

### FOCUS 東日本大震災

1 緊急提言 福島第一原子力発電所事故対応に向けて 石川迪夫

4 東京電力福島原子力発電所事故の概要と経緯



福島第一原発への放水作業(防衛省 HP より)

6 福島原子力発電所事故の放射線のレベルについて

7 被ばくの仕方と人体への影響

7 内部被ばくについて

8 遠隔地被ばくについて

9 食と住居について

10 原子力学会の活動

「原子力安全調査」専門委員会を設置

11 福島第一原子力発電所のプラントデータ

### 巻頭言

13 オペラ「白虎」

角山茂章

### 羅針盤

14 巨大地震が見せた日本社会の脆弱性

この悲劇を生かすために、われわれ一人一人が、何が必要で何が足りなかったかを誠実に検証し反省する必要がある。 宇恵一郎

### シリーズ解説

我が国の最先端研究開発

No. 29 放射線医学総合研究所(最終回)

22 社会基盤としての緊急被ばく医療

放射線被ばく事故とは不慮の放射線被ばくによって、有害な障害が現われる事象をいう。ここでは放医研などによる国内の被ばく医療体制について紹介する。 明石真言, 蜂谷みさを, 富永隆子, 立崎英夫, 鈴木敏和, 山田裕司

### 解説

35 多国間設計評価プログラム(MDEP)とその影響—Part 2. 世界標準と安全設計

新設計炉開発の状況とシビアアクシデント(SA)対処設計について、ルールや実設計としての世界標準と、国内におけるSA対処設計の位置づけについて述べる。 佐藤 崇

### 解説 「匠」たちの足跡 第6回

42 東京大学電子ライナック施設

東京大学電子ライナック施設は量子ビームの研究の世界の拠点として認知され、今も活躍し続けている。 上坂 充, 勝村庸介, 田川精一



Sバンドツインライナックシステム

表紙の絵 「水辺の彩」 製作者 青島 紀三雄

【製作者より】長い間「水と光と風」をテーマに水彩画を描き続けています。数年前からカナダの風景に魅せられ、この「水辺の彩」は壮大な原生林の中にある、小さな湖を描いたものです。巨木の高さに圧倒されつつ出遭った湖は、水面に澄んだ空を映して光を躍らせており、静寂さの中でその彩り全てが大きな感動となって私の身心を駆け抜けました。

第41回「日展」へ出展された作品を掲載(表紙装丁は鈴木 新氏)

## 報告

### 30 事象の重要性を公衆に伝えてきた INES—20周年となった国際原子力・放射線事象評価尺度

国際原子力・放射線事象評価尺度(INES)は、原子力施設や放射線利用における事故・事象の重要性を国際共通尺度により数値化し、公衆にわかりやすく伝えるツールである。これをめぐる20年の動きを紹介する。

阿部清治, 八木雅浩

### 47 原子力報道に携わる記者へのインタビュー調査について

原子力に関わるニュースを報じる全国紙やNHK等の記者は日ごろ、どのような意識をもって取材にあたっているのだろうか。彼らを対象に実施したインタビュー調査の結果を報告する。

土田辰郎

### 52 INIS データベースの利用について—研究者、技術者が求める情報ツールとは?

国際原子力情報システム(INIS)は、原子力分野における代表的な文献データベースだ。その利用者に、INIS についての調査を行った。

権田真幸, 中嶋英充

## 原子力外交シリーズ(4)

### 56 保障措置の現状と我が国の課題

IAEAの保障措置活動は日本において最も活発に行われている。わが国のこれまでの保障措置に対する取り組みと解決せねばならない課題、そしてわが国の進むべき方向について概説する。

木村直人

## 談話室

### 64 親日的な台湾との核能交流

SNW 会員6名は昨年12月に台湾を訪れ、台湾核能资讯中心(NIC)と交流会を開いた。

宅間正夫, 金氏 顯

## 15 NEWS

- 福島第一1～4号機の甚大な被害
- 3号機中央操作室に照明点灯
- 福島第一以外の原発は冷温停止へ
- 1～3号, 真水冷却に切り替え
- 福島第一発電所事故は INES レベル5
- 各電力 地震・津波対策を強化
- 安全委が環境モニタリング評価
- 全原協が被災地支援
- 保安院が緊急安全対策を指示
- 海外ニュース

## Nuclear News を見て

### 58 核不拡散施策の現状と課題—核不拡散特別委員会(SCNN)の特集記事を読んで

内藤 香

## ATOMOΣ Special

### 世界の原子力事情(13) 東欧編

### 60 スロベニア—原子力発電所のある世界最小の国

スロベニアでは66万kWのPWRが1基運転中であり、2基目が計画中。

杉本 純

## 私の主張

### 62 学生の視点から見た“分野融合的”教育—国際舞台で活躍する原子力エンジニア育成のための提案 成川隆文(おでんちゃん)

## 会議報告

### 66 大学における原子力基礎研究「複合原子力科学」の発展に向けて 川端祐司

### 46 From Editors

67 会報 原子力関係会議案内, 人事公募, お知らせ, フェロー基金寄付のお願い, 基金寄付者芳名一覧, 英文論文誌(Vol.48, No.5)目次, 主要会務, 編集後記, 編集関係者一覧

後付 日本原子力学会賞 受賞概要

## 福島第一原子力発電所事故対応に向けて

日本原子力技術協会最高顧問 石川 迪夫



2011年3月11日、マグニチュード9の地震が起きた。設計を遙かに超える地震であった。だが発電所はそれに

耐えた。運転中の3基は自動停止し、外部電源の喪失に伴う非常用電源の起動によって、冷温停止への冷却に入った。全ては設計通りであった。3度の大揺れのなかプラントを見守っていた運転員は、ほとととしたに相違ない。

約一時間後、津波が来襲した。地下にある電源設備が水没して、安全冷却のため働いていた設備はすべて使用不能状態となった。この一種の全交流電源喪失状態は、以降13日間にもわたって続いた。それは電力会社が設計上主張してきた、最大8時間の停電を大幅に越えるものであった。

だが停電後も、電気を使わない安全設備は働き続けた。1号機の隔離時復水器は半日間炉心を冷却した。2、3号機の蒸気タービン駆動注水装置は、それぞれ約3日と1.5日の間、炉心に水を注入し続けた。これらの作動時間は設計以上で、災害の発生を大幅に遅らせてくれた。しかるに外部電源は回復せず、遂に事故に至った。

崩壊熱による冷却水の蒸発で炉心の冠水が失われた結果、高温になった燃料被覆管と水蒸気の間で化学反応が起き、大量の水素ガスの発生と、反応熱による炉心溶融が起きた。この水素ガスが、後ほど述べる1、3号機の爆発に繋がる。

溶融炉心についての想定度合いは人により異なる。僕は、炉心が圧力容器内に残っていれば、直径4m高さ2m程の卵形でクラストに覆われ、その中に摂氏二千数百度程の溶融炉心が煮えたぎっていると見ているが、どうであろうか。皮殻となるクラ

ストの厚みは、いま20~30cmほどであろう。想像の度合いや可否は別として、溶融炉心からは放射性物質の吐出が続くことが大問題だ。ただ、圧力、水位など、炉心状況を推測できるパラメーターが安定しているのは心強く、溶融炉心はいま小康状態にあると見て良い。

敷衍すれば、炉心から放熱される蒸気温度は高々百十数度であるから、大気中に放散される気体放射性物質は希ガス、沃素などに限られているし、また、既に出尽くしていると思われる。観測地点での放射線レベルも、沃素131の半減期に従って漸減している様に見える。苦しい避難生活に耐えている人々の、帰宅を考えて然るべき時がきている。

逆に、発電所内に蓄積した水の放射性濃度は日を追って高まっている。これが一大事であり、大問題である。溶融炉心から吐き出される放射性物質は周辺の水や水蒸気で冷やされ、水中に移行して放射能濃度を高め続けている。その濃度は高く、人の接近を阻み、今後の復旧作業の妨げとなる。勿論、海水への無責任な放出は出来ない。

現行の水の掛け流しによる冷却方法は発生熱の除去だけであり、溶融炉心を冷却凝固させる上では何らの効果もない。百年河清を待つ崩壊熱との闘ぎ合いで、徒に高濃度の液体放射性物質を増やしている。解決策のないままの時間の浪費である。一日の遅滞は百日の困難を招く。確とした対処方針のないまま、遅疑逡巡するのは犯罪に等しい。それが国民の選択であるならば話は別だが、我々は強制冷却により溶融炉心を凝固させ、放射能の放出を停止させる作業を、一刻も早く目指すべきである。これが今なすべき喫緊の任務だ。だがこの旬日それに向けての確たる動きは、悲しいかな、見えない。

それどころか、低いとはいえ液体放射性廃液を、前触れもなく海に放出するという愚行を犯している。漁民が怒り、韓国から抗議が出たのは当然で、政府も東電も危機に臨んで狼狽し、平常心を失っているかに見える。いや、ひょっとすると、事の本質、重要性に、まだ気付いていないのではないかとさえ思えるのである。

同じ事は日本原子力学会についても言える。3月11日以降の一月、日本ただ一つの原子力技術者集団でありながら、この非常時に何らの救援活動も始めていないではないか。原子力学会の名が泣く。事の本質、重要性に気付いていないとすれば、それは勉強不足であり、使命感の欠如である。

国民に対し一言のメッセージも発しない原子力安全委員会、事後説明に終始し見通しを示さない原子力安全・保安院、当事者でありながら存在感が薄い東京電力首脳。これらが事故終息への展望が開けない現実と混ざり合って、国民にイライラと原子力不信を募らせている。情報の得にくい諸外国は更なりだ。日本国としての明確な決意表明がないから、その日暮らしと映るのだ。この事態を打開する道は、対策目標の明示による政府の決意表明しかない。

本学会が成すべき事は、今述べた事態打開への警鐘を打ち鳴らし、その下での手伝いにある。目標に至る道標の整備、必要技術の模索、実働を含めた協力姿勢など、専門集団としての、縁の下の力の活動はいくらでもある。諸賢一人一人の、速やかな実行を期待する。

放射線の高くなった現場作業は、戦場である。放射線との戦いには、信頼できる総司令官と理非を弁じうる参謀による指揮と、それを支える政府の全面的な支援協力が必要だ。戦場を発電所構内とその近辺海域に限定して、その内部では非常時のルールを設定使用することが必要だ。これは超法規措置で政府の専管決定事項であるが、我々専門家のみがその手伝いが出来る事である。

一言心得を示せば、戦さ場での主力は発電所を熟知する現場技術者である。放射線下の作業に経験の乏しい人は一般的に恐れ緊張するので、足手纏になる。机上作業が得意な学会員は、余分な口出しはせず、黙々と後方で支援活動に励み、苦しくとも与論喚起に徹すべきだ。これは日露戦争からの教訓で

ある。

いま即刻始めねばならない現場作業は、戦場の整備整頓である。放射線との戦いにはハイテクの遠隔操作機械と遮蔽の使用が欠かせない。溶融炉心を冷却する仮装置の設置場所も必要である。そのための作業現場は、放射線量の軽減などの環境整備が必要だ。不要設備の撤去や瓦礫の処理をするための重機材の搬入、汚染水の除去、床の除染など、それが戦いなのだ。更にその以前の作業として、敷地全体の整備、運送道路の確保など、機器搬入組み立てのための整地などが急がれる。11日読売朝刊は、この作業がやっと始まったことを伝えた。喜ばしい。

戦場が整備され、並行して溶融炉心の冷却が達成されれば、展望は立つ。次は凝固した炉心の在処と状態の探索だ。ここからは国際協力の下での実施が望ましい。日本への協力表明は、協力によって原子力災害への教訓を自らも体得するという期待が含まれている。外務省はこの辺りの采配を間違えてはならない。

炉心状況さえつかめれば、溶融炉心の撤去解体への道筋はつく。後は決心と実行のみである。その方法は千差万別、色々であろう。これ以上の論評は、いま無用である。

事故の発生に立戻って、我々原子力関係者の配慮に何が欠けていたのか、その反省は必須である。即座の反応としては、技術的には冒頭述べた事故の経緯から明らかなように、設計条件以上の津波の来襲と電源喪失時間の遅滞である。地震だけならば、低温停止に至る設備は正常に動いていた。津波による被災にもかかわらず、緊急安全冷却設備の一部は設計通り作動して炉心を冷却していた。安全設備は、力尽きるまで設計通りにその役目を果たしていたのだ。安全設計に責任は課せられない。

責任の所在は、今後探求されるであろう事故対応上の是非を除いて、災害原因である津波と電源喪失時間にある。いずれも過去の歴史的事例から演繹された結果を、絶対的数値と信用して、設計上採用した不明にある。

考えてみれば、複雑な地球物理学が教える値とは、希にしか起きないが故に大きい誤差を持つ数値であるのだ。それを信じて、ミリ単位が常識の原子力設計に取り入れたところに災害の芽があった。安

全設計審査指針の、指針2「自然現象に対する設計上の配慮」の項が、地震とその他の二項に分かれているところが、その間の平仄を物語っている。津波、洪水、台風、つむじ風、降雨、積雪、これら地球の活動の全てに対して、第1項の地震と同様の、工学的精度での知見のメスを加える必要がある。

電源の復帰こそは、申請者である電力会社の専門分野、他の容喙を許さぬ絶対領域である。そこに落とし穴があった。津波も電源喪失も、絶対値を信じたが故に「起きない」とした判断に問題があった。今後の安全設計は、これら異変が「起きる」とした前提での対策を用意せねばならない。今回の事例から言えば、津波に対しては一定時間内の電源復旧であり、電源喪失に対しては自然災害に抗しうる多様な電源の準備が、その解答である。いま福島電源復旧が仮設電源にあることも、一つのヒントであろう。

今ひとつの反省事項は水素爆発である。炉心溶融に直接影響したとは言い切れないが、人心を不安に陥れ、瓦礫が復旧の妨げている現状から見て、水素爆発は事態悪化を招いている。4号機はさておき、1, 3号機に爆発が起き、2号機に爆発がなかった点は注目すべきである。この理由を、2号機は原子炉建家にあるブローアウトパネルが(3号機の爆発により)開放されたため、水素ガスが建家内に蓄積しなかったと推測する人もいるが、詳細究明は今後待とう。

それより、我々はこれまで放射能の閉じ込めを完全にと考え、優先させてきた。だが水素爆発を介して眺めれば、この考え方は正しいとはいえない。炉心溶融の始まる前に、水素ガスを含めた格納容器内の気体を放出させた方が、放射線被曝上も、爆発防

止上も、よほど安全と考えられるのである。真剣に検討して欲しい事項である。因みに、TMI事故で避難勧告が出されたのは、水素爆発による格納容器の破壊をおそれたためであり、皮肉なことに、その心配が云々される以前に、水素爆発が格納容器内で発生していたという事実を伝えておこう。

以上、今回の原子力災害事録を基に、現状と懸念、並びに反省事項について概要を述べたが、この細部の検証は若い会員諸君達の仕事である。活発な議論の上に立って合理的な対策を考案して欲しい。これらはいずれ、国際的な議論となること必至である。

書くにためらいを覚えるが、事故時対応を廻っての是非論が起きている。菅首相の現地訪問の是非を廻っては、政治的駆け引きが介在している。このことに我々が関わることは無用であるが、今後の原子力災害防止上、科学技術的な議論を国際場裏で行う上で、正確なデータの提出は避けられない。この仕事は、失敗も述べなければならない故に、辛い。

辛くとも、大義親を滅すだ。辛くとも、これだけの災害を起こした日本の信用が懸かっている。隠蔽改ざんから決別した東京電力だ。世界に向けて恥じない実録を、整理発信して欲しい。それが東京電力の崇高な責務である。

末筆となったが、現場で苦闘して居られる東京電力及び協力企業の職員、また支援していただいている自衛隊、警察、消防の人達の奮闘に対し、深甚な謝意と敬意を述べさせて頂く。加えて忘れてならないのが、原子力空母まで動員して救援に赴かれた米軍の協力だ。友邦米国の実ある支援に対して深い感謝の念を表し、緊急提言の筆を置く。

(2011年 4月11日 記)

## 福島第一原子力発電所で事故が発生

### 事故の概要と経緯

3月11日に東北地方で起きた地震の影響により、東京電力の福島第一原子力発電所の1～4号機で重大事故が発生しました。4月4日時点では事故はまだ終息しておらず、冷温停止に向けた作業が実施されています。ここでは、同事故の概要と経緯を紹介します。

巨大な地震が東北地方を襲ったのは、3月11日午後2時46分。その時、運転中だった福島第一発電所の1～3号機と第二発電所1～4号機の原子炉の炉心には制御棒が挿入され、7基全機が自動停止しました。これにより核分裂の連鎖反応は停止し、燃料棒から出る崩壊熱の冷却に移りました。また地震が起きた時、第一発電所の4～6号機は定期検査中でした。

この時に同発電所で観測された地震の大きさは、水平方向で最大507ガルで、同社が設計で想定していた南北449ガル、東西441ガルの揺れを上回っていました。

その後、地震の影響で、外部から送られてきていた電気が停止。外部電源喪失となったため、非常用ディーゼル発電機が起動し、この電気によって冷却系の設備の運転が維持されました。しかし、地震後に発生した津波によって燃料タンクが流出。電源盤も水没し、非常用ディーゼル発電機が停止した。なお同社が設計時に想定した津波の高さは最大で5mでしたが、実際に来た津波の高さは14mを上回りました。

このため第一発電所1号機では復水の補給ができなくなり、炉心の冷却もできなくなりました。2、3号機は1次系の蒸気を利用してタービンを回して復水貯蔵タンクを水源とする隔離時冷却系および非常用の高圧注水系が作動しましたが、次第に1次系の圧力が下がったため、これも停止しました。

この結果、炉心の冷却水の温度が上がって蒸気が発生し、压力容器の中の圧力が上昇。このため蒸気を、格納容器下部にあるトラスと呼ばれる圧力抑制プールに放出して凝縮しました。しかし、この熱を残留熱除去系により海水に伝達できないために、格納容器の中の圧力が上昇しました。

1次系の冷却水が蒸発やトラスへの放出などにより減少したため、燃料の上部が水面上に露出しました。この上部部分は冷却ができなくなったために、燃料表面温度が上昇。水蒸気と燃料被覆管のジルコニウムが化学反応を起こして水素が発生し、ベント管を通して格納容器内に拡散しました。このような水素を除去する可燃性ガス処理系も、停電により作動しませんでした。

また高温になった燃料の一部は破損したと推定されます。周辺からは、その際に発生したと思われる放射性的ヨウ素とセシウムが検出されました。

なお格納容器は厚肉の鋼鉄製ですが、圧力が高くなり



福島原発への放水作業(防衛省 HP より)

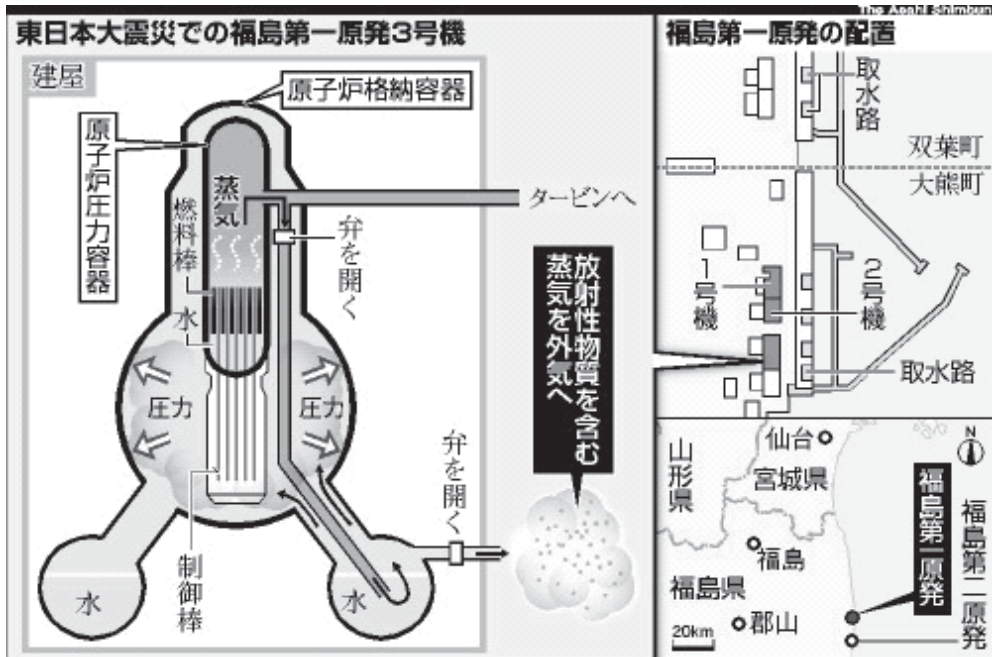
すぎると破損し、中にある大量の放射性物質が外部に放出される危険性があります。そこで格納容器の圧力を下げるために、1号機では3月12日に水素を含む蒸気の一部を、大気にベント(排気)しました。また3号機は13日、2号機は14日に同様の措置をとりました。この時に、放射性物質も排気されたと推察されます。炉心を冷却するため1、2、3号機の格納容器と压力容器内に海水を注入して、温度と圧力を下げました。

また1号機と3号機では、放出された水素の一部が何らかの理由により原子炉建屋内に充満して爆破し、原子炉建屋が損壊しました。

地震発生時に停止中だった4号機では、シュラウド交換のため炉心にあった燃料はすべて、使用済み燃料プールに保管中で、残留熱除去系によって熱を除去されました。しかし除去系が停止したため、プール内の水温が上昇して水の一部が蒸発。これにより使用済み燃料の上部が空气中に露出して高温となり、水と金属との化学反応で水素が発生しました。さらにこの水素によって火災と爆発が起こり、4号機原子炉建屋が損壊しました。この時に、放射性物質の周辺への放出が起きたと推察されます。なお3、4号機の使用済み燃料貯蔵プールには、消防車やコンクリートポンプ車によって海水が注水され、3月29日現在では温度が下がっていることが確認されました。

また3月20日には電源を福島第一原子力発電所に引き込む工事が始まり、3月29日までには1～4号機の中央制御室の照明が点灯しました。

一方、3号機タービン建屋では24日に、床にたまった水の中に高い濃度の放射性物質が確認されました。この



福島第一原発3号機の炉内構造とサイトの位置(原子力図面集より)

ため建屋内の作業員3人が被ばくし病院に搬送されました。この高い放射能は原子炉内の燃料に含まれる放射性物質が漏れて出ているためと推定されます。

タービン建屋外のトレンチ(配管が通っているトンネル状の地下構造物)でも3月27日に、水がたまっていることがわかり、その中にも高い濃度の放射性物質が確認されました。

東京電力は3月28日に、敷地内の土壌5ヶ所でごく微量のプルトニウムを検出しました。このプルトニウムは、燃料が溶けた可能性も否定できないと考えられています。

東電では今後、漏れ出た放射能の高い水を排水した上で、設備点検を進めて順次ポンプを動かして冷却する方針です。

なお福島第二原子力発電所は、東北電力からの送電線が生きていたため、格納容器内の水で炉心を冷却し3月15日には全機が冷温停止状態になりました。

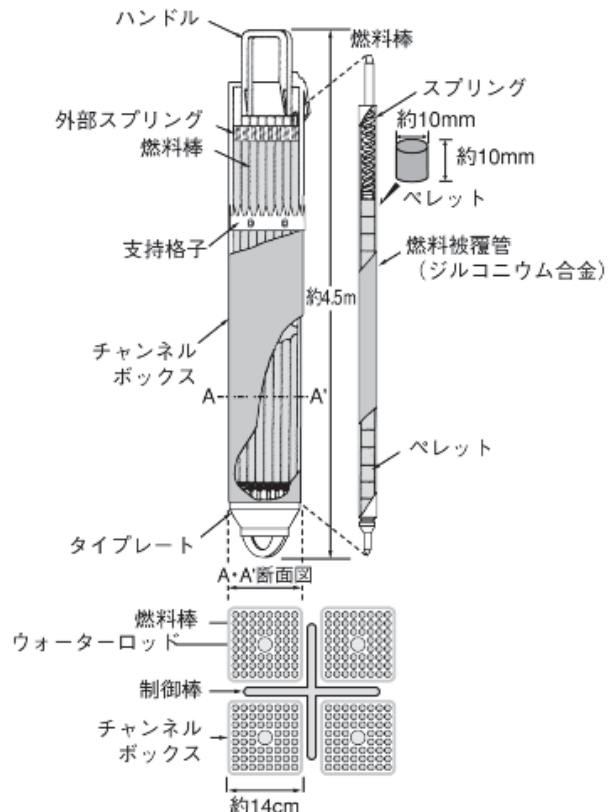
<放射性物質を閉じ込めるためのしくみ>

第1の障壁：ペレット 原子炉の中に入っている燃料はウラン酸化物で、高温で焼き固めたペレット(直径約1cm、長さ約1cm)になっている。核分裂によってエネルギーが出るが、同時に核分裂生成物(放射性物質)も発生する。核分裂生成物の大部分はペレットの中に閉じ込められるが、一部はペレットを納める被覆管の中に閉じ込められる。原子炉の中のペレットの総数は1号機が900万個、2、3号機が1,200万個程度。

第2の障壁：被覆管 このペレットをジルコニウム合金製の被覆管の中に入れたものが、燃料棒。この燃料棒を所定配置に束ねたものが燃料集合体。燃料集合体の数

は1号機が400体、2、3号機が546体。なお通常運転時には、冷却材である水が燃料棒間を通り抜ける際に、燃料ペレットにおける核分裂による熱エネルギーが被覆管を通して伝熱し蒸気となる。この蒸気を使ってタービンを回し、電気を作る。

第3の障壁：原子炉圧力容器 原子炉圧力容器は鋼鉄製で、1号機の場合だと内径約4.8m、高さ約20m、2、3



BWR燃料集合体の模式図

号機は内径約5.6 m、高さ約22 m。壁の厚さは16 cm。被覆管が破損し放射性物質が漏れた場合には、この原子炉圧力容器が放射性物質を閉じ込める役割を果たす。

第4の障壁：原子炉格納容器 圧力容器の外側にあるのが原子炉格納容器で、主要な原子炉機器を包んでいる。

第5の障壁：原子炉建屋 格納容器の外側には、コンクリート製の原子炉建屋がある。

### < 3月23日時点でのこれらの障壁の状況 >

ペレット ウラン酸化物(UO<sub>2</sub>)の融点は2,800℃。冷却がうまくいかず、これが融けた状態が、燃料溶融だ。さらに炉心で大量に燃料溶融が生じた状態を、炉心溶融と呼ぶ。燃料が溶融すると、ペレットの中に閉じ込めら

れていた核分裂生成物が外部に放出される。また燃料溶融が拡大して炉心溶融状態が長く続くと、圧力容器が破損する可能性がある。

被覆管 被覆管を十分に冷やすことができないため、燃料が部分的に露出している。周辺ではヨウ素やセシウムが観測されており、被覆管の一部は破損しているものと考えられる。

原子炉圧力容器 圧力容器はこれまでのところ、損傷している兆候はない。

原子炉格納容器 2号機では、圧力抑制室が損傷している可能性がある。他の号機では、損傷の兆候はない。

原子炉建屋 1～4号機すべての建屋の上部が、水素爆発や火災で損壊、損傷している。

## FOCUS

### 福島発電所事故の放射線のレベルについて

#### 公表されている放射線量はどのような意味を持つのか

日本原子力学会は、東京電力福島第一および第二原子力発電所において、放射性物質の環境への放出があり、各地の放射線測定値が通常の何倍にも上がっていることに深く憂慮しております。そこで当学会におきまして、下記のとおり今般測定された放射能レベルについてまとめました。

3月15日午前10時に福島第一3号機周辺で400 mSv(ミリシーベルト)/hという高い線量が計測されました(1 mSv=1,000 μSv)。しかし、これは敷地内の局所的な値であり、敷地境界では15日午前9時に正門で観測された11,930 μSv/hが最大です。

3月15日午前9時に東京電力福島第一原子力発電所正門のモニタリングで測定された11,930 μSv(マイクロシーベルト)/hの意味を説明します。

Svは放射線の人体への影響をはかる単位で、マイクロは100万分の1の意味です。11,930 μSv(マイクロシーベルト)/hは、11,930 μSv(マイクロシーベルト)毎時ということです。

μSv毎時とμSvの関係は、自動車の速度と距離に相当すると考えれば分かりやすいでしょう。例えば100 km毎時で一時間走ると、100 kmの距離を走るようになります。50 km毎時だと100 kmを走るために2時間かかります。

11,930 μSv毎時は、1時間その場所にいると、11,930 μSvという放射線量を浴びるという意味です。注意する必要があるのは、11,930 μSv毎時は、最も大きな値で、平均的にはずっと低い値で推移していることです。つまり、スピードが出ていたのは少しの時間で、ほとんどの時間はゆっくり走っている状態ということです。

国連科学委員会の報告には、自然界から受ける1人当たりの平均の放射線量は、1年間で2,400 μSvであるとしています。自然界から受ける放射線の量は場所によっ

て違いがあり、年間で10,000 μSv～20,000 μSvに達する自然放射線を浴びている人もかなりいるといえます。

また、東京-NY往復で200 μSv、胃のレントゲン撮影で1回600 μSv、CTスキャンでは6,900 μSv程度の放射線を浴びています。

国際放射線防護委員会が、職業上放射線被ばくを伴う業務の従事者や一般公衆に対して勧告している被ばくの上限值を線量限度といいます。この線量限度は次の考えに基づいています。

- (1) 急性の放射線障害の発生を防止するため、しきい線量(実際に影響が現れる最低の線量)よりも十分低く定める。
- (2) がんの発生率に関しては、しきい線量がないものと仮定した上で、一般社会で許容できる程度の線量とする。この考え方に基づき、一般公衆の線量限度は1年間に1,000 μSvですが、職業人は5年間の平均が20,000 μSv/年となっており、ある年に20,000 μSvを超えても他の年に下回っていて平均で20,000 μSv/年を超えなければよいという勧告になっています。なお、線量限度には自然放射線と医療による被ばくは含まれません。

1回の被ばくで100,000 μSv(100 mSv)を大きく超えた場合にはがんの発生確率が被ばく量に比例して増加するとされていますが、それ以下の被ばくではがんの有意な増加はみられていません。

\*「被ばく」は漢字で書く「被曝」(放射線にさらされること)



であって、「被爆」(爆撃を受けること、原水爆の被害を受けること)ではありません。

## FOCUS

## 被ばくの仕方と人体への影響

被ばくの仕方には外部被ばくと内部被ばくがあり、また瞬間的な被ばくと継続的な被ばくがあります。人体への影響はそれぞれで若干、異なります。

## 外部被ばくと内部被ばく

太陽からの紫外線やX線や放射線は、人の細胞にダメージを与えます。一方、人の細胞はそれに打ち勝とうと活性化します。よって、人の細胞が活性化する程度であれば、太陽からの紫外線やX線や放射線は日常生活において許容できるものとなります。これらの光線により体の外から影響を受けることを「外部被ばく」といい、外部被ばくの程度が著しいと健康を損ねることになります。できるだけ外部被ばくを避けることが大切です。

また、「放射線」を放出する物質を放射性物質といい、この物質を体に取り込むことにより影響をうけることを「内部被ばく」といいます。体の中に放射性物質が留まると、その部位の細胞ばかりが放射線を受け続けることとなります。内部被ばくをしてしまった場合には、できるだけ速やかに体からその放射性物質を追い出すことが大切です。人の体には「代謝」という働きがあるので、放射性物質を追い出すことができる場合があります。また、寿命が短い放射性物質の場合は放射性物質がひとりでに寿命切れしてなくなってしまう場合があります。

内部被ばくの場合には、取り込んでしまった放射性物質の種類によって体への影響が異なるものとなります。ガス状の放射性物質(クリプトン等)は体内に残りにくく、すぐに肺からでてしまいます。ヨウ素は代謝されなかったものは甲状腺に集まります。セシウム-137は代謝されなかったものは筋肉に集まります。

有効半減期(体内の放射性物質の量が半分に減少するまでの時間)は、ヨウ素-131で7.5日、セシウム-137は110日(ICRP Pub. 78)程度といわれています。

3月17日から3月21日までに福島市で測定された飲用水の放射能は最大で180ベクレル/kgでした。仮に、この水を毎日2リットル1年間のみ続けた場合、ヨウ素が甲状腺に取り込まれる割合を20%とすると、約820ベク

レルのヨウ素による内部被ばくを受けることとなります。これは、私達の体に通常含まれているカリウムからの内部被ばく量である6,000ベクレルに比べて十分小さい値です。

## 瞬間的な被ばくと継続的な被ばくについて

瞬間的な被ばくと継続的な被ばくについて、積算して同じ被ばく量となった場合を比較すると、瞬間的な被ばくのほうが体へのダメージが大きいといえます。これは野外活動での日焼けと同様なことがいえます。野外活動においては、ゆっくり少しずつ日焼けをすると皮膚の炎症は少ないが、一度に急に日焼けするとひどい炎症となり皮膚が傷んで出血する場合があります。ゆっくり日焼けをする場合には新陳代謝により体へのダメージが少ないといわれており、同様に放射線による細胞への影響についても、積算が同じ被ばく量なら長時間で被ばくする方が人体への影響が少なくなります。

放射線の場合、放射線の影響により、細胞中のDNAがある割合で損傷を受けますが、人体にはこれを回復させる作用もあります。瞬間的な被ばくの場合には、回復よりも損傷の度合いのほうが大きくなり、発ガンのリスクが高まるなど、人体への影響を受けやすくなりますが、同じ被ばく量を長時間で被ばくする場合には、損傷の回復が同時に進行するため、人体への影響を受けにくくなります。

以上のことにより、福島原子力発電所から30 km以上離れた地域など、線量率の低い場所では、長時間被ばくを受けた場合でも人体への影響は受けにくいといえます。

\*放射線を出す能力を「放射能」といいますが、放射能を持つ物質(=放射性物質)を放射能と呼ぶこともあります。

## FOCUS

## 内部被ばくについて

私たちは、放射線や放射性物質を取り扱うことを仕事としていなくても、日常の生活の中でいろいろな種類の放射線の発生源(放射性物質)からの放射線を受けています。私たちの身体がこのような放射線源からの放射線によって被ばくする場合、その放射線源が私たちの身体の

内部にあるのか、あるいは外部にあるのかという点に着目して、被ばくの形式を2つに分けて取り扱うのが、放射線防護の意味で合理的です。放射線源が身体内部に存在することに起因する被ばくを「内部被ばく」と呼び、身体外部に放射線源があることに起因する「外部被ばく」と

区別し、放射線防護上の整理をしています。

内部被ばくは放射性物質が体内に取り込まれることによって起こります。日常生活の中で内部被ばくが起こるのは、空気や水や食べ物に放射性物質が混ざり、私たちがそれらを、呼吸や食事などで摂取した場合です。これらの経路を通じて体内に取り込まれた放射性物質は血液またはリンパ液とともに体内を移動します。体内の臓器や組織はそれぞれ特定の種類の放射性物質を沈着させやすい性質を持っています。例えば、ヨウ素( $^{131}\text{I}$ など)は甲状腺に集まることが知られています。

放射性物質からの放射線は沈着臓器・組織とその周辺の臓器・組織を照射し、その結果として内部被ばくが発生します。放射性物質のうち、ヨウ素( $^{131}\text{I}$ など)のように特定の臓器・組織に沈着するものは身体の一部に被ばくをもたらしますが(部分被ばく)、トリチウム、カリウム( $^{40}\text{K}$ )、セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )などは身体全体に分布するので全身が放射線の照射を受けることになります(全身均等被ばく)。

身体内の放射性物質の量は、その放射性物質の放射性核種による固有の半減期(物理学的半減期  $T_p$ )と身体の代謝による半減期(生物学的半減期  $T_b$ )とで決まる割合(実効半減期; 有効半減期ともいう)で減少していきます。例えば、 $^{137}\text{Cs}$ の物理的半減期は30.07年ですが、体内に取り込まれた $^{137}\text{Cs}$ が体外へ排出される速度をあらわす生物学的半減期は110日(ICRP Pub. 78)です。その放射性物質に、身体がどのくらいの期間曝されるか(実効半減期  $T_{\text{eff}}$ )は、この2つの半減期で決まります。2つの半減期の逆数の和が、その核種の実効半減期の逆数になっているからです。

$$1/T_{\text{eff}} = 1/T_p + 1/T_b$$

各臓器・組織への放射性物質の沈着量、沈着した放射

性物質が放つ放射線の種類、臓器・組織に与えるエネルギー、実際に沈着している期間の長さ(実効半減期)などに基づいて、内部被ばくの大きさ(内部被ばく線量)が計算できます。内部被ばく線量の評価には、「実効線量係数(Sv/Bq)」が用いられます。これは、1 Bqを摂取した人がその放射性物質でその後内部被ばくし続けた時の合計線量(預託実効線量といいます)を表しています。この内部被ばくの線量評価のための積分期間は、作業員や成人の一般公衆で50年、子どもでは摂取した年齢から70歳までとされています。この計算方法により、体内に取り込まれた放射性物質による、その後の体内に残留する期間までも考慮に入れた総線量をまとめて評価できるようになります。実効線量係数は [http://www.remnet.jp/lecture/b\\_05\\_01/4\\_1.html](http://www.remnet.jp/lecture/b_05_01/4_1.html) などで調べることができます。

内部被ばくは外部被ばくに比べて、測定したり、線量を評価したりすることは簡単ではありませんが、不要な放射性物質を体内に取り込まない工夫をする(たとえば粒子性の放射性物質の場合はマスクやタオルで口を覆うなど)ことである程度避けることもできます。外部被ばくも、内部被ばくも、受けた実効線量(Sv)の値が同じであれば、身体に対する影響は同じです。単位であるシーベルトや実効線量については、<http://www.radi-edu.jp/pages/columns/11>などが参考になります。

《引用文献(一部修正)・参考文献》

「ATOMICA」<http://www.rist.or.jp/atomica/>

「緊急被ばく医療研修のホームページ」

<http://www.remnet.jp/>

「やさしい放射線とアイソトープ」日本アイソトープ協会編

「らでい」<http://www.radi-edu.jp/pages/columns/11>

## FOCUS

### 遠隔地被ばくについて

東電福島第一原子力発電所の事故により、原子炉内に閉じ込められていた放射性物質が大気に放出され、各地での空間線量率(mGy/h,  $\mu\text{Gy/h}$ )の計測結果等が公表されています。今回の事故で放出されている放射性核種は、原子炉の運転中に発生した核分裂反応によって生成したものです。また、現地では原子炉内での連鎖的な核分裂反応を終了させており、核分裂反応を制御できなかったチェルノブイリ事故やJCOの臨界事故とは異なり、多量の中性子線の放出などは確認されておりません。

新聞やテレビ報道、インターネット配信などでは、各地のモニタリングポストでの線量当量率(mSv/h,  $\mu\text{Sv/h}$ )の測定結果やヨウ素-131、セシウム-134、137といった放射性同位元素の名称が見受けられます。ヨウ素(I)

は、ハロゲン元素の一つであり、高温で気体になりやすい性質を持つため、原子力発電所の事故などでは放出されやすい元素の一つとして挙げられます。また、セシウム(Cs)はアルカリ金属元素の一つで水に溶けやすい性質を持つため、燃料棒の破損などの事象が生じると冷却水中に溶出しやすく、ミストなどで放出されやすい元素と考えられます。

これらの放射性同位元素からの被ばくについては、大きくは外部被ばくと内部被ばくに分類することができます。外部被ばくは、体外に存在する放射性同位元素からの放射線による被ばくのことをいい、内部被ばくは、呼吸や飲食により体内に取り込まれた放射性同位元素からの放射線による被ばくのことをいいます。今回話題となっているヨウ素もセシウムも、化学的に水に溶けやす

い性質があり、外部被ばくとなる皮膚や衣服などに付着しても、水洗により容易に除去(除染)することが可能です。

一方、内部被ばくは放射性同位元素が体内に取り込まれてしまうため、体内に長期間留まる場合、長期にわたって被ばくを受ける可能性があります。

一方、体内に取り込まれた物質は、その特性に応じて、体内組織に分布した後代謝や排泄により体外へと放出されます。これまでに飛来が確認されているヨウ素は、摂取量の70%は吸収されることなく排出され、残りの30%が主に甲状腺に集積します。同じく飛来が確認されているセシウムは、ほぼ全量が吸収されて全身の筋肉に分布します。

これらの放射性物質は有効半減期に従い、減少していきます。被ばくの影響も低減していきます。とはいえ、放射性物質の体内取り込みはできるだけ低減することが望ましく、湿ったマスクの着用、手洗い、外出時はできるだけ皮膚を直接露出しない、などの予防措置を講じることが重要と考えられます。

遠隔地被ばくは飛来したヨウ素やセシウムによる被ばくですが、飛来の過程で拡散希釈されるためその量(濃度)は距離とともに急激に減少します。また、風向きによっても影響を受け、雨が降れば雨水に溶け込んで落ちてきます。しかし、原子炉の近隣での直接被ばくのよう、体の外部から皮膚を通して臓器が損傷することはありません。先に述べた予防措置によって内部被ばくを極力防止することが重要です。

**空間線量率：** 対象とする空間の1時間あたりの放射線量。線量率の単位は、Gy/h(グレイ/時)で表します。空気吸収線量率ともいいます。単位はmGy/h(ミリグレイ/時：1時間あたりに吸収したエネルギー)、 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ (マイクロ/時)、 $\text{mGy}/\text{h}$ (ミリグレイ/時) $=1,000 \mu\text{Gy}/\text{h}$ (マイクログレイ/時)。

**線量当量率：** 吸収線量に放射線の種類ごとに定められた放射線荷重係数を乗じた量(線量当量)の1時間当たりの量。単位はmSv/h(ミリシーベルト/時：1時間当たりの生体への被ばくの大きさ)、 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ (マイクロシーベルト/時)、 $\text{mSv}/\text{h}$ (ミリシーベルト/時) $=1,000 \mu\text{Sv}/\text{h}$ (マイクロシーベルト/時)。

**吸収線量：** 放射線が物質に照射されたときに物質が吸収するエネルギーの、単位質量あたりの量。単位はGy(グレイ)、mGy(ミリグレイ)、 $\mu\text{Gy}$ (マイクログレイ)。1(Gy)グレイ $=1,000$ (mGy)ミリグレイ、1(mGy)ミリグレイ $=1,000$ ( $\mu\text{Gy}$ )マイクログレイ。

**放射性同位元素：** 同じ元素で中性子の数が違う核種の間を同位元素と呼びます。同位元素には安定なものや不安定なものがあり、不安定なものは時間とともに放射線を発生し、安定なものに変わります。この不安定なものが放射性同位元素です。

**有効半減期：** 体内に取り込まれた放射性物質からの放射能が、それ自身の減衰や人体の代謝・排泄により半分になるまで減少するまでに要する時間をいう。実効半減期ともいう。

\*「アイソトープ便覧改訂3版」および「アイソトープ手帳10版」による。5.1日という説もある。

## FOCUS

## 食と住居について

今回の福島原子力発電所の事故では、原子炉や使用済燃料プールから放射性物質が放出され周辺環境に広がってしまいました。

これに伴い、国の暫定基準を超える放射性物質により汚染された野菜が見つかりましたが、基準を超えて汚染された食物は市場に出回らないので心配ありません。基準値は、そのレベルに汚染された食品を1年間食べ続けても健康影響が出る心配のない量に設定されています。したがって、仮に基準値を超える食品を口にしても、直ちに影響がでるような恐れは全くありません。当然のことながら、国の暫定基準\*未満の野菜等を食べても何の問題もありません。不安であれば、きれいな水でよく洗えば安心でしょう。

さらに、避難地域、屋内退避地域に置いてあった食べ物でも密閉容器に入っている食べ物、冷蔵庫などに貯蔵

されていた食べ物は放射性物質によって汚染されている恐れは全くありません。

なお、これまでに起こった海外の原子力事故の例では、原子力発電所からの放射性物質の放出が止まった後に、家屋の屋根、庭、道路、土壌の放射性物質の濃度を測定して、ある基準を超えるような汚染が残っている場合には、必要に応じて洗浄などにより汚染が取り除かれるなど、その場所で生活しても健康に影響がないレベルになれば元の住居に戻って暮らすことが可能になっています。今回の事故の場合については、今後、国で方針が検討されます。

\*食安発0317第3号

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001558-e-img/2r9852000001559-v.pdf>

原子力安全委員会により示された指標値。

## 「原子力安全」調査専門委員会を設置

原子力学会は福島第一原子力発電所における事故の原因や現象、影響を把握するために、「原子力安全」調査専門委員会を設けました。同委員会は、下記のことからを検討する予定です。

- ・地震・津波の想定の妥当性
- ・地震の影響の把握
- ・津波の影響の把握
- ・電源系統の故障/復旧の実態把握
- ・冷却系統の故障/復旧の実態把握
- ・事故進展(燃料損傷)の把握
- ・バウンダリーの健全性の実態把握
- ・FP 挙動の把握
- ・従事者の被ばく
- ・避難者・屋内退避者の被ばく
- ・遠隔地の被ばく
- ・環境汚染の評価
- ・アクシデントマネジメントの評価
- ・防災対策の評価
- ・情報発信の評価
- ・社会的影響の評価
- ・安全研究への反映事項
- ・規制への反映事項
- ・失われた信頼をどう取り戻すか
- ・人材育成、特に安全分野、研究開発との関係
- ・国際連携、協働
- ・原子力学会が果たすべき役割

**関連リンク** 皆様に関心を持たれる情報を発信している組織の URL をご紹介します。

東京電力株式会社  
<http://www.tepco.co.jp/index-j.html>

九州大学エネルギー量子工学部門(放射線関連の情報)  
<http://www.qpn.kyushu-u.ac.jp/message/index.html>

原子力安全・保安院  
<http://www.nisa.meti.go.jp/>

日本原子力産業協会(事故情報)  
[http://www.jaif.or.jp/ja/news/news\\_detail.php](http://www.jaif.or.jp/ja/news/news_detail.php)  
 同・英文

首相官邸のモニタリングデータ  
<http://www.kantei.go.jp/cache.yimg.jp/saigai/monitoring/index.html>

<http://www.jaif.or.jp/english/index.php>

放射線医学総合研究所  
<http://www.nirs.go.jp/index.shtml>  
<http://www.nirs.go.jp/information/info.php?i 3>  
<http://www.nirs.go.jp/information/info.php?i 4>

NRC の日本関連情報  
<http://www.nrc.gov/japan/japan-info.html>

日本技術士会原子力・放射線部会(国や自治体等が公表している環境放射線のモニタリング情報のリンク集)  
<http://www.engineer.or.jp/dept/nucrad/open/index.html>

サイエンス・メディア・センタ(原子力に関する Q&A)  
<http://smc-japan.sakura.ne.jp/?p=752>

日本放射線技師会(関連リンクのリスト掲載)  
<http://www.jart.jp/>

日本原子力研究開発機構(対応の経過や放射線量の推移等を掲載)  
<http://www.jaea.go.jp/jishin/page.html>

電気事業連合会(原発・放射線関係のリンク)  
<http://www.fepec.or.jp/>

東京大学環境モニタリング情報  
<http://www.2u.tokyo.ac.jp/erc/index.html>

東京都市大学・早稲田大学共同原子力専攻岡研究室(関連情報、Q&A 等を掲載)  
<http://www.f.waseda.jp/okay/>  
 同・英文  
[http://www.f.waseda.jp/okay/index\\_en.html](http://www.f.waseda.jp/okay/index_en.html)

日本保健物理学会(暮らしの放射線 Q&A)  
<http://radi-info.com/>

## 福島第一原子力発電所の各プラントのデータ(保安院資料)

原子力安全・保安院がまとめた福島第一原子力発電所などの現況と経緯は、以下の通りです。

### 1. 福島第一原子力発電所の状況(4月4日時点)

- ・運転中だった1号機は地震発生直後に自動停止。圧力容器内に給水系ラインを用いて淡水注入中。使用済燃料プールへコンクリートポンプ車を用いて淡水放水を実施。
- ・運転中だった2号機は地震発生直後に自動停止。圧力容器内に消火系ラインを用いて淡水注入中。使用済燃料プールへ冷却系を用いて淡水注入を実施。
- ・運転中だった3号機は地震発生直後に自動停止。圧力容器内に消火系ラインを用いて淡水注入中。使用済燃料プールへコンクリートポンプ車を用いて淡水放水を実施。
- ・定期検査中で停止中だった4号機では、使用済燃料プールへコンクリートポンプ車を用いて淡水放水を実施中。
- ・定期検査中で停止中だった5号機は、20日14:30に冷温停止。
- ・定期検査中で停止中だった6号機は、20日19:27に冷温停止。

### 2. 福島第一原子力発電所での事故の概要と対応状況

#### (1) 1～3号機

いずれの号機も冷却機能が不十分となり、原子炉圧力容器内の圧力が上昇したため、圧力を逃がすために主蒸気逃し安全弁(SR弁)を解放し、内部の気体を格納容器内圧力抑制室に排出。その後、格納容器内圧が上昇したため、内部の気体を外部に放出した(ベントの実施)。これに伴って外部への放射能漏れが生じた。

1, 3号機では炉心損傷等に伴って発生した水素が建屋上部にたまり、水素爆発(推定)(1号機:12日15時36分, 3号機:14日11時01分)が発生。建屋の上部が破損したが、原子炉圧力容器及び原子炉格納容器は損傷せず。現在、炉心への淡水注水による冷却作業を実施中。

2号機では15日6時過ぎに爆発音あり。サプレッション・チェンバー(圧力抑制室)が損傷した恐れあり。引き続き炉心への淡水注水による冷却作業を実施中。2号機の使用済燃料プールでは冷却ラインを用いて淡水注水

実施。1, 3, 4号機の使用済燃料プールについては、コンクリートポンプ車により淡水放水を実施中。

1～3号機へのタービン建屋地下1階に、放射性物質を含む滞留水発見。復水器への移送のための作業中。

1～3号機タービン建屋外のトレンチ(配管を敷設しているトンネル状の地下構造物)の立坑に水がたまっていることを確認。流出防止対策とともに監視実施中。

2号機バースクリーン近傍のピットから放射性物質を含む水が流出した。現在は流出防止のための作業実施中。

#### (2) 4号機

何らかの原因で2度の火災が発生した。使用済燃料プールにコンクリートポンプ車で淡水の放水を実施中。

#### (3) 5, 6号機

定期検査中だった5, 6号機では、6号機の非常用ディーゼル発電機が稼働していたことから比較的安定しており、現在冷温停止状態。

### 3. 福島第一原子力発電所以外のプラント状況について

- ・東北電力の東通原子力発電所1号機は、地震発生時は定期検査により停止中であり、現在冷温停止状態で安定している。
- ・東北電力の女川原子力発電所のうち、地震発生時に起動中だった2号機については、地震による自動停止により冷温停止状態となり、その後、津波の影響により冷却ポンプが一部故障したものの、他の冷却機能により冷温停止状態で安定している。運転中の1, 3号機については、地震による冷却機能への影響はなく冷温停止状態で安定している。
- ・東京電力の福島第二原子力発電所は、地震による津波の影響により、1, 2, 4号機の海水ポンプが一部故障し冷却機能が低下していたが、復旧により冷温停止状態で安定している。
- ・日本原子力発電の東海第二発電所は、地震による津波の影響により3台ある非常用DGのうち1台が故障したものの、他の2台の非常用DGにより冷却機能が維持され、冷温停止状態で安定している。

### 福島第一原子力発電所1号機の状況 (4月4日 8:00現在)

**発生後の主要なできごと**

- 11日14:46 運転中、地震により自動停止
- 11日15:42 15号機室(全交流電源喪失)
- 11日16:56 15号機室の発生(非常用炉心冷却装置注水不能)
- 12日01:20 15号機室の発生(格納容器注水作業上昇)
- 12日10:17 ベント開始
- 12日15:39 廃炉後
- 12日20:20 海水及び炉心の炉心注水開始
- 23日02:33 漏洩系に加え、給水系を使うことにより炉心への注水量を電流120t/h→110t/h、500t給水系への切替(150t/h→110t/h)
- 24日11:30 中央制御室の照明復帰
- 25日15:37 海水の炉心注水開始
- 29日08:32 仮設電動ポンプでの炉心注水に切替
- 31日12:00~2日13:26 復水貯蔵タンク(CST)からサブプレジョンプール水サージタンク(SPT)へ移送開始
- 11日18:04~18:04 コンクリートポンプ車による放水(淡水)
- 3日12:02 仮設電動ポンプの電源を仮設電源から外部電源に切替
- 3日13:55 復水器からCSTへ移送開始

**現状: プール及び炉心への淡水注入を継続**

### 福島第一原子力発電所2号機の状況 (4月4日 8:00現在)

**発生後の主要なできごと**

- 11日14:46 運転中、地震により自動停止
- 11日15:42 15号機室(全交流電源喪失)
- 11日16:56 15号機室の発生(非常用炉心冷却装置注水不能)
- 13日11:00 ベント開始
- 14日13:25 15号機室の発生(炉心注水設備喪失)
- 14日16:34 海水の炉心注水開始
- 14日22:50 15号機室の発生(格納容器注水作業上昇)
- 15日02:02 ベント開始
- 15日06:20 廃炉発生
- 15日06:20 復水貯蔵タンク(CST)からサブプレジョンプール(圧力制御室)へ移送開始
- 20日15:05~17:30 使用済燃料プール(FC)から使用済燃料プール(SFP)に約40tの海水を注水
- 20日15:46 バイセンター受電
- 21日18:22 白煙が発生
- 22日7:17~17:20と見えない程度に減少
- 22日16:07 SFPに約10tの海水を注水
- 25日10:30~12:19 FCからSFPへ海水を注水
- 26日10:20 海水の炉心注水開始
- 26日16:46 中央制御室の照明復帰
- 27日18:31 仮設電動ポンプでの炉心注水に切替
- 29日16:30~18:25 仮設電動ポンプに切替、SFPに淡水注水
- 29日16:45~18:11:50 復水貯蔵タンク(CST)からサブプレジョンプールへ移送開始
- 30日9:25~23:50 SFPへ注水していたところ、仮設電動ポンプの不調を継続(9:55)、消防ポンプに切替えて注入するが、ホース破損が確認(12:47,13:15)されたため、注入中断、19:05に淡水注水を再開
- 1日14:56~17:05 FCからSFPへ仮設電動ポンプより淡水注水
- 2日17:10 復水器からCSTへ移送開始
- 3日12:12 仮設電動ポンプの電源を仮設電源から外部電源に切替
- 3日13:47~14:30 パーツセンターに搬入予定の炉心注水ポンプ、高分子吸収材の袋、最新型炉心注水ポンプを投入
- 4日7:08~7:11 トレー入浴槽(約13t)を海水貯蔵タンクから投入

**現状: プール及び炉心への淡水注入を継続**

### 福島第一原子力発電所3号機の状況 (4月4日 8:00現在)

**発生後の主要なできごと**

- 11日14:46 運転中、地震により自動停止
- 11日15:42 15号機室(全交流電源喪失)
- 11日16:56 15号機室の発生(非常用炉心冷却装置注水不能)
- 13日06:41 ベント開始
- 13日11:12 海水及び炉心の炉心注水開始
- 14日09:20 ベント開始
- 14日07:44 15号機室の発生(格納容器注水作業上昇)
- 14日12:01 廃炉発生
- 16日08:30 白煙が発生
- 17日09:48~10:01 自衛隊への炉心注水
- 17日18:05~18:13 緊急の海水注水による放水
- 17日19:35~20:09 自衛隊の消防隊より放水
- 18日14時前~14:36 仮設電動ポンプによる地上放水~14:45 東家消防隊1台による地上放水
- 18日19:30~21:02 東家消防隊(FA-4S1)へ放水
- 18日14:10~20日3:40 東家消防隊(FA-4S1)へ放水
- 20日11:00 格納容器内圧力上昇(320kPa)、その後、低下
- 20日12:36~21日1:58 東家消防隊(FA-4S1)へ放水
- 21日15:55頃 灰色がかった煙が発生、17:55に煙が収まっていることを確認
- 21日12:10~18:00 東家消防隊(FA-4S1)へ放水
- 21日22:46 中央制御室の照明復帰
- 22日11:03~12:20 使用済燃料プール(FC)から使用済燃料プール(SFP)に約120tの海水を注水
- 22日13:20頃 煙霧が発生、23:50頃及び4日1:50頃の発生が止まっていることを確認
- 24日08:35~14:05 FCからSFPに約120tの海水を注水
- 25日13:28~16:00 東家消防隊の支援を受けた消防隊による放水
- 25日13:02 海水の炉心注水開始
- 27日12:34~14:36 コンクリートポンプ車による放水
- 28日17:40~31日8:00 復水貯蔵タンク(CST)からサブプレジョンプール水サージタンク(SPT)へ移送開始
- 29日13:30 仮設電動ポンプでの炉心注水に切替
- 29日17:17~18:18 コンクリートポンプ車による放水(淡水)
- 31日16:30~19:33 コンクリートポンプ車による放水(淡水)
- 2日09:51~12:54 コンクリートポンプ車による放水(淡水)
- 3日12:18 仮設電動ポンプの電源を仮設電源から外部電源に切替

**現状: プール及び炉心への淡水注入を継続**

### 福島第一原子力発電所4号機の状況 (4月4日 8:00現在)

**定検停止中**

**発生後の主要なできごと**

- 地震発生時、定検検査により停止中
- 14日04:08 使用済燃料プール温度84℃
- 15日06:14 4号機の4Fの一部破損の確認
- 15日09:38 3階部分で火災(12:25鎮火)
- 16日05:45 4号機で火災、作業員による現場での火災確認でき(06:15)
- 20日08:21~9:40 自衛隊による使用済燃料プール(SFP)への放水
- 20日18:30頃 ~19:46 自衛隊によるSFPへの放水
- 21日06:37~08:41 自衛隊によるSFPへの放水
- 21日15:00頃 パーツセンターまでのケーブル敷設完了
- 22日10:35 パーツセンター受電
- 22日17:17~20:32 コンクリートポンプ車による放水
- 23日10:00~13:02 コンクリートポンプ車による放水
- 24日14:36~17:30 コンクリートポンプ車による放水
- 25日08:05~10:20 使用済燃料プール冷却系(FC)からSFPへ海水を注入
- 25日19:05~22:07 コンクリートポンプ車による放水
- 27日16:55~19:25 コンクリートポンプ車による放水
- 29日11:50 中央制御室の照明復帰
- 30日14:04~18:33 コンクリートポンプ車による放水(淡水)
- 1日8:28~14:14 コンクリートポンプ車による放水(淡水)
- 3日17:14~22:16 コンクリートポンプ車による放水(淡水)

**現状: 炉心注水容器に燃料体が存在しない  
プールへの淡水注入を継続**

### 福島第一原子力発電所5号機の状況 (4月4日 8:00現在)

**定検停止中**

**発生後の主要なできごと**

- 11日14:46 運転中、地震により自動停止
- 11日15:42 15号機室(全交流電源喪失)
- 11日16:56 15号機室の発生(非常用炉心冷却装置注水不能)
- 13日06:41 ベント開始
- 13日11:12 海水及び炉心の炉心注水開始
- 14日09:20 ベント開始
- 14日07:44 15号機室の発生(格納容器注水作業上昇)
- 14日12:01 廃炉発生
- 16日08:30 白煙が発生
- 17日09:48~10:01 自衛隊への炉心注水
- 17日18:05~18:13 緊急の海水注水による放水
- 17日19:35~20:09 自衛隊の消防隊より放水
- 18日14時前~14:36 仮設電動ポンプによる地上放水~14:45 東家消防隊1台による地上放水
- 18日19:30~21:02 東家消防隊(FA-4S1)へ放水
- 18日14:10~20日3:40 東家消防隊(FA-4S1)へ放水
- 20日11:00 格納容器内圧力上昇(320kPa)、その後、低下
- 20日12:36~21日1:58 東家消防隊(FA-4S1)へ放水
- 21日15:55頃 灰色がかった煙が発生、17:55に煙が収まっていることを確認
- 21日12:10~18:00 東家消防隊(FA-4S1)へ放水
- 21日22:46 中央制御室の照明復帰
- 22日11:03~12:20 使用済燃料プール(FC)から使用済燃料プール(SFP)に約120tの海水を注水
- 22日13:20頃 煙霧が発生、23:50頃及び4日1:50頃の発生が止まっていることを確認
- 24日08:35~14:05 FCからSFPに約120tの海水を注水
- 25日13:28~16:00 東家消防隊の支援を受けた消防隊による放水
- 25日13:02 海水の炉心注水開始
- 27日12:34~14:36 コンクリートポンプ車による放水
- 28日17:40~31日8:00 復水貯蔵タンク(CST)からサブプレジョンプール水サージタンク(SPT)へ移送開始
- 29日13:30 仮設電動ポンプでの炉心注水に切替
- 29日17:17~18:18 コンクリートポンプ車による放水(淡水)
- 31日16:30~19:33 コンクリートポンプ車による放水(淡水)
- 2日09:51~12:54 コンクリートポンプ車による放水(淡水)
- 3日12:18 仮設電動ポンプの電源を仮設電源から外部電源に切替

**現状: 20日14:30 冷温停止。  
21日11:36 外部電源から受電開始。  
23日17:24 残留熱除去海水系(RHRS)ポンプが、仮設から本設の電源への切り替えの際に自動停止。  
24日16:14 RHRSポンプの修理完了。  
24日16:35 冷却開始。**

※ 炉水とプール水を切替えて除熱

### 福島第一原子力発電所6号機の状況 (4月4日 8:00現在)

**定検停止中**

**発生後の主要なできごと**

- 11日14:46 運転中、地震により自動停止
- 11日15:42 15号機室(全交流電源喪失)
- 11日16:56 15号機室の発生(非常用炉心冷却装置注水不能)
- 13日06:41 ベント開始
- 13日11:12 海水及び炉心の炉心注水開始
- 14日09:20 ベント開始
- 14日07:44 15号機室の発生(格納容器注水作業上昇)
- 14日12:01 廃炉発生
- 16日08:30 白煙が発生
- 17日09:48~10:01 自衛隊への炉心注水
- 17日18:05~18:13 緊急の海水注水による放水
- 17日19:35~20:09 自衛隊の消防隊より放水
- 18日14時前~14:36 仮設電動ポンプによる地上放水~14:45 東家消防隊1台による地上放水
- 18日19:30~21:02 東家消防隊(FA-4S1)へ放水
- 18日14:10~20日3:40 東家消防隊(FA-4S1)へ放水
- 20日11:00 格納容器内圧力上昇(320kPa)、その後、低下
- 20日12:36~21日1:58 東家消防隊(FA-4S1)へ放水
- 21日15:55頃 灰色がかった煙が発生、17:55に煙が収まっていることを確認
- 21日12:10~18:00 東家消防隊(FA-4S1)へ放水
- 21日22:46 中央制御室の照明復帰
- 22日11:03~12:20 使用済燃料プール(FC)から使用済燃料プール(SFP)に約120tの海水を注水
- 22日13:20頃 煙霧が発生、23:50頃及び4日1:50頃の発生が止まっていることを確認
- 24日08:35~14:05 FCからSFPに約120tの海水を注水
- 25日13:28~16:00 東家消防隊の支援を受けた消防隊による放水
- 25日13:02 海水の炉心注水開始
- 27日12:34~14:36 コンクリートポンプ車による放水
- 28日17:40~31日8:00 復水貯蔵タンク(CST)からサブプレジョンプール水サージタンク(SPT)へ移送開始
- 29日13:30 仮設電動ポンプでの炉心注水に切替
- 29日17:17~18:18 コンクリートポンプ車による放水(淡水)
- 31日16:30~19:33 コンクリートポンプ車による放水(淡水)
- 2日09:51~12:54 コンクリートポンプ車による放水(淡水)
- 3日12:18 仮設電動ポンプの電源を仮設電源から外部電源に切替

**現状: 20日19:27 冷温停止。  
22日19:17 外部電源から受電開始。**

※ 炉水とプール水を切替えて除熱

## オペラ「白虎」



会津大学理事長・学長

**角山 茂章**(つのやま・しげあき)

東京都築地生まれ。東京大学物理学科卒。  
1967年日本原子力事業入社。1997年東芝技監。  
2002年会津大学教授。2003年同副学長。  
2006年同理事長・学長。

東日本の大震災に続く原発の事故で、浜通りから遠い会津でも経済は大打撃を受けている。清水とそれに育まれた米で醸造する酒、温泉と漆器。これらにより醸し出される会津盆地の伝統文化が壊滅状態だ。観光客は以前の十分の一に減ってしまった。会津でさえこのような状態なので、浜通り、中通りはより大きな被害を受けている。この未曾有の災害時の中で、会津では戊辰戦争後のゼロからの町の復興を思い出し、会津を再興する活動が起こり始めている。オペラ「白虎」の創作は、会津、いや福島震災復興に対する熱い思いを世界に伝えるために、来年の7月開演を目指して始まった。オペラの創作と歌手は福島県出身や所縁のある方が中心になっている。白虎で表現される会津藩の教育の中心は日新館で、その藩校に進む前の子弟は「什」という集まりに分けられ、「什の掟」を教えられた。その一節には、「ならぬことはならぬものなのです」とある。

一方、今回の震災に襲われた浜通りの相馬では、消防士が非常放送が伝わらぬ中で、大声で最後まで津波の襲来を地域に伝え、そして9名が殉職した。その声で助かった人は多く、災害時の情報の重要さと感謝をこめて福島では報道されている。

原子力災害の緊急時情報は原子力災害センター(オフサイトセンター)から発信される。5年前の福島で開催された原子力委員会主催の公聴会に招請され、原子力発電所が抱える最大リスクは地震であるのに、JCO事故以来国内に設けられたオフサイトセンターは通常の建物内にあるという論理の矛盾を指摘した。神戸大地震で、ビルのOA床が全部はがされてしまったという報告があった。その後、中越沖地震が起き、新潟県の柏崎原発は、神様が狙い打ったような地震の直撃を受けて、電力会社が指令を出す管理棟は機能を失った。東日本大震災では、大熊町に置かれたオフサイトセンターで停電が起きた。非常用発電機による電源確保を試みた。起動までに時間を要した。また、光ファイバー網が遮断され、衛星回線を使った原発関係の情報収集機能のみが残った。県災害対策本部と結ぶテレビ会議や市町村への情報提供など、大切な機能は停止するという結果となった。宮城県女川町のオフサイトセンターも壊滅した。オフサイトセンターの存在は大変軽いものと思われるようになってしまった。

「地震・雷・火事・親爺」と世の中ではよく言われる。特に原子力災害では「地震」と「親爺(ヒューマンエラー)」が大きなリスクとして残っていると主張してきた。シベリアの中心ノボシビルスクの研究所を訪問した時、海から遠い地になぜか津波センターがあり、世界の過去の地震と津波のデータが蓄積されているので興味を持ち、予測機能について聞いた。すると、太平洋のある地点で初期の津波の高さを仮定し、伝播の様子を示してくれた。しかし、どこで、どの程度の地震や津波が起こるのかという予測は極めて難しい。今回の東日本の大震災はプレート理論によって説明はできるものの、事前にプレートがどの規模で連動して動くかの予測は困難だ。そして、津波はその地震の規模に応じて決まる。原子力の耐震基準以上の地震が女川と、石川県の志賀原発付近で起き、中越沖地震の経験を踏まえて基準が改定された。しかし、それを越す地震と津波が起こり、今回の大惨事を巻き起こした。人は自らの寿命と比較して、原発を四十年間安全に運転した、との自信を持ち始めていた。しかし、プレート地震の周期は百年から百五十年、活断層は数万年周期となる。両者の関わりは始まったばかりの段階で、再び元に戻れない関係に一気に入ってしまった。

オペラ「白虎」の台詞に書かれている、「什の掟」を子供たちが歌う場面を思い起こし、また会津に避難されて来た多くの県民の姿を目の前にすると、県民は、福島の原発に「ならぬことはならぬものなのです」と言うように思う。

(2011年 4月12日 記)



## 羅針盤 巨大地震が見せた日本社会の脆弱性

読売新聞 編集委員 宇恵 一郎

### 複合被害の深刻さ

東日本巨大地震の発生から5日目にこの原稿を書いている。甚大な津波被害を受けた三陸地方を中心に、人的被害は1995年の阪神・淡路大震災を上回ることは確かだが全容ははまだ掴みきれないでいる。

何よりも今回の地震災害の深刻さを印象づけているのは、東電・福島原発で発生した炉の緊急停止後の冷却作業のトラブルと、それに伴う首都圏での計画停電実施など、「複合被害」の影響の大きさだろう。津波に対する対策が適切であったのか、原発の安全システムの問題点については、専門家の分析を待つ必要がある。しかし、地震国が国において国民が生存するために当然覚悟しておくべき心構えが国民に周知されていたのか、過去の震災の教訓を生かす努力が社会全体でなされてきたのかについては真摯に反省する必要がある。

### 世界が驚く日本人の冷静さを信用しない政府

1995年1月17日に起きた阪神・淡路大震災に際して、一週間後に赴任した韓国・ソウルでは被害の大きさとともに、被災者の冷静さが驚異をもって受け止められ、メディアは神戸現地からの報道として、「日本に学ぶ」のキャンペーン一色となった。給水車に整然と並び、食料、物資を被災者同士で分け合う映像とともに報じられた。

今回も、日本旅行中の中国人が、「略奪が起きるわけでもなく、日本人が見せた冷静さはとても信じられない」と驚いたとの報道がある。近年の四川大地震の際の混乱ぶりを想起しての感想だろう。

いまだ十分な救援の手が届かない現地の被災者のみならず、国民全体がこれほどまでに冷静に行動しているのと裏腹に、政府、あるいは東京電力の対応が適切かどうか、疑問が残る。危機管理の原点である情報管理の姿勢についてである。

「いったい、何が起きているのか」と福島原発事故での避難区域の住民たちは不信感と不安を募らせる。原子炉建屋が次々と水素爆発を起こして吹っ飛んでも、「放射性物質の拡散と汚染レベルは、安全の範囲内」と言い続け、結果的には、避難区域は10 km から20 km へと広がっていく。そして30 km 圏内にまで屋外へ出ないようにと指示が出る。十分な説明がないままで、不安が募るのは当然なのだ。あるいは、首都圏全域を対象にした計画停電についても、突然の発表のあと、いったいどの範囲が停電となるのか、具体的な説明もなく、結果的には被災地域の一部が停電する事態となった。それはまるで、パニックを恐れるあまり、「知らしむべからず、寄らしむ

べし」であって、かほど冷静な国民を信用していない姿勢が明らかだ。巨大災害においてパニックを防ぐ最大の手段では、「正確で十分な情報を迅速に流す」ことだ。

### 衝撃の記憶を教訓に

津波に関しても、三陸地方はかつて幾度となく未曾有の被害をこうむってきた。国は防潮堤など対策を講じてきたが、結果的には津波は楽々と防潮堤を乗り越えた。ハードの対応は限界があるにしても、ソフト面での津波対策が万全であったのか、検証が必要であろう。

津波の到達が想定以上に速かったとしたならば、そういう想定を越える事態への対応を住民に周知していたかどうか。あるいはそういう津波の怖さの記憶が住民の中で教訓化されていたのだろうか。

1983年、私は青森支局時代に秋田、青森両県で、津波で100人の人命が失われた日本海中部地震を経験した。津波は地震から数分で海岸に押しよせた。青森・岩木川河口の十三地区では、6人が犠牲となったが、同地区では1340年の大津波によって、安東水軍の本拠地として1万戸を数えた都市が瞬時に消滅した歴史がある。その伝説の大津波から数百年を経て、住民から恐怖の記憶が消えたと日本海中部地震が襲い、津波を確認しようと海岸出た人々が壁となって押しよせる波に飲み込まれた。

阪神・淡路大震災も、他地域の人々にとっては、「遠い場所での不幸」ではなかったはずだ。年明け後のニュージーランドの地震被害もわれわれへの警告であったのかもしれない。今回の大震災の復旧には数年、いやそれ以上の時間がかかるだろう。この悲劇を生かすために、われわれ一人一人が、何が必要で何が足りなかったかを誠実に検証し反省する必要がある。この土地からわれわれは逃げ出すわけにはいかないのだから。

(2011年 3月15日 記)



宇恵一郎(うえ・いちろう)

1953年生まれ。早稲田大学第一文学部卒。商社勤務を経て、読売新聞社入社。地方部、社会部、国際部を経て、1995～98年ソウル支局長。帰国後、解説部次長、2007年から編集委員(朝鮮半島問題担当)。4月1日からソウル支局長。





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。

## 福島第一 1～4号機の甚大な被害、巨大津波で非常用ディーゼルが機能喪失

3月11日に発生した世界最大級の海底地震「東日本大震災」(M9.0)の影響で、外部電源、内部の非常用電源ともに失われた東京電力・福島第一原子力発電所で甚大な事故が発生している。地震発生時に運転中だった1号機、2号機、3号機で水素爆発による原子炉建屋や格納容器下部の圧力抑制室の破損などが発生した。

地震時に運転中だった東京電力・福島第一原子力発電所、同・福島第二原子力発電所、東北電力・女川原子力発電所、日本原電・東海第二原子力発電所の計11基の原子炉は地震発生直後に、制御棒が挿入され、すべて自動停止した。

そのうち外部電源が確保できなくなった福島第一では、14基ある非常用ディーゼル発電機はすべて自動起動したものの、15時20分ごろに想定(5m)を大きく超える津波がサイトを襲ったことにより同42分に電源喪失。これにより運転中だった1号機(46万kW)、2号機(78万4,000kW)、3号機(同)の交流電源もすべて失われた。この時点で原子力災害対策特別措置法第10条の規定に基づく特定事象発生の通報がなされた。同45分にはオイルタンクが津波により流出してしまった。

その後、1号機は非常用復水器で原子炉内の蒸気を冷やし、2号機、3号機は原子炉隔離時冷却系(RCIC)で原子炉に注水していた。この非常用直流電源にたよって炉内冷却を行っている間、外部から電源車両を集め、内部母線に接続しようとしたがうまくいかず、非常用バッテリーは設計時間である8時間を大幅に超えて電気を供給し続けたが、次第にダウンした。

## 福島第一 3号機中央操作室に照明点灯、他号機にも外部電源

福島第一原子力発電所では外部からの仮設電源ケーブルがプラントに接続され、3号機では3月22日に中央操作室の照明が点灯した。5、6号機もすべて外部電源に切り替えが完了し、1号機についても原子炉圧力容器への注水ラインに、「給水ライン」が追加された。

政府は3月21日、第13回東北地方太平洋沖地震緊急災害対策本部と第11回原子力災害対策本部会議の合同会議を首相官邸で開き、菅直人首相は挨拶の中で、「危機的状況を脱する光明が見えてきた」と述べ、関係者の懸命の努力により、緊急を要する最悪の状況からは、少して

政府は11日16時36分には1、2号機が非常用炉心冷却装置による注水不能に陥り、同法15条に該当すると判断、「原子力緊急事態宣言」を発した。

東京電力では非常用バッテリーの機能喪失に備えて、同21時にはディーゼル駆動の消火ポンプを起動し、炉圧が低下したら注入できる体制を取った。

福島第一原子力発電所の緊急対策室は、炉心の冷却不足で同21時40分ごろには炉内水が燃料頂部まで低下し、同22時20分ごろには炉心損傷が開始するとの見通しを示し、まず福島県が同20時50分に同発電所1号機から半径2km以内の住民(1,864人)に避難を指示。同21時23分には菅直人首相が、同1号機から半径3km圏内の住民の避難と、半径3km～同10kmの住民の屋内待避を指示した。

翌12日になると、1～3号機の燃料は十分に炉水内にあったものの、1号機の格納容器上部(運転中はチッ素充填)の圧力が上昇。東電では圧力を下げ格納容器の破損を避けるために、放出弁を解放し、格納容器下部の圧力抑制室に通した後、高さ120mの排気筒から微量の放射能を含む気体を放出することにした。

その後、3機とも冷却水不足のため、炉心燃料が炉水から露出し始め、最終的には消防ポンプ車でホウ素を加えた海水を炉内に断続的に注入した。

また15日には4号機の原子炉建屋でも、使用済み燃料プールの冷却が不十分になって水素爆発が発生し、建屋上部が損傷した。17日には自衛隊がヘリコプターで、上空から海水を3、4号機に注入し始めた。

はあるが脱しつつあるとの認識を示した。

また福島第一では17日、前日に原子炉建屋からの白煙大噴出のあった3号機に、陸上自衛隊がヘリから放水を開始。自衛隊の消防車、警察機動隊の特殊放水車、米軍高圧放水車、東京消防庁のハイパーレスキュー隊などによる地上からの放水も実施された。

被害拡大を抑える大きな焦点となっている使用済み燃料プールの冷却作業では、4号機でも自衛隊や米軍提供の消防車のほか、22日には建築用コンクリートポンプ車による放水も行われた。

## 福島第一以外の原発は冷温停止へ、各機器の点検開始

東京電力の福島第二原子力発電所では、1号～4号機的全機が津波で非常用ディーゼル発電機の機能喪失したものの、外部電源により1号機(14日17時)、2号機(同18時)、3号機(12日12時15分)、4号機(15日7時15分)全機が冷温停止に達した。

東北電力の女川原子力発電所1号機(12日0時58分)、2号機(地震発生時点で冷温停止)、3号機(12日1

時17分)も冷温停止に達した。

日本原電の東海第二原子力発電所は15日0時40分、冷温停止状態になった。津波による影響で停止した非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ1台については、復旧作業を進めている。

各社では各機器の点検を進め、健全性を確認していく。

## 福島第一1～3号機で真水冷却に切り替え、勝俣会長1～4号機の廃止を認識

一方、福島第一原子力発電所1号機～3号機ではタービン建屋地下の溜まり水から、核分裂生成物が検出。2号機の溜まり水の放射能濃度は、通常の原子炉水の約10万倍の濃度で、1号機や3号機の溜まり水と比べても数十倍と高く、原子力安全委員会では、「一時溶融した燃料と接触した格納容器内の水がなんらかの経路で直接流出してきたもの」と推定した。

3月29日午後には、南放水口から約330m付近で濃度限度の約3,400倍のヨウ素131が検出された。

また、入院した清水東電社長に代わって30日に記者会見した勝俣会長は、水素爆発を起こし、海水を注入して冷却を行った1号機～4号機は「廃止せざるを得ない」との認識を示した。

## 原子力安全・保安院、福島第一発電所事故は INES レベル 5

原子力安全・保安院は3月18日、福島第一発電所事故に対する INES 暫定評価を1～3号機で「レベル5」、4号機は「レベル3」とした。レベル5は、79年の米国 TMI 事故が相当し、国内で発生したトラブル事象では JCO

事故の4を超え、最も重い原子力事故となった。世界ではチェルノブイリ原発事故がレベル7で最も深刻。

福島第二発電所については、1, 2, 4号機で INES 暫定評価「レベル3」としている。

## 各電力の対応 当面の地震・津波対策 訓練や電源車配備など強化

北海道電力は3月18日、発電設備容量3,200kWの移動発電機車1台を泊発電所に配備したほか、地震発生直後の臨時巡視とともに、安全上重要な機器の定期試験および巡視点検で異常のないことを確認している。

女川原子力発電所1～3号全機が地震発生時に自動停止した東北電力は、発電所構内に電源車を常時配備しており、海水汲み上げポンプの駆動用モーター予備品を確保した。また、使用済燃料プールへ消防車が注水を行うためのルートや配管等が建屋の壁を貫通している箇所の密封性などを確認し、緊急時対応のための非常用ディーゼル発電機や非常用炉心冷却系等を点検した。

福島第一原子力発電所の事故対応に全力を注ぐ東京電力は、新潟県・柏崎市・刈羽村より、柏崎刈羽原子力発電所の安全対策等の抜本的な見直しおよび万全の対応を求める要請文書を受領したことを受け、速やかに検討を進める。

北陸電力は、非常用電源車5台が配備済みであり、原子炉補機冷却海水汲み上げポンプ用の予備電動機の確保や海水熱交換器建屋の浸水対策の強化などの対策で信頼

性向上を図る。

中部電力は、裕度向上のための防波堤・防水壁設置、防水構造扉の健全性を確認するほか、緊急事態に備えた発電機車・可搬型発電機・予備蓄電池の確保、津波の影響を受けない高台への予備品倉庫設置などの津波対策を進める。

関西電力は、可搬式空冷式非常用ディーゼル発電機設置、海水ポンプ津波対策強化などの検討に入るほか、既存の3台に加え、新たに19台の電源車を若狭地域に配備し、シビアアクシデントに備えた体制強化を図る。

中国電力は、原子炉補機海水系ポンプ用予備電動機や非常用ディーゼル発電機の燃料補給手段確保、高圧発電機車の配備、建物内への浸水防止対策などに万全を講じる。

四国電力は、電源車3台の配備、海水ポンプモーターの予備品手配、非常用ディーゼル発電機など関連機器の緊急機能を確認したほか、すべての電源喪失を想定した運転員の特別訓練を行った。

九州電力は、電源車を配備し、非常用発電機を含む発

電所の各設備に異常がないことを確認し、発電所すべての交流電源が喪失した場合を想定した対応訓練を実施した。

日本原子力発電は、防護壁など海水ポンプの津波対策のほか、中央制御室における監視機能確保のための仮設

電源を配備するなど、安全性向上対策を行っていく。

建設中の大間原子力発電所に被害のなかった電源開発は、地震発生直後より非常災害対策本部を設置して対応している。

## 安全委が環境モニタリング評価、健康影響など HP で説明

原子力安全委員会は3月25日より、文部科学省による環境モニタリングの結果に対する評価を実施し、順次ホームページ([http://www.nsc.go.jp/nsc\\_mnt/](http://www.nsc.go.jp/nsc_mnt/))で公開している。

文科省では、東北地方太平洋沖地震に伴う原子力災害対応として、福島発電所周辺の空間線量率測定や、ダストサンプリング、土壌、雑草などの環境試料による放射線モニタリングのほか、都道府県別環境放射線水準調査結果のとりまとめを継続的に実施し、ホームページ([http://www.mext.go.jp/a\\_menu/saigaijohou/](http://www.mext.go.jp/a_menu/saigaijohou/))で公開している。

しかしながら、文科省の公表は、測定方法、データのみとなっているため、安全委員会では25日の臨時会議で、原子力災害時の技術的助言を行う立場から、健康影響、防護区域の考え方、監視方法などについて、評価を

行った上、毎日、ホームページ上で公表することとした。このほか、緊急時モニタリングの考え方として、災害発生後の風向きを考慮し、特に、発電所から、南、北、北西の方向の大气中の測定を強化すべきとしたほか、モニタリングカー利用の継続に加え、航空機による測定も有効と助言している。

また、同委の班目春樹委員長は23日、震災後初めて東京・霞が関の庁舎で記者会見を開き、大地震で所期性能を発揮できずにいた「緊急時迅速予測放射能影響予測ネットワークシステム」(SPEEDI)による内部被ばく影響の試算結果を説明。この試算結果も踏まえ、25日の助言では、「20~30kmの屋内退避区域のうち、線量が比較的高いと考えられる区域に居住する住民については、積極的な自主避難を促すことが望ましい」との考え方を示した。

## 全原協が被災地支援

全国原子力発電所所在市町村協議会(全原協、会長＝河瀬一治・敦賀市長)は今回の大震災で被災した各市町村に対して、相互支援協定に基づき、救援物資を送るなど分担して支援活動を行っている。

敦賀市でも物資輸送のほか、空き室となっている市営住宅や市民から無償で提供された住宅に、被災地から単

身赴任で働きに来ていた労働者の家族などの避難者の受入を始めており、受入者数はすでに100名を超えた。支援の内容が支援物資の送付から避難者を受け入れる支援に変わってきているという。

(以上の資料は日本原子力産業協会の提供)

## 保安院、福島事故を踏まえ、他の発電所に緊急安全対策を指示

原子力安全・保安院は3月30日、福島第一原子力発電所で起きた事故をふまえ、すべての原子力発電所に緊急安全対策に取り組むとともに、これをふまえた保安規制を整備するよう指示した。保安院では4月中に、緊急安全対策の実施状況を確認する。対象となっているのは福島第一、第二原子力発電所を除く電力各社と日本原電の商業用原子力発電所すべてと、原子力機構の「もんじゅ」。

保安院では巨大地震によって津波が発生し、原子力発電所の全交流電源、海水冷却機能、使用済み燃料貯蔵プールの冷却という三つの機能をすべて喪失したことを想定。各社に対してはこの場合でも、原子炉の炉心損傷や使用済み燃料の損傷を防ぎ、放射性物質の放出を抑制しつつ冷却機能の回復を図ることができる体制に整備する

よう求めた。

具体的な指示内容は①緊急点検の実施、②緊急時対応計画の点検と訓練の実施、③緊急時の電源確保、④緊急時の最終的な除熱機能の確保、⑤緊急時の使用済み燃料貯蔵プールの冷却確保、⑥各サイトにおける構造等を踏まえた当面必要となる対応策の実施一の六つ。特に所内電源が喪失し緊急時電源が確保できない場合には、必要な電力を機動的に供給する代替電源を確保するよう求めている。

また保安院はこの対策指示とともに「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」を改正。原子炉施設を冷却するすべての設備の機能が失われた場合でも、原子炉施設を保全するための活動ができる体制を整備するこ

## 福島第一原子力発電所事故を踏まえた対策

フェーズ	緊急安全対策	
	短期	抜本対策 中長期
完了見込み時期	1ヶ月目途 (4月中旬頃)	事故調査委員会等の議論に応じて決定
目標 (要求水準)	津波により①全交流電源、②海水冷却機能、③使用済燃料貯蔵プール冷却機能を喪失したとしても炉心損傷、使用済燃料損傷の発生を防止	今回の災害をもたらした津波を踏まえて設定される「想定すべき津波高さ」を考慮した災害の発生を防止
具体的対策の例	<b>【設備の確保】</b> ・電源車の配備 (原子炉や使用済燃料プールの冷却用) ・消防車の配備 (冷却水を供給するためのもの) ・消火ホースの配備 (淡水タンクまたは海水ビット等からの給水経路を確保するためのもの) 等 <b>【手順書等の整備】</b> ・上記の設備を利用した緊急対応の実施手順を整備 <b>【対応する訓練】</b> ・実施手順書に基づいた緊急対策の訓練を実施	<b>【設備の確保】</b> ・防潮堤の設置 ・水密扉の設置 ・その他必要な設備面での対応 ※以下順次設備面での改善を実施すること(例:空冷式ディーゼル発電機、海水ポンプ電動機予備品の確保等) <b>【手順書の整備】</b> <b>【対応する訓練】</b>
保安院の確認等	・緊急安全対策の実効性を担保する省令の改正、同対策を盛り込んだ保安規定の認可 ・緊急安全対策の実施状況に対して検査等で厳格に確認	
事業者の対応	・設備については、現在、鋭意調達中。(配置場所も確保中) ・今回の事故を踏まえて手順書を新規に作成し、訓練を実施。 ・緊急安全対策確認後も継続的な改善に取り組み、その信頼性向上を図る。	

とを保安規定に盛りこむことを求めた。

これを受けて電力各社は、これまでの津波の高さの想定をかき上げることや、電源車の追加配備、建屋の水密扉を設置することなどを行う検討を開始した。このうち関西電力は、電源機能が喪失した場合の要員配置や電源車、消防ポンプ、消火ホースなどの資機材の配備を含む体制整備の計画を策定。4月4日には保安院に対し、これに基づく活動の実施と評価を盛り込んだ保安規定の変更を申請した。

一方、原子力機構でも、「もんじゅ」で電源機能が喪失した時の体制について、要員の配置や資機材の配備に関する計画を策定すること、計画に基づく活動の実施及び活動に関する定期的な評価を行うことを保安規定に追加し、4月6日に保安院に提出した。また4月5日には外部電源が喪失したことを想定した訓練を実施。原子炉停止後の余熱を、ナトリウムを循環させて自然に冷却する方式に移行することの確認や、電源車への接続作業を行った。

## 海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

[米国]

### エネルギー省の2012年度予算要求、融資保証3倍増盛り込む

米エネルギー省(DOE)のS・チュー長官は2月14日、今年の10月から始まる2012会計年度のDOE予算要求額を公表した。新規原子炉建設計画に対する政府融資保証に360億ドルの追加要求額を盛り込むなど、B・オバマ大統領が一般教書演説で掲げた「2035年までに原子力を含めたクリーン・エネルギーで米国の電力需要の8割を賄う」という目標達成に向け、具体的な予算充当しているのが大きな特徴。この増額により、DOEでは9～13基の新規原子炉建設が実現するとの見方を示している。また、小型モジュール炉の開発に新たに9,700万ドルを計上している。

DOE全体の予算要求額は2010会計年度予算から

11.7%増の295億ドルとなった。(2011会計年度の一括歳出予算案は現時点で議会の承認が得られておらず、2010年予算と同レベルの暫定歳出予算の下で活動)クリーン・エネルギーや国家の核安全保障および技術革新を優先分野と位置付け、米国が科学技術研究で最先端の立場を維持すると共に、原油依存を軽減するクリーン・エネルギー経済の牽引役となることを強く意識したものになっている。

そのための重要な電源である民生用原子力発電所建設に対して、DOEは再生可能エネルギーなどすべての融資保証対象技術の中でも唯一1,360億ドルを追加した。この増額分で、DOEでは6～8基の建設計画を支援できると計算しており、これに既存の保証枠である185億ドルを加えれば合計保証枠は545億ドルとなり、新たに建設可能になる原子炉の総数は9～13基に増加するとしている。

## WH社、AP1000技術をもとに 20万kWのSMRを開発

創業125周年を迎えたウェスチングハウス(WH)社は2月16日、新型原子炉開発における半世紀以上の経験の積み重ねにより、AP1000の技術をさらに進展させ、必要機器の点数を削減した出力20万kW級の一体型PWRである「小型モジュラー炉(SMR)」を開発したと発表した。

SMRは100万kW級の大型炉と比べて工期が短く、建設価格も手頃。小規模の電気事業者にも手が届くとの観点から、米国ではバブコック&ウィルコックス社が出力12.5万kWの「mPower」炉を開発。WH社でも同様に、今後の世界的なSMR市場拡大を見込んでおり、SMRの開発を急いでいたもの。

米エネルギー省(DOE)のS・チュー長官も、温暖化防止対策の一環として就任当初から小型炉への関心を示しており、今月14日のDOEによる2012会計年度予算要求では小型炉開発経費として新たに9,700万ドルを計上。このため、WH社としてもいち早く関係プログラムに参加する準備を整え、産業界を代表する政府の協力事業者となる考えだ。

SMRの特徴は、既存の確証済み技術のほかに高度な安全性確保のための静的安全システムを導入していること。また、①加圧器を圧力容器内に統合、②水平に設置した軸流のモーター・ポンプで原子炉を冷却、③AP1000用17×17型燃料集合体の高さを短くした炉心——などだ。

[英国]

## プルトニウム長期管理戦略、 「MOX利用」に向け協議

英国のエネルギー・気候変動省(DECC)は2月7日、国内で保管している民生用プルトニウムの長期的な管理方法を探るため、公開協議を開始した。

現在考え得る3つの選択肢について、5月10日まで国民から意見を聴取する計画だが、政府としては「MOX燃料として再利用するオプションが最も有望」との予備見解を提示しており、これに対する国民の理解を促す意図があるとしている。

DECCが公開した資料によると、これらのプルトニウムは専用施設で安全に保管されている。しかし、昨年5月の核不拡散条約(NPT)再検討会議で国際コミュニティが10年ぶりに放射性物質の管理についていくつかの具体勧告を出したこともあり、英国がプルトニウムの核拡散上のセンシティブティを認識し、その戦略的・長期的な管理の準備に取り組んでいることを対外的に示す意味合いがあると説明した。

現時点で考えられる選択肢として、DECCは①長期貯蔵の継続、②固化後に地層処分、③MOX燃料に加工し、新規および既存の炉で再利用——を列挙した。

## 独立の規制機関創設を準備中

英国の保健安全執行部(HSE)は2月8日、HSE外部に独立の立場の法定原子力規制機関となる原子力規制庁(ONR)立ち上げのため、法手続きを進める意向を明らかにした。

原子力規制体制の大規模な再編は、英国政府が進めている原子炉の新設計画に伴う新たな対応を含め、原子力産業の変化に付随する課題に容易に取り組める立場が得られるよう、2008年に政府が開始したもの。識者の勧告に基づき、ONR創設の提案法案を議会で審議することにより、新たな法定法人として設置することを第一目標とした。法審議が4月1日までに完了しない場合は、暫定的に非法定法人として同日付けで設置する。

新組織はHSEの下部組織の原子力施設検査局(NII)と民生原子力安全防護室(OCNS)、英国保障措置室(UKSO)のすべての原子力規制関連業務を引き継ぐほか、放射性廃棄物輸送の規制を扱っていた運輸省危険物課の放射性物質輸送チームを含める。

設置法案が承認されれば、ONRの立場および担当業務は以下ようになる。すなわち、(1)法的に独立の立場と独自の理事会を有し、HSEの支援を受ける自治組織、(2)英国の原子力規制における組織的枠組みを強化、集中、改善する、(3)規制手続き上の説明責任、透明性と効率性の向上を保証、(4)現在進行中の古い原子力発電所の廃止措置と管理を継続、(5)新規原子力発電所建設計画における評価と助言活動、それに続く許認可、建設、操業、廃止措置を監督——などだ。

[フランス]

## 原子力産業を再編成、EDFとアレバ が連携へ

N・サルコジ大統領は2月21日、自らが議長を務める国家原子力政策会議の会合後に決定事項を発表し、今年の夏前までにフランス電力(EDF)とアレバ社が戦略的なパートナーシップを構築することなど、一連の原子力産業部門強化策を同業界に指示した。昨年7月に、この目的のための将来戦略として発表した大統領決定に基づくもので、原子炉輸出に向けて事業者をリーダーにメーカーが連携する「チーム・フランス」を結成。フランスの原子力産業が世界の原子力市場におけるニーズに対応可能となるよう、効率的な体制に再編成を図る考えだ。

EDFとアレバ社両社のパートナーシップ構築では、

具体的に以下の項目に関する技術的および商業的な協定を結ぶことになる。すなわち、(1)オルキルオト3号機、フラマンビル3号機および台山1,2号機の建設での経験をフィードバックし、欧州加圧水型炉(EPR)設計の最適化を継続、(2)既存の原子炉の運転性能向上および40年以降の運転期間延長に備え、保守点検と操業を改善、(3)放射性廃棄物貯蔵における産業界の協力強化と新たな燃料製品開発のための燃料サイクル管理——などだ。

ウラン資源開発に関しては、同政策会議はアレバ社保有のウラン採掘権を子会社に譲渡するよう同社に要請した。これは同事業の将来的な発展を保証するための、戦略的および財政的なシナリオを検討し実施する前提条件となる。同社に対してはまた、EDFと長期的なウラン供給協定を締結するよう要請している。

フランスの対外的な原子炉提供能力を強化する方策としては、基本設計であるEPRに加えて、アレバ社と三菱重工業が開発した中型原子炉であるATMEA1の最適化と型式認証促進のための協力強化をEDFとアレバ社、GDFスエズ社、およびその他の関係機関に要請。同設計のフランス国内における初号機建設について計画検討を開始するとしている。

## アレバ社、ATMEA1で加の事前設計審査申請

アレバ社は2月24日、三菱重工業との合併企業であるアトメア社が開発した「ATMEA1」について、カナダ原子力安全委員会(CNSC)によるプロジェクト前設計審査を15日に申請したと発表した。

カナダ・ニューブランズウィック(NB)州が計画しているクリーン・エネルギー・パーク構想にATMEA1を提供するべく、重要なステップを踏み出したもの。

アレバ社によると、ATMEA1は出力110万kWの中型PWR設計で、欧州加圧水型炉(EPR)と三菱重工業製PWRの技術をベースに設計された第三世代プラス原子炉。保守システムがシンプル、燃料消費量が少ないなどの特長により運転コスト削減が図れるほか、MOX燃料の使用や24か月までのサイクル運転も可能だという。

NB州は再生可能エネルギーや原子力で「クリーン・エネルギー・パーク」を建設する構想を進めており、州内のポイントルプロー原子力発電所近郊に新たな原子炉を建設することは、同構想実現への重要な要素。このため同州は昨年7月、建設の実行可能性調査に関する発注内示書(LOI)をアレバ社および同発電所を所有するNBパワー社との間で調印していた。

プロジェクト前設計審査はメーカーの要請に応じて提供される評価審査サービスで、原子力安全管理法に基づく認可の発給や認可プロセスとは無関係。しかし、カナ

ダの原子力規制要項に対する準拠性が評価されるとともに、認可発給手続きの前段階で内在する根本的な障害が特定されることから、同国で新たな設計を提供する際の重要な手順となる。1月末にはカナダ原子力公社も、第三世代プラスの重水炉となるACR1000で、同審査を成功裏に終えている。

ATMEA1が同審査で承認されれば、カナダのその他の州でも採用の可能性が出てくるとアレバ社では期待している。

### [スペイン]

## 脱原子力政策を緩和し、運転期間の上限を撤廃

スペイン議会下院は2月15日、政府が提案していた持続可能経済法案を賛成多数で可決し、原子力発電所の運転期間を最大40年に制限していた規定を削除した。同法案のエネルギー計画に関する第79条を334対10の圧倒的多数により修正したもので、国内で稼働中の原子炉8基の運転期間は今後、政府が原子力規制当局等の助言の下、様々な条件を勘案して決定していくことになった。欧州原子力産業会議(FORATOM)では「欧州のその他の国の動きに同調し、スペインでも正式な脱原子力政策から離れ、わずかだが重要な政策転換が起こりつつあることを裏付けている」として高く評価している。

今回可決された運転期限撤廃のための修正勧告案は、与党PSOEのほか最大野党の国民党(PP)、カタルニャの中道右派政党(CiU)およびバスク民族主義党(PNV)が超党派で支援。案文では「今後のスペインのエネルギー構成要素の中で原子力の占める割合は、既存炉の操業年数や再生可能エネルギーの状況などに応じて決定する」と明記されていた。

またその際、原子力安全委員会(CSN)の安全や放射線防護に関する決定のほかに、需要動向、新技術の開発状況、電力供給保証、発電コスト、温室効果ガスの排出量、および欧州で現在規定されている基準枠組みも含めたすべての要求項目を考慮するとしている。

### [ウクライナ]

## フメルニツキ3,4号機、ロシアの融資で完成にメド

ウクライナ国営原子力発電会社のエネルギーアトム社は2月1日、ロシア貯蓄銀行の融資により、20年前に建設作業が中断していたフメルニツキ原子力発電所3,4号機の完成に向けて工事再開の目処が付いたと発表した。

同発電所では1980年代から合計4基の原子炉建設が始まったが、86年のチェルノブイリ事故後、議会が決めた

原子力新設計画凍結政策により90年に3,4号機の建設が中断。93年の同政策解除後、これらを完成させるに当たり、資金難のウクライナは2008年、資金援助を条件に国際入札を実施しており、ロシアのアトムストロイエクスポルト(ASE)社が落札した。昨年6月に、ウクライナの閣僚会議とロシア政府が同計画に関する二国間協力協定に調印し、今年の1月12日にはウクライナ議会が同協定を批准するに至っている。

完成計画ではV-392B型の100万kW級VVER(ロシア型PWR)2基の完成を16年に設定。総工費は50億～60億ドルと見られており、機器の一部はウクライナの予算で調達するが、設計や建設、試運転、およびロシアからウクライナに供給する物品と役務のための資金をロシアが提供。これらの融資にはウクライナ政府による保証が必要になる。

ウクライナの政権はソ連崩壊後、グルジアなど反ロシアの国々と共同体を創設するなど欧米寄り政策を取っているが、度重なる天然ガス紛争問題も含めロシアへの経済的依存からは容易に抜け出せない状態。2月7日には親ロシア派のヤヌコビッチ元首相が大統領に当選した。一方、ロシア側はかねてよりウクライナとの関係修復に熱心で、航空や造船の分野でも同国に協力を提案している。

## [ポーランド]

### 新設計画の関連業務で入札

ポーランド初の原子力発電所建設計画を主導している国有のポーランド・エネルギー・グループ(PGE)は2月5日、同計画のエンジニアリング・サービスなど2件の公共事業契約で合計約13億7,000万ズロチ(4億8,000万ドル)の入札を実施した。

2サイトそれぞれに計300万kWの原子力発電設備を建設する同計画の投資実施スケジュールに沿って行われるもので、欧州連合の公式広報誌に関係情報が掲載された。

1件目はPGEにテクニカル・アドバイザーとして支援サービスを提供する業務で、10年間の契約総額は12億5,000万ズロチ(4億3,750万ドル)。具体的な項目は、①投資の準備と実行、適切なスタッフと知識および管理システムの提供、②許認可の手続き、③安全品質管理プログラムの開発と実施、④現在進行中の原子炉メーカー選定・契約手続きの支援、⑤原子力発電所の試験、起動プランの準備、⑥サイト・インフラの建設、⑦プロセス管理全般——などだ。

もう一方の契約は環境分析およびサイトの解析・測定および許認可サービスで総額1億2,000万ズロチ(4,200万ドル)。実際の業務としては環境影響声明書(EIS)の

準備のほかに、サイト調査プログラムの準備や調査項目の特定、様々な試験・計測およびデータ収集と分析のための許可取得、特定サイトの解析・測定・評価を目的とした認可申請書への情報入力など——がある。これらの活動では、選定作業中の原子炉設計それぞれの建設可能性も想定されるとしている。

## [パキスタン]

### チャシュマ2号機が初臨界達成

パキスタンで建設中だったチャシュマ原子力発電所2号機(PWR, 32.5万kW)が2月22日に初臨界に達した。低出力から徐々にパワーを上げていき、定格出力達成を目指す。

同国ではカナダから導入した重水炉のカラチ原子力発電所(13.7万kW)が1972年から稼働中のほか、中国から輸入したチャシュマ1号機が2000年9月に営業運転を開始。1号機と同様、今回臨界に達した2号機も中国核工業集团公司(CNNC)が全面的に建設協力したもので、中国が秦山Ⅰ原子力発電所の設計をベースに自主開発したCP300設計となっている。昨年4月に圧力試験を成功裏に終えた後、起動段階に入り、同年9月には構造健全性試験を行っていた。

2号機をモデルとする同3,4号機の建設についても、上海核工程研究设计院(SNERDI)が09年から設計を開始しており、昨年3月には中国の中原対外工程有限公司(CZEC)と核工業華興建設有限公司が土木建築工事に関する合同作業契約を締結済み。近いうちに3号機のコンクリート打設前・準備作業に入るとしている。

## [トルコ]

### アックユで建設許可申請準備

ロシアの総合原子力企業であるロスアトム社は2月24日、傘下のエンジニアリング企業であるアトムエネルギープロジェクト(AEP)社の専門家が3月初頭にトルコ初の原子力発電所サイトとなるアックユに赴き、建設許可申請準備のための現地エンジニアリング・調査を実施する予定だと発表した。過去に4回頓挫したトルコの原子力発電所建設計画が、2018年の初号機完成を目指してようやく具体的な作業に入る。

ロスアトム社によると、同調査の契約登録を正式なものとするための喫緊の作業はすでに実施済み。AEP社チームは今後、トルコの専門家と協力しつつ、すべてのエンジニアリング・調査を2012年7月15日までに終え、基本的な建設許可の申請に必要なプロジェクト資料作成の基礎とする考えだ。建設許可取得後は7年以内に初号機の営業運転を開始させたいとしている。

## 我が国の最先端研究開発

## シリーズ解説 第29回(最終回)

## 社会基盤としての緊急被ばく医療

(独)放射線医学総合研究所  
緊急被ばく医療研究センター 明石真言, 蜂谷みさを, 富永隆子,  
立崎英夫, 鈴木敏和, 山田裕司

放射線被ばく事故とは、不慮(unintentional)の放射線被ばくであり、結果として有害(deleterious)な障害が現れるか、もしくはその可能性がある事象をいう。当然であるが、病院での診断および治療時の被ばくは、患者の利益のため計算された線量の範囲で、意思をもって行うものであり、制御されている限りはこの被ばく事故の範疇ではない。現代社会では、放射線の利用は不可欠であり、決して多くはないが現実には事故は起きている。一方で、一般社会における放射線に関する知識は不十分である。放射線医学総合研究所は1954年、太平洋上ビキニ環礁で行われた米国の核実験により放射線に被ばくした第五福竜丸の事件が引き金となり、設立された。我が国の緊急被ばく医療の中心機関として、最近の取組みを紹介し、今後への展望、特にアジアへ展開にも触れたい。

## I. はじめに

放射線の歴史をひも解くと、まさに放射線被ばくとの戦いの歴史であることがわかる。1895年11月に Wilhelm Konrad Roentgen が X 線に関する論文を発表し、翌年 1 月には一般社会にも広く知られるところとなり、その年の 2 月には Henri Becquerel によるウラン鉱石の発見が報告された。しかしながら残念なことに、この発見は、Curie 夫妻によるラジウムの発見まで科学者にも注目されることはなかったのである。ほぼ同時期に、Becquerel により放射線による皮膚の発赤という皮膚障害が報告されているが、光と似ており、しかも、五感で感じるができない X 線が危険であることを信じる者はいなかった<sup>1)</sup>。

X 線により障害が起きることを初めて報告したのは Thomas A. Edison, William J. Morton, Nikola Tesla であり、彼らは別々に X 線による眼の障害を 1896 年に報告している。さらに同年には J. Daniel が X 線による脱毛を報告している。また Elihu Thomson が、1 日に 30 分、数日間にわたり指を X 線の管球に触れると痛み、

*Radiation Emergency Medical Preparedness as social infrastructure* : Makoto AKASHI, Misao HACHIYA, Takako TOMINAGA, Hideo TATSUZAKI, Tosikazu SUZUKI, Yuji YAMADA.

(2011年 3月10日 受理)

膨張、硬縮、紅斑、水疱が生じることを示している。このように Roentgen の発見からわずか 1 年の間に X 線による有害な事象がわかってきた一方、著名な学者の多くはそれを否定してきた。医学の分野に、X 線に頻回に被ばくすると皮膚に熱傷様の症状が出るという事実が受け入れられるまでには、実に 4 年もの歳月を要したのである。

しかしながら、被ばくによる障害の克服は、被ばく時間とその頻度を減らす、フィルターの使用等、放射線防護という概念につながっている。その後、防護より放射線の利用が最大の関心事であった“放射線利用の高度成長期”を経て、放射線防護が科学として発達したのは 1925～1945 年の間であり、保健物理学の誕生は皮肉なことに、時は“マンハッタン計画”の真っ最中であった。

このように利便性と危険性の両面を強く持つ放射線は、放射線防護・管理から外れると人体に重篤な影響が起きるが、検出技術と定量性により制御することで社会における利用が可能になっている。最近、ヒ素は急性前骨髄球性白血病、またサリドマイドが多発性骨髄腫の治療に使われているように、ものには二面性がある。このようにかつては“毒物”として知られたものが病気の治療に受け入れられる根底には、おそらく情報の浸透と教育がある。放射線には色やにおいがなく、被ばくしてもすぐには症状が現れず被ばくしたこと自体がわかりにくいこと、線質に応じて適切な機器により測定できるこ



と等、放射線とは何かを医療従事者に正しく理解をさせることが被ばく医療の第一歩である。また放射線防護と線量評価の専門家との共同作業が被ばく医療であることも忘れてはならない。

## Ⅱ. 我が国の被ばく医療体制と放医研の立場

我が国では、原子力施設の特殊性とその規模に応じて原子力安全委員会は「防災対策を重点的に充実すべき地域の範囲(Emergency planning zone, EPZ)」を設定している。原子力施設が設置されているか、もしくは原子力施設をもたなくともこのEPZにかかる地方自治体には、原子力施設で万が一、放射線被ばく事故が起きた時の医療である「緊急被ばく医療体制」が構築されている。

各自治体は地域防災計画の策定、多くの場合、原子力施設の周辺にある初期、またその地域の基幹病院である2次被ばく医療機関の指定、安定ヨウ素剤の備蓄、whole body counterや個人線量計等の放射線測定機器の整備、また搬送関係者および医療関係者に研修や防災訓練を行っている。

一方、国は、放医研と広島大学をそれぞれ東日本および西日本ブロックにおける地域の3次被ばく医療機関として指定している。内閣府原子力安全委員会「緊急被ばく医療のあり方について」<sup>2)</sup>のなかで、放医研は「緊急被ばく医療体制の中心的機関であり、全国レベルでの3次被ばく医療機関として位置づけられている。関連する機関に対して必要な支援および専門的助言を行うとともに、高度な医療を行う医療機関と相互に連携を図り、高度専門的な除染および治療を実施する。」とし、国の「防災基本計画」(中央防災会議)<sup>3)</sup>はそのなかで、「放射線医学総合研究所は、外部の専門医療機関との緊急被ばく医療に関する協力のためのネットワークを構築し、このネットワークによる情報交換、研究協力、人的交流を通じて平常時から緊急被ばく医療体制の充実を図るものとする。」「関係医療機関の放射線障害に対する医療の能力向上のため、医師および看護師等に対する研修プログラムを実施するものとする。」と放医研の役割を明確に示している。

このため放医研は外部の専門医療機関とネットワークを構築することにより、広く専門家の協力が得られるようなシステムを構築しており、JCO臨界事故時の治療はこのネットワークという考えに基づき、多施設の多くの専門家の手により行われた。現在は、染色体と物理学的的手法に基づいた線量評価のためのネットワークもそれぞれ構築されている。

一方、原子力施設を持たない自治体では、具体的な被ばく医療対策を講じているところはほとんどない。しかしながら上述した「緊急被ばく医療のあり方について」

は、「原子力施設における原子力緊急事態の発生時のみならず、原子力緊急事態に至らない場合や、また、放射性同位元素の使用施設等において被ばく患者が発生する可能性があることを踏まえ、包括的で、より実効性のある内容を盛り込んで」おり、また「本報告書は、被ばく医療の観点から原子力関連施設での事象に限らず、放射性物質が関係した緊急事態をも視野に入れて策定した。」としている。つまり、原子力施設に限らず放射線による緊急事態に関しては、この報告書を念頭に置いて対応することを提言している。

またこの報告書は、テロリズムとは異なり発災元がはっきりしている場合、事業者の責任を明らかにし、放射線に関する知識を持った事業者の放射線管理要員は、搬送要員と医療スタッフの汚染等の放射線防護・管理に責任を持つこと、患者に随行して医療機関へ行くことの必要性を示している。

さらに医療処置で使用した汚染物に関して、「患者の処置に使用した医療資材等で、医療機関において除染、廃棄等の適切な処理が困難なものは、事業者等に引き渡す。」等、被ばくもしくは汚染患者の受入れに当たって、事業者が行うべきことを明確化することで、病院による迅速かつ円滑な患者受入れを促進している。この事業者の責務という考え方が徹底すれば、患者の受入れは原子力施設がない自治体の病院においても、被ばくもしくは汚染患者受入れは不可能ではない。

このほかに放医研は「国民の保護に関する基本指針」<sup>4)</sup>の中で武力攻撃原子力災害への対処に関して、指定公共団体として緊急被ばく医療派遣チームの現地に派遣が求められ、「被ばく患者(被ばくしたおそれのある者を含む)に対する診療について、トリアージの実施、汚染や被ばくの程度に応じた適切な医療の実施など、現地医療機関の関係者を指導するとともに、自らもこれに協力して医療活動を行うものとする。」とされている。こればかりではなく「独立行政法人放射線医学総合研究所法」(以下、個別法)<sup>5)</sup>では、「関係行政機関又は地方公共団体の長が必要と認めて依頼した場合に、放射線による人体の障害の予防、診断および治療を行うこと。」が規定されている。

放医研は放射線と人々の健康に関わる総合的な研究開発に取り組む国内で唯一の研究機関として、様々な活動を行ってきた。1954年の太平洋上ビキニ環礁での核実験により放射線に被ばくした第五福竜丸の乗組員の健康調査をはじめとして、第二次大戦中に使用された血管造影剤トロボラスト沈着症の健康影響調査、1972年に千葉県市原市で起きたイリジウム(<sup>192</sup>Ir)線源による被ばく事故の線量評価と治療、さらには1986年のチェルノブイリ事故時旅行者の検査、1999年に茨城県東海村で起きた臨界事故での対応など、放射線被ばく医療に対する取り組みはすでに30年以上にも及んでいる。次章で最近の緊急被ばく

く医療研究センターの取組みと、あまり知られることがない被ばく事故について触れたい。

### Ⅲ. JCO 臨界事故以降の事故・事件の対応

放射線の事故は、国内では原子力施設でのものを除くと公表されることが少ない。被ばく医療専門医療機関として、1999年のJCO 臨界事故<sup>6,7)</sup>以降で放医研が対応した事故・事件について触れる。ほとんどが公表されていないが、事実関係だけは今後の対応に必要と判断し、あえて主要なものを選び記載する(第1表)。

2000年、ある電子部品工場において、軟X線による半導体部品の非破壊検査中に発生した被ばく事故で、従業員3名が右手に局所被ばくした。被ばく後、1週間から10日後に熱傷様の症状が現れ、近くの医療機関で局所

第1表 2000年以降放医研で対応した主な事故, 事件

年	事象	対応
2000	モナザイト放置 硝子会社で天然ウラン吸入 JR 駅放射性ヨウ素( <sup>125</sup> I) 散布 電子機器工場 X 線被ばく	電話相談と線量評価 8名に線量評価, 健康診断 消防からの通報とアドバ イス 線量評価, 診断治療
2001	高校授業中の被ばく 病院の被ばく事故 <sup>8)</sup>	線量評価 線量評価, 警察へのアド バイス
2004	医療用放射性核種汚染	線量評価と患者受入れ
2005	精密機器工場における低 エネルギー X 線被ばく	線量評価と患者受入れ
2006	英ポロニウム暗殺事件	日本人測定
2007	国立大学での被ばく	線量評価と検察へのアド バイス
2008	千葉県市原市イリジウム ( <sup>192</sup> Ir) 盗難 四川省大地震派遣国際緊 急援助隊の汚染 ベークライト不適切保管 某工場ウラン洗浄液ウラ ン汚染 洞爺湖サミット	文科省, 厚労省に情報提 供 汚染検査 線量評価 汚染検査 首脳の放射線テロ対応体 制構築
2009	トリウム・ウラン混合物 汚染 タリウム汚染	汚染検査 病院へのプルシアンブ ルー提供
2010	ロシア森林火災 APEC 2010	モスクワ在住人の検査と 情報発信 首脳及び住民における放 射線テロ対応体制構築
2011	東日本大震災による福島 原子力発電所事故	患者受け入れ(線量評 価), 緊急被ばく医療派 遣チーム, 従業員汚染検 査, 電話相談

被ばくが強く疑われた。放医研による線量評価の結果3人の推定被ばく皮膚線量は、それぞれ62~124, 56~87, 50~91 Gyにも及んだ。低エネルギー X 線による被ばくであったが、骨梁に変化が比較的早期に現れるなど障害の程度は大きく、2人が手に有茎の皮膚移植を受けた。現在もこの患者のフォローアップを定期的に行っている。

またこの年には、千葉県、埼玉県、長野県を含む国内各地で放射性トリウムを含むモナザイトが屋内に保管もしくは敷地に散布されていることがわかった。現地に線量測定を専門家を派遣するとともに、電話相談窓口を作り相談に応じた。

2001年には、ある高校の理科授業で教師が X 線装置を使用し、生徒の手指の骨をスクリーン状に投影して見せていた。そのとき画像のピントを調節するため手を40秒間ほど透視してしまった。19日後、手に紅斑が生じたため、放医研ではこの X 線装置を借りて線量評価を行ったところ、皮膚の等価線量は約9 Gyであることが判明した。また東京で開設予定の医療センター建物内にあるリニアック・CT室となる予定の部屋で、天井裏で人が作業していることに気づかず、設置中のリニアック治療装置照射調整のため、天井方向に X 線(10 MV)が照射された<sup>8)</sup>。右手、右足部での被ばく線量は0.181~0.906 Sv, 平均被ばく線量は0.544 Svであることが推定された。また頭部、胸部、左手、左足部の被ばく線量は0.0725 Sv~0.181 Sv, 平均被ばく線量0.127 Svであった。

2004年、医療用放射性核種<sup>18</sup>F/H<sub>2</sub>Oを扱っているある事業所で、プラスチック袋に溶液を入れる際に汚染が生じた。遠隔地であったが、放医研に来院し左右手掌を十分に観察したが皮膚障害は観察されず、線量評価は左右手掌で26~34 mGyであった。

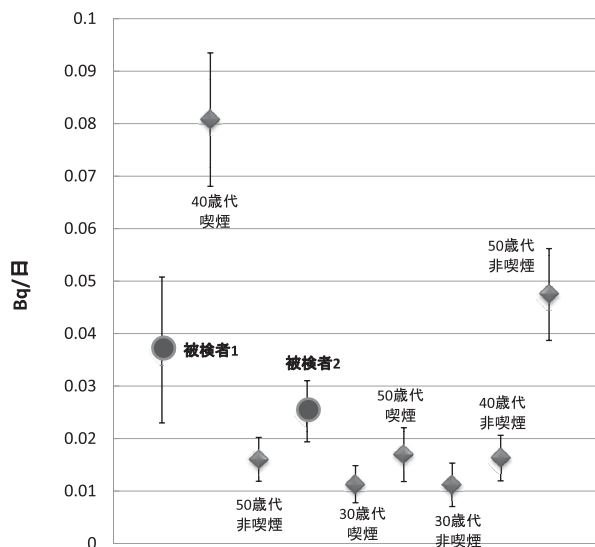
2005年には、ある光学機器事業所クリーンルーム内で、レンズの静電気除去のための軟 X 線照射装置の前で実験中、スイッチが入っていることに気づかず、照射野で作業を行ってしまった。皮膚表面線量は18.4 mSv, 体幹部線量は0.174 mSv, 生殖腺線量は0.244 mSvであった。

2006年には英ポロニウム暗殺事件に関して、英国の公衆の健康管理と公衆衛生当局にアドバイスする Health Protection Agency (HPA) から、世界保健機関 WHO を通じて日本人の名簿が送られてきた。6名の日本人の氏名と連絡先が記載されており、汚染したホテルに滞在したかもしくはバーへ行った可能性がある方たちであり、このうち2名について24時間尿の<sup>210</sup>Poの測定を行った。日本の健康人の標準的なデータがないため、同意を得てボランティアと比較した。その結果2名とも健康人の結果と比べて差はないことが判明した(第2表, 第1図)。

2007年、国立大学で、技術員のフィルムバッジから、

第2表 英ポロニウム暗殺事件時に汚染が疑われた方の尿中<sup>210</sup>Poの測定結果

被検者	1	0.036 ± 0.0045 Bq/日
	2	0.028 ± 0.0020 Bq/日
対照者(平均)		0.033 ± 0.029 Bq/日 (0.012 Bq/日 ~ 0.085 Bq/日, N = 6)
		(平均値 ± 標準誤差 Bq/日)



第1図 尿中Po-210の分析結果

被検者および健常人は24時間畜尿した。1 l の尿中に、標準放射能として0.2 Bq の<sup>209</sup>Poを加えた。200 ml の濃硝酸を加え、ホットプレートにて金属プレート上で水を蒸発させた。3回ほど蒸発乾固を繰り返した後、これを6 Mの塩酸250 ml に再度溶解し、30%の塩化ヒドロキシランモニウム溶液1 ml を加えた。銀板を赤外線ヒーターで乾燥させた後、シリコン半導体検出器によりα線スペクトル分析を行った(ORTEC製Octete PLUS使用)。測定は1試料あたり12時間行い、同一時間計測のバックグラウンド補正を行った。放射能定量は<sup>209</sup>Poの放射能を基準にスペクトル上のα線ピークの計数比によった。

最近の3ヵ月の線量が高いことが判明した。技術員は放射性核種を使用していなかったが、実験室から<sup>125</sup>Iによる汚染が見つかり、使用していた歯ブラシ等の私物にも<sup>125</sup>Iが検出された。技術員は知らずに歯ブラシを使用してしまった。警察の捜査の結果、故意に<sup>125</sup>Iが摂取させられたことが判明した。摂取量は、摂取直後に計測したと仮定する最悪ケースで評価した場合、 $1.5 \times 10^5$  Bqと推定され、預託実効線量は3 mSv、また甲状腺預託等価線量は50 mSvと推定された。

2008年には、北海道洞爺湖で第34回主要国首脳会議(以下洞爺湖サミット)が開催され、放医研は厚生労働省から首脳に放射線テロが起きたことを想定した対策を現地で開催することを依頼された。この対応は放医研の「個別法」に基づくものであり、放射線計測機器、体内汚染除去剤等とともに2名の専門家を洞爺湖サミット会場近く

に配置した。これに先立つ3ヵ月前、千葉県市原市の事業所からイリジウム(<sup>192</sup>Ir)が盗難された。幸い約1ヵ月後に犯人が逮捕され、線源は横浜の河川で無事回収された。放医研は被ばくした場合の症状等の情報を文科省および厚生労働省に提供し、保健所のホームページに注意点等が掲載された。また、ある大都市の住宅街に、放射性物質トリウムを含むベークライトが不適切に管理されていた事件で、内容の分析と近隣の住民の線量を適切に評価した。

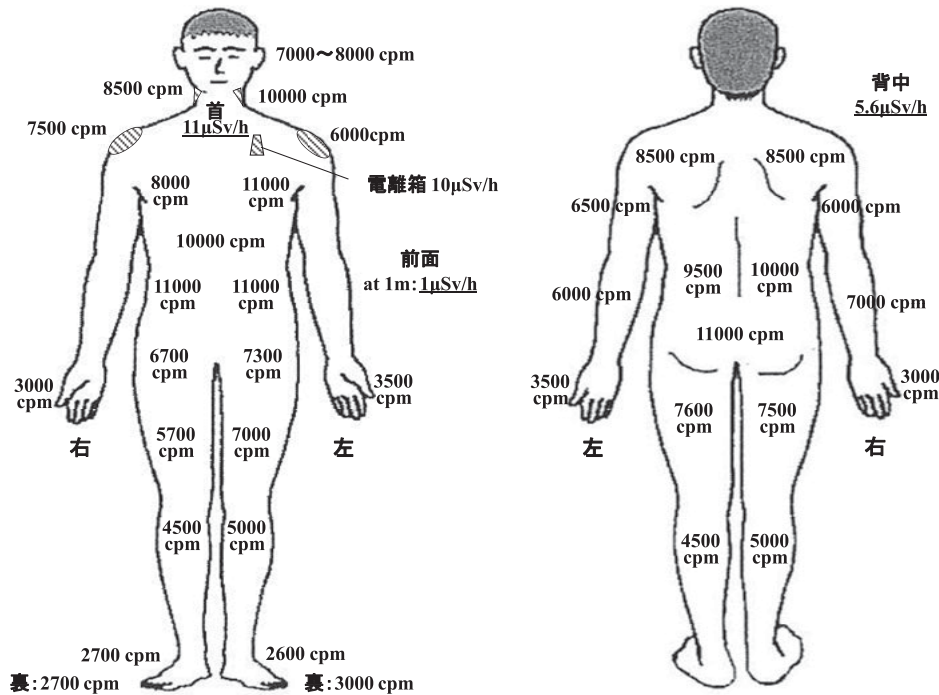
さらにこの年、中国四川省で大地震が起き、派遣された日本の国際緊急援助隊が放射性核種による汚染地域で活動した可能性があったため、依頼を受け、隊員の汚染検査を実施した。汚染は検出されなかった。

2009年に、ある事業所で、ウランメッキに硝酸ウラニルを使う器具の洗浄をしていたとき、洗浄液を捨てた後のビーカーの水がはね、作業員1名の左頬部口角からやや後方に水滴が付着した。使用していた溶液の核種は<sup>235</sup>Uと<sup>234</sup>Uで、汚染部は“メーターが振り切れる”ほどで、アイソトープクリーナーとスポンジを使い、自分で2回、さらに1時間ぐらい頬部を中心に除染を試みたが、あまり効果がなかった。最初の除染後の時点でNaIシンチレーションサーベイメータでは、10 cmの距離で30 μSv/hを計測した。除染は皮膚に発赤が生じるまで行われた。α核種の計測値は検出限界以下で、鼻、口角、舌スミアはα、β線とも陰性のため、左顔面、頸部をガーゼで覆って帰宅した。

翌日、放射線取扱主任者が同行し、タクシーで放医研に来院した。来院時症状はなかった(第2図)。問診の中で核医学検査の既往について聞いたが、「核医学検査」の意味がわからなかったため、「受けていない」と答えていた。検査中に尿中に放射性核種タリウム(<sup>201</sup>Tl)を検出し患者に確認したところ、2日前に点滴を打ちながら自転車をごく検査を受けたことが判明した。検査施行病院に電話で問い合わせ確認すると、心筋シンチの検査で当所受診2日前の9時30分に<sup>201</sup>Tlが投与されていた。つまり、核医学検査によるものであった。

また、ある大学から日本中毒情報センターを介して、タリウム中毒の患者の治療のためプルシアンブルー(PB)が必要との連絡を受け、供与した。プルシアンブルー(PB)は<sup>137</sup>Csによる体内汚染剤であるが、タリウム中毒の治療薬としても知られている。2010年10月27日付で厚生労働省からとして日本で初めて放射性物質の体内除去剤として承認された。

2010年にはロシアで記録的猛暑による森林火災が起き、「チェルノブイリ等汚染が残る地域へ火災が及んでいる」という情報により、不安になった在モスクワ日本人の不安の払しょくのため、体外計測を行い、有意な汚染がないことを確認した。同時にIAEAからロシアの環境モニタリングの情報を受け、文科省に対しても情報



第2図 “汚染”と誤解された方の体表面測定と1mにおける線量率

測定はNaI(PSγ-032), ZnS(PSα-036), GM(PG2-041)で行った。バックグラウンドは、それぞれ0.06 μSv/h, 0.00 cpm, 60 cpmであった。下線はNaIシンチレーションサーベイメータ, 無印はGMサーベイメータの結果を示す。ZnSサーベイメータでは検出限界以下であった。

を発信した。同年には横浜市でアジア太平洋経済協力会議(Asia-Pacific Economic Cooperation)の首脳会議が開催され、2008年の洞爺湖サミットに引き続き、放射線テロ対応体制構築を厚労省から要請された。今回は首脳のみならず住民における対応も含まれたため、専門家の首脳会議会場への派遣と羽田空港、成田空港等への派遣チームを計7班編成し、24時間体制で待機した。

以上、当研究所で扱った事故、事件の一部を紹介したが、治療を必要としたものは1件だけである。一方、世界に目を向けると2005年にチリで高線量局所被ばく(最大2,000 Gy)、2006年ベルギーで全身被ばく(4.5 Gy)、セネガルで局所被ばく、上述のポロニウム事件、2008年チュニジアと2009年のエクアドルでの局所被ばく等、いずれも治療を必要とする事故が起きている。我が国が線量評価や治療に協力した例はなく、ポロニウム事件を除いて、いずれもフランスで治療を受けている。アジア地域での事故であれば、我が国が何らかの形で関与することが求められる。

#### Ⅳ. 国際協力とアジア地域に向けた展開

医療の現場では知識もさることながら経験に基づいて行動がとられることが多く、放射線事故はその性質上公表されないことが多い。しかしながら被ばく医療では少ない経験を生かし、不幸にも世界中でおきてしまった事故から得られた知識と情報を共有することによって成り

立つ。わが国には先進国として得た知識と情報を地域的に近いアジア諸国と共有し、アジアで被ばくや汚染が起きてしまったときのために協力するシステムを構築することが求められている。アジア諸国では原子力発電所建設の計画が増えており、また原子力施設のない国でも放射線は利用されている。原因はどうか、テロでも事故でも健康影響があれば診断・治療を行うのが医療の原則である。

我々にアジア諸国からの被ばく医療に関する問い合わせは、講習の派遣依頼を含め、韓国、台湾、ベトナム、フィリピン、インドネシア、タイ等に及ぶ。このように被ばく医療体制構築に関して日本に支援を求めてくるアジア諸国は多い。IAEA(国際原子力機関)を含めた活動への協力とアジア地域における活動を示す。

IAEAは多くの原子力および放射線に関する研修を行っている。最近では、中東や旧東ヨーロッパに対して積極的な被ばく医療の研修を実施している。放医研は、IAEAから専門家の派遣要請を受け、2004年以降、専門家を派遣し指導を行っている。2010年2月からはDepartment of Nuclear Safety and Security(NS)からの要請を受け、専門家を同部局のIncident and Emergency Centre(IEC)に派遣しIAEAの被ばく医療研修の充実を図っている。教材の更新、汚染患者受入れ実習と机上演習実習の導入等により実効的な内容を導入している。

放医研では、アジアにおける被ばく医療の専門家の育成に貢献してきた。「菅直人首相は31日午前(日本時間

同)、ハノイ市内でベトナムのグエン・タン・ズン首相と約1時間40分会談した。(中略)ベトナムが国内で進めている原子力発電所2基の建設を日本側が受注することも決まった(2010年10月31日)。] (asahi.com, <http://www.asahi.com/international/update/1031/TKY201010310085.html>)。上述したように、原子力インフラの充実と医療を含む万が一の対応体制の構築は車両の両輪であり、アジアにおいて我が国の役割は科学技術先進国としてこの領域で支援を行うことは言うまでもない。

2001年にIAEA/Regional Co-operative Agreement for Research (RCA), Development and Training Related to Nuclear Science and Technology for Asia and the Pacificの枠組みでアジアの医療関係者に教育訓練を行って以来、専門家の派遣に加えて数多くの研修、ワークショップ、シンポジウムを行ってきた(第3, 4表)。2011年3月7日現在、海外特にアジアからの研修受講者は315名にも及んでいる。特に韓国原子力医学院(KIRAMS)と放医研とは協力関係を持っており、当センターから専門家を派遣し講義を行う一方、韓国側の医療関係者を受け入れての研修会を毎年開催し、放医研で教育を受けた韓国被ばく医療者は100名を超えている。このほかに過去5年の間にイラン、マレーシア、シンガポール、スリランカ、タイから研修生5名を受け入れている。

ヨーロッパでは、European Union (EU)が急性放射線症(ARS)の診断と治療に関する合意のための会合を開き、体内汚染の治療に関する講習を行っている。地域協力によるものとしては北欧諸国が共同で行った原子力防災訓練がある。いずれも参考にはなるが、今すぐアジアでこれらを行うことは無理である。まず原子力施設を持つ国はもとより、そうでない国にも被ばく医療に関する研修を立ち上げ、各国が独自に取り組むことができる情報を与えることが第一歩である。このためのサポートが「アジアにおける被ばく医療の理想像」への敷石である。

これまでに述べてきたように、放医研はアジア地域の医療関係者のための研修を行ってきた。受講者の多くは必ず言う、「日本の最新の施設、機器を使った研修は意味はあるが、自分たちの国には最新の施設も機器もない。自分たちの施設で自分たちの機器を使った研修が必要だ」。つまり各国から参加者を集めて、各国のリーダーとなるべき人材に行う研修とその国でその施設を使って行う研修の2種類が必要である。

事故時の医療対応が円滑に行われるためにはまず関係者が被ばく医療を理解し、それに基づきそれぞれの国の事情にあったシステムが構築されるべきである。もっとも事故そのものが多くないため、技術・情報・機材・医薬品など必要に応じて近隣諸国との協力が得られることも重要となる。そういう意味で十分とはいえないまでも、要請にこたえる形で、現地に専門家を送り研修を行っ

第3表 放医研で開催したアジアの専門家のための緊急被ばく医療研修およびワークショップ・セミナー

2001	IAEA/RCA Regional Training Course on "Medical Preparedness and Medical Response to Radiation Accidents"
2004	IAEA/RCA Regional Training Course on "Medical Management for Radiation Accident"
2005	* KIRAMS/NIRS Seminar on "Radiation Emergency Medical Preparedness"
2005	# Seminar on "Medical Treatment of Patients Contaminated with $\alpha$ Emitters"
2006	WHO-REMPAN Regional Workshop on Radiation Emergency Medical Preparedness and Response in the Western Pacific Asia
2006	International Workshop on Radiation Emergency Medical Preparedness within the Framework of the Asian Nuclear Safety Network
2006	Symposium on Awareness Enhancement and Confidence Building on Emergency Medical Preparedness in Japan and Asia
2007	NIRS-Seminar for Trainers on Radiation Emergency Medicine in Asian Region
2007	NIRS Training Course for Taiwanese Medical Professionals on Radiation Emergency Medical Preparedness
2007	* NIRS Training Course for Korean Medical Professionals on Radiation Emergency Medical Preparedness
2008	NIRS/NSC Workshop on Medical Response to Nuclear Accidents in Asia Supported by IAEA
2008	NIRS Training Course for Korean Medical Professionals on Radiation Emergency Medical Preparedness
2008	NIRS Workshop on Cytogenetic Biodosimetry for Asia and 46th IASTC Japan Workshop NIRS-IAEA Workshop on Cytogenetic Biodosimetry
2009	NSC/NIRS Workshop on Medical Response to Nuclear Accidents in Asia
2009	* NIRS Training Course for Korean Medical Professionals on Radiation Emergency Medical Preparedness
2010	NSC/NIRS Workshop on Medical Response to Nuclear Accidents in Asia
2010	* NIRS-KIRAMS Joint Seminar on Radiation Emergency Medicine 2010
2011	NIRS-IAEA Workshop on Cytogenetic Biodosimetry for Asia 2011 & NIRS-IAEA Workshop on Cytogenetic Biodosimetry
2011	NSC/NIRS Workshop on Medical Response to Nuclear Accidents in Asia

\* : 韓国専門家向け, # : 台湾専門家向け

IAEA : International Atomic Energy Agency  
 RCA : Regional Co-operative Agreement for Research, Development and Training Related to Nuclear Science and Technology for Asia and the Pacific  
 WHO : World Health Organization  
 REMPAN : Radiation Emergency Medical Preparedness And Network  
 SEARO : WHO Regional Office for South-East Asia  
 KIRAMS : Korea Institute of Radiological and Medical Sciences  
 IASTC : International Science and Technology Center  
 NSC : Nuclear Safety Commission

第4表 IAEA 開催の被ばく医療に関する研修への講師派遣実績

年	場所	コース名
2004	イラン	National Training Course on Medical Preparedness and Response to Radiation Accident
2009	サウジアラビア	National Workshop on Medical Response to Radiation Emergencies
	マレーシア	* Workshop on Infrastructures Needed for Off-site and On-site Emergency Preparedness and Response Activity and on Medical Treatment
2010	カタール	Regional Training Course on Medical Response to Radiation Emergencies
	オーストリア	Training on Medical Response to Malicious Events with Involvement of Radioactive Material
	イラン	Training Course on Medical Response to Radiation Emergencies
	ルーマニア	National Training Workshop on Medical Preparedness and Response to a Radiation Emergency
	セルビア	National Training Course on Medical Response to Radiological Emergency

\* IAEA Asian Nuclear Safety Network (ANSN)

てきた。中国、韓国、フィリピン、サウジアラビアに、また WHO が2008年にインドネシアで開催した3rd International Training on Emergency and Disaster Managementにも専門家を派遣している。日本原子力研究開発機構(JAEA)は、タイ、インドネシア、ベトナムに被ばく医療ではないが緊急時の研修を定着させるプロジェクトを持っている。こういう努力も必要である。

## V. REMAT の設立

2011年6月、我が国はIAEAにおいて、原子力事故または放射線緊急事態発生時の国際的な支援の枠組みとして構築された、緊急時対応援助ネットワーク(RANET: Response Assistance Network)に参加を表明した(文部科学省 [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/22/06/\\_icsFiles/afiedfile/2010/06/18/1294934\\_01\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/22/06/_icsFiles/afiedfile/2010/06/18/1294934_01_1.pdf))。RANETは原子力事故早期通報条約および原子力事故援助条約(それぞれ、1986年および1987年に発効)の実施を事実上支援するため、2005年に構築されたものである。RANETに参加した各国は、医療支援や環境モニタリングをはじめとする様々な分野で、援助要請に基づき専門家の助言等の援助を行うことが期待されている。我が国はRANETの下で国内から関係国に対して助言等を通じた援助を行う機関としてJAEA、広島大学、放医研の3機関を登録した。

それに先立つ2010年、これらのアジアの専門家への研修、ワークショップ、シンポジウムの開催ならびに派遣により作られた「顔の見える関係」を基礎に、放医研は、海

外特にアジアにおける放射線事故および原子力災害等の発生時において、要員を派遣し、緊急被ばく医療に関する支援およびそのための放射線線量評価の実施等を行うための緊急被ばく医療支援チーム Radiation Emergency Medical Assistance Team「REMAT」を設置した。REMATは当面、職員にて構成し、派遣統括、緊急被ばく医療要員、放射線防護要員、線量評価要員、および連絡調整要員からなる派遣要員と日本国において派遣を支援する、国内統括、医療要員、および線量評価要員からなる国内要員並びに事務局員から構成される。現在、国内版 REMAT の充実を図っている。これまでに構築したアジアにおける「顔の見える関係」と REMAT により、アジアの緊急被ばく医療ネットワークの充実と効率化は、我が国の役割である。

## VI. 終わりに

これまでも述べてきたが、まずあげなくてはならないのが、原子力・放射線の事故および災害の頻度の低さである。治療を必要とする被ばく事故は世界中でも年に1件くらいである。このため経験が大きな役割を果たす臨床医学では、対応が不十分になることが多い。また重要さは感じながらも、十分な知識を身につける機会がなく、大学医学部等でも放射線とその影響について教育はほとんどされていないため、医師であっても放射線に対する漠然とした恐怖心がある。手だけが $\gamma$ 線で10 Svを超える局所被ばくしても、皮膚障害が現れるのには、少なくとも7日から10日はかかる。また過去の汚染事故の経験からは、汚染患者の搬送や治療に当たった医療スタッフで、健康影響が出るほどの被ばくを患者から受けた例はない。このような知識を病院スタッフが持ち、少なくとも危険なこととそうでないことを区別できること、つまり「正しく放射線を怖がる」ことが求められる。

厚生省(当時)は1996年5月10日、各都道府県知事に対し「災害時における初期救急医療体制の充実強化について」と題した厚生労働省健康政策局長通知を発出し、全国のどの自治体にも災害医療機関を支援する機能を有する病院で、重症・重篤な傷病者を受け入れるなど、災害時の医療救護活動において中心的な役割を担う病院を指定するように求めた<sup>9)</sup>。これが災害拠点病院である。少なくとも、どの災害拠点病院も原子力・放射線事故時には、放射性物質に汚染されていても患者を受け入れ、被ばく医療機関に患者を転送できるか、放射線防護・管理を含む被ばく医療の専門家と連絡をとりながら、自ら治療が行えるようなシステムの構築が求められる。

原子力施設を持つ自治体における災害拠点病院と被ばく医療指定機関との関係に関しては、指定されている全国の初期被ばく医療機関56機関中43%にあたる24機関のみが災害拠点病院であり、2次被ばく医療機関37機関中

70%にあたる26病院が災害拠点病院である(2010年4月5日現在)。特に地域の基幹病院が多い2次被ばく医療機関と災害拠点病院の一致による既存の救急医療と体制との連携の検討, さらにこれに関する地域防災計画への記載については, 厚生労働省と文部科学省が連名で, 自治体の医療担当部門に依頼を出し, 充実を図っている<sup>9)</sup>。原子力施設を持たない地域の災害拠点病院が, 放射線に関する必要最小限の知識を持つ機会が与えられること, 設置自治体の被ばく医療施設との連携システムを構築することが, 既存の体制を有効に利用することになる。

2007年7月16日に新潟県中越沖を震源として発生した新潟県中越沖地震に派遣された急性期災害対応の医療チーム日本DMAT(Japan Disaster Medical Assistance Team)の構成員の25%が, 日本集団災害医学会が行ったアンケート調査の中で, 原子力発電所からの極微量の放射性物質漏れに対して, 知っていたら出動しなかったと答え, 85%が不安もしくは非常に不安だったとしている<sup>10)</sup>。この地震では, 放射線情報の伝達に問題はあったが, DMATを派遣する病院は, 原子力施設の有無にかかわらず放射線に対する知識は不可欠である。

#### — 参 考 文 献 —

- 1) R. L. Kathern, P. L. Ziemer, A Brief Sketch, The first fifty years of radiation protection. <http://www.umich.edu/~radinfo/introduction/50 yrs.htm>
- 2) 原子力安全委員会・原子力施設等防災専門部会, 緊急被ばく医療のあり方について, 2001年(2008年一部改訂), 平成13年6月(平成20年10月一部改訂)。
- 3) 中央防災会議, 防災基本計画, 2008(平成20年2月)。
- 4) 「国民の保護に関する基本指針」[「国民の保護に関する基本指針」(平成17年3月25日, 改正平成19年1月9日, 平成19年10月5日, 平成20年10月24日)。

- 5) 「独立行政法人放射線医学総合研究所法」(平成11年12月22日法律第176号)。
- 6) M. Akashi, T. Hirama, S. Tanosaki, N. Kuroiwa, K. Nakagawa, H. Tuji, H. Kato, S. Yamada, T. Kamata, T. Kinugasa, H. Ariga, K. Maekawa, G. Suzuki, H. Tujii, “Initial symptoms of acute radiation syndrome in the JCO criticality accident in Tokai-mura”. *J. Radiat. Res.*, Sep; 42 Suppl: S 157-166(2001)。
- 7) T. Hirama, M. Akashi, “Multi-organ involvement in the patient who survived the Tokai-mura criticality accident”, *Br. J. Radiol.*, Suppl 27, 17-20(2005)。
- 8) 河村砂織, 西澤かな枝, 平間敏靖, 野田豊, 平岡武, 近藤久禎, 芳田典幸, 宮後法博, 蜂谷みさを, 早田勇, 明石真言, “国内で起きた放射線治療装置設置中の作業従事者への放射線被ばく事故の特徴と線量評価”, *医学物理*, 23, 173-183(2003)。
- 9) 災害時における初期救急医療体制の充実強化について, 健政発第451号, 厚生省健康政策局長, 平成8年5月1日
- 10) M. Akashi, K. Kumagaya, H. Kondo, Y. Hirose, “Concerns of Disaster Medical Assistance Team (DMAT) members about troubles at the nuclear power plant: experience from the Niigata Chuetsu-Oki earthquake, 16 July 2007, in Japan”, *Health Phys.*, 98 [6], 804-809(2010)。

#### 著 者 紹 介

明石真言(あかし・まこと)



(現職)放射線医学総合研究所理事  
(専門分野)放射線被ばく, 生化学, 血液学

# 事象の重要性を公衆に伝えてきた INES 20周年となった国際原子力・放射線事象評価尺度

原子力安全基盤機構 阿部 清治, 原子力安全・保安院 八木 雅浩

原子力あるいは放射線の利用において事故や故障が起きた時に、その安全上の重要性をただちに国内の公衆に知らせ、また、主要なものについては国際原子力機関(IAEA)にも通報する仕組みとして、「INES」がある。INESは元々は原子力発電所だけを対象として始まり、「国際原子力事象評価尺度(International Nuclear Event Scale)」の略称であったのだが、後に、その他の原子力施設も、あるいは核物質の輸送や照射線源の利用時のトラブルも対象に含めるよう対象範囲が拡張され、「国際原子力・放射線事象評価尺度(International Nuclear and Radiological Event Scale)」となった。しかし、略称はすでに定着している INES を引き続き用いることになった。2010年は INES 発足から20周年にあたる年であり、10月に IAEA において開催された「INES 技術会合(Technical Meeting: TM)」の折に1日を割いて「INES 20周年記念会合」が開かれた。会合では、INES の目的や歴史、現在の内容、各国での利用状況が幅広く紹介された。これを機会に、技術会合および20周年記念会合での日本からの報告内容<sup>1,2)</sup>を基に、以下、INES と我が国におけるその利用について紹介する。

## I. INES の概要

原子力施設で、あるいは放射線の利用でなんらかのトラブルが起きれば、それをただちに公衆に伝えるのは事業者や規制当局の当然の義務である。しかし、こうしたトラブルの内容は往々にしてわかりやすすくない。「何だかわからないけど何かが起こった」というのでは、必要以上の不安感をもたらすことがある。このため、各国の規制当局は事業者から事象発生の連絡を受けると、ただちにその重要性を国際共通の尺度である INES で評価し、地震時のマグニチュードや震度階と同様、「この事象はレベル幾つの事象である」と公表することとなっている。

INES は第1図に示すように、安全上重要でない(no safety significance)である「尺度以下」およびレベル0に始まって、その上に「異常な事象(incident)」としてレベル1～3、「事故(accident)」としてレベル4～7に分けられている。トラブルのレベルの決定については、「人と環境(放射性物質による公衆・作業員への被害)」、「施設における放射線バリアと管理(放射性物質の閉じ込め機能の喪失度合い)」および「深層防護(安全機能の作動

性、起因事象の発生頻度等)」の3基準により評価されることとなっており、どの国も同じ評価ができるよう、評価のための詳細な「INES ユーザーズマニュアル」<sup>3)</sup>が整備されている。

幾つか過去の事例と INES のレベルとの関係を紹介すると、レベル7は、1986年に旧ソ連のチェルノブイリで起きた事故(原子力発電所が大破損して環境中に大量の放射性物質を放散させた)に相当する最悪の事故である。レベル5は、1979年に米国スリーマイル島で起きた事故(原子炉炉心は溶融したが、事故時に環境中への著しい放射性物質の放出はなかった)に相当する。我が国の事例では、2名の尊い人命が失われた1999年の JCO 臨界事故がレベル4である。

実際に発生しているトラブルはそれらよりもはるかに危険度が小さいものであり、ほとんどがレベル0であり、まれに1や2がある、といったところである。なお、レベル2以上の事象が起きた場合、あるいはそれより低いレベルの事象であっても他国の公衆の関心も引くような事象が発生した場合は、各国は事象の内容と INES 評価結果(すなわち、レベル)を IAEA に通知することとなっている。

ここで、IAEA は、INES を施設・組織・国ごとの原子力安全に係る比較評価尺度として用いることは不適当である旨指摘している。この理由として、レベル2以上のトラブルの発生は統計的に見て非常に少ないこと、またレベル2未満のトラブルを公表する制度が国によりま

*INES has been Communicating the Importance of Events to Public. —Twenty Year Anniversary of International Nuclear and Radiological Event Scale: Kiyoharu ABE, Masahiro YAGI.*

(2010年 12月17日 受理)



レベル	基準			
	基準1 人と環境	基準2 施設における放射線バリア と管理	基準3 深層防護	
事故	7 (深刻な事故)	・計画された広範な対策の実施を必要とするような、広範囲の健康および環境への影響を伴う放射性物質の大規模な放出。  旧ソ連・チェルノブイリ発電所事故 (1986年)		
	6 (大事故)	・計画された対策の実施を必要とする可能性が高い放射性物質の相当量の放出。		
	5 (広範囲な影響を伴う事故)	・計画された対策の一部の実施を必要とする可能性が高い放射性物質の限定的な放出。 ・放射線による数名の死亡。  イギリス・ウインズケール原子炉事故 (1957年)	・炉心の重大な損傷。 ・高い確率で公衆が著しい被ばくを受ける可能性のある施設内の放射性物質の大量放出。これは、大規模臨界事故または火災から生じる可能性がある。  アメリカ・スリーマイルアイランド発電所事故 (1979年)	
	4 (局所的な影響を伴う事故)	・地元で食物管理以外の計画された対策を実施することになり、軽微な放射性物質の放出。 ・放射線による少なくとも1名の死亡。  JCO臨界事故 (1999年)	・炉心インベントリーの0.1%を超える放出につながる燃料の溶融または燃料の損傷。 ・高い確率で公衆が著しい大規模被ばくを受ける可能性のある相当量の放射性物質の放出。  フランス・サンローラン発電所事故 (1980年)	
異常な事象	3 (重大な異常事象)	・法令による年間限度の10倍を超える作業者の被ばく。 ・放射線による非致命的な確定的健康影響(例えば、やけど)。	・安全設備が残されていない原子力発電所における事故寸前の状態。 ・高放射能密封線源の紛失または盗難。 ・適切な取扱い手順を伴わない高放射能密封線源の誤配。  スペイン・バンデロス発電所火災事象 (1989年)	
	2 (異常事象)	・10 mSvを超える公衆の被ばく。 ・法令による年間限度を超える作業者の被ばく。	・実際の影響を伴わない安全設備の重大な欠陥。 ・安全設備が健全な状態での身元不明の高放射能密封線源、装置、または、輸送パッケージの発見。 ・高放射能密封線源の不適切な梱包。  美浜発電所2号機蒸気発生器伝熱管損傷事象 (1991年)	
	1 (逸脱)	・法令による限度を超えた公衆の過大被ばく。 ・十分な安全防護層が残ったままの状態での安全機器の軽微な問題。 ・低放射能の線源、装置または輸送パッケージの紛失または盗難。	「もんじゅ」ナトリウム漏れ事故 (1995年) 敦賀発電所2号機1次冷却材漏れ (1999年) 浜岡発電所1号機余热除去系配管破断 (2001年) 美浜発電所3号機2次系配管破断事故 (2004年)	
尺度未満	0 (尺度未満)	安全上重要ではない事象	0+	安全に影響を与え得る事象
			0-	安全に影響を与えない事象
評価対象外	安全に関係しない事象			

注) INESが正式に運用される以前に発生したトラブルについては、推定で公式に評価されたレベルもしくは試行で評価されたレベルを表記。

第1図 INESにおける事象のレベル分け

ちまちであることが理由として挙げられている<sup>3)</sup>。

## II. INESの歴史

INESはその発足時から、日本が深くかかわっている。

そもそものきっかけは、1986年の旧ソ連チェルノブイリ4号機の事故である。この事故を契機に、原子力施設で起きる事故や故障についての公衆の関心が著しく高まった。しかしながら、運転時に時折起きていた事象の重大性がチェルノブイリ事故のような極端な大事故とどう違うかを公衆にわかりやすく説明する手段は用意されていなかった。そういう状況下で、まずは日本とフランスで、そのための方法についての検討がなされるようになっ

た。

1989年の初頭、日本では原子力発電所で発生する事象がどれほど重要なものなのかを公衆にわかりやすく説明するための尺度についての議論が始められた。同年の7月には、原子力発電所に対する規制当局であった旧通商産業省が、我が国独自の評価尺度として「原子力発電所事故・故障等評価尺度」を導入した<sup>4)</sup>。我が国の評価尺度では、事象は0から8までの9分類であった。

一方、国際的には、国際的に統一された事象評価尺度を策定する機運が高まり、1989年4月にOECD/NEAおよびIAEAにおいて検討が開始された。同年10月にはパリで、NEAおよびIAEAによる評価尺度の開発と利用に関する技術委員会が開催され、日本の9分類の尺

度とフランスの5分類の尺度がレビューされた。翌年3月には今度はウィーンで、やはりIAEAおよびNEAによる技術委員会が開催され、そこで、0から7までの8分類の評価尺度が合意された(INESのレベル1~7は日本版評価尺度の2~8に相当する)。これがINESの誕生である。「INES ユーザーズマニュアル(2008年版)」<sup>3)</sup>ではその最初のページに、INES発足時における検討において、日本とフランスにおける類似の評価尺度が反映された旨述べられている。

この頃の議論に参加した近藤駿介氏(現原子力委員会委員長)は、当時を振り返ってこう語っている。「チェルノブイリの事故後、我々は『安全』とか『潜在的に危険』という言葉が、原子力事故にさらされる当事者である公衆にとってどんな意味を持つのか、という問題に直面していた。INESの長期にわたる利用を振り返ったとき、あの時はずバリで、次いでウィーンで集まった専門家は、原子力安全に関する知識をコード化することで原子力事象について公衆が情報に基づいて判断することを可能にするという、よい仕事をしたのだと思う。」

1990年秋からは各国においてINESの試験的な運用がなされ、その成功から、1992年3月には各国に対しINESの正式導入が提言された。我が国もこの国際合意を受けて、同年8月からそれまでの日本版評価尺度から国際評価尺度INESに切り替えた。

INESの導入に当たっては、各国の状況に応じての尺度の微調整が認められたことから、我が国は原子力発電所の事象については、INESレベル0の事象(日本版評価尺度の0および1に相当)を従来どおり2分類(0-および0+)に細分化して運用することとした。

INESは発足以降、その対象を拡張してきた。我が国では、原子力発電所以外の原子力施設については、原子力発電所への公式運用が始まった1992年以降、旧科学技術庁によって試行としての運用がなされ、2004年からは文部科学省(以下、文科省)による公式運用がなされている。

2000年代に入って、IAEAにおいては、INESの対象を放射線源や放射性物質の輸送にまで拡張するための検討が行われ、2006年にはそれらに対する追加ガイダンスが策定された。これを受けて我が国でも、2008年からこ

れらの事象についての公式なINES運用が始まった。

2009年にはIAEAにおいて、原子力施設についてのマニュアルと追加ガイダンスを統合しての「INES ユーザーズマニュアル(2008年版)」が策定された<sup>3)</sup>。我が国では2010年4月から、あらゆるINES評価においてこの新マニュアルを用いている。現在はさらに、放射線医療分野にもINESを拡張することについての検討が行われている。

### III. INES を運営する組織

ここで、INESを運営する組織について述べると、IAEAの事故・緊急時センター(Incident and Emergency Centre: IEC)がINESにより評価された加盟国のトラブル情報を集約・共有・発信する国際統括組織となっている。各国はINES担当官(National Officer: NO)を定めなければならないが、我が国の場合、原子力エネルギー利用に係る規制は経済産業省原子力安全・保安院(以下、保安院)、研究炉や加速器、あるいは放射線利用に係る規制は文科省が担当しているため、両省庁でそれぞれNOが指名されている(著者の八木は2010年8月以降、保安院のNOである)。

トラブルが起きると、NOはINES暫定評価を行い、その結果を事象の内容とともに公表する。レベル2以上の事象のIAEAへの報告もNOの責務である。IAEA/IECのINES担当者は、そうした事象の概要およびINES評価結果を、IAEAが運営する情報システムであるNEWSを通じて各国のNOに発信する。

国内におけるINES評価は、前述のように事象発生直後の暫定評価はNOによってなされるが、その妥当性は、保安院、文科省それぞれに設置されたINES評価のための委員会において、専門家の検討によって確認され、正式な評価となる。第2図は保安院所掌分を審議する総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会INES評価小委員会(現在の委員長は関村直人東京大学大学院教授)における審議の様子である。

各国で発生した主要なトラブルについては、IAEA/IECが運営するNEWSネットワークシステムにINESの評価結果とともに掲載されるので、我が国の関係者も常に情報を共有できる。また、国外の事例については、



第2図 総合資源エネルギー調査会 INES 評価小委員会

文科省関係のものは日本原子力研究開発機構が、保安院関係のものは原子力安全基盤機構が、適時和訳して公開している。

2年に1回、IAEAにおいてINES技術会合(TM)が開催される。これは、各国のNOが一堂に会する会合であり、INESユーザーズマニュアルの承認等、重要な決定は(その後のプロセスはあるものの)実質的にすべてこの会合でなされる。

IAEAでのINES活動を技術的に支えるのはINES諮問委員会(Advisory Committee: AC)とコンサルタントである。AC会合は通例、年に1~2回開催され、INESユーザーズマニュアル案の作成をその典型例として、TMの検討事項ほとんどについてその準備をする。ACのメンバーは、地域と専門を考慮して選ばれている(著者の阿部は2004年1月以降、ACのメンバーである)。コンサルタントはINES発足時以来、英国のMortin氏が務めている。

このほか、特定の問題の検討のために、その都度ワーキンググループ(WG)が組織されることがある。現在は、医療分野におけるトラブル(例えば、放射線医療における過剰被ばく事故等)へのINESの適用を検討するためのWGが組織されている。

#### IV. 日本における INES 評価結果

近年の放射性物質の利用形態別のトラブル評価は以下のとおりである。

第1表からわかるとおり、IAEAへの自動的な通報対

象となるレベル2以上のトラブルについては、発電用原子炉(商業炉および発電の用に供する研究開発炉)および研究炉等では近年発生しておらず、また核燃料サイクル施設では1999年のJCO事故以降10年以上発生していない。他方、核原料の使用関連で2008年に放射性物質を含む大量のベークライトを不適切に管理していた事象により10 mSvを超える線量を10名以下の一般公衆が被ばくしたと推定された事象と、同じく08年にサイクロトロン修理作業に従事していた作業員が52 mSvの放射線量を被ばくした事象が発生している。

これらレベル2を超える事象が、いわば小線源にかかわるものであることに関し、現在の文科省のINES評価委員会委員長である中込良廣氏(原子力安全基盤機構理事)は以下のように語っている。「2004年に文科省によるINESの公式運用が始まって以来、研究炉において放射線被ばくを伴う事象は発生していない。一方、2008年に放射性物質を含むベークライト板の不適切管理により、東京都内で住民が被ばくするレベル2の事象が発生している。原子力施設においては、誰も『隔離』の維持に気を遣っているが、放射線源はずっと身近なものである。この身近さがこうした事象の発生につながっているのではないか。」

INESは上述のとおり、様々なトラブルがある中で、統一的な指標によりその重大性を一般公衆に対してわかりやすく示すことを目的としており、その目的は十分に果たしているが、一方で、トラブルに対する一般的な印象とは異なる結果を示すこともある。

第1表 我が国における INES 評価推移

施設 /Lv Fy	原子炉等規制法												RF法			
	実用炉/発電用 研究炉			核燃料サイクル施設				試験研究炉			核燃料・核原料使 用施設			RF使用施設/加 速器等		
	0±	1	2	0	1	2	≥3	0	1	2	0	1	2	0	1	2
'92	14	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0			
'93	21	0	0	1	0	1	0	2	0	0	1	0	0			
'94	14	3	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0			
'95	15	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0			
'96	21	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0			
'97	15	3	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0			
'98	18*	1	0	0	1	0	0	3	1	0	0	1	0			
'99	26*	1	0	0	0	0	1	6	0	0	0	0	0			
'00	20*	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0			
'01	14	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0			
'02	10	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0			
'03	12	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0			
'04	19	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0			
'05	12	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0			
'06	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0			
'07	19	1	0	1	1	0	0	1	0	0	3	0	0			
'08	18	4	0	3	2	0	0	0	0	0	2	1	2	1	1	1
'09	12	2	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0

\*:旧科学技術庁が±を付けず単にレベル0と区分した、発電用研究炉のトラブル(98年1件、99年3件、2000年1件)を含む

その代表的な例が2007年7月の新潟県中越沖地震により、東京電力柏崎刈羽原子力発電所の原子炉が複数機停止した事象の評価であろう。この地震では、運転中であった2, 3, 4, 7号機がすべて、地震計からの信号によって正常に停止した。微量の放射能を含む冷却水の海への放出や、所内変圧器の火災など、幾つかのトラブルも発生したが、基本的に原子炉の健全性および外部への放射性物質の影響はなく、結果として、これらのトラブルに対するINES評価結果はすべてレベル0—または尺度以下であった。

実地震動が基準地震動を大きく超え、多数のプラントが地震後長期間運転休止となった(本稿執筆時においても2, 3, 4号機が運転再開していない)のであるから、この事例は我が国の原子力利用において重大な事象であった。しかしながら、INESの評価は、極めてマイナーな事象との結果となった。これは、INESの評価が、トラブルによる原子力安全に関連しない設備への被害や運転休止などに由来する人間の感情や経済社会的なインパクトは対象とせず、公衆や従業員に対する放射線影響や原子力安全への影響の観点でのみ評価を行うことから、一般的な感覚とはギャップがあるためと考えられる。(「INES ユーザーズマニュアル(2008年版)」<sup>3)</sup>では、「この評価尺度は、原子力または放射線施設における全ての事象に当てはまるわけではない。産業保安のみに関係する事象や、放射線や原子力安全に関して安全上の関連性を持たない事象には当てはまらない。例えば、(中略)火災についても、放射線災害の可能性がなく、放射線安全または原子力安全に関係する装置に影響しない場合は評価尺度による分類は行われぬ」旨記載されている。)

これに関し、当時の保安院のINES評価小委員会委員長であった班目春樹氏(現原子力安全委員会委員長)は次のように語っている。「INESはたしかに、原子力・放射線事象について公衆とコミュニケーションを図るのに優れたシステムであるが、実際の運用では困難なこともある。柏崎刈羽の件では、以下の質問に答えるのが容易でなかった。『地震動が設計基準を大幅に超えたことは、深層防護の一層が破れたとして評価しなくていいのか。また、原子力安全に影響ないからと変圧器の火災を低く評価されると、結果を伝えられる一般人は理由が理解できずINESに不信感をいだく』。前者の疑問についてはINESの評価方法を見直す必要があるかもしれない。後

者の指摘への対応としては、深層防護の考え方や冗長性を有する安全設計について日ごろからもっと説明し、理解いただくしかないが、これは非常に難しい。」

## V. おわりに

我が国は客観的指標に基づく原子力トラブルの評価において国際的にも先行し、INESの策定および運用に中心的な役割を果たした。充足して20年、INESは着実に国際社会に定着しつつあり、またアップデートを重ねることにより、より信頼される客観的な評価尺度として成長している。

このように、INESは国際的にも統一された優れた指標であるが、決してそれだけでは広く国民に原子力への安全・安心感を醸成することは不可能である。安全規制当局を始め原子力に携わる者すべてが、不断の努力により、原子力に対する国民の広範な理解を増進させていくことが必要であり、それが達成された暁には、INESはさらに効果を発揮するであろう。

### — 参考資料 —

- 1) Y. Kosaku, "Status and Use of INES in Japan", INES-TM, (Oct. 2010).
- 2) K. Abe, "Past, Present and Future of INES in Japan", INES 20 th Anniversary, (Oct. 2010).
- 3) IAEA, *INES User's Manual—2008 Edition*, (2009).
- 4) 通商産業省資源エネルギー庁, 原子力発電所事故・故障等評価尺度の導入について, 平成元年版原子力安全年報資料編2-14, (1989).

### 著者紹介



阿部清治(あべ・きよはる)  
原子力安全基盤機構  
(専門分野/関心分野)原子力の安全評価



八木雅浩(やぎ・まさひろ)  
原子力安全・保安院  
(専門分野/関心分野)核不拡散, 危機管理

# 多国間設計評価プログラム(MDEP)とその影響

## 2. 世界標準と安全設計

(株)東芝 佐藤 崇

本稿は、前号解説「多国間設計評価プログラム(MDEP)とその影響 Part 1. シビアアクシデント(SA)を対象とした規制」の続編として「Part 2. 世界標準と安全設計」と題し、新設計炉開発の状況とSA対処設計について、de facto, de jureとして先行する諸外国の設計および規制の状況の確認と、これを踏まえて、国際市場で我が国は今後、世界標準とどのように向き合うことが可能か、また、国内におけるSA対処設計の位置づけはどのようなものが望ましいかについて原子力エンジニアからの一提案を行う。

### I. はじめに

本稿は、日本原子力学会「2010年秋の大会」の原子力安全全部会の企画セッションにおいて発表した内容を解説にまとめたものである。発表時には十分ではなかった内容を補足した一方、誌面の都合で一部の図表のみを掲載している。発表時の資料には、諸外国の新設計炉の対策を多くの図で説明してあるので、併せて、この発表資料をご覧ください。発表資料は、原子力安全全部会の以下のサイトに掲載されている。<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/safety/> 本稿と同名のタイトルの資料をダウンロードしてご覧いただければよりわかりやすいと思う。

### II. Beyond DBA に関する世界標準の状況

#### 1. ルールとしての世界標準(de jure)

Beyond DBAに関する世界標準の状況は、ルールとしての世界標準(de jure)と実際の設計としての世界標準(de facto)に分けられる。De jureとしての世界標準は、「ルールを作ったものが標準になる」という観点から重要である。具体例としては、NRCやフィンランドの規制当局であるSTUK等が作成した諸規則、電力要件であるEUR, URD, 国際的な規格であるIAEA基準、さらには、西欧原子力規制連合(WENRA)による新規炉安全目標案<sup>1)</sup>等がある。新規炉の安全性を強化する最近の要求の例としては、2009年6月にNRCにより制定された10 CFR 50.150 Aircraft impact assessment.<sup>2)</sup>がある。これは、大型旅客機による激突に対する防護の評価

を要求している。いわゆる9.11テロの教訓に基づくものであり、従来、欧州で要求されている戦闘機の墜落対策とは異なる。米国のものは、主に水平方向からの激突防護に重点があるが、欧州の場合には、天井部の強化も必要になる。

SA対策全体を強化するものとしては、2009年12月に策定されたWENRAの新規炉安全目標案<sup>1)</sup>が特筆される。炉心損傷頻度(CDF)  $< 10^{-5}$ /炉年を判断基準とせず、選定された多重故障に対し炉心損傷防止対策を要求し、さらに、SA時に格納容器(CV)破損に至る物理現象を実質的に削除することを要求している。その達成度合いの判断には、確率によるカットオフを認めずにSA対処設計を要求している。CVの長期の破損防止も要求されており、これには24時間といった期間ではなく、数ヶ月から数年という長期間が例示されている。NRCの安全目標<sup>3)</sup>である大規模放出の発生頻度が $10^{-6}$ /炉年以下というようなある一定レベル以下で残留リスクを許容するという発想そのものが排除されている。

#### 2. 実設計としての世界標準(de facto)

##### (1) 航空機落下対策

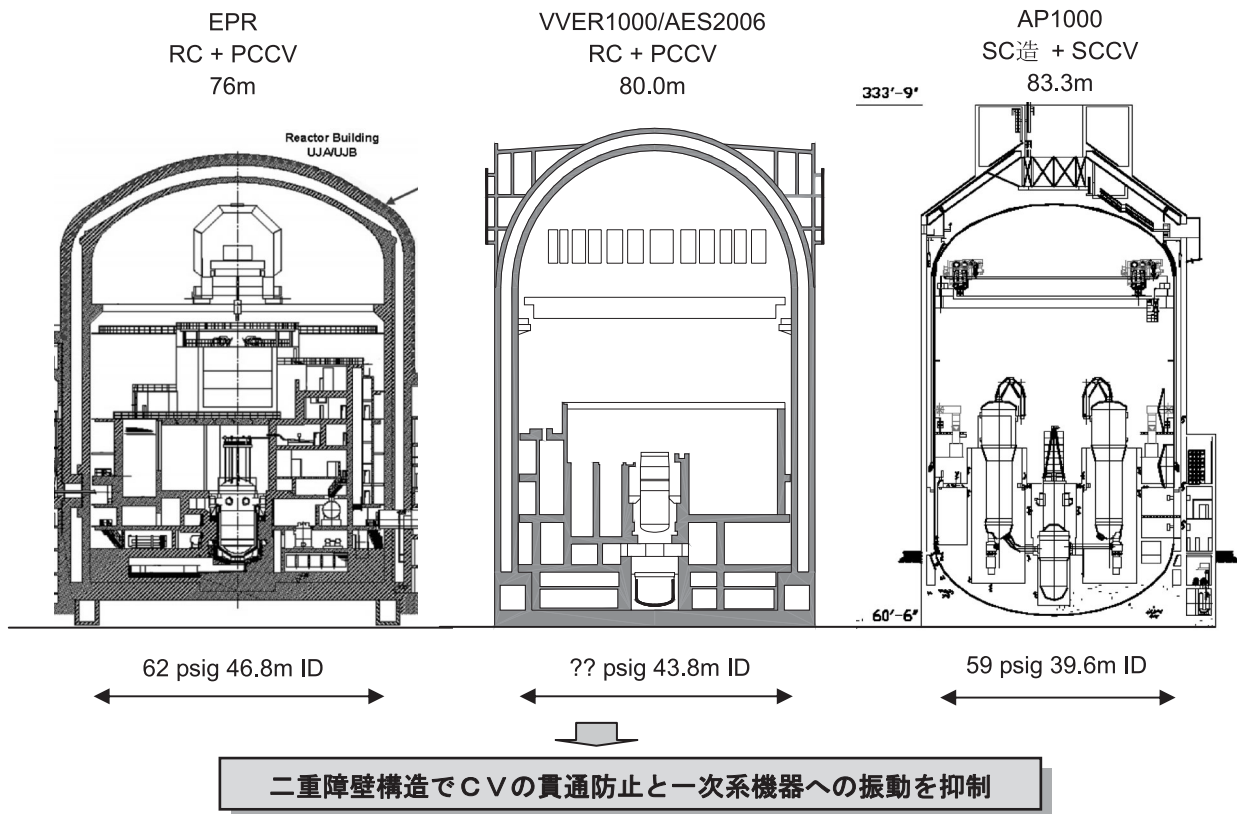
一方、de factoとして実設計の状況を見ると、既に、次世代炉ではなく実在するプラントにおいて多様な対応がなされていることがわかる。まず、航空機落下対策については、第1図に示すように、CVを防護壁で二重に防護したものとしてはEPR, VVER 1000, AP 1000がある。これらは、二重障壁構造でCVの貫通防止と1次系機器への振動抑制に効果が期待される。なお、原子炉建屋内の系統の防護や火災防護の程度については、まだ不確定なものが多い。

##### (2) デブリ保持冷却設備

EPRには横方向にスロープを使用したコアキャッ

Multinational Design Evaluation Programme (MDEP) and its Impacts—Part 2. Global Standard and Safety Design for Newly Designed LWR : Takashi SATO.

(2011年 2月10日 受理)



第1図 航空機落下対策の実施例

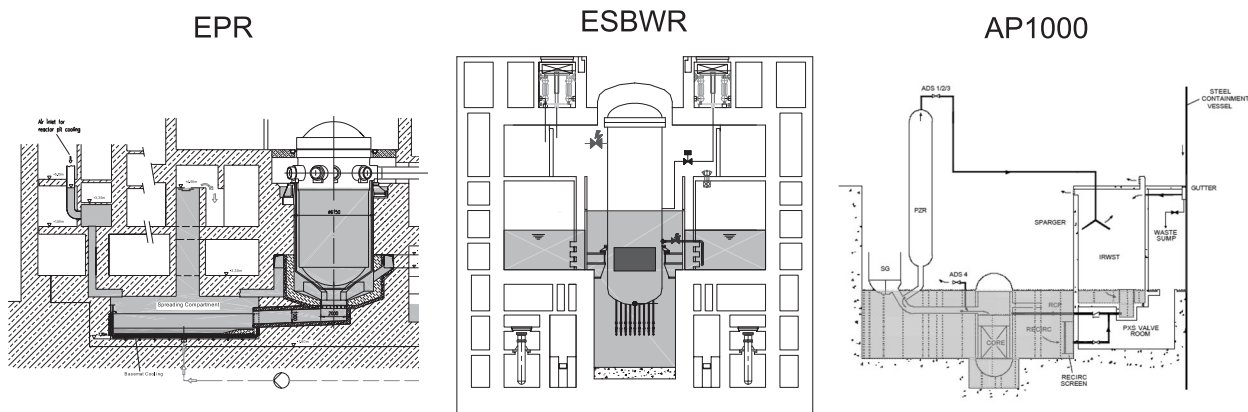
チャが設置されており、170 m<sup>2</sup>の広大なデブリ拡散面積が確保されている。VVER 1000には、原子炉容器(RV)の直下にコアキャッチャが設置されている。いずれもCV内の水源から静的に冷却水がコアキャッチャ下面に供給される。EPRの場合は、冷却水がコアキャッチャ上部にオーバーフローしてデブリを直接冷却するが、VVER 1000の場合は、冷却水はオーバーフローしない。AP 1000はIVR(In Vessel Retention)によりRV内でデブリを保持する方式を採用しているため、コアキャッチャは設置されていない。RV外側を冷却する冷却水はIRWST(In-containment Refueling Water Storage Tank)から静的に供給される。これら以外にもESBWRにもBiMAC(Basemat inter Melt Arrest and Coolability device)と呼ばれるデブリ保持装置が設置されている。BiMACでも冷却水は重力落下式炉心冷却系(GDCS)から静的に供給され、オーバーフローしてデブリを直接冷却する。

### (3) 格納容器冷却系の独立性

さらに、SA時の長期格納容器冷却については、EPRはDBA用の4区分の安全系とは独立に2系統のSAHRS(SA Heat Removal System)を設けている。これは、SA専用の格納容器スプレー系であり、原子炉補機冷却系(補機冷)と非常用電源もDBA用のものとは独立に2基設置されている。この非常用電源はSBO DGと呼ばれ、DBA用の4基の非常用DG(ディーゼル発電機)がすべて故障してSBO(Station Blackout, 全交流電源

喪失)になった場合を前提に設置されている。実質的に動的6区分構成になっている。このように動的安全系でSA時のCV冷却を行うと補機冷や電源の数が増える。耐震条件の厳しくない欧州では成立するが、耐震条件の厳しい地点では不利な設計となる。その他のAP 1000, VVER 1000, ESBWRはいずれも静的格納容器冷却系を採用している。これらは、DBAの場合にも使用されるが、ECCSとしての炉心冷却機能と独立性があり、かつ、外部動力電源が不要であるため、SA時にも使用可能である。また、これら3プラントとも3日間のグレース・ペリオド(事象が発生しても運転員の介在なしに安全な状態が維持可能な猶予期間)が確保されている。このようにECCSが全喪失して炉心損傷が発生してもECCSとは電源および補助系を含めて独立のCV冷却系によりCVの長期冷却ができることがSA時の大規模放出防止のため重要である。

以上、航空機落下対策、デブリ保持冷却設備、SA時の長期格納容器冷却系とECCSの独立性について実プラントの例を概観したが、これら3点が、de factoとしてGen III.5炉と呼ばれるための必要条件と考えられる。Gen III.5炉とは、Gen III炉よりも進歩した炉という意味で、EPRやAP 1000のプラントメーカーが自主的に自社の原子炉をこのように呼んでいるものである。世代的にはGen IV炉よりも手前に位置するが、安全設計としては、Gen IV炉より現状では完成度が高い。



第2図 炉内残留デブリ冷却(長期過温破損防止)の実施例

(4) 長期過温破損防止対策

さらに、長期過温破損防止等の観点から、炉内にデブリが冷却を行っているものが多い。炉内にデブリが残っていると、CV内の雰囲気に対流することによりデブリの熱がCV内雰囲気およびCV構造物に伝わり200℃以上になる。この状態が長期間継続することによりCVが過温破損する可能性がある。短期的な過温に対しては、熱遮蔽等で放射熱を遮断すればよいが、長期的な過温に対しては、もっと抜本的な対策が必要になる。第2図にEPR, ESBWR, AP1000の例を示す。EPRは意図的にコアキャッチャの上部にチムニー状の構造を設け炉心上部まで冠水可能とし、12時間以内にSAHRSを用いて炉内残存デブリを冠水する。SBO DG, SAHRSの起動とCSモードからの切り替えが必要である。ESBWRはSA時にGDCS水を下部DW(原子炉压力容器の下部の空間)にドレンさせるので結果的に炉心部分も冠水する。AP1000はIVRのためRVノズル位置まで冠水し、最終的にRVはほぼ冠水する。静的安全炉は自然に冠水しその後も放置可能である。いずれのプラントも水源はCV内のIRWST等を使用し外部水源を必要としない。大型の外部水源タンクと外部ポンプを使用してもCVの冠水は可能であるが、巨大地震等の災害時にはクレジットを取れないおそれがある。上記のプラントはこの課題を既に相当程度解決している。一方、VVER1000にはCVを冠水する機能はない。このような例では、炉内残存デブリが多い場合にはCV内雰囲気の対流によりRVを支えるベDESTALやCV壁面の温度が高くなると考えられる。

(5) SA時緊急避難不要対策

以上に加えてWENRAの新規炉安全目標案<sup>3)</sup>では、SA時に限定的な防護対策で済むように設計で対処することを要求し、その一つとして緊急避難不要とすることを要求している。上記安全目標案の6.3. Proposed safety objectivesのO3. Accidents with core meltで *design provisions have to be taken so that only limited protective measures in area and time are needed*(no

permanent relocation, *no need for emergency evacuation outside the immediate vicinity of the plant, limited sheltering, no long term restrictions in food consumption*)と要求されている。また、この達成のための定量的安全ターゲットとして、ICRP-63の屋内退避の介入レベルである5~50 mSv/2日を例示している。ちなみに、避難により回避される線量は、IAEA<sup>4)</sup>とフランスは50 mSv、米国は10~50 mSvとなっている。日本の場合は、50 mSv以上でコンクリート建屋の屋内退避か、避難することが提案されている<sup>5)</sup>。したがって、緊急避難を不要とする線量は、おおよそ50 mSvと考えられる。一般に、SA時にCV破損、すなわち、大規模放出がなければ避難は不要と考える人も多いが、必ずしもそうではない。

第1表に各プラントのLOCA(仮想事故相当)の被ばく線量(DCD記載値)を示す。当然、CVの健全性は維持されている条件である。すべて更新ソースターム(従来の仮想事故時のソースタームに比べて、有機ヨウ素の割合をより現実的に低く見直すなどしたもの)を使用し、粒子状ヨウ素等に沈着、沈降、拡散泳動、熱泳動の除去効果を取っている。LOCA時の最大2時間線量はESBWRとAP1000で立地指針のめやす線量250 mSvに近い値になっていて、避難の介入レベル50 mSvを超えている。 $\chi/Q$ の値が我が国のプラントに比べて高いのは、地上放散と2時間の短期放出であることと、標準サイトとして米国内の立地点をほとんどカバーするためである。我が国でも気象条件や立地条件によって2桁程度の差があるので、実は、ここで使用されている $\chi/Q$ 値はさほど高いとはいえない。

これからわかるように、CVが健全であっても、非常用ガス処理系(SGTS)、アニユラス浄化系、格納容器スプレー等の低減効果なしに50 mSv以下の線量に制限することは、更新ソースタームを使用しても大変である。EPRはDBA時にはSA専用のCVスプレーは使用しないが、逆にSA時には使用可能なので、線量は容易に低減できる。一方、ESBWR等の静的安全炉は、これらの

第1表 LOCA時(仮想事故相当)の被ばく線量(DCD記載値)

プラント	ソースターム	クレジットを取る 低減機能	標準サイト $\chi/Q$ @EAB (s/m <sup>2</sup> )	LOCA時最大 2時間線量 (TEDE)
ESBWR 4590MWt	更新ソースターム ハロゲン放出率 30% 有機ヨウ素割合 0.15	PCV漏洩率 0.35%/d 建屋漏洩率 ~105%/d	2.00E-3	224 mSv (22.4 rem)
AP1000 3483MWt	更新ソースターム ハロゲン放出率 40% 有機ヨウ素割合 0.15	CV漏洩率 0.1%/d(<1d) 0.05%/d(>1d)	5.10E-4	246 mSv (24.6 rem)
USEPR 4612MWt	更新ソースターム ハロゲン放出率 40% 有機ヨウ素割合 0.15	CV漏洩率 0.25%/d(<1d) 0.125%/d(>1d) アニュラス浄化系フィルタ 一効率 99%	2.04E-3 ~ 1.82E-3	122 mSv (12.2 rem) CVスプレーを使用すれば容易に低減可能。

動的安全系を排除しているため、CVの気密性のみが低減機能となっている。従来の動的安全炉もSA時にはSBOが発生するので、SGTS、アニュラス浄化系、格納容器スプレー等に低減効果を期待することはできない。つまり、SA時に緊急避難を不要にするWENRAの安全目標案<sup>1)</sup>はかなり厳しい要求といえる。EPRのようにSA専用のSBO DGがあり、SA時にもアニュラス浄化系を作動できる設計とすることが求められる。

実は、VVER 1000も同様の設計をしていたが、最新のものは、全く別の方法でこれを解決している。第3図にインドのKudankulam発電所に建設中の最新型VVER 1000を示す。この炉では、二重気密CVが採用され、SA時に内側CVから漏洩した放射性ガスは、アニュラス部の内圧上昇により、配管により建屋天頂部に設置されたフィルタユニットに静的に導かれ外気に管理放出される。これにより粒子状の放射性ヨウ素等が除去されるので、SA時であっても被ばく線量の低減が静的に可能になっている。今後はこのプラントを120万kWεクラスに増出力しVVER 1200として、ロシア、インド、ブルガリア、トルコ、ベトナム等に多数の建設を予定している。

### Ⅲ. 日本発世界標準を目指すには

#### 1. 日本は世界標準とどう向き合えばよいか

このような世界標準の中にあつて、日本の置かれた状況は、まさに、「前門の虎、後門の狼」である。虎(WENRA・EPR)から逃げると、得をするのは狼(APR 1400, VVER 1000)になる。また、国際市場に背を向けて国内市場に留まれば、日本は島国としてガラパゴス化するおそれもある。

#### 2. 日本発世界標準を目指す安全設計とは

では、日本が原子力の世界で世界標準を目指すための安全設計とはどのようなものであろうか。それは、WENRAを超えて前に進む、すなわち、前門から世界に打って出ることである。その際、日本の独自性を世界の共通利益にすることが大切である。例えば、優れた耐震・免震技術と地震リスクを低減できるSA対策で世界市場に貢献することが考えられる。2010年だけでもハイチ、チリ、中国、インドネシアでM7からM9の大地震が発生している。1990年以降の20年間ではM7.5以上の大地震は世界で86回発生しており、コンスタントに



第3図 インドの最新型VVER 1000(Kudankulam, T. N.)



3ヶ月に1回の頻度である。また、関東大震災はM7.9であったが、世界では、M8以上の巨大地震は216回発生しており、M9以上の超巨大地震も6回発生している。1952年以降だけでもM9以上が5回発生している。米国でも1700年に北西部でカスケード地震M9が発生している。

また、巨大地震はプレート境界だけではなく、大陸内部でも発生している。米国で1811年12月から翌2月にかけてM7.5からM8.3が3回連続してセントルイス近郊(ニューマドリッド地震)で発生している。これはインタープレート地震と呼ばれ、発生メカニズムが解明されていない。中国でも巨大地震が多発している。1556年の華県地震M8.3(西安近郊)では、死者・不明者83万人以上を記録し世界史上最悪の大震災になっている。2001年にインド西部で発生したインド西部地震M7.7は2万人以上の死者・不明者を出したが、これもインタープレート地震であるといわれている。このように、米国、中国、インド等世界中で巨大地震は発生している。欧州では、巨大地震は少ないが、火山噴火時の山崩れによる地中海大津波で古代都市が水没したことが知られている。つまり、今後、世界標準炉が世界中に建設されると常に巨大地震や大津波のリスクにさらされることになる。このような外的事象による残余のリスクに対処できる安全なプラントを日本が合理的に提供できれば世界標準炉になることも可能である。

炉型で見ると、世界の主流は明らかに動的PWRであり、EPR, APWR, ATMEA, APR 1400, VVER 1000, CPR 1000などがある。これは、動的PWRは既に競合の多い平易化技術であることを意味している。多数の国とメーカーが同一技術で厳しい競争をしている。

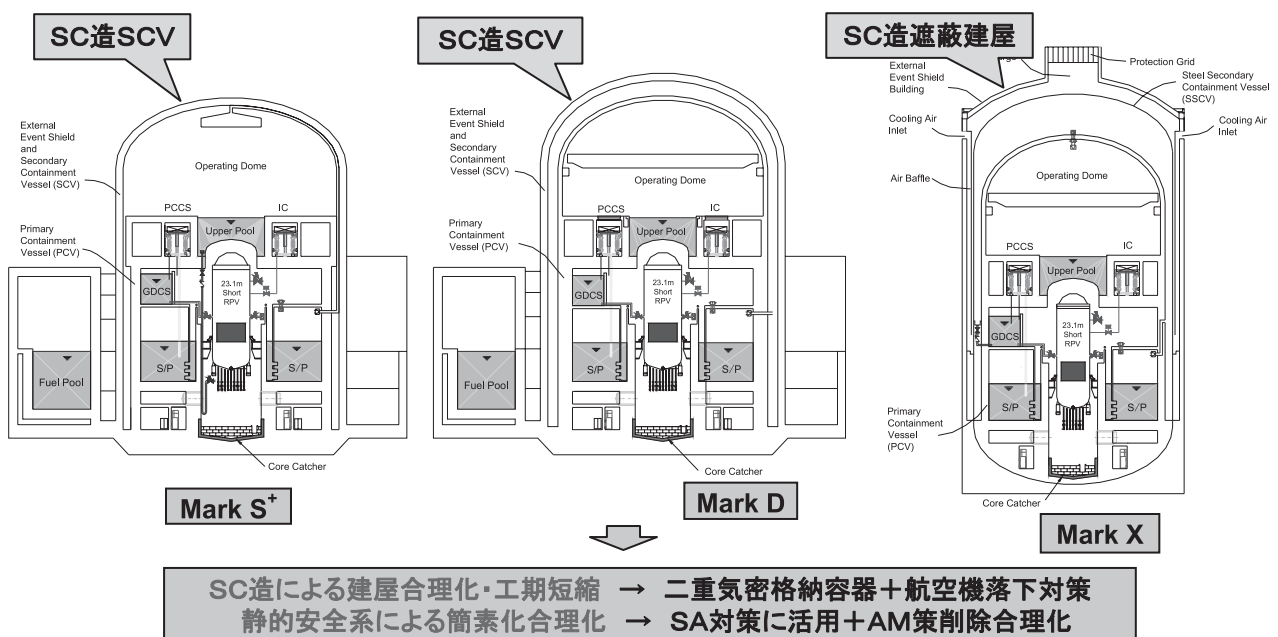
WENRAで規制障壁を設けても動的PWRはすべて設計強化で対応ができる。APR+などがその例である。つまり、欧州は、WENRAの安全目標では諸外国の動的PWRを差別化することはできない。結局、虎と狼が熾烈な競争をする世界になる。その結果、ミサイル・航空母艦・原潜との抱き合わせ販売や首脳外交・国家融資等が必要になる。

一方、BWRは競合の少ない障壁技術である。限られた国とメーカーのみに存在する障壁技術である。BWRへのインセンティブが高まった場合でも追撃できる狼はいない。課題は、虎に勝てるインセンティブの高いTruly Super BWR(TSBWR)と呼べるものを提供することである。

#### IV. ケース・スタディ

##### 1. TSBWRの設計例<sup>6)</sup>

現在、次世代軽水炉の国家プロジェクトで、次世代BWRの安全設計の要素技術としてSC造格納容器、PCCS、静的デブリ冷却が検討されている。SC造とは、強固に結合した2枚の鉄板の間にコンクリートをサンドイッチ状に充填した複合構造である。これらを活用することにより、WENRAの安全目標に完全適合し、かつ、これを超越する炉概念を検討することも可能である。第4図にケース・スタディとして検討したTSBWRの例を示す。これらは、SC造の2次格納容器等を用いて建屋の合理化と工期短縮を行いつつ、SA時のFPの静的二重閉じ込め機能と航空機落下対策を同時に実現している。中型から大型のBWRに適用できる。また、IC/PCCS等の静的安全系によって簡素化合理化を行いつつ、これ



第4図 ケース・スタディ(TSBWR)の例<sup>6)</sup>

をSA対策に活用し従来のAM策を削除合理化している。CV破損を実質的に削除できるSA対策、SA対策と航空機落下対策の融合、SA時緊急避難不要などWENRAの要求に完全適合している。さらに、巨大地震、大津波、巨大ハリケーン等の自然災害時の静的グレース・ペリオドを大幅に強化することによりWENRAの要求を超越している。ただし、PCVはRCCVで形状もESBWRとほぼ同一にしてESBWRとの互換性を維持しているため、30ヶ月の建設工程を満たすことはできない。また、2次格納容器バウンダリーを新たに持つことなどまだ課題もある。

## 2. ルール作りをどうするか

ルールを作ったものが標準になるという観点からは、規制をすべて整備するのは大変なので、IAEA基準やWENRAを準用し、さらに、WENRAプラスマイナス $\alpha$ で対応することが考えられる。WENRA+静的グレース・ペリオドを推奨し、長期のSBOに対し静的に炉心冷却が可能なることを要求する。広域巨大地震や巨大ハリケーン時には外部電源が長期喪失するおそれがある。DGは免震や耐震の建屋で防護しても外部から燃料が補給できなければSBOになる。また、運転に外気導入を必要とするDGは大津波で冠水すると機能停止する。したがって、外部動力電源を必要とする動的機器ではなく、静的機器による安全性確保が有効である。一方、WENRA-動的なAdd-on対策の禁止を奨励し、SBO DGのような動的なSA対策のみに頼る設計を禁止する。ここで、Add-on対策とは、元の設備に追加した追加対策という意味である。SBO DGは巨大地震や大津波ではクレジットが取れない。巨大地震を想定しないヨーロッパでしか有効性がない。また、SBO DGのようなAdd-on対策は、既設炉でもバックフィットが可能であり、新規炉として最適化された設計とはいえない。すなわち、追加すれば単純にコストアップになってしまう。既設炉にもバックフィット可能なAdd-onのSA対策を施したものは最適化された新規炉とはいえない。

## V. 我が国におけるSA対策の位置づけ

国は、従来のプラントに対して、チェルノビル事故等の知見に鑑み、アクシデント・マネジメント(AM)策を強く推奨し、これを受けて事業者は自主的にAM策をバックフィットした。AM策はAdd-onで後から追加したバックフィット対策である。安全性の達成度合いの判断としては、How safe is safe enough?の観点から、安全目標が一般に使用される。このHow safe is safe enough?の安全目標は、既設炉にも新規炉にも普遍的に適用される。したがって、国は、新規炉に対しても、当然、同様の対策の実施を強く推奨することが考えられる。すなわち、安全性の枠組みはAM策とSA対策で

同じであり、安全性は同様に確保されなければならない。AM策とSA対策は、安全上の位置づけ(Beyond DBAに対する自主的な改善策との位置づけ)は同一であるから、その安全上の要求内容も同一になる。

しかし、新規炉の場合は、設計段階からSA対策を取り込みより最適化することが可能である。すなわち、従来のAM策がAdd-onであったのに対し、新規炉のSA対策は基本設計にBuild-inし最適化することが可能である。その結果、より効果的で、かつ、合理的な対策が期待できる。このような設計の改善努力は原子力メーカーの社会的責務であると同時に、事業者はこれを電力要件として要求することが考えられる。これは、メーカーと事業者との間でのHow safer is safer enough?の取決めであるが規制上の問題ではない。

一方、航空機落下対策は、それぞれの国情を反映して実施されるものである。例えば、米国の場合は、大型商業用航空機による意図的な攻撃に言及し9.11のテロ対策であることを明文化している<sup>2)</sup>。一方、EURは戦闘機の墜落を設計条件としている。したがって、これらの国で航空機落下対策を実施しているからといって、我が国でもこれをただちに規制要件化するというにはならないであろう。その場合には、まず、設計の対象となる事象の同定とその蓋然性が検討されなければならない。

メーカーとしては、実際は、国際市場への参入の観点から、諸外国の競合炉と同等程度の対策を実施する必要があるが、それが我が国の対策としては不要で不当なコスト増加をもたらすことは望ましくない。これを避けるために、国内と国外で設計を大きく変えるdouble standardの設計も好ましくない。いずれも新規炉として設計が最適化されていないことの証左である。新規炉のSA対策や航空機落下対策は、世界標準の安全性を保証し、かつ、その実施がむしろコスト低減や工期短縮になり国内の事業者にとっても有利な設計になっていなければならない。SC造建屋による航空機落下対策や静的安全系による簡素化はその良い例である。

これらの対策は、規制上はAM策と同じ位置づけとなるので、耐震要求は生じない。しかし、実際には、設計改善努力としてのHow safer is safer enough?の観点から、地震リスクの低減に寄与するため機能維持が必要になる。AM策のように後からAdd-onしたものは、耐震設計を実施すると追加の問題が大きいが、SA対策として基本設計にBuild-inしたものの耐震設計はより容易になる。例えば、EPRのようにSBO DGとSA専用のHRSを設置すると、これは、実際にはAdd-on設計なので補機冷を含めて耐震設計すると大変である。一方、PCCS/ICのように静的システムをBuild-inすると、動的機器がなく、建屋外の設備もないので影響は緩和される。PCCSはPCVバウンダリーを構成し、ICはRPVバウンダリーを構成するので、必然的にバウンダ

リーとしての耐震設計を実施することになる。したがって、SA 時の機能維持が可能となる。SC 造の建屋も R/B としての耐震設計を実施すれば、SA 時の機能維持が可能になる。SC 造としたことによるコスト低減効果と工期短縮効果の方が大きい。

このように最適化された新規炉の SA 対策の中で、新設の既設計炉では、採用可能な単一の要素技術に関しては、従来の AM 策に代えて、これを採用することを国が強く推奨することは考えられる。ただし、これは設計選択の問題であって、規制上の位置づけが変わるものではない。例えば、静的デブリ冷却設備が考えられる。フランスでは、EPR と同じコアキャッチャを新設でも採用できない N4 の建設を許可しないことが議論されているが、これは、N4 に問題があるのではなく、EPR の巨大なコアキャッチャの問題である。もし、フランスで N4 にも採用できる適切なコアキャッチャが EPR で開発されていればそれで済んだ問題であったかもしれない。

## VI. おわりに

概観したように、世界ではすでに、EPR, AP 1000, VVER 1000 のような Gen III.5 の新型炉が実際に建設され、SA 対処設計や航空機落下対策を実施している。また、ルールとしては、従来の米国 NRC の諸規則に代わり、IAEA 基準、EUR, WENRA の新規炉安全目標<sup>1)</sup> のようにヨーロッパ流の考え方が徐々に勢力を増しつつある。MDEP はまさにその調和とせめぎ合いの舞台になっている。その中で、我が国規制には我が国独自の視点に立った冷静で適切な対応が求められる。

一方、我が国は、国内プラントの建て替え需要との関係で、次世代軽水炉の完成は 2030 年を目途としている。世界市場から見ると 15 年程度の後発である。したがって、我が国が世界標準となるためには、実在する Gen III.5 炉に対して性能、コスト、建設工期等で絶対優位性のあるプラント概念を開発する必要がある。先行する諸外国のルールの枠の中で検討しては、彼らの設計を

超えることはできない。彼らの設計では、超えられない絶対優位性のある概念を開発し、かつ、それをルール化し国際市場に受け入れさせることによって我々は世界標準になることができる。そのためには、新規要素技術を活用した新しいプラント概念の創出へのチャレンジが重要である。Consistency is the last refuge of the unimaginative. 一貫性とは想像力に欠ける者の最後のより所(逃げ口上)である。と、いう Oscar Wilde の言葉があるが、原子力エンジニアの一人として肝に銘じておきたいと思う。

### —参考資料—

- 1) WENRA, "Safety Objectives for New Power Reactors," Study by WENRA Reactor Harmonization Working Group, December 2009.
- 2) NRC, "10 CFR Parts 50 and 52, Consideration of Aircraft Impacts for New Nuclear Power Reactors; Final Rule," Federal Register/Vol.74, No.112/Friday, June 12, 2009.
- 3) NRC, "10 CFR Part 50 Safety Goals for the Operations of Nuclear Power Plants; Policy Statement; Republication," 51 FR 30028, Effective August 4, 1986.
- 4) IAEA, "Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency," Safety Series No.109, (1994).
- 5) 原子力安全委員会, 原子力施設等の防災対策について, 昭和55年6月(平成20年10月一部改訂).
- 6) T. Sato, *et al.*, "Three Types of a Passive Safety Containment for a Near Future BWR with Active and Passive Safety Systems," ICONE 18-29789, (2010).

### 著者紹介



佐藤 崇(さとう・たかし)  
 (株)東芝  
 (専門分野)安全設計を基盤としたプラント  
 概念設計

# 東京大学電子ライナック施設

東京大学 上坂 充, 勝村庸介, 大阪大学産業科学研究所 田川精一

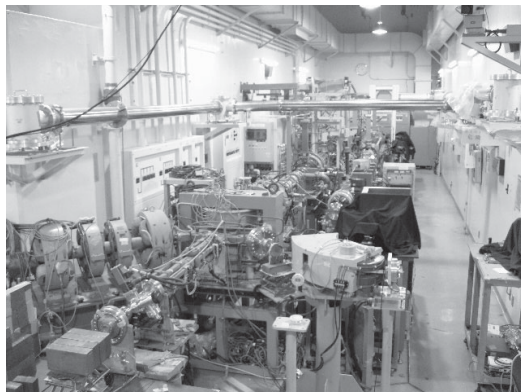
## I. はじめに

東京大学の電子ライナック施設は量子ビームの研究の世界の拠点として認知され、活躍し続けている。本稿では、その31年の歴史を振り返りながら、その事由と将来の展望について述べる。まずは第1図に現状のSバンドツインライナックシステムの写真と、第2図に30年のマシンタイムと主な出来事の変遷を示す。

## II. 黎明期

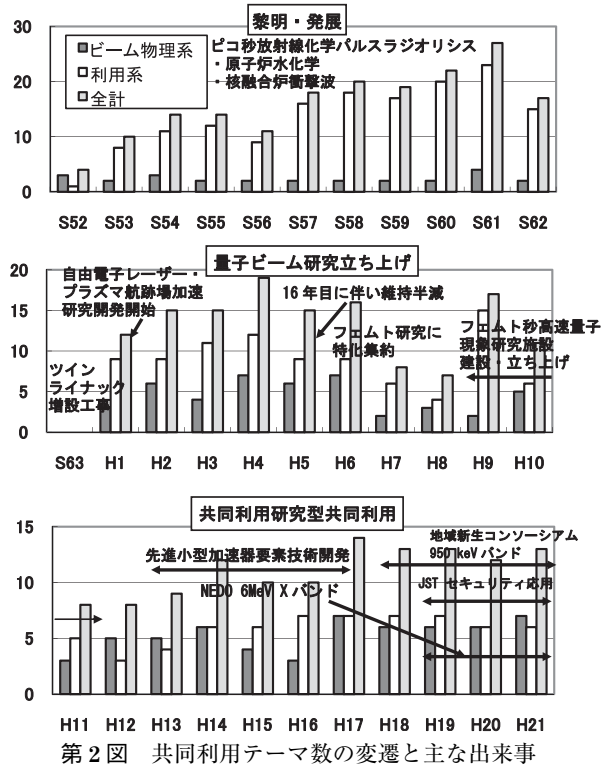
東京大学工学部付属の原子力工学研究施設(当時)の電子ライナックは1974~78年度の4年間の予算で建設。建設最終年度の6月には、世界最高時間分解能のピコ秒パルスラジオリシスの発光実験を開始した。当時、世界ではピコ秒単パルスを用いたピコ秒パルスラジオリシスの装置は唯一、米国 Argonne National Laboratory (ANL) で稼働していた。放射線化学の後進国であった日本で世界最高の性能のピコ秒パルスラジオリシスの装置が建設されたことは画期的な出来事であり、欧米の研究者の我々を見る目が大きく変わっていくのを実感できたのは感激であった。

Sバンドライナックからのピコ秒単パルスを用いたピコ秒パルスラジオリシスでは、吸収分光は厳しいという意見もあったが、1983年にサンプリングオシロスコープやトランジェントディジタイザを用いて60ピコ秒、1984



第1図 Sバンドツインライナックシステム

Electron Linac Facility of University of Tokyo : Mitsuru UESAKA, Yosuke KATSUMURA, Seiichi TAGAWA.  
(2010年 11月30日 受理)



第2図 共同利用テーマ数の変遷と主な出来事

年にはストリークカメラを用いて50ピコ秒の吸収分光に成功し、1985年に発表されたピコ秒ビーム加速のできる2台のライナックを平行に設置した Twin Linac Pulse Radiolysis System (TLPRS)で20ピコ秒を達成した。TLPRSは独創的なパルスラジオリシスの装置で、250 nm 近辺の短波長に吸収を持つアルキルラジカル等のピコ秒時間領域の実験はこの装置により世界で初めて可能になった。その後、東大で世界に先駆けて、ピコ秒電子線単パルスとピコ秒半導体レーザーを同期したピコ秒パルスラジオリシスの研究が開始されたが、世界で初めてナノ空間反応 (geminate ion recombination) の電子とラジカルカチオンの再結合過程のほぼ全体を測定するのに成功した。

1980年代に入り、高温水のパルスラジオリシスを開始した。これは現行の軽水炉、特に BWR の化学環境把握には放射線分解の理解、特に水素注入には必須との認識からであり、当時、英国、スウェーデン、デンマーク、フランスの先行グループに加わって実験を進めた。1990年代に入り、実用的なデータがほぼ整備されるに至り、

いったん収束した。ここでの最終的な最高到達温度は250℃であった。

### Ⅲ. 量子ビーム研究への展開

#### 1. 放射線化学研究の進展

1990年末から超臨界水冷却炉の研究開発の機運も高まり、さらに高温の水、超臨界水の放射線化学研究に着手した。世界で最初の実験で、水和電子が超臨界水中でも存在することを報告した。同時に、ANL、ノートルダム大学のグループも研究を開始し、現在まで競争的に研究を進めている。最高温度として500℃、40 MPaの実験にも成功し、現在、この分野の最高記録である。高温で水の分解が増大し、超臨界水中では圧力(密度)に依存することなど多くの興味深い観測をしてきた。これらの現象の理論的な解明は今後必要である。

また、1984年から、半導体製造分野におけるX線リソグラフィ開発を背景に、35 MeV Sバンドライナックを利用したパルスラジオリシスにより、電子線とX線レジストの反応機構の解明が行われた。

#### 2. 量子ビーム研究の立ち上げ

ライナックが2本になったお陰で、照射研究は35 Lで、極短電子ビームの発生と計測の電子ビーム的研究は18 Lで、並行して実施可能となった。このことは、それまで、短パルス電子ビームによる放射線化学専用の印象があった施設が当時、我が国で立ち上がろうとしていた量子ビーム研究へと大きく展開できる要因となった。

##### (1) 自由電子レーザー(Free Electron Laser : FEL)

その先駆けとなったのは自由電子レーザー研究であり、1993年にはその国内初発振が達成された。

##### (2) フェムト秒電子ビーム発生と将来計画

当時は研究費に恵まれていなかったため、すでにある電磁石等を転用して、アクロマティック型磁気パルス圧縮器を組み立てる工夫などを行い、そのような中で様々なパラメータでの電子シングルバンチの挙動を明らかにした。パルス幅も10 ps から2 ps へと圧縮され、そして世界初の750 fs(半値幅)の電子シングルパルスの発生と計測に成功した。また東大は、独自の新たな研究展開を掲げるべく、フェムト秒電子ビームの発生・計測・利用の宣言し、フェムト秒高速量子現象研究設備計画を打ち立てていった。

##### (3) ビーム・レーザープラズマ加速・レーザーフォトカソード高周波電子銃・計測

ツイナックを活用したプラズマ加速・レーザー加速の実験をこの頃に本施設で、世界に先駆け開始した。レーザープラズマ航跡場加速(略してレーザー加速)の実験と、フェムト秒電子シングルバンチ生成、フェムト秒電子・レーザーコンプトン衝突によるフェムト秒X線の発生の研究へと発展させていった。

レーザープラズマ加速の共同プロジェクトでは、

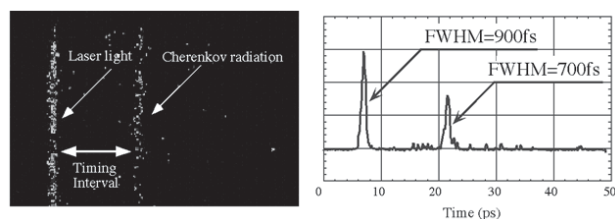
Brookhaven National Laboratory(BNL)で開発されたSバンドレーザーフォトカソード高周波電子銃(BNL-GUNIV)が導入された。高品質低エミッタンス電子の生成が可能になり、短パルス化もサブピコ秒から計測の限界の240 fs(半値幅)程度まで向上されていった。当初、光陰極は銅(QE(Quantum Efficiency, 量子効率):  $10^{-4}$ (材料物性値))だったが、その後、光陰極Mg(QE:  $10^{-3}$ )の第2号機を開発し、10 nC/10 ps = 1 kAの大電流も計測された。さらに高エネルギー加速器研究機構にてロードロック型Cs<sub>2</sub>Te(QE:  $10^{-2}$ 以上)を使ったタイプが開発された。

フェムト秒電子ビームの発生と計測に関しては、本プロジェクト中で、直線型であるシケイン型磁気パルス圧縮器を構築し、ストリークカメラ時間分解能ぎりぎりの240 fs(半値幅)のシングルバンチの計測に成功した。パルス幅(あるいはバンチ長)の計測も、ストリークカメラに頼ることが限界になってきたため、他の新しい手法の開発と相互精度比較の研究を精力的に実施。コヒーレント遷移放射光干渉法、ポリクロメータシングルショット分光法を導入した。さらにインコヒーレント放射光フラクチュエーション法も導入し、同時計測・精度の相互比較が行われた。当時の国際会議・ワークショップではX線自由電子レーザーシステム開発の立ち上げ時期であったこともあり、フェムト秒電子バンチの発生と計測が非常にホットな話題であった。東大のグループの発表と考察は世界の先駆けとしてたいへん注目されていた。

### Ⅳ. 共同利用型から共同研究型へ

#### 1. Sバンドライナック性能アップと超臨界圧水化学など利用展開

平成10、11年度に前述のフェムト秒高速量子現象研究設備の、Xバンドライナックを除いた部分が概算要求等で予算化されることになった。ここでは、Sバンドツイナックのレーザーフォトカソード高周波電子銃用の0.3 TW 100 fs レーザー、最も消耗の激しかった高周波電源部の更新、12 TW 50 fs レーザー、各種分析装置(光電子分光、X線回折、FTIR)が導入された。改造されたSバンド18 L ライナック・レーザー同期システムでは、同期がとれた240 fs-1ps(半値幅)電子シングルバンチと100 fs レーザーパルス(第3図参照)を使ったポンプ&プローブ分析が実施される。



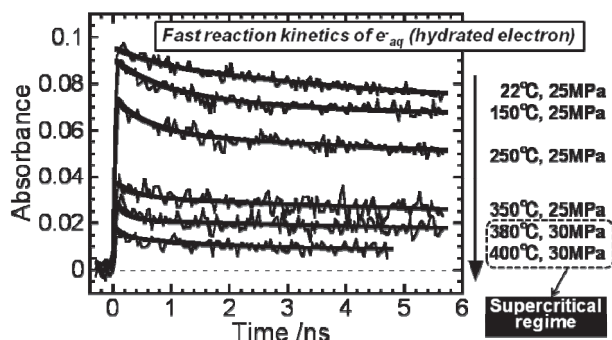
第3図 同期のとれたフェムト秒電子ライナック・レーザーパルスのストリークカメラ像

ほとんどのケースでシングルショットでなく積算データとするため、分析の時間分解能は両者の遅延時間の安定性で決まる。遅延時間の短期的ジッターや長期的ドリフトを抑制する必要があるが、前者は電源の安定化、後者は昼夜の建屋の伸張の影響の除去やレーザー室の空調の改良などをねばり強く対処し続けた。ついにドリフトを数時間で10 ps 以内に抑えることが可能になった。

このように、ピコ秒時間精度の確保は環境との戦いでもあった。1999年から並行して、高時間分解能パルスラジオリシスの構築をスタートしフェムト秒レーザーとレーザーフォトカソード高周波電子銃を組み合わせたシステム開発が世界の各地で同時に始められた。本システムが現在稼働中のBNL, パリ南大学, 大阪大学の装置に比べて勝るとも劣らない性能を示している。研究対象も水からアルコールへと対象も広がり、定量的なデータを整備してきた。さらに超高速パルスラジオリシスシステム構築は先行のグループ以外にも中国, オランダ, インドでも進められている。インドでは加速器コンポーネントの製作が終了し、これから組み上げ調整の段階に来ている。間接、直接的に彼らのプロジェクトの積極的な支援を進めている。

2007年より東大が先行している超臨界水の放射線化学研究と超高速パルスラジオリシスを結びつけた、超臨界水超高速パルスラジオリシスのプロジェクトを開始した。高温になればなるほど反応は加速されるため、ますます高時間分解能測定が必要となる。高温でのS/Nの高い精度の高いシグナルを得ることに苦労したが、発生電荷量の増大, ダブルパルス法を活用し、2009年に世界で最初の超臨界水超高速パルスラジオリシス実験に成功した。

第4図に室温～超臨界状態における水和電子の時間挙動の測定結果を示す。これらは東大, 日本原子力研究開発機構, パリ南大学との共同研究の成果として2010年初頭にプレスリリースされた。水分解の温度依存性, 軽水と重水の分解過程の差異, スパー過程の温度依存性などについて、これまで間接的な手段で評価されてきた高温水分解挙動を直接測定できることになったことは、技術



第4図 室温～超臨界状態における水和電子の時間挙動

的な成功であるとともに新しい研究分野の展開という意味でも大きなブレイクスルーである。我々が先鞭をつけた高温水放射線分解は、米国以外にもフランス, カナダ, 中国, インドなどが研究に参入してきている。

## 2. 先進小型加速器開発

平成13～17年度に、先進小型加速器要素開発事業がオールジャパン体制で実施された。この事業は、将来の医療応用ににらんだ、S/Xバンドライナックコンプトン散乱X線源, レーザーフォトカソード低エミッタンス電子ビーム生成用レーザー, レーザープラズマカソード, レーザープラズマ加速イオン源およびシンクロトロン入射システムより構成された。

レーザーフォトカソード高周波電子銃に関しては、高QEで仕事関数が低く500 nm以上の2倍高調波か基本波での動作が可能であるが、低真空に弱いマルチアルカリ(Na<sub>2</sub>KSbなどでストリークカメラ光電面に使用)に注力することとした。しかもロードロック型より小型な光陰極部のみ交換可能なカートリッジ型を開発した。第5図にその写真を示す。東大では、金属型のCu, Mg, 半導体型のCs<sub>2</sub>Te, およびマルチアルカリの4世代の光陰極が活用されている。

## 3. レーザープラズマ加速への展開

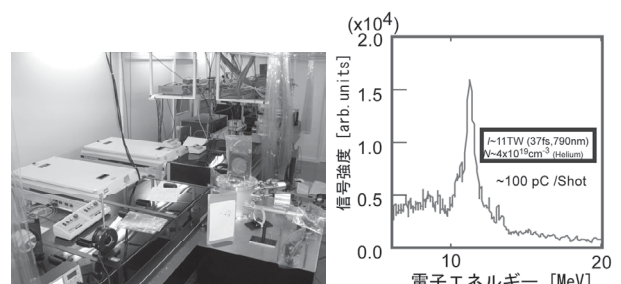
レーザープラズマ加速については、超音波ガスジェットの開発, プラズマ波碎波電子自己入射, コヒーレント遷移放射光計測によるフェムト秒電子パンチ評価, 磁場印加によるプラズマチャンネル安定化, 1 mmのプラズマチャンネルからの100 MeV電子加速等成果を着実に挙げ続け、Physical Reviewなどの権威ある学術雑誌に論文が掲載された。成果を第6図に示す。

## 4. Xバンドライナック群開発

Xバンドライナックについて、前述の先進小型加速器要素技術開発プロジェクトの中で、リニアコライダ開発で培われた11.424 GHzの50 MWクライストロン, マル



第5図 カートリッジ型マルチアルカリ光陰極電子銃



第6図 レーザープラズマ加速の主な成果

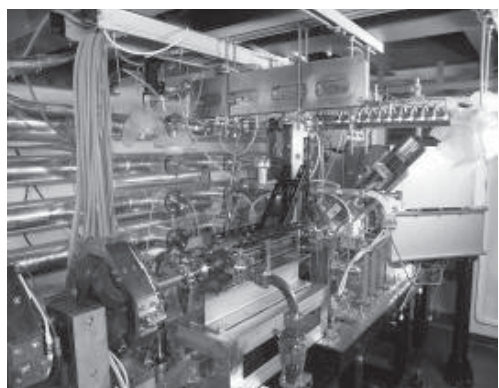
チバンチ ( $3 \text{ ps } 3 \text{ pC} \times 10^4$  for  $1 \mu\text{s}$ ) 熱高周波電子銃, 30 MeV 70 cm 加速管, YAG レーザー ( $2 \text{ J}, 1.024 \mu\text{m}, 10 \text{ ns}$ ) によるコンプトン散乱単色 X 線源を開発した。第 7 図に装置の写真を示す。我が国初の 11.424 GHz 加速器システムであること, 末端の機器までの品質の未熟さ, 小型化と信頼性の trade-off など多くの課題と困難を克服しつつ, ようやく完成に漕ぎ着けた。この X バンド要素技術試練道場にて習得された知識・経験・ノウハウはこれから述べるような産業・医療用 X バンドライナック群の開発につながっていくのである。東大, (株)アキュセラ, 高エネルギー加速器研究機構らのコンソーシアムによって, その場非破壊検査用 950 keV 9.4 GHz ライナック X 線源(第 8 図(a)), その場橋梁検査用 3.95 MeV 9.3 GHz ライナック X 線源, およびピンポイントがん治療用 6 MeV 9.3 GHz ライナック(第 8 図(b))が開発され, 応用されようとしている。

## V. 所感

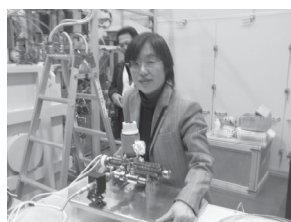
東大ライナック施設 31 年を振り返ってみて, 本当にたくさん, 研究と開発と作業と出会いと協力があつたと感銘すら感じるものがある。このように本施設がなぜ長年に渡って, 賑わい, 常に世界の最前線で活動ができたかを考えてみると, いくつかの必然があるように感じる。以下にそれを述べさせていただく。

### (1) 共同利用形態

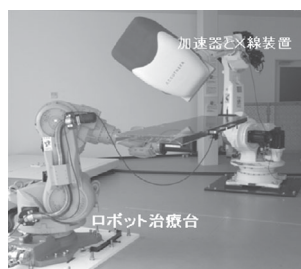
現在では予算的支援は少ない規模にはなっているが,



第 7 図 11.424 GHz X バンドライナックコンプトン散乱単色 X 線源



(a)



(b)

第 8 図 950 keV 非破壊検査用(a), 6 MeV がん治療用(b)コンパクト X バンドライナック X 線源システム

この形態は 31 年間堅持している。ビーム発生・計測と利用がかなり一体なので, 様々な形の共同研究が形成可能である。形成されたコンソーシアムで, 外部資金研究プロジェクトを獲得し, 共同利用テーマを申請し, 実質の研究費旅費をそこから賄って実験を行い装置更新も盛り込むことができる。

### (2) 実習教育

1995 年から, 工学部学生と大学院生に東海村で行う原子炉の運転, 中性子と計測と利用で構成される原子炉実習に, ライナックを使った「極短電子パルス発生計測とパルスラジオリシス」のテーマで加わるようになった。フェムト秒ストリークカメラ等を使って 10 ps 電子ビームを計測し, 水の放射線化学反応の初期課程の水和電子の生成と消滅をレーザー光の吸収で計測するもので, ビーム発生計測と利用(原子力水化学)の一体化の象徴のような実験である。毎年 40 名ほどの履修がある。2005 年からは原子力専攻(専門職大学院)の約 15 名も履修している。約 700 名が履修したことになる。加速器がこのように大学・大学院の正規の実習教育に入って, このように長く実施されていることも稀有であろう。

### (3) いくつかの機転

31 年間の発展と継続の要因としても, いくつかの大きな機転があつた。まず第 1 番目はツインライナックの構築である。本来の目的であるピコ秒パルスラジオリシス成功のあと, 35 L ライナックは照射系の実験に, 18 L ライナックは極短・高品質電子ビームの発生と計測の実験に, 使い分けることができるようになった。まさに量子ビーム研究の拠点になり得たのである。第 2 番目はフェムト秒卓上レーザーの導入であつたと考える。現在は高周波加速技術とレーザーの融合が不可欠となっている。第 3 番目は, ブランケット棟への実験スペースの展開(X バンド, レーザー)である。実験スペースとマシンタイムが拡大されていった。

## VI. 将来に向けて

本施設は, 原子力(原子力水化学), 物理(加速器科学・ビーム物理), 化学(放射線化学)の境界領域に位置している。ビーム発生計測グループが原子力と物理, 利用グループが原子力と化学の境界領域にいる。大型加速器計画やそれを使った物理の計画は, 実現に至るまで, 国際舞台で長年議論がなされている。一方, 最近ようやく始まった今後の研究炉のあり方の議論の動きは, それに比べるとまだまだ局所的に感じる。物理界から, 国際連携で学ぶべきこと多々あるように感じる。物理界でも原子力への協力と貢献を叫ぶ声と動きが始まりだしている。今こそ日本原子力学会と日本物理学会と強く連携していく絶好のチャンスと考える。東大ライナック施設はその橋渡しの役目を果たしていきたく考える。

## 著者紹介



上坂 充(うえさか・みつる)  
 東京大学大学院工学系研究科  
 (専門分野/関心分野)量子ビーム, 医学物理, 核セキュリティ, 国際人材育成



田川精一(たがわ・せいいち)  
 大阪大学産業科学研究所  
 (専門分野/関心分野)量子ビーム応用, 微細加工材料・プロセス, 放射線化学, ナノテクノロジー



勝村庸介(かつむら・ようすけ)  
 東京大学大学院工学系研究科  
 (専門分野/関心分野)原子力における放射線効果, 特に水化学分野, イオンビーム放射線化学, 放射線利用

## From Editors 編集委員会からのお知らせ

○学会誌記事執筆者のための

テンプレートを用意しました  
 執筆要領と合わせてご利用下さい



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

○「投稿の手引」「和文論文テンプレート」を  
 改定しました。

<http://www.aesj.or.jp/publication/ronbunshi.htm>

—最近の編集委員会の話題より—  
 (4月1日第10回編集幹事会)

## 【論文誌関係】

- ・東日本大震災に関連した対応を検討し、審査遅れ等の猶予と、速報の優先掲載をすることとした。なお、論文誌印刷工場被災の関係で、4月号が遅配となる(5月号に同封予定)ことが報告された。

- ・2012年度編集委員候補について、推薦一覧を検討し、承認した。
- ・英文誌のTaylor&Francis社との共同出版への移行が理事会で承認された。移行の準備のためWGを作り対応することとした。
- ・移行後の論文掲載料について検討し、半額以下にすることとした。

## 【学会誌関係】

- ・福島原発事故に関連して記事の編集方針を見直した。関連記事は、今までのNews記事の前にまとめて掲載する。編集の都合上、最新記事の一部は編集学会誌の末尾に纏めて掲載する場合もある。
- ・当面毎週1回、臨時編集連絡会を開催し対応を協議する。
- ・会員より学会誌記事の電子化・配信の要望があったが、現状通りとし、懸案事項にした。

編集委員会連絡先<<hensyu@aesj.or.jp>>





## 原子力報道に携わる記者へのインタビュー調査について

東京大学大学院 工学研究科 土田 辰郎

本報では原子力に関わるニュースを報じる全国紙やNHK等の記者を対象に実施したインタビュー調査の結果を報告する。原子力事業者が記者へ情報を伝えようとする場面で、個々の記者は原子力エネルギーの必要性や原子力事業者とのコミュニケーションの現状について、どのような意識をもっているのだろうか。質的な調査であるインタビューにより記者の意識を集約することで、原子力報道を行うマスメディアのニーズを理解するための知見を得られると期待する。なお、ここではマスメディアが一般社会へ発信する内容のうち、原子力に関連したものを原子力報道と呼ぶ。

### I. はじめに

#### 1. 背景

マスメディアが行う原子力報道には、原子力事業者による研究開発動向や新施設の紹介、学会や委員会の活動、諸外国との提携や産学官の連携協力というプラス面のみならず、原子力施設等での事故・トラブル、放射線による環境への影響、原発の立地問題、訴訟問題などのネガティブな側面も含まれる。現在、こうした原子力に関連する幅広い話題は新聞、テレビ、ラジオ、インターネットなどにより、一般社会へ伝えられる。マスメディアが原子力報道を行う際の主な取材源として政府や原子力事業者があるが、これらの機関ではプレス発表やホームページによりマスメディアへ情報を発信している。特に、原子力施設等を運営管理する原子力事業者では広報部門を組織し、広報部門が記者との接点となっている。

このようにマスメディアにより原子力報道が制作され一般社会へ伝えられる過程において、それに携わる記者は原子力エネルギーの必要性や原子力事業者の情報発信への取組みをどのように捉えているのだろうか。原子力施設等での事故・トラブル発生時(以下、「緊急時」)やそれ以外の平常時など、さまざまな場面で、記者はどういった意識をもち、情報収集しているのだろうか。そこで、本報では原子力報道に携わる記者の意識に注目する。

#### 2. これまでの調査事例

原子力報道に限定しなければ、過去には記者の意識の諸相を探る目的で実施されたアンケート調査の報告はある。たとえば、1993年から1994年に日本新聞協会研究所<sup>1)</sup>により1,700人余りの記者へアンケートが実施された。また、2007年には日本大学法学部新聞学研究所<sup>2)</sup>により約1,000人の記者へ同様のアンケートが行われた。

その他にもこうした量的な調査実績はみられるが、一方で質的な調査として個々の記者の意識を調査したインタビューの報告もある。ここでは地方紙の記者を調査対象とし地方紙の制作過程の分析が行われた<sup>3)</sup>。このような社会への情報の送り手であるマスメディアを対象とした「送り手」研究は多いといえないが、それは、記者やデスクへじかにコンタクトし、マスメディアの取材・編集過程を調査することが難しいことが理由として挙げられる<sup>4)</sup>。

上記のような調査事例はあるものの、原子力報道に携わる記者の意識を捉えようとした報告は行われていない。欧米の先行研究や調査をみても、マスコミュニケーション・モデルの提示や、マスコミュニケーションの受容効果の研究実績は豊富であるが、原子力報道の制作に携わる記者の意識に焦点を絞った研究や調査報告はみられていない。

#### 3. 調査の目的

原子力と社会との関係において、マスメディアは高度で複雑な情報を、一般社会へわかりやすく速やかに伝達する一つのインターフェイスとして機能する<sup>5)</sup>。このため、原子力事業者はマスメディアのニーズを知ることにより、マスメディアへスムーズに情報を発信することができる。そこで、本報では、原子力報道を行うマスメディアの認識を捉えることを目指し、記者やデスクが原子力や原子力事業者とのコミュニケーションをどのように認識しているかをインタビューにより明らかにしていきたい。

今回、原子力報道に携わる記者やデスクから得た回答は、少数事例にすぎず、集約した結果は限定的な意味しかもたないであろう。だが、既述の通り、原子力事業者を取材する記者の意識を調査した報告はみられていない状況において、本調査はその先行的な調査事例と位置づけられる。また、記者やデスクと面談し回答に一定の方

*Interviews with the Journalists Who Engage in the Media Coverage on the Nuclear Industry* : Tatsuro TSUCHIDA.

(2011年 1月14日 受理)

向性を見いだすことができるならば、その結果は原子力事業者がマスメディアへどういった情報を、どのような姿勢で発信していくべきかを考える際に活用できる有用な知見となろう。

## Ⅱ. 調査手法と調査対象

### 1. インタビューによる調査

原子力報道に携わる記者の意識を十分に捉えるため、調査手法は質的アプローチであるインタビュー調査とした。これは、記者の感情を含む心理面を明らかにしようとする質的な調査である。調査対象数は少数となるが、記者の声を直接、聞くことができ、質問票を用いたアンケート調査よりも、正確かつ詳細な回答を得ることができるなどのメリットがある<sup>4)</sup>。

### 2. 調査概要と回答者の構成

本報の目的に照らし、調査対象を原子力報道を行った経験を持つ記者とする。また、原子力報道を作成するマスメディアの認知をジェネラルに把握するため、新聞の全国紙、複数の府県で配付されるブロック紙、通信社、テレビのNHKやキー局を調査対象とした。今回の調査は新聞の県紙やテレビのローカル局は含まない。なお、マスメディアでは、科学部系のみが原子力報道を担当するわけではないため、原子力問題を担当した経験のある社会部や政治部の記者へもインタビューした。

インタビューは著者により、回答者と1対1の対話形式により実施した。インタビューを実施する人数はインタビューの開始時点では確定していなかったが、記者へ電話あるいは電子メールによりインタビューを申し込み、結果として2007年から2008年の間で15名と面談した。インタビューの場所と日程は回答者の希望に従って設定し、十分にインタビューの時間を確保できない場合には調査を2度に分けた。質問事項は事前に準備したが質問票は作成せず、回答者からできる限り自由な意見を求めるスタイルをとった。

インタビューの実績として、1回あたりの実施時間は平均1時間以上となった。インタビュー時に原子力報道を担当する者は11名おり、うち9名は東京と原子力関連施設の所在する立地地域の両方の地域に配属された経験があった。また、回答者はすべて男性であり、2名のみ理系であった。回答者にはデスク2名、編集委員1名を含み、新任の記者はおらず、最低一度は以前に違う部署で3年以上の勤務経験を持っていた。

## Ⅲ. マスメディアへの質問の設計

### 1. 認知プロセスに基づく質問

著者は、マスメディアが原子力報道を行うまでの認知のプロセスを以下のように想定し、インタビュー調査の質問を設計した。

マスメディアによる原子力報道への認知プロセスを考えると、記者やデスクの「原子力」に対する意識が基礎となる。マスメディアは「原子力」への認知をベースにして、原子力事業者と「コミュニケーション」する。マスメディアは、原子力事業者との「コミュニケーション」を認知したうえで「原子力報道」を行う。こうした認知プロセスをとおして、マスメディアから一般社会に向け原子力報道が行われる。

このように、マスメディアによる「原子力」への認知を起点とし、両者の「コミュニケーション」を踏まえた上で、最終的にマスメディアが「原子力報道」を行うまでの認知のプロセスに沿った質問を設計した。

### 2. 質問事項の設定

上記の認知プロセスに従い、第1表のとおり質問を3分類し、7問の質問事項を設定した。

最初にマスメディアの「原子力」に対する認知を知るための質問事項を設定する。「原子力」について、その必要性を記者やデスクはどのように思うかを質問する。また、原子力に対する社論にも注目し、マスメディアは、原子力に対する社論や社是を持つかを質問に加えた。次いで、両者の「コミュニケーション」に関する質問を設定する。原子力事業者では内部に広報部門を設置し広報部門を中心にマスメディア対応を行っているが、原子力事業者によるマスメディアへの情報発信の対応ぶりは、マスメディアによる情報収集に影響する。そこで、マスメディアと取材源である原子力事業者との関係に着目した質問を行う。

まず、原子力事業者による広報活動を、記者やデスク

第1表 インタビューにおける質問事項

分類	質問の内容
①マスメディアの原子力に対する認知	原子力エネルギーを必要と考えているか？ 原子力に対する社是があるか？
②マスメディアの原子力事業者とのコミュニケーションに対する認知	原子力事業者は原子力に関する広報の役割や重要性について認識していると思うか？ 原子力事業者は広報体制の整備をすすめていると思うか？ 原子力事業者はマスメディアと円滑にコミュニケーションがはかれるよう工夫しているか？(平常時・緊急時)
③マスメディアの原子力報道に対する認知	原子力報道にはどのような性質があるか？ センセーショナルに報道されることがあるか？ 原子力報道が一般社会に対して、どのような役割を果たすか？

はどう思うか、すなわち、原子力事業者による広報活動の役割や重要性についての記者の意識を探ろうとする質問を設定した。

さらに、原子力事業者の広報部門によるマスメディアへの組織的対応や、マスメディアと原子力事業者との間でのコミュニケーションについても質問する。ここでは、原子力事業者からマスメディアへの情報伝達のための組織体制の整備や広報テクニックに加え、原子力事業者とマスメディアとが円滑なコミュニケーションを形成しているかについて、その実態を質問する。なお、原子力事業者によるマスメディア対応は緊急時とそれ以外の平常時で、情報伝達のタイミングや内容・量で大きく異なるため、緊急時と平常時2つのケースに分けて質問した。

最後に、マスメディアの「原子力報道」に対する認識に関連した質問事項を設定する。中島<sup>6)</sup>は原子力報道は特ダネ型報道を特徴の一つとすることに言及したが、記者やデスクは原子力報道の性質をどう考えるかについて聞きとる。また、記者は原子力報道を社会の中でどのように位置づけるか、すなわち、原子力報道はどのような役割や機能を果たすと考えるかについても質問する。

## Ⅳ. 調査結果

### 1. マスメディアからの回答

記者やデスクからの意見は多様であり、個々に異なっていたものの、結果的に、複数の回答者からの回答に一定の方向性や共有点が見いだせた。そこで、第1表の分類に従い「原子力」、「コミュニケーション」、「原子力報道」に関する記者からの回答を集約し、第2～4表のとおり整理した。

第2表の原子力の必要性について、回答者からは原子力エネルギー利用を中止すべきという発言はなかった。また、立地地域で原子力報道を担当したことのあるすべての記者から「エネルギーの安定供給のため原子力は現実的に必要と考える」との回答がみられた。デスクや編集委員からも「基幹電源として原子力については既成事実化しており、今さら賛否の議論を行うことは無意味である」との回答がほぼ共通した。

一方で「原発の必要性は認めるものの軽水炉のみで十分、FBR利用は必要ない、これ以上の原発建設は行うべきでない、使用済燃料の再処理を含むFBRサイクルの実現には疑問、代替エネルギーの研究開発へ積極的に着手すべき」との発言もあった。

また、原子力利用や政策に対し、各社には社是はないが記事の論調には「カラー」があるとの回答が大多数であった。マスメディアのカラーは、「各社が公に打ち出す方針ではないが、記者やデスクが原子力報道を作成するときに影響を与えうるもの」との発言が多く見られた。

第2表 分類①の回答の整理

質問事項	回 答
原子力の必要性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子力エネルギー利用の必要性は認識する。</li> <li>・原発の存在は既成事実化している。</li> <li>・原発は安全な運転を前提として認知する。</li> <li>・FBR、再処理、ワンスルー等の核燃料サイクル政策については、各社ごとに多様な意見を持つ。</li> <li>・代替エネルギー利用も含め真剣な議論を始めるべき。</li> </ul>
原子力への社是	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子力に対する社是は持たない。</li> <li>・各社とも独自の視点で社論を形成している。</li> <li>・各社の論調は「カラー」として原子力報道に反映されている。</li> </ul>

第3表の原子力事業者の広報活動について「全般的に原子力事業者による情報公開への取組みは、自発的かつ積極的となり改善されている」との回答が多くみられた。また、こうした改善は1995年12月の高速増殖炉「もんじゅ」ナトリウム漏洩事故(以下、「もんじゅ事故」)以降で徐々に進められ、2006年に経産省から全電力会社へ発電設備の総点検(以下、「総点検」)を行うよう指示があった後で、原子力事業者ではマスメディアへの情報発信の体制整備が進んだ点が、記者やデスクからの回答に共通した。ただし「一部の原子力事業者は、総点検後も依然として広報活動の重要性についての認識が不足している」との回答があった。広報の重要性に関連しては「広報は企業の顔であり、原子力広報の善し悪しにより事業活動の評価が変わることがある」と記者やデスクから発言がみられた。

原子力広報への組織的な取組みについて、「事故・トラブル時にマスメディア対応を経験したことのある原子力事業者は、着実に広報体制の整備が進む」、「マスメディア対応の経験の乏しい原子力事業者は改善策を講じる準備が停滞しているように見られる」との回答が大半であった。この回答に続き「現時点では原子力事業者間でマスメディアへの対応姿勢に格差がみられる」、「マスメディアへの情報公開が十分になされない原子力事業者が一部に存在する」との意見もみられた。組織体制の整備については「情報公開の体制が整備された原子力事業者は、緊急時に情報をすみやかに公開しなければならない場面で実行力を発揮できる」との発言があった。

原子力事業者の広報スタッフに関しては「原子力事業者の広報戦略の善し悪しが事業活動を円滑に進めるうえ

第3表 分類②の回答の整理

質問事項	回 答
広報活動の役割や重要性の認識	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 広報活動への取組みは自発的で積極的となり、改善されつつある。</li> <li>・ 役割や重要性についての認識を深めつつある。</li> <li>・ 一部で広報活動の重要性については認識が不足する。</li> <li>・ 原子力報道の影響を過小評価すべきはでない。</li> </ul>
広報活動への組織的取組み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 以前に比べ、原子力事業者から情報公開のための組織体制は改善されてきた。</li> <li>・ マスメディアへの対応のための組織体制の整備に、事業者間で格差がある。</li> <li>・ 原子力事業者では、広報活動に従事する人材の育成が必要である。</li> </ul>
マスメディアとの円滑なコミュニケーション	<p>(平常時)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 依然、原子力事業者からの説明はわかりにくいことがある。</li> <li>・ 記者の知識や経験に応じた説明を求める。</li> <li>・ 記者への個別対応は評価する。</li> <li>・ 施設見学会や勉強会を積極的に企画している。</li> </ul> <p>(緊急時)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 初動体制の整備は、依然、不十分である。</li> <li>・ 初動体制のあり方は原子力報道に影響する。</li> <li>・ 記者発表において説明に工夫が必要である。依然、わかりにくい。</li> </ul>

で影響を与える」、「広報部門へ人材を投入すべき」との回答がみられた。さらに「広報体制の整備のためには、原子力事業者において広報活動に従事する人材の育成が必要である」との意見が出された。マスメディアは、原子力事業者の広報部門に配置するスタッフの資質を重視し、スタッフの能力しだいで原子力報道の論調は変化しうるとの認識を持っていることがわかった。

コミュニケーションについては、マスメディアは平常時、緊急時とも、「原子力事業者のマスメディア対応に関して完全には満足していない」との回答が示された。記者は、イラストや写真の活用に関して、少しずつ改善が図られ工夫が見られていることを認めた。だが「緊急時対応の経験を積んできたものの、総点検後もまだ原子力の専門用語を一般市民に理解できる言葉で説明する努力は不足する」と記者から回答があった。また「原子力事

業者から伝えられる情報は、元来、マスメディアが理解できるレベルになければならない」、「原子力事業者は日常的になじみのある言葉で説明すべき」、「記者は理解しやすい情報を得ることを常に求めている」との発言がみられた。

第4表の原子力報道の性質として、記者やデスクから「報道競争が起こり過熱化し、やがてはセンセーショナルなニュースとして報道されることがある」との回答が多くみられた。これは、原子力報道が過剰誇大となるケースで、一般社会が直感的に理解できる平易でインパクトの強い表現が用いられやすい状況を表す回答といえる。ただし、こうした性質は原子力以外のマスメディア報道にもみられ、原子力報道に特有でないことも回答に加えられた。

また、原子力報道が一般社会に果たす役割について「マスメディアは常に民意を反映する立場をとる」ことが強調され、同じ組織に所属する記者やデスクであっても、異なる見解を持っていることがわかった。「記者やデスクの多様な意見が反省された結果、マスメディアの独自性・多様性が生みだされ、偏りのない原子力報道が行われる」という回答がほぼ共通した。マスメディアの原子力に対する拮抗力について、佐田<sup>7)</sup>は「原子力事業者や規制行政庁を監視する」と述べたが、これは上記のインタビュー回答からも裏づけられた。

## 2. まとめ：マスメディアの認識

回答者からは一部に例外的な発言はあったものの、回答を集約した結果、以下のとおりに調査結果を整理することができた。まず、記者やデスクは個々には原子力を必要と考えていることがわかった。ただし、原発の新増設や核燃料サイクル政策の遂行については消極的である

第4表 分類③の回答の整理

質問事項	回 答
原子力報道の性質	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ センセーショナルな原子力報道は避けられないことがある。</li> <li>・ 独自取材や特ダネ報道は常に求められる。</li> <li>・ 記者クラブは情報収集の拠点となっている。</li> </ul>
原子力報道の果たす役割	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子力報道は常に民意を反映する立場で報じられている。</li> <li>・ 原子力報道は原子力政策に対し、拮抗力として機能する。</li> <li>・ 記者やデスクが個々に多様な意見をもつことで、偏りのない報道が行われている。</li> <li>・ 原子力報道は反対派の主張や少数意見を取り上げる役割を果たす。</li> </ul>

など、各論的な話題に対してはさまざまな意見が出された。また、マスメディアは原子力に対する特定の社是を掲げていないものの、各社ごとに論調は系統立てられ、「カラー」として原子力報道に反映されている現状を明らかにした。

次に、原子力事業者とのコミュニケーションについて、マスメディアは徐々に原子力事業者の情報公開に対する評価を高めていることがわかった。総点検の時期と比べ、マスメディアは取材源に不信感を抱くことはなくなりつつある。原子力事業者による情報公開への取組みは、もんじゅ事故以降で積極的となり改善されてきており、事故・トラブル時にマスメディア対応を経験したことのある原子力事業者では、広報体制の整備が進む傾向にあることがわかった。だが、広報の役割や重要性に関しては認識が不足している原子力事業者が、一部にみられると記者は答えた。そして、原子力報道の影響を過小評価すべきではないとの指摘が共通した。原子力事業者の広報体制整備が改善する方向にあると、マスメディアは評価する一方、原子力事業者の間にはマスメディア対応に事業者間の格差がみられるとの意識も示された。また、今後の取組みとして、広報部門への人材投入の必要性が強調された。

平常時の両者のコミュニケーションに関し、記者への個別の解説や施設見学会・勉強会の積極的な企画などの原子力事業者の自主的な取組みを記者は評価した。一方、マスメディアからは原子力事業者は総点検以降でも依然として原子力の専門用語を一般市民に理解できる言葉で説明する努力が不足しているとの認識が示された。緊急時における原子力事業者によるマスメディア対応について、即時の情報公開や平易な言葉での説明などの初動対応時の改善を求める意見が出された。緊急時のコミュニケーションにおける原子力事業者の対応について、全体的に評価は低かった。一般社会が関心を高める状況にもかかわらず、緊急時にコミュニケーションが円滑に進まないために、原子力報道がネガティブになることがあると記者からコメントがあった。

最後の原子力報道に関して、センセーショナルリズムが不可避であるケースがあることや、マスメディアが独自取材や特ダネ報道を行うことは、他のマスメディアが行う報道と同様の性質として挙げられた。また、マスメディアが社会において果たすべき役割として、少数意見を埋没させず常に民意を反映して報道し、原子力政策に歯止めをかける拮抗力として機能する側面があることを明らかにした。

## V. おわりに

本調査結果には、マスメディアから原子力事業者に対する要望や提案も多く含まれていた。今後はこれらを整理し、原子力事業者への提言とすることで、原子力事業の推進に資するものとなると期待する。

なお、本調査は全国紙やブロック紙、NHKなど広域を配信エリアとするマスメディアのみ対象とした。これからさらに県紙やローカル局へと調査範囲を広げ原子力施設等の立地する地域の記者の意識を把握することで、原子力報道に携わる記者の意識をより広く詳細に捉えることができるはずである。また、原子力事業者の広報部門へも本調査と同様の質問を設定すれば、両者の認識の差異の発見につながられる。

本調査の取りまとめにおいては、東京大学工学系研究科木村浩准教授、日本原子力研究開発機構広報部 佐田務主幹に貴重な助言をいただいたことに感謝申し上げます。

### — 参考資料 —

- 1) 現代新聞記者像(上)(下)―『新聞記者アンケート』, 1994年5月, 6月, 日本新聞協会研究所, 新聞研究 No.514, No.515, (1994).
- 2) 日本のジャーナリスト1000人調査報告書, ジャーナリズム&メディア第1号, 2008年3月, 日本大学法学部新聞研究所, (2008).
- 3) 大石裕, 岩田温, 藤田真文, 地方紙のニュース制作過程: 茨城新聞を事例として, 『メディア・コミュニケーション』Vol.50, 慶応義塾大学メディア・コミュニケーション研究所紀要, (2000).
- 4) 鈴木裕久, 島崎哲彦, 新版・マス・コミュニケーションの調査方法, 創風社, p 31-50, 103-106 (2006).
- 5) 大石裕, 岩田温, 藤田真文, 現代ニュース論, 有斐閣アルマ, p 34-41 (2000).
- 6) 中島達雄, “原子力報道にみるマスメディア間の相互作用とその要因の分析”, 社会技術研究論文集, Vol.7, 110-119, (Mar. 2010).
- 7) 佐田務, “原子力のリスクはなぜ過大に報道されるのか—メディアによる原子力報道の背景と構造”, エネルギーフォーラム649, p 132-135 (2009).

### 著者紹介



土田辰郎(つちだ・たつろう)  
東京大学大学院 工学研究科  
(専門分野)原子力, マスコミュニケーション

## 報 告

## INIS データベースの利用

## 研究者, 技術者が求める情報ツールとは?

日本原子力研究開発機構 権田 真幸, 中嶋 英充

研究者, 技術者が研究開発を進める上で, 重要な過程の一つに先行研究の文献調査がある。文献調査は図書館に足を運んだり, 専門家に尋ねたりするほか, 現在では, インターネットやデータベースなどを活用して行うのが一般的である。原子力分野における文献調査に有用なデータベースが国際原子力情報システム (INIS) である。本稿では, 2010年7月から8月にかけて実施した INIS 利用者調査の概要と, その結果から判明した原子力分野の研究者, 技術者が求める情報ツールおよび INIS データベースの利点について報告する。

## I. はじめに

重複研究の回避, 新規研究シーズの探索など, 先行研究の文献調査は, 研究開発に不可欠な過程である。文献調査といえば, 図書館に足を運ぶ, 専門家に尋ねるといった古くからの方法もあるが, 昨今では, まずインターネットにアクセスするのが一般的である。とくに, Google, Yahoo! などのインターネット検索エンジンや電子ジャーナルの利用が多いと推察され, 他にも各種のデータベースがよく利用されている。もちろん, 一つの方法だけではなく, いくつかの方法を組み合わせるケースが大半であろう。

研究開発における文献調査では, 情報の網羅性と信頼性が重要となるため, インターネット検索エンジンや電子ジャーナルだけでは不十分であり, これらを補足する上で有用な情報ツールが文献データベースである。その形態は様々であるが, 原子力分野の代表的な文献データベースである国際原子力情報システム (INIS: International Nuclear Information System)<sup>1)</sup>は専門家が原子力分野の文献を網羅的に収集・調査した上で, 分類やキーワードを追加し, 統一されたフォーマットで文献情報をデータベース化したもので, 収録された情報は高い信頼性と網羅性を有している。

本稿では, この INIS データベースの概要について紹介するとともに, 昨年実施した INIS 利用者調査の概要と調査結果から判明した原子力分野の研究者, 技術者が求める情報ツールおよび INIS データベースの利点について報告する。

## II. INIS 利用者調査

## 1. INIS データベースとは

*A Report on Study of the INIS User Needs in Japan - Information Tool Needed by Researchers and Engineers :*  
Mayuki GONDA, Hidemitsu NAKAJIMA.

(2011年 2月15日 受理)

INIS は, 国際原子力機関 (IAEA) と IAEA 加盟国, 関連国際機関の協力で作成している英文データベースである。日本は1970年の INIS 発足当初から参加しており, 日本原子力研究開発機構 (JAEA) が日本の INIS ナショナルセンターとして, 日本で出版された原子力分野の文献情報の収集・調査, INIS データベースの国内利用の促進活動などを実施している<sup>1)</sup>。

INIS データベースは, 現在325万件以上の文献情報に加え, 25万件以上の全文情報も収録されている。収録対象は学術雑誌をはじめ, 技術レポートや会議録など幅広く網羅している。各国の INIS ナショナルセンターで, 自国内で出版された文献のデータを専門家が作成しており, 信頼性も高い。さらに, 2009年4月よりインターネット環境があれば, 誰でも無償で利用できるようになった。

## 2. INIS データベースの利用

INIS データベースを利用するには, まずトップページ<sup>2)</sup>にアクセスすればよい。検索画面が表示され, すぐに検索することができる (第1図)。さらに, 簡単な利用者登録を行うことにより, 日本語インターフェイスや検索式の保存など, 様々な機能を利用できる。

INIS データベースを初めて利用する場合, 日本語の



第1図 INIS データベースのトップページ

「INIS データベースクイックマニュアル」を参照するとよい(第2図)。このマニュアルは、INIS データベースの登録や検索の手順をわかりやすく紹介しており、すでに利用している方にも参考になるもので、第1図に示したトップページ右上にある「Help」でヘルプ画面を開くと、「INIS Introductory Guide」からダウンロードできる。ヘルプ画面では、他にも各種マニュアル類が提供されており、日本語版はJAEAで翻訳、作成したものである。INIS データベースを利用する際、ぜひご活用いただきたい。

### 3. INIS 利用者調査の概要

JAEA では、INIS の無償利用開始から1年を経たこと、IAEA のINIS 事務局より利用者調査を実施し報告するよう要請があったことから、日本国内におけるINIS 利用者調査を実施した。本調査は国内でINIS がどの程度認知されているのかを測るとともに、利用者によるINIS の評価や要望事項を取りまとめ、今後のINIS 活動

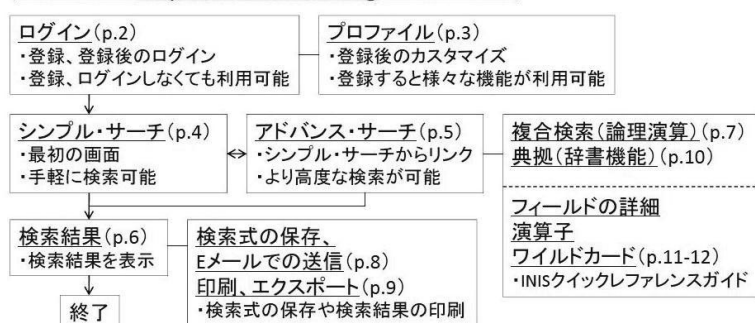
に反映することを目的とした。あわせて、INIS を含むJAEA の図書館活動の参考とするため、原子力分野の研究者、技術者の情報探索行動や求めている情報ツールについて調査することとした。

調査はJAEA 職員および日本原子力学会会員を対象とし、JAEA 内部の業務連絡書ならびに日本原子力学会会員向けメールマガジンで周知を行い、2010年7月8日から8月6日の約1ヶ月間実施した。調査方法は「INIS 利用者アンケート」と題した14問からなるWebアンケート方式とし、最終的に計365人から回答を得られた。回答者の職種別内訳は研究職が30%(108人)、技術職が50%(184人)、事務職・その他が20%(73人)であった。

質問内容はINIS データベースの認知度と利用状況、INIS データベースの収録範囲に興味のある分野、文献調査に利用する情報ツール、データベースで重要な要素、INIS データベースで評価できる要素と改善すべき点に加え、所属や職種、年齢といった回答者自身に関することとした。以上の質問は選択方式で、最後にINIS データベースへの意見・要望を自由回答方式で尋ねた。



#### ○まずは(http://inisdb.iaea.org)にアクセス

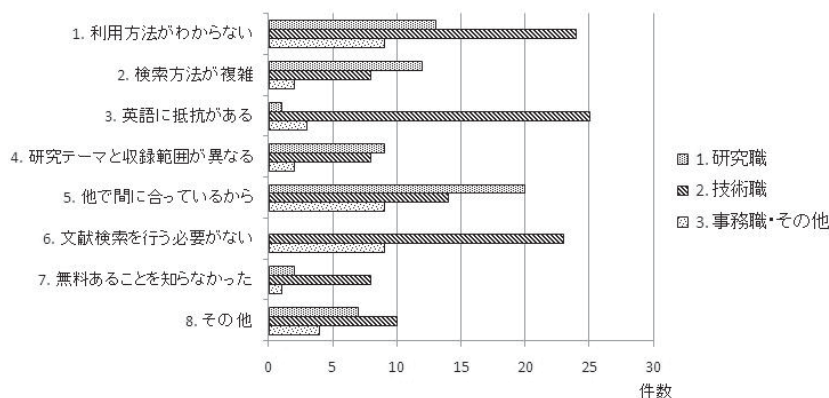


#### ○問い合わせ先

独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
 研究技術情報部 原子力情報システム管理課  
 Tel: 029-282-6598 Fax: 029-282-6718 Mail: inishelp@jaea.go.jp

As of 08/2010

第2図 INIS データベースクイックマニュアル



第3図 INIS を利用しない理由

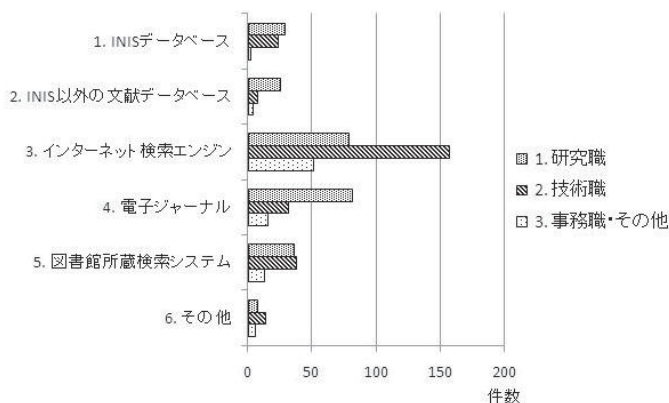
## Ⅲ. 調査結果

### 1. INIS データベースの認知度と利用状況

はじめに、「あなたはINIS データベースを知っていますか」との質問に対して、「知っている」と答えた人は全体の約半数、52%(190人)であった。年齢別にみると、40歳未満の世代で50%を切り、若い世代で認知度が低くなっている。また、職種別では、研究職の75%がINIS データベースを知っているのに対し、技術職は47%にとどまった。

次に、INIS を「知っている」と回答した人に、「あなたはINIS データベースを利用していますか」と質問した。その結果、「よく利用する」、「たまに利用する」と回答した人があわせて39%(74人)であった。

続いて、INIS を「ほとんど利用しない」、「利用しない」と回答した人と、INIS を知らない人で「利用してみたいと思わない」と回答した人にINIS データベースを利用しない理由を質問したところ、研究職を中心に「他で間に合っているから」、技術職を中心に「利用方法がわからない」、「英語に抵抗がある」、「文献検索を行う必要がない」といった回答が多い結果となった。(第3図)。



第4図 よく利用する情報ツール・方法

## 2. 研究者、技術者の情報探索行動

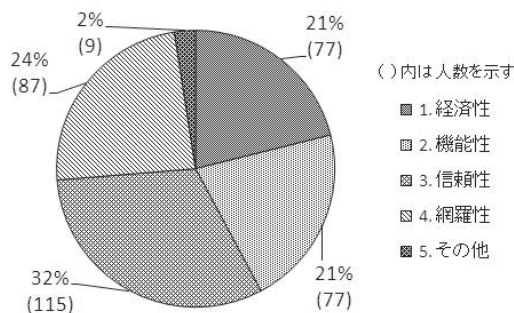
それでは、研究者、技術者は文献調査にどのような情報ツールを利用しているのだろうか。「あなたが文献調査や文献収集をする上で、よく利用するツール・方法は何ですか」との質問に対し、技術職を中心に「インターネット検索エンジン」を選択した人が圧倒的に多く、79%(287人)であった。これに、研究職が多く選択した「電子ジャーナル」が続いている。(第4図)。

また、「あなたが(文献調査などをする上で)データベースで最も重要だと思う要素は何ですか」との質問に対して、「信頼性」を選択した人が32%(115人)で最も多かった。これに「網羅性」の24%(87人)が続いている。(第5図)。

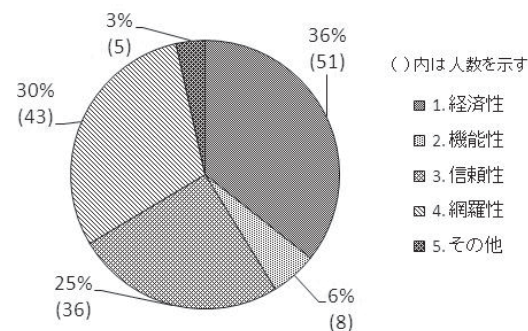
## 3. INIS データベースに対する評価と要望

一方、INIS データベースを「よく利用する」、「たまに利用する」または「利用してみたいと思う」と回答した人にINIS データベースの最も評価できる要素を尋ねたところ、「経済性」が36%(51人)、「網羅性」が30%(43人)で一定の評価を得たが、「機能性」は6%(8人)と振るわなかった。(第6図)。

さらに、INIS データベースを「よく利用する」、「たまに利用する」を選択した人にINIS データベースに関して、改善すべき点を質問したところ、「機能・操作性を



第5図 データベースで最も重要だと思う要素



第6図 INIS データベースの最も評価できる要素

より充実すべき(検索語の予測表示, 誤入力 of 修正機能など)」、「応答レスポンスをより速くするべき」といった機能面のほか、「日本語によるサポートをさらに充実すべき」、「収録する文献情報をさらに拡充するべき」といった声が多かった。

## IV. まとめ

### 1. 研究者、技術者が求める情報ツール

調査の結果、インターネット検索エンジンや電子ジャーナルと比べると、INIS データベースの認知度や利用は低いことがわかった。とくに、インターネットを活用した情報ツールの充実で、文献データベースを利用しなくても、当初からある程度の文献調査が行えるようになっていたと思われる若い世代で、INIS データベースの認知度が低かった。

また、研究者より技術者の方が、INIS データベースを知らない人が多かった。これは、第3図のとおり、研究職では選択した人のいなかった「文献検索を行う必要がない」を選択した技術職が多いことから、技術者は従事している業務によって、文献検索を行う必要がない場合があることに起因していると考えられる。

全体の傾向としては、研究者はINIS データベースを知っているものの、電子ジャーナルをはじめとするその他の情報ツールで満足しており、技術者は文献調査を行う経験が少なく英語に抵抗があるため、身近なインターネット検索エンジンを利用している傾向が読み取れた。

さらに、研究者、技術者ともに、信頼性や網羅性を気にしつつ、その点で劣る部分がありながらも、高い機能性を有するインターネット検索エンジンや電子ジャーナルを利用して、文献調査を行っている様子がうかがえた。

### 2. 言語の壁?

第3図のとおり、技術者を中心に英語への抵抗があることから利用されないことが判明した。確かに、日本人にとって、INIS が英文データベースであることは、欠点のように見えるが、実は利点である。

英文データベースの特徴は、アラブ語や韓国語など、



### 1 ■ Survey on usage of electronic journals in Japan Atomic Energy Agency

The Japan Atomic Energy Agency (JAEA) performed the survey on usage of electronic journals (1,783 titles) using 'Science Direct' provided by Elsevier Science. As a result, it was found that the number of users increased by 1.6 times and the number of articles read by users increased by twice during the survey period. Although JAEA users browsed 1,028 titles of wide range of fields such as physics, chemistry, engineering and also medicine, social sciences, it was found that the 45% of total number of downloads was occupied by only 105 journal titles. (author)

**Author** Fukazawa, Takeyasu; Nakajima, Hidemitsu; Ishikawa, Masashi (Japan Atomic Energy Agency, Intellectual Resources Department, Tokai, Ibaraki (Japan))

**Subject** GENERAL AND MISCELLANEOUS | S99 |

**Source** (May 2008) v. 58(6) p. 301-305

ISSN 0913-3801

Joho No Kagaku To Gijutsu

2 refs., 7 figs., 2 tabs

Journal Article

**Place** Japan

**DEC** economic analysis | economics | energy | japanese organizations | national organizations | variations

**DEI** cost benefit analysis | data acquisition | documentation | information needs | information retrieval | jaea | libraries | monthly variations | nuclear energy | on-line systems | uses

**Lang** Japanese

**RefNum** 40037370

**VolIss** 4016

**Year** 2008

第7図 英語で記述された日本語の文献の書誌情報

非英語(もちろん日本語も)で書かれた文献についても、  
 標題、著者名、抄録などの書誌情報がすべて英語で記述  
 されているため、どんな言語で書かれた文献でも、英語  
 だけで検索できることにある(第7図)。このことによ  
 り、非英語圏の技術レポートや会議録など、インターネッ  
 ト検索エンジンや電子ジャーナルだけではフォローでき  
 ない、入手が困難な文献の情報も、英語だけで網羅的に  
 検索できるようになっている。また、世界の共通語である  
 英語で書誌情報が記録されていることは、分類やキー  
 ワードとあわせて、INIS データベースを知識管理に有  
 効な情報ツールとしている。

JAEA は、これまでも英語の負担を軽減するよう日本  
 語インターフェイスの提供や日本語によるマニュアルの  
 作成などを行ってきた。先に紹介した「INIS データベ  
 スクイックマニュアル」(第2図)は、「日本語によるサ  
 ポートをさらに充実するべき」との要望を受けて、今回  
 新たに作成したものである。英文データベースであるこ  
 とを利点ととらえ、網羅的な文献調査に INIS データ  
 ベースをご活用いただければ幸いである。

### 3. 要望を受けて

日本語によるサポート強化のほかにも、JAEA では  
 INIS の利用促進、改善に向けた活動を行っている。こ  
 れまでも、INIS の利用促進と認知度向上のため、学会  
 などにおけるプロモーションや大学などにおける利用説  
 明会を開催している。利用説明会の開催については、要  
 望に応じて柔軟に対応しているので、お気軽にご相談  
 いただきたい。

また、機能性の改善は INIS の利用促進と利用者サー

ビス向上にとって重要な問題であり、要  
 望の多いレスポンス速度の改善、イン  
 ターネット検索エンジンのように利用し  
 やすい検索インターフェイスの開発な  
 ど、IAEA の INIS 事務局に対して、繰  
 り返し要望を行っている。一朝一夕の改  
 善は難しいが、今後もより利用しやすい  
 INIS データベースになるよう努力して  
 いく所存である。

### 4. さいごに

研究開発における文献調査はどれか一  
 つの方法で行えばよいというものではな  
 い。利用のしやすさから、インターネット検索エンジン  
 や電子ジャーナルだけに頼ってしまうかもしれないが、  
 INIS のような文献データベースを検索したり、図書館  
 に足を運んでブラウジングしたりすることも必要であ  
 る。それぞれの情報ツールや方法の特徴を活かして、効  
 果的かつ網羅的な文献調査を行うことが品質の高い研究  
 開発につながるであろう。われわれも、その一助となる  
 よう INIS 活動を展開していきたいと考えている。

最後に、今回の INIS 利用者調査にご協力いただいた  
 皆様に厚くお礼申し上げます。

#### —参考資料—

- 1) 国際原子力情報システム (INIS) (JAEA 図書館ホーム  
 ページにおける紹介),  
<http://jolifukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/ird/inis/INII-JAPAN-top.html>
- 2) INIS データベース, <http://inisdb.iaea.org/>

#### 著者紹介



権田真幸(ごんだ・まゆき)

日本原子力研究開発機構  
 (専門分野/関心分野)図書館情報学, 社会  
 情報学



中嶋英充(なかじま・ひでみつ)

日本原子力研究開発機構  
 (専門分野/関心分野)図書館情報学, 知識  
 管理

## 保障措置の現状と我が国の課題

文部科学省 木村 直人

はじめに

ウランやプルトニウムなどの核物質は他の物質と異なり、一定量集まれば臨界という爆発的な連鎖反応を起こし、膨大なエネルギーを放出する。臨界状態が適切に管理されれば、原子力発電所で利用されているようにエネルギー源として有用なものになるが、これがひとたびテロリストなどの手に渡り、軍事利用の目的で核爆発装置に組み込まれれば、核兵器拡散や核テロの脅威が一気に高まる。このような諸刃の剣である核物質が平和の目的に限り利用されるように適切に管理していこうと編み出された手法が保障措置である。

保障措置というと、イランや北朝鮮など、いわゆる懸念国家において、国際原子力機関(IAEA)の査察官が関連施設の立入検査に入っている姿などをニュースでご覧になっている読者の方は多いと推察するが、実は、IAEAの保障措置活動は日本においてもっとも活発に行われていることを知る人は少ない。我が国は、ウランの濃縮、加工、発電、再処理など一連の核燃料サイクルの工程をすべてカバーする複雑かつ大規模な施設群を有する非核兵器国では唯一と言っていい国である(第1図参照)。

我が国は世界で唯一の被爆国であるという経験から、原子力の利用に当たっては民主・自主・公開の三原則を堅持しつつ、終戦後一貫して平和利用に徹してきた経験を持つ。我々日本人は自分たちが核兵器を積極的に作ろうとは微塵も思っていないのであるが、これだけ多量の濃縮ウランとプルトニウムを保有している国はまれであり、管理の手法に少しでも不手際があれば、国際社会からはすぐに疑念を持って見られることは言うまでもな

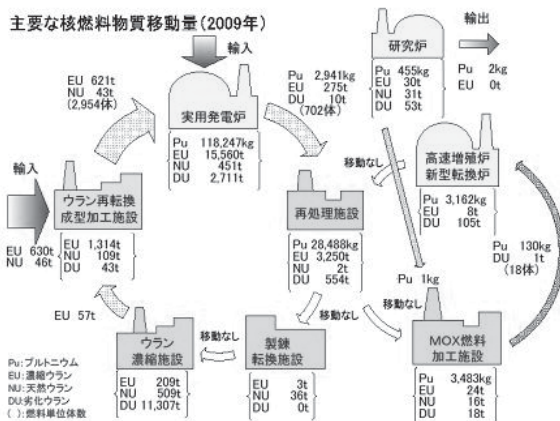
い。したがって、我々は常に緊張感を持って核物質の管理に取り組んでいかなければならないのである。本稿では、わが国のこれまでの保障措置に対する取り組みと解決せねばならない課題、及びわが国の進むべき方向について概説する。

## 保障措置とその歴史

保障措置は、施設ごとに核物質の量や出入りを正確に測定する計量管理を事業者の義務とし、補助的な手段として、査察側が管理された核物質を封印したり、カメラで監視することにより、不法な物質の移転を抑止する手法である。さらに、これらの手段が確実に講じられているかどうか、国及びIAEAの査察官が施設に立ち入り、確認をするため査察活動が行われている。

核兵器不拡散条約(NPT)第3条では、非核兵器国がIAEAとの間で保障措置協定を締結し、国内のすべての核物質について保障措置を受け入れること(フルスコープ保障措置)を義務づけている。我が国も1977年にIAEAとの間で保障措置協定を締結し、IAEAによる保障措置を受け入れると同時に、国自ら原子力施設の査察活動等を行い、国内の原子力関連活動が平和裡に行われていることを確認している。保障措置の実施に当たっては、我が国の原子力事業者は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(原子炉等規制法)」に基づき国に計量管理規定の認可を受けることが義務付けられているとともに、核燃料物質の在庫変動などの報告を国に提出することとされている。この報告の内容が正確かどうかを、IAEA及び国のそれぞれが査察を行い、確認を行うこととなる。我が国では、後述する追加議定書を2000年に批准するなどし、2004年からはIAEAによる拡大結論(申告通り核物質が存在すると同時に、未申告の核物質や活動がないことが証明されること。)を受け、いわば原子力の平和利用の先導国としての地位を揺るぎなきものとして今日に至っている。

核物質の管理に関しては、NPTに基づくIAEAとの協定以外にも、英、米、仏、中国などと資機材等の移転の要件を規定する二国間原子力協力協定を締結し、これらに基づき、供給当時国別に核物質の管理を行っている。二国間原子力協力協定については我が国からの原子力プラント輸出強化の動きなどを受け、今後対象とする国が増えていくことが予想される。一方で、NPT体制



第1図 主要な核燃料物質移動量(2009年: 文部科学省調べ)

下でない国や追加議定書を締結していない国との間でも二国間協定を締結することが想定され、我が国から移転された核物質や資材材の平和利用をどのように担保していくか、一律でない対応が求められることになる点に留意しなければならない。

### 国際的に見た保障措置の課題と解決に向けた方向性

1990年代までは、申告された内容が正しいかどうかを確認するという、いわば受け身の対応であった保障措置活動であったが、90年代初頭におけるイラクや北朝鮮の核開発疑惑(北朝鮮は疑惑ではなかったようであるが)により、いわゆる「未申告」の活動により、原子力の平和利用の根幹が揺るがされかねない状態が現出した。このような状況を受け、IAEAの機能強化が議論された結果、追加議定書という形で、国がIAEAに対し原子力施設以外への施設への立入や、さらに多くの情報提供を行うことを認めることにより、これまで以上に核兵器転用の探知能力を向上させようという試みが始められた。我が国では2000年より追加議定書が発効し、IAEAによる補完的アクセスなどを受け入れている。この動きをきっかけとして、IAEAでは従来の計量管理情報の検認を中心とした査察活動から、核開発活動の探知の実効性をより上げることが目的として、それ以外の情報、つまり、研究開発活動の情報や、人工衛星からの地形情報、輸出入情報など幅広い情報を基にして当該国家の原子力活動を評価する手法(いわゆる「情報主導型保障措置」)の検討に乗り出している。

### 我が国の今後の課題と解決策

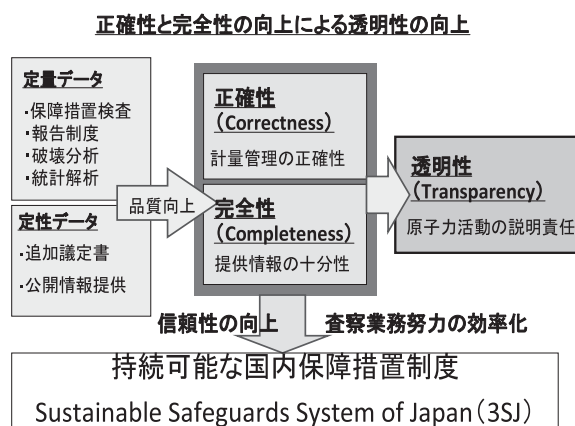
我が国の国連の分担金比率は約13%であり、IAEAに対してこの比率を基準にして拠出を行っている。一方で、対日査察活動にかかる経費の比率はIAEAの査察関連経費の約3割を占めており、IAEA査察の最大の顧客となっているのが現状である。これは、巨大なバルク取扱施設を抱える我が国の宿命でもあるのだが、今後、六ヶ所再処理工場やMOX燃料加工工場の運転開始、プルサーマルの進展に伴い、査察資源の消費が飛躍的に増大していくという当然の帰結を、手をこまねいて見ているわけにはいかないのである。対日査察に要する資源をいかに削減し、これを懸念国へ向けることを可能とすることは、核不拡散に対して先陣を切って取り組んできた我が国の責務でもある。

我が国は、大型のバルク施設で大量の核物質を扱っている限り、いつ核兵器転用の疑義がもたれるかわからない。あらゆる手段を通じて平和利用を担保することはもちろんだが、万が一疑義がもたれた際に、やっていないという消極的事実を証明することは、「悪魔の証明」と例

えられるように非常に困難である。しからは、可能な限り客観性を持って、誰の目から見ても原子力利用が平和裡に行われているという認識を我が国に対して持つてもらうための取り組みを強化することが重要であることは、これまで平和利用に徹してきた我が国にとって当然追求していかねばならない途であろう。

我が国では、これまで保障措置や原子力の平和利用を通じ培ってきた高い技術力を活かして、高精度な査察機器の開発、新たな保障措置手法の導入に関してIAEAとの協力を行ってきた。現在、我が国では、保障措置システムの抜本的な改善に向けた努力を続けてきている。第一段階として、我が国の査察活動の結果をより客観的に評価可能とするシステムである統合保障措置情報システム(ISIS-J)の開発に2007年より着手した。2009年には、プロトタイプとしてウラン加工施設及び軽水炉施設における査察活動評価報告を提出したところであるが、今後はISIS-Jも含めたより包括的なシステムであるSustainable Safeguards System Japan(3SJ)の構築に向けた作業に着手したところである(第2図参照)。

### 3SJの目指すところ(イメージ)



第2図 3SJの目指すところ

これは査察活動の評価に基づく効率化はもとより、最先端の技術であるリモート監視システムやセキュアコミュニケーションシステムなどを通じ、より我が国の保障措置活動を合理化すると同時に、正確性や信頼性の向上を求めるものである。さらに、公開情報も含む多くの情報に基づいた核物質計量システムの評価により、その客観性も飛躍的に増大する。IAEAが本システムから提供される情報を有効的に活用することにより、結果としてIAEAにおける査察資源の低減にもつながりうるものである。3SJ構築までの道のりはまだ長い、いずれ実を結び、世界の不拡散体制の強化の一助となれる日を心より願って本稿を終わりたい。

(2011年 2月25日 記)

### 核不拡散施策の現状と課題 核不拡散特別委員会(SCNN)の特集記事を読んで

核分裂反応から得られる莫大なエネルギーの利用は、不幸にも軍事利用から始まった。これを人類の福祉のために役立てることを目指した、1953年のアイゼンハワー米国大統領による国連での「Atoms for Peace」演説以来、原子力の平和利用を推進する一方で、その軍事転用を防ぐ方策、すなわち、核不拡散のための諸制度が考案され、実施されてきた。この間に生じた幾つかの不幸な核拡散事例を契機に、それまでの核不拡散体制に不備があることが明らかになり、その拡充・強化が図られている。

米国原子力学会の会長直属の「核不拡散に関する特別委員会(SCNN)」の委員やその関係者の執筆で、同学会誌の昨年11月号に核不拡散問題に関する特集が組まれた。現在の全世界的な核不拡散体制を構成する様々な施策に関する7本の解説記事を通して、それぞれの現状、課題、今後の見通しが概説されている。

30頁にもわたる特集なので、じっくり腰を落ち着けて読む必要がある。後述するように一部、核兵器国である米国の視点から書かれている嫌いはあるものの、本特集は核不拡散のために講じられている現在の諸制度について、その分野の第一人者が解説を行っており、およそ原子力の開発・利用に携わる者が核不拡散に関して知っておくべきことが程よく網羅された好企画である。また、各記事に関連する事項(核兵器の元になる核分裂物質を実際に各国がどのように入手したか、A.Qカーンの核密輸ネットワーク、燃料バンク構想、原子力供給国グループ(NSG)、多国間核燃料サイクル施設、核兵器取得の動機など)も囲み記事として要領よく紹介されている。

冒頭の解説記事①「Introduction: Current efforts toward a sustainable nonproliferation policy」は、本特集全体のはしがきで、本特集を企画したSCNNの設立経緯、その目的、本特集のねらいなどが書かれている。

解説記事②「Proliferation pathways and barriers」では、国家または非国家主体(テロリスト)が核兵器用核物質を取得する場合の経路とこれを防止するための障壁を分析している。過去の事例から、取得経路として可能性が高いのが、国家の場合は専用のPuや濃縮Uの生産施

設の利用であり、テロリストの場合には闇市場の利用であるとされている。これを防ぐ障壁としては、内在的要素(核物質そのものの物理的・化学的・放射線の性質がどれほど核拡散防止効果があるのか)と外在的要素(核拡散抵抗性、核物質防護、制度的手段)があるが、内在的要素だけでは不十分とし、外在的要素のうち制度的障壁として、保障措置、計量管理、条約等の国際約束などを挙げている。制度的障壁として最適なものは、NPT(核拡散防止条約)およびAP(追加議定書)に基づくIAEA(国際原子力機関)の検認活動であるとし、前者は原子力施設を、後者は核燃料サイクル関連施設(核物質を用いない施設も含む)を対象としている。イスラエル、インド、パキスタン(いずれもNPT非加盟)および北朝鮮(NPTからの脱退を表明)の例を挙げて、NPTを遵守している限り、国家による拡散は避け得るとしている。しかし、これは若干楽観的過ぎで、北朝鮮の場合やイランの核開発疑惑問題で注目されている、NPT加盟中に必要な資機材を入手し核兵器開発を行った上で脱退するという、いわゆるブレイク・アウトのシナリオが考慮されていない。

解説記事③「Status of nonproliferation agreements」では、NPTおよび米国の国内法である原子力法第123項の規定に基づき、米国が各国と結んでいる二国間原子力協定(123協定)が果たしている核不拡散上の役割を述べている。

NPTについては、平和利用の推進と核拡散防止の両立を図るものであるとし、「防止」に関する条文と「推進」に関する条文を紹介している。すなわち、核兵器国は他国の核兵器等の取得等を支援しないこと(第1条)、非核兵器国は核兵器等の取得等を行わないこと(第2条)、これを検証するためにIAEA保障措置を受けること(第3条1)、IAEA保障措置の対象にならない限り原子力資機材を非核兵器国に移転しないこと(第3条2)、そして、原子力の平和利用は締約国の奪い得ない(inalienable)権利であること(第4条)との規定に言及している。

しかし、これらはNPTの三本柱(核不拡散、平和利用、核軍縮)のうちの2つだけであり、NPT再検討会議において常に非核兵器国が強く求めている核兵器国による核軍縮努力義務(第6条)に言及していないのは、バランスを欠いている。もっとも核軍縮の動きとして、米露

における解体核処分状況を解説記事⑤“Nonproliferation initiatives and plutonium disposition in Russia and the United States”で詳しく扱ってはいるが、あくまでも核テロ対策の一環としての位置づけであり、NPT上の核兵器国の義務として関連づけられていない。

123協定については、1978年の改定によって受領国における供給された核物質の再処理や20%以上の濃縮について米国の事前同意が義務づけられて強化されたが、この条項は前出のNPT第4条の規定に抵触するものなどの議論が開発途上国を中心にあるとしている。

また、その他の重要な国際的な不拡散の枠組みとして、NSGおよび核燃料バンク構想を紹介している。インドの「平和目的」の核実験を契機に形成されたNSGにおいてインドを例外扱いとすることが合意されたことの記述はあるが、なぜ認められるに至ったのかについての合理的な説明が残念ながら見当たらない。なお、この記事が書かれた後の昨年12月のIAEA理事会の決議によって、IAEAが管理する核燃料バンクが設立されるに至っている。

本解説記事の脚注で、現行の核不拡散「体制」について、「充分検討されて出来た全体像に沿い、個々の基礎的要素が上手く組み併されて形成されているという意味では『整然とした』ものではなく、また、意図的に順序立てて計画されているという意味での『体系』でもない。」としているが、これは正鵠を得ている。実際のところ、現行の核不拡散のための個別の制度や方策は、その必要性が認識され、実施が可能となった際に、その都度、ひとつずつ追加されて来ているのである。

解説記事④“Reducing proliferation risks through nuclear energy assistance to developing countries”では、これから原子力発電を開始しようとしている新興国に対する教育・訓練計画の実施によって、核拡散のリスクが削減できるとしているが、その論拠(発電炉と核兵器開発は異なること、また、提供される教育・訓練の中味はすでに他で行われているものと変わらず、教育・訓練によっても核拡散の手助けにはならないとしている)は、北朝鮮の例を出すまでもなく、いささか薄弱に思われる。

解説記事⑤では、旧ソ連の崩壊以降、そのずさんな核物質管理の状況からテロリスト等が核兵器を取得する懸念が増しており、これに対抗するために行われている核物質や放射性物質の不法取引の阻止、そのための核鑑識

能力の養成、高濃縮ウラン燃料の低濃縮化、米露での解体核のプルーサーマル利用の状況が紹介されている。

解説記事⑥“Safeguarding and protecting the nuclear fuel cycle”では、効果的で効率的な保障措置や核テロ対策を実施するため、原子力施設の設計段階から保障措置や核テロ対策を考慮しようとする最近の動き(Safeguards by Design, Security by Design)を紹介している。これらの要素を設計に反映することで、実効性を担保できるばかりではなく、施設が完成した後でバックフィットする場合に比べ、経費の削減がなされることから、産業界を巻き込んだ動きとなっている。この動きを先取りした良好事例として、オーストラリアの研究炉OPALの場合(Security by Design)が紹介されているが、我が国の場合、六ヶ所再処理施設(RRP)やJMOX(RRPに隣接するMOX燃料工場)において、Safeguards by Design(SBD)の概念が取り入れられており、これが紹介されていないのは残念である。我が国からの情報発信不足の一事例であろう。

解説記事⑦では、安全確保に関してなされる命題、「How safe is safe enough?」にならって、「How proliferation resistant is resistant enough?」との命題を呈示して、核拡散抵抗性の問題を幅広く解説している。

このように、本特集は現在の核不拡散体制を構成する諸制度や関連事項を網羅してはいるが、いかに核不拡散のための施策が拡充・強化されてきたか、その歴史的経緯についての包括的な記述がないのが玉にきずであろう。また、核拡散には水平拡散(核兵器保有国の増加)と垂直拡散(保有核兵器数の増加)があるが、前者の防止策の記述に力点が置かれ、後者に関する核軍縮の努力について記述が少ないことはすでに触れたとおりである。

核不拡散を担保するのにひとつの方策だけでは充分ではなく、技術的なもの(保障措置, SBD, 計量管理, 核物質防護, 監視封じ込め, プロセス・モニタリングなど)、制度的なもの(NPT, 国連安保理決議1540など)、そして通商協力(輸出管理, NSG, 核燃料バンクなど)を組み合わせる必要があると、本特集の冒頭で述べられているが、これは全く当を得た指摘である。

当学会でも核物質管理学会と連携しながら本特集と同様の企画をしてはいかがであろうか。

(財)核物質管理センター・内藤 香、  
2011年 1月24日 記)

# ATOMOS Special

東欧編

世界の原子力事情 第13回

## スロベニア—原子力発電所のある世界最小の国

日本原子力研究開発機構 杉本 純

オーストリアの南に接するスロベニアは、我が国の四国とほぼ同じ面積を持ち、人口約200万人の小国であるが、1人当たりのGDPはポルトガルに匹敵し、中・東欧諸国の中では最高水準にある。主要エネルギー資源は褐炭である。1990年、旧ユーゴスラビア内スロベニア共和国において、民族主義的色彩の濃い民主連合政権が成立し、翌年に独立を宣言した。これに伴い国境管理を巡って旧ユーゴ連邦軍との間で10日間の武力衝突が発生したが、EC(ヨーロッパ共同体)の調停により停戦が成立、公衆への戦争の被害が極めて少なかったこともあり、その後、民主化・経済改革を順調に押し進め、2004年にはEU(欧州連合)に加盟した。アルプス山脈の南端、スロベニア・アルプスの山々の麓に位置することから「アルプスの日の当たる側」が同国のキャッチフレーズである。

旧ユーゴスラビア連邦時代から、米国エネルギー省から核燃料の供給を受けるなど、西側諸国寄りの原子力政策をとってきたスロベニアは、1974年、隣国クロアチアとの国境近くにあるクルスコに米国ウェスティングハウス社製の出力66万kWの加圧水型軽水炉の建設を開始し、1983年から営業運転を開始した(第1, 2図参照)。これは旧東欧では最初の西側製の原子炉である。この発電所はクロアチアの首都ザグレブからも約40kmしか離れていないため、1991年のユーゴスラビア共和国の崩壊時には、帰属をめぐるスロベニアとクロアチア両国間で争われていたが、両国政府は2001年12月、同発電所を共同所有する、発電した電力の半分はクロアチアに供給する、発電所運転会社はクロアチア国民も雇用する義務がある、デコミ基金は両国で手当てする、放射性廃棄物の処分方法は発電所を閉鎖してから決定することなどで合意した。

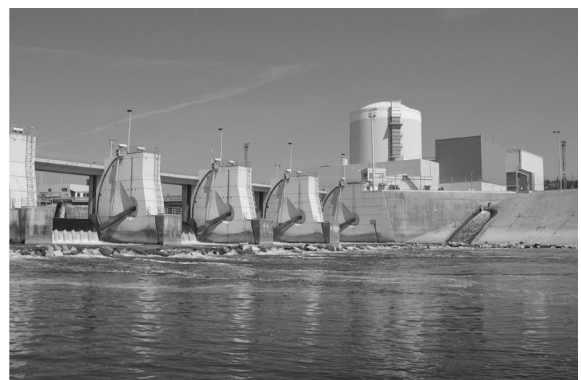
スロベニアにおける総発電量に占める原子力の割合は約38%と世界で9位、我が国の29%同15位より上にある(2009年)。稼働率も2007年から2009年の平均値は約94%と我が国の63%より高く、フィンランド、オランダ、ルーマニアに次ぐ世界4位の水準にある。電力需要の伸びに対応するため、クルスコ原子力発電会社(NEK)は、2000年に蒸気発生器の交換工事を実施し、出力を71

万kWに増加するとともに、設計寿命を2023年まで延長した。安全性については、西欧原子力規制当局連合が2000年に発表した報告書において「将来的に、両国の共同所有という形に起因する組織的な問題点やエネルギー部門の民営化過程に生じる安全管理の不安定要素は予測されるものの、クルスコ発電所の安全性は西側炉と同等」と評価している。また、2003年、フランス、スウェーデン、英国、米国などの専門家からなるIAEAの査察が行われたが、運転上の安全面、技術面でも高い評価を得ている。

クルスコ原子力発電所に続く2番目の原子力発電所が、旧ユーゴスラビア連邦時代にクロアチアのプレブラカ(ザグレブの東南東約30km)に計画されたが、1989年にキャンセルされた。現在、100万ないし160万kW級のクルスコ2号機が計画され、2020~2025年の完成を目指している。こちらはスロベニアによる単独事業であり、2010年1月には、国営GEN Energija(国営電力会社



第1図 クルスコ原子力発電所—遠景 ©NEK



第2図 クルスコ原子力発電所—放水口側 ©NEK

*Slovenia—World's Smallest Country that has Nuclear Power Plant : Jun SUGIMOTO.*

(2011年 2月20日 受理)

の子会社)が経済省に関連計画を提出済みであり、2011年前半までに議会で承認されることが期待されている。

一方、人口約450万人の隣国クロアチアは、総電力に占める共有するクルスコ発電所からの原子力の割合は約15%である。クロアチアは、セルビアとの国境近くの東スラボニア地区に160万kWの原子力発電所を独自に建設することを検討中である。

クルスコ原子力発電所の運転により発生する中低レベル放射性廃棄物および使用済燃料は同発電所に貯蔵されている。中低レベル廃棄物の永久貯蔵施設は、クルスコ発電所に近いヴルピナで2013年に運転開始する予定となっている。このサイトの選定には5年以上の月日を要した。同国で発生する他の放射性廃棄物を含めても十分な容量を有している。

スロベニアには、首都リュブリャナに国を代表する教育研究機関、ヨーゼフ・ステファン研究所(第3図)がある。ここは職員約850名を擁し、原子力技術ばかりでなく、物理学、化学、生物化学、電気、情報科学など基礎から応用までの研究を主導するとともに、教育・運転訓練等に使用する250kWのTRIGA型研究炉を1966年以来運転している(第4図)。また、同研究所の情報センター(第5図)では、1993年以来、毎年スロベニア全土から約1,000名にのぼる生徒(14~15才・日本の中学3年生相当)全員を研究所に招待し、原子力に関する講演と施設見学会、およびアンケート調査を実施している。2009年の調査結果は、それまでの結果と大きくは変わらないが、原子力、放射線、および放射性廃棄物に対する理解不足が見られる。それでも、生徒の46%がクルスコ原子力発電所を他のエネルギーで代替することは難しいと答え、34%が可能と答えている。66%の生徒が同発電所の2号機建設に賛成し、17%が反対と答えている。

余談であるが、筆者は2008年3月に英国マンチェス



第3図 ヨーゼフ・ステファン研究所 ©IJS



第4図 ヨーゼフ・ステファン研究所の研究炉 ©IJS



第5図 ヨーゼフ・ステファン研究所の情報センター ©IJS

ターで開催された欧州原子力教育ネットワーク(ENEN)の総会に出席した際、上述のヨーゼフ・ステファン研究所から出席していた教授と話をし知り合いになった。黒体放射の法則で有名な「ステファン・ボルツマン則」の生みの親である同国出身の物理学者ヨーゼフ・ステファンから研究所名が来ていることを初めて知った。また、今回の写真やデータは教授を通じて入手することができた。国内全生徒への原子力学習を徹底している「原子力発電所のある世界最小の国」スロベニアに、近い将来クルスコ発電所2号機が導入されること、できれば我が国の原子炉が導入されることを祈念したい。

参考：World Nuclear Association Web.

#### 著者紹介

杉本 純(すぎもと・じゅん)

本誌, 53〔4〕, p.51(2011)参照.

# 私の 主張

## 学生の視点から見た“分野融合的”教育 国際舞台で活躍する原子力エンジニア育成のための提案

大阪大学 おでんちゃん\*

はじめに

近年、エネルギーセキュリティ、二酸化炭素排出削減の観点から、世界において原子力が再び脚光を浴び、原子力カルネサンスといわれる時代が到来している。この状況は最近、よく耳にする海外での原発建設プロジェクト受注のニュースで皆さんも身近に感じているのではないか。世界の安心安全な原子力利用に貢献するために、また原子力を国家の基幹産業と位置付け、経済大国、技術大国、グリーン大国としての日本の地位を強化する意味においても、この原子力の国際展開にわが国は積極的に関与する必要がある。

本稿では、日本が原子力の国際舞台で重要な役割を果たすために必要となる、国際で活躍する原子力エンジニアの育成を目的とした大学教育改革を、“分野融合的教育”をキーワードに学生の視点から提案する。

### 国際化する原子力市場

一昨年(2011年)の韓国によるUAEの原発建設受注に端を発し、原子力市場の国際化は急速に進んできた。昨年1年間の日本を取り巻く動きを見ると、ベトナムにおける原発建設受注、インドとの原子力協定締結へ向けた協議の開始、ヨルダンとの原子力協定の署名など常に原子力のニュースが飛び交う状況である。また、東京電力が米国テキサス州での原発建設プロジェクトに投資するなど電力会社による海外原発プロジェクトへの参加も行われるようになった。

### 深刻化する人材不足問題

こうした状況は世界の原子力平和利用に日本がその技術をもって大きく貢献できるチャンスであり、また原子力産業を成長戦略の一つとして掲げる日本にとっては喜ばしいことであるが、一方で急速な国際展開はある問題を生じている。それは人材不足である。海外での原発建設プロジェクトにおいて、その実行部隊となる原子力エンジニアには現地の人間と共同で仕事をし、現地人を指導するためのコミュニケーション能力、核セキュリティの観点から、原子力を取り巻く国際情勢や原子力の法的

側面に対するしっかりとした知識を持っていること、原子力の技術とビジネスの両方を理解し、原子力の国際市場を生き抜くための対外戦略を立てられる能力など、非常に高い能力が要求される。しかし、これまで台湾以外にプラント輸出経験のない日本においては、このような能力を備えた国際舞台で活躍できる原子力エンジニアの人数は限られている。

### 分野融合的教育

このように原子力カルネサンスといわれる今日の原子力エンジニアには非常に多くの能力が要求されているが、この原子力エンジニア養成の主たる機関である大学では、この原子力市場の国際化に対応できる十分な教育が行われているのであろうか。学生の視点から率直に申せば、全く対応できていない、というのが答えである。私が置かれた環境を見ても、国際舞台で活躍することを意識した原子力エンジニア養成のための教育というのはほとんどなく、原子力の技術についてのみ教育が提供されているという状況である。

このような現状を踏まえ、私は大学の原子力教育に対して次の提案をしたい。それは国際舞台で活躍する原子力エンジニアの育成において次の3つの柱を掲げ、分野融合的な教育を実施することである。

原子力の分野融合的教育の3つの柱

1. 深い専門性
2. 対外戦略・核不拡散の理解
3. コミュニケーション能力

### 深い専門性

原子力の技術に関する深い専門性は国際舞台で原子力エンジニアとして働く際の最低限必要な能力である。グローバル化した現代社会においては博士号を取得することが国際舞台で働くための一種の職業資格とみなされるため、ドクター進学者を増加させることも望まれる。

### 対外戦略・核不拡散の理解

これは私が最も主張したい部分である。つまり「原子力エンジニアも核不拡散や原子力を取り巻く国際情勢、プラント輸出の際の対外戦略といった原子力市場の国際化に伴う諸問題について学ぶべき」ということである。どうも日本の大学では原子力の技術の側面と政策や法の

\*「おでんちゃん」は、阪大教職員・学生のブログ「阪大工学部の散歩道」でのハンドルネーム。所属は、大阪大学工学部環境・エネルギー工学科 学部4年、量子システムデザイン工学領域 山口研究室  
成川隆文(なるかわ・たかふみ)



側面が完全に切り離され、エンジニアは原子力技術だけ知っていればよい、核不拡散や国際情勢、対外戦略に関して学ぶのは文系の学生だけでよい、という教育がなされているように思われる。私は文系の原子力政策学などを学んでいる人々と共通に受けられる講義や教育システムが存在してしかるべきであると思う。核不拡散問題一つとってみても、これから原子力エンジニアとして世界で活躍しようとする学生が、一般情報のみに頼って個人的に原子力の是非を判断し、倫理観を養うというのは、国家の教育システムとして欠陥があると言いかげない。この原子力に関しては、文系理系の区別をなくすべきである。むしろ技術を担当する原子力エンジニアこそ、原子力カルネサンスの今日に原子力を取り巻く諸問題に精通している必要があり、この意味において分野融合的な教育は必要不可欠である。

### コミュニケーション能力

コミュニケーション能力については、海外でエンジニアとして仕事出来るだけの十分な言語運用能力と異文化への適応能力を高めることを目標とすべきである。現在の大学教育ではもちろん外国語教育が行われているが、英語は英語として単独に教育しているきらいがある。これでは実効性がない。ここでも分野融合の教育が必要である。原子力の技術を英語で学び、技術について英語で読み書き議論することが可能になるような教育を実施すべきである。この目的のために、私は原子力の教科書はすべて英語の教科書を使うべきだと思っている。東大の先生が中心となって作った「原子力教科書シリーズ」に関しては、英訳して出版する動きがあるようである。ぜひ日本の大学教育においては、こういった英訳版を使用すべきである。

### 大学・政府・産業界へ期待する役割

このような教育を実行するために、大学・政府・産業界が果たすべき役割を学生の視点から提案する。

#### ・大学の役割

大学は先に提案した分野融合的な教育を早急に実践する必要がある。この実践に当たっては、従来は技術だけ教えていた部分に、対外戦略・核不拡散の講義、コミュニケーションの講義を追加しなければならず時間的制約を克服する必要がある。東京大学の国際原子力専攻などはすでにこのような分野融合的な教育を行っているようだが、やはり中の学生からは時間的制約のために技術の教育が疎かになっているという話を聞く。この問題を克服するために、分野融合的な教育の実施は希望した学生の中

から選ばれた者のみに実施するような少数選抜制度を採用することを提案したい。少数選抜にすることで、本当にやる気のある学生だけが集まるので、学生の努力によって時間的制約を克服することは可能である。また、対外戦略や核不拡散を学習する際、学生が将来、原子力エンジニアとして国際舞台で働くという強い意識、すなわち当事者意識を持っていることが重要となる。当事者意識がないままに対外戦略・核不拡散の議論をしても極論に走ったり、興味がわかず身に付かないことになりかねないので、この希望者による少数選抜制はベストな選択だと思われる。また、少数教育にすることで学生一人一人に教育費を割くことができ、IAEAなどの国際機関へのインターン制度など早期に国際経験を積ませる教育の充実も期待される。

#### ・政府の役割

政府には資金援助を通じた分野融合的な教育の支援を期待したい。特に、一人でも多くの学生がIAEAなどの国際機関へのインターンシップを経験できるよう、機会の提供と奨学金支援を期待したい。

#### ・産業界の役割

産業界には、特に深い専門性に関連して博士号を取得した原子力エンジニアの積極的な採用を期待したい。これまでは博士号取得者の企業採用数が少なく、ポストク問題が深刻化していたが、国際化する原子力界においては、むしろこの博士号を持った原子力エンジニアが不可欠である。これまで企業による日本人の博士号取得者採用が少なかったのは、大学における教育が産業界の求めるものとかけ離れているという点にあった。よって今後は、産学で密に連携を取り合い、国際舞台で活躍する原子力エンジニアを養成して頂きたい。

### 最後に—学生へのメッセージ

このように分野融合的な教育の必要性を主張しても2～3年の短期間ですぐにカリキュラムが修正されることは期待できない。よって、学生は主体的に学ぶ場を求める必要がある。例えば、私が現在参加している「往復書簡」はよい勉強機会である。この「往復書簡」は原子力学会の学生連絡会とシニアネットワーク連絡会が主催するもので、これまで原子力界のトップで活躍されてこられたシニアと学生がメールや対話会での意見交換を通じ原子力に関する理解を深めていこうとする企画である。現在、原子力を学ぶ学生はこのような企画を利用して主体的に学習し、将来の国際舞台での活躍に備えましょう。

(2011年 1月10日 記)

# 談話室

## 親日的な台湾との核能交流

日本原子力産業協会 宅間 正夫, 三菱重工業(株) 金氏 顯

### ◆SNW 唯一の国際交流として

台湾の核能资讯中心(NIC)との交流会を2007年以来継続している。第3回目として昨年12月に上田隆, 金氏顯, 嶋田昭一郎, 宅間正夫, 古田富彦, 三谷信次の6名のSNW 会員が台湾を訪問, 金氏以外は今回が初めて。

### ◆メインイベントは第2回日台交流シンポジウム

台湾国立清華大学で12月18日に開催, 台湾側参加者は約70名, 原子能委員会主任から若い清華大学生まで幅広く, 活発な質疑応答で前回以上の熱気であった。

シンポジウムは朱鐵吉 NIC 理事長の開会挨拶, 宅間正夫 SNW 会長, 蔡春鴻原子能委員会主任(大臣)の来賓挨拶に始まり, 午前中は基調講演として, 日台それぞれの原子力発電の現状と将来展望を台湾電力安全局の王琅琛副局長と SNW の古田富彦が, 続いて SNW と NIC の活動を SNW の金氏と NIC の朱理事長が行った。

### ◆台湾の原子力の現状

現在, 第一原発(金山, BWR 636 MW×2), 第二原発(國聖, BWR 985 MW×2), 第三原発(馬鞍, PWR 951 MW×2)が運転中で, 全発電量の20.7%を最も発電原価が安い原子力で賄っており, 2009年は設備利用率が92.17%の最高記録を達成。計画外停止も年々減少し1回/6基, 18ヵ月連続運転, 低レベル放射性廃棄物も1973~80年の1/10程度に年々減少, 安全指標も向上といった優秀な成績の背景は20日の馬鞍山第3原子力発電所訪問時にその一端を知った。

第四原発として龍門原発(ABWR 1,350 MW×2)が建設中で, 1号機は2011年3月15日燃料装荷, 12月15日に営業運転開始の予定とのこと。1998年に基礎掘削開



蔡春鴻原子能委員会主任を囲んで NIC 朱鐵吉理事長, 謝牧謙董事顧問と SNW 6人

始し, これまで反対運動や複雑な工事契約体制のせいで既に12年も経っている。日本とのプロジェクト遂行力の大きな違いは台湾にプラントメーカーがなく, 電力は国営のため, 工程遅延しても政府が補償してくれるからであろうか。

### ◆台湾核能资讯中心(NIC)とは

1988年に中華核能学会の1組織として設立, 1997年にNPO 団体として独立。政府並びに原子力専門家からなる委員会運営。NICの使命は, まず最新の原子力情報を大衆に紹介すること, 次に原子力発電所の所有者や規制当局と一般大衆とのより良いコミュニケーションを促進することである。

活動としては, ①原子力や放射線に関する情報の収集, ②原子力に関する政府 PR 活動の推進, ③「原子能ABC」など政府委託実行, ④「放射線寓話」など出版事業, ⑤「核能簡訊」(Nuclear Newsletter)25,000部隔月発行, 立地地域住民, 学校, 図書館, 地方代表, 原子力規制関係者へ配布, ⑥国際交流, 2008年 SNW との第1回シンポジウム, 2006年兩岸核能学術交流会, 2005年日台原子力安全会議, 等である。SNW とは活動内容は随分異なるが, 一般への原子力理解を促進する非営利組織という基本点は同じといえる。

### ◆セッション1: 人材育成をテーマにグループ討論

午後は, 対話セッションを2つのグループに分かれて行った。セッション1では「原子力人材育成」をテーマとし, 教育の現状につき清華大学の施純寛教授と SNW の三谷が, 電力会社における OJT について台湾電力発電訓練所の許宏福所長, SNW の上田が講演を行った。

清華大学は原子力に関して台湾唯一の総合大学であり, 原子力技術科学部門(NES)やその研究部門における教育プログラムおよびそのカリキュラム, 研究炉を使った中性子照射治療, 原子力教育に関する AEC/NSC プロジェクト等が紹介された。日本への留学生は10数年前には多かったが中国との関係からその後は激減。両国の良好な友好関係維持のためにも今後, 積極的に台湾留学生を日本で受け入れることが重要であろう。また小中校でのエネルギー教育についても意見交換, 先方より小中校での原子力副読本について日本語で良いからと要望あり, 資源エネルギー庁のホームページを教えた。

台湾では, 保修等は基本的にすべて台湾電力が行って

いるが、契約により初期訓練やその後の適時の訓練等は契約先の WH や GE など米国で行っている。また、SCC など技術的に難しい問題に対する対処法などについても契約先の支援を得ている。日本のような原子力メーカーはないが、保守作業が台湾電力に一元化され実力は高い。

#### ◆セッション 2：PA をテーマにグループ討論

セッション 2 では「放射性廃棄物処分と一般市民とのコミュニケーション」をテーマとし、まず台湾は主に低レベル廃棄物処分の現状について台湾電力核能後端營運処の李清山副処長が、我が国の高レベル廃棄物処分の現状について SNW の嶋田が、次に一般市民とのコミュニケーションを台湾電力核能後端營運処の李忠正副処長と SNW の宅間が、それぞれ講演した。

低レベル廃棄物のランユー島の処分場は1996年で中止、ドラム缶も20年余り経つため傷みが激しく、2011年までに新処分地を選定してこれらを移す計画だが遅れている。住民の合意が必要で、コミュニケーションの場を設けている。2ヶ所の候補地が必要であり、公募を出し手を挙げる候補地を待っている。日本での高レベル廃棄物と全く同様な困難に直面しているが、従来のイメージとはまったく異なるきわめて多角的な PA 活動を行っており、人脈作りにひととき注力しているなど開かれた地域参加型の活動を活発に行っているのが頼もしく、必ずや地域住民の信頼を得るであろうと信じている。

なお、日本の再処理施設に質問が集中、台湾も使用済み燃料再処理をあきらめていない様子が伺われた。

#### ◆台湾への SNW 活動の広がりへの兆し

蔡原子能委員会主任が来賓挨拶の中で、民衆とのコミュニケーションについて努力している事例を説明したあとに「こういう活動は2年前の SNW との交流で民衆の理解を得ることが原子力の発展に必要というヒントを得たからだ」との発言があった。

さらに SNW 活動紹介の後に、シニア約20名で PA 活動を行っている NGO 核能科技協進会の陳勝朗董事長から、また原子能委員会の教育・コミュニケーションとして原発地元の PA を担当の陳文芳科長(女性)の2人から、SNW の大学生との対話は非常に参考になると、大学から要請があるのか、それとも SNW から要請するのか、グループ対話のテーマはどのようにして決めるのか、など具体的な質問があった。

シンポジウムには前回同様、多くの学生が参加した。清華大学原子能科学部の4人の女子学生を含めた若い優秀な学生たちと食事時に懇談、みな素直で素朴で初々しく、そして好奇心も強く、さわやかな対話のひとつきだった。第1回の時に多くの学生の参加を SNW から申し入れ、台湾側にその意義が十分認識されたと思われる。

#### ◆交流その 2：台湾核能級産業発展協会との懇親

12月19日には高雄市で台湾核能級産業発展協会との懇親会を行った。この協会は NPO 団体として2010年6月



台湾核能級産業発展協会との懇親会

に発足、参加企業数は約60社と小規模ではあるが、全世界的な原子力発電所建設ブームにより拡大する原子力市場、特に中国に進出を目的としていると思われた。

歓迎の宴では、日本のことをもっと知りたい、日本と深くやっていきたいという意気込みが強く伝わってきた。丁寧なおもてなしに深く感謝の意を表したい。

#### ◆交流その 3：馬鞍山第 3 原子力発電所を訪問

12月20日には馬鞍山第3原子力発電所を訪問し、林則棟所長以下、3人の副所長(保全、訓練、経理)、広報担当、展示館課長が歓待。概要説明では、稼働率90%以上、計画外停止も0.1以下と優秀な成績を誇らしげに説明。原子能委員会に一元化された規制体制、18か月運転採用のほかに、地元との安全協定がなく日常の地元の長や住民との長年にわたる人間的な付き合い、台湾電力に一元化された保全技術・作業が背景にありと理解した。

特に感銘を受けたのは供給組経理の呉祖華氏、体を張って9年もの間、現地で地域住民と同じ目線での対応、折衝しておられる存在が我が国の古き良き昭和の時代の企業戦士と重なって見えた。

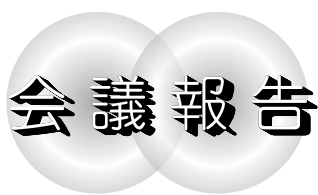
日本では原子力施設立地地元とは必ずしもうまくいってなく、立地や稼働率に影響しているが、台湾は呉祖華氏のような人がいて地元と強い信頼関係を築いている。

#### ◆日台交流の意義

閉会時に朱鐵吉 NIC 理事長が「これからも国際交流をさらに強め、特に SNW の皆様の PA の経験、一般民衆へ原子力知識提供の仕方、また原子力と関連する経済、安全、環境、核廃棄物、放射線、原子力発電所の運営などの情報提供も我々が学ぶ所でもあります。」と挨拶されたが、外交辞令だけではないものがあつた。

単に NIC と SNW という小さな団体同士の交流を超えて、日本と台湾の原子力関係者同士で忌憚のない情報交換、意見交換、そして人的交流イベントとなってきた。次回は今年、日本で SNW の学生との対話会に体験参加していただくことを中心に交流したいと考えている。

(2011年 1月31日 記)



## 大学における原子力基礎研究「複合原子力科学」の発展に向けて

### 公開シンポジウム「原子力・放射線の有効利用に向けた先導的研究の推進」

2010年11月19日(日本学術会議講堂, 東京)

本シンポジウムは、平成22年3月に日本学術会議より公表された提言「学術の大型施設計画・大規模研究計画—企画・推進策の在り方とマスタープランの作成について—」に原子力・放射線関係の研究計画がリストアップされたことを受けて企画され、日本学術会議総合工学委員会、同エネルギーと科学技術に関する分科会および京都大学原子炉実験所共催で開催された。社会からの期待にも応えて、特に大学の研究者を中心に推進されている研究計画の意義と進め方、国内外連携のあり方等について、関連分野の研究者による意見交換を行い、計画の更なる推進を図ることを目的としたものであり、シンポジウムの参加者は、総勢181名に達した。

マスタープランにリストアップされた研究計画「複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進」の目的は、「研究炉・加速器を用いる共同利用・共同研究を軸に、複合的な原子力科学の発展と有効利用に向けた先導的研究を推進し、その拠点形成する。」ことであり、研究炉・加速器を利用して行う大学の研究者らによる多様な共同利用・共同研究を軸に、加速器駆動システム(ADS)や中性子捕捉療法(BNCT)などの先導的な研究を推進しようというものである。

シンポジウムは京都大学原子炉実験所の森山裕丈所長の挨拶に始まり、続いて日本学術会議総合工学委員会の矢川元基委員長の挨拶で、シンポジウム開催の背景として総合工学委員会での議論の進め方が紹介されるとともに、原子力教育・研究における現場の高揚への期待が述べられた。また、来賓としての文部科学省研究振興局学術機関課の森田正信課長の挨拶では、原子力・放射線関係の研究の重要性について認識が高まる中でのシンポジウムということで、その成果への期待が示された。

原子力基礎科学分野のセッションでは、大学の現場における原子力研究の意義とその状況について説明があり、研究のインフラとそれを維持・発展させることの重要性が強調された。また新たな研究の動向として国内外のADS研究の現状と計画が紹介され、その進展への期待が示された。

粒子線(特に中性子)を用いた物質科学分野からは、本質的に多様な物質科学に対し、それに応じた様々な中性子源を総合的に利用する必要がある、それぞれの役割を

果たすことが重要であること、そしてその具体例として、京都大学原子炉実験所での中性子利用研究の現状と計画が紹介された。

また放射線生命医科学分野では、特に放射線医療の将来に向けて臨床を見据えた基礎研究の充実と診断・治療・防護の連携・融合の必要性が議論されるとともに、研究炉(KUR)と陽子加速器を用いたBNCT研究の最新の状況と計画が紹介された。

続いて、これらの研究に必要な施設・設備については、施設の規模と役割が議論され、最先端研究を行う大型施設に対して、中・小型施設にも萌芽的研究や教育等において重要な役割があることが強調された。また国内の研究炉については、その利用を進めるためにも、安全規制上の課題、高経年化と維持費の課題、燃料に係る課題、および次世代研究炉の計画に着実に対応する必要があることが示され、加速器については、利用の現状とともに原子力分野の研究への期待が示された。

さらに近年、特に重要視されている人材育成については、産業界からの原子力人材育成への期待として、我が国の原子力政策と人材育成への取組み、原子力人材育成ネットワークの活動方針が説明され、大学における原子力教育研究の状況と取組みが紹介された。また社会連携については、京都大学原子炉実験所の地元自治体の熊取町長から、安全確保と住民の理解増進への努力を継続して地域社会の誇りとなる研究拠点へと発展することに大きな期待が示され、地域社会からの期待を示すものとして印象的であった。

総合討論では、研究の重要性だけではなく社会的課題の解決に資するという視点や国際協力の強化が重要であること、原子力・放射線、特にRI利用の分野において研究環境を整え、人材育成を着実に進めなければならないことなどの意見に続いて、原子力産業の基盤としての技術者の育成や大学院、特に博士課程教育の重要性に関する意見交換が熱心に行われ、盛会裏に終了した。

なお、講演資料等は京都大学原子炉実験所のレポートとしてまとめ、計画の推進に資する予定である。

(京都大学原子炉実験所・川端祐司、  
2011年1月28日記)