

巻頭言

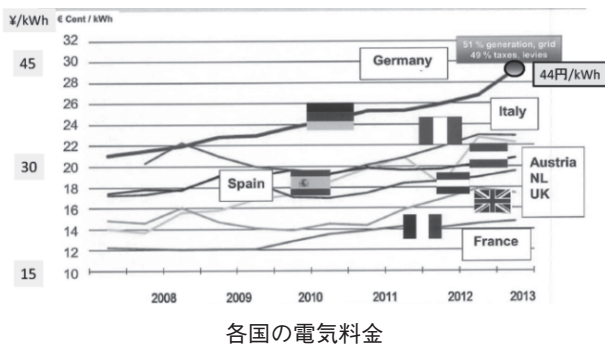
- 1 なぜ確率論的リスク評価 (PRA) は有益なのか J. アポストラキス

時論

- 3 被爆 70 年の年に思う原子力平和利用
核兵器と原発にどう向き合うか。これからの原子力平和利用をどうするか。 坂田東一

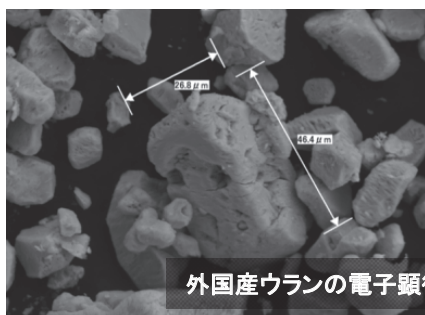
解説

- 21 ドイツの電力事情は他山の石か？
先人に学んで日本の将来を間違いないものに
再生可能エネルギー比率を増加させたドイツでは発電会社の経営が悪化し、家庭用電気料金は世界最高となっている。 金子祥三



解説

- 31 核セキュリティのための核鑑識技術の動向と最近の成果
原子力機構は不法行為の現場から押収された核物質などを分析して、その属性を割り出す核鑑識の技術開発を進めてきた。 木村祥紀, 篠原伸夫, 大久保綾子



外国産ウランの電子顕微鏡写真

時論

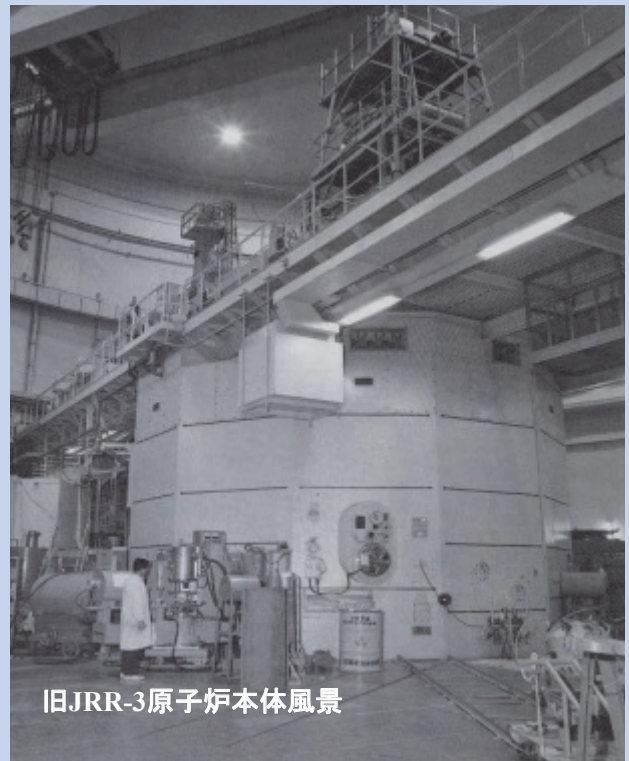
- 5 いつか来た道 !?
現在の原子力規制委員会の活動は、与えられた環境の中では最善を尽くしていると評価できる。 根井寿規
- 7 福島原子力事故の経験から一牛ふんの汚染を例に基準値の課題を考える
厳しすぎる基準は、時として生産者側に過剰な影響を与える可能性がある。 白井 真

解説 「匠」たちの足跡 8

- 15 研究用原子炉の歴史を顧みて (下)
国産技術育成に貢献した JRR-3 と遮蔽研究等を目指した JRR-4

国産技術の育成に貢献し、その後抜本的な計画に基づく改造で高性能を達成した JRR-3 と、遮蔽研究等を目的とし炉心のチェレンコフ光を見ることが出来る JRR-4 について紹介する。

飯島 勉, 宮坂靖彦, 白井英次



旧JRR-3原子炉本体風景

解説シリーズ 意思決定プロセスとしてのリスク コミュニケーション（4）

46 エネルギー・原子力のリスク問題

リスクの概念、定式化と意思決定、エネルギーシステムを対象にわが国が直面しているリスクについて解説する。その上で原子力をめぐるリスク・コミュニケーションのあり方について考察する。 内山洋司

解説シリーズ 原子力安全のための 耐津波工学の体系化（7/ 最終回）

51 耐津波工学の課題と展望

本シリーズではこれまで、地震・津波に対する原子力安全の総合技術体系を解説してきた。最終回の今回は、「原子力安全の耐津波工学」の今後の課題と展望を論じる。 亀田弘行, 他

解説

26 いまこそ日本はインドとの原子力協力を 推進せよ～日本原子力学会会員のための 原子力外交の基礎知識

インドの原子力開発をめぐる情勢と、我が国が果たすべき役割について述べる。 金子熊夫

36 国産安全解析コードの現状と課題 —我が国の安全規制への貢献を目指して

我が国では放射線工学分野の安全審査において古い米国産解析コードを利用しつづけている状況にある。最新の知見を取り込んだ国産解析コードが我が国の安全規制や現場で広く利用されるためには、どうすべきか。 須山賢也, 平尾好弘, 坂本浩紀

41 原子力損害賠償制度再構築への視点 東京電力福島原発事故における緊急レ ジームの検討（第1回）

日本の原子力損害賠償制度を、福島発電所事故における緊急レジームと、普遍的かつ恒久的制度の視点から検討する。今回は前者の視点から、従来の原賠法を二層化する形で原子力損害賠償支援機構法が制定されたことを示す。 遠藤典子

会議報告

56 第12回日韓 PSA ワークショップに参 加して

成宮祥介

9 NEWS

- 川内 2号機が運転再開
- 楢葉遠隔技術開発センターが開所
- 政府、使用済み燃料対策強化へ
- 放射線に関する知識レベルが低下
- 海外ニュース



約4年ぶりに発電を再開した川内原子力発電所2号機
(右奥が2号機, 九州電力提供, p. 9に関連記事)



廃炉の技術開発を進める楢葉遠隔技術開発センターの
研究管理棟が完成 (原子力機構提供, p. 9に関連記事)

理事会だより

60 秋の大会 理事会セッションの報告

57 Letters

「LNT再考 放射線の生体影響を考える」に大きな期待を寄せる 牧 英夫, 川上博人

日米原子力協定に関する私見 豊田正敏

58 From Editors

59 新刊紹介

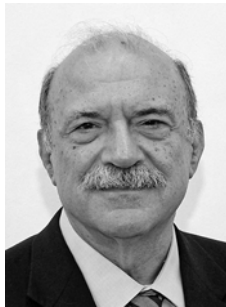
佐田 務

61 会報 原子力関係会議案内, 寄贈本一覧, 英文論文誌 (Vol.52, No.12) 目次, 和文論文誌 (Vol.14, No.4) 目次, 主要会務, 編集後記, 編集関係者一覧
後付 総目次・著者索引 (Vol.57, Nos.1~12)

学会誌に関するご意見・ご要望は、学会誌ホームページの「目安箱」
(<https://ssl.aesj.net/publish/meyasubako>) にお寄せください。

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

なぜ確率論的リスク評価(PRA)は有益なのか



電力中央研究所原子力リスク研究センター所長
 ジョージ・アポストラキス (George Apostolakis)
 カリフォルニア工科大学 Ph.D.(工学・応用数学)。
 カリフォルニア大学教授, マサチューセッツ工科大学
 大学教授, 米国原子力規制委員会委員などを経て,
 2014年から現職

福島第一原子力発電所の事故を受けて、日本では原子力の規制プロセスが根本的に再構築された。そして、従来の「決定論的」手法に基づいた多くの新規制基準が制定された。これは驚くことではない。1979年のスリーマイル島事故への米国原子力規制委員会(USNRC)の対応からも分かる通り、これは原子力事故後の常である。ここで「決定論的」と書いたのは、従来の手法に決定論的な要素はなくこの言葉では正しく表されていないことを強調するためである。「決定論的」規制は、限られた数の事故の組み合わせを想定した技術評価結果に基づく技術者の判断によっている。

一方PRAでは、何千もの起こり得る事故のシーケンスを特定し、その確率を統計的方法、過去の経験、そして技術者の判断を用いて導き出す。この手法の重要な結果の一つは、炉心損傷頻度(CDF)などの包括的なプラント安全性の尺度である。この尺度は安全性を分かりやすく測るものであり、達成された安全性が許容できるレベルかどうかの判断、すなわち「どれだけ安全ならば十分に安全なのか」という疑問への回答に活用できる。原子力関係者間、さらには公衆とのコミュニケーションツールとしても役立つ。「決定論的」手法では規制基準を満たせば安全であるとするが、そもそも規制基準を公衆が理解することは難しい。包括的な尺度を用いることは、安全に絶対はないというメッセージを伝えることにもなる。原子力発電所の稼働期間中には、設計や運転方法を変更する必要が生じる。CDF等の尺度を用いればそれらの影響を評価し有効性を見極めることができる。福島第一原子力発電所の事故後に日本の原子力発電所で行われている多くの防護策はこの好例である。安全性が向上したことに疑いはないが、どの程度向上したかを知りたいと思う。

米国における(「決定論的」規制基準とリスクの洞察に基づく)リスク情報を活用した意思決定の導入経緯は参考になる。USNRCは、1975年に実施したPRAで特定されたギャップを埋めるべく、1975年から1990年間に全電源喪失に関する規定制定など多くの重要な規制改善を行った。そして1990年代にいくつかの規制基準にかかわる安全性評価に使えるまでPRAが成熟したと判断した。最も成功したこの判断の適用例は、事業者によるサイト固有のPRAに基づいたリスク情報を活用した供用期間中配管検査であり、リスク低減と作業員の被ばく線量低減だけでなくコストの低減をもたらした。多くの人々は1990年代以降の動きだけを見てPRAを規制緩和のためのものと誤解しているが、そうではない。PRAは新旧の規制基準の重要性をリスクの観点から評価するために使用される。その目的は合理的な意思決定である。

冒頭に述べたとおり、日本の規制は現在のところ「決定論的」である。今後、どうすればわれわれ、すなわち産業界、規制当局、そして社会が、意思決定プロセスにリスク情報の活用を導入していくことができるのか。私は、まだ数年はかかると考えている。まず、サイト固有のPRAを国際的な先事例(International state of the practice)に沿ったものにしていかねばならない。PRAが実機のモデルとして優れたものだという確信を持つことができれば、リスク情報を活用した意思決定プロセスの適用を開始し、段階的に拡大していくことができるであろう。

(2015年10月30日記)

Why is Probabilistic Risk Assessment useful?

George Apostolakis
 Head, Nuclear Risk Research Center
 Central Research Institute of Electric Power Industry

After the Fukushima Daiichi accident, the Japanese regulatory process was fundamentally restructured. A large number of new regulatory requirements was issued based on the traditional “deterministic” approach. This is not surprising; it always happens after a nuclear accident, as attested to by the reaction of the United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC) to the Three Mile Island accident.

I have placed the word deterministic within quotation marks to emphasize that it is a misnomer; there is nothing deterministic about it. “Deterministic” regulations are derived from a limited set of postulated accidents and are based on the judgment of engineers informed by technical assessments.

In contrast to this approach, probabilistic risk assessment (PRA) identifies thousands of potential accident sequences. The probabilities of these accident sequences are derived using statistical methods, past experience, and, again, judgment.

An important result of the PRA approach is that it produces global (overall) metrics (indicators) of plant safety, such as the core damage frequency (CDF). This provides an easy-to-understand measure of the safety level and can be used in deciding whether this level is acceptable, i.e., it helps answer the question “how safe is safe enough?” It serves as a communication tool in the nuclear community as well as the public. Whereas the “deterministic” approach declares a plant as being safe when it meets the regulations, these regulations are very difficult for the general public to understand. Using overall indicators also sends the message that there is no absolute safety.

During the life of a nuclear plant, it is necessary to make design and operational changes. The impact of these changes on the global metrics, such as the CDF, can be assessed and their effectiveness evaluated. A good

example is the large number of protective measures taken at Japanese plants after the Fukushima accident. While there is little doubt that they have improved safety, we would like to know by how much.

The history of the evolution of risk-informed decision making (based on both “deterministic” requirements and risk insights) in the U.S. is instructive. In the period 1975–1990, there were many regulatory improvements to fill the gaps in the regulations that were identified by the government-sponsored PRA of 1975. Major rules were promulgated such as the Station Blackout rule. Then, in the 1990s, the USNRC decided that PRA had matured enough to allow the evaluation of the safety value of some regulatory requirements. The most successful application of this decision is the risk-informed in-service inspection of piping (RI-ISI) using utilities’ site-specific PRAs. It resulted in reductions in not only risk and radiation doses to workers but also cost.

It appears that many people have formed the wrong impression that PRA is used to relax regulations, judging from what has happened since 1990s. This is not true. PRAs are used to evaluate the risk significance of new and old requirements. The goal is to make rational decisions.

As I said above, the regulations in Japan are currently “deterministic.” The question is, then, how can we, the industry, the regulators and society, introduce the utilization of risk information in our decision-making process. My view is that it will take several years. Site-specific PRAs must be developed according to the international state of the practice. As confidence is gained that these PRAs are good models of the as-built and as-operated plants, we can start implementing risk-informed decision making processes and expand their application step by step.



被爆 70 年の年に思う原子力平和利用



坂田 東一（さかた・とういち）

日本原子力研究開発機構特別顧問
日本宇宙フォーラム理事長
文部科学省事務次官，駐ウクライナ特命全権
大使などを経て，日本原子力研究開発機構特
別顧問，文部科学省科学技術・学術政策研究
所シニア・フェローなど

1. より安全な世界を創るために：核兵器と原発にどう向き合うか

（核兵器の廃絶を目指す）

広島と長崎に原爆が投下されて今年が 70 年の節目の年に当たる。戦争の結果，我が国への原爆投下が行われた。とはいえ，その被害の甚大さや残虐さからくる非人道性を考えれば，世界で唯一の被爆国たる我が国こそが核兵器廃絶に向けて，世界に働きかける道義的正当性を持っている。また，それは人類への使命であり責務だと思ふ。

今年の広島と長崎の平和祈念式典で両市長は，2020 年までの核兵器廃絶を目指すことや核兵器禁止条約の交渉開始に向けた世界的な流れを加速させるべきだなどと訴えた。広島市長は，核兵器を「非人道の極み」「絶対悪」とも非難した。安倍総理も，「我が国は，現実的で実践的な取り組みを着実に積み重ねていくことにより，『核兵器のない世界』を実現する重要な使命があります」とその決意を強調した。

振り返ればオバマ大統領は 2009 年 4 月，プラハで「核兵器のない世界を目指す」と世界に向けて演説した。しかし，去る 5 月の NPT 再検討会議では合意文書はまとまらなかった。また，プーチン大統領は，ウクライナ紛争に伴い，昨年 3 月下旬のロシアによるクリミアの併合時に核兵器を使える準備をしていたと述べるなど，欧米に対する核による威嚇を隠そうとしない。

このような現状では核兵器廃絶への道はなお遠い。2010 年発効の条約で使用，製造等が禁止されたクラスター爆弾と比べ，核兵器の非人道性はそれをはるかに上回る。核兵器禁止条約が締結されるべきとの論には正当な根拠がある。我が国は，世界の国々と協力し，米国やロシア等核兵器国がもっと真剣に NPT 上の核軍縮の義務を果たすよう堂々と粘り強く働きかけ，是非『核兵器のない世界』の実現に最善を尽くすべきだと思ふ。

（福島原発事故の教訓を活かす）

では，4 年前に福島第一原発事故を起こした我が国は，世界に向けて何をすべきだろうか。福島事故は我が国は

もとより，世界を震撼させた。原子力の切っけはいけないうアキレス腱の一つ『安全』が大きく壊れてしまった。

福島事故により，家，仕事，生活，そして故郷を失った原発周辺地域の住民が多数発生した。今でも 10 万人を超える人達が避難している。福島の復旧・復興が我が国の原発再生のための原点であることは論を俟たない。福島事故の結果，日本は核の軍事，平和両面の利用で甚大な放射能災害を受けた歴史上世界初の国家になってしまった。およそ想像できなかった誠に残念なことである。

この教訓を如何に活かすべきだろうか。福島事故で世界を不安に陥れ，一方で世界から支援を受けてきた立場として，世界の原子力発電国に二度と福島事故のような事故を起こさないように我々の経験と教訓を役立ててもらおうことしかない。特に過酷事故の原因と対策，防災・緊急時避難計画の策定，損害賠償のあり方，事故炉の廃炉対策や汚染水処理対策，被災者の健康管理，地域復旧・復興対策などで我が国が何を学び，どう取り組んでいるかは是非知ってもらいたいことだ。従って，世界にオープンでありたい。そこには人類が初めて経験し，繰り返してはならない教訓が詰まっている。それにより，世界の原発の安全性が向上し，住民が原子力をより安心して受け入れられる社会を作れるように貢献することができれば，我が国の責任の一端を果たしたことになると思ふ。

（我が国の歴史的使命を果たす）

軍事『核』と平和『核』の双方から惨禍を受けた歴史から，我が国ほど『核』に真剣に向き合わなければならぬ国はない。我が国は核兵器廃絶へのイニシアティブの発揮と原発の徹底した安全対策，事故防止対策への取り組みを通じて，『より安全な世界を創る』道義的，歴史的使命を与えられたと考えられる。この機会に，原子力基本法第二条の基本方針にある，「平和」，「安全」，「国際協力」を特に想起すべきだと思ふ。

2. これからの原子力平和利用をどうするか（新しい時代の原子力発電に取り組む）

去る8月11日に九電川内一号機が再稼働に入った。これによって我が国の原発は、2013年9月の大飯原発4号機の停止以来、約2年ぶりに原発ゼロが解消した。

政府は、原子力規制委員会の規制基準に合格した原発については、再稼働させるとの方針である。今後、徐々に原発は再稼働されていくものとみられる。また、政府は先般、2030年のエネルギーミックスを決定し、この中で原発は電力供給の20～22%とされた。福島事故以前の原発依存度を下げるなど様々な要素を勘案して決定された数字である。注意すべきは単に原発依存度の数字が下がっただけでなく、福島事故後は原発を巡って大きな環境条件の変化があることだ。例えば、

- ①原発運転停止で電気料金は相当上昇したが、夏場でも全く電力不足は生じていない。夏ピーク時の電力需要は2014年が2010年より約14%減少した。
- ②この背景に国民の節電意識、産業界の省エネルギー姿勢が浸透していることがある。
- ③原発反対の世論は支持よりもなお圧倒的に多い。
- ④原発の新規建設よりも廃炉が普通になる時代が到来する。
- ⑤原油価格の低下、連動して天然ガス価格の低下が続いている。
- ⑥2016年度から電力小売り全面自由化が始まり、2020年度には発送電分離が実施される。従って、消費者が電力会社を選ぶ時代になり、競争が激しくなる。
- ⑦原子力規制体制の抜本的な変更により、原子力安全や規制が格段に強化され、安全確保のための措置や経費が増大する。

などである。つまり、福島原発事故後の我が国の原子力平和利用は、事故以前とは異なる新たな環境、“新たな時代”に適応しなければならない。従って、今後の原発の再稼働や運転にあたっては、福島事故以前の状態に戻すとの発想に立つのではなく、“新たな時代”に向き合い、国民の原発への信頼が回復できるように注意深い取り組みが求められる。事業者は福島事故以前に比べ、時間もエネルギーもコストもさらにかける覚悟が必要だろう。

(柔軟さ明確さを持つ核燃料サイクル政策を実行する)

核燃料サイクル政策は、①原発から排出される使用済み燃料(SF)の管理・貯蔵、②SFの再処理によるプルトニウム(Pu)の回収、③回収Puの利用、④高レベル廃棄物の処分などの一連の政策であり、結局は原発政策と一体で考えなければならないものである。

我が国は原子力平和利用を始めた当初から、原子力エネルギーの持続性・安全保障の観点から、再処理による回収Puの利用を基本とする核燃料サイクル政策を堅持してきた。福島事故後の新たな状況の中で、この政策をどうするか、我が国の重要な課題である。特に、2018年7月には現行の日米原子力協定の30年の有効期限を迎える。同協定が、包括同意方式により我が国での広範な

Pu平和利用を認めたものだけに、その延長を確保するためにも基礎となる説得力のある核燃料サイクル政策を立案しなければならない。

残念ながらこの20年間我が国の核燃料サイクル政策は順調に進んできたとは言えない。六ヶ所再処理工場は、20回を越える運転開始時期の延期が行われており、その技術力、品質保証体制、プロジェクト・マネジメントなどは大丈夫かとの懸念が残る。プルサーマルもほとんど計画通りに進んでおらず、「もんじゅ」も未だ運転の見通しが立たない。更に欧州には再処理により回収されたPuが約36トン(2014年9月現在)も保管されている。このような我が国核燃料サイクルの停滞は、1988年7月の日米原子力協定発効時には予想すらできなかったことである。原子力コミュニティとして反省すべきことのほうが圧倒的に多いのではないだろうか。

当面必要なことは、欧州に保管されているPu使用(消費)計画の立案である。これは再稼働できる原発の見通しとそこでのプルサーマル実施計画と関連付ける必要がある。それができないのであれば、Pu放棄の選択肢が現実味を帯びてくる。また、電力自由化等の動きの中で、今後の六ヶ所再処理工場への国の関わりは国民の理解が得られるものでなければならない。同工場の稼働時期と生産計画もプルサーマルを行う原発再稼働のペースに影響を受ける可能性がある。生産が消費を大きく上回りPuを蓄積していくことは核セキュリティ確保の観点で望ましいことではないからだ。原発再稼働自体も、上述したように“新たな時代”への対応が必要であり、目標通りに進むかどうかはまだわからない。その意味では、我が国の核燃料サイクル政策は柔軟さを持ちつつ、分かりやすいものを作り、実行していけるかが課題となる。そして何よりも、政府および事業者の実行のための腹を据えた強い意志が必要である。

SFの貯蔵・管理をどうするか、高レベル廃棄物の処分地をどのように確保するかも我が国が直面する差し迫った重要な課題であり、政府と事業者の一体の取り組みが必要不可欠である。この問題は、別途論じたいと思う。

(困難を乗り越える)

福島原発事故及びその影響から、我が国の原子力平和利用60年の歴史の中で最も困難な時期を迎えている。事故現場の処理、即ち、地域の復旧・復興だけでなく、廃炉対策など、想像もできなかった厳しい複雑な作業が続く。“新たな時代”の原発再稼働のための作業も膨大だ。しかし、今日、エネルギーの“多様性”を確保することは国家の存立及び社会や生活の安定に不可欠である。その意味で技術エネルギーたる原子力が我が国国民から今一度一定の役割を与えられることはやはり重要なことだと思う。そのために、日々奮闘されている方々のご活躍を心からお祈りしたい。(2015年8月20日記)



いつか来た道!?



根井 寿規 (ねい・ひさのり)

政策研究大学院大学 教授
 東京大学理学部卒。原子力安全・保安院審議官、石油天然ガス・金属鉱物資源機構理事を経て、2014年より現職。

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故から4年半以上の年月が経過した。今でも、約11万人の方々が避難生活を余儀なくされている。除染作業、廃炉作業に長期を要するなど、原子力事故が大きな爪痕を残すことを肝に銘じておく必要があることは言うまでもない。

2011年3月11日(金)14時46分の地震発生、15時42分の東京電力からの突然の全交流電源喪失(SBO)連絡の衝撃など忘れることのできない経験と、事故を防ぐことができなかったのかという思いが脳裏を離れたことはない。

2012年春に原子力規制業務から離れ、シェール開発など資源開発支援業務に2年ほど携わった。大学に移り、原子力を含めたエネルギー政策の教育、調査研究をはじめ1年ほどになる。

去る8月11日に九州電力(株)川内原子力発電所1号機が新規制基準に適合した最初の原子炉として再起動した。現場を中心とした関係者のご尽力に敬意を表したい。

再稼働まで、原子力規制委員会の発足(2012年9月)から2年11ヶ月、新規制基準制定(2013年7月)から2年1ヶ月を経過している。

原子力規制委員会の活動については、推進の立場から、審査期間、審査方法、事業者や自治体とのコミュニケーションなどについて、様々な批判がなされている。

こうした論調を2年ぶりに見聞きすることになり、過去の自らの経験と照らし合わせて、あの事故を経験しても、何も変わっていないのではないかと暗澹たる気持ちにさせられる。

原子力規制委員会の活動については、与えられた環境の中で最大限の対応をしていると評価している。

川内原子力発電所1号機の再稼働までの期間と、近年の原子力発電所の事故トラブル等による停止から再稼働までの期間に大きな差はないのが実態である。

具体的には、2007年の中越沖地震では最短2年1ヶ月、志賀原子力発電所1号機の臨界事故隠しで2年1ヶ月、同2号機のタービン破損事故で1年10ヶ月を要している。2004年の関西電力美浜発電所3号機二次系破損

事故で2年5ヶ月、2002年の東京電力福島第一原子力発電所1号機の格納容器漏えい率検査データ不正で2年8ヶ月など多くの事案で2年から3年を要している。

炉心溶融の過酷事故とその後のシビアアクシデント規制追加など大幅な審査基準の変更を考慮すれば、規制当局の業務としては最大限の対応と言ってよい。

審査期間などへの批判として、原子力規制委員会の体制強化が求められる一方で、事業者側のデータ等の準備不足が報じられた際にも、過去の記憶を呼び戻された。

定期検査に偏重している検査制度の変更を2005年に企図し、3年ほどかけて制度変更を行った。その作業の間に、「発電設備の総点検」という過去の不祥事の洗い出し、中越沖地震などの対応にも追われた。

制度変更には、国際的にも、また、他業界でも既に導入されている信頼性重視保全や状態監視保全、オンラインメンテナンスなどの導入が不可欠であった。こうした制度変更については業界からも強い要望があり、困難な情勢の中でも安全向上のための制度変更の実現に信念を持って取り組んだ。その際にも、制度改正早期実現要望の一方で、現場での必要なデータ取得作業は進まないという経営と現場の分離に困惑したことがある。同様の状況が、新規制基準への対応でも見られていると感じる。

原子力規制委員会のこれまでの活動については、規制上の安全目標の位置付けの明確化、自らの主体的な技術判断に依拠する姿勢、推進側及び自治体との適切な距離感などは、過去の教訓を踏まえた対応と評価している。

こうした原子力規制委員会の活動に対して、原子力利用に関する視点の追加や専門審査会の活用など、事故を契機に見直された仕組みを元に戻す方向の議論も提起されていることを知り、驚きを禁じ得ない。

現在の原子力規制委員会の活動は、与えられた環境の中では最善を尽くしていると評価している。一方で、現在の活動が新規制基準への適合性審査、いわゆる再稼働のための作業に集中し過ぎていることを懸念している。

この点は、旧体制下で、耐震指針改訂後のバックチェックが中越沖地震等での再稼働対応などに追われた

結果、津波の評価に至らなかった可能性を想起させる。

国際的に議論が進みつつある大規模損壊対応や他電源とのコスト競争に必要な新技術の標準化などの取組みにも遅れをとってはならない。

こうした取組みを進めるためにも、福島第一原子力発電所事故から5年近くが経過し、再稼動審査も落ち着きつつある中で、平時の対応への移行も視野に入れる時期に来ていると考える。

加えて、原子力施設の安全確保には、施設の所有者である事業者と規制当局が必要な情報交換を継続的に実施することが重要であることは言うまでもない。そのためには、核セキュリティなど一部を除いて、情報公開を徹底しつつ、コミュニケーションを積極的に行えるよう環境が改善されていくことを期待している。

産業界による原子力リスク研究センターの設立と原子力規制委員会によるリスク情報活用の明確化などリスクを巡って議論できる共通の環境が整いつつあることを歓迎したい。

原子力に対する世論は引き続き厳しいままである。

過去を反省し、新たな仕組みを関係者が取り入れることにより、あのような悲惨な事故を二度と起こさないという決意を改めて社会に示す必要がある。

昨年来、米国の非原子力分野のエネルギー専門家の会合で福島事故後の取組みについて話をする機会を複数回得た。いずれの場でも、事故分析や新規規制基準による対応がしっかりしたものであることが初めて理解できたとの反応を石油メジャーの役員などからいただいた。

原子力以外のエネルギー分野の専門家にさえ実情が伝わっていないことを痛感させられた。

現在、シェール革命の恩恵により原油及び天然ガス価格の低迷が続いている。長期に続くことのないこの環境を、原子力施設の安全な利用について、改めて落ち着いて考える好機と捉えたい。

以前に、原子力について、以下のように記したことがある。

「原子力エネルギー利用技術は、リスクはあるが、極めて有用であることから、人類の叡智を集めて管理すべき貴重な知的財産であるという想いを新たに、これに携わるものの覚悟が問われていると感じている。(中略)原子力技術を利用する上でなされている社会との約束ごとの一つ一つを確実に実施していくことで、その期待に応えることが人類最高の知的財産である原子力に携わる機会を与えられたものの努めである。その誇りを大事にしていきたい。」

原子力事故の経験を経て、改めて、国際エネルギー情勢全体を考え、その有用性を再認識している。

安全確保を大前提に、天然ガス価格が比較的安価な欧米では他電源とのコスト競争など原子力推進には新たな課題も提起されている。その意味で、国際的には原子力は新たな挑戦の時を迎えており、これに携わるものの覚悟が改めて問われている。

わが国では、「原発依存度については・・・可能な限り低減させる」(エネルギー基本計画)とされているが、2030年の電源構成の20～22%程度(長期エネルギー需給見通し)が引き続き見込まれている。

この実現のためには、米国や仏と同様に安全な利用を推進するための司令塔の果たすべき役割は大きいものと考えている。米国エネルギー省(DOE)やフランス原子力庁(CEA)と同様の機関の活動と相まって、規制部局の存在は相対化されるものである。

かつての原子力長期計画や原子力政策大綱のように、わが国の原子力利用の将来像と、その実施のための課題と取組みを明確化する仕組みの再構築を求めたい。

いつか来た道を繰り返さないためにも。

(2015年9月24日記)



福島原子力事故の経験から

『牛ふんの汚染を例に基準値の課題を考える』



白井 真 (しらい・まこと)

東京電力(株) 監査特命役員
昭和60年京都大学大学院工学研究科衛生工学専攻修了、東京電力(株)入社。
東日本大震災後、福島原子力被災者支援対策本部、福島復興本社企画総務部部長代理、環境部部長を歴任。平成27年6月より現職。

1. はじめに

今から30年以上も前、個人的な話で恐縮であるが、大学の研究で、わが国におけるフォールアウトストロンチウム90の環境中・社会中での移行と人体影響(骨への蓄積)について、シミュレーションによる解析を行っていた。

1950年代から60年代の前半までに、世界の各地で大気圏内核実験が行われたことにより、放射性物質が地球的規模で拡散し、わが国においては、特に冬季の日本海側での降水沈着による影響が支配的であったが、さらに米の流通という人の社会活動に伴う移行も含めた核種動態の分析を行った。

そして、東京電力に入社1年後の春、GW直前にチェルノブイリ事故が起こったのであるが、これは極めて特殊な事故であり、通常運転時の原子力発電所ではあり得ないものという認識であった。

それだけに、大量の放射性物質を環境中に放出するという事故がわが国で現実となったことは、あまりにショッキングなことであったが、同時に自分がその原因企業の社員であるということについては、学生時代からの経緯も含めて個人的にも運命的なものを感じるころがあり、事故後の事態の収束・影響の解消に向けた業務に、大きな使命感を感じつつ取り組んできた。

2. 事故後起こったこと

ところで、今回の事故後頻繁に目にするようになった汚染濃度マップは、放射性物質(セシウム)の大気中での拡散だけでなく、同時に起こった降水現象(主に雨)によりもたらされた結果である。

「雨に濡れること=汚染」という図式は、地表にある全ての物体に起こるという意味で直感的にも理解しやすいのであるが、放射線汚染は目に見えない、すなわち測定してみないと分からないということが、社会的には、不安感をいっそう大きくした。

放射性物質あるいは放射線についての特性や危険性を

感覚的に理解している技術者など、社会的には皆無に等しい中ではあったが、様々な測定が行われ、次第に放射性汚染の実態が明らかにされると同時に、政策的な対応策が講じられた。

2-1. 稲わら～牛ふんの汚染

稲わらは、肥料や家畜(牛)の飼料として活用されるが、雪解け後の時期に、地表に広げて乾燥させる作業等もあり、そこにフォールアウト汚染が起こった結果、稲わらは土壌などと比べて比重が小さいため、単位質量当たりの濃度(Bq/kg)で表すと数値上は高濃度の汚染となる。

また農家においては、乾燥した大量の稲わらを集積、ロールに巻き取りして保管するため、保管倉庫における放射性物質の総量が大きくなることにより、近傍の空間線量が相当程度高くなるケースもあった。

一方、放射性汚染が起こると牛乳の摂取がクリティカルパスの一つになるという知見は、チェルノブイリの経験とも重なって、そこそこ認識されていたからか、比較的早い時期に稲わらの流通には規制がかかった。

しかし、広域的な流通は避けられたとしても、福島県内においては、汚染稲わらが飼料として活用され続けた結果、牛乳・牛肉の汚染が発生し、さらにはその後も牛ふんの汚染がさらなる被害の拡大をもたらすこととなった。

汚染物質がセシウムであり、生体内で濃縮される以上に代謝による排出が著しく、その結果、生物学的半減期が比較的短いという特徴により、汚染の影響は牛肉よりも、牛ふんに長く残ることとなった。

実際、代謝により排出される効果が期待できることから、出荷の対象とならない年齢の肉牛の飼料としてのセシウム濃度は別管理されたということもあり、それも汚染牛ふんの量を増やした一因と考えられる。

2-2. 牛ふんの汚染と処理対策

原子力事故の前、大半の牛ふんは耕種農家において、

堆肥として有効利用されてきたが、事故後の汚染牛ふんは、その流通がストップすることとなる。

後に、農水省から堆肥については400Bq/kgという暫定基準が示されるが、基準値以下の堆肥であっても使用したくないという風評影響も含めて、牛ふんの有効利用の道は非常に狭くなってしまった。(特に、肥料は牛ふんでなければならないというわけではないことの影響は大きい。)

牛ふんを堆肥化しても流通しなくなった結果、日々発生する牛ふんの置き場の確保にすら困窮するようになり、牛舎にまで牛ふんが滞留し、牛が自らのふんに埋もれてしまい、自由に動けず弱って病気になったり、死んでしまうという悲惨な状況が多発した。

この状況を解消するためには、滞留する牛ふんを廃棄物として処理をする必要がある。

汚染廃棄物の処理については「放射性物質汚染対処特措法」により規定されているが、8000Bq/kg以下の廃棄物は通常の廃棄物として「廃棄物処理法」に基づき処理することとなる。いずれにしても、これまで資源として有効利用されてきた牛ふん(400Bq/kg以下の堆肥として有効利用可能なものも含めて)が一転して大量の廃棄物になってしまったのである。

3. 放射性物質汚染対策から見えてくる課題

稲わら、牛ふんを例にとり述べてきたが、今回経験した放射性汚染物対策の課題は大きく2つに整理されると考えている。

その一つは、各種基準値の意味するところの正確な理解がなされにくいことである。

事故後制定された基準値は、人の追加被ばく線量としての1mSv/年を根拠に計算されたものがほとんどである。

特に食品基準については、当初、暫定基準値が示されていたが、その後いくつかの前提を仮定して、世界的に比較しても非常に厳しい新たな基準値が制定されることとなった。(平成24年4月1日)

食品基準を参照して設定される各種の基準値もあることを考えると、食品基準の計算の際に仮定された安全性に関する前提条件は、その影響が大きかったと感じている。

食品は口に入れるものであるだけに、その基準が意味するところは一般社会において非常に理解されにくい。

実際に、基準値を超過した食品類に出荷制限がかかるなどの状況をみてしまうと、基準値を挟んで、それ以下

であれば安心、それ以上は危険、というようなとらえ方をされてしまっているのも仕方ない。

厳しい基準を設定することは、安全性の観点からは、一見正しいことと解されやすいが、結果的に福島(だけではないが)の生産者の方々が過剰な影響を被ることになったという、社会的な観点も見逃してはならないだろう。

その意味で、除染などの対策を講じることにより、長期的に達成すべき目標値とされている、人の追加被ばく線量1mSv/年を筆頭に、食品をはじめとする様々な基準値については、その正しい意味が十分に理解されているとは言えない状況にあることは残念である。

そして、もう一つの課題は、風評の問題である。

これは、上記のように「基準値の意味するところの正しい理解が不十分」であることから起こるところもあるが、多くは「人の感じ方」による問題でもあるので、その解決策は、非常に難しい。

仮に、ある原因による被ばくのリスクが小さいことを理解したとしても、リスクはさらに小さい方が良いという感覚は否定できないし、そのリスクを積極的に容認する必要がない(たとえば、牛ふん堆肥のように代替策がある)場合にはなおさらである。

そもそも、リスクの考え方自体を説明しようにも、それを受け入れてもらえない場面が多々あったことを考えると、風評という課題は、まさに人の気持ちの問題であるため、その解決策の決め手は技術的なところにはないのだ、とすら感じている。

4. おわりに

今回の原子力事故は、事故原因企業である東京電力はもちろんのこと、国、自治体、そして被害者の方々まで全ての関係者が、かつて経験したことのない事態に直面し、各々の立場で様々な課題解決に取り組んでいるところである。

今回、稲わらの汚染を例に問題点を洗い出し、その解決策について整理しようと考えてはみたものの、未だに課題の抽出にとどまり、決定的な解決策は見いだせないでいる。

しかし、発災直後に比べると、かなり冷静な議論・対処が行われるようになってきているのも事実である。

今後も、関係各所との連携、議論を通じて少しでも早く、あるべき姿を実現できるよう努めて参りたい。

(2015年8月31日記)



このコーナーは各機関および会員からの情報をもとに編集しています。お近くの編集委員(目次欄掲載)または編集委員会 hensyu@aesj.or.jp まで情報をお寄せ下さい。

川内 2 号機が運転再開

九州電力は 10 月 15 日、川内原子力発電所 2 号機(=写真右奥、九州電力提供)の原子炉を起動し、21 日には約 4 年ぶりに発電を再開した。福島第一原子力発電所事故後に作られた新しい規制基準にもとづく審査を経た再稼働としては、川内 1 号機に続く 2 基目となる。

同電力の瓜生道明社長は「引き続き緊張感をもって、安全確保を最優先に今後の工程を慎重に進めていくとともに、原子力発電所の自主的・継続的な安全性向上と積極的な情報公開と丁寧なコミュニケーション活動に努めていく」とのコメントを発表した。



(原子力学会誌編集委員会)

楢葉遠隔技術開発センターが開所

日本原子力研究開発機構が福島県楢葉町で建設を進めていた楢葉遠隔技術開発センターの研究管理棟が 10 月 19 日に完成し、原子力機構は一部運用を開始した。

同センターは東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置の技術開発のうち、遠隔操作機器・装置の開発や実証試験を行う施設。作業員訓練を行うための最新のバーチャルリアリティ(VR)システムを備えた研究管理棟と、廃止措置に向けた原子炉格納容器下部の漏えい箇所

の補修・止水の実証試験や遠隔操作機器(ロボット)の開発実証試験を行うための試験棟からなる。

VR システムでは作業員が、実際に 1F 施設に立ち入ったような体験をすることで、作業計画や手順の検討を行うことができる。(写真は楢葉遠隔技術開発センター、左が建設中の試験棟で右が研究管理棟、原子力機構提供)

(同)



政府、使用済み燃料対策強化へ

政府の高レベル放射性廃棄物に関する最終処分閣僚会議が 10 月 6 日に開かれ、(1)政府と事業者による協議会の設置、(2)事業者に対する「使用済み燃料対策推進計画」の策定の要請、(3)地域における使用済み燃料対策の強化(交付金制度の見直し)、(4)使用済み燃料対策に係

る理解の増進、(5)六ヶ所再処理工場やむつ中間貯蔵施設など核燃料サイクルに係る取組——を盛り込んだ「使用済み燃料対策に関するアクションプラン」を決定した。

エネルギー基本計画では、高レベル放射性廃棄物最終処分に向けた取組は長期間を要することから、原子力発

電利用に伴い発生し続ける使用済み燃料の貯蔵能力拡大を進めるため、「発電所の敷地内外を問わず、新たな地点の可能性を幅広く検討しながら、中間貯蔵施設や乾式貯蔵施設等の建設・活用を促進する」とされている。

これを踏まえ「使用済み燃料対策推進計画」では使用済み燃料対策について、政府がこれまで以上に積極的に関与しつつ事業者の取組を促すなど、安全確保を大前提として貯蔵能力の拡大に向けた取組強化を官民協力で推進

するとしている。また、六ヶ所再処理工場やむつ中間貯蔵施設のしゅん工についても、新規規制基準への適合性を確認した上で、地元の理解を得つつ着実に進めていく。

政府と事業者による協議会では、事業者が今後策定する「使用済み燃料対策推進計画」について、適切にフォローアップを行う。

(資料提供：原子力産業協会提供、以下同じ)

放射線に関する知識レベルが低下の傾向、消費者庁調査

消費者庁は9月30日、岩手、宮城、福島、茨城、埼玉、千葉、東京、神奈川、愛知、大阪、兵庫の11都府県の消費者を対象に実施した食品中の放射性物質に関する意識調査結果を発表した。8月11～17日に実施した今回の調査は、2013年2月の初回から数えて6回目で、インターネットを通じおよそ5,000人から回答を得た。

それによると放射線の種類、単位、「外部被ばく」や「内部被ばく」の意味など、放射線の基礎的な知識や人体影響についての理解を問う設問では、「知っている」との回答がほとんどの選択肢で減少。特に人体影響に関する知識では、「知っているものは特にない」との回答が、過去5回の調査を大幅に上回る35.2%に達していた。

低線量の放射線によるリスクの受け止め方に関しては、「一定のリスクを受け入れられる」と回答した人が減少、「基準値以内であっても小さなリスクでも受け入れられない」との回答が微増。「十分な情報がないためリスクを考えられない」と回答した人が過去5回の調査で最高の31.1%となった。

食品の購入に際しての意識では、産地を「気にする」または「どちらかといえば気にする」と回答した人は合わせ

てほぼ横ばいで67.1%、そのうち、食品中の放射性物質を気にするという人もほぼ横ばいで全体の21.5%だった。産地を気にする理由で最も多かったのは「品質(味)」で、次いで「価格」、「鮮度」、「放射性物質の含まれていない食品を買いたい」となった。初回調査では、「放射性物質の含まれていない食品を買いたい」が最も多い理由だった。

基準値や出荷制限に関する意識・理解では、「基準値以内であってもできるだけ放射性物質の含有量が低いものを食べたい」という人がやや減少し、一方で、「基準値はもっと厳しくするべきだ」と回答した人が増加した。また、「基準値を超える食品が確認された市町村では、同一品目の食品が出荷・流通・消費されないようにしている」ことを知っている人は減少し45.2%、「検査が行われていることを知らない」と回答した人は、過去5回の調査を大幅に上回る34.7%に達した。

さらに食品を購入する際に重視することについて尋ねると(複数回答可)、「価格」(63.8%)、「品質(味)」(61.1%)、「鮮度」(60.2%)の順に回答が多かった。

海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

【国際】

IAEA, 今後数十年間に世界の原発設備は「緩やかだが増加し続ける」と予測

国際原子力機関(IAEA)は9月8日、世界の原子力発電設備容量に関する長期的な見通しを分析した報告書「2050年までのエネルギー、電力、原子力発電予測」の2015年版を公表した。化石燃料の価格低下や世界経済

の停滞、および福島第一原子力発電所事故以降の傾向を反映して、開発ペースは緩やかであるものの、中国などを中心に今後数十年間は継続して拡大が見込まれるとの分析結果を提示している。

今年で35版目を数える同年次報告書は今年4月までの開発状況を考慮した内容となっており、「世界のエネルギー・ミックスにおいて原子力が長期的に重要な役割を果たすことは複数のファクターで示されている」と指摘。それらは、化石燃料価格の不安定さや原子力が温室効果ガス排出抑制に果たす役割、あるいはエネルギーの供給保証、開発途上国における人口と電力需要の増加で

あるとした。同報告書は2030年までの世界の原子力設備容量について、昨年版で7.7%~88%と予測していた増加率が2.4%~68%に留まると予測。保守的だが信憑性のある低ケース予測では2014年実績の設備容量3億7,620万kWが3億8,530万kWに増加する一方、現在の経済・電力需要の伸び率、特にアジア地域のものが続くことを前提とした高ケースでは6億3,180万kWに拡大するとした。数値に幅があるのは、各国のエネルギー政策や運転認可の更新、閉鎖、将来的な新設といった不確定要素によるものと説明している。同報告書の詳細は以下のとおり。

短期的には、天然ガスの低価格化や補助を受けた再生可能エネルギー源、世界的な財政危機が資本集約型プロジェクトである原子力発電の設備拡大を圧迫するファクターとなり、一部の原子力プラントの開発を一時的に遅らせることになる。また、福島第一事故を契機に実施されたストレス・テストの結果、安全要件が強化されたことや先進的な技術の開発も、そうした遅れの原因になるだろう。さらに、世界で現在運転中の原子炉438基のうち半数以上が30年以上稼働しており、将来的に多くの原子炉が閉鎖される可能性を考慮した。しかし、原子力には世界の低炭素エネルギー・ミックスにおける役割維持、あるいはその役割拡大の可能性があり、閉鎖した原子炉毎にリプレースする必要がある。低ケース予測では閉鎖される原子炉の容量分が2030年までに世界のどこかで新たに建設されると見込まれるが、高ケースでは、閉鎖分の約1.7倍の容量が新設されると予測した。

世界原子力協会が2035年までの核燃料の需要と供給を分析・予測

世界原子力協会(WNA)は9月8日、世界の原子力発電所で使用される核燃料の2035年までの需要量と供給量を原子力設備容量のシナリオ毎に分析・予測した報告書を公表した。中国など多くの国で需要量が急増するのに加え、2次供給量が制限されるため、この期間内に追加のウラン採掘が必要になるが、採掘業界が不況な近年でも、いくつかのウラン鉱山では開発が進展中であるとした。また、標準シナリオと高シナリオでは2025年以降、直ちに追加のウラン供給が必要になるほか、供給パイプライン計画の開発も必要になるとの結論を明らかにしている。

同報告書はWNAが2年に1度、取りまとめているもので、今回で17版目。世界の原子力産業界にとって最も信頼できる情報ソースであるとして、WNAでは870ポンド(約16万円)で販売している。

原子力発電は現在、世界の総発電電力量の約11%を供

給しており、国際エネルギー機関(IEA)の予測では今後20年間は着実に拡大する。温室効果ガスを抑制するどのような戦略においても、原子力は常に重要な構成要素であり、同時にエネルギーの供給セキュリティにも貢献している。しかしながら、現在の市場、そして将来的な市場で、原子力が規制や政治的な障害にさらされ続けながら直面する課題——特に、規制緩和された市場における他電源との競争課題はますます増加していく見通し。原子力発電所を設置済みの国の多くで電力需要の伸びが低下している一方、多くの開発途上国では需要の伸びが甚だしく、原子力設備容量も拡大することが予想される。

福島第一事故後の後退にも拘わらず、多くの国がエネルギー戦略の中で環境保全と供給セキュリティの観点から原子力の拡大を支持しており、中国やインド、韓国だけでなく、欧州連合や中東の国々においても原子炉新設の見通しは引き続き良好だ。

一方、ウラン生産量に関しても、ウラン鉱山での既存および将来的な生産能力を評価して2035年までのシナリオ3種類を策定。標準シナリオと高シナリオの両方で、今後10年間に生産量が増加すると予想された。世界市場における2次供給ウランの役割は次第に縮小していくものの、2035年までの期間全般を通して重要な要素であり続ける。濃縮工場では廃品濃度を下げることにより原料UF₆の供給量を節約するため、2025年までの期間は大量のウランが市場に追加で流入。このため、1次供給量と2次供給量すべてを合わせれば2025年まではウラン市場に適切な量が供給されると予想されるが、それは現在開発中のウラン鉱山と計画、検討中の鉱山の多くが計画通りに操業開始に至ることが条件だ。2025年以降は、標準シナリオと高シナリオにおける需要を満たすために、さらなるウラン生産量が必要になるだろう。

【中国】

仏アレバ社の協力で2030年までに商業用再処理工場の操業開始へ

中国核工業集团公司(CNNC)は9月23日、フランスとの協力により年間800トンの処理能力を持つ商業用再処理工場の建設工事を2020年に開始し、2030年までには操業を開始する計画であることを明らかにした。これに加えて、使用済み燃料の大規模貯蔵施設と高レベル放射性廃棄物(HLW)のガラス固化施設も併設する予定で、現在これらの核燃料サイクル施設を建設するサイトの選定作業を実施中。投資総額1,000億元(約1兆9,000億円)規模という核燃料サイクルプロジェクトにより、中

国は国内で急速に進展する原子力発電開発の安全性と健全性を一層高めるとともに、その持続的な開発を可能にしていこうとしている。

今回の発表は同日、原子力関係者や専門家約 100 名を北京に集めた中仏原子力プロジェクト・グループの第 1 回会合で行われた。国家環境保護部や財政部、国家発展改革委員会・能源局といった関連省庁のほか、サイト候補である東海岸の山東省、江蘇省、浙江省、福建省、広東省、および再処理パイロット・プラント(50 トン/年)が立地する甘粛省の関連幹部らが出席。フランス側からは在中大使館の原子力参事やアレバ社の代表が参加した。同会合の報告のなかで CNNC は、フランスの燃料サイクル施設を参照してプロジェクト施設の建設を進める一方、全体的な技術責任はアレバ社が負うと説明。3 平方キロメートルのエリアに建設を予定しており、国家特別基金からの総投資額は 1,000 億元以上にのぼるとした。具体的には、(1)商業用再処理工場によりウラン資源を有効活用するとともに商業用高速炉と燃料の開発を加速し、原子力発電の継続的な開発を確保する、(2)貯蔵能力 3,000 トンの使用済み燃料貯蔵センターにより敷地内貯蔵の重圧を軽減する、(3)廃棄物固化施設により HLW を長期的に安全に管理し、原子力発電を一層クリーンなものにする——などの方針を表明している。

テラパワー社と第 4 世代の進行波炉の共同開発で了解覚書

米国のテラパワー社は 9 月 23 日、同社が進めている第 4 世代の原子力発電技術である進行波炉(TWR)の原型炉を中国核工業集团公司(CNNC)と共同開発していくことになったと発表した。22 日にワシントン州シアトルで両者が了解覚書を締結したもので、今後はどのような形で合弁が可能かなどについて作業を詰めるが、協議は順調に進展中だとしている。

テラパワー社はマイクロソフト社の創業者として知られるビル・ゲイツ氏が後援する原子力開発ベンチャー企業。規模の縮小拡大が可能で温室効果ガスを出さず、持続可能かつコスト競争力のあるエネルギー源の開発に同氏が乗り出した 2006 年に、テラパワー社の企業理念が創案された。TWR は劣化ウランや天然ウランなどを燃料に、少なくとも 40 年間は燃料交換や使用済み燃料の搬出なしで運転継続が可能と言われる次世代型の高速炉で、冷却材には液体金属ナトリウムを使用する。同社は CNNC との協力によって、民生用原子力発電における安全性や環境影響、およびコスト面での課題を克服する新たなオプションを開拓し、世界中にその恩恵をもたらしたいと強調。具体的には TWR 設計の完成と商業化へ

の移行を目指すと思われる。

【サウジアラビア】

「SMART」炉の技術で韓国と協力契約締結

サウジアラビアの原子力導入計画推進機関である「アブドラ国王原子力・再生可能エネルギー都市(KACARE)」は 9 月 3 日、韓国原子力研究所(KAERI)が中東諸国向けに開発したモジュール式小型炉「SMART」技術に関するパートナーシップ構築で両者が協力契約を締結したと発表した。サウジ国内で同炉の建設可能性を探るだけでなく、将来的に共同で SMART 炉を世界市場に売り込むことを視野にいった契約。サウジは韓国の協力を通じて、SMART 炉の技術に関する知識インフラ、関連する人的資源も国内で整備していく考えだ。

両国は 2011 年に結んだ原子力平和利用分野での 2 国間協力協定に基づき、今年 3 月には KACARE がサウジ国内で 2 基以上の小型炉建設を念頭に、韓国の未来創造科学部と協力覚書を締結。今回の契約はこれらを進展させる内容で、具体的には SMART 炉の炉心設計、流体システム設計、機器設計、マンマシン・インターフェース設計、安全分析などについて協力と共同建設を推進している。

SMART 炉は海水脱塩と熱電併給が可能なシステム一体型先進モジュラー PWR で、熱出力と電気出力はそれぞれ、33 万 kW と 10 万 kW。韓国政府は 2020 年までに同炉を 10 基輸出する目標を公表しており、初輸出はサウジ向けとすることを狙っている。一方、サウジは 2040 年までに 1,200 万~1,800 万 kW の原子力発電設備導入を計画。技術移転により原子力技術の国産化と供給チェーンの国内構築も目指している。

【ケニア】

原子力導入計画で中国と協力覚書、「華龍 1 号」設計の建設可能性を協議

中国広核集団有限公司(CGN)の 9 月 7 日付けの発表によると、CGN はケニアで原子力発電導入プログラムの実施を担当するケニア原子力発電委員会(KNEB)と原子力開発と建設に関する協力覚書を締結し、中国が独自ブランドの輸出用第 3 世代設計と位置付ける「華龍 1 号」をケニアで建設する可能性を探っていくことになった。ケニア政府が 2030 年までに 100 万 kW 級原子炉 4 基の建設を目指していることから、同覚書を通じて両者は、

原子力発電の研究開発から、建設、運転、燃料供給、原子力安全・セキュリティ、放射性廃棄物管理、および廃止措置に至るまで、包括的な協力活動を展開するとしている。CGN と KNEB の協力関係は 2012 年にケニア側代表団が中国を実地調査に訪れたのを機に始まり、今年 5 月には CGN 側がケニアを訪問。両者間の協力強化で合意していた。

【ロシア】

多目的高速研究炉建設で最初のコンクリート打設

ロシアの国家原子力総合企業ロスアトム社は 9 月 11 日、ウリヤノフスク州ディミトロフグラードの国立原子炉科学研究所 (RIAR) で、多目的高速中性子研究炉 (MBIR) を正式に着工したと発表した。原子炉建屋部分で最初のコンクリート打設を実施したもので、2020 年までに完成すればロシアの原子力部門における実験能力が大幅に増強されるだけでなく、ロスアトム社が世界の原子力発電研究の中心地とすべく設置する「国際研究センター」の技術的基盤が形成されることになるとしている。

MBIR は鉛や鉛ビスマス、およびナトリウムなど複数の重金属による冷却が可能で熱出力は 15 万 kW。その設計と建設は、2009 年に連邦政府令として採択された目標プログラム「2010 年から 2015 年、さらに 2020 年までの見通しを含む新世代原子力技術」に盛り込まれている。原子力発電を長期的に開発利用していくための広範な研究課題の解決やクローズド核燃料サイクルの確立、放射性同位体や改質物質の生産技術試験、および新型核燃料の研究といった、文字通り多目的の利用が可能で、1969 年から RIAR 内で稼働する高速実験炉「BOR-60(出力 1.2 万 kW)」の後継炉という位置付け。ロスアトム社は BOR-60 の後、同じナトリウム冷却高速炉で出力 60 万 kW の BN-600、出力 80 万 kW の BN-800 をベロヤルスク原子力発電所 3、4 号機として運転・建設しているが、鉛や鉛ビスマスで冷却する高速中性子炉の試験・実証モデル建設も、そうした経験を基に進めている。その一環として、RIAR は 2017 年の完成を目標とする鉛ビスマス冷却高速実験炉「SVBR-100(出力 10 万 kW)」の建設も隣接区域で計画中である。

【スウェーデン】 バッテンフォール社がリングハルス 1・2号機早期閉鎖を最終決定

スウェーデンのバッテンフォール社は 9 月 4 日、リングハルス原子力発電所 1、2 号機 (90 万 kW 級の BWR と PWR) の運転期間について 4 月に公表していた方針どおり、これらへの投資は最長でも 2020 年までに限定し、永久閉鎖するとの最終決定を下したと発表した。電力価格の低迷と高額な原子力税が両炉の採算性を低下させているのが主な原因だと同社は指摘。同発電所の所有権約 30% を保有する独 E.ON 社からの同意は未だ得られていないが、今後は 2017 年以降に実行するはずだった現行の投資プロジェクトを停止し、2018 年～2020 年に両炉を閉鎖という新たな日程に基づいて両炉の運転・保守を合理化していくとしている。

両炉はバッテンフォール社が所有する原子炉の中では最も古く、どちらも 1970 年代半ばに営業運転を開始した。同社はこれらの運転を 2025 年まで続けるため安全要件に準拠した改善・最新化作業を進めてきたが、電力価格が上がらないという市場状況下では、両炉で将来的に必要な投資を続けていく余地はないと言明するも、同原子力発電所 3、4 号機については、今回の決定が影響しないことを強調した。同社はまた、8 月 5 日付けの発表の中で、スウェーデンにおける原子力税が熱出力に基づいて掛けられており、発電量とは無関係である点を説明。1kWh あたり 6～7 オーレ (0.8 円～0.9 円) という原子力税が同社の所有原子炉で発電コストの 5 分の 1 まで占めているにもかかわらず、政府が同税の 17% 値上げを提案していることを明らかにした。

【米国】

原子力意識調査、「原子力の CO2 削減効果を知らせることで支持が拡大」

米原子力エネルギー協会 (NEI) は 9 月 30 日、ピスコンティ研究所が実施した最新の原子力意識調査の結果を公表した。米国では 1980 年代の終盤以降、原子力支持派の割合が常に反対派を上回っているが、今回調査では発電部門の温室効果ガス排出抑制に原子力が一定の役割を果たしていると認識することで、大多数の米国民が「将来的な米国のエネルギー供給と環境保全のために原子力は重要」との確信を深めた事実が浮き彫りになったとしている。

この調査は、ピスコンティ研究所が8月30日から9月16日にかけて、市場調査会社のクエスト・グローバル・リサーチ社とともに、全米1,000人の成人を対象に電話で実施した。それによると、回答した米国民の84%は、低炭素電力の3分の2を原子力が供給している事実を知った時点で「原子力を将来的に重要な電源とすべきだ」という考えに同意。50%は「非常に重要な電源」と回答していた。同研究所のA.ピスコンティ所長は、「CO2対策における原子力の役割を周知させることは、目を見張るほど効果がある」と指摘。ひとたび低炭素電源ミックスの中で原子力が及ぼす影響力の大きさに気付けば、原子力の将来価値に対する米国民の確信は、性別や党派を超えた万民共通のものになるとし、原子力が将来的に重要と答えた人達は、人口統計学上の全グループにおいて、少なくとも8割にのぼっていたと明言した。

同様に、環境保全に対して米国民が抱いている価値観を反映し、83%が「電力需要を満たすためには原子力や水力、再生可能エネルギーを含めたすべての低炭素電源を活用すべきだ」と回答。CO2対策における原子力の価値を詳しく知らない場合でも、64%が原子力発電を支持していた。この数値は、今年3月に行った前回調査結果から4ポイント下ったものの、64%のうち26%はその活用を「強く支持」していたとしている。また回答者の79%は、政府系輸出信用機関として国内企業の輸出事業促進のために低金利融資を提供してきた米輸出入銀行(US EXIM)の存在意義に賛同。連邦議会は1934年から80年以上にわたって同行の再承認手続きを取ってきたが、今年6月末に初めてその認可が失効した。ピスコンティ研究所では、米国企業が商業用原子力技術とサービスの国際市場に参加する上で、同行の再承認が原子力産業界の最優先の政策事項である点を強調した。

原子力規制委、原子力発電所の上半期の安全性能評価結果を発表

米原子力規制委員会(NRC)は9月3日、国内で稼働するすべての商業炉について今年前半(6月末まで)の安全パフォーマンス評価の結果を発表し、全99基のうち96基までを安全性能が良好な上位2つのカテゴリーに

分類したことを明らかにした。このような評価結果は各発電所宛てに連絡書簡を送付済みとなっている。

米国では原子炉監督プログラムとして(1)原子炉安全、(2)放射線安全、(3)警備・テロ等への防護措置、の3分野に関する戦略的パフォーマンスを監督。今回の発表によると、NRCでは上級幹部とスタッフが年に2回、各原子力発電設備において最新の原子炉安全性能指標と点検結果、およびその他の該当情報を系統的に審査する。まず、最低限実施する必要がある通常の「基本点検プログラム」で評価し、追加の検査を行う必要があるか判断。NRCによるこうした性能評価の基盤と特定された不備への取り組み活動について、すべての原子力発電所関係者に明確に理解させる重要性を強調している。

今年上半期に安全性能が最高レベルという第1カテゴリーに分類されたのは75基で、これらは安全・セキュリティ上の性能目標すべてを全面的に満たしていた。第2カテゴリーとして、安全上の重要度が低いレベルの項目で1~2件の解決が必要と評価されたのは21基。この性能レベルでは、追加点検と是正措置に対するフォローアップなどの規制監督が行われることになる。なお、21基のうちデービスベッセ発電所とセントルーシー1号機は、指摘された課題を報告期間終了後に解決したことから、分類評価が第1カテゴリーに変更された。

第3のカテゴリーには、安全性能レベルの劣るものが分類されるが、今回は該当無し。このレベルの場合、NRCが原因部分に集中した監督とさらなる点検を行うことになる。しかし、第4のカテゴリーにはアーカンソー州のアーカンソー・ニュークリア・ワン原子力発電所(ANO)1、2号機とマサチューセッツ州のピルグリム発電所が分類された。これら3基には規制上、最も高いレベルの監督が必要で、ANOの場合は安全上非常に重要な発見事項が2件、ピルグリムについては安全上の重要度は低・中程度だが、長年にわたる性能課題が指摘されたとしている。現地の報道によると、今回の指摘を受けてマサチューセッツ州知事がピルグリム発電所の事業者であるエンタジー社に対し、根本原因に関する適切な分析を実施するとともに、必要な修理や是正措置すべてを完了するよう促した。

研究用原子炉の歴史を顧みて(下)

～国産技術育成に貢献した JRR-3 と遮蔽研究等を目指した JRR-4～

飯島 勉, 宮坂 靖彦, 白井 英次

旧日本原子力研究所においては、昭和 30 年代に研究用原子炉の建設・運転・利用が始まり、さまざまな知見を得るとともに、トラブル対応を含む多様な経験を入手した。前回に続き、国産技術の育成に貢献し、その後抜本的な計画に基づく改造で高性能を達成した JRR-3 および遮蔽研究等を目的とし炉心のチェレンコフ光を見ることができ JRR-4 について紹介する。

KEYWORDS: *research reactor, JRR-3, Japanese domestic nuclear technology, JRR-3M, JRR-4, radiation shielding research, reactor utilization*

IV. JRR-3

JRR-3 は燃料破損が多かったとの印象が残っている。しかし、いろいろな経験をさせてもらった研究炉であった。

JRR-3 は原研設立前から、わが国の原子力平和利用の歴史とともに歩いてきた国産原子炉で、このため別名「国産 1 号炉」と呼ばれた。当時、鳥取県の人形峠で発見されたウランを利用することなどを視野に入れ、天然ウランを用いた研究炉が検討された。天然ウラン燃料の原子炉を建設し、運転していたカナダの調査も行われた。

わが国の原子炉に関する技術は JRR-3 の建設によってその基礎を固めたといつて過言でない。原子力開発に意欲を示していた国内の原子力関係企業(当時、5 グループあった。)がすべて参加し、分担して担当する複合方式で進められた。当時はまだ経験が少ない時代であったが、幅広い技術者の力を結集することができた。しかし、一方では各分担系統間の調整を原研が行ったため、設計上の取り合いの調整が大変な作業であったと聞き及んでいる。当時の企業担当者が精力的に設計・製作を進めたため、大変意欲的な施設を作ることができ、国産技術の発展に大きく寄与した。

その後、約 25 年後の JRR-3 改造計画の実施時に原子

Reflecting on research reactor developments in Japan (2) : JRR-3, developed made-in-japan technology and JRR-4, studied shielding research : Tsutomu Iijima, Yasuhiko Miyasaka, Eiji Shirai.

■前回のタイトル

「研究用原子炉の歴史を顧みて(上)」～第一歩を踏み出した JRR-1 と本格的な多目的利用の JRR-2～

(2015 年 7 月 6 日 受理)

第 3 表 JRR-3 年譜

年 月	主要項目
1959年1月	起工式
1959年3月	国内原子力関連企業 5 グループと契約締結
1962年9月	初臨界(9/13 15時33分, 176体)
1964年3月	定格出力(10MW)運転達成(3/31)
1968年4月～	金属燃料破損(7体)事故と改修作業
1970年8月	主重水ポンプ故障(8/17)と更新
1972年8月	温度測定用燃料体落下事故(8/10)と復旧作業
1972年1月～	UO ₂ 燃料炉心移行(4ステップ, '72/1～'75/2)
1977年6月～	研究炉長期整備計画の検討(1980/5改訂)
1983年3月	運転停止(3/25), 改造工事へ移行
1986年10月	原子炉本体の一括搬出
1990年3月	JRR-3M 初臨界(3/22 標準燃料: 14本)
1990年11月～	JRR-3M 定格出力 20MW 利用運転開始
2007年8月	米国原子力学会ランドマーク賞の受賞

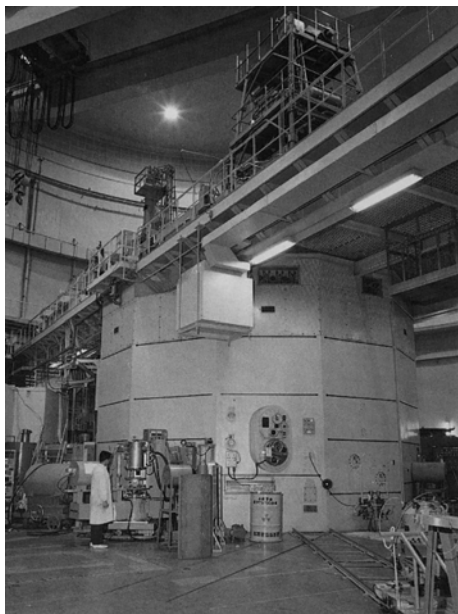
炉本体を一括搬出したが、建屋から切り離されたコンクリートの断面を見て、最近の技術でもこれだけ緻密に充填施工したものはなかなか見ることができないと専門家が話しているのを聞いた記憶がある。当時の技術者の心意気を偲ばせるものである。

JRR-3 に関する年譜を第 3 表に、また、旧原子炉本体風景を第 4 図に示す。

1. 国産 1 号炉 JRR-3

1.1 原子炉の建設・運転

JRR-3 は出力 10MW の天然ウラン金属燃料重水減速重水冷却非均質型原子炉で、炉心は直径約 2.6m、高さ約



第4図 JRR-3原子炉本体風景⁷⁾

2.8mのタンク型で、246体の燃料体が装荷されていた。燃料体は、直径約2.5cm、長さ約90cmの金属ウラン燃料をアルミニウム被覆管で被覆した燃料要素3本を繋いで構成され、炉心には約9トンの天然ウラン燃料が装荷されていた。炉心が大きいため最大熱中性子束は約 $2 \times 10^{13} \text{n/cm}^2 \text{s}$ で、中性子利用に対して不十分であった。原子炉の上面にはレール移動式の燃料取扱キャスク及びRI取扱キャスクが設置され、自動的な位置決め、取扱等ができる設計となっていた⁴⁾。1962年9月13日に初臨界を達成し、1965年からは定格出力連続運転で多方面の利用に供された。その後、さまざまなトラブルを経験したが、運転は順調であった。一方で天然ウランを使用するためプルトニウム生成量が多く、燃料体ごとの詳細な核物質計量管理を行い、IAEA査察に対応する必要があった。

炉内照射孔や水平実験孔が多数設置されていたが、残念ながら利用の中心はJRR-2であった。当時の原子力技術者にとって原子炉の勉強には大変役に立ったが、利用性能の低さがその後ついて回った。

1.2 燃料破損と破損燃料検出装置(FFD)

(1) FFDと設備の整備

金属燃料を用いたJRR-3は、設計当初から、燃料破損が生じると冷却水と反応し影響が大きいと知られていた。このため、燃料破損の早期検知と損傷燃料の位置検出を重視してFFDが設置された。燃料体すべてから冷却水をサンプリングし、破損の検知とどの燃料体が破損しているかを同時に検出できる装置を開発(検出遅れは約2分)した。サンプリング水は二分され、マトリックス構成により少ない放射線検出器(GM計数管:23系統)で検知と位置検出をできる設計とし、サンプリング水の

流量調整や配管に安定して水が流れる工夫が凝らされていた⁴⁾。

GM計数管(冷却水中のガス状核分裂生成物(FP)をガス層へ移行させて放射能を測定)では、連続して発生した燃料破損によりウランが炉内に流出した後の多量のFPが存在する状況での検出性能の向上のための改良を行った。さらに、高いバックグラウンドにおいて新たな破損が発生したとき、遅発中性子(DN)を放出するFPを検出するDNモニターの活用について実験してその後のFFDとして整備した。系統が複雑に構成されていたため、保守作業や日常点検において安定に運転されていることを確認する必要があったことが思い出されるが、システムや系統を理解するうえで貴重な経験であった。

(2) 燃料破損とその対応

1968年4月から次々と金属燃料が破損し、合計7体となった。最初の破損はFFDにより速やかに検出され、直ちに燃料交換を行うことにより回復することができた。しかし、引き続き燃料破損が発生したことによりウランが冷却水中へ流出し、その後の運転に支障を及ぼした。初装荷燃料はカナダで製造したが、取替え燃料は国産技術開発を目指したことにより破損が発生したものであった。燃料破損の原因は、取替え燃料の製作にあたり新しい熱処理工法を取り入れたが、経験不足から十分な安全性が確保できなかったものであった。さらに、使用したアルミニウム被覆管の延性も不足で、運転が進むにつれて亀裂が生じ、冷却水と金属ウランとの反応を進展させたものであった。十分検討して製作したつもりであったが、経験の不足が運転に伴い顕在化したものであった。これに対する対策を施すため約1年の期間が必要であった。金属燃料の破損は、その後この種の燃料が使われなくなったので生かされることはなかったが、燃料開発における手順や初期試験の重要性を心に刻ませたものであった。

JRR-3ではその後も燃料トラブルを経験した。1972年には実験用の計測付燃料体の炉内落下事故(燃料損傷は無)が発生し、工法や治具等を工夫し、モックアップ実験等を重ねた上で損傷した燃料体下部のアルミニウム管部を切断して取り出し、復旧することも体験した。

JRR-3での燃料に関係する経験は貴重な体験であった。前述の冷却系に流出したウランの回収に努め、FFDの機能回復に努力したことが思い出される。これらの対策により、その後の燃料破損では早期に検知し、位置も検出できた。現在広く用いられている酸化燃料は破損が生じて急激な進展がないためあまり重視されないが、JRR-3での経験はFFDの理解にも有用であった。

その後も、燃料にまつわるトラブルが発生し、その度に原因の究明と対策の検討により解決してきた。技術の発展はトラブルの積み重ねであるといわれるが、人間は間違い(予想していない事態が発生)をするが、間違いは

二度と起こさないことを心がけてこれらのことを乗り切り、その後の安全の確保に役立たせてきた。

1.3 主重水ポンプの故障とクラッド問題

重水の一次冷却系では冷却水漏洩に最大の注意を払っていた。配管は溶接構造とし、ポンプ類もキャンドモーター型を用い、早期の漏洩検知のため重水漏洩検出器を設置(しかし、湿気、ごみ等による誤信号が発生し、対応のための点検に泣かされたものであった。)する等の対策を採っていた。しかし、主重水ポンプは初めての大型キャンドモーター型であったため、振動問題が発生し、また、軸受けに用いたステライト合金の磨耗片が放射化して配管内に堆積して作業環境での放射線量を高くする問題を生じた。ポンプでは耐磨耗性を考えてステライト合金を使っていたが、原子炉ではコバルトの放射化の問題をもたらした。腐食生成物等は原子炉のクラッドとして注目されることになるが、保守・点検作業時の作業員の被ばくを増加させ、放射線管理上の問題を発生させた。

1970年8月に2基の主重水ポンプの片側が故障し、更新をした。建設時、キャンドモーター型大型ポンプの国産技術の育成を考慮して日立製作所と三菱電機が分担し、同一仕様でそれぞれが工夫して製作した。当時はすべてが経験であり、国内技術の育成が重要な課題であったためであった。ポンプの振動が大きくなって故障したものであったが、幸いに片側のモーター部の更新で済ませることができた。更新の間、ポンプ1基での原子炉運転の許可(7MW出力運転)を受けて、出力を下げた運転を行った。このときの安全審査等の手続きは有益な経験となった。

1.4 UO₂燃料炉心への取組み

燃料破損を経験したことにより金属燃料からの脱皮を目指し、また、熱中性子束の向上を狙って1972年～1975年にわたってUO₂燃料を用いた2領域炉心(天然UO₂及び1.5%濃縮UO₂燃料)に変更した。金属燃料が残る中で、炉心を4領域に分けて順次入れ替える設計が進められた。炉心核設計や熱解析、安全評価とさまざまな検討が行われた。当時の核計算では入力データのパンチカードを作り、大型計算機使用の順番を待って何回も計算センターへ通ったことを思い出す。計算機の能力がまだ低い時代であったため待ち時間が多く、入力間違いやパンチカードの不良で計算エラーとなり、時間との競争で泣く思いであった。4領域の混成炉心構成だけでなく、4ステップに分けて燃料を交換することとしたため、設計計算だけでなく運転方法にも注意して進めた。また、当時の所内の知見を活用した燃料設計・製造も経験し、規制当局に対する説明や安全評価・安全対策検討等貴重な体験であった。

この燃料でも冷却水による振動が発生し、1975年10

月に燃料破損を経験した。整備したFFDによる早期検出は適切であったが、このときも折損した冷却管を炉内から回収する作業をさまざまな工夫をして実施する等の対応をした。折損原因は建設当初の燃料体の構造上の余裕が十分でなく、燃料体を炉内の正常な状態に設置できなかったために発生した振動によるものであることがわかり、手直しをするとともに監視しながら運転を続ける等の対応をした。しかし、このUO₂燃料への移行によっても実験利用等のためには中性子束レベルが不足で、後述の改造計画へ引き継がれることとなった。

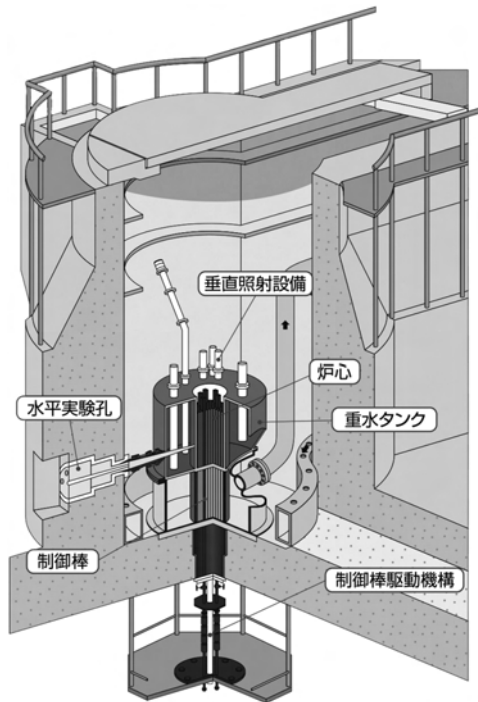
2. 改造炉 JRR-3M

2.1 JRR-3 改造計画

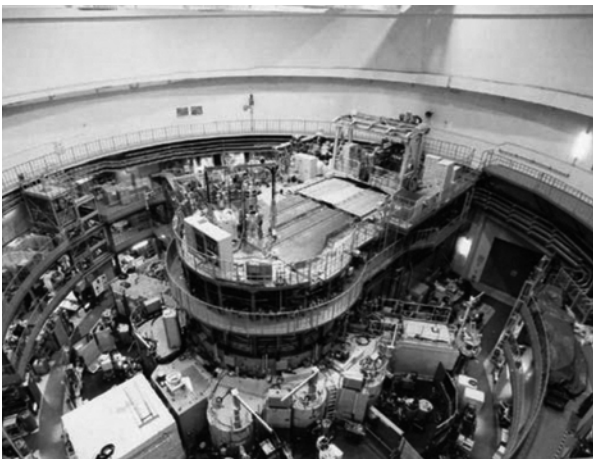
1977年から所内の検討委員会における検討を経てJRR-3の改造計画が動き始めた。これまでの研究炉の運転・利用の経験に基づき、また、JRR-3建屋に余裕があったことを活用して、抜本的なJRR-3改造計画を作成した。世界で初めて原子炉本体を「原子炉一括搬出工法」を用いて床から切り離して移動させ、隣接した実験利用棟(ビームホール)地下の保管庫に収納し、その後にはプル型の新型研究炉(熱出力20MW、20%濃縮ウラン板状燃料軽水減速冷却重水反射体付原子炉)、『原子炉設置許可では「JRR-3」と同名であるが、ここでは改造炉を「JRR-3M」と呼ぶ』を建設するものである。計画の検討にあたっては、JRR-2の経験を生かしてビーム実験を主要な利用分野と設定した。重水反射体を設け、この中に水平実験孔を炉心に対し接線方向に設置して良質の熱中性子を効率よく利用できる設計とし、また、冷中性子源装置を設置するとともに熱及び冷中性子導管を設置してビームホールへ導き、多数の実験装置を取り付けることができるようにした。細部の検討にあたっては所内外の利用者側からの要望にできるだけ応えることとし、改造計画全体の設計と合わせて整備した⁵⁾。

JRR-3Mの説明は割愛するが、改造炉の安全設計、実施における主要な考え方は以下のようなものであった。
>設計・安全評価等は、基本的に発電用軽水型原子炉施設的安全設計・評価に関する審査指針に準拠する方向で進めた。しかし、研究炉であるため、所内研究者等の協力を得て「研究炉の安全評価に関する基本方針」を所内審査において定め、これに基づき実施した。この考え方が現在の水冷却型試験研究用原子炉施設に関する安全設計審査指針に引き継がれており、炉心の「冠水維持設備の機能」が取り入れられた。多くの課題があったが、規制当局との話し合いでJRR-3設置許可の変更として取り扱われ、効率的に進めることができた。

>改造工事の実施にあたっては、設計と同時にさまざまな試験、例えば、一括搬出工法のモックアップ試験、重水タンクの試作試験、実規模モックアップ装置による炉心流動試験などを行った。



第5図 JRR-3M 炉心部鳥瞰図⁷⁾



第6図 JRR-3M 炉室内状況⁷⁾

>原子炉の設計と利用者の実験装置の設計を一体として協力して進めた(JRR-3Mの運転初期段階から順調に利用が進んだ)。また、制御室の配置等において運転の簡便さを配慮した。

1983年3月にJRR-3の運転を停止し、原子炉本体の一括搬出、施設・設備の解体、改造炉建設を経て、1990年3月22日に臨界を達成し、利用性能を大幅に向上(最大熱中性子束:約 3×10^{14} n/cm²s)させたJRR-3Mに改造することができた。改造後のJRR-3Mの炉心部鳥瞰図を第5図に、また、炉室内の状況を第6図に示す。このJRR-3Mの基本設計方針はその後の世界中の新研究炉建設のモデルとなっている。実験装置の利用状況は盛況で、さまざまな利用者が来所している。これらの成果によって、2007年には米国原子力学会ランドマーク賞を受賞した。本改造計画は原研における研究炉の運転・利

用の経験を活用した最大の成果であったと考えている。また、このときの設計、製作、運転等の経験は第2世代のスタッフにとって貴重な機会であった。時代が変わり、発電用軽水炉が多数稼働している中での安全審査で、多くの勉強の機会を作り出すことができた。

JRR-3は原子炉技術の習熟という当初目的を十分に達成したが、研究炉利用には十分な性能を発揮することができなかった。このためさまざまな改良を加えることで対応し、その後抜本的な改造計画に移行した。この間、重水原子炉に付随するトリチウム生成を経験し、冷却系の点検保守作業等では内部被ばくを防ぐためにエアマスクを着用した。作業性を妨げるが、非常に注意して作業を行う技術を習得することができた。狭い場所での作業が多かったが、すべての経験が大いに役立った。放射線被ばくを避ける技術、放射線汚染を広げない作業の実施等は紙に書かれたものでは身につかないものである。

[白井英次]

V. JRR - 4

東海村の旧原研構内には、通称「原子力銀座」と呼ばれる通りがある。JRR-1から始まり、ホットラボ施設をはさんでJRR-2、続いてアイソトープ施設に続きJRR-3が並び、最後にJRR-4が設置されている。このように研究炉が並んだ様子は銀座に相当すると当時の人たちには印象的であったと思われる。しかし、JRR-4だけは道路が少し曲がって設置されている。直線的に並べたかったにもかかわらず、地盤調査の結果、岩盤となる堅い地盤が沈み込んでいてJRR-4の足元が確保できなかった。このため、やむを得ず建設位置をずらして建設することとなったと聞いている。安全を考えながら建設場所を探し、開発を進めてきた証である。

JRR-4に関する年譜を第4表に、また、原子炉風景を第7図に示す。

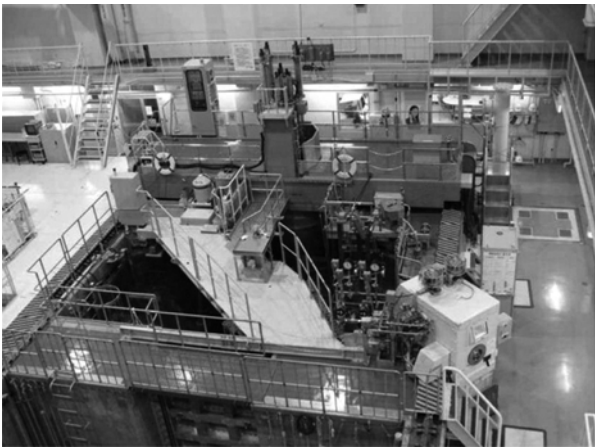
1. 原子炉の建設

日本でも民間利用を目的とした原子力船開発が必要との要求があり、設計研究が進められていた。特殊な目的であるため、軍事利用で多くの経験を持っている国からの技術は入手できず、民間用としては小型で効率的な原子炉開発には自分たちでの実験等の経験が必要であった。原子力船建設の希望が強くなり、遮蔽研究用の研究炉としてJRR-4の建設が具体化された。スイミングプール型研究炉は世界中に前例が多く、これらを参考としながら検討が進められた。冷却系の設計では、プール表面の放射線量の上昇を避けるため、プール内タンク型の設計となった。JRR-4はこれまでの研究炉建設の経験を踏まえて、日立製作所が建設を担当した。

JRR-4は90%濃縮ウラン板状燃料軽水減速冷却黒鉛

第4表 JRR-4年譜

年 月	主要項目
1962年1月	日立製作所と契約締結
1962年6月	着工
1965年1月	初臨界(1/28 3時25分, 90% EU:12本)
1965年11月～	原子力船「むつ」用遮蔽実験('65/11～'67/6)
1966年4月	定格出力運転 2.5MW 達成(4/30)
1969年1月～	原子炉運転訓練
1974年10月	茨城国体「科学の火」採火(10/13)
1975年10月～	原子力船「むつ」用遮蔽実験('75/10～'76/6)
1976年10月	定格出力運転 3.5MW 達成(10/28)
1998年7月～	20% EU 燃料炉心へ移行(臨界(7/14), 12本)
現状	廃止措置計画の策定施設

第7図 JRR-4 原子炉風景⁷⁾

反射体スイミングプール型原子炉で出力は最初2.5MW、その後出力を3.5MWに上昇した。最大熱中性子束は約 $7 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2\text{s}$ である。燃料は板状燃料要素を用い、平衡炉心では20本が装荷されている。遮蔽実験を行う目的であったため、大型のプール2面を持ち、炉心は上面のブリッジから懸架された炉心タンク内に設置されている。このブリッジを移動することにより、2つのプール両方で遮蔽実験を行うことができる。制御棒としては、平板型中性子吸収体の制御板を用いている。

JRR-2での経験を活かして1970年1月28日の板状燃料を用いた初臨界試験は特段の問題がなく実施でき、以後特性試験等が行われた⁶⁾。しかし、運転員にとっては大型のプールの周辺で作業をするためプールへの落下が心配で、浮き輪が準備されていたのが思い出される。その後、柵を作り落下防止を行ったが、これはその後の見学者への対応に有効であった。

2. 運転上の課題と特徴

JRR-4は世界中でも多数の同型研究炉が運転・利用されていることからわかるように、あまり大きな問題は発

生しなかった。初期は、プールに人が落ちることを懸念し、また、物を落下させないことを最大の注意事項として厳守していた。当初計画の遮蔽実験は実施されたが、原子力船の開発計画は進展せず、その後、原子力船「むつ」の遮蔽確認実験が行われたのみであった。

運転上のトラブルとしては、制御棒が平板状であったため、初期に出力上昇のため冷却水を流すと原子炉出力が変動する現象が生じた。これは、水流により制御板が振動し、出力変動を発生させていることがわかり、構造を改良(ガイドローラーの取付け)して乗り切った。

原子炉で発生する原子力エネルギーを「原子の火」と呼ぶことがある。このため、ガスや薪が燃焼するときの火と同様に原子炉の中で赤く火が燃えているイメージがもたれている。熱は出ているが他の原子炉ではコンクリートの遮蔽の中で発生して見ることができない。一方、JRR-4は水を放射線遮蔽として用いているため、炉心タンク内の燃料を含む原子炉本体に発生するチェレンコフ光と呼ばれる青白い神秘的な光を直接見ることができる。これは一般の見学者には大変好評で、原子炉を理解してもらう上でも貴重な原子炉である。

3. 原子炉運転訓練

1967年からはこれまでJRR-1を用いて行っていた原子炉研修所の原子炉運転訓練をJRR-4で実施することとなった。連続運転を主とするJRR-2やJRR-3とは異なり、原子炉の起動・停止を容易に行うことができる貴重な研究炉であった。制御棒の操作等は慎重に行うことが必要であるが、さまざまな運転操作、特に原子炉起動時や停止時の操作の大切さを経験することの重要性を実地に訓練する非常に良い機会であった。しかし、その後原子炉の規制が見直され、原子炉が緊急停止(スクラム)したら直ちに関連箇所へ連絡することとなり、研修生といえどもミスオペレーションが許されなくなった。訓練は間違えることにより身につくはずであるが、このような実地の経験が許されない世の中となった。

4. 「科学の火」の採火

JRR-4のトピックスとしては、1974年に茨城県で国民体育大会が開かれたとき、茨城県ゆかりの場所から採火する検討が行われ、炬火として「第一の火」である筑波山頂で集光された太陽光、「第二の火」である鹿島神宮で長年燃え続けてきた灯明、そして原子力の村として発展してきた東海村で原子力エネルギーから「科学の火」の三つを合わせたいという要望が出され、工夫して採火した経験があった。核分裂で生じたエネルギーは見ることができ、燃える火として採火するためには工夫が必要であった。このときは熱を取り出す工夫として炉心タンクの外側に熱電対素子を用いた採火装置を設置し、実験を重ねた後、無事に採火できたことはJRR-4ならでの

特徴を生かした面白い経験であった。水中に炉心があり、直接核分裂エネルギーの発生を見ることができ、比較的容易にエネルギーを取り出すことができたため成功したことであった。研究炉として新しい企画に対し、工夫・実現する努力をするのが当然であるが、安全という規制が優先する時代にあっては実現するために多大なエネルギーを必要とすることであろうと想像している。

5. 燃料濃縮度低減化と医療照射設備等への対応

JRR-4では、燃料を20%濃縮ウラン燃料に変更するに当たって大幅な改造を行い、これまでの知見を活用してさまざまな利用条件に適合可能な設備に改造した。特に、JRR-2で実績のある脳腫瘍等の悪性ガンに対する「ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)」を用いた医療照射設備を導入した。1998年7月14日に20%濃縮ウラン燃料での臨界を達成し、以後、運転条件を自由に変更できる利点を生かして様々な利用に活躍するとともに、多くの患者の治療に使用された。99例の照射治療が実施されたと公表されているが、2011年3月に発生した東日本大震災後の新しい原子炉施設の安全評価への対応等の理由で廃止措置計画の策定施設となったことは真に残念である。

JRR-4はプール型研究炉としてJRR-2やJRR-3Mを補完する役目を持ち、これらの炉が定期検査等で停止したときのRI製造や放射化分析等の利用で、研究開発の一翼を担ってきた。起動・停止が容易である特徴を生かして、簡便な実験も実施してきた。利用者の希望はいつでも利用できることで、研究炉利用では複数の施設があり、さまざまな条件に対応できることが必要であると考えているが、現状は思うようにはいかないものである。

[白井英次]

VI. あとがき

わが国で研究炉が動き出してから約60年を経過し、様々な経験を積んできた。多数の発電用原子炉も建設・運転され、エネルギー源として重要な位置を占める時代となってきた。ここで紹介した初期の研究炉での経験が今日の発展の基となっていると考えている。

また、研究炉の運転・利用を通じて課題や新しい利用分野が明らかとなってきた。これらに適宜対応するとともに、研究炉の利用者の要望や経験を生かしてJRR-3を改造し、JRR-3Mとして生まれ変わらせた。JRR-3Mは中性子利用研究の中心として活躍し、世界中からも存在を認められている。最近の日本原子力研究開発機構からの報告によると、中性子ビーム実験では炉室およびビームホールが33台の中性子回折装置等の実験装置で埋まり、利用実績が世界で3番目と評価されているとのことである。

原子力研究開発の黎明期を経験した世代が退職し、次

の世代や三代目にはなかなかこのような経験が伝わらなくなっていることが問題である。JRR-3Mも稼働してから25年を経過し、改造計画を経験した世代も次の世代へ伝えることが必要となってきている。このために新しい機会を作る努力が求められ、今後を考えると次なる新研究炉の検討や設計・安全評価を進める機運を期待したい。経験を実務に生かすことにより新たな教育ができ、次世代への引継ぎとなるからである。この積み重ねが、技術の展開に寄与することであると考えている。

わが国におけるこれまでの様々な経験等が今後の世代の人たちの参考になるものとして主要な事項をまとめた。原子炉や放射線を日常において経験することの大切さは論を待たない。東日本大震災から4年を越える現在、JRR-3Mの計画・設計・建設に関与した者として早期の再稼働を願ってやまない。プラントを休眠状態に置き判断を先送りするのは、プラント維持、技術者の技術継承などのリスクを考えると決して良いことではないと心配する今日この頃である。一日も早く研究炉が稼働し、様々な研究開発が進展していくことを期待したい。

— 参考資料 —

- 1) 日本原子力研究所原研史編纂委員会, “日本原子力研究所史”, 日本原子力研究所(2005).
- 2) 原研20年史編集委員会, “原研二十年史”, 日本原子力研究所(1976).
- 3) 研究炉管理部, “研究炉33年のあゆみ”, 日本原子力研究所(1990).
- 4) JRR-3管理課, “JRR-3の概要と安全対策”, JAERI 6004(1968).
- 5) 研究炉管理部, “JRR-3改造炉とその利用の将来展望”, JAERI-M 85-149(1985).
- 6) JRR-4管理課, “JRR-4の臨界試験ならびに特性試験の概要”, JAERI 1139(1967).
- 7) 提供: 日本原子力研究開発機構

著者紹介



飯島勉 (いじま・つとむ)

元日本原子力研究所
(専門分野/関心分野) 炉物理, 核融合



宮坂靖彦 (みやさか・やすひこ)

元日本原子力研究所
(専門分野/関心分野) 廃止措置, 廃棄物処理処分, 原子力規制



白井英次 (しらい・えいじ)

元日本原子力研究所
(専門分野/関心分野) 核設計, 安全評価, 原子力規制

ドイツの電力事情は他山の石か？

—先人に学んで日本の将来を間違いないものに—

東京大学生産技術研究所 金子 祥三

ドイツは2020年までに電力量の再生可能エネルギー比率を35%に増加させ、またCO₂も2030年までに40%の削減目標を掲げている。再生可能エネルギー比率は2014年に25%を越え、この影響が火力発電にも波及し、天然ガス火力の運転時間の激減など火力発電の稼働率が大きく低下している。これにより発電会社は大幅な収入減となり、経営が悪化し、会社分割、人員削減などを余儀なくされている。一方、家庭用電気料金は世界最高となっている。この悪影響は電力会社にとどまらず、重電メーカーや大学・研究機関にも及んでいる。このように課題が噴出しているが、いまだ解決策は確立されていない。日本もこの先行するドイツの事例に学び、同じ過ちを繰り返さないようにすべきである。

KEYWORDS: *energiewende, merit order, renewable energy, availability, moth-balling*

I. はじめに

筆者はここ5年ほど毎年ドイツを訪問している。最近では本年7月に1週間ほどドイツのエッセンに滞在した。この地域(ルール地方)にはデュッセルドルフやケルンといった都市もあり、ノルトライン・ヴェストファーレン州の中核部であり、人口も1000万人を超えている。この地方はまたドイツの電力や鉄鋼業など近代産業の発祥の地でもある。エッセンにはRWE社、E-ON社、STEAG社などドイツを代表する電力会社の本社があり、かつてドイツの電力経営の中心地であった。市内にある音楽堂のホールはすばらしい音響効果を有しているが、これはRWE社が寄附したものである。そのRWE社も会社分割、リストラ等が予定され、エッセン市の中心部にそびえたつ円形の本社ビルも近々明け渡されるのではないかと…という噂であった。

このようなドイツの電力会社の惨状は、ほんのこの2、3年に顕著となった出来事である。一体、何が起こったのだろうか？

さらにショックだったのは、今回VGB(ヨーロッパ発電技術協会)の本部を訪問した時である。会員数484社(電力会社、製造メーカーなどで構成)、会員の所有する発

Lessons learned from present energy situation in Germany --- what Japan should learn : Shozo Kaneko.

(2015年8月10日 受理)

電設備能力4億5800万kW(日本の2倍)とほぼヨーロッパ全域をカバーする歴史と伝統を誇る堂々たる組織の本部が、エッセン市の中心部のビルから移動し、市の郊外の森の中にある建物の片隅に間借りしていたことである。昨年9月の訪問時から、わずか半年しか経っていない。失礼な言い方をすると、まさに“貧すれば鈍す”であり、スタッフも大幅に削減され、関係者も心なしか元気がないように見受けられた。このVGBと日本の火力原子力発電技術協会は交流協定を結び、毎年相互に訪問して情報交換を行い、共同でシンポジウムなどを開催してきたが、現在中断中であり、再開もめどが立っていない状態である。

またこの地域(ルール地方)は産学協同が盛んで、企業と大学の密接な共同研究が行われていたが、これらも軒並み中止または縮小の状況にあり、実践的かつ応用性の高い工学教育が大きな打撃を受けている。

幸い日本はこれから大きな動きがはじまる。つまりドイツの経験を参考にできるのである。日本が取り返しのつかない惨状に陥ることがないように、しっかりとドイツの実情を把握し、冷静にその教訓を学び、本当に日本のためになるエネルギー政策を展開すべきである。

II. ドイツの現状

1. “Energiewende”の内容

ドイツ国民はかねてより環境問題に関心が深い。1986

年のチェルノブイリ事故以来、原子力についてはいろいろな議論がなされてきた。また地球温暖化問題に対しても積極的な取組み、再生可能エネルギーをいかに増やすかが検討されてきた。

その中で決定的な転機となったのは、やはり2011年3月の福島第一原子力発電所の事故である。メルケル首相は古い8基の原発をただちに停止し、残り9基も2022年までに廃止するとした。これと併行して再生可能エネルギーの着実な増加をめざしている。

また2011年に電力が自由化され、発電・送電・配電が分離され、電力市場で単価の安い電力が優先的に使用されるようになった。このような一連の大きな動きを“Energiewende”(「エネルギー革命」または「エネルギー転換」)と呼んでいる。

2. 電力の実態

(1) 現在の発電市場のメカニズム(Merit Order)

現在の電力市場をしてみる。まず第1図に示すように、“Merit Order”により運転コスト(変動費-実質的には燃料費)の安いものから運転される。もともとは上段の図に示すように、原子力→褐炭火力→石炭火力→天然ガス火力→軽・重油火力の順に運転されていた。

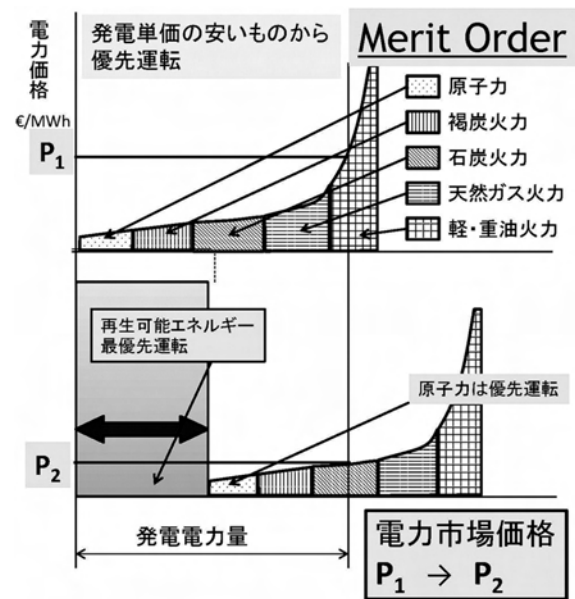
ところが下段の図に示すように、現在は一変している。最近では再生可能エネルギーが25%を占めているわけであるが、再生可能エネルギーは最優先であり全量無制限に採用される(価格はゼロとみなす)。次に運転費の安い、生き残っている9基の原子力が優先して運転され、現状フル稼働の状況である。その次に燃料費の安い褐炭(Brown Coal)火力が動く。その次に石炭(黒炭: Black Coal)火力が続く。2014年は、この石炭火力が半分くらい動いたところで市場は一杯となり(電力需要とバランス)、運転コストの高い天然ガス火力はほとんど運転の機会がない。

(2) 運転時間の低下

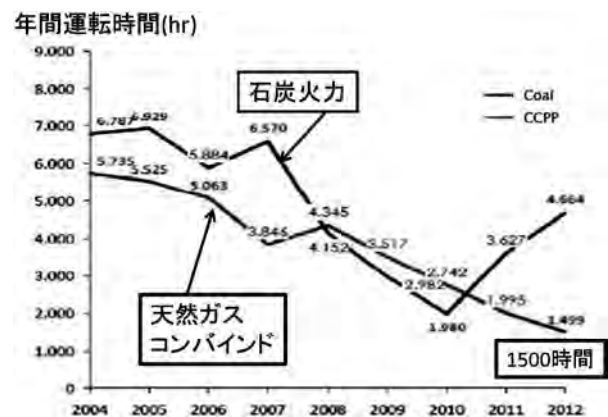
2,3年前に建設された世界最高効率の天然ガス複合発電(コンバインドサイクル)のプラントでも年間500時間くらいしか運転できず、コスト低減のために長期保管停止(Moth-balling)や廃却を余儀なくされるプラントも出ている。第2図の例では8年前に建設された時には年間5,735時間運転されていた天然ガスコンバインドプラントが、2012年には1,500時間しか運転されていない例が示されている。

一体どうしてこのようなことになったのであろうか? その理由は“不完全な歪んだ条件下で自由競争をさせる”という市場の制度設計の不備にあることは明白である。

すなわち、本来なら一番発電原価の高い再生可能エネルギーを価格ゼロということで全量強制的に市場に投入するからである。そうすると価格の高い電源は締め出され、天然ガス焚の運転は零に近くなり、石炭焚火力の運



第1図 Merit Order



第2図 火力発電所の年間運転時間¹⁾

転も従来の半分程度になってしまった。再生可能エネルギーの比率が小さい間はあまり目立っていなかったが、再生可能エネルギーの比率が25%を越えた2014年から、まさに“悲惨な状況”となったわけである。

(3) 稼働率向上のための努力

今回の訪独で最新鋭の天然ガスコンバインドプラントを訪問した。デュッセルドルフ市営電力が市内に建設中のラウスヴァート発電所である。50年以上前に建設された古い石炭火力を廃止し、最新鋭の天然ガス火力に変えようというプロジェクトである。前述のように燃料費の高い天然ガス火力は、いかに高効率であろうとも市場から排除され、休止または廃止に追い込まれているのに大丈夫であろうか? じつはこの600MWeの発電プラントは300MWthの熱併給供給能力を有しており、3本の巨大な熱水パイプラインでデュッセルドルフ市内の地域冷暖房などの熱需要をまかなう計画である。つまり地域に不可欠のエネルギー供給源ということで優先運転の順位を上げ稼働率を上げようとしている(運転時間が長くなれば当然採算性も向上し、投資回収が早くなる)。



第3図 ラウスヴァート発電所(デュッセルドルフ市)

市民のための発電所ということアピールするため市当局も広報活動など並ならぬ力の入れ方である。第3図にこのプラントの外観を示すが、高さ65mの煙突の50mまで総ガラス張りの建屋を建設している。この45mのフロアに展望施設をつくり、これを市民に開放して、美しいデュッセルドルフの夜景を一望して満喫して貰おうという目論見である。

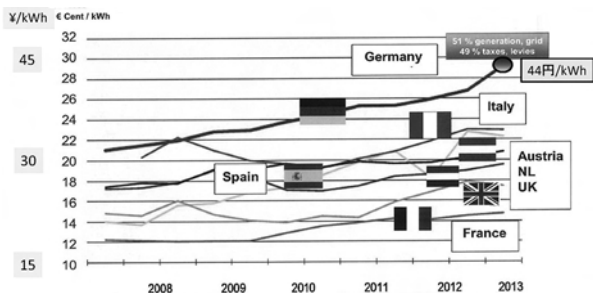
(4) 電力料金の実態

火力発電による売電量の大幅減少、売電価格の低下($P_1 \rightarrow P_2$)というダブルパンチで売電収入は激減し、大手電力会社は軒並み数千億円の大赤字となった。2014年の卸売電力は2010年にくらべ30%も下落したのに、一方家庭用電力料金は25%も上昇し、44円/kWhと世界最高になった。

第4図に各国の家庭用電気料金の比較を示すが、ドイツが最高となっている。これは一番発電単価の高い再生可能エネルギーを、ただということ市場に投入するための費用負担のためである(産業用電力料金は国際競争力を損なってはいけないという理由で免除)。この高い電力料金もドイツ国民に依然として許容されているわけであり、迅速な方針転換を要求する強力な政治的圧力はなっていないようである。

3. 電力会社の疲弊

前項で述べたように電力マーケットにおいて火力発電は大いに苦戦している。発電会社は膨大な火力発電設備を有しているが、まともに動いているのは褐炭火力のみ



第4図 ドイツと各国の電気料金¹⁾

であり、石炭(黒炭)焼き火力は従来の半分程度、天然ガス焼き火力に至ってはほとんど運転されていない。したがって市場で売れる電力量は大幅に減った上に売電単価も下がっているため、大幅な販売収入減となり、2014年度は各社数千億円規模の赤字となった。このため、人員削減や会社分割などがなされている。一例としてE-ON社の2014年11月の発表によると、会社を再生可能エネルギー専門の会社と原子力・火力の会社に2分割し、6万人の社員を前者に4万人、後者に2万人配置することである。原子力・火力部門の2万人は次々に廃止・休止・低稼働となる発電所を維持するのに必要な最低限の人員である。“将来有望な再生可能エネルギーに注力するために4万人を配置した”と楽観的に見る向きもあるが、実態はそんなに甘いものではない。風力などの固定買取り価格も年々下がっており、また今後増加する洋上風力もコストが陸上風力に比べ大幅に高い。結局、この4万人も全員を雇用継続できるわけではなく、維持可能な人員まで次々に削減されていくと想定される。

もともとドイツの電力会社は地域と共に発展して来たともいえ、公共性への自覚が高く、学協会など公的団体への支援、規格・基準の策定の援助、大学や研究機関との共同研究など地道な支援活動を続けて来た。しかし電力会社の疲弊はこれらの活動を根底から崩しつつある。

4. 製造業の疲弊

電力会社が大赤字となり、また新規の火力発電の建設が不可能になると、火力発電機器を製造する重工業メーカーも仕事なくなる。現在、ドイツ国内には新しい火力発電所を建設しようという計画はない(建設しても動かないので投資回収ができない)。かつてドイツには世界的な高い技術力を有するボイラメーカー、タービンメーカー、原子力機器メーカーが存在したが、現在残っているのはタービンメーカーであるSiemens社だけである。

かつて技術を競いあったボイラメーカーも次々に立ち行かなくなり、倒産又は買収により次々と消えていった。最後に残っていたAlstom社もついにGE社に買収され、ついにドイツのボイラメーカーは無くなってしまった。つまり高い技術を必要とする高効率ボイラはドイツでは設計や製造ができなくなった訳である。技術者も失業もしくは離散し、十年後に復活しようとしてももはや不可能である。

当然のことながら高効率の新しい発電所を実現するための研究開発も軒並み中止となった。蒸気温度600℃の超々臨界圧(USC)プラントを日本が国家プロジェクトとして開発していた30年前、筆者もしばしばデュッセルドルフを訪問し、9%クロム合金鋼の開発について議論したものである。またその次の700℃を目標としたA-USCプロジェクトも日本とドイツで開発を競い合っていた。いまやそのような高効率化を目指したプロジェ

クトはすべて中止となり、わずかに残っているのは風力などの変動型再生可能エネルギーの出力と需要とのギャップを火力発電が補完するという分野であり、火力発電の負荷変化率を高め、最低運用負荷を切下げて運用性を高める研究のみが細々と続けられている。

ドイツ製造業の疲弊は日本の国際競争力を相対的に高め有利だという見方もあるかもしれないが、本当に世界に役に立つ優れた技術は、切磋琢磨する激しい国際競争のもとで生まれるものである。世界全体の高效率発電技術の停滞が懸念される。

5. 大学の疲弊

ドイツの工科大の大学はエネルギー分野においては電力会社や製造メーカーとの人的交流も盛んであり、また共同研究も活発であった。事実ドイツの電力会社には工学博士号を持つ技術者が多数存在した。今、これからの共同研究も次々と打ち切れ、各大学はEUからの支援を得ようと必死である。EUも2014年から“HORIZON 2020”⁽²⁾という新しい研究開発の支援体制を構築し、従来EU内に限定されていたプロジェクトを広く海外との共同でのプロジェクトに変え、人的または資金的支援を海外からも得ようとしている。筆者も数年前からEU特にポーランドと密接な共同研究を実施しているが、これからドイツを初めとするEUの各大学や研究機関との国際交流や協力はますます活性化するものと思われる。

III. 日本との相違点

1. エネルギー自給率

日本はエネルギー自給率は僅か6%であり、また化石燃料も96%を輸入に頼っている。2013年の発電電力量は88%がこの輸入頼みの化石燃料によるものである。これに対してドイツでは自国産の豊富な石炭や褐炭が発電の中心であり、原子力を含めると発電電力量の90%が他国に依存しない電力である。またノルトライン・ヴェストファーレン州や東部に大量に存在する褐炭は、将来300年にわたってドイツをまかなえる膨大な資源量である。再生可能エネルギーの増加はこの褐炭の過剰な使用を抑制することにもなる。つまり世界中の化石燃料が枯渇に向かい、価格が急騰して世界が苦しむときに、おもむろに温存した褐炭中心の世界を再開すればよい訳である。

一方、日本は化石燃料の自給率はわずか4%である。しかし1955年には日本の一次エネルギー自給率は80%であり、国産の石炭がそれを支えていた。しかし今や国内の石炭はほとんど掘り尽くし、期待できない。メタンハイドレートもまだ研究開発段階であり、実用性は未知数である。

2. 近隣諸国との関係

ドイツは大陸に位置し、フランスやポーランドなどの

各国と国境を接している。従って電力網もフランスやポーランドなどと連繫しているほか、豊富な発電能力を有するノルウェーなどの北欧とも繋がっている。

また天然ガスも西部のオランダ、東部のロシアからパイプラインを通して輸入が可能である。この点は四周を海に囲まれ、完全に孤立した電源網であり、また外国との天然ガスパイプラインも無い日本と根本的に異なる点である。つまり自国では原子力を抑制する方針でありながらフランスから原子力で発電した安い電気を輸入している。また自国の南北の送電線の容量不足のため、北海付近で発生した大量の風力発電による電力がポーランドを迂回して、需要地である南ドイツに送られている。

なお今後の再生可能エネルギーの増加にたいしては南北を結ぶ強力な送電線の建設が喫緊の課題となっているが、住民の理解が得られず遅々として進んでいない。

3. 国の形態と国民性

ドイツは連邦制であり、国と州がいろいろな役割分担をしている。従って地方の独立性は日本よりも強い。送電線の建設も連邦政府の思惑と州政府の思惑が一致せず混乱している所もある。

またドイツは“理念先行型”の国民性であり、地球温暖化対策などもドイツが先頭に立ってEUを引張っている。もともと再生可能エネルギーの増加は大きな目標であったが、これに実質的なFIT(固定買取制度)を適用することにより現実大幅な増加となっている。このため家庭用電力料金も世界で最も高くなり、いろいろと批判の声も上がっているようであるが、現状は政治を大きく動かすには至っていないのは前述の通りである。

IV. 日本のエネルギー政策

1. エネルギー政策の3つの方針

本年7月迄に日本のエネルギー政策の大きな3つの方針が決定された。第1はエネルギー基本計画に準拠した“エネルギーミックス”の決定である。これにより2030年度の電力量の目標値が示され、再生可能エネルギー24%、原子力22%、天然ガス27%、石炭26%という比率が示された。筆者はこの示された比率は極めて妥当であると考えている。

第2は2030年に向けてのCO₂削減目標の決定であり、2013年ベースで26%削減という意欲的な目標が示された。欧米に対抗していくにはこのレベルの削減案は必要であるとの考えである。米国は京都議定書を離脱して以来、これまで地球温暖化問題には冷淡であった。しかしオバマ政権は2013年6月にその態度を一変し、“石炭から天然ガスへ”というエネルギーシフトを明確に打ち出すとともに、これと表裏一体をなすものとしてCO₂の大幅削減を主張しているからである。米国案はシェールガスも本格利用により実現可能と思われる。しかし日

本の削減案はかなり厳しい案である。日本のエネルギーミックスで示された原子力22%が実現しない場合、結局は火力がこれをカバーすることになり大幅なCO₂増加が懸念され、日本の目標達成は極めて難しくなる。このためには火力発電の高効率化を真剣に加速し実施しなければならない。

第3は“電力の自由化”である。6月に関連法案が国会を通過し、これから2020年にかけて、発電・送電・配電の分離、地域を越えた自由な電力販売などが順次実施されていくことになる。自由化により電力単価が下がれば、製造業の国際競争力も上がり、いいことづくめのように見える。しかしいくつかの問題点も予見される。それは高効率プラントの実現性の問題である。これから火力発電は大きな効率向上を実現しなければならないが、いくら美しいロードマップを描いても、現実には実現できない恐れがある。発電の場合を見ると、市場において当然、発電原価の安いものから採用されていく。つまり高効率の新鋭プラントでも燃料費の削減より設備費の増加が大きければ、結局発電原価の上昇となり、市場で勝てない恐れがある。そうするといくら効率向上の意欲があろうとも、事業者としては採用できないことになる。これは要注意点である。

2. 具体的なアクションプラン

この3つの大方針を受けて、政府においてもいろいろな委員会や研究会が開催され、着々とアクションプランが作成され、展開されようとしている。一例をあげると、経産省の“次世代火力発電の早期実現のための協議会⁽³⁾”がある。この協議会では2020年、2030年に向けての火力発電の高効率化とCO₂削減の同時実現のためのロードマップ作成が議論されている。特筆すべきは、単に技術目標を示すだけでなく、それが確実に実行されるための経済的な支援策についても平行して議論されていることである。これは前述のように、自由化された状態では、高効率の新技术が、そのままでは市場に入れない恐れが極めて大きいことを考えてのことである。

3. 総合的な対策を推進すべし

先程の3つの大きな方針のうち、エネルギーミックスにより電力料金を下げつつエネルギーセキュリティを確実に守る道と、CO₂の大幅削減で地球温暖化交渉をリードする道は、時として相反し、共存解が存在しないこと

もありうる。特に産業重視の経産省と環境重視の環境省が対立するよう見受けられることもある。しかし、戦うべき相手は世界であって、国内ではない。省庁間の縄張り争いなどにとらわれることなく、国益を最重視して胸襟を開いて議論すれば、必ずや共通解が見出せるはずである。ともすれば国内だけに目が向き、日本国内だけでしか通用しない偏狭な議論がなされることがある。

しかし、産業の国際競争力においても、地球温暖化交渉についても、相手は世界である。国内での徹底的な議論は結構であるが、世界的視野を忘れることなく、結論が出たら一致団結して国益のために頑張るべきである。

V. おわりに

筆者は昨年来いろいろなシンポジウムや委員会で“ドイツの惨状”と題して、ドイツの電力の現状とその問題点を指摘して来た。しかし、他方では相変わらず“ドイツは楽園”といった一方的な礼賛記事も依然として見られる。日本からの視察団が風力発電の実施者を訪れ、一財産築いた話や村おこしに成功した話などが伝えられる。しかしその反面、博士号を持つ優秀なエンジニアが職を失い路頭に迷う話は報道されない。ドイツに行き、電力や製造業に身を置く長年の友人や知人と会って話す度に、まさに“惨状”という言葉が誇張でもなんでもないことを痛切に感じている。

実際のデータを基に、冷静かつ客観的に分析し、これを“他山の石”として教訓を汲み取り、間違いのない日本の将来を築いていくべきだと信じている。

— 引用資料 —

- 1) 2013.9.26 VGB Congress 発表資料をもとに金子作成
- 2) Horizon 2020 の概要
www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/FU/EU20140221.pdf
- 3) 次世代火力発電協議会の設置とロードマップの策定
www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy.../pdf/001_01_00.pdf

著者紹介



金子祥三 (かねこ・しょうぞう)

東京大学生産技術研究所
(専門分野/関心分野) エネルギー工学/高効率火力発電・地球温暖化問題

いまこそ日本はインドとの原子力協力を推進せよ ～日本原子力学会会員のための原子力外交の基礎知識

エネルギー戦略研究会会長 金子 熊夫

2010年6月に始まった日本とインドとの原子力協力協定締結交渉は、いまだに妥結に至っていない。識者やメディアの中にはインドがNPTに加盟していないことを懸念として指摘する向きもある。ここではインドの核と原子力開発の歴史や外交姿勢と、同国を取り巻く国際情勢について簡単に紹介するとともに、揺れ動く国際政治の中で我が国が果たすべき役割について述べる。

KEYWORDS: *Japan-India nuclear cooperation agreement, diplomatic negotiations, NPT, IAEA, Indian nuclear energy policy, NSG,*

I. はじめに

日本政府は、民主党鳩山政権時代の2010年6月、インドとの原子力協力協定締結交渉を開始した。その後東電福島第一原発事故(2011年3月)で交渉は一時中断され、約2年後に再開されたものの、未だに妥結に至っていない。両国首脳は、会談の機会がある度に、決まったように「交渉の早期妥結の必要性」を再確認している(2014年9月1日の安倍・モディ会談後の共同声明参照)。にも関わらず、双方の外務当局による交渉は、いくつかの基本的な問題点についてクリアできず、延々と難航し続けている。外交交渉であるからある程度の秘密は止むを得ないが、肝心の原子力の専門家にも殆ど全く正しい情報が流れていないのは問題である。かつて外務省で原子力外交を担当した者として、できるだけ分かり易く解説してみたい。

II. 食い違う両国の基本的立場と国情

交渉難航の最大の原因は、言うまでもなく、唯一の被爆国として「非核」を国是とし、原子力の平和利用に徹する日本と、核兵器不拡散条約(NPT)に一貫して加盟せず、核の軍事利用にも手を染め、1974年と1998年の2度にわたり核実験を強行したインドとの間に、深い立場の相違が存在するからである。

The importance of Japan-India nuclear energy cooperation -More efforts are needed to that end- : Introduction to nuclear diplomacy for society members : Kumao Kaneko.

(2015年09月16日 受理)

日本国内には、広島、長崎を中心とする反核・反原発・平和団体と一部マスコミの日印原子力協力(対印原発輸出)に対する反対が根強い。いわく、NPT非加盟のインドとの原子力協力はNPT体制の弱体化を加速する、そして、それは日本の悲願である核廃絶の実現に逆行し、「平和国家日本」の看板に傷がつく、云々。

こうした懸念や主張の多くがいずれも感覚的、観念的なものであり、国際政治の現実についての誤解ないし理解不足に基づくものであることは詳しく後述するが、いずれにせよ、このような入口での反対論が国内に根強くあることが外務当局による交渉の幅を極度に狭めていることは明らかである。

対するインド側は、逆に、ここ数年間で同国を取り巻く国際情勢の変化(好転)により自らの立場に益々自信を強めている模様で、日本との原子力協力は熱望するものの、そのために長年にわたって築き上げてきた自国の安全保障政策や核・原子力政策について安易な妥協はできないという事情がある。こうしたインド側の事情は日本国内では必ずしも十分認識されていないと思われるので、ここで、駆け足でインドの核・原子力開発の歴史を振り返っておきたい。

III. インドの原子力開発の歴史

周知のように、インドは第二次世界大戦前は大英帝国の植民地であり、当時のインドの科学エリートは英国の一流大学で教育を受けた。その代表格であるホミ・バーバー(Homi Bhaba)博士は、広島・長崎原爆を造った「マンハッタン計画」にも関与し、その中心人物、オープンハ

イマー (Robert Oppenheimer) などとは戦後も密接な交流があった。いわば日本の湯川秀樹博士のような存在で、現在でもインドの「原子力の父」と尊敬されている。彼は、アイゼンハワー米大統領の「Atoms for Peace」(1953年)演説の1年半後にジュネーブで開催された国連主催の第1回原子力平和利用会議の議長を務めている。

インド独立(1947年)後、彼は初代首相ネール(Jawaharlal Nehru)の指導の下、タタ財閥の潤沢な財政援助を得て、インドにおける原子力研究の基礎を作った。不運にも彼は1966年にモンブランの近くでの飛行機事故で急死したが、現在ムンバイ(旧ボンベイ)郊外のトロンベイにある研究所は「バーバー原子力研究センター」(BARC)と命名され、東海村の日本原子力研究所(現JAEA)に相当する重要な地位を占めている。その意味ではインドの原子力研究開発の歴史は日本より約10年古く、アジアでは最先進国と言える。(付録年表参照)

III. インドの核兵器開発とNPTとの関係

しかし、ネール首相は、国父ガンジーの遺志を継いで非暴力・平和主義を唱え、国連総会では最も古くから熱心に核兵器反対、核廃絶を訴えてきたため、当然国内でも、原子力の軍事利用には徹底的に反対で、平和利用以外の研究開発活動を厳しく禁じてきた。

それが、ネール死後(1964年5月)一転して核兵器開発に踏み切ったのは、それまで中国との二度にわたる国境紛争で惨敗を喫したこと、しかもその中国が1964年10月(東京オリンピックの最中)に第1回核実験を行ったためだ。独立以来領土紛争(カシミール問題など)で激しい対立関係にある隣国パキスタンが、中国の支援を受けて核兵器開発に着手していたことも影響している。事実パキスタンとは過去3度戦争が行われており、カシミールをめぐる緊張は現在も一触即発の状況にある。

ただし、インドが、1970年に発効したNPTに猛反対し、これへの加盟を一貫して拒んでいるのは、あくまでも中国との関係によるものである。NPTが1967年1月1日を境にして、それ以前に核実験を行った国(米ソ英仏中の5か国)だけを「核兵器国」(nuclear-weapon State)とし、核兵器の開発・製造・保持を公認しているのに対し、それ以外のすべての国を「非核兵器国」(non-nuclear-weapon State)と規定(NPT第9条)した上で、国際原子力機関(IAEA)による全面的保障措置・査察(full-scope safeguards)を受ける義務を課している(第3条)という点で、本質的に不平等かつ差別的な条約であるからである。インドにとって「不倶戴天の敵」とも称すべきその中国は、1992年になってようやくNPTに加盟したが、条約上の特権的地位をフルに活用して、IAEA査察を一切受けることなく、黙々と核兵器の開

発・製造を拡大し、今や米露に次ぐ世界第3位の核兵器大国となっている。現有する約400発の核ミサイルの半分はインド、あと半分は日本と台湾に照準が合わされている。

IV. 核(NPT)に対する日印の態度の基本的な違い

こうした中国の核兵器開発拡大は、第1回の核実験(1964年)の時から、日本でも既に予見されていたことであり、だからこそ、当時日本国内では、ソ連に加えて、中国警戒論が高まり、これに対抗する意味で日本も将来核武装をせざるをなくなるだろうからNPTには加盟すべきではない、加盟によって将来の日本の安全保障上の選択肢を狭めるべきではない、という意見が官民の間に根強くあった。当時、すなわち1960年代初め、筆者は外務省条約局で、初期のNPT作成交渉の動きをフォローしていたし、その後60年代後半には国連局でNPT署名問題を担当していたので、その辺の国内状況はよく記憶しているが、自民党を中心に政界にはかなり強いNPT加盟反対論があったし、外務省内でも賛否両論があった。

それなのになぜ日本は1970年にNPT署名、1976年に批准に踏み切ったのかは、別のところで詳しく論じてあるのでここでは割愛するが、簡単に言ってしまうと、もしNPTに加盟しなければ、日本は、諸外国からの原子力機器・技術や核燃料の購入を阻まれ、当時すでに本格化していた原子力平和利用＝原子力発電活動に重大な支障を来したであろうということである。(実際にそのような「いやがらせ」や圧力をしばしば受けた。)他方、米国は日本の自主核武装を阻止するために、日米安保条約体制の下で「拡大抑止力」(extended deterrence)、いわゆる「核の傘」を提供し日本を外国の核攻撃から守るという約束を日本政府に与えたので、これを受けて、日本は1967～68年、佐藤栄作内閣の下で「非核三原則」を定め、自ら核武装の道を放棄した。そうするとNPT加盟を拒否しなければならぬ理由が無くなったのである。

こうした歴史的経緯からみて、日本がNPTに加盟したのは、極めて難しい政策判断の結果であり、まさに苦渋の選択であったのであって、決して、被爆国であるからとか、憲法9条や原子力基本法で軍事利用を禁じられているからとか、まして平和国家としてのイメージに合うからと言ったような、理想主義的な動機だけで、諸手を挙げて加盟したのではなかったのである。もし米国政府による「核の傘」の約束がなかったならば、日本はついにNPT加盟に踏み切れず、インドと同じ道を選択した可能性が高いと思われる。

これに対して、インドは、独立以来一貫してネールの平和・中立外交路線を歩み続け、いずれの国とも軍事同盟を結ばず、いずれの国の「核の傘」にも依存していな

い。この点が日本と決定的に違うところであり、自国の安全保障上核兵器による抑止力が不可欠と考えている。さらにまた、中国の特権的地位を認める不平等かつ不合理なNPTには到底加盟できないわけであり、将来もNPTが改正されない限り(それは100%不可能)、絶対に加盟しないだろう。日本ではしばしばインドをNPTの「未加盟国」と呼んでいるが、インドはあくまでも「非加盟国」と呼ぶべきである。

V. 日本はインドの立場に対して理解不足

こうしたインドの厳しい地政学的立場や歴史的経緯について日本人はあまりにも理解が足りないのではないだろうか。被爆国としてのつらい体験から、人一倍核兵器を憎み、核廃絶を願い、非核の道に邁進しているわけだが、その自らの立場や主張が普遍的なもので、他国にも当然理解し支持してもらえると信じ、期待しているのではなからうか。

例えば、1998年にインドが2回目の核実験を行った時、広島、長崎の被爆者や反核運動家たちが大挙してインドに行き、声高に抗議をおこなったが、これに対し、インド側から「日本は自分自身は核兵器を持っていないが、米国の核の傘に守られている。インドはどの国の核の傘にも守られていないので自分で守る以外にない。そのような日本はインドを一方向的に非難する資格があるのか」と反論されて、二の句を継げなかったという。最近になってようやく一般の日本人も、こうした日本の特殊な安全保障環境を自覚するようになってきたかにみえるが、まだ認識が十分だとは言えないだろう。日印原子力協定交渉に反対する人々の態度にも、そうした傾向がはっきり現われていると思われる。

ついでに言えば、日本人の中には、インドはNPTに加盟せず、核兵器を持っているから「好戦的」な国だと思っている人が多いようだが、実は、インドの議会が毎年広島原爆投下記念日の8月6日に黙祷を捧げてきたことを知る日本人が果たしてどれだけのいるか。

さらに言えば、インドは明治以来一貫して親日的な国であり、戦後の困窮時代には親身になって日本人を激励し、国際社会への復帰にも尽力してくれた。東京裁判で唯一人「日本無罪論」を主張したパール(Radhabinod Pal)判事のことは言うに及ばず。将来も、日本の生命線であるインド洋のシーレーン(タンカールート)の防衛などでインドには大きく依存しなければならないという長期的な戦略的側面も忘れるべきではない。

日本の産業界はインドへの原発輸出のメリットを強調する。確かに、福島事故以後日本国内の原子力の「出番」は激減したので、原子力産業を維持するためには(勿論日本経済の成長のためにも)原発輸出は必要であるが、筆者に言わせれば、そうした経済的な側面はあくまでも二義的なものと観念すべきだ。インドとの原子力の研究

開発分野での協力や学者・専門家同士の交流から得られる利益は決して少なくないと思われる。とくに高速増殖炉やトリウムサイクル等の研究開発の分野では、日本がさんざん難儀しているのに比べ、インドは比較的順調に進歩しつつあり、今や世界の最先端に行く感があるので、これらの面で日本はインドから学ぶことが少なくないと思われる。

具体的にどのような分野でどのような協力関係が期待できるかは、門外漢の筆者が云々するより、それぞれの分野の専門家による論述を参照されたい。(例えば、日本原子力学会誌 Vol.56, NO.4(2014)「インドの原子力開発の動向」佐藤浩司、柳澤務)

VI. インドの国際的地位の向上と復権

さて、以上のような歴史的経緯により、インドはNPTに加盟せず、その上1974年と1998年の2度核実験を行ったために、その罰(制裁)として、長年国際原子力市場からシャットアウトされてきた。すなわち、インドは、「原子力供給国グループ」(Nuclear Suppliers Group=NSG)による原子力輸出規制の対象国となり、先進国から原子力機器、資材(核燃料を含む)、技術を輸入する道を閉ざされた。その結果、インドは1960年代にカナダから輸入した重水炉(キャンドゥ炉)をベースに、国産技術で独自の原子力発電活動を行わざるを得なかった。そのため、現在稼働中の原子炉の基数は比較的多いが、1基当たりの出力が平均20万キロワットと小さく、総発電量が少ないのが悩みだ。

しかし、21世紀になって、国際政治状況が激変した結果、米国のブッシュ(息子)政権時代に米印が急接近し、2005年に米印原子力協力合意が発表された。その後両国間の集中的な交渉によって作成された米印原子力協力協定案は、NSGで激しい議論の末2008年に全会一致で承認され(日本も最終的に賛成)、続いてIAEA理事会と米印両国の議会で承認され、2009年に発効した。それまで、米印協定案の成り行きを見守っていたフランス、ロシア、韓国、英国、カナダなども堰を切ったように続々とインドとの2国間協定を結び、原発建設の商談は一気に活発化している。(ただし、2010年にインドで、独特の原子力損害賠償法が成立し、運転事業者だけでなく外国の原発メーカーにも賠償責任を負わせることとなったため、米国などのメーカーは対印進出を躊躇する状態が続いている。ごく最近、米国とは、保険プール方式で妥協が図られたが、実際にはメーカーの動きは鈍い。)

さて、NSGの承認を得て、国際原子力協力への復帰を果たしたインドとしては、「籠を得て蜀を望む」式に自らもNSGに正式メンバーとして加入したい、そして、国際原子力協力や核不拡散活動に主体的に関与したいという意欲が当然強くなるわけで、このところインドは、NSG加盟実現に向けて積極的な外交活動を展開してい

る。とりわけ、自国のエネルギー安全保障と経済力強化のため原子力発電拡大を重要な政策目標に掲げるナレンドラ・モディ首相は、自らそうした外交活動の先頭に立って奔走している。

ただ、そもそも NSG はインドの最初の核実験(1974年)を契機に、NPT を補強する措置として、核兵器製造に転用されやすい機微な原子力機器・技術の輸出規制を目的として設立されたレジームであって(設立は 1978年。筆者は当時初代外務省原子力課長として直接 NSG 設立交渉に関与)、そうした歴史的経緯からしても、NPT 非加盟国のインドを NSG に加盟させることに抵抗を感ずる雰囲気があるが、米国等主要国の強力な支持もあり、徐々に賛同国が増え、現在でははっきり反対しているのは中国のみ。(NSG の重要事項の決定には全会一致が原則なので、中国 1 国の反対でブロックされているのが現状)。中国は「不倶戴天の敵」であるインドの正式加盟には一貫して大反対だが、自らは、「核の闇市場」の前科があるパキスタンに対して NSG 規制を無視した原子力協力(原発輸出)を黙々と行っていることは周知の事実だ。

なお、米国のオバマ政権は、ブッシュ前政権の対印関係強化政策を踏襲し、いち早くインドの NSG 正式加盟に賛成の立場を明確にしている。米国の指摘を待つまでもなく、原子力大国化するインドをいつまでも NSG の埒外に置いておくよりも、むしろ、NSG に正式に加盟させ、核拡散防止に積極的に協力させる方が現実的だ、得策だということである。事実、インドは長年、原子力輸出規制の分野では NSG のどのメンバーにも劣らず厳正に対応してきており、そのクリーンな実績は広く認められているところ。ちなみに、インドはミサイル開発分野でも独自の実績があり、NSG と同時に「ミサイル技術規制レジーム」(MTCR)にも正式メンバーとしての加盟申請を行っている。

VII. 結び：日本の進むべき道、原子力研究者の役割

度々指摘するように、日本政府(外務省)は、被爆国として「究極的核廃絶」を目指し、核軍縮交渉を後押しする立場を堅持しつつ、他方でインドとの友好関係を深め、我が国の対アジア外交(対中外交)の基盤を強化したいという政治的、外交的考慮はあるものの、国内の日印原子力協力を反対し続ける反核・反原発・平和団体や一部マ

スコミの攻撃を警戒して、未だに対印原子力協力を積極的に踏み切れず、その結果協定締結交渉も長引いている。実際には、交渉自体はかなり煮詰まっており、最終的妥結までにあと一步というところまできているのだが、日印で根本的に立場が異なる若干の点について完全合意に達するには至っていないということである。ここを乗り越えるには政治的判断によらざるを得ないだろう。

従って、ここは、政府の最高責任者が勇気と叡智をもって政治的決断をするべきであるが、そのためにも、政府は日本国民に対して、日印原子力協力の積極的意義を強調すると同時に、日印協力によって日本の平和国家としてのイメージに傷がつくとか、NPT 体制の弱体化を招くというような謬見(誤解)を払拭する説明責任を果たさなければならない。そして、そうした政府の努力を側面から支援するためにも、原子力研究者、とりわけ日本原子力学会会員諸氏には是非ともあらゆる機会をとらえて日印原子力協力のメリット(特に我が国にとっての利点)を分かり易く国民に説明する努力をしていただきたい。沈黙は金ではない。政府が説明しにくいところは、学者や専門家が進んで説明に立ち上がるべきである。諸氏の奮発を切に期待する。

－ 関連図書 －

- 1) 金子熊夫「日本の核 アジアの核」(朝日新聞社刊 1997年)
- 2) 同 「核と原子力をめぐる日印関係～日本人よ、核の迷妄から覚めよ」(「日本とインド：いま結ばれる民主主義国家」櫻井よしこ編 文芸春秋 2014年)
- 2) 同 「日印原子力協定を促進すべし」(外交専門誌「外交」Vol.8) http://www.mofa.go.jp/mofaj/press/pr/gaikou/vol8/pdfs/gaikou_vol8_13.pdf
- 4) 同 「日印原子力協定反対論に物申す」(Wedge Report 2010年8月号) <http://wedge.ismedia.jp/articles/-/1021>
- 5) 同 「日印原子力協定と核実験～真に戦略的な日印関係構築のために日本人に必要な現実的判断～」(日印協会 2010/10/22) <http://www.japan-india.com/columns/view/22>
- 6) 同 「原発輸出 本質を歪める「5つの論点」(2014 Wedge Infinity) <http://ironna.jp/article/585>

著者紹介

金子熊夫 (かねこ・くまお)

外交評論家、エネルギー戦略研究会会長、EEE 会議代表。(専門分野/関心分野)国際政治学、国際法、安全保障論、核軍縮問題、原子力・エネルギー問題

付表 インドの核・原子力開発の歴史(年表)

戦前・戦中の 日印関係	タゴール来日, 岡倉天心との交流, S. チャンドラ・ボースと大東亜会議, インパール作戦, R. パル判事と東京裁判など
1945	アラモゴルド・広島・長崎。タータ基礎研究所(ムンバイ)の設立
1947	インド・パキスタン独立
1948	ガンジー暗殺, インド原子力法制定
1952	日印平和条約
1953	"Atoms For Peace"(アイゼンハワー米大統領)
1955	ジュネーブ原子力平和利用会議(議長: H. J. バーバー博士), 日本原子力基本法制定
1957	トロンバイ原子力研究所(BARCの前身)の設立, IAEA 発足(インドは理事国), アジア初の原子炉アプサラ(最大1MWt)の運転開始
1960	カナダ型重水炉 CIRUS 初臨界(Canada+India+Reactor+US)
1962	中印国境紛争
1964	再処理工場建設 Pu 抽出に成功, ネール死去, 中国核実験(東京五輪開催中)
1969	米国製 BWR2 基(トラプール)運転開始
1970	核不拡散条約(NPT)発効(日本署名, インド不参加)
1971	インド・パキスタン戦争
1972	高速増殖炉研究用装置が初臨界,
1973	カナダの CANDU 炉 1 基運転開始
1974	第 1 回核実験成功(インディラ・ガンジー首相)"Buddha smiling"
1977	カーター米政権登場, 日米再処理交渉(東海工場の運転問題), INFCE(~1980)
1978	対印制裁→ロンドン・グループ(輸出規制)→原子力供給国グループ(NSG)
1981	米がトラプール原発取り換え燃料の供給停止(仏が肩代わり)
1984	インド自主開発の重水炉(PHWR: 17 万 kWe)運転開始。ボパール事故。
1985	高速増殖炉実験炉(FBTR)が初臨界
1996	ウラン 233(濃縮度 20%)を燃料とした研究炉 KAMINI が初臨界
1998	2 回目の核実験(バジパイ BJP 政権), 2 週間遅れてパキスタンも。各国が経済制裁 日本 ODA 停止。
2004	高速増殖炉原型炉(PFBR: 50kWe)の建設着工。
2005	米印原子力協力共同声明(プッシュ=マンモハン・シン)
2006	EEE 会議インド原子力視察団の訪印, BARC, IGCAR 等各地を視察
2008	NSG が米印原子力協定を承認←インドが核実験モラトリウム宣言
2009	米印原子力協定が発効(オバマ政権)←ヘンリー・ハイド法(2007)
2010	インドの原子力損害賠償法制定(外国メーカーにも賠償責任)←ボパール事故 日印原子力協定交渉開始, (日ベトナム原発建設協力合意)
2011	東電福島第一原発事故で日印交渉中断(2013 年再開)
2013	日印原子力学会の協力覚書(MOU)を締結
2014	マンモハン・シン首相来日, 安倍首相と原子力協定交渉の加速を合意
2015	IAEA の「原子力損害の補完的補償に関する条約(CSC)発効, インドは未批准
その他案件	米国とは原子力賠償法扱い「プール方式」検討, ロシアが原発建設約束 20 基, 日印外交(首相相互訪問等)

(註) 現在インドが原子力協定を結んでいる国: 米国, フランス, ロシア, 英国, 韓国, カザフスタン, オーストラリア等。

核セキュリティのための核鑑識技術の動向と最近の成果

日本原子力研究開発機構 核不拡散・核セキュリティ総合支援センター
木村 祥紀, 篠原 伸夫, 大久保 綾子

不法行為の現場から押収された核物質・放射性物質及びその他の物質を分析し、『核の属性割出し』のために必要な証拠を提供する技術である核鑑識について、日本原子力研究開発機構では2011年度より核鑑識に係る技術開発を進めてきた。これらの技術には対象物質の同位体組成や不純物元素、精製年代測定といった高精度な分析技術に加えて、国内のすべての対象物質の情報を格納する核鑑識データベースの構築などが含まれる。これらの確立した分析技術やデータ信頼性を維持し、必要に応じて改良するとともに、常に国際水準の維持を目指す品質保証こそが核鑑識の信頼性向上に寄与することになる。

KEYWORDS: *Nuclear Forensics, Nuclear Security, Radiochemistry, Mass Spectrometry, Microscope, Database*

I. はじめに

ドイツのカールスルーエにある超ウラン元素研究所 (ITU) は、2003年6月にリトアニアからの依頼で同国にて押収された4個のペレットの分析を行った¹⁾。原子炉燃料と思われる円柱状ペレットは寸法と重量が全て同じであり、ペレットの中央には穴が開いていた。ITUでの分析結果より、押収されたペレットは2%濃縮の二酸化ウラン (UO₂) であり、不純物組成から全て同じ工場で製造されたものであることが判明した。また年代測定により、このウランが1990年末に精製されたこともわかった。ITUでは西欧州やロシアを中心とした原子炉の燃料に関するデータベースを整備しており¹⁾、これと分析データを照合したとこと、押収ペレットはロシア型原子炉 RBMK-1500 の燃料データと合致することが分かった。リトアニアでは1987年に同原子炉の運転を開始している。さらに調査を進めると、同原子炉燃料はモスクワにある燃料工場において、1989年末から製造されたものであることがわかり、年代測定の結果とも一致することがわかった。

国際原子力機関 (IAEA) では核物質や放射性物質に係

Current status and achievements on nuclear forensics technology developments for nuclear security: Yoshiki Kimura, Nobuo Shinohara, Ayako Okubo.

(2015年7月31日 受理)

る不法移転のデータベース (ITDB)²⁾ を構築している。このデータベースには IAEA に加盟国から報告された核物質・放射性物質に係る不法行為 (不法所持, 不正取引, 盗難, 紛失など) の情報が蓄積されており、1993年から2012年の間に2331件の事例が報告されている。リトアニアで押収されたウラン・ペレットの事例では、ITDB情報に基づき1992年にリトアニア東部にあるイグナリナ原子力発電所で盗まれたものであることが明らかとなり、これ以後、旧ソ連が所有していた原子力施設の核物質防護が強化されることとなった。

これら一連の ITU での活動が「核鑑識」分析である。IAEA では「核鑑識」について、「違法核物質・放射性物質及びその他の物質を分析し、『核の属性割出し』のために必要な証拠を提供することである」としている³⁾。ここで『核の属性割出し』とは、「違法活動に利用された核物質・放射性物質の出所、移転ルートを特定し、最終的にはこのような活動を行ったものを刑事的に起訴する上で役立つプロセス」である。すなわち、不法行為の現場から捜査当局によって押収、採取された核物質及び放射性物質について、当該物質及び関連するその他の物質の組成、物理・化学的形態等を分析し、その物品の出所、履歴、輸送経路、使用目的等を分析・解析する技術的手段が核鑑識である。核鑑識活動には、対象物質のサンプリング、サンプルの分析、分析結果とデータベースの照合や数値シミュレーションとの比較解析といった活動が

含まれる。核鑑識活動の対象として、不法移転の現場から押収された核物質等(pre-detonation)と、核や放射性物質を伴う破壊行為の残骸から採取された核物質等(post-detonation)が想定されている。また核鑑識は指紋やDNA等を対象とする捜査当局による伝統的鑑識と協力して不正行為に対処しなければならないとされている。

IAEAは核鑑識分析手法として、核物質の同位体組成、不純物、粒子形状、年代を測定する技術を提案しており、分析結果を評価するためのデータベースの整備もまた核鑑識活動に不可欠なものとして重要な開発対象とされている。我が国においては、2010年の核セキュリティサミットで「今後3年後を目途に核鑑識技術を確立し、これを国際社会と共有することにより、国際社会に対して一層貢献していく所存である」とのナショナル・ステートメントを政府が表明した。これを受けて、日本原子力研究開発機構(原子力機構)では、質量分析装置や電子顕微鏡、さらにデータベース用コンピュータを新たに設置して、IAEAが提唱する核鑑識技術の開発研究を進めている⁴⁾。本稿では、原子力機構が2013年度末までの3年間で開発した核鑑識に必要な基本的分析技術の概要を紹介するとともに、核鑑識の世界的動向についても言及する。

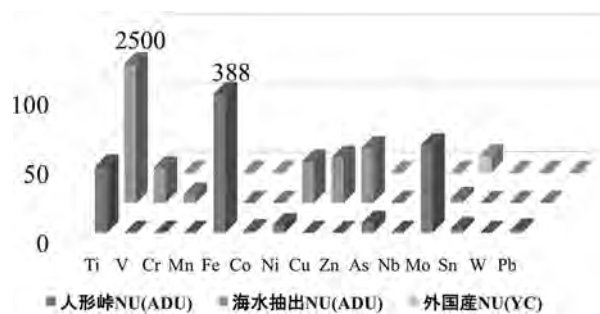
II. 核鑑識技術

核鑑識技術は、冷戦後も急激に増加していた核物質等に係る不法行為に対抗するために、EUの超ウラン元素研究所、米国のローレンス・リバモア国立研究所、サバンナリバー国立研究所といった研究所を中心に1990年代より活発な技術開発が進められてきた。現在は、核鑑識国際技術作業部会(ITWG)やIAEAを中心として、核鑑識技術の普及や分析技術の高度化、データベースの整備等が進められている[6,7]。

原子力機構における核鑑識技術開発においては、核物質等の起源、輸送経路等を特定するために必須となる①核物質等及び不純物の元素・同位体組成分析、②ウラン等の年代測定技術を確立するとともに、起源等を特定するための新たな特徴(シグネチャ)を解明する分析手法を開発し、既存技術の高度化を図ることとした。また、核鑑識分析における要素技術として③粒子形状分析に着手し、核物質の起源等の特定に有効な電子顕微鏡による分析技術を開発している。さらに、核鑑識においては、分析結果を解析し、起源等を特定するためにはデータベースの充実と属性を評価する手法の開発が極めて重要であることから、④核鑑識ライブラリのためのデータベースの整備、属性評価手法の開発を行った。

1. 元素及び同位体の組成分析

核鑑識における組成分析とは、採取した試料のウラ



第1図 人形峠ウラン試料に含まれる不純物の分析結果

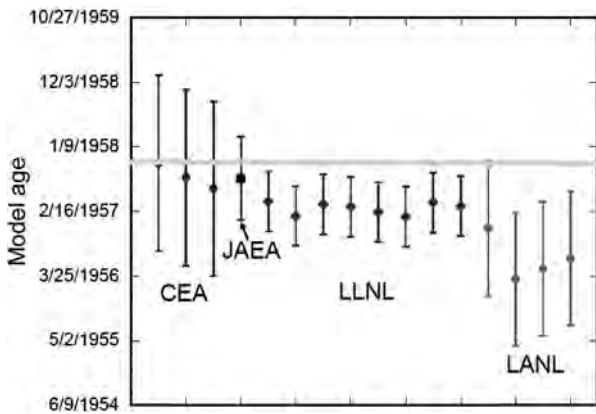
ン、プルトニウム、超ウラン元素等の元素及び同位体組成分析を行い、核物質が照射された原子炉のタイプや核物質の起源等を特定する技術である。保障措置における従来の計量管理では分析対象となっていない²⁴²Pu、²³²Uなどの核種の分析も核鑑識では必要となる。原子力機構においては、このような目的のため表面電離型質量分析装置(TIMMS)を設置し本試験を開始している。

さらに、核物質に含まれる微量の不純物元素の測定技術を開発している。これは、採取した試料の不純物組成パターンから核物質が取り扱われた原子力施設を特定することによって起源等を特定する技術である。計量管理では測定していないウランやプルトニウム以外の元素の測定が必要となるため、原子力機構が所有する誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)を用いる分析法を確立し、原子力機構人形峠環境技術センターが所有するウラン試料(人形峠ウラン)に応用した。その結果の一部を第1図に示す。ウラン試料に含まれる不純物組成が重ウラン酸アンモニウム(ADU)、八酸化三ウラン(U₃O₈)、四フッ化ウラン(UF₄)あるいはイエローケーキ(YC)でまったく異なることがわかるが、これは原料や製造プロセスの違いに依存しているものであり、核鑑識においては非常に有用なシグネチャ(核物質等を識別する物理的・化学的特性)となる。

2. 核燃料物質の年代測定

放射性壊変によって生成する娘核種と親核種との存在比率を正確に測定することにより、ウランやプルトニウム、その他の放射性核種が分離・化学処理された時期を特定し、原子力施設等の操業期間と比較して、対象施設を絞り込むのが年代測定技術である。原子力機構では保障措置環境分析の一環で、プルトニウム及びMOX粒子の年代を特定する技術開発を実施しているが、核鑑識分析技術としてウランの年代測定技術を開発した。

核燃料に用いられるウランは、ウラン鉱物などの核原料物質を分離精製することで得られる。分離精製過程では、トリウムを含む他の元素は不純物として除かれるため、分離精製が完全に行われた場合、精製を経たウラン溶液中にトリウムは含まれないと仮定できる。したがって、精製後に²³⁴Uの壊変で新たに生じる²³⁰Thの量は、



第2図 ウラン年代測定に関する日米共同研究結果

精製からの経過時間と ^{234}U の壊変率に応じて増加していく。精製後の閉鎖性が保たれた場合、精製後の経過時間(t)と精製後に生じた ^{230}Th の量と試料に含まれる ^{234}U の量の比(R)は、以下の関係式で表すことができる。ここで記号 λ は、 ^{234}U 及び ^{230}Th の壊変率を表す。

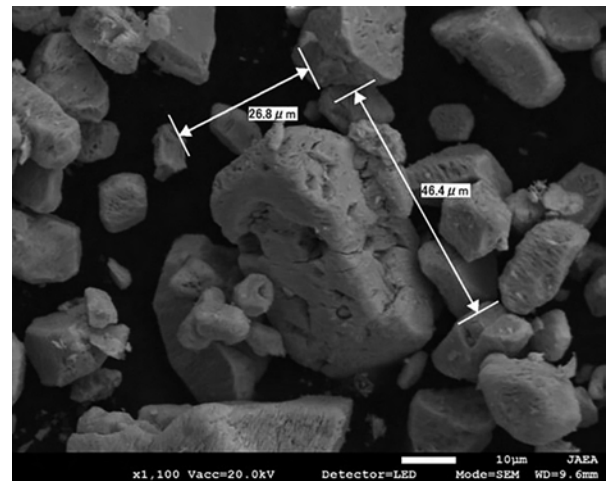
$$t = \frac{1}{\lambda_{234}\text{U} - \lambda_{230}\text{Th}} * \ln \left[1 + \frac{R(\lambda_{234}\text{U} - \lambda_{230}\text{Th})}{\lambda_{234}\text{U}} \right]$$

上記のように、①精製後の閉鎖性が保たれていること、②精製時にトリウムが残存していない、という仮定が成立する場合、試料中の $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 比から精製後の経過時間を求めることができる。

核鑑識分析対象のウラン試料は精製後の経過時間が数十年であり、長半減期の ^{234}U から生成する ^{230}Th の含有量が極めて少ないため、微量分析に適したテフロンカラムを自作するとともに、9M塩酸カラム及び8M硝酸カラムで1回ずつ分離するトリウムの分離精製法を開発した。ここではウランの年代測定精度に影響するウランの混入率を 10^{-8} と低く抑えることができるとともに、TIMSを用いてトリウムを高精度に測定するためにアクチベーターとしてグラファイトをフィラメントに塗布することで1%程度の精度でトリウム同位体比測定が可能となった。さらに、年代測定値の信頼性に影響する化学分離操作ブランク(試料容器や分析機器に起因する汚染を確認し、目的試料の分析に支障のないことを確認するための空試験)の低減化を図るとともに、高分解能ICP-MSによる測定も検討してトリウムを1%以下の精度で測定できることを確認できた。本研究で開発したウラン年代測定法を日米共同研究に適用し、互いの分析結果が誤差の範囲で一致した。本共同研究の結果を第2図に示す。今後は、別の壊変系列ペア(^{235}U - ^{231}Pa 、 ^{230}Th - ^{226}Ra)についても年代測定法を確立し、 ^{234}U - ^{230}Th 年代測定法の結果と合わせて、年代推定結果のクロスチェックを行う予定である。

3. 粒子形状分析

原子力施設によっては、取り扱われる核物質の粒子の



第3図 外国産ウランの電子顕微鏡写真

形状、寸法が異なることを利用して、粒子形状を観察することにより、核物質の起源を特定する粒子形状分析技術を開発している。第3図は走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した外国産ウラン(イエローケーキ)の顕微鏡写真である。原子力機構では保障措置環境分析の一環として粒子の形状等の観察を行っているが、核鑑識ではより細密に形状を記録するとともに、多様な粒子サンプルの形状等の分析を行い、施設特有の特徴の特定を行う必要がある。このため透過型電子顕微鏡(TEM)を設置して、粒子形状及び核物質の微細構造分析の技術開発を進めている。

4. 核鑑識ライブラリ

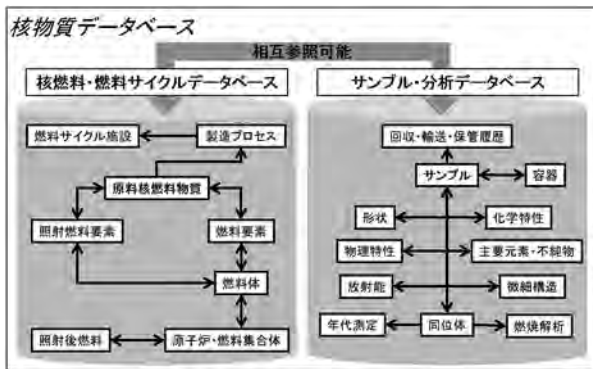
核鑑識分析で得られた同位体組成や不純物組成等の分析データをもとに核物質を識別しその起源等を特定するためには、核物質等のデータベースを整備するとともに、分析データを解析する手法やプログラムを開発する必要がある。これらの機能を備えたものを核鑑識ライブラリと呼び、「核鑑識において押収物質の分析データを元にその出所や履歴といった『属性』の特定をサポートする、核物質及びその他放射性物質に係る様々なデータを格納する情報基盤」と定義される⁵⁾。核鑑識活動におけるライブラリは、IAEAの言う最終的な『核の属性割出し』のために最も重要な要素のひとつであると位置付けられている。原子力機構ではこの核鑑識ライブラリのプロトタイプ開発を進めており、はじめに核物質に注目し以下の項目について検討を実施した。

- 核鑑識ライブラリの概念検討
- 核鑑識ライブラリにおける核物質データベースの検討
- 属性割出しのための解析ツールの検討
- 原子力機構が関与する核物質に係る分析データ等の収集

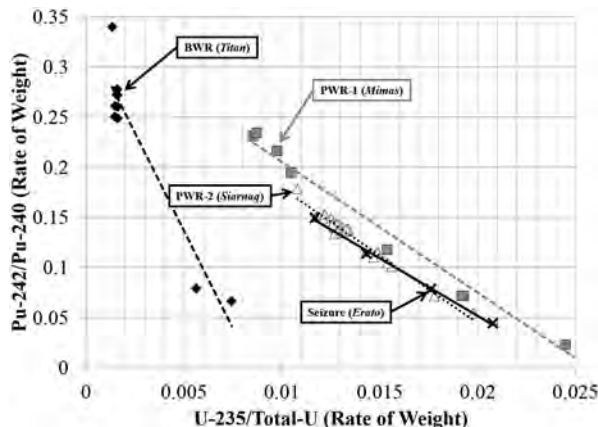
これらをもとにして、核鑑識ライブラリにおける核物質データベースを開発した(第4図)。核鑑識ライブラリ

における核物質データベースは2つの小データベースで構成されている。核燃料・サイクルデータベース(図左)は核燃料の原料となる核物質から製品核燃料に至るプロセス毎に品質検査基準、製造・加工施設及びプロセスの情報、使用施設などの情報が格納され、主に押収核物質の種類の大まかな特定や出所・履歴といった属性の特定に適用される。一方、サンプル・分析データベース(図右)は核鑑識をはじめ、品質管理、保障措置、研究開発などの多様な目的で実施される核物質の分析について、分析サンプル毎のサンプル情報や分析データ、分析に基づく解析データ等を格納し、サンプル単位での核物質の詳細な特定や、各種分析データの蓄積及び解釈に適用されるものとした。本稿の最初に紹介したりトアニアからの依頼で実施されたITUでの分析例では、このようなデータベースが存在したことから、同国にて押収されたウランペレットを製造した燃料工場や装荷原子炉等を解明することができた。

また原子力機構では、属性割り出しのための解析ツールとしての変量解析ツールと簡易画像マッチングツールを開発し、ITWG主催の核鑑識ライブラリに係る国際机上演習「銀河の蛇(Galaxy Serpent)」に参加した。国際机上演習では、核鑑識ライブラリの構築から押収物質の属性評価について良好な結果を得ている⁶⁾。第5図は同位体相関比較法による属性評価の例を示している。今後



第4図 核物質データベースの概要



第5図 ITWG主催の国際机上演習における同位体相関分析の一例

は放射性物質に係るデータベースの構築、属性割り出しのための解析ツールの高度化、核鑑識分析及び属性割り出しに係る知識ベースシステムの開発を実施するとともに、原子力機構におけるデータ収集を継続する予定である。

III. 展望

1. 核鑑識国際ネットワーク

核鑑識ライブラリにおいてはウランやプルトニウムといった核物質に加え、その他の放射性物質のデータベース化が不可欠となるが、特に核物質に関連するデータは機微情報であることから、各国においてデータ収集や核鑑識ライブラリの管理に係るメカニズムの確立が大きな課題となっている。また核鑑識ライブラリにおけるデータ照合、多変量解析、画像解析などの属性評価手法(たとえば伝統的鑑識の指紋照合に相当する)の確立が重要である。このため、我が国ばかりでなく各国が核鑑識ライブラリを構築しデータベースを整備することは必須の検討事項である。特に東アジアにおいては我が国が核鑑識に係る国際協力の中心となり、各国間の具体的な情報交換が可能となれば、我が国のみならず国際的な核セキュリティ強化に大きく貢献できる。

核鑑識ライブラリに関しては、国際的なデータ照合体制についても検討する必要がある。IAEAのITDB(不法移転事案データベース)は不法移転関連情報の国際的な蓄積の場になっているが、同様に核鑑識ライブラリについても最終的にはIAEAが管理する方式を採用すべきであろう。各国がIAEAに照会することで迅速かつ効率的な情報収集が可能となると考えられる。しかし、現在は国際的な合意が得られていないため(機微情報の多国間での情報共有を好まないことによる)、各国が国内核鑑識ライブラリを整備し、他国からの情報照会に対応する方式(National Nuclear Forensics Library-Point Of Contact, NNFL-POC方式)が国際的に最もコンセンサスを得ているのが現状である。

2. 核鑑識国内体制

核テロの防止、検知、対応に関する能力を国際的に強化することを目的とした国際パートナーシップのGICNT(Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism: 核テロに対抗するグローバル・イニシアティブ)の「原則に関する声明」において、日本を含むGICNTの参加国は、国内法及び国際法に従って核テロに関連する「不法に所持された核物質その他の放射性物質又はそれら物質を使用する装置に関し、捜索、差押え及び安全な管理を確立する能力を向上させること」を表明して自発的な措置をとるものとしている。さらに2010年のGICNT全体会合では、核検知と核鑑識を核セキュリティ体制構築の優先分野として検討を続けている。

核セキュリティの重要性が認識されている現状を鑑み、我が国において核鑑識体制を構築することは喫緊の課題である。そのため関連機関が連携し一般的鑑識分析所(指紋、DNAなどが対象)と核鑑識分析所が協力する日本独自の核鑑識体制を構築する必要がある。現在は関係省庁の専門家が議論して、日本としてあるべき核鑑識体制を検討しているところである。

核鑑識ラボラトリには、分析施設、国家核鑑識ライブラリや押収試料保管施設を包含するとともに、証拠能力としての分析結果の品質保証や、データベースと属性評価手法の信頼性を担保するものでなければならない。このためには、国内法や執行体制の整備が必要となる。また、不正事象発生時における分析データの照合業務は核鑑識捜査の基盤であるため、核鑑識ライブラリの整備もまた重要である。なお、原子力機構では現在までの核鑑識技術開発の基礎的成果を基盤とし、核鑑識ラボラトリにおける核物質等の分析を担当することが可能である。

IV. あとがき

原子力機構では、不法行為・不法移転などの現場から押収された核物質や放射性物質を分析する核鑑識に係る基礎技術を開発した。核鑑識における押収試料を対象とした核鑑識分析手法や核鑑識ライブラリのデータ収集・データベース化においては、分析スキームの標準化や国際比較試験などを通じたデータの信頼性が求められる。そこで、確立した分析技術を維持し、必要に応じて改良するとともに、常に国際水準の維持を目指す品質保証こそが核鑑識の信頼性向上に寄与することになると考えている。

— 参考資料 —

1) M. Wallenius, K. Mayer, I. Ray, "Nuclear forensic investigations: Two case studies", *Forensic Science International*, 156 (2006) 55-62.

- 2) IAEA, "ITDB Fact Sheet 2014," (<http://www-ns.iaea.org/downloads/security/itdb-fact-sheet.pdf>).
- 3) IAEA, "Nuclear Forensics Support," IAEA Nuclear Security Series No.2 (2006).
- 4) 大久保綾子 他, 核鑑識研究開発成果報告書, JAEA-Technology 2015-001 (2015).
- 5) J.F. WACKER, et. al. "Proposed Framework for National Nuclear Forensics Libraries and International Directions," PNNL-SA-70589 (2011).
- 6) Y.Kimura et al., "Lessons Learned from the International Tabletop Exercise of National Nuclear Forensics Library at JAEA," *Journal of Nuclear Material Management*, Vol.XLII, No.4, p.40-45 (2014).

著者紹介



木村祥紀 (きむら・よしき)

日本原子力研究開発機構 核不拡散・核セキュリティ総合支援センター
核鑑識技術開発に従事。専門分野は核不拡散、核セキュリティ。



篠原伸夫 (しのはら・のぶお)

日本原子力研究開発機構 核不拡散・核セキュリティ総合支援センター
核セキュリティ関連の技術開発に従事。専門分野は放射化学。



大久保綾子 (おおくぼ・あやこ)

日本原子力研究開発機構 核不拡散・核セキュリティ総合支援センター
核セキュリティ・保障措置関連の技術開発に従事。専門分野は放射化学。

国産安全解析コードの現状と課題

我が国の安全規制への貢献を目指して

日本原子力研究開発機構 須山 賢也

海上技術安全研究所 平尾 好弘

トランスニュークリア株式会社 坂本 浩紀

原子力施設等に対する世界最高水準の安全性を追求する取り組みにおいては、安全評価に使用する解析コード等の水準を高度に保ち続けることが求められる。我が国においては、それらの多くが原子力技術導入時に米国から導入されたため、国産の解析コード等の開発が継続せず、結果的に古い米国産解析コードを利用しつづけている状況にある。本解説では、放射線工学分野における安全解析コードの現状と課題を示し、最新の知見を取り込んだ国産解析コードが我が国の安全規制や現場で広く利用されるための方策について述べる。

KEYWORDS: *Safety Regulation, Analyses Code, Export Controls, Radiation Science and Technology*

I. 序論

原子力施設等に対する世界最高水準の安全性を追求する取り組みにおいて、安全評価の水準を高度に保ち続けることはその根幹に係わる最重要の課題である。多くの安全評価がコンピュータプログラム(以下、解析コードと言う)を用いて行われる事を考えると、その性能や機能を世界最高水準に保ち続けることは、原子力安全に対する取り組みの中で最も重要なテーマの一つといえる。

しかしながら、国内の放射線工学分野の安全審査で使われる解析コード及びデータは、過去に米国で作成された開発年代の古いもののみであることが多く、現代の世界的水準に照らして解析の品質が十分に確保されているとは言い難い。それらの解析コードは、国内外で使われる最新の解析コードと比較すると明らかに機能・性能の点で見劣りする。設計の古い解析コードに対し、新しい解析環境に見合う技術や知見を取り込もうとするには限界があり、また本質的に困難な作業となる。我が国の現状は、米英仏等の原子力先進国が独自の解析コード体系を保有しているのと極めて対照的である。中国や韓国のような新興輸出国も大規模な解析コード国産

化事業を推進しており、我が国の体制は明らかに立ち後れていると言わざるを得ない。

国内で安全評価に使用されている解析コードの利用に広く制限がかかることになれば、原子力事業全般及び関連技術開発に支障がでるのは明白であるが、従来、開発した解析コードを諸外国に自由に配布してきた米国は解析コード配布に対する態度に変化を見せ始めている。すなわち米国は、2009年に広く使用されている自国開発解析コード MCNP 及び RELAP に原子力技術に関する輸出規制(10CFR810)を適用し、MCNP のソースが非公開となった。この問題は国内で原子力施設等の安全評価に携わる関係者らの強い関心を集めた¹⁾。目下のところこの制限が広がる様子は見えないものの、このようなソース非公開の流れが他の解析コードにも波及するのではないかとこの恐れが常につきまわっている。

この解析コードのソース非公開問題は、国内における原子力施設等の安全審査だけでなく、本邦製原子炉の輸出にも影響する。現地の安全審査や解析評価において使用する解析コードが原子炉輸出国である我が国の判断の及ばない所で非開示とされる恐れがあるということは、輸出対象国には受け入れられないことであろう。

こうした米国産解析コードに対する依存度の大きさを反省し、国際的なデファクトスタンダードとなる国産解析コード開発の必要性を説く声はこれまでもあった。関連する調査として一般財団法人高度情報科学技術研究

Current status and problems of computer codes for nuclear safety evaluation : Kenya Suyama, Yoshihiro Hirao, Hiroki Sakamoto.

(2015年8月21日 受理)

機構(RIST)が行った調査²⁾では、これらの懸念を裏付ける調査結果が得られている。

我々が改めて危惧しているのは、原子力産業を取り巻く状況変化の中で解析コード開発に必要な人材がまさに枯渇しつつあり、将来にわたって独自開発のプラットフォームを構築できなくなることである。解析コード開発にかかわる人材の育成は、解析コードやデータの利用ではなく、それらの開発を通してしかなされない。したがって世界最高水準の原子力安全を追求するのであれば、解析コードやデータの持続的な改良や発展に資する体制の構築とその体制を維持する仕組みが不可欠である。

こうした課題に対して本来的な解決を図るには、解析コードを国産化し、持続的な開発を続けていくための仕組みを我が国自身の手で維持管理することが必要である。

こうした危機意識の下、放射線工学会は、「国産安全解析コード開発戦略検討ワーキンググループ」(以下、WG)を組織し、2012年10月から翌年9月まで放射線工学に係る解析コードの開発優先度や開発体制について検討し、その結果を2015年3月に報告書³⁾として公開した。

本解説は、その報告書の概要を示すとともに、WGでの議論を総括して、本テーマに関心をもつ原子力学会員の参考に供する事を目的としてまとめたものである。

II. 解析コードの現状と課題

放射線工学分野における解析コード利用の実態を明らかにするため、再処理施設及び核燃料輸送容器の安全評価で使用された解析コードの開発元及び開発年代を示す(第1表)。序論で述べたように、放射線工学分野の安全解析は米国産解析コードに大きく依存しており、60年代の原子力黎明期に導入された当時のものが現在でも使用されている。一方、国内でも同様の解析を行う解析コードを開発した実績はあるが、今も開発が継続され、安全審査の場で使用されている解析コードはごく一部で、多くは失われているのが現状である。

コストをかけて開発された国産解析コードの活用が進まない要因の一つに、組織的な開発保守体制の欠如がある。米国のSCALEやMCNPの場合数十人のチームを編成してサポートしているが、国内では多くの場合、開発者の個人的な努力に頼っている。そのため、計算環境の変化やユーザの求めに応じた課題への対応が遅れ、審査や設計の現場での利用において信頼が得られにくい状況にある。また別の要因として、それらの現場で長らく外国産解析コードが使われてきた中、技術的な優位性だけで国産解析コードは使用されにくい状況にあり、国産解析コードを実利用に結びつける動機の欠如があげられる。

第1表 再処理施設及び核燃料輸送容器の安全評価で使用された解析コードの例³⁾

解析目的		再処理施設	輸送容器	開発元/年代
遮蔽	S _N 法	ANISN DORT	DOT	米国 ORNL/ 50~60年代
	モンテカルロ法	MCNP	-	米国 LANL/ 80年代~
臨界安全解析		JACS	SCALE	米国 ORNL/ 80年代~
線源解析		ORIGEN2	ORIGEN2	米国 ORNL/ 80年代
定数ライブラリ		DLC23	-	米国 ORNL/ 60年代
		BUGLE96 VITAMIN-B6	-	米国 ORNL/ 90年代
		FSXLIB	-	JAEA/ 90年代
断面積処理		TRANSX	-	米国 LANL/ 90年代

III. 解析コードの開発課題

放射線輸送に関係の深い各分野における解析コードの現状と開発課題について述べる。

(1) 遮蔽解析

遮蔽解析に使用される簡易解析コードやS_N法輸送解析コードは、米国で半世紀近く前に開発されたものがベースであり、国内では必要に応じて機能追加とデータ更新、あるいはプリポスト処理プログラムの開発が行われてきた。簡易計算用のデータ整備については、 γ 線ビルドアップ係数の開発はその当初から日本は大きく貢献しており、現在も整備活動が継続されている⁴⁾。しかしそれらの解析コードの多くに対し、開発元のサポートはない。三次元S_N法輸送計算についても、近年我が国では解析コード開発の報告が無く米国産解析コードを使う例が多い。一方、米国ではSCALE⁵⁾といった審査用パッケージ、あるいはATTILAのような商用の統合解析システム開発へと移行している。S_N計算で用いる群定数についても、一部に国産データベース(ライブラリ)作成の動きはあるが、依然米国産ライブラリが多用されている。

モンテカルロ法に基づく遮蔽解析コードでは、米国産のMCNP⁶⁾が広く利用されており、リサイクル燃料貯蔵施設の許認可解析で用いられた実績がある。一方、国産解析コードであるMVP⁷⁾及びPHITS⁸⁾が利用される場合もある。特にPHITSは、加速器施設、医療分野、放射線防御、宇宙線関連分野等における高エネルギー粒子輸送とそれに引き続く線量評価計算の分野で利用が広まり、急速に整備が進められている。

近年、遮蔽解析コードに対して評価済み遮蔽実験データベース SINBAD を使用した精度検証が国際的に行われるようになってきている。今後、この分野の国産解析コードの標準化を進めるには、世界標準となっている MCNP との比較はもとより、SINBAD によるベンチマーク計算を行って信頼性を証明する必要がある。

(2) 臨界安全解析

六ヶ所再処理工場での安全審査を念頭において、臨界安全ハンドブックが1980年代に編纂されたが、その作業において、米国の多群モンテカルロ法解析コード KENO-IV と米国の核データ ENDF/B-IV から作成された多群断面積ライブラリ MGCL を中核とする臨界安全評価用システム JACS が使用された。JACS は六ヶ所再処理工場の許認可解析と安全審査に利用されたものの、その後の日本における臨界安全評価においては、米国の SCALE が広く利用されている。また、さらに高精度な連続エネルギーモンテカルロ法解析コードでは米国の MCNP や我が国が開発した MVP が利用されるようになった。

日本で開発した連続エネルギーモンテカルロコード MVP は、臨界計算を必要とする炉物理分野では広く利用されている。MVP は我が国を代表する臨界解析コードとして認知され、臨界安全ハンドブック第2版データ集では、MVP と JENDL-3.2 の組み合わせで最少臨界量等の評価が行われている。そのため、MVP は JACS の次を引きつぐ臨界安全評価用プログラムの中核として今後の開発が期待される。

炉物理計算の一部である臨界解析ができる解析コードと臨界解析システムと言われる SCALE のようなパッケージとの違いは、一連の臨界安全評価を効率的に行えるかどうかという点にある。例えば、通常の炉物理の解析では各領域の原子個数密度を解析者が手動で入力するが、SCALE などの安全評価用のシステムでは、標準的データがあらかじめデータベースに用意されており、入力の手間を省くだけでなく使用されるデータの正しさが担保されるようになってきている。世界各国の臨界安全評価用システムの開発は、最新の核データと連続エネルギーモンテカルロ法の利用によって解析精度が大幅に向上している現状も反映し、入出力を管理するデータベースとの結合と言った解析結果の品質保証まで視野に入れて実施されていることに注目すべきであろう。

(3) 線源解析

遮蔽計算のインプットとなる線源解析は、核燃料中に生成される同位体の量、放射能、崩壊熱を評価する燃焼解析(インベントリ解析)の結果を基にして行われる。この分野においては、日本では米国で開発された一点炉燃焼解析コード ORIGEN2 が広く利用されている。

従来からある炉物理解析コードにも燃焼解析の機能は付加されているが、単独の炉物理解析コードが行う燃焼解析は核燃料の反応度変化を評価することに主眼が置かれており、核燃料のインベントリ計算の観点からは ORIGEN2 には及ばない。

米国ではこの分野では上述の SCALE が広く利用されているが、我が国では同様の機能を提供するものとして、JAEA で開発された多群炉心解析コードシステム SRAC と ORIGEN2 を組み合わせて燃焼解析を行う SWAT が開発された。現在では燃焼度依存の実効断面積を求めるための中性子輸送のソルバーとして、SRAC, MVP または MCNP を選択可能とする SWAT⁹⁾が開発されている。世界的にも燃焼解析の分野においては、連続エネルギーモンテカルロ法解析コードと一点炉燃焼解析の組み合わせが主流となっており、SWAT4 のようなシステムの更なる高度化が求められる。

ORIGEN2 は簡便であり安全審査においても広く利用されており、その精度向上が求められた。そのため ORIGEN2 で使用する断面積ライブラリを日本で使用されている核燃料の仕様に基づき SWAT や SRAC を使用して、JENDL-3.2, JENDL-3.3, 及び JENDL-4.0 から作成することで、その解析精度向上が図られている。これに対し米国では、SCALE の計算結果で得た断面積ライブラリを利用して燃焼計算を行う ORIGEN-ARP¹⁰⁾が広く用いられている。

なお、SWAT4 でも燃焼解析には ORIGEN2 を使用しており、燃焼計算ソルバーの国産化は大きな課題である。特に ORIGEN-ARP のような、解析対象に応じた実効断面積を使用して一点炉燃焼解析を行う簡便な解析コードは我が国には存在しておらず、その開発が求められる。

(4) 核データ処理

これまでに述べた様々な解析コードを実行するには、それぞれの解析コードで使用する核反応断面積ライブラリが必要となる。その作成は、ENDF フォーマットの核データを読み込み内挿公式等に従った処理を行い、各種解析コードで使用する形式のファイルへ変換することで行われる。現在、この処理には米国で開発された NJOY¹¹⁾が広く利用されている。NJOY は米国产核データである ENDF の処理を目的に開発されたため、我が国の核データ JENDL の処理において不具合を生じることがある。そのため、国産核データ処理コードを開発することに対する期待は非常に大きい。

IV. 解析コード国産化のメリットと利用促進における学協会の役割と関与

ここまで、解析コードの国産化の必要性及び各分野に

おける解析コード開発の現状について述べてきたが、改めてその国産化のメリットを論じてみたい。それは第一に、安全解析の高度化と効率化を同時に達成することにある。現在、規制者は事業者が申請で用いる解析コードと異なる検証用解析コードを用意し、クロスチェック解析を実施している。信頼ある国産解析コードを双方の目的のベースとして導入できれば、規制者は検証用解析コードに掛けるコストを減らし、申請者の解析の仮定や使用したモデルの妥当性といった、規制者として確認すべき事項に集中できるようになる。事業者にとっても、国際的に信頼性を担保され自由に審査で利用できる国産解析コードを用いる事は、例えば事業拡張時の安全審査における手続きの簡素化に資することが期待出来る。また、事業者と申請者の解析ベースの共通化は、その解析コードの誤使用による解析ミスの防止にも役立つ。さらに、解析コード開発とユーザの距離が近くなることで知識や経験が相互に正確に早く伝わり、適切な開発目標の設定から不具合の修正まで、解析全体の品質向上に資することが期待される。

一方、解析コードの開発が主に研究所で実施される事を考えると、こうした開発を国内で持続的に行うには、開発者のモチベーション向上が不可欠である。一般の研究者にとって解析コード開発の目的は自らの作った理論の検証であり、規制の現場で使用されるといった実用性の追求は所属組織から個人的な活動とみられることが多いためである。

モチベーション向上のためには、解析コード開発を組織のミッションとして位置づけ、開発チームを編成し、開発活動に対して理解と評価を与えることが不可欠である。そして、その前提として、開発チームを維持するための長期的な予算獲得の見込みが必要になる。すなわち、我々が必要を訴えている開発・保守体制の維持とは、どうしたら本来のユーザである事業者と規制者の双方が国産解析コードを積極的に利用し、継続的に開発予算を投入するようになるかという点に尽きる。

外国産に替えて国産解析コードの利用を促進する方策としては、安全審査に国産解析コードを優先導入することが考えられる。具体的には、規制者が事業申請に好適な国産解析コードを指定して事業者に利用を促すとともに、国産解析コードの利用実績と開発貢献に対して経済的なインセンティブを付与することなどである。このような審査の現場での利用は、解析基盤の共通化にとって大きな意味をもち、国産解析コードの開発目標や保守に関する情報が研究や実務の裾野まで共有されるようになる。

ここで日本原子力学会をはじめとする学協会は、技術的な方針を定める上で大きな役割を果たす事が期待される。それは主に三点が考えられる。一つは国産化優先度の提示である。事業申請に必要な解析コードの全体像を

審査対象・解析目的別に示し、ユーザの意見、コスト、重要性等に鑑み、国産化の優先度を提示することである。それらによって、解析コード開発着手からその審査利用までの国産化ロードマップ作成に協力することである。二つめは解析コードに関する標準の策定である。解析コードが審査利用に相応しいことを示す文書の要件と手続きを定め、規制者が事業申請に好適な解析コードを指定する場合、認証の基準となる標準指針類を作成する。なかでも解析コード信頼性に係る要件は特に重要であり、学会の標準策定計画に組み入れて対応することが考えられる。三つ目は解析コード信頼性の具体的な評価支援である。専門家の役割として、開発者が実施する「検証と妥当性確認(Verification and Validation; V&V)」が妥当であるか、また、そこに用いられるデータに完全性・完結性があるか評価することが求められる。また、解析コードのV&Vに必要なデータを欠いている場合、検証に必要な実験データの取得計画の作成に協力することなどが考えられる。

V. 結論

最初に述べたように、国内の総力を結集した安全解析コードを開発・改良及び保守していくことは、原子力施設の安全確保に不可欠である。本WGの検討の結論として、今後の放射線輸送に関わるコードを国産化していくための開発・維持体制に関して次のことを提言する。

①規制者と事業者の共通基盤技術としての安全解析コードの開発

安全解析コードは、共通の基盤技術であり、規制者と事業者が別々の解析コードを用いることに合理性は無い。規制者と事業者で共通の解析コードを使用することにより、事象の想定や設計の考え方等、解析手法の相違以上に安全評価にとって重要な点を重点的に確認できるようになる。また、最新の知見を反映した検証され標準化された解析コードを開発整備することは、安全評価の信頼性や精度向上に不可欠であり、これを限られた人的・経済的資源の中で合理的に行うためにも、共通の基盤としての解析コード開発が必要である。

②継続的な解析コードの開発・改良及び保守のための体制の整備

共通基盤としての安全解析コードを開発するには、解析手法の研究、解析コードの構想検討、設計といった初期段階から、解析コード開発後の継続的な改良や保守、ユーザーサポートなどまで、一貫して行うことができる体制構築をはじめとして、次の事項の実施が望まれる。

- a. 開発の初期から、継続的な開発・改良及び保守のできる体制
- b. 専門家間のコミュニケーションを通じた活動の推進
- c. 標準解析コードの認証とそのための法令や制度の整備
- d. 国産解析コードの審査利用や開発貢献に対するインセンティブの付与

③安全解析コードの精度評価(V&V)を進めるための研究計画の策定

放射線遮蔽に関する解析コードの場合を例にとれば、OECD/NEAの遮蔽実験データベースSINBADを活用しつつ、我が国で行った遮蔽実験データの提供を通じたデータベース整備への貢献を行うことにより、海外との相互協力によるデータの拡充を図る。そして解析精度評価に必要なデータが欠落している場合には新たな遮蔽実験の必要性の検討を行う。これを基として、データを取得するための長期的な研究ロードマップの策定を行うことが考えられる。

世界最高の安全性を追求する上で安全解析コードの技術基盤は必要不可欠である。そのための人材育成には解析と実験の本来あるべき良好なサイクルが必要であって、国内の総力を結集して国産解析コードを開発・改良及び保守していくことは、今後の原子力施設の安全確保に不可欠なことである。

解析コード開発は地道で非常に多くの労力を必要とする作業である。それだけに、解析コード開発者の情熱だけでなく利用者も含めた関係者全員の理解と協力がなければ成り立たない分野である。我々の主張を多くの方々に理解をいただけることを願っている。

— 参考資料 —

- 1) 田中俊一, 佐藤治, 石島清見, 「我が国での米国製原子力ソフトウェアの利用と課題 - 米国の管理政策に変化の兆し -」, 原子力 eye, 56(11)(2010).
- 2) 「原子力利用を支えるソフトウェアの状況と開発に関する調査」報告書, 一般財団法人高度情報科学技術研究機構(2011).
- 3) 「国産安全解析コード開発戦略検討報告書」, 日本原子力学会放射線工学部会 www.aesj.or.jp/~rst/fukushima/20150318.pdf(2015).

- 4) 「日本原子力学会標準委員会, γ 線ビルドアップ係数: 2013, AESJ-SC-A005:2013, 日本原子力学会(2013).
- 5) SCALE: A Comprehensive Modeling and Simulation Suite for Nuclear Safety Analysis and Design, ORNL/TM-2005/39 Version 6.1, Oak Ridge National Laboratory (2011).
- 6) A General Monte Carlo N-Particle (MCNP) Transport Code, <https://mcnp.lanl.gov/>
- 7) Nagaya, Y. et al., MVP/GMVP II: General Purpose Monte Carlo Codes for Neutron and Photon Transport Calculations based on Continuous Energy and Multigroup Methods, JAERI-1348, Japan Atomic Energy Research Institute (2005).
- 8) Niita, K. et al. "PHITS: Particle and Heavy Ion Transport code System, Version 2.23," JAEA-Data/Code 2010-022, Japan Atomic Energy Agency (2010).
- 9) 鹿島陽夫, 須山賢也, 高田友幸, 連続エネルギーモンテカルロコードMVP, MCNP及び核計算コードSRACを使用する統合化燃焼計算コードシステム - SWAT4.0, JAEA-Data/Code 2014-028, 日本原子力研究開発機構(2015).
- 10) CCC-0702 ORIGEN-ARP 2.00. <http://www.oecd-nea.org/tools/abstract/detail/ccc-0702>
- 11) The NJOY 2012 User Manual, LA-UR-12-27079, Los Alamos National Laboratory (2012).

著者紹介



須山賢也 (すやま・けんや)

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 炉物理標準コード研究グループリーダー
(専門分野/関心分野)原子炉物理, 臨界安全, 計算コード開発



平尾好弘 (ひらお・よしひろ)

国立研究開発法人 海上技術安全研究所 海洋リスク評価系システム安全技術研究グループ 首席研究員
(専門分野/関心分野)放射線遮蔽工学, 放射性物質の輸送リスク評価



坂本浩紀 (さかもと・ひろき)

トランスニュークリア株式会社 技術部 遮蔽・臨界グループリーダー
(専門分野/関心分野)放射線遮蔽工学, 原子炉物理, 臨界安全

原子力損害賠償制度再構築への視点

第1回 東京電力福島原発事故における緊急レジームの検討

慶應義塾大学 遠藤 典子

日本の原子力損害賠償制度を検討するに際し、2つの視点を設けた。第一に、東京電力福島第一原子力発電所事故における緊急レジームとして、第二に、電力システム改革の進展と整合性のある、国内原子力発電所の過酷事故を想定した普遍的かつ恒久的制度としての検討である。第1回では、上記、第一の視点について述べる。政府は、公的資金援助による損害賠償制度の再構築に迫られると同時に、福島第一発電所事故が引き起こした複合的な社会・経済問題の解決に迫られた。そして、従来の原賠法を二層化するかたちで原子力損害賠償支援機構法を制定、諸問題に対する解決策としたことを示す。

KEYWORDS: *Nuclear Damage Compensation Scheme, Unlimited Liability, Disclaimers, Public funds, Deposit insurance, Minamata disease*

I. はじめに

原子力損害賠償制度は、原子力政策の一角をなし、被害者保護と原子力事業の健全な発達を目的としている。

日本の原子力損害賠償制度は、1961年に制定された原子力損害の賠償に関する法律(以下、原賠法)を柱として規定されている。

2011年3月11日14時46分に発生した東日本大地震及び大津波によって、東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、福島第一発電所事故)が発生、大量の放射性物質が外部環境に放出された。わが国は国際原子力事象評価尺度によるところの「レベル7」(深刻な事故)という史上最悪の原子力発電所事故に遭遇した。

政府は事故発生から3ヶ月後の6月14日、原子力損害賠償支援機構法(現原子力損害賠償・廃炉等支援機構法以下、支援機構法)を国会に提出、立法化し、9月12日には新しい原子力損害賠償制度を担う主体となる認可法人である原子力損害賠償支援機構(現原子力損害賠償・廃炉等支援機構、以下、支援機構)を設立した。

福島第一発電所事故の被害者に対する損害賠償に際し、政府はなぜ原賠法に加え、支援機構法の立法が必要だったのか、それが第1回目となる本論の問題の所在で

ある。

支援機構法には見直し条項(附則6条)があり、原賠法については1年を目処に、支援機構法については2年を目処に、国と事業者の負担のあり方について再検討することが明記されている。

また、原賠法も支援機構法も、いずれも2013年11月以降3回の電気事業法改正で実施が決まった電力システム改革との整合性が担保されていない。

第2回では、上記の視点から、緊急レジームを越えた普遍的かつ恒久的制度としての原子力損害賠償制度について、検討する。

II. 原子力損害賠償制度における世界的共通性

原子力損害賠償制度において、原子力発電導入国は極めて似通った法制度を採用している。その共通性の第一は、法制度の目的に、①被害者の保護、②原子力事業の健全な発達、という二つが記されている点にある。第二は、基本的枠組において同様の構造を有し、3本の重要な柱で構成されている点にある。すなわち、A)原子力事業者責任の厳格化(無過失責任または責任の集中原則)、B)原子力事業者への損害賠償措置(民間保険や政府との契約による損害賠償資金の確保)の強制、C)国家による補償である。

1. 無過失責任

A)の無過失責任とは、原子力事業者に過失がなかつ

Prospects for reconstructing nuclear damage compensation scheme : Part one study on emergency regime in the Fukushima-Daiichi nuclear plant accidents : Noriko Endo, Ph.D.

(2015年09月28日受理)

たとしても事故責任を負うことであり、これによって被害者は原子力事業者の過失を立証することなく損害賠償を請求できる。責任の集中原則とは、事故原因が取引納入業者にあったとしても、賠償責任を原子力事業者に集中することである。それによって、被害者が賠償請求する相手を持定できない事態を回避できる。また、取引業者の地位安定を図ることができる。

2. 損害賠償措置の強制

B)の損害賠償措置の強制は、損害賠償資金の確保のために、原子力事業者に賠償責任保険の締結あるいは供託その他の措置を強制することである。この措置を行うことによって、被害者の無過失賠償請求権の実効性が担保され、また、原子力事業者にとっては損害賠償資金を長年の経常的支出によって確保できる。

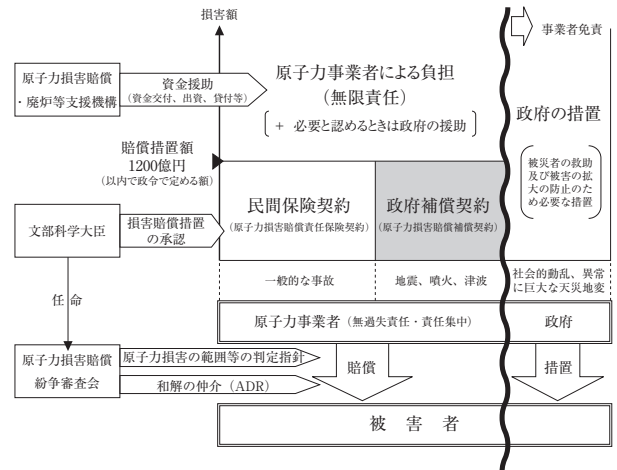
3. 国家補償

しかし、事故の規模によっては損害賠償額が巨額に上り、損害賠償措置によって補填しきれない場合が想定される。そこを補填するのが、C)の国家補償である。

Ⅲ. 原賠法の特質性

この世界共通の構造に加え、日本の原賠法には大きな特徴が二点ある。第一に、A)の原子力事業者の無過失責任や責任の集中に加えて、原子力事業者が被害者に支払う賠償額に限度を設けないという意味での無限責任制を取り、責任をより厳格化している点である。これに対して、アメリカ、フランスなどの原子力発電導入先進国や国際条約は、支払い賠償額に限度を設ける有限責任制を採用している。第二に、C)の国家関与が「補償」ではなく「援助」とあるという点である。援助とは必ず執行される法律上の義務である補償と異なり、国の裁量判断によって決まるものである。A)とC)の関係が、他の先進国のように「有限責任+国家補償」の組み合わせであれば、原子力事業者と国家の損害賠償における役割と資金負担の分担は法的に明快であり、隙間が生まれることもない。だが、「無限責任+国家援助」の組み合わせとなれば、原子力事業者と国の責任の境界線が曖昧で不明になってしまう。したがって、甚大な被害が生じて損害賠償額が損害賠償措置額(1200億円)を上回った場合において、そもそもその補填を国が行うのか否か、行う場合は原子力事業者と国がどう分担するか、現実に事故に直面して初めて、援助の意思決定と援助スキームの構築を、国がすべて行うことになるのである。

日本は原賠法の立法化以来およそ半世紀を経て、破局的原子力事故の発生によって、国家の役割が曖昧であるという原子力損害賠償制度の核心に残された問題に直面したのであった。国の役割を新たに規定しなければならない――これが、日本政府が支援機構法という新しい立法を必要とした理由である。



第1図 原子力損害の賠償に関する法律の概要

(出所：文部科学省 原子力損害賠償制度の概要

http://www.mext.go.jp/a_menu/genshi_baisho/)

Ⅳ. 福島第一発電所事故における損害賠償責任の所在

政府はまず、損害賠償責任を規定する原賠法3条を起点とした2つの選択肢の検討を行なった。

原賠法3条は、原子力事業者の無過失責任を規定した本則部分とただし書きの免責条項部分に分けられる。第1の選択肢は、3条本則を適用して、損害賠償責任は東京電力にあるとし、東京電力単独では賄いきれない損害賠償資金は、16条の国家援助規定に則って国家による援助を行なう。本論ではこれを「損害賠償資金援助スキーム」と呼ぶ。第2の選択肢は、福島第一発電所事故の発生が「異常で巨大な天然地変」による不可抗力によるものと判断し、3条ただし書きによる免責条項を適用する。この場合、損害賠償責任は東京電力だけでなく政府も免責され、政府は17条の国家救助規定に則って被害者を救助する措置を講じる。本論では、「被害者救助スキーム」と呼ぶ。

事故後に著者が行った聞き取り調査によって、政策担当者たちは、福島第一発電所事故発生直後に免責条項の適用は事実上不可能と判断していたことが明らかになった。判断根拠の第1は、仮に東日本大震災とそれに伴う大津波が異常で巨大な天然地変に該当するとしても、福島第一発電所事故について複数原因(原因の競合)が見られること、第2は、免責条項を適用し、それを不服として被害者による訴訟が頻発した場合、裁判が決着するまで東京電力は免責を主張し続けることになる。その間、政府も被害者救済を開始できない状況に陥り、東京電力と政府双方に対して社会的非難が巻き起こること、第3に、「被害者救助スキーム」を選択した場合、当時の民主党政権の財政支出拡大体質によって財政負担が急拡大する恐れがあること、である。

結果として、政府は損害賠償制度の構築において、原賠

法3条本則の適用を選択、東京電力に一義的損害賠償責任を負わせる一方、16条の国家援助規定に基づき「損害賠償資金援助スキーム」の構築、具体的には支援機構法の策定に向かった。国策として原子力政策を推進した国家責任から公的資金援助を行なう「社会的責務」があるとし、また、最終的に発生する税の「国民負担の極小化」を約束することで、公的資金投入を正当化したのであった。

V. 支援機構法の特質

支援機構法において、支援機構の最大の業務は、東京電力が被害者に対して「迅速かつ適切な賠償を行う」(2011年5月14日の原子力発電所事故経済被害対応チーム関係閣僚会合決定)ための資金援助を行うことと規定された。

支援機構法の第1の特質は、原子力事業者の相互扶助システムを導入したことにある。東京電力の損害賠償支払いなどに対して資金援助を行なう支援機構を設立し、東京電力以外の7電力を含む11の原子力事業者にも出資を要請した上で、官民折半出資とした。これには、原子力産業界の広義の自己責任原則の適用という政策的意図がある。

第2の特質は、政府による間接支援方式である。政府は東京電力に対して支援機構を介して資金援助を行なう。これには、東京電力の一義的損害賠償責任の明確化という政策的意図がある。

第3の特質は、政府が資金援助に先立ち東京電力に資金援助の内容や合理化計画などを組み込んだ事業計画の提出を求め、それに対する認可権と事業計画遂行に対する監督権を有することである。これには、「国民負担の極小化」と東京電力救済色の払拭という政策的意図がある。

第4の特質は、援助資金回収の仕組みである。支援機構から特別資金援助を受けた東京電力は、毎年の最終利益から特別負担金を支払う。また、東京電力と他の原子力事業者は毎年、一般負担金を支払う。この特別負担金と一般負担金を援助資金の事実上の「返済金」とする。これにも、「国民負担の極小化」と東京電力救済色の払拭という政策的意図がある。もっとも、一般負担金は総括原価方式のもと、電気料金で回収することができる。

VI. 支援機構スキームにおける2つの政策モデル

支援機構法の策定に当たっては、2つの政策モデルが存在した。その一つが水俣病の原因企業であるチッソに対する公的資金支援方式であり、もう一つが預金保険制度である。

1. チッソに対する公的資金支援

チッソ公的資金支援方式と支援機構法には、3つの共通性を見出すことができる。

第1の共通性は、政府の被害状況に対する認識であ

る。ともに、①被害が多様化、長期化するために損害賠償総額が確定できない、②巨額の損害賠償資金をチッソ、東京電力ともに単独では賄うことができない。

第2の共通性は、原因企業に対する損害賠償責任追及である。政府はチッソに対し、公害原因企業に汚染回復責任と被害者救済責任を課す『汚染者負担の原則(polluter-pays principle, 略称PPP)』を適用することを閣議決定し、チッソに賠償責任を全うさせるためには企業として存続維持する必要がある、しかし、チッソ単独では資力が不足しているのだから、公的金融支援は必須であるという方針を打ち出した。一方、東京電力に対しても、「一義的損害賠償責任がある」とし、賠償責任を全うさせるために、政府は原子力利用の推進を国策としてきた社会的責任に則って資金支援を行い、債務超過を回避するとの方針を閣議決定した。どちらのケースにおいても、法学者、経済学者、一部の被害者から、犯罪的事件を起こした原因企業をなぜ公的資金で救済するのかという批判が起こったが、政府は「安易な倒産を許さない『参加の強制』』という認識を示した。

第3の共通性は、制度に組み込まれた間接支援方式である。チッソに対して政府は当初、患者県債方式を採用し、国が被害者に対して直接損害賠償を行うのではなく、熊本県が県債を発行、それを政府が引き受け、その資金を熊本県がチッソに融資をするという間接支援方式を採用した。東京電力に対しても、政府が支援機構を通じて資金援助を行う間接方式を採用した。

2. 預金保険制度

政府は1990年代の10年間で、180以上の金融機関が破綻した金融システム危機を経験した。その間信用秩序維持のために、再三再四、預金保険制度の改正、強化を図った。預金保険制度の主体である預金保険機構には金銭贈与、資金貸し付け、資産買取り、債務保証、債務引受け、株式の引受けなど、金融機関に対する資金援助機能をさまざまに付与した。東京電力には巨額の損害賠償負担だけでなく、福島第一発電所事故による損失の拡大などによって債務超過が懸念されていた。その回避手段として政策担当者が着目したのが、これらの多様な資金援助機能であった。これらの機能はすべて支援機構に付与されている。

VII. 「5つの複合問題」の解決と会社更生法適用回避の論理

政策担当者たちは福島第一発電所事故直後、互いに影響しあう5つの複合問題が発生したと認識していた。その内容は、①3~5兆円規模の損害賠償制度の実現と維持、②福島原発の事故の収束、安定化、③東京電力の計画停電の回避、安定した電力供給体制への復帰、④電力債の信用回復とそれに伴う社債市場の安定化、⑤東京電力の主要金融機関の損失発生回避による金融システムの

維持、であった。政策担当者たちは、この5つの複合問題を同時解決するには、東京電力に対し、企業として存続維持することが必須であると判断し、東京電力の債務超過回避という政策方針を、福島第一発電所事故発生後早々に決定していた。他方、債務超過転落が濃厚であった東京電力に対し、経済学者などを中心に会社更生法を適用すべきとの主張がなされた。債務超過に転落した企業はいったん市場から退出することが資本主義経済の原理原則であり、会社更生法による法的整理が恣意性を排して経営責任などを追及するに当たって最も透明性の高い手段であることなどが、根拠とされた。

だが、政策担当者は、会社更生法の手続き実務を検証し、会社更生法を適用すれば5つの複合問題を解決するどころか、悪化させると判断していた。なぜなら、福島第一発電所事故による損害は、地理的・内容的・時間的な広がりを持つことから、損害賠償総額の早期の確定は困難であるからである。具体的には、被害者一人ひとりが自らの被害額を算定し、届け出ることは容易ではなく、会社・管財人も届出された債権額が適切か否かを否認することも困難であり、それは東京電力の負債総額を確定できないことを意味し、長期に亘って会社更生計画の策定がかなわず、その間、損害賠償の開始ができない事態が続くからである。

また、会社更生法に基づく債権者への弁済順位は、電力事業法によって電力債を保有する社債権者に優先弁済権が認められており、福島第一発電所事故被害者の損害賠償請求権の弁済順位は劣後する。したがって、被害者への弁済比率は低いものとなり、損害賠償資金を十分に確保することが難しいことから被害者の同意を得ることは容易ではなく、この観点からも会社更生計画の策定は困難だと、政策担当者は判断した。

政策担当者は、9電力会社が発行している社債の信用度が高く、市場では「準国債」として扱われていることにも着目した。債権者である金融機関が認める通り、「準国債」という高い信用度は、総括原価方式と地域独占という安定的な収益基盤と、政策の実働隊である電力会社の倒産はないという暗黙の了解で成り立っている。その前提を崩せば電力債の信用は下落し、電力会社の資金調達に困難となりかねない。他電力会社の連鎖的な経営危機回避のためにも、会社更生法適用は退ける必要があった。

VIII. 債務超過回避を可能にする資金援助スキーム

一方、政策担当者は、東京電力を企業として存続維持する具体的実行策として、東京電力が損害賠償資金負担や福島第一発電所事故による損失などで財務が悪化しても、将来に亘っていかなる場合にも債務超過に転落させない実用性の高い資金援助スキームを作り出さなければならなかった。

東京電力は被害者に対して損害賠償を行うために、財務諸表のバランスシートの負債側に巨額の「損害賠償引当金」を計上する。この「損害賠償引当金」と同額の援助資金をバランスシートの反対側の資産側に同時に補填する仕組みがあれば、両者は相殺され、バランスシートは傷つかず、債務超過に転落することはない。だが、通常の会計認識では、援助資金は東京電力にとって金融債務であるから、負債側に計上されてしまう。それでは負債が相殺されるどころか、膨らむばかりである。そこで、政策担当者は、援助資金の会計認識を逆転させた。金融債務ではなく、支援機構に対する援助資金の請求権と位置づけ、資産側に計上することにしたのである。実際、2011年9月期決算から、東京電力の貸借対照表の負債の部には「原子力損害賠償引当金」項目、資産の部には「未収原子力損害賠償支援機構交付金」項目が設けられた。この債務超過を回避するための援助資金同時補填スキームは支援機構法の要所である。

IX. 支援機構法の実践

支援機構法の立法化を果した政府は運用を開始し、支援機構に5兆円の交付国債を交付するなど東京電力に資金援助を始めた。一方で、「国民負担の極小化」を図るために、政府は有識者による第三者委員会「東京電力に関する経営・財務調査委員会」(以下、調査委員会)を設置、東京電力の厳正な資産評価と経費の見直しを要請した。調査委員会は事業運営の非効率性や役員報酬の高さを指摘した上で、東京電力がまとめた合理化計画をさらに厳しいものに書き換え、原子力発電所の再稼動と電気料金の値上げを柱とする事業計画を報告書として提出した。報告書では、金融機関への融資維持要請、株主には株式希釈化への理解、経営陣には総退陣を求めている。

筆者の聞き取り調査によれば、政策担当者たちは、これら一連の対処を「擬似的会社更生法の適用」と位置づけていた。調査委員会はいわば、「会社更生法における管財人」である。調査委員会がまとめた事業計画シミュレーションは、会社更生法における「更生計画」に匹敵する。また、会社の旧体質に対する改革を行う一方で、ステークホルダーに応分の負担を求め、経営陣を一新することは、会社更生法の大原則である。さらに、調査委員会報告書は、支援機構による資本出資の可能性を示唆している。これは、更生計画の実効性を高める「新たな出資者」に該当する。つまり、政府の東京電力への対処方針は会社更生法適用と同等の厳格さであり、しかしそれでいて、会社更生法適用のように債務は削減されない、という厳格な措置であることが、「擬似的会社更生法の適用」の意味である。

X. 東京電力の実質国有化

支援機構は調査委員会報告書を受け、事業計画の認可

権や事業計画履行に関する監督権をもって厳しい合理化を促すなど、東京電力の管理強化を進めた。だが、資金援助開始から半年を経過し、政府は、東京電力が原発不稼働によるコスト上昇と福島第一発電所事故による損失拡大で1兆円規模の増資が必要となるに至ったため、2012年7月、支援機構が東京電力の優先株式1兆円を買い取ることによって実質的に、国有化を果たした。国有化を主導したのは経済産業省であり、1兆円の出資で議決権の過半数を握ることで経営改革を主導し、東京電力を電力自由化・制度改革の先行モデルとする意図があった。一方、財務省は、電気料金の認可権や種々の規制権限をもつ政府が、東京電力の経営権を取得して企業価値を最大化させる責務を担えば、利益相反が生じかねず、統治機構として問題が生じる、と国有化に反対した。政府が東京電力経営に深入りすることで、財政投入資金が膨張することも懸念材料であった。経済産業省は、振興と規制は両立すると反論、結局、政府は国有化を選択した。

経済産業省と支援機構は、電力自由化・制度改革と総合的であるように東京電力改革プログラムを設計した。例えば、将来の電力小売の自由化や発送電分離を想定し、東京電力にカンパニー制を導入して、事業部門別の採算性向上に乗り出した。それらの改革プログラムは、「総合特別事業計画」にすべて組み込まれた。

XI. 第1回のまとめ

政府は福島第一原子力発電所事故に際し、事故発生当初3~5兆円と想定された損害賠償資金が東京電力一社では賄い切れないことが明白であったため、公的資金援助による損害賠償制度の構築に迫られると同時に、福島第一発電所事故が引き起こした複合的な社会・経済問題の解決に迫られた。

日本の原子力損害賠償制度は、1961年に制定された原賠法を柱として規定されている。だが、政府は福島第一発電所事故発生から3ヶ月後の6月14日、支援機構法を国会に提出、立法化し、9月12日には新しい原子力損害賠償制度を担う主体となる認可法人である支援機構を設立した。原賠法においては、原子力事業者の損害賠償責任に上限を設定せず、無限責任を課す一方で、福島第一発電所事故のような破局的原子力事故によって、被害者に対する損害賠償総額が損害賠償措置額の1200億円を超えた場合、国家はその差額分を「援助」することが16条に規定されている。多くの原子力発電導入先進国が差額分の補填を国家の「補償」という法律上の義務としているのに対し、「援助」の内容は曖昧で細目の決定は政府の裁量に委ねられており、原子力事業者と国家の責任分担が不明である。故に政府は新法によって、それを明確に定義することが必要だったのである。

東京電力が被害者に対して、迅速で適切な賠償を行う

ために、政府は支援機構に対して交付国債による資金交付を行い、東京電力は支援機構から資金援助を受け、被害者に対する損害賠償を行う。つまり、政府が支援機構を介して東京電力に対して間接的資金援助を行うスキームを構築した政府は、従来の原賠法に加えて原子力損害賠償制度を二層化することで、上記の曖昧さの問題に対処する解決策としたのだった。

政策担当者たちは、福島第一発電所事故が引き起こした経済社会の混乱を互いに関連する5つの複合問題として捉え、問題が深刻化し破局的事態に至るのを回避するために、東京電力の存続維持方針を早々に決定し、債務超過回避のための資金援助スキームを策定、支援機構法に組み込むことで、危機管理策としての支援機構法の実効性を高めることに成功した。日本の行政は、緊急時においては、必要とされる政策形成能力を発揮したといえる。政府は支援機構法に則り、東京電力に資金援助を行い、さらには経営改革を主導するために国有化にまで踏み込んだ。だが、当初想定の2倍規模に及ぶ10兆円規模の損害賠償を将来に亘って確実に実行する持続可能性の高いスキームの構築という、新たな政策課題に直面することとなった。

第2回はこの政策課題を解決すべく構築された政府の東京電力への「新たな支援の枠組み」について検討し、国内原子力発電所の過酷事故を想定した、普遍的かつ恒久的制度について提起したい。

— 参考資料及び注釈 —

- 1) 科学技術庁原子力局監修(1980)
- 2) PPP (Polluter Pays Principle) : OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) (1975) 1972年に打ち出された国際貿易における各国の競争条件を均等化するための原則。環境汚染を引き起こした汚染者が発生した損害の費用すべてを負担するべきとし、国が民間企業の汚染防止費用を補助金によって負担するかしないかで、市場競争において公平さが保たれない恐れがあるため、基本原則として汚染者に補助金禁止を決定した。日本では、汚染原因企業の責任をより強く追及する独自の概念が形成され、1974年の公害健康被害補償法で具現化された
- 3) 永松俊雄(2007)『チッシン支援の政策学—政府金融支援措置の軌跡』
- 4) 「東京電力平成24年3月期第2四半期決算短信」
- 5) 遠藤典子(2013)『原子力損害賠償制度の研究—東京電力福島原発事故からの考察』

著者紹介



遠藤典子(えんどう・のりこ)

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特任教授

(専門分野/関心分野) エネルギー・環境政策をはじめとする公共政策、リスクガバナンス

意思決定プロセスとしてのリスクコミュニケーション—原子力の未来に向けて

第4回 エネルギー・原子力のリスク問題

筑波大学 名誉教授 内山 洋司

科学技術の発展は、社会に豊かさをもたらすと同時にリスクを発生している。福島第一発電所の事故以降、原子力のリスクが社会問題となっている。本稿では、最初にリスクの概念、定式化と意思決定について説明する。次に、エネルギーシステムを対象にわが国が直面しているリスクについて解説する。さらに、現在、大きな社会問題となっている原子力のリスク問題についてリスク認知を含めて考え、社会とのコンセンサスづくりに欠かせないリスク・コミュニケーションのあり方について考察する。

KEYWORDS: Risk, Energy system, Nuclear, Risk perception, Risk communication

1. はじめに

科学技術は、社会に多くの発展をもたらしてきた。都市には、住宅、道路、橋、港湾施設、下水道など近代的な社会基盤施設が整備され、人々の暮らしは、衣服、食品、電気製品などに溢れ、電車、自動車、航空機といった交通手段やテレビ、コンピュータなど情報機器、それに建物の冷暖房の普及によって快適になっている。

一方で、科学技術とそれに伴って発展する産業化の流れは、社会に様々な問題を発生している。大量生産と大量消費による産業廃棄物や生活ゴミ問題、自動車や航空機など輸送機関の事故、それに化石燃料の大量消費によって地球温暖化などの環境問題など、産業化以前の社会になかった問題である。Beck は、彼の著書「危険社会」の中で“科学技術は、発展すればするほど同時にますます危険なものになってしまう。”と指摘している。グローバル化が進む現代社会で発生する危険、すなわちリスクは多種多様で、科学技術による事故リスク、環境汚染や気候変動の環境リスクに留まらず、その範囲はグローバル経済による金融リスク、人や物の移動による感染症リスク、情報化によるサイバーリスクなど人為的な

ものにまで広がっている。

こういったリスクからの回避として、科学技術への依存を見直し自然の営みに合わせて生活する社会創出も考えられる。また一方で、科学技術の力でリスクをできるだけ小さくする努力もある。それには、直面しているリスクを正しく認識し、どのように低減できるのか、それでも避けられないリスクに対してはどのような対応が必要になるのか。

2. リスクと不確実性について

(1) リスクとは何か

リスクの概念は、もともと経営や保険の分野から生まれたものである。金融機関や保険会社では早くから投資や株、それに保険料の算定などにおいてしばしばリスクという言葉が使われてきた。その後、リスクを使う範囲は、経済、食品、医療、技術、環境、情報などの分野へと広がっており、今ではリスクという言葉は日常的に使われるようになってきている。社会のグローバル化は、リスクの多様性を拡大し、それぞれのリスクが複雑に絡み合って被害規模を拡大していく方向にある。

リスクという言葉は、一般に、危険、あるいは損失、傷害、不利益、破壊に身をさらされたときに使われている。リスクに似た言葉に、ペリル (peril) とハザード (hazard) がある。ペリルとは「不測の事態」とされる事象をさし、台風や洪水といった天災による偶発事故である。ハザードは、ペリルを発生させる原因のみならず、

Risk communication for stakeholders making decisions about the energy future with atomic power (4) : Risk problems relating to energy and nuclear : Yohji Uchiyama.

(2015年8月22日 受理)

■前回タイトル

(3) リスク・コミュニケーションの現場から

ペリルの被害の程度を大きくする要因を含む概念である。例えば、偶発的に起きた山火事はペリルであり、山火事の被害を拡大する原因となった空気の乾燥はハザードである。

リスクには、一般的に負の要因である「損失」が含まれる。それは「現時点より先に、ある頻度で起こる可能性がある事象が与える損失」と見做され、さらに「事象が顕在化したときに発生する望ましくない影響」と「事象がいつ顕在化するかが明らかでないという発生の不確実性」といった性質がある。「望ましくない影響の大きさ」は、個々の受け手が元来有する価値や選好によって相違すると共に、それらの個人的、社会的な状況変化にも依存する。そのため、物理的に観測・推定される客観的な影響の大きさと、人々の価値判断で決まる主観的な影響の大きさは必ずしも一致するとは限らない。

不確実性は事象の発生頻度であり、それは確率的なもの、偶発的なもの、未解明のもの、予見不能なもの、交渉条件的なものに区別される。このうち確率的なもの以外は、測定が不可能、知識不足、専門家の判断に委ねられる偶発的なものである。このことからリスクの多くは、定量化できず主観的な判断に委ねられている。

確率的なものについては、測定や統計などの知識を基に定量化が行われている。確率は、過去の経験データを基にした統計的な方法や計測によって推計される。推計の精度を高めていくためには、標本のサンプル数を増やす必要があるが、調べる範囲は有限でありすべてを調べつくすことはできない。信頼性が得られる十分な数のサンプルを入手できるかどうかは事象の種類に依存しており、過去の事故事例が少なからずある場合、あるいは繰り返し実験によってサンプル数を増やすことができる場合には、可能といえる。しかし、大規模災害のような事例になるとサンプル数が少ないために、高い精度で統計的推定を行うことは難しくなる。

(2) リスクの定式化

リスクは、「事象影響の大きさ」と「発生頻度」という概念の組み合わせによって構成されており、以下に示す関数で表される。

$$\text{リスク} = f(\text{事象影響の大きさ}, \text{発生頻度})$$

ここで、事象影響の大きさと、発生事象によって影響を受ける項目(エンドポイント)への影響の大きさである。社会や人、あるいは生態系への影響項目であるエンドポイントは、発生事象の種類によって異なり、統一が取れた分類方法はまだない。分類例として環境リスクを取り上げると、資源枯渇、健康影響、生態系影響の3つに大別し、さらにそれらを化石燃料消費量、希少資源消費量、地球温暖化、酸性雨、オゾン層破壊、砂漠化、光化学酸化物形成、あるいは埋立て容量、景観破壊、有害物質、騒音、悪臭、従業員リスク、生物資源、過密化などの細目に分けることがある。エンドポイントへの事象

影響の大きさを求めるためには、汚染物質や温室効果ガスの発生源が特定され、発生物質がエンドポイントに至るまでの一連の経路を明確にしなければならない。そのことから影響の大きさは、場所と時間の関数となる。リスクを構成するもう一つの因子である発生頻度は、事象の発生からエンドポイントに至るすべてのプロセスで推計されなければならない。

科学的な見地からリスク問題を定量化することでリスクへの理解を深めることができる。リスクを具体的な関数にするには、「事象影響の大きさ」と「発生頻度」を独立変数として定義づける必要がある。定量的にリスクを捉える方法として、「事象影響の大きさ」は「被害規模」に、「発生頻度」は「発生確率」に置き換えて定式化して求める方法がある。

$$\text{リスク} = \Sigma(\text{被害規模} \times \text{発生確率})$$

上式によると、発生源が与えるリスクは、各エンドポイントのリスクの総和で表される。

(3) リスクの意思決定

リスクをゼロにすることはできない。定式化によって得られたリスクを受け入れるか、あるいはさらにリスクを低減する努力をするかは、意思決定者の判断に委ねられる。意思決定は、利害関係者がエンドポイントへの影響をどのように判断するかで決まる。リスクに係る利害関係者は、リスクの事象特性と影響範囲により異なってくる。

例えば環境リスクの場合、特定工場から排出される小規模な汚染物質であれば利害関係者は企業と周辺住民になるが、ボイラーの燃焼や自動車の排気により広域的に発生するNO_xやPM2.5になると、都市全体の環境問題となり利害関係者は発生源である企業や車の運転者と市民、自治体、それに国も加わることになる。環境問題でも地球温暖化になると、世界中の国々の組織や人々、さらに我々の子孫までも利害関係者に含まれることになる。利害関係者の数が増えるほど意思決定は複雑になり、リスクの評価は難しくなる。

3. エネルギーシステムの各種リスク

私たちは、豊かさと快適さを得るために大量のエネルギーを水や空気と同じように無意識に使っている。しかし、エネルギーは水や空気と違って自然に得られるものではない。エネルギー源には、化石燃料、原子力、再生可能エネルギーがあるが、それらを石油製品や電気、都市ガスなど社会で使えるエネルギーにするためには、輸送、貯蔵、転換・変換などの供給システムを構築しなければならない。それぞれに技術、経済、環境の面でのリスクがある。産業活動と人々の生活を支えるエネルギーを利用している社会では、リスクを低減することで社会への影響を小さくする供給システムの構築が求められる。

エネルギー供給のリスクは様々であるが、それらは以

下の4項目に纏めることができる。

- ①途絶リスク(化石燃料の供給途絶, 大規模停電)
- ②価格リスク(化石燃料価格の高騰, 電気やガソリンなどのエネルギー価格の高騰)
- ③環境リスク(大気・水質・土壌汚染や地球温暖化問題)
- ④事故リスク(原子力などエネルギー供給施設における事故, エネルギー利用技術・製品の事故, 核テロ)

エネルギーの消費は世界的に増大し続けており, 上に示した4つのリスクは年々, 増加する傾向にある。

エネルギーは水や食料と同様に, 人々の生活に欠かせないものであり, 経済的に貧しい人々にも安価な価格で平等に配分されなければならない。しかし, エネルギー販売価格を安価にすることは, リスクを低減するために必要な対策費用の制約となる。リスクの対策水準を高めるほど, 対策費用は増大しエネルギー価格が高くなる。一方で, リスクの対策水準が下がると, リスクの発生確率と被害規模が高まるという問題が発生する。被害が大きくなれば, 社会的な損失も増大する。リスクの対策水準が低下するほど被害費用は増大する。リスクの適正水準は, 対策費用と被害費用のトレード・オフ関係から決められる。

対策費用と被害費用は時間によっても変化する。発電所など大型エネルギー供給施設の数, 世界全体でみると年々増加しており, それに伴ってタンカーの座礁, ガス爆発, 炭坑事故, 原子力事故といった事故リスクの発生確率と被害規模が大きくなっていくと予想される。環境面と安全面でのリスクの増加は, 同時に被害の影響範囲の拡大であり, 被害を受けた際に要求される補償額(被害費用)も増大する。

社会にエネルギーを安定に供給していくためには, エネルギーシステムのリスクをいかに軽減していくかが課題である。リスク低減に向けた技術開発や制度づくりが求められる。同時に, そういった対策について社会の合

意形成が求められる。それには, エネルギー供給が持つ様々なリスク問題に対して, 人々のコミュニケーションによる社会のコンセンサスづくりが必要になる。

4. 原子力のリスク

(1) 原子力が持つ特異性

原子力は他のエネルギーに比べて, 社会とのコンセンサスづくりが最も難しい。その理由として原子力が持つ特異性が考えられる。第1表は, その特異性を示したものである。

表に掲げた特異性には, 原子力が持つ本質的なリスクとリスクに対する認識のバイアス問題が内在されている。前者の本質的なリスクとは, 「重大事故」「放射性物質管理」「核セキュリティ」のリスクである。

- ①重大事故：一旦, 重大事故が発生すれば, 放射性物質が周辺に飛散し住民の避難, 放射線被曝, 土地の放棄, 故郷の喪失などの苦難を強いられる恐れがある。そのような事故は, 安全管理が行き届いている日本ではまず起こらないと考えられていたが, 福島第一発電所の事故によってその考えは覆されてしまった。安全対策と事故発生時の対策は, これまで以上に厳しい対応が迫られている。また, 信頼性が失われた日本の原子力技術の回復はどのようにして取り戻せるか, 原子力関係者だけでなく科学技術者の大きな課題として残されている。
- ②放射性物質管理：放射性廃棄物は1万年以上の超長期にわたり放射能の影響を及ぼす。原子力専門家は, 高レベル放射性廃棄物については千年程度であれば安全に隔離できると主張しているが, それ以上の期間については科学技術的に見て不確実性が高く安全性の実証は難しい。しかし, 放射性廃棄物は既に存在しており, 処分場所と処分方法の検討が求められている。科学的に実証できないリスク問題は, 放射性廃棄物の処

第1表 原子力が持つ特異性

<ul style="list-style-type: none"> ・核拡散など軍事力や兵器と密接な関係にあつて, 平和利用だけで理解を得ることが難しい。 ・広島と長崎の原爆による悲惨さは人類史で最大ともいえる出来事であり, 人々, 取り分け日本人には原子力に対して拭い去ることができない脅威がある。 ・原子力発電所など原子力施設の重大事故への恐怖心が極めて高い。 ・核分裂によって発生する放射性物質は, 長期間にわたって目に見えない脅威となっている。 ・放射性物質, とりわけ高レベル放射性廃棄物は1年以上という長期間にわたり安全に隔離されなければならないが, その隔離技術と管理方法に対しては社会的な合意が得られていない。 ・原子力発電所は, 活断層でない岩盤上に立地されなければならないが, 立地地点の確保が難しい。また, 活断層の定義が明確でないことが問題を複雑にしている。 ・福島第一発電所の事故以降は, 立地条件に大規模な津波や火山爆発への対策も加わり, 原子力立地がさらに困難になっている。 ・安全対策がより厳しくなり, 確率論的リスク評価(PRA)の視点から重大事故の発生確率の低減(レベル1)だけでなく, 発生時に外部への放射能影響の低減(レベル2)や住民避難(レベル3)への対策が強化された。 ・原子力システムは, 発電所のほか核燃料サイクルという大規模な技術システム群から成り立っているが, 巨大技術システムとそれらを開発している技術集団に対して社会からの信頼が十分に得られているとは言えない。 ・原子炉に装荷される核燃料は, 核拡散防止や物的防護の面で厳重に管理しなければならないが, 太陽光発電や風力発電, 化石燃料のような身近なエネルギー源として認識されていない。 ・原子力開発には長期間にわたって膨大な費用が必要になるため, 技術開発, 施設建設, 運転保守に特定の技術者やメーカーとの結びつきが強くなり「ムラ社会」を形成しがちになる。

分に限られたことでなく、地球温暖化や遺伝子組み換えなど多くの科学技術に見られる問題である。その中で、放射線影響に対して批判が取り分け厳しいのは影響期間の長さにある。この問題は、科学技術の発展だけでは解決できることでなく、社会との合意形成が大きな課題となっている。

- ③核セキュリティ：イランや北朝鮮における核兵器開発は国際社会に大きな脅威を与えている。核物質やその他の放射性物質、その関連施設およびその輸送を含む関連活動を対象にした犯罪行為や故意の違反行為をいかにして防止できるかが課題となっている。この問題の解決は、保障措置や核物質防護など各国の対応だけでなく国際原子力機関(IAEA)の活動にも委ねられている。過去の歴史でも明らかのように、人類は科学技術を戦争と平和利用の両面で利用してきた。現代社会でもグローバル化の進展で、核テロ以外にも様々なテロ活動やサイバー攻撃など安全保障を脅かす問題が多数発生している。その中で核セキュリティへの対策が最も深刻になっている理由は、核兵器の被害の甚大さと放射能汚染による被害が広範囲かつ長期間に及ぶことによる。核物質や放射性物質のテロ行為は、広島と長崎の原爆を体験している日本人にとっては絶対に許せない行為である。しかし、核兵器廃絶に向けた国際社会の動きは鈍く、また核テロ行為への不安は解消されていない。

(2) 原子力の利害関係者

原子力の場合、他のエネルギー源に比べて利害関係者が多様であることに特徴がある。基本的には、原子力を容認・推進する立場の人と原子力を批判・否定する立場の人に分かれるが、国民の多くはどちらの立場にもない。

【原子力を容認・推進する立場】

わが国、あるいは世界のエネルギー供給に原子力が必要であると思っている人々である。主に、原子力施設や関連企業・機関に勤めていたり、あるいは何らかの関係者で、それによって生活が支えられていたり利益を得ている人々で、一般人にも同じ考えを持った人がいる。

- (1)原子力発電所を建設、運転、保守、管理している電気事業者とメーカーなどの関連企業の人々
- (2)原子力開発の業務や研究を行っている行政、研究組織、大学の関係者
- (3)原子力施設があることで生活が支えられている立地地域の人々
- (4)原子力を推進し、容認することで何らかの利益が得られる人々(政治家も入る)
- (5)世界と日本のエネルギー源として必要と判断している人々(上記の立場にある多くが同じ考え方を持っている)

【原子力を批判・反対する立場】

原子力は社会の持続可能な発展につながらないと思っている人々で、その理由として“重大事故への懸念”“放射性廃棄物と廃炉の問題に根本的な解決策がない”、“核拡散への懸念”、“未来世代の生存可能性を脅かす世代間正義の問題”、“巨額の資本コストが必要になる”、“業界が政府をセーフティネットに利用するモラル・ハザード問題点”などが挙げられる。

- ①反原発を唱えている政党メンバー
- ②反原発を唱えている思想家・NPO
- ③広島・長崎の被爆者ならびに関係者で批判的な人々
- ④原子力に批判的な教育者と学者(科学者、法学者、文学者、哲学者など)
- ⑤経済的な見返りを求めて批判する人や団体
- ⑥地元テレビ・新聞に多く見られる扇動的なマスコミ
- ⑦原発の危険性を訴える一般人
- ⑧福島事故以降に加わった新批判派

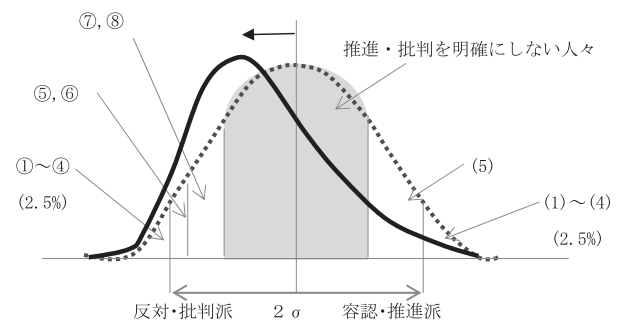
上記の批判・反対派は、立場が重なることも多く、また相互に連携することで状況に合った批判活動を行うことが多い。通常は、推進派と批判派の分布は下記の正規分布で表されるが、福島第一発電所事故のような重大事故が発生すると、分布関数は平均値が左側にシフトしたベータ関数に変化する。関数形が再び正規分布に戻るまでの時間は、事故の重大さに影響を受け、その影響度合いが大きいほど時間がかかる。

原子力白書や大綱のような権威づけによって原子力関係機関や関係者の活動が保護あるいは保証されるこれまでのやり方には批判がある。原子力界の多くの人が国の方針に従って仕事をしているのだという甘え意識と、国の方針であるから国民や住民は原子力を理解すべきだというトップダウンの押し付け型コミュニケーションを変革していかなければならない。原子力関係者は、原子力に対する国民や地域住民の疑問に答えていくために、どのような対策を講じていけばよいのか、国民や住民目線で説明できるようになることが求められている。

5. リスク認知とリスク・コミュニケーション

(1) リスク認知

科学技術者の役割は、リスク事象の被害規模や発生頻度を客観的に分析し、その結果を利害関係者に説明する



第1図 原子力の利害関係者

ことにある。利害関係者には、リスクに対する判断と意思決定が求められる。ある特定の組織に所属している利害関係者の場合、その意思決定は組織の方針に左右される。リスクの受け手と与え手によってリスク判断は異なる。受け手の場合、リスクはできるだけ小さくなることを望む。

一般に、特定の思想や組織の方針に影響を受けていない人の場合、リスクに対する判断力は、リスク事象の種類と大きさ、人の属性(性別、年齢、所得、病歴、思想など)、報道内容などに依存していると言われている。これはリスク認知と呼ばれており、人の心の偏りの差によって生み出されるものである。その認知度合いは人によって異なる。経験が豊富な人ほど、またリスク情報を正確に理解している人ほど、その事象に対してのリスクは小さく感じる。人の認知を偏らせる要因を認知バイアスという。人は、恐怖を感じる事態、よく知らない新規な事象、自分がコントロールできないことや他人に押し付けられたことには、リスクを大きく感じる。

リスクの認知は同時に、マスコミの報道の仕方によっても大きく変わる。リスクを過大に伝えれば、風評被害のように被害の規模が拡大することがある。マスコミの中には情報を商品とみなし新聞や雑誌がより多く売れるように過度な報道をすることもある。時には、一部の局面をすべてであるかのような危機を煽る報道もある。報道関係者は、科学的知見に基づくリスク情報を人々に正確に伝えることで過大報道にならないよう注意しなければならない。

(2) リスク・コミュニケーション

リスク問題は、事象によっては客観的な判断で解決できるものもあるが、多くは主観的な判断に委ねられている。リスクの多様化が進み、その影響が拡大している現代社会において、人々がリスク問題を正しく認識することが重要になってきている。リスク・コミュニケーションとは、客観的かつ主観的な判断をする利害関係者間の

コンセンサスを得る活動をいう。コミュニケーションによって合意が得られるとは限らないが、繰り返し実施することで見解の違いがより明確になっていく。

従来のリスク・コミュニケーションは、リスクの送り手が受け手へ警報メッセージを送るという、一方的な情報伝達であった。このような情報伝達は、間違いではないが必要にして十分な条件を満たしているとはいえない。関係者間の意思疎通とコンセンサスを得るためには、リスクについての情報伝達だけでなく、リスクへの対処の仕方や安全を高める行動についても適切な知識を共有することが大切になる。関係者が相互に意見を交換し合い、改善に向けて目標を一にするリスク・コミュニケーションが求められている。

6. おわりに

都市や技術は年々、複雑さを増しており、災害や事故による影響はしばしば致命的、かつ広範囲に大きな影響を及ぼす。我々は、技術の誤操作と過ちの可能性に常に配慮しリスクを低減し、それが発生しても影響を最小限にしなければならない。しかし一方で、リスクから逃げるのではなく、リスクに対処しうる能力を専門家だけでなく国民を含めて高めていく必要がある。リスクに対応できる能力こそ、現代社会を発展していくエネルギー源となる。

著者紹介



内山洋司 (うちやま・ようじ)

専門はエネルギー学、エネルギーリスク評価、ライフサイクル分析、技術経済。著書は内山洋司編著「エネルギー学への招待」コロナ社(2014年)など多数。現在、筑波大学名誉教授、(一社)日本エレクトロロヒートセンター会長

原子力安全のための耐津波工学(その7)最終回

耐津波工学の課題と展望

京都大学名誉教授・電力中央研究所 亀田 弘行, 他

7回のシリーズで、報告書「原子力安全のための耐津波工学～地震・津波安全の総合技術体系を目指して」¹⁾(編纂：日本地震工学会 原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会/協力機関：日本原子力学会 標準委員会)にとりまとめられた地震・津波に対する原子力安全の総合技術体系を解説してきた。その最終回として、「原子力安全の耐津波工学」の今後の課題と展望を論ずる。

KEYWORDS: *nuclear safety, earthquake-tsunami protection, integrated engineering framework, implementation, latest findings, engineering enhancement, cross-disciplinary collaboration, international agenda, roles of academia*

I. はじめに

本解説シリーズでは、日本地震工学会「原子力安全のための耐津波工学に関する調査委員会」(「耐津波工学委員会」と略称)の成果¹⁾である「原子力安全の耐津波工学」を体系的に説明してきた。そこでは、総合的視野とともに、それを支える多分野の協働の重要性、特に日本原子力学会との密接な協力の意義を強調した。

これらの成果は当然、広範な課題への第一歩であり、すべてに決着がついたわけではない。本稿では、上記報告書の第11章に基づき、将来への「耐津波工学の課題と展望」を論じ、本解説シリーズのまとめとする。

II. 耐津波工学の成果と技術的課題

1. 耐津波工学の到達点

本シリーズの(その1-Ⅱ.3.)において述べたように、耐津波工学委員会は5項目の目標を掲げて討議を進めた。それらは、「原子力安全の耐津波工学」を構築するための共通の規範であり、得られた結果は現段階の到達点である。それらを具体的に整理すると、以下のとおりである。

Tsunami resistant engineering for nuclear safety (No. 7) ; Perspective on tsunami resistant engineering for nuclear safety : Hiroyuki Kameda.

(2015年9月24日 受理)

■前回のタイトル

シリーズ(その6)施設周辺地域における防災・減災対策の推進とリスクコミュニケーション

1) 工学技術の把握

- 原子力発電所総体としての深層防護や要求性能と関連付けた津波工学技術の体系的整理

2) 深層防護とリスク論の位置づけの明確化

- 深層防護とリスク論の連携構造
- 深層防護全体を一貫する安全確保策構築の重要性
- 一般防災と原子力防災との連携

3) リスク論に基づく地震・津波安全評価体系の明確化

- リスク論に基づく総合的意思決定の考え方
- PRA(確率論的リスク評価)の方法とその効用
- 深層防護レベルとの対応
- 設計による要求性能の実現とリスク論による目標性能の検証としての相補的役割
- リスクコミュニケーションとの関わり

4) 分野横断的討議をふまえた総合的視野の構築

- 地震工学, 津波工学, 原子力安全工学の分野横断的で総合的な視野の獲得による分野間連携活動
- 津波防御のために重要な基本概念や用語について, 分野間で情報共有する解説(コラム)を作成

5) 「耐津波工学」の体系化への試み

- 地震・津波に対する原子力安全実現への総合工学的枠組みを「原子力安全の耐津波工学」として体系化
- 「耐津波安全の基本要素」, 「津波の作用, 影響, 工学的的方法」, 「社会との関わり」を統合する包括的内容
- 多分野の協働

こうして得られた耐津波工学の総合体系は本シリーズ(その1)で要約した。さらに詳しくは、報告書¹⁾を参照

されたい。

2. 技術的課題

「原子力安全の耐津波工学」の体系化を進めてきたが、工学技術の練磨は常に要請される。この観点から、今後

の技術開発課題を委員会メンバーから体系的に収集した。それらを、要約し、耐津波工学の柱である「耐津波安全の基本要素」、「津波の作用、影響、工学的方法」、「社会との関わり」について示すと、それぞれ第1表、第2表、および第3表のとおりである。

第1表 本活動の成果と課題(耐津波安全の基本要素に関する事項)

	目標	成果	課題
(1)	深層防護とリスク概念の原子力安全枠組の構築	<ul style="list-style-type: none"> ▶リスク概念を根幹にした津波防御体系化(例：多様な対策の有効性、重要度、優先順位の判断と対策の実施、実施結果を設計や対策、さらに緊急時防災活動も含めた安全性確保の多重化検討へのフィードバック) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶より成熟した安全の概念を確立するためには、リスク概念の理解と定着が一層重要 ▶個別の要素技術の開発の必要性も認識しつつ安全確保の体系化の向上
(2)	広範な事故シナリオと要求性能との有機的統合	<ul style="list-style-type: none"> ▶事実、論理性、想像力を重視して同定した地震・津波事故シナリオを基に、構築物、系統および機器(以下、SSC：Structure, System and Component)の要求性能を、津波作用のパターンに応じて展開 ▶深層防護をベースに、津波の作用に応じて、設計基準内でのSSCの要求性能を分類し、設計基準超の津波作用に対しては、アクシデントマネジメントにより環境への影響を抑えることに位置づけ 	<ul style="list-style-type: none"> ▶防潮堤の洗掘、敷地内地下の見逃し水道(みずみち)、水密扉枠の地震動によるゆがみ、などの考慮による事故シナリオの網羅性拡大 ▶地震と津波の重畳、津波による火災の重畳などの複合事象への拡張によるプラントの包括的リスク低減

第2表 本活動の成果と課題(津波の作用、影響、工学的方法に関する事項)

	目標	成果	課題
(1)	複合被害の同定に関する継続的調査	<ul style="list-style-type: none"> ▶津波来襲に伴う津波火災や漂流物による被害の連鎖・拡大のメカニズムを整理 ▶津波ハザード評価の情報源として、津波堆積物の有用さを整理 	<ul style="list-style-type: none"> ▶津波火災や漂流物の作用のメカニズム把握のために、東日本大震災における複合被害の事例の継続的な調査 ▶防潮壁等の越流により敷地内へ津波が流入する場合の、防潮堤背後の建屋等施設への作用波力評価手法整備 ▶堆積物を用いた古津波の評価・解釈についての継続的な議論
(2)	津波作用下でのSSCの挙動に関する津波工学的知見の深化	<ul style="list-style-type: none"> ▶津波作用と損傷モード及び工学的な対応の整理 	<ul style="list-style-type: none"> ▶津波の繰り返し襲来による影響、津波による二次的な影響(洗掘、砂移動、漂流物等)、地震による敷地の隆起・沈降、地震(本震及び余震)による影響、などの考慮 ▶様々な施設への漏水・浸入経路の特定に係る不確定要素の検証 ▶水理学的対抗および構造工学的対抗、さらに両方の機能をもつハイブリッドの対抗にかかる技術開発 ▶水理実験による基礎現象の再現と解明、およびそれを評価・予測できる数値解析モデルの開発 ▶構築物・施設の配置や機能を柔軟に変更できる手法の開発
(3)	津波フラジリティ解析のモデルの精度向上	<ul style="list-style-type: none"> ▶津波フラジリティ解析における、実施手順の展開 	<ul style="list-style-type: none"> ▶津波ハザード曲線横軸の物理パラメータの詳細定義 ▶サイト外郭施設や建造物の越流・浸水解析のような非線形性の強い物理現象における誤差伝搬解析問題への取り組み ▶モデルの精度向上 <ul style="list-style-type: none"> ・漂流物のサイト内への侵入等による建造物外郭構造への衝突破壊の事象のモデル ・サイト内の油脂拡散に伴う火災のモデル ・サイト内の湛水や屋内での侵入・湛水による人間や物資の移動阻害のモデル ▶フラジリティ解析における打ち切り誤差
(4)	耐津波工学関連の解析コードの拡張	<ul style="list-style-type: none"> ▶耐津波工学の実践に必要な解析コードの開発整備状況の整理 ▶流体挙動に関する3次元数値計算コードによる研究事例(波浪の変形含む)の整理 ▶津波発生から沿岸まで、さらに原子力発電所への影響を包括的に評価する活用可能性を検証 	<ul style="list-style-type: none"> ▶山体崩壊や海底地すべりによる津波発生に関するコードの検証、データの蓄積 ▶津波の発電所敷地への浸水、設備や機器への影響(被水、没水、流体力)の実用的な評価方法について議論の深化。 ▶取水ポンプへの影響の観点から巻きあげられた砂の濃度に関する数値計算コードの精度の向上と、実験計測データの充実ならびに、流体内の任意の場所の濃度の評価が可能な解析コードの開発 ▶フラジリティ評価における設備や機器に対する浸水や流体力などの標準的な手法の確立 ▶確率論的な津波ハザード評価からフラジリティ評価を効率的に処理する解析コードの構築

第3表 本活動の成果と課題(社会との関わりに関する事項)

	目標	成果	課題
(1)	地域における津波減災に向けた科学的取り組み	<ul style="list-style-type: none"> ▶津波に対する一般的防災・減災対策の考え方を俯瞰 ▶総合的な津波防災の理念：ハード対策での、既往最大津波の記録などをもとに津波の規模を決定し、波浪や高波の検討も踏まえたうえで海岸堤防による陸地への浸水の防護と、ソフト対策での、それを超える規模の津波に対しての早期避難を中心とする被害の最小化による、ハード、ソフトの二段階の津波防災の枠組みの明確化 	<ul style="list-style-type: none"> ▶津波の市街地氾濫による堤防破壊、氾濫被害分析を含んだ減災性能の数値シミュレーション技術の開発整備 ▶堤外地の産業施設等につき、経済活動と減災対策の関係から、事業継続計画(BCP)の策定 ▶原子力サイトの津波対策が周辺地域に与える影響の評価のための、科学的評価、立地地域全体での防災・減災能力の向上
(2)	地域との原子力リスクコミュニケーションの推進	<ul style="list-style-type: none"> ▶原子力事業者と地域とのリスクコミュニケーションは、自然災害のリスクに関するリスクアセスメント情報を周辺自治体や地域住民と共有することを提起 ▶原子力事業者及び周辺自治体による原子力複合災害のリスクに関する情報の共有、また、地域コミュニティを加えた協働によるリスクマネジメントの枠組みの具体化の重要性を提起 	<ul style="list-style-type: none"> ▶地域住民とのリスクコミュニケーションの重要性の共有と具体化技術の開発 ▶その具体化技術に基づく、住民の視点に立った防災計画の策定、情報共有技術の開発 ▶フランスの「原子力安全透明化法」など国際先進事例の消化

Ⅲ. 耐津波工学に学術が果たす役割

本委員会の討議の過程で、学術の役割について、多くの討議が交わされた。2014年3月に開催した「原子力安全のための耐津波工学に関するシンポジウム」においても、これを主題とするパネル討議を行い、広く意見交換を行った。それらを踏まえて、以下に、原子力安全の耐津波工学をより充実させるうえで学術が果たすべき役割を提起する。

1. 耐津波原子力安全確保の実践に向けた学術の役割

耐津波原子力安全の総合的枠組みを発電所施設の設計・評価・運用・規制の技術基盤として実装してゆくために、学術が果たすべき役割をとりまとめた。それらは、第一に総合的枠組みの具体的提示、第二に最新の科学的知見と技術的成果を的確に反映する技術規範の提示である。

これを、各組織分野との関連で以下のように示した。

- ①事業者：学術は、事業者の広範なニーズを把握し、分野を超え恒常的にサポートする必要がある。それには本報告書で提案した総合的枠組みの具体的実践が必須である。
- ②原子力規制セクター：学術界からの強力な協力体制の確立が必要である。原子力安全確保は総合的な学術分野にわたる問題であるから、多くの学協会からの技術的サポートと学術的貢献が必須である。現在の規制において、リスク概念の導入(残余のリスクの評価と活用)、津波PRAによる安全性評価結果の活用、現行耐津波設計クライテリアの見直し(深層防護の考え方の導入)などの課題が考えられる。
- ③社会一般：発電所周辺の住民や国民と、学術とのコミュニケーションにおいて、国民のニーズを適切に把握した上で、科学的、工学的専門集団として学術の立

場から、多様なニーズに応え、リスクコミュニケーションを中心に、信頼を得られる努力が必要である。

- ④学術界：学術を担う主要な組織である学術界の役割は大きい。耐津波設計手法、規準や指針、評価手法等を本提案の枠組みを基に総合的な視点で見直す必要がある。津波安全確保のために実施される様々な学術的活動を深層防護の各レベルで明確に位置付け、学際領域を相互にカバーする学会間の分野連携総合的枠組みの実現を検討する必要がある。
- ⑤各組織間の連携：原子力安全に関する意思決定が科学的・技術的根拠に即して行われるために、科学・技術という共通基盤において、事業者、規制セクターに社会一般を加え、その上で学術界がその連携を支える体制の構築が必須である。こうした枠組みは原子力安全のリスクガバナンスの一翼を担うが、特に工学の責任が大きいことへの認識を促すものとして、「技術ガバナンス」なる概念が提起される²⁾。耐津波工学委員会において、技術ガバナンスを共通理念とする多くの討議が交わされた。

2. 最新の学術的知見の組み込み

福島第一事故の教訓から新たな学術的知見をどのように新知見として認め、広く活用してゆくかは、必須の取り組みである。しかし、科学的知見や技術が適切と判断され活用されるまでの課題は次のようなものがある。

- 1) 科学的知見も技術開発も、有用・不用のばらつきは大きく、発達段階も多様である。
- 2) 自然の脅威や設備故障などが事故に進展することの想定難しさがある。
- 3) 新知見の反映要否の判断の仕組みを構築しなければならない。

これらの課題に的確に取り組むためには、次のような特性を持った体制が必要である。

- ・分野間の壁を作らない

- ・科学と技術(理学と工学)の連携
- ・工学の責任による技術アセスメントと不確定性の判断

今後の展望としては、耐津波工学委員会での協働の活動を参考に、原子力学会、地震工学会、土木学会を核に継続して協議会として、原子力に係わる情報交換と学術集団として安全確保への提言のとりまとめなどの活動を協働で進めることは、有効と考える。

原子力が持つ潜在的リスクが社会リスクであることを考えれば、原子力安全は社会ニーズであり、最新の技術、新知見に対しては、社会がその採否を判断する権利を持つものである。この観点から、新知見の収集、評価、そして社会への提示にかかる学術の責任は大きいと言わねばならない。

3. 原子力安全のための津波工学の深化

津波に対する原子力安全を論ずるに当たり、その大きな不確定性を有する自然現象を的確に評価することが不可欠である。津波防御の技術基盤をなす津波工学は、本報告書で構築した包括的評価に対応できるよう深化することが求められている。今後の深化のための課題として、いくつかの具体例を挙げると以下のようである。

- ①観測の充実および観測と結合したシミュレーション技術：的確な津波対応には、プラントへの到達前にできる限り早く確実な津波情報を得ること、そのために、沖合いでの監視・観測体制の充実が肝心である。さらに、リアルタイムでの津波予測システムによりプラントの対応に反映することが重要である。
- ②遡上解析、浸水解析の高度化：津波による影響や被害は、没水や被水の程度により電気機器などへの障害が異なるため、脆弱性評価の対象を広め、サイトや設備機器の周辺の複雑な津波挙動を正確に評価・予測出来る解析技術を提供できるよう、津波工学を高度化しなければならない。
- ③地震動と津波の影響の重畳：東日本大震災において、原子力発電所への津波の影響の度合いは、電源の完全喪失に大きく依存しているが、外部電源の喪失は地震動(主としてサイト外)の影響によるものであり、このような形で、現実に地震動と津波の影響は関わり合っている。サイト内では、建屋の開口部に設けられる水密扉が、地震時の建屋の変形によりどのような影響を受けるかは、現在実験的に検証されつつある段階にある。このように、津波工学と地震工学が連携すべき課題が今後、展開されるべきである。

4. 学会間分野横断的協働

日本原子力学会が原子力安全に関する学術的進歩の中核的役割を担うべきことはいうまでもない。しかしながら、地震・津波への安全課題において、日本原子力学会のみでは十分ではないことは明らかである。日本地震工

学会と日本原子力学会が密接に協力した耐津波工学委員会の活動は、互いの概念に入り込む討議を経て、分野間協働の成果を挙げたと自負するものである。以下、この問題に関する将来への課題を考察する。

- ①外的事象課題における総合性欠如への戒め：地震・津波の場合は、プラント全体が同時に影響を受ける共通原因故障が対象となること、多重性を有するサポート系の機能喪失により複数の安全上重要なフロント系が機能喪失することなど、深層防護の概念の実装において外的事象問題に特有の課題がある。加えて、地震・津波ハザードが持つ大きな不確定性により、ハザードレベルとトータルシステムの挙動を連続的に扱うPRAが重要である。福島第一事故の背景には、このような包括的視点に基づく技術的実践が欠如していたことがあり、その基盤を形成すべき学術における多分野間の協働の不十分さに責任の一端があったことを認識すべきである。
- ②工学分野の多分野協働への取り組み：津波に対する原子力安全の課題において、ハザードとシステムを的確に結びつけるため、地震工学・津波工学分野と原子力安全工学分野の協働により、耐津波工学を構築してきた。この実績を単発で終わらせず、永続させる仕組みの構築が重要である。その実践には大いなるエネルギーと率直な意見交換の場が不可欠であり、形式的関係ではなく、信頼に基づく討議の場であればならない。自己の分野に閉じこもりがちな専門家にとって、これは容易ではない。困難を克服するためには、それを上回る動機と的確な方法が必要である。すなわち、
 - ・動機：原子力安全への工学の使命感、明確な問題設定、深層防護とリスク論への包括的理解、人的資源、技術ガバナンスの認識、etc.
 - ・方法：個人依存ではなく学会間の取り組み、信頼こそかなめ、etc.
- ③より包括的な多分野協働：耐津波工学委員会が提起した体系には、社会との関わりを含めた。これは、工学技術は自然の摂理と社会とを結びつけるという基本に立ち帰れば、当然のことである。従って、今後の取り組みでは、工学系の学会だけでなく、リスクを課題とする社会科学系の学会との連携を求めるべきである。

5. 国際関係の強化

- ①国際標準への貢献：世界の原子力発電所で十分な安全性が実現されるよう、福島第一事故の経験とその検証のうえに築かれる技術を発信することはわが国の責務である。国際的な説得性を備えるためには、国際学会での発表は学の役割として重要であるが、それだけでは不十分であり、国際標準の中に日本の知見・技術を組み込む努力を、産官学の協力のもとに続けなければならない。

- ②わが国へのフィードバック：国際貢献の結果をわが国の原子力安全に還元することが極めて重要である。知見・技術を普及する努力の中で、国際的な討議の洗礼を受け、より広い視野を持つ普遍的な規範に育つ。これは、わが国の原子力安全にとって新たな資源となるものであり、この成果を還元することにより、わが国の原子力施設の安全性を一層向上させる途が拓け、ひいてはわが国の原子力安全の国際的信頼の復権に繋がる。学術の使命として、こうした情報を規制や事業者のみならず、広く周知する努力を継続すべきである。この観点から、IAEA(国際原子力機関)を中心にデータベースの構築や基準の整備に積極的に関わること、米国のNRC(原子力規制委員会)との技術協力を強力に進める、などの戦略を持つべきと考えられる。
- ③近隣諸国との関係：我が国から見て偏西風の風上に位置する韓国や中国などの原子力安全が日本にとっても深刻な問題であるとの認識のもとで、新たな安全確保策を速やかに実践すること、その実績を持って、アジア諸国、特に中国や韓国に活かすよう、協働を働きかけることが重要である。そのことは直ちに、日本の安全に繋がるものである。

IV. まとめ

解説シリーズ「原子力安全のための耐津波工学」の最終回として、今後の課題と展望を論じた。そこでは、技術的課題とともに、戦略的意味を持つ包括的課題をも重視した。

今後の取り組みとして、本稿に示した包括的課題の実践が重要と考える。その一環として、多分野間の協働の枠組みを地震安全の課題に展開する構想も進みつつある。今後も、一同心して建設的に進みたい。

「原子力安全の耐津波工学」構築に携わられた方々への

謝辞はシリーズ(その1)に述べたのでここでは反復しないが、この活動に参加頂いた方々の大いなる貢献に感謝して、むすびとする。

－ 参考資料 －

- 1) 日本地震工学会：原子力安全のための耐津波工学－地震・津波防御の総合技術体系を目指して－，原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会報告書，2015.3.
(<http://www.jaee.gr.jp/jp/2015/02/17/5894/>)
- 2) 亀田弘行：原子力安全における工学の責任，保全学，Vol.14, No.2, p.1, 2015.7.

著者紹介

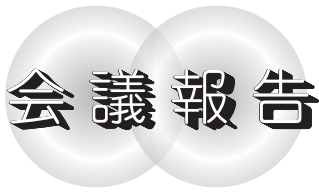
亀田弘行 (かめだ・ひろゆき)－耐津波工学委員会委員長
京都大学名誉教授・電力中央研究所
(専門分野/関心分野)地震工学，地震・津波PRA，原子力安全の耐津波工学，ライフライン地震工学

今村文彦 (いまむら・ふみひこ)－同副委員長
東北大学災害科学国際研究所
(専門分野/関心分野)津波工学，数値解析，自然災害科学

宮野廣 (みやの・ひろし)－同副委員長
法政大学，AESJ 廃炉委委員長
(専門分野/関心分野)流体振動，原子力発電システム，システム安全

高田毅士 (たかだ・つよし)－同シンポジウムWG 主査
東京大学
(専門分野/関心分野)地震工学，リスク論，建築工学

成宮祥介 (なるみや・よしゆき)－同編集WG 主査
関西電力
(専門分野/関心分野)安全評価，PRA，リスクマネジメント，規格基準



第12回日韓 PSA ワークショップに参加して

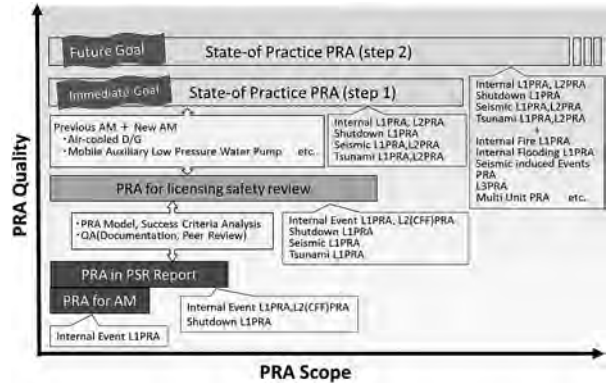
The 12th Korea-Japan Joint Workshop on PSA

2015年9月17, 18日(チェジュ島, 韓国)

第12回日韓 PSA (Probabilistic Safety Assessment : 確率論的安全評価) ワークショップ(JKPSA WS)がチェジュ島で開催された。1992年に第1回がソウルで開催された日本と韓国のPSA(確率論的リスク評価PRAと同義, 以下発表内容に準ずる表記にした)に関するWSである。日本から名誉議長近藤駿介東大名誉教授, 議長山口彰東大教授のほか, 規制庁, 研究組織, エンジニアリング会社, 電力などから13名が参加し, 発表や質疑を行った。今回から中国の参加者5名を加え, 参加国が拡大し総参加者も117名にのぼった。次回から日本, 韓国, 中国に加えて更に他のアジア諸国からの参加をえて「アジアPSAWS」への拡大を目指している。

初日は, 両国の名誉議長のキーノートスピーチで始まった。主催者である韓国 Pohang 大学の C. K. Park 先生から, 過去20年の本WSの成果を踏まえ今後20年における協力を期待したい, との要望が述べられた。特にマルチユニットPRAの検討が必要であることを強調されていた。これは韓国の4サイトともいずれ6~8基のマルチユニットサイトになることを考えると当然である。次に近藤先生からは, まず, 福島第一原子力発電所の地下水対策も含めた廃炉に向けた取組み状況とオフサイト除染状況が紹介され, 続いて「未知の脅威を理解し, それらへの対抗技術の開発」「事業者がポスト福島の社会を生き抜く条件はリスクと未知の脅威に対する努力」「リスク評価とリスクマネジメントの技術強化と活用をPSA技術者に期待」が述べられた。これらはリスクを直視し技術的視点で原子力に取り組むべし, という強いメッセージが盛り込まれていると感じた。

両国の規制と産業界におけるPRAの現状がプレナリーセッションとして報告された。KINS(韓国原子力安全技術院)により, 90年代からシビアアクシデント政策に取り組んできたことが説明された。PSAは, 全プラントでレベル1, 2を, 最近のプラントは停止時PSAも実施し, 今後の新規プラントには外的事象PSAも行う予定だが, 既設は地震マージン法SMA(Seismic Margin Analysis)を実施, レベル3PSAは建設審査には求められているが具体的には将来課題と, 説明された。次に日本の規制庁から, 新規基準で提出されている内的, 地震, 津波のPRAの特徴を示した。両国とも, 基本的なPRAである内的PRAはほぼ実施し, レベル3PRAはこれから, ということで大きな開きは無いようであったが, 事業者の活用においては, KHNP(韓国水力原子力発



PRA 品質向上計画 - 関西電力の事例 - (筆者の発表資料より)

電会社)からリスクモニターを全プラントに配置しRI-ISI(リスク情報を活用した供用期間中検査)などを実施しているとの紹介があり, 米国流の活用が進んでいる印象が強かった。筆者から, 福島第一原子力発電所事故後の日本の電力および原子力の状況を紹介したのち, 新規基準への適合努力を続けることと併せて, PRAの活用に向けての段階的品質向上策を説明した。航空機落下などに対する特定重大事故等対処施設について質問があり, 大規模で甚大な事故に対する対策への関心はわが国同様, 高かった。

研究部門としては, KAERI(韓国原子力研究所)と電中研NRRCから, PRA開発の実績と計画が発表された。両国ともマルチユニットPRA, 外的事象PRAなど福島第一事故からの教訓を反映した課題に取り組んでいく, との発表で, ここでもリスクを定量的に把握し提示しその低減抑制に如何に取り組むかを目指す気概が感じられた。

最後のパネルディスカッションでは, 山口彰先生から, PRAと性能目標の議論が必要なこと, レベル2PRAの重要性が高まっていること, 複合事象PRAにはダイナミックアプローチが必要, などの指摘が出された。これらの課題は日中韓のいずれも今後, 取り組むべきものであり, 次回以降の方向性が示されたと思う。

2日間と短い会合であり, 全員がほとんど一つの部屋でセッションを聞くというコンパクトな形式だったため, 濃密な時間を過ごせた。日韓PSAは, 従来から若手の発表者が気兼ねなく意見交換できるフレンドリーな会合である。将来を担うPSA技術者には, 是非こういう機会を利用して日韓さらにアジア諸国との情報や意見の活発な交換を期待したい。

(関西電力 成宮祥介, 2015年10月6日記)

Letters

「LNT 再考 放射線の生体影響を考える」に大きな期待を寄せる

牧 英夫
川上 博人

学会誌 2014 年 11 月号に掲載された真鍋勇一郎氏等による解説および 2015 年 4 月号に掲載された真鍋氏、坂東氏との座談会記事は、低線量・低線量率放射線が生体に与える影響を物理モデル化(WAM モデル)する研究内容を紹介したもので、この分野の科学的解明の可能性を予感させる画期的なものである。

WAM モデルは、放射線による DNA の損傷と修復・アポトーシス過程を表現するための基本微分方程式を設定し、公開されている動植物のデータを用いて突然変異発生頻度を線量率の関数として定量的に予測できることを示した。生体に放射線を当てると、損傷 DNA の割合は増加するが、一方で修復・アポトーシスも増加するため、突然変異発生リスクは低線量率であるほど短時間で一定値に達して平衡状態となる。そのため、線量が累積する効果はなく、ICRP 国際放射線防護委員会勧告の LNT モデルとは全く異なった結果を与える。更に、スケーリング関数と無次元化時間の概念を導入して、マウス等の既往の生物実験の突然変異頻度を一元的に整理できることを示した。

その後、真鍋氏等は 2015 年 7 月にマウスとショウジョウバエに関するパラメータ設定の見直しを行っている¹⁾。この WAM モデルについて馬場氏は学会誌 2015 年 9 月号で、基本微分方程式の右辺第 1 項を $(k+\gamma)(1-F(t))$ に修正すべきであるとのコメントを寄せている²⁾。この修正は低線量率領域における結果への影響は小さいが、高線量率領域での物理モデルの正確さを期す意味から取り入れるべきであろう。われわれはこれらの修正を取り入れ、その解析結果を第 1 図のようにまとめた。横軸は線量率であり、縦軸は突然変異発生頻度の飽和値 $F(\infty)$ の対数である。ここでヒトに最も近いと考えられるマウスに関する結果に注目すると、線量率が $1 \times 10^{-4} \text{Gy/h}$ (LNT モデルでの年間累積線量は約 1Gy) でも $F(\infty)$ は自然突然変異発生頻度と誤差の範囲で同等であることがわかる。しかし、マウスは何故高い線量率でも突然変異発生頻度が低いのか、あるいはキクやトウモロコシは低線量率では限りなく突然変異発生頻度が小さくなるのか等、更に解明すべき点も多いように思われる。

今後、生命科学分野等のデータや知見が追加されて研究が進展するであろうが、完成時点での成果が与える潜在的な効果は甚大である。例えば、福島原発事故で現在避難をしておられる 10 万人を超える方々の殆どが故郷

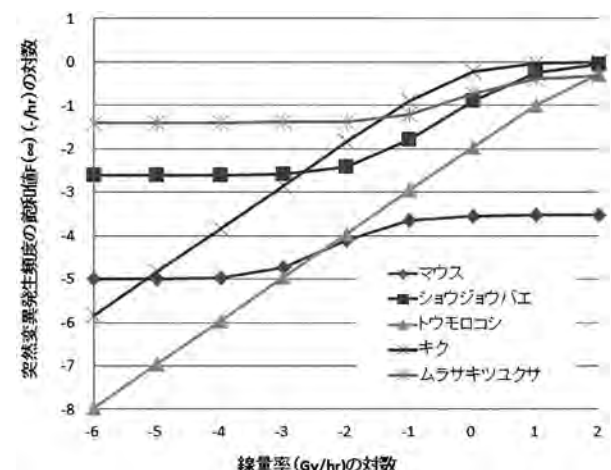
への帰還が可能となり、1mSv/年以下を目指して除染している活動の殆どが不要になる、などの結果が得られると推測される。また、最も解決が困難と考えられている高レベル廃棄物の処分の問題も、低線量・低線量率の放射線が人体に及ぼす影響を世界の人々が正しく理解して初めて可能になるのではなかろうか。そのように考えると、この研究の重要性がひしひしと感じられる。

この研究を総括し指導しておられる坂東氏は、現在の WAM モデルはその突破口に過ぎず、ヒトの発がんリスクに結びつけ、ICRP の勧告を根底から見直すためには、国家規模、更には国際規模での長期にわたる研究に腰を据えて取り組む必要があることを見抜いている。そして、その研究を推進するための J-MELODI(低線量の放射線被ばくによる影響を解明する学際的な日本イニシアティブ)の設立を提唱し、欧州の MELODI(5 年前に設立)との共同研究を通して国際的なコンセンサス創りを目指している。その設立趣意書³⁾によれば、原子力平和利用に掛ける思いは高邁で、真に国際的・学際的長期プロジェクトの推進こそが科学者の使命であるとしている。

本研究の推進に本学会は元より、多くの大学、機関、企業、研究者、技術者が参加されることを願って本稿を投稿する次第である。

- 参考資料 -

- 1) http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat01/pdf1507/data_04.pdf
- 2) 馬場宏, 日本原子力学会誌, Vol.57, No.9, p56(2015)
- 3) <http://jein.jp/jmelodi.html>



第 1 図 突然変異発生頻度飽和値 $F(\infty)$ と線量率の関係

日米原子力協定に関する私見

豊田 正敏

学会誌9月号の日米原子力協定に関する座談会に対する私見を申し述べさせていただきます。

遠藤氏は自動延長になる可能性が高いと言っておられますが、自動延長のためには、日米両国が何も言わないことが必要です。しかし、米国には、多数の核不拡散論者が日本に再処理によって大量のプルトニウムが蓄積されていることを問題視しており、座談会でも指摘されているように、米国から協定改正を言い出してくる可能性が高い。従って、日本としては、改正交渉の中で、折角勝ち取った包括事前同意を維持するよう折衝することが肝要だと思います。

改定交渉の最も重要なテーマは、再処理により回収されるプルトニウム問題と考えられます。

遠藤氏や坂田氏はプルスーマルによってプルトニウムを燃やして消滅できると考えておられるようですが、プルトニウムに混ぜたウランが中性子を吸収して、新たに、プルトニウム239が生成される分もあり、最初に装荷したプルトニウムの燃え残りが加わるので、プルトニ

ウムの貯蔵量は大きく低減するには至らず、核拡散上の問題となります。この点が、今回の日米原子力協定の焦点となり、どのように対処すべきかが問題となり、場合によっては、再処理、プルスーマルを認められない可能性があります。

改定交渉に当たっては、1年ぐらいかけて、この問題や六ヶ所再処理工場の稼働、高レベル廃棄物処分場の確保などを含め、核燃料サイクル政策の確立を図り、それに基づいて行うのがよいでしょう。

このような対処方針の基本的考えを議論するためには、INFCEの際に、国内に、INFCE対策協議会が設けられ、対処方針が審議されたように、今回も、関係する学識経験者よりなる日米原子力協定対策協議会(仮称)を設置して、核燃料サイクル政策とそれに基づく対処方針を審議することを提案します。事務局として、正は外務省、副は経済産業省とすることがよいのではないのでしょうか。

(2015年9月18日記)



From Editors 編集委員会からのお知らせ

—最近の編集委員会の話題より—

(11月4日第5回編集幹事会)

【論文誌関係】

- ・10月期に英文誌へ26論文、和文誌へ3論文が投稿された。
- ・論文誌掲載著者に依頼するアンケート案を検討し、実施することとした。
- ・来年度の予算案を検討した。
- ・JNST Most Cited Article Award 2015を決定した。
- ・運営内規のメール審議規定関連条項を検討した。

【学会誌関係】

- ・編集委員長より理事会報告があった。
- ・編集長より、特集企画とそのスケジュールについて説明があった。来年度の予算案について検討し決定した。
- ・記事の管理進行、編集上の課題について協議した。
- ・学会誌記事の評価のためアンケートを10月号の記事から始め、その集計結果が報告された。
- ・次号以降の記事進捗状況の報告と確認を行った。

編集委員会連絡先<hensyu@aesj.or.jp>

新刊紹介

災害対策全書 別冊「国難」となる巨大災害に備える—東日本大震災から得た教訓と知見

ひょうご震災記念 21 世紀研究機構, 「国難」となる巨大災害に備える編集会議 編著, 645p. (2015.9)
ぎょうせい(定価 7870 円+税) ISBN 978-4-324-10007-3

阪神・淡路大震災後に設立された「ひょうご震災記念 21 世紀研究機構」は 2011 年 5 月に, 災害発生時に行政や企業, 地域が何をすべきかを総合的にとらえた「災害対策全書」全 4 巻を発行した。さらに, 東日本大震災と原発事故の検証と評価をふまえて, この全書の続編として発行されたものが, 本書だ。

別冊とはいえ, 本書は 100 人を超す著者が 600 ページ以上にわたって記載した大著で, 総論, 防災・減災, 応急対応, 復興など, 災害をめぐるさまざまなことがらを, 総合的な視点からとらえたものとなっている。これから起こり得る首都直下地震, 南海トラフ地震, 富士山・桜島などの火山災害などを含め全般的な災害対応策についての総合的な指針を示すテキストだと言えよう。

本書では各論としての災害対応策を提示するとともに, 「国難となる巨大災害に備える」という節では根底的な考え方として, 「深刻な事態を避ける上で一極集中緩和は最も本本

的な対策方針である」と指摘し, 「国土構造の分散化」を提唱。社会資本整備についてはこれまでの近代文明の価値観である「効率」や「成長」重視ではなく, 「安全」や「安定」を重視する新しい価値観への転換を呼びかけた。

さらに終章である「記憶と継承と覚悟」で室崎益輝氏は, 「地震は避けられないが, 震災の被害は社会の構えや備えを意識的に変えることで, 軽減できる」と断言。意識の啓発は「記憶」と「継承」そして「覚悟」に集約できるとし, 「行動に移そうとする強い決意がなければ, 教訓を生かすことはできない」と訴える。

原発関連記述は全体の約 3 割にあたる 180 ページに及ぶ。事故対応や災害対策だけでなく, 風評被害対応や事故をふまえた復興のあり方についても多くの紙数を割いたことが特徴だ。「帰還と復興計画」という節では, 「空間の復興ではなく生活の再建」が重要であり, 公共事業中心に示されている将来構想は被災住民にとって空虚にしか映らず, 彼らを主体にした復興ビジョンこそが重要だと指摘する。原子力関係者にも自問する契機を与えよう。

(編集委員会・佐田 務)



目安箱への投書のご案内

日本原子力学会 編集委員会

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

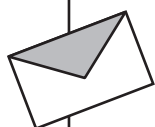
- ・学会誌の企画, 編集, 掲載記事や論文に関すること。
- ・新刊図書の本評の推薦

などについてのご意見・ご要望がございましたら, 学会ホームページ

<https://ssl.aesj.net/publish/meyasubako>, または E-Mail: aesj2005meyasu@aesj.or.jp にてお寄せください。

編集委員会にて検討後, 担当者より回答させていただきます。

学会誌編集活動への皆様の積極的なご参加をお願いいたします。



秋の大会 理事会セッションの報告

静岡大学で開かれた2015年秋の大会の理事会セッションは、「あなたにとって原子力学会とは」とのテーマの下、原子力学会の果たすべき役割について、理事・企画委員を交えた会員相互の自由な意見交換を行いました。

1. 経緯と理事会側からの討論テーマ提案

理事会は、原子力学会の果たすべき役割を考え直すために、これまでに様々な機会を設け、学会内外のご意見を伺って来ました。具体的には；

- ・福島第一事故に関する学会事故調査最終報告書の提言
専門家集団としての学会自身への5つの提言
- ・理事会メンバーが行った「ご意見を伺う会」
2014年9月26日 正副会長経験者2名
2014年11月17日 外部有識者2名
- ・茨城大学で開催された春の年会「理事会セッション」を一般公開で実施し、外部有識者2名、自治体関係者2名の方のご意見を会員と共に聴講(2015年3月20日)
- ・学会誌への投稿の中から、特に学会への指摘であった以下の記事に注目
2015年3月号 特別寄稿 有識者3名
2015年4月号 時論 有識者1名
- ・静岡大学で開催された秋の大会において、理事会セッションの直前に行われた編集委員会セッションで講演された外部有識者の方2名のご意見
理事会並びに企画委員会がこれらのご意見等を受けた検討を行ってまいりましたが、特に今回の理事会セッションでは、敢えてこれまでの一般公開の講演等をやめ、上塚学会長以下の理事会・企画委員会メンバーも交え、会員の皆様どうしの自由な意見交換を行うこととしたものです。最初に、以下の討論テーマの候補を挙げました。

即ち、原子力学会の果たすべき役割について；

- (1) 学会からの情報発信のあり方はどうあるべきか
- ① 学会の意見を発信するか、それとも複数オプションの提示に留めるべきか
 - ② 規制・安全審査の問題について、セカンドオピニオンを提供するか
 - ③ 学会からの情報発信は、学会内での事前の熟議(広く学会員の意見の確認)が必要であるか
- (2) また、福島第一事故への関与について
- ④ 学術研究の実施や、福島の方々のご質問への対応だけでなく、住民帰還にもっと貢献する必要は無いかというものでした。これらを参考にして、フリーの意見交換が始まりました。(理事 田中治邦)

2. ラウンドテーブルディスカッションの実績

寿楽企画委員のファシリテーションによる「ラウンド

テーブル」形式をとり、理事会・企画委員会メンバーの指定登壇者とフロア参加者によるフラットな意見交換を行いました。出された意見の一部は下記に示しますが、前記候補テーマに加え、若手の学会活動への参加が少ないこと等に関して有意義な意見交換が実施されました。

- ・米国の企業のように、学会活動も目標管理に入れて評価する仕組みを取り入れるべきではないか。
- ・各部会が、魅力的なプログラムを作って、若手を引き込むことが若手増とする一つの解決策と考える。
- ・学会とは特に若い間は自分自身の研究の場であり、学会はまずそういう場を提供することが大切である。若手育成は理学学術団体の性格が強く、育ち始めて工学的視野が入ってくるもので、それを考慮した制度設計が必要ではないか。
- ・学会は今年度から Japan-IAEA Joint 原子力エネルギーマネジメントスクールを対象に CPD 登録化を再開し、日本でも学会活動を評価する仕組みを整備し始めている。企業がどういう教育をしてほしいのか今後一緒に議論したい。
- ・原子力業界が信頼回復に向けてやるべきことを学会で議論し、活動を進めていくことも、学会活動の理解・推進につながる。
- ・情報発信は、理事会できちんと議論をした上で、賛成、反対、保留なども明らかにし声明を出すのが良い。また、他の組織で対応すべきとの判断になった案件は、会長から依頼して進めるべきである。
- ・学会としては科学的合理性に基づき非常に強い立場で情報を発信してほしい。そのために、何を発信するかを決めるタスクフォースまたは委員会を立ち上げてほしい。
- ・福島の問題は、これまで福島特別プロジェクトとして取組んでいるが、さらに学会の組織としてやるのはなかなか難しいところもある。今、福島の方は放射線に関する知識を持っている。帰還に関して、理性で OK でも感覚的には嫌だという個人の価値観に対して、今後相談に乗る等、草の根活動が重要なと思う。

最後に、上塚会長から、提起された論点、またそれに対する様々な提案を受け止めて今後の学会運営に活かしたい旨の挨拶があり、閉会となりました。

(理事 駒野康男)

「理事会だより」へのご意見、ご提案の送り先
rijikaidayori@aesj.or.jp