費は安い、逆に天然ガス火力は、設備費は安く、燃料費が高くなっている。そのため、原子力から天然ガス火力に切り替えた途

端に年度予算は数千億円の大赤字に転落することが起きうる。しかも、必死に天然ガスを買集める必要のある日本は、米国や欧州よりもはるかに高い値段で天然ガスを購入しているのが現状である。2012年3月期において原発を抱える電力会社は、燃料費急増に伴う赤字で財務状況は急速に悪化している。特に、原子力比率が50%を超えていた関西電力、九州電力、四国電力ほど影響が大きく、電力料金の値上げは必至である。原子力の稼働停止がこのまま続けば、輸入燃料費は年間約3兆円増加し、世帯当たり年間6万円の電力料金の値上げにつながる。つまり、原子力の再稼働と電力料金値上げは直結した問題であり、年間3兆円分の新たな電力料金収入がなければ、電力会社は十分な燃料を確保できないことになる。

連日、原子力の再稼働反対デモが行われているが“再稼働反対”ということは“電力料金値上げ賛成”と同義語であることをどれだけの人が理解しているであろうか。しっかりした安全基準を確立し、合格した原子力を1日も早く運転再開することが肝要であり、再稼働が遅れば遅れるほど日本経済が疲弊することになる。原発停止による火力発電の急増(燃料費増加)に対する対策としては、火力発電所の効率向上が唯一の解決策である。火力発電の効率向上により、燃料消費量削減による燃料費用増加防止、CO₂発生量削減が見込め、地球温暖化対策としても有効である。

3. 高効率発電技術の歴史と今後

発電技術は、①第1世代(ボイラ-蒸気タービン)、②第2世代(ガスタービン-蒸気タービン)、③第3世代(燃料電池-ガスタービン-蒸気タービン)に分類できる。

第1世代である従来の石炭火力は、石炭を微粉炭機で粉碎しボイラで燃焼させ、その熱で蒸気を発生し、蒸気タービンを回して発電する、蒸気タービンの時代である。高効率化のため蒸気温度・蒸気圧力の高温・高圧化が進められ約100年にわたり火力発電を支えてきたが、蒸気温度が600℃を超え、材料の制約からほぼ技術的には限界にきている。さらなる効率化には、これ以上に蒸

気温度を上げるため新材料の開発が必要となる。新材料開発には10万時間のクリーブ強度試験等の長期間の時間を要するため、現実的には厳しい。また、仮に温度上昇が実現できたとしても効率上昇幅は小さく、飽和に近づいたため“労多くして功少ない”状態となる。

第2世代の発電技術は、ガス燃料を燃焼させガスタービンを回し、さらにその排熱で蒸気を発生させ蒸気タービンを回して発電するのでダブル複合発電と呼ばれる。日本のガスタービン技術は後発であったが、1984年頃世界に先駆けて100万kW級の大容量複合発電を商用化した。さらに、世界で初めて1,600℃級のガスタービンを実用化し、世界をリードしつつある。一方、固体である石炭を使ったダブル複合発電がIGCCである。IGCCとはIntegrated coal Gasification Combined Cycleの略で、「石炭ガス化複合発電」と称されるものである。IGCCでは、石炭ガス化炉で石炭を高温でガス燃料に変換しダブル複合発電を行う。IGCCの技術は1990年代に欧米が先行して開発が進み、米国に2基、欧州に2基合計4基の30万kW級のプラントが運転を開始した。しかし、これらのIGCCに使用されている石炭ガス化炉は1980年代に開発された化学プラント用の技術をそのまま転用したため、効率が低い上に信頼性が低く、トラブル続発であった。そのために、商用機の建設は未だ遅々として進んでいない。一方、日本では純国産技術による開発を、パイロットプラント、実証プラントという着実なステップで進め、途中で幾多の困難を克服して、現在では完全に欧米を凌駕して世界でトップの状態にある。2008年に運転を開始した福島県勿来にある25万kWのIGCC実証プラントは、環境面、性能面ともに高い評価を受け、後は1日も早く商用機の建設が待たれる状態となっている。

さらなる火力発電の高効率化としてダブル複合発電に燃料電池(特に高温で作動する固体酸化物型燃料電池SOFC:Solid Oxide Fuel Cell)をトッピングしたトリプル複合発電が第3世代の発電技術である。SOFCにより発電を行い、その1,000℃の廃熱でガスタービンを回し、その後の600℃の廃熱で蒸気タービンを回す、3重の発電により燃料の持つエネルギーを最大限電力に変換できる技術である。SOFCの最大の特徴は、電解質中の移動イオンが酸素イオンのため、燃料としては燃えるものなら何でもよく、化石燃料中の炭素Cも水素Hもともに有効で電気出力に転換させることである。トリプル複合発電の効率は、天然ガスで65%(高位発熱量基準、送電端)である。石炭でもIGCCにSOFCをトッピングすることで効率55%(IGFC: Integrated coal Gasification Fuel Cell)が期待できる。2012年から国家プロジェクトも始まりこの分野においても日本が世界をリードしている。

4. 産業の復興を図るための課題と打ち手

これまで述べたように、輸入燃料費の急増は国際貿易

収支の悪化、電力料金の値上げにつながり、国内産業、特に製造業に致命的な影響を与える危険性がある。10年前とは異なり、現在では韓国や中国が日本の得意とする輸出製品の強力なライバルとなっている。現在、韓国の電力料金は日本の約半分であり、これ以上、日本の電力料金が上昇すると日本の製造業、特に中小企業は危機的な状況に陥る。では、産業復興を図るため今後のあるべきエネルギー政策とは何なのか。エネルギー源は石炭、天然ガス、原子力、再生可能エネルギーをバランスよく混合するのが望ましい。火力発電では高効率化、原子力では安全性の向上、再生可能エネルギーでは経済性の向上が最大の課題である。そこで、太陽光などの再生可能エネルギーにとどまらず、世界最新鋭の高効率火力発電にもFIT(Feed-in Tariffs: 固定価格買取制度)に準ずる支援措置を実施する、コジェネ15%目標実現のために小型火力にも積極的な支援を実施するといった支援策が望まれる。しかし、LNG船で遅れをとった造船業のように、かつての栄光に浸ってはいは、中国、韓国に後れをとってしまう。過去の歴史を繰り返さぬよう、明確な国家戦略のもと官民一体となり取り組んでいく必要がある。

さらに、注意を喚起したいのは“原子力が動かなければ火力も潰れる”という関係にあるということである。原子力が稼働しないために電力会社が大赤字になり、大幅な電力料金値上げになると、電力会社の信用力低下、給与カット、研究費カットなどで高効率最新鋭の火力を建設する積極的な前向きな会社などなくなってしまう。そうすると新しく建設される火力は旧態依然たる低効率で中国やインド製品を多用した安かろう悪かろうの低コスト至上主義のものになってしまう。これは、製造業の海外脱出や国内雇用喪失をさらに加速させることになる。最後に、震災後の福島県の再生と復興に世界最新鋭の石炭火力IGCCの建設を提案したい。世界最高効率で世界で最も環境にやさしい最新鋭の石炭火力が福島に完成すれば福島復興のシンボルとなるのみならず、原子力の停止で負のスパイラルに陥りつつある電力会社に勇気と元気を与え、日本の産業復興にも貢献することになる。

5. 結言

原子力が今後減少する場合は、火力発電の比重はますます大きくなる。大規模火力発電の意義は徹底した高効率化とクリーン化にあり、現在の第2世代のダブル複合発電を確立し、さらに第3世代のトリプル複合発電の開発実用化を急ぐ必要がある。このトリプル複合発電こそ貴重な化石燃料の有効利用と地球温暖化防止を図る究極の解決策である。そのため、韓国や中国の厳しい追い上げの中、国のしっかりした戦略と戦術で強力な支援策を確立してブレイクスルーを図っていくべきである。

(2012年11月30日 記)



原子力/エネルギーの未来は国民との対話によって決まる



枝廣 淳子(えだひろ・じゅんこ)

環境ジャーナリスト/幸せ経済社会研究所所長
京都府出身。本当の幸せを経済や社会との関わり
で学び、考え、対話する研究会を開催。2011年か
ら経産省総合エネルギー調査会基本問題委員会委員。
主な著書に「GDP 追求型成長から幸せ創造
へ」、「わが家のエネルギー自給作戦」、「不都合な
真実」、ほか多数。(http://www.ishes.org)

3.11の東日本大震災と東京電力福島第一原発の事故が私たちに残した教訓は数多くあり、人や組織によってもさまざまだと思います。しかし、日本の国・社会として、私たち一人一人に突きつけられた教訓と課題の一つは、「エネルギーという大事なことについては、専門家だけではなく、すべての市民がそれぞれ考え、みんなで話し合っていかななくてはならない」ということではないでしょうか。

●みんなのエネルギー・環境会議

このような問題意識から、3.11前からエネルギーに関する情報発信や話し合いを続けてきたメンバーが中心となって、2011年7月に「みんなのエネルギー・環境会議」を設立しました。

電力をはじめとするエネルギーは、あらゆる産業や企業の活動はもちろん、私たち一人一人の暮らしを支える「活力」ですが、これまでは「電気代を払っていけば何の心配もなく好きなだけ電気を使っていい」と、「コンセンツのあちら側」のことは気にしていなかった人がほとんどでした。しかし、3.11を受けて、自分たちの使う電力の量やその作り方に対する意識と関心を持ち、「自分たちのエネルギーについて知りたい」「考えたい」「話したい」「変えていきたい」と思う人が増えました。

日本のこれまでのエネルギー政策は、経済産業省を中心とする国が業界と調整をしながら作ってきました。その政策策定過程には、審議会やパブリックコメントなど、主に専門家を対象とした部分的なヒヤリングの機会があっても、広く私たち生活者の考えや意思に耳を傾け、政策に反映することはありませんでした。

生活者が自分たちでこの国のエネルギーについて考える際にまず知る必要のある「現状はどうか」「このままだとどうなるのか」「代替案をとるとどうなるのか」「それぞれのコストや負担額はどのような前提で計算されているのか」などの国民の素朴な疑問に対して、政策策定者や研究者たちがデータや予測、計算などの情報を開示

し、質問に答え、議論を深めるオープンな場も、これまでありませんでした。

3.11後も、国の「エネルギー政策の作り方」は変わっていないのではないかと。その方向性や政策が、今を生きる私たち一人一人はもとより、私たちの子ども・孫をはじめとする未来世代に大きな影響を与えるにもかかわらず、また、3.11を受けて国民の間にエネルギーに対する不安と関心が高まっているにもかかわらず、以前と同じく、国と産業界の調整だけで作ろうとしているのではないかと。

そうではなく、エネルギー政策を作るプロセスそのものを国民に開かれた場にしていきたいと思います。「みんなのエネルギー・環境会議」は、原発推進/反原発・脱原発、自然エネルギーの今後等について、「こうあるべき」という特定のスタンスを打ち出すためのものではありません。それぞれの観点についての賛成・反対を含め、さまざまな立場や考え方の人々がオープンに、日本の産業や暮らしを支えるエネルギーの今後について、考え、語り、議論し、対話する場を作っていくことをめざして立ち上げたものです。

「みんなのエネルギー・環境会議」がユニークなのは、原発推進派も反/脱原発派も、自然エネルギー推進派も自然エネルギー懐疑派も、一緒に発起人になっていることです。考えが違って(違うからこそ)、みんなでオープンにエネルギーについて話し、聞き、対話していこうという場なのです。

エネルギーを考えるにしても、事故などのリスクや環境への影響、コスト、技術開発力、世界の地政学的状況その他、いろいろな要因が絡んできます。どの要因を重く考えるかは、人や立場によって違いますが、少なくとも、「どこまでは共通認識となっていて、どこは考えが違ってくるのか」「それぞれの考えの根拠や基準はどのようなものなのか」をひとつずつ一緒に確かめていくことはできます。

こうして「みんなのエネルギー・環境会議」は、茅野で

の設立会議を皮切りに、この1年半の間に3回の会議を主催したほか、京都、札幌、広島、佐賀、福井での地域版「みんなのエネルギー・環境会議」のお手伝いをしてきました。毎回150~300人ほどの人々が会場で対話・議論に参加するほか、毎回数千~2万人ほどがインターネットの生中継を視聴する形で参加しています。原子力や再生可能エネルギーのテーマはほぼ毎回取り上げられており、ほかにもどのように制度を作っていくか、国民的議論を進めていくかといったテーマについて、考えを共有・確認する作業を続けています。

手弁当での運営のため、なかなか大変なこともあります。エネルギー政策を民主的に作っていくと同時に、エネルギーの議論を通じて日本の民主主義の質を高めていく「エネルギー・デモクラシー」の場が小さいながらもできたことをうれしく思っています。

●柏崎市「これからのエネルギーと柏崎の未来を考える」シンポジウム

また、原発立地地域での推進と反対の分断を超えるお手伝いもしています。これまで多くの市民と議論し、柏崎など立地地域の推進・反対の方々と話をする中で強く感じるのは、絶望的といつてよいほどの国民の「不信」、そして「分断・対立」です。

特に原発立地地域には「二重の分断」と呼ぶべき構造があります。地元では原発推進派と反対派が誘致開始以来40年以上にわたって反目し合っていることも稀ではなく、それでも地域社会でともに生きていくための方便として、「地元では原発やエネルギーについては一切話をしない」という状況になっています。これはとても悲しい分断であり、エネルギーや原発など自分たちにとって大事な話を地域で安心して話し合えるようになってほしいと思います。

この立地地域内での「賛成/反対」の分断に加えて、「消費地と生産地」という大きな分断・対立もあります。3.11以降、特にメディアの「生産地はこれまでこんなよい思いをしてきた」という報道のせいもあり、消費地では「生産地は交付金をもらっているのだから」という目で生産地を見る人も少なくありません。生産地はそれに対して「自分たちは国策として引き受けてきたのに」「そんなことをいうなら、電気を止めてやろうか」と反発します。これも悲しく、実りがなければ、日本の社会を分断し、本当の問題解決を阻んでしまう対立が生じています。

少しでもそういった分断・対立の構造を変えていけな

い進派・反対派の方々と、「原発についてのスタンスは違っても、柏崎の未来を幸せにしたいという思いは同じ」という共通の土台を頼りに、何度も話し合いを重ねる作業を事務局としてお手伝いしてきました。

そして9月末に推進派・反対派の方々が初めて一堂に会し、それぞれの歴史と思いとこれからをみんなで語る、というシンポジウムを開催することができました。参加した市民からも「こういう場は初めてでよかった」「賛成派も反対派も冷静に議論できることを知ってうれしかった」「是非このような場を続けてほしい」と、とても好意的な評価をもらい、今後の継続と展開に期待をしているところです。

●核廃棄物の最終処分

同じく9月には日本学術会議から提言が出されましたが、今後核廃棄物の最終処分をどうするか、という問題もクローズアップされてくることでしょう。

これまでの高レベル放射性廃棄物の最終処分に関わる政策策定プロセスは、主に推進派の専門家の研究の取りまとめを根拠に進めてきており、国民の議論を喚起していません。処分方法の“技術的信頼性”以前に、その政策のつくり方の“プロセス的信頼性”が欠如していることが問題です。

また、これまでは「合意形成」の働きかけの対象が「候補地」に限定されており、「社会全体の合意形成が必要である」という認識が薄いのではないかと考えています。「地域は社会全体から孤立しているから、その地域との相対でやりとりすればよい」という時代ではありません。社会全体の合意があってこそ、その地域も受け入れられるのです。

時間はかかりますが、社会全体に対する働きかけが必要です。原発や最終処分について国民的議論を反映しながら政策をつくっているドイツやスウェーデンでも、20年、30年という年月をかけて、丁寧な説明と合意形成を進めてきた結果の現在がある、と言います。

好むと好まざるとにかかわらず、原子力やエネルギーの未来は国民との対話によって決まる時代がやってきました。「これまでどおり」のやり方では物事が進められなくなっています。どうやって新しい対話や社会的合意、共創のプロセスをつくっていくのか、そのときに求められる作法やスキル、場はどのようなものなのか——これからの考えつつ、いろいろと試行錯誤しながら、少しずつでも社会をよい方向に動かしていければ、と願っています。

(2012年11月15日 記)



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

原子力政策めぐる各党の公約まとまる

12月16日に行われる衆議院選挙に向けて、原子力政策をめぐる各党の公約がまとまった。民主党は2030年代に原発稼働ゼロを可能とするようあらゆる政策資源を投入するという目標を提示。原発の運転は40年までとし、原子力規制委員会の安全確認を得たもののみ再稼働する、原発の新設・増設は行わないという3原則を掲げた。

自民党は「現在及び後世の国民生活に責任のもてるエネルギー戦略の確立」が目標で、いかなる事態・状況においても社会・経済活動に支障がないよう、エネルギー需給の安定に万全を期すと主張。すべての原発について、3年以内に再稼働の可否の結論を出すとともに、安

全性については原子力規制委員会による専門的判断に委ねるとしている。

公明党は原発の新規着工を認めず、原発の40年運転制限性を厳格に適用し、可能な限りすみやかに原発ゼロをめざすとした。日本維新の会は脱原発依存体制の構築を掲げ、原発政策のメカニズム・ルールを変えると公約。日本未来の党は遅くとも10年以内に完全廃炉の道筋を定めるとした。キャッチコピーは卒原発。みんなの党は2020年代に原発ゼロを掲げ、共産党と即時原発ゼロ、社民党は原発再稼働を認めず、順次廃炉にしていくとしている。

(原子力学会編集委員会)

規制委が新安全基準作り開始、ストレステストは「参考」

原子力規制委員会は10月25日、シビアアクシデント対策に関する基準を含めた原子力発電所の新たな安全基準の策定に向け、有識者らによる具体的検討を開始した。改正原子炉等規制法に基づき、旧原子力安全委員会による安全設計審査指針類に替わり、法制化された「原子力規制委員会規則」として来年7月までに施行する。

同日に初会合を開いた更田豊志委員をリーダーとする検討チームでは、福島第一発電所事故が設計上の想定(設計基準)を上回る津波の来襲で起きたことを踏まえ、設計基準の対象範囲を拡大した上で、規制委員会規則の中身となる「基準骨子案」を年明けまでに取りまとめることとしている。検討に際しては自然現象だけでなく、意図的な航空機の衝突、テロリズム等も含めた考慮すべき外部事象を抽出した上で、それらに対する設計基準の考え方を整理し、設計基準を超える外部事象に対する頑健性

などシビアアクシデント対策の基本方針、安全評価も含め、記載すべき要件を取りまとめる。

検討チームの初回会合ではまず、考慮すべき外部事象を抽出。それらを自然現象と外部人為事象に分類して分けた上で検討した。これら外部事象には旧安全委員会の設計指針に記載されなかった火山影響、竜巻、生物学的影響、森林火災、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害、意図的な航空機衝突なども挙げられた。

会議終了後、記者団の質問に対し更田委員は、旧安全規制体制で進められてきたストレステストに関して「今は規制上の判断には考えていない」とする田中委員長の考えを示す一方、「内容が技術的に役立たないということではない」とも述べ、評価結果を参考にする考えを示唆した。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

災害対策指針でヨウ素剤投与基準示す

原子力規制委員会は10月31日、国や地方自治体等が原子力災害対策を実施するのに必要な技術的事項を定める「原子力災害対策指針」を決定した。旧原子力安全委員会による「原子力施設等の防災対策について」(防災指針)に替わり、法令により策定が求められるもの。本指針を受け、関係自治体では地域防災計画の検討を行うこととなる。

規制委員会では安全委による防災指針見直しを受け、発足直後から立地自治体や関係機関からのヒアリングを実施するなど、新指針の策定作業に取り組んできた。今

回、決定された指針は、基本的事項、事前対策、緊急事態応急対策、中長期対策のそれぞれについて、必要最低限の事柄を取りまとめている。さらに今後、詳細な検討が必要な事項として、(1)原子力災害事前対策(防護措置発動の判断レベルなど)、(2)緊急時モニタリング等、(3)オフサイトセンター、(4)緊急被ばく医療、(5)福島第一発電所事故への対応、(6)地域住民との情報共有等——を掲げ、年内および年度末目処の2つのマイルストーンを設け、内容を充実させていくこととしている。

原子力防災会議が初会合

平時の防災対策を推進する政府の「原子力防災会議」の初会合が10月19日、首相官邸で開かれた。原子力規制委員会の発足を踏まえ新設されたもので、全閣僚で構成される。

議長を務める野田佳彦首相は冒頭、「安全神話に陥ることなく、万が一の事故等に至った場合をしっかりと想定し、各省庁の垣根を越えた防災体制を」と述べ、各省庁間の連携・協力の推進に加えて地域の防災対策の充実

など、平時からの原子力防災について総合的な取組を進めたいとした。

この日の会合では、原子力防災会議運営要領および原子力防災会議幹事会幹事の指名についての議論に続き、原子力災害対策指針の検討状況と方向性、原子力災害対策マニュアル、地域防災計画作成マニュアルの検討状況について報告された。

東電改革監視委でクライン委員長「安全は投資」

東京電力の「原子力改革監視委員会」の初会合が10月12日、同社本店で開かれた。会合では廣瀬直己社長をヘッドとする特別タスクフォースから、福島原子力事故を踏まえた改革の方向性や、柏崎刈羽発電所における安全対策の取組状況などについて報告を受け、外部有識者らによる討議を行った。同委員会は今後、規制改革、国際活動、リスク評価、倫理・緊急時対応の4分科会を設置し、各事故調査委員会で示された課題と対策強化の具体化に向け、少なくとも1年程度は継続し、東京電力の取組を指導していくこととなった。

同委員会は、東京電力の原子力改革の取組について、第三者の視点から監視・監督を行う取締役会の諮問機関。外部の目や外部の専門知識を最大限活用する方針のもとで、下河邊和彦会長ほか、デール・クライン氏(元米国原子力規制委員長)、パーバラ・ジャッジ氏(英国原子力公社名誉会長)、大前研一氏(ビジネス・ブレークス

ルー社長)、櫻井正史氏(元国会福島原発事故調査委員)をメンバーとしている。

冒頭、委員長に選任されたクライン氏は、「今後も原子力は世界のエネルギー供給に重要」との認識を示すとともに、東京電力の原子力改革に向けては、「聴きたくないようなことも言うかもしれない」と、厳しく指導していく姿勢を見せた。

タスクフォースの報告によると、今後の改革は二度と福島の事故を繰り返さないよう、「世界最高水準の安全意識と技術的能力、社会との対話能力を有する組織」として生まれ変わることが目標。改革対象や範囲には制限を設けず、トップ・マネジメントからの改革として、(1)経営層からの改革、(2)自ら率いる組織の改革、(3)業務プロセスの改革、(4)規制当局・立地地域・社会との関係の改革——の視点で改革プランを取りまとめ、これを経営層が率先して実行するものとしている。

もんじゅ作業部会が初会合、「年限区切って計画策定を」

文部科学省の「もんじゅ研究計画作業部会」は10月29日に初会合を開き、高速増殖原型炉「もんじゅ」の今後の研究計画に向けた検討を開始した。政府が「革新的エネルギー・環境戦略」で「もんじゅ」について、年限を区切った計画を策定・実行し、研究を終了させるとする方向性を出したことを踏まえたもの。部会ではまず研究開発の大枠の議論を行い、年内の中間取りまとめを目指す。

作業部会は今後の研究計画策定について、高速増殖炉プラントとしての技術的成立性確認のために「もんじゅ」

でなければ達成できないこと、そのためのプロセス、廃棄物減容・有害度の低減の研究開発における「もんじゅ」の役割などを中心に検討することとした。

委員からは「もんじゅ」の経緯をあげた上で「しっかりした計画を国内外ともに示すべき」とする意見や、「原発稼働ゼロ」の方向性の中で「発電としての機能が求められているのか」といった指摘、多様な研究オプション、産業界の意向にも留意すべきとする声もあった。

エネルギー意識調査で「原子力は不要」が微増

国際的市場情報サービス会社のJ・Dパワー・アジア・パシフィック社は10月1日、日本のエネルギー消費に関する意識調査の結果を一部公開した。8月下旬にインターネット調査を実施し、合計2,082人から回答を得た。

「日本の電力消費を賄うために、原子力発電は必要なものである」との問いに、「とてもそう思う」7%(昨年同時期調査7%)、「ややそう思う」21%(同26%)、「どちらでもない」29%(同30%)、「あまりそう思わない」22%

(同21%)、「まったくそう思わない」22%(同17%)となった。昨年と比べて、原子力反対の傾向が少し強まっている。

一方で、「停電の回避や停電時間短縮のため、できる限りの節電には協力したい」や「無駄なエネルギー消費を削減するために、効率的な電気の利用に取り組みたい」と回答した人の割合が、昨年から5ポイント以上低下し、昨年から引き続き行われた節電への『疲れ』がでてい

原子力委が新大綱策定会議を廃止

原子力委員会は10月2日、新大綱策定会議および原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会の廃止を決定した。

同委員会では原子力利用や研究の方針を決定する「原子力政策大綱」を約5年ごとに策定している。今回は2010年11月より「新大綱策定会議」を設置し、震災で一時審議を中断したものの、今年の年末を目処としてまとめる予定だった。

一方、政府の「革新的エネルギー・環境戦略」が9月に

るとも解釈できるとしている。

原子力発電への反発は高まるが、省エネルギーへの協力意向や、従来のエネルギーに代わる資源への賛同意識が低下している現状を指摘している。

また、電力会社に対する満足度も低下しており、消費者にとって、「電気料金」に対するストレスがさらに高まっていると分析している。

取りまとめられ、今後の原子力政策はエネルギー・環境会議が策定する方針が示された。同戦略では、原子力委員会自体の廃止および改編も検討するとされている。これを受け、原子力委員会はエネルギー政策の審議体制が変更されたとして、新たな大綱策定は見合わせることにした。

なお原子力利用に関する政策の審議については、これまでの新大綱策定会議での審議内容も考慮し、今後も専門的知見を集積しながら原子力利用に関する政策の重要課題毎に提言等を行っていくとした。

日立がホライズン社買収で英電力社株を取得

日立製作所は10月30日、英国で原子力発電開発事業を展開しようと計画していたドイツ資本の原子力発電事業会社ホライズン・ニュークリア・パワー社の全株式を取得する契約を同日締結したと発表した。ホライズン社が所有する英西部海岸のウィルファとオールドベリーの2サイトに、130万kW級ABWRをそれぞれ2～3基建設する計画だ。初号機は2020年代前半に運転開始をめざす。株式の購入額は約890億円で、日本メーカーによる外国の原子力発電会社の全株式取得は初めて。

英国では労働党前政権が始めた大規模な原子力発電所更新計画を、2010年に発足した保守党の連立政権が「公的な補助金を出さない」ことを条件に継続。ホライズン社が確保したアングルシー島のウィルファ、グロスター

シャー州オールドベリーの2サイトで新設計画を日立が引き継ぐことになる。

ホライズン社はドイツの電力会社RWE社とE.ON社が50対50の出資比率で2009年1月に設立。資本金5億4,000万ポンド、従業員約110名。英国の同二つの既存サイトで用地を確保済みで、最大660万kWの原子炉建設を計画していた。しかし、福島事故を受けたドイツ政府の脱原子力政策により、独国内で所有していた複数の原子炉が閉鎖に追い込まれるなど経済的に大きな打撃を受けた。こうした状況から、これら2社は今年3月に建設計画からの撤退を決め、ホライズン社の新たな所有者を募集していた。

海外情報

(情報提供：日本原子力産業協会)

[米国]

ハリケーンで原子炉3基が停止

米原子力規制委員会(NRC)は10月30日、米国北東部に上陸した大型ハリケーン「サンディ」により、ニューヨーク(NY)とニュージャージー(NJ)の2州で3基の原子炉が停止したほか、計画停止中だったオイスタークリーク原発で上げ潮と高波および風向きが重なり、取水口近くの水位の高まりが規定値を超えたことから警戒宣

言が発令されると発表した。これらによる外的被害はなく、NRCの検査体制は通常の状態に戻り始めているとしている。

3基のうち、PSEG社がNJ州で操業するセイレム原発では、6台ある河川水循環ポンプのうち4台が使用不能となったため、午前1時過ぎに1号機を手動停止。同2号機は10月半ばから計画停止中で、両炉とも現在は安定した状態にある。

NY州のエンタジー社のインディアンポイント原発で

は、送電網の障害により3号機が午後11時前、設計通りに自動停止したが機器等への損傷や従業員の健康被害、環境への放射能漏れはなかった。同2号機は定格出力で運転を継続中。

同じくNY州でコンステレーション社が操業するインマイルポイント原発では、所外開閉所の機能停止で非常用ディーゼル発電機が起動し、外部電源が復旧するまで作動した模様。1号機が自動停止したが、2号機は定格で運転を続けたと伝えられている。

このほか、ミルストン3号機、パーモントヤンキー、リメリック1、2号機では、出力を25～89%まで下げる措置が取られた。

ドミニオン社がキウオー二原発を 来年閉鎖

米国のドミニオン社は10月22日、ウィスコンシン州で操業しているキウオー二原子力発電所(PWR, 59万kW)を来年第2四半期に閉鎖し、廃止措置を取る方針を公表した。

理由は「純粋に経済性の問題」としており、ウィスコンシンを含む中西部12州の経済規模で原子力発電を増大させるのが難しいほか、同地域内の電力卸売価格が低下している時機に同発電所の電力販売契約が終わりに近づいたことが重なった結果だと説明。同発電所は昨年2月に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を認められるなど安全性に何ら問題はなく、同社は「原子力は米国の今後のエネルギー供給において重要な役割を果たさねばならない」との見解を改めて表明している。

ドミニオン社にとって運転状況が良好な同発電所の閉鎖決定は、苦渋の決断だった。同社は2005年に同発電所を購入したが、戦略的資産の特定および投下資本の収益率改善のために実施している総資産の定期審査の結果、昨年4月に同発電所の買い手を募集すると発表。しかし、その後、買い手は見つからず、同発電所が発電電力を供給している電力会社2社との売電契約も13年12月に期限切れが迫ったことから、同発電所の運転継続は経済的ではないとの結論に至ったとしている。

閉鎖後の廃止措置経費について、同社は今年第3四半期の税引き後費用2億8,100万ドルを認める方針。関連信託には現在、十分な資金が積み立てられており、期待利益を加えればすべての経費を賄うことができる見通しだとしている。

なお、ドミニオン社はサリー原発など、米国東部で保有するその他の原子炉6基については閉鎖の予定はない模様。三菱重工業製US-APWRの採用を念頭に建設を計画している東海岸バージニア州のノースアナ3号機に

ついては、「建設・運転一括認可(COL)が下りてから着工するか否か判断する」と述べていたことが伝えられている。

[EU]

ECがストレステストで最終報告

欧州委員会(EC)は10月4日、EU域内で稼働する全商業炉の安全裕度について昨年から実施していたストレステストに関する欧州理事会および欧州議会への正式な連絡文書(最終報告書)を公開した。域内原子力発電所の安全レベルは概して高いとする一方、ほとんどすべての原子炉に対し、さらなる安全性改善に直ちに取り組むよう勧告。「加盟各国の安全当局は1基の原子炉も閉鎖するに及ばないと結論付けたが、国際原子力機関の安全基準や国際的な良慣行のすべてが全加盟国で適用されているわけではない」とし、今後、勧告の実施状況を綿密にフォローするとともに、欧州全体の原子力安全向上で法的措置を提案していくとの考えを表明した。また、追加の安全性改善策で「1基当たり3,000万～2億ユーロが必要」としており、132基の総コストは100億～250億ユーロにのぼるとの試算結果を示している。

ECは欧州原子力規制者グループ(ENSREG)と協力して、EUに加盟する15か国の商業炉145基(うち13基は現在閉鎖)に加えて、スイスの5基、ウクライナの15基についても3段階からなるストレステストを実施した。昨年10月末までに加盟各国の事業者がまとめた報告書を、昨年末までに各国の規制当局が自己評価。その後、今年1月から4月にかけて、加盟国やIAEAの専門家で構成されるレビューチームが17か国の各原発サイトを視察して審査を行い、4月末にENSREGが報告書をまとめた。

今回の最終報告を取りまとめたECのG・エッティンガー・エネルギー委員は、「どの部分について我々がうまく対処しており、どの部分で改善が必要かがストレステストで明らかになった」と強調。状況としてはおおむね満足いくものであるが、現状に甘んじる余地はないと指摘しており、最高の安全基準が欧州で稼働する原子炉の一つ一つで適用されるよう各国の安全当局すべてが保証していかねばならないと声明した。

ECは数多くの技術的な改善点を具体的に勧告したのに加え、福島事故からの教訓をもっと考慮すべきだとしており、特に以下の例を列挙した。

(1)「地震と洪水のリスク」、(2)「発電所内での地震対策機器の配備」、(3)「格納容器のフィルタ付きベント・システム」、(4)「過酷事故の対策機器」、(5)「バックアップ用緊急時制御室」

[フランス]

アレバ、日本に受動的酸素再結合器を100台納入

仏アレバ社は10月19日、日本で稼働する PWR 用に受動的触媒式・酸素再結合器 (PAR) を約100台、納入することになったと発表した。福島事故の教訓から、全交流電源喪失時でも格納容器 (RCV) 内に蓄積した酸素を触媒酸素で蒸気に変えるなど、酸素爆発の回避により RCV の健全性を保つのが目的だ。

米国では1979年の TMI 事故時に RCV 内で酸素爆発したのを受け、米原子力規制委員会が81年に可燃性ガス制御系 (FCS) の設置 (または設置能力の保有) を安全要件に追加。しかし福島ではすべての電源を喪失したため FCS が作動せず、原子炉建屋上部が酸素爆発するに至った。

欧州でも多くの原子力発電所で同様のシステムを設置しているが、「PAR」は PWR で過酷事故が起きた際、RCV 内の酸素を電源なしで処理するために開発されたもの。アルミナの土台にパラジウムを固定した触媒を充填したカートリッジ構造で、この20年の間に採用されてきている。すでにフランスやドイツのほか、ブルガリア、チェコ、スロベニアでも原発に設置。韓国では福島事故後に教育科学技術省が策定した5年計画の安全性改善項目の中に、国内すべての原子炉に対する PAR 設置を過酷事故対策として明記した。

アレバ社によると、同社製 PAR は世界で140の原子力発電所に設置済み、もしくは設置予定で、今年さらなる注文も受領した。欧州やアジア地域のさまざまな原子力発電所への供給で入札も実施中だとしている。

安全規制局長にシュベ氏指名

フランスの J-M・エロー首相は10月29日、過去20年以上にわたって同国の原子力安全規制に携わってきた原子力安全規制当局 (ASN) の A・ラコステ局長に代わり、環境・持続可能開発・エネルギー大臣直属で原子力を管轄するエネルギー気候総局の P-F・シュベ局長 (51) を ASN 局長に指名する意向を表明した。

これに伴い、国民議会 (下院) と元老院 (上院) の原子力関係委員会が同氏を正式に任命する政令の発令に向けて審議に入る。ラコステ現局長は11月8日に任期切れとなる模様で、それまでにシュベ氏が正式に任命されると見られている。

シュベ氏はフランスの理工系エリート養成のための高等教育機関であるエコール・ポリテクニク卒で国家鉱山技師団の一員。政治的には中道右派と言われており、

政府資本が入った GDF・スエズ社や石油研究所 (IFP)、アレバ NC 社などのエネルギー関連企業で取締役会の政府代表を務めているほか、1992年から95年までは ASN の前身である原子力施設安全局 (DSIN) でラコステ局長に次ぐ副局長として勤務した。2005年から07年には産業技術革新および新技術に関する内閣のアドバイザー、それ以降は環境エネルギー管理庁のエネルギー商品局長およびエネルギー気候総局長を歴任していた。

[フィンランド]

E・ON がフィンランドから撤退

ドイツの大手電力である E・ON 社は10月24日、フィンランドで保有しているフェンノボイマ社の株式34%を売却する決定を下した。フェンノボイマ社が東芝および仏アレバ社の原子炉設計を候補に進めている原子力発電所建設計画を含む同国での事業と資産のすべてを売却する手続きを開始しており、今後はスウェーデンやデンマークの既存事業や再生可能エネルギーなど、市場が堅調なその他の北欧諸国に資源や能力、投資金を投入していくとしている。

フェンノボイマ社は電力の小売り企業や多消費産業企業が中心となって2006年に設立した原子炉建設のプロジェクト会社で、E・ON 社分を除いた残りの66%はフィンランド企業67社で構成されるボイマオサケイティエ SF 社が保有。ここには、鉄やアルミによる機器製造大手のコンポネンタ社や国際的にも知られた鉄鋼メーカーのオウトクンプ社のほか、市営や公営の電力エネルギー企業が数多く名を連ねている。

フェンノボイマ社は昨年10月に中西部のボスニア湾に面したピュハヨキをハンヒキビ原子力発電所1号機の建設サイトに決定。同建設計画に対する政府の原則決定 (DIP) も09年7月に議会が承認済みで、仏アレバ社製・170万 kW の欧州加圧水型炉 (EPR) か東芝製・160万 kW の ABWR を2020年までに建設するため、今年1月に両社から商業入札書を受領した。

総工費は40億~60億ユーロを予定。E・ON 社の戦略見直しにより、同社の撤退分の出資企業が見つかるか否かで同計画の今後の行方が左右される可能性もある。E・ON 社が来年春までの出資を約束していることから、両者はそれ以降の出資者を捜す協議を開始したとしている。

[リトアニア]

国民投票で6割が原発の新設に「ノー」

リトアニアで10月14日、日本の日立製作所が出資を伴う戦略的投資家となっているピサギナス原子力発電所建設計画の是非を問う国民投票が国会議員選挙と併せて行われ、投票者の62.74%が反対票を投じ、賛成派は34.01%に留まったことが選挙管理委員会の速報で明らかになった。投票率が52.5%と規定の5割を超えたことから同投票は成立したことになるが、原発建設計画を進めるための法律は6月にすでに成立しており、実質的な拘束力はない。しかし一院制の国会議員選挙で、同計画を推進していた政権与党・祖国同盟キリスト教民主党が第三党に転落。原子力に慎重な立場の労働党と社会民主党が新政権の中核を担うことが確定しており、同建設計画の今後の処遇についてどのような判断を下すかが注目されている。

リトアニアではかつて、大容量のイグナリナ原子力発電所(出力150万kW, LWGR 2基)で総発電電力量の7割を賅うなど、原子力の開発利用では26年もの実績がある。事故を起こしたチェルノブイリと同型であったため、両炉とも09年までに欧州連合(EU)への加盟と引き替えに閉鎖したが、その後のエネルギー源確保ではロシアからの化石燃料輸入に大きく依存。こうした状況から脱却することを第一目標に、対露強硬派の現政権はイグナリナ原発の隣接区域でピサギナス原子力発電所(130万kW級 ABWR)の建設を計画していた。

しかし今回の国民投票で、賛成意見が反対派を上回った投票区は建設サイトを擁するピサギナス地区のみ(賛成67.14%, 反対32.86%)にとどまった。議員選挙でも対露協調派で知られる社会民主党らが躍進するなど、同国民はロシアからのエネルギー依存脱却よりも原発事故への不安解消を重視した模様。

また、欧州全般で停滞する経済状況を背景に、173億リタス(約5,173億円)という原発建設コストが国内経済に及ぼす悪影響への懸念も投票結果に反映されたと見られている。

[ウクライナ]

ロシアの協力で燃料加工工場の設計開始

ロシアの総合原子力企業ロスアトム社は10月18日、ロシアの協力によりウクライナで建設する燃料成型加工工場の設計作業が同社・機械エンジニアリング部門の一部であるGSPIで始まったと発表した。ウクライナで稼働するロシア型PWR(VVER)への安定的な燃料供給を通じて、エネルギーの自立を保証していくための施設で、2020年以降の完成を予定している。

ウクライナでは現在稼働中の原子炉15基のうち13基が出力100万kWのVVER1000であるほか、さらに2基を建設中。VVER1000専用の燃料市場は現在、ロシアのTVEL社がほぼ独占しており、08年にウェスチングハウス社がウクライナの一部のVVERに対する燃料供給契約を獲得した程度だ。

こうした背景から、ウクライナは国内で安定的に燃料の製造・供給が可能となるよう体制の構築を検討。国土の中央部に位置するキロポフロード州のスムリーネ村マラー・ピースカ地区で燃料成型加工工場を建設する入札を実施し、2010年9月にTVEL社を選定した。ウクライナ国営原子燃料会社とTVEL社は直ちに51%対49%の出資比率で合弁会社「原子燃料製造会社」の設立契約書に調印したほか、枠組協定も締結。今年6月には、同工場の設置および設計・建設に関する政令に基づき、ウクライナ内閣が建設計画の実行可能性調査結果を承認していた。

同工場は6.8ヘクタールの敷地に20億~30億グリブナ(約200億~300億円)を投じて建設され、最終的な燃料集合体製造能力は800体/年になる予定。作業は(1)今年から15年まで、(2)16年から20年まで——の2段階で実施することになっており、(1)の期間中は主に設計段階の作業文書作成が行われるとしている。

今月4日には建設準備作業の開始式典も開催され、ウクライナのM・アザロフ首相に加えてロスアトム社のS・キリエンコ総裁も出席。着工を記念する杭を敷地に打ち込んだ。

座談会「原子力の人材問題を考える」

「どうしたら
若い人たちに原子力の魅力を伝えられるか」



原子力の魅力にかげりが見えはじめています。原子力政策が不透明な中でも、すでにある原子力発電所を安全に管理する必要性に変わりはない。さらに福島第一原子力発電所事故の収束と廃炉へ向けた研究開発など、これまで以上に人材が必要になる分野もある。将来を見据えた上で、若い人たちにどうしたら、原子力の魅力を伝えられるか。そのためには何をしたらいいのか。若手の4人に、この問題について語ってもらった。

勝又 尚貴
関根 将史
竹生 諭司
城 隆久

東海大学大学院工学研究科応用理学専攻(学生連絡会)
東海大学大学院工学研究科応用理学専攻(学生連絡会)
東京都市大学工学部原子力安全工学科(学生連絡会)
日本原子力研究開発機構(YGN 連絡会)

工藤 和彦
近藤 吉明

九州大学特任教授
本誌

原子力への魅力を感じたのは
施設を見学したことがきっかけ

工藤 工藤です。九州大学でこれまで、炉物理や炉工学、原子力安全工学などに取り組んできました。また、原子力学会では教育関係の委員を長く務めています。初等中等教育段階でのエネルギー、原子力、放射線の教育に関心があります。特に昨年から社会科や理科の教科書に福島第一原子力発電所の事故がどのように取り扱われているかを調査しています。今日は、福島第一原子力発電所で事故が起きたことを踏まえて、若手の皆さんから原子力をめぐる人材問題をテーマに、自由にご意見をいただきたいと思っています。

関根 東海大学大学院工学研究科応用理学専攻修士2年の関根です。初めは、エネルギー工学科として入学しました。今後もエネルギーが重要になるだろうと考えた

からです。その中で、僕が原子力に魅力を感じてそれを専攻するようになった大きな理由は、学部の際に炉物理の授業での数学でした。とても複雑なことがらを見事に整理してしまうことに強い興味を持ちました。さらに教授と一緒に「もんじゅ」の見学に行き、プラントのその大きさに驚きました。その教授が素晴らしい方だったことも、原子力を専攻するようになった理由の一つです。今はPSAや信頼性工学などを勉強しています。

勝又 東海大学大学院工学研究科応用理学専攻修士2年の勝又です。自分が原子力を最初に知ったのは小学5年生の時でした。その頃から、自分でなければできない仕事を探していました。幼いころ色々な事に興味を持っていましたが、東京電力主催のツアーで、柏崎刈羽原子力発電所を見学する機会がありました。想像以上に原子力発電所は、安全対策やセキュリティがしっかりしていると感じ、核分裂の持っているエネルギーの大きさにも

魅力を感じました。日本のエネルギー供給における海外依存率の高さにも当時から関心があり、原子力発電は日本に不可欠なものだという思いを持ちました。

けれども、見学してからまもなく、原子力発電所を運営する電力会社で不祥事がありました。その時に、日本のエネルギー供給に貢献している原子力を、一部の人間が損ねているのではないかという義憤のような気持ちを抱き、自分の手で原子力発電所を安全に動かしたい気持ちが湧きました。それが原子力に興味を持った大きなきっかけです。

高校時代に「もんじゅ」の存在を知り、さらに核燃料サイクルの現実を知ると、未解決のままである地層処分は非常に大きな問題であると感じました。ならばそれを、自分の手で取り組んでみたいと思いました。このため今は地層処分に関する勉強をしています。なお福島原発事故が起きた今も、原子力に対する気持ちは変わりません。

竹生 東京都市大学工学部原子力安全工学科学部4年生の竹生(たけお)です。私は高校3年生の時に原子力の未来を書いた本を読んで、原子力はこれから必ず必要になるだろうと確信しました。このため、原子力関連の学部がある東京都市大学を選びました。福島事故を経て、原子力発電所はシステムにパッシブ性を持たせなければならぬと強く思っており、今は受動安全性を持たせた高速炉の研究をしています。

城 日本原子力研究開発機構の城です。高速増殖原型炉「もんじゅ」のストレステストと、試運転の準備をしています。また、原子力学会の「原子力青年ネットワーク連絡会(通称、YGN)」で連絡会長を務めさせて頂いております。私が原子力業界に入ろうと決めたのは高校2年生の時です。物理の授業で核エネルギーの大きさと、さらに日本にはエネルギー・セキュリティという課題があることを知り、将来はエネルギー関連業界に進みたいと思って、九州大学に入学しました。

今、原子力関連学科で学んでいる人たちは、福島事故以降も、原子力発電の必要性に関する認識は変わっていないと思います。けれども、原子力に関連していない学生にとっては、原子力の必要性はある程度は理解できるかもしれませんが、原子力業界が社会的に非常に厳しい批判にさらされていることから、業界に対する魅力を感じにくいかもしれません。私は、これから就職先を考え

る方にとって、例えば、原子力でエネルギー・セキュリティ問題の解決が可能かもしれないという夢(メリット)がある一方で、社会的に非常に厳しい批判にさらされるというデメリットもあり、それらのメリット/デメリットが、いずれも極端であることが、原子力業界の特徴であると考えています。そういう意味では、他の業界と比較して、とても特殊な業界だということに思われるかもしれませんが。特に今は、福島第一原子力発電所事故により、原子力という技術のデメリットがクローズアップされているため、デメリットのウエイトが重く感じられ、そのことが、原子力系以外の学生が原子力に魅力を感じなくなった、志望しなくなった理由の一つだと思っています。それをどうしていくか。

事故後にやるべきことは増えた それが魅力にならないか

工藤 福島での事故が起きる前と後とでは、原子力に対する考え方は皆さん、どう変わったのでしょうか。

関根 僕は今まで原子力を工学や技術的な視点から見ておりましたが、事故によって原子力と社会との課題が浮き彫りになりました。そのため、原子力に携わる人には、人として高い倫理が求められると感じています。

竹生 業界としては未来が不透明になり、原子力の魅力は下がったと思います。僕の周囲にも、事故前までは炉物理をやりたいと言っていた学生が、放射線の分野に移った例もあります。けれども、逆にやらなければならないことが増えたとも思っています。

工藤 もし皆さんたちが、皆さんより下の若い世代に、将来の専門を選ぶようなテーマで話す機会があったとしたら、どういうふうに話されますか。

城 これまで何度カリクルートの機会をもったことがあります。事故前は原子力カルネサンスが来ていること、その中で私が、高速増殖原型炉である「もんじゅ」のどのような技術にチャレンジしており、どんな課題があるのかというのをアピールして、一緒に頑張ろうと訴えてきました。事故後、原子力発電については、安全性や廃棄物の問題などの負の面がすごくクローズアップされています。私は、原子力に対してはこれまで以上に課題が増えており、それはぜひとも挑戦して解決しなければならない問題である。その解決へ向けて、一緒に取り組



勝又 尚貴
(かつまた・なおき)
「原子力工学科では技術的な事柄だけではなく、原子力利用の歴史や政治、経済との関わりのような勉強がもっとできればと思います。」



関根 将司
(せきね・まさし)
「国が、原子力に対する方針をしっかりと打ち出すことが先決。国や産業界が明確なビジョンを示せば、人は集まる」

む仲間になってほしいと訴えたいと思います。

関根 放射線利用の分野は拡大していると思います。一方で、大学ではエネルギーの技術的側面だけでなく、エネルギー・セキュリティや安全保障などのような分野や、文系の人にも門戸を開いた広範な分野を網羅するエネルギー学科も必要だと思います。

竹生 東京都市大では、最初は全般的に基礎的な部分をおさえた上で、それぞれが専攻する分野に分かれるという仕組みになっています。だから専攻分野に入ると、それ以外のことが見えにくくなる。そうではなくて包括的に原子力を説明できる人間が、今は要求されていると思います。なので、人材教育もそれに合わせてものにする必要があると感じています。

工藤 最初は広い範囲で基礎的なことから勉強してもらうものの、いつから専門化するかというのは重要な問題だと思います。これは、大学の原子力教育カリキュラムの課題の一つとして大学の関係者に伝えるべき話ですね。

勝又 原子力工学科では技術的な事柄だけでなく、原子力の利用の歴史や政治、経済との関わりのような勉強がもっとできればと思います。

途上国で、原子力の必要性を実感する

工藤 カリキュラムの中に文理融合という視点のものを加えたり、歴史を踏まえたりするものがあればという話は、非常に参考になります。専門教育と基礎的な部分をどう組み合わせるかということも大きな課題でしょう。大学では講義や座学のほかに、実習や実験がありますが。

関根 JAEA(日本原子力研究開発機構)や京都大学の臨界集合体実験装置(KUCA)などの施設に実習に行くことは、実物を見ることもでき、とてもいい経験になります。他の大学の学生とも交流できます。また、事故が起きた後の福島に行くようなカリキュラムも必要だと思います。最近のことですが、敦賀地区に原電の総合研修センターができました。現場力が非常に求められている昨今において、そういう施設を大学との連携によって、活用することができればと思います。

勝又 原子力発電所の中を実際に歩いてみると、その



竹生 諭司

(たけお・さとし)

「後輩たちが一番知りたいと思っていることは、海外の動向です。原発を必要としている途上国の実情を目の当たりにすれば、原子力への見方が変わるはずです」

スケールの大きさが本当によくわかる。また、福島では実際に除染の演習を行いました。こういった体験は現実的な感覚をつかみたい時に有効だと思います。

竹生 1年生の時に、講義に原子力関係の企業の方が来られたのですが、その縁で原子力の施設を見学させていただいたことがあります。この見学会の企画は今年も行われました。実際に施設を見学するというような企画は、学生に興味を持ってもらう、あるいは興味を深めてもらうとてもいい機会になると思います。

工藤 実物に触れる、あるいは実際の現場を見ることは非常に重要です。また、事故後の福島を直視する必要があることも重要であるということをお聞きしました。

竹生 今後は海外との関わりが重要になってくると思います。このため、海外に行く機会を学生に与えれば、原子力に対するものの見方が大きく変わると思います。

関根 その行き先も、欧米のような原子力先進国だけでなく、これから原子力をやっけていこうとする発展途上国へ行くことも一案だと思います。そのような国では、本当に原子力を必要としていることが実感できる。また、敦賀地区に原電の総合研修センターができました。大学との連携によって、そのような施設を活用することができると思います。

原子力のマイナス面も教えるべきではないか

工藤 高校生たちが原子力に関心を持ち、大学の関連学科を希望するようになるために、何かアイデアはありませんか。

城 原子力に対して推進的な意見だけでなく、そのデメリットもきちんと伝えるべきではないでしょうか。機械や電気を専攻する人、あるいは文系の人たちに原子力業界に目を向けてもらうためには、原子力のメリットとデメリットの両方を、きちんと理解してもらうことが必要だと思います。さらに日本では、原子力に対して社会一般からの強い批判がある。そのような人たちとのコミュニケーションの場を体感できるようなカリキュラムがあればいいと思います。原子力の負の面をも紹介することで、それに興味をもつ人が来るようになると、そこで何か新しいものが生まれるのではないかと。

竹生 原子力に対して懐疑的な人のためのカリキュラ



城 隆久

(じょう・たかひさ)

「エネルギー・セキュリティを解決するために、原子力は必要。大学生には、その利用のために、一緒に課題の解決に向けて取り組んでいこうと伝えたい」

ムがあれば、その人は原子力の関連学科を専攻しないと思います。それよりも、将来性をアピールする方が大切だと思います。

城 そうかもしれませんが、原子力について今、みんなが一番知りたいのは、なぜ福島事故が起こったかということだと思います。けれども、原子力を学んでいない学生にとっては、それを学ぶ機会は非常に少ない。そういうことを知ることができる場があれば、そこに大きな魅力を感じて、原子力に対して考えるきっかけになるのではと思います。例えば、大学の中の一般教養の中にエネルギー教育のようなものを設けて、そこではそのような事柄も含める。原子力のプラスの部分だけの情報を与えていると、その後に負の側面を知ること、裏切られたような気持ちになるかもしれない。

桁違いのエネルギーをもつ原子力は 魅力にあふれている

工藤 中学校や高校教科書では放射線について記述されており、原子力エネルギーの説明と合わせて教えられます。しかし多くの教科書では再生可能エネルギーを過大に評価しています。将来はともかく、日本や世界の今の現実を理解させるという点では、バランスを欠いています。皆さんに聞きたいのは、高校やそれ以前の教育で、原子力への理解も深めることができるようなアイデアはないでしょうか。

関根 例えば、社会の授業で、各国のエネルギー政策を比較するような内容や、それを討論するような形式があるとおもしろいと思います。

勝又 僕は小学校の国語の教科書で原爆の話を読み、原子力の恐ろしさを知りました。その後に、原子力発電所を見学したことがすごいインパクトになった。これからの教科書には、事故後の福島やエネルギーに関する小説、物語があれば紹介していく必要があると考えます。

工藤 小さい時の教科書の記述による影響が、やはり潜在的にあったということですね。

城 私は高校生の時に、化学的なエネルギーに比べ原子核によるエネルギーは桁違いに大きいということに、感銘を受けました。それについてはきちんと、教えることがいいと思います。また、太陽光や風力などさまざまなエネルギーにはどんな特徴があるか、効率はどうか



工藤 和彦
(くどう・かずひこ)
九州大学 東アジア環境研究
機構 特任教授
九州大学大学院工学研究科博
士課程修了。九州大学工学部
助教授、教授をへて2011年か
ら現職。

どの話は、高校生を対象にしてはどうかと思います。そのほかに原爆の話や、この福島事故を踏まえて現場の人がどれだけ努力したのかということも、風化させてはいけない。日本人として、知っておいてほしい出来事ではないかと思っています。

国の方針が明確に決まらないと 人は集まらない

工藤 産業界に関連した話題に移ります。学生たちに電気事業者やメーカー、規制機関や研究機関などに入ってもらうための魅力を伝えるには、どのような努力が必要だと思いますか。

関根 原子力に対する国の方針が決まらないと、産業界は言えない部分が多い。原発の再稼働が今後、不透明な中で、新規に学生を採用することは厳しいと思います。

工藤 政府が今、きちんと原子力利用についての国の方針を示しきれないでいるということに大きい問題があることは、皆さんの発言としてはっきり出しておきたいと思っています。

関根 もし本当に30年後に原発ゼロにすると決めるのであれば、例えば、廃止措置が本格化する中で、そのための人材が必要になり、人材育成の方法もそれに沿った形になると思います。また産業界として、厳しい状況だと思いますが、どれだけの人材が必要なのか、どんな魅力があるのか。海外展開はどうか。それをきちんと産業界側から発信してほしいと思います。

勝又 事故以降、原子力に魅力として感じる部分は減ってしまったかもしれないけれど、やらなければいけない仕事は、確実に増えている。日本のために、やらなければいけない仕事があるという現実の話をしておいたほうがいいと思います。いま最終的な廃炉にするまでには数十年以上の時間がかかることを考えると、その仕事をメインにやっていくのは、今の大学生や中高生になると思います。私たちが果たさなければいけない仕事があるということを、きちんと伝える必要があると思います。

工藤 そういう使命感をどうやって醸成するか。

福島のそらをもとに戻したい そのための力になる

勝又 福島のそらをもとに戻したい、福島をもとの世界に戻りたいという気持ちを、かつて住んでいた方をはじめとした多くの方が持っていると思います。それは大切な課題だと思っています。これは魅力というより、使命を持って取り組む必要があると考えています。

竹生 日本では、原発はこれからスローダウンするかもしれませんが、世界的に見ると推進していこう、原発は必要だという国も多くあると思います。発展途上国の

人口密集地域には、エネルギー密度の高い発電所が必ず必要になると思っています。炉物理の研究を続けて、より安全な、パッシブセーフティーを推し進めたいという考えを、僕は持っています。企業にはぜひ、海外も視野に含めて大きなビジョンを示してほしい。それに関連づけて、体験型の企画を提供してほしい。そのビジョンの中に、自分も関わっていけるという魅力をアピールしていくのが大事だと感じています。例えば、ベトナムで原発を新設するというのであれば、ベトナムの現状を皆さんと一緒に見に行きませんかというような企画があれば、参加したい学生は多いのではないかと思います。これを、原子力業界の中で連携して行ってはどうか。

城 事故後、産業界は何にチャレンジしていくかということのアピールが少ないと思います。原子力が政治と深い関わりをもっているために、今は批判も強いだろうから出しにくいということがあるかもしれませんが、それでも、批判を恐れずにアピールすべきだったなと思います。

私は「もんじゅ」を動かすための研究をしています。新しい研究成果が出てきて次の新たな課題がわかった時は、技術的にクリアしなければいけない、チャレンジすべき技術的な課題として、それをきちんと出していかないといけないと思います。むしろ、学生はそのような課題にこそ魅力を感じるのではないかと思います。

私が就職先として電力ではなく研究機関を選んだのは、軽水炉技術はもう完成していて、技術的にすることはなくて、ひたすらメンテナンスをするだけだと見えていたからです。けれども実際はそうではなくて、軽水炉にしてもまだまだ研究してチャレンジしなければいけない課題がものすごくたくさんある。ただ、それが学生に伝わらない。

原子力の現場の安全管理は、一般的な工学にある安全分野の中の頂点をきわめなければならない。けれども、就職する前の人には、そのことが伝わらず、魅力を感じさせにくい。そういうチャレンジしなければいけない技術的な課題を、もっとアピールすると、学生の人にも原子力業界の魅力が更に伝わるのではないかと思います。

工藤 話題を、人材育成のネットワークに転じます。

城 今から20年ぐらい前に入社された方から、昔は入社後の研修で、ほかの電力やメーカー、規制側の人たちなど、原子力業界に入って数年後の人たちが同じ研修に参加して、そこで交流する機会があったという話を聞きました。今は、そういう機会がほとんどない。YGNでも、みんな同じことを思っている。そういう思いを受けて、今年の6月に原子力人材育成ネットワークと原子力産業協会のご協力の下で、「原子力若手討論会」を開催しました。この討論会に参加した若手からは、「モチベーションアップに繋がった、今後も継続して開催すべき」という感想を頂いています。詳細については、平成24年

8月9日付の原子力産業新聞にも掲載されていますが、別途、学会誌などにも投稿させて頂こうと思います。今後は、これらの活動をさらに継続することで、昔あったネットワークを、YGNというプラットフォームを使って復活させていきたいと思っています。

関根 最近は各大学で、例えば、文系と理系との融合をめざした取組みやイベント、シンポジウムをやっていますが、各大学でももう少し連帯をとって、包括的にやるような仕組み、例えば、メーリングリストで各大学が繋がって、情報の告知や共有だけでもできる仕組みがないかと考えています。例えば大学の研究室の紹介を、各大学の学生がわかるような仕組みなど、きっかけがあればと思います。また、特に各大学の繋がりという面で、学生連絡会の意義はあると思います。

勝又 原子力の人材ネットワークは、いろんな大学の学生と一緒に実験や演習をやっていますが、この原子力人材ネットワークは、原子力を専門で学んでいる方だけの勉強会という形になっているので、外側からは入りづらいし、内側からは外に出づらい状態だと思います。今の日本のエネルギーは原子力や火力や風力などのさまざまなものがある。けれども原子力を学んでいる学生だけを集めた機会だと、エネルギー問題を解決できないのではないかと。ほかのエネルギーに興味を持っている人や、文系の学生との対話が必要だと感じています。文系の学生の中には、福島ではどういうことが起きたのか、どこに問題があったのかという説明を聞く機会を聞きたいという人が結構いる。そのためにも、外との交流が必要だと思っています。

要するに原子力を学んでいる人間が外の世界も知る必要もあるということと、外の世界の方々が原子力にもっと興味を持ってもらうためにはどうすればいいのかという、その二通りの話が必要だと思っています。

竹生 まずは大学生同士で、連絡がとり合えるようなネットワークが必要だと考えます。例えば、2つないしは複数の大学同士が、何かのタスクで1週間程度の合同合宿を行う、そこでグループワークを行う。大学が、そんな企画を用意することで、多くの学生に参加してもらい、学生同士のネットワークを築いてもらう。

勝又 自分は学生連絡会やYGNなどで原子力のネットワークを知り、他の大学の学生と話ができることは刺激的でした。人と人との交流で得られるものはたくさんある。自分がどんどん活性化されていく気がする。

最適な対象は大学2年生

近藤 学生の人たちの心を動かすようなものは何でしょうか。

城 エネルギー・セキュリティはたぶん、大学生になれば大半の人が理解している。そのエネルギー・セキュ

リティを解決する手段の一つとして、核エネルギーを利用するというのはすごく魅力的なはずだと思います。ただ、その利用が技術的に難しい。まずはその核エネルギーが桁外れのエネルギーであるという魅力を伝えた上で、それを利用するためにクリアしなければいけない課題が、技術的にも社会的にもたくさんある。その解決へ向けて取り組んでいこうということを、大学生に伝えていく。また原子力にはプラスの面とマイナスの面の両方がある。プラスの面はその実現をめざし、マイナスの部分はそれを制御して、マイナスでなくなるようにすることにチャレンジする課題がある。それをきちんと伝えていくべきだと思います。

近藤 エネルギー問題はどうかという大きなテーマに取り組んでもらう気持ちを、学生の人たちにもってもらおう。もう一つは、交流のインセンティブですね。

竹生 大学1年生の時は、まだ勉強が忙しくて、外との交流までは手がつかない。けれども2年生は、アピールするには一番、大きなねらい目の時期だと思います。就職のことを考えるにはまだ早い時期なので、そのころだと、ネットワーク作りなどをやってみようとする時間がある。3年生以降になると、就職や院の受験、研究が入ってきて時間的な余裕がなくなる。2年生の時は、活動の裾野を広げるよい時期だと思います。

竹生 JAEAの夏期実習などを利用して、見学で実機を見せる、最先端の技術を見せることが、魅力を感じさせやすい。

工藤 若い人へのアプローチが重要だとは認識していましたが、具体的に2年生をターゲットにするということは、重要な指摘だと思います。

竹生 イベントを企画する場合にも、一貫性が必要。

例えば、最初は見学から始まり、次は若手同士、YGNとのイベントを用意して、次にシニアとの活動を用意し、最終的には全体の会議とかで新聞とかにも取り上げてもらえれば何かいい形になっていくのかなという。その業界のアピールというかアクティブさもアピールできるのかなという。

近藤 入社した人を育てる仕組みはかなりあります。ところが、入る前のアプローチがほとんどない。

関根 難しいのは、企業がいかにも利益を出すかということかなということだと思います。国が原子力政策をどう打ち出していくのかわからない中で、どうやって人材育成をしていくか。しかし、その中で、業界全体として、人材育成これは絶対に必要だと認識してもらわないと、YGNも学生も厳しいのかなと思います。

工藤 原子力産業界全体としての覚悟がほしいということですね。

竹生 後輩が一番知りたいと思っていることの一つには、海外の動向があります。海外とのつながりはメーカーが強と思うので、ネットワークを作るにしても、そのメーカーの人たちにどう協力してもらえるかとかが重要になってくるのかなと考えています。また、そういう機会があれば、僕はぜひ参加したいと思います。

城 私としてはYGNと学生連絡会で協力して何とかもっと楽しくなるように考えています。まず欲しいと思っているのは、交流できる場。学生連絡会とYGNで相談して、できることからやっていきたいなと思います。それがうまくできたら、また学会誌などに投稿していきたいと思います。

工藤 今日貴重な話をたくさんいただき、大変ありがとうございました。

(編集協力：佐田 務)



福島原発事故が教えるもの 政府事故調委員長を終えて

工学院大学教授・ 畑村洋太郎
東京大学名誉教授

福島原発事故の調査・検証を行う中で多くのことを考えた。事故の本質は発電所内で起こったことばかりではなく、放射性物質の放散で多くの住民が強制的に退去させられ、帰還できずにいることにある。この事故から学ぶべきこととして失敗の道と成功の道を検証すること、起こり得ることを考えてそこから逆に何が必要かを考えること、原子力の利用を続けるならば危険なものという前提で考えること、また原子力工学関係者への期待、などを記述した。

はじめに

筆者は政府の東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会の委員長を引き受け、2011年12月に中間報告、2012年7月に最終報告を行った後、活動を終了した。調査・検証により、これまで原子力発電分野で行われてきた事故に対する考え方も、事故への準備もすべてが不十分であったことが明らかになった。

たとえば、原子力発電に深刻な影響を与える自然災害として、地震だけでなく、津波についても十分に考え、可能な限りの備えをしておかなければならないのに、それが行われていなかったためにこの事故が起こったのだと考えられる。

本寄稿では、今後、原子力発電を廃止するにせよ、継続するにせよ、いずれにしても事故にどのようなことを学ぶべきか、また何をどのように考えなければならないか、などを主に述べると共に、今後、原子力工学に関係する人々に期待する事柄について述べる。

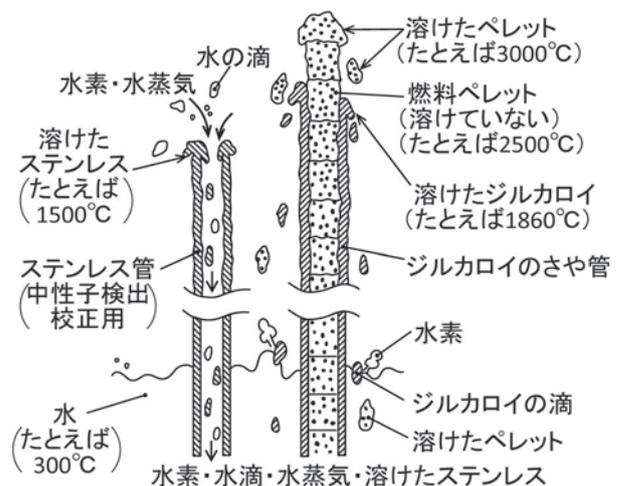
1. 事故の理解

(1) 原発の中で何が起こったか

原発の中ではあらかじめ考えていなければならない当たり前のことが次々と起こった。

2011年3月11日の東日本大震災で、激しい地震で外部電源を喪失した福島第一原子力発電所に津波が来襲し、配電盤が水没し、非常用電源もほとんどが水没したため、原子炉の冷却が不能になり、压力容器内に崩壊熱が蓄積された。燃料棒が温度上昇したことで、压力容器内の温度が上昇し、圧力が上昇し、水位が低下した。

燃料棒の温度が上昇して燃料被覆管の金属が水と反応して水素が発生し、その水素が建屋内に漏洩して水素爆



第1図 压力容器内で起こっている現象の想像図
(燃料棒溶融・水素発生および压力容器外への吹出し)

発が起こった(第1図)。一方、压力容器の温度が上がって压力容器内の圧力が上昇し、压力容器が破損して格納容器内へ放射性物質が流出し、さらに高温・高圧のために格納容器が破損して外部に放射性物質が流出した。水素爆発で多量の放射性物質が飛散したと考える人が多いが、実際には水素爆発の際に放出された量より、容器が破損して放出された量の方が多い。

压力容器の温度が上昇したため格納容器内の温度が上昇し、水位計が誤作動した。

水位が低下して燃料棒が露出し、 γ 線が压力容器の壁を通過して外部に出てきたため、線量が高く格納容器に近付けず、バルブを開ける作業ができない事態となった。

過酷事故が起これば当然起こるこのような事象をあらかじめ考えておかなければならなかったが、それができなかったために水位計の誤作動を見抜けなかったし、遠隔で機械的操作できる準備をしていなかったのである。

Lessons from the Fukushima Nuclear Power Accident :
Yotaro HATAMURA.

(2012年 11月7日 受理)

(2) 見えない放射能の雲が襲ってきた

原子力災害では事故は発電所の内部だけで進行するのではない。放射性物質が大量に飛散すればその影響は広範囲に及び、しかも長期間にわたってその影響が続く。

事故で飛散した放射性物質の降下がどのように住民に受け取られたかを描いたのが第2図である。飯館村から強制的に退去させられた住民と共に比曽地区を訪れ、そこで聞き取りを行った結果を描いたのがこの図である。目に見えない放射性物質の雲がやってきて、雨が降り、それが樹木、建物、敷地、田畑に降り注いだ。その放射性物質によって村に住み続けることができなくなった。

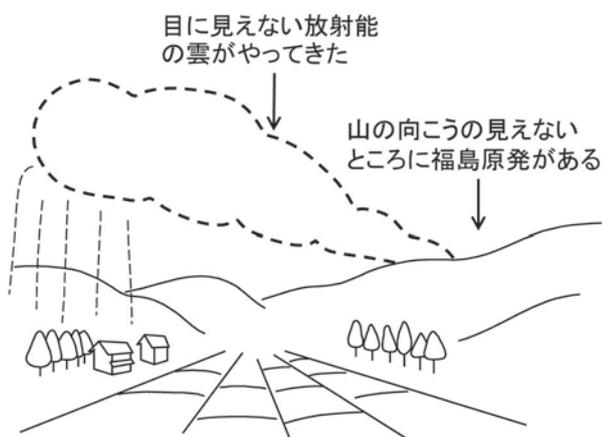
発電所の内部で起こった事象だけに注目するのではなく、放射性物質が撒き散らされたときに何が起るかを被害者の視点から見ないと原子力を真に理解することはできない。そのためには現地に行き、現物を見たり触ったりし、現人と話を(筆者はこれを“3現”と呼ぶ)ことが必須である。伝聞情報や数量的に処理されたり一定の表現方法で伝達されたりする2次的な加工情報だけでは、正確に状況を把握することができない。

2. 何を学ぶか

福島原発事故は原子力というエネルギーとして大変魅力的だが、非常に危険な技術を扱うときに何を考えなければならないか、何を準備しなければならないか、どのように取り扱うべきかを教えてくれた事故である。われわれはこの事故が教えてくれていることを十分に学び取らなければならない。

(1) 知識にしなければ伝わらない—委員長所感

政府事故調の報告書の最終部分に7つの事柄を委員長所感として記した。就任あいさつで“子孫のために100年後の評価に耐えるものとする”と述べたが、個々の事象についての分析や総括だけではいずれ忘れられてしまう。そこで、後世の人々が今回の事故で得られた知見をその時々々の社会情勢や技術の状況に応じて置き換えて生かすことができるように、普遍化した知識にまで高める



第2図 飯館村の比曽地区にやってきた放射能の雲 (現地での聞き取りを元に畑村が想像した)

必要を感じ、まとめたものである¹⁾。

(2) “失敗の道”, “成功の道”

事態の進行中には、その時々々に何かを選択・決断し、実行しなければならない。事態の進展の各段階で選択したものを繋いでいった結果が“失敗の道”である。一方、それぞれの段階で仮に別の選択をしていれば、その脈絡をたどると結果として成功に至るといえる道があるはずである。これが“成功の道”である(第3図)。

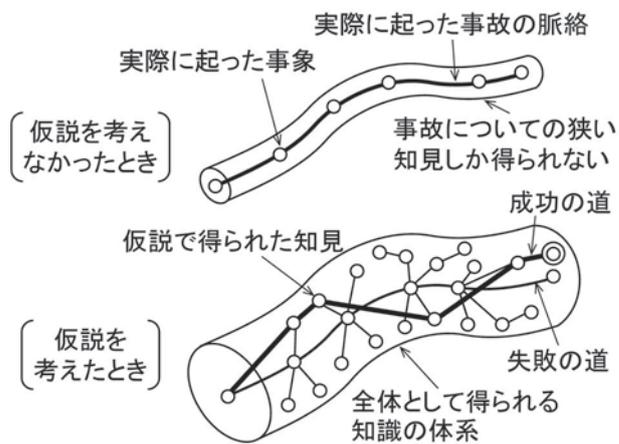
多くの場合、事故調査は失敗の道のみを詳しく分析し調査するが、事故で学んだことを次に生かそうとすれば、このような仮説をたどって成功に至る道を明らかにし、それぞれの段階での選択・決定をどのように行うのかなどについての知見を明らかにすることが必要である。

事故のような緊急の際は、あらかじめ考えておいたことだけが使える。事故が起こる前にあらかじめ起こる現象とそれに対する対応策を考えておき、頭の中の棚に蓄えておくことが必要である。とっさに選択・決定しなければならないときに、一つずつ論理を積み上げ、事態の進展に合わせて正しい対応をすることは不可能で、その時々々の選択はその時点で見えているものの中でしか判断され得ない。それ故、当事者は事故が起こったとき、全体像を持たずに判断していることを自覚するとともに、常に全体像を捉えるための準備をしておくことが肝要である。

(3) 他分野の知識を学ぶ

今回の事故により、私たちは原子力発電技術は失敗も成功も含めて必要な経験をまだ十分に獲得していない、若くてひ弱な技術であることを思い知らされた。

筆者は産業革命以降の産業の発達の基幹となる技術の一つとしてボイラの発達の歴史を概観し、“一つの技術分野で十分な失敗経験が蓄積するには200年かかる”という仮説を立てた。ボイラは18世紀に発明され、19世紀初めに実用技術として確立したが、高圧化に伴って多くの



第3図 事故で起こった事象に仮説を加えて全体像を作ると豊かな知識体系ができる

犠牲者を伴う事故を繰り返した。対策として様々な安全基準を設けると共に、材料や溶接技術等の発達もあり、安全性は徐々に高まり、米国の ASME では1942年に安全率を5から4に引き下げた。ボイラの大事故はそれ以降起こっていない。さらに、ASME は1998年に安全率を4から3.5に下げた。ボイラは約200年かけて十分な失敗を経験し、現在安定的に使われるようになったのである。

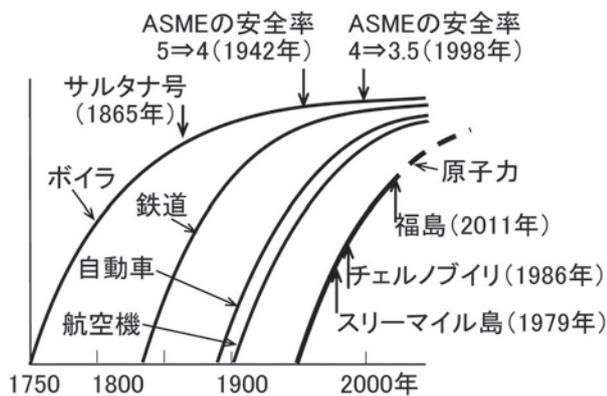
ボイラの技術の変遷および鉄道、航空機、自動車などの技術の変遷をグラフに表したものが第4図である。

一方、原子力発電は1950年代に商用への利用が始まって以来、現在(2012年)までに60年が経過したに過ぎない。この60年間にこの分野で大事故と考えられているのは、スリーマイル島事故(1979年)、チェルノブイリ事故(1986年)、福島原発事故(2011年)の3つである。これらの事故の直接的な原因はそれぞれ、ヒューマンエラー、発散系のシステムという設計思想の誤り、地震と津波という自然災害の考慮不足と考えられる。

上述の仮説に従えば、原発分野では今後140年かけて様々な失敗を経験しなければならない。しかし、他分野の知見を取り入れることによってそれをはるかに短縮することができるのではないだろうか。そのためには原発分野が他の技術分野から隔離されることなく、他分野の知見を十分に学び取るだけの謙虚さと柔軟さを持たなければならない。決して“原子力村”を作ってはならないのである。

他分野では当然の考え方が原発分野にはない例として次のようなものがある。大規模なプラントを有する化学分野では、消火用配管などの緊急用設備は、配管の漏れを目視できるようにするために地中に埋設することはない。しかし、柏崎刈羽原子力発電所ではこれを土中に埋設していたために、中越沖地震の際に地盤の揺れで寸断され、変圧器火災の消火ができなかった。これは、他分野で当然となっている知見が導入されていなかったために事態を悪化させた例といえる。

今後“200年”を短縮するには、原子力発電関係者たち



第4図 どんな分野でも十分な失敗経験を積むには200年かかる
(原子力はまだ60年しか経っていない)

が広い視野を持って今回の事故で得られた知見、海外も含め様々な事故で得られた知見、また他分野に学ぶことが必要である。

3. これからどうするか

(1) 放射能の汚染にどう対応するか

今回の事故で最も重大なことは放射性物質が広範囲に飛散し、住民や環境が影響を受けたことである。これは一時的な影響範囲の広さと放射線の強さの問題ではなく、長期間にわたってその影響が続き、対応をし続けなければならない問題である。

ここで、意識しなければならないことは、放射能は“消せない”ことである。“除染”というと、他の化学物質による汚染と同様に、何か工夫すれば放射能を消せるという誤解があるように思われる。しかし実際には放射能がなくなるまで影響の少ないところに保管して時が経つのを待つしかない。

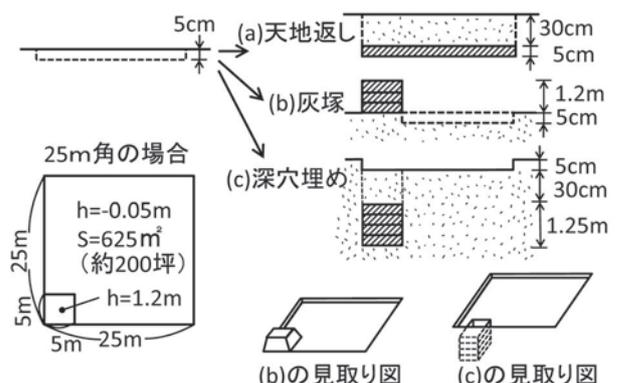
現在問題となっているのは主にセシウム137である。これは半減期が30年なので、100年後にはほぼ問題のないレベルになる。それまで汚染物質をどのように保管するかが問題である。大量にまとめて保管しようとすればその場所の確保が容易ではないことから、汚染物質を小分けにして、田畑や庭の一面に深い穴を掘って保管するという考え方がおそらくもっとも実際的だと思われる(第5図)。100年後の再興を目指して計画を立てるといって長期にわたる計画が必要だと考えられる。

(2) 全ては変わる 国民の考えも変わる

現在、日本の中では原子力発電廃止の機運が非常に高まっている。

しかし、原子力発電を廃止すれば、現状では再生可能エネルギーだけでは必要な電力が賄えないため、代替燃料を輸入しなければならない。すると発電コストが上がり電気料金が上がるだけでなく、エネルギー源を外国に頼る脆弱さが様々な形で顕在化すると考えられる。

一方、現在の時点で原発廃止という判断がなされたとしても、数十年後に原子力発電の必要性が再確認されることがあり得る。たとえば、米国ではスリーマイル島事



第5図 汚染土の処置は灰塚か深穴埋めが実際の

故以降30年間、原子炉の新設が行われなかったが、最近になって原子力発電の必要性が再び高まり、新設が決定された。このような経緯を考えると、日本のように資源の乏しい国では再び原子力発電が必要になる可能性もゼロではない。

原子力という非常に危険なものをエネルギー源として採用したのは社会全体が電気を非常に欲していたからである。第2次世界大戦後、復興が進んで経済活動が活発化するにつれ、電気の需要が増大し、電力が経済発展や生活向上の制約となっていた。その状況を打開するために原子力発電導入を決断したのである。

原発導入に先駆けて1956年に始まった黒部ダム建設には当時の金額で513億円(当時の関西電力の資本金の2倍に相当する金額)がかかった。1961年に発電が開始された黒部川第4発電所の総発電量は34万kWで、福島第一原発の1号機の出力46万kWにすら及ばない。日本で作られた最新の原子力発電所は1基で約130万kWの発電能力を持つ。実に黒部の4倍である。現在のように電気を無意識に自由に使える状態になっていたのは原子力発電のお蔭といっても過言ではない。今後、原子力発電についてどのように判断するにせよ、これほど電力を求めていたということを忘れてはならない。

(3) 再稼働について考える

防災を考えるだけでなく、事故が起こることを前提として減災を考える必要がある。“原子力は安全である”というありもしない神話を作り、しかもそれを多くの人が信じていた状態は極めて異常である。そのためには、原子力発電を効率よくしかも安全に行うために、考え落としがないように綿密に考え、準備をしておこうとする順方向の考え方だけでは限界があることを今回の事故が教えてくれた。事故は起こるものとして、どのようなことが起こるのか、その被害を最小にするにはどうすればいいのか、という逆方向の考え方が必要であることを肝に銘ずるべきである。

福島原発事故が起こるまでは、原子力発電事業では効率よく安定的に発電できるようにすることと、様々な基準や規則等を設けて事故を防止し、原子力発電をより安全なものにすることを目指してきた。しかし、事故は起こった。

原子力はそもそもエネルギー密度が非常に高く、極めて危険なものである。このように危険なものを使うためには、事故が起こらないようにすることだけを考える“防災”という考え方だけでは不十分で、事故は起こるものと考えて、起こった後の被害を最小に抑えるにはどうすればよいかを考える“減災”の必要性が明らかである。事故が起こらないように可能な限り準備すること、“減災”を考えて被害拡大防止策を準備し、防災訓練等を実際に行うことが必須である。

今回の事故では避難が円滑に行われたとはとても言い

難い。たとえば、双葉病院のように、移動困難な患者を避難させたために、多くの患者が亡くなるという悲惨なことも起こったのである。避難の問題を考えると、避難計画や避難場所を準備するだけでなく、実際に地域住民全員が参加して避難訓練を行うことが非常に重要である。また、避難を余儀なくされた16万人の人々の多くが先行きの見えない不安を訴えている。このようなことから、避難だけでなく、元の生活の場に戻って元通りに生活できるようになるまでの長期間の計画があらかじめ考えられ、準備されている必要がある。

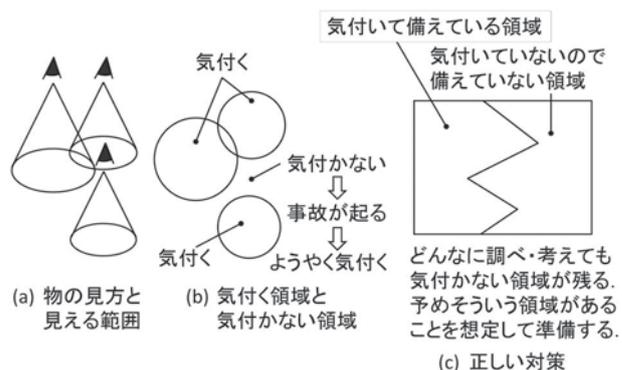
停止中の原子力発電所の再稼働については、安全性を確認するストレステストの結果、問題なければ運転再開を検討するという形で動いている。しかし、このような形での運転再開には問題があると思われる。考え漏れや気付かぬ点が必ず残っているからである(第6図)。基本的な考え方をこれまでと変えることなく、対象物を変えたりチェックを厳格にしたりするだけでは考え漏れに気付くことはない。今回の事故が津波という考えから漏れた要因に端を発したことを考えれば、このような考え漏れがないことを前提とした考え方では必ず禍根を残す。

このように考えると、“うまくいく方向(順方向)からだけでなく、まずくなる方向から(逆方向)に考える”、“あり得ることは起こる”、すなわち事故は起こるものとして逆方向からも考えることが不可欠である。そして、このことが今回の事故を通じて学んだ最も大きなことではないだろうか(第7図)。

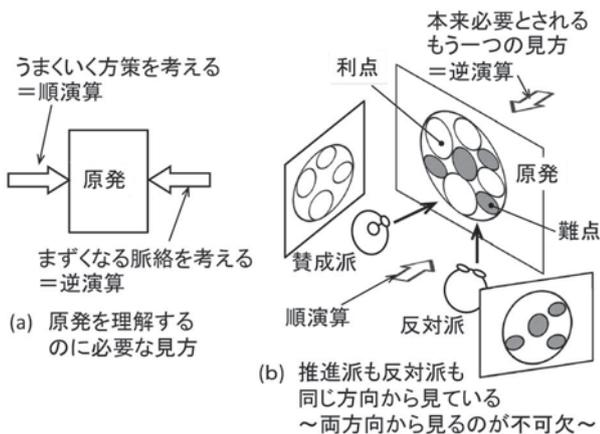
再稼働を考えるには、危険であることを認めた上で利便とのバランスを考えて十分議論を尽くす必要がある。

4. 原子力工学関係者への期待

2011年3月11日、東日本大震災で東京電力福島原子力発電所が津波に襲われ、冷却不能になるという事態が起こった際、原子力発電に関係する事業者、規制機関、学者など、多くの人が“想定外”という言葉が多用した。これを聞いた国民の多くは、彼らが“想定外だから仕方がなかった、自分たちには責任がない”と責任逃れをしているように感じた。“原子力は安全だ”と言う安全神話の



第6図 どんなに考えても気づかない領域が残る



第7図 これから必要となる原発についての考え方

もとに運用してきたからには、今回の大災害が起こっても深刻な事態には至らないように備えがしてあるべきで、それこそが彼らの責務だと考えたからである。

(1) 分かるように伝える—情報発信や技術解説

今回、事故に関して大量の情報や技術解説が世に送り出されたが、それらへの不満の声を耳にすることが多かった。情報や解説は情報の受け手が何を求めているかを意識した上で発信されなければ、発信者が意図している内容が正確に伝わらない。たとえば、自分たちが期待する速度で情報が来なければ“隠している”と思い、自分が考えた通りの内容でない“嘘をついている”思いがちである。このようなことを防ぐには、きめ細かい情報発信と受け手が理解しやすくする工夫が必要である。

また、今回の事故の情報発信や解説では専門用語や略号が多用されただけでなく、専門知識がなければその意味が分からないような情報が多かった。たとえば、“バルブを手動で開閉した”という言葉でどのような作業を思い浮かべたであろうか。現場に行ってバルブについてのハンドルを直接動かしたと考えた人が多かったのではなからうか。実際には、中央制御室の操作盤のスイッチが操作され、直流電源で駆動される制御盤に信号が送られ、それからの出力で空圧源の電磁バルブの開閉が行われ、空圧源から空圧シリンダに圧縮空気が送られ、ラックピニオンとかベベルギアとかリンク機構などでバタフライバルブが回転させられるという一連の動作が起こるのである。しかし多くの人はこのようにさまざまな要素が介在しているとは思わないため、“手動でバルブの開閉をしたのに動かなかった”という情報から正確なイメージを想起することはできない。情報の発信者は専門用語や略号の持つ意味を正しく伝えるとともに、専門知

識がない情報の受け手が理解しやすいように情報を発信しなければならない。

原子力や放射線に関する正しい知識を国民全員が持つ必要性が訴えられている現在、原子力工学者からの適切な情報発信が期待される。

(2) 技術を生かし続ける

今回の原発事故は人間の歴史の中でも最大の失敗の一つである。しかし、原子力技術そのものをまるで触れてはならない技術であるかのような扱いをしてはならない。原発を停止するにせよ、再稼働するにせよ、原発に関する知見を常に最新のものに更新し、原発の技術を生きている状態に保たなければならない。

その理由は、一つには福島原発事故の処理を行わなければならないからである。もう一つには、発電を行わなくなったとしても使用済み核燃料の処理の問題が残るからである。さらに、新興国や発展途上国では原子力発電の導入が盛んで、もし日本で原発を廃止したとしても、他国での利用が続くときに、原発を積極的に輸出産業とすることがどうかは別にしても、日本が技術を持たないでよいのかという問題があるからである。そして、前章で述べたように、いま原発を再稼働しないという判断がなされたとしても、数十年後に原子力発電が再び必要とされることもあり得るからである。

原子力工学を発展させるためにも、関係者が今回の事故を単に反省するだけではなく、事故から学ぶべきものを十分に学び尽くし、正しい技術として成長させていくことを期待している。原子力に携わる人々が自信と誇りを持って働かなければ、少なくとも日本の社会にとっては非常に不幸なことである。

福島原発事故の政府事故調査委員長を終えてから考えてきたことのいくつかの話をしてきた。ここで述べたような事柄が、原子力に関係する人々に理解され、生かされることを期待している。

—参考文献—

- 1) 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会、最終報告、メディアランド(株)、(2012)。

著者紹介



畑村洋太郎(はたむら・ようたろう)
工学院大学教授・東京大学名誉教授
(専門分野)生産加工学, 医学支援工学,
失敗学, 危険学, 創造学

解説

エネルギー政策における国民的議論とは何だったのか

大阪大学コミュニケーション
デザイン・センター 八木 絵香

エネルギー・環境戦略に関する「国民的議論」において、世界初の試みとなった政府主催の「討論型世論調査」。これらの結果に接した人々、特に筆者が会おう原子力分野の人々に少なくない感想は、「あれは『特殊な』人達の声で、サイレントマジョリティの考え方は違う」というものである。本当に討論型世論調査で示された国民の声は「特殊な」人々の声なのだろうか。その結果はどう読み解かれるべきだったのか。このような観点から、2012年夏のエネルギー・環境戦略に関する国民的議論を振り返り、今後のエネルギー政策の具現化に向けて、改めて原子力専門家が問われる役割について解説する。

I. エネルギー戦略に関する国民的議論

1. 「国民的議論」がおかれた文脈

福島第一原子力発電所事故を受け、エネルギー政策は抜本的な見直しを迫られた。事故から3ヶ月後の2011年6月には、エネルギー・環境会議が設置され、同年7月には「革新的エネルギー・環境戦略に向けた中間的な整理」が示された。この中間的な整理では、基本理念として「新たなベストミックス実現に向けた三原則」「新たなエネルギーシステム実現に向けた三原則」「国民合意の形成に向けた三原則」が提示されている。2012年夏に行われたエネルギー・環境戦略における「国民的議論」は、この三番目の原則を基本理念として実施された。

国民合意の形成に向けた三原則は、①「反原発」と「原発推進」の二項対立を乗り越えた国民的議論を展開する、②客観的なデータに基づき戦略を検討する、③国民各層との対話を続けながら革新的エネルギー・環境戦略を構築する、である。さらに2011年12月に示された「基本方針～エネルギー・環境戦略に関する戦略の選択肢の提示に向けて～」では、2012年夏までに革新的エネルギー・環境戦略を決定するための行程が示された。しかし、「国民的議論」を行うための前提条件の整理は難航し、最終的に選択肢が提示されたのは、2012年6月29日であった。そこから、革新的エネルギー・環境戦略が決定された9月14日までの期間は、約2ヶ月半しかなかったのである。

2011年5月のエネルギー・環境会議の設置以降、種々

What was the Problem to Formulate Innovative Energy and Environmental Strategies through Public Dialogues : Ekou YAGI

(2012年 10月31日 受理)

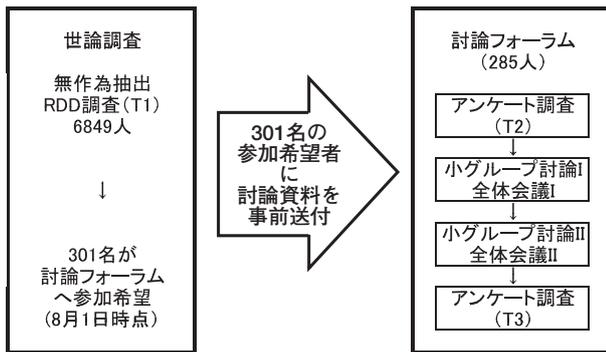
の情報提供が、少なくとも従来型の審議会よりは丁寧な形で提供され続けていたことをもって、国民的議論はその1年前から始まっていたという見方もある。しかし実態としては、議論の前提となる選択肢や情報が提示されて1～2ヶ月という期間内で行われた①パブリックコメント、②意見聴取会、③討論型世論調査が、政府が直接「国民の声」を聞くために開いた回路であった。このような強い時間的制約の中で、今回の国民的議論は開始されることになった。

2. 「討論型世論調査」とは何か

2012年夏のエネルギー・環境に関する国民的議論では、従来型のパブリックコメント、全国11箇所で行われた意見聴取会、そして討論型世論調査という新しい手法が用いられた。本稿では、政府主催で行われるのは世界初となった討論型世論調査を中心に議論を進める。

「討論型世論調査(Deliberative Opinion Poll: DP[以下、DP])」とは、米国の政治学者ジェームス・フィシキンが開発した討論型の世論調査であり、一般的な世論調査とは異なり、参加する人々に事前に情報資料を配付し、それをもとに参加市民同士、または参加市民と専門家が討論し、その討論の前後で、参加者の考え方がどのように変化したかを調査するという点に特徴がある。

今回のDPでは、RDD(Random Digit Dialing)というコンピュータで無作為に番号を作り、架電する方式を用いて6,849名(T1対象者)が抽出された。このT1対象者のうち参加を希望した285名が、8月4～5日に東京都内で開催された討論フォーラムに参加した。討論フォーラム参加者には事前に資料が配付され、これを通読した参加者は、討論フォーラム開始前にT2に回答し、さらに、2日間にわたる討論の後、T3に回答した



第1図 DPの基本的フレーム
(実行委員会資料を基に筆者作成)

(第1図)。

筆者は、DP実行委員会の元に設置された第三者検証委員会の専門調査員として、一連のプロセスを参与観察し、その検証を行った。結果概要および検証結果については、国家戦略室のホームページ¹⁾において公開された通りである。

3. DPの結果とその報道傾向

DPの結果は、2012年8月22日付の新聞各紙(夕刊)で次のように報じられた。

朝日新聞：『原発0%』討論後に増、最多の46.7%支持

毎日新聞：『原発ゼロ』増加46.7『安全最重視』8割

読売新聞：『原発ゼロ』46.7意見聴取会より低く

日経新聞：原発ゼロ支持、参加後47%に増加

そして、新聞見出しに代表される報道の論調により、DPという「熟議」により一般市民の意見は、ゼロシナリオ支持に傾いたという印象が支配的となった。

ここで、DPの回答方式について基本的な説明を付け加えておく。今回のDPの結果は、「原発ゼロ支持○%」のように表現されることが多いが、実際には、「ゼロシナリオ・15%シナリオ・20~25%シナリオ」の3択から1つを選択するという方式ではない。DP参加者は、3つのシナリオそれぞれに対して、11段階(0:強く反対する~5:ちょうど中間~10:強く賛成する)で回答する。また、各シナリオについての説明文章は次の通りである。

ゼロシナリオ：すべての原子力発電所を2030年までに、なるべく早く廃止する

15シナリオ：原子力発電所を徐々に減らしていく(結果として2030年に電力量の15%程度になる)

20~25シナリオ：原子力発電所を今までよりも少ない水準で一定程度維持していく(結果として2030年に電力量の20~25%程度になる)

DP報告書²⁾では、回答者が与えた各シナリオの評価点のうち、6点以上を与えたシナリオを比較し、そのうち最高得点を与えたシナリオを「支持シナリオ」として分類している。その結果、ゼロシナリオ支持のパーセンテージが、T1(DP参加者のみ)→T2→T3にかけて、32.6

%→41.1%→46.7%に変化したデータを基に「討論後にゼロシナリオ支持者が増加」と結論づけている。

これらの結果に接した人々、特に筆者が出会う原子力分野の人々に少なくない感想は、「あれは『特殊な』人達の声で、サイレントマジョリティの考え方は違う」というものである。本当にDPで示された国民の声は「特殊な」人々の声なのだろうか。「特殊な」人々の声であるとするならば、どのような意味で特殊なのだろうか。

II. 討論型世論調査の会場から

8月5~6日にかけて開催された討論フォーラムは、次のような枠組みで実施された。基本の枠組みは小グループ討論(約15人ごとの一般参加者同士の討論)と、全体討論(小グループごとに作成した質問を、壇上にいる専門家に投げかけ回答を得る)の2つにより構成される。

【初日】テーマ：エネルギーと判断基準を考える

小グループ討論I(90分) 全体討論I(90分)

【2日目】テーマ：2030年のシナリオを考える

小グループ討論I(90分) 全体討論I(90分)

以下に、一連のプロセスへの参与観察結果から、討論フォーラムを通じての参加者の態度変容、特にゼロシナリオ支持者の発言の意味について考察を加える。

1. 小グループ討論I

モデレーターの進行により、小グループ討論Iの導入では、自己紹介を兼ねて3つのシナリオに関する意見交換が行われた。各グループの討論では、福島県からの避難者や、広島県在住の参加者をはじめとして、自らの経験から、明確に原子力発電に対する反対意見を示す参加者もいた。しかし、小グループ討論においてそれらの意見が支配的であったという印象はない。その意味で、混乱ばかりがクローズアップされた意見聴取会とは異なり、比較的冷静な討論が行われていたといえる。実際に参加者も「お互いの意見を尊重できた(80.4%)」「自分とは違う立場の人から多くを学んだ(72.6%)」というように、小グループ討論のあり方を肯定的に評価している³⁾。

筆者にとって特に印象的であったのは、小グループ討論開始時(T2直後)に、ゼロシナリオを支持した複数の参加者の次のような意見表明³⁾の「仕方」であった。

○原子力をどうしてもなくしたいというわけではない。でも、できればなくしたいとは思っている。

○理想としてはゼロに近づけたい。ただ経済の問題も大切だと思うので難しい。

○基本的には反対。ただ原子力をやめるのも大変な問題だと思う。

○経済性の問題もあるけれど、ゼロを目指したい。

○原発ありきを前提におくのではなくて、前提に原発ゼロを置けば何かが変わるんじゃないか。

「できれば」「理想としては」「基本的には」「目指したい」「何かが変わるんじゃないか」という言葉で表現されたように、確固たる意思を持ってゼロシナリオを支持しているというよりは、ゼロシナリオ支持を表明しつつも、その実現可能性について懐疑的である、という参加者が複数確認されたのである。

2. 全体討論Ⅰ

そのような参加者の理想と現実の認知ギャップは、初日の全体討論Ⅰにおける質問にも反映されていた。

初日の議論は、エネルギーを巡る全体状況とその判断基準をテーマに設計されていたが、小グループ討論を経て作成された専門家への質問は、ダイレクトに原子力の安全性を問うたものが18件中3件、その他にも原子力発電廃止に係る経済影響や、廃炉・廃棄物も含めたコストの問題、大飯原子力発電所の再稼働根拠に関する考え方など「原子力発電のない世界を仮定し」その実現可能性を吟味する観点から行われるものが少なくなかった。

全体討論Ⅰの登壇者は、荻本和彦氏、山口彰氏、高橋洋氏、吉岡齊氏の4名である。その中でも、荻本・高橋両氏は、コスト、技術発展、資源確保の可能性のいずれをとっても将来予測に関する「不確実性」が存在すること、エネルギーの「多様性」が重要であることを強調した。

3. 小グループ討論Ⅱ

全体討論での専門家(特に荻本氏と高橋氏)の発言を受けて、2日目朝から再開された小グループ討論Ⅱでは、次のような発言が相次いだ³⁾。

- ゼロと思っていたけど、先生達もどうしたらよいかかわからないと言っていたし、経済の問題などの話を聞いたら、ゼロにはしないほうがよいのかも感じた。
- 昨日の話聞いて、不確実であることがよくわかった。(電源の)多様性を踏まえつつ選ぶ必要があるなど。
- 100点満点に何がいかと思って聞いていたら、結局どれにも長短があるということなんだと感じた。
- (電源を)1つに絞って決められないというのがよくわかった。日本がおかれた状況を踏まえていくことが大事。
- (ゼロを支持していたけれど)可能なら使用せざるをえないという感じは少し持った。

この段階で、調査票による参加者全員の意思確認は行われていないため、全体の傾向を確認することはできない。しかし筆者および検証委員会メンバーの参与観察によれば、ゼロシナリオの「実現可能性」を疑う参加者の声は、複数のグループで確認されている。

ある参加者は「昨日の話聞いて、夜に東京のイルミネーションを眺めながら、あー原発はなくならないんだなあと感じた」とやや自嘲気味に発言した。この発言に示されるように、原子力発電をなくしたいと思いつつも、その実現可能性のハードルの高さに不安を感じ始めた参加者が少なからず存在したと推測される。

4. 全体討論Ⅱ

それらの不安を象徴的に示したのが、2日目の全体討論冒頭で提示された次の質問⁴⁾である。

C グループ：(中略)現在の世論の状況で国策として原発ゼロに向かわせることができるのでしょうか。これは答えにくい質問かもしれませんが、ぜひ答えて下さい。それと、もしできるならばその具体的な工程表はどうなっているのか、先生方のもとに、このデータは来ているのかどうか、これに大変大きな疑問を持っています。

A グループ：できれば先生方全員にお聞きしたいと思いますが、原発ゼロのシナリオはあると思うか、もしあるとする場合には、この国がどのような社会になるかということをお聞きしたいと思います。

S グループ：シナリオについて選択ができるのかというので、まずこれは無理だというのが正直な意見です。(中略)原子力というものをあれだけの悲惨なものをみて、できたら使いたくないよねというのが共通の意見で。それなのにあの選択肢はどうして2030年にゼロ。そんなことをしたらすごい影響を私達は受けると言うことがわかって、それならできないじゃないかということになる。2050年にゼロとかそういう選択肢がなぜなかったのか、そこまでに討論を毎年、その評価をしながら、再生可能エネルギーがこうなったからまだ続けなければいけないというのなら原発を延ばしましょうとか、新しいのをつくりましょうとか言う選択肢を私達に委ねて欲しい。

これらの質問に示されたように、参加者が繰り返し問うていたことは、①原子力発電ゼロシナリオは実現可能か、②その具体的な工程はどのようなものか、③原子力発電ゼロが実現した場合、社会はどのような状況になるのか、の3点である。加えて、2030年までに原子力発電比率をゼロにできない場合、より遠い将来にゼロ目標を掲げ、他エネルギー源の定着率を見ながら、段階ごとに見直し、原子力発電ゼロに向けたロードマップを描くことが必要であるという主張も行われている。

この質問に対しては、全体討論Ⅱで専門家として登壇した枝廣淳子氏、崎田裕子氏、田中知氏、西岡秀三氏の4名が回答した。その回答は、枝廣氏が、2030年にゼロシナリオはあり得るというものであり、それ以外の3氏が、将来をいつの段階に設定するかによるが、長期的に

は原子力発電ゼロのシナリオもあり得る。ただし、その場合であっても、省エネ技術の進展や再生可能エネルギー発電の定着など、段階的に状況を検証した上で進めていくことが肝要というものであった。

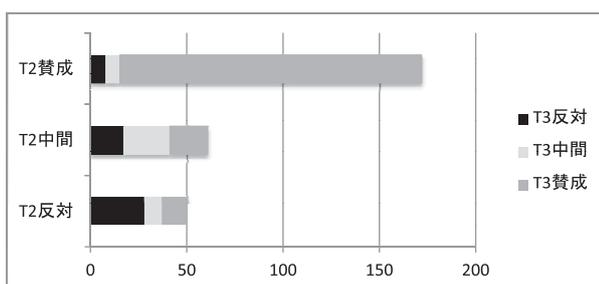
5. 参加者の意思表示から見えてくるもの

この一連の議論を経た上での討論フォーラム参加者の意見変容が、前述のゼロシナリオ支持の増加(T2:41.1%→T3:46.7%)である。ただし、この変容は一律ではない。

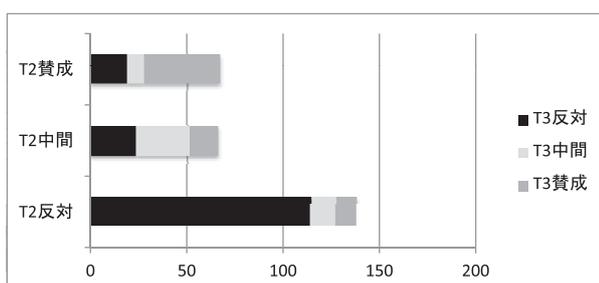
第2図に示すとおり、T2、T3を通じてゼロシナリオ支持者が圧倒的多数である一方で、討論を経て、ゼロシナリオ賛成(T2)からゼロシナリオ反対(T3)に転じた者が8名、ゼロシナリオ反対(T2)からゼロシナリオ賛成(T3)に転じた者が13名存在する。

また第3図に示す通り、討論を経て20~25シナリオ賛成(T2)から20~25シナリオ反対(T3)に転じた者が19名、20~25シナリオ反対(T2)から20~25シナリオ賛成(T3)に転じた者が11名存在する。全体としてゼロシナリオ支持傾向に変化したというよりは、その態度変容のパターンは多様であったことがここには示されている。

一方で第2、3図からもわかるとおり、全体的な傾向をみれば、ゼロシナリオ支持者が増加し、20~25シナリオ支持者が減少傾向にあったことに変わりはない。DP第三者検証委員会は、事前準備および当日の討論の過程において、特定の意図をもった誘導や「やらせ」といった操作等はなかったと結論づけている。そのような前提条件のもとで、参加者の多くがゼロシナリオを支持した事実は、重く受け止められるべきである。



第2図 ゼロシナリオ支持の変化(筆者作成)



第3図 20~25シナリオ支持の変化(筆者作成)

しかし、ここでもう一つの疑問が浮かび上がる。ゼロシナリオを支持した参加者は、どのような理由でそれを支持したのだろうか。結論を先取りして言えば筆者は、「2030年(まで)に原子力発電所ゼロ」の実現は容易ではないと理解しつつも、「原子力発電所をゼロにしようとする『方向性』もしくは「政策としてその方向性が『表明』されることを支持する」という意思表示としてゼロシナリオを選択した人が、少なからずいたものと推測している。

ある小グループ討論IIにおいてその終盤、初日の感想を述べる以外に一言も口を開いていなかった参加者が、モデレーターに促される形で次のように発言³⁾した。

○原発ゼロがいいと思っていたけれど、ゼロにした部分をどうカバーするかという問題は大きいということにはわかった。でも、今やめないとなくならないから、なくすということをやって欲しい。

○ゼロがいいと思っていたけれど、不確実なことが多すぎて、どれを選ぶにしてもスピードがどのくらいかという問題だと思う。それでもやはり不信感が強いから原発には反対したい。なしくずし的に増えないのかという不安。

「今やめないとなくならないから」「なしくずし的に増えないのかという不安」という表現は、できることならば原子力発電ゼロシナリオを選びたいとする人々の考えを端的に示している。そしてこれは、従来の原子力政策に対する強い不信感の裏返しでもあろう。

また「2030年ゼロシナリオが難しいのであれば、なぜ0~15%のあいだのシナリオがないのか。2030年にゼロが無理なら、その次が15%じゃなくて、ゼロが無理でもせめて2030年に1桁という選択肢を頑張って残して欲しかった」という発言³⁾が確認されたように、ゼロシナリオの実現可能性が低いのであれば、せめてそれに近い選択肢を選び取りたいとする参加者もいただろう。そしてこれらの声は、筆者がいくつかのインタビューを通じて確認した「できれば原子力発電ゼロを選びたい」とする人々が理由としてあげるものと整合的でもある。

今回のDPでは、シナリオ選択の背景要因として限られた項目のみを定量的に抽出しているため、これらの筆者の仮説を立証することは困難である。しかし「2030年(まで)にゼロ」を選択するということと「可能な限り早くゼロにするという『方向性』を選択するということは、この先のエネルギー戦略策定に根本的な違いを生む。このような観点からみれば、今回の国民的議論を通じた国民の意見の取り出し方そのものに、課題があったと言えないのではないだろうか。

Ⅲ. 何を国民的議論とすべきだったのか

1. シナリオありきの議論の限界

その意味で、今回のDPが3つのシナリオ選択ありき

で実施されたことは悔やまれる。参加者に配布された情報提供資料は、原子力発電所問題、電力構成に焦点をあて、3つの選択肢を中心的問題として取り上げていた。しかし、DP 専門家委員からも指摘⁵⁾があったように、3つの選択肢にこだわらず、需要供給の全体を見据えた将来的なエネルギーのあり方が議論されるべきであったとも言える。

また、エネルギー問題は「私達が今後どのような社会に生きていきたいか」という価値判断なしに語ることはできない。ある参加者が「自分たちが議論すべきは、原子力発電の比率ではなく、原発をゼロにしていく方向か、使い続ける方向かの倫理の問題だ。具体的な数字は専門家が決めればよい。」と発言³⁾したように、国民に問われるべきは、数値データに基づくシナリオの選択ではなく、そのシナリオが示す社会像、私達が向かう社会の方向性だったとも言える。

2. 参加者は「特殊な」人々だったのか

国内外を問わず近年、無作為抽出などにより「社会の縮図(ミニ・パブリックス⁶⁾: Mini-publics)」となる市民を集めて議論を行い、その結果を政策決定などに活用する市民参加の手法が注目を集めている。今回実施されたDPは、このミニ・パブリックスの代表的な手法の一つである。

政治学者の菅原⁷⁾は、DP 報告書²⁾が「参加者の代表性は損なわれていない」と結論づけたことを引用しつつ、男性参加者の比率が高いこと(67%)や、国勢調査データとの比較から、今回のDPの対象となった集団の偏りの可能性を指摘している。DPに代表されるミニ・パブリックスの手法は、必ずしも統計的的代表性を担保することを前提とはしていない。しかし今回のように、政府主催で、政策決定に活用することを前提に実施された場合、この菅原の指摘が持つ意味は重要である。

一方で、小グループ討論の参与観察からは、菅原がその可能性を指摘するように、「DP参加者は最初から強い固定的な意見を有している人々の集団であった」という印象はない(もちろん推進・反対の双方の方向性において強い固定的な意見を有していた参加者は存在する)。むしろ繰り返すように、脱原発という明確な主義主張というよりは、できれば原子力発電ゼロシナリオを選びたい、どうすればそれは実現可能なのか、と悩む人々が少なくなかったと筆者は推測している。

このような集団の声は、原子力関係者が指摘しがちな「特殊な人々の声」と切って捨ててしまってもよいものだろうか。そのような考え方は、原子力関係者と社会の接点を失わせることにならないだろうか。なぜならそこにいた人々は、原子力発電に対する主義主張において「特殊な」人々ではなく、将来のエネルギー政策について、憂い、真摯に議論し、自分の意見を表明したいという意思

を持つという意味で「特殊な(強い参加意欲をもつ)」人々だったからだ。

3. どのような手法を用いるべきだったのか

これらの問題意識は、「国民的議論」をどのように設計し、結果をどのように活用すべきだったのか、という問いへとつながる。筆者は、DPをはじめとする国民的議論は、エネルギー政策立案のための「参照資料」であり、その結果は丁寧に吟味されるべきであったと考えている。その意味で、どのシナリオを○%の人が支持したかというわかりやすい結論のみに着目することは、ミスリードである。もしくはそのような使い方をするのであれば、菅原が指摘する代表制の課題を十分にクリアした上で、実施される必要があった。

一方で将来のエネルギー選択という、不確実性と社会へのインパクトが極めて高く、高度な専門知識を要求するテーマを対象としたDPは、その結果として(変化として)の数字のみに着目するのではなく、態度を変容させた人が何に着目したのかを、質的調査も含めた形で丁寧にあぶりだし、それらを政策形成の参考資料にすることこそが必要だったのではないかと筆者は考える。残念ながら「態度変容の方向はかなり克明に追うことができるが、その変容の原因を特定化することは難しい」とDP報告書²⁾が記述するように、今回行われたDPでは、このような質的な変容をとらえることはできない。

結局は、何を目的に実施されたのか、適切な方法論は何だったのか、取り出した意見をどのように取り扱うつもりだったのかという「手法」についての吟味と合意がないままに、今回の「国民的議論」へと舵が切られたことに、全ての問題は収斂される。

筆者は、原子力に代表される科学技術の政策決定場面において、従来型の審議会やパブリックコメント、世論調査という手法のみならず、今回行われたような「熟議による市民の意思表示」という回路が必要であると考えている。しかし一方で、その使われ方については、当該テーマの政策形成に関する議論を離れたところで、「手法」を対象とした丁寧な吟味が行われるべきである。

その意味で、筆者をはじめとする参加型テクノロジーアセスメントの実践的研究に携わってきた専門家の責任は重い。改めて「エネルギー・環境の選択肢に関する『国民的議論』に関して、国民的議論を妥当な形で運用するためには、どのような制度・機能が必要であったのか」という基本的枠組みを検討し、手法の専門家は何をすべきだったのかという観点から批判的検討を加え、今後の展開につなげていかなければならないと考えている。

IV. 終わりにかえて

一連の国民的議論の結果を受けて、原子力専門家が成すべきことは何であろうか。そのヒントは、全体討論II

において、ゼロシナリオの実現可能性を問われて回答した田中知氏の次の発言⁴⁾の中にあると筆者は考える。

将来というのをいつの時点で考えるのかと言うことだと思います。もちろんですね、2050年、60～70年と言うときには、いろんな状況が整えばゼロにすることは可能かも知れない。状況というのは、例えば再生可能エネルギーがどんどん入ってきて、さらにそれが系統の安全性とかも良い、エネルギーセキュリティも問題ないというふうなことになるのと、総合的に比較評価してその案もあるかも知れないと思いますが、まだ2030年断面においてはですね、再生可能エネルギーには導入の限界もあるでしょうし、石油とか輸入資源の高騰等考えるとですね、2030年の段階においては原発ゼロというのは国の政策としてはよくないんじゃないかなと思います。(中略)大事なのは2030年というのは、もうあと18年ですよね、そこで終わるのではなく、その後どうするかですからですね、2030年にむけてどういう風にいろんなことを検証していきながら、将来どうつなげていくのかという観点も大事かと思えます。

原子力の専門家自らが、「状況が整えばゼロにすることは可能」という前提にまずは立ち、実効的なロードマップを描き、示すことこそが、今、求められているのである。

—参考文献—

- 1) 「エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査」ホームページ(2012年10月31日現在)
<http://www.npu.go.jp/kokumingiron/dp/index.html>
- 2) エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査実行委員会「エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査 調査報告書(2012年8月27日改訂版)」
- 3) 筆者の参与観察データによる。なお、本稿の執筆に際しては、筆者自身の参与観察によるデータを中心に、考察を行った。また、並行して別のグループの討論を傍聴していた他の検証委員会メンバーからも、グループ討論の印象を聞きとり、その内容も加味した。
- 4) 「エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査」全体会議映像による。
<http://www.npu.go.jp/kokumingiron/dp/index.html>
- 5) エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査第三者検証委員会「エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査検証調査報告書(2012年8月13日)」
- 6) 篠原一編, 討議デモクラシーの挑戦—ミニパブリックスが拓く新しい政治, 岩波書店, (2012).
- 7) 菅原琢, 討論型世論調査(DP)を考える, 日本世論調査協会2012年度第2回研究会
http://www.japor.or.jp/pdf/201202_kennkyuukai.pdf

著者紹介



八木絵香(やぎ・えこう)
大阪大学
(専門分野/関心分野)科学技術社会論/
ヒューマンファクター研究



津波を起因とした確率論的リスク評価

原子力学会標準を用いた津波 PRA の事故シーケンス評価例(PWR)

関西電力(株) 小原 教弘, 三菱重工業(株) 長谷川圭子, 黒岩 克也

東京電力福島第一原子力発電所事故を受け、日本原子力学会標準委員会において津波 PRA 実施基準¹⁾(以下、実施基準という)が策定された。産業界においても、PWR 電力共同で実施基準に則した津波 PRA 手法の検討を進めてきた。本稿では、産業界にて検討した津波 PRA 評価手法の適用例について解説する。また、今回の評価結果を基に一層の安全性向上対策へ反映する考察例を紹介する。

I. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所での事故を受け、外的事象に起因する原子力発電所のリスクに対する認識の重要性や外的リスクに対する発電所の安全性向上対策の必要性が増してきており、その評価手法の確立や実施並びに評価結果を参考とした対策等の検討を行うことが必要である。一方、外的事象として、地震や津波のような事象が挙げられるが、特に津波についてはこれまでに定量的なリスク評価手法が整備・確立されていないことから、日本原子力学会標準委員会のリスク専門部会においても、津波の確率論的リスク評価(津波 PRA)を実施することが喫緊の課題であるとの判断に基づき、2011年5月に津波 PRA 分科会を設置し、実施基準の作成に着手し、同年12月に策定された。

産業界においても津波 PRA 評価手法の整備並びにその評価を行う必要があるとの認識から、2011年度に PWR 電力共同で実施基準に則した津波 PRA 手法の検討を進めてきた。本稿では、まず産業界にて検討した津波 PRA 評価手法の概要を述べる。次に「事故シーケンス評価」のインプット情報として実施する「プラント構成・特性およびサイト情報の調査」や「事故シナリオの同定」について述べ、起因事象の設定、事故シーケンスのモデル化、システムのモデル化、事故シーケンスの定量化等の項目を中心に解説する。

II. 津波 PRA 評価手法の概要

本学会誌解説記事「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価」第1回²⁾にて桐本が述べてい

The Tsunami Probabilistic Risk Assessment (PRA); Example of accident sequence analysis of Tsunami PRA according to the standard for Procedure of Tsunami PRA for nuclear power plants: Norihiro OHARA, Keiko HASEGAWA, Katsuya KUROIWA.

(2012年 10月31日 受理)

るように、津波 PRA を実施するにあたり、「プラント構成・特性およびサイト情報の調査」、「事故シナリオの同定」、「津波ハザード評価」、「建屋・機器フラジリティ評価」、「事故シーケンス評価」の各項目における調査等が必要となる。各項目の概要は以下のとおり。

(1) プラント構成・特性およびサイト情報の調査

内的事象 PRA(ランダムで発生する機器故障や運転員の誤操作によって発生する起因事象を対象とする PRA)モデルを構築するにあたって調査した原子炉設置許可申請書等について文献調査を実施し、津波 PRA を実施するにあたり必要となるサイトの最新の状況、設計、運転管理などに関する情報等の調査を実施する。詳細は第三章にて解説する。

(2) 事故シナリオの同定

(1)で調査した結果を参考にしつつ、津波特有の事故シナリオを抽出・選定する。事故シナリオの選定にあたっては、津波起因の直接的な影響だけでなく、間接的な影響も考慮する。選定した事故シナリオを対象に起因事象の分析を実施し、建屋・機器リストの作成を実施する。詳細は第三章にて解説する。

(3) 津波ハザード評価

津波ハザード評価における不確かさの要因の分析、津波発生モデルの設定等を行い、津波高さと同過発生頻度との関係を示す津波ハザードを評価し、津波ハザード曲線を作成する。ただし、ここでは事故シーケンス評価手法の検討を目的としているため、津波ハザードは仮定の値を使用した。

(4) 建屋・機器フラジリティ評価

(1),(2)で得られた建屋・機器リストに基づき、起因事象および緩和設備に着目し、対象とする建屋・機器を選定する。次に、対象とする建屋・機器ごとに、津波により没水することで機能喪失に至る損傷モードおよび部位を抽出し、損傷モードに係わる損傷の指標を設定する。また、対象とする建屋・機器ごとに現実的耐力、現

実的応答の評価を実施し、建屋・機器のフラジリティ曲線を求める。ここでは事故シーケンス評価を中心に解説するため、フラジリティ評価は対象外としている。

(5) 事故シーケンス評価

(1)~(4)で実施した調査・評価結果をインプット情報として、事故シーケンス評価を実施し、定量化することで炉心損傷頻度が得られる。事故シーケンス評価については次章にて詳細に述べる。

Ⅲ. 事故シーケンス評価

1. プラント構成・特性の調査等

本評価は、既にこれまでに構築した内的事象 PRA モデル等をベースとして実施しており、ここでは、津波 PRA の事故シーケンス評価として新たに実施した評価や評価を行う上で留意した点を中心に示す。内的事象 PRA モデルを構築するにあたっては、原子炉設置許可申請書、運転手順書などのプラント設計及び運転管理に関する情報を対象に調査・分析を行っており、本評価を行うにあたってはこれらの情報を活用している。しかしながら、津波 PRA では、プラントに襲撃する津波による安全機能を有する設備等への影響評価を行うため、内的事象 PRA と比較した場合、各設備の設置高さ(エレベーション(EL))がより重要な情報となる。特に建屋内に設置されている設備への津波の影響を評価するにあたっては、建屋に流入した場合の水の伝播経路を調査・分析することが必要であり、そのためには伝播経路の発端となる建屋の開口部等の情報が必要となる。これらの情報は、津波 PRA を実施する上で、新たに収集する必要がある。本解析で評価対象とした屋内設備並びに各建屋に関する模式図を第 1 図に示す。

次に、津波 PRA において評価対象とする機器(津波 PRA 対象機器)の選定にあたり、本評価で対象とする事故シナリオを同定する必要がある。実施基準に示される

津波の影響として浸水による設備の没水以外にも漂流物の衝突などが挙げられているが、各種影響に関する定量化手法が確立されていないことから、本評価においては、没水による設備の機能喪失の影響を対象とした事故シナリオを選定した。

2. 津波 PRA 対象機器の選定

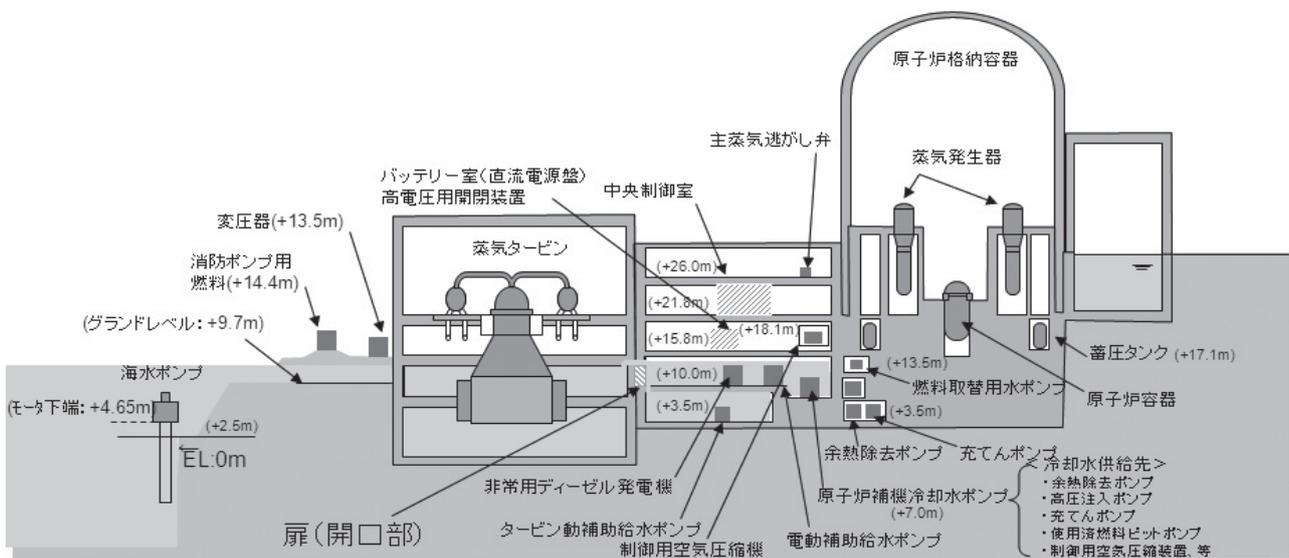
津波による事故シナリオの同定を行うにあたっては、既往の内的 PRA 等の評価をベースとして、津波 PRA で評価対象とする機器を選定するとともに、津波によって発生する起回事象の設定(Ⅲ-3節参照)や、影響を受ける設備等の同定(Ⅲ-4(1)項参照)などの作業を行いながら実施する。本評価での評価対象とする機器等の選定方針は以下のとおりである。

- (1) 動的機能要求がない動的機器(ポンプ等)は、没水により誤作動することは稀有であるとし、事象発生時に動的機能要求のある機器のみを選定対象とする。
- (2) 原子炉格納容器内および水密扉で分離された区画への津波による浸水はないものと判断し、その区画内の機器は選定対象外とする。
- (3) 高い位置に設置されており、津波が到達する頻度が非常に小さく、無視しても評価結果に影響を及ぼさないような機器は選定対象外とする。

上記の方針により選定した津波 PRA 対象機器に対して、後述するように津波の影響評価を行い、津波 PRA 対象機器リストとして整理した(Ⅲ-4(1)項参照)。

3. 起回事象の設定

津波によって誘発される起回事象としては、原子炉停止と津波による設備等の損傷があり、実施基準に基づき、起回事象の選定・抽出並びに設定を実施した。本評価では、津波による施設の損傷等による各種起回事象の



第 1 図 プラント断面図(津波による浸水を想定したイメージ例)

発生を検討した。起因事象の設定においては、原子炉施設に対する津波の影響範囲等の観点として、津波が設備等へ到達する物理的な範囲(屋外設備, 建屋, 建屋内設備など)並びに、到達した際の設備への機能面での影響を評価した。また、その際には、既往の内的事象 PRA で選定されている起因事象を参考とし、その中から津波の影響により直接的に発生することが考えられない起因事象を除外した。また、津波の到来までに原子炉は正常に停止できるものと考え、原子炉停止に失敗する ATWS (Anticipated Transients Without Scram) 事象は対象外とした。さらに津波特有の事象として追加で考慮すべき事象も含め、整理を行い起因事象の設定を実施した。

(1) 内的事象 PRA における起因事象との比較・選定
津波 PRA における起因事象の選定・抽出並びに設定を実施するにあたり、既往の内的事象 PRA において評価対象としている起因事象については、原子炉冷却材喪失事故 (LOCA) や蒸気発生器伝熱管破断などがあるが、津波による影響でこれらの配管等が破断することは考えられないため、起因事象として除外した。一方、「小破断 LOCA」, 「余熱除去系隔離弁 LOCA」, 「2 次冷却系の破断」については、この発生に関連する事象として、電動弁または空気作動弁の制御回路に対して津波が浸水することで混触等を起こし、当該弁が誤動作 (誤開放) することで、発生しうる起因事象としてまずは抽出した。

加えて、内的事象 PRA では考慮していないが、津波の襲来状況によっては、プラント制御・保護機能の観点で重要な電気盤の損傷等が発生し、複数の起因事象が発生する可能性があるとともに、プラント状態を収束させるために必要な制御等が不能な状態となる可能性がある。この場合は、事象進展の防止措置を適切にモデル化することは困難であることから、直接的に炉心損傷に至るような事象として想定した。

(2) 選定された起因事象発生の可能性検討と起因事象の設定

上記のプロセスで選定した起因事象のうち、「小破断 LOCA」, 「余熱除去系隔離弁 LOCA」, 「2 次冷却系の破断」に対して、浸水等の影響による当該起因事象の発生の可能性についてより詳細に検討を行った。各事象を発生させる弁を対象に、機器配置図面を用いた設置位置の確認並びにプラントウォークダウンの結果等から、原子炉格納容器の内部に配置されているため津波が浸水する可能性がないこと、もしくは浸水した場合においても当該弁の制御回路において混触等が発生し誤動作する可能性は稀有であることから、これらの事象は起因事象から除外した。本評価における評価対象事象を検討した結果、以下の 5 つの事象を起因事象として設定した。

- ・主給水喪失
- ・外部電源喪失
- ・過渡事象

- ・補機冷却水の喪失 (以下, CCW 喪失という)
- ・炉心損傷に至ると想定する事象 (以下, 炉心損傷直結という)

4. 事故シナリオの検討

津波による事故シーケンスのモデル化 (システムのモデル化を含む) 並びに定量化を実施するにあたり、発生した津波高さに応じて発生する起因事象並びに起因事象の事象進展を防止するための緩和設備の成功/失敗の組合せ等を評価した。

(1) 津波 PRA 対象機器への津波影響に関する評価

事故シナリオを検討するにあたり、選定された津波 PRA 対象機器に対して、収集したプラント情報等から、その設置高さや当該機器に対する伝播経路の発端となる開口部の特定並びに伝播した結果としての影響等を評価した (第 1 表)。

(2) 津波シナリオ区分 (EL 区分) の検討

津波によるプラントへの影響評価を行うにあたっては、異なる津波高さであってもその影響が同じであれば、同じシナリオとして扱うことができる。津波シナリオとしては、影響範囲が異なる可能性のある津波高さをバウンダリーとして区分し、「津波シナリオ区分 (EL 区分)」と定義した。また、この区分を行うにあたっては、評価する津波高さを上げていくことで、発生する起因事象が追加されることや建屋への進入経路が新たに追加されるエレベーションごとに区分を行った (第 2 表)。

5. 事故シーケンスのモデル化

事故シーケンスのモデル化では、安全機能の設定、成功基準の設定、イベントツリーの作成を行う。このうち、安全機能の設定および成功基準の設定に関しては既往の内的事象 PRA の評価結果を参考に実施している。次にイベントツリーの作成として、Ⅲ-3 節の起因事象の設定において設定した 5 つの起因事象のうち、「炉心損傷直結」を除く、4 つの起因事象に対して既往の各種 PRA で構築したイベントツリーを参考として作成する。なお、「炉心損傷直結」は、発生すれば直接的に炉心損傷に至ると想定する事象であるため、イベントツリーの作成

第 1 表 津波 PRA 対象機器リスト (例)

設備名称	設置場所	設置 EL	影響が及ぶ津波高さ
海水ポンプ	屋外	4.65 m	4.65 m
復水ポンプ	タービン建屋	-3.65 m	10.0 m
原子炉補機冷却水ポンプ	制御建屋	7.0 m	11.4 m
主変圧器	屋外	13.5 m	13.5 m
安全補機開閉器	制御建屋	15.8 m	15.8 m
主蒸気安全弁	原子炉建屋	33.6 m	33.6 m

第2表 津波シナリオ区分(EL区分)(例)

EL区分	津波水位(m)	起回事象	主要なシナリオインパクト
A	4.65~8.7未満	CCW喪失(主給水喪失)(過渡事象)	海水ポンプ機能喪失
B	8.7~10.0未満	同上	上記に加え, 原子炉補機冷却水ポンプ機能喪失が発生する可能性あり
C	10.0~11.4未満	CCW喪失 主給水喪失 過渡事象	上記に加え, 主給水ポンプ, 復水ポンプ等の機能喪失
D	11.4~13.5未満	同上	同上(建屋開口部シール高さ)
E	13.5~15.8未満	同上+ 外部電源喪失	シナリオ区分Dに加え, 主変圧器等が機能喪失
F	15.8以上	同上+ 炉心損傷直結	電気盤をはじめとして安全上重要な機器が没水。プラントの制御が困難な状況となる

※シナリオ区分Aに記載した(主給水喪失)と(過渡事象)は津波の影響により直接的に発生するものではなく、「CCW喪失」が発生することで制御用空気系統が機能喪失することにより主給水流量を制御する弁がフェイルクローズすることなどで、従属的に発生する。

は不要である。

(1) 津波起回事象階層イベントツリーの検討

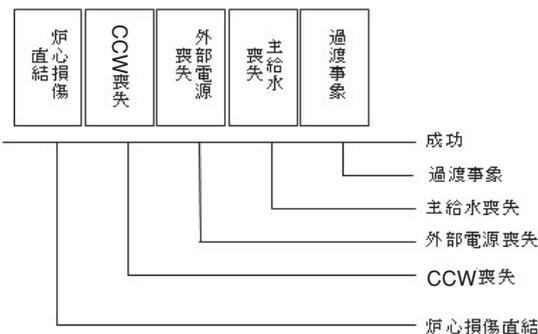
津波の影響を考慮するにあたり, 地震時と同様に, 複数の建物, 構築物および機器の破損が同時に発生する可能性があるため, 合理的な評価方法として地震PRAと同様に起回事象の階層化処理を行った(第2図)。

(2) 各起回事象のイベントツリーの検討

選定された4つの起回事象を対象に, 既往の各種PRAで構築したイベントツリーを参考に, 津波PRAのためのイベントツリーを構築した。

6. システムのモデル化

構築したイベントツリーの各ヘディングに対して, 成功/失敗の分岐確率を評価するためフォルトツリー(FT)を構築した。その際, 既往の各種PRAで構築したFTをベースに構築しているが, 本評価における前提条件



第2図 津波起回事象階層イベントツリー

等を以下に示す。

- (1) 津波で損傷した機器は, 外的要因で損傷しているため, 炉心損傷までの余裕時間内の復旧は考慮しない。
- (2) 津波で損傷した機器と従属関係にある緩和設備は, 津波による対象機器の損傷確率が1の場合, 従属関係にある緩和設備が必ず機能喪失するため, FTに展開しない。
- (3) 内的事象PRAでは, 使命時間として一般的に24時間が使用されることが多いが, 福島第一原子力発電所事故を鑑み, 使命時間は7日間(168時間)とする。
- (4) 福島第一原子力発電所での事故の後に整備した, 全交流電源喪失時の対策や津波による浸水対策(いわゆる緊急安全対策)も考慮する。

7. 事故シーケンスの定量化

(1) 炉心損傷頻度の算出方法

炉心損傷頻度の算出方法は, 実施基準に記載されている手法を用いているが, 「Ⅲ-4(2)項の津波シナリオ区分(EL区分)の検討」にも記載したように, 津波高さが異なっても, そのプラントに与える影響が同じ場合は, 同じシナリオ(事故シーケンス)として扱うことができることから, 本評価では, 津波シナリオ区分ごとの炉心損傷頻度を算出する。

(2) 事故シーケンスの定量化例

(1)の方法を用いて実施した, 津波シナリオ区分ごとの事故シーケンスの定量化結果を第3表に示す。ここで各シナリオ区分の津波発生頻度は事故シーケンスを定量化するために作成した仮想の数値である。津波高さ4.65m(海水ポンプのモーター下端位置)以下では, 海水ポンプは健全であり, 「CCW喪失」をはじめとして, 津波を

第3表 事故シーケンス定量化結果(例)

EL区分	津波高さ(m)	津波発生頻度(仮想)	起回事象	起回事象発生確率	条件付炉心損傷頻度	炉心損傷頻度(/炉年)
A	4.65~8.7未満	3×10^{-7}	CCW喪失	1.0	2.9×10^{-1}	8.7×10^{-8}
B	8.7~10.0未満	1×10^{-8}	CCW喪失	1.0	2.9×10^{-1}	2.9×10^{-9}
C	10.0~11.4未満	4×10^{-9}	CCW喪失	1.0	6.0×10^{-1}	2.4×10^{-9}
D	11.4~13.5未満	2×10^{-9}	CCW喪失	1.0	7.1×10^{-1}	1.4×10^{-9}
E	13.5~15.8未満	2×10^{-10}	CCW喪失	1.0	8.7×10^{-1}	1.7×10^{-10}
			外部電源喪失	0	0	0
F	4.65~8.7未満	1×10^{-10}	CCW喪失	1.4×10^{-1}	1.0	1.4×10^{-11}
			外部電源喪失	0	0	0
			炉心損傷直結	8.6×10^{-1}	1.0	8.6×10^{-11}

要因とする起因事象が発生しないことから、条件付炉心損傷確率は0であり、津波シナリオ区分としても評価の対象外としている。ここでは代表例として津波シナリオ区分 A および B について解説する。

シナリオ区分 A および B では、津波により海水ポンプが機能喪失し、起因事象「CCW 喪失」が発生し従属的に「主給水喪失」並びに「過渡事象」も発生する。この際、機能喪失した海水ポンプ等の復旧は見込まないが、緊急安全対策による炉心冷却に成功するシナリオを評価し、条件付炉心損傷確率は 2.9×10^{-1} となった。なお、シナリオ区分 A と B は、原子炉補機冷却水ポンプが機能喪失する津波高さで区分したものであるが、津波高さ4.65 m 以上の場合は、海水ポンプの機能喪失により起因事象「CCW 喪失」が発生していること、また機能喪失した設備の復旧を考慮しないことから、結果的に同じシナリオとして扱うことができる。当該区分においては原子炉補機冷却水系の喪失の発生に伴う1次冷却材ポンプシール LOCA の発生と、それを緩和するための手段が喪失(原子炉補機冷却水系が喪失していることが要因)していることにより、炉心損傷に至るシナリオがドミナントである。

(3) 感度解析

本評価の感度解析の対象項目としては、計算結果として得られた支配因子を含めて、評価結果に重要な影響を及ぼしうる仮定、モデルなどに関して、以下のような事項について感度解析を実施した(第4表)。

(1) 緊急安全対策の効果検討

緊急安全対策として整備した設備等の効果を検討するため、緊急安全対策実施前との比較を行った。開口部へのシール対策等について緊急安全対策として考慮した。感度解析の結果、緊急安全対策により炉心損傷頻度(CDF)は緊急安全対策前と比較して約1/3に低減する。

(2) 地震による設備損傷の影響検討

本評価では、地震による B, C クラス機器の損傷は考慮していない。ここでは、地震により主変圧器等の外部電源関連設備や2次系純水タンクが損傷した場合の評価を行った。感度解析の結果、外部電源が地震により機能喪失した場合 CDF は約1.8倍に増加し、2次系純水タンクが損傷した場合 CDF にはほとんど影響は見られなかった。

第4表 感度解析結果(例)

	緊急安全対策	地震による設備影響	
		外部電源	2次系純水タンク
ベースケース	含める	健全	損傷しない
感度解析	含めない	喪失	損傷を前提
炉心損傷頻度	約1/3	約1.8倍	ほぼ影響なし

IV. おわりに

地震や津波といった外的事象に起因する原子力発電所のリスクに対する対応は今後一層必要となる。PRA は原子力発電所のリスクを体系的かつ定量的に把握するための有効的な手段であり、特に、稀有な事象に関するリスクの不確かさを認識することが可能である。また、PRA を実施することでプラントの脆弱点を抽出することも可能であり、抽出した脆弱点に対して対策を講じることで効果的に安全性を向上させることができる。これらのリスク情報を参考とすることで、原子力発電所のさらなる安全性向上に資するものとなる。

本稿で対象とした津波 PRA に関しては、日本原子力学会標準委員会において、実施基準に記載されている各ステップの具体的評価例を記載した適用事例集の作成を進めており、評価手法は整備されつつある。産業界としても、原子力発電所の津波に対する安全性向上対策を実施する上で、津波 PRA の活用は必須であると認識しており、現在評価手法が確立されていない漂流物等の影響等について、適用事例集のさらなる充実が望まれる。今後、津波 PRA 評価手法の充実に伴い、津波 PRA 結果の活用についても更に拡張し、運用面も含めた原子力発電所の津波に対する安全性向上対策を順次進めていく予定である。

—参考資料—

- 1) 日本原子力学会 標準委員会, 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準: 2011 (AESJ-SC-RK 004:2011).
- 2) 桐本順広, 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価; 第1回 津波 PRA 評価手法の概要及びシステム解析, 日本原子力学会誌, 54[8], 510~514 (2012).

著者紹介



小原教弘(おはら・のりひろ)
関西電力株
(専門分野/関心分野)安全評価, 確率論的
リスク評価



長谷川圭子(はせがわ・けいこ)
三菱重工業株
(専門分野/関心分野)安全評価, 確率論的
リスク評価, システム安全・設計



黒岩克也(くろいわ・かつや)
三菱重工業株
(専門分野/関心分野)安全評価, 確率論的
リスク評価, システム安全・設計

福島における除染・処分コスト

単位工事コスト係数法による除染・処理・貯蔵処分費用の試算

日本原子力学会

クリーンアップ分科会

石倉 武, 藤田 玲子

福島地域の環境修復を早期に適切な形で進めるためには、全体の費用についての見通しを得つつ、リソースの適正な配分等を行っていく必要がある。現時点では、福島地域の除染等については、対象箇所によどのような除染方法が適用されるか、また、除染によって発生する除去土壌及び廃棄物に対して、どのような処理・処分方法が適用されるか確実に固まってはいない状況であり、必ずしも高い確度の費用を算定できない状況であるが、随時、最新の知見から、概略の全費用を試算し徐々に精度を上げていくような取組みが必要である。そこで、日本原子力学会クリーンアップ分科会では、公表されている処理フロー及び単価を活用するとともに、独自のシナリオとして、除染により発生した土壌を汚染濃度により中間貯蔵施設と管理型処分場に分け、また、限定再利用するなどのシナリオを設定し、概算費用の基本ケースとして試算した。その結果、6～9兆円の試算値が得られた。

I. 除染コスト算定の範囲と方法

1. 目標

福島第一原子力発電所事故により汚染されたオフサイト(発電所以外の地域)の除染・処理・貯蔵処分に必要な概略の全費用を試算し、費用算定の基本ケースを作成する。汚染地域の除染は年間線量率1 mSvを達成することを目標とする。1 mSv/y以上のすべての区画を対象にし、線量率を下げるために必要な処理処分を含む全費用の概算値を算定する。ただし、1～5 mSv/yの区画については全地域ではなく、部分的に高く汚染した(スポット状汚染)地域のみ限定して重点的に除染することとする。

2. 算定範囲

福島県を中心とする汚染地域における5 mSv/y以上の全地域及び1～5 mSv/yのスポット汚染地域における除染に伴う土壌・廃棄物及び特定廃棄物(「放射性物質汚染対処特措法」で定められた上下水道施設などから生じた汚泥など)を費用積算の対象範囲とする。積算の範囲は除染から産廃処分場(管理型処分場)又は中間貯蔵施設までとし、中間貯蔵施設後の最終処分は対象外とする。

3. 算定方法

費用算定対象の全体を除染・処理・貯蔵処分に分類し、それぞれの費用は単位工事コスト係数法を用いて物量及び単価の積として費用を算定し、合算する。費用積算体系を第1図に示す。

単位工事コスト係数法は費用積算の一般的な方法であるが、廃止措置の費用積算にも、単純に積算する方法として1980年代初めより米国で用いられ、その後、OECD/NEA, IAEA, EUにおいて廃止措置費用の説明性と透明性の向上を図るために国際的に共通な費用体系が作成され、使用されてきた。我が国でも1980年代半ばから廃止措置の解体費用の算定にこの方法が用いられてきた。

一般に、単位工事コスト係数法では積算項目を、より細分化し、詳細で正確な物量と単価を与えることにより、費用の精度を上げることができる。

II. 廃棄物処理のシナリオ

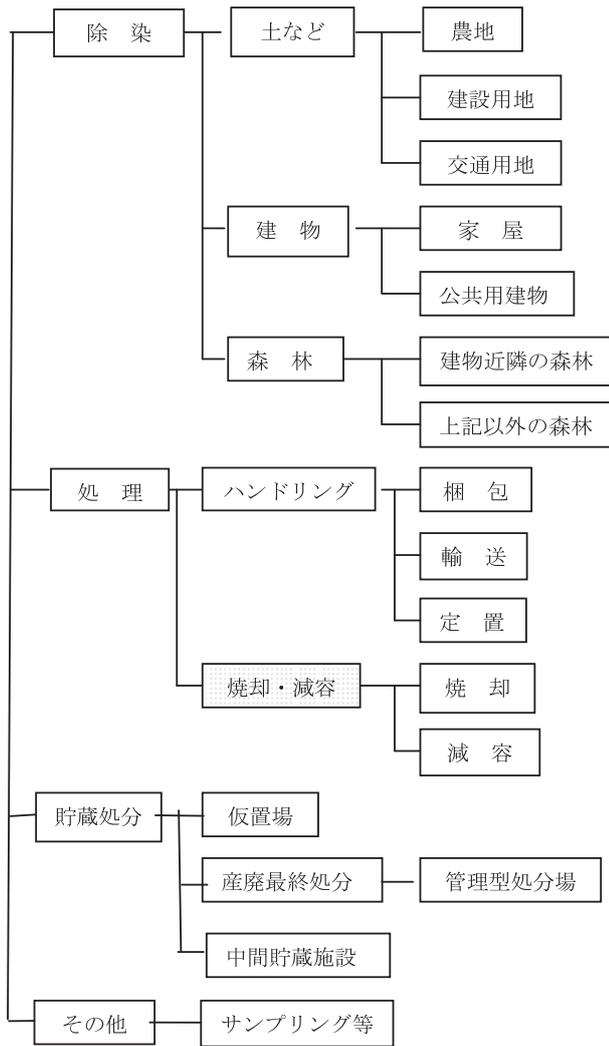
本費用算定における廃棄物処理は環境省の「特定廃棄物及び除染に伴う廃棄物の処理フロー」¹⁾(以下、「環境省処理フロー」という)に準拠し、次のような独自の方針を追加して設定した。

1. 廃棄物処分場と区分値

特定廃棄物及び除染に伴う土壌・廃棄物中の主要な放射能の区分値については、環境省処理フローにおいて特定廃棄物の貯蔵処分などの区分値として10万 Bq/kgと8千 Bq/kgの区分値が明記されているが、除染に伴う除去土壌については、焼却が可能なもの以外では、特に

Environmental Remediation Cost in Fukushima Area; Trial Calculation Using the Unit Cost Factor Method;
Takeshi ISHIKURA, Reiko FUJITA.

(2012年 11月 5日 受理)



第1図 費用積算体系図

区分することなく、仮置場経由で中間貯蔵施設又は管理型処分場へ搬入することが示されている。上述の8千Bq/kgとは、処分場の操業期間中において作業者の被ばくが通常の廃棄物処理条件で1mSv/y以下になると安全評価で確認され、処分可能とされた値である²⁾。そこで本費用算定では、除染に伴う土壌・廃棄物に対し約30年程度で放射性セシウムが8千Bq/kgに減衰する値の3万Bq/kgを区分値として、次のように設定した(第2図参照)。

- ・ 10万 Bq/kg：中間貯蔵施設の下限值
- ・ 3万 Bq/kg：管理型処分場の上限值

このような設定により、8千~10万Bq/kgの土壌・廃棄物を一括して単一の処分場に処分した場合には、10万Bq/kgが8千Bq/kgに減衰するまでに約90年程度の長い厳重な監視期間が必要になる³⁾ため、廃棄物を除染処理して3万Bq/kg以下と10万Bq/kg以上に分ける独自のシナリオとした。このような処理により、3万Bq/kg以下の除染に伴う土壌・廃棄物は管理型処分場に処分し、放射性セシウムを中間貯蔵施設の貯蔵期間(30年)程度で8千Bq/kg以下まで減衰させる。ここで、10万

Bq/kgの廃棄物を確実に3万Bq/kg以下に処理するための除染技術の性能が鍵になるが、除去土壌について日本原子力研究開発機構(JAEA)の除染技術実証事業(以下、「除染実証」という)などにより、このような性能を有する減容化(除染による放射能濃度の低減化)装置として実証・開発が進められており、実用化の目処も立っている^{4,5)}。ただし、現実的には3万~10万Bq/kgの濃度の廃棄物がすべてはなくならないと想定されるので、それらは中間貯蔵施設が受け入れることとする。

2. 限定再利用シナリオ

廃棄物の再利用については、環境省処理フローでは特に明示されていないが、一定の条件下で放射性セシウムの平均濃度3千Bq/kg以下までを再生利用可能な目安値であるとされている⁶⁾。オフサイト全体で膨大な廃棄物が発生しているため、その一部分をクリアランスレベル以上であっても、遮蔽や閉じ込め性が確保できる対象箇所に限定再利用することは有効である。

Ⅲ. 廃棄物処理プロセスの物量

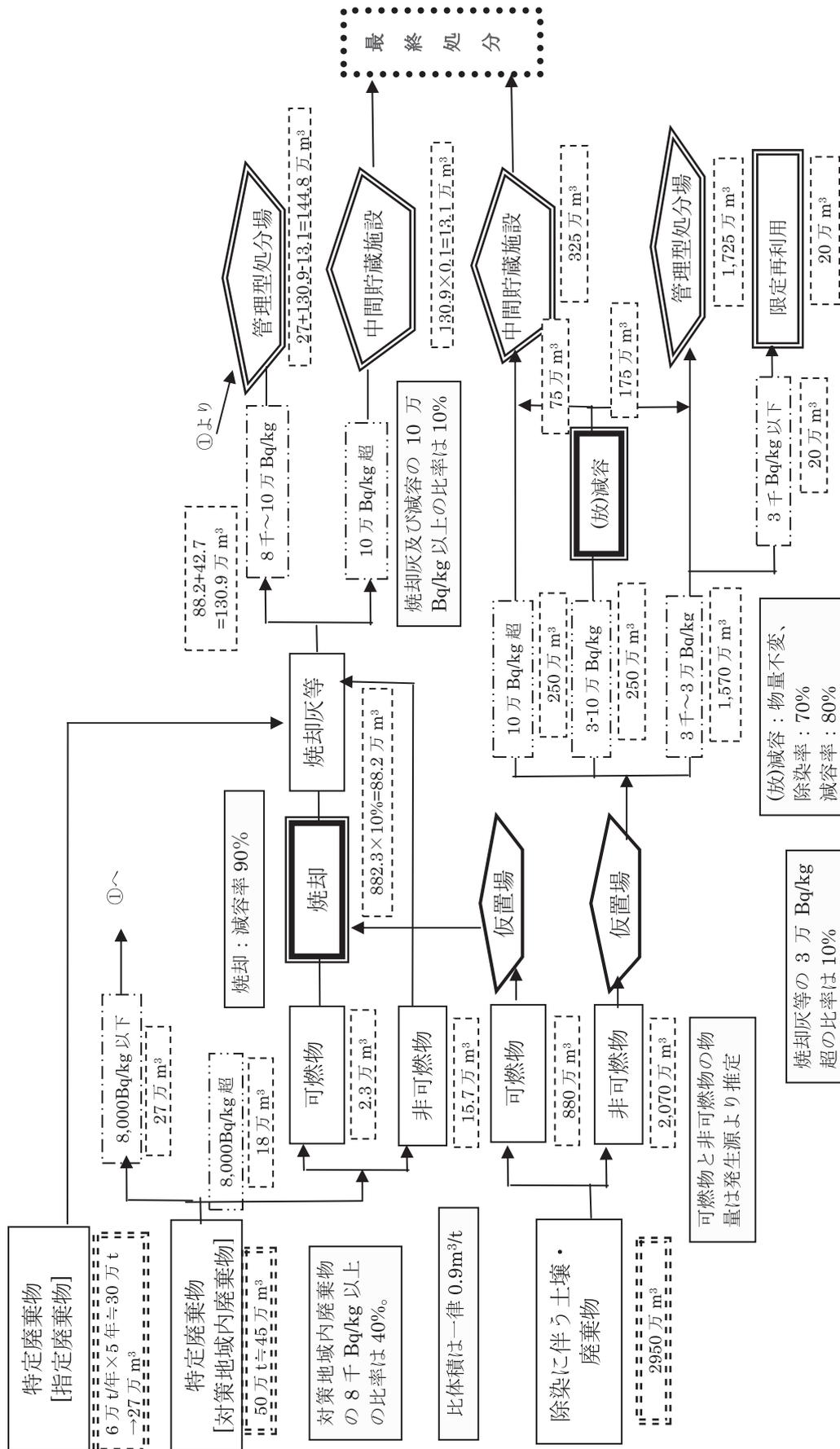
廃棄物の物量は、本費用算定では環境省の「ケース別の除染に伴って生じる土壌等の量の推定結果」⁷⁾の線量区分ごとの汚染面積に基づく物量(以下、「廃棄物基本データ」という)を用いた。また、除染率、減容率などの処理プロセスはJAEAの除染実証の実績値などを用いた(例えば、焼却・減容の効率など)。その結果、以下に示すような前提に基づきプロセス物量フローを第3図のように設定した。

1. 除染対象物量

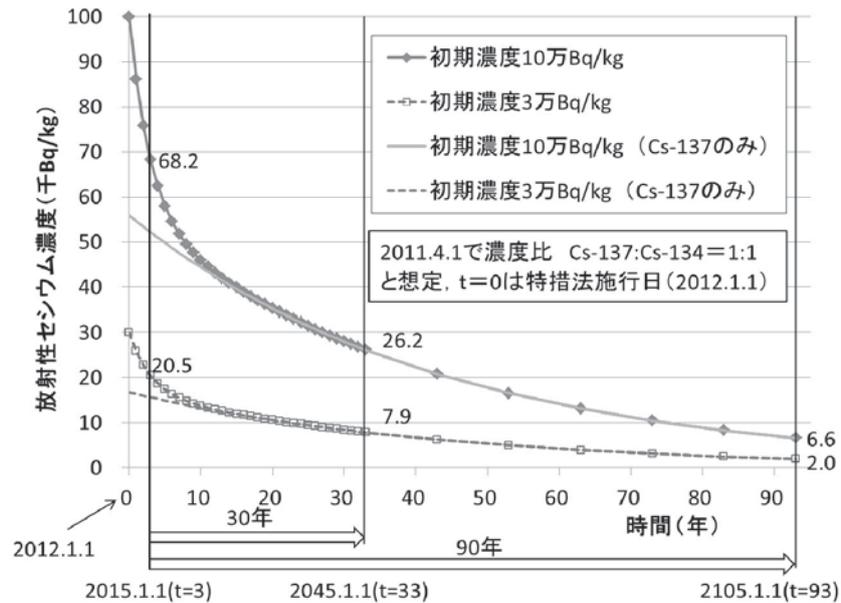
廃棄物量は上述のように、廃棄物基本データに基づいているが、環境省以外にも文科省ほかの線量区分別汚染面積データがあるので、他のデータとの比較を行った。その結果、除染対象面積の多い森林、農地では、面積算定に大きな差はなく、おおむね、廃棄物基本データが大きな算定量になっている。一方、建物・建物用地の算定では、他のデータが大きめの面積算定となっている。この結果から、建物・建物用地については、除染コストに占める比率が小さく、農地・森林の方が大きいので、本費用算定において、廃棄物基本データを用いていることは妥当であると判断した。

2. 除染方法

除染対象は環境省の土地利用種別に準拠し⁷⁾、土地(農地、建物用地、道路、家屋周りのみの森林)、建物、森林、その他(学校・公園他)、スポット汚染の分類に沿って除染法を選定した。特に農地(田畑)については、汚染が高い区域には高い除染能力のある除染法を、汚染が低い区域には廃棄物発生が少ない方法を選定した。



第2図 廃棄物処理プロセス物量フロー



第3図 放射性セシウム濃度の経年減衰

対象ごとの除染法は次のとおり(第1表参照)。

- (1) 農地(田畑)： 20 mSv/y 以上には比較的高い除染能力がある表土除去・客土などの除染法を、5～20 mSv/y には表土などの除去及び深耕プラウ(深い土壌までの耕起)を、また、スポット汚染には廃棄物量を抑制する観点から深耕プラウを選定
- (2) 建物用地(公共施設を含む)： 表土除去及び客土(又は仮々置場設置)、草木除去
- (3) 建物(家屋、公共施設)： 洗浄(清掃、拭き取り、ブラシ洗浄など)
- (4) 幹線交通用地(路面と側溝)： 路面洗浄及び側溝清掃(両側)
- (5) 家屋周りの森林： 家屋と接している林縁20 m程度の範囲について草木除去(枝打ち・落ち葉除去)並びに表土除去及び客土とした。この範囲の面積は、森林の対象面積のおよそ1%程度に相当する。
- (6) 森林： 森林には、水源涵養、土砂災害防止・土壌保全、生物多様性保全、地球環境保全などの機能があり、また、森林は集落周辺から奥山まで広がり、利用形態についても様々である⁸⁾。このように森林には多面的な機能があるので、被ばくを抑制する観点だけから徹底した除染を実施することは森林の機能を損なうことになりかねない。したがって、森林の利用形態に基づく生活との関係を、立ち入り頻度・接近頻度、樹木の汚染程度の観点から「住居など近隣の森林」「利用者などが日常的に立ち入る森林」「それ以外の森林」に分けて考慮するとともに、汚染の林床への移行、水源への影響などを総合的に踏まえて除染法を選定することが必要である。このような評価は現時点では確定されていないため、本費用算定では、対象面積に対する森林全体の10%

(134 km²)を除染優先度が高い森林として、草木除去(枝打ち・落ち葉除去)、除染作業用の路網整備及び除去物の撤去を行い、敷砂利等による路面保護などの土砂の流出防止措置を講じることとした。また、それ以外の森林(残りの90%)に対しては、諸経費込の一括で、枝打ち程度の除染費用と仮定し、現時点では、具体的な除染法は将来の開発に委ねることとした。また、森林の汚染は高度の高いところから低いところへ移行する傾向があることから、再除染が必要になることも想定される。

- (7) その他(学校・公園など)： 建物用地にならない、表土除去及び客土(又は仮置場設置)、草木除去とした。
- (8) スポット除染： 雨樋の下などの集水場所、コケ類の群生地など放射性物質が蓄積しやすいところなどを含む汚泥除去が主であり、側溝清掃、表土除去などとした。

3. 仮置場

環境省処理フローで除染に伴う土壌・廃棄物は中間貯蔵施設(福島県内)又は管理型処分場(福島県以外)へ搬出する前に仮置場に集積されることが示されているので、これに準拠し仮置場を設定した。

4. 廃棄物処理方法

本費用算定では環境省処理フローに示されたように、廃棄物を焼却及び減容化により処理するとした。

(1) 焼却

焼却法は高温焼却及び低温焼却などの装置に分類できるが、減容率としてはJAEAの除染モデル実証事業を参考に平均的な値として10%とし、放射能は焼却灰に濃縮するとした。

第1表 除染技術評価と費用

No.	対象部位	年線量率 (mSv/y)	面積、長さ (km ² , km)	主な除去物 (容積千 m ³)	適用技術	単価	高線量 加算率	諸経費 加算率	計 (兆円)
1-1	農地 (田・畑)	20以上	88km ²	土壌 4,387*	水による土壌攪拌・除去 (田)、表土除去・客土(畑)	9.5 億円/km ²	70%	50~90%	0.213~0.270
1-2		5~20	261km ²	土壌 13,038*	表土等の除去+深耕プラ ウ	4億+1億 =5億円/km ²	—	50~90%	0.196~0.248
1-3		1~5	899km ²	—	深耕プラウ等	1億円/km ²	—	90%	0.171
2-1	建物・ 建物用地	20以上	10km ²	土壌 193*	建物：建物の洗浄	6.5 億+3.75 億+	70%	50~90%	0.033~0.041
2-2		5~20	41km ²	土壌 831*	建物用地：表土除去・客 土+草木除去	2.5 億=12.75 億 円/km ²	—	50~90%	0.078~0.099
3-1	幹線交通用地 (262km/km ²)	20以上	4km ² *⇒1,050km	汚泥 17*	路面洗浄・側溝清掃 (両 側)	240 万円/km	70%	50~90%	0.006~0.008
3-2		5~20	9km ² *⇒2,360km	汚泥 33*			—	50~90%	0.008~0.011
4-1	家屋回り森林 (1%)	20以上	41*×1/10=4km ²	草木 37	落葉除去+樹木枝打ち+ 表土除去・客土	7.6 億 +5.8 億 +3.75 億 = 17.15 億 円/km ²	70%	50~90%	0.017~0.022
4-2		5~20	93*×1/10=9km ²	草木 84 土壌 450			—	50~90%	0.023~0.029
5-1	森林 (10%)	20以上	41km ² *	草木 367	落葉・腐植土層除去 (傾 斜地)+樹木枝打ち+路 網整備・除去物撤去・表 土流出防止工	7.6 億+5.8 億+5.0 億=18.4 億円/km ²	70%	50~90%	0.192~0.244
5-2		5~20	93km ² *	草木 839			—	50~90%	0.257~0.325
6-1	森林 (残り 90%)	20以上	367km ² *	草木 2,295	枝打ち	5.8 億円/km ²	70%	50~90%	0.543~0.688
6-2		5~20	842km ² *	草木 5,257			枝打ち	—	50~90%
7-1	その他(学校・ 公園他)	20以上	5km ² *	土壌 245	表土除去・客土+草木除 去	3.75 億+2.5 億= 6.25 億円/km ²	70%	50~90%	0.008~0.010
7-2		5~20	18km ² *	土壌 883			—	50~90%	0.017~0.021
8	スポット汚染	1~5	642km ²	汚泥 399*	側溝清掃、表土除去等	3.75 億円/km ²	—	90%	0.457
	小計	年線量率	面積小計	汚染物・性状/物量小計	20以上	5以下			
		20以上	519km ²	土壌 非可燃物/ 20,227	5,025	15,202	0		
		5~20	1,273km ²	汚泥 非可燃物/ 449	17	33	399		2.952~3.572
9	仮置場	—	1,541km ²	草木 可燃物/ 8,879	2,699	6,180	0	—	0.944
—	合計	—	—	29,500	—	—	—	—	3.896~4.516

注記) ①*の数量は、参考資料 7)の表 5 (面積) 及び表 6 (除去土壌等の量) のケース 1-3、2-3、3-1に基づき設定。表中の欄 1-3、4-1、4-2 の数量は独自方針で算定
 ②表中の欄「諸経費加算率」は、諸経費として除染箇所集中の場合 50%、分散の場合 90%と設定し、高めの費用算定としてすべてを 90%とした。
 これらの加算率は、環境省 除染特別地域に除染等工事暫定積算基準 (平成 24 年 5 月) を参考にした。

(2) 減容化

減容化にも様々な方式と種類の装置があるが、ここではJAEAの除染実証を踏まえ、放射性物質の一定濃度以上の物量を減容する次の2つの方式を想定した。なお、減容化の前後における総物量は変化しないものとした。

- ・ 土壌に対する粒度分級・洗浄法
- ・ 汎用的な対象に適用できる熱・化学処理法

これらは方式により性能と費用の幅があり、処理単価が比較的低い粒度分級・洗浄法は中程度の性能(除染率70%、減容率80%)が、また、処理単価が比較的高い熱・化学処理法は高い性能(除染率90%、減容率95%)が得られている⁵⁾。そのため、これら2つの方式は除染率と減容率の関係から、減容化費用及び減容化後の貯蔵処分費用の合計がほぼ同等であり、両方法の合計費用は条件次第によるものの、大きな差がないことが分かった。そこで本費用算定では、他の分野でも実績がある粒度分級法の数値を設定した。また、今後は、さらに除染が難しく複雑な汚染性状の廃棄物に対する高性能の減容化技術(化学処理法など)の開発を想定し、費用算定に幅を持たせた。

5. 貯蔵処分方法

(1) 廃棄物の性状と処分法

特定廃棄物には可燃性と不燃性があり、可燃性の廃棄物は原則として焼却して焼却灰とし、不燃性の土壌などは焼却処理なしで処分する。また、焼却灰及び除染に伴う土壌には非溶出性及び溶出性があり、セシウム吸着性が異なり、特に焼却灰の飛灰はセシウム溶出性が高い。

(2) 貯蔵処分・再利用の区分値

本費用算定において独自に設定した各処分先及び受け入れ基準は次のとおり。

- (1) 中間貯蔵施設の受け入れ基準：10万 Bq/kg 超
環境省処理フローで福島県内における除染に伴う土壌・廃棄物の焼却灰等の廃棄物に対して示された値を下限值とした。ただし、3万～10万 Bq/kg の対象廃棄物を減容化により3万 Bq/kg 以下に確実に処理・処分することは、現状では、明らかではないことを考慮し、対象物の減容化による管理型処分場の受け入れ割合を低くし(除染率80%→70%)、中間貯蔵施設への受け入れ割合を高く設定した。
- (2) 土壌・廃棄物に対する管理型処分場の受け入れ基準：3万 Bq/kg 以下
上限値は3万 Bq/kg とする。下限値は、作業員の被ばくが通常の廃棄物条件で年間1 mSv 以下になる8千 Bq/kg を目安とする。ただし、8千 Bq/kg 以下でも、除染に伴う土壌・廃棄物及び特定廃棄物は受け入れるものとする(環境省処理フローに準拠)。

(3) 限定再利用：3千 Bq/kg 以下

8千 Bq/kg 以下であって、クリアランスレベルの数十倍程度になる3千 Bq/kg を区分値とする⁷⁾。

IV. 単価の設定

1. 除染の単価

除染法の単価は環境省除染対策事業実施要領⁹⁾に準拠し、枝打ち・落葉除去などの除染単価についてはJAEAの除染実証での具体的な実績なども参考にした。また、仮置場の受け入れ単価は管理型処分場並みと設定した。さらに、除染の作業において、20 mSv/y 以上の区域では放射線防護作業の準備時間による割増を考慮し、通常の作業に対し1.7倍の係数を設定した。

2. 処理の単価

単価は公開資料から引用し設定した(第2表参照)。

(1) 焼却及び減容化

焼却及び減容化の単価はJAEAの除染実証などを参考に設定した。

(2) 梱包・輸送・定置

処理フロー全体を焼却・仮置前輸送及び焼却・仮置後輸送の2つに分類した。単価は地方自治体の土木工事積算資料を参考に設定した。

(3) 測定分別及びモニタリング

各処理プロセスで放射能濃度によって廃棄物を測定分別することが必要であるが、本算定では、測定分別費用は貯蔵処分費用に含まれるものとした。

また、廃棄物処分場作業後のモニタリング費用も貯蔵処分費用に含まれるものとした。

3. 貯蔵処分の単価

貯蔵処分の単価は公開資料などから引用し、第2表のように設定した。

(1) 貯蔵処分単価の設定

性状の異なる2種類(溶出性及び非溶出性)については、本費用算定ではこれらの廃棄物の処分概念が現状では具体化されてないこと、また、廃棄物が放射性であることを配慮して高めの同一単価に設定した。

- (1) 仮置場：受け入れ単価は管理型処分場と同一
- (2) 管理型処分場：受け入れ単価は管理型処分場の市場単価の最大値¹⁰⁾
- (3) 中間貯蔵施設：遮断型処分場(有害物質などの産廃処分場)の市場単価及び放射性廃棄物処分単価の2つのケースを検討した。後述の(2)項参照。
- (4) 限定再利用：限定再利用の用途に応じて、再利用製品の製造費用が必要になる。実際には、用途に応じて単価も大幅に異なるが、単価を高額に設定すると再利用としての趣旨から外れるので、今回は、再利用製品製造単価の目標値のような値として、管

第2表 除染・処理・貯蔵処分全費用細目/ケース1 (ケース2は注記③参照)

No.	大分類	中分類	物量 [万 m ³]	単価 [万円/m ³]	諸経費 加算	計 [兆円]
1.	除染	除染小計(仮置場含む)	第1表参照			3.896~4.516
2.	処理	焼却	882.3	5	50%	0.662
		減容等(分級等)	250	2	50%	0.075
		減容等の代替法(化学処理等)	同上	7.5	同上	(0.281)
		焼却・仮置前輸送(距離10kmまで)	2,995	0.24	--	0.072
		焼却・仮置後輸送(距離100km)	2,201	0.31	--	0.068
		処理小計				
3.	貯蔵 処分	仮置場	除染に含入			--
		管理型処分場/除去土壌等	1,725	3.2	--	0.552
		管理型処分場/焼却灰	144.8	同上	--	0.046
		中間貯蔵施設/除去土壌等	325	10.0~18.0	--	0.325~0.585
		中間貯蔵施設/焼却灰	13.1	同上	--	0.013~0.024
		限定再利用	20	3.2	--	0.006
		貯蔵処分小計				
4.	その他	モニタリング等	処分費に含入			--
	合計		--	--	--	5.715~6.812

注記) ①表中の欄「モニタリング等」の費用は、処分費用に含入されるものとした。

②表中の欄「諸経費加算率」は諸経費として除染箇所(処理施設)が集中するため50%とした(第1表注記②参照)。

③ケース2: 中間貯蔵施設単価: 50~80万円/m³と設定、貯蔵処分小計: 2.295~3.309兆円、合計: 7.068~8.908兆円。

理型処分場の受け入れ単価と同一と設定した。

(5) 中間貯蔵施設後の最終処分: 今回算定の対象外

(2) 中間貯蔵施設の受け入れ単価の代替案

中間貯蔵施設の費用として次のケースを設定した。

- ・ケース1: 遮断型処分場並みとする場合
- ・ケース2: 放射性廃棄物処分(浅地中トレンチ処分の概念)並みとする場合

注記: 浅地中トレンチ処分とは、放射能の極めて低いコンクリートや金属など、化学的に安定な性質の廃棄物を浅地中に埋設する方法で、原子力発電所から発生する廃棄物についてすでに制度化されている。

V. 費用算定結果

算定結果は下記のように、ケース1で5.7~6.8兆円、ケース2で7.1~8.9兆円が得られた(第1, 2表参照)。なお、本算定には、中間貯蔵施設後の最終処分に係る費用は含まれていない。

No.	項目	ケース1	ケース2
1	除染(仮置場含む)	3.90~4.51	3.90~4.51
2	処理(梱包・輸送・定置、焼却、減容)	0.88~1.08	0.88~1.08
3	貯蔵処分(管理型、中間貯蔵、再利用)	0.94~1.21	2.30~3.31
	合計	5.72~6.81	7.07~8.91

VI. 今後の課題

本算定では、全費用算定の基本ケースとして環境省の処理フロー、物量、及び単価に準じるとともに独自のシナリオを追加し想定した。今後は個々の対象廃棄物の種類や特性に応じた精度の高い算定をすべきである。

物量については、今回は環境省の廃棄物基本データを用い、他の代表的なデータベースと大幅な相違がないことを確認したが、今後さらに実際の汚染状態に基づく精緻な物量を検討すべきである。

除染方法については、おおむねJAEAなどにより2011年度に現地試験で性能が実証されているものの、実際の現場での効率で効果的な適用ができるよう技術の信頼性を向上する必要がある。

単価については、今回は環境省の除染対策事業実施要領に基づき、一部をJAEAの除染実証の経験で補ったが、今後さらに実際の経験から得られる単価に基づくべきである。特に、処分単価では、廃棄物の非溶出性、溶出性などの性状に応じた処分場を検討することにより、処分費用の低減が可能となろう。

筆者らは、本稿について討議及びレビューしていただきました日本原子力学会クリーンアップ分科会(井上正主査)及び費用評価ワーキンググループの委員の方々に深く感謝します。

—参考資料—

- 1) 環境省；東京電力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の対処において必要な中間貯蔵施設等の基本的な考え方について，平成23年10月29日。
- 2) 環境省；放射性物質汚染対処特措法における安全確保の考え方，災害廃棄物安全評価検討会(第9回)資料7，平成23年11月23日。
- 3) 環境省；指定廃棄物の最終処分場等の構造に関する考え方について 第14回災害廃棄物安全評価検討会資料4，平成24年8月20日。
- 4) 日本原子力研究開発機構；福島第一原子力発電所事故に係る避難区域等における除染実証業務【除染技術実証事業編】報告書，平成24年6月。
- 5) 日本原子力研究開発機構；福島第一原子力発電所事故に係る避難区域等における除染実証業務【除染モデル実証事業編】報告書，平成24年6月。
- 6) 環境省；管理された状態での災害廃棄物(コンクリートくず等)の再生利用について，平成23年12月27日。
- 7) 環境省；環境回復検討会第2回資料7、除染等の措置に伴って生じる土壌等の量の推定について、平成23年9月27日。
- 8) 林野庁；森林における放射性物質の除去及び拡散抑制等に関する技術的な指針，平成24年4月。
- 9) 環境省；除染対策事業実施要領。
- 10) 経済調査会；積算資料，2012年6月号。

著者紹介



石倉 武(いしくら・たけし)
 (財)エネルギー総合工学研究所 原子力工学センター
 (専門分野/関心分野)原子力発電所廃止措置，放射性廃棄物管理，環境修復



藤田 玲子(ふじた・れいこ)
 (株)東芝 電力システム社，福島県除染アドバイザー
 (関心/専門分野)放射性廃棄物処理，再処理，オフサイト除染



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—
 (12月3日第6回編集幹事会)

【論文誌関係】

- ・英文誌の出版状況，電子投稿審査システムの開発状況が報告された。編集委員および事務局員に対する審査システムの説明会を実施した。マニュアルを整備して閲覧可能にする予定。来年1月よりWeb審査へ移行する。編集委員，査読委員はシステムに登録済み。Meeting予算は請求済み。
- ・英文誌の50周年記念 Review 論文の進捗状況が報告された。1月号に1報掲載。また，宣伝広報のために50周年記念 Virtual Issue を作成し，その中の論文を無料閲覧とする提案が出版社よりあり，候補25論文をリストアップした。
- ・英文誌の編集委員会表彰のうち，被引用数の多い論文データが示された。今回の対象は2006年掲載分。引用上位4論文に JNST Most Cited Article Award を贈呈することとした。
- ・英文誌インパクトファクター向上策として，各分野の最新の研

究動向レポートを順次掲載することとした。

【学会誌関係】

- ・次年度の表紙について，今年度と同じく日展の作品から選び掲載することとした。提案された次年度表紙案について数点見直すこととなり，日展を見てきた委員の意見も取り入れ後日，最終的に決定することとした。
- ・今後の巻頭言，時論の掲載予定について検討をした。3月号以降の執筆者案について審議し，起案した委員が執筆者に打診することになった。
- ・現在執筆中，企画中の特集記事，特別企画の進捗状況を審議し，掲載時期，紙数についてはその都度調整していくことにした。
- ・投稿による記事提案書を検討した結果，学会誌の編集方針にそぐわないので採用しないことになった。

編集委員会連絡先<<hensyu@aesj.or.jp>>

連載
講座これからの原子力システムを担う
新原子力材料

次世代原子力システムのための材料開発の現状と課題

第5回 V および W 合金

核融合研究所 長坂 琢也, 東北大学 栗下 裕明

バナジウム(V)とタングステン(W)は高融点遷移金属に属し、他の材料の及ばない数多くの優れた性質を持つため、核融合炉の第一壁やダイバータ等の極限環境下での利用を目指した研究開発が行われている。その研究開発における主要な課題は、VとWの性質の本質的な違いを反映し、Vでは酸素・窒素等の固溶による脆化(環境脆化)であり、Wでは結晶粒界が本質的に弱いことによる粒界脆化である。本稿では、VとWの材料開発の現状と課題を紹介する。

I. はじめに

バナジウム(V)とタングステン(W)は、周期表の隣接するVA族とVIA族に属する高融点遷移金属(融点、V: 1,860°C, W: 3,410°C)であり、それぞれVA族とVIA族に特有な数多くの優れた性質を示す一方、VA族とVIA族の物理的・化学的性質の違いにより、利用環境や開発状況に大きな違いが現れる。

例えば、Vは破壊靱性や低放射化特性に極めて優れ、高温強度や熱応力因子が高く、中性子照射による膨れ(スエリング)が小さい等のために、1960~70年代に高速増殖炉の燃料被覆管材料として、また1980年代以降では、核融合炉第一壁・ブランケット用構造材料としてV合金の開発研究が行われ、多くの研究成果が蓄積された。その結果、国の内外において完成度の高いV-4Cr-4Ti合金が開発され、使用環境で要求される諸特性の評価が進められている。第II章ではV-4Cr-4Ti合金を中心とするV合金の利用環境、開発状況と課題を述べる。

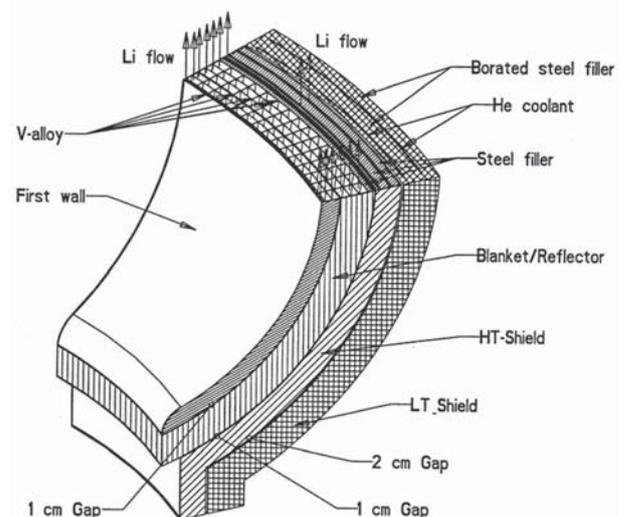
一方、Wは大きな質量数と高密度、少ない崩壊熱等のために、物質構造解析に不可欠な中性子を生成する核破碎中性子源固体ターゲットとしてすでに利用され、また、金属で最高の融点、最も優れた耐粒子損耗性等のために、カダラッシュ(仏)に建設中の国際熱核融合実験炉(ITER)では最も厳しい熱・粒子負荷にさらされるダイバータをWのみで製造する計画である(Full W

divertor)。しかしながらWは、結晶粒界で割れやすいという粒界脆化(再結晶脆化、照射脆化)が解決されず、これまで厚いバルク材が機能材料や構造材料として高温や照射環境下で利用された実績はない。最近になり、極限環境下でのW利用のための開発研究が行われている。第III章では、Wの利用環境、Wの粒界脆化の解決を目指して行われているW材料の開発状況を述べる。

II. バナジウム合金

1. 低放射化バナジウム合金の利用環境

低放射化V合金を用いた代表的な核融合炉ARIES-RSの第一壁・ブランケットの部分を第1図に示す。ブランケットは核融合プラズマ容器の内面に設置され、トリチウム燃料の増殖、中性子の運動エネルギーから熱エネルギーへのエネルギー変換、及び超電導コイル保護の

第1図 核融合炉 ARIES-RS のブランケット¹⁾

Materials for New Generation Nuclear Energy Systems—Current State and Future Agenda for Material Developments(5); *Vanadium and Tungsten Alloys*: Takuya. NAGASAKA, Hiroaki KURISHITA.

(2012年 11月16日 受理)

■前回のタイトル

第4回 SiC 複合材料

ための中性子遮蔽の機能を担う。ブランケットのプラズマを臨む表面を第一壁と呼ぶ。図中の V-alloy の部分が V 合金で作られた第一壁と液体金属リチウムの流れる冷却チャンネル構造である。液体金属リチウムは ${}^7\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ 反応によりトリチウムを増殖するとともに、エネルギー変換で発生した熱の輸送を担う冷却材を兼ねている。V 合金の組成は V-4Cr-4Ti である。これまでに様々な V 合金が高速増殖炉用あるいは核融合炉用に開発されてきたが、高温強度が高いこと、中性子照射による材料の膨れ(スエリング)が小さいこと及び、照射前の延性が大きく照射脆化が許容できることから、V-4Cr-4Ti 合金が選定された²⁾。ARIES-RS の設計では V 合金の厚さは 5 mm である。設計で V 合金の総使用量は述べられていないが 500 トン程度と推定される。

ARIES-RS の設計では V 合金の使用温度は 330~700 °C である。V は高温では活性で H, C, N, O といったガス不純物を雰囲気から吸収する。吸収された H は 400 °C 程度でも真空熱処理で除去可能であるが、C, N と O の除去は不可能である。C, N と O は V の結晶格子に侵入型に固溶し、著しい固溶硬化を招く。V は体心立方金属であることから、延性-脆性遷移挙動を示すが、C, N と O の固溶硬化によって、延性-脆性遷移温度(Ductile-to-brittle transition temperature: DBTT)が顕著に上昇する。DBTT が室温以上になると、室温でも引張応力下で脆性破壊する可能性がでてくるため好ましくない。C, N 及び O の固溶硬化・脆化を抑制するために添加されているのがチタンである。

チタンは TiC 型の析出物の C が N, O に置換された Ti-CON 析出物を形成し、V 合金母相からこれらの不純物を取り除くスカベンジング効果を発揮する。スカベンジング効果によって、C, N, O 不純物の濃度が多少増えても侵入型に固溶するのを防ぐので、DBTT が低く抑えられる。一方で、DBTT は中性子照射下で生成する照射欠陥に起因する照射硬化によっても上昇する。照射硬化が起こっても DBTT を室温以下にするためには、チタンによるスカベンジングを効果的に利用できるように、C, N 及び O の不純物量の合計をおおむね 1,000 wppm 以下に制御する必要がある。しかし、高純度の V 合金を製作しても、使用中に雰囲気から不純物を吸収すると脆化が進むことになる。侵入型不純物の中でも C は V 母相での固溶限が最も小さく、また N は Ti-CON に安定的に取り込まれやすいので、大きな問題となるのは O による汚染である。

液体金属リチウムは、V よりも O との親和性が強く、V 合金から O を除去する性質がある。他の原子炉、核融合炉システムでは、冷却材として水、液体金属ナトリウム、ヘリウムガス、液体金属 $\text{Pb}_{83}\text{Li}_{17}$ 、熔融塩 $2\text{LiF}-\text{BeF}_2$ の使用が検討されているが、いずれも O 分圧が高いので、V-4Cr-4Ti 合金は O を吸収して脆化し、また酸化

による腐食減肉が大きい。V-4Cr-4Ti 合金は様々な長所を持つのであるが、酸化されやすいため、現状はリチウム中以外の環境で利用するのは難しい。

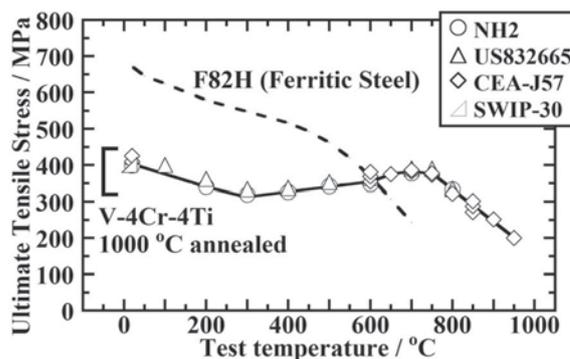
2. バナジウム合金の開発状況と課題

V 合金は素材開発段階から、工学材料段階へと進みつつある。すなわち、研究室規模(10 kg 以下)での試作・評価によって候補材料(V-4Cr-4Ti 合金)を絞り、将来必要とされる 500 トン以上の製造を見通すことができる工業プロセスを利用した大型製造性の研究が開始されている。第 1 表に各国で開発されている V 合金の試作規模と成分を示す。いずれも組成は V-4Cr-4Ti であり、主な不純物も示している。米国、日本、中国では現在、核融合炉プログラムで V 合金を開発している。ロシアとフランスは核融合炉のほか、高速増殖炉のナトリウムあるいはヘリウム中での V 合金の使用も検討している。前述したように、ナトリウム、ヘリウム中では V-4Cr-4Ti 合金の酸化が大きくなると予測されるので、ナトリウム、ヘリウムの純度管理や、V 合金部分の交換頻度を適切に定めることが重要になる。

第 2 図に 1,000 °C で最終熱処理した各国の V-4Cr-4Ti

第 1 表 V 合金の成分(wppm)

呼称	US 832665	NIFS- HEAT-2	RF- VVC 3	SWIP- 30	CEA- J 57
開発国	米	日	露	中	仏
試作規模 (kg)	500	166	50	30	30
Cr	3.25 wt%	4.02 wt%	3.76 wt%	3.81 wt%	3.76 wt%
Ti	4.05 wt%	3.98 wt%	4.64 wt%	3.92 wt%	3.93 wt%
C	170	69	290	130	70
N	100	122	100	20	110
O	330	148	200	270	290
Al	355	59	240	100	190
Co	0.295	0.7			0.4
Mo	315	24	68	35	75
Nb	60	0.8	<10		<10
Ni	9.6	7	<5	82	17



第 2 図 V-4Cr-4Ti 合金の最大引張強さの温度依存性³⁾

合金の最大引張強さを示す。合金によって不純物濃度と熱加工履歴が異なるが、最終的に1,000℃で熱処理をすれば、強度に及ぼす影響は小さいことが分かる。比較のために、同じく核融合炉第一壁・ブランケット候補材である低放射化フェライト鋼 F82 H(組成: Fe-8Cr-2W-0.1 Mn-0.2 V-0.04 Ta-0.1 C)の最大引張強さを示した。V-4Cr-4Ti 合金は、室温では F82 H よりも強度が小さいものの、温度上昇による強度低下が小さく、600℃以上で F82 H よりも強度が大きくなる。したがって、フェライト鋼を用いたブランケットの運転温度の限界は550℃であるが、V-4Cr-4Ti 合金を用いることで、700℃以上での運転が可能となり、エネルギー変換効率を向上させることができると期待されている。

一方、不純物濃度に敏感な特性の一つが溶接性である。アーク溶接まま材の溶接金属の DBTT は、米国材では+47℃で室温を超えてしまう⁴⁾。これは前述した Ti-CON が溶接によって分解し C, N, O 不純物が強制固溶されて固溶硬化・脆化を引き起こすためである。日本材では O 不純物を米国材の半分にすることにより、Ti-CON が溶接によって分解した状態でも DBTT を -85℃まで改善することに成功している。ただし、日本材でも Ti-CON の分解で溶接金属がもともと硬く、さらに照射硬化がそれに加わるので、1 dpa 以上の中性子照射では DBTT が室温以上となってしまふ。そこで、強制固溶された Ti-CON を溶接後の熱処理で適当に再析出させてこれを改善する努力がなされているところである。その他の課題としては、高磁場化で液体リチウムを流す際に起こる MHD 圧力損失を低減するために V 合金表面に施す絶縁被覆の開発、流動リチウム下での腐食量評価、熱クリープ、照射クリープのデータ取得、ヘリウム脆化の評価等があげられる。

次に、O・N の固溶による脆化の問題と共に照射脆化を改善するために開発された超微細粒・粒子分散 V 合金の開発例を紹介する。照射脆化の抑制のためには、照射欠陥が蓄積しないように、照射欠陥の逃げ場(シンク)となる結晶粒界や分散粒子を高密度で含む組織が有効である。そこで、母相中に固溶している有害な O・N をすべて酸化物や窒化物に変えて分散粒子として活用すると共に、微細な結晶粒を導入する方法が考案された。

その方法は、酸化物・窒化物形成の自由エネルギーが低いイットリウム(Y)を少量(1.7 wt%) V に添加した混合粉末に、室温で機械的な高エネルギーを与えて結晶粒を超微細化し V 母相中に Y を強制固溶(合金化)させた後、高温で加圧・焼結する方法(粉末冶金法)である。Y と O や N 原子が反応して Y₂O₃ や YN の微粒子が高密度で形成され、平均結晶粒径が100~300 nm で、ほぼ理論密度の焼結体が得られる。この焼結体は塑性加工を加えずとも室温で高い強度と十分な延性を示し⁵⁾、中性子照射(照射温度: 290~600℃, 照射量: 0.25~0.6 dpa)に

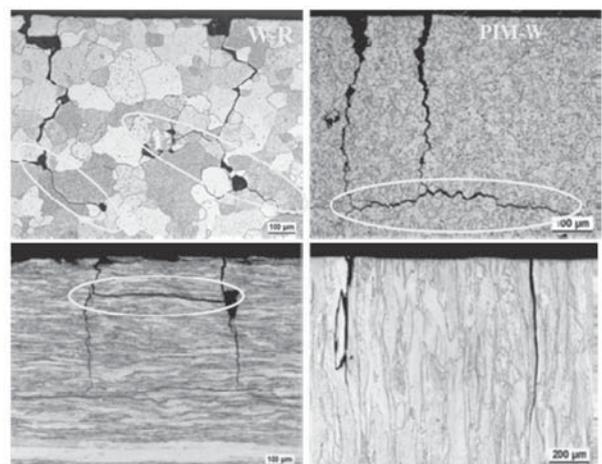
対して優れた耐性を示す。この V-1.7% Y 合金は、粉末冶金法による高靱性 V 材料開発の最初の成功例であるが、これまでに、Y と共に Cr, Ti, W 等の固溶強化元素を含む多くの微細粒・粒子分散高靱性 V 合金が開発されている。主な課題は製造コストの低減と量産性のための技術開発である。

Ⅲ. タングステン

1. タングステン材料の利用環境

核融合炉ダイバータは、定常的な熱負荷およびパルス熱衝撃負荷を受けると共に、高エネルギー中性子の照射や水素同位体・He のプラズマにさらされる。そのため W のダイバータ利用ではこれらの負荷条件に対する材料応答の系統的調査が必要となる。第3図⁶⁾は、結晶粒径や粒界の配向の異なる入手可能な純 W 材料について、ITER の標準運転で大きな問題となる熱衝撃負荷を電子ビーム装置(JUDITH-1: Juelicher DIvertor Test facility in Hot cells)により与えた後の表面付近の断面写真を示したものである。観察される亀裂はすべて粒界に沿っている。亀裂の中で材料表面に対して平行な亀裂(○で囲まれた亀裂)ほど熱の除去性能を損なうので、右下図のように、粒界の配向が材料表面に垂直になるように組織を制御した W 材料を使用することが有利である。

粒界亀裂の形成は W の粒界が弱いことに起因する。この粒界脆性は VA 族等の他の金属には見られない VIA 族に特有な性質で、その中でも W は原子間結合の共有結合性が最も強いいため粒界エネルギーが特に高く、顕著な粒界脆性を示す。また、VIA 族は前述の VA 族と異なり、H, N, O 等の侵入型元素の室温における固溶度が極めて小さいので、高温でわずかに固溶した侵入型元素が冷却時に粒界に偏析・析出して粒界脆化を促進する。さらに、高エネルギー中性子の弾き出しにより導入された照射欠陥は、転位のすべり運動を阻害して降伏強度を高める(照射硬化)結果、粒界脆化をさらに促進する。



第3図 電子ビーム熱衝撃負荷による純 W の表面損傷⁶⁾

さらに、水素同位体や He も粒界脆化を促進する。

このように W 材料を高温や照射環境下で利用する場合に最も問題となるのが粒界脆性である。粒界脆性の改善以外にも解決すべき多くの課題がある。例えば、W が大気にさらされる事故の拡大防止のための耐酸化性の改善である。また、核融合中性子照射により W は Re や Os に核変換するので、組成変化による W の特性変化も明らかにした上で材料開発を行う必要がある。それらの開発研究も行われている。

2. 高靱性 W 材料開発の現状と課題

粒界脆化を改善するために行われている 4 つの組織制御法について材料開発の現状と課題を以下に示す。

(1) 粒界配向の制御

結晶粒界が線材や板材の長手方向に長く伸ばされた組織では、負荷が作用しても粒界割れは起こりにくい。そのような組織は、線引きや圧延等の強加工および高温での熱処理によって導入されるが、高温までその組織を維持するために、熱的に安定な酸化物粒子 (La_2O_3 等) やカリウム (K) のガスバブルを分散させ、粒界をピン止めすることが行われている。このような粒界配向の制御により粒界脆化を抑制したものが、W のフィラメントや薄いプレートであり、1910年の W. D. Coolidge らによる線引き可能な“ductile W filament”の開発以来、実用化された多くの W 製品はこの手法を利用している⁷⁾。

最近、この伝統的手法を利用して比較的厚いバルク材料を開発する試みがなされた。粒界配向の制御が容易で延性を示す W 箔を多数枚接合することにより必要な厚さの積層多層膜を作製する。報告例では、厚さ 0.1 mm の W 箔を 72% Ag-28% Cu でロウ付け (融点: 780°C, ロウ材の厚さ: 0.1 mm) して W の板材 (厚さ 4 mm) やパイプ (直径 15 mm, 肉厚 1 mm) の積層複合材が得られている⁸⁾。積層複合材では、破壊時の層間剥離 (delamination) に要する大きなエネルギー吸収の結果、シャルピー衝撃試験による DBTT は 500°C 程度で、市販の純 W 再結晶バルク材よりも著しく低い。課題は、ロウ材が低融点であることに起因する低い耐熱性、およびロウ材のもつ高い誘導放射能 (^{110m}Ag 等による) の改善である。また、欧州では W 材料を小さなお椀状 (thimble) に塑性加工して粒界配向を制御する製造技術も報告されている⁹⁾。

(2) 結晶粒内での変形抵抗の低下

塑性変形に対する抵抗 (転位のすべり運動に対する抵抗) が下がれば亀裂先端が鈍化されやすく、粒界割れが抑制される。降伏強度の低下のために用いられるのが固溶軟化効果である。添加された少量の溶質原子と転位との相互作用により転位運動に対する格子抵抗 (パイエルズ抵抗) が低下し、降伏強度が下がる。W の固溶軟化元素としてレニウム (Re) が知られ、1950年代に米国で開発された W-Re (Re: 3 ~ 26%) 合金が主に熱電対として

利用されている。線引き等の加工により導入された変形組織は降伏強度を上昇させるので、Re の固溶軟化効果を利用するには高温に加熱して再結晶させる必要があるが、再結晶により割れやすい粒界が導入される結果、粒界脆化 (再結晶脆化) を示す。したがって、固溶軟化による粒界脆化の抑制は粒界が強化された W 材料で有効となる。少量の Re 添加は粒界の強化と共に、耐照射性を改善する効果もあるが、Re は極めて高価で、誘導放射能が高く、熱伝導率を下げ、低融点の酸化物を形成する等の多くの問題点をもつ。なお Re 以外に、粒界割れを抑制する効果をもつ固溶元素は未だ報告されていない⁹⁾。

(3) 結晶粒の微細化^{10,11)}

結晶粒の微細化は、弱い粒界の効果を低減できるので、粒界脆化の抑制に有効である。純 W では最近になり強塑性加工による微細結晶粒化も行われているが、高い内部エネルギーのために再結晶・粒成長を起こしやすい。そこで、高温で微細粒組織を維持するために、融点の高い遷移金属炭化物 (TiC: ~3, 200°C, TaC: ~4, 000°C) を少量加え、高エネルギーボールミルによる MA (Mechanical Alloying, 機械的合金化) 処理を含む粉末冶金法を用いて製造する。この方法で得られる組織は、結晶粒が等軸結晶粒の再結晶組織であり、平均の結晶粒径が 50~200 nm, 分散粒子径が 30 nm, 相対密度が 99% 程度、結晶粒界の約 80% がエネルギーの高いランダム方位の粒界 (ランダム粒界), 残りがエネルギーの低い対応粒界である。このナノ組織を持つ焼結体を UFGR (Ultra-Fine Grained, Recrystallized) W-xTiC (x=0.25~1.5 wt%) と呼ぶ。

結晶粒界や分散粒子は照射欠陥のシンクとして働くので、UFGR W-TiC は、照射による組織変化を抑制し、照射損傷を低減する効果を持つ。この超微細粒・粒子分散組織はナノ構造をもつ初めての W 材料として注目され、国内外で多くの共同研究が行われた。その結果、例えば、高速中性子照射 (600°C, $2 \times 10^{24} n/m^2$) や 3 MeV-He イオンの比較的高温 (400, 550°C) での照射では市販の純 W に比べて優れた耐損傷性を示すこと、照射前の室温 3 点曲げ破壊強度は最大 2.4 GPa に達すること、1, 400°C 以上の高温域で超塑性挙動を示すこと等が明らかにされた。

一方、課題としては、結晶粒の超微細粒化に伴う降伏強度の著しい増加により、DBTT (ここでは静的 3 点曲げによる無延性遷移温度として評価) が約 600°C と高いこと、低エネルギー (1 keV) の水素イオン照射 (380°C, $\sim 1, 025 n/m^2$) により試料表面に多数の微小孔が形成されること、1, 200°C までの熱伝導率は市販の純 W (ITER Grade) に比べて低いこと、第 3 図に示した ITER の標準運転で問題となる条件での電子ビーム熱衝撃試験 (JUDITH-1 による) の結果、表面に多数の亀裂 (最大深さ: ~ 0.25 mm) が形成される (第 4 図参照) ことである。

(4) 再結晶粒界の強化¹⁾

UFGR W-xTiC の高い DBTT 等の課題は、再結晶ランダム粒界があまり強化されていないことに起因するので、弱い再結晶粒界を遷移金属炭化物(TiC 等)との強い異相界面および遷移金属炭化物の構成元素が固溶偏析した強い粒界に置き換えて強化する。このランダム粒界の強化には、ナノ組織に特有な粒界すべりによる超塑性変形を用いた新しい組織制御法(GSMM: Grain boundary Sliding-based Microstructural Modification)を用いる。超塑性変形は、粒界すべりにより数100%の伸びが生じ、変形後も等軸結晶粒を維持できる変形様式であるため、「転位のすべり運動・増殖によらない、長時間にわたる活発な粒界すべりによる結晶粒の相互移動・回転および結晶粒の生成消滅を通して遷移金属炭化物の粒界析出・偏析が促進・最適化されることが期待され、かつ異方性の少ない等方的な再結晶組織を維持する」ことが可能となる。

W-xTiC の中で W-1.1% TiC は高温での破断伸びが最も大きく、粒界すべりの効果が最も期待できるので、GSMM を UFGR W-1.1% TiC に適用した結果、ランダム粒界(その割合は変化せず全体の70~80%を占める)が著しく強化され、結晶粒径が1桁程度大きくなって(500~1,500 nm)降伏強度がかなり下がり、酸素不純物濃度が400 wppm 以下であれば室温でわずかながら塑性変形を示し、DBTT が室温ないしそれ以下に600°Cも低下した。室温での曲げ破壊強度は4.4 GPa に達する。このような GSMM 処理により得られる韌性に優れた W-1.1% TiC 焼結体を TFGR(Toughened, Fine Grained, Recrystallized) W-1.1 TiC と呼ぶ。

弱い再結晶ランダム粒界が著しく強化された TFGR W-1.1 TiC は、電子ビームによる ITER-ELM の条件下での高熱衝撃負荷を受けても、純 W 材料(第3図)や UFGR W-0.5 TiC と異なり、粒界亀裂や表面起伏が生じない(第4図⁶⁾)。さらに、低エネルギー重水素のプラ

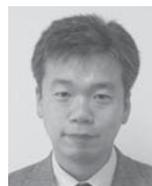
ズマにさらされても、純 W のような表面プリスタリングは観察されず、また、UFGR W-xTiC で観察されたような表面の微小孔も観察されない。

現在、GSMM 処理により、ITER ダイバータタイルに使用予定のサイズ(約30 mm×30 mm×8 mm)のものも作製されている。主な課題は製造コストの低減と量産性のための技術開発および熱伝導率の改善である。

—参考資料—

- 1) F. Najmabadi, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **38**, 3-25(1997).
- 2) D.L. Smith, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **41**, 7-14(1998).
- 3) T. Nagasaka, *et al.*, Overview of the Development of Vanadium Alloys, 15th Int. Conf. Fusion Reactor Mater., Oct. 16-22, 2011, Charleston, USA.
- 4) T. Nagasaka, *et al.*, *Fusion Technol.*, **39**, 664-668(2001).
- 5) T. Kuwabara, *et al.*, *Mater. Sci. Eng., A* **417**, 16-23(2006).
- 6) G. Pintsuk, *et al.*, Thermal shock response of fine- and ultra-fine-grained tungsten-based materials, *Phys. Scr.*, 014060(5 pp)(2011).
- 7) 五十嵐 廉, 延性タンゲステンの発明-W. D. Coolidge の業績とその周辺-, マテリア, **40**, 390-394(2001).
- 8) J. Reiser, *et al.*, *J. Nucl. Mater.*, **423**, 1-8(2012).
- 9) M. Rieth, *et al.*, *J. Nucl. Mater.*, **432**, 482-500(2013).
- 10) H. Kurishita, *et al.*, *Adv. Mater. Res.*, **59**, 18-30(2009).
- 11) H. Kurishita, *et al.*, Development of nanostructured tungsten materials resistant to embrittlement by recrystallization and radiation, Submitted to *Mater. Trans.* (2012).

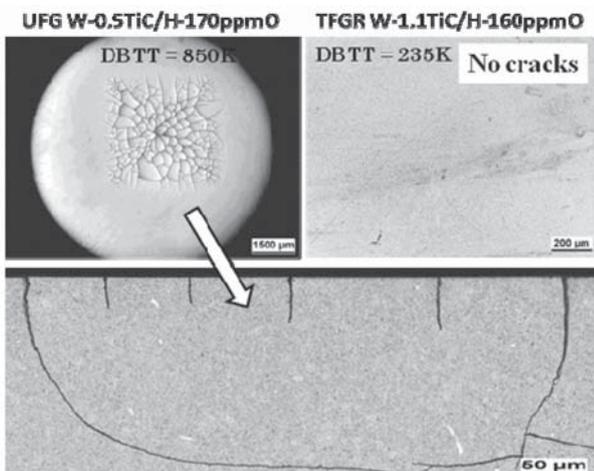
著者紹介



長坂琢也(ながさか・たくや)
核融合科学研究所
(専門分野/関心分野)核融合炉用低放射化材料・液体増殖ブランケットの開発



栗下裕明(くりした・ひろあき)
東北大学
(専門分野/関心分野)原子力・核融合炉材料開発/微小試験片評価技術の開発



第4図 試作 W 材料の電子ビーム熱衝撃試験結果⁶⁾
(第3図と比較のこと)

報告

IAEA 原子力エネルギーマネジメントスクール日本開催
アジアにおける原子力人材育成の中核をめざして

東京大学 上坂 充, 日本原子力研究開発機構 山下 清信, 大釜 和也,
日本原子力産業協会 服部 拓也

国際原子力機関(International Atomic Energy Agency: IAEA)は将来, 原子力を計画・運営・管理するリーダーとなる人材の育成を目的とした原子力エネルギーマネジメントスクール(Nuclear Energy Management School)を2010年より開催している。原子力人材育成ネットワーク, 日本原子力研究開発機構, 東京大学および日本原子力産業協会は, 我が国の若手人材の国際化, 新規原子力導入国等の人材育成への寄与およびIAEAとの協力関係の促進を目的とし, IAEA とともに, 2012年6月にスクールを茨城県東海村にて開催した。このスクールでは, IAEA の専門家を講師とした講義とともに, 日本開催の特徴をいかしつつ, 多くの日本人専門家の協力を得て, 我が国の原子力の状況・経験の紹介などを含む独自性のある講義を提供した。新規原子力導入国を含む海外13カ国からの21名の研修生および18名の日本人研修生は, 講義や施設見学を通して原子力を学び, グループワークを通して議論を深め, 3週間の生活におけるコミュニケーションを通してお互いを知り, 参加者同士の国際的な人的ネットワークを構築する機会を得た。

1. はじめに

原子力発電の安全性を高めるためには, 世界の関係国との相互協力が必須であり, 国内外の関係者間のコミュニケーション機会の拡大や情報共有の促進によるグローバルな相互協力関係を構築していくことが必要である。

そのため, 原子力界において, 将来のリーダーとなる若手の研究者, 技術者, 規制・行政関係者等は, 国際的な視点を持つとともに, 世界各国の若手との国際的な人的ネットワークを構築していくことが望まれる。

国際原子力機関(International Atomic Energy Agency, 以下 IAEA)は, 世界各国において将来原子力エネルギーを計画・運営・管理するリーダーとなる人材の育成を目的とした「原子力エネルギーマネジメントスクール」(Nuclear Energy Management School, 以下 IAEA-NEM)を開催している。

2010年に第1回, 2011年に第2回の IAEA-NEM をイタリアのトリエステで開催した。これらのスクールにはおよそ30カ国からそれぞれ40~50名が参加した(2つのスクールに, あわせて4名の日本人研修生が参加)。また, IAEA は2012年1月に第3回となるスクールをアラブ首長国連邦のアブダビで開催しており, 湾岸5カ国から約40名が参加した。

このスクールを我が国で開催できれば, 我が国の若手の研究者, 技術者, 規制・行政関係者等の国際化および海外人材との人的ネットワーク形成の機会をつくること

IAEA Nuclear Energy Management School holding in Japan ; Aiming for Nuclear Human Resource Development Center in Asia : Kiyonobu YAMASHITA, Mitsuru UESAKA, Kazuya OHGAMA, Takuya HATTORI.

(2012年 9月4日 受理)

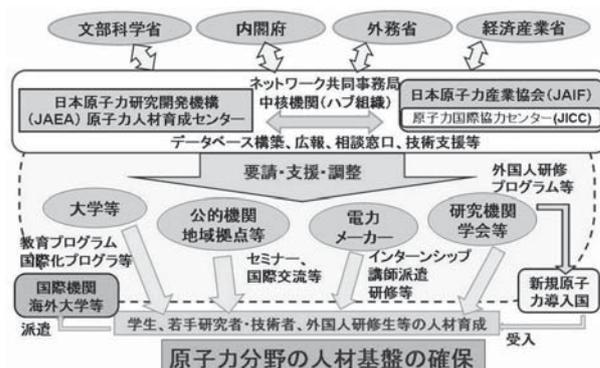
ができる。また, 新規原子力導入国等の人材育成への寄与, IAEA との協力関係の促進などの国際貢献にもつながる。

そこで, 原子力人材育成ネットワーク(第1図), 日本原子力研究開発機構(以下, JAEA), 東京大学および日本原子力産業協会は, IAEA とともに, 2012年6月に本スクールを茨城県東海村にて開催した。開催準備を確実かつ円滑に進めるため, 上坂を委員長とする実行委員会を原子力人材育成ネットワーク内に設置した。本スクールは, 第4回の IAEA-NEM となり, 日本がアジアにおける原子力育成の中核となることをめざした, アジア地域初の開催となった。

本稿では, 多くの若手原子力関係者に, 本スクールに興味関心を持ち, 今後さらに多くの方にご参加いただくため, スクールの開催内容につき紹介する。

2. 開催内容

2012年6月11日から3週間にわたり, 茨城県東海村の



第1図 原子力人材育成ネットワーク

いばらき量子ビーム研究センターで本スクールを開催した(第2図)。開校式における天野 IAEA 事務局長からのビデオレターによる挨拶では、日本政府をはじめとしたホスト機関の積極的支援により、アジアではじめて本スクールを開催できたことに感謝の意が示された。近藤原子力委員会委員長からは福島第一原子力発電所事故が世界の原子力政策に影響を及ぼしたことへのお詫び並びに本スクール開催への祝辞があり、ピチコフ IAEA 事務次長からは、研修生に対して原子力利用を担うリーダーとなるよう幅広い知識を身につけてほしいとの期待が述べられた。

(1) 研修生の構成

2012年の東海村でのスクールの研修生39名(男性33名, 女性6名, ほとんどは20代後半~30代前半)の出身地の構成は、日本18名, 韓国5名, ベトナム5名, バングラディッシュ, 中国, インドネシア, マレーシア, モンゴル, タイ, エジプト, ヨルダン, ケニア, スーダン, リトアニアの各国から1名ずつだった。

研修生の所属機関内訳は、行政機関13名(12名), 電力会社9名(5名), メーカー7名(1名), 研究開発機関9名(2名), 大学1名(1名)だった(括弧内は外国人研修生の所属内訳)。特に、新規原子力導入国からは行政機関からの参加者が多く、これらの国からの研修生14名のうち行政機関からの研修生は11名にのぼった。研修生の多くは技術的な職務に従事していたが、数名は法律, 国際協力などの技術以外のバックグラウンドを持っていた。

このように、本スクールは、多様な背景を持つ研修生同士が講義および意見交換を通してともに学び、お互いを知り合っていく、国際原子力人材育成の場となった。

(2) カリキュラム

3週間のスクールのカリキュラムは、講義が7割, グループワーク・発表が1割, 施設見学が1割, その他(開校式, 最終試験, 閉校式など)が約1割程度である(カ

リキュラム詳細はスクールのホームページを参照¹⁾)。

(1) 講義

① 講義

エネルギー計画・経済, 各国の原子力政策, 原子力技術(商用原子炉, 新型炉開発, 核燃料サイクル, 放射性廃棄物の処理・処分), 放射線利用, 放射線リスクとパブリックコミュニケーション, インフラ整備(マイルストーンアプローチ), 3S(Safeguards/Non-Proliferation, Safety, Security), 原子力法, マネジメント(リーダーシップ, 人材育成, 知識管理など), 原子力分野における国際協力, 原子力社会学など, 3週間を通して合計約70の幅広い講義が実施された。

講義は、約20名の IAEA 専門家および20名を越える日本人専門家が担当した。IAEA の専門家は、主に、原子力技術, 3S, 知識マネジメント, 能力養成, 人材育成等について的一般論, 制度などの講義を行った。日本の専門家は、アジアや日本における経験, 状況などの具体例をまじえた講義を行い、研修生が原子力の諸分野についてより深く、具体的に理解する上で大きな役割を果たした。

特に、福島第一原子力発電所事故については、事故の概要, 教訓などにつき、日本人専門家からの講義があった。この講義では、研修生から、「この事故の教訓を踏まえ、今後どのような対策を実施していくべきか」などの質疑があり、事故から学び、原子力の安全性を高めていこうという強い意思と真摯な姿勢が見られた。

また、原子力技術については、IAEA 専門家および日本の原子力プラントメーカー3社からの専門家による講義が行われた。海外の研修生から軽水炉の建設・運転の実績, コスト, 安全上の対策などにつき多くの質疑があり、原子力プラント技術に対する高い関心がうかがえた。

特に、まだ建設・運転実績のない新型の軽水炉の建設コストや革新的な技術の採用によるコストへの影響, プラントの保守・補修性などに関する質疑があった。

講義の中には、マイルストーンアプローチや、新規導



第2図 研修生および関係者の集合写真(開校式)

入国の人材育成に関する講義など、新規に原子力を導入するにあたって必要となる知見を学ぶことができる講義があった。こうした講義は、新規原子力導入国の研修生にとって必要な内容であるが、同時に、今後、新規原子力導入国のパートナーとして仕事をしていく機会を持つ可能性がある日本人研修生にとって、どのような協力をする必要があるのかを考える上で重要な内容であった。このため新規導入国への技術支援に関心を持って講義に臨む日本人研修生も見られた。

以上のほかに、田中エネルギー経済研究所特別顧問(前国際エネルギー機関事務局長)による“Energy Security & Sustainability for Asia in the 21st Century: Post Fukushima Energy Strategy”, 鈴木原子力委員会委員長代理による“Economics of Nuclear Energy”, 尾本原子力委員会委員による“Japan's Nuclear Energy Development”などの特別講義があった。また、村上東海村村長による原子力施設立地自治体の首長としての考えに関する講義があった。日本の著名大学の先生およびJAEAをはじめとする研究開発機関等の現役リーダーの講義を聴くことができ、質疑応答により直接意見交換ができる貴重な機会となった。

なお、これらの講義資料の一部は、IAEAのホームページに掲載されている²⁾。

②カントリーレポート(Country Report)

第2週の1日を使って、各国の研修生から、それぞれの国の原子力事情を紹介するプレゼンテーション(カントリーレポート)が行われた。発表内容は、エネルギー事情、原子力政策、原子力関係機関の体制、原子力人材育成の状況、今後の課題などである。発表者に対し、福島第一原子力発電所事故による各国の原子力政策への影響、各国の原子力発電所サイトにおいて想定される自然災害とその対策など各国の事情に関する多くの質疑があり、研修生にとって世界各国の原子力の現状を広く学ぶ機会となった。

③原子力英語(Nuclear English)

第1週および第2週に、毎日1時間、原子力分野に特有の用語・使い方の学習、原子力を題材としたリスニング、プレゼンテーション方法の学習などの英語の講義・演習を実施した。研修生にとって、講義の理解を深め、グループワークにおけるコミュニケーションなどを強化する上で有用な講義となった。

(2) グループワーク(Work Project)

6つのテーマから各研修生が関心を持つテーマを選定し、同じ関心を持つ研修生5～7名がグループを作り、調査、討論を行い、結果を発表した(第3図)。テーマは、

①エネルギー計画、②原子力法および規制、③核不拡散・



第3図 グループワーク

保障措置、原子力安全および核セキュリティ(3S)、④人材育成および知識管理、⑤自然災害およびアクシデントマネジメント、⑥放射線防護および放射線リスクのコミュニケーションである。

発表会では、独自の調査・検討に基づき、発表が行われた。例えば、3Sのグループの発表では、福島第一原子力発電所事故に関連した3S上の課題・対策とともに、Safety, Security および Safeguards の各対策が相互にシナジー効果を発揮し、一体的かつ効果的に3Sを強化するための提案があった。

また、研修生は、グループワークを通じて、多様な研修生の意見に触れるとともに、議論や、共同作業を通じ、国際的な場でメンバー間の合意を形成しつつ物事を進めていくということを経験できた。特に外国人と接触する機会が少ない日本人研修生にとって貴重な経験となった。

なお、グループワークの効果的な実施に資するため、各テーマに1名のメンターおよび週交替の1～2名のサブメンターを配置した。IAEA経験者、海外勤務経験、世界原子力大学経験者等がメンターおよびサブメンターを務めた。国際経験に基づき、グループワークに対する助言や、研修生同士のコミュニケーションの促進を行った。

(3) 原子力施設見学(Technical Tour)

多様な原子力施設が立地する東海村での開催の利点を生かし、施設見学では、原子力技術、核燃料サイクルおよび3Sなどの講義と関連した多様な施設を見学した。

発電用原子炉や試験研究炉施設をはじめと見るという外国人研修生もおり、特に、日本原子力発電東海第二発電所、JAEAの高速実験炉「常陽」および高温工学試験炉の見学は関心が高かった。また、日本人研修生にとっても、燃料加工施設や原子炉機器の製造工場を訪問する機会は貴重であり、三菱原子燃料東海工場や日立製作所日立臨海工場の施設見学では、研修生から「非常に勉強になった」との感想が多かった。さらに、量子ビーム技術などの先端技術の研究開発・応用について幅広く知ってもらうため、東京大学の東海キャンパスの加速器施設およびJAEAの大強度陽子加速器施設(J-PARC)を見学した。

講義で多くの時間をかけて学んだ3Sについて、さらに実体験を通して学んでもらうために、JAEAの高度環境分析研究棟および核物質防護訓練施設(第4図)を見学



第4図 JAEA 核物質防護訓練施設の見学

した。核物質防護訓練施設では、センサーやゲートなどのセキュリティ機器の機能につき、機器のデモンストラーションを通して学んだ。核セキュリティ対策やその重要性について関心が高まり、多くの質疑が行われた。

また、希望者を対象として、福島県広野町における除染作業現場を見学した。

(4) その他

スクールの最終日には、研修生の達成度をチェックするためのコンピュータを活用した最終試験を実施した。全研修生は無事試験に合格し、修了証が授与された。

スクール中のさまざまな機会を通し、本スクールに参加している多様な国籍、所属機関からの参加者同士が、原子力にとどまらず、各国の生活・習慣等についても話し合う機会となり、原子力分野で働く若手同士のネットワークを形成するよい機会となった。

3. まとめ

世界各国の将来の原子力を担う若手達との意見交換を通して、我が国の若手人材の国際化および海外人材とのネットワーク形成を行うことができた。同時に、新規原子力導入国等からの外国人研修生は、スクールを通して原子力を学び、かつ、日本の先端的技術に触れる機会を得た。このような機会を提供することにより、海外の若手原子力人材の育成に貢献することができた。外国人研修生からは、日本側の気配りの行き届いたホスピタリティに対し深い感謝の意が示された。さらに、IAEAとの協力関係を促進した。

日本国内においては本スクールの成功に向け、省庁、大学、メーカ、電力、研究開発機関が一体となって協力しあったことにより、国内の原子力人材ネットワークの

協力関係の強化を行うことができた。

関係者一同、今後も継続的に本スクールを実施することを目指し、国内外の原子力人材の育成およびネットワークの形成に貢献し、かつ IAEA および各国の原子力界との更なる協力関係の促進に努めたいと願っている。

本スクールの開催にあたりご支援くださいました原子力委員会、関係省庁、原子力人材育成ネットワーク参加機関、除染現場をご案内いただきました福島県広野町役場、施設を訪問させていただきました三菱原子燃料、日本原子力発電、日立製作所の各社、講師をお務めいただきました皆様、メンター・サブメンターをお務めいただきました皆様に心より御礼申し上げます。

— 参考資料 —

- 1) IAEA Nuclear Energy Management School,
<http://www.nuclear.jp/nem/>
- 2) 2012 Nuclear Energy Management Schools,
<http://www.iaea.org/nuclearenergy/nuclearknowledge/schools/NEM-school/2012/index.html>
- 3) Joint Japan-IAEA 原子力エネルギーマネジメントスクールの開催報告, 原子力委員会, 定例会議(第32回), 2012.

著者紹介

上坂 充(うえさか・みつる)

東京大学

(専門分野/関心分野)先進小型加速器・レーザー開発, 可搬型 X バンドライナック X 線源によるその場透視検査・動体追跡がん治療, オンチップレーザー加速器, 医学物理, 原子力保全

山下清信(やました・きよのぶ)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野)原子炉の炉心設計, 研究炉の運転管理及び利用, 原子力人材育成

大釜和也(おおがま・かずや)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野)高速炉炉心設計

服部拓也(はっとり・たくや)

日本原子力産業協会

(専門分野/関心分野)軽水炉の計画, 設計及び運転, 国際協力, 原子力人材育成

講演

放射性廃棄物地層処分の実施に向けて進むべき道

原子力安全研究協会 朽山 修

地層処分を、高レベル放射性廃棄物の管理のオプションとして国が選択し、実施主体として設立された原子力発電環境整備機構が、候補地の公募を開始してからおよそ10年が経過したが、いまだに文献調査地区を決められない状態である。このような状況で、放射性廃棄物の処分に携わる科学技術者は、地層処分を社会で実現するために、何をどのように考えればよいのか、原子力学会「2012年秋の大会」のバックエンド部会のセッションで私見を述べた。その概要を紹介する。

I. 高レベル放射性廃棄物地層処分の実施に対する課題

原子力発電を利用してエネルギーを得た結果としてもたらされる使用済燃料は、日本では現在、ウラン重量にしておよそ17,000トンが既に存在しており、多くは発電所内の貯蔵プールに保管されている。この使用済燃料に含まれる放射能のレベルは非常に高く、長期間残留する。このため、この使用済燃料に含まれる物質の一部または全部を、それ以上の利用を考えずに廃棄物とする場合には、現在から将来にわたって、人や環境に危害を与えないように何らかの手立てを講じる必要がある。放射能の持続期間は、現在の社会制度が持続する時間範囲をはるかに超える。このため、人による管理が失われても防護が達成できる手段として、物質が長期にわたり安定に保存されると考えられる深地層に、固体とした高レベル放射性廃棄物を隔離して閉じ込めておこうとするのが地層処分である。

処分の技術者は、

- (1) 放射性廃棄物は既に発生して存在している
- (2) 発生により便益を受けたのは国民全員である
- (3) 廃棄物の放射能レベルは長期にわたり高いままで、もたらされる危険は国民全員さらには将来世代に及ぶ
- (4) 放射性廃棄物またはその潜在リスクをゼロにする方法はない

との認識のもとに、地層処分を放射性廃棄物管理の最善の策であるとして社会に提案しているのであるが、この方策を社会に受け入れてもらい実施していくためには、越えなければならない課題がある。

その一つは、今までに経験のない時間軸と空間軸(あ

る時間と空間の中で起こるものごとを測る物差し)における処分システムの隔離と閉じ込めの安全性能を示す必要である。この時間軸と空間軸は、公衆にとっては、日常の経験(地上の生活)とは全く異なる時間軸、空間軸であり、自然科学にとっても、既存の自然科学者が得意とする時間軸、空間軸とは異なっている。さらには、社会学者にとっても、既存の社会科学の暗黙の対象としているものとは異なるもので、そこでは、世代内倫理にとどまらず、世代間倫理それも制度の継続が見込まれる範囲、制度の継続も見込まれない範囲の倫理を考えねばならない。

当然、科学および科学者の能力には限りがあり、将来をいいあてることはできないので、絶対の安全あるいは経験的知識を内挿する実証といわれる形で安全を示すことはできない。地層処分は科学技術的企てであると同時に社会的企てでもあるので、処分に携わる専門家は、自分たちができることの限界を知ることのみではなく、この理解と理解の限界を社会にも納得共有してもらう必要がある。

もう一つの問題は、処分施設をどこか少数の特定の地域(だけ)に、社会および地元の合意の下に実現するという、負担の公平性に関する集団の意思決定の必要である。

地層処分を実現しようとする者は、将来をよりよく予測しようと努力して、かつ完全にいいあてることはできず、様々な人々の意見を取り入れてよりよい妥協点を決める方法を求めて努力して、なおかつ王道はないという現実の中で、既に存在する放射性廃棄物の問題を実践的に解決するという、不確実性の存在の下での意思決定に関するミッションを与えられていると考えることができる。

II. ステークホルダーの懸念

社会的合意形成の問題では、ステークホルダー、すなわちどのような形であれ地層処分に関係する人々が、地

Towards the Implementation of Geological Disposal of Radioactive Waste: Osamu TOCHIYAMA.

(2012年 10月25日 受理)

層処分に対してどう考えているかを知る必要がある。

平成21年10月に行われた内閣府の特別世論調査では、「高レベル放射性廃棄物の処分地を私たちの世代が責任を持って、速やかに選定すべきか」という問いに対して、「そう思う」「どちらかといえばそう思う」という人の合計は82.2%となっており、「そう思わない」「どちらかといえばそう思わない」という人の合計8.8%を大きく上回っている。

一方、「自分の居住する市町村等が処分場の計画をした場合、どう考えるか」という問いに対しては、「反対である」「どちらかといえば反対である」という人の合計が79.5%で、「賛成である」「どちらかといえば賛成である」という人の合計16.1%を大きく上回っている。

すなわち、必要性は認めるが、処分を実施しようとしている者、あるいは地層処分により放射性廃棄物を安全に処分できるという主張を信頼して、自分たちの地域で協力しようとまでする人は少ないことが示されている。

一般に、様々な説明会やシンポジウムなどから、処分に懸念を示す人々の意見を要約すると、

- (1) 地下の様子は知ることができず、遠い将来は予測できないので、安全は確保できない。安全な処分法がない(将来世代に負担を残す)廃棄物を発生する原子力利用をやめるべき。
- (2) 国と電力が、勝手に原子力政策を押し進めて発生させた廃棄物を、地域に押し付ける地層処分に反対する。
- (3) いくら国民全体の責任、国民全体の安全といわれても、やることが本当に国民のためになるのか信用できない。どこかに廃棄物を押しつけることによって、自分たちの厄介ものにけりをつけようとしているのではないか。

のようになるのではないかと考えられる。

一般に、社会的取引においては、信頼が問題となり、これには、社会関係や社会制度の中で出会う相手が、①役割を遂行する能力を持っているという期待(能力に対する期待としての信頼)と、②相互作用の相手が信託された責務と責任を果たすこと、またそのためには、場合によっては自分の利益よりも他者の利益を尊重しなければならないという義務を果たすことに対する期待(意図に対する期待としての信頼)の2種類があるといわれている¹⁾。この見方に立てば、上記のうち、波状下線で示した部分は能力に対する懸念であり、下線で示した部分は意図に対する懸念であると考えることができる。

Ⅲ. 分業化社会におけるリスク：情報の非対称性がもたらすもの

少し一般的に、分業化社会におけるリスクの扱いについて考えてみたい。分業化社会では、特定少数のサービス提供者としての市民がいて、他者が必要とするサービ

スを提供する。一方、不特定多数の消費者としての市民は、自分が必要とするサービスを他の提供者から対価を支払って手に入れる。

問題は、医療などのように技術の有効性に限界があるときや、事故や廃棄物、環境汚染などのようにサービスそのものがもたらすリスクがあるときのように、サービスにはリスクが付随することである²⁾。

現在の社会のように、科学技術が社会に広く浸透し、分業が高度に進み、流通がこれを支えているような状況では、消費者は、サービスがもたらす便益を社会全体のインフラストラクチャーとして整備されたものとして受け取り、本来のリスクから守られた状態で、サービスに付随するリスクに向き合う形になる。この状況では、市民の安全は、サービス提供者の技術的能力、意図に係っている。

分業化社会におけるサービス提供者と消費者の取引におけるリスクの取り扱いにおいては、サービス提供者と消費者の間の情報の非対称性が問題となる。

サービス提供者の技術的能力については、科学技術の限界や科学技術者の能力の限界は消費者にとっては、技術の専門性と複雑性のため、よく分からない不確実なものとなる。このため、消費者は、安全の判断などで技術者が人間として間違える可能性に不信を抱く³⁾。

意図についての懸念は、サービス提供者が、消費者が情報を持たないことを利用して、安全確保を手抜きして、不当な利益を得ようとするモラルハザードに関する懸念である。

結局、消費者は、情報の非対称性における情報劣位者の立場に立つことになり、安全の判断をサービス提供者に委ねざるを得なくなる。この結果、多くの場合、サービスに付随するリスクに対する責任はサービス提供者が受け持つこととなり、サービス提供者は対価として得たサービス料の中から安全確保の努力をすることとなる。

これは情報の非対称性下のモラルハザードを防ぐために仕方のないことではあるが、能力の限界について考えると、リスクゼロ(安全神話)の約束を交わしていることとなり、消費者はリスクゼロの権利を持つ、言い換えれば、リスクに対する責任なしで便益のみを享受することができるという錯覚につながる。

このようなリスクをどう扱うかをあいまにしたままの約束は、リスクが顕在化しない限り問題ないように見えるが、何らかの失敗でリスクが顕在化すると困った事態になる。一般にサービスに付随するリスクをゼロにするには無限の努力が必要となるので、サービス提供者は、ここまで精一杯努力すればよいだろうという判断をする。しかし、これは見方を変えれば、それ以上は手抜きをすることも意味する。しかも安全に対する努力はサービス料を使ってなされるものなので、この判断には、この努力を最小限に抑えて、残りを自らの得る便益

としたいという心理が働く。

この結果、リスクが顕在化したとき、消費者は、リスクゼロの約束をしていたのに安全が損なわれたのであるから、失敗の原因は全てサービス提供者のモラルハザードの結果だとして激怒する。

実際にはサービス提供者も事故など起こしたくないし、誰かが被害を受けてもよいなどと思っている場合は少ないのであるが、事故などが実際に起こると、人々は、物事が起きてからそれが予測可能だったと考える傾向があるため、サービス提供者の悪意による意図的結果であると考え、つまり、何が悪かったかよりも誰が悪かったかと考える。

これは根本的な帰属の誤りと呼ばれる社会心理学上の認知バイアスとも考えられるが、たとえ誤りでも、それにより引き起こされる怒りは本物で、その後の人々の意思決定において、相手を信頼しないという感情的土台が形成され、客観性が必要な討議が、感情により支配されてしまうという深刻な影響がもたらされる。

IV. 信頼関係の構築：公共的討議(社会的選択)のあり方

このように、分業化と流通の高度化が進み、サービスにリスクが付随していることがあいまいにされたまま取引が行われるようになると、リスクが顕在化して事故や危機が起こった際に、怒りの感情に支配されてその対処に失敗して、分業による協働という、信頼関係に基づく社会の維持に深刻な影響をもたらすこととなる。

これに対して、何とか信頼関係を築こうという努力も多く見られる。

契約書や取扱説明書、保証規定等々、サービスの保証範囲や失敗時の賠償を取引時に明示化することや、医療などでは、パターンリズムからインフォームド・コンセントさらにはインフォームド・チョイスへの変化など、取引の際に、サービスに付随するリスクを明示して、消費者が、サービスによる便益と共にリスクも引き受けるように契約を交わすようにしている。

これらの場合には、便益とリスク、およびそれを受ける者が特定されているので、サービスを受ける者が意思決定に参加する形を比較的取りやすい。

一方、遺伝子改変、薬害、予防注射、原子力等の公共的サービスの場合には、便益を受けるのが社会全体であり、リスクが顕在化したとき被害を受けるのがそのうちの限られた一部というように、便益とリスクの分配の不公平があるという問題があるため、社会的意思決定における合意形成はさらに難しい。

このような問題はありますが、社会としてそのサービスを利用するかどうかを決めるのに、たとえ情報の非対称性が存在するとしても、便益とリスクについて関係する人々が可能な限り意思決定に参加すべきであるとの考え

のもとに、公共的討議を通じて“*Informed and comparative judgment*”，すなわち「正しい情報を得たうえで、選択として意思決定する」ことを実践する努力がなされている³⁾。

公共的討議においては、それぞれのオプションの優劣を相対的に比較する「選択として意思決定する」という視点、究極的にはそのオプションと何もしないモラトリアムを選択肢として比べるという視点が重要になる。

このような討議においては、便益とリスクを測る尺度は多様で入り組んでいるため、人々は他者の視点に注目し、情報を喜んで取り入れるほど十分に理性的である必要がある⁴⁾。

一方、高度分業化社会においては、リスクとそのオプションのもたらす便益とのつながりは希薄となっている。その上、人々は、サービスの提供者は情報の非対称性のもとに不当に利益を得ている搾取階級であり、サービスに付随するリスクは、サービス提供者が不当に消費者に押し付ける結果生まれるものと考えている。

このような情緒的背景のもとに、あるオプションの是非を絶対的に評価しようとする、リスクを嫌うという感情に支配されて、そのオプションをリスクゼロではないという理由で否定して、何もしない、すなわち、よりリスクの高い現状維持という選択をしてしまうこととなる。このような論理矛盾を起こさないためにも、「選択として意思決定する(討議する)」という視点が重要になる。

V. 地層処分におけるステークホルダー参加に向けて

以上のように、分業化社会におけるリスクについては、感情に流されない意思決定ができるように様々な努力が必要になる。

これまで、地層処分に携わる科学技術者は、冒頭に述べた認識のもとにその実践的解決策を探り、地層処分が最善の解決策であるとの結論を社会に示してきた。

しかし、人々の懸念に示されているように、出発点となるこのような認識は社会に共有されているとは言い難い。

人々は、分業化社会におけるサービスに付随するリスク(安全や廃棄物)については、サービス提供者が全面的に責任を持ち、何かあれば賠償するという形で、消費者はゼロリスクの状態になっていると思込んでいる。

したがって、処分場サイトに対する協力要請は、サービス提供者が利益を得ておきながら、そのつけを消費者に押し付ける不当な行為と解釈され、人々は、怒りの感情とともに、自分のところには持ってくるなというNIMBY(Not In My BackYard)の態度をとり、さらには、処理処分においてゼロリスクでなければそのオプションも受け入れないという不合理な態度をとる。

しかし、世代を超えた環境倫理の面から考えると、これは大いなる誤解である。消費者はそのサービスを社会

の中で受け入れて便益を得ており、将来世代に対しては現世代としての倫理的責任を有している。

このように考えると、放射性廃棄物の地層処分は、分業化された社会における協働、つまり助け合いの心によって、サービス提供者と消費者の両者を含む社会が解決すべき問題であり、何よりもまず、社会全体が冒頭に述べた認識をインセンティブとして共有することが重要であることが分かる。

すなわち、必要なのは、技術者が行った地層処分の選択という結果の、“Decide, announce and defend”型の説明ではなく、地層処分を選択するまでの過程、言い換えれば、地層処分を選択しようとする価値観の、人々との共有であり、これを“Engage, interact and co-operate”型のステークホルダーを巻き込んだ形でのプロセスにより達成することである⁵⁾。

具体的には、次のような点が討議の対象となるだろう。

- (1) たとえ、どのような動機であろうとも、既に存在している放射性廃棄物を安全に処分することを、原子力推進、反対の両者がいる現世代の社会の共通の目標とする。
- (2) 市民にとっては、あまり信用ならないかもしれないが、“原子力村”が直接の廃棄物発生者としての責任を果たすといつて企図している処分事業に協力するのがよいか、あくまで反対して、最終的に廃棄物を、この社会が次世代に引き渡す負の遺産にするのがよいか考えてもらう。
- (3) 地層処分により確保される安全と限界、これを科学技術者が理解するだけでなく、ステークホルダーが、その主張を理解することができるように、両者が努力する。特に、不確実性(科学的、社会的)はどこにどのくらいありどう対処するのか、科学技術も科学技術者も間違ふことがある、「間違っていたらどうするのか」という問いに答える。
- (4) 処分事業は、実施主体と地元・地域がパートナー

として事業を進める社会的共生を前提としており、事業化にあたっては、地元・地域が主体の安全論理に基づく事業計画の策定が必要となる。また、さらに将来においては、地下に定置されている放射性廃棄物の管財人(Steward)としての地元・地域の役割が安全上重要となる。事業計画は、国、実施主体と地元・地域が、地元・地域の安全と生活の質(Quality of Life)の向上を勘案して、事業の進展に応じて策定していくものであるが、このためにあらかじめ、どのような制度構築が必要となるかを検討し、近未来の地元・地域の姿に対する構想を示すこと、さらに、この議論に全てのステークホルダーが参加することも重要となる。

—参考資料—

- 1) 山岸俊男, 信頼の構造一心と社会の進化ゲーム, 東京大学出版会, (1998).
- 2) 中谷内一也, 安全。でも、安心できない……—信頼をめぐる心理学, ちくま新書, (2008).
- 3) 小林傳司, トランス・サイエンスの時代—科学技術と社会をつなぐ, NTT出版, (2007).
- 4) アマルティア・セン, 正義のアイデア, 明石出版, (2011).
- 5) OECD/NEA, Geological Disposal of Radioactive Waste: National Commitment, Local and Regional Involvement, (2012).

著者紹介



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)放射性廃棄物の処分

談話室

直接処分に適した燃料の開発を進めよう

福井大学附属国際原子力工学研究所 岩村 公道

1. 原子力政策の変更と研究開発目標の再設定

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の影響により、過去半世紀以上にわたり原子力関係者で共有されてきた原子力政策のパラダイムが変更されようとしている。原発ゼロを含む最終的な原子力発電の比率やそれに至る時間スケールについてはいまだ合意が形成されていないが、原子力利用の長期化を前提とした核燃料サイクル実用化路線が後退し、原子力発電からの順次撤退シナリオが現実味を帯びてきたことは認めざるを得ない。原子力研究者に与える衝撃は計り知れず、研究開発の目標設定に不透明感が漂っている。当面は福島事故の収束が最優先課題であることは当然であるが、さらに原子力の将来を見据えた技術開発についても着実に進めておくことが福島事故を経験した原子力研究者の責務である。

2. 直接処分における課題の見直し

新原子力政策では使用済燃料の直接処分も現実的な選択肢となるであろう。これまで核燃料サイクルとの対比から直接処分には以下のような課題があると指摘されていた。①ウラン資源の逼迫、②最終処分場面積の拡大、③放射性物質閉じ込め性能の劣化、④原子炉級プルトニウムの廃棄による核拡散の懸念。原子力撤退シナリオのもとでは持続可能性の制約が事実上撤廃されるため天然ウランの確保は問題とならないが、最終処分場の課題は残る。しかしながら撤退シナリオでは新たに発生する使用済燃料の量が限定されるため、最終処分場の容量が無制限に拡大することにはならない。したがって直接処分の実用化には③と④の課題に対する対応が急務となる。

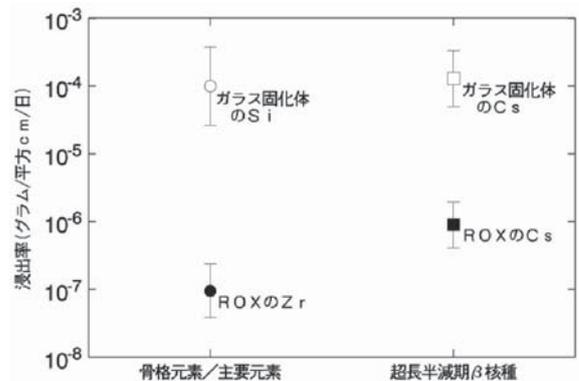
3. 課題解決のための技術候補

直接処分では使用済燃料中の放射性核種の組成と化学的特性が重要となる。従来の軽水炉燃料は再処理サイクル利用を前提としたため、地層中での安定性や核拡散抵抗性の観点から必ずしも直接処分に適した特性を有していない。そこで上記の課題③④を同時に解決するための有力な方策として、日本原子力研究所(現日本原子力研究開発機構)で開発された岩石型燃料(Rock-like oxide fuel: ROX)¹⁾の活用を提案する。

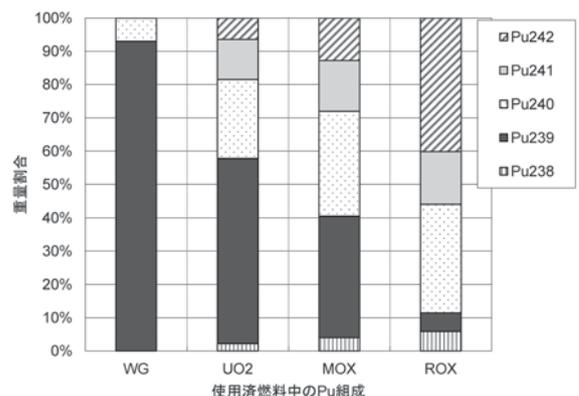
ROX 燃料とは、イットリア安定化ジルコニア(YSZ)等の母材にプルトニウムを含有させたイナートマトリッ

クス燃料の一種で、これまでの研究により、照射安定性、放射性物質の閉じ込め性能、地層処分時の浸出特性、再処理の困難性等について実験的な確認がなされている。

JRR-3およびオランダの多目的照射用研究炉 HFR を用いた照射試験の結果、照射健全性、スエリング特性、FP ガス放出率等の観点から、YSZ 相のみをマトリックス材とした YSZ 単相型燃料が最適であることが分かった。JRR-3で照射した ROX 燃料の浸出率を測定し、ガラス固化体と比較した結果を第 1 図に示す²⁾。ROX 燃料の骨格元素であるジルコニウムの浸出率はガラス固化体の骨格元素であるケイ素の浸出率よりも約 3 桁低く、超長半減期 β 核種であるセシウム-135の浸出率はガラス固化体より約 2 桁低いことが分かる。また模擬使用済燃料を用いた硝酸中での溶出試験の結果、YSZ 相は優れた耐酸性を有しており再処理が困難であることが実証されている。



第 1 図 使用済 ROX 燃料とガラス固化体の浸出率比較²⁾



第 2 図 使用済燃料中のプルトニウム組成の比較³⁾

第2図に使用済燃料中のプルトニウム組成比の比較を示す³⁾。ROX 使用済燃料中には核兵器の材料となるプルトニウム-239がわずか5.6%しか含まれておらず、さらに自発核分裂により兵器としての利用を阻害するプルトニウム同位体の含有率が増大するため、従来の軽水炉燃料に比較して核拡散抵抗性が格段に改善されている。また、ROX 燃料を軽水炉で使用すると、燃料温度反応度係数が小さく燃焼反応度変化が大きくなるなど炉心特性上の課題が生じるが、共鳴物質の添加等による設計改良により現行軽水炉と同等の安全性の確保が可能となることが確認されている¹⁾。

4. 直接処分に適した軽水炉燃料の可能性

プルトニウムを用いた ROX 燃料は、余剰プルトニウムの安全かつ経済的で核拡散の懸念がない処分方法として開発された。この技術を直接処分シナリオに適合した軽水炉燃料の開発に活用できないであろうか。この場合には燃料として濃縮ウランを用いるため、使用済燃料中には炉内で生成したプルトニウムが残存することになるが、再処理が極めて困難で地層中の安定性に優れた ROX 燃料の特性を活用することにより、核拡散等の懸念を払拭できる可能性がある。またこの特性は、地層中への最終処分段階のみならず、中間貯蔵段階、あるいは回収可能な暫定保管⁴⁾を実施する際にも十分発揮できる。

実際に濃縮ウランを用いた ROX 燃料を既存の軽水炉で使用するには、燃料の製造性の確認、熱伝導率等の基本的な物性データの取得、燃焼特性等の炉心性能の確認、事故時の安全性の確認、集合体照射データの取得等、許認可に係る課題を全てクリアする必要があり、研究開発に要する資金と時間の両面でハードルは高いのも事実である。ただし ROX 燃料は既に製造実績があり、実用化に際しても既存の燃料製造工程の一部変更で対応できるため、追加設備投資については最小限ですむとされている。

5. むすび

原子力発電の比率の如何にかかわらず、高レベル放射性廃棄物の最終処分について現実的な方策を提示し、国

民的な合意形成を図るべき時期に来ている。具体的には、地層処分の安全性の科学的な検証、高速炉や加速器駆動炉等の革新的な核変換技術による半減期の大幅短縮などの方策が考えられるが、これらの技術開発には実用化が見通せるまでに相当の時間がかかる難点がある。そこで本稿では、より実現可能性の高い代替技術として、直接処分に適した軽水炉燃料の開発を提言した。

再処理が困難な軽水炉燃料については、将来の再処理可能性(核変換による無害化の可能性)を否定することになり、導入に慎重な意見があることは理解できる。ただし将来の原子力政策において「再処理・直接処分併用シナリオ」を採用する場合には、従来型燃料と直接処分専用燃料をニーズに応じて軽水炉に装着できるようにしておくことは、核燃料サイクルの柔軟性を確保する上で一定の合理性があると考えられる。

また、核拡散の懸念が少ない軽水炉燃料については、燃料サイクル技術を保有しない新規原子力導入国にとっても有力な選択肢となろう。さらに将来において国際燃料サイクル構想が実現すれば、安全性と核拡散抵抗性に優れた燃料への期待が高まることも予想される。

直接処分に適した ROX 燃料の概念については、基礎研究段階ながら一定の技術的見通しは得られており、新たな原子力政策の方向性と整合する有力な技術オプションとして検討に値すると考える。

(2012年10月10日 記)

— 参考文献 —

- 1) T. Yamashita, *et al.*, "Rock-Like Oxide Fuels and Their Burning in LWRs", *J. Nucl. Sci. Technol.*, **39**[8], 865-871 (2002).
- 2) 高度情報科学技術研究機構 原子力百科事典ATOMICA, "岩石型プルトニウム燃料の研究", <http://www.rist.or.jp/atomica/> (2004).
- 3) 西原健司, 岩村公道, 秋江拓志, 白数訓子, "岩石型燃料を用いた軽水炉の研究(1) 岩石型燃料の直接処分シナリオ", 日本原子力学会2012年秋の大会, Q 03, (2012).
- 4) 日本学会会議, "高レベル放射性廃棄物の処分について", 第39回原子力委員会資料 第1-2-2号, (2012).

アトモス時評

原子力安全の論理について深い議論を

滝 順一(たき・じゅんいち)

日本経済新聞社 論説委員
早稲田大学政治経済学部卒。新潟支局，ワシントン支局，大阪本社経済部などの勤務を経て，2009年から現職。科学技術や環境，エネルギー，医療問題など担当している。



アトモスの記事内容や紙面構成について忌憚のない意見を寄稿するよう求められた。そこで，福島第一原子力発電所事故がアトモスの紙面に反映されるようになった2011年5月号から，この原稿執筆時の最新号(2012年11月号)まで目を通した。

福島事故の取材の一環で，すでに読んでいた号もいくつかあったが，そのときは，関心がある記事だけをつまみ食いしたため，全体を眺め渡して読んだのは初めてである。ただし，一部の号はウェブ上のアーカイブから記事を手に入れたため，読めない(ダウンロードされない)記事もあった。また筆者のような非専門家には理解が難しい技術紹介のような記事はとばしてしまった。結果的に，編集担当者の期待する内容になるのかどうか心もとないが，とりあえず感じたことを書いてみたい。

2011年7月号に載った木下富雄氏の「解説」は，忘れていた違和感を思い出させてくれた。事故後，主要な新聞は「安全神話」が事故の背景にあると繰り返し書いた。筆者もその1人である。しかし，原子力業界で「絶対安全」の安全神話を鵜呑みにしていた人はいなかったろう。原子力を担当していた記者ですら「神話」を信じていた者は少数にちがいない。にもかかわらず，事故に直面して，事業者や政府の備えはまったく手薄だった。

木下氏はこう書く。「科学技術の安全に関して絶対はないという価値観が，少なくとも理念レベルでは原子力業界に存在していたことを意味する。私自身もこの価値観が，2000年以降，業界に共有されているものと思っていた。ところが今回の事故を見ると，その価値観が，具体的な行動の形では十分に機能していなかったように見える。それはなぜか」。安全神話という安直なフレーズを使った説明で覆い隠されがちな重要な問いがそこにある。

深層防護のこともそうだ。

福島原発事故独立検証委員会(いわゆる民間事故調)が調査・検証報告書を公表したときの記者会見で，山地憲治委員(地球環境産業技術研究機構理事)だったと思う

が，独立した5層からなる深層防護で，日本は第3層までしか対処してこなかったという趣旨の説明をした。「本当にそうだったのか」と，そのとき意外に感じたのを覚えている。

深層防護の5層は，①異常の発生防止，②異常から事故への拡大防止，③事故の影響緩和，④過酷事故対策，⑤防災，からなる。筆者が原子力の取材に携わるようになったころに読んだ佐藤一男著『原子力安全の論理』にもそう説明してあったように思う。これは原子力の世界の基本知識であり，原子力安全の根っこにある思想だと思っていた。

しかし，諸葛宗男氏の筆による2011年12月号の「時論」によると，日本の安全設計の指針や基準類のどこにも明示的に深層防護について書かれていないのだという。原子力安全白書にはかろうじて説明があるが，5層のうち3層の記述しかないそうだ。今まで気がつかなかったのはうかつなことだが，驚くべきことではないだろうか。

諸葛氏も「原子力発電所の最も基本的で重要な安全哲学である深層防護についての説明がこのような取扱いになっていることは大きな問題である」と指摘したうえで，福島事故を受けて「安全思想が風化していた」といわれているが，「風化したのではなく，もともと徹底していなかった疑いが濃厚である」とした。

諸葛氏の議論を受ける形で，北村正晴氏は2012年11月号で，「元々は知られていた安全論理が縮退し劣化した形で実装されていたのである以上，縮退や劣化が起こった理由を考え，それを除去することが必要な措置となる」と述べて，原子力の安全確保や信頼回復には「安全体系の論理という観点にたった考察」がもっと必要であることを強調している。

安全の論理の不徹底が，福島事故の背後にあるのは明らかである。安全に関する基本的な考え方が，なぜそれほどあいまいな扱いをされてきたのか。

この問いに対し，一般に流布した観点から答えるのは容易だ。産官学にメディアまで一体化した「原子力ムラ」

が原子力産業の利益のため安全を軽視したからだ、ということになる。

2012年5月の「時論」での阿南久氏の論調は典型だ。「強引に推進するために、産官学がタッグを組んで、警鐘を鳴らす科学者や技術者を排除し、『日本経済の発展』という錦の御旗のもと、突っ走ってきた」とする。

また、国会の事故調査委員会は「規制の虜」という言葉を使って、カネと情報をふんだんにもつ事業者によって規制当局が取り込まれた結果、安全規制の精神が骨抜きになったという論理を展開した。

北村氏は「この種の批判はある程度成立するにしても、その批判の段階で考察を停止させることは避けるべきである」と指摘する。その通りだと思う。安全神話や原子力ムラに対する攻撃や批判の段階にとどめず、深く掘り下げて考える必要がある。それが学会の責務のひとつではないかと思う。宮野廣氏も2012年3月号の「解説」で同様の指摘をされている。

アトモスでは、福島原発事故のプロセスの解析を試みたいいくつかの解説記事は大変参考になった。あえて誤解を招きそうな言い方をすれば、解説には執筆者の強い熱意や生気さえ感じられる。またチェルノブイリ事故後の放射能汚染に関する古い論文を素早く再掲した(2011年6月号)のも編集部的好判断だと思う。

そうした外部の物理的事象を論ずる記事に比べ、原子力安全の論理の徹底といった、原子力の世界の内的な事象(制度や慣習に潜む論理と現実)を議論する記事は少ない。少ないが、例示した記事のように内容の濃いものがある。

内的な事象を扱うことは、ほかならぬ自分たちのことを俎上にあげることにつながり、書きづらいことは容易に想像が付く。学会員の多くは工学系の研究者で、そうしたことを論じるのに慣れていないとの事情もあるだろう。

しかし、福島事故で問われたのは、技術的な問題だけではない。技術を社会に実装する技術者や企業の論理が問題視され、原子力にかかわってきた科学者や技術者が社会の信認を失った。

昨今、「トランスサイエンス」という言葉をよく耳にする。「科学に問うことはできるが、科学だけでは解決できない」問題の存在を指摘し、科学技術の社会実装にあたって市民参加を強調する論が多い。アトモスでもそうした主張の記事(2012年1月号大西有三氏の時論など)がいくつか掲載されている。実は、原子力はトランスサイエンスという言葉が目につくようになるずっと前から、トランスサイエンス的な領域で様々な試み(もんじゅ事故後の原子力政策円卓会議など)をしてきた分野であるともいえる。

トランスサイエンスの視点は確かに大事だ。2012年4月の「時論」で、藤垣裕子氏はトランスサイエンスという言葉こそ使っていないが、原発事故後の科学技術と社会の関係を論じ、「米国では、リスク許容度を、工学というアカデミックな専門家内部のルールで決めてきたのに対し、オランダでは、専門家に閉じられた形ではなく、議会に開いて議論してきた」と、国ごとに多様な関係がありうることを指摘した。ここで挙げられた例は洪水災害の低減をめぐる米国とオランダの違いだが、原発をめぐる問題に対し非常に示唆的だ。

ただトランスサイエンスの主張は、視線を原子力の世界の外側、原子力と社会の境界領域に向けることを促す傾向があるように思う。いま直視しなければならない問題はむしろ、木下氏らが指摘したように原子力の世界の内側にあるのではないか。原子力安全の論理を不徹底のままに放置した原因を洗い出し、同じ轍を踏まぬよう改めることはその一例だろう。そのあたりをないがしろにしたままでは、社会との接点も適切に設定できない。

すでに議論の端緒は紙面に提示されている。ぜひ分析や議論を発展させ、教訓を見つけてもらいたい。

また、この1年半の間、社会的に大きな関心を生んできたことの 하나가、長期のエネルギー政策だ。「原発稼働をゼロとするためあらゆる政策資源を投入する」とした民主党政権のエネルギー・環境戦略は、その政策決定過程を含めておそまつな限りだった。アトモスもエネルギー政策論に紙面を割いていたが、原子力の「必要論」を説くにとどまっていたのは残念だ。

原子力学会が原子力の維持の必要性を説くのは理解できるが、必要論を主張するだけではおそらく既存原発の再稼働すら実現できないにちがいない。専門家が原子力の維持を説くのであるなら、安全を担保する具体的な方策や道筋を示す必要がある。それが十分だったとの印象はない。再生可能エネルギーの限界に関する、おせっかいな指摘(2012年10月号会長所見)などは、経団連あたりにまかせておけばよいことだろう。

電気事業者は「世界一の安全性を目指す」と口にするのが、説得力のある確かな裏付けが要る。2011年6月号の佐藤一男氏の文章には以下のような問題提起があるが、国民は決して荒唐無稽な指摘だとは思わない。学会はまじめに受け止める必要がある。

「日本は火山国でもある。何もない平地で突如とした噴火が起こった例もある(昭和新山)。しかし、原子力施設の安全設計等に、火山活動がこれまでほとんど考慮されていないのはいかがなものだろうか。このように見てみると、特に、いわゆる外部事象についてはさらに研究を推進し、これを評価し対応する方法を完成させていく努力が必要となってくる」。 (2012年11月15日 記)