

巻頭言

1 福島事故を乗り越えて

辻倉米蔵

論点 「原子力」を考える

14 モデル手法による原子力発電の経済性—「コスト等検証委員会」2011年試算より

各エネルギーの経済性を比較する際には、今後の不確実性を考慮した冷静で合理的な分析姿勢が望まれる。
村上朋子

18 持続可能原則から考えるエネルギーシステムの評価

エネルギーシステムはエコロジカルな持続可能性、世代間倫理、持続可能な地域発展という視点をふまえた選択と設計でなければならない。原子力は、それに適う電源だろうか。植田和弘

特別企画 我が国の核燃料サイクル

22 「もんじゅ」を中心に据えた GACID 国際共同研究プロジェクト—将来世代のエネルギー選択肢を広げる技術の提供

高速増殖原型炉「もんじゅ」でマイナーアクチニドを含んだ燃料を照射し、燃料集合体規模での照射実証を目標とする GACID 計画が日仏米三ヶ国間で進んでいる。
此村 守

25 加速器駆動核変換技術による廃棄物処分の負担軽減—核変換専用の核燃料サイクルの技術開発で不透明な将来に備える

福島事故後、放射性物質を安全に処理するニーズが大きく高まっている。ここでは使用済燃料の処分の負担軽減をめざす加速器駆動核変換システムの研究開発について述べる。
大井川 宏之

時論

2 国際的視野から原子力政策の検討を

大庭三枝

4 科学技術イノベーション政策形成プロセスとその担い手—新たな動向と原子力における課題

城山英明

6 原子力発電と消費者

阿南 久

解説

28 政府の福島原子力発電所事故調査・検証委員会の中間報告について

東京電力と政府の原子力防災対策は、過酷事故が起こること自体を「想定外」としていたため、事前になすべき多くの事柄を放置していた。事故発生後の対処もきわめて稚拙だった。
吉岡 斉

33 福島第一原子力発電所事故後の除染の現状と今後の計画—避難住民の早期帰還に向けて

福島の事故により放射性物質が飛散して1年が経過した。これまでの環境省での除染への取り組み状況と、今後の計画を紹介する。
森谷 賢

警戒区域、計画的避難区域及び特定避難勧奨地点がある地域の概要図(平成23年11月25日現在)



表紙の絵(日本画) 「詩〜薫る五月〜」 製作者 岡本昌子

【製作者より】五月、朝早くから自転車をこいで写生に出かけた。新緑の香りがとてもすがすがしい。山藤の咲いている場所では、ゆるやかな風が花の香りも運んでくれる。水面には山藤と空と白い雲まで映り込み、よく見ると小さな魚たちも泳いでいる。そこには幻想的な世界が広がっていた。

第43回「日展」へ出展された作品を掲載(表紙装丁は鈴木 新氏)

解説

38 ストレストストって何？

地震や津波が原発を襲った状況を仮定して、計算機のシミュレーションでどこまで耐えるのかを算出する。それが原発のストレストストだ。

澤田哲生

43 原子力賛成が減り反対が増加 —原子力をめぐる世論調査結果

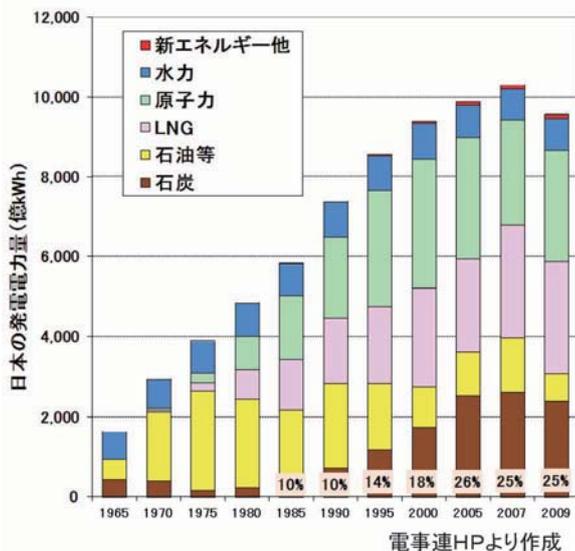
福島事故以前には原子力利用について安定した世論の支持があったものの、事故後には賛成意見が大きく減った。

横手光洋

47 福島第一原子力発電所事故後の 天然ガス及び化石燃料の利用動向 —第2回 石炭の利用動向

石炭火力の電気は、世界の発電電力量の40%以上を、また日本でも約25%を占めている。石炭は安価で豊富にあるものの、CO₂発生量が多いのが課題だ。しかし近年では高効率化が進んでいる。

入谷淳一、時松宏治



ANGLE

視角

61 今後の日本のエネルギーについて

近藤吉明

62 人類の生存の時間軸とエネルギー

飯田式彦

8 NEWS

- 民間事故調、「大きな安全」軽視と指摘
- 安全委、安全審査指針の瑕疵を認める
- 厚労省が食品中セシウムで新基準値
- 中長期ロードマップ、「冷温停止を維持」
- 福島事故意見聴取会の検討結果
- 断層の連動可能性調査結果まとまる
- ストレストストで大飯3・4号機は「妥当」
- 安全委、耐性検査の評価で確認方針
- 女川発電所の高台に電源ユニット
- 原子力予算、福島関連で約5千億円
- 海外ニュース

Opinion

52 わが国の核燃料サイクルの問題

わが国の「核燃料サイクル」には、全く合理性がない。その最大の問題である核のゴミの処分も、目途がたっていない。

河野太郎

報告

56 福島第一原子力発電所事故に向き合い 乗り越えよう—GLOBAL 2011国際会議 より

深澤哲生

談話室

59 東海再処理物語

中島健太郎

42 From Editors

55 新刊紹介 「知っておきたい物理の疑問55」

関 泰

64 会報 原子力関係会議案内、主催・共催行事、人事公募、英文論文誌(Vol.49, No.5)目次、主要会務、編集後記、編集関係者一覧

後付 日本原子力学会賞 受賞概要

WEB アンケート

2月号のアンケート結果をお知らせします。(p.63)

アンケートは今月号で終了します。これまでさまざまご意見をいただき、ありがとうございました。

学会誌ホームページはこちら

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

福島事故を乗り越えて



日本原子力研究開発機構 副理事長

辻倉 米蔵(つじくら・よねぞう)

京都大学工学部電気工学科卒業。関西電力取締役、常務を経て2010年10月より現職。

東電福島事故が発生し1年が経過したが社会に与えた影響は大きく、未だ、その対応は緒に就いた段階である。今後の取り組み計画も徐々に具体化されているが、本格化はこれからの課題である。

今時点、世論として原子力利用に消極的な側面が際立つことは仕方がないが、小川のせせらぎや、心地よいそよ風も核反応によるエネルギーの形を変えた物である。太陽光とて原子核エネルギーから生じたものであり、過度に浴びると癌の発生要因になる。自然エネルギーの利用は可能な限り活用すれば良いが、先行しているドイツでさえ、太陽光は全供給電力のわずか2%程度なのが現状で、最近の報道では太陽光発電の買い取り価格は徐々に引き下げられるとのことである。これらのことを思うと原子核エネルギーとの共存は人類存続に避けられない課題であることは間違いない。将来にわたり安心して原子核エネルギーの利用が可能のように、そのリスクを確実に制御できる安全管理体系を手に入れることが必須である。そのため東電福島事故について本質に迫る要因を洗い出し、その結果を規制や事業活動に反映していくことが必要である。

東電福島事故の現状分析と教訓の抽出は当事者の東電に加え、国会、規制当局、学会、民間の第三者機関などで行われている。まだ中間報告段階のものが多いが既に多くの知見が抽出され提言されている。

その中でも畑村委員会の報告では小括として3つの指摘がされている。津波に対するシビアアクシデント対策の欠如、地震津波に加えてシビアアクシデントに至った複合事象であったこと、全体を俯瞰する視点の欠如の3点を指摘している。

直接原因に関連する指摘はこれを確実に実施していけばよいが、ここで最も重要なのは3点目の指摘である。この指摘は今回の事故が防災にまで及び、その対応のあり方まで問題があったので、広範囲にわたる領域について指摘している。しかし、まずは二度とこのような事故を起こさないために設備形成や維持運用の観点から、安全確保のあり方についてこの指摘にきちんと応えることが肝要である。

安全確保の全体を俯瞰することは極めて広範囲にわたり、かつ専門性が求められる。さらに、重要なのは技術的視点のみならず、経営的視点や社会的視点を合わせて具備することが必要である。敷地を高くしたことにより、東北電力女川発電所を救ったのは正に経営的視点であったと思われる。今回の事故が避難を伴ったことから運用に当たって立地環境や地域との相互の関係を具体的に折り込んだ運用も必要である。

このようなことを確実にするためには、我が国の安全哲学を明示的に示し、また規制から事業者まで、トップから最前線の担当者までがそれぞれの立場で役割分担を明確にして組織的な活動が出来るような仕組みの形成と運営が必要である。

福島事故で命綱となるIC(非常用復水器)の作動に関する知識が欠落していた等との指摘があったが、最前線を担当する職員や規制者は設備運用に精通したプロである必要がある。軍隊の潜水艦の新規乗組員に対する訓練は「Know your boat」という合い言葉のもとに自分が命を預ける船の設計から構造・配置・性能・運用まで習得するための訓練が徹底して行われると聞いている。自分の体の一部のように潜水艦と一体となって初めて戦時の異常時にも臨機の対応が可能となる。

原子力についてもそれぞれの役割を責任をもって果たすため、徹底した教育と訓練に裏打ちされた力量の確保を義務づけることが望まれる。更に、二度とこのような事故を起こさないためには、藪をつついてでもリスクを見つけ出す継続的な努力が必要である。

確率論的安全評価もその一つであるが、それだけでなく現実のリスク回避はプラントの設計レビューのプロセスや日常の運転、保守経験の中からも十分に伺い知れる。十分な力量を持った技術者がすべての領域で活動するとすれば質の高いリスクの摘出が可能である。重要なのはこのような活動が当然のように行われるカルチャーが根付くことである。そのためにも、このような活動が評価される組織経営であることが最も必要なことであろう。トップ自ら安全哲学を身につけ、何に取り組むべきか判断できることも資質として求められる。

この安全哲学の考え方の一つには、無理・無駄を排し科学的合理的判断に基づき、達成感を持てる運用が必須である。必要なことを確実に行う、不必要なことは排除する勇気を持った取り組みが必要である。

これから、事故後の今後のフレームワーク作りが行われていくが、原子力に携わる人達全てが共有してこのような考えを持って取り組むことを期待したいと思います。

(2012年 3月13日 記)



国際的視野から原子力政策の検討を



大庭 三枝(おおば・みえ)

原子力委員会 委員
 東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。東京大学助手などを経て、東京理科大学工学部准教授。2010年1月より原子力委員会委員(非常勤)。専門は国際関係論。

福島第一原発事故から1年が過ぎた。あのとき以来、日本国内における原子力やエネルギー政策を巡る状況は、それまでのものとまったく様変わりした。2005年の原子力立国計画、2010年のエネルギー基本計画等で描かれていた我が国における核燃料サイクルの将来像は大幅な見直しを迫られている。現在、総合エネルギー調査会基本委員会や電力システム改革専門委員会で、将来のエネルギー・ベスト・ミックスのあり方や、電力供給体制の改革等についての検討が進められている。原子力委員会も、2010年末に開始していたものの事故後に一度中断していた新原子力政策大綱策定会議を再開し、日本における今後の原子力のあり方についての検討を行っている。策定会議は近藤原子力委員会委員長を座長とし、他の原子力委員4人に加え、21名のステークホルダーや様々な分野の専門家を加えて構成されている。さらにこの策定会議委員の一部から構成されている原子力発電・核燃料サイクル技術等小委員会や、すでに報告書を提出した中長期検討委員会等の様々な場で、今後の原子力政策を決定するプロセスに微力ながら参加している状況である。

そもそも私は、国際政治を専門としている研究者であり、原子力の専門家ではない。そのような私が2010年1月の就任以来、私の役割は主に2つあると考えてきた。一つは、国際社会の構造の変化を踏まえ、日本が今後どのように国民の利益を確保しつつ、近隣諸国や緊密な協力関係にある国々と利益増進を図り、かつ国際社会の公益に寄与していくべきか、というより広い観点から、原子力政策の方向性を検討し、意見を述べるとのこと。もう一つは、原子力専攻ではない有識者として、「原子力村」の有り様を客観的に考察し、いわば「ソト」からの視点を忘れず、意見を述べるとのこと。この2つである。この2つの視点から発言することは、福島事故後も、いや事故を経てさらに重要になってきていると感じている。

国際政治学者としての私の議論の前提は、福島第一原発の事故以後も、世界には原子力発電を維持し、または拡大し、あるいは新規導入する国々が多く存在しているという事実である。むろん、今回の福島原発の事故を受けて、多くの国で原子力の廃止論も含めた原子力政策についての議論が活発に行われていることは承知してい

る。ドイツ、スイス、ベルギーは脱原発へと舵を切り、イタリアは原発再開が国民投票で否決された。他方、フランス、ロシア、アメリカは安全性の担保について十分な対策を採る前提の上で、原子力発電を維持していく方向を示している。また、中国、インドをはじめとする国際社会の構造変動を牽引する役割を果たしている新興国・途上国においても、日本との協力も含め、今後も原子力の推進を継続する姿勢を示している国は少なくない。現実には、BRICS諸国(※ブラジル、ロシア、インド、中国、南アフリカといった新興国の中でも主導的な地位を占めると見られる国々を指す)は、「原子力は将来の新興国のエネルギー構成で重要な位置を占め続ける」と原発推進姿勢を鮮明に示しており、エネルギー需要の拡大が見込まれる中で、各国の原子力への期待が消滅する方向には簡単には向かわないだろう。

日本が今後、原子力の比率を減らす、あるいは本格的な脱原発に向かう、といった選択肢を取るとしても、世界の状況は状況として存在するのであり、そのことを踏まえた上で日本が今後どのように原子力と付き合っていくべきかを見極めねばならない。日本のエネルギー政策及び原子力発電の位置づけを考える際も、国際的視野からの検討がなされるべきである。特に留意しなければならないのは、以下の2つである。すなわち、世界的にエネルギー需要が増大する中で、日本がいかにかエネルギーの安定供給を確保するか、という点、そして国際社会が直面し、共同で解決を図っていかねばならない地球温暖化対策を原子力なしでどう対処するのか、という点である。

日本のエネルギー政策の策定の際、エネルギー自給率の向上と共に、高い中東依存度の解消が大きな課題であった。核開発疑惑に揺れるイランのみならず、昨年、多くの中東諸国の政治体制が変革へと向かった、いわゆる「アラブの春」後も同地域の情勢は不透明である。また、アジア諸国を中心に、世界のエネルギー需要は急増しており、2030年には現在の約1.4倍になる見込みである。資源価格も継続的に上昇傾向にあり、また投機資金の流入により、市場価格の変動幅は拡大している。こうしたなかで、各国は資源獲得のさらなる強化を目指して戦略を展開している。また、日本はヨーロッパ諸国など

と異なり、電力を当面は外国から輸入できない、という制約もある。従来、原子力は、こうした厳しい状況において、我が国のエネルギー安定供給確保のための重要な手段の一つとして位置づけられていた。今回の事故により、原子力の抱える大きなリスクが露呈したことは否めないが、事故後の現在でも、前述のようなエネルギー安全保障に関する日本の置かれた状況は変わっていないのもまた事実である。

また、地球温暖化への取組についてであるが、鳩山前首相が2009年9月に掲げた、2020年までに1990年比で25%のCO₂削減を目指すという目標の現実可能性には様々な議論があるのは承知している。また、巨額の財政赤字、改善されないデフレ状況、国民各層に認識されつつある格差の増大等、日本も国内に大きな問題を抱えているのも事実である。しかしながら、その経済規模、経済水準、人口規模等から見て、国際社会において日本が相対的豊かさを享受している先進国であることは明らかであり、よって国際的な諸問題の解決のための責務を負っていることを忘れてはならない。その観点から、日本は地球温暖化対策に主導的な立場で貢献せねばならないが、その際の切り札でもあった原子力を逡巡させていく中で具体策をどうとっていくのかを真剣に考える必要がある。

そのような中で、再生可能エネルギーへの期待が高まっている。もともと、日本のエネルギー政策は一つのリソースに頼らない、多様性を担保した形で行うべきであり、その観点からも再生可能エネルギーの一層の拡大は必要である。そのためにも、日本の電力供給システムのあり方の変革が必要とされるだろう。しかしながら、風力や太陽光の性質上の最大の課題である安定供給が難しい、という事実もまた変わっていない。今後、再生可能エネルギー関連の技術革新に大きく期待できると考えられるが、原子力が果たしてきた役割をすぐさま代替できると考えるのは明らかに行き過ぎであろう。

このような、国際情勢を踏まえたエネルギー政策のあり方に加え、長期的かつ幅広い観点から見て日本の置かれた立場は近年、大きく変化していることも踏まえておかねばならない。今まで原子力の世界では、日本を「模範国」になぞらえてきた。再処理を許されている唯一の非核兵器国として、決して核武装をせず、統合保障措置をはじめとする厳しい保障措置を受けつつ、原子力の平和利用を推進してきた国、というのがその具体的な内容である。この「模範国」という日本の自己規定は、もちろん日本がこれまで原子力の平和利用に関わってきた道程を反映しているものでもある。一方で、戦後日本において多くの日本人が抱えてきた、日本は世界の「例外国」という自己規定と重なり合うものであった。すなわち、日本は非西欧世界における唯一の先進国であり、G7/G8に参加する機会をはじめ、普通は享受できない様々な特権を享受する立場にあるという自己規定である。

戦後の日本人は、そうした「例外国」としての日本を誇りに思い、その地位を日本にもたらした要因を戦後復興と高度経済成長、そしてそれらを成し遂げた日本人の勤勉さに求めた。それは一面では真実であった。しかしながら現実には、この日本の「例外国」としての地位は、冷戦体制の下、西側陣営に組み込まれ、アメリカがアジアにおける重要な同盟国として日本にてこいれをしているという構造のもとで保障されたものであった。日本が非核兵器国でありながら再処理を許されたことも、根本的には、冷戦体制のもとでのアメリカとの特別な関係が支えていたのである。

しかしながら、冷戦が終結して20年、明らかにこの構造は変わりつつある。冷戦終結後、唯一の超大国となったアメリカは、確かに他の国とはレベルの異なる国力を保持しつつも、その相対的地位の低下は否めない。中国やインドをはじめとする新興国の台頭は著しく、世界のパワーバランスは大きく変容しようとしている。そうした中で日本は、非欧米世界における唯一の先進国である、という「例外」としての地位を失いつつあり、むしろ台頭する多くの非欧米諸国とともに、彼らとは違った歴史的背景を背負いつつ、国際社会における自らの新たな位置づけの模索を迫られている。今回の福島事故は、日本人にこの課題をさらに鮮烈な形で突きつけた。今回の事故は、これまでの日本の「模範国」＝「例外」としての地位を支えてきた安全神話に明らかに打撃を与えたことは否めない。そうしたなかで日本が原子力の平和利用に関する例外的な位置づけを維持するのは以前より困難であろう。

国際社会はあまりにも多様かつ広すぎて、その中で自分たちが生きているという現実を実感として認識するのは誰にとっても難しいのかも知れない。それにしても、日本の中の様々な問題を巡る議論は、一般的にどうしても国内の情勢のみを視野に入れた、すなわち日本の状況や日本の選択が、まるで世界の情勢とは無関係に存在している、あるいは存在し得るかのような議論に終始する傾向がある。日本が原子力の平和利用を維持することが日本にとってのみならず、国際社会にとってどのような意味があるのか、また原子力を通じた貢献を日本が国際社会に対してどのように行えるのか、真剣に考えなければならない時期にさしかかっている。日本は、今回の事故で得た知見を生かすことで、国際社会において様々な貢献をし得る潜在力を保持している。原子力に限らず、大きな流れの中で日本の国際社会における位置づけの再定義が必要な中、今後も原子力発電の増大が見込まれる世界において、原子力安全や核不拡散、核セキュリティなどについての日本の貢献をもって、その道筋を切り開いていくべきであろう。

<注記>本論は、原子力委員会メールマガジン2011年5月13日号、及び2012年3月9日号に寄稿した記事に加筆修正したものである。(2012年3月21日 記)



科学技術イノベーション政策形成プロセス とその担い手

新たな動向と原子力における課題



城山 英明(しろやま・ひであき)

東京大学政策ビジョン研究センター長
東京大学法学部卒。東京大学大学院法学政治学研究科教授を経て、2010年から現職。
専門は行政学，国際行政論，科学技術と公共政策。

科学技術に関する知見を社会における新たな需要創造に繋げるためには、社会制度を含むイノベーションが大きな役割を果たす。イノベーションの活性化のためには、基礎研究と応用研究・開発研究をつなぎ、さらには、技術シーズを実際に社会に普及させて新たな産業の創造や生活様式の変化にまで導くことが必要である。そのためには、研究者の視点だけでなく、企業、さらには社会からの視点を含めた一体的・総合的な取組によって科学技術イノベーションを起こすための仕組みが求められているといえる。また、東日本大震災への対応の課題からもうかがえるように、最新の科学的知見を俯瞰的に整理して、政策形成に活かすことは不可欠である。社会課題解決のための科学技術イノベーション政策という方向性は、第4期科学技術基本計画策定プロセスの中で一般論としては意識されていたが、東日本大震災への対応の中で、具体的課題への対応を実践的に迫られているといえる。

政府では、昨年12月に科学技術イノベーション政策推進のための有識者研究会報告書がまとめられ、新しい科学技術イノベーション政策推進組織の具体像が提案された¹⁾。報告書では、科学技術イノベーション政策推進組織には、科学技術イノベーション政策を強力に推進していくため、以下のような機能を持たせることが重要であるとされた。第1は、司令塔機能である。具体的には、①科学技術イノベーション関係施策全体を俯瞰した上での、科学技術イノベーション戦略構想の一元的な企画・立案、及び各府省におけるメリハリの利いた施策の実施の推進、②各界各層の多様な科学技術イノベーション関係者(基礎研究からイノベーションまで)の動向・ニーズ、科学技術への社会的期待及び科学技術の社会的影響を把握した上での政策の企画立案である。第2は、科学的助言機能である。行政庁のトップに対する科学技術的知見・イノベーションに関する知見の俯瞰的整理に基づく助言及び政策の企画立案・執行に当たっての適切な科

学技術データの活用確保の実現が課題となる。第3は、情報収集・分析機能である。司令塔機能にしり、科学的助言機構にしり、独自の立場での情報収集・分析能力を持たないと機能しない。

本報告書の観点で重要なことの1つは、政府の成長戦略や文部科学省における第4期科学技術基本計画の延長として、従来のように特定の科学技術分野を重点分野として設定するのではなく、重要な政策課題と科学技術の研究開発を直結させる方向性が示されており、そのために、科学技術イノベーション政策推進組織における優先順位設定を伴う意思決定を行うことが求められていることである。他方、同時に重要なのは、そのような戦略意思決定を行うためには、その前提として、広義のアセスメント機能、すなわち、科学技術の多様な政策的社会的影響や科学技術への多様な社会的期待を明らかにすること、また、科学技術的知見・イノベーションに関する知見の俯瞰的整理に基づく助言が求められている点である。前者は、技術の社会的インパクトを明らかにするテクノロジーアセスメント(TA:技術の社会影響評価)に求められている機能でもあり、また、後者は、地球温暖化に関して気候変動政府間パネル(IPCC)や東日本大震災後の政府による意思決定の前提として求められてきた役割でもある。

大切なのは、今後の科学技術イノベーション政策プロセスにおいては、アセスメントと意思決定を峻別することが不可欠であるということである²⁾。アセスメントは、仮に相互に矛盾するものであっても、俯瞰的に整理した上でなるべく幅広く影響を明らかにするとともに、対応に向けた多様な選択肢を示す必要がある。従来政策決定では、アセスメントには特定の意思決定を正当化することが期待されていたため、単一の結論が求められていた。しかし、現在の政策決定では、青洲的には政治サイドが意思決定することが予定されているのであり、アセスメントにはむしろ多様な議論を透明性の高い討議空間

の下で喚起することが求められているといえる。

また、文部科学省では、科学技術イノベーション政策における「政策のための科学」が開始されている³⁾。このプログラムの設置に際しては、社会的問題の解決を目指し、限られた資源をより効率的に活用しつつ科学技術イノベーションを展開するためには、経済・社会等の状況、社会における課題と、その解決に必要な科学技術の現状と可能性等を多面的な視点から把握・分析する必要があり、その上で、客観的根拠(エビデンス)に基づき、合理的なプロセスにより政策を形成することが求められているという問題意識が述べられている。つまり、エビデンスの構築と政策プロセスの改革がセットであるというわけである。

その際重要なのは、エビデンスは単なる従来の分野の成果の寄せ集めではなく、統合的であり課題解決に対して有用なものである必要があるため、「科学技術イノベーション政策のための科学」という新たな学際的学問分野の発展により、各分野の研究者が連携する「開かれた場」を構築する必要があるとしている点である。また、単に学際的であるだけでなく、成果は実際に使われる必要がある。そのために、社会の現場における暗黙知との対話も必要である。政府と研究コミュニティが、双方の信頼関係の下、それぞれの役割や責任に応じて協働することが求められている。

そして、このプログラムに基づく客観的根拠に基づく政策形成の基盤として、個別的研究支援に加えて、人材育成とデータ・情報基盤の確立も要素として加えられている。従来の狭い意味での科学技術政策だけではなく、社会のイノベーションの現場、すなわち、医療、エネルギー、都市マネジメントといった各論の現場にも視野を広げた政策立案に携わる人材、「科学技術イノベーション政策のための科学」の科学的基盤を開拓し研究を担う人材や政策と研究をつなぐ人材の育成がうたわれている。

以上の2つの要素、すなわち、政策形成プロセスの改革とエビデンスの構築・人材育成は別物ではなく、一体として考える必要がある。科学技術の最新の知見を活かしてイノベーションを推進する政策形成プロセスを動かしていくためには、制度論だけでは十分ではなく、そのような政策形成プロセスの担い手となる人材育成とセットになる必要がある。そして、そのような担い手には、様々な分野や現場を俯瞰した上で「繋ぐ力」が求められている。このような能力育成を、従来の専門分野別に分化

した教育体制の中でどのように埋め込んでいくのが、課題となっている。

以上のような、科学技術と社会との関係は、立地という課題もあり、原子力という分野においては従来から意識せざるを得ない問題であったといえる。また、技術導入とセットで、安全規制や立地地域支援の社会制度も整備されてきた。しかし、従来の原子力に関する社会的影響のアセスメントは、経済性やエネルギー安全保障といった狭い範囲にスコープを限定してきたように思われる。しかし、今後は、社会的影響のスコープを経済性や一般的なエネルギー安全保障といった従来の範囲から広げ、地域のエネルギー安全保障や地域の安全性確保の課題(日本以外の東アジアにおける原子力発電技術の安全な運用をどのように確保するのかといった課題)や様々な間接的合意に視野を拡大する必要がある。東京電力福島第1原子力発電所事故を契機として、グローバルなレベルで、原子力発電技術というテクノロジーの再評価(リアセスメント)が進行している。また、各国のコンテキストの違いにより、このような再評価の在り方も大きく異なる。このような状況の中では、原子力という特定の技術選択に視野を限定するのではなく、より幅広い技術をより幅広い社会的含意の観点から位置付ける作業が社会として求められているといえる。一見迂遠な道筋に見えるかもしれないが、このような科学技術と社会の関係を幅広い視野から俯瞰する人材の育成とエビデンスの構築が、今後の原子力技術戦略を考える上でも、不可欠である。また、このような人材とエビデンスの構築を基礎として、透明性のあるエネルギー技術ポートフォリオ戦略の討議が必要とされているといえるであろう。

(2012年3月21日 記)

— 参考資料 —

- 1) 科学技術イノベーション政策推進のための有識者研究会 報告書
<http://www8.cao.go.jp/cstp/stsonota/kenkyukai/houkokusho.pdf>
- 2) 城山英明, “多次元的アセスメントの必要性”, 科学, 80 [6], (2010).
- 3) 科学技術イノベーション政策における「政策のための科学」推進事業
<http://crds.jst.go.jp/seisaku/>



原子力発電と消費者



阿南 久(あなん・ひさ)

全国消費者団体連絡会 事務局長
生活協同組合コープとうきょう理事, 日本生活協同組合連合会理事などとして, 消費者の権利確立と利益の擁護のための活動を長年にわたり推進。2008年5月より現職。消費者庁参与, 厚生労働省薬事食品衛生審議会, 原子力委員会「新大綱策定会議」, 総合エネ庁基本問題委員会などの委員を兼務。

日本という国が原子力発電をどう位置づけるのかは, 将来の国のあり方の根本にかかわる重要課題である。それはすなわち, 私たち生活者一人ひとりの生活基盤を左右する問題であり, その決定は私たち自身に委ねられなければならない。

しかし, この重大な“選択”にあたり, 果たして政府は消費者に対して, 十分な情報と論点を提示できているだろうか?

私は, 震災前から新しい「原子力政策大綱」の策定会議に参加し, また震災後は, 総合エネ庁に設けられた「エネルギー基本計画」を「白紙から」見直すことを目的とした「基本問題委員会」に参加している。どちらにおいても感じるのは, こうした国家の重要政策を議論する場でありながら, 特に震災前においては, 原発を所与の存在として議論と呼べる議論をしてこなかったのではないかということ。そして, 消費者の安全を守る視点や, 理解を得るための説明責任の視点, 消費者の意見を聞く視点が, ほとんどなかったのではないかということである。

こうした「議論」と「視点」の欠如が今回の原子力災害を甚大にしている最大の要因であることを考えると, 推進してきた政府と地方自治体, 関係事業者, 研究者に大きな怒りと不信感を抱くと同時に, 私自身の一消費者としての責任, 消費者団体としての責任を感じる。

3.11の気づき

大地震と巨大津波, そして東京電力福島第一原子力発電所の爆発は, 取り返しのつかない多くの犠牲を生み, 被害者を奈落の底に突き落とし, 国民を恐怖の極に追い込んだ。

原発事故の原因についてはいくつかの調査機関によって解明作業が進められているが, いずれにおいても安全や危機管理対策の不備が指摘されている。これに対し推進する事業者や研究者は, 安全対策は大前提で講じていたが, 今回の事故は「めったに起こらない」, 「想定外」のものだったとし, より一層安全対策を強化すれば, 今後も十分維持可能であると言っている。

この説明は, 消費者には何の説得力も持たないものである。何故ならば消費者自身が, これまで原子力発電の具体的なリスクとリスク管理について, 政府からも事業者からも, ほとんど説明されてこなかったということに, あるいは政府も事業者も, 「安全です」, 「重大事故は起こりません」と繰り返し, 問題点を指摘する国民の声を無視し続けてきたことに, 気づいたからである。こうした態度を改めないまま, 同じ弁解を繰り返したのでは, 不信に不信を重ねることにしかならない。

いま多くの消費者が心を痛めているのは, 原子力発電で作る電気は, 安全で, クリーンで, 安価というキャンペーンのもとに, 電気を使う生活こそ“文化的で豊かな生活”と思込まされてきたのではないかということである。そしてその思い込みが事故を招き, 福島の人々の, 安心して幸せに生きる権利を奪ってしまったのではないか, という罪の意識である。

こうした気づきと自らの消費生活への振り返りは, 消費者団体が行うさまざまな会合や学習会などで共通して出されるものである。

日本生活協同組合連合会が2011年7月21日から26日にかけて, 全国の地域生協に加盟する組合員3,676人(回答数:2,351人)を対象に行った「エネルギーと節電に関するアンケート調査」によれば, 今回の原発事故によって原子力発電に対するイメージは大きく変化し, 「地域の雇用を生んでいる」, 「電力が安定して供給される」, 「他のエネルギーよりも低コスト」, 「二酸化炭素の排出が少ないので環境にやさしい」, 「科学技術の革新が促進される」などは大きく減り, 「放射性廃棄物処理の問題が生じる」, 「放射性物質による汚染の恐れがある」, 「安全対策が十分でない」がいずれも77%を超え上位を占める結果となっている。

また, 今後の日本における原子力発電のあり方については, 「増設はせずに長期的には全廃する」の51.2%と, 「現在稼働している発電所は可能な限りすぐに停止させ, 早期に全廃する」の15.2%を合わせると66.4%の方が原子力発電の廃止を求めていることが分かった。参考

比較した内閣府の調査では、年々原子力発電推進派が(2005年55.1%⇒2009年59.6%)と増加の傾向であったが、震災後の本調査では、「推進」と「廃止」がまったく逆転した結果となった。

理念なき原子力発電産業

私は、上記のような消費者の認識を聞いた人のなかに、「廃止意見は一時的な感情に過ぎない」という人も相当数いることを実感している。

しかし同時に私は、たとえ一時的な感情であっても、この判断の背景には政府と事業者、そして関係する科学者、技術者に対して生まれた根深い不信感と絶望感があること、そしてそれらが回復することのない心の傷としてこれからも存在し続けるだろうことも確信している。

事故によって、消費者の日々の生活は大きく変わった。事故がまき散らした大量の放射性物質が日常生活と健康に及ぼす影響は今後も長期間にわたって続き、また原子力発電所の処分や廃棄物の処理は将来世代に先送りせざるを得ない状況になっている。そして何よりも、すぐ隣に、故郷に帰ることができず、つらい避難生活を強いられている人々が何万人もいるという現実もある。

戦後、日本は、復興をめざし国民の力を総動員してきた。それは、みんなで力を出しあい、富を分かちあって、みんなで幸せになろうという共通の目的を持ったからできたことである。日本の高い技術力もそうした切磋琢磨のなかで生まれ、育まれてきた。

ところが今日では、そうした国家の高い理念が忘れられ、国民の幸福ではなく、個人のエゴイズムのために市場が独占されている。その象徴が原子力発電産業だったのではないか。そこには安全優先の発想も、情報開示の発想も、廃棄物処理の発想も何もない。そのようなことを真剣に考えたら、建てることも操業することもできなかったということだろう。そして強引に推進するために、産官学がタッグを組んで、警鐘を鳴らす科学者や技術者を排除し、「日本経済の発展」という錦の御旗のもと、ひたすら突っ走ってきた…、なんとという恐ろしい構造だったことか。これでは民主主義国家ということもできない。

連帯の構築

どんな技術にも事故を発生させるリスクがあることは当然のことである。だから消費者は科学的なリスク評価とリスク管理に関する情報を学び、その知識を商品選択に生かす努力を行っている。ところが、今回明らかになった原子力発電所事故は、原子力発電という技術が専門家でも制御できないリスクを抱えていることを明らかにした。そして、いったん事故が起これば取り返しのつかない甚大な被害をもたらすことも実証した。

テロによる懸念も現実のものとしてある。次の事故が起こる前に、原子力発電の運転は一刻も早く停止し、次のステップに入らなければならない。

いま政府と私たちがやるべきことは、一つに、放射性物質に汚染された地域に対する対策を徹底的に強化して進めると同時に、避難者への支援体制を整備・充実させること。二つには、できる限り早い時期に原子力発電の停止を約束すること。三つに、除染や廃炉、廃棄物処理のための技術開発と体制を早急に整備にすることである。そしてこれらの施策を実施するために、再生可能エネルギーの急速拡大をはかり、当面の間、天然ガスなどを利用した発電を確保する必要がある。

このようにしてこそ、政府は初めて国民の信頼と連帯のための条件をつくることができる。共感した多くの消費者が、省エネに積極的に取り組み、自ら再生可能エネルギーの利活用に参加していくに違いない。

また、新しい産業創生の芽はここにあるのではないだろうか。再生可能エネルギーの活用は、その性格からして地域の産業こそが担うべきものであり、地域経済活性化への貢献が期待される。

いまこそ、事故を教訓にして、全国民の連帯の力で、将来世代に手渡すことのできる新しい日本を創っていく意思を固めるときである。世界中が注目し、このメッセージを待っていることと思う。

(2012年3月18日 記)



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

民間事故調、「大きな安全」の追求軽視を指摘

財団法人「日本再建イニシアティブ」(理事長=船橋洋一・朝日新聞社元主筆)が立ち上げた「福島原発事故独立検証委員会」(委員長=北澤宏一・前科学技術振興機構理事)は2月28日に調査・検証報告書を発表し、同日、野田佳彦首相に手渡した。報告書では、原子力発電所の建設の歴史の中で「産官学と原発立地自治体の原発推進派」による「ヨコとタテの原子カムラ」が形成され、「電力会社も規制官庁も、『住民に不安と誤解』を与えかねないむき出しの安全策や予防措置を嫌った」ため、「人々の『小さな安心』を追い求めるあまりに、国民と国家の『大きな安全』をおろそかにする原発政治と原発行政が浸透した」と厳しく根源的問題を指摘。その結果、「絶対安全神話」を生み、より安全性を高める安全規制も安全措置も採用することのできない“自縄自縛”に陥ってしまったと分析している。

同委員会は、政府事故調や国会事故調とは別に、昨年10月から民間としての独自の立場から同事故の検証を行うことを目的に設置。それに約30人の若手研究者やジャーナリストのワーキンググループ委員が300人以上の関係者にヒアリングし、分担して報告書の草案を取り

まとめたもの。

事故当時の菅直人首相、枝野幸男官房長官、海江田万里経産相、細野豪志首相補佐官などからも話を聞いた。東京電力にも協力依頼を行ったが公式には実現しなかったものの、ホームページなどで調査協力を呼びかけた結果、東電社員や関連会社員などからも非公式に、あるいはOBなどからも多くの協力が得られたとしている。

報告書では、「福島第一原発事故は日本の戦後の歴史の中で『国の形』のあり方をもっと深いところで問うたとも言える」との考えを示し、「危機の核心は、政府が危機のさなかにおいて国民の政府に対する信頼を喪失させたことだった」と強調している。

一方、報告書では「今回、最後の砦は自衛隊だった」と述べ、放射線量の高まる原発敷地での原子炉と使用済み燃料プールへの注水作業を先導したことを高く評価している。また07年の新潟県中越沖地震の教訓から、サイト内に免震重要棟の新設を行っていたことについて、「免震重要棟がなかった場合、敷地内の原災対応はほとんど不可能に近かっただろう」と分析している。

安全委、安全審査指針の瑕疵を認める

国会の東京電力福島原子力発電所事故調査委員会(委員長=黒川清・元日本学術会議会長)が2月15日、第4回会合を衆議院分館で開いた。参考人として、班目春樹・原子力安全委員長と寺坂信昭・前原子力安全・保安院長(=事故時の同院長)から、当時の事故対応や原子力安全行政についての考えを聞いた。

班目安全委員長は、現在の全交流電源喪失などに対する原子力安全審査指針の瑕疵を認めた上で、「事業者の責任をもっと求めるべきと考える。電力会社は安全基準をはるかに超える安全性を追求しなければならない」と述べた。また、「あれだけの大津波を考えることはできたかという点、難しい」としながらも、「何も手立てがなくなっただけではならなかった。何重にも対策がなされるべきだ」と指摘した。

事故当時について同委員長は、「携帯電話がつかないなど、決められたことが実施できなかった」と振り返り、「今になって思えばもう少し助言すべきと思うが、当時の状況では非常に難しかった。現状がどうなってい

るか(事故)情報がなければ判断できない」とし、1週間以上ほとんど寝ておらず、「記憶が飛んで残っていない」とも述べた。

首相官邸に原子力災害対策本部ができてからは、官邸地下の危機管理センターに行き、交流電源だけでなく直流電源もなくなっていることを知り、「何でもいから、水をかけるしか手がないと思った」と述懐した。福島第一1号機の爆発シーンをテレビで見た時は、「水素のことは考えなければならなかったと瞬間的に思ったが、一方で格納容器ではなかったので、安心したのも事実だ」とした。

3月11日の夜9時過ぎには、「炉心は溶けていないと思っていた」が、次第に格納容器の圧力が1.5倍などと情報が入ってきてからは、炉心溶融のことが頭に浮かんだという。

同委員長は「最後は人だどつくづく思い知らされた」と述べ、4月からの新組織についても、「組織の形態がどうかというより、最後は人が重要だ」と強調した。

厚生労働省・審議会が食品中セシウムで新基準値

厚生労働省の薬事・食品衛生審議会は2月24日の分科会で、現行の暫定基準値から、より厳格化した新たな食品中のセシウム基準値について決定した。一部の食品を除き、4月1日より施行される。

新基準値では、飲料水の1キログラム当たりのセシウム量は10ベクレル(現行の暫定規制値=200ベクレル)、魚や野菜などの一般食品が同100ベクレル(同暫定規制値=500ベクレル)、粉ミルクや市販ベビーフードなど、新たに加わったカテゴリーの「乳児用食品」と牛乳は同50ベクレル——をそれぞれ超えないことを求めている。これにより、新基準値は4分の1から20分の1にまで厳しくなったことになる。

茶については、原材料の茶葉から浸出した状態で飲料

水の基準値を、乾シイタケなどは、原材料と水戻しした状態の両方で一般食品の基準値を適用する。

なお、一部食品については市場や消費者の混乱を避けるため経過措置を設けている。例えばコメは12年産の収穫・流通が始まる10月1日から、冷凍保存されている牛肉も10月1日から新基準値を適用する。加工食品は4月1日以降に製造、加工、輸入されたものに対して新基準値とする。

新基準値了承の答申を出した2月16日の文部科学省の放射線審議会(会長=丹羽太貫・京都大学名誉教授)では、乳児用食品などについて厳しすぎるという意見も出していた。

中長期ロードマップ、「冷温停止状態を維持」

福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置実施の中核となる「政府・東京電力中長期対策会議」は2月27日の「運営会議」で、中長期ロードマップの進捗状況を取りまとめた。

中長期ロードマップは、福島第一1～4号機の安定状態達成以降、続く廃止措置に向けて時期的目標、作業工程を進める判断ポイント、実施体制などを取りまとめたもの。政府が責任を持って遂行する考えから、経済産業相と原発事故担当相を共同議長とする「政府・東京電力中長期対策会議」のもと、「運営会議」で進捗管理が行われる。

今回、取りまとめられた進捗状況では、2号機原子炉圧力底部温度で一時、計測値に上昇がみられたものの、温度計の故障が原因と判明。1～3号機の原子炉圧力底部温度は2月26日現在、いずれも安定しているほか、格納容器内圧力や格納容器からの放射性物質の放出量等のパラメータについても有意な変動はなく、「総合的に冷

温停止状態を維持」としている。

今後の取組としては2号機で、前回1月の実施に続く2回目の原子炉格納容器内部調査を計画しており、滞留水の水位・水温を確認し、原子炉設備の安定冷却が維持されていることを再確認する。新たにPCV内雰囲気量を測定し、1、3号機の内部調査も計画していく。

また、今後の燃料取り出しの検討に向け、同機では遠隔操作ロボット「クインス」を使用した状況調査も進みつつある。

このほか処理水に含まれる放射性物質濃度をより低く管理するための「多核種除去設備」の導入、処理水受けタンクの約4万トン分増設、汚染水拡大防止対策として、5、6号機側へのシルトフェンス追加設置が計画されている。作業安全確保に向けた取組では、ドクターヘリによる傷病者の搬送、東京電力本社の健康相談窓口開設などがある。

保安院、福島事故意見聴取会の検討結果を取りまとめ

原子力安全・保安院は2月16日、福島第一発電所事故を踏まえ、分野ごとに実施してきた専門家による意見聴取会の検討結果を取りまとめ、同日の原子力安全委員会で説明した。事故の技術的知見、地震・津波、建築物・構造、高経年化技術評価からなり、昨年9～11月から検討を始めていたもの。

事故の技術的知見については、現時点までに判明している事実関係を分析し、技術的課題を整理することを目的に検討。外部電源、所内電気設備、冷却・注水設備、閉込機能、管理・計装設備の5分野について、30項目の

対策を「中間取りまとめ」として提示した。

地震・津波の評価では、海溝型地震、内陸地殻内地震、津波の重畳効果に関する新たな知見を掘り起こし、これらを通じ、原子力施設の耐震安全性に係る信頼性の向上を図るよう求めている。

建築物・構造に関する検討では、福島第一・第二発電所の原子炉建屋等への影響・評価を行った。

高経年化技術評価では、炉心損傷に至った1～3号機の運転開始からの年数が最長40年であることから、同3基について保守的に60年までの経年劣化の影響を考慮。

安全上重要な設備が、地震により機能を失う影響があったかを評価した結果、「事故の発生・拡大の要因となったとは考え難い」などと結論付けている。

班目春樹・安全委員長は、会議終了後の記者会見で、

保安院が取りまとめた技術的知見に関する30項目について、「全体としての体系」の中で整理し直す必要を述べるなど、実効性あるものとしては、まだ検討不十分な段階にあることを示唆した。

保安院、断層の連動可能性調査結果をまとめる

原子力安全・保安院は2月29日、東北地方太平洋沖地震を踏まえた原子力施設の耐震安全性評価に反映すべき地震動に関する事項について、各事業者からの検討結果を取りまとめ公表した。主に、施設の敷地近傍に存在する活断層の連動に関するもの。

保安院は1月末に耐震安全性確保を図る観点から、原子力事業者に対し、これまで連動性を否定してきた離隔距離が約5kmを超える活断層の連動の可能性について検討するよう指示した。

検討結果報告では、東海村にある日本原子力発電の東

海第二発電所と日本原子力研究開発機構の東海再処理施設について、サイトから30km圏内の断層群に、連動の可能性が否定できないと評価されたものがあり、両事業者では、引き続き調査・検討を行うこととしている。この他の施設については、活断層の連動性で、耐震安全性評価に変更はないとの検討結果が示されている。

保安院では、これら評価結果について、専門家による意見聴取を進めており、地震を発生させうる主断層と構造的に関係する副断層としての可能性も含め、厳格に確認することとしている。

保安院、ストレステストで大飯3,4号機は「妥当」

原子力安全・保安院は2月13日、関西電力の大飯発電所3,4号機(PWR、各118万kW)の安全性に関する総合的評価、いわゆるストレステストの1次評価に対する審査結果を取りまとめ、同日の原子力安全委員会臨時会議で報告した。同院から安全委に対し審査結果が上がるのは、これが初めて。

大飯発電所の2基については福島第一発電所が被ったような地震・津波が来襲しても、事故には至らぬよう対策が講じられているとともに、事業者による安全性向上への改善努力に一定の評価を示す一方、要員召集体制など、対策強化の必要も指摘している。

安全委員会は昨年7月6日、同委設置法に基づき、福島事故を踏まえた既設原子力発電所の安全性に関する総

合的評価の実施・報告を経産相宛に指示し、ストレステストの実質的開始となった。これを受けて、10月28日に、事業者による報告第1件目として、関西電力の大飯3号機、11月17日には第3件目として同4号機の各1次評価結果が保安院に提出された。

審査は大飯3,4号機とも、立地環境や原子炉型式が同じであるため、ほぼ並行で行われ、両機セットでの報告書取りまとめとなっている。評価結果では、当初の設計想定より津波で9.5m高、地震で1.8倍の来襲があったとしても、炉心燃料を損傷させない対策が取られており、道路損壊やがれき、夜間の召集などの過酷な条件にも耐えることを確認。外部からの支援がない場合にも、所内の備蓄資材だけで7日間維持可能などと評価している。

安全委、耐性検査の評価で確認方針

原子力安全委員会は2月20日、関西電力・大飯原子力発電所3,4号機の安全性に関する総合的評価、いわゆるストレステスト(耐性検査)の1次評価について、安全委として初めて再チェックするに当たり、「発電用原子炉施設の安全性に関する総合的評価に関する原子力安全委員会の行う確認に係る方針」を決めた。

東京電力・福島第一原子力発電所の事故を踏まえた緊急安全対策がどこまで安全性を高めているかを評価するための確認方針で、21日から検討会で審議を開始に先立って取りまとめたもの。同方針では、設計上の想定を超える地震・津波などの外部事象に対する発電用原子炉施設の頑健性の把握を「確認の主旨」としている。

確認の視点としては、(1)各防護対策と多重防護の考え方との関係、(2)シビアアクシデントに至るシナリオの設定および各防護対策の有効性と限界の把握についての考え方、(3)内的事象および地震・津波に関する確率論的安全評価(PSA)等の知見や決定論的手法等の解析手法の活用の考え方、(4)運転状態の想定についての考え方——を挙げている。このほか最新知見の反映、発電用原子炉施設の特徴を踏まえた確認、安全性向上等に対する今後の継続的な取組などについても確認するとしている。

委員会後、記者会見した班目春樹・原子力安全委員長は、同方針に、あえて「なお」書きで、「原子力安全委員会の行う確認は、原子力発電所の運転再開の可否の判断

を行うものではない」と記述を盛り込んだ点について、「そもそもこの総合的安全評価というもの、プラントの稼働の可否の判断とは無関係なものだというのが、原子力安全委員会の理解だ」と述べ、あくまでプラントの

再稼働の可否については原子力安全・保安院の責務であり、さらに地元意見、関係大臣の政治判断となることを強調した。

女川発電所の高台に電源ユニット、運用を開始

東北電力の女川原子力発電所は2月2日、大規模な津波が襲来した際にも、原子炉の冷却機能を確保する大容量電源装置(定格出力4,000kW×3台)の運用を開始した。

福島事故を踏まえた緊急安全対策の中長期的取組の一環として、11年9月より整備を進めていたもので、津波の影響を受けぬよう海拔高度52mの高台に設置されている。

同社では、女川発電所の緊急安全対策として、津波により、全交流電源、海水冷却機能、使用済み燃料プール冷却機能の3つを喪失した場合にも、炉心損傷および使

用済み燃料の損傷を防止し、放射性物質の放出を抑制しつつ、原子炉の冷却機能の回復を図るため、高圧電源車配備などの短期的対策と合わせて、安全性向上のための中長期的な取組を進めてきた。

今回、運用を開始した大容量電源装置は、大地震・津波で全交流電源喪失が生じた場合、原子炉の冷温停止に必要な除熱機能を有する設備などへ電源を供給する。このほか女川発電所では、15m級の津波を想定した防潮堤の建設なども進められている。

来年度原子力予算、福島事故関連で約5千億円

原子力委員会は12年度原子力関係経費政府予算案を、合計8,838億円と発表した。通常の原子力関係経費政府予算は3,893億9,400万円(対前年度比較約10%減)で、福島原子力発電所事故に伴う事業予算は4,944億7,500万円となっている。

通常予算では一般会計が1,065億1,700万円、エネルギー対策特別会計電源開発促進勘定が2,828億7,700万円

となる。

事故に伴う予算では、汚染土壌等の除染や廃棄物処理の実施事業などとして環境省本省が約4,513億円、復興に向けた研究開発・人材育成や環境モニタリングの強化などとして文部科学省が約264億円をそれぞれ計上している。

自民党エネ特命委が中間報告

自由民主党政務調査会の総合エネルギー政策特命委員会(委員長＝山本一太・参議院議員)は2月15日、中間報告を発表した。

同党は原子力政策を推進してきたが、安全神話に依拠しすぎてしまった結果、福島原子力発電所事故を招いてしまったとして深く反省し、事故の原因解明と教訓を活かすことが全世界に対するわが国の責務であると強調した。

エネルギー政策の見直しの重要ポイントとしては、(1)省エネルギー推進や新エネルギー活用など原子力以外のあらゆる可能性を検討し追求する、(2)エネルギー情勢の先行き不透明な中でいかなる事態・状況に対しても柔軟

かつ機動的に対応できるような多重のエネルギー対策を行う、(3)原子力発電は、安全性確保と地元の理解を前提として短期的な必要最小限の電力量をまかなうべく活用する一方、向こう10年を「原子力の未来を決める10年」として原子力利用について議論し中長期的な観点から結論を出す——ことを挙げた。

原子力政策については、中長期的に原発の新規立地を積極的に進めることは困難であり、動向を見極めつつ原子力の利活用や研究をどのように続けるべきかについて検討が必要だとした。

(以上の資料提供は日本原子力産業協会)

海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

[米国] NRCが福島直後の議事録公開、 「早い段階で炉心損傷察知」

福島第一原発事故直後に米原子力規制委員会(NRC)内部で交わされたすべての連絡内容の議事録が2月21日に公開された。日本から正確な情報が得られないなかで在日米国民を確実に待避させるとともに、一刻も早く事故影響を緩和する方策についてG.ヤツコ委員長を中心とするNRCスタッフが連日白熱した議論を展開。早い段階で炉心損傷の可能性に言及し、直ちに効果的な冷却手段を取るべく検討を開始していた点が印象的だ。

同文書はウォール・ストリート・ジャーナル(WSJ)紙、国際環境保護団体の「地球の友」(FOE)が情報公開法に基づき昨年末に開示を求めたことによるもの。3月11日から10日間の電話会議からメール連絡までの全記録を収めた資料で合計3,000頁以上に及ぶ。

NRC幹部は事故直後、専門家2名を東京に派遣する一方、メディア報道以外で信頼できる情報を得る術がないことにいらだちながらも、日本の保安院と直接コンタクトする方法を模索。東京電力や世界原子力発電事業者協会などを通じた情報に基づき、12日の段階で1号機・格納容器のベントによりサイトでセシウムとヨウ素が検出されたことから、冷却水の水位が放射化した燃料棒上端より下になった可能性、および炉心損傷という最悪のシナリオを察知。発電所の半径50マイルに避難勧告を出すべきだと協議していた。

また、15日時点では4号機の水素ガス爆発に伴う火災の収束方法を検討しており、日本側には劣化した使用済み燃料プールの冷却機能維持は難しいと断言。スタッフの1人は燃料プールへの注水支援に米軍を動員する可能性を提案している。

16日には4号機の火災によりプール壁が破壊され、冷却水が完全に失われたと判断。ヘリコプターで水と砂を投入すべきだと案が出された。

さらに、日本での避難勧告が12マイル(約20キロメートル)であったことから、50マイル勧告の妥当性についても議論。ヤツコ委員長は3つの原子炉でメルトダウンの可能性があるほか、劣化した使用済み燃料プール6つで火災発生の可能性があるため、破壊された格納容器からの放射性物質放出を抑えるのは難しいとの考えを示していた。

エネ省の2013年度予算要求、 小型モジュール炉を支援

米国のB.オバマ大統領は2月13日、今年10月から始まる2013会計年度の予算編成方針を示した予算教書を議会に提出。米エネルギー省(DOE)のS.チュー長官はDOE予算要求額である272億ドルの詳細について説明した。廃棄物処分関係費も含め原子力関係予算全体がマイナス成長となったものの、小型モジュール式原子炉(SMR)の許認可技術支援費についてはほぼ前年度並みの6,500万ドルを計上、商業化に向けて政府が積極的に後押ししていく方針を明らかにした。

オバマ政権のエネルギー予算では、(1)技術革新、(2)クリーンエネルギー、(3)国家保障——に対する投資が重要視されており、「米国人が開発したクリーンエネルギー技術で米国人がエネルギーを作り、世界に向けて輸出する」というのが基本コンセプト。ただし、史上2番目の規模と言われる国家財政赤字を背景に、原子力関係予算は対前年度比10.3%減の7億7,044.5万ドルに留まった。このうち1,000万ドルは、原子力産業界が電気料金に上乗せして積み立てた「放射性廃棄物基金」の中から廃棄物処分対策用に手当てするとしている。

原子力関係予算中、最も金額が大きいのは「燃料サイクル研究開発費」の1億7,543.8万ドル。使用済み燃料の安全な貯蔵に関する複数年度の評価作業は初期活動が終わったため12年度予算より1,080万ドルの減額となったが、全体の22.7%を占める。国内の原子力発電所から出る使用済み燃料および高レベル放射性廃棄物(HLW)の管理処分方法について審議していた有識者(ブルーリボン)委員会(BRC)は1月に最終報告書をDOEに提出。その勧告に合わせた内容で、すべての放射性廃棄物を貯蔵、輸送、処分するための研究開発継続に6,000万ドルを計上した。廃棄物の最良の管理処分方法について地元の同意ベースで決定されるよう、技術オプションを探っていく。廃棄物基金からの1,000万ドルは、BRCが勧告した管理シナリオの評価に使われる予定だ。

34年ぶり新設認可、ボーグル3,4号が本格着工

米原子力規制委員会(NRC)は2月9日、新たな原子力発電許認可制度になってから初となる建設・運転一括認可をサザン社が南東部ジョージア州で進めているボーグル原子力発電所3,4号機建設計画に発給する判断を下した。新規建設計画としては1978年に最後のシアロン

ハリス1号機が着工して以来、34年ぶりの建設認可。10営業日後の正式発給を待って、サザン社では米国で初めてのウェスチングハウス(WH)社製 AP1000・2基を2016年と17年に運開させるため、140億ドルに及ぶ本格的な建設作業を開始する。世界最大の原子力発電国の米国が新たな選択肢として原子力発電を再び選択し、実際に建設に着手したことの意義は極めて大きい。

AP1000は現在、東芝の子会社になっている米国 WH 社が開発した最新鋭の PWR で、外部動力を使用しない静的安全設計を採用。NRC 内の専門調査チームが福島第一原子力発電所事故を受けた原子炉の安全性強化策の検討を行った上でも、昨年末に付帯条件なしに設計承認されている。中国では現在、先行して4基の AP1000が建設中だ。

米国内では電力事業者から28基の建設・運転一括認可申請がなされている中で、14基が AP1000で、WH 社は6基分の設計・調達・建設を含む建設プロジェクト一括契約(EPC 契約)を締結済みだ。

[フランス]

安全当局が ATMEA 1の安全性保証

仏原子力安全規制当局(ASN)は2月7日、仏アレバ社と三菱重工の合併会社であるアトメア社が開発した第3世代プラスの原子炉「ATMEA 1」について、安全設計は妥当であるとの見解を表明した。

同設計はヨルダンが初めて導入する原子炉の候補設計の一つで、アトメア社はすでに昨年中に技術提案書と財務提案書を同国原子力委に提出済み。同社は ATMEA 1 がフランスの安全規制と技術的要件を満たしていることが確認されるとともに、地震や洪水、大型航空機の衝突等からも重要機器が保護されることが明確になったと歓迎。ヨルダンのみならず世界各地での建設に向けて重要な一歩になったと強調した。

アトメア社は2009年に ATMEA 1 の基本設計が完了したのを受け、翌10年に ASN に安全設計審査を要請。建設申請等を承認する性質のものではないが、ASN はフランス国内での基本的な設置申請と同一の条件で審査を実施した。2つの諮問委員会——原子炉委員会(GPR)と原子力圧力機器委員会(GPESPN)——から意見を聴取するとともに、国内の技術支援機関である放射線防護原子力安全研究所(IRSN)と緊密に協力し、18か月に及んだ審査作業を昨年11月に完了していた。

長期エネ政策で既存炉の運転延長を勧告

フランスの経済・財政・産業省は2月9日、同国の2050年までの長期的なエネルギー政策に関する報告書を公表し、40年とされている国内原子炉の運転期間延長は経済的にも環境影響的にも最も望ましいシナリオであるとの結論を明らかにした。

この報告書は経済省のE.ベッソン大臣付エネルギー担当相が昨年10月、8名の専門家で構成される諮問委員会に要請して取りまとめられたもの。80以上の関係機関から意見を聴取しつつ、すべてのエネルギー源を網羅した2050年までの電力供給シナリオを分析した。特に、(1)既存原子炉の運転期間を40年以上に延長、(2)既存炉から第3、第4世代炉への移行を加速、(3)原子力発電シェアを段階的に縮小、(4)完全に脱原子力し、再生可能エネルギー等でリプレース——の4オプションを検討しており、来年には最終版を議会に提出予定となっている。

[スペイン]

安全委、ガローニャ原発の運転継続を保証

スペインの原子力安全委員会(CSN)は2月17日、来年7月に運転認可が切れるサンタマリア・デ・ガローニャ原子力発電所(BWR, 46.6万kW)について、それ以降も安全に運転が可能との意見書を産業観光エネルギー省に提出した。

同発電所の運転認可は2009年6月、CSN が2019年まで10年間の延長を認めていたが、同国政府は翌7月、13年までの4年間だけ延長することを承認。同国で初めて、40年以上の稼働が許された原子炉となった。

その後、13年の認可切れまで約1年に迫ったことから、政府は同発電所をそれ以降運転させる際に必要となる技術改善点も含め、改めて同発電所の状態審査をCSNに依頼した。CSNは09年時の更新審査の時と同様、同発電所は様々な安全上および放射線防護上の条件をクリアすることとしたほか、その後に所内で行われたモニタリング、保守点検、管理活動も09年時の条件を満たしている必要があると指摘。その上で、「同発電所の13年以降の運転を阻む要因は見当たらない」と結論付けている。

モデル手法による原子力発電の経済性 「コスト等検証委員会」2011年試算より

(財)日本エネルギー経済研究所 村上 朋子

2011年12月、政府は電源別発電コスト試算結果の報告書を公表した。原子力発電のコストは8.9円/kWh以上であり、石炭火力9.5~9.7円/kWh、LNG火力10.7~11.1円/kWhと比較しても遜色ない。再生可能エネルギーについてはおおむね、まだ原子力・火力より割高なものの、今後のコスト低減見通しもあるとされている。エネルギー間の経済性比較の際には、試算に含まれる不確実性を考慮した冷静で合理的な分析姿勢が望まれる。

I. コスト等検証委員会試算

2011年12月19日、国家戦略室の諮問委員会「コスト等検証委員会」より、火力・原子力等の電源別発電コストの試算結果が公表された。この報告書では結果のみならず、計算方法や前提条件まで「発電コスト試算シート(Excel)」として公開している。本章ではその報告書に沿って、概要や特徴をレビューする。

1. 概要

「コスト等検証委員会」報告書に記載されている発電コストを第1図に示す。この報告では、政府による前回試算「コスト等検討小委員会」結果も「2004年試算」として併せて表示している。

原子力発電については、事故損害費用等について不確実性が残ることから、コストを「下限値」として提示し、8.9円/kWh以上となっており、2004年試算の5.9円から3円ほど上昇している。内訳は、資本費2.5円/kWh、運転維持費3.1円/kWh、核燃料サイクル費1.4円/kWh、追加的安全対策0.2円/kWh、政策経費1.1円/kWh、事故リスクへの対応0.5円/kWh以上、となっている。

化石燃料電源コストについても、化石燃料価格の上昇に伴い上昇しており、石炭火力は9.5~9.7円/kWh(2030年にCO₂対策費用が上昇した場合には10.3~10.6円/kWh)、天然ガス火力は10.7~11.1円/kWh(同10.9~11.4円/kWh)となっている。原子力と火力、及び後述する再生可能エネルギーの比較においては、「原子力発電の収益性は他の電源との比較において遜色はない」とする2004年試算の結果と同傾向の結果といえよう。

再生可能エネルギー、特に太陽光において将来、コス

トの大幅な低減の可能性を見込んでいることは、前回試算時にはなく、新たに踏み込んだ今回試算の特徴である。この将来のコスト低減見通しについては後述するとおり多くの議論が行われたが、「世界市場の拡大を受けた量産効果や技術革新による価格低下の効果なども加味」した結果である。具体的には2010年の住宅用太陽光発電コストが33.4~38.3円/kWh(稼働年数20年)であるのに対して、2030年には9.9~20.0円/kWh(稼働年数35年)となっている。風力は2010年時点で陸上9.9~17.3円/kWh、洋上9.4~23.1円/kWhに対し、2030年に陸上8.8~17.3円/kWh、洋上8.6~23.1円/kWhが見込めるとなっている。原子力のコスト低減の可能性には一切言及せず、風力・太陽光を「開発途上技術」として扱い、将来のコスト低減可能性を見込んでそれをコスト上に反映させたことは、従来の日本のコスト試算にはなかった注目すべき特徴であり、今後いろいろ議論を呼びそうなポイントでもある。

2. 試算の前提条件とその不確実性

コスト等検討委員会の報告書に計算方法・前提条件の全てが詳細に記述してあり、この記述から各電源の諸費用について不確実性を評価することができる。また、この方法・条件及び併せて公開されている「発電コスト試算シート」を用いて、誰でも追計算が可能であることも本試算の特徴といえよう。

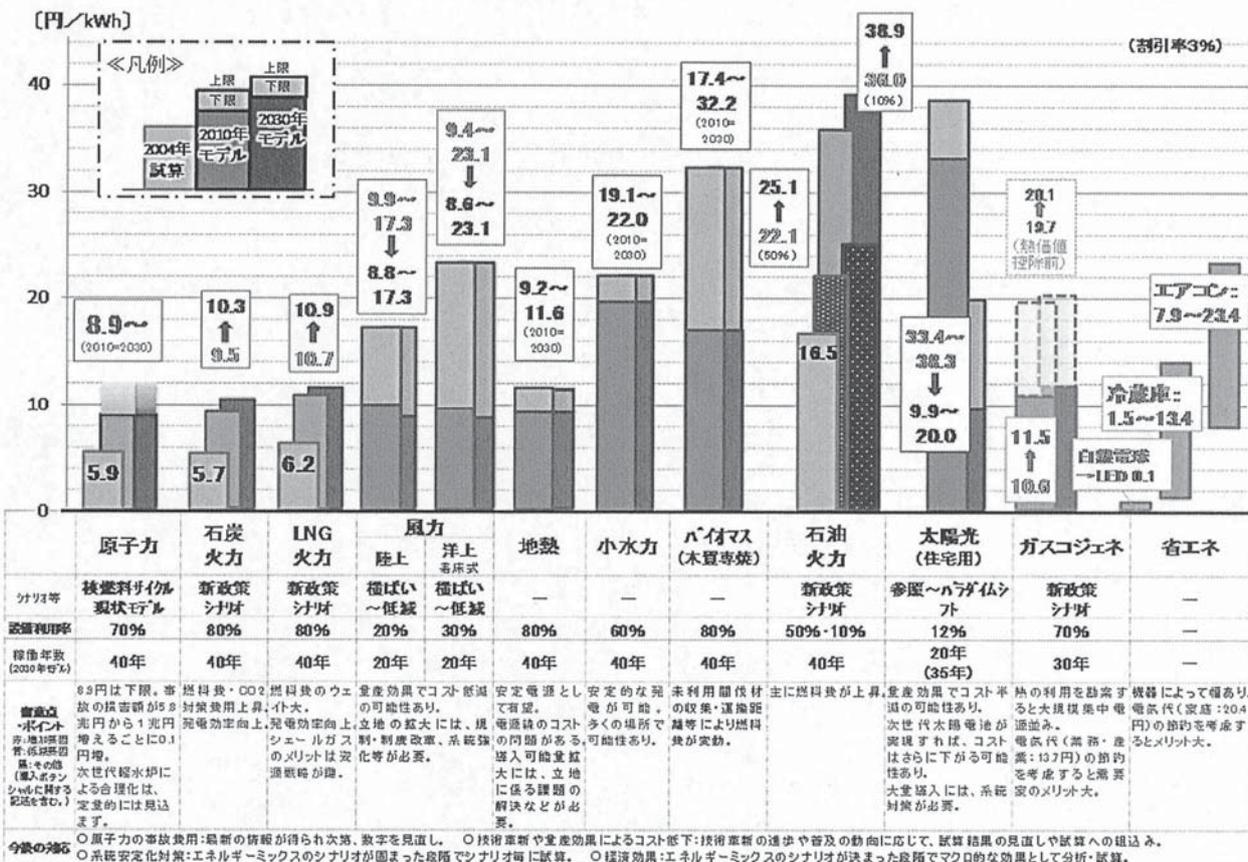
前提条件を巡る議論の経緯は、報告書第2章「3. 発電コストとして計上する方法につき、特に議論があったもの」及び「4. 議論した結果、モデルプラントの発電コストとして計上しなかった項目」に詳細に記述されている。中でも特に原子力の事故リスクへの対応費用、具体的には損害費用の評価については、第3章「2. 原子力コストの徹底検証 (6)事故リスクへの対応費用」に詳しい。以下では、議論があった各条件につき、報告書から適宜引用しつつポイントをレビューし、その不確実性について

The Economics of Nuclear Power—Evaluation by Committee on Verifying Generating Costs in 2011—; Tomoko MURAKAMI

(2012年 2月16日 受理)

【コスト試算のポイント】

- モデルプラント形式(最近7年間の稼働開始プラント、最近3年間の補助実績等を基に設定)
- CO2対策費用、原子力の事故リスク対応費用、政策経費等の社会的費用も加算。
- 2020年、2030年モデルは燃料費・CO2対策費の上昇、技術革新等による価格低減を見込んで試算。



第1図 主な電源の発電コスト (出所) コスト等検証委員会報告書

解説を試みる。

(1) 原子力の事故リスクへの対応費用

本試算では①「損害費用」の算出、②事故発生確率の算出、③それらの掛け合わせによる「損害期待値」の算出のステップを踏んでいる。具体的には、損害費用に事故発生頻度(確率)を乗じ、発電電力量で除して、モデルプラントにおける単位発電量あたりの損害期待値を算出している。

① 「損害費用」の算出

「現時点で得られる最大限の情報を基に、除染費用を含む東電福島第一原発に関連する行政費用、原子力損害の判定等に関する中間指針の追補による損害賠償額の追加分、原子炉冷却等費用未計上分及び発電施設の減損・核燃料の損失分について追加し、5.8兆円と見積もった。」としている。しかしながら、高濃度汚染対策費用等、「現時点では見込まれていないことが明らかである、あるいは現時点では推計不能」なものもあり、算出された5.8兆円は「下限の数字」としている。

② 事故発生確率の算出

IAEAの安全目標である 1.0×10^{-5} から日本の実績である 2.0×10^{-3} まで意見が分かれたが、結局、「モデルプ

ラントが稼働している40年間」に一度、と想定している。

③ 損害期待値の算出

①の5.8兆円を、2010年度の実績原子力発電量2,882億kWh \times 40年 \approx 約11.5兆kWhで除して、0.5円/kWhと算出している。

(2) 燃料費とCO2対策費用の見通し

燃料費はIEAのWorld Energy Outlook 2011の「現行政策シナリオ」及び「新政策シナリオ」を採用、CO2対策費用としてはEU現行政策・新政策シナリオ、豪・NZ新政策シナリオのCO2価格(3シナリオとも同じ数値)を採用しており、CCS(二酸化炭素捕獲・貯留)費用の加算はしていない。また「CO2価格を取り込んだとしても、その水準次第では、必ずしも環境外部費用を完全に内部化したことにはならない……(中略)環境外部費用は、あらゆる発電に伴って、何らかの形で生じているが、全てをコストに換算することは困難。」と示唆に富んだ指摘もなされている。

(3) ガスコジェネ、石油コジェネ、燃料電池の発電コスト計算における熱の価値のカウントの方法と燃料費

発電の際に同時に発生する熱の価値を別途計算し、そ

れを費用から差し引く方式を採用している OECD/IEA 方式にならっている。

(4) 主に再生可能エネルギーや火力発電に関する技術革新・量産効果によるコスト低減の考え方を石炭火力、LNG 火力の効率は2030年の見込み効率を適用し、燃料電池はシステム価格の低下、稼働年数の向上、発電効率の向上、修繕費の低下を見込んでいる。太陽光システムについては既存技術の学習効果・耐久性向上を見込んでいる。風力については、IEA(2010)の Blue Map Scenario に示された低コスト化シナリオに基づきコスト低減見込みを試算している。

(5) 政策経費の扱い

「網羅的に、かつ整合性を持った客観的なデータを提供するという本委員会の目的に鑑み、社会的費用を含めた発電コストを比較できるように、発電に関する政策経費については幅広く捉えてコスト試算に反映した」と報告書では述べている。具体的には、関係省庁予算のうち、「立地」「防災」「広報」「人材育成」「評価・調査」「発電技術開発」「将来発電技術開発」をコストに算入している。発電コストへの上乗せを見送った費目は、既に資本費に算入済みの「導入支援」、「備蓄」、「資源開発」、「CCS」及び、現時点の発電電力量が少ない小水力・地熱・太陽光・風力・バイオマス・燃料電池の政策経費となっている。

以上の報告書記述をベースに、モデル手法によるコスト評価の不確実性について、次のように考えることができる。

まず、この報告では「網羅的に、かつ整合性を持った客観的なデータを提供する」観点から、「現時点では見込めない/推定不能なコスト」は含めないものとしており、その意味からは原子力事故の損害費用の根拠付けに相当苦勞したと考えられるが、実は「推定不能なコスト」はこれにとどまらない。「特に議論になったもの」に取り上げられていない「建設費」も、OECD/IEA(2010)によれば、世界での実績幅が約1,500~6,000ドル/kW と広い範囲にわたっていること、その変動幅が発電コストに与える影響は事故損害費用より重大であることから、事業者にとっては事故損害費用と同程度に「推定困難なコスト」であろう。

更に注意すべきは、ここで取り上げられていない「推定不能な外部費用」がこのほかにもどれだけあるかわからないことである。報告書中にも「環境外部費用は、あらゆる発電に伴って、何らかの形で生じているが、全てをコストに換算することは困難」と指摘があるとおり、再生可能エネルギー利用拡大に際しては「議論した結果、モデルプラントの発電コストとして計上しなかった項目」である系統安定化費用や電源線費用以外にも環境影響緩和に関連する外部費用の存在が否定できない。例えば、洋上風力発電で電力の30%を賄う世界が実現した暁、海流や海洋生物に何の影響も出ていないと言い切れる

るであろうか。地熱発電が日本の電力の30%を占める日が仮に来た場合、温泉業者への補償費用が原子力事故の損害費用を超えないと言い切れるであろうか。原子力の事故損害費用を「下限」とするスタンスと同程度の厳格さが、今後の再生可能エネルギー拡大に伴う環境外部費用にも要求されるべきであろう。

Ⅱ. 有価証券報告書に基づく実績

「コスト等検証委員会」報告に先立つ2011年8月、(財)日本エネルギー経済研究所(以下「エネ研」)では、電気事業者の有価証券報告書に記載された電気事業営業費用の実績から、電源別発電コストの実績を試算し、電源間の比較分析をしている。有価証券報告書から発電コストの実績値を算出する試みについては、國武(1999)、大島(2010)らの先行研究があり、エネ研(2011)はその手法も参照しつつ、最新データによる傾向を分析したものである。以下、エネ研(2011)報告の概要をレビューし、原子力発電の特徴についても述べる。

1. 有価証券報告書手法の長所と留意点

有価証券報告書による実績値算出方法は、実際の電気事業運営に当って必要とされた費用を用いて、確実なコストを評価できる点に大きな長所がある。一方で、実際の発電設備は長期にわたり建設・償却され発電を行うものであるため、単年度の実績値のみを記す有価証券報告書により、長期的に見た実態を総合的に評価するには適していない。複数年度の報告書を用いることでこの欠点はある程度緩和されるものの、限定された期間での電源間の条件統一は困難である。例えば、現存する水力発電所が最初に建設された明治20年代から現在までにかかった費用を、物価の変動等も含めて総合的に評価することは極めて難しい。

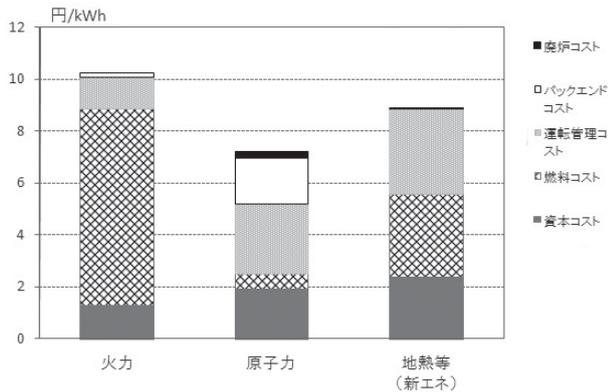
有価証券報告書を用いた方法は過去の実績値そのものともいえることから、過去の政策評価や経営戦略評価に当っては有用であると考えられる。一方で、将来の電源選択を考える際には、特に5年や10年といった限られた期間での有価証券報告書による実績値から示唆される情報は限定的であることに留意が必要である。

以上の限界も踏まえた上で、エネ研(2011)試算では、2006年から2010年までの5年間の一般電気事業者10社及び電源開発(株)・日本原子力発電(株)の有価証券報告書に記載された費用から、当該期間の原子力・火力・地熱等(新エネルギー)の発電コスト実績値を算出している。次節にその結果を示す。

2. 結果

第2図に5年平均電源別発電コスト及びその内訳比較を示す。火力発電10.2円/kWh、原子力発電7.2円/kWh、地熱等(新エネルギー)発電8.9円/kWhと、原子力のコストは火力より3割ほど安い結果となっている。

評価対象期間における火力発電コストの推移を第3図



第2図 2006~2010年の電源別発電コスト実績値
(出所)有価証券報告書を用いた火力・原子力発電のコスト評価, (財)日本エネルギー経済研究所, 2011年8月
注)火力発電及び地熱等の「バックエンドコスト」は「廃棄物処理費」と仕訳されている勘定項目を指す。

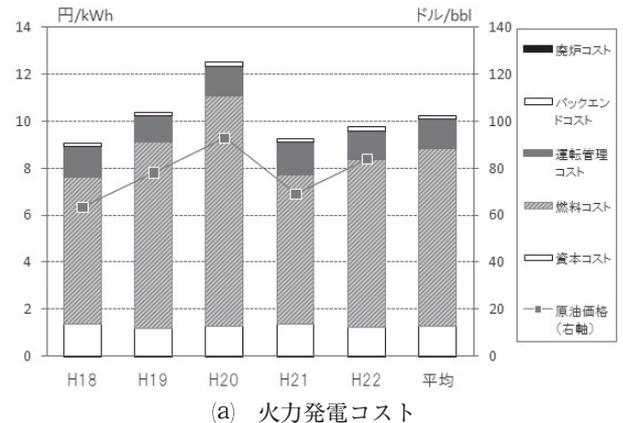
(a)に、原子力発電コストの推移を第3図(b)に示す。火力発電コストが12円/kWhを超えた2008年は原油価格高騰の影響が最も強かった年であり、原子力発電のコストが7円/kWhを切った2006年は設備利用率が最も高かった年であった。火力の場合は燃料費の変動と、原子力の場合は設備利用率と強い相関があることが読める。

燃料を100%海外に依存する日本のエネルギー政策の基本方針である「化石燃料価格に左右されない電源も有すること」、「初期投資の高い電源の設備利用率向上を図ること」は、この結果からは正しい方向性であったと評価できる。

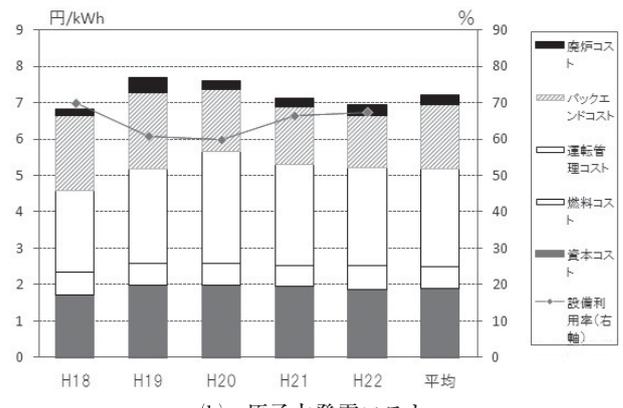
しかしながら、この結果はあくまでも2006年から2010年までの実績であり、対象期間が変われば当然、実績の前提となった各種条件(資本費,燃料費,設備利用率等々)も変わる以上、今後の政策の方向性をこの結果のみから決めることは妥当ではない。過去の政策の方向性は正しかったことを評価しつつも、今後の政策の方針は、日本が置かれるであろう事業環境、国際情勢等から前提条件を設定し、コスト等検証委員会が試算したようなモデル手法の適切な運用により導いていくべきである。

Ⅲ. 経済性評価に係る考察

コスト試算には不確実性がつきものである。現存する情報から推定せざるを得なかった費用については、これを誰でも感情の赴くままに上方修正あるいは下方修正することが可能であるし、算出値に対して「過大」「過小」どちらの方向にでも批判することも可能である。(例えば、公開されている発電コスト試算シートの「原子力(2010年)」シートの「損害想定額」セルに「100兆円(1,000,000億円)」と入力すれば、ただちに発電コスト17.6円/kWhと算出される。)ただし、その場合には、修正や批判をする者はその根拠を提示することが必須である。併せて、特にエネルギー研究者は、原子力事故損害費用や政策経費



(a) 火力発電コスト



(b) 原子力発電コスト

第3図 2006~2010年の火力発電コストの推移と原子力発電コストの推移

等「特に議論になった費目」以外にも未知の「環境外部費用」が存在し得ること、再生可能エネルギーの利用拡大に伴いどこでどのような形で顕在化するかわからないことを肝に銘じるべきであろう。そのためには既知の費用や費目のみを取り上げて一喜一憂するのではなく、全てのエネルギーを対象に科学的合理性を追求し、最新知見に基づく判断を出していく姿勢が求められる。

— 参考資料 —

- 1) エネルギー・環境戦略会議, コスト等検証委員会報告書, 国家戦略室, 2011年12月.
- 2) OECD/IEA, *Projected Costs of Generating Electricity 2010 Edition*, (2010).
- 3) 國武紀文, 他, わが国における原子力コスト構造の将来展望, 電力中央研究所研究報告 Y 98019, (1999).
- 4) 大島堅一, 再生可能エネルギーの政治経済学, 東洋経済新報社, (2010).
- 5) 日本エネルギー経済研究所, 有価証券報告書を用いた火力・原子力の発電コスト評価, 2011年8月.

著者紹介



村上朋子(むらかみ ともこ)
日本エネルギー経済研究所
(専門分野)企業経済学, 企業財務分析,
原子力工学

持続可能性原則から考えるエネルギーシステムの評価

京都大学 植田 和弘

I. はじめに

2011年3月に起きた東京電力福島第一原子力発電所の事故は、危機管理・安全管理にかかわるさまざまな技術的問題を提起した。しかし同時に今回の事故は、原発の導入・拡大から今回の事故に至る一連の経過はきわめて社会科学的現象であることも、多くの人に印象付けた。

すでに福島事故が起こる前から、原子力発電の経済学に関しては室田武(1981¹⁾, 1993²⁾の精力的な研究があったし、清水修二(1991³⁾, 1992⁴⁾による電源三法交付金や大島堅一(2010⁵⁾, 2011⁶⁾による原発の社会的費用に関する研究などがあった。さらに、福島事故を受けて取り組まれた斎藤誠(2011⁷⁾による研究は経済学的研究の必要性和切れ味を示すものとして貴重である。したがって、原発の社会科学ともいべき研究領域は存在しており、いくつかの貴重な研究が行われ、それに基づいた政策的な提言も行われていたのである。ここで問われるべき論点の一つは、それらの研究が示唆していた内容は学術的にはどの程度議論されたのか、また政策的にはどの程度取り入れられていたのか、さらにもし政策的には取り入れられていなかったとするならば、それはなぜかという問題であろう。

本文は上記の問いに直接答えようとするものではない。むしろ原子力発電の社会科学を構築する際に、上記の諸研究に加えてもう一つの視点を持ち込もうとするものである。その視点が持続可能性という考え方である。

エネルギーは人間社会の基盤をなすものであり、宇沢弘文(2000⁸⁾のいう社会的共通資本(social common capital)である。エネルギーは基本的に自然界に潜在的に存在しているものであり、社会的共通資本の一つのカテゴリーである自然資本そのものである。しかし、自然資本としてのエネルギー資源ストックのなかから、どの資源を、どのような技術を用いて人間の使えるエネルギーに変換し、どのように活用するかは、人間社会が構築してきたエネルギーシステムに依存する。

エネルギー問題とは、エネルギー資源の利用に伴って

生じる諸問題のことであり、エネルギーを誰でも利用できるか、エネルギーを安全に利用できるか、エネルギーの大量消費が環境破壊を招かないか、エネルギーの価格は安定しているか、などさまざまな問いを設定することができる。裏返せばそれは自然資本としてのエネルギー資源の利用の仕方に伴い生じる問題であり、エネルギー資源の利用の仕方を決めるエネルギーシステムの設計問題である。そして、今後のエネルギーシステムは、福島原発事故の教訓を踏まえ、その後の経過の中で明らかになったエネルギーシステムの欠陥を克服するものでなければならない。このために、エネルギーシステムに持続可能性原則を持ち込む必要があると考える。

II. エネルギーシステムに持続可能性の原則を

我々が直面しているエネルギーシステムの選択問題は、かなり長期にわたってエネルギー問題に対する我々の態度を規定するものになる。気候変動問題が示唆しているように、人間社会のエネルギー利用のあり方が2100年における地球大気の世界平均気温の上昇の程度に大きな影響を及ぼす。また、ピークオイル論に見られるように、エネルギーシステムの設計には石油資源の枯渇を見通した時間的射程がなくてはならないであろう。同時に、原子力発電に伴って排出される放射性廃棄物は、きわめて超長期にわたる世代をはるかに超えた管理問題を提起している。

エネルギーシステムの選択が、上記の事例にみられるように、長期にわたってさまざまな事象に大きな影響を及ぼすとすれば、その設計における基本的な原理を確認しておかなければならない。その最も基礎にある中核的な原理は持続可能性(sustainability)である。

持続可能性は多様に定義されているが、エネルギーシステムの設計原理としてまず確認されるべきは、H. デイリー(2005⁹⁾による持続可能性の3原則である。デイリーは、人間社会は自然界の熱力学の法則に適合した活動を行うのでなければ持続可能とはなりえず、そのためには、以下の3原則を満たさなければならない。

1つは、人間活動から排出される廃棄物は環境容量の範囲内でなければならない。2つは、人間社会は資源を利用しなければ、その生存と発展は保障されないが、利

Sustainability Principle and Nuclear Power Generation: Kazuhiro UETA.

(2012年 3月9日 受理)

用する資源は2種類に分けることができ、そのうちの再生可能資源(renewable resources)については再生可能な範囲内で利用しなければならない。3つは、もう一つの資源、再生不能資源(nonrenewable resources, 枯渇性資源(depletable resources)とも呼ぶ)は利用すれば必ずストックが減少するのでとも持続可能ではないが、再生不能資源を利用することで減少するストックが提供する機能を再生可能資源が補ってくれる範囲内であれば利用してもよい、とデイリーは定式化している。

以上の3つがワンセットになったデイリーの持続可能性原則は、人間活動が自然の法則に適合する—そうでなければ人間社会は持続可能ではないとデイリーは考える—ための公準ともいえる原則であり、これを満たすエネルギーシステムを考えることが、少なくとも長期的にはシステム選択のための絶対的条件になる。

上記の3原則に照らしてみると、長期的には再生可能エネルギー資源を中核においたエネルギーシステムに移行していかなければならないことは明らかであろう。石油・石炭・天然ガスなどの化石燃料資源は再生不能資源であり、デイリーの持続可能性原則に照らすならば、その利用は利用に伴って失われる機能を再生可能資源が補ってくれる範囲内での利用に限定されなければならない。また、化石燃料資源の利用は、それに伴って排出される二酸化炭素が環境容量の範囲内—国際的には地球大気温度を2℃以上増加させないレベルがこれに該当するとみてよい—に抑制されなければならない、現状の二酸化炭素排出量はすでにこのレベルをかなり超えていると考えられている。したがって、化石燃料資源の利用量は削減する方向での強いコントロールが求められる。

原子力発電はどうであろうか。原子力発電もウラン燃料に依拠しているという点では、再生不能資源を利用する発電方式である。そのため、究極的には化石燃料資源と同様に、ウラン燃料ストックの利用に伴い減少する機能分を再生可能資源によって補える範囲内でしか利用することはできない。原子力発電はその発電過程でそれほど多くの温室効果ガスを排出しないため、気候変動と関連する大気環境容量という点ではデイリーの原則にかなうかもしれないが、放射性廃棄物や放射能汚染の問題については、とても容量の範囲内ということとはできない。

それに対して、再生可能エネルギーの場合には、その本来的な性質からいって、デイリーの3原則を満たしやすい。もちろん、風、太陽、地熱、中小水力、バイオマス、などの再生可能エネルギー資源を利用する過程で環境・資源や廃棄物の問題が生じる可能性はあるけれども、その深刻さは他のエネルギー資源と比較するならば、比べ物にならないほど小さいというべきであろう。

したがって、デイリーの持続可能性原則に照らしてエネルギーシステムを設計するという事ならば、長期的には再生可能エネルギーをエネルギーシステムの中核に

していかなければならず、短期・中期的にもエネルギーシステムがその方向に移行—すなわちデイリーの持続可能性原則をより満たす方向に移行する—しているか否かを判定の基準にすべきであろう。

Ⅲ. エネルギーシステムに世代間倫理・世代間衡平の原則を

デイリーの持続可能性原則は、人間社会が自然と共生するための原則ということもできるし、人間社会の生存と発展のための自然的基盤を維持していくための原則であるといえる。デイリーは、持続可能な発展や持続可能性という用語が広く用いられるようになる前の1970年代から、エコロジー経済学の立場から定常状態の経済学(steady state economics)を提唱していた。その延長線上で、エコロジーの原則に適合する経済が満たすべき原則を述べたのが、デイリーの持続可能性3原則である。

これに対して、今日持続可能な発展(sustainable development)の定義として広く知られているのは、ブルントラント委員会の報告書(環境と開発に関する世界委員会, 2006¹⁰⁾)のなかにある「将来の世代のニーズを満たす能力を損なうことなく、今日の世代のニーズを満たす発展」というフレーズである。このフレーズから導かれる原則は世代間衡平の考え方であろう。

世代間衡平の原則をエネルギーシステムの選択問題に適用すると何が明らかになるだろうか。

エネルギー資源における世代間衡平とは、まずエネルギー資源ストックを減らさずに次の世代に引き渡していくことであろう。そのためには再生不能資源を利用したことから得られる利得を、再生不能資源を利用したことに伴うストックの減少を補えるだけの再生可能資源の開発に投資しなければならない。

「エネルギー資源の利用と世代間衡平との間のもう一つの接点は、エネルギー資源利用に伴う廃物の排出に関するものである。エネルギー資源の利用は必然的に何らかの廃物を生じるものであり、その廃物の「処理」問題を抱えることになる。すべてのエネルギー資源がこの廃物処理問題に直面するのであるが、なかでも深刻な処理問題が起きているのが、化石燃料利用に伴う地球温暖化問題と、原子力発電に伴う放射性廃棄物問題である。いずれも今日排出される廃物は環境中に蓄積され、その蓄積が超長期にわたる将来に深刻な危機をもたらす。そういう意味でこれら2つの問題は、世代間衡平の原則に反する同質な構造を持っている。気候変動枠組み条約や京都議定書に基づく温室効果ガス排出削減の取り組みは、この観点からは世代間衡平性を回復するための取り組みであるともいえる。原子力発電に伴って排出される放射性廃棄物問題は、より深刻な様相を呈している。日本の企業で自らの活動から排出される廃棄物の処分先が決まっていなかった企業はないであろう。それに対して、原発から

排出される高レベル放射性廃棄物は地層処分が想定されているのであるが、その処分先はいまだに決まっていない。現在世代の原発(とそこから生み出される電力)のために、将来世代に放射性廃棄物管理を強制する悪魔のような取引であり、A.クネーゼ(1974¹¹⁾)が「ファウスト的取引」と呼んだのも頷けるのである。我々は世代間倫理に対するどのような考え方を持つべきなのだろうか。

IV. エネルギーシステムと持続可能な地域発展

今回の福島原発事故であらためて浮かび上がってきた論点は、エネルギー施設と地域との関係である。具体的にはエネルギーシステムを担うエネルギー施設が持続可能な地域発展に貢献するか否かという問いである。国際機関の定義によれば、持続可能なという用語は、エコロジカルな環境的持続可能性、経済的持続可能性、社会的持続可能性という3つの側面から構成されている。

いずれの側面からの評価も電源間の比較を行う必要があり、比較の基準が問題になる。エコロジカルな環境的持続可能性でいえば、発電の段階のみでエネルギー源の環境影響を評価するのではなく、発電の前後のプロセス、すなわち発電するエネルギー源の採取から始まり、その発電所への輸送、そして発電、さらに発電過程で生じる廃物とその処理に至る一連のサイクル、すなわち発電に伴うライフサイクル全体の環境影響を評価しなければならない。例えば、化石燃料による火力発電についてみれば、仮に発電所での環境対策は適切に行われていたとしても、発電のエネルギー源である石炭や石油の開発時に大規模な環境破壊が起こっているかもしれないし、CO₂の大量排出も課題である。原子力発電の場合はCO₂の排出は少ないかもしれないけれども、放射性廃棄物の処理問題はきわめて厄介である。一口で環境影響と呼ぶけれども、個々のエネルギー源ごとにライフサイクルの各段階で生じる環境影響は内容が異なり、それらを足し合わせることも比較することも容易ではない。発電に伴ってCO₂を1トン排出することと、同じく放射性廃棄物を1トン排出することと、発電時に生じる騒音とでは、同じ環境影響といっても影響の質が大きく異なる。また、その影響を誰が被るかという分配面からの評価も欠かせない。

経済的持続可能性に関してはいくつかの側面からの検討が必要である。今回の大震災を経て、リスクの小さい、レジリエンス(resilience, 復元力・回復力・強靱性などと訳される)のある、持続可能な電力需給調整システムが志向されている。この要請に対応するために対応されなければならない論点はきわめて多岐にわたる。その1つは電源別発電コストの比較分析(国家戦略室コスト等検証委員会, 2011¹²⁾)である。しかし、経済的持続可能性という場合には、発電コストより広い範囲での検討が

不可欠である。

検討しておかなければならないのは、エネルギー施設が及ぼす地域経済・産業開発・雇用に及ぼす効果と影響である。というのは、しばしば指摘されてきたことであるが、原子力発電所が立地している地域が発電所を受け入れたのは、やはりその経済効果に期待していたところがあると思われるからである。といっても原子力発電の場合は高度な技術プラントであり、部品調達などでも地元企業が入れる余地はほとんどなく、原子力発電の直接的な地域産業連関効果は小さかった。雇用に関してもプラントの定期点検時の作業員の受け入れとそれに伴うサービス業程度であったため、それほど大きなものとはいえない。結局、原発に伴って地元に落ちるお金は、原発立地に伴う固定資産税などの税収と、いわゆる電源三法に基づく交付金が主たる源であった。

原子力発電所と地域産業開発という点では、原発立地と地域にもともとあった産業との関係についても注目しておかなければならない。両者の関係はあまり親和的とは言えない。原発立地地域は農村や漁村が多い。もともと原発立地の対象地域は人口の少ないところとされているので、そうした地域にならざるを得ないともいえる。必然的に原発が立地した時点における地元の産業は農業や漁業が主たる産業であった。今回の福島第一原子力発電所のような大事故でなくても、原子力発電所はこれまでも少なくない事故を起こしてきた。そうした事故によって直接的な被害が生じたことはそれほどなくても、農産物や水産物は風評被害を受けやすい。

風評被害が仮に補償されることになったとしても、原子力発電の事故に対する不安が大きくなると、そのことが産業の継続性や発展への投資を阻害し、農業や漁業の将来展望をなくしてしまいがちである。実際に、これらの業から離脱する人を増やしてきた。そのため農業や漁業以外から所得を得られる途を探さなければならず、それがさらに原発関連の雇用を期待して地元に原子力発電所を「誘致」建設することにつながり、農業や漁業をますます衰退させていったのである。原子力発電所の建設を契機にして地域産業に一種の負のスパイラルが働いたと言えるだろう。

再生可能エネルギーの利点は農業、漁業、林業など地元の自然に依拠する産業と親和的なところである。もともと農業、漁業、林業は自然の恵みを基礎にした産業であるから、同じ自然がもたらすエネルギーを地域資源に変えて発電することは第1次産業的なところがある。再生可能エネルギーは、例えば、風力発電が風況に影響されるように自然条件に規定されるのであるが、それは言い換えれば他の第1次産業と同様に土地に固着した産業ということである。

そうであるならば、これまで農業なら農業、漁業なら漁業、林業なら林業だけを営んでいたのを、それに加え

て、再生エネルギーによる発電に対して農家(農業協同組合)や漁師(漁業協同組合)が投資することで、非農業所得、非漁業所得を得ることができる。もちろん、これには再生可能エネルギーによって生み出された電力を全量買い取る、いわゆる固定価格買取制度がなければならない。デンマークで風力発電が急速に普及した(1990年にはなかった風力発電が現在は電力の20%以上になっている)のはまさにこの制度によってであり、非農業所得が得られるようになったことで、地域も持続可能になったのである。

再生可能エネルギーによる発電は自然の潜在力を活かすものであるけれども、高い工業力も必要である。例えば、風力発電機は部品の点数が2万点近くと言われていたが、組み立て産業の代表で多くの下請け企業を持つ自動車の場合でも部品の数は3万点程度と言われており、風力発電機もきわめて裾野の広い部品調達産業がなければならない。現在も風力発電機の部品供給に占める日本企業のシェアは高いことが知られている。今後、日本においても風力発電への投資がすすんでいき、部品調達に応える企業が育成されていけば、地域の産業振興や雇用にも大いに役立つであろう。他の再生可能エネルギーにおいてもその内容や程度に違いはあるが、基本的に地域産業と親和的であり、ポジティブな効果を与えるものであろう。

再生可能エネルギーの社会的持続可能性への寄与も重要である。一般に再生可能エネルギーは小規模分散型電源であるので、関与する主体も多くなるであろう。従来、発電所と言われると、大規模な発電所で一般市民からは遠い存在であった。また、発電所で発電された電気が一方的に送られてくるというシステムであり、市民の立場はきわめて受け身なものであった。ところが再生可能エネルギーに対する市民の立場は、一方で再生可能エネルギー発電の利用者であるけれども、もう一面で再生可能エネルギー発電の実行者や投資者になるという側面が大きくなったことに特徴がある。このことはエネルギー問題に対する当事者意識を高めることになり、エネルギーシステムに対する選択権を要求することになる。

再生可能エネルギー源は地域資源でもあるので、地域の自然的条件の違いによって偏在しているのであるが、その程度については、ウラン燃料資源や化石燃料資源と比較するならば、はるかに偏在の度合いは小さいといえるだろう。特にエネルギー自給率のきわめて低い日本にとっては、再生可能エネルギーはエネルギー安全保障の観点からもその開発を急ぐべきであり、エネルギー自給率を高める分かりやすい方法である。

こうした再生可能エネルギー促進がもたらす地域産業の振興と地域再生にもたらす効果を確認するならば、持続可能な地域再生に貢献する再生可能エネルギーの役割を評価することができる。

V. おわりに

持続可能性原則は、エネルギーシステムが満たすべき公準ともいえる原則であり、その定義に即して、3つの側面からシステムの設計原理を検討した。すなわち、エコロジカルな持続可能性、世代間衡平・世代間倫理の基準、そして持続可能な地域発展への寄与である。これらの原則をエネルギーシステムの設計に活かせる操作可能な選択基準に具体化する必要がある。この選択基準を明確にするための討議、それがエネルギー問題に関する国民的討議の課題である。エネルギーシステムの再設計は、まだその一歩が踏み出されたところであるが、持続可能な一歩になることを期待したい。

[付記] 本稿の一部は、植田和弘「エネルギーシステムの再設計」植田和弘・梶山恵司編『国民のためのエネルギー原論』日本経済新聞出版社、p.303~318(2011)の一部を加筆・補正したものであることをお断りしておきたい。

—参考文献—

- 1) 室田 武, 原子力の経済学, 日本評論社, (1981).
- 2) 室田 武, 原発の経済学, 朝日文庫, (1993).
- 3) 清水修二, “電源立地促進財政制度の成立”, 商学論集(福島大学), 59[4], (1991).
- 4) 清水修二, “電源開発促進対策特別会計の展開”, 商学論集(福島大学), 59[6], (1992).
- 5) 大島堅一, 再生可能エネルギーの政治経済学, 東洋経済新報社, (2010).
- 6) 大島堅一, 原発のコスト, 岩波新書, (2011).
- 7) 斎藤 誠, 原発危機の経済学, 日本評論社, (2011).
- 8) 宇沢弘文, 社会的共通資本, 岩波書店, (2000).
- 9) H. デイリー, 持続可能な発展の経済学, みすず書房, (2005).
- 10) 環境と開発に関する世界委員会編(2006), 同編(1987), 大来佐武郎監修(環境庁国際環境問題研究会訳)『地球の未来を守るために』, 福武書店, 第2章をもとに, 礪波亜希, 植田和弘改訳, 「持続可能な発展へ向けて」淡路剛久, 川本隆史, 植田和弘, 長谷川公一編著, 『持続可能な発展』, 有斐閣, 320~323ページ.
- 11) A. クネーゼ, “ファウスト的取引”, 公害研究, 4[1], (1974).
- 12) 国家戦略室コスト等検証委員会(2011)
<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/8th/8-3.pdf>

著者紹介

植田和弘(うえた・かずひろ)

京都大学

(専門分野/関心分野) 環境経済学/持続可能な発展の理論と政策



特別企画 我が国の核燃料サイクル

「もんじゅ」を中心に据えた GACID 国際共同研究プロジェクト

将来世代のエネルギー選択肢を広げる技術の提供

日本原子力研究開発機構 此村 守

高速増殖原型炉「もんじゅ」でマイナーアクチニドを含んだ燃料を照射し、最終的に少なくとも燃料集合体規模での照射実証を目標とする GACID 計画が日仏米 3ヶ国間で進んでいる。「もんじゅ」は、「マイナーアクチニドの減少」、「発電」、「燃料の増殖」という 3つの機能を同時に果たせる原子炉であり、その運転により得られる成果が国際的に期待されている。

I. はじめに

GACIDとは、Global Actinide Cycle International Demonstration(包括的アクチニドサイクル国際実証)の頭文字をとったもので、ガシッドと読む。GACIDの目的は、軽水炉の利用で発生するマイナーアクチニドを燃料に混ぜ、これを高速増殖炉で照射することでマイナーアクチニドの量を減少させられることを示すことである。この方法により、核燃料サイクルの最後で必要となる処分場の面積を、大幅に減らすことが期待できる¹⁾。この技術の開発の中核を担う原子炉が、福井県敦賀市に建設中の高速増殖原型炉「もんじゅ」である。

II. なぜマイナーアクチニドを減らせるのか

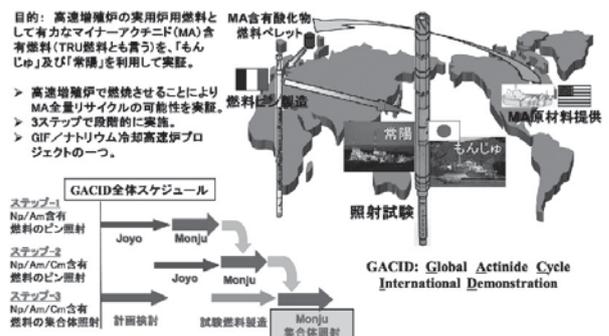
マイナーアクチニドとは、周期表でウラン(原子番号92)、プルトニウム(94)の近くにあるネプツニウム(93)、アメリシウム(95)、キュリウム(96)のことである。これら放射性核種の量が半分になる時間(半減期)は、短いもので163日(キュリウム-242)、長いものでは214万年(ネプツニウム-237)にもなる。高速増殖炉の炉心部には、非常に速い速度の中性子(高速中性子)があり、これをマイナーアクチニドに当てることで、別な核種に変換することができる。つまり、長い半減期を持った放射性核種を、短い半減期の放射性核種または放射能を持たない核種に変換するということである。放射性物質は自然に崩壊し、いずれ非放射性物質になるという原理と、核種を変換する技術とを、同時に利用する技術といえる。

III. 各国の特徴を活かした国際共同研究プロジェクト

2001年7月に米国の提唱により発足した「第四世代原子炉開発国際フォーラム」の協定の枠内で、2006年2月にナトリウム冷却高速炉システム取決めが締結され、それに基づいて、日仏米3ヶ国により2007年9月にGACID取決めが署名された。取決めの内容について、3ヶ国間で第1図に示す概念が合意されている²⁾。図中に示すように、GACIDでは、マイナーアクチニドを含む燃料に関する少なくとも燃料集合体規模での照射実証を、長期的な最終目標としている。

GACIDプロジェクトは、今までにない燃料を製造し、それを原子炉に入れて照射するため、3つの段階を踏んで進めていく。

ステップ1では、アメリシウムとネプツニウムのみを含有する燃料を、燃料ピン1本分だけ製造し「もんじゅ」で照射する。この場合、アメリシウム-241とネプツニウム-237が主体となるため、放射線源の強度が弱く、しか



第1図 GACIDプロジェクト(包括的アクチニド・サイクル)国際実証計画「もんじゅ」を利用した日仏米共同の高速増殖炉燃料実証の推進

MONJU: A Center of GACID Project: Mamoru KONO-MURA.

(2012年 2月28日 受理)

もピン 1 本分のため、原料調達や燃料組立てなどへの制約が少ないので、計画の早期実現が期待できる。ステップ 1 では「もんじゅ」での将来の本格的なマイナーアクチニド含有燃料照射試験に必要となる下記の一連の過程を、早期に経験し、その基礎を確立する。

- マイナーアクチニド原料の調達と輸送
- マイナーアクチニド含有混合酸化物燃料ペレット焼結
- 燃料物性値測定と設計相関式の検証
- 「常陽」における先行照射と照射後試験
- 照射後試験データによる照射挙動モデルの検証
- 「もんじゅ」における許認可の取得
- 照射試験燃料ペレットの焼結・燃料ピン製造と輸送
- 「もんじゅ」における照射と照射後試験

ステップ 2 では、アメリカシウム、ネプツニウムだけでなくキュリウムも含めた本格的なマイナーアクチニド組成での照射試験を燃料ピン規模で行う。この場合、アメリカシウム-243からのガンマ線やキュリウム-244からの中性子線などの放射線が無視できない。そこで、燃料ペレットの焼結などはホット・セル施設で実施する。ただし、このステップでも燃料ピン 1 本であるため、マイナーアクチニド原料の調達や燃料集合体の組立ては比較的容易と考えられる。なお、キュリウムを含む燃料の製造や照射試験は世界的にも前例のない貴重な試験となる。

ステップ 3 では、工学規模(燃料集合体規模)での再処理および燃料製造施設が前提となる。マイナーアクチニド原料からの発熱や放射線を考えると、ホット・セル内の遠隔操作が基本である。したがって、その実現のためには長期的な展望に立ったパイロット・プラント構想について、3 国間で協議を継続していく必要がある。

第 1 表に当初 5 年間(ステップ 1)の 3 ヶ国の協力分担を示す。米国は軽水炉の利用により発生するマイナーアクチニドを種々の目的で分離保有しており、マイナーアクチニド原料を提供する。フランスは放射能の比較的高い原料を使っても燃料製造のできる施設を保有しており、マイナーアクチニドを含んだ燃料ピンの製造を行う。日本は西側諸国で唯一稼働が期待されている高速増殖原型炉「もんじゅ」を保有しており、フランスで製造さ

第 1 表 GACID プロジェクトにおける当初 5 年間の 3 国間協力分担

参加機関	個別担当業務 (当初5年間)	共通業務
日本JAEA	<ul style="list-style-type: none"> ●「常陽」における先行照射(Am-1試験等) ●MA燃料物性測定(低Am含有MOX燃料) ●「常陽」、「もんじゅ」の許認可 ●「もんじゅ」照射・PIE・国内輸送の準備 ●ステップ-1燃料バンドルの組立て着手 	<ul style="list-style-type: none"> ●詳細プロジェクト計画策定、プロジェクト管理 ●MA含有燃料物性データベース(もんじゅ許認可データの取得) ●MA含有燃料照射挙動のモデル化 ●照射試験の事前予測解析、照射データの評価 ●ステップ-3:バンドル規模照射実証の計画予備検討
仏国CEA	<ul style="list-style-type: none"> ●MA燃料物性測定(高Am含有、Cm含MA含有MOX燃料) ●ステップ-1、-2燃料ピンの製造・輸送 	
米国DOE	<ul style="list-style-type: none"> ●物性測定用MA原料の提供・輸送 ●補完的MA燃料物性測定 ●ステップ-1、-2用MA原料の提供・輸送 	

れた燃料ピンを「もんじゅ」に入れて照射するための許認可などの準備を行う。つまり、GACID プロジェクトとは、マイナーアクチニドを減らすことができるということを示すために、米国の原料を使って、フランスで燃料を作り、それを日本の高速増殖炉「もんじゅ」で照射するという各国の特徴を生かした国際共同研究である。

すでに、2008年に米国からマイナーアクチニド原料がフランスに提供・輸送されている。フランスはマイナーアクチニド含有燃料の物性測定のためのペレット試作を進めている。日本は、「もんじゅ」で照射するための許認可取得の準備を進めていたが、2011年3月の福島第一原子力発電所の事故により中断している。

IV. GACID で「もんじゅ」に期待されている役割

「もんじゅ」は高速増殖炉であるため、マイナーアクチニドを照射により減少させることができる。また、「もんじゅ」では安定な定常照射ができるため、技術的に精度の高いデータを取得できる。さらに、製造された燃料の詳細な組成が分かっていること、炉心内の装荷位置が明確であるため、実際の中性子照射量および中性子スペクトルが明確なことから、燃料集合体出口温度計により実際の温度場が予測できることから、質の高いデータを取得できる。このような高品質のデータを取得できるということが、「もんじゅ」に対して、そのような施設を持たない米国およびフランスから、その稼働が強く期待される理由でもある。

実は、このGACID プロジェクトとは別に、2010年5月から7月にかけて「もんじゅ」で実施した炉心確認試験において、アメリカシウム含有炉心に関する貴重なデータを得ている。この炉心では、燃料中のプルトニウム-241が半減期約14年で崩壊し続けた結果、炉心平均で約1.5重量%(wt%)のアメリカシウム-241が生成・蓄積されていた。これは、1994年4月の初臨界後に構成された初装荷炉心に比べ3倍程度多い。そこで、これら両炉心の実効増倍率を、2002年に公開された旧核データ・ライブラリー JENDL-3.3と、2010年公開の最新核データ・ライブラリー JENDL-4.0で解析比較した。その結果、JENDL-3.3では両炉心の差異が大きかったのに対し、JENDL-4.0では炉心間の差がほとんど見られなかった。これを感度解析で分析し、アメリカシウム-241の断面積の改訂が JENDL-4.0の好結果につながったとの結論を得た。これより、最新のアメリカシウム-241断面積の妥当性を「もんじゅ」という実際の炉心のデータで検証するという、世界的にも前例のない成果を得ている³⁾。

現在の「もんじゅ」の炉心には、平均でも約1.5 wt%，最大では約2 wt%のアメリカシウム-241を含有する燃料集合体が装荷されている。今後、これらの燃料を長期間にわたって照射し、照射後試験データを取得することが

できれば、アメリカシウムのみというステップ1レベルではあるが、将来のアクチニド・リサイクル実現に向けた燃料集合体規模での貴重なデータを得ることができる。

現在の軽水炉が将来すべて高速増殖炉に置き換えられ、使用済み燃料を高速増殖炉だけで何度もリサイクルした場合に、燃料中のマイナーアクチニドの割合は、1.1 wt%から1.2 wt%と予想されている⁴⁾。それを考えれば、上記の現行「もんじゅ」でのアメリカシウム含有率が、十分に意味を持った値であることが理解されよう。

V. GACID のもう一つの役割

高速増殖炉を使うとマイナーアクチニドを減少させ、最終処分場の面積を減らすことができる。しかし、高速増殖炉を使うとこれに留まらない長所がある。それはマイナーアクチニドを減少させると同時に、その際に発生する大量の余剰エネルギーを「発電」で電気エネルギーに変えられることである。

実は技術的にはこれに留まらない。高速増殖炉では、ブランケット燃料を装荷しておく、燃焼させた以上の燃料を取り出すことができる。すなわち、その名のとおり「燃料の増殖」である。この機能により、高速増殖炉の技術を手に入れることは、ほぼ無限のエネルギーを手に入れたことになる。

このような「マイナーアクチニドの減少」、「発電」、「燃料の増殖」という3つの機能を同時に果たすことができるのは高速増殖炉のみである。時代の要請に応じてどの機能に力点を置くかにより多様な設計が可能である。「もんじゅ」は先代により「発電」と「燃料の増殖」に力点が置かれて設計・建設されている。これに加え、今のままマイナーアクチニドを含んだ燃料を装荷することで、3つ目の「マイナーアクチニドの減少」という機能の実証も行うことができる。すなわち、「もんじゅ」をGACIDプロジェクトの主要な施設と位置付けて運転することにより、国際的な期待に応えるばかりではなく、上記の3大機能実現の技術を確立することができる。

VI. おわりに

現在最も使いやすいエネルギー源は石油である。これは太古の昔、地球に広く分散していた炭素を地球自身はその活動により地中深く閉じ込めた太陽エネルギーである。現代の人間は、これを取り出して燃焼させ、再度地球の大気に炭酸ガスとして放出している。もし将来の世代が温暖化抑制のためにこの炭酸ガスを再度閉じ込めたいと考えた時、彼らにとりもっとも大事なものは何であろうか。広く薄く広がった炭酸ガスを集めるには、どのような手段を取ろうともエネルギーが必要となる。すなわち、炭酸ガスを出さない方法による大量のエネルギーが必要である。現代の技術でこれを確実に達成できる手

段は原子力しかない。

原子力においても、他の産業と同様、それを利用することで出る廃棄物、この場合、放射性廃棄物をゼロとすることはできない。しかし、放射性物質は時間とともにその量が減少するという物理的な特性を持っていることが他の廃棄物とは全く異なる点である。もちろん、我々はすでに放射性廃棄物を処分する技術を持っている。なおその上で、高速増殖炉を用いることにより、極めて長い時間をかけて自然崩壊でなくなるというだけでなく、この時間を一気に短縮することができる。そして、だれもが想像できる時間スケールの中で議論できるようになる。その上、先の大量のエネルギーの供給という能力も併せ持っている。

福島第一原子力発電所の過酷事故で、甚大な被害を被った住民の方々の故郷への帰還を早急に実現すべきことは自明である。その上で、放射性物質が環境に放出された場合の修復の難しさに直面し、原子力エネルギーの利用から脱却しようという試みもなされている。

しかし、エネルギー資源として自然エネルギーしか持ちあわせていない日本において、将来の世代が健康な暮らしを維持できるだけのエネルギーを供給するには、原子力を捨てるわけにはいかない。これは日本人にとって、なかならず放射性物質に故郷を汚染された方々にとって、苦渋の決断である。ただ、将来にわたり過酷事故を二度と起こさないための方法は必ずある。筆者はここまで触れられないが、GACIDプロジェクトを通じて、原子力を持つ特徴とその有用性が、少しでも多くの人に支持されることを願いたい。

— 参考資料 —

- 1) 内閣府原子力政策担当室、核燃料サイクルの技術選択肢及び評価軸について(改訂版)、平成24年2月23日。
- 2) 近藤悟、他、「マイナーアクチニド含有燃料実用化に向けた今後の展望」、原子力 eye, 53〔4〕, 58~61(2007)。
- 3) T. Hazama, *et al.*, "Adjustment of ²⁴¹Am Cross Section with Monju Reactor Physics Data", *Proc. ICAPP '11*, Nice, France, 2011, Paper 11206, p.1527, (2011)。
- 4) 日本原子力研究開発機構、高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCTプロジェクト)ーフェーズI報告書, JAEA-Evaluation 2011-003, (2011)。

著者紹介



此村 守(このむら・まもる)
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)プラント設計/炉心動特性解析

特別企画 我が国の核燃料サイクル

加速器駆動核変換技術による廃棄物処分の負担軽減 核変換専用の核燃料サイクルの技術開発で不透明な将来に備える

日本原子力研究開発機構 大井川 宏之

東京電力福島第一原子力発電所の事故を目の当たりにして、原子力の利用においては、原子炉の安全確保とともに、使用済燃料の安全な処理処分が極めて重要であることが再認識された。今こそ、原子力のバックエンドの課題克服に向けて新しい技術にチャレンジするべきではないか。欧州、中国、インドなどでは使用済燃料の処分の負担軽減やトリウム利用の早期実現を目指して加速器駆動核変換システム(ADS)の研究開発が活発化している。本稿では、ADSを中心とした核変換専用の核燃料サイクルで不透明な原子力の将来に備える方法を考える。

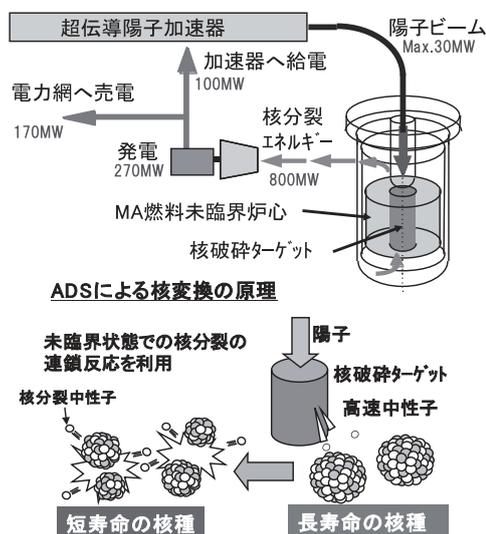
I. はじめに

現時点で現実的に核変換技術を適用できるのは、使用済燃料に含まれる超ウラン元素と¹²⁹I等の一部の長寿命の核分裂生成物(Fission Product:FP)である。我が国では世界に先駆けて1988年に「群分離・消滅処理技術研究開発長期計画」(通称、「オメガ計画」)を開始し、チェック・アンド・レビューを受けながら技術の蓄積を進めてきた。その結果、これらの核変換が可能になれば、廃棄物処分の負担が大きく軽減できる可能性があると考えられている¹⁾。本稿では加速器駆動核変換システム(Accelerator Driven System:ADS)を使った核変換技術の現状と展望を示し、その果たすべき役割について考える。

II. 加速器駆動核変換システム：ADS

1. ADSのしくみ

ADSでは、第1図に示すように、超伝導加速器で陽子を1 GeV程度まで加速し、重金属のターゲットに当てて核破砕反応により大量の中性を作り出す。核破砕ターゲットの周りには核変換の対象であるマイナーアクチノイド(Minor Actinide:MA)を大量に含んだ燃料を配置する。ネプツニウム、アメリシウム、キュリウムといったMAは、核破砕中性子を吸収して主に核分裂反応で核変換する。このとき、核分裂反応で中性子が発生するので、その中性子も核変換に使うことができる。すなわち、核分裂の連鎖反応を利用するのであるが、MA燃料は臨界状態にならないように配置するので、加速器



第1図 加速器駆動核変換システム(ADS)の概念

中性子源によって未臨界炉心での連鎖反応を維持する状態となる。1 GeVの陽子1個あたり核破砕中性子が30個程度発生し、それが未臨界炉心で約20倍に増倍されて核変換に使うことができるので、高効率での核変換が可能になる。簡単にいえば、陽子1個を600個の中性子に変えて核変換に使うわけである。未臨界状態での運転のため、緊急時には陽子ビームを止めれば核分裂反応が停止する。

核分裂反応で生じる熱は、発電に使い、加速器に給電する。余剰分は売電することも可能である。第1図に示したように、超伝導加速器には約100 MWを給電し、最大で約30 MWの高出力ビームを発生させる。未臨界炉では800 MWの熱出力が得られるので、電気出力は約270 MWとなり、加速器への給電と売電が可能である。

2. ADSの特徴

MA核種を核変換するためには、高速中性子による核

Reduction of Burden for Waste Disposal by Accelerator-driven Transmutation Technology; Preparing for unforeseeable future by nuclear fuel cycle for back-end: Hiroyuki OIGAWA.

(2012年 3月15日 受理)

分裂反応を利用するのが効率的であるが、高速増殖炉の燃料に大量のMAを添加すると、冷却材ボイド反応度が大きくなる、遅発中性子割合が小さくなるなどの安全上の問題が生じる。このため、今のところ、高速増殖炉の燃料にMAを添加できるのは、5%程度までだといわれている。一方、高速炉を未臨界状態で運転できれば、上記の問題は克服できる。このため、MAを集中的に核変換するためのツールとしてADSが注目されているのである。同じ出力規模ならADSの核変換能力は高速増殖炉の約6倍となる。

例えば、毎年800トンの使用済燃料を処理できる六ヶ所再処理工場では年間で約1トンのMAが発生するが、熱出力800 MWのADSだと4基で核変換できる。

Ⅲ. ADSで実現する革新的バックエンド

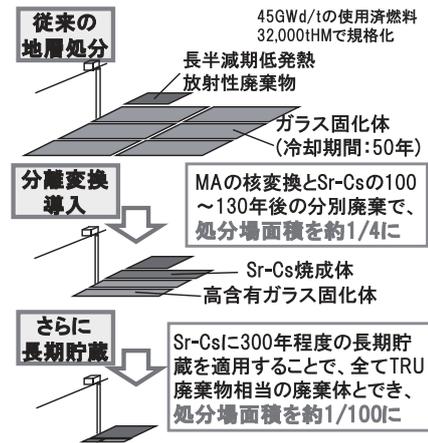
1. 分離技術と組み合わせた新しい処分概念

軽水炉で生じる使用済燃料1トン(燃焼度45 GWd/t)には、FPが40~50 kg、プルトニウムが約10 kg、MAが約1 kg含まれている。再処理でウランとプルトニウムを回収した後の高レベル廃棄物(High Level Waste: HLW)にはこのFPとMAが含まれている。MAは量的にはFPに比べて少ないが、長期間にわたって α 線を出すものが多いため、人体に摂取した時の影響(「潜在的影響度」と呼ぶ)でみると、再処理後100年経過後以降はMAが支配的となる。

そこで、MAを99%以上核変換することができれば、長期にわたるHLWの潜在的影響度を約2桁下げることができ、原料としたウラン鉱石の潜在的影響度と同等レベルにまで減衰するのに要する時間を約1万年から数百年に短縮することが可能となる。

また、HLWの発熱は、再処理直後は半減期約30年で減衰する ^{90}Sr および ^{137}Cs が支配的であるが、約150年後以降はMAである ^{241}Am (半減期433年)が支配するようになる。プルトニウムの原子炉での利用が始まると ^{241}Am の発熱の影響はより顕著になる。HLWを地層処分する際には、処分場の温度が上がりすぎないように、ある程度廃棄体同士の間隔を空けて配置する必要があるため、HLWの発熱が小さくなれば、それだけコンパクトに処分できる可能性がある。

第2図において「分離変換導入」と記したケースは、ストロンチウムおよびセシウムをHLWから分離した後に焼成体として約100年間保管した後に廃棄する概念とMAの核変換を組み合わせた概念であり、従来に比べて面積を約1/4に縮小できる。さらに300年の長期貯蔵まで視野に入れば、約1/100にできる²⁾。MAさえ核変換できれば、300年後には「高レベル」ではなく「低レベル」になっていると考えてよい。ただし、長寿命のFPはまだ残っているので、地層処分は依然として必要である。しかし、非常にコンパクトに処分できるので、今後、数百



第2図 発電量あたりに必要となる処分場面積の低減例

年間原子力発電を続けても1か所の処分場を確保できれば済む可能性が高い。300年間の長期貯蔵の負担は小さくないが、ガラス固化体に比べて耐熱性の高い焼成体を発熱性核種に適用することで、廃棄体に対する熱的制限を緩和し、発生本数の低減と貯蔵施設の簡素化を狙う。

2. 今こそ求められる柔軟性

上述の新たな処分概念は、2008年から2009年にかけて原子力委員会に設けられた分離変換技術検討会でも議論され、廃棄物処分体系の設計における自由度の増大に貢献する可能性があると評価されている。

現在、核燃料サイクルに関する不透明性は増しているが、国内に蓄積した使用済燃料の処理処分は避けられないということだけは確かである。今こそ、エネルギー生産のための核燃料サイクルとバックエンドの負担軽減のための核燃料サイクルを切り離し、後者に重点を置きながら、安全性と社会受容性の高い核変換専用のサイクルでプルトニウムとMAのマネジメントに関する将来の様々な可能性に柔軟に対応できるようにしておくべきである。ADSは様々な燃料組成に対応しやすいため、このような過渡状況におけるバックエンドのための核変換システムとして最適である。

Ⅳ. 技術の現状

1. 開発段階の評価

ADSを実用化するには、加速器、核破砕ターゲット、鉛ビスマス冷却材、未臨界炉、MA燃料とそのリサイクルなどの枢要技術について技術的な見通しを得る必要がある。これらの技術は、現在のところ概して基礎的段階から技術実証段階へ進む途中にある。加速器や核破砕ターゲットに関しては、近年、世界各国で中性子源としての開発が進んでおり、炉心や燃料については高速炉の開発と重複する部分が多い。一方で、MAを用いた実験的な研究開発は、使用できるMA量が限られていることから世界的にも停滞気味であり、この技術のブレークスルーを図るには、既存施設の改造や新規整備が必要な状況である。

2. 世界での取組み, 特にアジア

2012年2月29日に東京において国際シンポジウム「加速器駆動核変換システム(ADS)の未来」が開かれた。ADSの開発では現在、欧州が他に先んじており、特にベルギー原子力研究センターが2015年頃からの着工を目指している実験炉級ADSであるMYRRHA(熱出力50~100 MW)への期待が大きい。日本では京大炉において陽子加速器と熱中性子系臨界実験装置 KUCA を結合した基礎実験が始まっているほか、原子力機構ではJ-PARCの第Ⅱ期計画として後述する核変換実験施設の建設が検討されている。米国のフェルミラボでもADSの実験計画がある。

しかし、今回のシンポジウムで最も印象深かったのは、中国、インド、韓国の動向である。中国では、核変換のためのADSの研究開発プロジェクトが開始された。インドでは、トリウム利用のためのADSの開発が進められている。韓国では大規模なADS開発計画はないが、核燃料サイクルのライフサイクル評価が行われ、ADSの優位性が示された。アジア諸国とはこれまで約10年間にわたって研究者レベルでの交流を進めてきたが、今後はより一層緊密な連携を図る必要がある。シンポジウムのパネル討論でも、各国の原子力政策に差はあるものの、ADSへの期待は共通なものであり、国際協力の促進を図っていくことが確認された。

中国やインドの積極姿勢は、欧州と日本の技術開発や関連施設の拡充の動きを見てのものであり、特に欧州はアジア勢をうまく取り込みながら開発を優位に進めようとする意図が感じられる。

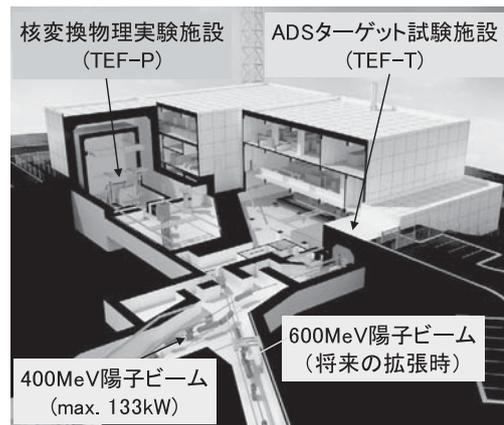
3. J-PARCの核変換実験施設の役割

ADSの研究開発を行う上で、専用の加速器を建設するのは容易ではない。しかし、J-PARCは400 MeVの陽子を取り出せるように建設されており、さらに600 MeVへの拡張も考慮されている。加えて、高速炉の炉心やMA燃料に関する技術も、これまでの高速増殖炉や再処理の開発で蓄積された技術の応用である。すなわち、我が国以上にADSの開発に相応しい国は他になく、放射性廃棄物の負担軽減という人類共通の課題の解決に向けた世界の取組みを積極的に牽引すべきであろう。

核変換実験施設は第3図に示すように、臨界/未臨界の実験が可能な「核変換物理実験施設(TEF-P)」と、核燃料を使わずに主に核破砕ターゲットの技術開発や材料照射などを行う「ADSターゲット試験施設(TEF-T)」で構成する³⁾。TEF-PではkgオーダーのMAを燃料として装荷し、様々な核変換システムの物理的な特性把握を行う。

IV. おわりに

ADSの開発は、核物理・陽子加速器・核破砕ターゲットといったこれまで物理学分野で培われてきた科学技術



第3図 J-PARCにおける核変換実験施設の概念図

と、原子炉・核燃料・材料・分離化学・廃棄物処理処分といった原子力分野の科学技術の融合が必要であり、一朝一夕で実現できるものではない。これだけの広い分野の英知を結集する機会を20年以上前にスタートしたオメガ計画が今与えてくれている。新技術の実現には、既存の枠を破る新たな発想が不可欠であり、原子力の外の分野の力も合わせて困難を克服していくべきときである。

東京電力福島第一原子力発電所事故の後、筆者の元には、「セシウム137を消せるのか?」、「使用済燃料を丸ごと無害化できるのか?」といった問合せが続いている。エネルギー効率、分離性能、コストといった側面を考えると、大変に難しい問題であるが、社会の期待は高まっている。この際、できることとできないことを明確にしつつ、オメガ計画を新たなフェーズとして国を挙げて再チャレンジする時機ではないか。革新的な技術開発の宝庫となりえるJ-PARCや周辺の核燃料サイクル関連の研究施設を中心に、世界の英知・人材を結集して期待に応えるべく努力していきたい。

—参考資料—

- 1) 「分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方」平成21年4月28日、原子力委員会・研究開発専門部会・分離変換技術検討会(2009).
- 2) K. Nishihara, *et al.*, "Impact of Partitioning and Transmutation on LWR High-Level Waste Disposal," *J. Nucl. Sci. Technol.*, 45[1], 84(2008).
- 3) H. Oigawa, *et al.*, "Conceptual Design of Transmutation Experimental Facility," *Proc. GLOBAL 2001*, Paris, France, (2001).

著者紹介



大井川宏之(おおいがわ・ひろゆき)
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)原子炉物理, 核変換/
特に加速器駆動核変換システム, 分離変換
技術の導入効果

政府の福島原子力発電所事故調査・検証委員会の中間報告について

九州大学 吉岡 斉

政府の東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会は2011年12月26日、中間報告を発表した。本稿では、委員を務めている筆者が、原子力学会員のために、委員会の調査・検証活動の経過と、それによって得られた委員たちの共通認識について、刑事裁判の捜査資料に特有の文体に必ずしも精通していない読者を念頭において、分かりやすく解説する。「ないこと尽くしの原子炉過酷事故対策」というのが、中間報告の結論である。

I. はじめに

菅直人首相(当時)を首班とする内閣は2011年5月24日、東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会(以下、政府原発事故調と略記)の設置を閣議決定した。同時に「失敗学」の提唱で知られる機械工学専攻の畑村洋太郎氏(東京大学名誉教授、工学院大学教授)が委員長に指名された。その3日後の5月27日、菅首相により他9名の委員(後述)が指名された。この委員会は当初、法律に基づいて設置される構想だったが、与野党逆転国会において自由民主党(以下、自民党と略記)をはじめとする野党の同意が得られないと判断し、菅内閣は閣議決定での設置に踏み切ったと聞く。

福島原発事故の特徴のひとつは、長期にわたって事故が収束しないことにあり、原子炉の状態に一定の落ち着きが見られるようになったのは、5月に入ってからのことである。それを見届けてから政府原発事故調は発足したのだが、当初から根本的な困難を抱えて出発した。放射能汚染により原子炉建屋内に入ることは困難であり、実地検証(現地検証、現場検証などとも呼ばれる)が全く不可能なのである。そうした制約のもとで政府原発事故調は調査・検証活動を進めてきた。

政府原発事故調は、6月からの約半年間にわたる調査活動を踏まえて、12月26日に中間報告を発表した。年末までに中間報告を提出する義務は、設置に関する閣議決定には記されていない。しかし2011年内に中間報告をまとめねばならないという責任感が、委員とスタッフの間に充満していた。これら委員とスタッフの奮闘努力のかいあって、経過報告のような簡素なものではなく、一定

の完成度に達する中間報告を、年内にまとめることができた。それでも政府原発事故調は調査・検証のペースを緩めず、2012年7月に最終報告をまとめるべく活動を続けている。7月とした理由のひとつは、国家公務員の人事異動の時期に合わせるためである。

この解説では導入部に当たる第I章に続き、第II章から第IV章では政府原発事故調の調査・検証活動の概要について概観する。第V章と第VI章では、中間報告の構成と、それに含まれる主要命題について説明する。第VII章では、福島原発事故において現実化する可能性があった最善ケースと最悪ケースについて述べる。第VIII章では、中間報告の弱点について論じた上で、政府原発事故調の今後の課題について論ずる。あらかじめ断っておくと、この小論における事実関係の説明以外の記述は、政府原発事故調の公式見解ではなく、その一委員としての筆者の見解を述べるものである。

II. 政府原発事故調の設置

政府原発事故調の目的は「東京電力株式会社福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における事故の原因及び当該事故による被害の原因を究明するための調査・検証を、国民の目線に立って開かれた中立的な立場から多角的に行い、もって当該事故による被害の拡大防止及び同種事故の再発防止等に関する政策提言を行うこと」である。ここで同種事故というのは、地震・津波を原因とするものに限らず、原子炉過酷事故全般を指すものと考えてよい。

閣議決定には「関係大臣等の責務」に関する規定がある。そこには以下の2点が記されている。

- (1) 関係大臣及び関係行政機関の職員は、検証委員会の運営に最大限協力するものとし、正当な理由がない限り、検証委員会からの資料提出及び説明聴取等の要請を拒むことはできないものとする。

An Outline of the Interim Report of the Investigation Committee on the Accident at Fukushima Nuclear Power Stations : Hitoshi YOSHIOKA.

(2012年 2月21日 受理)

(2) 関係大臣は、検証委員会から関係事業者を対象とする実地調査の受入れ、資料提出及び説明聴取等の要請があった場合には、法令に定められた権限に基づき、これに応じるよう事業者に対し指示を行うものとする。

閣議決定は法律とは異なり、政府機関とその職員以外に対して協力義務を課すことはできない。したがって電力会社(東京電力等)やメーカー(GE, 東芝, 日立)などの民間企業やその職員は、委員会の要請に基づく大臣の指示を拒むことができる。法律で設置することが望ましいゆえんである。これが委員会のひとつの弱点である。もうひとつの弱点は、閣議決定に総理大臣による尊重義務が明記されていないことである。

アメリカのカーター大統領は、スリーマイル島原発事故の直後の1979年4月11日、「今後いかなる原子力事故も防ぎうるような勧告を作成」させるため、ダートマス大学学長の数学者ジョン・ケメニーを委員長とする大統領委員会を設置した。ケメニー委員会は12回の公聴会と、スタッフによる150回以上の証人喚問を行い、10月30日に報告を提出した。その審議の焦点は原発の許認可モラトリアム(免許停止)の是非だったが、票決の結果、免許停止の結論は出なかった。しかし原子力規制委員会(NRC)の抜本的改組など多くの勧告を行い、その骨子がカーター大統領の政策に反映された。福島原発事故調は日本版ケメニー委員会に相当する。その政策提言を尊重して内閣が原子力安全規制政策の改革を進めることが見込まれている。

Ⅲ. 政府原発事故調の組織

政府原発事故調の組織について説明しておく。委員長は前述のように畑村洋太郎氏である。他に以下9名の委員が首相によって指名された(研究者のみ専門分野を付記する)。尾池和夫(国際高等研究所所長, 前京都大学総長, 地震学), 柿沼志津子(放射線医学総合研究所チームリーダー, 放射線生物学), 高須幸雄(前国際連合日本政府代表部特命全権大使), 高野利雄(弁護士, 元名古屋高等検察庁検事長), 田中靖郎(明治大学教授, 元札幌高等裁判所長官), 林陽子(弁護士), 古川道郎(福島県川俣町長), 柳田邦男委員長代理(作家, 評論家), 吉岡斉(九州大学副学長, 科学技術史)。

なお委員長の提案と委員会での承認により、柳田邦男委員が委員長代理を務めることとなった。また実質的な委員として調査・検証活動を行う技術顧問として、畑村委員長から以下の2名が指名され、委員会で承認された。安倍誠治(関西大学教授, 経営学・社会安全学)。淵上正郎(株小松製作所顧問, 機械工学)。

こうして畑村委員会の構成員は実質12名となった。委員と技術顧問については、原子力事業の利害関係者は原則的に除外されている。柿沼委員は原子力関係の研究機

関の現役職員であるが、内閣官房の審査において実質的に利害関係が薄いと判断されたものと推定される。また吉岡委員は原子力関係の政府審議会で10年以上にわたり委員を務めた経歴をもつが、最近では委員を務めていない。また実質的観点からみれば、吉岡委員は原子力事業の利害関係者でない。

これに対して事務局は約40名の体制となった。事務局長には小川新二内閣審議官(最高検察庁検事から出向)が指名された。事務局は総括班(10名)と以下3つのチームからなる。社会システム等検証チーム。事故原因等調査チーム。被害拡大防止対策等検証チーム。それぞれ2~3名ずつの非常勤の外部専門家と、5~8名ずつの各府省庁から出向してきた常勤の国家公務員からなる。30名以上の常勤スタッフを擁する充実した組織となっている。なお事務局は東京大手町の合同庁舎3号館に置かれている。

外部専門家は、以下のとおりである。(1)社会システム等検証チーム：堀井秀之(東京大学教授, 社会技術論), 城山英明(東京大学教授, 行政学)。(2)事故原因等調査チーム：越塚誠一(東京大学教授, コンピュータシミュレーション, 原子炉過酷事故解析), 大井川宏之(日本原子力研究開発機構室長, 原子炉物理), 中曽根裕司(東京理科大学教授, 材料強度学, シミュレーション工学)。(3)被害拡大防止対策等検証チーム：片田敏孝(群馬大学教授, 災害情報・避難行動・防災教育), 矢守克也(京都大学教授, 防災関連), 関谷直也(東洋大学准教授, 社会心理・災害情報論)。

事故原因等調査チームの外部専門家3名中2名は、原子力の専門家であり、うち1名は原子力関係の研究機関の現役職員であるが、内閣官房の関係者は原子力の専門家でなければ、原子炉事故の原因究明に適任ではないという認識に立って、このような人選をしたのかも知れない。報告に対する決定権をもつ委員ならば、利害関係者が加わることが物議を醸す可能性があるが、委員をサポートする外部専門家ならば問題はないという判断も、内閣官房にはあったかも知れない。事務局メンバーについては、詳細は外部には公表されていないが、事務局の説明によれば経済産業省や文部科学省などにおける原子力に関する部署からは原則的に選任されていない(ただし総括班には渉外担当として含まれる)。このように委員、専門家、事務職員の原子力事業に対する独立性は、厳格ではないがそれなりに確保されている。

Ⅳ. 政府原発事故調の活動概要

政府原発事故調は6月より、調査・検証活動を本格的に開始した。それは10月半ばまでは、委員・技術顧問が東日本各地の原発の視察を重ねる一方で、事務局が事故関係者のヒアリングを進めるという二元的な様式で進められた。もちろん2つのグループは月1回開かれる公式

の委員会や、非公式の検討会(ミーティング)で、意見交換を重ねつつ、それぞれの活動を進めた。

委員会は2011年内に合計8回の視察を実施した。視察は主として東日本の原子力発電所を対象としたもので、福島第一・第二(2つのグループに分けて)、東海第二、柏崎刈羽、浜岡、女川の6カ所をめぐる。また東北電力原町火力発電所、事故対策統合本部(東京電力本店)を視察した。それに加えて大熊町長・双葉町長からの意見聴取(埼玉県加須市、福島県会津若松市)を実施した。被災市町村の首長からの意見聴取は2012年に入ってから継続して実施されている。

こうした視察により委員・技術顧問は原子炉の仕組みや事故防止対策の実際について学んだ。こうした現場の疑似体験を重ねることにより、福島第一原発の原子炉建屋内での実地検証が全く不可能な状況下でも、委員・技術顧問たちはそれぞれ、事故進行プロセスについて全体的イメージを抱くことができるようになった。また電力会社ごとの比較、発電所ごとの比較という視点を導入することができた。なお国際原子力事象評価尺度 INES のレベル7事故として福島事故に並ぶウクライナのチェルノブイリ原子力発電所とその周辺地域についても、視察対象に含めることが内部で検討されたが、実施は見送られた。

一方で事務局の3つのチームは精力的に、福島原発事故の関係者へのヒアリングを進めた。ヒアリングは事務局が主体となって実施するが、その日時と場所は原則として事前に委員・技術顧問に通知される。委員・技術顧問は必要に応じてヒアリングに同席することができる。またヒアリング結果は対象者が拒否する場合を除いて録音され、文書として事務局に保管される。その記録文書を委員・技術顧問は自由に閲覧でき、必要に応じて第三者への非開示を条件に複写を受け取ることができる。ヒアリングに際しては対象者から関係文書の提供も行われ、それらも保管される。

ヒアリング対象者は2011年内だけで450名をこえ、ヒアリング時間は900時間をこえた。ほとんど全ての対象者がヒアリングにおける質疑応答の録音を許可してくれたが、2011年内の全てのヒアリングは非公開で行われた。中間報告発表後も高密度でのヒアリング活動は続いている。

そうした透明度の低さは、委員会運営においても際立っている。委員会の活動は第1回、第2回、第6回の委員会を除いて、全て非公開で行われた。公開された3回の委員会についても報道関係者以外に対する門戸は閉ざされた。視察も全て非公開となった。政府原発事故調では月1回の公式の委員会の他にも、2011年内に十数回の検討会(ミーティング)が開催された。その大半は公式の委員会と同じく大部分の委員・技術顧問が集まり、長時間の議論を行う場となった。しかしそれらも全て非公

開となった。

原子力政策関係では1995年の高速増殖炉もんじゅ事故を契機として、審議会の透明性が一気に高まったが、それとの落差は今回の政府原発事故調では顕著である。そうした透明度の低さのために報道関係者は、一般に脇の甘いといわれる委員・技術顧問に猛烈なアタックを仕掛け、自宅前待ち伏せなど朝飯前の芸能記者のような取材活動を展開し、委員たちを辟易させた。

V. 中間報告の構成

中間報告は本文編500ページ余り、資料編200ページ余り、合計700ページを超える大部のレポートとなった。それは以下の全7章からなる。

- 第1章 はじめに
- 第2章 福島第一原子力発電所における事故の概要
- 第3章 災害発生後の組織的対応状況
- 第4章 東京電力福島第一原子力発電所における事故対処
- 第5章 福島第一原子力発電所における事故に対しとして発電所外でなされた事故対処
- 第6章 事故の未然防止、被害の拡大防止に関連して検討する必要がある事項
- 第7章 これまでの調査・検証から判明した問題点の考察と提言

このうち第1章から第6章までは事実認定に関わる章である。そして最後の第7章が評価と提言に関わる章である。中間報告の起草作業は2011年10月から始まった。その主導権は事務局が握った。第1章から第6章までの文案を作成したのは事務局であり、それをたたき台として何度も長時間の会議を開いて委員・技術顧問が注文をつけ、事務局長・各チームのチーム長・副チーム長(参事官)も交えて侃々諤々の協議をし、大幅な加筆・削除・修正を加えた上で中間報告としてまとめられた。第7章だけは委員・技術顧問のワーキンググループが起草したが、内容的には事務局作成の6つの章の文案をベースとして、ワーキンググループが所見を付け加えるという形で、文案が出来上がった。それをまた全体会議で厳しく吟味し、最後に中間報告に組み込んだ。

12月26日に発表された中間報告の内容については、政府事故調のウェブサイトから簡単に入手できるので、ご一読願いたい(<http://icanps.go.jp/post-1.html>)。この中間報告の最大の意義は、東京電力と政府の原子力防災対策が、事故発生前も事故発生後も多くの欠陥(必ずしも故意や過失とは限らない)を含んでいたことを、明らかにした点にある。この中間報告に書籍タイトルのようなキーワードを付けるとすれば「ないこと尽くしの原子炉過酷事故対策」が妥当であろう。過酷事故が起こること自体が事実上「想定外」とされていたため、防災の観点から事故発生前に実施されるべき多くの事柄が放置され

ていた。また事故発生後の対処がきわめて稚拙であった。そのことが明らかになったのである。

VI. 中間報告が明らかにした原子力防災対策の欠陥

中間報告における原子力防災対策の欠陥の記述は、大きく4項目にわたっている。

- (1) 指揮系統の機能障害(中間報告第3章)
- (2) 福島第一原子力発電所のオンサイトの事故対処の欠陥(中間報告第4章)
- (3) 福島第一原子力発電所のオフサイトの事故対処の欠陥(中間報告第5章)
- (4) 過酷事故に対する事前対策の不備(中間報告第6章)

どの項目についても対策の欠陥がリストアップされており、代表的なものは以下の通りである。

(1)に関しては、政府の原子力災害対策本部が置かれた首相官邸危機管理センター(緊急参集チーム)、原子力安全・保安院にある経済産業省緊急時対応センター(ERC)、現地対策本部(オフサイトセンター)などがほとんど機能せず、首相執務室・東京電力本店・福島第一原発の三者による指揮系統が実質的に作られたが、これら上位組織はあまり機能せず、福島第一原発の発電所対策本部(免震重要棟)が事故対応の主役を果たした、という実態が明らかにされている。つまり原子力災害対策特別措置法(原災法)に規定された政府主導のクライシス・マネジメント体制が機能しなかったのである。

(2)に関しては、非常に詳しい事実関係の把握がなされていると、評価して下さる方々が少なくない。いわば中間報告の白眉と言ってよい。中間報告はここで、2つの重大ミスを明らかにしている。まず1号機については、非常用復水器(IC)が津波襲来時に、4つの隔離弁全てが自動的に全閉又はそれに近い状態となり、機能を喪失したにもかかわらず、現場(免震重要棟にある発電所対策本部、および原子炉内の中央制御室)の関係者と、東京の政府・東京電力の関係者がともにその可能性に気づかず、それが1号機建屋のわずか数時間後の炉心溶融と、1日後の水素爆発につながった可能性が濃厚となった。また3号機については、タービン駆動の高圧注水系(HPCI)を当直の判断で停止し、それを再び起動できなかったことが、事故の進展を早めた可能性が濃厚となった。

(3)に関しては、初期モニタリング、SPEEDI(緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム)からの情報の取り扱い、住民の避難の取り組み、作業員や住民の被曝対策、国民や国際社会への情報提供の5つの項目を中心に、考察が加えられている。いずれに関してもきわめて厳しい評価を、中間報告は下している。主要な問題は2つある。第1は、政府対策本部自身が防災の観点から

的確な方針を示すことができないケースが多かったことである。第2は、住民・国民からみて信頼できるクライシス情報・リスク情報を、政府対策本部が発信できないケースが多かったことである。

(4)に関しては、中間報告では、津波対策と緊急時シビアアクシデント・マネジメント対策の2つに絞って、安全規制機関および東京電力における事前対策の妥当性を検討している。前者については、政府においても東京電力においても津波対策が地震対策と比べても大幅に手薄だったことと、東京電力の津波に関する想定がきわめて甘かったということが明らかとなった。とくに巨大津波が押し寄せる危険性について東京電力が早くから認識していたのに対策を放置していたことが明らかとなった。後者についても全電源喪失が長時間に及ぶ可能性を全く考慮していないなど、きわめて対策が手薄だったことが明らかとなった。

報告書全体の中でオリジナリティの高い論点は2つある。第1は、1号機の非常用復水器(IC)が機能するという思い込みが炉心溶融の時期を大幅に早めたという仮説の提唱である。それにはかなり有力な状況証拠が添えられている。第2は、巨大津波の危険性を東京電力が放置し、安全規制当局もそれを容認してきた経緯の解明である。

ただ残念なことに中間報告では、福島第一原発(とりわけ1・2・3号機の3基の原子炉)における物理的(物理学的という意味ではなく、物質的という意味で用いる)な事故進行プロセスについては、ほとんど言及されていない。記述のほとんどは人と組織の対応に当てられている。しかし物理的な事故進行プロセスと密接に関連づけて、人と組織の事故対処行動を描くことによって、その適切さの評価ができるのであるから、その本格的な究明は不可欠である。

実地検証が今後長期にわたり実施できないという根本的な限界はあるが、原子炉の実際の構造に精通するエンジニア、とりわけ原子炉メーカーのエンジニアたちの見解を体系的に収集し、それを素材として幾つかの仮説的シナリオを立ててみることは現時点でも可能である。もちろんシナリオを1本に絞る必要はない。

VII. 現実化の可能性があった最善ケースと最悪ケース

福島原発事故について誰もが知りたいと思うのは、この事故が最悪の場合どのような結果になり得たか、また最善の事故対策がなされた場合、どの程度で納まったかという問いである。

最悪ケースはもちろん、福島第一原発にある核燃料装荷中の5基の原子炉の「チャイナ・シンドローム」(中間報告223ページ)と、6基の核燃料プールからの放射性ガスの際限なき放出、というシナリオである。敷地内で1

基でも格納容器大破壊に至れば、5・6号機も総員退去となり、1台だけ生き残った6号機の非常用ディーゼル発電機の燃料が尽き、1・2・3号機と同じ運命をたどつたに違いない。

場合によっては12キロメートル南方にある福島第二原発でも、福島第一原発からの高濃度の放射能雲の飛来により同様の事態となった可能性がある。そうした想定は福島第一原発の対策本部の吉田所長はもちろん、政府対策本部の幹部の間でも共有されていたと考えられる。最悪の場合には首都圏住民3,000万人の避難も想定されていた。にもかかわらず首相官邸はその危険性について国民に警告を発することをしなかった。

ちなみに筆者は3月15日に2号機および4号機で異変が起きたことを契機に、最悪ケースが起こりうることを察知した。そしてマスメディアからの取材に対しても、その危険性について警告を発するようになった。事故の進行を食い止めるにはひたすら冷却水注入を続けて時間を稼ぎ、放射能の減衰を待つしかないと考え、そのようにマスメディアに回答した。事故から1年を経過しようとしている現在においても、そうした状態が続いているものと理解している。幸運にもその後、破局的な事象が発生することはなかった。なぜ最悪ケースが回避されたのかについては、実地検証を待たねば真相究明は困難である。

最善ケースについては、もし1号機の非常用復水器(IC)が作動していれば、事故進行ペースを大幅に遅らせることができただろう。その間に1・2・3号機のベントと消防車による冷却水注入を手際よく進めていけば、3基のうち1基も炉心溶融に至らずに済んだ可能性がある。少なくとも炉心溶融に至る原子炉の基数を減らすことにより、被害規模を軽減できた可能性はある(中間報告138ページ, 191ページ, 228ページ)。

しかし所内に残った少数の関係者が、外部からの支援が限られている中で、とりわけ人的支援がほとんど見込めない中で、果たして最善の対処法を発見し得たかどうか、あるいは発見しても現実的に実行する機動力を保持し得たかどうかが問題となる。

VIII. 政府原発事故調の今後の課題

この中間報告には多くの弱点がある。そのうち主要なものを列挙する。

- (1) 裁判所に提出する捜査資料のような文書の書き方であり。そのため不特定多数の読者に、要点を短時

間で要領よく効果的に伝えるような書き方になっていない。

- (2) 同じ理由で、裁判において証拠として活用できないという意味で、不確実なことについて書くことがタブーとなっている。
- (3) 中間報告に書いていない事象は以下の3種類のいずれかに該当するが、その書き分けがなされていない。ア. 調べた上で起こっていないことが確認された事象。イ. 調べた上でこの事故に直接関係ないと判断された事象。ウ. まだ調べていない事象。
- (4) 今回の事故に直接関係する事象のみを、調査・検証の対象としている。直接的な関係の薄い事柄については、たとえ重要であっても言及していないことが多い。
- (5) 大抵の命題に関して、それを裏付ける証拠が示されないため、第三者による検証が不可能である。ヒアリングがすべて非公開を前提に行われたことがその背景にある。
- (6) 固有名詞のレベルでの因果関係の究明が不十分である。個人の責任を問わないという委員会の基本姿勢が、ネガティブな影響をもたらしている側面がある。
- (7) 事故進展の物理的メカニズムに関する究明がほとんどなされていない。これについてはメーカー技術者の証言を期待している。
- (8) 世界で原発過酷事故を二度と起こさないという観点からの考察が、きわめて不十分である。今回の事故のみに焦点を合わせたことの代償である。
- (9) 政治家に対するヒアリングが完了していない。また東京電力本店と福島第一原発とのテレビ会議の詳細、福島第二原発における事態の推移、計画停電問題、損害賠償問題など多くの問題についてほとんど検討していない。

ともあれ政府原発事故調は本年7月下旬の最終報告発表を目標に、引き続き精力的に調査・検証活動を進めていく。筆者もそれに全力で貢献したいと考えている。

著者紹介



吉岡 斉(よしおか・ひとし)

九州大学

(関心分野/専門分野) 科学技術史・科学技術政策を専攻し、1990年代からは核エネルギー分野を主たる研究対象としている。

解説

福島第一原子力発電所事故後の除染の現状と 今後の計画

避難住民の早期帰還に向けて

環境省 福島除染推進チーム 森谷 賢

平成23年3月11日に発生した未曾有の規模の地震後、福島第一原子力発電所原子炉建屋で生じた水素爆発により、福島県を中心に大量の放射性物質が飛散する事態となつてほぼ1年が経過した。この間、政府では住民の放射線被ばく防護の観点から住民の避難区域指定を行うとともに、早期の住民帰還のための速やかな除染活動の実施に向け、法的整備や除染対応の組織整備・人員増員などの環境整備と並行しつつモデル除染事業等を進めてきた。本稿では、これまでの約1年間の環境省での除染への取り組み状況と今後の計画を紹介する。

I. はじめに

平成23年3月11日に発生したマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震に伴って生じた巨大津波により、福島第一原子力発電所が全電源喪失状態に陥った。その後、これを原因として同月12～15日にかけて原子炉建屋内で水素爆発などが生じ、一般環境中に大量に放射性物質が拡散する事態に至った。政府ではこの間、発電所周辺住民の圏外避難と屋内退避措置を緊急的に行い、その後、放射線量モニタリング結果に基づいて計画的避難区域等避難対象地域を定めた。避難は一部の解除区域を除き現在に至るまで続いており、住民には精神的、経済的負担など多くの負担を強いているのが現状である。

このような重大な原子力災害が発生した場合の緊急時の対応として原子力災害対策特別措置法が定められていたものの、放射性物質で汚染された土壌や災害廃棄物の処理に関する法律は当時未整備であり、さらに、従来の原子力行政への批判への対応も喫緊の課題となった。このため、政府では環境省を主管官庁として、放射能汚染に対応するための新たな法律に基づく体制整備と、原子力行政の舵取りを担う原子力規制庁の立ち上げを決定した。環境省では住民の早期の帰還に向け、福島県内の除染の計画づくりやその実施等に全力を傾けている。

ここでは、これらのうち、放射性物質で汚染された土壌、家屋、道路、農地ならびに森林などの除染(放射線量低減化)のための取り組みを対象として、これまでの活動と今後の計画について紹介する。

Decontamination of Radionuclides after Fukushima 1st NPPs Accidents; Toward an Early Return of Evacuated Local Residents : Masaru MORIYA.

(2012年 2月14日 受理)

II. 放射能汚染被害の現状

1. 放射能汚染の現状

原子力安全委員会によると、地震後の建屋内で生じた水素爆発などによって、平成23年3月11日から4月5日までに環境中に放出されたセシウム137の総量は 1.3×10^{16} Bqと試算されている。平成23年9月12日に文部科学省から公表された航空機モニタリングによる空間線量率の分布を第1図に示す。これによると、福島第一原子力発電所から半径20 km 圏内では $3.8 \mu\text{Sv/h}$ を超える地域が広く分布し、 $19 \mu\text{Sv/h}$ を超える高放射線量領域が発電所から北西方向に約30 km まで帯状に広がっている。また、福島市から白河市に続く福島県中通り地方でも $1 \mu\text{Sv/h}$ 程度の線量が観測され、さらに、福島県外でも岩手県、宮城県、栃木県、群馬県、茨城県、千葉県などにも $0.23 \mu\text{Sv/h}$ 以上のエリアが分布している。なお、福島県西部の会津地方ではおおむね $0.23 \mu\text{Sv/h}$ 程度以下である。



第1図 航空機モニタリング結果 (<http://ramap.jaea.go.jp/map/map.html>)

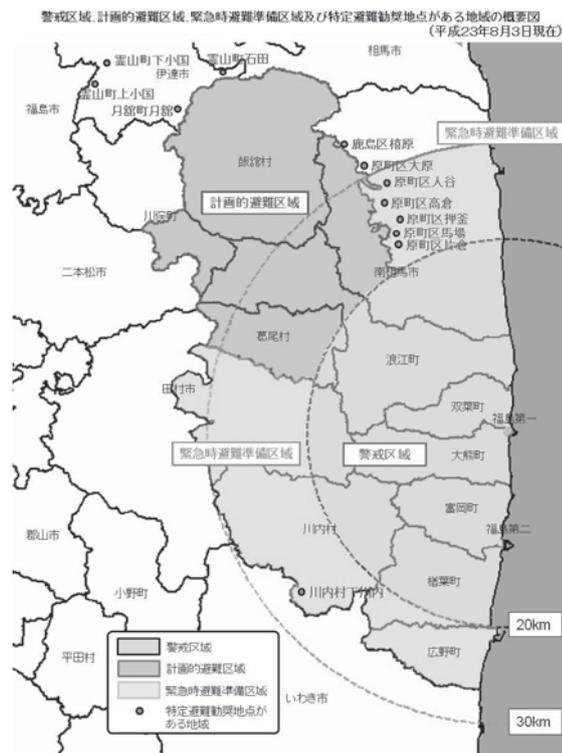
2. 住民の避難状況

政府では、事故直後の3月11日に福島第一原子力発電所から半径20 km 区域内に緊急的な避難指示を出すとともに、原子力災害特別措置法に基づき、4月22日には第2図に示すように同区域を原則立入り禁止とする警戒区域に、また、放射線モニタリング結果に基づき線量が20 mSv/年に達する可能性のある地域を計画的避難区域に、さらに、半径約30 km 圏内を緊急時避難準備区域にそれぞれ指定した。福島第二原子力発電所から半径10 km 圏も警戒区域に指定されたが、平成23年12月26日には解除されている。図中の警戒区域では全住民が、計画的避難区域でもほぼ全員が現在も避難している。緊急時避難準備区域は昨年9月30日に解除され一部住民の帰還が始まった。内閣府の調査では、昨年12月15日時点で福島県内の避難者数は約9.5万人で、警戒区域内人口7.8万人と計画的避難区域1.0万人がその大半を占めている。

Ⅲ. 除染事業の推進に向けた取り組み

1. 除染に対する基本的考え方

住民の長期的避難を伴う原子力災害事故というわが国で過去に経験のない放射能汚染事態への対応として、平成23年8月26日に政府の原子力災害対策本部が決定した「除染に関する緊急実施方針」に基づいて福島県内では除染が進められてきた。その基本方針の内容は、国際放射線防護委員会(ICRP)や原子力安全委員会の考え方を踏まえ、警戒区域や計画的避難区域など追加被ばく線量が20 mSv/年を超える地域(緊急時被ばく状況)では年間20

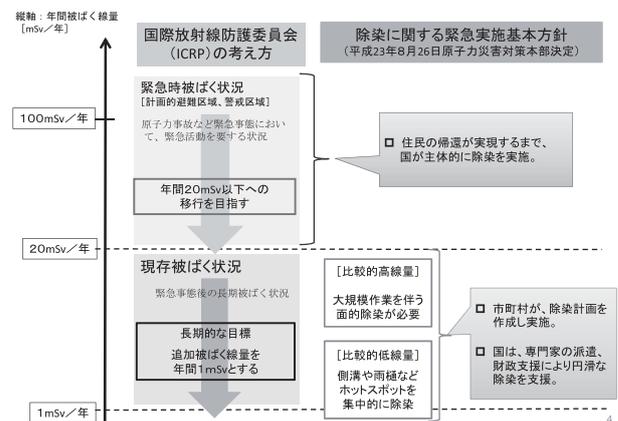


第2図 避難区域指定 (<http://www.meti.go.jp/press/2011/09/20110930015/20110930015-12.pdf>)

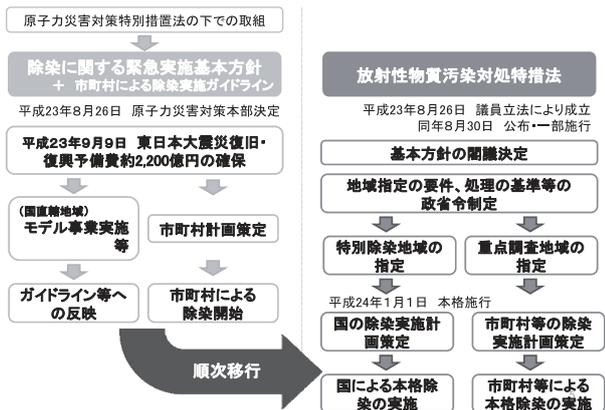
mSv への低下を目指して、住民の帰還が実現するまで国が主体となり除染を実施し、また、区域指定を受けない追加被ばく線量が1~20 mSv/年の地域(現存被ばく状況)では、長期的に年間1 mSv への低下を目指して市町村に除染計画を策定・実施してもらい、国は市町村に対して専門家派遣や財政措置を行う、としている。さらに、除染実施に際しての追加被ばく線量の低減目標として、2年後までに一般公衆は約50%(自然減衰40%、除染10%)、子どもは約60%(同40%、20%)の減少を目指している。以上の考え方を第3図に示す。

2. 放射性物質汚染対処特措法

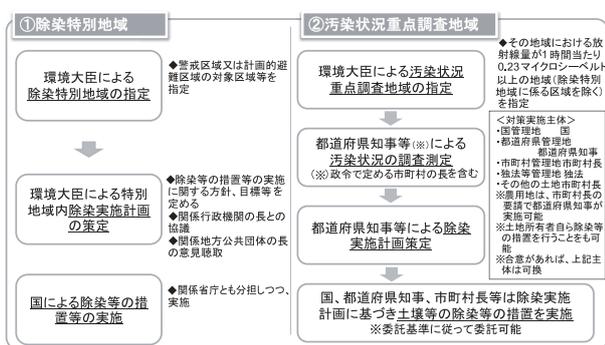
平成23年8月26日には、前述の除染に関する緊急実施方針を引き継ぎ、第4図のように、内容が整合する形で放射性物質汚染対処特措法(以下、「特措法」)が成立し、平成24年1月1日に全面施行された。同法では、放射性物質によって汚染された土壌等の除染等の措置に加え、廃棄物の処理についても定めているが、ここでは、除染に関する内容を紹介する。第5図のように、同法では除染等の措置として、追加被ばく線量が20 mSv/年を超える汚染が著しい地域を対象に環境大臣が除染特別地域を指定し、国が除染計画の策定と実施を進め、追加被ばく線量が1~20 mSv/年の地域を対象に汚染状況重点調査地域(以下、「重点地域」)を指定し、市町村による調査、計画策定、除染措置を進める、と規定している。なお、重点地域での市町村による円滑な除染のため、省令とガイドラインにより汚染状況測定、除染、除去土壌の収集・運搬ならびに保管に関する事項を定めている。同法に基づき、平成23年12月28日には除染特別地域として福島県下の楢葉町、富岡町、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村および飯館村の全域ならびに田村市、南相馬市、川俣町および川内村の区域のうち警戒区域または計画的避難区域である区域が、また重点地域に8県102(のちに104)の市町村(福島県内では中通り地方など40(のちに41)市町村)が各々指定された。



第3図 除染実施に関する基本的考え方



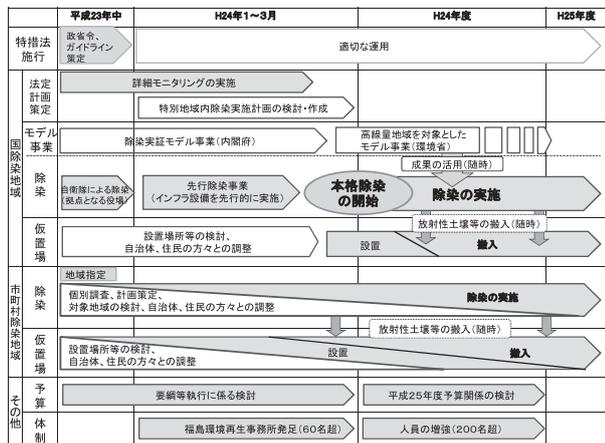
第4図 除染実施に関する枠組み



第5図 特措法による除染等の措置

3. 除染スケジュール

第6図は除染の推進に向けた大まかなスケジュールを示したものである。国直轄の除染事業として、平成23年11月より、効果的な除染方法等の確立に向けた「除染実証モデル事業」が、また特措法が全面施行された平成24年1月からは「先行除染」に続き「本格除染」が順次開始される。一方、市町村が実施主体となる除染は法定除染計画の策定が完了した自治体より順次事業化が進められる。除染により発生した除去土壌等は各市町村に設ける仮置き場で3年程度保管した後、現在、福島県内での立地を検討中の中間貯蔵施設への搬入が開始される計画で



第6図 除染の推進に向けた今後の大まかな流れ

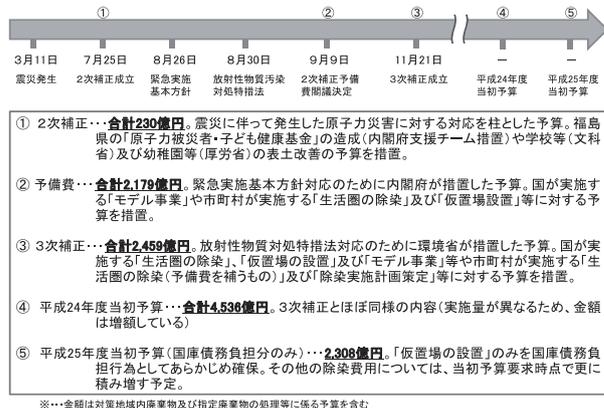
ある。平成23年10月29日に環境省が示した中間貯蔵施設等の基本的考え方(ロードマップ)で、仮置き場および中間貯蔵施設における安全確保の考え方が示されており、除染廃棄物等は中間貯蔵施設における30年程度の保管の後、福島県外で最終処分される計画である。なお、平成23年12月28日には、細野環境大臣より福島県知事および双葉郡8町村長・議会議長に対して、双葉郡での中間貯蔵施設の立地の検討をお願いしたところである。

4. 財政措置

特措法では「国は、福島原発事故由来の放射性物質による環境の汚染への対処に関し、必要な措置を講じるとともに、地方公共団体が講じる措置に対して、財政上その他の措置を講ずる」としている。すなわち、計画立案、除染、モニタリング、仮置き場の建設など除染に係るすべての必要な費用は国で財政負担を行う。例えば、福島県内において市町村が実施する除染事業に対しては、県に設けられた基金を通じ、国からの財政的な措置が行われている。現在までの除染に関する予算は第7図のようで、要求額を含め平成25年度当初予算までの総額は1.17兆円に上る。

5. 行政組織体制の整備

除染事業の本格化に対応するため、平成23年8月に原子力災害現地対策本部に、環境省、内閣府、日本原子力研究開発機構で構成する福島除染推進チームを組織し(うち環境省5名)、その後、年内は、派遣、人員拡充、他省連携による出向などにより順次陣容の充実を図ってきた(現在26名)。平成24年1月からは新規採用の任期付職員と農水省出向者の確保(現在38名)により人員を拡充し、東北地方環境事務所の下に環境省福島環境再生事務所を立ち上げ、きめ細かい市町村対応を図っているところである。さらに、平成24年4月からは職員の新規雇用などにより更なる人員の充実を図るとともに、環境省福島環境再生事務所の出先機関として県内5か所に支所を設ける予定である。



第7図 除染等に関する予算

6. 広報体制の整備(除染情報プラザ)

市町村による除染の実施にあたり、専門家・ボランティアの派遣や除染情報の提供への要請が高まると考えられる。このため、環境省では福島県と共同で、除染等に関する専門家を市町村等の要請に応じて派遣するとともに、除染のボランティア活動等の関連情報の収集・発信を行う拠点となる「除染情報プラザ」を設置した。第8図は除染情報プラザのイメージを示したもので、その機能は次のとおりである。

- ・除染専門家派遣： 除染専門家リストを作成し、市町村からの要請に応じて説明会や講習会などに専門家を適時適切に派遣する。
- ・除染ボランティアの派遣： 専門ボランティアの派遣制度を持つコープ福島などと連携し、一般ボランティアに市町村のボランティア募集情報等を提供する。
- ・除染情報の発信： 各市町村での除染事業進捗状況や除染に関する制度、技術、資機材などに関する様々な情報を展示、紹介する。

平成24年1月20日には専門家の派遣要請の受付を開始し、2月末には除染情報の展示・相談コーナーなどを備える現実のプラザを福島環境再生事務所に隣接するビルに開設すべく準備を進めている(2月25日に開設)。

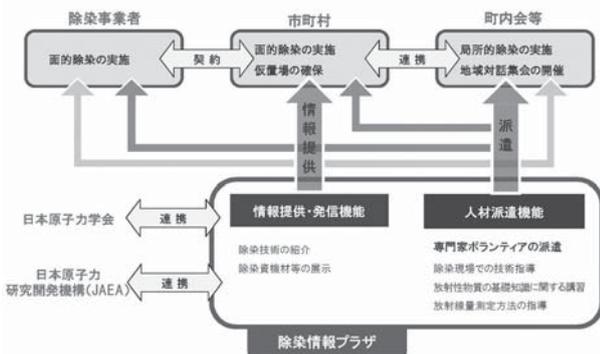
IV. 除染事業

1. 除染作業の内容

文部科学省の原子力防災基礎用語集では、除染とは「身体や物体の表面に付着した放射性物質を除去するあるいは付着した量を低下させること」と定義している。実際の除染作業での除染対象は、住宅、道路、大型建造物、森林、農地などに分類でき、これらの対象物に広く散在する放射性物質を高濃度に集約・集中保管し、生活空間の放射線量を低減することが本事業での除染作業といえる。現在、複数の機関がWEB上に除染対象ごとの具体的な除染方法を公表しているが¹⁾、その除染方法の例を第2表に、除染作業状況の例を第9図に示す。

2. 国直轄除染事業

追加被ばく線量が年間20 mSv を超える高線量のた



第8図 除染情報プラザのイメージ

第2表 除染方法の例

対象	除染方法の例
家屋	軒下の除草、雨樋の清掃、屋根の高圧洗浄
庭	庭土の表土、除去庭木の剪定
道路	ブラッシング、側溝清掃、表面削り取り、再舗装
学校・保育所・公園など	表土除去、側溝清掃、高圧洗浄、ブラッシング
生活圏の樹木	落ち葉・腐葉土の除去、枝葉の剪定
森林	下草・腐葉土の除去、枝葉の剪定
農地	表土削り取り、埋め込み



第9図 除染作業状況

め、避難指示を受けている警戒区域および計画的避難区域では、除染にあたり高い技術が必要なこと、自治体機能自体が移転していることなどにより、県や市町村と連携の上、国が除染を実施することとしている。これらの国直轄除染事業の概要は次のとおりである。

(1) 除染実証モデル事業

除染実証モデル事業は、高線量地域における除染対象ごとに除染を行う際の、①有効な除染方法、②作業員の安全管理の進め方、③モニタリング方法の知見収集を目的として、比較的限定的なエリアを対象として内閣府が実施しているものである。平成23年11月28日の大熊町での着手以後、現在11の市町村で実施中であり、平成23年度末を目途に結果を取りまとめ、後続の除染事業へ知見を活用する予定である。

(2) 先行除染事業

先行除染事業は、本格的な除染に先立って除染作業に必要な資機材の保管や作業員の休憩場所、インフラ設備等の先行的除染を、比較的限られたエリアを対象として環境省が実施するものである。これらはモデル事業と並行して進められており、特措法施行前の平成23年12月の自衛隊による役場除染(飯館村、浪江町、富岡町、楡葉町)や特措法施行後の楡葉町役場周辺除染事業などをこれまでに実施・着手しており、今後、常磐自動車道やインフラ施設を含め、順次事業化を進める。

(3) 本格除染事業

本格除染事業とは、除染の対象エリア、順序、方法や除去物の仮置き場などに対する市町村や住民との同意が得られ、準備が整った11市町村において、環境省が除染を本格的に進める事業である。平成23年度末の事業化着

手に向けて、現在精力的に準備を進めている。

3. 非直轄除染事業

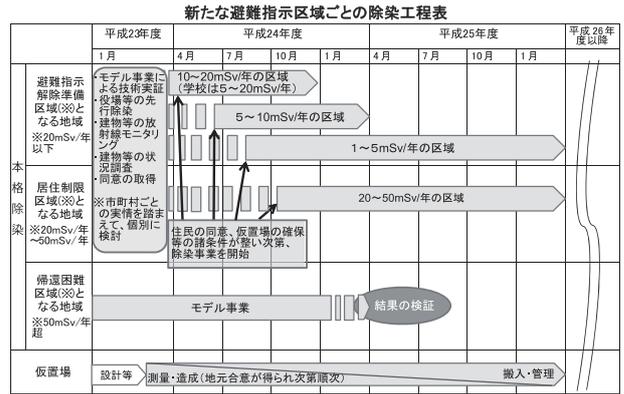
追加被ばく線量が年間1～20 mSvの地域では、行政機能は域内にあり住民も居住していることから、コミュニティ単位での計画的な除染が最も効果的であるため、市町村が汚染の状況や住民ニーズに応じた除染計画の立案と実施を行い、国は技術的、財政的な措置を全面的に行うこととしている。この方針に沿いこれまでに国では、市町村による円滑な除染実施に向けた環境整備として、市町村による除染実施ガイドライン、除染技術カタログ、除染関係ガイドラインなどを整備するとともに、除染専門家の市町村への派遣などを進めている。

V. 今後の除染事業計画

今後の除染事業は、国直轄の本格除染事業と非直轄の市町村除染事業の二本立てで進められることになる。このうち、国直轄除染に関しては、平成23年12月26日に原子力災害対策本部から、ステップ2の完了を受けた警戒区域および避難指示区域の見直しに関する基本的考え方と今後の検討課題が示された。これにより、現在設定中の警戒区域指定は解除手続きに入るとともに、平成24年3月末を目途に避難指示区域を以下の方針で見直す。

- ・ **避難指示解除準備区域**： 年間線量20 mSv以下の地域が対象で、当面避難指示が継続されるが、インフラや雇用などの復旧・復興対策を進め、住民の早期帰還を目指す。
- ・ **居住制限区域**： 年間線量が20～50 mSvの地域が対象で、避難の継続を求めるものの、住民の早期帰還に向け除染やインフラ復旧を計画的に実施する。
- ・ **帰還困難区域**： 年間線量が50 mSvを超え、避難の長期化が想定される地域で、国がモデル実証事業を実施して除染技術を検討するとともに、避難生活や生活再建、自治体機能の維持などについて対応の方向性を検討する。

平成24年1月26日には、避難指示区域の見直しの考え方に沿って、環境省より除染特別地域における除染の方針(除染ロードマップ)を示した。このロードマップは平成23年度末を目途に策定する除染実施計画のための基本的な考え方を述べたものである。一例として新たな避難指示区域ごとの除染工程表を第10図に示す。環境省としては、これを基本として、各市町村の具体的な除染の進め方について、関係者と調整を行う中で明確化を図るこ



第10図 新たな避難指示区域ごとの除染工程表

とにより、本ロードマップの内容をさらに発展させ、除染計画の策定や事業実施に活かしていく。さらに、平成23年度末を目途に除染計画を策定するとの目標のもと、1月に開設した環境省福島環境再生事務所を中心に、市町村、県、国等の関係者が綿密に協議を行うことにより、市町村ごとに具体的な策定作業を進める予定である。

VI. おわりに

避難住民の早期帰還や居住住民の安全・安心のため、今後は、国の対応は遅いとの指摘を肝に銘じ、関係自治体、住民、関係省庁との密接な連携の下、産官学の総力を結集し、迅速を旨として除染事業に取り組むことが重要と認識を新たにしていく。

本稿を作成するにあたり、笹倉剛氏((社)土壤環境センター)の多大なご協力を得たことに感謝申し上げます。

—参考資料—

- 1) 例えば、環境修復技術のご説明資料(暫定版 第2版)、日本原子力学会「原子力安全」調査専門委員会クリーンアップ分科会、平成23年9月5日。
- 2) 低線量被ばくのリスク管理に関するワーキンググループ報告書、平成23年12月22日。

著者紹介



森谷 賢(もりや・まさる)
環境省 福島除染推進チーム、福島環境再生事務所
(専門分野/関心分野) 環境省において大気汚染、水質汚濁、廃棄物、化学物質等の分野に従事

ストレステストってなに？

東京工業大学 澤田 哲生

原発の再稼働の条件として、定検に入った原発に“ストレステスト”を課す。時の総理大臣菅直人が唐突に言い出したストレステスト。この突然の発表がいま宿痾のように日本の経済の首を締め付けている。政治家菅直人の本領発揮、見事ともいえる“政治決断”であった。原子力界、電力業界にとどまらず、日本経済そのものを停滞に陥れている。そもそもストレステストの1次評価とは一体なになのか。定検入りした多数の原発の“答案”がすでに出そろっている。そしてその結果をどのように評点し、政治判断の材料として原発再稼働につなげて行くべきなのか……その試案を提示したい。

I. はじめに

ここに昔懐かしい映像がある(写真1, 2)。象が筆箱を踏む。しかし筆箱はびくともしない……象が踏んでも大丈夫というのだ。実際に、1.5トンの重さが乗りかかって壊れないようにつくられているという。そこまで耐えるように設計したのだ。このような象の重さがかかることをストレス(圧迫)という。ではどこまでの圧迫もしくは圧力に耐えられるか、その限界を見極めるのがストレステスト(耐性試験)である。

この筆箱を実際に、耐性をはかる機械にかけたところ、1.7トンがかかったら壊れたという。したがって、この場合、余裕(裕度)は0.2トンで、設計の1.1倍程度のストレスに耐えることになる。

象 「パオ??！」

ナレーション「ゾウが踏んでも壊れないんだから」

男の子 「絶対壊れるよ、壊れなきゃおかしい」

『ボ〜〜ん!』(象が筆箱に足を乗せる)

女の子 「壊れない」

ナレーション「どうーだい、この強さ。」

アーム筆入れ。ゾウが踏んでも壊れない、アーム筆入れ」



写真1

象が踏んでも壊れないアーム筆入れ(サンスター文具株式会社)



写真2

原発のストレステスト。ストレスは地震や津波だが、それらを実際に起こすことができない。この筆箱の場合は、象や圧力かける試験機械にかければよいのだが。そこで、地震や津波が襲った状況を仮定して、計算機のシミュレーションでどこまで耐えるのかを算出する。それが原発のストレステストである。

II. そもそもなぜストレステストを課すことに？

それは2011年7月6日のことだった。当時の海江田万里経産大臣が玄海原発の再稼働の要請を地元首長に行ってから約3週間後のことであった。衆議院予算委員会において、突然、ストレステストを行うとの声が上がってきた。発信元は、当時の菅直人総理だった。それまで国内では、ストレステストのことは話題にはまったくなっていなかった。しかし、福島事故を受けて欧州ではストレステストを行うことで話が進んでいた。誰かが首相に入れ知恵をしたとも、事前にイタリアの反原発運動家であったとも報じられていた。

再稼働の条件とするという、突然のストレステスト導入を巡ってメディアは沸き立ち、世間は混乱した。総理と経産大臣の方針は捩じれに捩れ、あげくはストレステストの件を受けた7月29日の経済産業予算委員会の場で、自民党の質問の途中、海江田経産大臣(当時)は「…私はいいです、自分の価値は……」といいながら泣き出す始末だった。事ほど左様に、首相は経産大臣の原発政策をコケにしてしまった。6日のストレステスト宣言から、15日の菅総理による個人的「脱原発」宣言を経て、この国会の答弁の頃までが、脱原発ムードの上げ潮のときであった。

ストレステストは1次評価と2次評価に分かれる。1次評価は、九州電力玄海原発など定期検査中のものが対象である。原子炉の炉心損傷が生じるまでの余裕の度合

Stress Test., What is the Reality and Significance of It? :
Tetsuo SAWADA.

(2012年 2月29日 受理)

いを確認する。その結果をもとに再稼働の可否を判断し、地元自治体に協力を求める。2次評価では、運転中も含めた国内すべての原発を対象に総合的な安全評価をし、運転継続の是非を判断するとしている。

このように、1次評価は、“再稼働を判断する”政治的な材料として課されたものである。1次評価は、シミュレーション、つまり机上の計算に基づいてなされるものである。実際に、数値にして検討されるものは“設計上の余裕度”である。例えば、地震の場合、耐震設計で想定する基準地震動があるが、その基準地震動に対して、実際には何倍まで機器が保つかを計算で見積もるのである。判断の決め手は、その機器が壊れれば炉心の損傷に至ってしまうかどうかにある。

つまり、1次評価は個々の原発の安全評価ではない。余裕度の評価に過ぎない。総合的な安全評価は、2次評価として実施されるのである。1次評価への取り組みは比較的容易である。2次評価は“総合的な安全評価”であり、1次評価で得られた余裕度に基づいて、安全性の限界を調べることになっている。実際に2次評価でどのような内容が要求されるのかは今のところ極めて不透明である。1次評価であそこまでやれば、2次評価としてそれ以上の内容のものは出しようがないという声も聞く。時移り今や電事連も規制庁もフィルタドベントをどの原発にも付加することをほぼ既定のこととしている。そのことまで含めた安全評価になるのであろうか。

Ⅲ. ストレステストの1次評価

評価項目は6つある。

- (1) 地震： 想定を超える地震に、どの程度まで燃料損傷せずに耐えられるかの評価
- (2) 津波： 想定を超える津波に、どの高さまで燃料損傷せずに耐えられるかの評価

- (3) 地震と津波の重ね合わせ： 想定を超える地震と津波が同時に発生した場合、どの程度の期間、燃料損傷せずに耐えられるかの評価
- (4) 全交流電源喪失： 発電所が完全に停電(全ての交流電源がなくなる)した場合、外からの支援なしでどの程度の期間、燃料損傷せずに耐えられるかの評価
- (5) 最終除熱源喪失： 燃料を除熱するための海水を取水できない場合(最終除熱源喪失)に、外部からの支援なしにどの程度の期間、燃料損傷せずに耐えられるかの評価
- (6) シビアアクシデントマネジメント： これまでに電力会社が整備してきたシビアアクシデントマネジメント策について、多重防護の観点からその効果を明示する

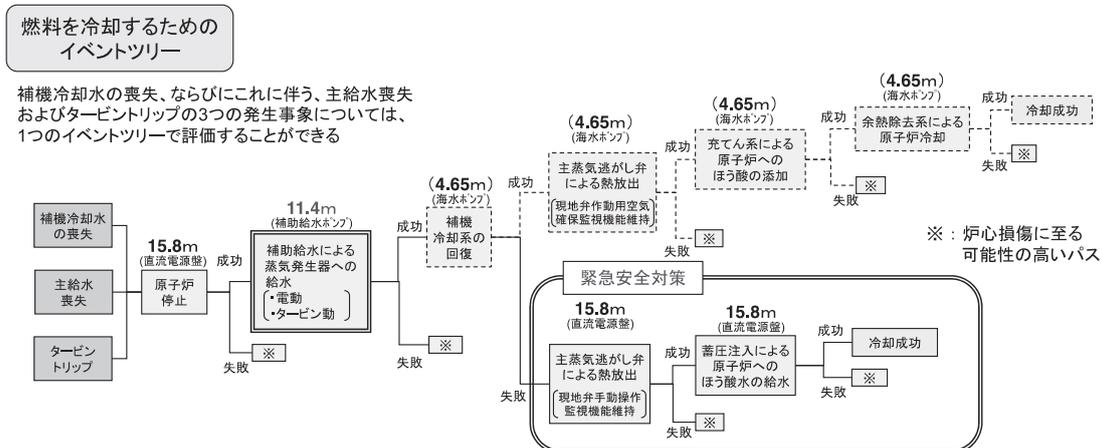
したがって、5項目の計算シミュレーションなどによる評価と、シビアアクシデントマネジメント策の効果の明示から成り立っている。

計算シミュレーションなどで評価する5項目の限界値は、どこまでいったら転落して戻ってこれなくなるか、その崖っぷちの意味で“クリフエッジ”と呼ばれる。転落して戻って来れないとは、原子炉では燃料の損傷や溶融のことをさす。例えば、津波のクリフエッジを算定するには、第1図に示すような分岐図(イベントツリー)をまずつくる。これは最初にストレステストの結果を提出した関西電力の大飯3号機の場合である。

そうして、事故が進展していく上で、ポイントポイントで安全確保の決めてになる機能をはっきりさせる。そして、その機能を果たすための機械があるので、その機械がどの程度の津波が襲ってきた場合に壊れてしまうかを見極める。例えば、第1図で、4.65mの津波が襲えば「補機冷却系」の機能がなくなって、炉心損傷に至る。

津波の評価(原子炉運転中)

津波により補機冷却水喪失と主給水喪失等が同時に発生すると想定で、燃料を冷却するために必要な機器が損傷することにより、冷却手段が確保できなくなる津波高さ(クリフエッジ)を特定する



第1図 大飯3号機における津波に対する耐性評価の骨格

この場合、実際に故障して困る機械は、海水ポンプである。そこで、移動式電源車や移動式ポンプを追加で備えるという、緊急安全対策を行った。福島事故の反省に基づく対策である。その結果、海水ポンプは救われて、「補機冷却系」の機能は全うされるというわけだ。そうすると、その一手手前の「補助給水による蒸気発生器への給水」の機能がうまく作動するかどうかのポイントになってくる。この場合は、補助給水ポンプという機械が問われる。これは津波高さ11.4 mまで耐えるので、この高さがクリフエッジになる。まとめると次の第1表になる。

大飯3号機の場合、津波の想定高さが2.85 mである。緊急安全対策前後で、それぞれ想定津波高さの1.6倍、約4倍の津波高さまで耐えられるという評価になる。

このストレステストに用いた津波の想定高さを決めるために、断層の位置、走向、傾斜など様々な条件を変えて、100以上のシミュレーションを実施している。これがストレステストで実際にやった内容のおおまかな姿である。

IV. 評価結果をどのように活かしていくか

1月18日時点で、全国54基のうち14基のストレステストの結果が原子力安全・保安院に提出されていて、採点にかけている。その結果の概略を第2表に示す。

ストレステストは、あくまでもシミュレーションに基

づいている。実際に事態が起こった場合には、なかなか思うようにいかないこともある。それは、福島第一で実際に起こったことである。消防車を出そうにも、運転できるものが限られていてすぐに動かせなかったとか、格納庫から現場までの道路は地震で波打っていた。がれきで道が塞がれていたなど。また、実際には人が関与して対策するものであるから、人のミスがつきものだろうと。そういった点が考慮されていないではないかとか、そもそも津波なら、もともとの想定高さをどこまで信頼できるのかという、尽きせぬ問題がある。

ストレステストは、あくまでも再稼働の条件として、“政治的意図・判断”に基づいて課せられたものである。

実際に、大地震と津波が襲ったとしても安全に停止した女川や福島第二、そして炉心損傷に至ってしまった福島第一にもあえてストレステストを課すと、新たな地平が見えてくるのではないか。ストレステストは再稼働の条件、判断材料であって、設計上想定されたストレスに対して、実際はその何倍くらい余裕があるかを見るものである。したがって、そもそも1次評価は初めから厳密な意味で安全性を確認する目的のものではない。

V. いかに関判断するのか

昨年7月、時の総理菅さんの、政治的意図で課せられたストレステストの結果に基づいて、原発の再稼働の可

第1表 大飯3号機のクリフエッジの評価例

評価結果	クリフエッジ	
	緊急安全対策後	緊急安全対策前
燃料の冷却手段が確保できなくなる津波高さと設計津波高さ(2.85m)との比較	約4倍(11.4m)	約1.6倍(4.65m)
対象となる機器	補助給水ポンプ	海水ポンプ

第2表 ストレステスト1次評価の結果(2012年1月18日時点)

原子力プラント	燃料の損傷に至る地震動の大きさ(単位ガル 括弧内は想定値)	燃料の損傷に至る津波の高さ(単位メートル 括弧内は想定値)	全交流電源喪失時に燃料損傷に至るまでの時間(単位日)
大飯3号機	1260(700)	11.4(2.85)	16
大飯4号機	1260(700)	11.4(2.85)	16
伊方3号機	1060(570)	14.2(3.49)	10.7
泊1号機	1023(550)	15(9.8)	20
泊2号機	1023(550)	15(9.8)	20
玄海2号機	945(540)	13(2.1)	65
川内1号機	1004(540)	15(3.7)	104
川内2号機	1020(540)	15(3.7)	104
美浜3号機	1320(750)	11.1(2.37)	12
敦賀2号機	1416(800)	11.6(2.8)	71
東通1号機	900(450)	15(8.8)	15
高浜1号機	935(550)	10.8(2.6)	15
柏崎刈羽1号機	2967(2300)	15(3.3)	12
柏崎刈羽7号機	1777(1209)	15(3.3)	12

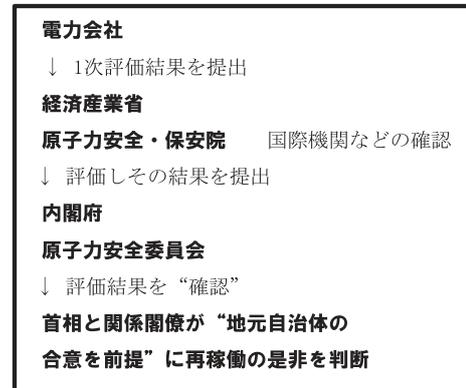
(数値は各1次評価結果に示されたもの)

否は政治的判断で決められるべきものである。首相と関係閣僚が最終判断するのだ。ただし、そこには地元自治体の合意が不可欠である。EPZ(緊急時計画区域：原発から半径10 km 程度)がUPZ(緊急防護措置区域：同30 km)に実質的に拡大した今、この地元の合意は以前よりもずっと複雑な様相を見せている。深刻な関門である。いずれにしても政治判断で再稼働の是非が決まる。そのことは、ストレステスト(1次評価)の手続きを見れば分かることである(第2図)。

それでは、政治判断に踏み切るためにどのように考えればよいのか、そのガイドラインを示そう。ストレステストの1次評価の要目は、原子力プラントシステムの外からのストレス(地震、津波)とシステム内部の機能的な“保ちの程度”(全交流電源喪失、最終除熱源喪失)に分けられる。これらに対して、まず実際に地震と津波という

ストレスを被った、女川、福島第一・第二、東海がどのような結末に至ったかを見るとよい。

まず、女川は1号機から3号機まであり、いずれも1980



第2図 ストレステストの手続き

第3表 東日本大震災時に津波を受けた沸騰水型原子力発電所

	運転開始	原子炉型式	格納容器型式	損傷状況	ストレステスト	格付
女川1	1984.6	BWR-4	Mark1	○		
女川2	1995.7	BWR-4	Mark1 改良	○		
女川3	2002.1	BWR-4	Mark1 改良	○		
福島第一1	1971.3	BWR-3	Mark1	×		
福島第一2	1974.7	BWR-4	Mark1	×		
福島第一3	1976.3	BWR-4	Mark1	×		
福島第一4	1978.10	BWR-4	Mark1	△		
福島第一5	1978.4	BWR-4	Mark1	△		
福島第一6	1979.10	BWR-5	Mark2	○		
福島第二1	1982.4	BWR-5	Mark2	○		
福島第二2	1984.2	BWR-5	Mark2 改良	○		
福島第二3	1985.6	BWR-5	Mark2 改良	○		
福島第二4	1987.8	BWR-5	Mark2 改良	○		
東海第2	1978.11	BWR-5	Mark2	○		

第4表 その他の全国の沸騰水型原子力発電所

	運転開始	原子炉型式	格納容器型式	ストレステスト	格付
柏崎刈羽1	1985.9	BWR-5	Mark2		
柏崎刈羽2	1990.9	BWR-5	Mark2 改良		
柏崎刈羽3	1993.8	BWR-5	Mark2 改良		
柏崎刈羽4	1994.8	BWR-5	Mark2 改良		
柏崎刈羽5	1990.4	BWR-5	Mark2 改良		
柏崎刈羽6	1996.11	ABWR	RCCV		
柏崎刈羽7	1997.7	ABWR	RCCV		
浜岡3	1987.8	BWR-5	Mark1 改良		
浜岡4	1993.9	BWR-5	Mark1 改良		
浜岡4	2005.1	ABWR	RCCV		
志賀1	1993.7	BWR-5	Mark1 改良		
志賀2	2006.3	ABWR	RCCV		
敦賀1	1970.3	BWR-3	Mark1		
島根1	1974.3	BWR-4	Mark1		
島根2	1989.2	BWR-5	Mark1 改良		
島根3	2012.3?	ABWR	RCCV		

年代に運転開始している。最も古い1号機は1984年6月の運転開始である。炉型は、福島第一の1号機および敦賀1号機(いずれもBWR3)に次いで古いBWR-4である。格納容器は、もっとも古いタイプのMark 1である。女川は、当時の副社長のリーダーシップにより津波対策を慎重に行った。その結果、今回の激甚な地震および津波に耐えて、安全に冷温停止している。この事実を客観的かつ冷静に判断材料とすべきである。また、福島第一の6号機は、非常用電源の設置高さを変更したため、に大事に至ることがなかったし、そのおかげで電源システムを共用している5号機も助かった。この事実も判断材料とすべきである。東海2号機は、防潮堤の補修中であり、その補修箇所(穴)を通じて、津波がプラント敷地内に横溢したが、冷温停止を達成している。

以上のような事実から、津波対策が的確であれば、激甚なストレスに耐えうると考えられる。70年代に運転開始したプラントは、当時の津波に関する情報と知識の観点から、注意が必要である。原子力プラントは日本の沿

岸地域に広く分布するので、その土地に固有の過去の地震・津波の歴史を判断材料に加える必要がある。

第3表には、今回の東日本大震災によって、地震と津波を被ったBWRプラントの状況を示している。第4表は、それ以外のBWRプラントである。このような表を作成し、ストレステストの結果を加えて、総合的な視点から各プラントのランク付けを行うことが可能だと考える。

このようなランク付けをひとつの判断材料として、政治的判断を行うべきなのである。それが、そもそも2011年7月に官邸から発せられた「再稼働の条件としてストレステストを課す」と自ら蒔いた種に対する、民主党政権の社会的責任の果たし様である。

著者紹介



澤田哲生(さわだ・てつお)

東京工業大学

(関心分野/専門分野)原子核工学, 原子力安全, 核セキュリティ, 原子力政策, 原子力の社会的側面

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—

(4月6日第10回編集幹事会)



【論文誌関係】

- ・英文誌のTaylor&Francis社からの発行に関して、次のことを決めた。
 - ①投稿規程等を見直し、Instructions for Authorsに関しては、Journal ホームページに掲載することとした。他も含め、コメントを確認して、編集委員会の回議にかける。
 - ②賞の新設に関しては、引用数及びダウンロード数それぞれを基準とし、データ入手等継続して検討する。
 - ③International Advisory Boardに1名追加することを承認した。
 - ④4月号がすでにアップロードされている。
 - ⑤賛助会員/交換寄贈については送料学会負担で冊子体の発送を予定している。今後、配布先・配布方法等を検討する。
- ・12分野を除き、次年度編集委員を確定した。グループ編成に関しては、再検討する。
- ・英文誌50周年記念企画として、出来るだけ年当初にReviewを掲載することとし、執筆候補の推薦を各部会に依頼することとした。

- ・インパクトファクター向上策について検討した。
- ・震災関連論文を含め、投稿論文審査状況について報告があった。震災関連は受付を延長する。
- ・学会費用負担での英文校閲の中止に伴い、審査報告書を一部改訂した。

【学会誌関係】

1. 編集関係
 - ・主要記事の巻頭言、時論、解説は7月分まで確保できていることを確認。(原稿入手から掲載するまでに2ヶ月を要するので、手持ち記事の余裕は実質1ヶ月分。)
 - ・8月号以降の主要記事のメインテーマについて話し合った。今後具体的に策定していくことになる。エネルギー関連で今後も話題になりそうな事項、放射線関係の課題、学会の委員会、部会等が取り組んでいる課題。
2. 審議/報告事項
 - ・2006年4月号から約6年継続してきたWebアンケート評価は、所期の目的を達成したので2012年2月号で終了することにした。
 - ・ジュンク堂での学会誌委託販売は3月号で終了した。

編集委員会連絡先<<hensyu@aes.j.or.jp>>

原子力賛成が減り反対が増加

原子力をめぐる世論調査結果

日本原子力文化振興財団 横手 光洋

福島事故以前には原子力利用について安定した世論の支持があったものの、事故後には賛成意見が大きく減ったことが、日本原子力文化振興財団の世論調査でわかった。同財団は5年前から計5回の調査を行ってきたが、福島事故直前と直後を比べると、原子力利用に対する賛成意見は約20ポイント低下している。年代別にみると、60代から70代の人々の反対意見が増えたことがわかった。

I. はじめに

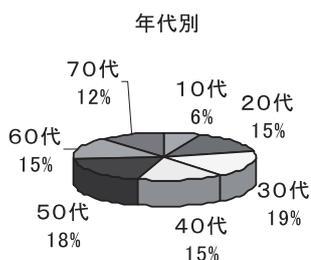
(財)日本原子力文化振興財団では2007年1月から2011年11月にわたって、これまで5回の世論調査を実施してきた。本稿ではその概要について報告する。なお、数値データについては財団のホームページから参照可能である。(参考資料参照)

II. 調査方法

調査対象は全国に住む15歳から79歳の男女1,200人。住宅地図データベースから世帯を抽出し、個人を割り当てて留置方式(調査員が訪問して回収する方法)で行った。実施期間は2011年11月2～14日。なおサンプル数が1,200なので、結果に5ポイント以上の差がある場合には有意の差とした(第1, 2図)。



第1図 調査対象者の性別



第2図 調査対象者の年齢区分

III. 調査結果(原子力に対する態度)

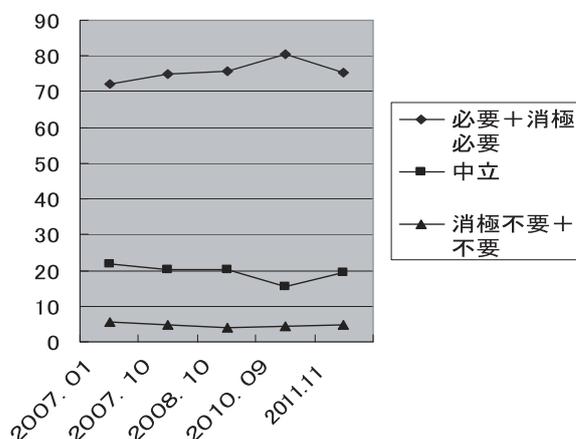
1. 放射線利用の必要性

放射線利用の必要性について聞いた質問では、「必要」と「どちらかといえば必要」の合計が75.5%で、2010年9月に行った前回調査に比べて5ポイント減少した。ただし、大きな減少には至っていない(第3図)。

2. 原子力発電の必要性

一方、原子力発電の必要性について聞いた質問では、「必要」と「どちらかといえば必要」をあわせて37.7%で、前回に比べ約20ポイント減少した。逆に「どちらでもない」と「どちらかといえば不要」「不要」が大きく増えた(第4図)。

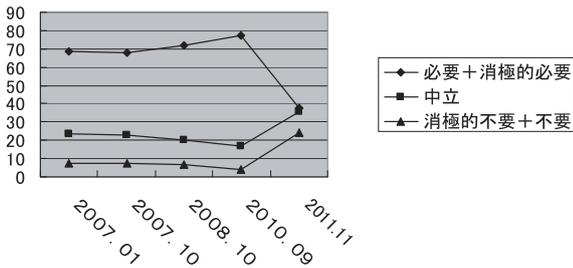
年代別にみると、60代と70代では原子力利用に反対する意見が5～6倍も増加。逆に10代では2倍以下の増加にとどまっている(第5図)。



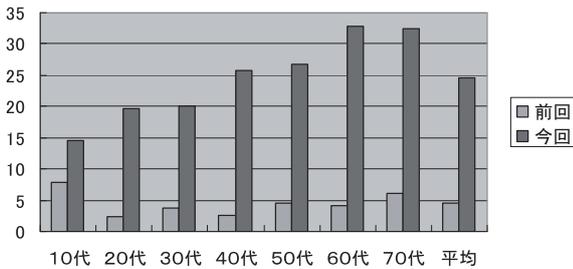
第3図 放射線利用の必要性

Recent Opinion Survey Results on Nuclear Power : Mitsuhiro YOKOTE.

(2012年 2月23日 受理)



第4図 原子力発電の必要性



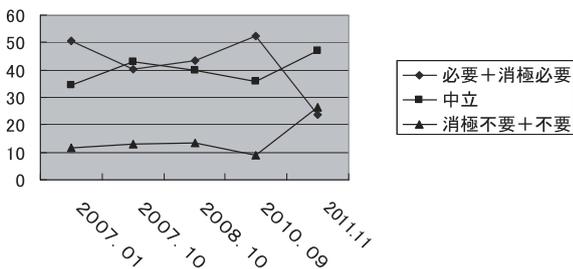
第5図 年代別の原子力利用の反対

3. 核燃料サイクルの必要性

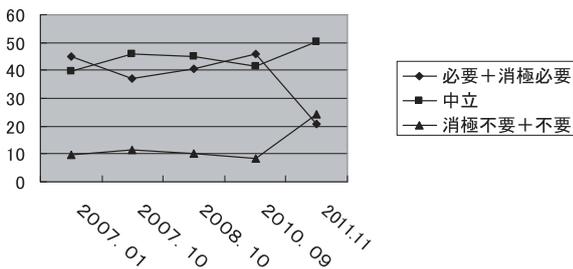
核燃料サイクルの必要性については、「必要」と「どちらかといえば必要」の合計は23.9%で、前回に比べ半分以下になった。また「不要」と「どちらかといえば不要」の合計は26.5%で、「必要」の合計を上回る結果となっている。一方で「どちらとも言えない」が半数近くに上る結果となっている(第6図)。

4. プルサーマルの必要性

プルサーマルの必要性についても同様で、「必要」と「どちらかといえば必要」の合計が20.9%で、前回に比べて大きく減少している(第7図)。



第6図 核燃料サイクルの必要性



第7図 プルサーマルの必要性

5. 今後日本が利用していくべきと思うエネルギー

今後のエネルギーについて聞いた質問では、「太陽光」に期待する回答がトップで86.5ポイント。「風力」、「水力」、「地熱」、「LNG」が続いている。前回調査に比べ「原子力」が20ポイント減る一方で、その他のエネルギーは軒並み増加した(第8図)。

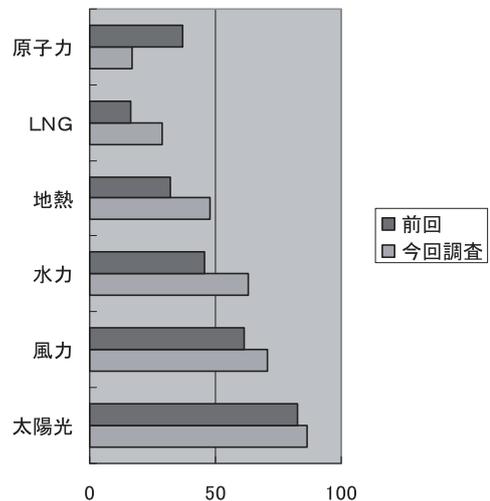
IV. 調査結果(その他の傾向)

1. 社会的価値観

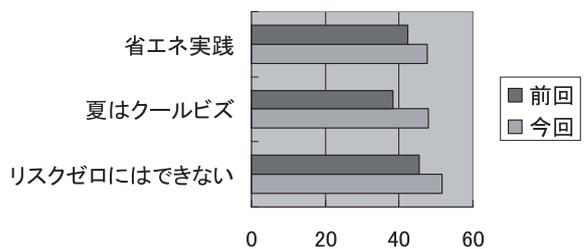
科学技術や環境について聞いた質問(複数回答)では、「どんな科学技術を利用したとしてもリスクをゼロにはできない」、「夏はクールビズに積極的に協力すべき」、「少くとも生活が不便でも省エネは実践されるべき」について同感する意見が前回より増え、上位を占めた。逆に有意ではないが、「新しい技術導入に事故はつきもの」「科学技術が発展することで人は豊かになる」について同感する意見は、わずかに減少した(第9図)。

2. 関心分野

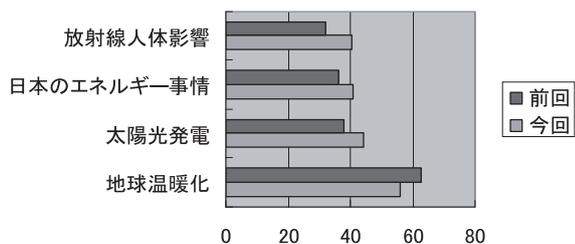
関心分野について聞いた質問は、「地球温暖化」、「太陽光発電の開発状況」、「日本のエネルギー事情」、「放射線の人体影響」の順に高かった。前回に比べ地球温暖化は7ポイント下がり、逆に放射線影響は8ポイント、太陽光発電は7ポイント、日本のエネルギー事情は5ポイント増加している(第10図)。



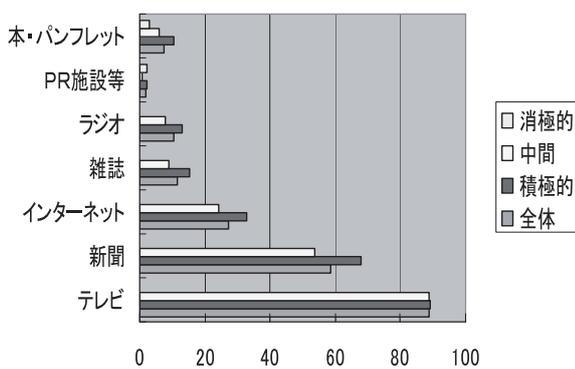
第8図 今後日本が活用していくべきと思うエネルギー



第9図 科学技術、環境などに対する考え方



第10図 原子力, 放射線, エネルギー分野への関心



第11図 原子力やエネルギーの情報源

3. 情報源

原子力やエネルギーの情報源としては、「テレビ」がトップで、「新聞」、「インターネット」と続いている。前回調査に比べ、テレビが減少、新聞が横ばいとなる中で、インターネットは2倍近い伸びを示している(第11図)。

年代別にみると、すべての年代でテレビが優位を占めた。10代から40代ではインターネットの依存率が高く、50代以上の倍近い割合となっている。

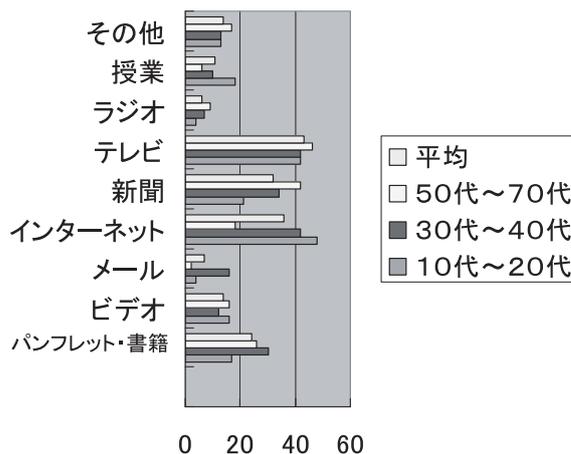
新聞とパンフレットは10代の依存率が低く、メールは30代から40代で有意に高くなっている。全体的には若年層になるほど、ITメディアへの依存度が高くなる傾向が示された。なお情報を積極的に収集しようとする場合の情報源としては、新聞とインターネットが高くなっている。

理解に役立つ情報源としては、9割が「テレビ」と回答。これに「インターネット」、「新聞」が続いた。年代別では10代から40代ではインターネットをあげる回答が多く、40代から60代では新聞をあげる回答が多かった。なお10代から20代ではパンフレットをあげる回答が有意に低くなっている(第12図)。

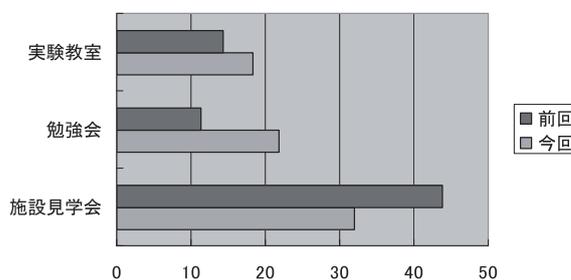
これらの結果からすると、費用対効果を考えた場合、今後はインターネットの活用が重要になるとと思われる。

4. 参加したいイベント

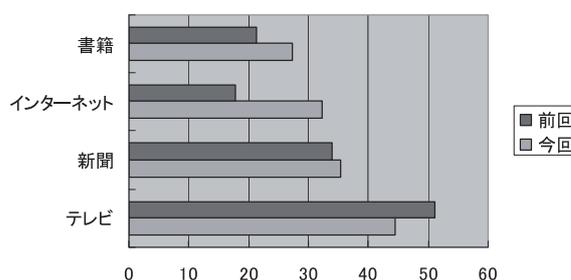
参加したいイベントや施設を聞いた質問では、「見学会」、「勉強会」、「実験教室」の順となった。前回に比べ見学会が12ポイント低下し、逆に勉強会が10ポイント増加している。また、理解に役立つものとして、インターネットが大きく増加している(第13, 14図)。



第12図 年代別理解に役立つ情報源



第13図 参加してみたいイベント



第14図 理解に役立つもの

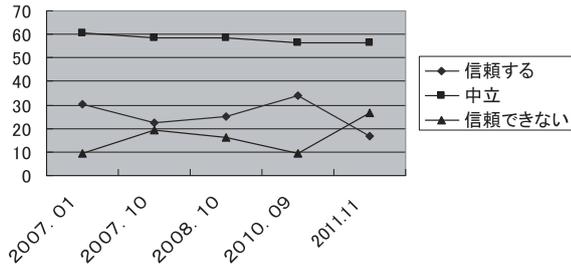
5. 専門家に対する信頼度

専門家に対する信頼度は、前回調査に比べて17ポイント低下し、「専門家の信頼度を否定する」ものが「肯定する」ものを上回った。国や自治体に対する信頼度も20ポイント近く低下した(第15, 16図)。

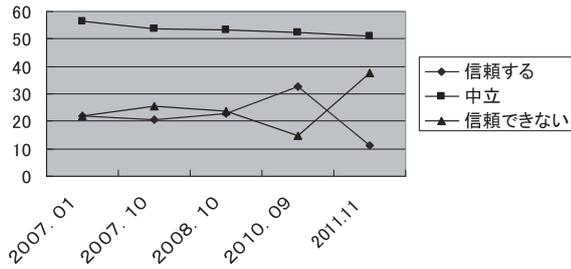
図として掲載していないが、「国や自治体に安心して任せる」ための要件として、「事故原因の徹底的究明」、「情報公開」、「安全管理規制の強化」をあげる回答が目立った。

6. リスク認知

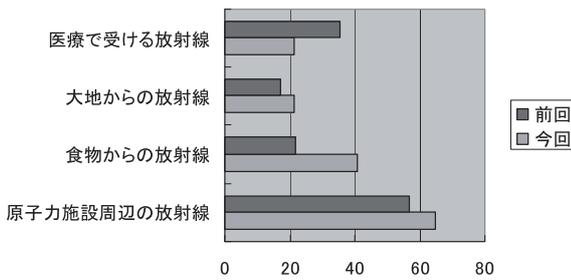
放射線に関するリスク認知では、「原子炉施設周辺の放射能」、「食物からの放射能」、「大地や医療から受ける放射能」が上位を占めている。前回との比較では「医療から受ける放射能」に対するリスク認知が下がり、「食物からの放射能」に対するリスク認知が増加している(第17図)。



第15図 原子力に携わる専門家に対する信頼



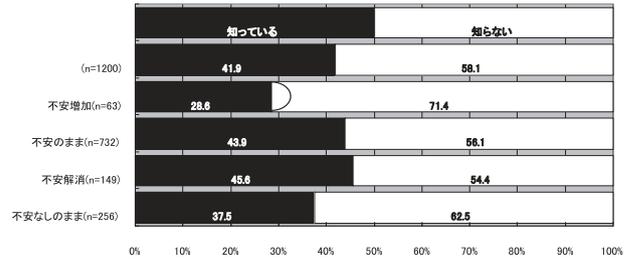
第16図 国や自治体に対する信頼



第17図 放射線に対し不安に思う事柄

V. クロス分析の結果

「放射線に対するリスク認知」, 「原子力や放射線に対するベネフィット認知」, 「放射線に対する知識の多さ」, 「情報入手の積極性」, 「原子力発電の必要性」, 「福島事故に対する不安の変化」を軸にしてクロス分析を実施し



第18図 自然界にある放射線についての知識の程度が放射線に対する不安に与える影響

た結果、下記のようになった。

- ・「食品や環境に対する不安の増加した層」は「放射線や原子力に関する知識の少ない層」に多い。
- ・逆に「食品や環境に対する不安が解消した層」は「放射線や原子力に関する知識のある層」に多い。

因果関係は別にして、「不安の解消」と「正しい情報提供」の間に相関関係があることがわかる(第18図)。

VI. おわりに

この調査は電力中央研究所の委託により、当財団が実施したものである。また、本内容は、著者個人の見解であり、関係機関の意見を代表するものではない。

—参考資料—

日本原子力文化振興財団ホームページ
 (http://www.jaero.or.jp/data/01_jigyuu/tyousakenkyu.html)

著者紹介



横手光洋(よこて・みつひろ)
 日本文化振興財団
 (関心分野/専門分野)原子力工学/原子力広報

解説シリーズ

福島第一原子力発電所事故後の天然ガス及び化石燃料の利用動向

第2回 石炭の利用動向

(財)エネルギー総合工学研究所 入谷 淳一, 時松 宏治

2011年3月11日の大震災以降, 原子力発電の代替として, 化石燃料による火力発電が注目されている。第1回では化石燃料の状況と石油, 石炭, 合成液体燃料の将来動向を解説したので, 今回は主に発電用燃料として石炭利用動向を解説する。

I. はじめに

我々の生活の中から石炭やコークスが姿を消したのはいつ頃からだろう。確かに昭和40年代半ばまでの小中学校の冬の暖房は真っ赤に燃える「だるまストーブ」であった。日直が毎朝, 用務員さんの所にバケツで石炭(コークス)を貰いに行き, 火の付きやすい新聞紙から順に薪を焼べ, 石炭を上手に燃やせるようになるまで, 何度も煤(すす)を被った記憶がある。おおざっぱであるが, 現在の45歳より若い日本人は石炭を見たことも, 触ったこともない可能性がある。ところが21世紀に入り10年以上たった現在の, 世界の発電電力量の40%は石炭火力からであり, かのIT大国である米国の電力も45%以上が, 石炭火力から供給されていることはあまり知られていない。そこで, 本稿では知られざる石炭の利用動向をご紹介します。

II. 石炭のはなし

原子力発電所の燃料であるウランは, 宇宙誕生のビッグバンや, 鉄(Fe)以降の元素が誕生したとされる超新星爆発にまで遡る壮大な物語から生まれた。石炭や石油に代表される化石燃料についても, その誕生の歴史をひも解くことによって, 燃料の特性や性質を理解するのに役立つので簡単に紹介する。

1. 石炭の生い立ち

石炭は, 太古の植物が微生物によって腐朽分解し泥炭化していく過程で, 地殻変動などで地中に埋れ, 長時間の地圧と地熱を受けて生成したと考えられている。地中に埋まった植物は, 年代を経るに従って, 泥炭→褐炭→

れき青炭→無煙炭に変わっていく。この変化を石炭化(石炭組成中の炭素の比率が増えていく)と呼び, 多様な化学反応を伴った変化である。植物の主成分であるセルロースやリグニンを構成する元素は, 炭素・酸素・水素であり, 石炭化が進むに従って酸素や水素が減って炭素分が多くなり, 外観は褐色から黒色に変わり固くなっていく。化学的には, 植物由来の脂肪族炭化水素が脱水反応により泥炭・褐炭になり, 次に脱炭酸反応によってれき青炭となり, 最後に脱メタン反応によって芳香族炭化水素主体の無煙炭にと変わっていく。日本は環太平洋火山帯に位置し地殻変動が盛んなため, 諸外国の石炭よりも高温・高圧にさらされ, 石炭化の進行が早いといわれている。

2. 石炭の種類と埋蔵量

第1表に地質時代と代表的な炭種を示す。

日本の石炭は, 主として新世代第三紀に繁茂した顕花植物(針葉樹やブナなどの潤葉樹)から形成され, 欧米や

第1表 地質時代と代表的炭種¹⁾

地質時代	年代	代表的炭種	日本の炭種
原生代	8.5億年前		
古生代			
カンブリア紀	5.0	〃	
シルリア紀			石 墨
デボン紀	3.2	〃	無煙炭
石炭紀	2.8	〃	
二畳紀	2.2	〃	
中生代			
三畳紀	1.9	〃	れき青炭 無煙炭
ジュラ紀	1.5	〃	
白亜紀	1.2	〃	
新生代			
第三紀	0.2~0.7	〃	褐 炭 れき青炭
第四紀	~0.01	〃	泥 炭 褐炭、泥炭

Global Utilization Trend of Natural Gas and Fossil Fuels after Fukushima Dai-ichi Nuclear Accidents(2); Vision of Coal Fuel : Junichi IRITANI, Koji TOKIMATSU.

(2012年 3月15日 受理)

中国などの石炭は、中生代ではソテツやイチョウなどの裸子植物から、またや古生代は隠花植物(シダ類やトクサ類)から形成された。

次に石炭の埋蔵量を確認しよう。埋蔵量は資源量とは違い、商用性のある(可採)埋蔵量を、确实性の高いものから確認埋蔵量、推定埋蔵量、予想埋蔵量で区分し、世界で公表される埋蔵量は確認埋蔵量である。この確認埋蔵量をその年の生産量で割った値が可採年数であり、2011年のBP統計では、石油46.2年、石炭118年、天然ガス58.6年とされている。可採年数は資源の探査技術・生産技術の向上や、シェールガス・シェールオイルなどの登場によって変動するので、目安の数字として理解されたい。

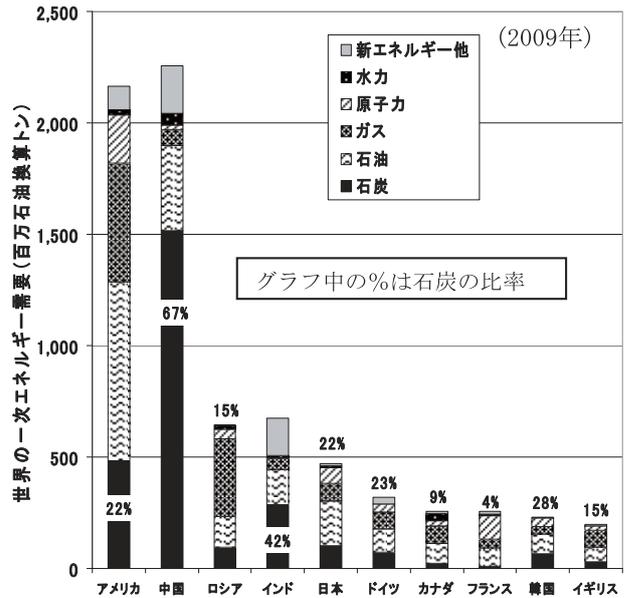
第2表に主要国の石炭埋蔵量を示すが、石油や天然ガスのように中東地域に偏在することなく世界各地に広く賦存しており、わが国のような資源小国にとって、石炭は安価で安定供給が期待できるエネルギー源である。

Ⅲ. 世界の石炭利用

第1図に主要国の1次エネルギー需要を示す。石炭は世界合計で1次エネルギーの25%以上を占めており、先進諸国の米国・ドイツ・日本・韓国では20%を超え、経済成長が目覚ましい中国で67%、インドでは42%を超えている。IEA(International Energy Agency:国際エネルギー機関)の報告によれば、2030年には約1.5倍の石炭需要の拡大が見込まれている。東日本大震災以降、ドイツやイタリアなど原子力発電の自粛を表明している国もあり、石油・天然ガスの価格動向次第では、石炭需要が更に拡大する可能性もある。

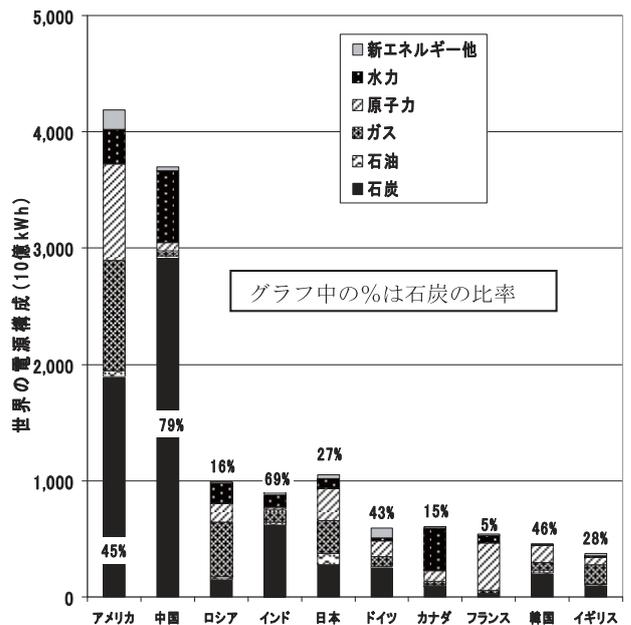
第2表 石炭確認埋蔵量 (出典:BP統計2011より作成)
(単位:億トン)

ランク・国名	無煙炭 れき青炭	亜れき青炭 褐炭	合計(比率)
1. アメリカ	1,085.0	1,287.9	2,373.0(27.6%)
2. ロシア	490.9	1,079.2	1,570.1(18.2%)
3. 中国	622.0	523.0	1,145.0(13.3%)
4. オーストラリア	371.0	393.0	764.0(8.9%)
5. インド	561.0	45.0	606.0(7.0%)
6. ドイツ	1.0	406.0	407.0(4.7%)
7. ウクライナ	153.5	185.2	338.7(3.9%)
8. カザフスタン	215.0	121.0	336.0(3.9%)
9. 南アフリカ	301.6	0.0	301.6(3.5%)
10. コロンビア	636.6	3.8	67.5(0.8%)
11. カナダ	34.7	31.1	65.8(0.8%)
12. ポーランド	43.4	13.7	57.1(0.7%)
13. インドネシア	15.2	40.1	55.3(0.6%)
14. ブラジル	0.0	45.6	45.6(0.5%)
その他	89.7	387.1	476.8(5.5%)
世界合計	4,047.6	4,561.7	8,609.4(100%)



第1図 世界の1次エネルギー需要

(出典:IEA, Energy Balances of OECD Countries 2011, Energy Balances of Non-OECD Countries 2011より作成)



第2図 世界の電源構成

(出典:IEA, Energy Balances of OECD Countries 2011, Energy Balances of Non-OECD Countries 2011より作成)

第2図に世界の電源構成を示す。1次エネルギーの石炭需要が25%を超えていることで、認識を新たにされた読者も多いと思われるが、世界の発電電力量(kWh:使用される電気量)の、なんと40%以上が石炭火力発電所からの電気なのである。原子力発電が主体なフランスを除く先進諸国を見ると、アメリカ45%、日本27%、ドイツ43%、韓国46%、イギリス28%と電力における石炭依存度が高い。成長著しい中国では79%、インドでは69%の電力が石炭から生み出されており、IEAは2030年には約2倍の電力が石炭から供給されると見通してい

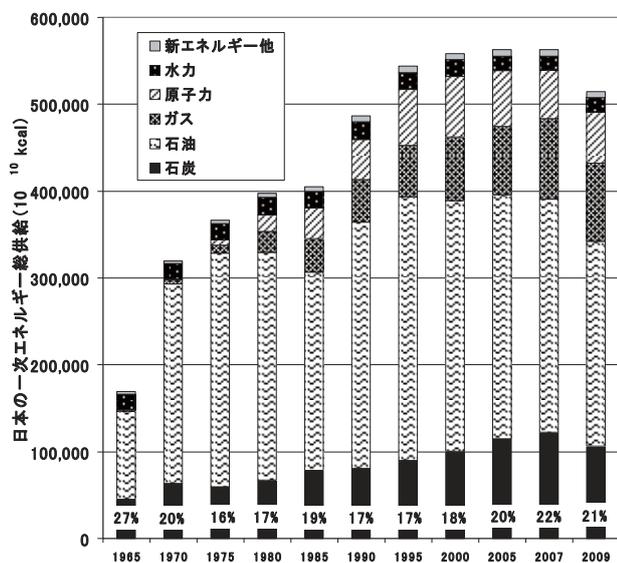
る。一方で、石炭は地球温暖化の一因とされる二酸化炭素(CO₂)の熱量当りの排出量が、他の化石燃料に比べ多いことから、第V章で述べる石炭高効率利用技術の開発が不可欠となり、最終手段としてのCO₂回収貯留技術(Carbon Dioxide Capture and Storage:CCS)が検討されている。

IV. 日本の石炭利用

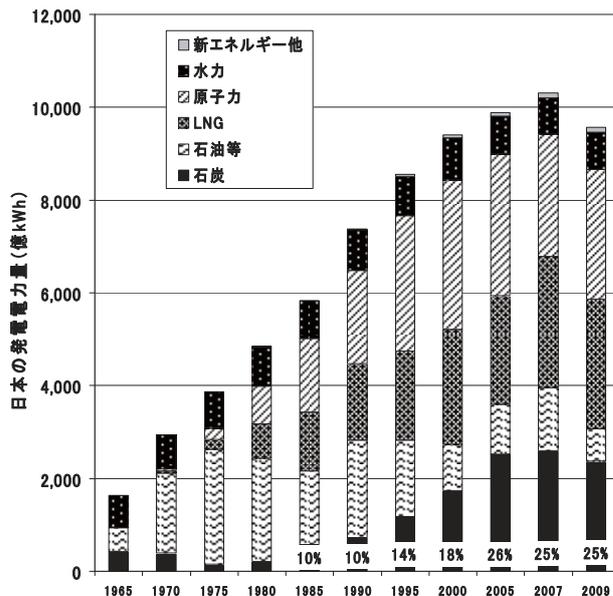
第3図にわが国の1次エネルギー需要の推移を示す。1973年と1979年の二度にわたるオイルショックを契機として、石油代替エネルギーとして石炭、天然ガス、原子力をバランスよく導入し、エネルギーのバランスミックスを図ってきた。1次エネルギーの推移で見ると、石炭需要は1970~2000年代まで平均して20%前後で大きな変化は見られない。これは電気事業以外の鉄鋼用コークス原料やセメント製造用燃料としての石炭の需要が堅調であったことや、輸送用燃料としての石油の需要が依然として大きな割合を占めるため、石炭の変動幅を小さく見せているものと思われる。

第4図の発電電力量で見ると、石油代替エネルギーとしての石炭の役割が明確に見えてくる。水主火従(水力発電>火力発電)であった1960年代から、急速に火力発電が増え、1970年代には火主水従の時代を迎える。1975年には石油火力のシェアが64%なのに対して、石炭火力は3.9%まで落込むが、石油代替エネルギー施策の効果が徐々に現れ、2000年代には石炭・天然ガス・原子力が、大まかに30%をシェアするバランスミックス時代が到来した。

一方、2007年2月、気候変動に関する政府間パネル(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)が発行した第四次評価報告書では「20世紀半ば以降に観測された地球平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の



第3図 日本の1次エネルギー総供給
(出典:「エネルギー・経済統計要覧2011」より作成)



第4図 日本の発電電力量
(出典:「電気事業連合会ホームページ資料」より作成)

温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性がかなり高い。」と報告され、化石燃料の中で熱量当りのCO₂発生量が最も多い石炭火力からのCO₂削減が、大きな課題としてクローズアップされ始めた。次章からは、日本の石炭火力の歴史と、石炭高効率利用技術開発への取組みを紹介する。

V. 日本の石炭火力発電所

1. 石炭火力発電所の歴史

戦後日本で最初に建設された火力設備は、昭和22年九州電力の港第二発電所、発電出力54 MWである。主蒸気条件は圧力4 MPa・温度435℃と、現在の再熱蒸気圧力(約4 MPa)並であったが、当時の苦しい世情の中で国産発電技術の前途に光明を照らした。昭和30年代前半まで国産技術として、66 MWクラスまでの火力設備が10数基建設されたが、同時期の米国では、主蒸気圧力1,800~2,400 psi(12.3~16.6 MPa)の大容量再熱プラントが既に採用されていた。日本の発電設備製造メーカー各社は、欧米先進各社との技術提携に踏み切り、輸入第1号機の次に第2号機を国産化することによって着実に技術蓄積を図ってきた。

当時の石炭火力は北海道や九州の炭鉱に隣接した「山元火力」が主流であり、火力設備の大容量化に伴って燃料も石炭から石油に大きく転換していく。国は、国内炭振興対策として昭和40年代前半に250 MWクラスの「揚地火力」を導入するが、昭和45年頃をピークに石炭火力が減少していく最中、昭和50年前後に二度のオイルショックに遭遇する。石油代替エネルギーとして石炭が見直される中で登場したのが「海外炭火力」である。オーストラリアなどの海外炭を輸送する大型石炭輸送船を、発電所に横付けできる専用大型港湾施設を備えた超臨界



最新鋭 USC プラント (磯子火力発電所600 MW × 2 U)



日本初 USC プラント (松浦火力発電所1,000 MW × 2 U)

第5図 日本のUSCランドマーク石炭火力
(写真提供：J-POWER[電源開発株])

圧(Super Critical :SC)プラント, 500 MW × 2基が昭和56年に運転を開始した(超臨界, 超々臨界については次節で解説する)。これを契機に海外炭火力は700 MW → 1,000 MW と大容量化していくと共に, 石炭高効率技術の一つである「超々臨界圧(Ultra Super Critical :USC)」を採用したわが国初の1,000 MW プラント(主蒸気圧力24.1 MPa, 主蒸気/再熱蒸気温度: 593/593°C)が平成9年に, また世界最高水準の送電端効率(42%, HHVベース)を誇る最新鋭 USC プラント(主蒸気圧力25 MPa, 主蒸気/再熱蒸気温度: 600/620°C)が平成21年に登場し現在に至っている。第5図にUSCのランドマークとなった石炭火力発電所を示す。

2. 石炭高効率利用技術

火力発電所の効率[投入熱量に対する発電量(発生熱量)の比率]は, 略儀的に「ボイラ効率(燃焼効率)」×「タービン・発電機効率(仕事率)」×「1-プラントロス(配管ロスなど)」で計算できるので, 具体的な効率向上策について解説しよう。

(1) 設備の大容量化

ボイラでの燃焼温度は, 1,500°Cを超える高温なので, 放散熱量を低減させるために, 火炉容積(m³)当たりの放散面積(m²)率が小さくなる大容量化は, ボイラ効率を向上させる。一方, タービンの大容量化によるタービンブレードの長翼化は, 蒸気流路の環状面積が大きくなるため, 翼先端部の仕事ロス率を低減し, タービン効率を向上させる。また設備の大容量化は, スケールメリッ

トによる経済効果も生み出す。

(2) 蒸気条件の高温・高圧化(USCの適用)

ボイラと蒸気タービンの組合せによる蒸気動力サイクル(ランキンサイクル)において, 蒸気条件の高温・高圧化は, サイクル効率を飛躍的に向上させることが理論的に知られていた。高圧化は耐圧部材の肉厚化により対応できるが, 内外面の温度差による熱応力の増大や部材の変形に耐える材料開発が必要になる。また高温化に対しては, 長時間の高温強度(クリープ強度)を有する材料や, 燃料中の硫黄分に起因する高温腐食に強い材料の開発など, 技術的課題と経済的観点から実用化が困難であった。第2次オイルショック後, 石油・天然ガス価格が高騰したのをきっかけに, 平成元年, わが国初のUSCプラントが天然ガス火力で実用化された。

石炭は, 燃料中の灰分や, 硫黄分などの不純物が多いために, 新技術の適用が難しい側面があり, 設備の大容量化やUSCの採用などは, 石油や天然ガス火力で実用化された技術を, 難易度の高い石炭火力に順次適用することでプラントの信頼性を高めてきた。

現在, 国プロとして主蒸気温度700~800°Cを目指したAdvanced USC(A-USC)の材料開発研究が進められており, 本技術が実用化されれば, 最新鋭の石炭火力より更に10%以上の効率向上が見込まれている。

(3) 石炭燃焼方式や燃焼効率の改善

石炭の燃焼は, 固体のまま燃焼させる固定床燃焼から始まり, 現在は75 μm程度まで石炭を粉砕する微粉炭燃焼(噴流床燃焼)が主流である。昭和50年代に固定床と噴流床の中間にあたる流動床燃焼技術(FBC: Fluidized Bed Combustion)が盛んに研究された。FBCは石炭を5~10 mm程度に粗粉砕し, 900°C前後の低温で燃焼させることで, 窒素酸化物(NO_x)の発生を抑制することができ, また流動媒体を石灰石(CaCO₃)にすることで, 燃焼過程で炉内脱硫(SO₂などの硫黄酸化物を除去)が可能となる。平成7年に350 MWの商用機に採用されたが, 流動床内に配置されたボイラチューブの摩耗などの保守性, 経済性から普及には至らなかったが, ゴミ焼却などの産業用燃焼方式として現在でも活用されている。

天然ガスの高効率発電技術であるガスタービン複合発電の石炭バージョンがP-FBCである。石炭を加圧燃焼させ, 圧力のある燃焼排ガスでガスタービンを駆動し, 蒸気タービンとの複合発電で高効率化を図る, P-FBC(Pressurized Fluidized Bed Combustion)技術も360 MW機まで導入されたが, 経済性の観点から普及には至らなかった。

現在, 石炭を高圧化でガス化し, ガス化ガスによる燃焼ガスタービンと蒸気タービンとの複合発電で高効率を目指す, IGCC(Integrated Coal Gasification Combined Cycle)が実証試験段階(250 MW)にあり, 実用化が期待されている。また, IGCCに燃料電池を組み合わせたト

リブル複合発電であるIGFC(Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle)は現在パイロット試験段階にあり、2016年には170 MW クラスの実証プラントが運転を開始する予定で、究極の高効率石炭利用技術として研究開発が進められている。

(4) 発電所の所内動力の低減

石炭火力では、揚運炭設備、石炭粉碎設備、排煙処理設備(集じん、脱硫、脱硝)、灰処理設備、排水処理設備など石油や天然ガス発電に比べて、電気を作るために多くの電気が必要となり、この所内動力削減にも長い間取り組んで来た。所内動力の低減は、発電所から送電する電力量を増やすことになり、間接的な石炭高効率利用技術といえる。

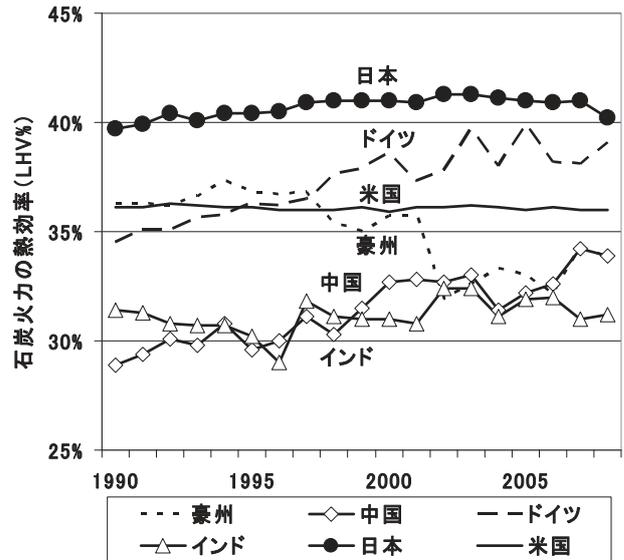
II章でも紹介した石炭の特性によって、揚運炭の過程で自然発火してしまう石炭、粉碎性の良い炭・悪い炭、ボイラ内部に灰が付着しやすい炭・しにくい炭、集じん性能に影響する灰の電気抵抗値の大きい炭・小さい炭、排水処理に影響する含有微量物質の多寡など、一口に石炭といっても千差万別であり、事前に使用する石炭の特性を十分に把握しておくことが、所内動力低減のアイデアを生むと共に、石炭火力の安定運転にもつながる。

VI. 世界の石炭火力発電所

第6図に世界の石炭火力発電所の効率の推移を示す。

日本の石炭火力の効率が突出して高い。これはオイルショック以降、電源のバランスをミックスを目指して、性能面や環境性で石油や天然ガス火力より劣る石炭火力の高効率化・好環境性に、官民あげて取り組んできた賜物といえる。経済至上主義の米国や、国の経済発展にエネルギー供給が追いつかない中国・インドなどの発展途上国に、日本の高効率石炭利用技術を適用すれば、CO₂の削減効果は約13億トンとの試算結果もあり、これはわが国の2007年のCO₂総排出量に相当する。ASEANや東欧諸国の石炭火力のほとんどが効率の悪い、亜臨界圧(Sub-Critical)プラントであり、ここでも日本のUSC技術が適用されれば地球規模でのCO₂削減が可能となる。

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、日本のUSCやIGCCなどの高効率発電技術や、石炭ガス化技術、CCS技術、運転管理技術などの石炭高効率利用に関する設備・技術を、アジア新興国を中心とした国際市場に普及・促進させることを目的として、「石炭高効率利用システム案件等形成調査事業」を立上げた。2011年度は、中国、インドネシア、モンゴル、ポーランドなどを相手国に8件の事業が採択され、2012年度も事業が継続される計画であり、新興国のエネルギー効率の向上、地球環境問題の解決および、我が国の経済成長に資する本事業に注目したい。



第6図 各国の熱効率(発電端 LHV%)

(出典：ECOFYS「International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO₂ Intensity Update 2011」より作成)

VII. おわりに

産業革命以降、大気中のCO₂濃度が漸増していることは科学的にも証明されている。CO₂が地球温暖化(気候変動)の一因であることも間違いないと思われるが、世界の趨勢がCO₂排出権取引や、CO₂ペナルティ(いわゆる炭素税)、ひいては膨大なエネルギーやコストを要するCCSに向っていることに対して、筆者は常々違和感を覚えている。

東日本大震災が、発電時にCO₂を発生しない原子力発電と、石炭高効率利用技術を適用した石炭火力とを、いかにわが国のベース電源として位置づけるか、真剣に議論する機会を与えてくれたと考える。

—参考資料—

- 1) 石炭技術総覧 (財)エネルギー総合工学研究所, ISBN 4-88555-69-2, (1993).

著者紹介



入谷淳一(いりだに・じゅんいち)
エネルギー総合工学研究所
(専門分野/関心分野)石炭火力発電技術全般/石炭高効率発電技術開発



時松宏治(ときまつ・こうじ)
エネルギー総合工学研究所
(専門分野/関心分野)エネルギーシステム工学・ライフサイクルアセスメント/エネルギー技術戦略

OPINION

わが国の核燃料サイクルの問題

衆議院議員 河野 太郎

わが国の「核燃料サイクル」には、全く合理性がない。プルトニウムを燃やすための高速増殖炉は、政府の建て前でも導入目標は2050年になる。その原型炉である「もんじゅ」は、40年以上の歳月と1兆円以上の費用をつぎ込んで、今も運転すらできない。わが国は使用済み核燃料の再処理を英仏2カ国に委託してきたが、既に抽出されたプルトニウムは45トンに達し、高速増殖炉の目途もたたないなかで、その利用ができない。日本のいくつかの原子力発電所では、使用済み核燃料プールが容量一杯になりつつあり、六ヶ所村の再処理工場は、トラブルが続き稼働できない。もし再処理工場が稼働すれば、処理できないプルトニウムが増え、再処理工場が稼働できないなかで現在の政策を続ければ、遅かれ早かれ使用済み核燃料プールが溢れて原発が止まる。そして核燃料サイクルの最大の問題は、核のゴミの処分だが、全く目途がたっていない。

I. 核燃料サイクルの問題点

ウランも石油も海外からの輸入に頼っているわが国は、諸外国と、限られたウラン資源をきっちりと最後まで使おうとする原子力政策を立案した。

原子炉でウランを燃やした時に出る使用済み核燃料を再処理すると、プルトニウムを取り出すことができる。それを高速増殖炉という特別な原子炉で燃やすと、理論的には発電しながらプルトニウムを増やしていくことができる。これがわが国の「核燃料サイクル」と呼ばれる原子力政策である。

1967年に国の原子力委員会は「高速増殖炉をわが国において自主的に開発する」という基本方針を打ち出した。そして、オイルショックで石油の価格が暴騰すると、1978年の原子力長期計画では「原子力研究開発利用は、国のエネルギー政策の要請のもとに、着実に推進されるべきものとなった」と原子力の重要性が強調された。

しかし、当初は合理的な政策だと思われていた「核燃料サイクル」もその後の環境変化によって、合理性のない政策となってしまった。

何よりも、プルトニウムを燃やすための高速増殖炉が、いまだ実現の目途すらたっていない。初めは1980年代後半に実現するといわれた高速増殖炉であるが、原子力長期計画が改定されるたびにその目標が遠のき、今や政府の建て前でも導入目標は2050年だ。高速増殖炉の原型炉である「もんじゅ」は、実に40年以上の歳月と1兆円以上の費用をつぎ込んで、今も運転すらできない状態にある。

核燃料サイクルを目指してきたわが国は再処理を英仏2カ国に委託してきたが、高速増殖炉の目途もたたず、日本が所有するこの大量のプルトニウムの処分ができない状況にある。電力会社はプルトニウムをウランに混ぜたMOX燃料にして軽水炉で燃やそうとしていたが、これを実施するために原発の地元で『やらせ事件』を引き起こし、一気に信頼を失墜させた。

日本の原子力発電所は、それぞれの発電所の中にプールを作り、ウランを燃やした時に出る使用済み核燃料を貯蔵している。しかし、いくつかの原子力発電所では、このプールが容量一杯になりつつある。

使用済み核燃料を再処理するはずの六ヶ所村の再処理工場は、トラブルが続き、依然として稼働していない。もし再処理工場が稼働すれば、プルトニウムが大量に余るなか、それを処理する目途もないままに、再処理工場が更にプルトニウムをつくり出すというおかしなことになる。反対に、もし再処理工場が稼働できないまま現在の政策を続ければ、遅かれ早かれ使用済み核燃料プールが溢れて原発が止まることになる。

そして核燃料サイクルの最大の問題は、核のゴミの処分にある。核のゴミの最終処分には、地下に埋める地層処分という方法がとられることになっている。埋めた後は100年から300年の間、地下の様子をモニタリングしなければならない。赤穂浪士の討ち入りの晩に地下深く埋めた核のゴミのモニタリングがちょうど今頃終了する、というような途方もない期間である。そして、その後10万年の間、放射能が弱まっていくのを待つことになる。これが原子力利用のための時間的なコストになるが、割の合わないものではないだろうか。

核燃料サイクルが完成すれば、今後、2千年以上日本の電力は足りるはずであったが、現実には、高速増殖炉が

開発できない、核のゴミの最終処分ができない、プルトニウムや使用済み核燃料が溢れてしまうといった問題が山積みだ。

Ⅱ. 使用済み核燃料

原子力発電所を運転すると、使用済み核燃料が出る。取り出された使用済み核燃料は、そのまま原発の使用済み核燃料プールに貯蔵されるが、2010年9月末の全国の使用済み核燃料プールの余裕は全部足しても6,890トンしかなかった。54基の原発から年間約1,000トンの使用済み核燃料が排出されるので、残り容量は約7年分弱というのが福島第一の事故直前の状況であった。

原子力発電所の使用済み核燃料プールが一杯になるからということを利用して始めた六ヶ所村の再処理工場の原材料プールの容量は3,000トンだが、既に2,700トンは搬入済みで残りは300トンしかない。

国会質疑の中で、経産省は、もし再稼働すれば九州電力玄海原発はあと3年で使用済み核燃料が一杯になると答弁している。こうした事態を予測して、5,000トンの使用済み核燃料を貯蔵できる「中間貯蔵施設」が5,6施設必要だという議論が行われてきたが、実現したのは青森県むつ市に5,000トンの中間貯蔵施設をつくる計画だけであった。

更に、今回の福島第一原発の事故で、使用済み核燃料プールの脆弱性をはっきりと浮き彫りになった。テロリストは、原発本体を攻撃する必要はなく、使用済み核燃料プールにダメージを与えるだけで取り返しのつかない影響を与えることができると知ったのだ。

Ⅲ. 再処理とプルトニウム

1967年に原子力委員会が核燃料サイクルを「国のプロジェクト」として進めることを決定して以来、使用済み核燃料を再処理してプルトニウムを取り出すことは既定路線であった。当時、日本は、協定に基づいてアメリカから核燃料の供給を受けており、アメリカから輸入した核燃料を再処理する場合は、アメリカ政府の合意が必要とされ、1977年に日米合意が成立するまで、日本での再処理は不可能であった。

一方、電力会社は、英仏両国に使用済み核燃料の再処理の委託を始めた。現在、日本が所有するプルトニウムは、日本国内に約10トン、再処理を委託した英仏両国合計に35トン、合計して45トンと、アメリカの核兵器に積まれているプルトニウムの総量よりも多くなった。なかには国防上の観点から、再処理を続けるべきだなどという暴論も耳にするが、これだけ既にプルトニウムを保有していれば、再処理でその量を増やす必要は全くない。ちなみに2009年の1年間に、日本国内のプルトニウムの実在庫量と帳簿上の在庫量に5.2キログラムの差が生じている。プルトニウムが8キロあれば核兵器ができると

いわれている。気をつけなくてはならない。

日本の電力会社は、英仏両国で保管されているプルトニウムの保管料の負担を減らすために、両国にあるプルトニウムをプルサーマル用のMOX燃料に加工して日本に持ち込んでいる。そのため、六ヶ所村の再処理工場で生成されたプルトニウムの用途は、当面、もんじゅ用に限られている。そのため、もんじゅが稼働しなければ六ヶ所再処理工場における再処理のニーズはない。国内で再処理したプルトニウムを原料にMOX燃料を作るための燃料工場を2016年に竣工させる計画があるが、このMOX加工工場も、当初の建設見積り額が1,200億円であったにもかかわらず、2009年には1,900億円と当初よりも50%以上高くなっている。このままいけばコスト的にも再処理工場の二の舞になってしまう。

福島第一原発の事故と各電力会社の『やらせ事件』以前には、2015年に最大で年間約6.5トンのプルトニウムをプルサーマルで消費することになっていたが、もはやそれは現実的ではなくなった。

核燃料サイクルの何もかもが予定通りいかないのに、ハコモノだけがどんどんできるといことは避けなければならない。

六ヶ所村に建設された再処理工場は、建設費用6,900億円の見込みであったが、最後には2兆2,000億円と、当初見込みの3倍の費用がかかった。この再処理工場は、ウランやプルトニウムを使う試験を実施する前に、政策変更をすることが可能であった。放射性物質を使ったテストを始めれば、工場の内部は被曝し、もはや引き返せなくなる。建築するのに2兆円の費用がかかった再処理工場は、一度内部を被曝させてしまうと、解体するのに同じくらいの費用がかかる。放射性物質を使う試験を始めるかどうか、日本の原子力政策の大きな分かれ道だったと言える。

再処理をしなければ使用済み核燃料プールが一杯になるので原子炉が止まるという主張に対し、一定期間プールで冷やした使用済み核燃料をキャスクと呼ばれる容器に移して陸上で貯蔵する乾式貯蔵という代替案が提案され、乾式貯蔵は現実に福島第一原発構内でテストされる場所まで到達した。このドライキャスクは、津波の影響も受けず、使用済み核燃料プールよりもはるかに安全性が高いということも証明された。

しかし、今までの政策が時代遅れになってしまったことを認められない行政の無謬性へのこだわりや、原発の地元に対して使用済み核燃料を六ヶ所村に搬出すると約束し、また、電力料金に再処理コストを上乗せしており、やめれば返さざるを得ないという電力業界の事情、原子力工学科の卒業生の行き先を確保しなければならない、再処理をやめれば「もんじゅ」、次世代原子炉のプロジェクトが続かないという学会の事情など、原子力ムラの内輪の事情で、政策転換ができなかった。

もちろん六ヶ所村におちる多額の交付金や、自民党は電力会社から政治献金を受けている、民主党は電力労組から金銭と選挙での支援を受けている、といった事情から、政治も既得権にしがみつき、問題を先送りしてしまったのである。そして、肝心の六ヶ所村の再処理工場は、問題が続き、いまだに稼働していない。

そうしているうちに、日本が再処理をするならば、と韓国も原子力主権を訴え、2014年の米韓原子力協定の改定にあわせて再処理を始めたいとアメリカに申し入れをしている。もし、韓国が再処理を始めれば、朝鮮半島の核レースが激化することになる。また、南アフリカも再処理に手を挙げており、韓国が始めれば当然に南アフリカもということになる。そうなれば、プルトニウムの拡散は避けられず、核不拡散体制は一気に崩壊する。

日本が最初に、再処理には経済性も合理性もないとの判断をして撤退することで、再処理が世界に広まることを防ぐことができる。日本の核政策の誤りを正すことは、世界的な問題を未然に防止することにもつながる。

IV. 高速増殖炉

高速増殖炉は、夢の技術である。石油やウランといった地下資源がない日本も、この技術が完成すれば2千年近く、電力の心配がなくなるはずであった。発電しながらプルトニウムを増殖させるこの高速増殖炉の開発は、かつては各国がこぞって行っていた。しかし、技術的な問題や経済合理性から、各国は次々と撤退していった。

アメリカは、核不拡散の観点から、再処理をせず使用済み核燃料を最終処分することを決め、ドイツやスウェーデンも、軽水炉サイクルを諦め、直接処分に方針転換した。再処理をしてきたイギリス、フランス両国も将来的な方針は未定である。

日本では、1967年の原子力長期計画に、「高速増殖炉は、1980年代後半に実用化する」と謳ったが、1972年の長期計画では「高速増殖炉の実用化は1990年代前半と見込まれる」と、表現を後退させ、1978年には「2005年までに本格的実用化を図る」と目標が10年ずれ込み、さらに1982年の計画では「2010年頃の実用化を目標」となった。そして1987年の長期計画では「高速増殖炉の実用化には基本的には市場メカニズムによるものであり、その時期を、現時点で見通すことは困難である」と否定的な表現になり、「軽水炉と経済性・安全性において競合し得る高速増殖炉のための技術体系の確立をなし遂げていくこととし、その確立は、2020年代から2030年頃を目指すこととする」と更に目標が遠のいた。ついに1994年の長期計画では『高速増殖炉』という独立した項目がなくなり、「2030年頃までには実用化が可能になるよう高速増殖炉による核燃料リサイクルの技術体系の確立に向けて官民協力して継続的に着実に研究開発を進めていきます」という一文だけになった。

1995年12月、高速増殖炉の原型炉である「もんじゅ」がナトリウム漏れの重大事故を起こし、運転を停止すると、2000年の長期計画では、「高速増殖炉サイクル技術の研究開発に当たっては、…長期的展望を踏まえ進める必要がある」と、高速増殖炉の実用化の目標は示されなくなった。

最新の2005年原子力長期計画では、「高速増殖炉については、…経済性等の諸条件が整うことを前提に、2050年頃から商業ベースでの導入を目指す」と、多くの条件がつき、それでもあと半世紀は実用化はないということになった。

そのもんじゅは、建設に5,900億円をかけ、その後の運転に合計3,595億円をかけてきたが、前述のナトリウム漏洩事故を起こし、その後15年以上にわたり運転を停止している。運転停止中の2010年度ですら、もんじゅの本体維持予算は233億円、2011年度は216億円であった。

V. 最終処分

原子力発電の最大の問題は、核のゴミをどう処分するかということである。わが国では、法律で、再処理後の高レベル放射性廃棄物を地層処分という方法で最終処分すると定められている。

1978年の原子力長期計画の中で初めて具体的な地層処分の時期が言及された。「高レベル放射性廃棄物の処理処分の当面の目標としては、(中略)、当面地層処分に重点を置き、(中略)、昭和60年代から実証試験を行うこととする。」

1982年の長期計画では、「処分技術について2000年以降できる限り早い時期に確立することを目標に地層処分及びこれに関連した研究開発を進める」と、目標が早くもずれ込んでいる。

1987年の長期計画では、地層処分を基本方針とすること、そしてその手順などが詳しく書き込まれたが、目標時期は明確にされないままであった。

1994年の長期計画にはついに「処分場の建設・操業の計画は、…2030年代から遅くとも2040年代半ばまでの操業開始を目途とします」と、処分場の操業開始の目標が設定された。

最終処分に関する法律が制定された後の2000年の長期計画の記載は、「平成40年代後半(2028年)を目途に最終処分を開始する」。2005年の原子力大綱では、「2030年代頃の処分場操業開始を目標」と目標は維持されている。

しかし、2002年12月から開始された概要調査地区選定のための市町村からの公募によれば、2008年までに応募された地域の文献調査を行った上で概要調査地区の選定を行い、2028年頃までに最終処分地を確定して最終処分場の建設を始め、2038年から最終処分を開始することになっていた。いまだに公募に応じる自治体がないことを考えると、この最終処分のスケジュールも大幅に遅れることが予想される。日本の原子力政策の問題の一つは、

できそうもないことをあたかも実現可能であるかのよう
に装うことにある。そのために、きちんと世の中に説明
もできず、合理的な政策を打ち出すこともできない。

使用済み核燃料プールの容量の問題も顕在化しつつあ
るなかで、最終処分の可能性も当面極めて低い現状で
は、現実的な選択肢は使用済み核燃料をドライキャスク
に入れて、かなり長期間、責任を持って保管し続けるし
かないのではないだろうか。

Ⅵ. 原子カムラを解体せよ

日本の原子力政策は、電力会社の地域独占、発送電一
体、総括原価方式といった特殊事情が創り出した巨額の
利権に、政治家、官僚、マスコミ、経済界、そして学者
が群がってそれぞれの分け前をあさるという原子カムラ
と呼ばれる腐敗構造の中で、おかしくなっていた。明
らかにおかしいことが行われ、それにメスを入れよう
とする者が徹底的に排除され、そしてだんだんと核燃料サ
イクルのあらゆる面が行き詰まっていくのを目撃しなが
らも、この原子カムラの住民は声をあげ、警鐘を鳴らす
ということをしなかった。

福島第一原発の事故直後、テレビに登場した学者が意
図的に事故を小さく見せようとしたことは、お天道様だ
けでなく、世の中がはっきりと目撃したと言える。これ

だけの事故が起きたのだから、関係者は国民の安全を守
るために最善を尽くすと同時に、しっかりとデータをと
り、原子力に関する人類の知見を高めようとすべきだっ
たのではないだろうか。

これまで金で黙らされていたマスコミが、様々な原子
力カムラの腐敗を暴いていくなかで、自ら反省し、過去を
さらけ出そうとする科学者がどれだけいるだろうか。と
もすれば、自らの罪を忘れ、事故後に必死に勉強してき
た国民に対して居丈高な態度をとる学者もいる。被災し
た人々の気持ちも考えず、子供を抱え途方に暮れる両親
の心配を理解しようともせず、自らの地位と将来だけを
考えて発言する専門家がどれほどいたことだろうか。

核燃料サイクルが抱える様々な問題は、この原子カム
ラの中で隠され、矮小化され、先送りされてきた。胸に
手を当てて、自分は間違っていたということをはっきり
と告白し、出直することができる原子力の専門家がどれ
だけいるのか、国民はじっと見ている。

著者紹介



河野太郎(こうの・たろう)
衆議院議員

新刊紹介

知っておきたい物理の疑問55

日本物理学会編, 205 p. (2011.12), 講談社ブルーバック
ス B-1750.
(定価820円+税) ISBN 978-4-06-257750-2

物理学会では、若い世代の理科離れが進む中、世の中の事
象の原理を基本から理解することで、少しでも物理学に興味
を持つ学生・生徒を増やしたいという思いで、本書を刊行さ
れた。本書は、よく知られたブルーバックシリーズに属し、
価格もその内容の濃さと比べて格安と言えよう。

本書は、答えられそうで答えに窮する極上の疑問集という
位置づけで、高校生から寄せられた55の物理の疑問には、物
理の世界を理解する法則やエッセンスが溢れている。「空が
青く、夕日が赤いのはなぜ?」といった、誰もが抱く疑問か
ら、「宇宙がはじまる前には、なにがあったの?」といった専
門家でもまだわからない疑問まで、結論に至る方法に重きを
おいて解説した物理の基本知識の集大成である。

第1章 身近な疑問においては、よく知られた質問と回答
が示されているが、次第に内容が高度になり、本会関連では、

「原子力発電所はどうやって発電して
いるのですか。」という質問があり、そ
の次のコラムでは、「原子力発電の課
題」として、福島第一原子力発電所の
事故に関連して、放出された放射性物
質からの放射線の種類、人体への影
響、被ばく対策および今後どうすべ
きかについて解説されている。



第2章 考えると矢張り不思議にお
いては、レーザーポインター、超伝導体、アモルファスナイ
フ、太陽光発電など比較的新しい工学技術に関する質問が増
えてきて、これらの技術の原理に関して参考となる回答がな
されている。

第3章から第5章においては、「地球から宇宙空間」から始
まり、「太陽からブラックホールまで」、さらには「宇宙は時
空」と内容が広がっていき、時空についての想像を絶するス
ケールの話となり、最近のX線望遠鏡や計算機シミュレー
ションの進歩のお蔭で、徐々に宇宙像が解明されつつある
ことが述べられている。特に驚かされた知見としては、宇宙
における恒星の総数は、1,000億の数億倍、つまり京の1万
倍もあり、宇宙の大きさは、ビッグバン以来140億年経って
いるので、その間に光が到達できる140億光年ということ
である。(元日本原子力研究所・関 泰)



福島第一原子力発電所事故に向き合い乗り越えよう GLOBAL 2011国際会議より

GLOBAL 2011プログラム委員会 深澤 哲生

2011年12月に開催された GLOBAL 2011国際会議では、会議スコープを将来原子力システムから福島第一原子力発電所事故対応・復興に大幅に変更し、会議の半分以上を関連する招待講演・パネルに当てた。また、一般講演においても、福島に関する論文を急きょ募集し、口頭及びポスターにて発表してもらった。従来の GLOBAL 会議の主要テーマである燃料サイクル、再処理、分離変換、先進炉、廃棄物処理・処分などでも、福島第一原子力発電所事故に言及する発表が目立った。参加した専門家は、最終的に、事故再発防止と原子力継続強化の必要性を内外に幅広く訴えるため、共同声明文を発表した。

I. 会議の概要

当初、2011年9月に開催予定であった燃料サイクルと先進原子炉に関する国際会議 GLOBAL 2011は、東日本大震災及び福島第一原子力発電所事故に配慮し、また福島復旧の願いを込め、12月に開催された。事故の影響が心配されたが、参加者は35カ国から500人を越え、約半数は海外からであった。

主テーマを「2030年までとその後の原子力」から「福島第一発電所事故に向き合いそれを乗り越えて」に変更するとともに、全体会議を初日と2日目に集中し、歓迎挨拶に引き続いて、発電所事故の状況、事故後の各国の展望、学会調査委員会の取組、外国の事例、安全性等について報告し議論した。

3日目と4日目は通常の原子力戦略、燃料サイクル技術・システム、先進炉、核不拡散、人材育成等に関する約300件の口頭発表があった。また、急きょ、福島セッションを設けたところ、20件の論文の応募があり、高レベル汚染水処理等で活発な意見交換がなされた。

3日目最後のポスターセッションでは、国内外から100件近くのポスター発表があり、あちこちで熱心な議論が展開された。厳正なる審査の結果、若手研究者・学生を中心とした7名の優秀なポスター発表者を表彰した。

4日間を通じて開かれた工業展示では、海外6社・機関を含む21社・機関から燃料サイクル、先進炉、福島復旧に関する技術、製品、研究開発成果などが展示された。

5日目は場所を敦賀に移し、地元住民を含む約200名の参加者(うち海外からの参加者は約50名)を得て世界的なエネルギー展望についての講演とパネル討論を行い、また、「もんじゅ」見学を開催した。

Toward and Over the Fukushima Daiichi Accident ; From the International Conference GLOBAL 2011 : Tetsuo FUKASAWA.

(2011年 2月9日 受理)

II. 福島第一原子力発電所事故に関する招待講演

福島第一原子力発電所事故に焦点を絞った1日目は、田中組織委員長(原子力学会会長)の開会宣言から始まり、近藤名誉組織委員長(原子力委員長)の歓迎挨拶と概況報告、東大・尾本教授の事故分析、原子力学会「原子力安全」調査専門委員会の技術分析分科会、放射線影響分科会、クリーンアップ分科会及び関連海外機関からの報告、スリーマイル島第二原子力発電所(TMI-2)及びチェルノブイリ原子力発電所の事故の経験、地震と津波のメカニズム説明などが行われた。

尾本教授は、講演「福島第一原子力発電所事故から得られた教訓による安全性強化」で、炉心冷却、放射性物質漏洩防止(汚染水処理を含む)、残余リスク低減などのサイト内外の中長期対応、得られた主要教訓、安全性強化のための活動について緻密に分析・検討し、次のように結論付けた。(1)福島サイト安定化は収束段階で、今後はサイト外環境修復とサイト内除染・燃料取り出し・廃止措置が進む。(2)規制・安全文化、実用的過酷事故対応手順、危機管理、安全設計等で得られた教訓の安全性強化への反映が重要である。(3)ルートコズ分析で弱点を明確化することにより、安全文化・体制及びリスク管理を改善できる。

学会調査専門委員会及び内外関連機関の報告は、詳細な事故解析、放射線の人体影響、福島県の汚染除去、IAEAの公衆被曝に対する安全基準、TMI-2の教訓とサイト内修復、チェルノブイリの除染戦略・環境修復・長期被曝評価に及んだ。いずれも、福島復旧・復興に直結するあるいは参考となる内容であり、報告者と聴講者の熱意と議論は休憩時間まで続き、関係者は福島での早期復興に役立てたいとの気持ちをより一層強くした。

また、事故後の各国の状況が日米仏韓とIAEAから報告された。日本からは深層防護の安全設計原理に基づ

く頑強システムの構築が必要、米仏韓からは福島事故を教訓に安全性を向上させた上で原子力を継続する、との発表があった。IAEA からは新興国の状況分析があり、原子力導入予定の多くの国が計画続行としている一方、興味を示していた国は30カ国から10カ国未満に減ったとのことであった。

2日目の全体会議では、各国・各機関の燃料サイクル及び再処理/プルトニウム利用に対する取組が、日仏露印、EU、第4世代炉国際フォーラム(GIF)、OECD/NEA、IAEA から紹介された。福島原子力発電所事故を考慮した安全性とセキュリティでは継続的な改善・強化が重要、核不拡散のパネルでは地域的・国際的な協力や多国間管理が必要、との結論に至った。

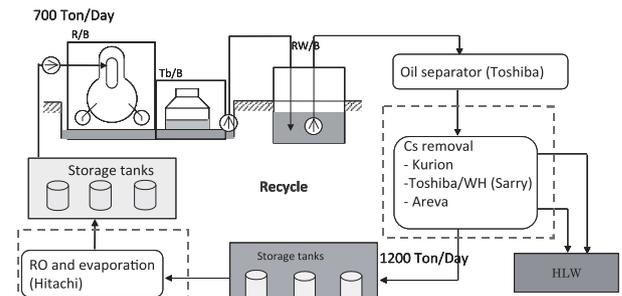
2日目の夜、東京ベイ舞浜ホテルで行われたバンケットでは、研究者間の旧交を深めるとともに、各国から福島復興に対する激励の声が多数寄せられた。

Ⅲ. 福島第一原子力発電所事故に関する一般講演

3, 4日目は分離変換及び人材育成のパネル討論と各トピックの口頭発表がパラレルセッションで行われた。各トピックと論文数を第1表に示す。

トピック0「福島第一原子力発電所事故」では、タービン建屋等に滞留している高レベル汚染水処理のイオン交換法及び凝集沈殿法による処理に関する発表が、実際に汚染水処理に対応している日本、米国、フランスの機関からあった。汚染水中の主要核種はセシウムであり、採用した方法によって効果的に除去できることが示された。現在は、イオン交換法によるセシウム除去装置のみが稼動しており、逆浸透膜(RO)により塩分等の海水成

Inventory control to avoid spill-over to the environment, Removal of Cs, Removal of Chloride



第1図 高レベル汚染水の処理フロー

分を除去してから炉心の冷却のために処理水を循環している(第1図)。

また、各種過酷事故コードによる解析結果や核分裂生成物(FP)挙動についても報告された。事故解析は燃料溶融状態予測や今後の炉内状況調査、燃料取出し計画策定のため、FP挙動解析はサイト内外の除染計画策定、環境修復のために重要であり、研究開発の更なる進展が期待される。

トピック1, 2, 3の「原子力戦略」, 「原子力システムの継続性」, 「燃料サイクル戦略」では、福島原子力発電所事故後の各国の展開についての発表があった。

韓国では、事故の影響により、特に安全性再確認の観点で、原子力の推進計画が遅延気味である。しかしながら、将来的なエネルギー確保のため、使用済燃料の乾式処理を伴う金属燃料高速炉サイクルを目指す方針に変更はないとのことであった。

インドでは、安全性に関して十分に配慮するものの、事故の影響は少なく、従来通りに原子力導入計画、特に高速増殖炉と独自のトリウムサイクルの開発を推進するつもりである。ウランより資源量の多いトリウムの利用については、他の国からの発表も散見された。

中国も、インドと同様に、壮大な原子力導入計画を有している。将来的には金属ナトリウム冷却の高速増殖炉が本命であるが、高温ガス炉、溶融塩炉、加速器駆動炉の開発も目指すとのことで、広範な原子力分野に予算が配分されている。インドと中国では、増え続ける人口を支える低炭素巨大エネルギー源としての原子力への期待が非常に大きい。

ロシアとフランスも、安全性向上・強化を条件に原子力推進計画を維持するつもりである。軽水炉から高速炉への移行期に関する物量評価、合理的移行方法の検討、実用高速炉の開発、先進的再処理技術の開発、新燃料製造技術の開発、照射用原子炉・ホット試験用燃料サイクル施設の計画・提供などの報告があり、両国とも原子力・燃料サイクル先進国としての希望あふれる将来を思い描いている。ただ、フランスの専門家は、2012年4月22日の大統領選挙で現職のサルコジ大統領が敗北した場合は、原子力にとって厳しい状況になるかもしれないと危惧していた。

第1表 口頭発表トピックと論文数

	トピック	論文
0	Fukushima Daiichi Accident	20
1	Nuclear Energy Strategy	2
2	Sustainability of Nuclear Energy Systems	7
3	Fuel Cycle Strategy	8
4	Advanced Fuel Cycle Systems (LWR to FR)	34
5	Partitioning & Transmutation	49
6	Advanced Reprocessing Technologies	56
7	Advanced Fuels/Targets and Materials	56
8	Innovative Nuclear Energy Systems beyond 2030	18
9	Improvements in Reprocessing and Vitrification Technologies	41
10	Radioactive Waste Treatment and Disposal Options	35
11	Spent Fuel Management	12
12	Uranium Resource and Fuel Supply	7
13	Advanced Reactors	22
14	Nuclear Safety	20
15	Nuclear Hydrogen and Other Utilization	3
16	Proliferation Resistance, Safeguards and Nuclear Security	18
17	Multilateralization of Nuclear Fuel Cycle	7
18	International Cooperation, Research and Test Facilities Sharing	7
19	Social Issues and Public Acceptance	5
20	Human Resource Development	9
	Total	436

トピック14の「原子力安全」では、ナトリウム冷却高速炉のセッションで4件、重金属系で2件の発表があった。また、軽水炉に関して5件の発表があった。

ナトリウム冷却高速炉のセッションでは、日本型大型高速増殖炉の深層防護の設計方針として、自然循環冷却と燃料溶融時に再臨界フリーとなる設計対応が示された。福島事故を背景に溶融炉心の分散挙動の確からしさ等について活発な議論がなされた。小型高速炉4Sについては、米国の規制要件に対する対応として危機管理区域の距離の評価結果が示された。また、高速炉に適合する超臨界二酸化炭素を熱媒としたブレイトンサイクルの有意性が示されたが、福島事故を背景に自然循環冷却特性についての質問があった。

高速炉用シビアアクシデントコードの発表では、モデルの差による結果の違いが鮮明となり、モデルの高度化が必要であることが認識された。また、冷却材として鉛の安全面も含めた優位性に関する発表もあった。以上のように、高速炉の議論では、福島事故をうけた安全評価・対応が各方面で加速していることが認識された。

軽水炉に関しては、燃料設計ツールの高度化、超臨界水冷却炉を対象とした物性研究、BWRの二相流モデルなど、基盤技術に関する研究発表が主であった。Th-PuのフルMOX炉心を導入したPWRを対象とした反応度投入事故解析の発表では、安全基準を満たす結果が得られたことが報告された。

他のトピックにおいても、福島事故を意識した発表が多く見られ、燃料サイクルや放射性廃棄物処分の問題解決を含む原子力の安全性確保・向上が原子力継続の必須条件であることは全員の共通認識であった。

口頭発表が2日間しかなかったため、多数の平行セッションを設ける必要があり、類似発表を並行して行うケースやセッションの参加者が少ない場合があったことは反省事項であるが、総じて各セッションにおいて活発な議論が行われた。

IV. 会議の総括

4日目最後の閉会式では、井上プログラム委員長から、今回会議の発表件数等の情報及び発表内容のサマリーが報告され、米国プログラム委員から、次回GLOBAL会議の紹介があった。また、共同声明文についても確認した。

グローバル2011では、期間中に多くの討議と熟慮を重ね、世界中から集まった500人を超える専門家は、以下の共同声明文を発表することに合意した。

1. 事故の分析、学んだ教訓の集積、そして、今後の

リスク管理は、世界のいかなる場所においても、あのような事故の再発を防止し、原子力の継続を強化するものである。

2. 経済成長、特に発展途上国における経済成長に伴う世界の人口とエネルギー需要の増大は、すべてのエネルギー源の利用を必要としている。原子力は、温室効果ガスの低減とエネルギーの供給保障の両立に貢献するものである。

3. 効果的で持続可能な資源利用や放射性廃棄物低減を可能とし、将来のニーズを解決する核燃料サイクル技術の研究開発を継続することは、より高い効率を得つつ安全性に関する要求を満足するために不可欠である。

4. 原子力産業界は、情報伝達の透明性を確保し、公衆の信用と信頼を再構築しなければならない。

5. 核拡散防止に関するコストと安全性と信頼は、原子力活動における世界各国の協働の促進を必要とする。

6. 原子力技術開発に関する知識の集積と理解と共有は、極めて重要である。今回のグローバル会議は、2013年に、米国の原子力学会とアイダホ国立研究所の主催により、ソルトレークシティにおいて開催される。

閉会時には、福島復興を祈念するとともに、再来年9月末の次回GLOBAL会議での再会を全員で誓い合って散会した。

なお、本会議の概略状況及び招待講演の発表資料は、GLOBAL 2011ホームページ(<http://global2011.org/>)で見ることができる。

V. 敦賀セッション

5日目の敦賀セッションでは、米国、フランス、韓国からの講演において第4世代炉の開発を含めて原子力利用を継続していく方針が示され、日本からは「もんじゅ」の現状と役割が紹介された。続いて敦賀市民を加えて行ったパネル討論においては、高レベル放射性廃棄物処分に関する質問に対し、高速炉サイクルを用いてその発生量や放射性有害度を低減することが重要との回答がなされる等の質疑応答や、安全性の向上、専門家による冷静な議論、エネルギー安定供給の重要性についての意見等がなされた。また、冒頭、上記共同声明文が紹介された。

著者紹介



深澤哲生(ふかさわ・てつお)
日立GEニュークリア・エナジー(株)
(関心/専門分野)燃料サイクル, 再処理,
放射性廃棄物処理, アクチノイド化学

談話室

東海再処理物語

元 動燃事業団 中島健太郎

1. はじめに

1956年、我が国の原子力委員会は、「原子力開発利用長期計画」で、「燃料要素の再処理及び廃棄物処理は、原子燃料公社(公社)において集中的に行うものとする」とした。

公社は、東海製錬所(茨城県)に隣接して土地を取得し、気象などの調査を進めた。また、原子力委員会は、1959年、「再処理調査団」を欧米に派遣し、その結果、調査団は、従来の「先ずパイロットプラントを作り、次いで実用工場を作る」から「実用工場を作る」に方針を改め、更に、その規模を実用での最少の0.7~1t(U)/日とし、1968年頃運用を始めるのが適当とした。1966年、公社はフランス SGN に東海工場の設計を依頼した。

2. 設計

天然金属ウラン燃料及び酸化物燃料を1日当り0.7t(U)処理する、回収製品は、ウラン(U)は三酸化U、プルトニウム(Pu)は硝酸Pu溶液とするなどの指針の下で、1966年に設計が始まった。重要事項の一つに、処理済み廃液の海への放出があり、英国セラフィールド工場の放出量の1/1,000以下とすることを目標とした。

燃料溶解液の分離精製には、フランスと同じピュアレックス法を用いるが、東海工場の使用済み燃料(SF)の内蔵放射量はフランスに比べて1桁多い。よって、フランス原子力庁(CEA)が確性試験を行った。この試験も設計の一部であった。設計は、1969年1月に終了した。

3. 安全審査

1968年、安全審査が「原子力委員会の専門部会」により始まった。同委員会は「放射性廃液の海洋処分に関する調査研究について」を決め、「放射性廃液の海洋放出調査特別委員会」が活動を始めた。海洋放出に伴う線量評価には、核種ごとの放出量、海での拡散、海洋生物の濃縮などのデータが必要だった。英国は、海への放出量は極めて多いが、上記の調査は行き届いており、それを有効に取り入れた。このような経過で、41回の審議ののち、1970年、内閣総理大臣はこれを認めた。

4. 建設

建設以降は借入金でまかない、再処理収入でこれを返

済することが決まっていた。「原子力発電が商用であるから、それに関連する再処理も商用である」との、実態と全くかけ離れた理由によるという。

工期は33カ月、性能保証に関する主工場と廃棄物処理場はSGN・JGC(日本揮発油株)のJVにより、他は直営とした。運転・核物質の計量・製品純度に直結する化学分析施設を直営としたのは良かった。

1971年の着工直後、すぐにSGNは高速実験炉ラプソディの数万MWD/tの燃料再処理の経験から、「溶解液の清澄」には、当時考えていたサイクロンでは不十分、これをパルスフィルタか、遠心清澄機に変えることを提案した。可動部分のないパルスフィルタを採用した。当時は、まだまだ軽水炉燃料のような高燃焼度燃料の経験がなかったのである。一方で、ステンレス鋼の配管は、当初の施設だけで約120kmの長さ、溶接点は数万点に及んだ。住友化学系の工事会社の専門家がその検査を担当した。さすがにベテランで、運転後も一点も欠陥はなかった。

5. 試運転・運転

化学試験・ウラン試験・ホット試験からなる。

ウラン(U)試験はUを用いてプロセス機器の性能を確かめ、不具合があれば、必要な手直し、改造を行い、再度その結果を確認するものである。従業員の教育訓練の最良の場でもあった。UをU溶液から三酸化Uにする脱硝工程で、詰まりなどのトラブルが発生、最大の難関であった。SGNもこの経験がなく、ライバル会社ベシネから専門家が来たが解決せず、動燃担当者の熱意と創意工夫で何とか乗り切ることができた。U試験の初期に、従業員の指が、微量だが被ばくすることがあった。Uを溶媒で抽出分離すると、それまで放射能平衡にあったU-238とTh-234のうち、Th-234が抽出廃液の方に行く。今まで大量のU-238の中にあったTh-234が廃液中に単離され、放射能が数倍になったためであった。手直し・改造と従業員の運転・保守への十分な習熟効果とが相まって、次のホット試験への準備が整った。

ホット試験の直前、米・カーター政権は、これに待ったをかけた。厳しい日米交渉のあと、1977年9月にホット試験を開始した。機器からの微量な放射能漏れのようなことを除いて順調に進んだ。同年8月、加圧水型炉の

燃料試験の前日、酸回収蒸発器の加熱部にリークが発生、試験を停止した。欠陥は、蒸発缶加熱部の管板、管の間の溶接部のピンホールと確かめたのは、翌1978年2月であった。経団連会長の土光敏夫氏が「技術者土光」としてこの蒸発缶の近くまで入り、溶接方法とその検査について専門家としての眼光紙背に徹するがごときご教示を頂いた。

日米原子力協定に基づく共同決定および声明では「工場の運転を2年間」、「再処理量を99t(U)」、混合抽出法が可能となれば、それにプロセスを変更する、となっていた。更に国際保障措置の改良に努めることが要請された。TASTEX (Tokai Advanced Safeguards Technology Exercise)¹⁾がIAEA (国際原子力機関)、米国のアイダホ、ロスアラモス、ブルックヘブン、サバンナリバー、オークリッジ、アルゴンヌ、ハンフォード、フランスのカダラッシュ、日本の原研、動燃が参加し、13項目につき開発、成果を上げ、1979年に終了した。普通の計量は、溶液量とその化学分析値で決まるが、保障措置では「燃料の全部が溶解され、溶解液の全量が計量槽に入り、分析試料は真正であり、容量測定と化学分析にごまかしがないことを検認することが求められる」ということである。海への放出廃液について、英国セラフィールド工場の1/1,000を目標とし、実際に達成した。

東海工場の放出量が少ないことを、内藤奎爾先生は評価されている²⁾。

東海工場と同じ頃に運転していた工場は、①米・NFS ウエストヴァレー工場、②ユーロケミック・モル工場、③英・セラフィールド工場のHEP工場、④独・カールスルーエのWAK工場、⑤米・GEのMFRP、⑥仏・COGEMAのHAO、⑦米・AGNSのBNFPがある。このうち、⑤と⑥は運転せずに断念した。長く動いたのは、

④のWAK、⑥HAOおよび東海工場だけである。

初期の酸化物燃料用工場では溶解液の清澄と、機器の腐食が主なトラブルであった。特に、清澄は、燃料の燃焼度が増えて初めて現れる現象であった。

1976年、試運転中の工場にアフリカ・ザンビアの駐日大使が訪れた。英・オックスフォード大卒の才媛である。「ここで回収したPuの何%が平和利用か?」と尋ねた。私は「もちろん100%平和利用」と答えたが、これだけ手間ひまかけて回収したPuを100%平和利用とは考えられなかったのであろう。

類似のことを山本寛先生も書いておられる³⁾。

6. 結 び

電力社長会が、東海工場を訪れた時、ある社長が「Puは回収すると劣化するというが本当か?」と質問された。「その通り」と答えると、「どうすれば良いか」と問われ、「必要に応じて再処理するのが最良」と答えた。フランスは世界で有数の原子力発電国であるがPuの需給からラ・アーグ工場の処理量を制限している。日本には2009年末で約31t(英仏に21t、国内に6.8t)の在庫がある(原子力委員会)。劣化物の在庫の山を築くより、必要に応じて再処理すればよい。

(2012年 2月29日 記)

— 参 考 文 献 —

- 1) TASTEX, Tech. Rep. Ser. No.213, IAEA, (1982).
- 2) 内藤奎爾, “私の見た原子力半世紀”, 日本原子力学会誌, 39〔2〕, 146(1999).
- 3) 山本 寛, “黎明期の燃料サイクル研究の軌跡”, 日本原子力学会誌, 31〔7〕, 823(1989).

今後の日本のエネルギーについて

編集委員 近藤 吉明

東日本大震災は3月11日で発生から1年、この震災に伴う東電福島第一原子力発電所の事故で国民の多くが、わが国のエネルギー基盤がいかに脆く、危険なものかを知ることになった。エネルギー自給率が数%にも満たないわが国では、エネルギー戦略は国家の盛衰を左右する。

至近の課題： 東日本大震災を境目に、わが国は時代の転換期に入り、経済は上昇から下降への分岐点に入ったと言われる。政府はすでに「原子力発電への依存度低減」の方針を明らかにしている。2010年の電源別発電電力量は原子力(28.6%)、天然ガス(29.3%)、石炭(25.0%)、石油(7.5%)、水力(8.5%)、地熱・新エネルギー(1.1%)である。電源の約3割を占める原子力分を他電源でカバーすることは可能だろうか。原子力の不足分を他電源で補うとしても、追加燃料費は年間約3.1兆円で、電力料金は約2割値上げになるという。

原子力発電の運転中止で二酸化炭素排出量が2011年度では前年度比で約35%増える見通しで、増分の温室効果ガス発生量は1990年比の約1割増しになる。温室効果ガスの最大排出国である中国と米国政府は京都議定書から離脱している。しかし日本は京都議定書の下で、2012年までに温室効果ガスを基準年比で6%の削減が必要で、排出権を購入することになる。

5月に泊3号機が運転停止すると、わが国の原子力発電はゼロになる。原子力発電所の再稼働は、電力会社のストレステスト(事故時の裕度評価)報告書を原子力安全・保安院と原子力安全委員会が安全性を確認し、国(首相と関係3閣僚)が是非判断し、地元自治体の理解を得たのち、国が最終決定することになる。しかしストレステストだけでは原子力発電所の健全性、信頼性は変わらない。

原子力発電なしでこの電力危機が乗り越えられたとしても膨大な国富がなくなる。この負のスパイラルにわが国の経済、産業界、国民は耐えられるだろうか。

中長期的な課題： 現在のわが国の総人口は約1億2,770万人で、20年後には1億1,500万人程度に減少し、高齢者の比率が約32%になる。省エネも進み電力需要も1次エネルギーは約2割減少すると見込まれている。電力需要も2007年の約10,305億kWhから2030年には9,646億kWhになり、約6%減少すると推定されている。昨年12月の政府の「エネルギー・環境会議」では2030年の電力コストを公表している。これでは原子力は事故リスク対応費用等社会的費用が発生するとし、kWh当り約9円以上、石炭・LNGは燃料費やCO₂対策による上昇を考慮して10円台、それに対し風力・地熱は現状でも10円以下もあり、太陽光は10~20円としている。再生可能エネルギーの実用化がそのような価格で成り立つで

あろうか。

太陽光、風力発電などの自然エネルギーはクリーンで無尽蔵だが、エネルギー密度や出力密度が極めて小さく、不安定で稼働率が低く、環境への負荷の考慮も必要になる。この電源の活用には、スマートグリッドの導入や送電網の充実など、わが国の電力供給や発送電の仕組みにまで関わってくる。その大量導入には、安定供給に必要なバックアップなどに膨大なコストの考慮も必要でブレーク・スルーがない限り、多くを期待できない。

火力発電に関しては新鋭石炭火力発電でも、温暖化ガスの発生量が多い。炭酸ガス貯留(CCS)は現在研究段階でトータルコストは5千円~1万数千円/tで排出権の購入価格の数倍となり実用化の段階ではない。LNGは資源的に供給の不安定性は小さいが備蓄量は2~3週間分しかない。米国ではシェールガスの実用化が始まり、わが国もその恩恵に浴する可能性も出てきた。しかしこれもLNGと同様、資源量には限界がある。わが国ではメタンハイドレードの試掘研究が始まっているが、実用化の用途は立っていない。まして、核融合の実用化は遠い将来だ。

わが国が今後も産業立国で進むのなら、電源構成は安全性を十分担保した原子力を組み入れた電源のベストミックス以外の選択肢は見つからない。

核燃料サイクルの課題： わが国は核兵器を持たない国として、再処理が認められている唯一の国である。それを生かし軽水炉から将来の高速炉への移行を前提に、再処理路線が敷かれてきた。わが国のプルトニウム(Pu)保有量は、2010年で海外に約36トン、炉内燃料も含め国内に約10トンで合計約46トンになる。

今後、軽水炉使用済燃料の再処理で得られるPuおよび保有Puは順次軽水炉MOX燃料に使用し、Puの保有量を減らしていく。一度燃焼したMOX使用済燃料のPuは劣化しているので核不拡散上も脅威になりにくい。その上に高速増殖炉時代到来時の燃料材に使用できるのでその備蓄になる。日本原燃の再処理工場の試運転はガラス固化体工程の不具合で、2007年11月から中断されているが、技術的な問題はいずれ解決される。再処理路線を一旦放棄したら今後わが国での再処理の復活はありえない。

今回の大事故で原子力以外のエネルギー源が見直されている。しかし供給量、コストの面で原子力を凌ぐものは見えず電源のベストミックスしかない。また、わが国の再処理と高速増殖炉計画には何十年かけて構築してきた技術基盤がある。今後も地道に根気よく技術開発を継続していくことがわが国の将来のエネルギー問題を解決する道だと信ずる。 (2012年 3月11日 記)

人類の生存の時間軸とエネルギー

原子力学会 会員 飯田 式彦

地球のシステム科学を語る書の多くで述べられているように、地球のエネルギー収支は、太陽の核融合反応(以下、太陽エネルギー)および地中のウランとトリウムの核崩壊熱(以下、地中エネルギー)による2種類のエネルギーだけに支配されている。水、風は、太陽エネルギーが形を変えたものであり、石油、石炭、天然ガスは、太陽エネルギーと地中エネルギーがとても低い確率で1~2億年かけて濃縮したものである(確率はとても小さく将来、このような幸運がありうるとは思えない)。

地球表層では 1.8×10^{17} J/s(ただし面密度は好日照条件で約 250 J/s/m^2)の太陽エネルギーが流れ込み、同時に同じだけのエネルギーを宇宙に放出している。また、地中の地殻とマントルから 4.4×10^{13} J/sのエネルギーが地球表層に流れ出している。太陽はまだ若く、また地中エネルギーとして支配的なウランの半減期は地球の年齢と同じ45億年、もうひとつのトリウムの半減期は140億年である。この2つのエネルギーだけが、私たち人類の生存する時間軸においては無尽蔵のエネルギー源といえる。

一方で、1~2億年かけて濃縮された太陽/地中エネルギーは、あと400~500年間で消費し尽くされようとしている。そのことを2010年の世界のエネルギー消費 1.6×10^{13} J/sをもとに検証すると、天然ガスとメタンハイドレート両者を合わせても180年、石炭では260年で過去に濃縮したエネルギー源を失う。石油は電力利用以外の用途にとり貴重な資源(電気では航空機は飛ばせない)であり、長く温存する工夫が別に必要である。合計しても400~500年とは人類が今後も生存する時間軸としてはいかにも短いのである。かくして、過去に地球が作り出した濃縮したエネルギー以外に、地球熱収支に関与しているエネルギーとその源の物質を直接利用できるようにすることが必要になっているのである。

まず、面密度の小さい太陽エネルギーだけで世界のエネルギー消費をまかなう方法があるだろうか。需要国すべての住宅および公共施設に太陽電池を設置しても需要国電力量の最大10%をまかなう程度である。しかし、日射量の大きい未利用地、すなわち砂漠地帯を利用することでこれは可能である。世界のエネルギー消費 1.6×10^{13} J/sを太陽エネルギーだけで供給するためには世界の5カ所の砂漠に合計 $8.1 \times 10^9 \text{ km}^2$ の太陽光パネルを設置する必要がある、という試算があり、それを私たちも検証している。各砂漠からはもっとも近い最大需要地にロスをミニマムにして送電する。私たちの試算では、送電線の基幹部敷設距離は約10,000 kmを越え、このためにだけで少なくとも約8,000兆円の建設費が必要である。無

尽蔵とはいえ、面密度の小さい太陽エネルギーの特徴をここに見ることができる。

次に、地中エネルギーだけで世界のエネルギー消費をまかなう方法を探る。それは、世界の活火山近傍のすべての地熱エネルギーを利用することでオーダ的には可能である。電力に変換できるだけのエンタルピーを持つ地熱エネルギーは火山地帯にあり、地中エネルギーの約6%程度(2.6×10^{13} J/s)であると推定されており、これは世界のエネルギー消費の16%にあたる。この地熱エネルギーは発電に利用しても地中エネルギーによりエンタルピーが回復することが知られている。活火山は、日本、インドネシア、アイスランドを含み、世界では約10地域に集中している。しかし、なによりも、世界の活火山の近傍すべてに地熱発電所をつくる建設費を考えると身がすくむのである。

地球にある最後のエネルギーは、ウランやトリウムの一部を直接利用することから得られる。地中エネルギーとしての核崩壊熱源であるウラン238とトリウム232は、地球が誕生するときに、核融合よりもっと高温を必要とした中性子捕獲による元素生成過程(超新星爆発)で生まれた物質である。これらは地殻にも分布しており、その一部を核物質として採取することができる。両物質とも、中性子を捕獲すると核分裂性の核種に変わり、臨界状態を維持することによりエネルギーを持続的に取り出すことができる。ウラン238から取り出せるエネルギーは、ウラン235をトリガーとする燃料サイクルから出発し埋蔵量の評価にもよるが 220×10^{21} J~ 720×10^{21} Jに達する。これにトリウム232から取り出せるエネルギーを加え、両物質の推定埋蔵量だけで世界の全消費をまかなうとして、約1,600年のエネルギー供給が可能である。この推定年数はこれまで公的機関から発表されている「最低3,000年は原子力によりエネルギー供給が可能」という評価とは大きく異なる。なぜか。天然ガス、石炭が枯渇したあと、原子力でエネルギー供給するとしたらその分担割合は現在の原子力エネルギー分担割合10%ではなく、分担率は100%ではないか。核物質は従来評価の10倍の速度で消費されてしまうのである。それにしても1,600年とは人類の生存する時間軸からみると、なんだか物足りない。

太陽、地中および超新星爆発のエネルギーが濃縮された物質は、使い切れれば終わりである。一方、砂漠と活火山から無尽蔵なエネルギーを取り出す準備は整っていない。その準備を決断するまで、地球に残る物質を大事に使うことにこそ知力を尽くし、心を砕きたい。

(2012年 3月11日 記)

「原子力政策の行方」に高い関心

WEB アンケートは今月号で終了します (2月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」2月号に対して寄せられた Web アンケートの結果をご紹介します。今回は77名の方から、回答がありました。

1. 高く評価された記事

Web アンケートでは各記事の内容および書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。

2月号で高く評価された記事について、「内容」、「書き方」に分けてそれぞれ上位4件を紹介します。

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	論点	自然エネルギーの発電の可能性と限界	4.40
2	時論	津波被害の教訓—学会活動の現場から	4.38
3	解説	EU ストレステスト調査報告	4.36
4	連載	東日本の巨大地震に学ぶ(5)	4.33

第2表 「書き方」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (書き方)
1	時論	「神の国意識」の崩壊	4.30
2	論点	自然エネルギーの発電の可能性と限界	4.25
3	NEWS	2月号	4.17
4	表紙	「モンバルナスの朝」	4.00

今月号では「自然エネルギーの発電の可能性と限界—過大な期待への警告」の記事が、高い評価を得ました。

2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

「事実と判断、意見は分けていただきたい」、「福島第一発電所で事故収束に懸命に取り組んでいる人の意見もとりあげてほしい」、「福島事故の本当の問題はどこにあるのか」、「今後の原子力政策の方向性について」、「社会、エネルギー問題とどう向かい合うべきか」、「高い見識と志が身につく、意欲がわくような活動に取り組んでいただきたい」、「福島事故以後を見据え、学会として中長期にわたりどのように取り組むべきか議論を深めていただきたい」などのご意見、ご要望をいただきました。

3. 編集委員会から

原子力を含む各電源の経済性や供給可能性、あるいは福島での事故をふまえた原子力の安全性については、さまざまな視点や評価が存在します。今後の原子力やエネルギー政策をどうするのか。私たちには大きな選択が迫られていると思います。学会誌では今後も、そのような議論の素材を提供していく一方で、原子力が果たしうる役割についても、十分に発信していきたいと考えています。

掲示板でも紹介しましたように、2006年4月から約6年継続してきた Web アンケート評価は、所期の目的を達成しましたので2012年2月号をもって終了することとしました。これまで、ご意見をお寄せいただいたことに、深く感謝いたします。なお学会誌に対するご意見、ご要望は今後、学会のHPの目安箱(<http://www.aesj.or.jp/publication/meyasu.html>)にお寄せいただくよう、お願いします。