

巻頭言

- 1 覚悟 品田宏夫

時論

- 2 福島第一原子力発電所事故の要因と学ぶべき教訓

この事故では専門分化と分業の弊害が露わになった。学ぶべき教訓を最大限導き出すことが、信頼構築へと結びつく。 堀井秀之

報告

- 14 国会「東京電力福島原子力発電所事故調査委員会」とその意義

民主制度は主権在民に立脚し、立法府、行政府、司法の三権が分立し、相互に権力を抑制しつつ内外の環境変化に対応することにある。「国会事故調」は、この民主国家の統治機構が十分に機能しているのか、を問うたのである。 黒川 清

ミニ特集

- 20 原子力エネルギーのリスク低減と今後のエネルギーミックスにおける役割

学術会議主催のシンポジウムでの議論をもとに、事故によって顕在化した原子力エネルギー利用のリスクを提示し、エネルギーミックスを考えたときの総合的リスク低減と原子力の重要性を述べる。 田中 知

解説

- 29 福島第一原子力発電所事故の技術的知見と第4世代炉の安全性

第4世代ナトリウム冷却炉の国際的な安全設計要求、福島第一事故の技術的知見の反映及び実証炉の安全確保方策について報告する。 山口 彰, ほか

解説

- 34 福島原発事故による長期影響地域の生活回復のための福島県民とICRPとの対話集会から

対話集会は福島市で開催され、様々な人が現状と問題点を述べた。放射線への不安、行政の信頼性喪失、それらの解決について述べられた。風評被害を無くすには、福島からの積極的な情報発信が重要である。 川合将義

報告

- 54 核セキュリティ確保の強化に向けて—事業者、規制当局、学会等間の透明性を確保した連携

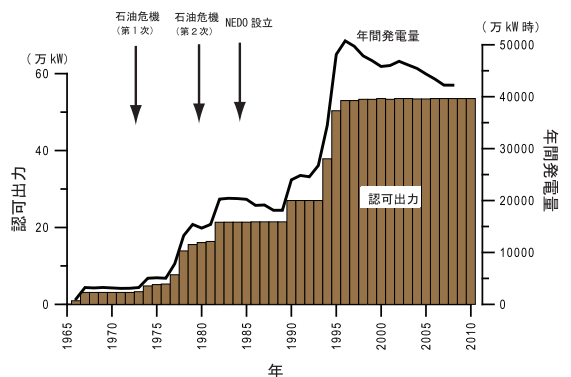
核セキュリティ強化のためには、その重要性についての認識を、組織の上層部から末端まで浸透させること、核セキュリティ文化の構築が必要である。

核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会

解説

- 40 地熱発電の現状と今後の展望—地熱エネルギー開発の歴史と問題点

地熱発電所は我が国でも半世紀近くの歴史がある。しかし、1997年に国の政策的な支援がなくなったことから開発の機運がしぼみ、1999年以降新規には建設されていない。地熱発電の導入経緯や技術開発に伴う問題、今後の見通しについて解説する。 當舎利行



地熱発電認可出力の推移

表紙の絵(洋画) 「春三月ブルージュ」 制作者 新出 紀久雄

【制作者より】 水の都として知られるベルギー西フランドル州の州都ブリュージュは年中観光客で賑わいますが、私が招かれた知人宅はそのルートから外れて、歴代ブルゴーニュ公がその美しさに魅かれてしばしば長逗留したという。それ以来時を止めたように静かな佇まいのままです。カンポ広場の鐘楼から優しいカリヨンの音が聞こえるだけです。

解説

46 超高感度 HARP 撮像管の開発と応用—放送・深海探査・X線医療診断研究での活用

撮像管用のアモルファスセレンの光電変換膜を 10^6V/m という通常の10倍の強電界で動作させた場合、電子なだれ増倍現象が安定に連続して生じ、画質が良好な状態で極めて高い感度が得られることがわかった。

谷岡健吉



2/3インチ型
HARP 撮像管

報告

51 原発被災地の農業の復活を願って、浅い田畑の対応—ひまわりによるセシウムの吸収・吸着状況、ひまわり除染調査隊報告

田畑にひまわりを栽培し、定期的にセシウムの吸収、吸着状況を測定した。その結果、ひまわりの成長が著しい花の咲く直前が、セシウムの吸収、吸着が最大になることがわかった。

天野 治



日米欧学生交流

63 KIT 滞在記—海外との距離

吉田崇英

【お知らせ】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7回は、お休みします。

4 NEWS

- 規制委が原子力災害指針案を提示
- 規制委と原電、敦賀の破碎帯で見解
- 規制委、活断層を40万年前まで拡大
- 学会、放射線影響や除染で福島シンポ
- 福島廃止措置、燃料取り出しを前倒しへ
- 事故調フォロー会議が初会合
- 原子力委員会見直しで5つの選択肢
- 規制委諮問委「規制の実効性を」
- 防災担当会議で災害対策マニュアル
- 日本とベラルーシが事故対応で協定
- IAEA 福島会議、事故繰り返しさぬ決意
- 原産「新政権に国民の信頼回復望む」
- 原安進シンポ、「自己満足への危惧懸念」
- 福井県議会が活断層判断で意見書
- 三菱重工が二腕ロボットを開発
- JAEA、ため池や地衣類のセシウム調査



ため池の中に測定器(写真は右)を沈めて放射性セシウムを測定
(参照: News p.8)

ジャーナリストの視点

58 原発被災者に寄り添う科学者の姿

神保圭作

- 45 From Editors
- 59 会告「平成25年度新役員候補者募集のお知らせ」
- 60 会告「定款改定案についての意見募集」
- 61 「2013年秋の大会」研究発表応募・参加事前登録のご案内
- 62 会報 原子力関係会議案内、共催行事、人事公募、新入会一覧、寄贈本一覧、H 25年度「原子力学生国際交流事業」派遣学生募集、英文論文誌 (Vol.50, No.3) 目次、和文論文誌 (Vol.12, No.1) 目次、主要会務、編集後記、編集関係者一覧

学会誌ホームページはこちら
<http://www.aesj.or.jp/atomos/>

「覚悟」



刈羽村長

品田 宏夫(しなだ・ひろお)

駒澤大学経済学部卒業。刈羽村議，刈羽村議会議長を経て，平成12年から現職(現在は第4期)。

東京電力柏崎刈羽原子力発電所2号機の炉心から2,480mの執務室でこの原稿を書いています。一番遠い炉心は5号機で2,630m。刈羽村に住む5,000人の97%は炉心から5km以内に暮らしています。1号機の運転開始は1985年。最終7号機の完成は97年でした。以来，今日に至るまで原子力発電所と共存することによる数々の混乱とつき合ってきました。原子力発電所がそこにあることの功罪を私たちはよく知っています。

福島事故は原発直近に住む私たちに多くのことを考えさせました。安全対策は言うまでもないことですが，怒りと恐怖に支配された原子力バッシングとでも言うべき論調が蔓延することには大きな危機感を抱きます。エネルギー政策という国策に深く関わってきた私たちだからこそ感ずることと言ってもいいでしょう。

世界には「喰う」ことに大きなリスクを負っている人達があります。重労働の水汲みを日課とする子供達。煮炊きの煙に寿命を縮める母親と乳幼児。先進国の我々は限りある地球資源を優先的に使ってきました。今の我々にはそういった人達の命を守る義務があると思います。彼らが必要としているエネルギー資源を日本が買い漁っているのですか。

私が生まれた1957年，妊産婦の死亡率は10万人あたり150人でした。2007年はそれが3.1人です。出産の死亡リスクは50年で50分の1になりました。医療の進歩に代表される諸条件があって初めて達成できたものです。では何がその諸条件を整えてくれたのか。「経済力」以外に答えはあるのでしょうか。エネルギー基地に住む私たちは功の部分にこの国の経済力を支えるといった価値があることをよく理解しています。事故以降，功たる価値を立地点の地元経済問題に矮小化しようとする取材，報道姿勢にはほとんど愛想が尽きます。

平和なこの国に永世中立国スイスが国民総武装国家であることを知る人がどれだけいるでしょう。スイス銀行といわれる一団が国家独立の戦略であることがどれだけ理解されているのでしょうか。滅亡は少々大袈裟かもしれませんが戦略無き社会に，国家に明日はありません。「なんとかなるさ」といい加減に考えるのは責任ある大人の振る舞いでないことを自覚する必要があります。今の経済力が可能にしている平和ボケのツケはいつか必ず払わされます。覚悟してその時を待つのか，リスクとつき合いそれを封じ込める努力をするのか，腹を決めるのはまさに今です。

山中伸弥氏のノーベル賞受賞は快挙でした。iPS細胞は人類に多くの福音をもたらすでしょう。受精卵を使わず人工的に多能性幹細胞ができることで倫理面の第1ハードルを越えました。しかし，これが神の領域に進むパスだとしたら大きな災厄を想像してしまいます。人間が「優劣を与えた人間」を造ってしまうことも可能になるのではと。

文明社会の発展は同時にリスクを積み上げることと理解しています。利益だけの享受などというのは幻想にすぎません。資源もないこの国が科学・技術立国を標榜するならそれなりの生き方というものがあるはず。数ある学会で活躍される皆さんには社会に向けて事実をしっかり発言して頂きたいと思います。

パンドラの箱をうっかり開けても慌てて閉めてはいけません。底には幸福と希望があった……らしいですから。

(2013年1月7日 記)



福島第一原子力発電所事故の要因と 学ぶべき教訓



堀井 秀之(ほりい・ひでゆき)

東京大学大学院工学系研究科教授
1980年東京大学工学部土木工学科卒業、
ノースウェスタン大学大学院修士課程・博
士課程修了、専門は社会技術論。著書「問
題解決のための『社会技術』」、「安全安心の
ための社会技術」、「社会技術論：問題解決
のデザイン」

福島第一原子力発電所事故に関して、政府、国会、民間、東電の4つの事故調査委員会の報告書が出され、その比較等もなされているが、事故の要因分析は終わったわけではなく、むしろ本格的な分析をこれから始めなくてはならない。本稿は、2011年12月26日に公表された政府事故調の中間報告に基づくものであるが、それに基づく分析や考察の結果は政府事故調とは無関係である。

事前対策の不適切性に関する要因分析を行い、事前対策を適性化することによって同様な事故の発生を防止できる。一方、事後対応の不適切性の要因分析により事後対応を適性化すれば同様な事故が発生したとしても被害の拡大を防止することができる。両者とも必要だが、多くの場合、事後対応に対する社会的関心が高まり責任追及がなされる。事前対策の不適切性をしっかり調べて同様な事故が発生しないようにすることが第一義的であり、事前対策の不適切性についての要因分析に対する重みをもっとあるべきだ。

2005年ハリケーン・カトリーナ

福島の話に入る前に、2005年に起こったハリケーン・カトリーナの災害について少し触れておきたい。

大統領、連邦緊急事態管理庁(FEMA)、国土安全保障省(DHS)等々の対応に関して多くの問題点が指摘されたが、そのなかでも以下のことが最も本質的な問題点であると考えられる。

非常事態対策センター(EOC)を置くことになっていった市役所は地下の予備発電施設などが水没して使用不可能になった。これによって市のEOCが設置されたのは8月29日にハリケーン・カトリーナが上陸してから5日たった9月2日であった。インシデント・コマンド・システムという現場指揮システムがアメリカでは標準的な危機管理のシステムとして導入されていたが、これが9月10日まで機能せず、市のリーダーは8月31日に初めて外部と連絡が取れるような状況にあった。

堤防の補強、あるいは改修に対する予算が十分ついていないのに、堤防が決壊することを想定して危機管理の対応が取られていなかった。水没する可能性のないとこ

ろにEOCを設置することにしておけば十分避けることができた。初動対応にあたる警察署員、消防署員は、緊急無線もやはり基地局が水没したために使うことができなかった。もしこのようなことがなければその後のさまざまなトラブルは発生せずに済んだ。

ニューオリンズ周辺の堤防、水防施設を設計し建設し管理するのは米国陸軍工兵隊が担当している。事故の後に堤防等の工学的な性能等に関する報告書と並行して「Hurricane Protection Decision Chronology」という報告書が作られた。これはこの米国陸軍工兵隊において50年間にわたってどのような意思決定がなされたのかを分析したものだ。制度、政策、経済、財務、組織にかかわる要因を抽出して、なぜ、どのように意思決定がなされてハリケーンに対する対策が不備な状態にとどまったのかということ进行分析した報告書である。要点は後で述べるが、事故の教訓を学び、二度と同じ事を繰り返さないようにするためには、このような分析が必要である。

福島第一原子力発電所事故の要因分析

津波対策・対津波シビアアクシデント対策が不備であったことに影響を及ぼした要因をリストアップし、その要因間の因果関係を明らかにし、それらを因果関係図に表せば、その因果関係図から専門分化・分業の弊害と絶対安全を求める心理が本質的な問題点として浮かび上がってくる。

専門分化・分業の弊害

科学技術が進歩して社会が高度化すれば専門分化・分業が進むのは必然である。専門性を高めるためには分業は不可欠であり、領域を細分化することによって知識・技術は深まっていく。結果として大学では学科専攻の細分化が起こり、企業でも領域ごとの技術者集団ができる。専門性や技術力が高まる一方、専門分野を超えて疑問を投げ合い切磋琢磨して安全性を全体として高める上ではマイナスになることもある。

専門分化・分業の弊害が顕在化した事例としては、シビアアクシデント(SA)対策の進展過程、2008年に行われた東電の社内検討、津波評価技術の策定、および耐震

設計審査指針改訂作業が挙げられる。ここではSA対策の進展過程に触れておこう。

1995年の兵庫県南部地震では設計地震動を超える地震動が観測され、原子力安全委員会では原子力施設耐震安全検討会を設置して当時の耐震設計に関する関連指針類について妥当性を検討した。このときは妥当であるという結論を出したが、その後、耐震指針の改定という作業につながっていった。一方、同じ原子力安全委員会の下では、原子炉安全総合検討会アクシデントマネージメント(AM)検討小委員会においてSA対策としてのAMに関する検討が進められていた。その報告書の中では耐震に関する言及は一切ない。

一方では兵庫県南部地震が起こって耐震指針が妥当なのかどうかという心配がなされて妥当であるという結論を出し、もう一方ではSA対策としてのAMの検討がされていたわけである。しかし、「AMは原子炉の話だ」という思い込みだったのか、地震を議論した記憶はない」と言われている。検討小委員会のメンバーはシステム安全に関する専門家、その上位にある原子力安全総合検討会には耐震工学の専門家も参画していた。

本来であれば設計地震動を超える地震動が観測されたわけであるから、SA対策を地震に対しても実施することを検討するのが自然であると思われる。そうならなかったことは、専門分化・分業の弊害と考えられる。

先に紹介したハリケーン・カトリナに関する報告書の中で、著者の省察として情報共有の重要性が結論されている。1990年代の半ばまでに米国陸軍工兵隊は対策の不備に気付いていたが、必要な対策を設計し費用の妥当性を示すための適当な高潮モデルが存在しなかった。予算不足等を背景として対応を先送りしたことや堤防等の性能不足に関する情報が危機対応にあたる組織に伝えられていれば、土地利用、排水施設の能力、避難計画、危機対応プログラム等の変更につながっていたであろうと述べられている。全く同じ構図の専門分化・分業の弊害といえる。

絶対安全を求める心理

SA対策としてAMが規制対象とならずに電力事業者の自主的取り組みとなったことが、結果としてSA対策が内部事象から外部事象へ、地震や津波に対して広がっていったことの一因になっている。

それは過去の原子炉の設置許可処分取り消し訴訟等の行政訴訟、決定論的な設計基準事象とその根拠の説明、あるいは現行規制において安全は十分確保されているという説明に対してSA対策を規制要求としてしまうと現行の規制には不備があり現行施設に欠陥があるということになってしまう、このような説明に矛盾が生じてしまうという懸念があったために、規制対象ではなく自主的な取り組みとなったのだといわれている。より安全性を高めるための改良を加えようとすると、これまでやって

きた過去を否定することと受け取られてしまうというパラドックスが生じる。SA対策の実施を地元に対して説明するときに「今まで安全ではなかったのか?」という質問に対してどういう説明をするのか、そういう難しさがあるということだと思われる。

このような状況を理解し、問題解決の方向性を見出すためには不安喚起モデルが役立つかも知れない。何か情報が入力され不安が喚起されると、人間はその不安をいつまでも持っていることはできないので、それを解消しようという動機付けがなされる。そのときにその人に能力がある場合は情報の内容を吟味したり質を吟味したり正確さや送りの意図とかを判断し、さらに事態の統制可能性を検討し、これは自分には及んでこない危機であると理解すれば、あるいはこういう対応を取れば被害を避けることができると理解すれば、不安が解消される。しかし、誰もがこんな能力を持っているわけではない。多くの人は、他人がどうしているか、信頼する人・組織がいるかどうかを判断し、その信頼できる人に託し、その人の指示に従うことによって安心するというパスを通る。これが普通の人のパスである。ところがこういう信頼できる人や組織が見つからなかった場合、情動的なパスに移る。すなわち直面する問題について考えるのをやめ、状況の意味をとらえ直したり、理屈も理由もないけれども自分には関係ない話だと思いつく、あるいは、とにかく理屈ではなくて絶対反対するというパスを通る。こういうパスを多くの人が通る場合には非合理的な社会的挙動が起こる。

したがって、いかに信頼に基づいて不安を解消することにつながるかということが課題となるが、現状では専門家、大学の教員も信頼できず、信頼できる組織が失われている状況で情動的なパスに移ってしまっている。どうやって信頼を構築するのかが重要であるが非常に難しい課題である。

おわりに

専門分化・分業の弊害は本質的な問題点で必ずしも原子力の分野だけではなく多くの局面で起こっていることだ。昔から繰り返し指摘されていることではあるが、だから何をやっても駄目ということではなく、むしろやれることは沢山あるにもかかわらず、それがやられていないということである。やるべきことを一つ一つやっていくしかないのではないかと。

信頼構築のための社会技術、これは明らかに現代社会に欠けているもので、作ることは容易ではないけれどもやっていかなければいけない重要な課題である。事故に至った要因の分析、意思決定の分析、組織的な分析を行い、学ぶべき教訓を導き出して、二度と同じ事を繰り返さないように対策を講ずることが求められる。そのような誠実な対応こそが、信頼を構築する方法ではなかろうか。

(2012年12月28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。

原子力規制委が原子力災害指針案を提示

原子力規制委員会は1月30日、原子力災害が起きた際を想定した事前対策や被ばく医療のあり方などを定めた原子力災害対策指針案をまとめた。2月12日までパブリックコメントを募集し、2月20日に正式に決める。

指針案では安定ヨウ素剤の予防服用について、原子力

施設から5km圏内となるPAZ域内では事前に配布し、PAZ域外では地方公共団体が備蓄する。またSPEEDIは防護措置の参考情報として活用するととどめた。

(原子力学会編集委員会)

規制委と原電が敦賀の破砕帯で異なる見解

原子力規制委員会は1月28日に敦賀発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合第2回評価会合を開き、敦賀発電所敷地内の破砕帯については「耐震設計上考慮する活断層である可能性が高い」とする評価書案をまとめた。同会合では今後、新たな知見が得られた場合、「必要があればこれを見直すこともあり得るが、その際には追加調査等によって活断層である可能性を否定する客観的なデータを揃えることが必要である。少なくとも現段階では、敷地内の破砕帯については耐震設計上考慮する活断層である可能性が高いと思われる」としている。

一方、日本原子力発電は1月28日、有識者会合の評価書案が「今なお活断層が否かを判断する上で重要なポイ

ントについて、科学的データに基づく判断となっているとは思われない」とするコメントを発表した。同社では、評価書案が同発電所のD-1トレンチで確認された剪(せん)断面(K断層)はD-1破砕帯またはその延長部の可能性がある」と指摘していることに対して、「せん断面とD-1破砕帯とでは、ずれの方向(変位センス)が明らかに異なっていることから、せん断面はD-1破砕帯と関連するものではない」と説明した。なお同社では1月22日に「2号機原子炉建屋直下のD-1破砕帯は耐震設計上考慮すべき断層ではない」との見解を示している。

(同)

原子力規制委、考慮すべき活断層を「40万年前まで」に拡大

原子力規制委員会は1月21日に「発電用軽水型原子炉の新安全基準に関する検討チーム」の会合を開き、検討チームとしての基準の骨子案をまとめた。骨子案ではシビアアクシデントが発生した時を想定して、格納容器にフィルタ付きベントを整備することや、第二制御室を設けることを求めた。

また同委員会は1月22日に「発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる新安全設計基準に関する検討チーム」を開き、地震と津波に関する基準の骨子案をまとめた。

骨子案では原子力施設の重要施設を建設する際には耐震設計をする上で考慮する活断層を、従来の後期更新世以降(約12~13万年前以降)から「中期更新世以降(約40万年前以降)」に対象を拡大した。また耐震設計上、重要

度分類Sクラスに属する機器や系統を支持する建物・構築物は、その真下に断層が存在する場合、断層の活動性がないことを確認された地盤に設置することとした。なお、「地盤変位が及ぶ可能性のある、耐震重要度分類Sクラスの機器・系統を支持する建物・構築物について、その規模、構造を考慮の上、安全側に最大変位を想定でき、その変位を吸収・緩和させるための設計がなされる場合は、この限りではない」との例外規定については異論が出た。

規制委員会では1月31日までに委員会としての骨子案をまとめ、パブリックコメントを経て7月からの導入をめざす。

(同)

原子力学会、福島で放射線影響や除染をテーマにシンポジウム

日本原子力学会と福島県は1月20日、福島市内で「東

京電力福島第一原子力発電所事故後の環境回復の取り組み

み」と題するシンポジウムを開催した。原子力学会の活動を報告するとともに、健康影響や農産物の汚染、除染などの最新の状況について紹介するのが目的で、当日は約100人が参加した。

会合では横山須美氏が、学会の放射線影響分科会ではこれまで、放射線による健康影響と防護のための対策や、低線量被ばくによる健康影響とその情報伝達のあり方について検討してきたことを紹介。環境回復などの取り組みはある程度までは進んでいるものの、避難解除ロードマップの作成・周知や、放射性廃棄物処理の安全確保とその考え方の整備などに課題があると述べた。また同分科会では福島県などの共同で、福島県の人たちとの対話集会を開催。参加者からは線量と健康影響についての関心が高く、同分科会では客観的・科学的な事実を信頼できる根拠に基づいて伝えることとともに、安全や安心の解釈やレベルは人によって異なるため、「専門家が一方的に判断することは控え、参加者がご自身で判断してもらえよう情報を伝える」ことを心がけていると説明した。

続いて井上正氏が、学会のクリーンアップ分科会の活

動について紹介。除染に際しては地域や対象物に優先度をつけて実施することや、除染技術の特徴を理解した上で、そこに住む人たちが主体になって除染技術を選定すること、発生する汚染物の処理や保管方策を考えることが重要だと指摘した。また同分科会では南相馬市の水田で、修復技術の実証試験を実施。土壌から玄米へ放射性セシウムが移行する濃度比は0.01以下であることがわかったことを紹介した。さらに同分科会では、除去土壌の仮置き場に関するQ&A集を作成してHP上に公開しており、除染を進めるためには仮置き場を早期に設置することが大切だと訴えた。

さらに大場恭子氏が、コミュニケーションという切り口を用いて学会が行ってきたフォーラム(共催：福島県)や福島県産の物産品の斡旋販売などの報告、および新たな活動内容について紹介した。またこれまでの取り組みの経験に基づき、今後、特に情報の発信に際しては、情報を受け取る側の気持ちやニーズを十分理解することに努めるとともに、相手とともに問題解決をめざして考えていく姿勢が必要だと述べた

(同)

福島第一原発廃止措置、燃料取り出しなどを前倒しへ

福島第一原子力発電所廃止措置の進捗管理を行う政府・東京電力中長期対策会議は2012年12月3日、実務レベルの運営会議を開催し、最近1か月程度の取組状況および今後の計画について確認を行った。

去る11月7日に東京電力が発表した「改革集中実施アクションプラン」の中では「福島第一をより安定な状態に迅速かつ確実に移行」との方針が掲げられており、中長期ロードマップでは13年11月頃に4号機の使用済み燃料プールからの燃料取り出しを開始するなど、作業計画の

前倒しを目指している。

また、構内滞留水等に含まれる放射性物質濃度をより低く管理する多核種除去設備では、ホット試験(汚染水を用いた通水試験)開始に向け、準備を進めている。炉内燃料デブリ取り出し計画は13年下期の実施適用を目指し、格納容器漏えい箇所調査装置を開発中。なおプラント状態を把握するため、12月11日には東芝製の4足歩行ロボットを使って、2号機ベント管下部周辺を調べた。

(資料提供：日本原子力産業協会)

政府・福島事故調フォロー会議が初会合

「東京電力福島原子力発電所事故に関し国会および政府に設けられた委員会の提言のフォローアップに関する有識者会議」(座長＝北澤宏一・科学技術振興機構前理事長)の初会合が2012年12月7日、都内で開かれた。

座長に就任した北澤氏は、「今回の福島事故で、原子力はフェールセーフにできていない未完の技術であることが明らかとなった。原子力は暴走する技術であったことを踏まえた上で、いかに安全にリスクを下げてやっていけるか、しっかり国民に見えるよう、他のエネルギーのリスクのことも考えながら検討して行きたい」と挨拶した。

政府事故調委員長だった畑村洋太郎氏は「事故を起こさせないことを考えることと、事故が起こったときにど

うするかを両方を考えなければならない」と強調した。

民間事故調委員長を務めた座長の北澤氏は、「日本だけが重大事故対策を取っていなかった。なぜ日本でなされなかったのか、組織と法律の問題を解明すべきだ」、「規制機関の独立性の形はできたが、規制の力を蓄えるのはこれから、人の教育が重要だ」などの意見を表明した。

国会事故調委員長だった黒川清氏は、新しい規制組織の要件は充足されたかとの視点から、「検討状況や実施計画を明らかにしなければ、信頼は回復しない」などと述べた。同会議は2013年3月までに報告書を取りまとめる。

(同)

原子力委員会見直しで5つの選択肢

第5回原子力委員会見直しのための有識者会議(座長＝大西隆・東京大学大学院工学系研究科教授)が2012年12月4日開催され、見直しに当たっての基本的な考え方についてまとめた。

体制の見直しにあたり、(1)8条委員会として機能を強化、(2)3条委員会を組成、(3)原子力庁を設置、(4)既成の行政組織に機能を移管(移管先候補＝経済産業省、文部科学省、原子力規制委員会/原子力規制庁)、(5)国会の付属機関として組成——を選択肢とし、それぞれについて優位的側面と消極的側面を挙げて、さらに検討を深める

ことが必要だとした。12日の第6回会議では、見直しに当たっての基本的な考え方について確認して終了した。

第5回の会議で挙げた行政組織・体制見直しの5つの選択肢については、それぞれの優位的側面と消極的側面についての議論が網羅できていないとして、選択肢のみを挙げるにとどめた。原子力委員会またはその後継組織が担うべき役割としては、(1)原子力の平和的利用の担保、(2)バックエンド政策等の企画立案等——を必ず取り組まなければならないこととして所管すべきとした。

(同)

規制委国際アドバイザー、「実効性ある規制制度構築を」

原子力規制委員会は2012年12月14日、海外有識者からの知見を反映し、助言を得るために委嘱した3名の「国際アドバイザー」との意見交換を行った。3名はアンドレ・クロード・ラコステ氏(フランス原子力安全規制当局前委員長)、リチャード・A・メザープ氏(米国原子力規制委員会元委員長)、マイク・ウェイトマン氏(英国原子力規制庁長官)で、いずれも各国規制当局のトップとして豊富な経験をもつ。

意見交換ではまず、田中俊一委員長が同委の概要を紹介し、アドバイザーより発言を求めた。ラコステ氏は事業者が規則を守ることだけでは不十分などと述べた上で、「10年後に本当に改善されているか」として、実効性ある規制制度が構築される必要を述べた。メザープ氏は今後の規制のあり方について、独立性、能力のスキルアップ、リソースの拡充、コミュニケーション、オープンな

姿勢、透明性、安全文化の醸成を掲げた上、規制当局が実際にプラントを訪問し、事業者とも意見交換を行う必要などを指摘した。また、ウェイトマン氏は英国における福島原子力事故を踏まえた教訓を、レベルA「産業界」、レベルB「規制当局」、レベルC「ステークホルダー」に分けて示し、「強いリーダーシップ」を発揮する必要を述べた。

大島賢三委員が日本で原子力安全推進協会が発足したことに関連し、産業界との関係のとり方について尋ねたのに対し、メザープ氏は米国の事業者組織INPOの年次会合で、成績の悪い企業にCEOから説明をさせていることを紹介し、日本でもよい成果が上がるよう期待した。

(同)

防災担当者連絡会議で災害対策マニュアルを説明

原子力施設立地周辺道府県の防災担当者による連絡会議が2012年12月14日、東京・原子力規制委員会庁舎で行われ、今後、自治体に要請される地域防災計画策定に関し、原子力規制庁、内閣府、消防庁らが説明に当たり、意見交換が行われた。規制庁は2012年10月末の原子力災害対策指針策定を受け、関係自治体には、今までの地域防災計画策定が求められていることから、原子力災害対策編作成マニュアルについて説明した。

12月19日の規制委員会定例会合で内閣府(防災担当)

は、原災指針で発電所からおおむね30km圏内として対策区域(UPZ)が設定されたことを受け、県域を越えた周辺地域調整が必要となることから、広域的な地域防災協議会の動向を説明した。対象施設および府県は、福井県内の各発電所で福井県、滋賀県、京都府、岐阜県、玄海発電所で佐賀県、長崎県、福岡県、島根発電所で島根県、鳥取県、志賀発電所で石川県、富山県、伊方発電所で愛媛県、山口県となっている。

(同)

日本とベラルーシが事故対応で協定

日本とベラルーシは2012年12月15日の福島閣僚会議で、低線量被ばく影響に関する情報交換などで協力する「原子力発電所における事故へのその後の対応を推進す

るための協力に関する日本国政府とベラルーシ政府との間の協定」を結んだ。日本の玄葉光一郎・外相とベラルーシのヴラジーミル・ヴァーシチェンコ非常事態相が署名

した。

同協定は、両政府が原子力発電所事故後対応の協力を促進する分野および協力方法や、実施のための合同委員会設置などを定めている。原子力発電所事故による人や環境に対する影響などについて、専門家の交流や共同セ

ミナーなどを行っていくとしている。

署名後の会談では、協定に基づく具体的な協力について早期に進めていくことで合意した。

(同)

IAEA 福島閣僚会議、事故繰り返さぬ決意

日本政府と国際原子力機関(IAEA)による「原子力安全に関する福島閣僚会議」が2012年12月15日から17日まで、福島県郡山市のビッグパレットで開催され、約120の国や機関が参加した。玄葉光一郎・外相とファディラ・ユソフ・マレーシア科学・技術・革新副大臣が共同議長を務めた。

15日の本会議では、玄葉外相が「世界のいかなる場所においても原発事故を2度と繰り返してはならない」と安全に対する決意を語った。天野之弥・IAEA 事務局長は、「IAEA にとって福島第一原子力発電所事故への対応が今も最優先課題」と述べ、福島への支援に強い意欲を示した。さらに国連事務局長挨拶が代読され、各国の代表演説が続いた。

玄葉外相が主催するワーキングランチでは、長浜博行・環境・原発事故収束・再発防止・原子力防災担当大臣が、原子力安全の強化、除染・廃棄物処理、健康管理等についての日本の取組を紹介した。佐々木伸彦・経済

産業審議官は福島第一原発の廃炉や原子力事業者の安全性対策等について説明し、今後の世界の原子力安全向上に役立てたいとした。

15日のセッション終了後は、福島県および同県民の復旧・復興にむけた努力への賞賛や、日本政府からの原子力発電所安定化や線量低減についての報告への歓迎と除染進展の認識、IAEA の緊急時対応援助ネットワーク(RANET)強化などの緊急事態対応に係る努力や科学的かつ客観的な情報に基づく対応の重要性などを盛り込んだ声明を採択した。

また同日には玄葉外相の立会いのもと、佐藤雄平・福島県知事と天野 IAEA 事務局長が、放射線モニタリングおよび除染、人の健康、RANET 機材を福島県内に保管するなどの緊急時対応で協力を進める「東京電力福島第一原子力発電所事故を受けた福島県と IAEA との間の協力に関する覚書」に署名した。

(同)

原産協会「新政権に国民の信頼回復望む」

服部拓也・日本原子力産業協会理事長は2012年12月17日、「新政権に期待する一国民の信頼回復を」と題するコメントを発表した。

それによると、東京電力・福島第一原子力発電所の事故によりわが国のエネルギー政策、とりわけ原子力安全に対する国民の信頼は根底から損なわれたと指摘し、その後のエネルギー・環境政策の議論が混迷したのは「政府、規制当局、事業者、専門家、立地地域および国民の間の相互信頼関係が構築されていなかったことが最大の要因である」と強調。新政権においては、「信頼回復を最重要課題として取り組むことを期待したい」としている。

その第一歩として福島の復興と再生に全力を注ぎ、特

に早期の除染、安全な廃炉、廃棄物の管理・処分場の確保などの課題に対して、「政治の強いリーダーシップの下、省庁の枠を超えた着実かつスピーディーな取り組み」を行っていくよう求めている。

産業界としても原子力の安全性向上と透明性の確保を最優先課題とした不断の取り組みを続けることで、国民の信頼回復に努めていく決意を改めて表明。安全で低廉なエネルギーの安定供給が国民の豊かで安全な社会生活と産業経済活動の基盤となるものであることから、「現実的なエネルギー政策・原子力政策を長期的かつグローバルな視点から再構築し、国内外の理解を得ていくことを期待したい」と強調した。

(同)

原安進シンポ、「自己満足への危惧懸念」

原子力安全推進協会は2012年12月18日、都内で国際シンポジウム「原子力の安全性向上に向けて」を開催、11月に新生発足した同協会の取組がより実効性を高めていけるよう、海外機関からの意見を求めた。

海外からは、世界原子力発電事業者協会(WANO)のローレン・ストリッカー議長が、福島事故後のWANOから日本の事業者へのメッセージとして発表を行い、プラントの長期停止レビューの必要性などを述べた上、国

際協力を通じ、「公衆の信頼回復」に努めていくべきと結論付けた。

また、米国原子力発電運転協会 (INPO) のウィリアム・ウェブスター最高責任者が、同協会の取組を紹介。効果的な自主規制のあり方について、最高責任者の権限、原子力安全への重点、産業界支援、説明責任、独立性の側面から言及した。また、今後の展望として「原子力に関する世界標準を設定する」ビジョンを掲げ、自己評価と

継続的改善、運転経験と産業界の傾向分析、作業員の基礎知識の涵養、緊急時対応能力の向上などを示した。

パネルディスカッションでは安全文化の醸成が議論となり、安全推進協会の松浦祥次郎代表は、安全文化におけるトップマネジメントの重要性を強調したほか、「これで十分と思った瞬間に崩れ始める」などと述べ、原子力安全確保における自己満足に対する危惧を訴えた。

(同)

福井県議会が活断層判断で意見書

福井県議会(吉田伊三郎議長)は2012年12月18日、原子力規制行政に対し、科学技術的な観点とともに立地地域の意見を十分に反映した信頼のもてる適正な判断を求める意見書を決定した。

意見書では破砕帯調査のうち、県内に立地する日本原子力発電敦賀発電所の現地調査を受けた評価に対し、「少

人数の専門家が事業者と十分な議論をすることなく、短期間の現地調査をもとにした独自の見解のみで判断がなされている」とし、活断層では危険性の程度と活動の規模、発電所への影響等、耐震工学などの幅広い分野の専門家の意見を聴取しながら解明するよう求めている。

(同)

三菱重工が二腕ロボットを開発

三菱重工業は2012年12月6日、人間の腕を模した2本のアームを持つ遠隔作業ロボット「MHI-MEISTeR」を開発したと発表した。

人の立ち入れない災害・事故現場を自由に移動し、7つの関節を持ったアームの先端部に様々な専用作業ツールを装着し、片方でモノを把持しながら、もう一方で切断するなど、1台で2種類の作業を同時に行えるのが特長。同機は、悪路での走行が可能なクローラー式の台車を穿き、新たに開発した専用ツールで、遠隔操作による

コンクリート汚染のサンプリング調査もできる。また、アームの先端に取り付けるツールを交換することで、コンクリート穿孔や障害物の切断ほか、保守・補修などの作業を行うこともでき、福島第一原発での活躍が期待される。同機は、1999年の東海 JCO 臨界事故を契機に、日本原子力研究所(当時)と共同開発した耐環境型ロボットがベースで、耐放射線性能や遠隔操縦性などに改良を加えた。

(同)

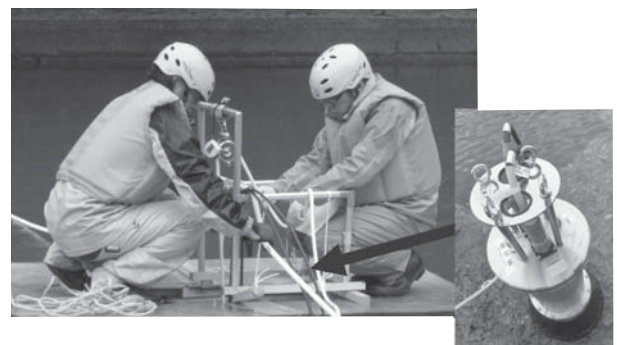
原子力機構と福島大学が、ため池の水底の放射性セシウムを調査

原子力機構と福島大学は昨年11月26日から30日までの5日間、福島大学のため池で水底測定を行った。

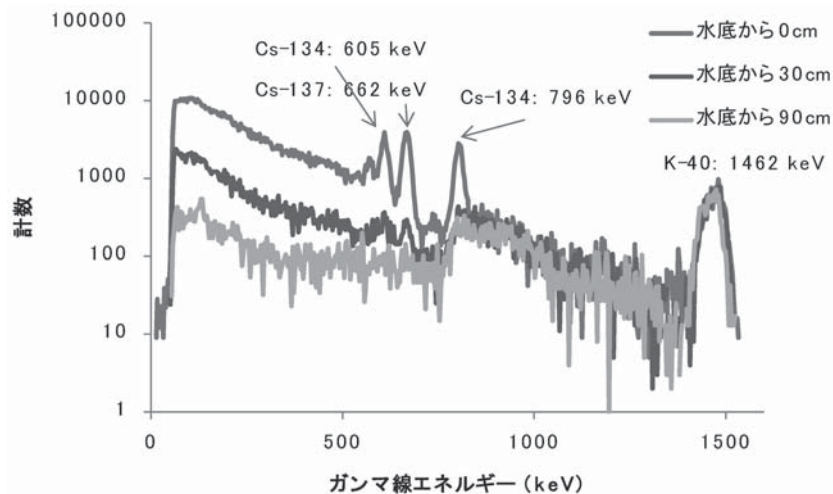
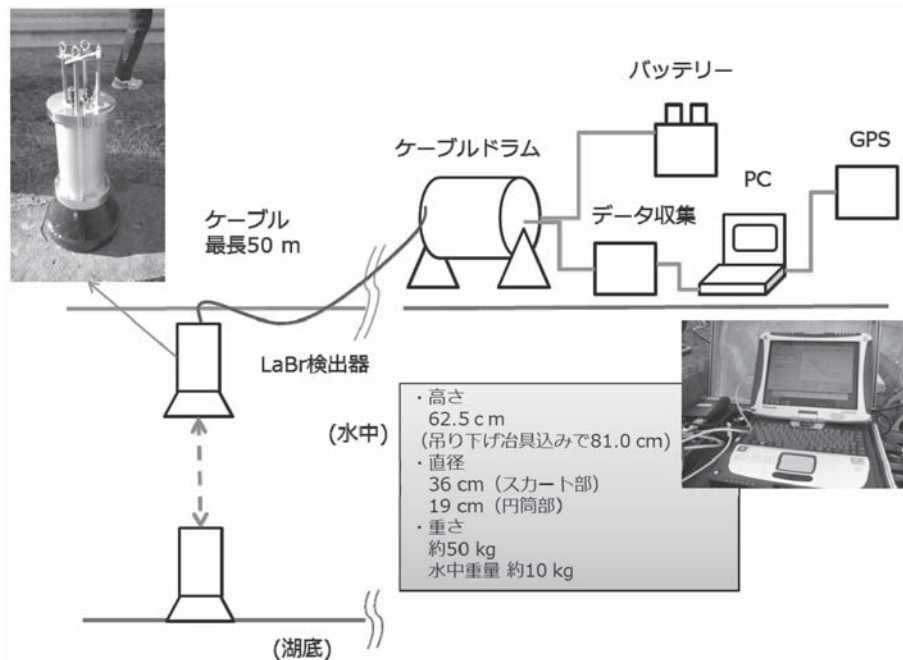
東京電力福島第一原発事故で、放射性セシウムは海や川、湖にも飛散し、山林に飛散した放射性セシウムの一部は、降雨により河川を通して湖等にも移流したと考えられる。水中に拡散された放射性セシウムの多くは、底部の泥や有機物などに吸着していると考えられているが、調査の結果、水底から30cmも離れると放射線の影響はほとんどがないことが分かった。

この調査は水底での分布状況を把握し、基礎となるデータを取得することが目的。調査では長さ84m、幅28mある福島大学のため池(調整池)にポートを浮かべ、原子力機構が新たに開発した測定器である J-SubD(水中用ガンマ線スペクトロメータ)を沈め、水底からの距離を変化させて66箇所を測定した。測定データは、水上まで伝送され、水上に設定された GPS による位置情報と

同期して、パソコンに保存される仕組み。なお、この検出器は高さ62.5cm、重さは約50kgあり、水深300mの水圧にも耐えられる。検出部にはランタンプロマイド(LaBr₃)シンチレーション検出器を採用しており、従来



池の中に測定器(写真は右下)を沈めているところ。測定結果はリアルタイムでパソコン画面に送られる。



の測定器よりも高分解能でエネルギースペクトルを測定できる。それによって放射性セシウムと他の天然の放射性物質とを区別することができる。

原子力機構は、これまでにPSF(プラスチックシンチレーションファイバ)を用いた水中での線量測定技術の開発を進めており、今回開発したJ-SubDと組み合わせることで、事故によって放出された放射性セシウムの精密な水底分布測定が期待できる。

今後は、湖底や海底でも測定試験を行う予定だ。

測定の仕組みを図式化したのが上の図である。右のパソコンに、測定結果が表示される。その結果を集約したものが、下の図のグラフだ。これを見ると、水底にある放射性セシウムは水で遮蔽されるため、水面近くになるほどセシウムからの放射線の計数が低下していることが分かる*。(※天然放射能のカリウム40(K-40)は、測定器内の部品に含まれるため変化しない。)

(資料提供：日本原子力研究開発機構)

原子力機構と国立科学博物館が地衣類の放射性セシウムを調査

原子力機構は国立科学博物館と共同で、東京電力福島第一原子力発電所事故で放出された放射性セシウムが、地衣類のどこに吸収され、どの程度蓄積されているかを調べる研究に着手した。2012年12月17日には、福島市内

の公園の樹木や置石の表面に生育する地衣類を研究用試料として採取し(=写真)、放射性セシウム濃度の測定などを始めた。

地衣類は菌類と藻類の共生生物。過去の核実験やチェ



ルノブイリ原発事故後では、地衣類中に放射性物質が蓄

積されていることが報告されている。原子力機構などはこのような地衣類の特徴に注目して調査を始めたもの。今後は福島県内を中心に調査地域を広げ、放射性セシウムが環境中で中長期的にどのように保持または移動しているのかを調べるのに適した地衣類種を選定していく。

地衣類における放射性セシウムの蓄積傾向が確認できれば、これを利用した事故当時の放射性セシウム降下量の推定に役立つと考えられる。また、地衣類と周辺の樹木や土壌等の放射性セシウム濃度を継続的に比較することにより、その場所における放射性セシウムの移動のしやすさを評価できることも期待できる。

(同)

海外情報

(情報提供：日本原子力産業協会)

[米国]

米規制委、洪水リスク再評価を助言

米原子力規制委員会(NRC)は原子力発電施設の建設や運転など各種の認可を受けた事業者や申請者に対し、洪水リスクを再評価するよう助言する「暫定スタッフ・ガイダンス(ISG)」の最終版を2012年12月7日付けの連邦官報に掲載した。福島事故を受けた対応の一つで、2012年3月に事業者宛ての「報告要求文書」に記した勧告に従い、サイトごとに外部からの洪水による包括的なリスク分析の更新を促す内容だが、その使用については事業者の自発的意志に委ねられている。

福島事故後、NRCの「短期タスクフォース(NTTF)」は現行の規制と手順の中で改善が必要と思われる部分を特定するため、系統的かつ組織的な審査を実施。2011年7月に包括的な勧告文書一式を取りまとめた。その後、NRCスタッフが同文書に改善を加え、それらの勧告項目を速やかに実行に移すための優先行動に関する報告書を同年9月と10月に策定。NRC委員および議会によるこれらの承認と指示を経て、NRCは勧告行動の一つとされていた事業者への報告要求文書を2012年3月12日付けで発行していた。

それによると、NRCは発電所サイトごとに最新の洪水リスク情報と規制上の方法論を用いて外部からの洪水の危険性を再評価するよう要求。これと同時に、サイトごとの潜在的な洪水メカニズムで再評価した設計ベースでの危険性を比較するよう事業者に求めている。

仮に、あるサイトで再評価した危険性が既存の設計ベースで抑制できない場合、事業者は包括的な評価の実施を要求される。ここでは、物理的バリアや暫定的な防護策および運転手順といった複数の多様な能力を考慮に

入れて、洪水の危険性に対する発電所全体の対応を評価。事業者によるこうした対応の審査を通じて、NRCでは洪水に対して追加の防護策を取る規制活動が必要か否かを判断することになる。

こうした内容のISG案文は2012年9月から11月にかけて複数の公聴会にかけられており、NRCは7分野では得られたコメント約60件について議論。今回の最終版を公表したとしている。

[英国]

2サイトのガス冷却原発の運転期間を7年延長へ

英国の稼働中原発16基のうち、15基までを所有するEDF エナジー社は2012年12月4日、古いガス炉であるヒンクリーポイントB(AGR 2基、各65.5万kW)およびハンターストンB(AGR 2基、各64.4万kW)両原発の合計4基について運転期間を7年延長し、少なくとも2023年まで運転すると発表した。国内で多くの原子炉が高経年化するなか、原子力産業界における専門的スキルや雇用の保持が目的。同社がヒンクリーポイントC発電所として進めている第3世代プラスの欧州加圧水型炉(EPR) 2基の新設計画に何ら変更がない点を強調している。

この判断は、2010年にハイシャム1号機およびハートルプール原子力発電所の運転寿命を5年延長したのに続くもの。英国では運転期間に法的規定がなく、10年ごとに英国原子力規制庁(ONR)が実施する大がかりな定期安全審査(PSR)で経年劣化の評価を行う。両発電所では次回のPSRは2015年に予定されており、通常の定検結果と合わせて安全上満足な結果が得られれば延長が認められる。

EDF 社では今回の2原発を含め、すべてのガス炉で平均7年間の運転期間延長を検討しており、国内で唯一稼働するPWRのサイズウェルB原発についても20年、延長する方針を表明している。

なお、EDF 社は同日、ヒンクリーポイントBサイトのビジター・センターを再開した。原子力発電所に関する理解促進のための施設で、同社のV・デリバス CEO は、福島事故後に英国の首席検査官が「一般大衆その他の関係者と一層オープンで信頼性と透明性の高い関係を築く方策を模索するよう」原子力産業界に勧告した点に言及。これを最大限に実行する誓いの証しとして同センターを再開したとしている。

政府と産業界が供給チェーン整備で行動計画

英国政府は2012年12月6日、原子力発電が今後、同国のエネルギー供給保証および経済成長の牽引に一層大きな役割を担うとの認識から、国内の原子力供給チェーンの国際的な競争力を高めると共に供給準備を整えるための30項目とその実施主体、および実施時期を記した「行動計画」を発表した。英国原子力産業協会(NIA)との連携により10月末に創設した「原子力産業協議会(NIC)」を中心に同行動計画を実行に移し、国内の原子炉新設計画の準備体制を改善するだけでなく、原子力輸出を見据えた戦略の構築を目指すなど、同国の原子力産業は本格的な再生に向けて動き出す。

「原子力供給チェーン行動計画」は政府が原子力産業界と協力して策定。その発表は担当省であるエネルギー気候変動省(DECC)とビジネス・イノベーション技能省(BIS)の大臣が行った。政府としては、国内原子力産業界の主要企業が機器製造から建設、サービス、技術、人材育成に至るまで、大規模かつ多様な供給チェーンで民生用原子力市場の中核を形成し、世界レベルのリーダーとなることを構想。これが実現すれば、英国の原子力供給チェーンは国内外の原子力市場を問わず、主要な原子力開発企業やメーカーおよび事業者にこれらを供給する最も重要な立場を得ることになる。このため、行動計画における主な項目としては次のものを挙げている。

(1)NICの第1回会合を2013年第一4半期にも開催、(2)原子炉の新設準備を改善するための共同行動や課題を特定するため、主要企業の補助部門で作業部会を設置する、(3)中小企業が原子力供給チェーンの大型入札に参加可能となるよう、「先進原子力機器製造研究センター(N-AMRC)」の助言を採り入れる、(4)関連技術産業界から技術者を引き込んだり、既存の技術者を配置転換したりするなど、新たな人材を呼び込んで重要技術者の不足問題に取り組む、(5)市場の優先事項と調整した原子力輸出

戦略を策定し、英国の原子力産業界が輸出の機会や知識を得られるようキャンペーンを実施する。

なお同日、政府は原子力デコミッション機構(NDA)が管理するセラフィールド原子力サイトで新たに500名の技術者を募集するキャンペーンを開始した。供給チェーンの再構築を図ると同時に、原子炉の運転・保守スタッフやエンジニア、プロジェクト管理者、および事務管理業務を担う人材を育成するのが目的で、実習生や学部卒業生、訓練生のみならず、元軍人なども対象にする方針だ。

規制庁が型式認証で EPR 設計を承認、新設計画では初

英国原子力規制庁(ONR)は2012年12月13日、仏アレバ社製の英国版・欧州加圧水型炉(UK-EPR)設計で約5年にわたった包括的な設計審査(GDA)が終了したと発表した。2007年に始まった同国の原子炉新設計画において初めて設計容認確認書(DAC)の発給に同意したもので、同日、環境庁(EA)も同設計が国内の建設に適すると裁定。同設計は英国の安全・セキュリティ上、および環境影響上の規制要件をすべて満たしていると認められたことになる。また、福島事故を受けた追加の審査をパスしたことから、福島事故の引き金となった極端な自然災害にも十分耐えうることが実証された。安全系関連の建設が許されるまでにはサイトに特化した追加の同意と承認、および担当大臣の許可が必要だが、EPR 建設を想定した EDF エナジー社のヒンクリーポイントC計画も、いよいよ実現に向けた最終局面を迎えている。

EDF 社は既存のヒンクリーポイントB原子力発電所の隣接区域で160万kW級EPR2基の建設を計画。同社の親会社であるフランス電力(EDF)とアレバ社が申請した同設計のGDA審査は2007年7月に開始された。審査範囲は土木建築から原子炉化学まで17の技術分野にわたり、期間は約5年間、経費も一設計につき3,500万ポンドが必要だが、発給日以降、10年間有効だ。

同じ時期にGDA審査が開始された4設計のうち、カナダ原子力公社製ACR1000とGE日立社製ESBWR(高経済性・単純化BWR)は08年に離脱が表明される一方、ONRは2011年12月にUK-EPRとウェスチングハウス(WH)社製AP1000に対して暫定的な設計容認確認書(iDAC)を発給。EAも両設計に環境面での影響に関する暫定設計容認声明書を発給していた。

その後のEDFらの取組みにより、ONRは残されていた31のGDA課題すべてが解決されたとしてDACの発給を決定。また、ONRは2012年11月に同計画に対し、原子炉建設サイトへの許可としては25年ぶりとなるサイト許可(NSL)を与えている。

後はEDF エナジー社による最終的な投資決定が待たれるが、EDFは12月3日、フランス初のEPRとなるフラマンビル3号機の総工費が当初予定より20億ユーロ増えて80億ユーロになったと発表。現在、英国国会で審議中の電力市場改革法案では、原子力など低炭素電源からの電力は卸売価格が政府の下限価格を下回った場合に差額が補填されることになるため、ヒンクリー・プロジェクトで政府が設定する固定価格いかににより、同社の最終判断が左右されるとの見方がある。同社もまた、年内までとしていた最終投資決定の発表を2013年4月以降に延期したとも伝えられている。

なお、WH社はiDAC取得後、「新設計画でAP1000を採用する顧客が確実に確保できるまで未解決課題に取り組まない」方針を表明。ONRは、2012年中は審査活動を行っていない。

[スペイン]

ガローニャ原発を永久閉鎖

スペインのニュークレノール社は2012年12月16日、同国北部で操業していたサンタマリア・デ・ガローニャ原子力発電所(BWR, 46.6万kW)を送電網から解列した。これにより、同発電所は41年にわたった営業運転を終了。炉心から核燃料を取り外し、使用済み燃料貯蔵プールに移送する作業が開始された。

1971年に運開した同発電所では2009年7月に前回の運転認可更新時期を迎えた際、スペインの原子力安全委員会(CSN)が「いくつかの安全上、放射線防護上の条件をクリアすれば2019年まで10年間延長が可能」との判断を下していた。しかし政府はこの時、13年7月まで4年間の運転期間延長を承認。ニュークレノール社も2012年9月、「政府のエネルギー改革計画が棚上げ状態にあるため、今後、同原発に課される税金その他が将来の稼働に及ぼす影響は不透明だ」として、13年以降の運転認可を申請しない方針を表明していた。

同社が今回、年末を待たずにガローニャ原発を永久閉鎖した理由について、スペイン原子力産業会議は、2013年から同原発に新たな使用済み燃料税と電力税を課す内容のエネルギー法案が議会上院で承認されたことを挙げた。ニュークレノール社の取締役会はすでに、同法案が発効した場合の影響分析や経済性報告を社内の会計監査役や独立の専門家に依頼。2013年に同原発を操業すれば、新たに課される1億5,300万ユーロの税金によって同社の経営状態が著しく損なわれるとの判断に達したためと説明している。

[フランス]

2012年決算で業績が回復傾向 仏アレバ社

仏アレバ社の監査役会は2012年12月19日、同グループの2012年と13年の業績見通しについて審議し、2011年末に公表した財務健全性回復のための戦略である「アクション2016」に沿って、主要5部門の業績が順調に回復しつつあることを確認した。

それによると、2012年の業績は7月に公表した半期決算時の見通しを維持している。再生可能エネルギー部門では一部の顧客用資金調達の時間が不足したことから、関係プロジェクトの実施が遅延。2012年は歳入が目標値の7億5,000万ユーロを下回る6億ユーロとなったが、13年は安定的な売上げ収益が見込まれると明言した。

また、日本の原子炉の再稼働スケジュール遅延といった影響はあっても、戦略計画における13年目標の「原子力部門で売上伸び率が3~6%増、税引き前の営業キャッシュフローを損失ゼロに改善」は改めて堅持する方針を提示。同グループとしては、商業実績が回復傾向にあり、キャッシュ生成に優先順位が置かれていることは、戦略計画の実行が順調に進行している証拠との認識だ。

目標追認の根拠としては、(1)営業努力を通じて追加取引が得られる見通しとなった、(2)営業支出の削減と必要資本の合理化計画で一層の進展が見込まれる、(3)2013年の営業投資で削減が期待できる——などを列挙。これらを総合すると、13年の金利・税金・償却前利益(EBITDA)は、目標値の12億5,000万ユーロには届かないものの、11億ユーロ以上は確保できるとの見通しを強調している。

アレバ社では11年決算で受注残高は440億ユーロと好調だった一方、グループの連結収益は前年実績を2.6%下回る89億ユーロに留まった。EBITDAは2億4,000万ユーロ、税引き前の営業キャッシュフローも18億ユーロの営業損失を出していた。

安全当局、フェッセンハイムの運転継続に肯定的見解

フランス原子力安全規制当局(ASN)は2012年12月20日、閉鎖問題で揺れるフェッセンハイム原子力発電所について、「事業者のフランス電力(EDF)が規制要件遵守のために1号機で進めている対策には満足している」との見解を示した。同日現在で、2012年末が期限となっている残留熱除去系の改良など、運転継続のための要件が満たされる見通しだとして、その安全性にお墨付きを与

えた形だが、同国では2011年5月に大統領に就任したF・オランド氏が、フランス最古の同発電所を選挙公約どおり2016年末に閉鎖する方針を2011年9月に改めて表明。閉鎖に伴う電力供給保証や雇用の維持などの問題を含めて、どこまで規制当局の判断を考慮するが注目されている。

ASNの声明は、2011年7月と12月に同発電所で行った点検結果を踏まえて発表されたもの。1977年に運開した1号機でASNは、09年10月から10年3月にかけて3度目の「10年に1度の大規模な審査」を実施。11年7月には条件付きで10年間の運転期間延長を許可していた。

これらの条件のうち最初の重要要件は、緊急時用残留熱除去設備の追加設置で、ASNは12年内という期限に向けた進行状況に満足する一方、ハードウェアに加えて、システムの使用説明書すべてを揃える努力が必要だと指摘した。

2点目は炉心溶融物に対するコンクリート製ベースマットの耐久性強化で、ASNは13年6月末までに実施するよう指示。EDFの提出文書を審査した限りでは、作業スタッフの放射線防護と特定の安全目標達成の双方を保証するという追加条件を満たすための改造が提案されているとして、ASNは12月18日に承認を与えている。この改造の目的は過酷事故時に利用される炉心溶融物拡散ゾーンの厚み増強と表面強化で、ASNでは審査に際しフランス放射線防護原子力安全研究所(IRSN)の分析結果も参考にしたとしている。

[中国]

ロシア製の田湾3が着工

ロシアの原子力総合企業であるロスアトム社は2012年12月27日、中国江蘇省の田湾原発サイトで3号機のコンクリート打設を実施したと発表した。同社は同じサイトで3、4号機と同型の1、2号機を供給した実績があり、これらは2007年に運開。同月19日付けで中国国務院が3、4号機(各100万kW級ロシア型PWR)の着工を許可

したことによるもので、福島事故を経て、同国の原子力拡大計画が通常モードに戻りつつあることを印象付けた。

中国では福島事故直後から暫定的に原子力発電所の新規計画および建設前準備工事の審査・承認を停止していたが、2011年10月に国務院が2020年までの「原子力発電安全計画」やエネルギー政策白書を承認。内陸部への新規立地は行わないなど、安全性確保に最大限留意しつつ秩序だったペースで、15年までに原子力設備容量を4,000万kWまで拡大する方針を打ち出した。

これに伴い、中国の国家核安全局は12月4日、華能山東石島湾核電有限公司(SHSNPC)が山東省石島湾で計画していた20万kWeの高温ガス炉(HTR)実証プロジェクトへの建設許可を承認している。

また、現地報道によると、福建省の福清4号機(PWR, 108万kWのCP1000)と広東省の陽江4号機(PWR, 108万kWのCPR1000)が同月6日までに着工。最初のコンクリート打設が行われたと伝えられている。

建設中の案件については、中国広東核電集団有限公司(CGNPC)が12月26日、広西省の防城港原発サイトで2号機の原子炉建屋に丸天井を設置した。これにより、2012年中に1、2号機両炉で丸天井の設置が完了したことになる。

防城港原発サイトはベトナムとの国境まで45kmという距離。同地に出力108万kWのPWR(CPR1000)を2基建設することは中国西部開発計画における重要案件の一つで、最終的には6基の建設が計画されている。1、2号機はそれぞれ、2010年7月と12月に着工。営業運転の開始は1、2号機ともに、15年の予定だ。

このほか、国家国防科技工業局は12月12日、世界初のウェスチングハウス社製AP1000となる三門1、2号機を浙江省で建設中の三門原子力発電有限公司に対し、核燃料許可証を発給した。これにより、今年の夏完成予定の1号機に燃料集合体の装荷が可能になったとしている。



国会「東京電力福島原子力発電所事故調査委員会」とその意義

元 国会による東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 委員長 黒川 清
政策研究大学院大学

福島原発事故を受けて憲政史上初といわれる「国会事故調」が成立した。その必要性の認識、成立の経過、ほぼゼロからの出発とおおむね6か月の期限と時間の枠組みの委員会とその調査を進めるにあつての基本的考え方と多くの障害と苦勞、委員会の公開とウェブ上で発信と同時通訳の意味、報告書に対する基本的な考え方について記述した。さらにこの国会事故調の民主制度での意義と報告書の評価等について記述した。さらに日本の三権分立の課題として、この国会事故調の投げかける課題、そしてこれからの事故調の評価と、国家統治機構の課題、さらに科学者の社会的責任についても少々の考察を加えた。この大事故を契機に変わらなければ日本の将来は危うい。

1. はじめに

2011年3月11日午後、東日本地震・津波によって引き起こされた東京電力福島原子力発電所事故は、世界の原子力発電史上に残る大事故である。極めて大きな地震とそれに伴う巨大津波に引き起こされた事故とはいえ、世界第3の経済大国であり、しかも科学技術工学では誇るべき伝統と自信をもっていた日本で起こったことに世界は驚愕したのである。それ故にこの事故が世界に与えた衝撃はきわめて大きなものであり、ドイツ、イタリア、スイスなどは早々にエネルギー源としての原子力発電を廃止の方向へと決めることになった。

今回の福島原子力発電所の事故(福島原発事故)は、情報手段が国境を超えて世界に広がる、誰でも、どこからでも発信できるウェブ時代におこった。世界同時に情報が共有できる時代であればこそ、そのインパクトは大きかった。世界各国は、東日本大震災、特に津波のすさまじさをテレビで、ネットで繰り返し見た。津波は広い世界から見れば局地的な巨大な自然災害の一つであり、基本的には「国内問題」であり、多くの支援が寄せられている。

一方、原発事故は世界の多くの国が、自分たち自身の政治的課題として注目した。一国の「国内問題」ではなく、諸国のエネルギー政策に大きなインパクトを与える「世界の問題」として捉えられたのである。加えて原発事故によって放出される放射能は国境を問わず空へ、海へ、また人、飛行機、船、動植物などを通じて世界へ広がる。しかも、放射能は人間の五感で感じることができず、その影響は極めて長期である。世界が大きな恐怖を感じたに違いない。その結果、多くの国、国際機関、専門家、そしてメディアが、速やかに福島原発事故の状況

を探り、分析・検討に取り掛かり、それぞれが情報発信した。

刻一刻と世界が注目する中、事故後の1～2週間で、日本政府、東京電力、日本のメディア、日本の専門家たちの記者会見、報道等々から、日本の国家を形成する政府及び主要な権威に対する世界からの信頼が急速に失われていった。「なにか隠しているのではないか、真実を伝えていない、と、」。

ウェブでつながるグローバル世界ではすべてのプロセスで、「透明性」は避けて通れない。透明性は政府でも、企業でも、大学でも、どの職業人でも、信頼の根底である。これが「グローバル世界」の動きである。

ここでは、国会に憲政史上初めて設置された、いわゆる「国会事故調」について、いくつかの要点を述べる。「国会事故調」報告はウェブにも掲載¹⁾されている、また徳間書店からも出版されている。英語版も「Executive Summary (ES)」と本文は英語²⁾でウェブに掲載してある。

英語「ES」は日本版「要約」と内容も構成も違うものである。「国会事故調」がその公開性からも法的根拠からも世界の注目度が高いことから、グローバル世界の動きに沿うために、世界に対する「透明性」を意識し、報告書を国会衆参両院議長に提出した2012年7月5日の直後に、日本語版と同時にウェブに掲載した。日本語版と違って当時はまだ本文の英語版がなかった(10月中旬にウェブに掲載、この英訳版作成はとても時間のかかる作業だった)。英語「ES」は全体の重要な主要なメッセージを英語で読む人に伝えることを主目的として作成した。

2. 各種の調査委員会と報告書の意義

福島原発事故のような世界に大きな影響を与える「事故・事件」がおこった時に、国を代表する政府は何をすべきなのだろうか? 「事故・事件」に関与する政府機関、

Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission by the National Diet of Japan ; Its Significance : Kiyoshi KUROKAWA.

(2012年 1月6日 受理)

企業、科学者、専門家などは、何をすべきなのだろうか？

具体的な事例で考えればそのプロセスの第一歩はそれほど難しいことではないと思う。本誌の読者は科学者や、企業関係者が多いと思うので、まず、それらの事例で考えてみよう。

この10年ほどだろうか、科学者の論文に関する問題が取り上げられるようになった。ねつ造、盗用、多重投稿などである。これらは最近になっておこったことではない。ウェブ時代になったから隠しにくくなったからだ。「ピアレビュー」などがうるさくなったのもグローバル世界になったことが大きく影響している。間違い、事故がおこるとどうするか。企業はどうか。内部点検・調査、更に外部調査、場合によってはいろいろな公的機関、行政・司法が介入する。それなりの処分、対価、破産などが生ずる。それぞれに責任ある人たちが、それなりの責任を取る、取らされる。だから社会の規律が保たれ、社会が適応していく。「世間の評判」も大事な要素だ。

今回のような事故の場合はどうか？国内だけで済むような問題ではない。国家の信用問題なのだ。「世間の評判」もあるが、「世界の評判」なのである。今回のように「国家の信頼」が大きく損なわれた時にはどうするか。世界の事例から学ぶことである。

考えられる事例として、米国では Three Mile Island の原発事故^{3,4)}、Space Shuttle Challenger 号事故^{5,6)}、9.11 テロ事件の The 9.11 commission⁷⁾ などがある。英国では狂牛病 BSE 事件^{8,9)}、最近ではノルウェーでの2011年7月の大量射殺事件の調査報告^{10,11)} などが典型例であろう。政府が、議会が、あるいは両者が、独立した調査委員会を立ち上げている。国家機密に触れる(9.11テロ事件など)部分以外は公開しているのが三権分立の民主的政府の信頼の根幹にある。行政府に関する案件の多くは立法府である議会が独立委員会を委託し、行政府のチェックとして機能させている。民主制度での三権分立の原理を体現している手法といえる。

英国の狂牛病事件 BSE では、本来は羊の病気が牛に発生した(1986年)時に、ヒトに感染するのではないかが大問題になった。当然のことである。「心配ない」という政府の判断は専門家の意見も入れながらのものであったが、1996年に人間に狂牛病が発生し、政府の信頼は失墜した。EUは独立した委員会を発足(1997年)させ、世界の多くの専門家を招聘、調査とヒアリングを行い、少数意見を含め公開、極めて透明性の高いプロセスで報告書を提出した。英国政府はそれに沿って対策を講じ、結局、ヒトに発症してから10数年をへて英国の牛肉が市場に生まれ、輸出(2006年)が可能になった。初動の重要性が認識できる。

いったん失墜した政府の信頼回復には、利害関係を排除した独立した調査のプロセスと、このプロセスを使う政府(民主制度では「三権分立」であり、国会が「国権の最

高機関」といわれているのはなぜか？これが日本でどのように機能していると認識されてきたのか？ここに日本の統治機構に内在する課題がある)の対応があつて初めて信頼回復が可能となるのである。これが福島原発事故のような世界的影響のある事故の場合、この情報の広がるグローバル時代に、信頼の回復へは、何が必要で、どの程度の時間がかかるのか、考える必要がある。日本語だけで記者会見をして報告書を出していても、世界は見ている、知っているのである。世界に対する透明性、ここにも国会事故調の意義があつたのである。

福島原発事故のような世界に影響の大きな「事故・事件」の場合は、以上の例にあるようなプロセスの重要性は、ちょっと考えてみれば容易に想像できる。まずは当事者による「自己点検」である。福島原発事故では、これが政府当事者である内閣の「畑村委員会」に相当する。東京電力も同じく事故調査を行い、報告している。文部科学省などの関係省庁などでも事故調査をしている。経済産業省、原子力規制委員会はこのような調査をしたとは知らない。これらは当事者として当然の自己点検、事故調査なのである。外部の専門家などを委員会に入れたとしても事務局は基本的に当事者たちである。その調査・報告の信頼度にはおのずと限界がある。

これだけの大事故だったから、専門家、科学者、学界、報道各社、ジャーナリストなど、公的・民間を問わず、いくつもの調査が、いろいろな形で独自に行われ、多くの著書、新聞などで読むことができる。北沢宏一氏が委員長を務めた報告書、いわゆる「民間事故調」もそれらの一つである(私も国会事故調の委員長を任命される直前までこの委員会の一員だった)。多くの優れた分析、報告、解説等がなされている。国の政策と歴史、電力会社、電事連、経済産業省、エネ庁、規制庁、電気料金等々に関する多くの書物・資料であり、「原子力ムラ」、「安全神話」などの言葉の分析である。優れた著書、報告書も数多くある。

これだけの大事件であるから海外からの調査報告書も多い。国際関係機関の IAEA の調査報告書は当然であるが、多くの海外の公的・私的機関の調査報告書も発表された。多くの優れた著書、報告書が数多くある。

3. 国会による事故調査委員会

国会による東京電力原子力発電所事故調査委員会(以下、「国会事故調」とする)はわが国「憲政史上初」の試みであった。それゆえに法案の提出、両院での法律の成立にはいろいろ難しい経過があつたものの法案が成立し、10人の委員も超党派で衆参両院を通過した。この経過等については、国会事故調の成立を主導した国会議員のひとりである塩崎恭久議員による「『国会原発事故調査委員会』立法府からの挑戦状」¹²⁾に詳しい。2011年12月8日に国会で委員への辞令手交があり、国会事故調が発足し

た。はじめは国会の事務職員7名、国会図書館職員3名での出発であった。各委員の考えも何をどうして、何をを目指すのか、おそらくそれぞれであり、不確かであったと思う。

しかし、上に述べたような背景で、3.11の初期から私は国会事故調の意義と世界での責任を強く意識していた。だからこそ、記者会見で何度も「憲政史上初」と発言し、委員会に英語の同時通訳も入れたのである。しかし、成果物への自信については当然のことだが不安だった。ほかの報告書等と何が違うのか、何が出せるのか、不安と悩みは尽きなかった。最後はどんな報告書を出せるかである、腹をくくるしかないと感じた。

国会事故調の報告書はウェブに日英語で公表^{13,14)}されているし、書店から¹⁵⁾も販売されている。委員会の様子は記者会見とともにウェブ上に公開されている。さらに委員会の形成から、その進め方などについてのあたりの経過は別に図書として発表していく予定であるので、ここでは簡単にいくつかの要点に絞って記述する。

国会事故調の発足、つまり辞令拜命は2011年12月8日。この時の国会での様子、8つの各政党会派代表の国会事故調への期待、各委員の抱負等をビデオ¹⁶⁾で見ることができる。私は委員長として最初のあいさつでキーワードを「国民、未来、世界」とし、最後のあいさつで辞令交付の日が「真珠湾攻撃70年目の日」であること、「太平洋戦争生き残りの証言」と「福島原発事故の関係者証言」にある相似性と、背景にある日本人の特性は何か、について触れた。

3.1. 国会事故調の立ち上げ期の課題

●国会と国会図書館職員以外の事務局のスタッフを確保していくことと委員会の運営を構築していくのは本当の多難ともいえるべきことが多かった。ゼロからの出発で、報告書の提出は「ほぼ6か月」という超難題。私が最初の記者会見で「Mission Impossible だ」と言ったのは本当の気持ちだ。

●国会図書館内の部屋から始まり、2011年末に国会議事堂の中、首相官邸の筋向いの4、5階にチームが引っ越す。私の部屋はまさに首相官邸の筋向いの4階の角の部屋。

●私は委員長として辞令拜命以前にすべての委員と個別に面会し、各30分ほどの時間を使い、Three Mile Island 原発事故のKemeny 報告書を示して「私たち10人は、世界からはこの委員会の12人と同じような立場と認識されている」ことを伝えた。委員の皆さんは急なことであったので、私の言う意味をその場では理解されなくても、委員会が進むにつれて理解してくれることが肝心と考えたからである。

●福島第一原発の現場視察が委員会の出発点と考え、事務的にできるだけ早急に1泊2日の予定を確保しても

らい、12月18、19日にそれが実現した。視察第1日の福島第一原発の現場へ、除染現場、仮設住宅等を視察、福島市で第1回委員会と記者会見を公開で開催、ウェブ上でも公開した。

●各委員は常勤ではない。事務局についてもフルタイムで仕事を依頼できる人は限られている。霞が関の行政の人たちは明らかな利益相反であり、参加できないのは自明であるし、退官して2、3年の人でも独立法人等に勤務している人では利益相反のある可能性が極めて高いので避けるのは当然である。

●事務局といっても、責任あるポストは国会事故調の意味を直感的に認識し、実行力と能力のある人、といえれば極めて限られてくる。特に調査統轄は委員会の「かなめ」であり、できればフルタイムでお願いしたいところだ。2.3人の顔が浮かんだが、宇田左近さんを口説き落とせた¹⁷⁾のは国会事故調に決定的な一歩だった。そこから国会事務職を含めた事務統括チーム、調査統括チーム、また各委員の調査を支援する協力調査員、と手続きが動き始め、年を超えた1月半ばあたりから調査の全体像が見え始めた。

●参与の3人は国会で決まっている人事で、そのほかにもいろいろな方に個別に、そして特に全体的な調査の視点からの協力をお願いした。全体をまとめる宇田調査統括チームと原子力発電所の構造と機能、歴史と法制度等々について、特に全体像を調査班全般にわたって理解を進めなくてはならないのだ。

●原子力発電(田中三彦)、地震(石橋克彦)、放射能の影響(崎山比早子)が専門である各委員はそれぞれの明確な目標を持っており、数人の協力調査員を指名する。しかし、それだけでは調査報告書は書けない。いろいろな専門家の協力を試し、チーム枠組みを考え、調査を進めることにする¹⁷⁾。多くの推薦も寄せられたが選ぶのはこちらの責任である。

●この間にも多くの優れた著書、報告書がほぼ毎週のように出版され、それらにも目を通し、理解を進め、各委員の進捗状況を把握し、調査統轄を中心に東電、各省庁、当時の閣僚、国会議員、電事連、関係諸機関との交渉、資料の読み込み、多くの前例のない難題をこなし、各委員の調査を支援・統括し、委員会を設定、交渉、シナリオを描いていき、多くの関係図書を読み込んでいく等々、特に調査統括班の仕事はまさに「かなめ」であった。

●この間にも多くの難題が次から次へと出現する。何しろ「憲政史上初」なのだから国会の事務方も運営、人事、雇用、予算執行等々の手続きで事務統括と衝突することが多くあった。民間人には理解できないことも多いがそれが国会職員の仕事なのだ。国会図書館チームも調査が専門だけあってその役割も貴重であった。ここあたりの事務統括とチームづくりは、国会との連絡も含めて

調査統轄に対応する大事な事務局機能の要となっていく。

●委員を含めチームに参加する民間人はほとんどがフルタイムで参加できるわけではない。パソコン、携帯電話などのセキュリティ確保にも苦慮した。国会事務初と思えるがパソコンと携帯電話を一括リリース、国会事故調関係は全てこれだけを使うようにチーム全員に指示した。

●パソコンの記録を含めてすべての記録は国会図書館に収納してある。処理については国会の決定を待つことになっている。

●このような前例のないことであるだけに、一つ一つのことが国会の事務手続きなどもあり、動くのに1,2か月はかかることも多くあった。これをまとめるのも委員長の仕事なのだろうと多くの協力を得ながら国会事故調は進んでいった。

●行政府、国会議員等と独立性については、メール・電話等の接触は基本的にすべて記録し、法律で決められた範囲の事項は毎月国会に報告する。

3.2. 委員会と記者会見、調査の進捗

●基本として委員会はすべての国民とメディアに公開、ウェブ上でも公開、記者会見も公開。第2回からは委員会、記者会見とも英語の同時通訳を入れた。こちらの参考人への質問も、参考人の対応も、記者会見での私の対応も記者の質問も、英語の同時通訳付きで、委員会に関しては世界に公開した。

●全部で20回の委員会を開催。38人の参考人を招いた。木村参与は複数回の委員会に出席、他の参与2人は各1回出席されたと思う。

●各委員もそれぞれが課題にむかって活動を始めたがそのペース、調査の進捗状態には違いが大きいのは致し方ない。結果として20回の委員会、1,000人以上の関係者の聞き取り調査、2,000点以上の資料調査、3回のタウンミーティング、1万人以上の被災者たちのアンケート調査、2,400人余の福島第一の現場作業員からのアンケート調査をした。

●被災市町村と被災者の調査視察、福島第一、第二、女川、東海原発の調査視察。

●海外への視察は3チームを派遣。訪問相手方のアポ入れは外務省、相手方の在日大使館等を通して行すが、現地では日本の大使館員との接触は原則禁止。立法府と行政府の利益相反である。

3.3. 報告書提出までの最後の2.5か月

●報告書の作成と調査継続は困難をきわめた。委員会では東電トップ、海江田大臣、枝野官房長官、菅総理などへのヒアリングが続く中、これらの作業、原稿の修正と委員と調査統轄のせめぎ合い、資料調査の確認、繰り返

し全員の意見のまとめの作業が続く。

●調査の後半に入って編集チーム、グローバル編集チームを編成する。調査統轄班と各委員との戦いは続く。印刷所の選定、印刷の日程、国会との打ち合わせなど最後の山場の6月に入る。

●報告書はできるだけ事実のみを記載し、委員各自の見解、意見などを排除するよう努めた。これは多くの科学原著論文でも同じことであろう。これをめぐるせめぎ合いもある。

●委員会発足の時期から報告書を独立してレビューをお願いする方たちを招聘していた。レビューは参与とレビュー委員の方たちから、極めて限られた時間の中で多くの貴重な指摘を頂いた。

●この間、何回も委員との説明、議論を繰り返した。何回もの読み合わせ、修正ののち最後は委員全員のサインをもらう。印刷所への最終稿手渡しは時間ぎりぎりの夜中の12時となる。一方で英文 Executive Summary 作成作業、国会提出日、報告書の取扱い等々、国会との打ち合わせも続く。

●2012年7月5日に両院議長へ報告書の提出が決まり、当日の午前に第20回、最後の委員会を開催し衆参両院議長への報告書提出を承認する。午後の提出とその後のメディア対策、メディアへの説明、記者会見等々、インタビューなどが続く。

4. 報告書の評価と民主制度を機能させること；

これからのチャレンジ

報告書についてはウェブ、本などで、この読者なら一部には目を通されていると思う。一言で言えばできるだけ事実に基づいた記述が、「6部に分けて」記載されている。そこから立法府に対して、皆で合意した「7つの提言」¹³⁻¹⁵⁾をまとめている。

これらの内容と「7つの提言」の実現は、関係者、国民がどう判断するかにかかっている。委員会も報告書もウェブで公開、英訳も出ているということは、世界の専門家を越えた広い社会に評価してもらう必要があるからだ。

私たちはこのようなプロセスを取りながら、国会事故調は日本国家の三権分立の民主制度に基本をおいた統治機構について、立法府の機能強化の一つの例と考えている。国会議員には全員とは言わないが、その意識はある¹⁶⁾。その実効性は国会議員ばかりでなく、議員を選挙という手段で選ぶ国民にかかっている。学者はどうか、官僚はどうか、ジャーナリストはどうか、この辺を理解していないようでは、極めて困るのである。

「7つの提言」の第1は2013年の国会で実現されることになるようだが、その運用等、更に他の提言についても、これからも国民一人一人の皆さんで監視していく必要がある。

この報告書の評価はメディアほかの媒体を通じた広がり方にもよる。原子力関係各分野の専門家の評価はどうだろうか。

いくつかの関係したエピソードを例示したい。私のウェブサイト¹⁹⁾にも書いてあることも多い。

- (1) ある国際会議で国会事故調は「憲政史上初」といったことに対して、英国の財務省に勤務していた方から、「憲政史上初」とは信じられない、英国では年に2、3のこのような独立調査委員会が進行している」といわれた。
- (2) 2012年3月のソウルで開催された「核サミット」²⁰⁾に米国からObama大統領とSteven Chu エネルギー長官(大臣に相当する)²¹⁾が出席した。Chu 長官がソウルから日本に寄ると聞き、Chu 長官とは10年来の知己であるので、米国大使館に面会できないか事務的に問い合わせた。時間がかかったが、結局、私と彼、後は2人のスタッフだけということで1時間、個人的な会話の会談をした。退出するときに部屋の外で各委員に握手をして帰られた。私は立法府の公的な立場、Chu 長官は米国政府を代表する「大臣」ということで、この会見に米国法務省などから懸念が出されたと聞いた。
- (3) 海外へ委員会の調査派遣の時も、私の訪米の時も、アポは外務省—日本大使館、あるいは訪問国の在日大使館経由でセットしてもらおうのだが、現地では日本の大使館員とは接触できない。個人的な関係としても、なのである。これも立法府と行政府の明確な線引きができているのである。

一言でいえば、民主制度では「立法府と行政府」の間には常にある緊張感があり、今回は日本の立法府と行政府の関係を注目している、ということなのだ。

5. 科学者、学界、大学等の役割

今回の事故を契機として、多くの原子力関係の学者たちのコメント、著書などが出るようになった。特に原子力発電所にかかわる問題点を指摘していた学者、エンジニアたちの著書から「国策としての原子力」の歴史の背景をうかがわせるものが多く出てきた。「原子力ムラ」といわれる科学者の独立性を疑われるような事例も多く明らかになった。

電力会社、役所の間「規制の虜(とりこ)」の関係も明らかになった。さらに、このような「規制の虜」が起りやすい日本社会の独特の制度と、それを支える日本社会の特異な「思い込み」、例えば「単線路線で昇進するエリート」を指摘した。単線路線であれば、問題を先送りしがちであることは容易に想像できる。特に「エリート」と呼ばれる責任ある立場の責任回避の姿勢と不作為は目に余るものも多い。この様子が手にとって見えるような資料がいくつもあったし、委員会の「やりとり」から垣間見え

るときもあった。

科学者の独立性に疑念を抱かせるいくつかの事例も多く示された。大学は細分化を限りなくすすめて、大学院部局化もその顕著な例である。ヨコの広がり、国内外の交流は一時的なものであり、学者も基本的には多くは単線路線で昇進する。知識はあっても実務、実績はどうなのか。危機管理ではどうなのか。世界の中の原子力の「ピア(同僚)」の評価はどうなのか。このような課題も明らかになったと思う。

原子力の専門家とはなんなのか、日本の原子力安全・保安院のトップの専門性、資格に疑念のあることは、後で知ったことだが、世界中の関係者が知っていたことなのだ。では、科学者の社会での役割はなんなのか。その点については日本学術会議による「日本の計画 Japan Perspective」²²⁾(平成14年、2002年)の「学術に駆動される情報循環モデル」(p.48)にあるような、政府とはできるだけ独立した、科学者コミュニティを構築していくことであろう。そこでは、科学者の役割はこのモデルのようになるといえる。この独立性の達成には長い時間がかかるだろう、一人一人の科学者が、教育機関が、どこまで政府から精神的にも独立できるかは、それぞれの国の歴史の反映でもある。これは日本では大きなチャレンジだ。しかし、高い目標に向かってたゆまない努力を続けることこそが、何事にも大事なことだ。

グローバル世界にあつては、大学や研究機関の評価は世界での評価であり、世界の若者たちが大学の教育、研究、自分のキャリアへむけて選択する時代が来ているということを、深く認識しておく必要がある。

6. おわりに

日本の「憲政史上初」の国会事故調について少々の解説を試みた。

この福島原発事故についての国会事故調報告に対する評価は多様であると思う。その違いは、意見の違いなのか、信念の違いなのか、いくつかのことが見えてきた。多くの人知っていたこと、それとなく感じていたこと、深く関与していた人、排除されてきた人など、福島原発事故については、この「原子力関係の研究者」の読者の中でもいろいろであろう。

国会事故調報告書はできるだけ事実を記載し、委員の意見、判断はできるだけ避けるよう努力した。そのうえで委員の総意としての報告書の形となっている。したがって各委員にとっては不満の点もあるに違いない。そこで委員の一人ひとりに思いを1ページ書いていただいた。私は委員長として2ページの「はじめに」を書かせていただき、各委員とともに別に1ページにも書かせていただいた。

国会事故調は世界では高く評価されている。委員会の公開性と英語の同時通訳ばかりでなく、日本版と同時に

公開された英語の Executive Summary と、10月に仕上げられた本文の英語文の公開とそれらを含めた評価である。事実の記載と自分たちの判断をできるだけそぎ取り、そこから立法院へ「7つの提言」にまとめた点が評価されている。12月には委員会を代表して私が「Science」を発行している AAAS (American Association of Advancement of Science) から「Scientific Freedom and Responsibility」²³⁾ という大変に名誉ある賞を受けることになった。

さらに外交政策分野では高い評価のある「Foreign Policy」の「100 Top Global Thinkers 2012」の一人に選ばれた²⁴⁾。「For daring to tell a complacent country that groupthink can kill」という、しゃれた、というか正鶴をついたキャプションがついていた。

これらの評価は国会事故調にかかわるすべての方たちのものであり、心から感謝する。

日本での評価はどうか。私どもにはまだまだわからない。私の所感は折々にウェブサイト¹⁹⁾で示している。

民主制度は与えられるものではない。立法院、行政府、司法の三権が分立して相互に緊張感ある統治機構として機能しているのか、世界の環境変化に対応して適切に変化しているのか、が肝要なのである。ほぼ60年前の新しい民主制度の始まりのころ、立法院国会は「国権の最高機関」といわれていたし、行政府の人たちは「公僕」といわれていたのではないかと国民は、そして皆さんも、そのように認識し、そのような表現を日常的に感じとり、使っているだろうか？

この民主国家の統治機構の基本的問題を提起している、これこそがこの「国会事故調」が関係者に、国民に問いかけている基本メッセージなのだ、と私たちは認識しているし、皆さんにも、国民にも認識してほしいものだ。

すべての関係者が、この大事故からしっかりと学び、適切な対応をすすめるなければ、日本の将来は危うい。その時間は限られている。

—参考文献—

- 1) <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naaic.go.jp/index.html>
- 2) <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naaic.go.jp/en/index.html>
- 3) http://en.wikipedia.org/wiki/Three_Mile_Island_accident
- 4) <http://www.pddoc.com/tmi2/kemeny/>
- 5) http://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle_Challenger_disaster

- 6) http://en.wikipedia.org/wiki/Rogers_Commission_Report
- 7) http://en.wikipedia.org/wiki/9/11_Commission_Report
- 8) http://en.wikipedia.org/wiki/Bovine_spongiform_encephalopathy
- 9) http://ec.europa.eu/food/fs/sc/ssc/index_en.html
- 10) http://en.wikipedia.org/wiki/2011_Norway_attacks
- 11) [http://en.wikipedia.org/wiki/Gj%C3%B8rv_Report_\(2012\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Gj%C3%B8rv_Report_(2012))
- 12) 塩崎恭久, 「国会原発事故調査委員会」立法院からの挑戦状, 東京プレスクラブ新書.
- 13) <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naaic.go.jp/index.html>
- 14) <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naaic.go.jp/en/index.html>
- 15) 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会「国会事故調報告書」, 徳間書店, 2012年.
- 16) http://www.shugiintv.go.jp/jp/index.php?ex=VL&deli_id=41488&media_type=
- 17) <http://facta.co.jp/article/201210044.html>
- 18) 塩崎恭久, ガバナンスを政治の手に—「原子力規制委員会」創設への闘い, 東京プレスクラブ新書.
- 19) 黒川 清のウェブサイト www.kiyoshikurokawa.com
- 20) http://en.wikipedia.org/wiki/2012_Nuclear_Security_Summit#Leaders_at_the_summit
- 21) http://en.wikipedia.org/wiki/Steven_Chu
- 22) http://nsearch.cao.go.jp/cao/search.x?mode_ja_scj=ja_scj&page=1&ie=UTF-8&tmpl=ja&q=%E6%97%A5%E6%9C%AC%E3%81%AE%E8%A8%88%E7%94%BB&x=34&y=6#0
- 23) http://www.aaas.org/news/releases/2012/1203_kurokawa_award.shtml
- 24) <http://www.kiyoshikurokawa.com/jp/2012/11/foreign-policy-100-top-global-thinkers.html>

著者紹介



黒川 清(くろかわ・きよし)
ウェブサイト<www.kiyoshikurokawa.com>
元 国会による東京電力福島原子力発電所事故調査委員会委員長, 政策研究大学院大学アカデミックフェロー, 東京大学名誉教授, 元日本学術会議会長, Health and Global Policy Institute 代表理事
(専門分野/関心分野)イノベーション政策, 科学政策, 内科学, 腎臓学, 医療政策

原子力エネルギーのリスク低減と今後のエネルギーミックスにおける役割

東京大学 田中 知

本稿は、平成24年7月24日に開催された日本学術会議シンポジウム「巨大災害から生命と国土を護る—24学会からの発信」の第6回「原発事故からエネルギー政策をどう立て直すか」における講演をもとに書き下ろした。講演から半年以上経過しているが、現在においても有用な議論の材料となりえる内容であると思う。

まず、我が国のエネルギー政策が掲げていた基本的視点および原子力エネルギーの位置付けについて述べる。次に、事故によって顕在化された原子力エネルギー利用のリスクを5つの視点から提示し、原子力災害リスクを低減するためになすべきことについて提言する。最後に、講演当時におけるエネルギー政策の方向性について確認し、原子力エネルギーを利用する本来的な意味についてまとめる。

原子力発電所の事故におけるリスクをどのように低減することができるか、エネルギーの安定供給に係るリスクをどのように考えればよいのか、など、多角的な視点からエネルギーを考える一助となれば幸いである。

I. 2010年エネルギー基本計画の基本的視点

2010年6月に第2回目の改定を閣議決定されたエネルギー基本計画は、新興国の急速な経済成長などによる世界的なエネルギー需要の高まりと、地球温暖化問題をはじめとする環境問題への対応など、我が国を取り巻くエネルギー環境の変化に対応するための具体的な政策措置と数値目標を盛り込んだものとして策定された。その内容は、次に挙げる7つの基本的視点を踏まえたものである。

- ① 総合的なエネルギー安全保障の強化
- ② 地球温暖化対策の強化
- ③ エネルギー分野を基軸とした経済成長
- ④ 安全の確保
- ⑤ 市場機能の活用等による効率性の確保
- ⑥ エネルギー産業構造の改革
- ⑦ 国民との相互理解

この基本的視点を踏まえて、2030年に向けた目標を次のように掲げている。

- (1) エネルギー自給率(当時18%)、化石燃料の自主開発比率(当時26%)を倍増させ、自主エネルギー比率を約70%(当時約38%)とする。
- (2) 電源構成に占めるゼロ・エミッション電源(原子力および再生可能エネルギー由来)の比率を約70%(2020年には約50%以上)とする。(当時34%)

- (3) 家庭部門のエネルギー消費から発生するCO₂を半減させる。
- (4) 産業部門では、世界最高のエネルギー利用効率の維持・強化を図る。
- (5) 我が国に優位性があり、かつ、今後も市場拡大が見込まれるエネルギー関連の製品・システムの国際市場において、我が国企業群が最高水準のシェアを維持・獲得する。

これらを踏まえて作成された供給側のシナリオを、1次エネルギー供給源と電源構成について図示したものが第1図である。

シナリオが示す通り、エネルギー基本計画において、原子力エネルギーは中長期的な基幹エネルギーと位置付けられ、2030年目標にも積極的に組み込まれていた。それは、原子力エネルギーが供給安定性と経済性に優れた準国産エネルギーであり、発電過程においてCO₂を排出しない低炭素電源として認識されていたからである。基本計画では、安全の確保を大前提に、国民の理解と信頼を得つつ、需要動向を踏まえた新增設の推進および設備利用率の向上が謳われている。

さらに、原子力発電の優位性をさらに高めるとして、核燃料サイクルについても国家戦略として推進してきたという経緯があり、基本計画ではその方向性を踏襲している。

一方、アジアにおいては新興国の原子力発電の拡大が図られている中、我が国の技術力をもって原子力産業を国際展開していくことは、我が国の経済成長のみならず、世界のエネルギー安定供給および地球温暖化問題、

供給側の絵姿①（一次エネルギー供給）

転換部門

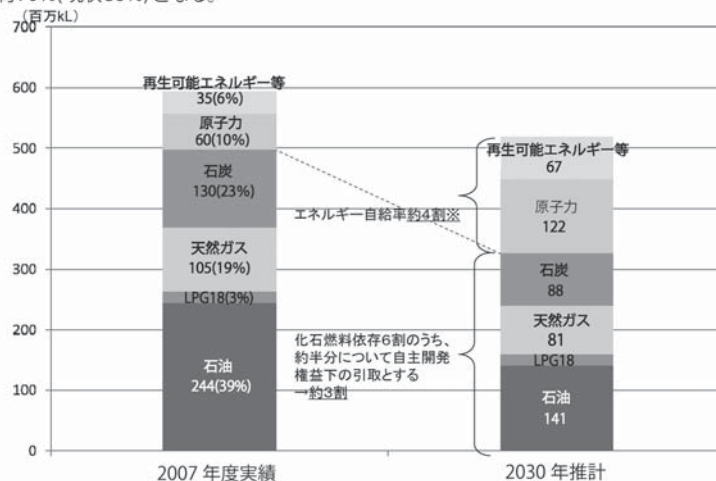
- 再生可能エネルギー
- 原子力

全量買取制度の実施(制度設計に依存)

新增設14基、設備利用率90%

(試算結果)

○従来のエネルギー自給率(現状18%)が増加する。加えて、自主開発権益下の化石燃料の引取量(現状26%)を倍増させることにより、自主エネルギー比率は約70%(現状38%)となる。



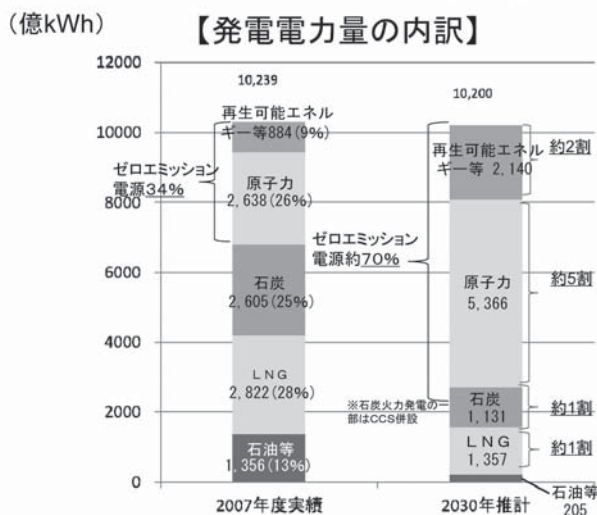
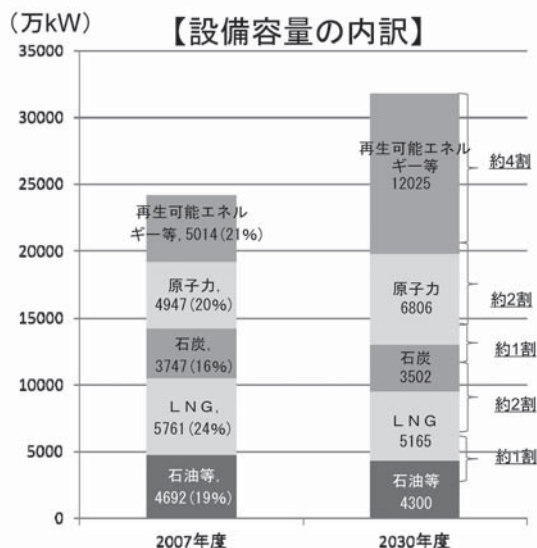
エネルギー自給率 約4割 + 化石燃料の自主開発権益下の引取 約3割 = 自主エネルギー比率 約70%

※エネルギー自給率には、再生可能エネルギー等、原子力の他、国内で産出される化石燃料も含む
※「再生エネ等」には、給湯・空調等による空気熱は含んでいない。

供給側の絵姿②（電源構成）

○電源構成の内訳は以下の通り。

○ゼロ・エミッション電源比率は約70%程度となる※。(現状34%)



※2030年の「再生可能エネルギー等」には、家庭等での発電量も含む

※大幅な省エネルギーや、立地地域を始めとした国民の理解及び信頼を得つつ、安全の確保を大前提とした原子力の新增設(少なくとも14基以上)及び設備利用率の引き上げ(約90%)、並びに再生可能エネルギーの最大限の導入が前提であり、電力システムの安定度については別途の検討が必要である。

※石炭火力については、商用化を受けて、リプレース時には全てCCSを併設すると想定。今後の技術開発やCO2の貯留地点の確保等によって変動しうる点に留意が必要。
※ゼロエミッション電源約70%には、再生可能エネルギー等のうち、廃棄物発電及び揚水発電を除く。

第1図 2030年における供給側の絵姿(「エネルギー基本計画」資源エネルギー庁編)

さらには原子力の平和利用の健全な発展に貢献する、としてきた。したがって、我が国の原子力産業の技術・人材の維持、強化および国際展開を積極的に推進するとしている。

このようにエネルギー基本計画において原子力発電の推進が謳われたのは、エネルギー資源の供給を海外からの輸入に大幅に頼っている状況において、供給安定性の確保、化石燃料への依存度の低減、地球温暖化問題への対応を図るために、中長期的に供給構造を改革していく必要性に迫られているという事情があったからだ。エネルギー供給構造の改革は次の4点を基本方針としている。

- ① 国産エネルギーである再生可能エネルギーの導入拡大
- ② 準国産エネルギーである原子力エネルギーの推進
- ③ 化石燃料利用の高効率化
- ④ 電力・ガスの供給システム強化(エネルギーの需給管理を強化)

とくに、原子力エネルギーの推進がエネルギー供給構造改革の中核として計画に組み込まれたのは、原子力の安全に対する取り組みや高レベル廃棄物処分のサイト選定などに関する諸課題は解決されると見込んでいたからであった。その背景には、TMI事故やチェルノブイリ事故のような事故は我が国では起こらないであろうとか、高レベル放射性廃棄物処分サイト選定は遅れているが国からの申し出を含んだ新しいシステムによりなんとか進むであろうといった見通しの甘さがあったものの、それによるリスクは顕在化されず見過ごしてきた。

しかし、平成23年3月11日の福島第一原子力発電所事故により、大量の放射性物質を環境に放出させる事態となり、原子力発電所の安全性について国民の信頼は大きく損なわれた。エネルギー供給の大前提である安全性について大きな疑問符がついてしまった以上、原子力エネルギーの利用に大きく依存していた従来の計画をゼロから見直す必要に迫られたのである。

Ⅱ. 事故によって顕在化された原子力エネルギーのリスク

福島第一原子力発電所事故により顕在化した原子力発電所の安全性におけるリスクを3つの視点から説明する。

1. 設計基準の脆弱性

多重防護の各層において解析手順や設計基準に保守的なアプローチを取ることで、設計基準事象を越えるシビアアクシデントの発生確率を抑制する、という考え方を取っていた。したがって、「発生確率が十分小さくなる＝過酷事故は起こり得ない」という誤った前提をもって、それ以上の想定をしない思考停止状態に陥っていた。それを裏付ける過去の記録として次のようなものがある。

- ・ 従来、全電源喪失の発生の確率が低いこと、原子力プラントの全交流電源喪失に対する耐久性は十分であるとし、長時間にわたる全交流電源喪失を考慮する必要はないとの立場を取ってきた。(平成5年原子力安全委員会)
- ・ IAEA 基準の深層防護は5層による対応を提唱していたが、我が国の多重防護の考え方は3層(多重防護)までしか対応していなかった。(平成12年原子力安全白書)
- ・ 3層の基準を保守的に見積もり対応することにより、原子力施設のリスクを十分低く抑えることに主眼を置き、シビアアクシデントはその「低い確率」をさらに補填するために事業者が自主的に整備するものであるという立場が取られてきた。(平成4年原子力安全委員会)

また、第2図にIAEA基準の深層防護と、事故当時における我が国の対応状況の関係を示す。

シビアアクシデント対応は事業者の自主対応に委ねられていた。つまり、第4層の対応状況が脆弱性につなが

IAEA 基準の深層防護

事故当時における我が国の対応状況

	運転状態	多重防護レベル	目的	必須手段
事故発生防止	通常運転	第1層	異常運転及び故障の防止	保守的設計及び建設・運転における高い品質
	予期される運転時の事象	第2層	異常運転の制御及び故障の検出	制御、制限及び防護系、並びにその他サーベランス特性
	設計基準事故及び複合した運転時の事象	第3層	設計基準内への事故の制御	工学的安全施設及び事故時手順
事故影響緩和	シビアアクシデント	第4層	事故の進展防止及びシビアアクシデントの影響緩和	補完的手段及び格納容器の防護を含めたアクシデントマネジメント
	シビアアクシデント後の状況	第5層	放射性物質の放出による放射線影響の緩和	サイト外の緊急時対応



原子炉等規制法
安全審査

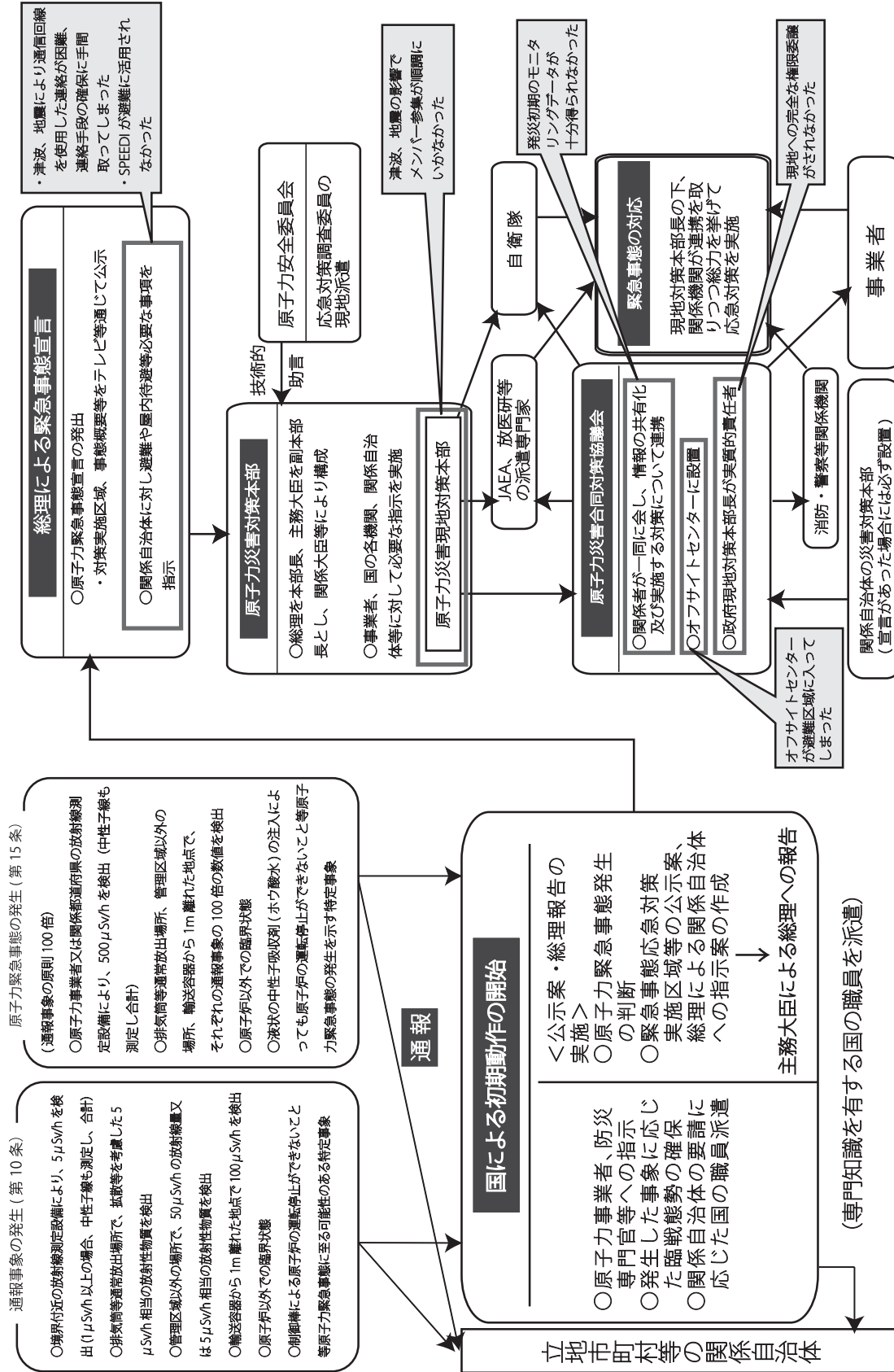
事業者の自主対応

原子力災害対策特別措置法
防災指針

(出典)原子力安全委員会 当面の施策の基本方針の推進に向けた外部の専門家との意見交換
—安全確保の基本原則に関すること—第2回会合配布資料より(平成23年3月)

第2図 IAEA 基準の深層防護に対する我が国の対応状況(事故当時)

緊急時対応の流れ



原子力安全委員会 防災指針検討WG (平成23年8月) より作成

第3図 原子力事故に対する対応の流れ(事故当時)

り、自主対応部分と行政指導との連携(第4層⇒第5層)に潜在的なリスクが存在していたことがわかる。確率的に「十分小さい」とする事象について対策を検討してこなかったという確率論的手法がもつ潜在的なリスクと、我が国の制度に潜在していた構造的なリスクが、「想定外の事象」として顕在化した。

2. 事故対応体制・原子力防災の脆弱性

第3図は、事故当時において我が国で定められていた原子力事故発生後の対応の流れと、今回の事故において問題が発生した箇所との関連を示したものである。

事業者からの通報を受けて、原災法第15条に基づいて関係機関に指示が下される。内閣総理大臣および主務大臣(経済産業大臣)への報告を経て、総理による原子力緊急事態宣言の発出を受けて、総理を本部長とする原子力災害対策本部などが立ちあげられ、関係機関および自治体への指示が行われることになっている。原子力安全委員会は対策本部に対して技術的な助言を行うとともに、職員および技術者の派遣を行う。また、現地のオフサイトセンターには、原子力災害合同対策協議会が設置され、関係者が一堂に会して情報の共有化や連携した対処を行うとされていた。しかし、今回の事故では、次に挙げるような問題が発生し、緊急時対応の障害となった。

- ・津波、地震により通信回線を使用した連絡が困難になり、連絡手段の確保に手間取ってしまった。
- ・津波、地震の影響で交通手段が確保できず、メンバーの参集が順調に進まなかった。
- ・SPEEDIが住民避難に活用されなかった。
- ・発災初期のモニタリングデータを十分に得られることができなかった。
- ・オフサイトセンターが避難区域に入ってしまう、現地に設置できなかった。
- ・現地対策本部への完全な権限移譲がされなかった。

3. 規制制度の脆弱性

我が国の原子力安全規制に関する制度は、新しい知見を反映しにくい実情があった。その背景には、前述した過酷事故に対する思考停止が根底にあった。具体例を挙げれば、次のような点が指摘されている。

- ・新しい原子力規制委員会が2年間でできていない(平成24年当時)
- ・立地指針は50年近く改訂されていない
- ・阪神淡路地震のあと10年以上経って耐震指針が改定された
- ・規制側も事業者側も、新しいコード導入を審査する労力が大変なため、いまだに40年前のコードを安全解析で利用している
- ・リスク情報の規制への取り込みが10年以上遅れている
- ・安全目標も中間報告のまま10年近く止まっている
- ・シビアアクシデント規制も必要性はわかっていたが導入に時間がかかりすぎて、いまだに導入できていない

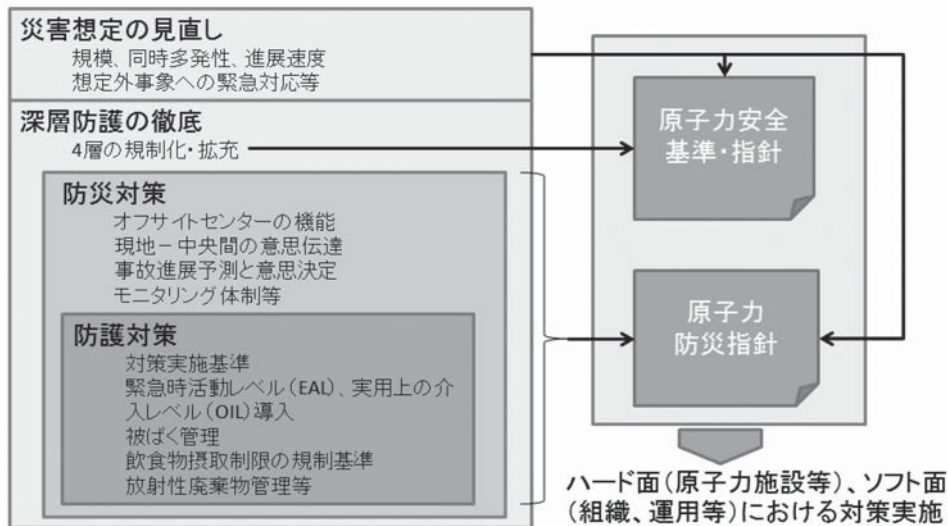
Ⅲ. 原子力災害のリスク低減策

これまで述べてきたような今回の事故により顕在化したリスクおよびいまだ潜在するリスク要因を取り除き、その影響を低減するためには具体的にどうすればよいか。

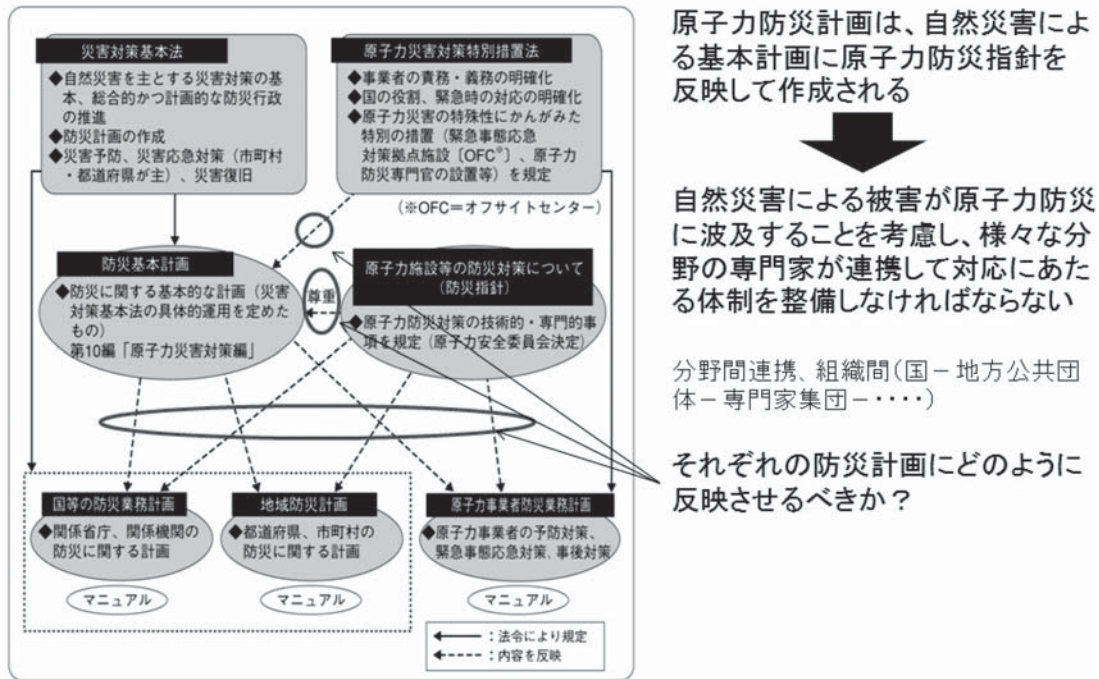
事故後、旧原子力安全委員会では、専門部会および専門審査会等において、中長期的なリスク低減策について検討した。第4図に検討作業の概念図を示す。

事故で実際に発生した事象を踏まえて災害想定を見直した上で、今後、同様の事象発生を防ぐための設計基準見直しと、発生したことを想定した防災・防護対策の見直しを基本方針としている。

また、第5図に我が国における原子力防災の制度体系を示す。原子力防災計画は、災害対策基本法に基づく災



第4図 原子力安全委員会におけるリスク低減策の検討



害基本計画に原子力防災指針を反映して作成される。図に示すように、原子力防災計画は様々な分野・組織の連携が必要であり、原子力の領域で独立しているわけではない。実際の災害に際して実効力のある計画を用意するためには、組織横断的に広い視野を持って体制整備しなければならない。

Ⅳ. 科学者の役割と責任

これまで、原子力のエネルギー政策に対する位置付け、顕在化されたリスクおよびリスク低減対策について述べてきた。あとから客観的に考えれば、あらかじめ想定し対処可能な問題に思えることばかりである。

第一に、なぜ最新の知見が安全指針に反映されていなかったのか。具体例を挙げれば、チェルノブイリ事故後に我が国の安全基準を国際基準にあわせていなかった、シビアアクシデント対策を規制化していなかった、津波対策の可能性を指摘されていたながらも十分に行っていなかった、などが挙げられる。新しい知見を安全基準に反映させる枠組みや手順が整備されていないことや、過去に安全と認定したものの安全性を更に向上させる改善作業への抵抗が大きい風土であったことが原因であると指摘されている。

第二に、なぜ事故時に蓄積された知見を当局等に提言し、速やかに実行せしめることができなかったのだろうか。事故直後は情報が錯綜し状況を把握することが困難であったとしても、国民は「何を信じ、どう行動すべきか」という情報を欲していたはずである。そのような期待に、科学者として応えることはできただろうか？

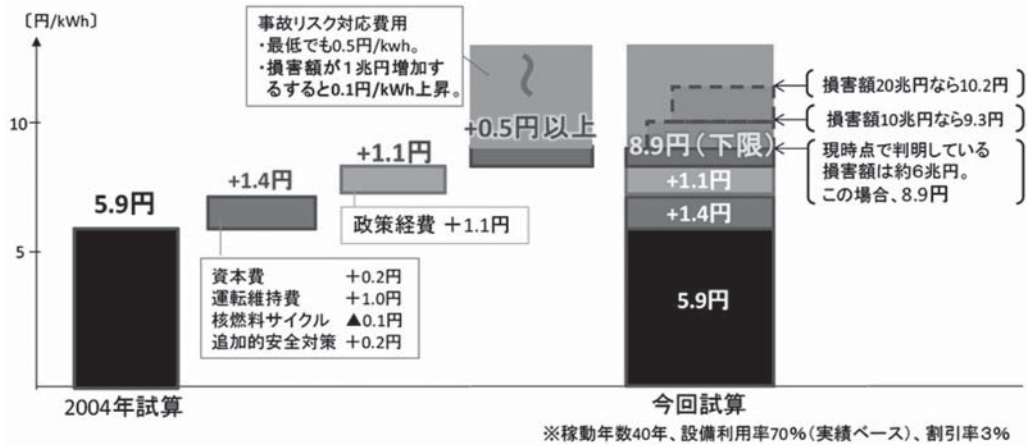
我々ももっと主体的に行動できる余地があったのではないかと思うのである。学术界として当局に提言できる体制が整っていなかったし、知見を蓄積して危機対応時に迅速に情報提供できる情報インフラの整備も十分ではなかったのではないか。多くの科学者、有識者が無責任な提言とコメントを発信し、かえって混乱を招いたのではないかと思うのである。

有事において、蓄積された知見を「誰に」「どのような手段で」「いかに速く」提供するか、そのプロセスにおいて中心的な役割を担うのが科学者である考える。そして、提供した情報の内容と状態に対して責任を負わねばならない。

Ⅴ. 今後のエネルギーミックスにおけるリスク

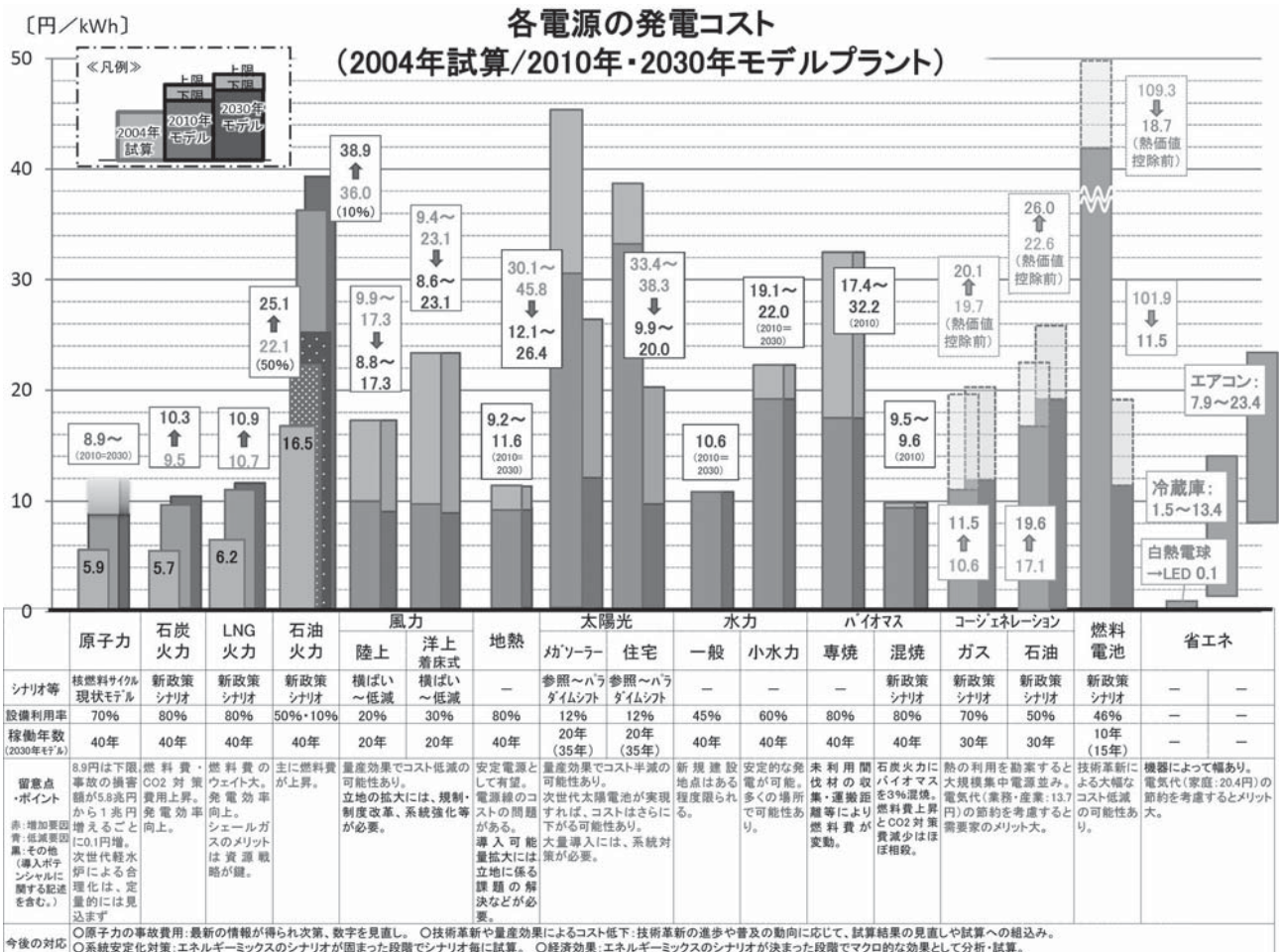
これまで、原子力発電所に係るリスクについて述べてきた。エネルギー政策を俯瞰するとき、今回の事故により新たに考慮しなければならないリスク要因として、原子力発電所事故による電力供給不足のリスク、事故補償を加味した電気料金上昇のリスク、電力供給不足解消に伴う火力発電による燃料費増大のリスク、再生可能エネルギー導入拡大の前倒しに伴う投資費用増大のリスク、などを考慮せねばならない。

今後も原子力発電を利用すると想定した場合、将来リスクに対応する費用(コスト)算出が必要である。そのコストには、福島原発事故による賠償費用、除染費用、廃炉費用および原子力災害のリスク低減対応策を実施するための費用が含まれる。第6図は、政府のコスト等検証委員会で検討された原子力発電のコスト試算である。



コスト等検証委員会報告書(平成23年12月19日)

第6図 原子力エネルギーのコスト



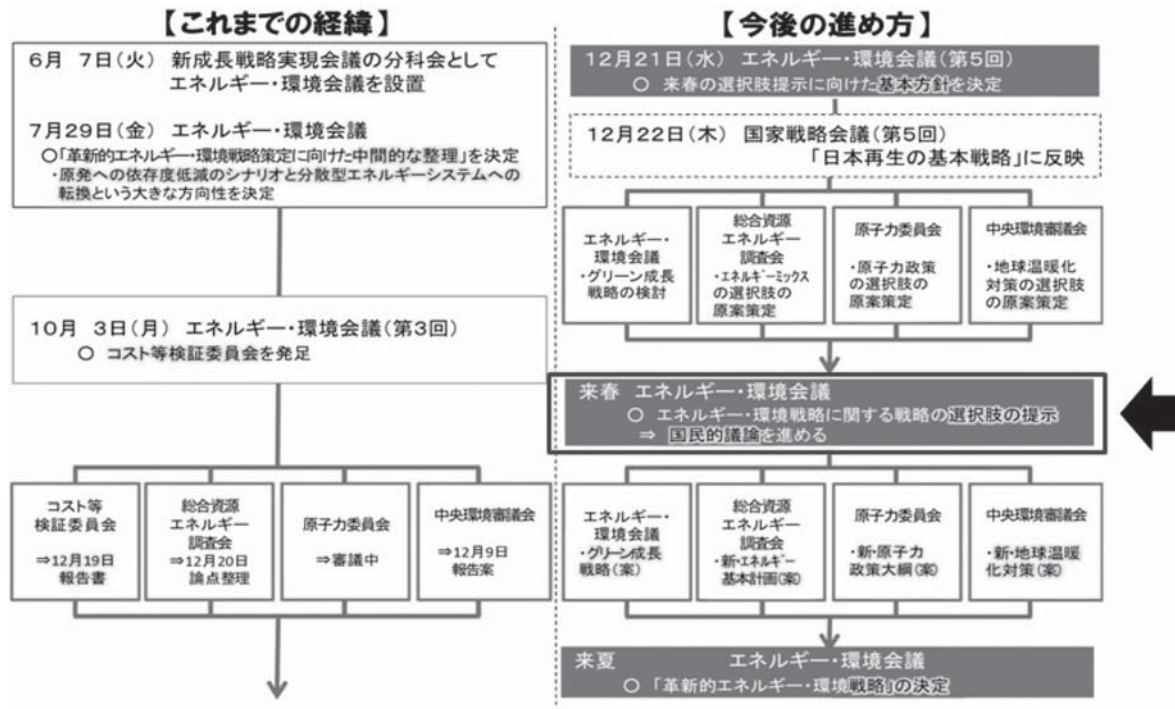
第7図 各電源の発電コスト試算結果(平成23年12月コスト等検証委員会報告書)

2004年試算から比較して kWh あたりコストは3.0円以上上昇するとしているが、事故の損害額が大きければコスト上昇幅も大きくなる。

一方、第7図には、コスト等検証委員会が算出した電源別の発電コストである。図中の省エネのコストとは、節電に資する機能のコストを設備コストとして計算している。原子力の事故による損害額をある程度考慮したと

しても、他エネルギーに比較してそれほど大きくはならないと試算されていることがわかる。

このようなコスト評価等を踏まえて、政府のエネルギー・環境会議において新しいエネルギー政策についての検討が行われた。第8、9図にその進め方と、基本方針を示す。原子力の安全確保と将来リスクの低減は重要な視点であることは当然のことであるが、エネルギーが



(出典)エネルギー・環境会議 基本方針(案)(平成23年12月)

第8図 エネルギー・環境会議の進め方

いかなる選択においても重要な3つの視点

- (1) **クリーンエネルギーへの重点シフトと成長の確保**
 - ・再生可能エネルギー、クリーンエネルギー(水素や蓄電システム等)、省エネにエネルギー構造の重点をシフト
 - ・意欲的な目標を共有(2030年の再生可能エネルギー比率25~30%以上、省エネ現状比1割削減)し、消費や投資を促進、グリーンイノベーションや次世代エネルギーネットワーク投資を加速
 - ・グリーン政策大綱を策定し、制度改革や開発支援などを統一的に進め、日本再生の礎にする。
- (2) **需要家主体のエネルギーシステム改革**
 - ・国民一人一人が需要家・生産者として、エネルギーを主体的に選択できる分散型の新しいシステムに転換
 - ・重点としてエネルギー・電力システム改革を实行。
- (3) **多面的なエネルギー・環境の国際貢献**
 - ・クリーンエネルギー開発とエネルギー効率の更なる革新に向かう構造転換は、我が国が新興国と課題を共有し、エネルギー・環境分野における多角的な国際的な貢献を進める礎になる。地球温暖化問題解決のモデルとする。
 - ・東電福島原発事故の経験と教訓を踏まえ、人材・技術基盤の確保を通じて、原子力リスクの制御、原子力安全の向上、除染、廃炉管理といった側面から原子力平和利用国としての責任を新たに果たす。
 - ・事故の経験と教訓を世界と共有。

選択を行うにあたって重要な4つの視点

- (1) **原子力の安全確保と将来リスクの低減**
 - ～社会の安心・安全を持続可能な形で確保することが今は何よりも求められている。
 - ・徹底した安全対策の強化によりリスクを最小化し、使用済核燃料や放射性廃棄物の発生を制御することにより、将来世代の負担を減少させる。また、安全を支える技術や人材を確保、開発する。
 - ・こうした中で、原発依存度低減の道筋を具体化すべきではないか。
- (2) **エネルギー安全保障の強化**
 - ～世界のエネルギー情勢や代替エネルギー確保の見通しは不確実であり、エネルギー安全保障を確保するという要請は変わらない。
 - ・エネルギー安全保障やエネルギー源の多様化と両立できる形で原発依存度低減の道筋を具体化すべきではないか。
- (3) **地球温暖化問題解決への貢献**
 - ～原発依存度を低減する中でも、国内のCO2排出削減を進めていかなければならない。
 - ・現在の温室効果ガス削減の目標は国内での排出削減に加えて、吸収源や国際貢献分を含んでいるがそれとの関係をどう考えるか。
 - ・我が国の優れた技術を活用した海外での削減を含め、世界全体での地球温暖化問題の解決に貢献していくべきではないか。
- (4) **コストの抑制、空洞化防止**
 - ～エネルギーミックスを転換した結果、産業や雇用が空洞化する事態は回避する。
 - ・エネルギーコストの上昇による産業や経済への影響や社会への変革の状況を見極め、エネルギーミックスを転換した結果、産業や雇用が空洞化する事態は回避するという視点から、原発依存度低減の道筋を具体化すべきではないか。

(出典)エネルギー・環境会議 エネルギー・環境に関する選択肢(平成24年6月)

第9図 エネルギー・環境に関する選択肢の基本方針

安定的に供給されないリスク、地球温暖化に伴うリスク、電気料金上昇に伴う産業活動低下および企業の海外移転に伴うリスクといった点についても考慮した総合的な視点が強調されてもよいのではないだろうか。

第10図には、エネルギー・環境会議の検討により提示された3つのシナリオを示す。その後、提示された3つのシナリオをもとに、エネルギー・環境の選択肢に関する情報提供データベースの整備、意見聴取会の全国11カ所での開催、討論型世論調査、パブリックコメントの募集等が行われた。世論調査の結果は、ゼロシナリオが多数の支持を得たものの、その後、エネルギー基本計画に

どのように反映させるのか、ゼロシナリオで指摘されている問題点をどのように解決していくのか、などエネルギー政策の道筋ははまだ立っていないのが現状である。

Ⅵ. まとめ

福島第一原子力発電所の事故により、これまで原子力エネルギーが基幹エネルギーたる要件、すなわち、安定供給性(Energy Security)、環境適合性(Environment)、経済効率性(Efficiency)に対する信頼は大きく崩れた。なにより、大前提である国民理解および安全への信頼は

2030年における3つのシナリオ

※比率は発電電力量に占める割合で記載。
括弧内は震災前の2010年からの変化分。

	2010年	2030年				(参考) 現行 エネルギー 基本計画
		ゼロシナリオ		15シナリオ	20~25シナリオ	
		追加対策前	追加対策後			
原子力比率	26% 注1	0% (▲25%)	0% (▲25%)	15% (▲10%)	20~25% (▲5~▲1%)	45%
再生可能 エネルギー比率	10%	30% (+20%)	35% (+25%)	30% (+20%)	30~25% (+20~+15%)	20%
化石燃料比率	63%	70% (+5%)	65% (現状程度)	55% (▲10%)	50% (▲15%)	35%
非化石電源 比率	37%	30% (▲5%)	35% (現状程度)	45% (+10%)	50% (+15%)	65%
発電電力量	1.1兆kWh	約1兆kWh (▲1割)	約1兆kWh (▲1割)	約1兆kWh (▲1割)	約1兆kWh (▲1割)	約1.2兆kWh
最終エネルギー 消費	3.9億kl	3.1億kl (▲72百万kl)	3.0億kl (▲85百万kl)	3.1億kl (▲72百万kl)	3.1億kl (▲72百万kl)	3.4億kl
温室効果ガス 排出量 (1990年比) 注2	▲0.3%	▲16%	▲23% (▲21%)	▲23% (▲22%)	▲25% (▲25%)	(▲30%程度)

注1) 現行エネルギー基本計画における原発53%は大規模電源における比率(コジェネ・自家発電を除いたもの)である。

注2) 括弧内はエネルギー起源CO2のみの数字。

(出典)エネルギー・環境会議 エネルギー・環境に関する選択肢(平成24年6月)

第10図 エネルギー・環境会議により提示された3つのシナリオ

失われ、多大なコストをかけてでも存続することに何の意味があるのか、本来の意味を改めて問うべきである。

原子力エネルギーを利用する本来の意味とは、エネルギー安全保障の確保なのであることを今一度確認したい。安定した準国産エネルギーを獲得し、化石燃料を巡る政情不安から距離を置くこと、さらには、核不拡散の推進役として政治優位性を持つことなのだ。エネルギーは国家運営の基盤であり、間違った選択は国家の存亡にかかわる。多面的な視野から総合的に判断する必要がある。

原子力のリスクはゼロにはならない。しかし、ゼロで

はないリスクを認識したうえで、我が国のエネルギー政策において原子力が貢献できることを冷静に判断しなければならない。

著者紹介



田中 知(たなか・さとる)

東京大学

福島県除染アドバイザー

(専門分野/関心分野)核燃料サイクル, 放射性廃棄物処分, 原子力エネルギー地政学

福島第一原子力発電所事故の技術的知見と 第4世代炉の安全性

大阪大学 山口 彰

日本原子力学会新型炉部会は、ナトリウム冷却高速炉の安全性についての技術情報を発信するため「2012年秋の大会」にて特別セッションを企画した。第4世代炉は、将来のエネルギー安定確保における不透明さに備え、我が国並びに国際社会の長期にわたるエネルギー供給を確かなものとするための重要な基幹技術であるが、福島第一原子力発電所のシビアアクシデントを踏まえ、その教訓と技術的知見を十分にしんしゃくすることが重要である。本稿では、国際的な枠組みにて作成中の安全設計基準の概要、第4世代炉としての福島第一事故の技術的知見への取り組み、シビアアクシデントマネジメントとその有効性、事故を踏まえた安全確保方策について解説する。

I. はじめに

日本原子力学会新型炉部会は、第4世代のナトリウム冷却高速炉(SFR)の安全性について、的確で正確な技術情報を日本原子力学会並びに社会に対して発信することが大切であると考え、「2012年秋の大会」にて一般公開の特別セッション¹⁾を企画した(第1図参照)。企画セッションでは、SFRに関して国際的な枠組みで取り組んでいる安全設計要求の概要、福島第一事故の技術的知見の第4世代炉への反映と取り組み、SFRのシビアアクシデントマネジメント(SAM)とその有効性、事故を踏まえたSFRの安全確保方策について報告した。

第4世代SFRは、将来のエネルギー安定確保における不透明さに備え、我が国並びに国際社会の長期にわたるエネルギー供給を確かなものとするために重要な基幹技術であるとの認識が共有されているところである。一方、2011年3月に発生した福島第一原子力発電所のシビアアクシデント(SA)の影響の厳しさを認識すれば、原子力安全の目的を踏まえ安全研究の原点に立ち戻り、第4世代炉の安全確保についての真摯な考察を深めるべきである。特に、福島第一原子力発電所事故の教訓と技術的知見を十分にしんしゃくした第4世代炉安全に対する取り組みを確立することが重要であることは論をまたない。また、軽水型原子炉における安全対策をそのまま踏襲するのではなく、ナトリウム冷却炉に固有の物理的・

化学的特性や設計上の特徴の視点から、事故における技術的知見の意味をそしゃく・理解し、安全向上に反映することも重要な観点である。

文部科学省の科学技術・学術審議会の原子力科学技術委員会は2012年10月24日に「もんじゅ研究計画作業部会²⁾」を設置した。その趣意は、民主党政権の革新的エネルギー・環境戦略を踏まえ、「高速増殖炉開発の成果のとりまとめ、廃棄物の減容及び有害度の低減等を目指し、国際的な協力の下での研究も含めた「もんじゅ」などによる研究計画を策定するために必要な事項について調査検討する」ことである。第4世代炉はエネルギー安定確保のみでなく、高レベル放射性廃棄物の問題解決にもその意義を追求すべしということである。いかようなミッションを担うにせよ、安全性をより確かなものにするこの本質的な重要性は変わることなく、第4世代炉の役割・意義と安全の確保については一層の技術開発と



第1図 大盛況の新型炉部会企画セッション(2012年秋)

Safety of Generation IV Reactors in Light of Engineering Findings from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station Accident: Akira YAMAGUCHI, Kenichiro SUGIYAMA, Ryodai NAKAI, Shoji KOTAKE.

(2013年 1月7日 受理)

研究の活性化と読者各位の活発な議論を期待するところである。

II. 事故の技術的知見と第4世代SFRの特徴

1. はじめに

経済協力開発機構加盟国(34カ国, 約12.5億人)の1次エネルギー生産量は世界の約40%, その6.3%は再生可能エネルギー並びに廃エネルギーである。燃焼熱による再生エネルギーと廃エネルギーは4.9%を占めている。“脱原発”を望む日本人が期待しているであろう, 太陽光, 風力, 地熱などは1.4%である³⁾。ドイツ, スペインの例で分かるように, これらは補助金の継続性に依存している。本来, エネルギー確保・環境制約・国力維持の総合的視点からその割合は決められるべきであろう。

本章では, 旧原子力安全・保安院が2012年3月に発行した報告書「東京電力福島第一原子力発電所事故の技術的知見について」⁴⁾の分類に沿って知見の要点を示すとともに, SFRへの教訓となる内容について短い説明を加えた。SFRへの教訓は太文字にて示す。

2. 技術的知見とSFRの特徴を踏まえた教訓

外部電源設備について: 交流電源の確保の成否が発電所の安全確保に大きな差異を生じたことを踏まえて, 発電所から直接つながる変電所内までの信頼性向上と発電所内開閉所の耐震性向上に加えて, 復旧作業に必要な資機材を準備し外部電源の復旧の迅速化が必要である。

→今後の信頼性向上方策に反映していく。

所内電源設備について: 共通要因故障による電源喪失の発生を防止するため, 電気設備一式の位置的分散, 建屋の水密化による浸水対策の強化に加えて冷却方式の多様化(海水冷却と空気冷却)が必要である。非常用直流電源の長期間機能維持に加えて, 事故後の対応・復旧を迅速化するために, 外部からの供給の容易化, 電気設備関係の予備品を備蓄しておくことが求められる。→自然循環冷却の状態監視用電源の多様性と信頼性が重要。

冷却設備について: 使用済み燃料プールを含め冷却設備の共通要因故障による機能喪失を防止するため, 建屋等の水密化による耐浸水性や位置的分散, 最終ヒートシンクの多様性の確保が求められる。注水機能を強化するため, 隔離弁の駆動源喪失時の強制動作メカニズム導入などによる動作確実性の向上, 駆動源の多様化, 吐出圧の高いポンプ, 建屋外の注水口の整備などによる代替注水機能の強化が必要である。初期対応において的確な判断が行えるため, 炉心冷却を最優先すべき状況の判断基準を明確化し, そのためのハード(計装系, 線量計, 防護装備等)とソフト(操作手順書等)を整備すること。

→冷却材凍結によるリスクを分析し, 防止・復旧できる方策の確立と厳しい環境での訓練が重要。

閉じ込め機能に関する設備について: 全交流電源喪失

の場合でも, 格納容器の過圧と過温を防止するため格納容器スプレイ機能と残留熱除去系等による除熱機能の多様性の確保, 非常用ガス処理系等とベント配管系の分離性の確保並びに号機間でのベント設備の共有禁止, ベント系への放射性物質除去設備の追加と水素濃度監視・並びに安全に排出する機能の追加, ベントの操作性向上が必要である。→炉心からの水素発生がなく低圧系であるため閉じ込め機能性は優れているが, 大規模な炉心溶融時の再臨界発生を回避できる設計対策(炉心外への溶融燃料の流出促進構造, 等)の検証・確立が重要。

指揮, 通信, 計装制御設備および非常事態への対応体制について: 指揮・通信設備の信頼性を向上させるため, 事故時指揮所の確保・整備, 非常時の電源確保対策を着実に実施すると共に, 関係機関での対応を迅速かつ適切に行うため, 情報共有システムの再構築と責任の明確化が求められる。プラントの状況を正確に把握するため, 事故時における計装設備の信頼性の確保, プラント状態の監視機能の強化, 事故時モニタリング機能の強化。加えて, 非常時事態対応に係るマニュアルや設計図面等の必要な情報の整備, 人員の確保・召集体制の構築, 夜間や悪天候下等も含めた緊急時対応訓練等を実施すること。→開発段階であり既設軽水炉と異なった支援が必要であることから, ナトリウム取扱いと放射線の専門知識を持つ支援部隊・機関・企業との緊急時対応の緊密な合同訓練が重要。

地震による設備・機器等への影響について: 止める・冷やす・閉じ込めるに係る安全上重要な機能を有する耐震Sクラスのうち, 主要な7設備(原子炉圧力容器, 主蒸気系配管, 原子炉格納容器, 残留熱除去系配管, 残留熱除去系ポンプ, 炉心支持構造物および制御棒(挿入性))を地震応答解析により検討し, 地震時および地震直後において安全機能を保持できる状態にあったと推定している。また, 7設備以外の耐震Sクラスの機器・配管については現場確認が可能な福島第一発電所5号機で代表させ, 解析・目視調査を行い, 安全機能が保持できる状態にあったと推定している。ただし, 微小漏えいが生じるような損傷が安全上重要な機能を有する主要設備に生じたかどうかについては, 現時点では明確ではない。

→炉心冷却材と崩壊熱除去系の循環機能の確保に万全を期すために耐震設計余裕を確保することを基本に, 構造材料の健全性を定期的に確認するとともに状態監視技術を強化し, 冷却バウンダリーの健全性を維持することが重要である。

津波による設備・機器等への影響について: 開放型海水ポンプのモーターが冠水により機能を喪失, 非常用ディーゼル発電機, 配電盤, 蓄電池等の電気設備の多くがタービン建屋等の地下階に設置されていたため, 建屋への浸水によりほとんど同時に冠水し機能を失った。

→SFRの特徴である, 自然循環崩壊熱除去が可能で交

流電源への依存度が低いこと、大気を最終除熱源として
いることに留意しつつ安全対策を確実とする。

3. まとめ

第4世代SFRの特徴を踏まえて福島第一原子力発電
所事故の技術的知見の整理を試みた。SFRは低圧系で
あり、動的機器や操作に過度に依存しない、すなわちSA
の防止や影響緩和に受動的な方策が効果を発揮すること
が理解される。一方、ナトリウムの化学的活性や高温構造
の健全性など特有の条件に対する十分な配慮が大切である。

Ⅲ. 安全設計要求の国際協調

1. はじめに

第4世代原子炉に関わる国際フォーラム(GIF)では、
2030~2040年代の実用化を念頭に、安全性・信頼性・
経済性等に優れた次世代原子炉システムとして有望な6
つの概念の開発協力を進めている。特に、開発および運
転経験が豊富なSFRは、各国において商業炉に向けた
開発段階へ進展しており、GIFとしての共通の安全設計
要求の整備が急務となっている。そこでGIFにおいて
国際的な協調による安全設計クライテリア(Safety
Design Criteria:SDC)の策定の取り組みを行っている。
本章では、その概要を説明するとともに、今後の国際標
準としての活用について展望する。

2. SDCの整備の背景と位置付け

第4世代SFRの概念設計に際しては、GIFの安全目
標を具現するSFRシステムとして満たすべき具体的な
安全要件について、国際的な標準化が期待される。GIF
では、安全階層の最上位に位置するものとして、安全原
則と安全目標⁵⁾および安全に対する基本的方策⁶⁾が策定さ
れている。一方、安全審査指針レベルに相当する安全設
計要求としては、既存軽水炉を前提としたIAEA SSR2/
1⁷⁾に相当するような国際共通化が図られたものは第4世
代炉について現状存在しないことから、第4世代SFR
の構築物、系統および機器に対する安全設計要求を包括
的・系統的にまとめたSDCの整備を行うこととなった。

GIFのSFR開発国としては、日・米・仏・露・中・
韓・EUが参加しており、各国からのメンバーに加えて
IAEAからのメンバーも含めてGIFにSDCタスク
フォースを組織し、2011年7月から活動を開始した。こ
れに対応して、国内では、本学会において、「第4世代
ナトリウム冷却高速炉の安全設計クライテリア」特別専
門委員会を組織し、SDCの素案の検討を行った。これ
を基にGIFのタスクフォースへ素案の提示を行い、国
際的な議論を主導した。GIFにおいては、これまで4回
のタスクフォースを開催し、SDCのドラフトをまとめ、
GIFの各組織からのレビューを通じてフィードバックを
行い、最終的なドラフトとしてまとめつつある。

3. SDCにおける基本的安全方策

SDC構築の着眼点は、(1)第4世代炉としてあるべき
高い安全目標である「サイト外緊急時活動の必要性の排
除⁵⁾」の実現、(2)基本的な深層防護(Defense-In-Depth)の
考え方を踏襲した上で、深層防護第4層として、重大な
炉心損傷の防止と影響緩和対策を安全設計に取り入れ
る⁶⁾ことを要求、(3)動的安全系統に加え受動的安全性を
積極的に活用し高い信頼性とロバスト性の確保などにあ
る。

構築に当たっては、IAEAの原子炉施設の安全：設計
(SSR2/1)を参考にした基本構成とし、第4世代炉とし
ての高い安全性を具現化するとともに、SFR特有の要
件を取り込むこととしている。また、各国安全要件の動
向を踏まえるとともに、福島第一原子力発電所の事故の
教訓を反映する。

4. SDCの概要

SDCのドキュメントは、1. 緒言、2. 安全目的及び
安全概念、3. 設計における安全管理、4. 主要な技術要
件、5. 一般プラント設計(設計基準、安全解析等)、6.
個別プラント設計(炉心、炉停止系、冷却系、格納系等)
で構成される。

第4世代炉の国際標準として高い安全性を確保するた
め、深層防護の各レベルの強化、特に第4のレベルに対
して、炉心損傷の防止および緩和に関するBuilt-inでの
(安全設備をあらかじめ設計に組み込んでいくことを意
味し、後付けで安全設備を追加していく方法に対する用語)
安全機能を要求する等、既存炉よりも高い安全性を
求めている。SFRは炉心特性として、最大反応度体系
にないこと、炉心中心部近傍で正のボイド反応度となり
うることから、再臨界による大規模な機械的エネルギー
の発生防止を要求する。ナトリウムを冷却材として使用
することに関連して、低圧条件下での運転であることか
ら、冷却材漏えい時の静的な冷却材液位確保が行える一
方、その化学的な反応が基本的な安全機能に影響を与え
ないことが要求される。また、多様性を高める方法とし
て、受動的な原子炉停止機能、自然循環を活用した受動的
な崩壊熱除去機能を設計に取り入れることとしている。

5. SDCの活用

世界的にみれば、アジア、特に中国、インドの急速な
原子力利用拡大とSFRの積極的な導入が見通されてお
り、ロシア、フランスについても着実なSFRの開発が
行われている。2012年6月に敦賀で開催された「SFRの
シビアアクシデントの発生防止と影響緩和」会合では、
SFR開発国全てとIAEAから専門家が参加し、SAの基
本的アプローチと具体的方策が議論された。会合では国
際的なSDC整備の重要性が認識され、GIFのSDC整備
の取り組みは、国際的な安全性の維持・向上に貢献でき

ると期待される。また、IAEAと連携して国際的なSDCの共有化を図ることにより、国際標準として活用されることが期待されるというメッセージがまとめられた。

6. まとめ

第4世代SFRの安全設計要求の国際協調を図るため、GIFにおいてSDCの整備を進めている。SDC素案は本学会の特別専門委員会において検討し、GIFにおけるSDC検討タスクフォースへ提案され、その後の多国間での議論を経て、いわゆる国際標準としてまとめられつつある。これらの活動がIAEAにおける安全基準化も含め、さらに国際標準としての位置付けが与えられるよう推進する。また、現在開発中のSFRについては、SDCとの比較分析を行い、第4世代炉としての高いレベルの安全性が確保されることを通じて、こうした活動がグローバルな安全確保に貢献することが可能となる。

IV. SA対策と安全設計アプローチ

1. はじめに—JSFR Approach

SFRである原型炉「もんじゅ」に続く実証炉の概念設計研究ならびに実用化に向けた研究開発においては、第4世代炉のSFRとして、安全確保を前提とした資源有効利用と環境負荷低減性ならびに核拡散抵抗性を備え、かつ基幹電源として経済的競争性を確保できることを開発目標としている。

安全設計にあたっては、これまでの世界各国のSFRの運転実績に基づく安全に対する知見と、SA関連を含む炉心安全やナトリウム安全の多くの研究成果を基盤とした上で、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、第4世代SFRが満足すべき実効性のある安全設計クライテリアを構築し、各国で共有していくことが重要である。また、「もんじゅ」で発電炉としての運転実績を積み、事故管理方策を含むSA対策を具体化していくことも不可欠である。

2. 安全確保の基本的考え方

第4世代SFRの設計における安全確保は、軽水炉と同様に深層防護の考え方である「異常発生防止」「異常の拡大防止」「事故の影響緩和」に基づくことに加え、福島第一原子力発電所事故では除熱手段が確保できなくなり、炉心損傷に至ったことを踏まえ、SAを含む「炉心損傷の防止と影響緩和」の強化を求める。すなわち、設計基準を越えた想定として、SFRの安全上の特徴を踏まえた設計拡張状態(DEC: Design Extension Conditions)を考慮し、これらに対して設計対策を講じて安全性を強化する。これによって、「サイト外緊急時活動の不要化」(放射性物質大規模放出の実効排除)を目指している。

DECでは特に、炉心冷却を確保する設備と、これを

含めた安全設備を動作させるために必要な電源や冷却系統が、地震や津波等の共通要因によって機能喪失しない対策が必要である。安全設備の多様性の強化として、能動的な安全設備の多様性強化に加え、安全機能発揮のために必要な機器を簡素化できる受動的機構の導入によって安全性向上を図る。また、DECに対する設計対策では、設計段階から、DEC対策設備をあらかじめ組み込むBuilt-in設計を目指し、設備設計の合理化を図ることが重要である。また、SFRのDEC対策では、従来から安全上の特徴を活用して受動的に「止まる」「冷える」に関する研究開発が進展している。これらの対策により、DECにおいてでも運転員の負担を軽減した安全確保が可能となる。

また、ナトリウムの化学的活性度についても、設計基準に加え、多重故障条件に対しても炉心安全性へ波及しない頑健性を確保することが重要である。

3. JSFRの安全設計アプローチ

JSFRでは、「もんじゅ」等の実績を踏まえた技術を基盤とするとともに、包括的な安全設計アプローチを行う。具体的には、DECも含めた深層防護の実現手段として「止める」「冷やす」「閉じ込める」の各機能を以下のとおり強化する。

(1) 能動的炉停止系と受動的炉停止系(「止める」と「止まる」)

既存技術である2つの独立した能動的炉停止系(主炉停止系と後備炉停止系)に加えて、受動的炉停止系としてSASS(Self Actuated Shutdown System: 自己作動型炉停止系)を導入する。能動的炉停止系の不動作を想定しても、冷却材温度上昇の際には、温度感知合金を用いた制御棒保持機構が切り離されるキュリー点(磁性が急減する温度)電磁石方式によって、制御棒が重力落下して炉停止する。

(2) 崩壊熱除去系の多重性、多様性(冷やす)

SFRの特徴である炉心出入口の高い温度差とナトリウムの高い熱伝導度によって、崩壊熱除去系は電源がなくとも動作する自然循環冷却による大気放熱が可能であり、その基本的性能を「常陽」にて実証している。JSFRでは、崩壊熱除去系を多重化するとともに、除熱源に海水を選択可能とする方式など、代替冷却手段をとり得ることで多様性を有した設計が可能である。特に、崩壊熱除去では炉心冷却材の液位確保が重要であることから、ナトリウムバウンダリーの二重化とナトリウム漏えいの早期検知の徹底、そして高応力部位等のバウンダリーの健全性確認を定期的に行う。また、配管および外管との間隙部における状態監視技術を高度化し、バウンダリーの健全性確認に対する信頼性を向上するとともに、免震技術を導入して構造物の信頼性を高めていくことが重要である。

(3) 炉心損傷時の再臨界回避(閉じ込める)

軽水型原子炉と異なり低圧であるSFRでは、格納機能確保に対する課題は、炉心損傷時に熔融燃料が大規模に凝集し、それによる即発臨界から機械エネルギーが放出され、その結果、原子炉容器上部プラグ部などからナトリウムが噴出・燃焼する可能性に対する影響の緩和である。近年の炉心損傷時に発生する諸現象や熔融燃料の運動挙動に関する研究成果によって、炉心反応度等の適切な炉心設計により、炉心損傷初期に即発臨界に至ることは回避できることがわかってきている。JSFRではさらに、燃料が熔融した場合に、上方への燃料排出を促進するダクトを内包した集合体概念(FAIDUS: Fuel Assembly with Inner Duct Structure)を用いることで、熔融燃料の炉心外への早期排出による再臨界回避技術を開発しており、炉心から排出された熔融燃料は、炉内コアキャッチャーにより分散状態を保持され、炉内で冷却される。

4. まとめ

第4世代SFRの安全性は、これまでのSFRの設計および運転経験を基礎として、設計基準を越える過酷なプラント状態(設計拡張状態)を想定しても格納容器への脅威にならずに事象終息する特性を備えることが求められる。高速炉におけるSAに関する国際的な研究開発の今後の展開と、「もんじゅ」で得られる運転実績とSAM対策やこれらの運用方策を参考に、これから開発されるSFRの安全性をより向上させていくことが可能となる。

V. おわりに

資源・環境制約の大きい我が国では、将来のエネルギー安定確保における不透明さに備え、長期にわたるエネルギー供給を担う第4世代SFRの意義と役割を適切に評価する必要がある。同時に福島第一原子力発電所のSAの教訓と技術的知見を踏まえ、第4世代炉の安全確保を信頼にたるものとするのが大切である。そのとき、ナトリウム冷却炉に固有の物理的・化学的特性や設計上の特徴を理解しておくことも重要な観点である。

第4世代SFRの安全性についての的確で正確な技術情報を発信することが大切である。「2012年秋の大会」の企画セッションの議論を取りまとめ、第4世代SFRの安全設計要求、福島第一事故の技術的知見の第4世代炉への反映と取り組み、SFRの安全確保方策とSAMの有効性について報告した。

第4世代SFRの安全性は、これまでのSFRの設計および運転経験を基礎として、設計基準を越える過酷なプラント状態に対しても格納機能を損なわず事象終息する特性を備えることが求められる。安全設計要求については本学会に特別専門委員会を設置して国内専門家の議論

を深めつつ、IAEAにおける安全基準化により国際標準としてまとめつつある。こうした活動はグローバルな安全確保に貢献するものである。さらに、「もんじゅ」で得られる運転実績とSAM対策やこれらの運用方策を参考に、次期炉の安全性をより向上させていくべく最善を務めている。

(略 語)

DEC	設計拡張状態
FAIDUS	内部ダクト付燃料集合体
GIF	第4世代原子炉に関わる国際フォーラム
JSFR	日本ナトリウム冷却高速炉
SA	シビアアクシデント
SAM	シビアアクシデントマネジメント
SASS	自己作動型炉停止系
SDC	安全設計クライテリア
SFR	ナトリウム冷却高速炉

—参考資料—

- 1) 日本原子力学会新型炉部会 <http://www.aesj.or.jp/division/ard/Material.html>
- 2) 文部科学省 http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu_2/061/giji_list/index.htm
- 3) IEA, Key World Energy Statistics, (2012).
- 4) 経済産業省 <http://www.meti.go.jp/press/2011/03/20120328009/20120328009.html>
- 5) A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, GIF-002-00, (2002).
- 6) Basis for the Safety Approach for Design & Assessment of Generation IV Nuclear Systems, GIF/RSWG/2007/002, (2008).
- 7) IAEA, IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. SSR -2/1, Safety of Nuclear Power Plants: Design, (2012).

著者紹介

- 山口 彰(やまぐち・あきら)
大阪大学
(専門分野)原子炉工学, 伝熱流体力学, 確率論的リスク評価
- 杉山憲一郎(すぎやま・けんいちろう)
北海道大学名誉教授
(専門分野/関心分野)高速炉・軽水炉の過酷事故事象と熱流動, エネルギー環境教育
- 中井良大(なかい・りょうだい)
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)高速炉安全工学, 高速炉システム設計, 確率論的安全評価
- 小竹庄司(こたけ・しょうじ)
日本原子力発電(株)
(専門分野/関心分野)安全設計・評価, 高速炉システム設計, 原子力プラントの計測・検査技術, ロボット技術

福島原発事故による長期影響地域の生活回復のための福島県民と ICRP との対話集会から

(日時 2012年11月3日 9:30~13:00 於 コラッセふくしま)

高エネルギー加速器研究機構 川合 将義

福島原発事故による長期影響地域の生活回復のための福島県民と ICRP との対話集会が福島市で開催された。対話には、避難生活をされている住民、メディア関係者、食品を扱っている人、除染に携わっている人等様々な人が現状と問題点を述べた。放射線への不安、行政の信頼性喪失が語られ、その解決について述べられた。風評被害をなくすには、福島からの積極的な情報発信が重要である。

I. はじめに

東京電力福島第一原発事故から1年9ヶ月経った。ようやく除染が進み出し、福島県の中通りに落ち着きを取り戻しつつある。しかし、モニタリングポストの0.23マイクロシーベルト/時間を超える数値には、やはり鬱陶しさを感じないでもない。そうした中、今年の8月15日の下野新聞に柳田邦男氏が寄稿した「無視される被害者の事情」の冒頭に、友人の知り合いの家の息子さんが交際していた福島出身の女性と結婚しようと思っていたところ、帰郷した際に放射線被ばくしたに違いないという理由で親が強硬に反対して別れさせたということを嘆く文が書かれていた。それと前後して環境保護に熱心なNPOの会長の、福島的女性との結婚は控えるようにという談話が出た。また、ガレキの広域処理に対する反対運動を載せる報道を見るにつけ、4月からのにわか福島県民としても何か発言すべきではと考えていた。事故後県内で3回対話集会を開いていたICRPが、今回、福島からの発信を主題として福島市で開催することを知り、それを聴講できた。以下にその内容について報告する。

II. 対話集会について

対話集会のプログラムを第1表に示す。この集会の参加者は、ICRPの委員等15名、福島の実行者11名、政府関係者8名、一般傍聴者26名、事務局10名であった。ICRP委員の出身は、11カ国であり、国際色豊かである。

まず主催者である環境省環境保健部長の佐藤敏信氏が

Report of Community Dialog Forum for Residents of Fukushima Prefecture with ICRP on Returning Life to Normal in Areas Affected with Long Term Radiation from the Fukushima Nuclear Accident : Masayoshi KAWAI

(2012年 12月30日 受理)

第1表 対話集会のプログラム

9:00	(開場)
9:30	開会
9:30~9:35	開会の挨拶 環境省 総合環境政策局 環境保健部長 佐藤敏信
9:35~9:40	専門家代表より歓迎の挨拶 クレア・カズンズ(ICRP 主委員会委員長)
9:40~9:50	話題提供:放射能汚染からの回復における 住民参加の重要性 ジャック・ロシヤール(ICRP 第4委員長)
9:50~10:30	福島からの発信 地方紙からの発信 早川正也(福島民報) 地域住民からの発信 峰須賀礼子(大熊町) 地域医療からの発信 土屋敏之(土屋病院) 除染チームからの発信 森谷賢(環境省福島 除染推進チーム)
10:30~10:45	(休憩)
10:45~12:25	ラウンドテーブル討論・福島と国際的な 専門家との対話 進行 ジャック・ロシヤール (ICRP 第4委員長) 情報提供:菊池克彦(福島民友), 大森真(テ レビユー福島), 梶原みずほ(朝 日新聞), 佐藤利松(JA 新ふくし ま), 半澤隆宏(伊達市), 野中俊吉 (コープ福島), 崎田裕子(NPO 元気ネット), 佐藤晴美(富岡町) ラウンドテーブルでの討論と会場との意見 交換
12:25~12:30	ラウンドテーブル討論を終えて アベル・ゴンザレス(ICRP主委員会副委員長)
12:30	閉会

挨拶の中で、9月に原子力規制庁・規制委員会の発足に伴って、環境省に「放射線と健康」という問題についても所管する放射線健康管理担当参事官室ができたことを紹介した。次いで、ICRP 主委員会委員長クレア・カズンズ博士の挨拶に続いて、この対話集会の議長役とも言えるジャック・ロシヤール氏が放射能汚染からの回復における住民参加の重要性について述べた。

ICRP は、対話集会で当事者が感じている不安、期待を直接聞き、置かれている状況を知ることによって、より効果的な防護策を導入する。そしてチェルノブイリの経験に学び、具体的に防護戦略や防護行動を進めるため放射線モニターを行い当事者が同じ現状を共通の言葉で理解することを勧める。対話集会は、すべてにオープンであることが重要で、メディアによる発信を期待する。対話集会は、福島で既に3回開催されていて、いわき市の「福島のエートス」という NGO の安東量子さんからの「原発事故後、福島を巡り怒りに満ちた声が多数上がりましたが、福島に暮らす住民の声は置き去りにされました。私たち住民の考えや思いは無視されたまま、皆が自分の意見を主張しようと躍起になりました。福島のエートスを立ち上げた理由は、私たちの生活を語るべきは私たち自身であると確信したからです。不安や混乱の中、ICRP 111だけが私たちの心の支えでした」という言葉が紹介され、今回の対話で福島から発言することの重要性が述べられた。

Ⅲ. 福島からの発言

1. 地方紙からの発言 早川正也(福島民放)

福島の実況が、除染、廃棄物処理、放射線教育や健康調査が ICRP が言うほどには進んでおらず、県民の意識は安全と危険の間を微妙に揺れ動いている。放射線防護についての基本的な考え方は、ある程度は認識されていると思われるが、県民の不安がそれで払拭されたかといえば、それはそうではない状況が依然として続いている。同じ家庭の中でも、子供のことを考えたらリスクはできるだけ低く抑えたいということで、子供には別の料理を作るといった家庭もある。いわゆる「科学的な安全性」がイコール安心につながっていかないというのが福島県の今の実態だと指摘した。また、NHK で放送された放射線が健康に影響があるというウクライナ政府報告書に対する ICRP の見解を訊く質問が出た。

(ICRP からは以下の回答があった。国連科学委員会は、チェルノブイリ事故放射線による一般住民の健康リスクに関して、小児甲状腺がん以外は見出されていないという報告を出しており、ICRP はこれを支持する。この国連科学委員会にはウクライナの代表もメンバーとして参加しており、同国も国連科学委員会報告を支持する立場にある。)

2. 地域住民からの発信 蜂須賀礼子(大熊町)

蜂須賀さんは、大熊町の商工会議所会長でもあり、会津若松市で避難生活をしていて、何を信じたら良いかわからないこと、行政対応の問題が指摘された。大熊町は、第一原発直近の町なのに、地域住民に対して放射線教育が全くなされておらず、被災しているいろいろな言葉、ミリシーベルトとかベクレルとか、初めて聞くような言葉で右往左往している。また、情報についても若い人は、インターネットとか書籍を通じて得ているが、中間層はそうした道具を使いこなせないのが、どうしても情報に疎くなる。ベラルーシやウクライナにも行って事故当時の話を聞いたけど疑念もわいた。ただ、どこでも子供の健康だけは一生懸命やってくださいよという言葉を受けた。難しい言葉でなく、お年寄り、70の人も80の人にもわかるような言葉で、今からの危険や健康のこと、信頼にたる情報を頂きたい。ホールボディカウンタ等も、いろいろなところにおいてすぐに検査できるようなシステムをつくってもらいたい。ウクライナ、ベラルーシでは山火事対策として、森林は除染しなくても、きれいに下刈りされ、山の手入れはしていた。福島でも森林除染しなくても、やり方はあるように思うなどの発言があった。

(これに対して、ゴンザレス氏からチェルノブイリの事故は、福島に比べて放射線の放出量や被災面積がずっと大きいこと、チェルノブイリでは子供たちが汚染された牛乳を飲んでいて内部被ばくが格段に高いため、放射線影響を比較することは難しく、福島の場合、自然放射能との比較の方がより現実的である旨のコメントがなされた。)

3. 地域医療からの発信 土屋敏之(土屋病院)

福島原発事故後の医師会等の医療体制、反省点とその後の整備状況、さらに医療関係者の県外移動のことが報告された。地震直後、混乱もあったがこの地震がおさまれば何とかなるだろうという気持ちであった。しかし、地震が終わった後の災害情報によると、現実には地震直後の予想をはるかに超えていた。特に放射線被ばくは念頭外だった。さらに悪いことに、電話、ファックス、携帯電話、インターネットなどすべて不通になり、医師会、医療機関同士の間の通信手段がなくなった。そのために患者の避難もできないでいた。120名の患者がいた双葉病院に救援の自衛隊がやってきたのも事故後の3日目で、30名ぐらしか運んでもらえず、病院が移転先の手配やバスのチャーターをし、遠回りしてやっといわき市に運んだ。そうした中で患者が約20名亡くなられた。福島県医師会には、災害に対する医療救護計画が平成18年4月に作られたが、被災状況の情報、地域の医師会とか福島県の総合医療情報システム等の情報収集ができず機能しなかった。福島県の災害対策本部のチームに救護班

はあるが、医療対応を統制できる部署(医療班)がなく、場当たりの対応しかできなかったという体制上の問題点も指摘された。放射線に被ばくした人、そして事故にかかわる医療者にとっての放射線量、それからどの程度の汚染が危険なのかといったことについても十分な知識がなかった。医療体制には、県内で対応する初期被ばく医療、2次被ばく医療、さらに放医研に送り込むといった3段階の仕組みはあったが、初期被ばく医療が可能だったのは、労災病院と共立病院の2病院だけで、県立医大を含めて他は体をなしていなかった。その反省のもとに、初期被ばく医療機関として磐城共立病院、福島労災病院が、汚染があって重度の外傷のある人に関しては福島医大、それ以外に関しては放医研で診るという体制が、それ以外の本当に細かいことに関しては、いわき市を中心とした病院が治療するところまで了解が得られた。もう一つの問題点は、病院医師数が、平成23年3月1日に比べて79名減っていること、それも期待される若手が日ごとにいなくなっていること、看護師についても500人近く減っていることであり、そのことが風評被害の一因になっている。

(ICRP カズンズ博士は、事故が起きた後の対処、また放射線に関する知識、放射線防護に関する知識、それはほとんどの医師が世界中で知らないのではないか、それゆえに医学生のころから、放射線防護、放射能について教えるべきと述べた。)

4. 除染チームからの発信 森谷 賢(環境省福島除染推進チーム)

除染についての説明があった。まず、汚染の広がりが見られ、ICRPの勧告に従い、年間追加被ばく線量が20 mSvを超える地域と第一原発から20 km以内の避難区域については国が計画をつくり除染を行い20 mSv以下に持っていき、また、20 mSv以下のところは市町村が計画をつくり除染を行い、10 mSv以下に、さらに長期的には1 mSv以下を目標とすることが示された。除染は、昨年12月に定めた除染関係のガイドラインに基づいて実施する。今年1月に公表されたロードマップでは、まず生活圏に重点を置き、住宅やその周りの農地、森林、生活道路といったところを重点に除染を進める。実際の除染に入る場合、個人の所有物である家などを対象とするため、国の法律の定めに従って線量測定や除染作業について説明し、同意を得ること、さらに除染後結果を知らせることが必要である。(このことで時間がこのほか掛っている(筆者))そして国が直接除染を行う11市町村の除染の進捗状況が示された。田村市、楡葉町、川内村、飯館村、川俣町、葛尾村、南相馬市の7市町村で国の除染計画が定められ、田村市から川俣町までの5市町村で同意取得の過程にあり、本格除染が田村市、楡葉町、川内村、飯館村で進められていることが説明された。(その後、浪江町が除染計画を公表。(筆者))第1図には、除染計画が公表された8市町村の除染事業の進捗状況を示す。各市町村の平成24、25年度事業実施区域、同意取



第1図 国が行う除染特別地域の除染の進捗

得状況や除染開始日や受注業者名等が分かる。さらに常磐高速道の除染工事を来年の6月末までに完了させることが述べられた。市町村による除染では、年間追加被ばく線量1 mSv以上の8県104市町村が重点調査地域として指定され、国と除染計画が協議された86市町村名が示された。除染に関わる課題として、除染のスピードアップ、農地除染と再生、森林除染、除染に関する技術とモニタリング技術の向上、放射線のリスクに関する情報や知見の交流、除染とインフラ復旧の協調が挙げられた。最後に、福島県と環境省で共同運営されている除染情報プラザが紹介された。ここでは、除染の進捗状況や技術等についての展示とホームページを通しての情報発信、除染と放射線の知識などの講習会の専門家派遣や、さまざまな講座や説明会などを行っている。

IV. ラウンドテーブル討論・福島と 国際的な専門家との対話

1. 真の情報を得るには、信じられる情報をもとに如何に行動するか？

崎田：混乱の要因は、行政の情報が住民にうまく伝わっていないことと思われる。また、住民説明会でも事業者が決まったことだけを伝えるだけで、住民の声が届かないということでもとまらない、運営の仕方を変える必要、また、福島以外の人たちからの誤解や風評被害に対しては、福島県の中だけではなく、日本全体でこの問題を共有し、福島の実状を学んでいくこと、そのための情報発信が必要と発言した。

佐藤(晴)：何の説明もなく避難命令が出された。最初4,000人の川内村に入ったが16,000人もの富岡町民が流入したために断られ、自力で避難する途中、有無を言わさぬ形でスクリーニングを受けさせられ、いわき市でやっと落ち着いた顛末が話された。(スクリーニングのこと、他の地区の避難者とは別の部屋を指定するなど対応ぶりを聞くと、被ばくした人に対する差別の意識を感じざるを得ない。『何も分からない状況の中で自己責任で生きてきたということで、現在、国や県の発表を信頼することができない』という言葉にはさもありなんと感じた(筆者)) そして、もう一回信頼関係を再構築するために、ICRPのような場から本当に信頼に値する情報を出してもらうことが大切と前向きな意見が出された。

野中：コープ福島では県内全体で100家庭の実際の食事の調査で放射性物質の量をはかり、さらにホールボディカウンタで内部被ばくを確認する活動、放射線の学習会のことが紹介された。その成果もあって石垣島に避難していた人が戻ってきたこと、放射線については自分の物差しをつくることが重要である。

半澤：説明会というか勉強会を何度も開いて来た。何度も繰り返すことによってコミュニティのリーダーたちと信頼関係が構築でき、その結果として仮置き場の決定

に関し市の職員が出ることなく、彼らに任ずることができた。除染も画一的な基準を作るのではなく、できるだけ上げるのだと地道に話をすることが重要と説いた。

佐藤(利)：45台のNaIシンチレーションカウンタと1台のゲルマニウム検出器を用いたJA新福島による食品の出荷前の汚染検査の努力を紹介した。4月からの7ヶ月間で2万4,000点を測定し、全部で24トンの食品を捨ててきた。結果は、ほとんど20 Bq/kgの検出限界以下で、名産の桃でも5,460個中、38個が20~50 Bq/kgだった。福島産で基準値越えが出ると福島のものから出たぞと声高に伝えられるおそれがあり、福島県民全員が気遣いしている訳で、ぜひ学校給食で使って頂くというのが安心につながる。食品の100 Bq/kgの基準は生産者や食品を扱うものには厳しすぎ、出荷制限と摂取制限で自分で納得して食べたらいいのではと感想が述べられた。(スウェーデン政府は、トナカイ肉について他の食品同様に一旦300 Bq/kgと決めたが、制限を設けなかったソ連の核実験時のトナカイ肉の汚染度合と飼育業者のことを考慮し、1987年に1,500 Bq/kgに引き上げた。さらに食習慣の異なるサーミの人には「年間の放射能被ばく値」が限度値を超えない限り、10,000 Bq/kg未満の肉なら食することを妨げないとした。(高見幸子、佐藤吉宗(翻訳)「スウェーデンは放射能汚染からどう社会を守っているのか」参照)(筆者))

大森：福島は被ばくデータは、チェルノブイリに比べると2桁も低い。内部被ばくも同様である。これまでの報道では、公正さを重視してこれだけ低いということを示すだけで安心ですと言わないで、判断は視聴者任せになっている。放射線の議論も両論併記だったりして、そのことが混乱を招いている気がする。また、除染によって良くなったという福島の良い記事があまり外に出て行かない。この春に福島市内で2年ぶりに小学校の運動会があった。それをニュースとして中継放送したらキー局から「なぜマスク姿を映さないんだ」といつてきたので、思わず怒鳴ってしまった。中央は、そうしたイメージがあるようでと地方局の悩みが打ち明けられた。

菊地：除染計画や除染についての住民の自助、住民参加、自立のことが示されているが、今後除染の必要性、検査の重要性について住民の方たちをもっと引き寄せる方策が必要に思われる。除染や食品検査は業者任せになってしまう。そこに不安が生じる。放射線検査を自分でやれば、納得できる。そのため、お母さん方にそうしたことの勉強の機会を与えられるように情報発信に工夫が必要である。

2. 対話

ロシャル：いろいろな意見があったが、こと放射線についての不安を軽くするには、状況を少しずつよくしていくことが大事である。数字は行動を指導する意味で

役に立つかもしれないが、最終的には状況に関して当事者がどう思っているかということが大事である。また、佐藤晴美さんのように人に会って、話し合っ、自分で情報を取り出すということ、一緒にやる、共助が大事である。さらに福島のメッセージを外に出すということも大事であると要約し、対話に移った。

(被ばく影響についての対話)

メンツェル：100 mSv のリスクとされる0.5%は、がん発生率が(被ばくのない場合の)40%から(100 mSv 被ばくした場合の)40.5%ぐらいにしか上がらないということであり、その根拠も示しうる。それ以下については、しきい値のない比例モデルがICRPの安全側に立った考えである。また、自然放射能や医療被ばくもあり、福島原発の被ばくは、それに追加的な量であって、ゼロから始まる訳でない。

蜂須賀：甲状腺がん検査での30何%もの人に嚢胞が見つかったことについて、不安がある。

土屋：影響を及ぼすほどの放射線を浴びたとしても、この短い期間に甲状腺に異常を呈することはないと思う。

丹羽：今の甲状腺検査は、非常に進み、非常に小さな嚢胞をもみつけれられるようになった。それが見かけ上高い率となったが、嚢胞は通常の人々にも存在するもので、異常とはされていない。甲状腺がんの成長は遅いので、2年後さらにその後の検査でわかる。

(放射線教育)

崎田：原子力発電所の立地の地域での放射線教育がなく避難先に情報が届いていないことに対しては、交通整理して改善することが重要。

ゴンザレス：ICRP委員は、放射線の医師、科学者で放射線防護の専門家であり、社会的な助言をすることができない。科学的な根拠に基づいて理解を深めていただくお助けをする。

カズンズ：今回の対話を通じて、ICRPの助言や勧告は、一般の方たちがわかるように書き直さなければいけないことが分かった。

ロシャル：ICRPは、科学的な見地と専門家の見地から問題を見る。同時に、いろいろな立場をとる専門家、科学者がいる。科学者の意見がほとんどであるが、行動の観点からの意見もある。例えばお母さんたちがいかに安心できるか、また農民の方たちがどうやったら安全なものを出していることを確認できるかということへの助言である。

3. 追加的コメント

(要望)

野中：今回の事故の被害者は、県民である。飛行機に乗ったらいくら被ばくするからそれと比べて大丈夫だと

かという類いの話は、大部分のお母さんや避難していても十分な補償が得られていない人には受け入れがたいと思われることを理解願いたい。

佐藤(晴)：今回の甲状腺検査で1/3に嚢胞が発見されたことは、福島県だけの問題なのか、その年齢全体に見られることなのかということが判断できるだけの積み重ねを全国的な規模で国として取り組んでいただきたい。

早川：ウクライナの報告書への見解をICRPのホームページで日本語の通信欄で分かりやすく載せていただきたい。

佐藤(晴)：メディアには、期待に添う発言部分のみを取り上げるのではなく、フラットに報道していただきたい。特にローカルであればあるほど、県民に寄り添えるような情報を発信していただきたい。

大森：ローカルの地域の報道担当として、求められる避難者像を作りあげないで、きちんと本当に結果的に被害のないような報道というのをどうすればいいかというのは常に考えなければならないと肝に銘じて思っている。

(お母さんの心配を除くために必要なこと)

崎田：母親は、家族の食べる食べ物に心を砕いている。若い人は、将来子供を産んだときに自分が産んだ子供に影響が出ないのかどうかを心配している。そういうことに情報をちゃんと出すこと。(母親は、事故直後子供に被ばくさせたことを悔いていて、追加的な被ばくを避けなければと不断に心を砕き、放射線への不安も大きいと思われる。(筆者))

佐藤(晴)：一般の母親は、そもそも基準値を判断する知識を持たないので、事故前後の食品の線量、現在はこれであるという物差しを示してほしい。

野中：重要なのは、除染であるが、体内被ばくにおいてベクレルとシーベルトの関係として、7万ベクレル食べると年間1ミリシーベルトになるといったことを生協の学習会で教える。この関係を用いると山のキノコを30ベクレルを食べた場合、0.4マイクロシーベルトと計算できる。(7万ベクレルでなく、4.5万ベクレルが正しいとされる。(筆者))

半澤：説明会を何度もやっているが、皆の知識レベルも上がるため、初めての質問に出くわすので、安心を得るためには、何回もそういった情報を出して納得することだと思う。

佐藤(利)：甲状腺検査で子供に異常が見つかる母親が非常に心配する。そうしたことが重なると気持ちが落ち込んでしまう。そういった疑問点がある母親に対するケアが非常に大切で、そういう同じような境遇の方が安心さを口コミでコミュニケーションできるような環境作りが必要。農業者団体としては、農産物をもう徹底的に測って情報を提供することが一番。

土屋：いろいろな方が質問に来られたときにきちんと

答えられるような知識と技術を持ちたい。

蜂須賀：被災者の健康管理を行うための健康管理手帳を国で法律を制定して作って頂きたい。それには、自分がどこでいくら被ばくしたかも記録する。

大森：説明会については、10人単位ぐらいまでの車座集会みたいな形で、そこで詳しい方が説明して相談に乗るといった体制をつくるべき。

菊地：専門的な知識を理解する前提は、やはり信頼。新聞も今回のことで信頼を失った時期があり、その溝を埋めていく努力が必要。

ロシャル：今回の対話集会で福島への心配が分かった。今後、その不安をなくすために役立つ情報を提供できればいいと思う。ICRP の中でもいろいろ話し合いたい、次のミーティングのときには少し前進するようなお話ができればと思っている。

V. ま と め

ICRP との対話集会に初めて参加した。今回は、原発事故による避難住民の生の声を聞くことができた。避難における情報不足、その後の放射線を巡る議論や行政のみで決めた除染計画、除染等の遅れもあって行政への不信感は消えない。住民の信頼を取り戻すにはどうするかについていろいろと意見が出された。放射線については、福島への汚染状況は原子炉中の黒鉛が燃えて核燃料物質まで放出されたチェルノブイリに比べればといった意見もある。水田や果樹園の除染が進み主要な作物は新しい食品の基準を満たすようになった。それでも、中央のメディアはいまだ被災地のイメージを押し付けてくる。それゆえにこそ福島からの発言が重要に感じられ

た。避難住民の要求を聞き、また寄り添った情報発信が急務である。帰還困難区域等の高濃度汚染地帯や森林の除染については、土に吸着されたセシウムが水に溶けないことに着目してNPOが試行しているという「より深い表土剥ぎと大穴への除染土の地中保管と大穴からの無汚染土による覆土」で放射線の問題解決と仮置き場の負担を軽減するなどして、除染が今以上に進むことを期待したい。そのためには、住民の理解が必要であり、欧米で取られている Stakeholder Dialog「ステークホルダー(為政者、事業者)と住民とが平等に発言できる車座的な対話で、全員の合意を目指す」が有効に思われる。また、原子力学会および会員諸氏には、福島に対してより緊密な支援と日本全体への放射線についてのリスクコミュニケーションによって風評被害をなくすことに協力願いたい。なお、原子力学会のクリーンアップ分科会で立ち上げた福島特別プロジェクトが、プラザ専門家として登録された多数の学会員とともに除染情報プラザに協力していること、プラザのホームページ <http://josen-plaza.env.go.jp/> には、除染についての最新の情報が載せられていることを付記する。また、この対話集会の動画が次の URL で見られる。<http://togetter.com/li/400999>

著 者 紹 介



川合将義(かわい・まさよし)
高エネルギー加速器研究機構 名誉教授
(専門分野/関心分野)放射線遮蔽, 核破砕
中性子源と材料, 核データ評価/放射線影
響, がん治療, 除染技術, 材料劣化

地熱発電の現状と今後の展望

地熱エネルギー開発の歴史と問題点

産業技術総合研究所 當舎 利行

2011年3月の東日本大震災とそれに続く原子力発電所の津波被害による損傷を受けて、再生可能エネルギーの導入普及が進んでいる。地熱発電は、昼夜や天気の影響を受けず、24時間安定した電力を大規模に供給できるベース電源として有望であり、石油の代替エネルギーとして二酸化炭素の排出の少ない電源として考えられ、2度の石油危機を経て発電所が各地で建設された。しかし、1997年に国の政策的な支援を受けられなくなったことから急速に開発の機運がしぼみ、1999年以降、新規の発電所は建設されていない。地熱発電は、火力や原子力発電と同じように蒸気でタービンを回転させて発電を行うが、地面からの蒸気を用いることから低温低圧であるなどいくつかの差異がある。また、地下資源であることから開発期間が長くかかることや開発にあたって温泉への影響が懸念材料となるなど、地熱発電特有の問題点もある。地熱発電の導入経緯や特有の技術開発、今後の見通しなどについて解説する。

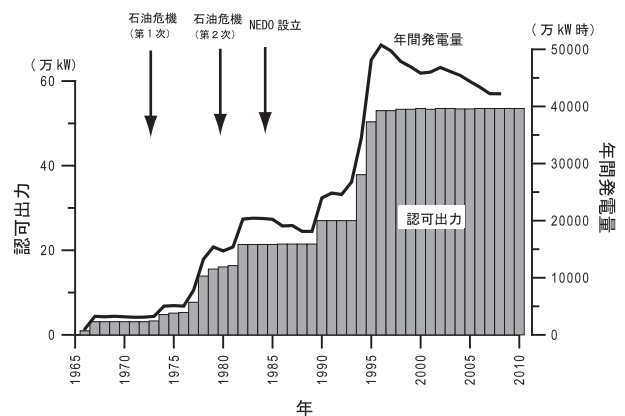
I. 我が国における地熱発電導入

1. これまでの導入経緯

1973年の第1次オイルショックは、日々の生活が石油に大きく依存していることを知らしめた。政府は石油に代わるエネルギー(石油代替エネルギー；代エネ)の開発を目指して、通商産業省にサンシャイン計画推進本部を設立して技術開発に努めるとともに、1985年に新エネルギー総合開発機構(NEDO)を設立して代エネの普及促進を図った。この代エネとしての普及を図る国の積極的な導入策により、八丈島地熱発電所が1999年に運転を開始するまで、発電容量は増加の一途を辿ったが、1997年に「新エネルギー利用等に関する特別措置法(新エネ法)」が制定されたものの、成熟した発電方式であるとの理由から新エネ対象外とされたことや電力の自由化を受けて、価格面で火力や原子力発電と競争を強いられたことから、急速に地熱開発の芽がしぼみ八丈島地熱発電所以降、新規の地熱発電所は建設されていない(第1図)。

2. 今後の導入見込み

地熱発電は24時間稼働可能な発電であり、安定した電力供給が可能のためベース電源として利用されている。しかし、地下資源を利用することから資源量の確認が必要で、計画から発電開始までのリードタイムが長いことが普及の足かせになっており、導入普及策の開始から10



第1図 地熱発電認可出力の増加

年以上の月日が必要とされる。2012年12月現在、秋田県湯沢市にて定格出力42,000 kWの山葵沢発電所(仮称)の建設が進んでおり、環境影響評価が実施中となっている。この発電所は、2011年3月の東日本大震災以前から建設に向けた資源量調査などが実施されてきており、停滞している地熱開発の中で久々の発電所建設となっている。このほか、湯沢市の他地点や岩手県八幡平市、北海道札幌市などで発電所の建設に向けた企業調査が進行中であるものの、発電開始には、まだ時間がかかる状況である。

一方、温泉として湧出している熱水や蒸気を利用して小規模の発電を行う計画も各地で進行している。温泉地での地熱資源の利用は、これまで比較的大規模のホテルにて行われていたが、廃熱利用のコジェネ発電機が実用化されたことから、より小規模の地熱発電が可能と

Present Situation and Future Prospects of Geothermal power Generation in Japan: Toshiyuki TOSHA.

(2013年 1月4日 受理)

なった。長崎県雲仙市の小浜温泉では、未利用の温泉熱水を利用して、70 kW 級の発電機を3台導入して発電を行う計画が進行している。このような小規模発電を推進するため、20 kW や200 kW などの小型発電機の開発も進んでおり、より小規模の温泉を利用した発電の計画が各地で発表されている。

II. 地熱発電の技術的特徴

1. 資源調査

地熱発電における調査は、発電所建設のための立地調査よりも地熱資源を探し出す調査に時間が掛けられる。地球は、中心に向かって高温になっていることから熱は深部には存在する。しかし、その熱を輸送する媒体(水)やその媒体が留まっている地質構造(貯留構造)も必要であり、地熱開発では、熱、水、貯留構造という地熱の三要素の存在可能性のある地域を調査することになる。

オイルショックの後、NEDO は地熱開発促進調査として全国的な地熱資源調査を推し進めた。このような国による資源の調査を踏まえて、企業の調査が行われ、この段階で発電所建設のための立地調査や環境影響調査が実施される。現在、建設が進んでいる山葵沢発電所も地熱開発促進調査の調査結果が基礎となっている。

2. 地熱貯留層(坑井掘削)

地熱流体が賦存している地熱貯留層は、地表からの探査で概略を調査することができるが、生産能力を推定して発電所の出力を決めるためには、地熱流体を噴出させて噴気圧力や温度を測定する噴気試験を実施して評価する必要がある。このような調査のための井戸を掘削するほか、発電のために蒸気を生産するための蒸気井や発電に不要な熱水を地下に戻す還元井が地熱発電所の建設に先立って掘削される。この坑井の掘削費用は、建設費用の中で4分の1程度が必要とされている。ちなみに、3万kWの地熱発電所の建設モデルケースでは、発電所建設に183億円、坑井の掘削に68億円、その他調査や試験に8億円、合計で259億円と試算されている¹⁾。

坑井の掘削では、石油や天然ガス掘削の技術を用いており、超硬合金のチップを植え付けているビットと呼ばれる掘削機材を掘管の先端に取り付け、掘管を回転させて掘削を行う。ビットは、掘削によりチップが消耗することから掘削の途中で交換を行う。このビットの交換では掘管を引き上げて、再び下ろすことから高温地帯での掘削では、ビットに使われている耐熱性の低い部品が劣化する可能性がある。このため、地熱の掘削では、掘管の交換時も坑井の冷却が可能である掘削装置の採用など温度への対応がなされている²⁾。

3. 地熱蒸気

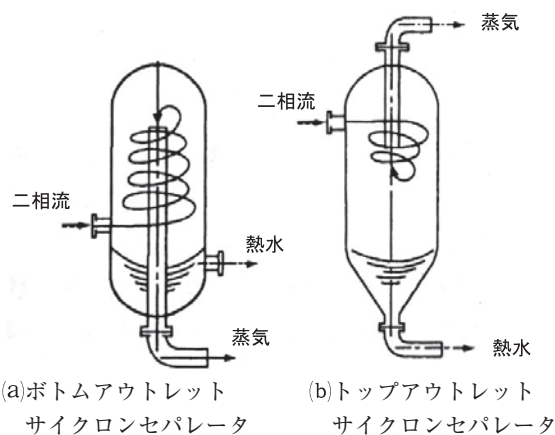
地熱発電は、蒸気でタービンを駆動させ同じ軸で回転

する発電機を回すという火力や原子力発電と同様の原理で発電を行っている。蒸気は、ボイラの代わりに貯留層までの坑井(生産井)を掘削して地熱蒸気を利用している。この貯留層は、蒸気のみが噴出する岩手県松川地熱発電所の貯留層もあるが、我が国の多くの貯留層は、熱水と蒸気が混ざり合った二相流状態の地熱流体を産出する。蒸気量に対する熱水量の質量割合を気水比と呼び、我が国の地熱発電所では3~4の値を取る。

二相流状態の地熱流体から、蒸気を分離する装置が円筒の形状をした気水分離器であり、高速で噴出する二相流状態の地熱流体を周に沿って流入させる。分離器内に高速で導入された二相流のうち、液体は遠心力により容器の外側に移動し、容器の中央部には蒸気が残ることから、この蒸気をタービンに導く(第2図)。生産井から採取した地熱流体は蒸気を分離した後、還元井にて地中に戻される。このように、地熱発電では、地中の蒸気を取り出して利用することから、温度・圧力は地熱貯留層ごとに異なるが、一般的には、低温、低圧である。

二相流地熱流体から蒸気を1回だけ分離してタービンを回す方法をシングル・フラッシュ方式発電と呼び、我が国も17地熱発電所に設置されている20発電機のうち、15基がこの発電方式を採用している。また、分離した熱水の温度が高い場合には、ダブル・フラッシュ方式発電と呼ばれている再度蒸気を取り出すこともあり、2発電所3基がこの方式を採用している。

地熱流体の温度が低い場合には、タービンを動かす蒸気量が確保できない場合もあり、熱交換器を通して代替フロンなどの低沸点媒体を気化させ、この媒体でタービンを回転させるバイナリー・サイクル発電もある。発電所の建設が進んでいる長崎県小浜温泉でもバイナリー・サイクル発電機が採用されている。この小型発電については、ボイラ・タービン主任技術者や電気主任技術者の専任免除などの規制緩和が実施されている。



第2図 気水分離器(セパレータ)³⁾

4. 地熱発電タービン

地熱では、背圧式タービンを採用することもできるが、蒸気圧力が低圧であることなどから蒸気が低い圧力まで膨張をする復水式タービンが用いられており、典型的な地熱蒸気の場合、タービン内部での圧力差は背圧式の約2倍になることから、半分の蒸気量で同じ出力が得られる。

火力・原子力発電では、豊富にある海水を冷却水として利用し、冷却水が復水器冷却管内を通り、タービン蒸気とは直接接触しない表面復水器が用いられるが、地熱発電では構造が簡単で熱交換にも有利な直接接触復水器が使われている。地熱発電所は、山間部に立地していることから、この復水器で使用された温度の上昇した冷却水を再度循環して使用する。この冷却のための冷却塔は、地熱発電所の母屋に比べると大きく、冷却のため蒸気が上空にあがることが多いので、多くの場合、遠方から目に見える。

地熱発電では地中の蒸気を利用することから、蒸気に混入している二酸化炭素などの凝縮しない気体(非凝縮ガス)や二酸化ケイ素、炭酸カルシウムなどのスケールと呼ばれる鉱物成分を取り除くことが必要となる。

5. 保守点検

地下からの地熱流体には、発電や環境に影響を及ぼす物質が混入している場合がある。ヒ素などは気水分離器の中で熱水中に残ることから、還元井にて地中に戻すことにより処理をするほか、脱ヒ素装置にてヒ素を除去して熱水を利用することもある。

復水器内の圧力に影響を与える二酸化炭素など非凝縮性気体は、火力・原子力発電に比べると多量に含まれている。ほとんどの地熱発電所では、これらの気体は1%以下であるが、3%程度含まれている地熱発電所もある⁴⁾ことから、ガス・エジェクタなどのガス抽出機が必要であり、蒸気を吹き付けることにより非凝縮性ガスを吸引してガスの抽出を行う。吸引を行うための蒸気は、タービンを回す蒸気を用いることもあり、この場合は、タービン圧を下げることもなるので、電気でモーターを回して吸引する抽出器も用いられている。

また、地熱発電では、温度の低下や圧力の減少などに伴ってスケールと呼ばれる鉱物の沈殿が坑井の中や蒸気の輸送管など様々なところで発生する。坑井内のスケールは、浚い(さらい)とよばれる掘削器具を用いて鉱物となったスケールをそぎ落とす方法をとるほか、還元井ではスケールが析出しない弱酸性の条件にするため塩酸などにてpHを調整するなどの方法がとられることもある。また、発電装置においては、タービンノズルから出た蒸気が膨張をするため、タービン翼にスケールが析出する場合があります。タービンノズルの通路が狭まることや、ローターなどの回転部とノズルの間に析出して回転

翼の回転を妨げる事態が発生する。このスケールを防止するため、主蒸気量の2%ほどの水を噴射して、その水滴により付着したスケールを洗い流すという翼洗浄装置などの付加装置が開発されている。このほか、地熱蒸気には硫化水素(H₂S)などの腐食気体が含まれていることもあることから、腐食を防止するなどの材料の選定が必要となる場合もある。

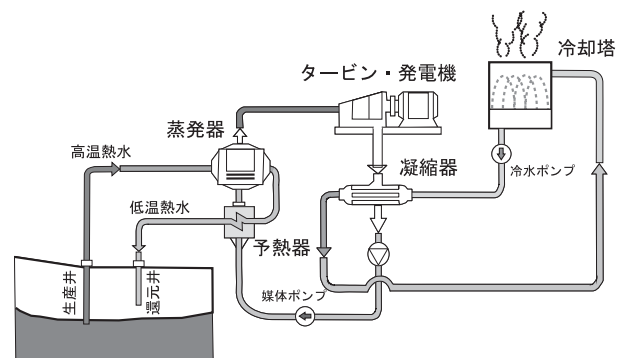
Ⅲ. 最近の技術動向

1. バイナリー・サイクル発電

気水比が大きい地熱流体は、同じ温度の蒸気に比べて比エンタルピーが小さく、蒸気タービンを回すだけのエネルギーが得られない状況が発生する。このような地熱資源は、低沸点媒体に熱交換し、この媒体の蒸気でタービンを回すバイナリー・サイクル発電方式が利用できる(第3図)。

低沸点媒体としては、過去にはフロンが用いられてきており、我が国の地熱技術開発にてもこの媒体を用いたバイナリー・サイクル発電技術が開発されてきた。しかし、フロンはオゾン層を破壊して地球温暖化をもたらすことから全面的に規制されるようになり、地球温暖化係数の小さい代替フロンやペンタン、ブタンなどの炭化水素系媒体、水とアンモニアの混合物が開発されている。なお、代替フロンや炭化水素系媒体における熱サイクルを有機ランキンサイクルと称し、水とアンモニアの混合物での熱サイクルはカーリーナサイクルと呼ばれている。地熱流体の温度が100~150℃では有機ランキンサイクルが、70~100℃ではカーリーナサイクルの方が発電効率は高くなっている。

このバイナリー・サイクル発電は、どのような気水比を持った地熱流体からも発電ができることから年々増加の一途をたどっており、米国では地熱発電の約1/5の656 MWの発電設備がバイナリー発電にて建設されている。我が国では、現在は、八丁原発の2 MWの発電設備のみであるが、温泉の余剰熱水を利用した発電には、バイナリー・サイクル発電が使用される予定であり、今後、増加することが予想されている。



第3図 バイナリー・サイクル発電
(有機ランキンサイクル、空冷式の場合)

2. EGS 発電技術

EGSとは、Enhanced(ないしはEngineering)Geothermal Systemの略であり、人工的な作用の貯留層への適用によって自然状態よりも多くの地熱エネルギーを取り出す技術を指す。このEGSは、人工地熱システム、強化地熱システム、地熱増産システムなどの日本語訳を用いている場合もあるものの、確立した日本語訳がないことから、EGS技術として記載されていることが多く、従来の地熱発電所の熱水や蒸気を生産する貯留層への適用から、全く自然の地熱系が存在していない地域での地熱エネルギー利用など非常に幅広い技術の総称として用いられている。

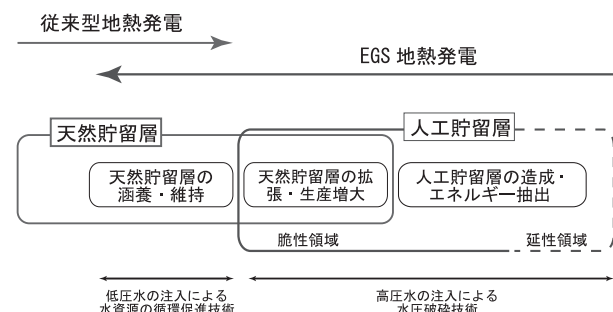
地熱エネルギーを人工的に取り出す技術は、従来から高温岩体発電技術として発展してきたが、EGS技術は、新たな人工貯留層を作る高温岩体発電技術を含み、スケールなどの影響により生産能力の低下した地熱貯留層や十分な蒸気の生産ができない従来型の地熱資源に対して貯留層を活性化させる技術も含んでいる(第4図)。

このEGS技術を用いて、フランスのストラズブルグ市郊外のソルツにて地熱発電が実施されているほか、オーストラリアでも同技術による地熱開発が進められている。従来の地熱開発では、地熱の3要素の全てが存在していることが必要であり、このため開発地域が限定されるとともに地熱開発の経済的リスクを増大させてきた。EGS技術は、この欠点を補って、従来では地熱発電が望めなかった地域でも発電を可能とする技術であるが、幅の広い概念であることから、どのような意味にて使われているのかに注意をする必要がある。

IV. 今後の課題

1. 規制緩和

地熱発電所の建設には、自然公園内での開発規制のほかに、開発対象が決まって開発計画が立案された後で



脆性領域：岩石に応力が加わった時に、割れ目の急速な進展によって永久歪を生じないうちに破壊するか、生じてもごく小さいうちに破壊する性質を持った領域。浅く温度の低い地下はこの性質があり、岩石破壊により地震が発生する
延性領域：岩石に弾性限界を超えた応力が加わった時に、破壊することなく永久変形を起こす性質を持つ領域。地下深部の高温の地下では、岩石がこの性質に移行する。

第4図 EGS技術の範囲

も、環境影響調査、用地取得、準備工事着手、営業運転時などでいくつかの法律による許認可申請などがある。このような許認可は大きな発電所を念頭に制度が作られていたこともあり、中小規模の発電にはそぐわない点が指摘されている。

2012年4月3日に「エネルギー分野における規制・制度改革に係る方針」が閣議決定され、公園での開発や保安林における許可基準の見直し、地熱発電所からの熱水の多目的利用、ボイラ・タービン(BT)主任技術者の外部委託などが規制緩和の対象として掲げられた。BT主任技術者については、200kW以下の発電規模で圧力が1MPa以下のボイラについては外部委託が認められることになった。これにより、温泉発電などの小規模の発電について人件費の節約などコストの削減につながると期待されている。

一方、1997年6月に成立した環境影響評価法では、環境影響評価を行わなければならない第1種事業は、火力発電の場合150,000kW以上、水力発電の場合30,000kW以上であるが、地熱発電は10,000kW以上であり、環境影響評価を行うかどうかのスクリーニングを行う第2種事業も7,500~10,000kWとされている。また、都道府県の条例によって、更に小規模なものも環境影響評価の対象となる場合もある。環境影響評価は、重要な手続きであるものの、火力や水力に比較してより小規模なものまで対象となっており、事業者の負担が重いという課題も指摘されている。また、評価スケジュールも、最低4年が必要となっており、従来までの電源開発調整審議会にて行われていた評価が2年程度で終了してきたのと比べて、より長い時間が必要となっている。地熱発電事業は、開発のリードタイムが長いことに加えて、初期投資額が大きく回収まで時間がかかる事業であるため、発電開始までの時間を短縮することが、コストの低減に直接つながる。このため、影響評価スケジュールの中で手続の期間短縮が開発業者からは望まれている。

2. 固定買い取り価格制度(FIT)

「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」が2011年8月26日に成立した。この法律による買取制度は、既存の発電に比較して価格競争力が弱い再生可能エネルギーに対し、固定的な買取価格を設定することで導入する企業の長期的な収支の予想を可能にして経営支援することを目的としている。制度の導入にあたっては途中段階での見直しが必要とされているが、大規模な見直しは制度そのものの意義をなくすることから、ある程度の継続性も必要とされている。我が国では、固定価格の期間と値段は年度の初めに決めることになっているが、施行後3年間は例外的に利潤に配慮することとなっている。

この買取価格の決定にあたっては、現状の建設ならび

第1表 火力発電プラントと地熱発電プラントの相違点⁵⁾

項目	火力発電プラント	地熱発電プラント	備考
発電所立地条件	大量の冷却水取得と燃料貯蔵上広いスペース確保が必要。送電系統上便利な場所を選定できる。	自然公園近傍が多く、ほとんどの場合送電系統より外れている。冷却水は少量の河川取得でまかなえる。	温泉や観光地に対する配慮 冬期の寒冷化、積雪に留意
構内配置及び建屋	自由設計。ただし、合理的な配置が原則。	狭隘な平坦地。蒸気井配置および風向等を考慮し設計する他、建屋等は自然景観に調和した外観が要求される。	冷却塔の適正な配置や森林に留意が必要。
プラントサイクル	復水タービンを用いた再熱再生サイクル。 熱効率40%程度。	復水タービンを用いたオープンサイクル。 熱効率15%程度	
蒸気条件	蒸気圧力・温度といった上記条件はタービン出力、燃料等の条件下で最も発電原価が安くなるように選定。 圧力19～23MPa	蒸気井の特性(圧力-流量特性)を考慮して圧力を選定するが、低圧のため取扱は容易。温度は得られるままのもの(熱水型は飽和温度)。圧力0.2～0.7MPa	蒸気井の特性は経時変化するため、長期特性・ノズルへのスケール付着を考慮し若干低めの圧力に設定。
蒸気輸送装置	蒸気源がボイラであるため、蒸気ラインは最小限の長さで設計できる。	蒸気井が散在し、大口径長距離の蒸気輸送管が必要(熱水型は二相流輸送管を併用)。	
タービン	高圧、中圧、低圧それぞれのタービンを組み合わせて有効に蒸気を利用。	事業用火力の低圧タービンだけで発電する形なので、出力の割にタービンは大型となる。	単機容量の決定は地下資源量の適確な把握と開発ピッチ等を総合的に検討することが必要。
復水器	一般に復水はボイラ給水として使われるので表面式復水器を採用。	復水回収の必要が無いため、構造が簡単で効率が良い直接接触式復水器(ジェットコンデンサ)を採用。	
ガス抽出装置	起動時以外の抽出ガス量は少ない。基本的に真空ポンプを使用。	抽出ガス量は火力の100～500倍。一般的に蒸気エゼクタを使用。	
冷却水装置	1次冷却水(海水)と2次冷却水(ろ過水)に区分され、添加剤により配管腐食防止を図る。	地熱地帯は山間に位置することが多いため冷却塔を設置し、復水(蒸気凝縮水)を使用。	
使用材料	蒸気条件を高くし高効率化を図るため高温耐熱材を選定。	地熱蒸気中に含まれる腐食性ガスに配慮し材料選定。	塗装・コーティング等による腐食性ガス対策も必要。
制御・保安装置および制御方式	ボイラ・タービンの複雑な協調制御を行う常時監視制御。インターロックは極力プラント停止を回避。	タービン制御のみで負荷運転あるいは圧力運転が基本の遠隔常時監視制御。インターロックは積極的に安全停止(特に遠隔監視時)。	
電気制御設備	コントロールバルブはほとんどが空気式。電気設備は防じん、耐塩害が基本。	コントロールバルブは電動弁。電気設備は防食、硫化水素対策が基本。	ガス絶縁変圧器、空調用硫化水素除去装置の採用。

に発電コストを参照とし、地熱発電の場合、設備容量が15,000 kW 未満の発電に対しては、買取価格を42円/kWに、それ以上を27.3円/kWとされた。一方、買取期間は発電機などの主要設備の法定耐用年数である15年とすることになった。この価格設定では、内部収益率(IRR)は税引き前で13%になり、地下資源の利用である地熱発電に配慮されたものとなっている。

3. 環境モニタリング

発電所の運転開始前の環境影響評価が終了して、運転が開始されても地下水位の観測や周辺温泉の湯量や化学成分の調査などのモニタリングを実施している。地熱資源が断層帯に沿って賦存していることや、岩石内の空隙に入っている水の圧力変化に伴って滑りが発生することなどから、地熱地帯では微小～極微小地震が発生する可能性がある。しかし、地震がほとんど観測されない地熱発電所もあれば多くの微小地震が観測される地熱発電所もある。地熱活動に関連した地震の中には、発電所の定期点検などの坑井の操作時に発生する地震があるが、坑

井の操作方法の改善により回避することが可能である。また、日本は、プレートの沈み込み地帯にあり、地熱活動に関連しない広域的なプレート運動に起因する地震も発生する。このため、地熱発電所周辺で発生する地震については、地震観測網を発電所にて独自に設置するか、すでに他の目的にて設置されている観測システムのデータを再解析するかを行って評価を行っている。

4. 社会受容性の向上

地熱発電は、開発までのリードタイムが長いことや自然公園内に多くの資源があるという問題点がいくつかあるものの、地熱資源は、温泉の資源と同様に地下の熱や熱水を利用することから、大規模な地熱開発により温泉資源への影響が懸念材料となっている。温泉の帯水層と地熱開発のための帯水層は深さが異なるものの、両者の関係については不明瞭の場合が多い。両者の間に熱水を遮断する地層(キャップロック層)が大きく広がっている場合には、両者に熱伝導による関係はあるものの熱水のやりとりはないと考えられる。一方、キャップロック層

が所々途切れている場合には、両者に熱水の需給関係がある可能性がある。温泉への影響を評価するためには、温泉のモニタリングが不可避であるが、モニタリングを実施する上でも調査を行って温泉帯水層ならびに地熱貯留層を含むモデルの作成が必要である。モニタリングデータをモデルに加味してモデルの修正を行い、モデルを利用して影響を予測することで、温泉帯水層と地熱貯留層との関係性を評価し、地元の合意形成を得る必要がある。温泉も地熱も資源の乏しい我が国において重要な資源であり、社会的な合意を形成して地熱の開発を進めていくことが求められている。

V. おわりに

地熱発電の歴史と今後の見通しについて略述した。地熱発電は、1966年以降半世紀近くの歴史があるものの国の支援策がなくなったことにより急速に開発が停止してしまった。この影響は、新たな地熱発電所の建設が行われなかったことに留まらず、大学での教育がなくなったり、企業での技術の伝承が滞ったりすることの原因にもなっている。東日本大震災の後、再生可能エネルギーとしての地熱発電に注目が集まっており、FITの成立とともに各地で地熱発電への動きが始まっている。しかし、地熱発電の開発には10年以上の月日が必要であるこ

とから、現在開発中の山葵沢発電所(仮称)以外の発電所の具体的計画はまだ発表されていない。一方、未利用の温泉資源での発電は、200 kW以下であればボイラ・タービン(BT)主任技術者の専任義務が外れているなど導入の促進が図られている。また、小規模発電は、社会的合意も得やすい状況であることから、これらの発電設備の建設が進んでいくものと推測されている。

—参考資料—

- 1) コスト等検証委員会報告書, 2011.
- 2) 齋藤, 佐久間, 石油技術学会誌, 65, 2000.
- 3) 地熱発電の潮流と技術開発, S&T 出版社, 2011.
- 4) 野田, セミナー「地熱発電所の維持管理における地化学の活用について」, 地熱調査会, 1997.
- 5) 地熱発電必携, 火力原子力発電技術協会, 2006.

著者紹介



當舎利行(とうしゃ・としゆき)

産業技術総合研究所

(専門分野/関心分野)地球物理学/地熱エネルギー利用事業, CCS事業, 社会受容性, リスクコミュニケーション



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—
(2月8日第8回編集幹事会)

【論文誌関係】

- ・英文誌の出版状況が報告された。4月号入稿済み。Web投稿・審査システムにより1月期に20論文が投稿された。
- ・英文誌の50周年記念 Review 論文の進捗状況が報告された。未投稿の2件につき、督促することとした。
- ・二重投稿に関しての匿名告発について、対応を決定した。
- ・来年度の編集委員会分野別の委員数を仮決定した。各主査に通知して、候補者選定を依頼することとした。
- ・添削業者による無料英語論文書き方セミナーを試験的に東京で開催することを了承した。

【学会誌関係】

- ・委員長より前回開催の理事会の報告があった。学会誌3月号に定款改定案についての意見募集の会告を掲載することとしている。また、新年度予算については3月の理事会で審議決定される旨の報告があった。

- ・学会誌の装丁を依頼している鈴木 新氏から、次年度の表紙案の提出があり、会議参加者で確認した。
- ・3月号以降の記事案について、担当委員から企画中または打診中の記事の進捗状況について報告があった。5月号以降は記事数が少ないので、今後も引き続き記事企画を行っていく。
- ・3月下旬に開催される春の年会の企画セッションの記事候補の進捗状況を確認した。
- ・電中研・小山氏より、記事提案書について説明がなされた。出席した編集委員から内容や記事の構成についてコメントがいくつか出た。これらのコメントを取り入れた提案書の再提出を依頼した。編集委員会連絡先<<hensyu@aesj.or.jp>>

超高感度 HARP 撮像管の開発と応用

放送・深海探査・X線医療診断研究での活用

東京電機大学 谷岡 健吉

筆者は1985年、NHK放送技術研究所において、撮像管用のa-Se(アモルファスセレン)の光導電ターゲット(光電変換膜)を約 10^6V/m という通常の約10倍の強電界で動作させた場合、アバランシェ増倍(電子なだれ増倍)現象が安定に連続して生じ、画質が良好な状態で極めて高い感度が得られることを見いだした。これを基に、HARP(ハーブ)とよばれる超高感度・高画質撮像管を発明、実用化するとともに、今日までその高性能化を図ってきた。このHARP撮像管は、放送用のみならず、深海探査やX線医療診断などの種々の分野の先端研究で活用されている。

I. はじめに

レンズなどを通して入ってきた光学像情報を映像の電気信号に変換する役目を担う電子部品は撮像デバイスとよばれる。カメラでは、使用する撮像デバイスの感度が高ければ高いほど、暗い被写体でもより鮮明な映像として捉えることができる。このため、長い歴史を持つ撮像管やCCD(電荷結合素子)等の撮像デバイスの研究においてもその高感度化は常に最重要テーマとして位置づけられてきた。筆者もNHK放送技術研究所で、1980年代の初頭に超高感度と高画質の両立を可能とする新たな撮像デバイスの研究に着手した。その結果、1985年、撮像管のa-Se光導電ターゲットを約 10^6V/m の強電界で動作させた場合、アバランシェ増倍現象が安定に連続して生じ、画質が良好な状態で極めて高い感度が得られることを発見した。これを基に、HARP(High-gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor)とよばれる超高感度・高画質撮像管をメーカーとの共同研究で開発、実用化した¹⁾。HARP撮像管は、夜間緊急報道やオーロラ、夜行性動物の撮影などの放送用のみならず、深海探査研究、ガンの早期発見等を目的としたX線医療診断の研究、新薬の開発などを旨としたバイオサイエンスの研究等、種々の分野の先端研究で活用されてきた。

本稿では、HARP撮像管の発明の経緯と、今日までの長年の研究取り組みで高性能化が図られた超高感度HARP撮像管の特性を述べるとともに、この撮像技術のさまざまな分野への応用を紹介する。

II. HARP 撮像管の発明の経緯

1. 超高感度・高画質撮像デバイスの検討

筆者が超高感度・高画質撮像デバイスの開発の検討を本格的に始めたのは1980年代に入ってからであるが、その背景には、当時、従来型の撮像管であるサチコンなどの撮像デバイスを用いたハイビジョンカメラが実用され始めたが、感度が大幅に不足していたこと、また、標準方式のテレビ放送においても、報道番組やサイエンス系の番組の比重が大きくなり、暗い被写体でも鮮明に捉えることができる高感度で高画質なテレビカメラの必要性が従来にも増して高くなっていったことなどがあった。

筆者は、サチコンに用いられているa-Seを主成分とする光導電ターゲット(以下、単にターゲットとよぶ)とほぼ同種のターゲットについて、その大幅な高感度化の可能性を検討することにした。ところでその検討に着手したころには、撮像デバイスの主流はそれまでの撮像管から、固体デバイスであるCCDに移り始めていた。CCDは小型・軽量で運用性、信頼性に優れるだけでなく、その内部に組み込まれている増幅器のノイズを撮像管用の外付け増幅器のそれに比べて小さくできることから、感度の面でも撮像管よりCCDの方に発展性があると見られていた。そのような状況の中で、あえて筆者が新たに撮像管に注目したのは、この撮像管のターゲットが、究極の超高感度撮像デバイスの実現に必要な条件、すなわち理論上限の高い信号対雑音比(S/N)を得るための要件を満たす可能性が最も高いと考えたためである。

上述の究極の超高感度撮像デバイス実現のための条件とは、以下の3つである。

- (1) 入ってきた光子をすべて光電変換部に導きうること(開口率100%)

Ultra-high-sensitivity HARP Pickup Tube and Its Applications : Kenkichi TANIOKA.

(2012年 12月24日 受理)

- (2) 光電変換部で光子をすべて電子に変換しうること (光電変換効率100%)
- (3) 電子に変換された信号を付加雑音なしに増幅できること

このうち(1)と(2)は、入ってくる光子自体のゆらぎに起因して生じる光ショットノイズの影響の低減に、また、(3)は外付け増幅器で生じるアンプノイズの影響の低減と関係している。撮像管においては、通常の CCD などの固体撮像デバイスでは困難な開口率100%の状態が元来実現されており、また、光電変換の物理現象には内部光電効果を利用していることから、光電変換効率を高めることも容易である。したがって、もし(3)の事項が可能になれば、従来にない高感度で高画質な撮像デバイスが得られることになる。このような考えから、次に述べる増幅作用を有するターゲットの研究に着手した。

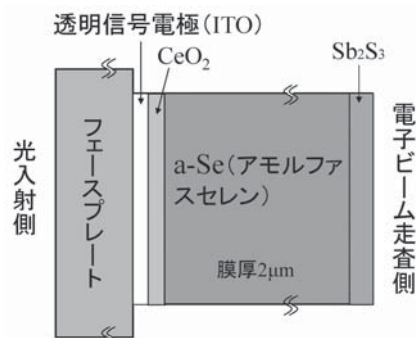
2. ターゲットの種類と増幅作用

ターゲットには、外部電極から膜内に電荷が注入されるタイプの注入型と、電荷の注入が阻止される阻止型の2つがある。注入型では、入射光子数以上の数の電子を外部に取り出すことが可能、すなわちターゲット内での増幅作用が得られるが、一方の阻止型では、残像や暗電流が少なく画質はよいものの、増幅作用を生じさせることは不可能とされていた。このため筆者らは、注入型の高感度ターゲットの研究に取り組んだ。注入型ターゲットでは、原理的に増幅の利得分だけ残像が増加することや、暗電流が大きくなりやすいなどの欠点があるが、このような選択をしたのは、当時はこれ以外にターゲットに増幅機能を持たせる方法はないと考えられていたためである。

以上のような経緯で注入型のターゲットの研究を始めたが、1985年、後述の阻止型のターゲットに非常に高い電圧をかけて注入型として動作させようとした変則的な実験で、電荷の注入では説明のつかないターゲット内での増幅現象を見いだした。これが HARP 撮像管の発明の発端となった。

3. 実験への取り組み

筆者らが取り組んでいた a-Se を用いた注入型のターゲットでは、比較的低い動作電界(約 $5 \times 10^6 \text{V/m}$)でも増幅現象を生じた。動作電界が低いと、光子から電子への変換効率が低下するため、光ショットノイズの影響が大きくなるなどの問題が生じる。これを改善するには、十分に強い電界が印加されたときに初めて外部電極からターゲットに電荷が注入され、増幅現象が生じるようにすればよいと考え、本来、電荷の注入を阻止する構造となっている阻止型のターゲットに強引に高い電圧を印加して電子の注入を生じさせようとする、一見非常識な実験を計画した。このために試作したターゲットの構造を

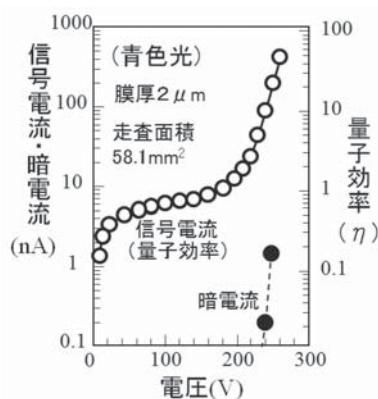


第1図 試作ターゲットの構造

第1図に示す。真空蒸着法で形成した a-Se 層の厚さは $2 \mu\text{m}$ である。このターゲットでは、透明信号電極 (ITO) および CeO_2 (酸化セリウム) と a-Se 層との接合により、信号電極側からの膜内への正孔の注入が阻止され、また、 Sb_2S_3 (三硫化アンチモン) 層によって電子ビーム走査側からの電子の注入が阻止されている。すなわちこの試作ターゲットは阻止型に属する。なお、 Sb_2S_3 層は、a-Se 層に比べて十分に薄いことから、試作ターゲットの膜厚は a-Se 層の厚さとほぼ同じとみなすことができる。

このターゲットを $2/3$ インチ型撮像管 (走査面積 58.1mm^2) に組み込んだ実験管を試作し、青色光を入射させてターゲットへの印加電圧と信号電流、暗電流との関係 (電圧-電流特性) を調べた。その結果を第2図に示す。電圧を 0V から上げてゆく (信号電極側がビーム走査側に対して正電位となるよう電圧を加える) と信号電流は急激に増加し、いったん飽和する。この飽和領域は、入射光で励起された電子・正孔対のほとんどが強くなった電界によって分離され、信号電荷になっている状態と考えられる。しかし、電圧をさらに高くすると、信号電流が再び急激に増加する現象が生じた。

a-Se 膜の青色光に対する量子効率 η (単位入射光子数当たりの出力電子数) は、電界が $8 \times 10^6 \text{V/m}$ のとき 0.9 になるとされている。試作ターゲットの厚さは $2 \mu\text{m}$ であることから、この電界は第2図では印加電圧 160V に相当する。したがって、 η は同図の右縦軸のように表すことができる。これより試作ターゲットでは、印加電



第2図 ターゲット電圧-電流特性

圧180 Vで η が1を超え、240 Vでは η が10となっていることがわかる。また、この η が10となる高感度動作状態においても画質を損ねる原因となる暗電流は0.2 nA と小さな値であった。

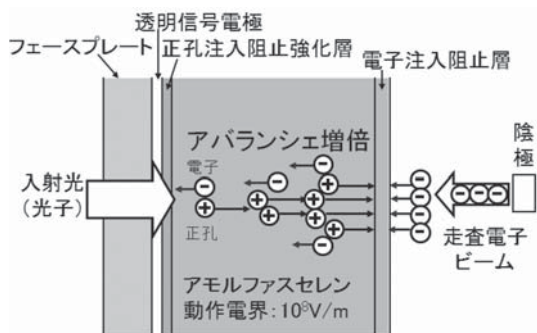
4. HARP 撮像管の誕生と動作原理

試作ターゲットでは η が1を超したことから、予測通りに阻止型のターゲットが注入型として動作して増幅作用を生じたと考えた。しかしこの膜には注入型に見られるはずの残像特性の印加電圧依存性がほとんどないことに気が付いた。すなわち、注入型の動作理論に従えば、増幅の利得分だけ膜の実効的な蓄積容量が大きくなることから、印加電圧が180 V以上になると残像が急激に増加するはずであるが、試作ターゲットにはそのような現象は現れなかった。このため新たにいくつかの実験を行った。その結果、 η が1を超す現象には以下のような性質が伴っていることが明らかになった。

- (1) η が1を超しても膜の実効的な蓄積容量は一定で増加しない。
- (2) 増幅作用には光入射方向依存性があり、フェースプレート側に比べ、ビーム走査側から光を入射させた場合には増幅作用が小さくなる。すなわち、ターゲット内の電子走行に対する増幅の利得は正孔走行の場合よりも小さい。
- (3) ターゲット内の電界の強さが一定の場合、a-Se層の厚さを増すほど増幅の利得が大きくなる。

これらのことから、試作ターゲットで得られた増幅作用は、電荷の注入によるものではなく、それまで知られていなかった撮像デバイス用の阻止型ターゲットで生じるアバランシェ増倍現象によるとの結論に至った。ここにアバランシェ増倍現象を利用したHARP撮像管が誕生したわけであるが、このようにHARP撮像管は、それとはまったく別の、電荷の注入動作を念頭に置いたターゲットの研究から生み出された。

HARP撮像管の動作原理を第3図に示す。入射光で生成された電子と正孔は約 10^8 V/mの強い電界がかけられたターゲット内で加速され、衝突イオン化によって新たな電子・正孔対を発生させる。それらがまた加速され、同様に次々と新たな電荷を作り出す。この作用によ



第3図 HARP 撮像管の動作原理

り、入射光子1個に対して多数の電子が透明信号電極から取り出される。HARP撮像管で高い感度が得られるのは、a-Seターゲットでこのようなアバランシェ増倍現象が生じ、かつ、その増倍でノイズが付加されないことによるものである。

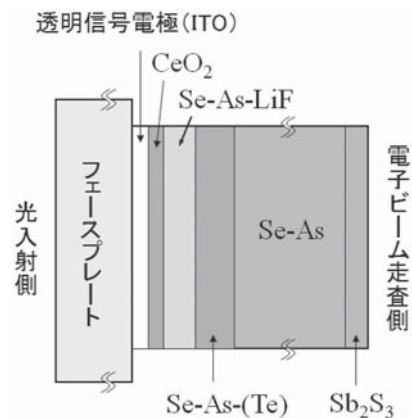
Ⅲ. 実用型 HARP 撮像管のターゲット構造と電圧—電流特性

1. ターゲット構造

実用型 HARP 撮像管のターゲットの基本構造を第4図に示す。a-Se, CeO_2 , Sb_2S_3 の層を用いている点では第1図の試作ターゲットと同じであるが、実用型ターゲットでは、a-SeにAs(ヒ素), LiF(フッ化リチウム), Te(テルル)を添加している。Asはa-Seの結晶化を抑えて欠陥(画面キズ)の発生などを防止している。またLiFは、ターゲット内の電界制御の役割を担い、a-Se膜の CeO_2 との界面付近の電界を緩和させて欠陥の発生を防いでいる。Teについては、赤色増感剤として、赤チャンネル用のターゲットに添加される。

2. 電圧—電流特性

第3図の動作原理からわかるように、HARP撮像管ではターゲットが厚いほどアバランシェ増倍現象の増倍率が大きくなり、高い感度が得られる。また、残像も膜厚増加に伴って低減される。これは残像特性を支配するターゲットの蓄積容量が減少することによるものである。このため、開発当初のHARP撮像管では、ターゲット膜厚が $2\ \mu\text{m}$ で実用的な増倍率は約10であったが、現在では厚さ $25\ \mu\text{m}$ の膜に約2,500 Vの高電圧を印加して600倍の増倍率を得るものや、 $35\ \mu\text{m}$ の膜に約3,500 Vを印加して1,000倍の増倍率を得るHARP撮像管が試作されている。ここでは第5図の膜厚 $25\ \mu\text{m}$ の2/3インチ型HARP撮像管²⁾を例にとり、その感度を表す信号電流と、暗電流のターゲット印加電圧による変化、すなわち電圧—電流特性を第6図に示す。同図には比較のため、増倍現象のない従来の撮像管であるサチコンを同じ入射



第4図 実用型ターゲットの基本構造

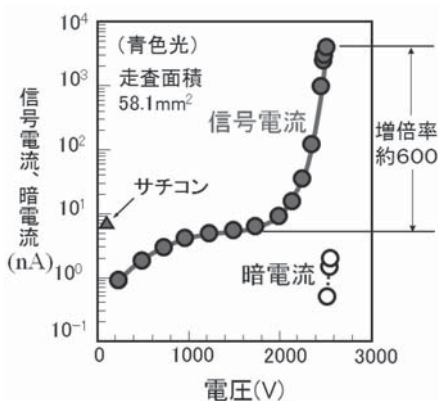


第5図 2/3インチ型 HARP 撮像管



(a) HARP カメラ (b) CCD カメラ (+18 dB)

第7図 感度比較実験例(0.3ルクス, F1.7)



第6図 ターゲット電圧—電流特性

光量で測定した場合に得られる信号電流も示した。HARP 撮像管では印加電圧2,500 V の時、サチコンの約600倍の感度を得られていることがわかる。暗電流についてはこの場合約2 nA であるが、カメラ実装時の撮像管の基準信号電流値(200 nA)に比べて十分に小さいことから、画質への影響は無視できる。

IV. HARP 撮像管による超高感度カメラとその応用

膜厚25 μm のターゲットを用いた HARP 撮像管のカメラは、肉眼を上回る高い感度を有し、月明かり程度の照明条件でも鮮明なカラー映像を得ることができる。その高感度性を放送用 CCD カメラとの比較撮像実験³⁾を例にとり、第7図(a), (b)に示す。CCD カメラでは18 dB (8倍)のゲインアップでも撮影困難な暗い被写体を、HARP カメラは鮮明な映像として捉えていることがわかる。両者の感度差は約100倍である。

HARP 撮像管を実装したテレビカメラは、超高感度でありながらノイズが少ないことから、放送用カメラとして夜間緊急報道、自然科学番組での特殊撮影などに活用されている。第8図は夜間緊急報道の一例で、1995年6月22日に放送された全日空機ハイジャック事件を伝えるNHK ニュース映像のひとつである。撮影時間は同日の午前3時40分ごろ、場所は函館空港である。暗くて肉眼ではほとんど見えないジャンボジェット機の下で、機内突入の準備を進める機動隊員の姿を HARP カメラがはっきりと捉えた。この場合の実効的感度はISO感度50,000に相当する。夜間緊急報道では、このほか新潟

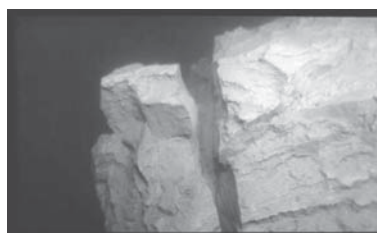


第8図 ハイジャック事件での撮影(函館空港, 1995年6月22日午前3時40分ごろ)

中越地震の被災現場からの中継などに使用された。自然科学番組では、オーロラや天体、南米イグアスの滝に満月の夜に現れる幻想的な虹などの撮影に HARP カメラが活用された。なお、HARP 撮像管は、印加電圧の制御によって感度を大幅に変えることができることから、電圧を低くして感度を下げれば、そのカメラは日中の屋外などの非常に明るい場所での撮影にも適用できるという特徴がある。

HARP カメラは、放送にとどまることなくいろいろな分野の先端研究にも利用されている。その一つが、深海探査用超高感度ハイビジョン HARP カメラである。海洋研究開発機構の深海無人探査機「ハイパードルフィン」の目として利用され、深海生物や海底の様子を鮮明な映像として捉えている。またスマトラ島沖大地震震源域の調査では、第9図に示すように地震によってできた海底の大規模な亀裂や崩落の撮影に成功している。

医療応用分野としては、X線による微小血管造影・撮像システムに利用され、悪性腫瘍、心筋梗塞、脳梗塞の高度な診断などを目的にした研究に用いられた。その成果をもとに開発された HARP カメラと X 線用蛍光板とを組み合わせた微小血管 X 線撮影装置は、国立循環器病センター研究所に導入された。この装置と微小血管画



第9図 スマトラ沖震源域の海底(海洋研究開発機構)



第10図 微小血管 X 線撮影装置と微小血管画像
(国立循環器病センター研究所)

像を第10図に示す。また白内障手術や、網膜診断・手術システムへの応用も試みられており、これまでよりも弱い光で診断・手術を可能にする“目に優しい”新しい実用システムの実現が期待されている。

基礎科学分野では、理化学研究所の中野明彦主任研究員(東京大学教授)を中心とした研究グループが、増倍率1,000の特別仕様の HARP 撮像管などを用いて、細胞へのダメージが抑えられる弱いレーザー光源で、生きた細胞を詳細に観察することができる装置を開発した。中野主任研究員はこのレーザー顕微鏡システムを用いて、細胞内でさまざまな仕事をする細胞小器官の一つであるゴルジ体のタンパク質輸送のメカニズムを初めて解明した。

このほか HARP 撮像管は、夜の港湾の監視カメラとして使用されるなど、国民の安全・安心にかかわる分野にも活用された。それに関連して2007年6月には、首相官邸で開催された総合科学技術会議において、HARP は安全・安心な社会実現のための「見えないものを見る高感度カメラ技術」として紹介された。

V. あとがき

HARP の感度増加現象の発見からすでに30年近い歳月が経過している。急速に進歩する撮像デバイスの世界であるので、常識からすれば HARP はもう廃れてよい時期である。しかしそのようになっていないのは、結晶シリコン半導体でのアバランシェ増倍現象を利用した特殊構造の超高感度 CCD でも、非常に暗い条件で撮影した場合には、HARP のような暗部での良好な階調再現性や低ノイズ特性を得るのが難しいためである。また最近になって特に X 線医療診断デバイス用として、感度、ダイナミックレンジなどでの HARP 技術の優位性に内外の研究者が高い関心を示し始めていること、さらには a-Se が主材料であることから、耐放射線性の高感度センサーとしての期待があることもこの技術の存続と関係している。

最後に、次世代 HARP 撮像デバイスの研究開発を簡単に紹介しておきたい。これは HARP ターゲットと電圧を印加するだけで電子を放出する電界放出陰極(冷陰極)のアレーとを対向配置した新たな構造の撮像デバイスで、冷陰極 HARP 撮像板とよばれている。HARP 撮像デバイスの小型・軽量化、低消費電力化、高機能化などを目指しており、メーカーでもその実用化開発が進められている。冷陰極 HARP 撮像板には小型化のみならず、大面積受光面のデバイスとしての期待もある。これは、冷陰極アレーはディスプレイの電子ビーム源として開発されてきた経緯があることから大面積化の可能性があり、また HARP ターゲットはアモルファス半導体であることからその大面積化にも可能性があることによるものである。大面積受光面の超高感度冷陰極 HARP 撮像板の実現には、X 線医療診断や放射光 X 線によるタンパク質結晶構造解析などの分野の研究者から関心が集まっている。これらのことから、HARP 撮像デバイスは撮像管から撮像板へと発展することで、将来その用途はさらに広がると思われる。

HARP 技術が放送での使用にとどまることなく、医学やバイオサイエンス、放射線関係などの研究にも活用され、人々の幸福につながるのであれば、開発担当の一人としてこの上ない喜びである。今後も HARP 技術をベースにした新たな高性能撮像デバイスの開発研究やその応用の研究に貢献できればと考えている。

— 参考資料 —

- 1) K. Tanioka, *et al.* An avalanche-mode amorphous selenium photoconductive layer for use as a camera tube target, *IEEE Electron Device Lett.*, vol.EDL-8, no.9, p.392-394, Sept., 1987.
- 2) M. Kubota, *et al.* Ultrahigh-sensitivity New Super-HARP Camera, *IEEE Trans., Broadcast*, vol.42, no.3, p.251-258, Sept., 1996.
- 3) K. Tanioka, *et al.* Ultra-high-sensitivity New Super-HARP Pickup Tube and Its Camera, *IEICE Trans. Electron.*, vol.E 86-C, no.9, p.1790-1795, Sept., 2003.

著者紹介



谷岡健吉(たにおか・けんきち)
東京電機大学
(専門分野/関心分野) 超高感度撮像デバイス/医療応用

報告

原発被災地の農業の復活を願って、浅い田畑の対応 ひまわりによるセシウムの吸収・吸着状況、ひまわり除染調査隊報告

日本原子力研究開発機構 天野 治

前報では、20 cm 以上の深い田畑には、深く耕起することで外部線量が下がり、土壌の放射能レベル(Bq/kg)が下がることを実例で示した。今回は浅い田畑を対象に、ひまわりを栽培し、成長に伴い、定期的に根、茎などのセシウムの吸収、吸着状況を測定した。その結果、ひまわりの成長が著しい花の咲く直前が、セシウムの吸収、吸着が最大になることがわかった。

汚染の程度に応じた対応を

福島県の太平洋に面した浜通りと呼ばれる地域でも海から10 km も内陸に入ると、阿武隈高地など山が迫っている。その山を削るように溪流と呼ばれる細い川が蛇行しながら流れ、これに沿って、道路が整備されてきた。道路の両側には山や林がそびえている。2011年3月の事故で、福島第一原発からの濃い放射能の流れは、浜通りの平野で広がりながら、山の中で口を開けたような溪谷に沿った道路を汚染しながら進んでいったと推定される。福島第一原発が立地する双葉町の北に浪江町があり、鮭の遡上で有名な請戸(うけど)川に沿った道路が県道114号線で富岡街道と呼ばれる。この道路を西北西に約30 km 進むと、葛尾(かつらお)村から来る県道399号線と交わる。

114号線の険しさに比べて399号線沿いは少し低地になっており、濃い流れは399号線に沿って北上したものと考えられる。399号線の先に飯館村があり、扇状に広がった低地であり、濃い流れは、まず飯館村に拡散していった。少し薄くなった流れは、その先の川俣(かわまた)町や霊山(りょうぜん)に広がっていた。114号線沿いには浪江町室原(むろはら)、川房(かわふさ)、昼曾根(ひるそね)、柗平(くぬぎだいら)、赤宇木(あこうぎ)があり、399号線沿いには飯館村長沼があり、これらの地区は高汚染地帯である。つまり高汚染地帯は限定されており、表土を2, 3 cm あるいはそれ以上はぎ、はいだ土は中間貯蔵し、いずれ最終処分場に運び込むことが効果的である。

しかし、この方法を高汚染地域だけではなく、汚染地域全体に行うことは、中間貯蔵施設の立地の困難さ(隣接地域の地区や市町村の合意を得ることが困難)のほかに、表土をはぐことは、田畑の土の栄養分がとられ、10年以上かけて土作りをするなどの作業が生じ、汚染地域の長期的な農業の崩壊など、新たな問題が発生する。

Results of Removing Radioactive Cesium from the Shallow Rice Fields by Planting Sunflower: Osamu AMANO.

(2012年 12月28日 受理)

低、中汚染地帯の深い田畑の対応

前報¹⁾では、被災地の主な産業は農業であり、農業の復活が欠かせないこと、20 cm 以上の深い田畑では、深く耕起することで、土遮蔽の効果で外部線量(マイクロSv/時)が1/3から1/5程度まで下がり、また表面数cmが高い土壌を20 cm の深さに均一に耕起することで、土壌平均(ベクレル/kg)が1/5から1/10に薄まる²⁾。

南相馬市に住む実父がこの均一にかくはんした後にセシウムの移行係数が比較的高いじゃがいも、サツマイモを栽培した結果、公的機関でのセシウム測定は検出限界以下(検出限界値7 Bq/kg)であった。筆者はこの方法を南相馬市の関係者に伝え、南相馬市原町区の太田地区や鹿島区榎原(じさばら)地区で具体的に実践している。

15 cm 以下の浅い田畑の対応、客土

田畑には、深さ15 cm 以下の浅いものも数多くあり、少ない河川水で田を潤す目的で土壌改良した田んぼがそうである。浅い田畑はセシウムをかくはん希釈する深さが浅い。対策の一つは、浅い田畑にクリーンな土を上からかぶせる客土、覆土であるが、1反の田んぼ(1,000 m²)に20 cm の土を追加すると4.5 tトラック60台分になる。数多くの田んぼに対してクリーンな土を用意することは簡単ではなく、トラックでの運搬量も相当なものとなる。また、客土に使う山土は栄養分がないため、10年以上かけて土作りが必要となる。

15 cm 以下の浅い田畑の対応、セシウムだけを除去

セシウムだけを除去する方法には、化学的に薬品で吸着させるなど、様々な方法がある。しかし、表層の土壌を採取し機械にかけ、薬品で処理して処理後の表土を戻すことや処理した薬品の後始末などを考えると、相当な手間とエネルギーがかかる。

もうひとつの方法は、植物を利用することである。チェルノブイル原発事故(1986年)の汚染地の除染でひまわりが活用された。我が国でも農水省が事故後の2011年、積極的に各地の汚染地でひまわりを栽培し、その除染効果

を確認した。その結果はウェブ³⁾にも掲載され、「福島県内の2箇所のは場(郡山市、飯舘村、土壤中の放射性セシウムはそれぞれ1,045 Bq/kg, 7,715 Bq/kg)において、ひまわりを栽培し、開花期～開花20日後の地上部10サンプル及び根4サンプルに含まれる放射性セシウム濃度(生草重量)を測定したところ、地上部(茎、花部)12～79 Bq/kg, 根64～232 Bq/kgであった」とある。農水省の結果はひまわりでのセシウム除去は効率が悪いことを示しており、農水省はすっかり諦めたようである。

ひまわりによる除染調査

浅い田畑への現実的対応はひまわり除染しか残っていないため、筆者は失敗を覚悟で、これまで共同で活動してきた南相馬市鹿島区檜原地区と原町区太田地区にひまわり栽培をお願いした。ひまわり調査では、栽培前に農地をかくはんして深さ方向にセシウム濃度を均一にすること、ひまわりの成長に合わせて定期的にセシウム濃度を測定すること、ひまわりの各部の重さを測ること、土壌の深さ方向のセシウム濃度を測定することの4点を現地の皆様が実施し、ひまわり除染の可能性と可能な場合の最適な方法を共同で模索することとした。

現場での測定方法

筆者は日本原子力研究開発機構の小林秀雄氏と現場でその場測定ができる方法を相談した。その結果、同じ幾何学形状のタッパ(直径90 mm×深さ55 mm)の中に土壌を入れ、サンプルとする。土壌は小石を取り除き、乾燥させ、均一化する。土壌サンプルを南相馬市などの現地の協力を得て作成し、ゲルマニウム半導体検出器とマルチチャンネルアナライザーでセシウム134, 137とカリウム40を定量分析する。サンプル土壌は標準試料として高(数万ベクレル/kg)、中(5,000ベクレル/kg)、低(1,000ベクレル/kg)程度の3種類、筆者と南相馬市の荒輝雄氏で共同作成した。

南相馬市などの被災地では線量が高いことからバックグラウンド(BG)を下げるため、及び他からの寄与を遮断するため、遮蔽容器の中に前述の高、中、低の土壌を入れ、外部線量計(堀場製作所 AP 1000)にて測定する。縦軸に高、中、低の標準試料のセシウム134, 137の合計のベクレル/kgを、横軸に外部線量計での正味の測定値(BGを引いたマイクロSv/時)を記載する。高、中、低の3点を直線で結び、ベクレル/kgとマイクロSv/時の相関のグラフを作成することを基本とした。

現地では、採取した土壌から小石を取り除き、乾燥させ、同じ形状のタッパにいれ、重量を測定し、その後、遮蔽容器の中で測定したマイクロSv/時からグラフにより、含まれるセシウムのベクレル/kgを求める。

土壌の深さ方向のセシウムの分布を調べる場合は、ものさしを当てながら、移植ベラで土壌表層から5 cm下

あるいは、10 cm下の土壌を採取する。ひまわりの根や茎を測定する場合には、根や茎を水洗いし、乾燥させ、木槌で叩いて同じ形状のタッパにギューギューに押し込む。それでもひまわりの根などの重量は土壌の半分以下で、誤差が生じやすい。しかしながら、この方法は、現地でその場測定ができ、すぐに結果が得られ、追加の調査と考察が容易に行えるなどの長所がある。

土壌、ひまわりの測定結果

土壌の深さ方向の測定結果から、耕運機で菌をたてても、深さ10 cm程度までしか、かくはんできない。深く耕せるプラウ(土をひねりながら耕す)で繰り返しかくはんすると25 cm程度までかくはんできる。2012年7月28日檜原地区の住民の皆様、栽培したひまわりを持参いただき、公会堂で金子熊夫エネルギー戦略研究会(EEE会議)会長を団長に東京他から12名のボランティアの協力を得て、筆者他はひまわりを植え付けた土壌、ひまわりの根、茎の分析を行った。この時期はひまわりが花を付ける直前で、たくさんのひまわり畑の中でたった一輪の花を見ただけであった。第1表に測定結果を示す。表の左から1列目がサンプルで土、ひまわりの根、茎を、2列目が遮蔽容器の中での正味の測定値、3列目が相関をとったグラフから読み取ったベクレル/kgの読み値である。4列目がサンプルの重量であり、5列目は標準試料との重さの比である。一番右の列が重量補正をした求めるベクレル/kgの値である。

ひまわりの根は3,000～9,000ベクレル/kgで、茎は検

第1表 ひまわり栽培の土壌、根、茎のセシウム濃度

サンプル	正味の測定値	グラフから	重量	重量補正	求める値	
単位	μSv/時	Bq/kg	g		Bq/kg	
A	土	0.064	3800	281	1.4	5320
	根	0.035	2300	103	3.82	8780
	茎	ND	ND	265	1.48	ND
B	土	0.049	3000	290	1.36	4070
	根	0.067	4050	185	2.12	8600
	茎	0.004	600	316	1.24	746
C	土	0.051	3250	479	0.82	2670
	根	0.125	7600	360	1.09	8300
	茎	0.001	ND	123	3.2	ND
D	土	0.168	10155	463	0.85	8620
	根	0.038	2400	156	2.52	6050
	茎	0.001	ND	191	2.06	ND
E	土	0.048	3000	435	0.9	2710
	根	0.024	2400	244	1.61	3870
	茎	0.001	ND	236	1.67	ND
F	土	0.038	2450	391	1.01	2463
	根	0.040	2600	320	1.23	3193
	茎	ND	ND	320	1.23	ND
G	土	0.112	6770	470	0.84	5660
	根	0.041	2600	381	1.03	2680
	茎	0.004	600	284	1.38	830
H	土	0.049	3050	434	0.91	2760
	根	0.010	1000	149	2.64	2640
	茎	0.013	1550	224	1.75	2720
I	土	0.057	3500	383	1.03	3591
	根	0.012	1100	185	2.12	2340
	茎	0.015	1250	293	1.34	1667

出限界以下(ND)~1,000ベクレル/kg程度であった。植え付ける時期が遅く、まだ小さなひまわりの根、茎とも2,000ベクレル/kg程度である。ひまわりを植え付けた土壌とひまわりの根は弱い相関がある。

ひまわりの花が終わり、種をつけ、立ち枯れ状態のひまわりの土壌、根、茎、花部を2012年9月28日と29日の両日、藤井靖彦東工大名誉教授他11名のボランティアと一緒に測定した。その結果、大半のひまわりの根、茎はNDであった。

結果の妥当性

橿原地区でのひまわり開花直前の根、茎(7月28日)の測定結果と、立ち枯れ状態の根、茎(9月28日)の測定結果が大幅に異なる。原町区太田地区での9月29日の測定結果もほぼNDであり、同じ結果となった。現地での測定法については、前述したとおりであり、それなりの誤差は伴うが信頼できるものである。つまり、立ち枯れ状態のひまわりの根、茎には、セシウムはほとんどないことを示している。

メカニズムの考察

花の咲く直前に根や茎にあったセシウムはどうなったのであろうか。関西原子力懇談会主催の勉強会において、筆者がこの調査結果を紹介したところ、薬学部の教授から、「重金属については、植物の吸収状況の調査はなされているが、セシウムについての植物吸収・吸着の体系的な調査はこれまで行われていない。ひとつの仮説として、ひまわりの根の細胞に吸着していたのではないか。ひまわりの根の細胞の吸着力が落ちるか、あるいは、その細胞が枯れてなくなるかすると、ひまわりが吸着したセシウムは土壌に戻ることになる。」とのコメントをいただいた。

今後の対応、メカニズムの解明に向けて

ひまわりの芽が出て、50 cm から1 m 程度では、根、茎もある程度(2,000ベクレル/kg)のセシウムを吸着している。ひまわりの花が咲く前など成長が著しい時期は、ひまわりの根のセシウム放射能濃度は高い。しかし、種ができて、ひまわりが立ち枯れ状態では、根、茎、花、種(実)はNDであった。すなわち、時期によりひまわりの部位ごとのセシウム濃度が異なる。この詳しいメカニズムは、農学関係者や放射線影響の専門家などの科学者により、いずれ解明されることを筆者は期待する。

これまでの結果から、ひまわりの成長が著しい時期(花の咲く前ほか)に根を回収することで、土壌の除染が可能である。

ひまわり畑での根の深さと根の広がり(円形と考え直径とする)には、相関があり、4 cm から14 cm で浅い根は直径も小さい、4 cm の根では、直径は4 cm から10 cm、14 cm の根では、直径は12 cm から15 cm である⁴⁾。根のセシウムの吸収が大きいとすると、ひまわりの根同士が干渉しないように栽培するには、15 cm 離せばよく、1 m 四方では36個栽培できる。ひまわりの根の深さから、15 cm 程度の浅い田畑の除染に適用できる。

汚染地でもひまわりは二期作が可能であり、霜が終わる4月末から栽培し、花が咲く直前の7月に刈り取り、その後から栽培して、9月末から10月に刈り取る。

12月1日、2日、ひまわりの調査結果と二期作のお話を橿原地区の住民の皆様を紹介したところ、橿原区長が2013年も引き続きひまわり除染に挑戦するとのことである。二期作の植え付け時期や刈り取り後の処理についても、調査する予定である。

まとめ、ひまわり除染効果

ひまわりの根が8,000ベクレル/kgのセシウムを吸着し、ひまわりを15 cm 間隔で植え、年2回栽培すると想定すると、浅い田畑のセシウム除染効果は年間30%に達する。

— 参考資料 —

- 1) 天野治, 福島県浜通り地域の復興, クリーン化は地元の手で地域のコアを通して支援の実績と課題, 日本原子力学会誌, 54(8), 538~542, (2012).
- 2) ひまわり除染応援団調査報告書, 9.1章 天地返しの効果(天野宏).
- 3) 農林水産省, 農林技術会議
http://www.s.affrc.go.jp/docs/himawari_syobun.htm
- 4) ひまわり除染応援団調査報告書, 8.6章 ひまわりの生育状況調査(藤井靖彦).

著者紹介



天野 治(あまの・おさむ)
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)エネルギー収支,
福島事故後の対応



核セキュリティ確保の強化に向けて 事業者、規制当局、学会等間の透明性を確保した連携

日本原子力学会
核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会

核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会では、福島第一原子力発電所事故を契機に、我が国における核セキュリティ強化に向けた今後の課題について議論を重ねてきたが、このたび提言をまとめたので報告する；事業者自らが、核セキュリティの重要性についての認識を、組織の上層部から末端まで浸透させること、すなわち「核セキュリティ文化」の構築を図ることが必要である。また、核セキュリティ上重要な情報の秘密保持を進める場合、安全において重要とされる透明性とのバランスを図ることが重要であるが、それに関する制度設計と運用の検討を行うべきである。さらに、定期的に見直された設計基礎脅威(DBT)に伴う実効性のある性能試験・訓練の実施などの継続的な改善、及び次世代を担う人材の育成に際し核セキュリティの知識・経験をもたせること等が重要である。一方、規制当局、事業者、警察、海上保安庁、自衛隊など事案に応じた役割分担・相互連携協力および対応要領を明確にしていくこと、そして国家安全保障の中での核セキュリティの位置づけの検討が望まれる。放射性同位元素(RI)に対するセキュリティ強化においてRIの量や放射能強度に応じた等級別規制を取り入れること、内部脅威に対する人的管理面における信頼性確認の早期の導入、及び核鑑識対応体制の整備等、関連する法整備を進める必要がある。そして、原子力における3S(安全 Safety, 保障措置 Safeguards, セキュリティ Security)確保のための国側組織については、日本原子力学会、核物質管理学会等の関連学会が協力して、安全と核セキュリティの両者が、互いに他者で要求される規制要件を理解し、設計段階から両者融合した考え方を取り入れていくこと、現実的かつ実効性のある核セキュリティのための核物質の計量及び管理の検討、魅力のある研究分野とするためにも論文成果が発表できる環境を整え、業績を正に評価する仕組みの検討等が求められる。

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災に起因する福島第一原子力発電所の事故(以下、福島事故と略称)によって、いまだ多くの方々が避難生活を余儀なくされる等の困難な状況にあることは、原子力に携わってきた者として痛恨の極みである。福島事故は地震と津波による複合災害の結果として発生した事故であり、原子力安全の観点からの種々の課題に対する改善の議論が進められている。

核セキュリティの分野では、9.11の同時多発テロ事件発生を受けて米国NRCは、B.5.b(爆発や火災によって、プラントが大きく損傷した状況下での、炉心冷却、格納容器閉じ込め機能、使用済み燃料プール冷却能力維持・回復のための手引き)を定め、我が国にも情報共有を図った。日本国政府として、その重要性を強く認識し、政府と事業者が一体となって真剣かつ迅速に取り組むことができている。一方、福島事故によって明らかになった脆弱点が、テロ攻撃の標的となる可能性も否定できない。福島事故の反省を今後の種々の対策の実施に反映させるためには、原子力安全のみならず、核セキュリ

ティの側面を含めた対策を検討していく必要がある。

本連絡会では、上記の観点を基に、我が国の今後の核セキュリティについて考慮すべき基本的事項について議論し提言を取りまとめた。

2. 核セキュリティ強化への取組みと改善

(1) 核セキュリティに対する認識

核セキュリティとは、「核物質、その他の放射性物質、その関連施設及びその輸送を含む関連活動を対象にした犯罪行為又は故意の違反行為の防止、検知、及び対応」を指す[原子力委員会原子力防護専門部会、2011]^{1,2)}。核セキュリティでは、核物質及び核物質を取り扱う原子力施設に対する防護である従来の核物質防護に加え、その他の放射性物質及びその関連施設へと防護を講じるべき対象が広がっている。

我が国では、核物質防護のみが議論されていた時期を含めて、原子力安全と同等の重要性の認識が核セキュリティに対して持たれているとは残念ながら言い難い。このことは、(1)上記のB.5.bへの対応の鈍さ、(2)原子力行政において、核セキュリティに実質的なイニシアティブをもつ体制がなかったこと、(3)原子力に関連する教育を担う大学において核セキュリティに関連する科目がごく最近までほとんど存在しなかったこと、(4)核物質防護管理者の専門性を確認する国家試験が存在しないこと等の事例が示している。核セキュリティを重視した人材育成を目標とする大学の取組については、徐々に進展して

Toward Ensuring Nuclear Security; Cooperation amongst plant operators, regulatory authorities, and related academic societies with assuring sufficient transparency: Nonproliferation, Safeguards, and Nuclear security Communication Group.

(2013年 1月15日 受理)

きており、その成熟が今後も期待される。

原子力安全に関しては、1986年のチェルノブイリ原子力発電所事故以降、安全文化(safety culture)の重要性が指摘され、我が国においても種々の取組が実施されてきた[原子力安全・保安院, 原子力安全基盤機構, 2007]⁹⁾。一方、核セキュリティに関しては、セキュリティ文化(security culture)について議論されるようになったのは、国際的に見てもごく最近のことである。安全文化に関する重要な報告書であるINSAG-4[IAEA, 1991]⁴⁾が発行されたのが1991年であるのに対し、セキュリティ文化に関するIAEAの実施指針(implementing guide)[IAEA, 2008]⁵⁾が発行されたのが2008年であることから見ても、核セキュリティに対する取組が国際的にも遅れてきたことがうかがえる。

安全文化の醸成のための出発点は、安全を最優先するという認識を組織の上層部から末端に至るまで浸透させることであるが、核セキュリティにおいては、防護担当者に任せるべき事項であり、自身は当事者ではないという認識が強かったのではないと思われる。核セキュリティについても安全と同様に文化の醸成に向けた取組が必要である。原子炉等規制法が2012年3月に改正され、経営者責任が法令に規定されており、今後、上記に示す上層部から末端までの認識・情報の共有化が進められることが期待される。

(2) 秘密保持と周知のバランス

我が国においても、英国やフランスに再処理を委託していたプルトニウムの輸送時や、核物質防護条約の批准時、二国間原子力協力協定の締結及び改定時等には、核セキュリティに関連する詳細な検討が実施された。しかし、その検討内容は直接の関係者のみが知るところとなっており、広く一般的な議論とはなっていない。その背景には、核セキュリティに関連する機微な情報について、秘密保持が要求されるという制約があることが挙げられる。秘密保持が要求される理由は、核物質や原子力施設の全ての情報を公開すれば、テロ攻撃を企図している者に対して有益な情報を与えることになり、核セキュリティに対するリスクを高める結果となるからである。

2005年の原子炉等規制法改正によって、核物質防護に係る秘密について、罰則を伴う秘密保持が義務付けられた。しかし、核セキュリティに関連する情報を秘密情報として取り扱うためには、当該情報が核セキュリティの観点から秘匿を要するものであるかどうか十分に検証される必要がある。その際には、原子力基本法第2条が謳っている「自主・民主・公開」の平和利用三原則の一つである公開の原則も考慮し、秘密保持と周知のバランスを取る対策を検討すべきである。

秘密情報の範囲についても、画一的に定めるのではなく、職務上の「知る必要性(need to know)」や個人の信頼性の確認状況に応じて、情報ごとに対象者を何段階にも分けて定めるべきである。また、ある情報については、

時間の経過とともに、秘匿する必要性がなくなる可能性もある。その際には、情報秘匿の条件を適宜変更し、公開可能になった情報は順次公開すべきである。我が国では、原子力の分野のみならず、一般的に秘密保持の法的枠組の整備が十分には進んでいない。先行事例の蓄積が進んでいる諸外国の事例を参考にしつつ、制度設計及び運用の検討を行うべきである。また、秘密保持と情報共有とのバランスも重要で、効果的な核セキュリティ体制を確立するためには、他事業者における良好事例を事業者が共有して広く浸透させることが必要で、このために規制当局が積極的な役割を行うことが求められるだろう。

(3) 継続的改善と訓練

核セキュリティで考慮する脅威は、一定のものではなく、時間の経過とともに変遷する。したがって、脅威の変遷を反映したDBTの定期的な見直しが必要である。DBTの見直しに伴い、対抗するためのセキュリティ対策の実効性についても、想定した防護性能が発揮されるかどうかを性能試験の実施等によって実戦的に確認し、継続的に改善していくことが求められる。米国NRCでは、施設者に対し、シナリオを周知することなく仮想のテロリストと防護部隊との間での実地訓練(Force-on-Force 演習)を定期的に行うことを義務付けることにより改善が図られている。こうした継続的改善の実施のためには、防護システムや関連制度を長期的に見据えることができるように、核セキュリティを専門に担当する者が事業者や規制当局及び治安当局等に求められる。こうした点を考慮した人材育成・投与の検討が求められる。

3. 核セキュリティ対応体制の整備

(1) 役割分担と責任の明確化

核セキュリティの観点からは、核物質の盗取や原子力施設に対する妨害破壊行為等の核セキュリティ事案が発生しないようにするための事前の防止措置、核セキュリティ事案発生時の検知、通報及び行為の遅延等の措置、盗取された核物質等の発見及び奪還措置、放射線影響が発生した場合の緩和及び最小化等の事後的な対応措置等、広範な事項が要求される。

上記のような広範な事項は、事業者(輸送の場合の運送事業者等を含む)と規制当局のみで対応できるものではない。近年、核セキュリティ強化のために多くの対策が事業者に要求されているが、現行の法的枠組の下では、事業者が対処できる範囲には限界がある。銃火器での武装が許されている警察や海上保安庁等の治安当局を含め、各々の役割分担と責任を明確化する必要がある。また、関係各機関が具体的な対応要領を持ち、相互の緊密な連絡協力体制を構築しなければならない。その際には、国際的犯罪が増加していることを踏まえ、国際的に通用する対応要領が整備されることが求められる。また、事前の想定を超えた事態に柔軟に対応できるように、状況に応じた対応を可能にする補完的資料を準備することが重要である。

(2) 国家安全保障の中での核セキュリティ

核セキュリティで考慮するのは主に潜在的な脅威者についての詳細な記述である DBT に対する対応であり、有事の際の原子力災害(武力攻撃原子力災害)に対する対応は国民保護法の下で実施されることになっている。しかし、両者の間の連続性の確保の問題や、対応態勢の円滑な移行の問題については、十分な議論がなされ、共通の理解が得られているとは言い難い。その前提として、国家安全保障の中で核セキュリティをどう位置付けるかについて、議論と関係者間での認識の共有が必要である。また、核セキュリティにおける有事の際の、省庁等関係組織間の協力体制、分担、リーダーシップについても、新原子力規制庁を中心に早急に再検討がなされる必要がある。

(3) 放射性同位元素(RI)に対するセキュリティ強化

核セキュリティの特徴は、従来の核物質防護では核物質のみに焦点を当てていたのに対し、放射性物質のばらまきや放射線の発散を伴う妨害破壊行為を踏まえて、核物質ではない RI 等の放射性物質を含めたセキュリティを考慮する点である。RI は放射線障害防止法によって規制されているが、現在の放射線障害防止法では、セキュリティに関しては簡単な規定しか定められていない。

α 核種や β 核種は比較的遮蔽が容易であるが、裏を返せば不法所持の検知が難しいということになる。また、核物質よりも放射線強度が高い RI は数多く存在することから、放射性物質のばらまきや放射線の発散を伴う妨害破壊行為の観点からは、核物質に準じたセキュリティ対策が適切に講じられるような規制強化が図られるべきである。

一方、RI の規制については、医療関係者等の原子力事業者ではない多くの者が関係する。したがって、一律の規制を実施するのではなく、RI の量や放射線強度に応じて等級別取組(Graded Approach)に基づいた規制が必要である。

(4) 内部脅威対策

内部脅威とは、「原子力施設の内部で働く従業員等による不正行為等により生ずる脅威」を指す[総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子力防災小委員会, 2005]。内部脅威対策として、①内部脅威者が不正行為等に及ぶのを物理的に阻止する物的防護、②内部脅威者の枢要区域への侵入の排除及び破壊工作に用いる工具や核物質の不法持ち出し等を阻止する出入管理、③潜在的な内部脅威者の組織及び区域からの排除、行動観察等を通じた不正行為等の抑止を目的とした人的管理という3つの手法がある[総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子力防災小委員会, 2005]⁶⁾。

信頼性確認とは、「不正行為等に及びそうな人間(要注人物)をあらかじめ把握するための情報の収集と分析」を指す[総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子力防災小委員会, 2005]。信頼性確認は、人的管理対策の一つであり、米国や英国等の諸外国ではすでに

整備・運用がなされている。INFCIRC/225/Rev.5においても、核物質又は原子力施設に係る機微情報を取り扱う者や枢要な施設・設備にアクセスする者を対象とした信頼性確認の実施が勧告されている。我が国においても、信頼性確認についての議論は行われてきた[総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子力防災小委員会, 2005]が、基本的人権との関係や、制度の実効性確保の難しさ等もあって、2013年1月現在においても導入はなされていない。

一方、INFCIRC/225/Rev.5が対象とする核物質及び原子力施設に係る分野における信頼性確認の導入を目指して、具体的な制度についての議論を開始すべきという提言がなされた[原子力委員会原子力防護専門部会, 2012]。基本的人権は憲法上保証された権利であり、信頼性確認の導入は容易ではないと考えられるが、可能な限り早期な導入を目指した議論の進展が期待される。また、信頼性確認は、セキュリティ上重要な職務に就いている者への処遇等と関連付ける等、信頼性確認が必要とされる者にとっても動機付けがなされるような施策が必要である。

(5) 核鑑識への対応

2010年4月、米国ワシントン DC で開催された、核セキュリティサミットでは、我が国は核鑑識の技術開発に関連する国際協力を行うことが声明に記載されている。また、2012年の第2回核サミットでのソウルコミュニケにおいて、核鑑識の能力を構築、強化するための国際協力及びIAEA との協力がうたわれた。サミットにおける合意及び我が国首脳による国際的なコミットメントを踏まえ、現在、我が国でも核鑑識技術を確立し国際的に共有していくために、核鑑識技術確立に向け取り組んでいる⁷⁾が、鑑識活動を実質的に有効なものにするためには、技術開発だけでなく的確な対応体制を構築することが不可欠である。例えば、国境などで核物質が確保された場合や核テロやダーティボムによるテロが発生した場合を想定し、関係機関の連携による的確かつ迅速な協力・対応体制の整備が求められる。また、核物質・放射性物質分析結果と、一般的(伝統的)な鑑識分析結果との効果的なリンクなど、全体を一元的に扱って解析評価するための体制作りも求められる。さらに、今後、核鑑識機能をより有効なものにするためには、上述の体制整備とともに、法整備についても取り組んでいくことが重要と考える。商業的規模で核燃料サイクルを有する我が国としては、核の鑑識に関しても国際的に大きな役割を担うべく、的確な体制確立が強く望まれる。

(6) 法律や規則の充実

以上のような対策を実行的に確保するためには、その基礎となる法令の整備が必須である。INFCIRC-225 rev 5及び福島第一原子力発電所の事故の教訓を反映する核セキュリティを含めた核物質防護強化のための原子炉等規制法の改正が、2012年3月に行われた。今後、法令改正

を受けての各事業者による具体的な展開が重要である。

なお、未整備部分の信頼性確認制度の確立は、原子力分野だけでなく国全体としてのバランスある制度づくりが望まれる。

4. 3S 確保に向けた国と関連学会との連携

(1) 安全要件とセキュリティ要件の調整

現行の原子力施設設置時の審査は、主として安全の観点から実施されていることから、安全要件とセキュリティ要件が相反的である状況が生じる可能性がある。相反的な場合の例としては、内部脅威等への対策として建屋内を区画分けして出入管理することが、事故時等の建屋内の設備へのアクセスや建屋外への避難の遅れにつながる事が挙げられている[原子力委員会原子力防護専門部会、2012]。安全要件とセキュリティ要件が相反的な場合には、安全の担当者とセキュリティの担当者の双方が相互の要件に対する理解を深め、妥協点を見出す努力が求められる。

施設設置後に安全要件とセキュリティ要件が相反的である状況が生じた場合には、その解決に困難を伴うおそれがある。したがって、施設の設計段階からセキュリティ要件も考慮に入れる考え方(security by design)が重要であり、諸外国の動向も視野に入れつつ、我が国も議論を深めていく必要がある。security by design については、国際的な議論もまだ成熟しているとは言えない状況であるが、IAEA 事務局長の核セキュリティに関する諮問委員会(AdSec)が、基本的な考え方をまとめた AdSec 文書を2013年6月をめどに発刊することを計画しており、議論が深まれば、施設の設置許可要件に取り入れることも検討すべきである。他方、核セキュリティ対策と原子力安全対策とのシナジーにも注目すべきである。万が一、核セキュリティ事象が起こって、放射能放散という事態になれば、核セキュリティのために、固有な危機対応計画と防災計画が必要とされると考えるよりも、安全分野での防災対策が即発動される必要があると考える。

(2) セキュリティのための核物質の計量及び管理

核セキュリティのための核物質の計量及び管理は、内部脅威者による盗取の抑止及び検知を支援する対抗手段として検討が進められている。現在 IAEA では、核セキュリティのための核物質の計量及び管理のガイダンスの出版準備中の状況にある。核セキュリティの観点からの核物質の検知限界や検知時間等について決める必要性が生じる可能性がある。一方、我が国では、核セキュリティの観点からの核物質の計量及び管理を担当する行政機関は、原子力規制庁になると思われるが、本手段の導入に当たっては、保障措置のための計量管理と核セキュリティのための計量管理は、目的が全く違うので(保障措置は1SQ(有意量)の転用を転換時間に対応する探知時間で探知すれば良いのに対し、核セキュリティの場合は、より少量の核物質を頻繁に探知できるようにしなければならない)、両者の計量管理が別々に導入されるの

でなく、互いに相補的に導入され、事業者に過度な負担がかかることのないように、実効性と必要性を考慮した議論を踏まえた導入の検討が必要である。

(3) セキュリティ分野の人材育成

核セキュリティ対策を確実に実施していくためには、関係者が核セキュリティに関する十分な知識と経験を有していなければならない。しかし、実際の核セキュリティ事案で経験を積むことを想定した教育訓練のプログラムはありえない。したがって、核セキュリティに関連する多くの分野の知見を取り入れられるような人材育成方法を検討すべきである。原子力関係者には、セキュリティに関連する基礎知識が十分ではない場合が多い一方で、治安当局の関係者には、原子力に関連する基礎知識が十分ではない場合が多い。両者がそれぞれの知識を共有できるような教育訓練が重要である。その際には、机上の学習のみならず、実戦的な演習プログラムを取り入れるべきである。

また、人材育成という観点では、これからの世代を担う若い世代にとって、核セキュリティに関する業務が魅力的なものにならなくてはならない。核セキュリティについての国家資格を作り処遇等と関連付ける、論文等の成果が発表できる環境を作る等、業績を正当に評価するための施策が重要である。

5. 終わりに

福島第一発電所事故後に、原子力事業者側と規制側それぞれにおいて徹底した安全確保への取組が求められることとなった。一方、欧米各国に比べると実施経験が乏しい我が国の核セキュリティについては、今後、事業者、規制側組織、研究開発機関、及び関連学会等の間で、それぞれの役割を確認するとともに有機的な連携を図っていくことが、何よりも必要である。このために当連絡会は微力ながら連携強化の一翼を担うべく今後も努力していきたいと考えている。

本稿は、核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会の総意としてまとめたものである。

(執筆担当：谷 弘，稲村智昌(電中研)，

久野祐輔(原子力機構・東大)，鈴木美寿(原子力機構))

— 参考文献 —

- 1) 原子力委員会原子力防護専門部会，核セキュリティの確保に対する基本的考え方，(2011)。
- 2) 原子力委員会原子力防護専門部会，我が国の核セキュリティ対策の強化について，(2012)。
- 3) 原子力安全・保安院，原子力安全基盤機構，規制当局が事業者の安全文化・組織風土の劣化防止に係る取組を評価するガイドライン，(2007)。
- 4) IAEA, Safety Culture, (1991)。
- 5) IAEA, Nuclear Security Culture, (2008)。
- 6) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子力防災小委員会，原子力施設における内部脅威への対応について，(2005)。
- 7) 久野祐輔，桜井聡，堀雅人，核鑑識技術の確立にむけて，原子力学会誌(ATOMOS)，Vol.53, No. 4, 21-25(2011)。

原発被災者に寄り添う科学者の姿

毎日新聞 神保 圭作

2012年8月の炎天下。福島県南相馬市鹿島区の農地に無数のヒマワリが咲いた。日本原子力研究開発機構フェローの天野治さん(62)が、地元農家と共に天野さんが植えたものだ。同市で進めている除染実験の一環で、植物による放射性物質を取り除く「ファイトレメディエーション」の効果を確かめる目的があった。ヒマワリによる放射性物質の取り込みは2011年夏、農水省が同県飯館村の水田で同様の実験を実施したものの、「効果がない」とする結果を公表したが、天野さんは「結果はどうかであれ、自分たちでやってみて結論を得ることが大事」と語ってくれた。効果は近く、公表される予定だ。

天野さんとは、私が福島県南相馬市の通信部に勤務していた2011年9月、除染に関する住民向け説明会で知り合った。住民からの質問に、一つ一つ丁寧に答えている姿が印象的だった。天野さんは福島県内でほとんど手つかずの農地の除染方法の研究を農作業経験の豊富な住民と協力し、汚染された農地に農機具を持ち込んで表土をはぎ取ったり、反転耕をしたりして、放射線量の低減率の詳細なデータを収集。比較的空間放射線量が高い住宅の線量を下げたため、裏庭の雑木林の除染も行った。毎月1,2回、現地を訪れて研究を進め、地元の農協などに除染方法を提言している。研究にかかる費用はすべて手弁当。住民を巻き込んだ除染作業の意義を、「ゼネコンに除染を頼めば一番楽だが、住民が元の生活に戻るのに時間がかかってしまう。待つだけでなく、住民自らが参加することで除染が進み、復興も早まる」と話してくれた。

こうした活動を通して天野さんが提案するのは、「除染作業日誌」というものだ。住民自らが行った除染作業を毎日細かくノートに記入し、その作業日誌を東京電力に提出して日当を請求するというもの。「自らが除染することで、被害者意識も薄らぐ」という。天野さんがこの活動に取り組むのには、「汚染された生まれ故郷を取り戻したい」との思いだけでなく、「科学者として何かをしなければならぬ」との思いがあるからだ。

福島第一原発事故の被災地取材して思うのは、現地で研究活動に取り組む科学者に対する住民の不信感だ。2012年版の科学白書でも、「科学者の話は信頼できる」と回答した割合は84.5%(2010年10月～11月)から64.2%(11年10月～11月)と、震災前後で約20%低下、「信頼できない」と回答した割合は5.2%から15.2%と10%も増えている。「科学者は自分の論文を書くためだけに被災地に入っている」といった声も、取材の中で聞いた。

原発被災地を取り巻く現状は厳しい。進まない除染や汚染土を一時的に保管する仮置き場の確保、中間貯蔵施設の建設などで住民間で意見が二分している。警戒区域、計画的避難区域の再編問題でも、放射能濃度によって帰還困難・居住制限・避難指示解除準備の3区域となり、それぞれの区域で帰還時期が異なるだけでなく、賠償額をめぐる精神的な分断に苦しむ地域もある。低線量被ばくによる健康問題でも、「研究者間でも意見が分かれており、誰が正しいのかわからない」と疑心暗鬼になっている。

天野さんの研究に協力する住民の一人は、天野さんの取り組みに住民が参加するようになり、「ばらばらになった地域が一つにまとまってきた」と話してくれた。原発被災地に入り、住民に寄り添って活動する天野さんの姿は、地域をまとめる役割を果たしているように思える。継続的に現地に足を運び、住民と寄り添うことは難しい。だが、疑心暗鬼となっている原発被災地の住民が求めるものの一つは、親身になって考えてくれる科学者の存在ではないか。天野さんのような活動は、避難者と科学者との溝を埋め、信頼を取り戻す唯一の方法ではないかと思う。

(2013年1月29日 記)



神保圭作(じんぼ・けいさく)

毎日新聞福島支局

1985年10月31日生まれ。2008年入社、同4月福島支局に赴任。09年10月に福島支局南相馬通信部、11年10月に東京本社科学環境部を経て、12年10月から福島支局に勤務。