

「9・11」が問うものは何か



ノンフィクション作家

門田 隆将 (かどた・りゅうしょう)

中央大学法学部卒業。週刊新潮記者、デスク、次長、副部長を経て、現在は、ノンフィクション作家として活躍。主な著書は『死の淵を見た男—吉田昌郎と福島第一原発の五〇〇日』(PHP)、『記者たちは海に向かった—津波と放射能と福島民友新聞』(角川書店)など。

2014年9月11日は、日本のジャーナリズムにとって、大きな転換点となった日だった。

ご存じのように、朝日新聞が5月20日から始めた「吉田調書」キャンペーンの誤りを認め、記事を撤回し、謝罪した日である。それは、自らの主張やイデオロギーに沿って、都合よく事実をねじ曲げる、いわゆる「朝日の手法」が敗れ去った日でもあった。

見方を変えれば、「偏向」が「常識」に打ち破られた日とも言えるだろう。それが長く朝日新聞が持つ特徴として罷り通って来たことを考えると、まさに戦後ジャーナリズムの“ターニング・ポイント”だったと思う。

私は、原子力学会の関連誌に出す本稿を、いささか迷いの中で書いている。私は一介のライターであり、原発を推進する側でもなければ、逆に反原発の立場でもない。正確に言えば、その両者の狭間で揺れ動く“中間にいる人間”である。私は、原発を推進する人たちの意見にも、また、反原発の人たちの意見にも、両方に「一理がある」と思っている。だから、どちらにも与(くみ)しない。その意味では、多くの国民と同じ立場だと言えよう。

しかし、その立場の私にとっても、朝日新聞の「吉田調書」キャンペーンは許しがたいものだった。そこには、真実とは程遠い「福島第一原発(1F)の所員の9割が吉田昌郎所長の命令に違反して福島第二(2F)に撤退した」と書かれていたからだ。

2011年3月15日朝、2号機の圧力抑制室(サブチャン)の圧力が衝撃音の直後に「ゼロ」となり、放射性物質大量放出の危機に陥った時、朝日新聞は「吉田所長は部下たちに2Fへの退避ではなく、1F構内での待機を命じていた」と書いたのである。

実際にこの日、1日で「18京ベクレル」という恐ろしい量の放射性物質が放出されたのは周知の通りだ。防護マスクも圧倒的に不足している中で、吉田所長がおよそ650人の部下たちを、「一番安全な免震重要棟から出して、どこか1Fの構内で待機させようとした」というのは、あり得ない。

それは、部下たちに「死ね」と言っているのと同じだからだ。原子力関係の人間なら誰でもわかることである。

私は吉田昌郎氏とその部下およそ90人に取材して、震災翌年、『死の淵を見た男—吉田昌郎と福島第一原発の五〇〇日』(PHP)を上梓している。拙著の中でも、それは、メインとなる凄まじい場面だった。

私は5月末に自分のブログで、常識から外れたこの朝日新聞の記事に対して、「誤報である」と声を上げた。そして、週刊誌や月刊誌、新聞で次々と論評を発表した。それは、次第に反響を呼んでいった。

しかし、原子力関係者からは、誰からも声は上がらなかった。もちろん、当事者である東京電力も同じだ。朝日新聞の報道が誤りとわかっているにもかかわらず、それに対して誰も「異を唱えない」のである。

著名な学者が別の新聞に朝日批判の論考を寄稿すれば、それは必ず一石を投じるものとなったに違いない。だが、朝日が追い詰められて「謝罪会見」を開く9月11日まで、原子力学会の関係者からは、ついにそういった行動は見られなかった。少なくとも大衆の目に触れる形で、独自の「見解」を披歴した専門家はいなかった。独善的なあの朝日新聞を敵に廻すことは、それほど恐ろしかったからだろう。

私は、2014年の「9・11」は日本のジャーナリズムにとって大きな日ただけでなく、原子力に携わる人々の「気概を問う日」でもあった、と思っている。(2014年10月1日記)



拡大している中国原発及び海外進出



郭 四志 (かく・しし)

帝京大学経済学部/大学院経済研究科
教授

中国生まれ。吉林大学大学院修了。1989年来日。法政大学大学院博士後期課程修了(経済学博士)、東京大学社会科学研究所外国人研究員。日本エネルギー経済研究所研究主幹等を経て現職。著書は『中国エネルギー事情』(岩波新書, 2011年)、『中国 原発大国への道』(岩波ブックレット, 2012年)など。

福島原発事故をきっかけに、中国政府は、慎重に稼働中および建設中の原発の安全検査を実施し、新規建設を2012年末まで一時凍結したが、2020年までの原発建設の大きな方針を変えていない。最近、原発ユニット新規建設や完成・稼働が20基に達し、原発の国内建設と海外市場への進出も活発化している。

1. 最近の原発導入の動向

中国国务院は2012年10月24日、《エネルギー発展第12次5ヵ年計画》《原子力発電安全計画(2011～2020年)》《原子力発電中長期発展計画(2011～2020年)》を審議・議決した。これについて、中国原子力科学研究院の専門家は「新規原子力発電事業許可再開の2つの重要な前提条件が整ったことになり、このことは中国における原子力発電事業の許認可が正式に再開されることを意味する」と表明した。

一方、《エネルギー発展第12次5ヵ年計画》は、第12次5ヵ年計画期の新規原子力発電設備容量は約3,000万kWになり、2015年までに既存した原発設備容量に加え、計4,000万kWが稼働する計画である。

第12次5ヵ年計画期における主な原子力発電所建設事業は、沿海地域の遼寧省の紅沿河第1期、浙江省の三門第1期、秦山第2期拡張及び方家山、福建省の福清第1期と第2期及び寧徳、山東省の海陽第1期と石島湾第1期、広東省の嶺澳第2期、陽江第1期及び台山第1期、海南省の昌江、広西自治区の防城港第1期で、総設備規模は3,110万kWになる。

なお、第12次5ヵ年計画における原発事業のうち、一部の原発ユニットは第13次5ヵ年計画期に稼働する予定である。

2011年3月以降、運転・建設中の原子力発電ユニットに対する総合安全検査が行われた。そのうえで、国务院が2回にわたって前記2つの計画について討議し、原

子力発電の安全と発展に対して極めて厳正かつ慎重に対処していると指摘し、当面、一定期間における原子力発電建設の手はずを整えた。すなわち、まず第1に、正常な建設を安全に再開する。建設のリズムを合理的に把握し、着実かつ秩序立って推進する。

第2に事業配置を科学的に進める。2015年までに沿海部に限って、十分な実証を経た上で少数の原子力発電所の立地を進める。内陸部における原子力発電事業の推進を行わない。

第3に世界で最も高い安全要件に従って、原子力発電所の新規建設を進める。新規建設の原子力発電ユニットは第三世代安全基準に適合することを必須とする。

中国では、福島原発事故の影響を受け、安全性が入念にチェックされ原発の新規建設の許可が一時凍結されていたが、2012年末には解除された。国内の急速な原子力発電シェアを拡大するため、中国は海外の原発先進諸国から技術移転・技術提携を活用し、自主開発を強化したことにより、原発の建設を進めてきた。2014年8月現在、稼働中のユニットが20基(1,705.5万kW)、建設中ユニットが28基(3,063.5万kW)と、世界の4割を占めている。さらに2015年に4,000万kW、2020年に7,000～8,000万kWまで引き上げる計画である。なお、中国工程院の予測によると、2025年に1.3億kW、2030年に2億kWに達する。

中国が原発建設を拡大した背景として、主に以下の点が挙げられる。つまり、経済の急速な発展に伴い、中国エネルギー・電力需給の逼迫及びエネルギー・電力供給アンバランスという構造的問題が深刻化しており、電力の安定的供給や環境保全に大きな支障が出ている。政府は石炭を始めとする火力発電の比率を引き下げて、原発の電源比率を引き上げることによって、エネルギー・電力セキュリティ及び石炭火力による環境問題の軽減に取り組み、原発を積極的に導入、推進したのである。

注目すべきは、内陸原子力発電所が未だ凍結解除されていないことである。中国工程院の葉奇蓁院士は「技術的な角度から見て、内陸部の原子力発電所建設の安全性は十分に保障されている。だが、福島原発事故発生以降、内陸原子力発電所をめぐる論議が高まり、原子力発電開発部門は関係部門や公衆の憂慮を考慮し、「原子力発電所の正常な運転及び事故が周囲の公衆及び環境に及ぼす影響を軽減するか除去するための有効な措置を見出すまでは、内陸原子力発電事業の許認可を保留した」との解釈を示した。なお、国務院によると、「第12次5ヵ年計画(国民経済と社会発展計画)期間(2011～2015年)中、沿海部に限り、安全が十分に実証された少数の原子力発電所建設プロジェクトのみ認め、内陸部の原発建設は認めない方針である。しかしながら、今年3月の王禹民国家エネルギー局副局长によると、内陸部の原発建設について次期5ヵ年計画期間(2016～2020年)に始動する予定である。

最近の中国現地専門家の情報による、内陸部の計画中の原発基地建設について、2014年に準備を開始、2015年に準備を終え、2016年から内陸部での原発建設が開始する予定。次期13次5ヵ年計画期間(2016～2020年)は中国の原発建設の急拡大期となると考えられる。

2. 海外進出を加速

国内沿海部で原発増設・稼働を推進してきた中国は、培ったノウハウ・技術を活かし、積極的に海外進出を行い、海外原発市場に参入するプレーヤーとなることも狙っている。安価なコストや豊富な資金力及び強靱な政府外交などの優位性を活用し、途上国を中心とする世界市場でシェアを獲得しようとしている。

中国核工業集団公司是1993年にパキスタンへ国産原発ユニットCNP300を2基輸出し、パキスタン・チャシマ原発の基地の建設・運行を担当した。同基地の原発ユニットは中国秦山I期の原子炉をベースにした30万kWのPWRで、2000年に完成した。さらに2008年には、同基地の3、4号ユニットをも供給し、2011年5月にチャシマ3号ユニット(中国製PWR34万kW)、同年12月に4号ユニット(同34万kW)を建設した。

また、中国核工業集団公司是パキスタン側と、カラチ原発建設契約(ACP1000 2基)を締結した。他方、中国広核集団も積極的に海外原発市場に進出している。2013年11月に、同社はルーマニア・チェルナヴォダCernavoda原発3号、4号機の建設について、ルーマニア側と契約した。

このほかに中国はアルゼンチンや南アなどと積極的に原発協力を行っている。2012年6月、中国国家能源局がアルゼンチン政府と原子力協力協定を締結し、同国で中国資金を活用しACP1000を建設する計画である。なお、2014年3月に中国国核技公司、中広核集団と南ア

フリカ原子力公社(NECSA)が共催する中国・南ア原子力協力シンポジウムが南アのヨハネスブルグで開かれ、中国側は、同シンポジウムを通じて、両国の原発発展企画、原発技術開発とサプライチェーンなどでの協力を目指そうとしている。

中国はパキスタンなどの新興・途上国原発市場を経て先進国原発市場への参入を狙っている。2013年11月にヒンクリーポイントでの欧州加圧水型原子炉(EPR)プロジェクトでは、中国広核集団(CGN)と中国核工業集団(CNNC)が、建設に当たるフランス電力公社(EDF)が率いる企業連合(コンソーシアム)に合計で30%～40%出資している。こうして、中国の原発会社は英国での事業成果を足掛かりにし、グローバル市場で中国原発のプレゼンスを拡大しようとしている。

今後、中国は華竜1号[自主品牌:中国核工業集団のACP1000(第3世代原子炉)技術]を海外進出の柱としている。

3. 問題点と課題

中国の原発建設と海外進出は積極化しているが、様々な課題・制約に直面している。

第1は、基幹部品・設備の自主開発である。現在、原発設備における3大基幹技術・設備、すなわち圧力容器、メインポンプ、蒸気発生器は、まだ自主開発・生産には無理な面があり、一定の割合いで先進原発国に依存している。一般設備の国産率は高いものの、大型原子力発電設備・基幹部品国産化率はまだ低い。

第2は、ウランの確保である。原発の導入拡大に伴い、ウラン需要も増加する。筆者の予測では、2020年時点での天然ウランの年間消費量は1万6,000トン(tU)ウラン換算トン)以上(8,000万kWの場合)に達する。ところが現在、中国は天然ウランの生産量がわずか750tUにすぎない。需要量(1,500tU)の半分しか満たさず、そのギャップは2020年までに1万5,250tUにまで拡大していく。また濃縮ウランの生産能力が年間1,000トン(tSWU=分離作業単位)しかない。

第3には、原子力発電所の急増に伴い、設計・製造・安全管理などに関する専門家・エンジニアが不足している。既存人材の高齢化と若手人材の不足に加え、人材が流失しており、一部重要領域の人材欠乏状況が厳しい。

なお、海外原発市場への進出においては、中国が単独で海外とくに先進国原発事業に参入しにくい。その理由として、メイン部品・設備供給問題や、関係国政府による干渉の可能性、海外事業の経験不足などが挙げられる。中国原発会社は海外原発市場で燃料供給や技術面で欧米企業と提携・協力する必要がある。

今後、中国は上述の課題をいかに克服するかが注目される。

(2014年8月19日記)



初等中等教育における放射線教育の現状と課題



清原 洋一 (きよはら・よういち)

文部科学省 初等中等教育局主任視学官
筑波大学大学院にて理学修士取得後、茨城県立高等学校教諭、教育研修センター指導主事、国立教育政策研究所教育課程調査官等を経て、文部科学省視学官。中学校、高等学校理科の学習指導要領の編纂などにかかわる。

学習指導要領における放射線の位置付けや歴史

放射線の内容が、平成 20 年告示の中学校学習指導要領の理科に徐々に導入されました。しかし、その学習が始まろうとしていた矢先に福島第一原子力発電所の事故が起こり、放射線の学習の重要性が一層増し、新聞などには「放射線教育 30 年の空白」などの報道もありました。もちろん、高等学校には、原子核、同位体といった学習内容が含まれていて、複数の理科の科目で扱われています。ただし、原子核などをある程度詳しく扱う物理を履修する生徒の割合は 10 数パーセントになってしまっているという状況でした。放射線について学習したり情報を得たりする機会は学校教育だけではありませんが、原子力発電所の事故後様々な混乱の状況がみられ、放射線について基礎的なことを理解している人がいかに少なかったかということが大きな問題となりました。

学習指導要領は、小学校、中学校、高等学校、特別支援学校における学習指導の基準になっているもので、学校教育法や学校教育法施行規則の規定を根拠に定められたものです。学習指導要領に示す教科等の目標、内容等は中核的な事項にとどめ大綱的なものとなっており、各学校では学習指導要領を基準としながら、地域、児童生徒などの特色を活かし創意工夫しながら学習指導を展開しています。第二次大戦後試案として示され、昭和 33 年告示以降はほぼ 10 年ごとに改訂されています。表に、昭和 33 年告示以降の改訂のポイントと小学校・中学校の理科の各学年ごとの週あたりの授業時数を示します。平成 20 年告示の中学校学習指導要領に放射線が示されましたが、それ以前では昭和 44 年告示までさかのぼりません。告示後、周知活動、教科書作成などの準備期間を経て、その学習指導要領の下で各学校での指導が 10 年ほど続きます。したがって、義務教育段階での放射線の学習は、報道に見られたように、ほぼ 30 年の空白期間があったということになります。

昭和 43～44 年告示までの教育課程では、中学校に理

表 学習指導要領改訂のポイントと理科の授業時数

改訂年	教育課程		理科週当たり時数	
	改訂のポイント	キーワード	小学校	中学校
昭和 33 年	教育課程の規準としての性格の明確化(道徳の時間の新設, 基礎学力の充実, 科学技術教育の向上等)	系統的な学習	2・2・ 3・3・ 4・4	4・4・4
昭和 43～ 44 年	教育内容の一層の向上(時代の進展に対応した教育内容の導入)	教育の現代化	2・2・ 3・3・ 4・4	4・4・4
昭和 52 年	ゆとりある充実した学校生活の実現(各教科等の目標・内容を中核的事項にしぼる)	ゆとりと充実	2・2・ 3・3・ 3・3	3・3・4
平成元年	社会の変化に自ら対応できる心豊かな人間の育成(生活科の新設, 道徳教育の充実)	新学力観	--- 3・3・ 3・3	3・3・3 ～4
平成 10 年	基礎・基本を確実に身に付けさせ、自ら学び自ら考える力などの「生きる力」の育成(教育内容の厳選, 「総合的な学習の時間」の新設)	生きる力	--- 2・2.6・ 2.7・2.7	3・3・ 2.3
平成 20～ 21 年	「生きる力」の育成, 基礎的・基本的な知識・技能の習得, 思考力・判断力・表現力等の育成のバランス(授業時数の増, 指導内容の充実, 小学校外国語活動の導入)	言語と体験	--- 2.6・3・ 3・3	3・4・4

(数字は、左端が小学校第 1 学年、右端が中学校第 3 学年)

科の授業が各学年週4時間ありました。しかし、昭和40年代後半には高等学校への進学率が90パーセントを超え、また、知識偏重ではといった指摘も有り、児童生徒の知・徳・体の調和のとれた発達をどのように図っていくかということが課題となりました。その結果52年改訂から、ゆとりを持ちながら考える力を育成するという方向での改訂となりました。昭和44年告示の中学校学習指導要領において、放射線の内容は義務教育の最終学年で行われていましたので、昭和52年改訂では、理科の時数減もあり結果的に高等学校に内容が移行しました。

平成20・21年の学習指導要領改訂においては、変化が激しい時代、知識基盤社会といわれる状況に対応していくために、理数教育の充実が大きく取り上げられました。そのため、小・中・高等学校の学習の接続の改善、国際的な通用性、科学的な思考力や表現力等の育成、科学への関心を高めることなどの観点から見直しが行われました。結果として、義務教育段階での理数の授業時間数が増加したことに伴い、放射線についても中学校で学習することになりました。高等学校においても、「物理基礎」をはじめとして、科目の履修率が向上しています。

学習指導要領における放射線の記載は、昭和44年告示では、「放射性元素の原子は、放射線を出して、ほかの元素の原子に変わる」と示していました。一方、平成20年告示の中学校学習指導要領では、理科の第1分野(7)ア(イ)の「エネルギー資源」において、「放射線の性質と利用にも触れること」と示しています。以前はどちらかという物質から出てくるものが中心でした。しかし、今はそれだけではなく、例えば、がんの重粒子線治療など、イオンを加速し制御して、がんの細胞にターゲットをしばり照射するというように、放射線といっても、物質から出てくるものを利用するだけではなく、実際に放射線をつくり出して利用するなど、技術革新に伴い利用の仕方の変化してきました。そうした背景もあり扱いを変えました。

今回の改訂では、「持続可能な社会の構築」という視点を、重視しました。そのために、理科として何が重要かということ考えたとき、科学的な知見をもって、状況を的確にとらえ、科学的に判断し行動に移していく。このような認識をもつようにするだけでなく態度面なども含め育てていく。このようなことを念頭におき学習指導要領の改訂が行われました。

義務教育段階に放射線を導入しましたが、新聞やニュースなどで触れられるような課題について関心が持てるようにすることを意識して、放射線以外にも、

DNA、外来種、地球温暖化などの内容を充実させました。更に、中学校理科では、「自然環境の保全と科学技術の利用」という学習項目を新設しました。これからの時代、環境の保全は重要な課題です。また、そのためには科学技術をどのように利用していくかも重要な課題です。様々な状況の中から適切な情報を収集・整理し、それらをもとに考える。そうした過程では、相反する主張をしている資料も入ってくる。そのような情報を比較しながら考え、情報の信憑性、主張点の違いは何か、メリットやデメリットなどを整理しながら状況を判断し、その上で対策を考え行動していく。こうしたことの大切さを認識し、行動できる人を育てていくことをねらいとしました。

放射線教育を充実させていく上での課題

今回、中学校理科の学習指導要領の中に、放射線の一つの重要な要素として加えました。しかし、中学生の段階で放射線を詳細に指導するとなると、子供の発達段階から考えると難しいものがあります。まず、目に直接見えない。存在を認識するためには放射線測定器、霧箱などの機材が必要です。ところが、機材が整っているところは極めて少ない。また、原子の構造、原子核も含めどのような現象なのかなどについて捉えるのは難易度が高く、ある程度整理した形で学習するのは、どうしても高等学校物理の最後のころということになってしまいます。中学校の段階で全ての生徒に放射線を指導するためには、ただ内容を教えればよいというものではなく、意欲的に取り組めるような観察・実験を取り入れ、自ら主体的に学んでいくような指導の工夫が必要です。それがどの学校でも効果的な授業が行われるようになるためには、教師の研修、指導研究や実践の蓄積も必要です。

更に、原子力発電所の事故を受け、人体や環境への放射線の影響という面をどう指導するかといったことも課題になっています。このことについては、子供への指導だけでなく、保護者にも情報を伝えたり、研修の場を設けたりといったことをどうしていくかということも重要です。そのために文部科学省としても、放射線に関する資料等の作成、教職員等を対象とした放射線に関する研修等を実施してきました。今後、放射線教育をより充実し改善していくためには、校長先生のリーダーシップのもと、学校全体で取り組んでいくとともに、地域や学校が、放射線の専門家、医療の専門家などの方々とスムーズな連携を図っていくことも重要課題となっています。

(2014年9月26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。

鹿児島県議会と薩摩川内市が再稼働に同意

鹿児島県議会は11月7日に臨時議会を開き、九州電力川内発電所の再稼働推進を求める陳情を賛成多数で採択した。伊藤祐一郎・鹿児島県知事も同日、再稼働を受け入れる旨を表明した。なお薩摩川内市の市長と市議会は10月28日に同原発の再稼働に同意していた。原子力発電所の新しい規制基準が施行されて以降、地元自治体が再稼働に同意したのはこれが初めて。

一方、関西電力は10月31日、高浜発電所の原子炉設置変更許可申請の補正書を原子力規制委員会へ提出した。関電は7月8日に同機の新規性基準への適合性申請を行っていたが、規制委員会での審査内容を反映して、地震や津波、竜巻などの設定や重大事故対策について補正した。

(原子力学会誌編集委員会)

プルトニウム保有量、4万7千kg強に

2013年末時点での日本のプルトニウム保有量は国内で4万7,145kgとなること、9月16日に開かれた原子力委員会で報告された。日本が国内で保有する分離プルトニウム総量は1万833kg(うち核分裂性プルトニウム7,309kg)。前年の9,295kg(同6,315kg)より1,538kg増えた。増加分には、九州電力玄海原子力発電所3号機で2013年3月に未照射のまま炉外へ取

り出し、新燃料として保管中のMOX燃料中のプルトニウム640kg(同413kg)等が含まれる。

また、海外に保管中の分離プルトニウムは3万6,312kg(同2万4,130kg)。うち英国で2万2kg、フランスで1万6,310kgを保管している。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

学術会議、行政と学術の協働を促す提言

日本学術会議の東日本大震災復興支援委員会は9月19日、長期的な放射能対策に関連し、行政と学術の適切な関係性構築と、科学者による地域支援を促す提言を発表した。

同委員会は12年4月にも放射能対策で提言を出しているが、原子力規制委員会の発足や、政府、国会他の原子力事故調査報告の公表など、新たな状況を踏まえて、放射線被ばくによる健康影響低減策をより効果的なものとするため、5項目の提言を追加した。

提言ではまず、事故に起因する放射性物質の幅広いモニタリングと移行の予測を行い、その結果に基づいて人の健康や生活環境への影響を、より正確に予測するためには、学際的かつ総合的な解析が必要との考えから、「学術専門家が参画する長期的で府省横断的な放射能調査・研究体制の必要性」(提言1)をあげ、現状では、原子力規制委員会の下に置かれることが望ましいとしている。

さらに、「原子力規制委員会に対する科学者コミュニティの貢献の必要性」(提言2)を認識し、原子力規制行

政に対する国民の信頼を再構築するため、科学者コミュニティが行政の活動を客観的に評価することも重要だとしている。

また、発災時に放射性物質の放出や拡散の情報が十分に公開・共有されておらず、適切に解明されていないとして、「初期被ばくの実態についての学術的解明の必要性」(提言3)をあげ、炉内事象他に関する知見をもとに、大気中放射性物質濃度の再現シミュレーションの高度化を図るなど、必要な研究を充実化すべきとしている。

地域支援に関しては、「健康管理に関わる調査の継続と多様な配慮の必要性」(提言4)、「地域支援に関する学術的活動の強化」(提言5)を掲げ、帰還の必須条件とされた線量(20mSv/年)と除染の長期的な目標値(1mSv/年)との関係や、適切な除染のあり方、地域ごとの環境回復シナリオ策定、除染廃棄物の保管・中間貯蔵・最終処分といった一連の課題に対し、科学者コミュニティが地域の当事者とも協働し関与するよう努めなければならないとしている。

原子力機構、東海再処理施設を廃止へ

日本原子力研究開発機構の改革検証委員会が9月29日開かれ、分離・移管の対象とされていた核融合研究開発と量子ビーム応用研究の一部を他法人に移管し、核分裂エネルギー分野に軸を置いた事業に重点化する方針とした。また見直しを行う事業のうち、廃液等の安定化を最優先し、新たな計画を14年9月末までに策定するとされていた再処理技術開発は、エネルギー基本計画の考え方にに基づき、引き続き、六ヶ所再処理工場への技術

支援、高度化開発などを実施するが、東海再処理施設は六ヶ所への技術移転をほぼ完了したため、15年度以降の中期目標期間中に廃止措置計画を申請する方向とされた。

「もんじゅ」については、改革に一定の成果が確認されたものの、大目標となる運転再開に向けては課題が残されていることから、集中改革を継続し、その定着の総仕上げを行うものとしている。

東電、廃炉で英国セラフィールド社と情報交換協定

東京電力は、原子炉や廃棄物関連施設の廃止措置に関する技術的知見を有する英国セラフィールド社と9月29日、情報交換協定を締結した。当初の分野としては①サイト運営管理、②環境モニタリング、③放射線防護、④プロジェクトマネジメント・設計エンジニアリング——を設定している。

今回の協定締結を受け、東京電力福島第一廃炉推進力

ンパニープレジデントの増田尚宏氏は、「国内外の英知を結集して安全で着実な廃止措置を進める上で重要な一歩」として、英国側に感謝の意を表するとともに、セラフィールド社からは廃止措置サイト運営に関する数十年の経験を学び、福島第一原子力発電所の事故対応で得られた教訓も共有しながら、双方にとって有意義な協力関係が構築されるよう期待するコメントを発表した。

海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

【国際】

レッド・ブック、「ウラン需要、今後増加」と予測

経済協力開発機構・原子力機関(OECD/NEA)と国際原子力機関(IAEA)が隔年で作成している報告書『ウラン：資源と生産および需要(通称=レッド・ブック)』の最新版が9月10日付けで刊行された。第25版目となる2014年版は2013年1月1日現在の世界のウラン需給状況について取りまとめるとともに、将来見通しについても分析。「福島第一原発事故後の市場価格低下や世界的な経済不況による電力需要の低下にも係わらず、ウランの需要は予測し得る将来において増加し続ける」との結論を導き出している。

レッド・ブックによると、世界ではウランの供給・探査・生産量が增大しており、世界の既知資源量は合計で763万5,200トンUに到達。これは2011年1月以降、7.6%の増加であり、世界全体の原子力発電所で必要とする既存のウラン資源ベースに約10年分が追加された形だ。12年にウラン探査と鉱山開発に使われた総経費が23%増の19億2千万ドルになったことから、10年

から12年の間にウラン生産量は、その前の2年間と比べて低率ではあっても継続して増大しているとした。

一方、需要量についてレッド・ブックは地域によって異なると予測。福島第一原発事故を契機にいくつかの国でエネルギー政策の変更があったものの、原子力発電設備は東アジアと欧州大陸の非EU諸国を中心に拡大し続けるとの見通しを示した。2035年までに低ケースで4億kW(ネット)、高ケースで6億8千万kWに達する見込みで、成長率はそれぞれ7%と82%。この数値はIAEAが最近、2030年までの予測として明示した「8%~88%の増加」という数値とも符合しており、原子力発電所の所要量としては7万2千トンU~12万2千トンUになる計算だ。

原子力、拡大するが競争力は低下

いくつかの先進国では世界的な財政危機に端を発した電力需要の低下傾向が見られるが、発展途上国での人口増加にともなう必要性を満たすため、世界全体の需要は今後数十年間にわたって増え続けるとレッド・ブックは分析。原子力発電は競争力のある価格で温室効果ガスを出さない、エネルギー供給保障にも資するベースロード用電力を供給できることから、今後も重要なエネルギー供給源であり続けることが予測されるとした。

しかし、いくつかの国では原子力に対する国民の信頼が損なわれ、原子力発電設備の成長予測も一転して減少に。これまでよりも大きな不確実性にさらされるとしており、原子力発電施設をすべて審査した後に課された追加の安全対策により、運転コストもまた上昇するとの認識を示した。これに加えて、北米で豊富に存在する低価格な天然ガス、世界的財政危機に起因する危険回避的な投資環境により、自由化された電力市場における原発の競争力は低下していくと明言している。

それでも、電力需要の拡大やクリーンな発電への必要性から原子力は規制された電力市場で今後も大幅に拡大。レッド・ブックとしては、予見し得る将来で原子力発電所での所要量を適切に満たせる以上のウラン資源量を保証しており、必要な量をタイムリーに市場にもたせよう、安全かつ環境に優しい手法でウランを採鉱し続けることが課題になると締めくくった。

【米国】

DOE, 先進的事案に 126 億ドルの原子力融資を新たに保証

米エネルギー省(DOE)は9月30日、先進的な原子力プロジェクトを対象に、新たに最大126億ドルの政府融資保証を提供する招請案を発表した。小型モジュール炉(SMR)や次世代技術による原子炉建設など、その開発規模や革新的技術であるがゆえに商業化に十分な資金を確保できないプロジェクトに必要な財政支援を提供することで、米国を将来的に低炭素社会へ移行させるとともに、クリーン・エネルギーの利用促進を通じて供給の安定化や雇用促進を図るというオバマ政権の「全エネルギー資源の活用戦略」を下支えしていくのが目的。今後30日間のパブリック・コメント募集を経て、最終的な招請範囲などを特定する考えだ。

DOEは2008年に原子力発電施設枠として185億ドル分を盛り込んだ第2次の融資保証招請書を出状。今年2月に、ジョージア州で建設中のA・Wボーグル原子力発電所3、4号機増設計画に対して、プロジェクトの参加企業2社分の融資保証として65億ドルの付与が正式決定したが、2005年エネルギー政策法に基づいて融資保証を適用された原子炉新設計画としては現在唯一のものだ。適用を受ける際に必要な高額な信用保証料などがネックで、原子力関連ではこのほか、仏アレバ社がアイダホ州で進めているウラン濃縮工場建設計画に20億ドルが適用されたに留まっている。

今回の招請案でDOEは、既存設備の革新的な改修計画を適用対象として明記。前回の招請で開発が加速された再生可能エネルギーや電気自動車技術のみならず、原

子力技術分野でもボーグル計画に続く適用が実現するよう、以下の4つの技術分野を提案している。

すなわち、①「先進的原子炉」=受動的安全系やモジュール工法、熱効率、燃料技術等の部分で革新的な設計改善が行われた原子力計画、②「SMR」=出力30万kW以下の革新的原子炉技術開発計画、③「既存施設の出力増強と改修」=既存原子炉の効率化や出力上昇のための改善、今後の操業で必須となる重要な改造を目的とした計画、④「フロント・エンド」=ウランの転換や濃縮、および燃料加工工場などフロント・エンドの先進的施設の計画に20億ドル——である。

NRC, ESBWR に設計認証発給

米原子力規制委員会(NRC)は9月16日、GE日立ニュークリア・エナジー社製ESBWR(高経済性・単純化BWR)の設計認証(DC)審査で最終規則を承認した。これにより、同設計はNRCの安全・規制要件をすべて満たした標準設計の一つとして、米国での建設が許されることになる。現在、建設・運転一括認可(COL)審査中の新設計画の中では、DTEエナジー社のフェルミ3号機計画とドミニオン社のノースアナ3号機計画で採用が想定されており、これらにCOLが発給される条件の一つが整った。同最終規則は今月末までに連邦官報に掲載された後、30日で発効する。

出力159.4万kWのESBWRはABWRを進化させた第3世代プラスの原子炉設計。自然循環を利用した受動的安全系により、事故で電源を喪失した原子炉を運転員の介入なしで7日間以上冷却することが可能だという。

GE日立社は2005年8月にESBWRの設計認証審査を申請しており、NRCは同設計について広範な技術評価を行った結果、安全面と技術面での承認である安全評価報告書を11年3月に発行。今年5月には、蒸気乾燥機の設計分析における変更点を補足する認証規則案を意見公募に付していた。

【アルゼンチン】

4基目は中国の投資受け、国内で設計

アルゼンチンの計画投資サービス省は9月3日、同国で4基目の原子炉となるアトーチャ原子力発電所3号機を建設するため、同国の国営原子力発電会社(NA-SA)が中国核工業集团公司(CNNC)と商業的枠組契約に調印したと発表した。カナダ製・加圧重水炉(CANDU)を改良した80万kW級の加圧重水炉(PHWR)を建設する計画を盛り込んでおり、CNNCが

ら20億ドルの投資支援を受けつつNA-SAが設計・建設・運転を行う予定。来年初頭の数か月間に資金調達などを含めた12の詳細契約を締結可能とするため、5つの委員会を設置するとしている。

アトーチャ3号機増設計画について、計画投資省はこれまで、PWRの導入も視野に入れた入札の実施を示唆。第3世代プラスの中型PWRを開発したアトメア社を2012年に予備的な有資格企業に認定したほか、今年の7月上旬にはロシア型PWR(VVER)を採用した場合の法的枠組となるロシアとの新たな二国間原子力協力協定を締結するなどしていた。

今回、北京で調印された枠組契約は両国間の戦略的パートナーシップ強化が目的だとしており、7月下旬に中国の習近平国家主席とアルゼンチンのC・キルチネル大統領がブエノスアイレスで結んだ4基目の原子炉建設協力に関する政府間協定を受けたもの。

同協定の下で中国側はCNNCの長期融資を通じて同計画で必要となる技術支援や機器・サービス、資材等をアルゼンチンに提供。20億ドル分が中国および第三国からの調達になる取り決めだ。NA-SAは同計画の所有者兼アーキテクト・エンジニアとして準備作業から設計、建設、起動、および運転までを自ら行うが、機器・サービスの38億ドル分はアルゼンチン企業に発注することになる。

【スペイン】

廃棄物中間貯蔵施設の土木工事で入札開始

スペインで放射性廃棄物管理の実施主体となっている放射性廃棄物管理公社(ENRESA)は9月4日、使用済み燃料と高レベル放射性廃棄物(HLW)の集中中間貯蔵施設(ATC)の主要な土木工事で入札手続きを開始すると発表した。地元自治体および産業エネルギー観光省から建設認可が下り次第、2018年の操業開始を目指して同国中央部クエンカ県のビジャル・デ・カニャス町で58か月間の土木工事作業が開始されることになる。

契約総額2億1,776万ユーロ(約300億円)という今回の入札の対象は中心施設と補助建屋の建設作業で、具体的に廃棄物の受入棟、処理棟、貯蔵モジュールのフェーズ1と2、貯蔵コンテナ用倉庫、コンテナのメンテナンス作業場など。廃棄物の研究ラボとその他の補助建屋も含まれる。入札書の提出期限は10月27日、来年2月1日に落札企業が決定するという段取りだ。

スペインでは使用済み燃料は直接処分が基本方針だが、2006年に承認された第6次総合放射性廃棄物計画では最終的な管理方針の決定は先送りされている。

ATCは最終処分までの60年間、6,700トンUの使用済み燃料と再処理後のHLWガラス固化体20立方メートル、中レベル廃棄物1,200立方メートルを乾式貯蔵する施設となる。モジュール方式を採用しているため、容量の拡大も可能になるとしている。

建設サイトは09年に受入自治体の公募を開始。応募してきた14自治体の中から11年12月末にビジャル・デ・カニャス町を選定していた。

【英国】

廃棄物処理施設でEPC契約

英国最大の原子力複合施設セラフィールド・サイトを管理するセラフィールド社は9月29日、ガス冷却炉(マグノックス炉)から出た廃棄物を長期貯蔵用に封入処理する施設(BEP)の建設プロジェクトについて、エンジニアリング・資材調達・建設(EPC)作業の枠組契約をAMEC社、ジェイコブス社、およびバルフォア・ビーティ社の3社による合併事業体と締結した。

BEPは同サイトの最も危険な古い施設を浄化する「マグノックス不要物貯蔵庫(MSSS)」プログラムの不可欠な要素で、サイト内のMSSSから回収された廃棄物をセメントで固め、長期間の貯蔵が可能となるよう容器に封入する設備。初期のマグノックス炉の燃料冷却プールも含め、サイト内にあるその他の施設の廃止措置から出る廃棄物の処理もBEPで行うことになる。

EPC枠組契約の総額は2億4千万ポンド～3億3,600万ポンドで、3社はこれを均等に分配するものの、少なくとも20%分は地元の中小企業を参加させると約束。今年の第4四半期から始まる4年間に、プロジェクト管理から設計、エンジニアリング、資材調達、設置、建設管理、非稼働性試験運転、引き渡しに至るすべてのサービスを提供するとしている。

【ルーマニア】

チェルナボーク計画で中国企業の投資資格を認定

ルーマニアの国営原子力発電会社(SNN)は9月9日、チェルナボーク原子力発電所3、4号機の完成計画について、中国広核集团有限公司(CGN)を「投資資格を有する企業」に認定した。

チャウシェスク政権の崩壊に伴い91年に中断した同計画を完了させるため、SNNは08年に新たな管理会社を設立。同原発の2号機を参照設計とし、出力72万kW以上のカナダ製・加圧重水炉「CANDU6」を2基増設するとした。しかし、出資を約束していた欧州系企業

のうち4社が経済不況等により11年1月に同計画から撤退。ルーマニア政府は共同出資が可能な新たな投資家を募集している。

CGNは11年10月に3、4号機完成計画への投資に関心を表明した後、13年11月にSNNと意向表明書(LOI)に調印。SNNによる投資家選定プロセスの第1段階である有資格証明文書の提出を、今月8日の締切り日までに済ませていた。

有資格と認定されるには原子炉の建設経験に加えて原子力技術や専門的知見、原発の運転能力を有することなどが要件。また、ルーマニア政府とCANDU6技術の保有企業が欧州委員会(EC)に約束したレベルの安全性を保証するよう要請されていた。

さらに、同計画への十分な資金調達を保証できる財政能力が求められており、SNNの取締役会や関係閣僚委員会からはCGNからの証明文書を分析した結果、同社がこれらの要件を全面的に満たした有資格の投資家であることを明言。ただし、証明文書を提出したのはCGNのみだったと見られている。

今後の選定プロセスでCGNは、プロジェクト会社の創設と運営に関する交渉の開始に向けた新たな意向表明書を提出する。最終的に投資企業に決定した場合は、SNNの株主総会が8月に承認した同計画の継続戦略に基づき、同社はプロジェクト会社に51%出資する義務を負う一方、ルーマニア政府の持分は49%に抑えられる方針だ。

【フィンランド】

オルキルトの完成がさらに2年遅延

フィンランドで2005年から建設中のオルキルト原子力発電所3号機(OL3)(PWR, 172万kW)について、独シーメンス社との連合で建設作業を請け負った仏アレバ社は9月1日、最新の完成スケジュールを発表した。昨年2月の発表で通常運転の開始時期を2016年としていたのがさらに遅延。同年半ばに建設作業が完了した後に起動段階に入り、18年に運転を開始するとの見通しを明らかにしている。

世界初の欧州加圧水型炉(EPR)として着工した同炉は2009年の完成を予定していたが、下請け業者による土木工事などで作業が思いのほか難航した。近年ではフィンランド規制当局による計装制御(I&C)系の承認遅延が作業を遅らせたとアレバ社は主張。TVOとの4年間の協議を経て、I&C系の構造に最終承認が発給されたのは今年4月のことであり、同社らはようやく完成見通しを立てることができたと言明した。

オルキルト4号機の原則決定 期限延長申請を却下

フィンランド政府は9月25日、テオリスデーデン・ボイマ社(TVO)によるオルキルト原子力発電所4号機(OL4)増設計画の「原則決定(DIP)」の有効期限延長申請を却下した。現行DIPは2010年7月に発給されたものでTVOは今年5月、5年間の期限延長を雇用経済省(TEM)に求めていた。しかし、今回の判断により同申請が議会に送られることはなくなり、同社はDIPが失効する15年6月末までに建設許可を申請しなければならなくなった。

TVOは期限延長申請の理由として、建設中の同3号機の完成がさらに遅延し、当初計画から9年遅れの2018年になった点を挙げており、数十億ユーロの投資を伴うOL4計画の重要な判断を15年までに下すことはできないと説明。同計画では三菱重工業や東芝など日本のメーカーを含む5社が13年に入札提案しているが、フィンランド放射線・原子力安全庁は8月、「安全上の問題はない」として、これを認める見解を示していた。

票決では閣僚らが10対3で同申請を却下すると意思表示。TEMのJ・パパーボリ大臣も票決前、プロジェクトの実現性やスケジュールに著しい不確かさが伴うことへの懸念を表明。許認可手続きは予測可能であるべきだと勧告していた。

【ロシア】

鉛冷却高速炉で実証炉詳細設計

ロシアのエネルギー技術研究所(NIKIET)は9月1日、鉛冷却高速炉(LFR)のパイロット実証炉「BREST-300」(30万kW)の詳細設計が完了したと発表した。来年から2016年までに、同設計の審査結果やモックアップ装置とパイロット試料による機器性能の実験結果を基に、これをさらに改善。トムスク州セベルスクにある「シベリア化学コンビナート」での建設を目指す。

LFRは中性子の吸収量や廃棄物の発生量が少ないほか、ボイド係数が負であるため安全性が高いなどの長所があるが、冷却材配管が腐食するといった欠点があるため、高速炉開発においては第1候補とならなかった。

しかし、2010年に発表された政府戦略により、高速炉は今後10年間の優先開発技術と位置付けられ、LFRも連邦目標プログラム「2010～15年および20年までの次世代原子動力技術」の一つとなった。NIKIETの親会社であるロスアトム社はLFRによるクローズド燃料サイクル技術を確認するために20年までに

BREST-300を開発するとし、同炉およびその燃料となるMOX燃料のパイロット製造工場の建設計画を2012年に公表。NIKIETの25部門以上、および産業界から35の企業や組織が今回の設計技術開発に携わったとしている。

【アルジェリア】

ロシアと原子力協定

ロシアの原子力総合企業ロスアトム社の9月4日付け発表によると、2022年までに原子力を導入するというアルジェリアの計画を支援するため、ロシアは同国と二国間の原子力平和利用協力協定を締結した。アルジェリアは石油と天然ガスの輸出国だが、地球温暖化防止や化石燃料資源の枯渇、および国内電力需要の急速な増大といった観点から、国内の豊富なウラン資源を背景に原子力を持続可能な発電と汽水脱塩の手段として活用することを希望。2012年に同国の原子力委員会が公表した計画では、22年までに100万～120万kWの初号機を運開させるのに続き、27年～30年までに2基目を完成させる。30年以降は国のベースロード電源として原子力を頼りとしていく方針だ。

今回の協定は協力分野として研究炉と発電炉の設計、建設、操業を明記。アルジェリアでウラン鉱床の探査や操業も合同で実施する。ロスアトム社のキリエンコ総裁は、同国でロシア型PWRを建設することがこの協力における主要プロジェクトになるとしており、最も厳しい安全要件を満たした第3世代プラスの原子炉計画を提案する用意があると明言した。

【UAE】

バラカ3号機が正式着工、4号機に建設許可

アラブ首長国連邦(UAE)の連邦原子力規制庁(FANR)は9月15日、同連邦初の原子力発電所として1、2号機を建設中のバラカ原発サイトで3、4号機を増設する許可を首長国原子力会社(ENEC)に発給した。

サイトではすでに、FANRが今年2月に発給した両炉の制限付き建設許可に基づいてコンクリート打設前までの準備作業が進展中。ENECは今後、両炉の原子炉建屋部分のコンクリート打設に加えて、構築物と系統及び機器(SSC)の製造や使用、輸送、保有、貯蔵、組立、設置、点検・試験といった関連活動の実施が可能になる。

UAEはバラカ原発として出力140万kWの韓国製PWR(APR1400)を4基建設する予定。2012年7月

に1号機が正式着工したのに続き、同2号機のコンクリート打設を昨年5月に実施した。

3、4号機の建設許可発給に際し、FANRとその他の技術専門家を含む200名のチームは18か月にわたって建設サイトや設計、安全分析、管理システムの適切さ、および建設工事や放射線安全対策、核物質防護、保障措置に関する品質保証など、安全性に係わるすべてのファクターを徹底的に審査。福島第一原発事故からの教訓も組み込んだほか、審査全般において国際原子力機関、および韓国の原子力規制当局と緊密に連携したと強調している。

9月24日には、アブダビ首長国の西部、バラカ原子力発電所建設サイトで3号機の原子炉建屋部分のコンクリート打設を実施したと発表した。同連邦初の原子炉となる1、2号機の建設作業が2017年と18年の完成を目標に順調に進展中なのに加え、3号機も計画どおり19年にも営業運転を開始する。

【ヨルダン】

初の原子力発電所計画、ロシアと正式契約締結へ

ロシアの原子力総合企業ロスアトム社は9月22日、ヨルダン初の原子力発電所建設計画に関するプロジェクト開発協定を傘下のロスアトム・オーバーシーズ社を通じてヨルダン原子力委員会と締結したと発表した。今後1年半から2年の間に正式な建設契約を結ぶ道筋を付けるためのもの。100万kW級のロシア型PWR(VVER)を2基、ザルカ地区のアムラで建設する計画の第1段階における両者の義務事項を記している。

エネルギーの97%を輸入に依存するヨルダンは、原子力発電所を国内経済の成長と海水の脱塩に役立てる方針。昨年10月に、100億ドルと言われる総工費の49%出資を提案したロスアトム社傘下のアトムストロイエクスポルト(ASE)社を発注先に選定した。ただし、その際ロシア側は、原子炉の冷却に必要な水資源の確保をヨルダン側に要請。ヨルダンは二転三転させていた建設候補地を最終的に首都アンマンの東85kmに位置するアムラに決定していた。

地震 PRA 実施基準の改定—3.11 の教訓の反映

第 4 回(最終回) 事故シーケンス評価改定の要点

標準委員会・リスク専門部会・地震 PRA 分科会・

事故シーケンス評価作業会 村松 健, 小倉 克規, 岩谷 泰広

事故シーケンス評価の改定では、2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震が原子力発電所に与えた影響から得られた教訓及び地震 PRA 実施基準の 2007 年発行以降の手法開発進展を踏まえて、重大事故対処設備及び手段、並びに事故シーケンス評価に有用な知見及び手法をできる限り盛り込んだ。

I. まえがき

日本原子力学会では、原子力発電所の出力運転状態における地震を起因として発生する事故に関する確率論的リスク評価 (Probabilistic Risk Assessment : PRA) の有すべき要件及びそれを満たすべき具体的方法を、PRA 実施の手順を踏まえた実施基準¹⁾として 2007 年に制定した。その後得られた知見を踏まえた地震 PRA 技術の向上並びに 2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震が原子力発電所にもたらした影響の調査・分析結果及び得られた教訓に基づき、更に原子力規制委員会により決定された新規制基準により新たに設置又は計画された設備及び防護手段を考慮して、事故シーケンス評価の有すべき要件及びそれを満たすべき具体的方法を見直し、地震 PRA 実施基準を改定²⁾した。

東北地方太平洋沖地震が引き起こした津波では、福島第一原子力発電所において複数の原子炉が炉心損傷に至るまでの事故が生じたこと、使用済み燃料プールにおける燃料損傷の可能性があったこと、更に代替注水、代替電源等による事故緩和措置が必要となったことから、実施基準の改定に当たっては主に、複数基立地サイトでの事故シーケンス評価の要件、使用済み燃料プールにおける燃料損傷事故シーケンス評価の要件、代替緩和措置の評価の要件を検討し、現在技術で可能な範囲で明示的に

Revision of the AESJ Standard for Seismic Probabilistic Risk Assessment (PRA) —Updating requirements based on the Lessons Learned from the Fukushima Dai-ichi NPP Accidents (4); Outline of the Updated Points on Accident Sequence Evaluation : Ken MURAMATSU, Katsunori OGURA, Yasuhiro IWAYA.

(2014 年 9 月 22 日 受理)

■前回のタイトル

第 3 回 フラジリティ評価改定の要点

示すこととした。

II. 事故シーケンス評価改定の基本方針

事故シーケンス評価に関する実施基準の改定において重視した事項は以下の通りである。

(1) 最新技術及び知見の反映

2011 年 3 月の福島第一原子力発電所における事故から得られた教訓及び 2007 年以降に得られた最新知見を踏まえた事故シーケンス評価技術の向上を踏まえ、更に新規制基準により新たに設置される防護設備及び手段を考慮し、主に以下の事項を重視して改定した。

- ①原子力発電所での地震及び地震誘因津波による被害から得られた知見の反映
- ②使用済み燃料プールにおける燃料損傷事故シーケンス評価における要件の明示
- ③複数基立地サイトを対象とした事故シーケンス評価における要件の見直し
- ④代替注水、代替電源等の代替防護措置及び手段を考慮した事故シーケンス評価における要件の追加
- ⑤複数起因事象の発生を考慮した事故シーケンス分析手法の検討

(2) 新たな技術的課題を考慮した事故シーケンス評価手法の検討

改定時点において適用実績のある定量化手法がない技術的課題であっても、原子炉内及び使用済み燃料プール内の燃料損傷の観点から大きい影響を持ち得る事故シナリオを認識することが重要と考え、感度解析等により影響を検討する方法を可能な限り附属書(参考)に提示した。

III. 事故シーケンス評価手順

事故シーケンス評価は、本解説シリーズ第 1 回に記載された III-5 節の事故シナリオの概括的分析及び 8 節の

事故シーケンス評価に示されている。地震 PRA 全体の流れにおける事故シーケンスの位置づけを概略的に示したのが第 1 図である。

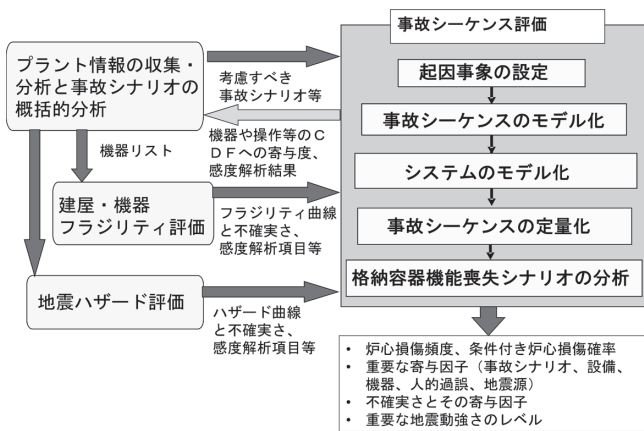
基本的には第 1 図に示すように、Ⅲ-6 節の地震ハザード評価及び第 7 節の建屋・機器フラジリティ評価と互いに評価条件、解析結果等のフィードバックを行い、事故シーケンス評価を行い、効率的に地震 PRA を実施する。

第 2 図には、事故シーケンス評価の構成技術要素を示す。第 IV 章では、第 2 図に示した技術要素について、評価の流れに沿って、評価手順の概要及び改定の要点を記述する。また、改定の要点は下線で示している。

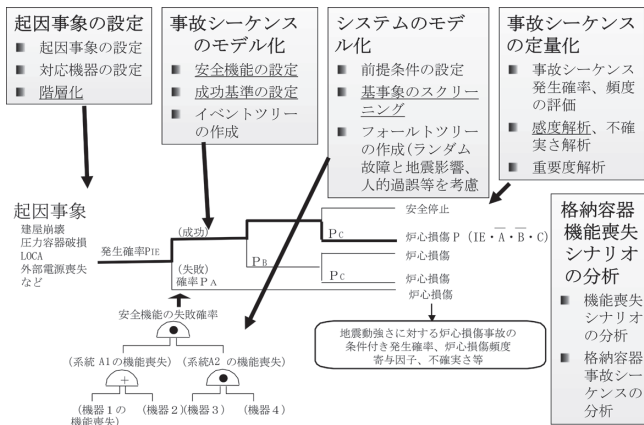
IV. 事故シーケンス評価手順の概要及び主な改定事項

実施基準の改定に当たり、評価範囲をこれまでの炉心損傷だけでなく、使用済み燃料プールの燃料損傷までを考慮することを明示的に示した。以下では、炉心損傷に関する評価手法を示すが、使用済み燃料プールの燃料の損傷に至る事故シーケンスのスクリーニング及び発生頻度評価手法についてもほぼ同様の手順が適用できる。

ただし、使用済み燃料プール構造物の耐力が大きいことなどから、冷却水保持機能の信頼性が十分に高ければ事故シーケンスの詳細な定量評価は不要としている。



第 1 図 地震 PRA の流れと事故シーケンス評価



第 2 図 事故シーケンス評価の構成技術要素

1. 起因事象の設定

(1) 起因事象設定手順の概要

地震時特有の事故シナリオを見落としなく抽出及び選定しスクリーニングを行った結果、事故シーケンス評価が必要と判断された事故シナリオを対象に、地震を起因として重大な燃料の損傷に至る可能性のある起因事象を分析する。また、地震時特有の事故シナリオの特性を考慮して起因事象を分類するとともに、起因事象に係る複数の構築物、系統及び機器 (SSCs) 及び緩和設備を分析し、起因事象が発生した場合の緩和設備及び格納容器の状態などを明確にする。ここで、事故進展が類似している複数の起因事象を、事象収束のための成功基準の観点から、一つの起因事象として分類してもよい。

同定した起因事象を対象として、地震時特有の影響を合理的に評価するために、起因事象の階層化を行ってもよいものとする。起因事象の階層化とは、地震発生時には、SSCs の機能喪失が同時発生する可能性があるため、様々な単一故障起因事象及び多重故障起因事象(後述)を想定する必要があり、起因事象分類が複雑になるため、複数の起因事象が重複する場合については、そのうちでプラントへの影響のもっとも厳しい起因事象で代表させ、それらをグループ化する方法である。その場合は階層化処理の結果をイベントツリー (ET) で表現し、階層イベントツリー(以下、階層 ET とする)を用いて起因事象を分類する。起因事象の発生確率の算定は、作成した階層 ET に基づき行う。また、このツリーでグループ化された各起因事象(ツリーの枝に相当)ごとに、炉心損傷に至る事故シーケンスのモデル化を行う(後述)。

(2) 主な改定事項

地震動の大きさによっては、単一の異常発生防止系 (PS : Prevention System) が機能喪失して単一故障起因事象が発生する場合と、複数の PS が機能喪失して多重故障起因事象が発生する場合が考えられることを附属書 CO (参考) に記述した。また、地震動の大きさによっては、起因事象発生と同時に複数の異常影響緩和系 (MS : Mitigation System) が機能喪失する可能性に留意することも記述した。

実施基準では、現在の評価技術を踏まえて起因事象の階層化を行ってもよいとしたが、先行する起因事象の従属事象として後続の起因事象の発生を想定した場合には、次のいずれかによりその影響を適切に評価する。

- ・ 起因事象の重ね合わせを考慮して階層 ET に必要な分岐を追加する。
- ・ 先行する起因事象に対する事故シーケンス及び成功基準を、後続の起因事象との重ね合わせを想定して設定する。その場合、保守的に燃料の重大な損傷に直結するとしてもよいが、燃料の重大な損傷に至る代表的な事故シーケンスを明確にする。

- ・サポート系の損傷が原因で起因事象が発生する場合には、当該起因事象とは別の起因事象の事故シーケンスとし、緩和設備のサポート系設備を別途モデル化することで、広範な影響を適切に評価する。

2. 事故シーケンス及びシステムのモデル化

(1) 事故シーケンス及びシステムのモデルの概要

起因事象の設定で整理した起因事象ごとに、評価対象プラントの設計、手順書、運転方法などとの整合を考慮して、地震発生後に燃料の重大な損傷を防止するために必要な安全機能を選定する。選定した安全機能の確保に必要なフロントライン系及び評価対象フロントライン系の機能維持に不可欠なサポート系、運転員操作等を対象に、安全機能を果たすために必要な SSCs の組合せ、必要な運転継続時間である使命時間、手動起動する機器については起動までの許容時間などを含めた成功基準を設定する。以上に基づき、安全機能を達成するための設備及び操作をヘディングとしてイベントツリーを作成し、階層 ET でモデル化した起因事象と結合する。

次に、作成したイベントツリーの各ヘディングに対応する機能が喪失する確率(アンアベイラビリティ)の定量化を行う。このためには代表的な手法としてフォールトツリー手法(以下、FT 手法とする)があるが、適用性が説明できる場合には、それ以外の手法を用いてもよいとしている。FT 手法を用いる場合には、設定した成功基準に基づき、システムの境界条件を設定し、必要なフロントライン系及びサポート系を設定し、FT を作成する。モデル化に当たっては、地震動による機器等の機能喪失の他に、ランダム故障、人的過誤、保守による待機除外等の要因を適切に含まなければならない。ただし、地震動による機器等の機能喪失以外の要因が地震 PRA に与える影響は一般的に限定的であるため、炉心損傷頻度が変わらない範囲でモデルを簡略化してもよい。

(2) 主な改定事項

事故シーケンスのモデル化及びシステムのモデル化における主要な改定事項は以下である。

(1) 安全機能の設定

燃料の重大な損傷の防止のために必要な安全機能として、シビアアクシデント対策として整備した設備(東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえ配備した設備などを含む)を含めることができることを規定した。

また、原子炉建屋、格納容器等が損傷する場合には、燃料の重大な損傷に直結すると想定することはなく、最適評価及び不確かさ評価を行うことが望ましいとした。ただし、例えば原子炉建屋破損のように炉心損傷に至る事故シナリオを現実的に設定することが、著しく困難又は必要でない場合は保守的に燃料の重大な損傷に直結すると想定してよいとしたが、レベル 2PRA における格納容器機能喪失シナリオ及びソースターム解析への影

響、すなわち、炉心損傷に至る事故シナリオ(放射性物質の流出経路など)を考慮する必要がある。

(2) 成功基準の設定

安全機能として、シビアアクシデント対策として整備した設備(東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえ配備した設備などを含む)を含めることができると規定したことから、当該設備の成功基準の例を附属書 CS (参考)に反映した。

さらに、シビアアクシデント対策等により安全機能を維持する必要がある場合には、使命時間に相当する、シビアアクシデント対策の利用が有効となる時間を、運転を継続している当該設備と同じ安全機能を有する設備(可搬設備を含む)の復旧、支援などにより、必要な安全機能を達成する手段の多様性に期待できるまでの時間の観点から設定すると規定した。

シビアアクシデント対策の利用を有効とする時間設定のための情報の例は以下であり、これらを適切に組み合わせることで時間設定が可能となる。

- ・地震による広範で従属的な影響を考慮して、隔離などの対応がなされた可搬式設備などを利用した対策の整備計画、訓練状況
- ・対応が必要な場所へのアクセス(道路など)が地震による瓦礫の影響で阻害された場合を想定した、瓦礫の撤去のための資材の整備計画、訓練状況
- ・プラントの安全性を安定的に維持するために必要な燃料、水源などのサイト内、サイト外からの供給手段の整備計画、訓練状況
- ・重要な設備の機能喪失を想定した、予備品、修復支援体制の整備計画、訓練状況

その他、米国 NRC が作成している耐震裕度評価(SMA)のスタッフガイド案の、“使命時間は 72 時間以上とすべき”が参考情報となる。

(3) イベントツリー及びフォールトツリーの作成

安全機能として、シビアアクシデント対策として整備した設備を含めることができると規定したことから、当該設備を考慮する場合の ET 及び FT の例を附属書 CW (参考)に示した。

3. 事故シーケンスの定量化

(1) 事故シーケンス定量化の概要

シリーズ第 2 回の地震ハザード評価及び第 3 回の建屋・機器フラジリティ評価の結果に基づき、前述の IV-1 節で作成した階層 ET 並びに IV-2 節で作成した ET 及び FT を用いて事故シーケンスを定量化し、感度解析、不確かさ解析及び重要度解析を行う。感度解析では、地震 PRA 固有の不確かさ因子の一つである機器間の損傷の相関による定量化への影響についても評価する。これらの概要を述べる。

代表的な事故シーケンス定量化手法には、FT 結合法、

条件付き分岐確率イベントツリー法及びモンテカルロサンプリング法があり、各手法の算定手順等は附属書 DD (規定)に規定している。ただし、適用性が説明できる場合には、これら以外の定量化手法を用いてもよい。また、各起因事象の全事故シーケンスを詳細に評価するには、膨大な解析を必要とするため、燃料の重大な損傷頻度への影響の極めて小さい事故シーケンスを詳細評価対象事故シーケンスから除外し、主要な事故シーケンスのみに絞り込み、より効率的に事故シーケンス解析を行ってもよいとした。

感度解析は、地震 PRA で用いる種々の仮定、モデルの選択、データの選択などを対象として、それらとは異なる条件を用いた場合に燃料の重大な損傷頻度などの評価結果にどのように影響するかを検討するために行う。

不確かさ解析は、地震ハザード、SSCsの耐力、応答などの評価に含まれる不確かさ要因を対象として、不確かさの伝播を解析し、燃料の重大な損傷頻度及び地震 PRA の実施目的によって必要となる解析結果について、確率分布及び/又は確率分布を表すパラメータ(平均値、中央値、5%信頼度値、95%信頼度値など)を求める。

重要度解析は、リスクに重要な影響を与える因子及びその影響の程度を把握することを目的に Fussell-Vesely 重要度及びリスク増加価値 (RAW) といった指標を算定する。前者は、プラント又はシステムの信頼性向上策又はリスクを低減するための方策を検討すること、後者は、現在のリスクレベルを維持するために重要な機器、システム、運転操作などを把握することに有用な指標である。

(2) 主な改定事項

事故シーケンスの定量化における主要な改定事項は以下である。

(1) 事故シーケンスの条件付き発生確率の評価

シビアアクシデント対策として整備した設備及び運転操作をモデル化して、事故シーケンスを定量化する時の、運転員操作の信頼性解析手法としては、一般的に用いられる THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) 手法を用い、人的過誤の確率を体系的な方法で評価する。ただし、その適用性が説明できる場合には THERP 手法以外の手法を用いてもよい。THERP 手法を用いる場合、大規模な地震が発生した場合の運転操作、復旧操作に関する事例及びデータはほとんどないことを踏まえ、次を考慮する。

地震中及び地震後の運転員操作では、混乱に伴う高ストレス状態が中央制御室又は現場における阻害要因となることを考慮する。また、地震後の復旧操作をモデル化する場合には、地震により、現場への接近性、復旧作業員の確保、作業用設備の確保及び/又は交換部品の確保が妨げられ得る可能性を考慮する。

定量化が困難な場合に主観的な確率を付与する例を附

属書 CR (参考)に記述した。主観的な確率を付与する場合は、評価全体を通して適用すべき確率を一覧表にまとめた「確率ランクテーブル」を予め定め、適用する確率値の標準化を図ることにより、評価者の工学的判断に伴うばらつきを小さくすることができる。

(2) 感度解析

事故シーケンスの定量化においては、モデル上の仮定など解析者の判断に基づいた仮定が、解析結果にどの程度影響しうるかを評価することが重要である。このための感度解析の対象項目として、結果に重要な影響を及ぼしうる仮定を選定するが、地震 PRA における感度解析の例として以下を取り上げた。

- ・重要度評価の結果、事故シーケンスの発生頻度に大きな影響を与え得る機器損傷、故障などのパラメータ(特に耐力データ、応答データ)
- ・SSCsの耐力及び応答の相関の度合い(完全相関、相関の程度の推定に基づく部分相関、または完全独立を想定)
- ・地震後の運転員の操作失敗確率とそのときに考慮する地震による運転員へのストレスレベル
- ・サイト・プラントウォークダウンで得られた結果で機器耐力などの形で定量的に反映することが困難で、かつリスクへの影響が大きいと判断される事項
- ・損傷又は故障した機器の復旧を評価する場合の復旧の条件又は確率
- ・余震を考慮することによる影響
- ・低耐力のリレー及び類似品のチャタリング
- ・地殻変動及び断層変位に起因する地盤変状の影響

上記項目の中の、余震の影響、リレーチャタリングの影響並びに地殻変動及び断層変位に起因する地盤変状の影響評価についてそれぞれ附属書 DI、DJ 及び DK にまとめた。

参考として解説されている余震の影響評価例では、まず、通常地震 PRA の結果に基づいて、地震の本震で起因事象が発生し、発生した起因事象の緩和に必要な事故緩和系が作動して、原子炉が成功裏に停止し冷温停止に至る事故シナリオの中から、比較的発生頻度の高いシナリオを選定する。このようなシナリオでは、何らかの起因事象といくつかの PS 設備の損傷が発生しているが、炉心損傷は防止できている。その後、プラントの冷温停止への移行中に余震が発生し、冷温停止に必要な安全機能が喪失した場合に炉心損傷となるものとして、その発生頻度を評価する。また、プラントの冷温停止期間中に発生した余震により新たな起因事象が発生した場合には、当該起因事象に必要な緩和系が機能喪失すると炉心損傷となると考えて、その寄与も考慮する。

地殻変動及び断層変位に起因する地盤変状の影響に係る感度解析では、地盤変状のハザード評価、地盤変状の影響を考慮した SSCs のフラジリティ評価並びに事故

シーケンス評価が必要であるが、これらの評価技術は現時点で研究段階にあり、現段階で得られている情報又は知見から、各評価過程における感度解析の基本的な考え方を以下のようにまとめた。

- ① 当該活断層又は付随する副断層が活動する。
- ② ①の活動により、当該原子炉建屋、熱交換器建屋などの重要建屋及び重要な屋外施設のある領域で地盤変状が発生する。
- ③ ②の地盤変状の発生により、安全機能の一部が喪失する。安全機能喪失のメカニズムとしては、次が想定される。
 - ・ 建屋直下の地盤変状により建屋が損傷又は崩壊する
 - ・ 建屋の傾きにより建屋内の SSCs が損傷する
 - ・ 建屋間の変位により渡り配管、ケーブル、タンクなどが損傷する
 - ・ 屋外に設置された配管、ケーブル、機器が損傷する
- ④ ①の活動により、地震動が重畳する。
- ⑤ ④の地震動により、安全機能の一部が喪失する。
- ⑥ ③及び⑤の結果、炉心損傷に至る。

以上のシナリオを想定した感度解析の手順を取りまとめた。手順は、現在の知見から評価するために、過大評価と思われる仮定をあえて用いており、よりよい精度を得る方法があればモデルを詳細化することが望まれる。

(3) 複数基立地の影響の取扱い

複数基立地サイトにおいては、非常用電源や所内用水の号機間融通などの好ましい影響がありうるが、一方で、MS 設備が共用されている場合に容量不足や同時機能喪失の原因となり得ること、複数ユニットが同時に事故状態となった場合に運転員等の負荷増大により対応の遅延を招く可能性があること、あるユニットで発生した事故現象が隣接ユニットに悪影響を与える場合もあり得ることなどの好ましくない影響もあり得る。これらの影響を網羅的かつ体系的に考慮することは難しいので、今回の改定では、現状技術で可能な事項として、シナリオ分析での考え方を附属書 K (参考)、設備の共用又は緩和設備の融通に関する取扱いを附属書 DO (参考)、機器損傷の相関性を考慮した場合の複数ユニットでの同時炉心損傷の発生頻度の感度解析例を附属書 DN (参考)として、追加した。

4. 格納容器機能喪失シナリオの分析手順の概要

格納容器機能喪失シナリオの分析では、地震事象に関するレベル 2PRA を実施する手順のうち、地震に起因して格納容器機能が喪失する事故シナリオの分析手法について記述している。レベル 2PRA を実施するには、このほかに、格納容器機能喪失事故シーケンスの定量化及びソースターム評価が必要であるが、これらは、基本的にはレベル 2PRA 実施基準³⁾に基づき実施することが可能である。分析は次の手順で実施する。

地震動によるプラントへの影響が格納容器本体の損傷に結びつく可能性だけでなく、格納容器の隔離機能を果たす設備への影響及び事故進展への影響も考慮し、事故シナリオを同定する。次に、それぞれの事故シナリオの特徴を考慮して、炉心損傷が生じる事故シーケンスをその類似性に基づいていくつかのグループに分類し、同じグループに分類した事故シーケンスに一つのプラント損傷状態を設定する。プラント損傷状態の設定では、炉心損傷以降の事故シナリオの分析を合理的に行えるよう、地震時に特有な事故の進展及びソースタームへの影響も考慮して、事故シーケンスの特徴を表す要素を抽出する。ここで、ソースタームへの影響を評価するために、原子炉建屋損傷のように、直接炉心損傷に至るとした起因事象による事故シーケンスに対しても、炉心損傷に至る代表的な事故進展の条件設定が必要であり、具体的な例を附属書 DR (参考)に記載した。設定したプラント損傷状態を初期状態とした格納容器イベントツリーを作成し、格納容器機能喪失事故シーケンスをモデル化する。

前述した以外の格納容器機能喪失事故シーケンスの定量化及びソースターム評価は、基本的にはレベル 2PRA 実施基準³⁾に基づき実施することが可能である。

— 参考資料 —

- 1) AESJ-SC-P006:2007, 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007.
- 2) AESJ-SC-P006:2014, 原子力発電所の地震を起因とした確率論的リスク評価実施基準：2014.
- 3) AESJ-SC-P009:2008, 原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準：2008 (レベル 2PSA 編).

著者紹介



村松 健 (むらまつ・けん)
東京都市大学
(専門分野/関心分野) 原子力安全工学、
リスク評価



小倉克規 (おぐら・かつのり)
電力中央研究所
(専門分野/関心分野) 原子力安全工学、
シビアアクシデント解析、リスク評価



岩谷泰広 (いwaya・やすひろ)
中部電力(株)
(専門分野/関心分野) 原子力安全技術、
リスク評価、民間規格

気候を改変する技術と地球温暖化問題

気候工学(ジオエンジニアリング)研究の最新動向

東京大学 政策ビジョン研究センター 杉山 昌広

気候工学(ジオエンジニアリング)とは、人工的に気候システムに介入し気温を低下せたり、二酸化炭素を大気から回収したりして地球温暖化を抑制する手法である。国際的に地球温暖化対策の進展が芳しくない中、一部の科学者が焦りを感じ、研究の重要性を訴えている。しかしながら、実施のみならず研究についてもこの技術は多くの社会的問題を引き起こす可能性がある。そのため、自然科学・社会科学の両面から研究が活発に進められている。仮に実施されれば、その影響は世界中に広がるため、日本も傍観者でいることはできない。市民、ステークホルダー、専門家で議論を始めることが必要であろう。

I. はじめに

1. 気候工学(ジオエンジニアリング)とは

2013年から2014年に公表された気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)第5次評価報告書では以前のIPCCの報告書では、断片的にしかレビューがされていなかった気候工学(ジオエンジニアリング)が包括的に扱われた。人工的に地球を改変して地球温暖化の影響を防ごうというこの技術について、自然科学的な効果から副作用、また経済性や倫理的・国際政治的問題などがレビューされた。

気候工学は、国際的な地球温暖化対策が遅々として進まない現状を見て、2000年代後半から一部の科学者がその必要性について議論をし始めた。用語は一定しておらず、英語でもclimate engineeringと呼んだり、geoengineeringと呼んだりする。IPCCはgeoengineeringを用いたので、日本政府訳ではジオエンジニアリングが当てられている。一方、2014年8月にドイツ・ベルリンで開催された初の分野横断型国際会議のタイトルは、Climate Engineering Conference 2014であり、climate engineeringを用いている。本稿ではわかり易さを考え、気候工学という用語を使う(用語とレビューは参考文献参照¹⁾)。

気候工学とは「気候変動の影響を軽減する目的で意図的に気候システムを改変する手法と技術の総称」(“a broad set of methods and technologies that aim to deliberately

alter the climate system in order to alleviate the impacts of climate change”)と定義される²⁾。

気候工学は様々な手法の総称であり、一言でまとめるのは混同を招くことが多い。一般的には太陽放射管理(solar radiation management: SRM)と二酸化炭素除去(carbon dioxide removal: CDR)に大別される³⁾。

2. 近年の動向

人類の気象・気候を変えたいという願望は太古からあり、気候工学のような考え方も古く遡ることができる(歴史書⁴⁾を参照)。しかしながら気候変動が国際環境政策の主題になった後もあまり言及されることがなかった。状況が変わったのは2006年にノーベル賞受賞者であるPaul Crutzenが気候変動に関する学際的学術誌*Climatic Change*に論考を発表してからである。彼の環境科学分野での功績は枚挙にいとまがない。フロンによる成層圏のオゾン破壊のメカニズムの理解に貢献し、また現代を人間が地球全体の環境に影響を与える特異な地質学的時代であると指摘し、人新世(Anthropocene)という名称を与えた。その彼が気候工学の検討も始めるべきだと主張したことは、多方面に影響があった。

第1表にCrutzenが論考を発表した2006年以降の主な動きをまとめた。2009年には英国王立協会が初の包括的な報告書を発表した。2010年にはガバナンスに関する初の国際会議が米国カリフォルニア州アシロマーで開かれている。1975年に遺伝子組み換え研究のガイドラインを議論した会議と同じ会議場で気候工学の研究ガイドラインを議論したものである。2011年にはIPCCの専門家会合が開かれている。

2012年には英国の気候工学の研究プロジェクト、

Technologies to Modify the Climate and Global Warming: Recent research trends of climate engineering: Masahiro SUGIYAMA.

(2014年9月5日 受理)

第1表 最近の動向

年	出来事
2006	Paul Crutzen が <i>Climatic Change</i> 上で気候工学の論考を公表
2009	英国王立協会, 気候工学の総合的な報告書公表, 科学的側面のみならずガバナンスについても広範に議論
2010	気候工学研究のガバナンスについて議論するアシロマー国際会議, 米国カリフォルニア州にて開催
2011	IPCC, 第5次評価報告書の準備の一部として気候工学専門家会合を開催(ベルー)
2012	夏にカナダ西岸沖で Russ George 氏がサケを増やすことを目的に鉄を散布 英国の SRM 研究プロジェクト SPICE の一部である実証実験キャンセル
2013	ロンドン条約・議定書にて正統な科学的研究は禁止する決定が採択 IPCC 第5次評価報告書(第1作業部会)公表
2014	IPCC 第5次評価報告書(第2,第3作業部会)公表 Climate Engineering Conference 2014 開催 年内に全米科学アカデミーの報告書公表予定

SPICE (Stratospheric Particle Injection for Climate Engineering) の一部であった実証実験が中止された。気球でつられた高さ 1km のパイプの先から水を噴霧し、基礎的な知見を得るというものである。実際に実施する際は 20km のパイプの先端から硫酸などを散布することになる。

ワークショップなどを通じて住民の意見も集めていたが、慎重ながらも好意的であった。しかし、知的財産権に関する疑義が生じたため、プロジェクトの中止が決定された。

同年の夏にカナダ西岸沖の Haida Gwaii 群島で米国の起業家 Russ George 氏が 100t もの鉄を散布し、国際的な騒動になった。伝統的に群島に住んでいる人々が文化的な象徴であるサケの減少で困っているため、鉄散布をするとプランクトンが増加し、サケも増えると説得し、現地に法人を設置し、実施した。しかし、カナダ政府から許可を得ておらず、ロンドン条約・議定書にも抵触している可能性があり、その後、カナダ環境省が調査を開始している。

なお、Russ George 氏は 2007 年にも米国でベンチャー会社 Planktos を起業し、中米で海洋鉄散布を行おうとしたところスペイン当局に怪しまれ、実験が中止になったという事件を起こしている。

こうした事件を背景として、海洋の廃棄物汚染防止のためのロンドン条約・議定書において、2008 年には海洋肥沃化について、2013 年にはより広範に海洋の気候工学 (marine geoengineering) について、包括的な規制をかける決定が成立した。実施は禁止となり、正統と認められる科学的実験を行うにも環境影響評価等をクリアする必要が出てきた。

学術の面では冒頭で述べたように IPCC の第5次評価

報告書でレビューの対象となった。しかし、IPCC で最も強調された知見は、気候工学は論文が少なく知見が限られ、効果や副作用について判断すべき根拠があまりないということである。

今後の大きな動きとして、年内に予定されている全米科学アカデミーの気候工学に関する報告書がある。通例では全米科学アカデミーの報告書の後には、その内容を受けて米国政府が何らかのアクションを起こすことが多い。例えば、議会が一定の予算を割り当て、連邦政府レベルでの研究が始まるかもしれない。

実は今のところ、米国では組織だった大型の気候工学研究は存在せず、個々人の研究者が少額の研究資金に基づいて研究を行っている。逆にヨーロッパを見ると、欧州連合、英国、ドイツ、ノルウェーで比較的大型のプロジェクトが見られる。なお、大型といっても工学の研究開発はほとんどなく、主眼はコンピューター・モデル研究である。

II. なぜ、いま気候工学なのか

1. 進まない地球温暖化対策

そもそもなぜ気候工学に関心が集まっているのだろうか。端的にいえば有意義な地球温暖化対策が進んでいないからである。

地球温暖化対策には地球全体の温室効果ガス排出を抑制することが必要になる。したがって全世界で各国が協調して CO₂ 等を減らすという集合行為問題が生じる。一部の国が温暖化対策をしても、協調しない国があれば、温暖化対策として不十分になるのである。

実際、米国や欧州連合 (EU) などでは温室効果ガス排出量が減少しているものの、新興国を中心に CO₂ 排出量は大きく伸び、世界全体では温室効果ガスの排出量は伸び続けている。

このため京都議定書が対象とした先進国に限定されず、世界全体を対象とした国際的な温暖化対策の枠組みが求められているが、国際交渉の進展は芳しくない。2009 年に開かれたコペンハーゲンの気候変動枠組条約第 15 回締約国会議 (COP15) は意味のある成果を生むことができなかった。2015 年にパリで開かれる第 21 回締約国会議 (COP21) では何らかの成果がでるかもしれない。しかし、そこでは各国が自発的に提示する目標を束ねる形になる可能性が高いため、国際的に合意された気温上昇を 2℃ に抑える目標は達成できる保障がない。

現状のまま、成り行きで事が進めば、気温上昇は 2℃ を大きく超えて 3℃ や 4℃ に到達する恐れがあり、これが気候変動の専門家の不安のもととなっている。

2. 気候変動リスクの認識の深化

遅々として進まない緩和策の一方、科学の進歩のため、気候変動の影響リスクの認識は深化してきている。

気温上昇が2℃を超え3℃や4℃になると、気候変動に伴う影響が顕在化する確率が高まっていく。IPCCのまとめによると、2℃の気温上昇では極端現象(豪雨、早魃、猛暑)による被害や、アフリカなどの貧困地域に被害が顕在化する確率が非常に高くなる。しかし2℃の気温上昇では地球全体で経済的影響が現れ、気候システムがティッピング・ポイントを超える可能性が高まる。

しかし、気温上昇が3℃・4℃となると状況は変わる。気候システムの要素が突然、質的に変化する可能性が無視できなくなってくるのである。

一部の科学者はこうした気候変動のリスクを踏まえると、副作用が否定できない気候工学ですら検討が必要だとしている。

Ⅲ. 気候工学の自然科学的側面

1. 気候工学の効果と副作用

気候工学はSRMとCDRに大別されることは前述したが、具体的に個別の技術を検討する(第2表)。

気候工学は多様な技術の総称であることは既に述べたが、その特性のみならず研究段階も大きく異なる。総じて研究としては未成熟であるが、成層圏エアロゾル注入、鉄散布による海洋肥沃化、CCS付きバイオマス発電、大規模植林などを除けば、論文の数は非常に少ないといえる。これがIPCCの現在では不確実性が多いという結論の根拠である。

効果についても手法ごとによってまちまちである。英

国王立協会の報告書によれば、SRMでは比較的効果が大きい手法が見られるが、CDRではCCS付きバイオマス発電やCO₂直接空気回収などに限られるとした。

しかし、SRMでも宇宙太陽光シールドは短中期的な実現可能性は乏しく、海洋の雲の白色化も、雲という気候システムの中でもっとも理解が不足している要素を改変するのは、不確実性が大きい行為といえる。私見ではあるが、実際に大きな冷却効果を持つのは成層圏エアロゾル注入であると思われる。

副作用については、CDRでは生態系に大規模に介入する手法の方が潜在的な問題が大きいと思われる。海洋肥沃化は鉄が散布された地域の生態系を攪乱することになり、またSRMの雲の白色化では、凝結核が散布された地域と隣接地域の気候循環が変わり、様々な副作用が見込まれる。最も副作用が少ない(より正確に言えば現在の枠組みで対処できる)技術はCO₂直接空気回収であろう。

SRMにはこの他にも大規模に実施した後に突然中止すると気温が急激に上昇する問題(「終端問題」)や、CO₂濃度減少につながらないため、海洋酸性化問題を解決しないといった課題がある。

2. 気候工学の費用

気候工学の実施コストは技術によって大きく異なるが、一般的な傾向としてSRMは緩和策より安く、CDRには緩和策と同等かそれ以上かかるとされている。

第2表 代表的な気候工学

分類	手法	コメント
SRM	成層圏エアロゾル注入	1991年に噴火して地球を0.5℃冷やしたピナツポ火山のような大規模噴火を模して、飛行機等で硫酸などのエアロゾル(またはその前駆物質)を成層圏(高度~20km)に注入する。地球温暖化予測に使われる気候モデルを用いるシミュレーション研究が盛んであり、国際プロジェクトGeoMIPも進行中である。
	海洋上の雲の白色化	海塩などの雲凝結核を投入することで、海洋上にある低層雲の雲粒のサイズを小さくし、反射率(アルベド)を高め、地表面への太陽光入射を減少させる。
	宇宙太陽光シールド	地球と太陽の重力が釣り合う点であるラグランジュ点のL1や地球の低周回軌道などに鏡のような構造物を設置し、太陽光を遮る手法。
CDR	CCS付きバイオマス発電	CO ₂ 排出が(ほぼ)ゼロであるバイオマス発電に二酸化炭素回収・貯留(CCS)を組み合わせ、正味でCO ₂ の排出をマイナスにする。将来の温暖化対策シナリオによれば、2℃目標達成には大量導入が必要とされる。小規模では緩和技術という見方が可能だが、大規模に実施した場合、バイオマス生産のための生態系への影響や食料生産との競合といった問題が起こるリスクがある。
	大規模植林	植林はCO ₂ のシンクであり緩和策として考えられているが、数Gtの規模で行うと生態系への影響も無視できなくなり、気候工学の様相を呈してくる。気候工学には規模が重要な要素であることを示す例である。
	鉄散布による海洋肥沃化	米国のJohn Martin博士によって提唱された鉄仮説(鉄は南極海などで光合成を律速する微量栄養素)を検証するために過去10回以上、公海で実験がなされている。大規模に行えば大量のCO ₂ を吸収できるとの見方もあったが、最近はそのポテンシャルは小さいとする指摘が多く見られる。ロンドン条約・議定書で規制対象になっており、研究を行う場合も環境影響評価等が義務付けられている。
	CO ₂ 直接空気回収	火力発電所等の排気ガスからCO ₂ を回収するCCSとは異なり、直接、外気からCO ₂ を回収する技術である。潜水艦や宇宙ステーションといった閉鎖空間では実用化されている。大気中のCO ₂ 濃度を減少できるほど大規模化できるかという技術的課題は大きく費用も高いが、社会的問題は他の技術に比べ比較的少ないと考えられている。

SRMの成層圏エアロゾル注入のコスト見積もりはいくつかあるが、おおよそ10～100億ドル/年/(W/m²)程度である。米軍の年間予算が年間6,000億ドルの規模であることを考えれば、単独国家でも可能な数字である。実際のところ大型プロジェクトの予算見積りは楽観的に過小評価されることも多く、これも例外ではないかもしれない。CDRのコストは、バイオマスCCSは60～250ドル/t-CO₂である一方、CO₂直接空気回収は大きな幅があり40～600ドル/t-CO₂との数字が文献で報告されている⁵⁾。

3. 成層圏エアロゾル注入

議論の俎上に載ることが多い成層圏エアロゾル注入(stratospheric aerosol injection : SAI)について具体的に述べる。これは大規模火山噴火を模擬する手法である。大規模火山噴火によって成層圏に硫酸エアロゾルの層ができると、太陽光が散乱され地表に届く太陽光が減少し、地表は冷却する。例えば1991年のピナツポ火山噴火の後、全球平均気温は最大で0.5℃減少した。火山噴火後は、噴火によって排出されたSO₂などの硫黄ガスが成層圏に到達し、化学変化によって硫酸に変化する。この濃度の薄い硫酸のミストが太陽光を散乱する。

成層圏エアロゾル注入とその他のSRMとの大きな違いは、実際に地球全体の冷却効果を自然自体が確かめているということである。自然は効果だけではなく、SAIの副作用についても明確に示している。火山噴火後には全球の水循環が弱まり、陸域の降水が減少する。またオゾン層破壊も強まり、大気循環の変化も観測されている。

人工的にSAIを行う場合、エアロゾル粒子を高度20kmぐらいに持ち上げ、散布することとなる。運搬する技術としては飛行機、飛行船、パイプなどが考案されている。散布するエアロゾル物質としては、硫酸エアロゾルがよく候補として挙がるが、文献ではブラック・カーボン、酸化チタン(TiO₂)、アルミナ、人工ナノ物質なども検討されている。しかし、硫酸エアロゾル以外については、限られた知見しか存在しない。

成層圏エアロゾル注入の効果は、火山との比較で大まかに理解はできるが、より定量的な評価のためにはコンピュータ・シミュレーションが必要になる。幸いなことに、将来の地球温暖化の計算に使われる気候モデルには過去の火山噴火の冷却効果を表現する仕組みがあり、これを利用して気候工学の効果と副作用も調べることができる。

現在、気候工学シミュレーションの国際研究プロジェクトGeoMIP(Geoengineering Model Intercomparison Project)が進行中である。気候モデル中で太陽を暗くしたり、成層圏エアロゾル注入を行ったりした計算結果が報告され、論文も十数本公表されている。こうした結果はIPCCの第5次評価報告書にも反映されている。日本

からも東京大学・国立環境研究所・海洋研究開発機構のチームが参加している。

現時点の主要な結果をまとめると次のようになる。

- (1) 成層圏エアロゾル注入は全球気温の上昇を抑えることができる。
- (2) しかし、温暖化の相殺は完全ではなく、地域ごとに気候の変化が起こる。熱帯では産業革命前に比べ気温が低下し、極域では気温上昇が残る。
- (3) 全球の水循環が弱まり、熱帯域で降水が弱まる。

GeoMIPでは他にも気候工学を実施したときの北極海の海水の変化、北大西洋の深層循環の変化、熱波や寒波、豪雨・旱魃といった極端現象の変化、成層圏オゾン層への影響などを調べている。

IV. 気候工学の社会的側面とガバナンス

1. 科学技術ガバナンス

GeoMIPなどの一連の研究から明らかになったことがある。気候工学は地球温暖化を止めるには一定の効果はあるが、副作用が避けられないということである。更に、これに加えて社会的・倫理的な課題がある。このようなリスクの伴う科学技術については、研究開発の早い段階からガバナンスが必要になる。

ガバナンスを簡単にいえば、法によった公式な統治形態のみならず、研究者の倫理規範や大学・研究機関の規則など、様々な方法による、統治の総体である。

気候工学の倫理的な課題には、一見して安易に見える気候工学という手法が広まると、緩和策や適応策への関心が小さくなるかもしれないという懸念がある。これは「モラル・ハザード」と呼ばれる。また旧来、「神」の領域として捉えられてきた気象や気候を人類がコントロールしようとすることは、人類の奢りであるとして批判する立場もある。

国際政治問題としては、前述したようにSAIは実施のコストが低いため、単独国家で実施できる可能性もある。国際法では海洋での気候工学はロンドン条約・議定書で規制が存在するが、大気で効力のある条約はほとんど存在しない。気候工学など全般を対象とする環境改変技術敵対的使用禁止条約も存在するが、兵器としての利用を禁止するものであり、平和目的での利用は禁止されていない。ある国が異常気象などで大きな影響を受け、仮に単独実施に踏み切った場合、国際社会は大きな混乱に陥ると考えられる。

こうした長期的な問題もあるが、現在ガバナンスの重要課題として考えられているのが研究、特に自然環境での小規模実験のガバナンスである。ハーバード大学のDavid Keith教授らは成層圏に硫酸を散布して、オゾン層破壊の化学反応について調査するプロジェクトを計画しており、これについて活発な議論のやり取りがなされており、*Science*誌や*Nature*誌などで盛んに議論がな

第3表 気候工学の自然環境における小規模実験の代表的な立場(これ以外の立場もありうる)

立場	考え方
「積極派」	非常に小さい実験は自然環境への影響はほとんど無視でき、他の実験と同様な各国の環境影響評価を行えば、問題はない
「慎重派」	環境への影響はなくとも社会的影響が大きいため、何らかの形で国際的な枠組みを作ってから実験をすべきである

されている。第3表に主要な意見をまとめた。

2. 日本での議論の必要性

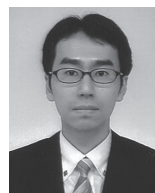
気候工学のガバナンスについては、日本も傍観者ではいられない。好むと好まざるとにかかわらず、気候工学が実施された場合、地球全体の気候が変化し、日本もその影響を受けることになる。全体として便益の多い変化になるかもしれないし、想定しなかった大きな被害が生じる可能性もある。

こうした技術の研究開発のガバナンスには市民や様々なステークホルダー、また専門家を交えて議論を積み重ねていくことが必要不可欠である。世界のガバナンスの場に日本としての立場・意見を表明していくことが必要になるからである。推進するにしても反対するにしても、日本ではこれから本格的に気候工学の議論を展開していくことが望まれる。

－ 参考資料 －

- 1) 杉山昌広, 西岡純, 藤原正智, “気候工学(ジオエンジニアリング),” 天気, 58, 577-598 (2011).
- 2) IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [T.F.Stocker, *et al.* (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324 (2013).
- 3) Royal Society, Geoengineering the Climate: Science, Governance, and Uncertainty, Royal Society, London, pp. 82 (2009).
- 4) J. R. Fleming, Fixing the Sky: The Checkered History of Weather and Climate Control, Columbia University Press, pp. 344, ISBN: 978-0231144131, (2012).
- 5) IPCC, Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, *et al.* (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge.

著者紹介



杉山昌広 (すぎやま・まさひろ)

東京大学 政策ビジョン研究センター講師
 米国マサチューセッツ工科大学にて
 Ph.D. (気候科学) および修士号 (技術と政策) を取得。東京大学サステナビリティ学連携研究機構特任研究員, 電力中央研究所社会経済研究所主任研究員を経て2014年より現職。主な著書に『気候工学入門—新たな温暖化対策ジオエンジニアリング』, 日刊工業新聞社, (2011)がある。



From Editors 編集委員会からのお知らせ

－最近の編集委員会の話題より－

(11月4日第4回編集幹事会)

※10月の幹事会は台風のため中止

【論文誌関係】

- ・9-10月期に英文誌は67論文, 和文誌は7論文が投稿された。4.5月号入稿済み。
- ・NUTHOS-10の英文誌特集号を, 1号分で印刷時期未定の条件で承認した。なお, 特集号の申請及び採択の基準を作成することとした。
- ・熱流動分野の編集委員1名を韓国から招聘することを承認した。
- ・投稿数増加, 掲載否増加への対応を検討した。
- ・論文の印刷ページ数削減案を検討した。
- ・JNST Most Cited Article Award 2014を決定した。
- ・審査・査読に関する留意点(査読担当者・担当編集委員)の改訂案を承認した。
- ・過大な自己論文流用のある投稿原稿の扱いについて検討した。

【学会誌関係】

- ・委員長, 理事から, 理事会関連の報告があった。
- ・10/29に実施した会長等と編集委員会の意見交換会の報告があった。今後も定期的に開催し, 学会誌に関する情報交換を行っていくこととした。
- ・来年3月号に掲載予定の「他学会における震災および福島事故の取組み」記事の打診状況の報告があった。現状, 43学会から執筆承諾の回答があり, うち17学会から原稿の寄稿があった。
- ・「匠たちの足跡II」の記事企画の進捗状況について報告があった。
- ・至近号の掲載予定等を確認した。3月号の巻頭言の採否と4月号以降の巻頭言執筆候補について鋭意検討を行っていくこととした。
- ・学生連絡会とYGNとの意見交換会の場を設定し, 近日中に開催できるように調整することとした。

編集委員会連絡先 < hensyu@aesj.or.jp >

電気の品質を守る電力系統

電力品質低下の影響と対策

中部電力(株) 下村 公彦, 板羽 正浩

現代のわが国において、電気は、スイッチを押せば、ほぼ確実に使用できるものになっている。電力会社の作業などによって、予告のうで行われるものを除けば、個人が年間で経験する停電は、平均して20分以下である。また、コンセントから供給される電圧も、100Vから大きく外れることはない。

わが国では、雷をはじめ、台風や地震などの自然災害が、諸外国と比べて多い。そのような厳しい環境下で、わが国の電力系統は、質の高い電気を、安定的に送り出している。本稿では、「質の高い電気」、「安定的な電力供給」にはどのような課題があるのか、そして、その課題を解決するために、電力系統において、どのような取り組みがなされているのか、ということについて解説する。

I. はじめに

日本の電力系統は、電気の品質が高く、安定した送電を行っている。一般に「質の高い電気」とは、周波数が安定、電圧が安定、歪みが小さい、停電が少ないといった4つの特性がある。これまで、質の高い電気を送電するために様々な取り組みがなされてきたが、昨今、太陽光発電や風力発電などの自然エネルギー大量導入により、更なる課題の把握と、課題解決のための取り組みが必要になってきている。

II. 電気の品質

1. 周波数

一般に、電気使用者に供給される電気は交流である。わが国では、糸魚川静岡構造線に沿って、東側が50Hz、西側が60Hzという周波数を採用している。これらの基準となる周波数に対する偏差の大小が、電気の品質を測る指標のひとつとなる。わが国では、北海道および沖縄で $\pm 0.3\text{Hz}$ 、それ以外の地域では $\pm 0.2\text{Hz}$ を周波数偏差の目標値としている。周波数偏差が大きくなると、高速度の回転機を使用する化学繊維業や製紙業において、製品にむらが生じるなどの影響がある。

電力系統においては、需要と供給を瞬時、瞬時で、一致させる必要があり、需要と供給のアンバランスは、周

波数の変動となって現れる。つまり、周波数を安定に維持するために、需要と供給をマッチングさせる必要があり、平常時には、周波数の偏差を検知し、発電機出力を増減する負荷周波数制御 (Load Frequency Control) を用いて、周波数の偏差を検出し、発電機の出力を増減することなどにより、これを実現している。

それでは、大規模な発電機故障などによって、周波数が大きく変動するような場合には、どのように対応するか。このために必要になるのが、周波数維持対策であり、後述する。また、太陽光発電や風力発電など、出力をコントロールすることのできない自然変動電源が大量に電力系統に接続されるようになると、平常時の周波数変動も拡大する方向になることが予想され、これも、今



第1図 日本の電源周波数

Power Quality in Power Systems Measures against influences of power quality deterioration : Kimihiko SHIMOMURA, Masahiro ITABA.

(2014年8月13日 受理)

後の電力系統の課題のひとつである。

2. 電圧

電圧については、電気事業法およびその施行規則により、標準電圧 100V においては 101V の上下 6V を超えない値、標準電圧 200V においては 202V の上下 20V を超えない値、がそれぞれ維持すべき値として定められている。これらの電圧が維持できない場合、電気機器の性能低下や故障、寿命の短縮などが考えられる。

系統の電圧を適正に維持するために、変圧器のタップ上げ・下げ制御や、電力用コンデンサの投入・開放、発電機の界磁電流調整により、電圧を制御している。

3. 歪み

理想的な交流は、単一の周波数を持つ正弦波である。しかし、実際の電気は、基本波の整数倍の周波数を持つ高調波が重畳した歪み波となっている(第2図)。歪み波(高調波)は、半導体スイッチング素子を用いたインバータ、具体的には、テレビ、パソコン、インバータエアコン、蛍光灯、エレベータ、太陽光発電システムなどが発生元となっている。歪みが大きいと、映像がちらついたり、電気機器が誤作動したり、場合によっては過熱、破損といったことが起こる。

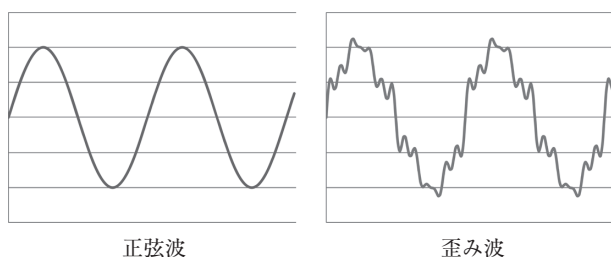
高調波による障害を防止するためには、発生を抑えることが最大の対策であり、機器メーカ、電気使用者、電力会社が相互に協力し、ガイドラインやJIS規格として、高調波の発生を一定程度以下に抑制するための対策を定めている。

4. 停電

わが国の年間停電回数・時間は、大規模な災害発生年を除けば、右肩下がりに推移している。近年では、お客さま1軒あたり、おおよそ0.2回/年、20分/年程度である。これは、欧米の諸外国と比較しても優れており、雷害対策の充実や、自動復旧装置の展開などによるところが大きい。

5. 瞬時電圧低下

電力系統を構成する送電線に落雷による故障が発生した場合には、高速度で故障設備を検出し、系統から切り離す。故障設備の検出は、各設備ごとに設置された保護



第2図 基本波と歪み波

リレーで行い、故障と判断される場合、遮断器を開放し故障設備を電力系統から切り離す。この切り離しに要する時間は、電圧階級ごとの保護リレーおよび遮断器の能力により決まり、総合的には0.05秒～2秒の範囲となる。しかし、短時間でも、電力設備がアークなどによって地絡または短絡された状態となるため、この間、「電圧が大きく低下」＝「瞬時電圧低下(第3図)」となる。これは、従来の一般的な家庭用の電気製品にはほとんど支障はないが、FA(Factory Automation)機器、OA機器、工場などで電源回路にマグネット・スイッチを使用している機器、速度制御にサイリスタ等を使用している可変速モータなどに影響がある。

Ⅲ. 電力系統の「安定」

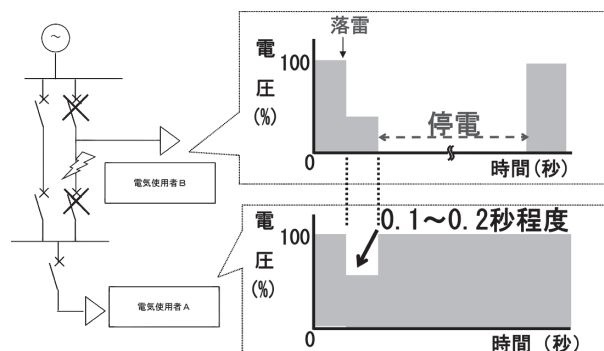
わが国の電力系統においては、「機器の単一故障に対し、供給支障を生じないこと」を原則に、変電設備や送電設備が構築されている。さらに、日々の系統運用では、想定しうる事故に対して、その影響が広範囲に波及しないよう、変電設備や送電設備に運用容量を定め、その範囲内での運用を行っている。運用容量は、熱容量限度、周波数維持限度、系統安定度限度、電圧安定性限度の4つの要素から定まるそれぞれの限度値のうち、最も小さな値から定められる。これらのうち、熱容量限度を除く3つは、交流の電気特有のものである。以降、ひとつずつ見ていく。

1. 熱容量限度

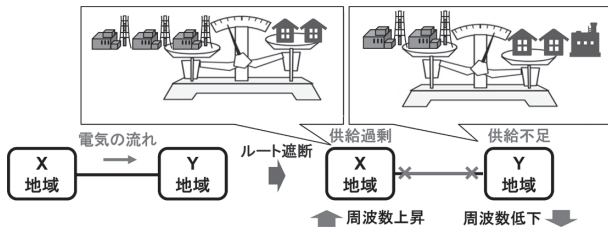
送電設備や変電設備に流れる電流から発生するジュール熱などにより、設備が高温になった場合でも、たるみ増大(送電線の場合)や疲労などによる破壊の問題がなく、安全に運用できる限界を熱容量限度という。例えば、複数の回線で1ルートを構成している送電線の場合には、1回線事故時の残回線の熱容量限度をもって、運用容量を定めることになる。

2. 周波数維持限度

先にも述べたように、電力系統の周波数は、需要と供給のアンバランスによって変動する。いま、XとY、2



第3図 瞬時電圧低下と停電(77kV系統の例)



第4図 周波数維持限度の考え方

つの地域が1ルートの送電線で接続されており、X地域からY地域に向けて、電力の流れがある場合を考えてみる(第4図)。

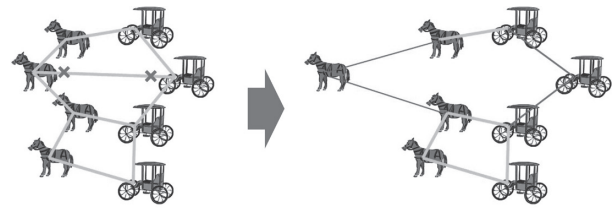
平常時には、XとY、2つの地域が一体となって、需要(周波数を下げる要因)と供給(周波数を上げる要因)をバランスさせ、周波数を一定に保っている。ところが、2つの地域をつなぐ送電線が事故によりルート遮断し、2つの地域が分離すると、X地域では供給の過剰から周波数が増加、Y地域では供給の不足から周波数が低下する。X地域では発電を抑制し、Y地域では発電を増加して、速やかに周波数を基準周波数に回復させようとするのだが、アンバランス量が大きくなると、それは困難となる。さらに、供給が不足するY地域では、周波数低下から、運転中の発電機の保護装置が動作して停止、さらに周波数が低下するという連鎖反応が生じ、大規模な停電に至る可能性がある。このような周波数変動を一定程度以内に抑えるために、送電線1ルートに流れる電力に上限値を設ける。これを周波数維持限度という。

以上が、周波数維持限度の考え方であるが、これを厳密に遵守して運用を行うと、発電機の経済運用を阻害するなど、コスト面で問題となることがある。送電線1ルートは通常、2回線で構成されており、ルート遮断は、稀頻度である多重事故にあたる。このことから、ルート遮断を検出し、アンバランスを縮小する方向に発電機や負荷を緊急に遮断するシステムを設置することで、周波数維持限度を高めている例が、複数の電力会社で見られる。

3. 系統安定度限度

電力系統において、すべての発電機が電氣的に同じ回転数、つまり同じ周波数で回転することが、安定な送電が可能になる条件である。この条件が満たされているか否かを測る指標が、系統安定度である。

系統安定度の理論については、割愛し、ここではアナロジーで説明する(第5図)。複数頭の馬と、複数台の車を考え、これらが、ある程度伸び縮みするロープ(送電線)で相互に結び付けられているものとする。電力系統との対比でいえば、馬が発電機に、車が負荷(需要)に、そして、ロープが送電線にあたる。馬の中には、脚力の強い馬もいれば、弱い馬もいる。車も、空のものもあれば、人をたくさん乗せた車もある。しかし、これらがロープで連結されることによって、一団となって、一



ロープ(=送電線)が切れた

支える力を失い、一頭の馬(=発電機)が暴走状態に

第5図 系統安定度のアナロジー

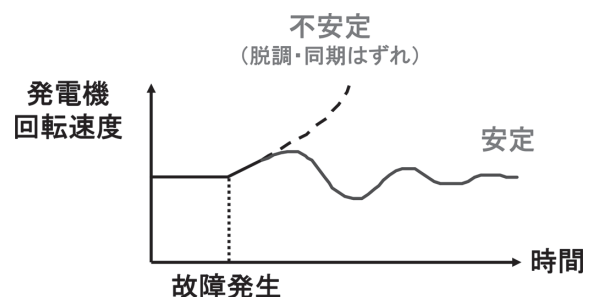
定の速度で進む。これが、安定な状態(周波数が安定)である。ここで、ロープの1本が切れたとする。残りのロープによる引き戻しが効けば、元の状態とは異なるものの、安定な状態に戻ることができる。しかし、伸び縮みの限度を超えると、一部の馬が暴走状態(発電機の回転数上昇=脱調)になる。これが、不安定な状態である。

電力系統でも、これと同じことが起きる。電力系統内の事故により、近傍の発電機の回転数に、1～数秒程度の動揺が発生する。通常、この動揺は次第に減衰し、元の安定した回転速度に戻るが、この動揺が拡大、あるいは一方的に加速して、発電機が安定的に運転できない状態に陥ることがある。一般に、長距離送電ほど、また、大電力送電ほど、こうした不安定状態に陥りやすい。このように、過渡現象として不安定な状態に至ることを回避するために、電力の流れに上限値を設けている。これを系統安定度限度、より厳密には、過渡安定度限度という。なお、系統安定度には、過渡安定度のほかに、緩やかな負荷変化が生じてても安定に送電できる度合いを表す定態安定度があるが、ここでは詳細説明を省略する。

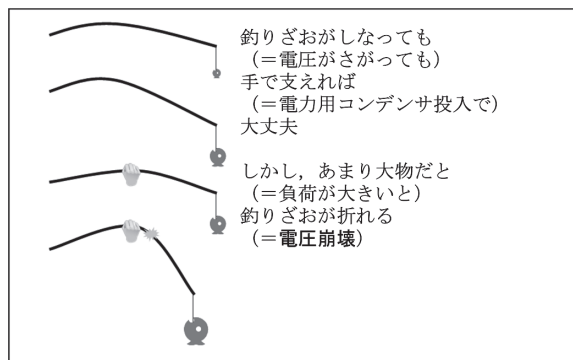
このように、電力系統において、一部の発電機が加速するような状態を不安定(第6図)というが、このとき、加速する複数台の発電機のうち、何台かを高速に遮断することで、電力系統全体を安定な状態に引き戻すことができる場合がある。これが、過渡安定度維持システムの原理であり、複数の電力会社で採用され、系統(過渡)安定度限度から決まる運用容量を引き上げることを可能にしている。

4. 電圧安定性限度

ここでも、アナロジーを用いて説明する(第7図)。登場するのは釣竿と魚である。針にかかった魚が大物で



第6図 発電機の不安定状態



第7図 電圧安定性のアナロジー

あればあるほど、釣竿は大きくしなる。ここで、魚の重さが負荷(需要)の大きさにあたり、釣竿のしなり具合が、電圧低下の大きさにあたる。電力系統では、末端の負荷が大きいくほど送電電力が増加し、これに伴って電圧が低下するが、釣竿と魚のアナロジーは、これを的確にとらえている。電力系統では、電圧の低下を防ぐために、電力用コンデンサを投入するが、これは、釣竿の真ん中あたりに手を添えて、持ち上げることで、しなりを抑えることに相当する。しかし、魚が超大物だとすると、手を添えての支えにも限度があるため、ついには釣竿が折れることになる。これを、電力系統に置きかえれば、このような状態は、電圧崩壊の状態であり、大規模な停電につながる。このような電圧不安定に至らないように、送電電力に対して定められた上限値が電圧安定性限度である。

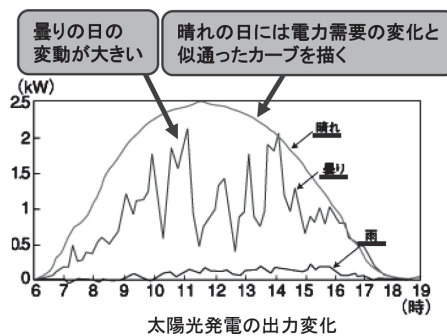
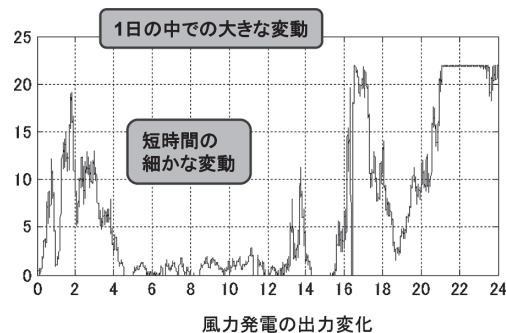
IV. 自然エネルギーによる影響

地球温暖化対策として低炭素化社会実現に向けた取り組みが強化され、2012年7月からは再生可能エネルギーの固定価格買取制度が始まるなど、同エネルギーの重要性は高まってきており、全国で、急速かつ大量に導入されてきている。ここでは、導入量増加が顕著な、風力と太陽光が、電気の品質に及ぼす影響について見ていく。

自然エネルギーは、一般にCO₂などの温室効果ガス排出量低減の低減効果、燃料不要といった特徴がある。一方、電力系統から見ると、風力、太陽光といった自然変動電源は、出力が気象条件により変動し、予測が難しく、需要に応じた出力調整ができないという特徴を持つ(第8図)。これらの電力系統への導入量が増加すると、電圧調整や周波数調整などが頻繁になる。さらに増加が進むと、やがて出力変動が電力系統の調整能力を超え、電圧、周波数を一定に維持できなくなり、電気機器の故障や高速度の回転機を使用する産業などに影響が生じる。このような事態に至らないように、電力会社では、自然エネルギーの出力変動に備えてバックアップ電源を用意している。

VI. 今後の展望

電力系統は、質の高い電気を、安定して供給するため



第8図 風力発電と太陽光発電の出力変化

に、さまざまな制約条件のもとで運用されている。各種の安定化対策は、これらの制約条件を緩和するものであり、これにより、送電設備や変電設備が、より効率的に働くようになる。今後は、こうした効率性向上、コストダウンという観点から、系統安定化対策の重要性は、ますます高まるものと考えられる。

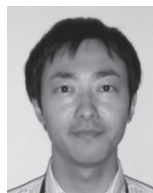
その一方で、自然変動電源の普及拡大は、電力系統の安定性を維持するにあたっては、やはり大きな懸念材料である。自然変動電源の出力変動によって引き起こされる周波数変動や電圧変動については、既に述べた通りであるが、例えば、オンライン型の系統安定化システムについても、系統状態の正確な把握が困難になり、適切な制御が行えなくなる懸念がある。

これらの課題を含め、電力系統の安定化への取り組みを継続的に進めていく。

著者紹介



下村公彦 (しもむら・きみひこ)
中部電力㈱
(専門分野/関心分野) 系統安定化技術



板羽正浩 (いたば・まさひろ)
中部電力㈱
(専門分野/関心分野) 系統保護技術, 電品質

正力大臣車中談(案)と湯川秀樹

原子カムラと御用学者のルーツ

東京工業大学 澤田 哲生

正力大臣車中談(案)という風変わりな標題の史料がある。昭和31年の原子力委員会で語られている。正力は東京から選挙区富山に電車でお国入りする車中で、随行記者団にさまざまな真情を披瀝した。同年1月中旬のお国入りの際には、原子力委員会発足直後の声明書の内容に関して談じた。原子力委員の湯川は、新聞紙面に踊った正力の車中談に接し、困惑と憤りを露にした。そんな背景に湯川ら物理学者と正力ら政治家の思惑の違いが根強くあった。それが、結果的に原子カムラと御用学者を生む発端になったのではないか。史料をもとに論考する。

I. まえがき

湯川史料¹⁾のなかに、やや珍妙な標題の資料がある。それは『正力大臣車中談(案)』と題するものである。このような標題の文書は、昭和31年内、つまり正力松太郎の原子力委員長在任中(昭和31年1月1日～昭和31年12月23日)に少なくとも2件は作成されている。

正力は東京から選挙区富山への電車移動中に記者に向けて、しばしば重要なメッセージを発した。原子力委員会発足当時、そのような車中談が新聞紙上を賑わした。車中談があたかも公式な決定事項のように扱われ、混乱と不信を巻き起こしたのである。そのことへの反省から、大臣の車中談が予め原子力委員会で審議されたことは想像に難くない。それがこの車中談(案)という文書である。この標題の文書が語りかけるのは、湯川秀樹ら学者と正力松太郎ら政治家の、原子力に対する姿勢に、原子力委員会発足当初から無視し得ない乖離があったことである。そして、学者が政治家の独走になんとか抑制を効かせようとした跡が伺える。しかしながらこの乖離は、その後も解消されることなく、むしろ広がっていった。つまり国産発電原子炉に拘わる学者と、発電炉の早期の輸入を目論む政治家のせめぎ合いの末、英国からのコールダーホール型原子炉の性急な輸入へと結果して行くのであった。

この車中談(案)という風変わりな標題の文書から透かし見えてくるのが、原子カムラ形成の端緒とそれと一体化してある『御用学者』のルーツである。

II. 原子力委員会声明と正力大臣車中談

昭和31年1月1日、原子力委員会が発足した。その二週間後、1月13日に「原子力委員会の発足に際して」²⁾という原子力委員会声明が公にされた。この文書の中で、原子力の利用として、発電とアイソトープ利用について言及されている。発電に関する文面は下記である。

“われわれが原子力発電を速やかに実現して、わが国産業経済の興隆に資したいと念願している大きな理由もここにあります。米ソ両国では既にその実験に成功している前例もあり、われわれとしても今後5ヵ年間に原子力発電の実現に成功したい意気込であります。”(傍点筆者)

“実現に成功したい意気込み”とは、回りくどい言い方だが、そこに向けて鋭意努力するという意味である。上記の傍点箇所については、同年の12月6日の正力自身の国会答弁³⁾では、以下のように述べられている。

“実は、私どもは、正月に原子力委員会ができまると、そのときにまず声明書を出そうということで、原子力委員会で声明書を出しました。ところが、その声明書ができ上がったものを私が見ますと、発電の問題に一つも触れていないんです。御承知のごとく、原子力をやるということはむしろアイソトープの利用も必要だが、何としても発電である。ことに日本のごとき電力に非常に困っている所は発電は何としてもやらなくちゃならないという考えを持ちましたから、その委員会で、今イギリスやアメリカはもう今年度から発電をしておるんだから、日本は十年のおくれがあるとはいえ、少くとも五年後には日本も発電をしたいということを声明しようじゃないか、ということを私は言いました。ところが、話をしましても、発電ということはほとんど夢のように考えられておる。従って、五年後に発電したいと思うなんて行き過ぎだということであり

日本原子力学会誌, Vol.56, No.12 (2014)

Minister Syoriki's On-the-Train Talk (Proposal) and Hldeki Yukawa; The Origin of Genshiryoku-mura and Goyogakusha: Testuo SAWADA.

(2014年8月7日 受理)

ます。結局それじゃ努力しようということで、五カ年後に発電するように努力する、という初めて発電の文句を入れたのであります。ところが、その声明書を出すと同時に私は郷里、選挙区へ帰りまして、そのとき車中談でその声明書の意味を話しました。ところが、新聞記者は、委員会としては五年後に発電に努力するようになっておるけれども、実は自分は五年後にどうしても発電しようと思ってるんだ、ということ言うところ、新聞記者は、皆相談の結果、委員会は五年後に発電するんだということをはくが言うたということで、新聞に大きく扱いました。それがために、たいへんな騒ぎが起りまして、どうも正力が独走したとか、原子力委員が辞表を出すということになった。辞表出す人が一人じゃなかったんです。そういうようなことであつたんです。”(傍点筆者)

つまり、1月13日の声明書が出る以前にその草案が原子力委員会に諮られた。しかし、その草案においては“発電の問題には一つも触れていない”という有様であった。草案は、恐らく原子力委員長である正力大臣を除く委員と事務局で作成されたのであろう。ところが、その草案をチェックした正力は、原子力をやるということは何んとしても発電であるとして、結果的に、“われわれとしても今後5カ年間に原子力発電の実現に成功したい意気込であります”という文言が声明書に盛り込まれた。これは、正力の国会答弁で述べられているように、当時、学者(湯川秀樹や藤岡由夫)にとってはほとんど夢のようにしか感じられていなかった原子力による発電を、5年後には実現するように“努力する”というかなり強引ともいえる政治主導のやり方であった。

この間の経緯に関しては、湯川の委員就任をそもそも後押しした森一久が、次のように語っている⁴⁾。森は湯川門下生で中央公論社に勤務し、1956年に原子力産業会議の立ち上げに参画した人物である⁵⁾。

“56年1月4日昼下がり、湯川から電話があつた。「森さん、君にいわれて委員になつたけど、もうやってられないよ。」(中略)原発の先導役だった正力氏は発電会見で、「発電用原子炉を米国より導入したい」と発表し、博士を驚かせた。「原子炉導入は慎重に」という姿勢の博士が怒るのも無理はなかった。「正力が『研究などしなくても外国から炉を導入すればいい』と言っている。そんなことではおれが入った意味がないじゃないか。大体、君がやれというから……」と博士は電話で森さんを責めた。森さんは四谷の旅館にかけつけた。「先生、発足早々に委員長が気に入らないからと辞めるなんて」「そういう問題(政治家の独走)があるから、委員が必要なんですよ」博士の心は何とか収まり、渋々辞任を思い止まった。”

ここに湯川ら学者と正力ら政治家の対照的な立場と見解がある。湯川らは、すでに昭和29年(1954年)以前から学会を軸に、国産原子炉構想を基礎物理学の仲間達とともに練り上げていた⁶⁾。国産原子炉を、『民主・自主・公開』の理念のもと、時間をかけても確実に自分たちの科学・技術として育てて行こうという姿勢であった。自主開発最優先である。一方、彼らからすれば、突然の原子力予算とともに突如として舞台上に登場してきた正力松太郎の信条は、強引とも言える発電用原子炉の早期の“導入”戦略にあった。早期導入最優先である。このような基本姿勢の乖離は、その後広がることはあっても縮まることはなかった。物理学者の行動原理には、物事に批判的でどんな小さなことも自分が納得するまで考える。そして、何もかも自分でできると思っていて、何もかも自分でしないと気持ち悪いというところがある⁷⁾。これを桑原武夫は「物理帝国主義」と呼んだ。それは、転じれば、物理学者に任せておけば、国産原子炉の独自開発で発電にまでこぎつけるのには、一体どれだけ時間がかかるか分からないという見方に繋がる。正力ら政治家はそういうように肌身で感じていたのであろう。

また、湯川は、正力のやり方に対して、別の不満も漏らしていたという。これは、森氏がその晩年、毎年のように開かれる湯川研の同窓会において語ったと言われている。それは、正力は発電炉の導入等の極めて重要なことを、電車で長距離移動中に『車中談』として記者に語り、それが報道されることで既成事実のようになる。そこには正規の手続きもなく、原子力委員会の存在自体を無視する所作であるという憤りである。

つまり、正力がその国会答弁で述べているように、1月13日の声明では“今後5カ年間に原子力発電の実現に成功したい意気込であり”と語っていたものが、その直後の車中談の報道によって、実は原子力委員会は“五年後に発電する”ことを目指している—そのように正力が言った、ということになってしまったのである。上記の国会答弁によれば、正力は『自分は五年後にどうしても発電しようと思ってるんだ』と車中でいったが、新聞紙面では『委員会は五年後に発電するんだということをはくが言うた』と報じられた。この主語の違いは大きい。大臣の一存が委員の審議を経ずに委員会決定になってしまう。原子力委員不在の原子力委員長の独走である。少なくとも湯川はそう感じたはずである。

このように、原子力委員会発足当時、その声明書草案では発電の文字さえなかったものが、正力の肝いりで、声明書に発電に向けて努力する意の文言が入った。さらに、その直後の車中談では、5年後に発電することになってしまったのである。発足当初1月4日に、湯川は森に正力が独走するなら自分がいる意味はないと言い、だからこそ学者のブレーキが必要だと森に諭され辞任を思い止まった。しかしながら、そのことから日も未だ浅

いうちに、再び同様の不意打ちを喰った形である。その結果、正力の車中談を事前審議するようになったものの、正力の5カ年での発電炉導入への意欲は衰えるどころか増す一方であった。そのことは、昭和31年版原子力白書(昭和32年12月)に明文化されている。

将来におけるわが国のエネルギー需給上の観点から原子力発電の重要性が強調され、動力用原子炉を海外から導入する機運が醸成されたことも見逃すわけにはいかない。この機運は31年5月に来日したヒントン卿の「英国の原子力発電コストは採算ベースにのる」という言明によってもり上った。その結果、英国の原子力発電とくにコールドホール型原子炉の調査のために、10月には訪英調査団が派遣された。その報告がコールドホール改良型動力炉の経済性について有利なものであったことから、産業界も動力炉開発について積極的な動きを見せ、発電用動力炉の開発計画とその態勢について積極的な検討をはじめめるに至った。

(第3章 原子力開発利用の概観 §1 原子力開発利用の現況 1-1 原子炉の開発⁸⁾より)

すなわち、正力はそのわずか1年足らずの在任中(昭和31年1月1日~昭和31年12月23日)に、米国と英国を両天秤にかけながら、結果的に英国のコールドホール型原子炉の導入に突き進んでいったのである。

III. 昭和31年第48回定例委員会資料 第3号 正力大臣車中談(案)

昭和31年第48回定例委員会は、同年10月18日(木)に開催されている。この定例委員会の出席者は、正力委員長、藤岡委員、有澤委員の3名である。そこで資料第3号として、正力大臣車中談(案)が配布された(第1図)。この資料は、湯川史料に多量に所蔵される原子力委員会関連資料のなかでも、珍しく湯川の直筆が残っている。直筆といっても文章の一部を鉛筆書きの括弧()で括っているに過ぎないのだが。その箇所を抜き出しておく。

- ・(実施段階に入った原子力行政の基本方針如何,)……後略
- ・(米国は動力炉についての秘密を大巾に解除したが、どう対処するか)。……後略
- ・(英国及び米国との動力(燃料)協定はいつになるか、又実際に炉を発注する時期), ……後略
- ・(日米濃縮ウラン貸与協定改訂の見直し、及び国内資源開発をふくむ燃料対策如何,)……後略
- ・(湯川委員辞任問題をふくめて、委員会改組の構想ありや、ありとすればその時期,)……後略

この文書は、問答型式になっており、湯川の鉛筆書き()は、想定される問いを分かり易く区切ったものであることが分かる。各項の“後略”とした箇所には車中で記者に語るべき回答が用意されているといった次第である。

第二項の回答は以下のようである。

米国政府の好意並びに国会議員諸君の御努力により、動力炉輸入についての秘密が大巾に解除される見通しのついたことは御同慶に耐へない。吾国エネルギー経済の緊迫せる状況に想を致し且つは又米国政府の好意にも応えるべく目下具体的な対処方策を検討中である。

第三項は、コールドホール炉の輸入に関するものである。ここでは、回答は次のように述べられている。

英国に派遣した調査団の成果を充分検討した上、出来る丈速やかに政府の態度を決定いたしたい。その決定如何によっては対英動力協定締結の必要も生ずるわけであるがその場合には態度決定後余り長い月日は要しないものと思われ又実際に炉を発注する時期は、協定の締結後になるであろう。

これら第二項と第三項の回答を比較するに、後者では炉の発注時期や協定の締結にまで踏み込んでいる。正力の胸中では、この時期(10月中旬)までにコールドホール炉の輸入が既定事項としてあったことが窺える。

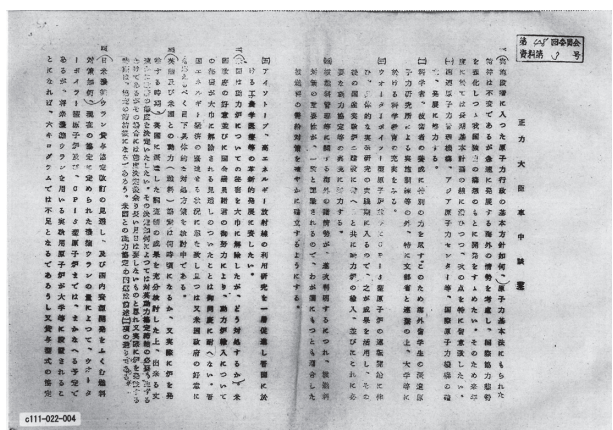
さらに、第五項の回答は、以下である。

現在そのような問題は全然ない。湯川委員は引きつづき原子力委員として、活躍されることを確信している。

なお、来年度は現在の原子力委員五名中常勤委員を一名増加して三名とし、一段と繁忙を加へつつある委員会の活動を更に充実することを考慮している。このことから、湯川の辞任問題は相変わらず世間的あるいはメディア的にはくすぶり続けていたことが分かる。

IV. まとめ—原子カムラと御用学者の ルーツ

とどのつまり、湯川は昭和32年3月29日に委員会を去った。そして、後任に東大の機械工学者の兼重寛九郎が就いた(昭和32年5月15日~昭和40年2月22日)。それ以降、原子力委員会の学者、特に工学者は輸入路線



第1図 第48回定例委員会資料第3号：正力大臣車中談(案) - 湯川史料分類番号 c111-022-004 - 1/2 ページ

を鋭意政策に反映していく。すなわち原子力政策の担い手は、湯川らの京都学派から東大工学部派にシフトし、国産原子炉構想は変様していくことになる。このようにして、原子力政策から主だった物理学者が去り(茅・伏見は例外)、残った工学者が政策を牛耳るという“ムラ化”の原点となった。その理由は以下の3点である。

- (1) 原子核研究(2階)と原子力研究(3階)が物別れにおわった。そもそも湯川らは、国産原子炉の開発にはそのための原子核研究が不可欠だとしていた⁶⁾。
- (2) 学術会議の民主主義科学者同盟(民科)系学者は、武谷三男を典型として原子力研究と袂を分かち、反原発運動に傾倒していった。
- (3) 原子カムラというディスカールは1990年代の脱原発運動のなかで再定義され定着してきた⁹⁾。

兼重寛九郎は、原子力委員に就任したほぼ同じ頃に日本学術会議会長を務めている(昭和33年4月一昭和35年1月)。昭和30年に、日本学術会議に原子力特別委員会(力特委)が発足した。初代委員長が藤岡由夫である。しかし、伏見康治によれば、この力特委は、従来からあった原子核特別委員会(核特委、委員長朝永振一郎)の下につくられ、その委員の実態は各学問の老大家の集合で、実質的議論は核特委が牽引した。つまり、核特委と力特委両者を併せて朝永委員会というのが実態であったという。昭和30年(1955年)の暮れに、極めて重要な意義をもつ朝永委員会が開催された。二つの議題のうちの2番目のものは、“原子力予算で東海村に設立がきまった原子力研究所を核特委として承認し、核物理学者が晴れて入所できるようにするかどうかの問題であった。”しかし、原子核研究所を田無に設置するか否かという第1議題に多くの時間を費やし、会議は2日目深夜に及んだため、第2議題に触れることなく散会となった。爾後、この第2議題は永遠に棚上げ状態になったのだという¹⁰⁾。

その後、核物理学者が原子力研究にどのように関与するかは宙ぶらりんのままであった。またその他の事情もあって、多くの物理学者は原子力問題から去って行った。その他の事情とは、例えば、民科の科学者らが米国の圧力で原子力研究開発から排斥されたこと¹¹⁾が挙げられる。米国は、民科で原子力に関与した学者ら(代表的には、坂田昌一、武谷三男、伏見康治、藤岡由夫など)は、純情(pure)で非実用的(impractical)であると見破り、さらに進歩的かつ左翼的であると烙印したのである。この純情で非実用的という見方は、桑原のいう物理帝国主義と通底する。

このようにして、日本学術会議における原子力問題も工学者が中心のムラ状態に縮退していった。

なお、湯川および藤岡という物理学者が初代原子力委員を退いた後に、物理学者としては菊池正士(昭和33年2月20日～昭和34年9月22日)や武田栄一(昭和39年

4月1日～昭和48年6月23日、東工大の電気化学の出身で、阪大菊池研で核物理を学んだ)が原子力委員に就いているので、彼らの原子力政策への寄与や“脱ムラ”の意識や実績の有無については別途検証する必要がある。

原子力委員会ないしは原子力政策のムラ化とは、発電用原子炉をめぐる問題に象徴されるように、価値の一元化のもとに学者の寄与が“御用学者的”に変様していったことに由来するのではないかと推察する。ただし、この点は更に慎重かつ客観的な事実の裏付けによって検証する予定である。原子力研究及び原子力学者が多様な価値観と意見を失い、“単色化”ないしは一元化し(金太郎館化ともいう)、オルタナティブを作ってこなかったことが、3・11後において復元力(レジリエンス)を欠いたままであるこの現実には帰結したのではないだろうか。

本論考のための資料調査にあたっては、湯川史料の閲覧の便を図って頂いた京都大学基礎物理学研究所の早川尚男氏、有田紗絵子氏、図書館の皆さま、そして湯川研出身の小沼通二氏および坂東昌子氏に深く感謝致します。

— 参考文献 —

- 1) 高岩義信, 他, “湯川・朝永・坂田記念史料の整理および史料記述データベースの整備科学研究助成事業—研究課題番号: 20240073.
- 2) <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/ugoki/geppou/V01/N01/19560502V01N01.HTML>
- 3) 第025回国会 外務委員会 第12号 昭和三十一年十二月六日(木曜日)議事録.
- 4) 毎日新聞, 2007年1月24日夕刊, 第2面, 特集ワイド“湯川秀樹博士「核武装反対」貫く”.
- 5) 森一久, 伊藤隆編, 「森一久(元日本原子力産業会議副会長)オーラルヒストリー」近代日本史料研究会, (2008).
- 6) 澤田哲生, 「原子力黎明期における国産原子炉開発構想と湯川秀樹らの関与」, 日本原子力学会誌, Vol.56, No.9 (2014).
- 7) 中井浩二, 「原子核科学の半世紀」より“能澤正雄インタビュー『原子力開発の現場を歩んで』”(1999年2月).
- 8) <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/wp1956/sb1030101.htm>
- 9) 飯田哲也, 「原発行政は敗戦末期の様相・模索する原子力ムラの人々」, 『論座』1997年2月, 朝日新聞社.
- 10) 伏見康治, 「原子力研究所の出達におけるひとつの蹉跌」, 基礎科学ノート, Vol.5, No.2, p.21 (1998).
- 11) 山崎正勝, 「日本の核開発:1939～1955 原爆から原子力へ」, pp.237-238, 續文堂, (2011).

著者紹介

澤田哲生(さわだ・てつお)

東京工業大学

(専門/関心分野) 原子核工学, 原子力の初等中等教育



再生可能エネルギー検証：ドイツの行き詰まりが示唆するもの

コンサルタント 小野 章昌

エネルギー・ミックスの本格的な検討が求められている我が国にとって、将来を託せるエネルギー源の見通しを得ることは何にもまして重要と言えよう。再生可能エネルギーについては導入先進国である EU 諸国、とりわけドイツの実情を知ることが一番の近道である。

I. ドイツの実情は？

ドイツ政府が 2000 年から本格的に導入した固定価格買取制度 (FIT) が再生可能エネルギー (再エネ) の拡大に最も寄与したことは衆目の認めるところである。しかしその結果を総合的に検証する作業はドイツ本国でも進んでいない。再エネ電力の中核を構成する太陽光・風力発電はどのくらい貢献し、どのような問題を生じているのであろうか？ ドイツ政府や IEA が発表している資料を中心に検証を進めたい。

1. 再エネ電力の貢献度

(1) 設備量 (kW) と発電量 (kWh)

第 1 表は 2013 年のドイツの主な再エネ電源による発電量と設備量 (発電容量) を示すものである。ドイツの再エネ全体では国内発電量の 25.4% を発電するようになった。そのうち、風力は 8.9%、太陽光は 5.0%、合わせて 13.9% の貢献をしている。一方、設備量は風力・太陽光合わせて 37.7% と全体の 4 割に近い数字を占めている。年間平均稼働率が風力は 17.6%、太陽光は 9.5% と非常に低いために設備量の割には発電量への貢献が低いことがこの表から分かる。

第 1 表 ドイツの再エネ電力 (2013 年実績値)

	風力	太陽光	バイオ
発電量	534 億 kWh	300 億 kWh	479 億 kWh
同割合	8.9%	5.0%	8.0%
発電容量	3,466 万 kW	3,595 万 kW	809 万 kW
同割合	18.5%	19.2%	4.3%
年間稼働率	17.5%	9.5%	67.6%

Comprehensive Review of Renewable Energies ; What can we learn from the German standstill ? : Akimasa ONO.

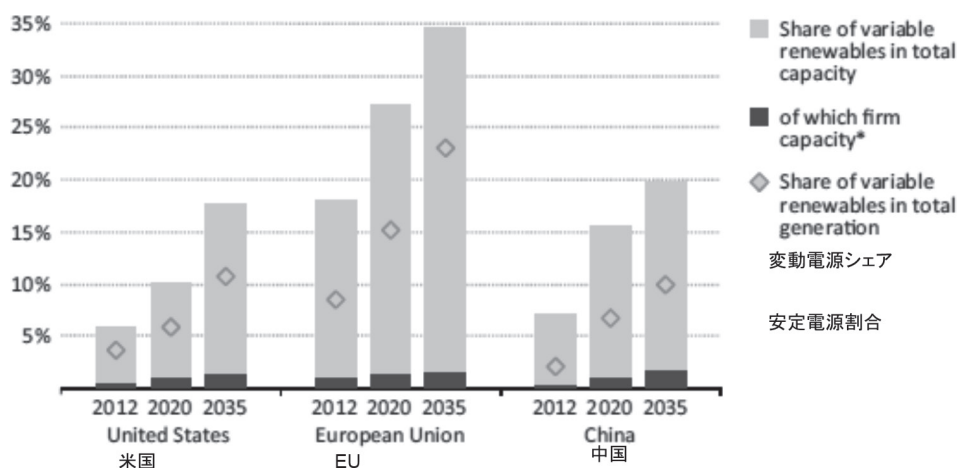
(2014 年 8 月 15 日 受理)

(2) 変動電源の欠陥

風力・太陽光はいずれも季節・昼夜・時間によって変動する電源であり、安定した出力を期待することができない。国際エネルギー機関 (IEA) では、このような変動電源の出力 (kW) のうち依存できる割合を「キャパシティー・クレジット (安定電源割合)」と名付け、「変動電源の出力のうちピーク需要時に期待できる出力の割合」と定義している。第 1 図の棒グラフで色の濃い部分がこの割合を示している。将来、世界各地域で変動電源が増えても、安定電源として期待できる割合は、EU の風力の場合でその 5~10%、太陽光で 0~5% と評価している (「IEA エネルギー見通し 2013」)。このことはピーク需要に相当する既存電源が依然として必要となることを意味している。ドイツでも先に見たように風力・太陽光の設備量 (kW) が 7,100 万 kW とピーク需要に近い容量になったにもかかわらず、既存の電源を廃止することはできていない。このように風力・太陽光は出力 (kW) の面では貢献できないので、必ず別電源が必要なることを理解する必要がある。既存電源の設備量に太陽光・風力の設備が加わるので、結果として 1 億 8,800 万 kW という過大設備をドイツにもたらしめている。これはピーク需要 8,000 万 kW の 2.35 倍に相当している。

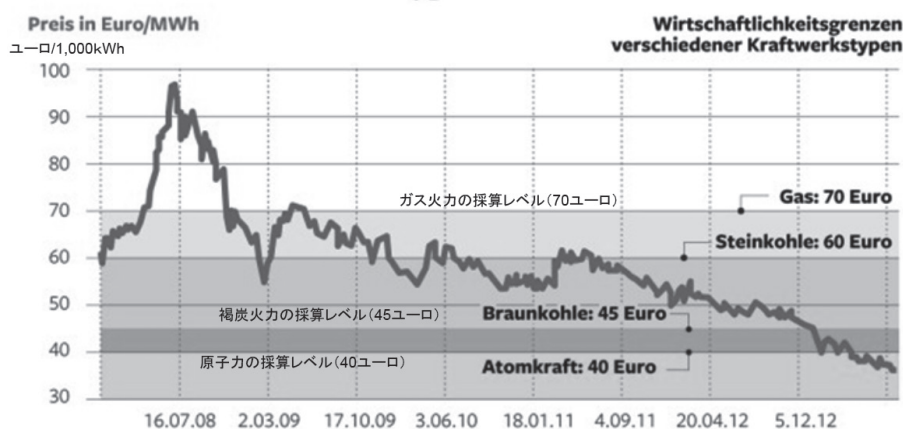
(3) 既存電源の稼働率低下

風力・太陽光は安定的ではないけれども発電量 (kWh) の面で貢献することは事実である。しかし同時に、バックアップ役を務める他の既存電源にその kWh 相当分の影響が出ることも避けられない。具体的には既存電源、とりわけ変動のしわ取り役を務めるガス火力、一般炭火力の発電量が下がり、稼働率が大幅に低下することになる。ドイツの 2013 年の実績値を見ると、ガス火力の稼働率は 18.8%、一般炭火力の稼働率は 49.1% (フラウンホファー研究所速報値より計算) と極めて低くなっている。通常であれば、ガス火力は 50~60%、一般炭火力は 70~90% の稼働率を必要とするだけに、こ



第1図 変動電源の安定電源割合

Strompreis am Terminmarkt und Wirtschaftlichkeitsgrenzen verschiedener Kraftwerkstypen



Quellen/Anmerkungen: Strompreis von European Energy Exchange 2013, Wirtschaftlichkeitsgrenzen sind geschätzte Durchschnittswerte anhand von Branchenangaben (einzelne Kraftwerke können davon deutlich abweichen)

出典: Die Welt

第2図 ドイツ電力卸売市場価格の下落

れでは発電所の採算が取れないであろう。なおベースロード電源である原子力発電と褐炭火力はドイツでも90%前後の稼働率を保っている。

(4) 卸売市場価格の低下

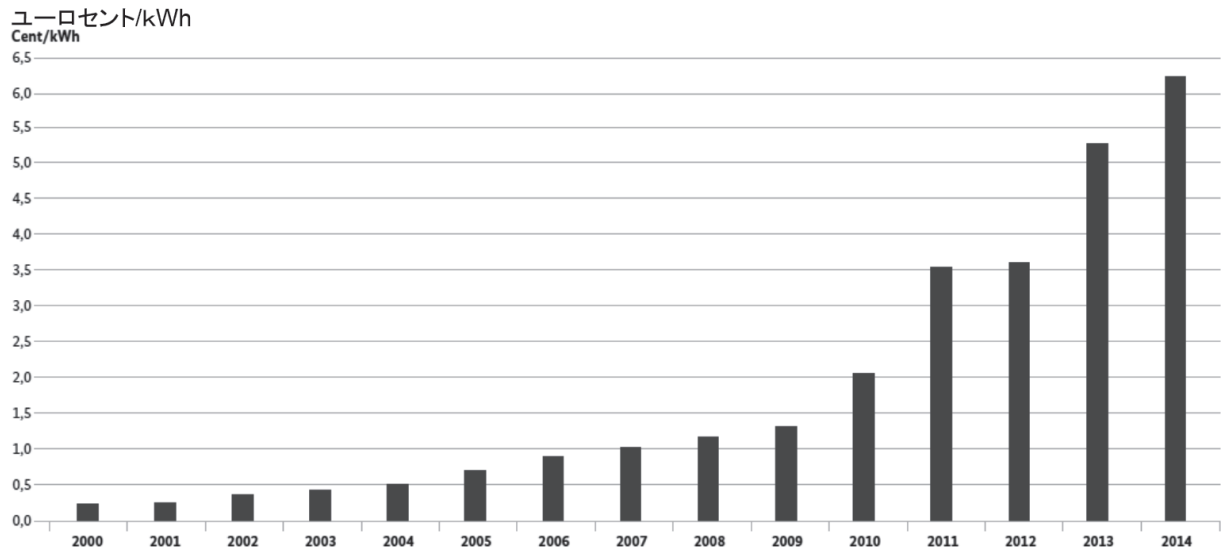
ドイツのFIT制度の下では再エネ電力は送電事業者が優先接続、優先買取を行うことが義務付けられている。送電事業者は買い取った電力を卸売市場で販売することになる。風力・太陽光などの再エネ電力は燃料コストが掛からないため限界運転コストが低く、卸売市場で安値販売されることが多い。高いFIT買取価格と安い販売価格の差は、いわゆるサーチャージ(賦課金)として

第2表 卸売市場における再エネ電力平均販売価格

Year	Average Selling Price (Cent/kWh)
2010年	4.3
2011年	4.9
2012年	4.2
2013年	3.6

一般消費者に請求される仕組みとなっている。第2表は政府が発表している再エネ電力の卸売市場における平均販売価格である。ユーロの為替換算率を140円とすれば、2013年の平均販売価格3.6セントは5円に相当する。裏返せば、変動電源はこの程度の低価格でなければ市場で買手が付かないという見方もできよう。

ここでもう一つの問題が生じる。それは安値販売の再エネ電力が市場価格の足を引っ張り、再エネ電力が増えるにつれて卸売市場価格がますます下落することである。第2図はその実態を表すもので、ドイツでは卸売市場価格が褐炭火力や原子力などのベース電源の発電コストをも下回る現象が生じている。このような市場価格の下落が続くと発電事業そのものが採算割れとなり、事業の存続が危ぶまれることが考えられる。現に発電大手のRWE社の2013年決算では28億ユーロ(約4,000億円)という創業以来初めての大赤字となっている。



出典:ドイツ経済エネルギー省データ集

第3図 ドイツの再エネ賦課金

(5) 消費者負担の増大

FIT 賦課金は消費者の肩に重く押し掛かっている。第3図はその変遷を示すもので、今年2014年の賦課金は6.24セント/kWh(8.74円/kWh)にまで増大している。月間300kWhを使用する標準家庭の年間負担額は225ユーロ(31,500円)となり、ドイツ政府は今年8月1日から固定価格買取制度(FIT)の実質的な終了を意味する再生可能エネルギー法の大幅改正を余儀なくされている。

この再エネ賦課金の増大を反映して、ドイツの電力料金は家庭用、産業用ともに、FIT導入時の2000年に比べておよそ2倍に上昇している。そしてEUで(世界でも)1,2位を争う高い料金となっている。この電力料金上昇、国民負担増大こそがドイツで、そしてスペインでFIT制度の終焉を招く最大の要因となっている。次にドイツの再生可能エネルギー法の大幅改正の中味を見てみよう。

2. ドイツ再生可能エネルギー法改正

(1) 主な改正内容

(a) 仕組みの変更

法改正は2014年8月1日付で行われた。基本的には仕組みがフィード・イン・タリフ(FIT:固定価格買取制度)からフィード・イン・プレミアム(FIP:プレミアム付き買取制度)へと変更される。これまでは再エネ事業者が生産する電力は送電事業者が固定価格で優先的に購入する義務を負い、卸売市場で販売し、固定価格と販売価格の差額は、いわゆる賦課金として消費者に請求していた。改正後は新規のプラントで発電される電力は再エネ事業者が卸売市場で直接販売する義務を負い、固定価格と販売価格の差額をプレミアム料金として送配電事業者経由で消費者に請求する仕組みとなる(100kW以下の小規模プラントは例外的にFIT販売が継続して認め

られる)。なお再エネ電力の電力系統への優先接続は引き続き認められる。

(b) プレミアム料金入札制度への移行

2018年からは、プレミアム料金の決定は(固定価格と市場販売価格の差額ではなく)入札により決定する。そのために太陽光発電プラント40万kW分を対象に入札の試験プロジェクトを2015年から行う。

(c) 年間導入目標数値と固定価格

改正後の国の再エネ導入目標数値は2025年までに全発電量の40~50%、2035年までに55~60%、2050年までに80%とされており以前とほとんど変わっていない。各電源の年間導入目標量は、陸上風力が250万kW、太陽光が250万kW、バイオマスが10万kWとされており、洋上風力は年間目標ではなく、累計で2020年までに650万kW、2030年までに1,500万kWとされている(年間平均では80万kW)。

改正後の8月1日から適用される主要電源の固定価格は第3表の通り。これはFIT固定価格を延長した形で決められている。この価格は太陽光の場合は毎月0.5%、陸上風力の場合は四半期毎に0.4%の低減が行われ、早期建設が有利になる仕組みとなっている。また年間目標数値にプラスマイナス10万kW幅のコリダー(容量帯)

第3表 固定価格

電源	容量(kW)	価格(セント/kWh)
陸上風力	区分なし	8.90
洋上風力	区分なし	19.40
太陽光	10kW以下	13.15
	1,000kWまで	11.49
	1万kWまで	9.23
バイオ	150kWまで	13.66
	2万kWまで	5.85

を設けて、建設ペースがその容量帯を上回ると価格低減率をさらに増加させ、逆に容量帯を下回ると低減率を縮小させる。大きく下回った場合には、低減ではなく修正率がプラスに転じる場合もある。しかしこのような固定価格も2018年以降にプレミアム料金入札制に移行したら、実際の販売価格は市場での販売価格に落札プレミアム料金を加えたものになるので、固定価格とは無関係となり、参照する意味がなくなるものと言えよう。あるいは、場合によっては上限価格に読み替える可能性があるのかも知れない。

(d) 電力多消費企業に対する賦課金減免の改正

FIT制度の下では、国内の電力多消費企業が外国企業との競争に遅れを取らぬよう、賦課金を免除していた。EU委員会がこれは不当な政府補助に当たるのではないかとの疑問を呈したため、ドイツ政府はEUと交渉の上、今回の再エネ法改正の機会に多消費企業にも薄く賦課金を掛けることを決めた。具体的には消費電力1,000kWhに対しては賦課金全額を、それを越える消費電力に対しては賦課金の15%相当額を負担させることになった。ただし企業の製品付加価値の4%を限度とするなどの上限規定が設けられている。この改正によって分担割合が若干変わるが、国全体で見た賦課金総額は変わらず、一般消費者の負担もほんの少し軽くなるだけである。

(2) 今後の見通し

(a) 導入目標は達成されるか？

ドイツ政府は今回の法改正によって年間導入目標値をそのまま実現できると考えているようであるが、この目標値自体が2025年や2035年の過大な再エネ導入目標から逆算して作られているだけに、その実現性が疑われる。太陽光プロジェクトを例に取って見ても、今年前半の新設量は月間平均15万kWと過去のペースを大きく下回っている。これはメガソーラーからのFIT買取価格がすでに12.5円/kWhと採算レベルすれすれまでに落ち込んでいることが最大の理由であろう。フィード・イン・プレミアム(FIP)制度になれば自ら卸売市場で売り込む努力を求められ、その販売コストも掛かることから、設置ペースはさらに落ち込むことが予想される。

勘ぐって考えれば、政府は再エネをこれ以上増やしたいのではなく、何とかして賦課金の上昇を防ぎ、国民の不満を和らげたいのが本音のようにうかがわれる。

(b) それでも増えていく国民負担

FITがプレミアム料金制(FIP)に移行しても、新規の再エネが固定価格相当で買い上げられることには変わりはないので、プレミアム料金はそのまま賦課金に変身し、消費者が負担する賦課金はこれからも増え続けるであろう。プレミアム料金が入札で決まるようになれば、プレミアムの額が縮小するケースもあろうが、入札時の状況次第では逆にプレミアム額が大きくなるケースも考

えられよう。

過去に建設された設備に支払う固定価格は今後も20年近く継続して支払われるので、国民負担は膨大なものとなる。2014年の賦課金総額は236億ユーロ(3兆3,000億円)であったが、単純にこれを今後20年間支払い続けるとすれば、2034年までの国民負担総額は66兆円という巨大な金額となる。新制度の下で建設される設備へ支払われるプレミアム料金がさらに加算されるわけであるので、昨年2月に当時のエネルギー環境大臣が「ドイツのエネルギー変革をこのまま進めると、2040年までに1兆ユーロ(140兆円)のコストが掛かる」と言ったのもオーバーな表現ではないように思われる。

(c) 電力システムの強化は遅れている

ドイツの風力発電は北部に適地が多く、一方、電力を消費する産業は南部に多いため、北部から南部に通じる新たな送電幹線を建設することが焦眉の問題となっている。しかし総延長1,877kmの計画のうち、これまでにわずか352km(19%)しか完成していない。これではいくら洋上や陸上の風力発電を増やしても送電がままならず、運転できないことになる。自分の裏庭には送電線を通してほしくないという住民の反対運動が最大の障害となっている。

また太陽光発電は低電圧の配電網に直接つながれることが多いが、既存の配電網の収容能力を越えることが増えたためその強化や拡充が求められている。DENA(ドイツエネルギー機関)の試算によると、2030年までの配電網の強化に少なくとも275億ユーロ(3兆8,500億円)の資金が必要という。このように電力輸送の面から変動電源の更なる拡大にはブレーキが掛かっている。

(d) 停電の心配

電力会社は老朽化した設備や採算の取れなくなった設備の退役や廃止を希望するが、太陽光・風力発電のバックアップ役を務めている既存の発電設備がなくなると電力システムが不安定になり、停電のリスクが増すことになる。

政府は退役を予定する施設については1年前に報告を求め、系統安定に欠かせない施設については運転継続を求めるとともに補償を行う制度を新たに設けている。しかし電力会社の計画を見ると、大型原子力発電所2基を含む734万kWの電源退役が予定されているドイツ南部の状況が非常にクリティカルである。連邦系統機関(BNetzA)が予測しているところでは、新規建設がほとんど見られず、2018年末にはドイツ南部で572万kWの電源が不足する見通しという。大変なピンチと言えよう。

(e) 容量(kW)市場が必要だが？

自由化された電力市場で将来の電源建設を促すには容量市場の創設が必要と考えられており、ドイツ政府も具体化の検討を急いでいる。小売業者に将来の供給容量を

確保させるために、容量市場を設け、数年先の容量を確保させる制度である。発電量 (kWh) を取り引きするのではなく、発電容量 (kW) を取り引きするもので、発電をしていない将来の設備に対してそれなりの費用を支払うわけである。最終的にはそのコストを消費者が負担することになるので、ドイツの消費者団体はさらなる料金上昇を生じるとして容量市場の創設には反対している。容量市場の先例は米国ペンシルバニア州を中心とする電力系統 (PJM) に存在しているが、十分には機能しておらず、PJM でも将来の電源不足が懸念されているという。

3. 再生可能エネルギー検証

ドイツの十数年にわたる壮大な社会実験の結果を検証すれば、再生可能エネルギーの本質と将来のポテンシャルを判断する格好の材料が得られるであろう。

(1) 再エネの主力は風力と太陽光

ドイツで大幅に伸びた再エネは、一に太陽光、二に風力、三にバイオマスであった。今後バイオマスの伸長はあまり望めないで、将来ともに太陽光、風力が主力と考えられる。

(2) 稼働率が低い

太陽光の年間稼働率 9.5%、風力の稼働率 17.5% という実績値は電源として余りに低すぎる。多額の資金を投じて建設しても得られる電力は少ないという意味で投資効率の悪さを認識する必要がある。

(3) 出力 (kW) の面で貢献できない

太陽光・風力などの変動電源は発電量 (kWh) では貢献できるが、出力 (kW) の面でほとんど貢献できない (必要な時にあるとは限らない電源)。ピーク需要に相当する別電源を必要とし、発電設備の二重投資が避けられない。

(4) 過剰設備をもたらす

バックアップ用の既存電源を将来とも保持する必要があるが、再エネ電源を増やせば増やすほど過剰設備をもたらす結果になる。どのような商品であれ、過剰生産設備を持つ業界はそのままでは成り立たない。

(5) 既存電源の稼働率低下

再エネが発電した kWh 分だけ、既存電源の kWh が減り、稼働率が下がる。したがって採算が悪化する。これは再エネ優先買取制度が原因。

(6) 卸売市場価格の下落

太陽光・風力は燃料費が不要なため限界運転コストが低く、市場に安値導入される。卸売市場価格が下がり続けると既存電源の採算が悪化し、電力会社の存続が危うくなる。これは賦課金によって支えられた電力が自由市場で安値取り引きされるのが原因。

(7) 消費者負担の増大

FIT では再エネ固定価格と市場での販売価格との差

を賦課金として消費者から回収するため、国民負担が増す。FIT (プレミアム制) に移行してもプレミアム料金が賦課金になるので消費者負担は増え続ける。20 年という長期の再エネ買取保証期間も累積負担が増大を続ける原因。

(8) 電力系統強化の必要性

変動電源を収容するために送配電網の強化が必要となり、多額の資金投資を必要とする (二重の電源投資と合わせて三重投資)。一方、住民の反対により送電線の新設が進んでいない。

(9) 停電の心配

既存電源の採算が悪化するため電力会社による発電所新設が滞り、供給力不足が懸念される。将来容量市場が切り札になるかは未知数。

(10) 自由市場と FIT, FIP は相容れない

上記のいろいろな矛盾が噴出しているのも FIT (そして今後は FIP) の存在が自由市場と矛盾しているからである。もともと自由市場だけに任せておけば過剰設備も生じず、過度な消費者負担も生じていないであろう。

(11) 温暖化対策には効いていない

政策目標であった CO₂ 削減にはあまり効果を上げていない。ドイツでは 2012 年、2013 年と連続して CO₂ 排出量が増加している。8 基の原子力発電を廃止したのが一番の原因と考えられるが、再エネを 8,500 万 kW に拡大したにもかかわらず、その効果が薄いことも同時に示している。

II. 日本への示唆

ドイツの社会実験はその規模から考えて我が国に十分過ぎる情報を与えている。主な内容を整理してみよう。

(1) 再エネ拡大の目的を明確に!

ドイツの再エネ拡大政策は地球温暖化対策が第一で、次いで持続性のあるエネルギー供給であった。しかし CO₂ 削減はさして進まず、国民負担がかさんで行き詰まっている。このように再エネが持続性のあるものとも言えない。我が国でも再エネというエネルギーの本質を十分に理解した上で、何のために拡大するのか政策目的を明確にする必要がある。ドイツの物まねでは失敗が目に見えている。

(2) 過剰設備を許容できるか?

再エネの主力である太陽光・風力は出力 (kW) の面で寄与できない。したがって必ず別電源を必要とし、既存電源の上に屋上屋を重ねることになる。結果として業界が過剰設備を抱えることは避けられない。我が国の電力業界が過剰設備に耐えられるか、そしてエネルギー供給保証は確保されるのか、十分吟味する必要がある。

(3) FIT を止められるか?

FIT の下では消費者負担が増大して行き詰まることをドイツの例で経験した。プレミアム料金制、プレミア

ム入札制などの工夫を凝らしても、国民負担が増すことは避けられない。もともと市場経済とFIT(強制的買取)は相容れないものであり、我が国の電力自由化政策とも完全に矛盾するものである。したがって早急にFITを廃止する必要があるが、そうすると再エネは伸長しない。このジレンマに打ち勝つ政治的方策があるだろうか？ ドイツでも解決策は見つかっていない。

(4) 第3次エネルギー基本計画を上回る再エネ発電は可能か？

現政権は将来の再エネ導入目標として第3次基本計画を上回るレベルを打ち出している。第3次計画では、2030年の再エネ・シェアは約2割、2,140億kWhの発電が期待されていた。発電量の内訳は示されていないが、水力等の再エネ既存電源を差し引くと太陽光・風力で1,240億kWhの発電を新たに担う必要がある。これを太陽光：風力=2：1の割合で賄うとすると、必要な発電容量は太陽光が7,800万kW、風力が2,400万kWと計算される。この1億200万kWという数字は現在のドイツの太陽光・風力発電容量7,100万kWを大きく上回る数値である。ドイツが膨大なコストを掛けて行った社会実験を我が国でも繰り返す必要があるのかどうか、が先ず問われる問題であろう。また達成の一番の障害と

なるのは電力システムの収容能力であり、最終的な消費者負担の大きさである。政府は将来の投資コストと国民負担を明確にして、それでもやる価値があるか、国民に賛否を問う必要があるだろう。

(5) エネルギー・セキュリティ確保と温暖化対策は実現できるか？

仮に1,240億kWhを発電する太陽光・風力を新設できたとしても、それは全発電量の12%程度を生むに過ぎない。大局的に見て火力発電依存の状況は変わらず、エネルギー・セキュリティは脆弱なままであろう。CO₂削減も6,000万トン程度と1990年基準の5.7%程度の削減に留まるであろう。これまでの国際公約には程遠い削減率である。投資コストが30兆円程度は掛かることを考えると、費用対効果は非常に低い。それでも目指すのだろうか？

著者紹介

小野章昌 (おの・あきまさ)

コンサルタント

(専門分野/関心分野) エネルギー資源全般
/特に化石燃料、再生可能エネルギー



新刊紹介

粒子個別要素法

Catherine O'Sullivan 原著，鈴木輝一訳，365p.(2014.5)，森北出版(株)。

(定価 9500円 + 税)，ISBN978-4-627-91581-7

個別要素法は不連続体の数値計算手法であり、近年の計算機の進歩により適用範囲が飛躍的に拡大した。岩盤、地盤、粉体、コンクリート構造物、斜面崩壊、土石流、火山噴火など、様々な分野において大変形問題や破壊現象の解析に用いられている。パソコンの普及と性能向上により、大学や会社のデスク上でも、市販の解析プログラム等を使って簡単に解析を行えるようになってきている。しかしながら、実際に行われている計算の内容や計算理論などについては、これまで教科書やハンドブックとして使える書物が非常に少なかったこともあり、全体を把握するのは容易でないとと言える。例えば、個別要素法について学び、解析技術を習得しようとするためには、先人たちの文献等を収集するところから始めなければならない、多くの時間を費やさなければならない。

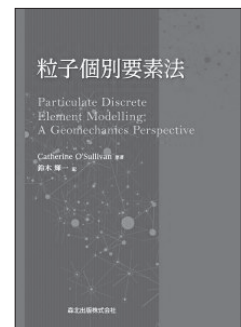
本書は、地盤工学等の分野で盛んに用いられている粒状体の個別要素法について、基本仮定と解析理論を詳細に記載

し、近年の研究成果や適用事例を盛り込んで、最近の解析技術を1冊にまとめている。

主な内容を挙げると、基礎理論としては、接触判定、接触力の計算、粒子形状、境界条件など粒状体の解析に必要な基本的事項が網羅されているほか、流体との連成解析などについても記載されている。解析モデルの作成については、粒子のランダム生成と充填方法など、主に供試体作成で用いられている様々な方法が紹介されている。解析結果の解釈については、連続体の視点による応力とひずみの評価法や、粒状体の配置や内部構造を統計的に分析するための手法(ファブリック解析など)についてそれぞれ章が設けられている。

これらの事項は、粒状体の個別要素法について知り、今後さらに発展させていこうとする技術者や研究者にとって重要な足掛かりとなるほか、個別要素法に関心を持つ者のテキストやハンドブックとしての活用が期待される。

(電力中央研究所・栃木 均)



電力自由化と原子力発電所建設への影響

欧米に学ぶ自由化の教訓

常葉大学 山本 隆三

2014年6月に改正された電気事業法により、2016年をめどに電力供給が家庭用を含め全面自由化されることになった。電力自由化は発電源の多様化を図り、さらに消費者の選択肢を増やし、電気料金の引き下げも視野にした政策である。1973年の第1次オイルショックを契機に米国、欧州などで検討が始まり、その後、米国のいくつかの州、英国をはじめとした欧州諸国などで自由化が行われた。英国では既に自由化から20年以上経つが、その影響は発電設備の減少という形で現れはじめ、英国政府は原子力発電所を含め発電設備新設のための制度を始めることになったが、欧州委員会(EC)の委員から、英国の新制度は「社会主義」とも呼ばれることになった。電力自由化は、必ずしも競争環境を作り出し、電力料金の引き下げを実現したわけではない。

I. 電力自由化とはなにか

電力供給、鉄道事業などでは、ある事業者が送電線、あるいは線路を建設すれば、同じものを他の事業者が建設するのは無駄になる可能性が高い。このため、大きな設備投資を伴う事業では独占を認めることが、公共の利益を実現することになり、独占が経済学では許される。最初に設備を作った事業者が自然に独占状態を作り出すことから、この状態は自然独占と呼ばれる。

独占は認められるが独占ゆえに収益率を自由に設定されては消費者が不利益を被る。このために考え出された制度が総括原価主義である。設備投資額、燃料費などの原価に対して一定の報酬を認めるが、自由な料金設定は認められず、公的機関の審査により料金は決められる。

大規模設備投資産業の代表であった電力事業では、各国とも自然独占を認め、総括原価主義による電力事業の運営を行っていたが、発電部門を主体に市場を重視し、競争環境を作り出す制度が欧米諸国で導入されることになった。電力業界の規制緩和、あるいは自由化と呼ばれる制度である。

総括原価主義、規制緩和の制度を考え出し、世界に先駆けて運営を行った国は米国だ。まず、米国の電力業界の歴史をみてみよう。

1. 米国の電力業界の歴史と規制緩和

米国では電力事業は、州をまたぐ州際事業となる水力発電、送電などを除き、小売り、送電、配電、火力発電設備の許認可は州政府の権限である。電力事業は創成期から地域独占による供給が認められていたが、1929年に発生した大恐慌前から州を越え、持ち株会社が作られ、小売り料金への介入などを通し収益を上げる動きがみられ始めた。

このため大恐慌の最中、電力業界の改革が行われた。1935年に導入された公共事業持ち株会社法(PUHCA)により、全米の4分の3以上に電力供給を行っていた16の大規模電力会社を分割し、一定の供給地区を定め独占を認める代わりに、分割された電力会社は政府の規制料金のもと安定的に電力供給を行うことになった。

1973年の秋に発生したオイルショックが、電力業界にも大きな影響を与えることになった。国内に価格競争力のある炭鉱を抱える米国では、オイルショック当時でも石炭が半分近くの電力供給を担っていたが、石油にも10%以上を依存していた。一挙に4倍になった石油価格の上昇は他の化石燃料の価格にも影響を与え、発電コストが大きく上昇した。

このために、化石燃料に代わる発電源を求める動きが高まり、1978年に公共事業規制法(PURPA)が導入された。この法により、再生可能エネルギーを中心とする資格を認定された発電プラントからの売電価格が、自社の回避可能原価(通常はその時点で最後に発電が行われる最も高くなる電源の発電コスト)以下であれば、電力会社は他社の発電プラントからの電気を購入することを義務付けられることになった。

Deregulation of Electric Power Industry and Impact on Construction of New Nuclear Power Stations: Ryuzo YAMAMOTO.

(2014年7月22日 受理)

発電コストの引き下げを求める、さらなる声の高まりを受け、制度の変更が引き続き検討された。電力事業は、垂直統合と呼ばれる、発電、送電、配電、小売りの部門に分かれるが、このうち必ずしも自然独占が必要とされない発電部門が規制緩和の対象となり、1992年にPURPAを修正する形で制定されたエネルギー政策法により発電部門に更なる競争が導入されることになった。

1996年に連邦エネルギー規制委員会(FERC)は、オーダー888を発令し、電力会社に送電線網を発電事業者に開放することを命じた。これを受け、ニューハンプシャー州が規制緩和を開始し、アリゾナ、カリフォルニア州などが続いたが、2000年になり自由化を進めたカリフォルニア州が電力の供給不足のために輪番停電を実施する事態となり、これを受け多くの州が自由化を中断することになった。米国での経験については、II章の自由化の問題点で詳細を述べたい。

2. 英国の電力自由化

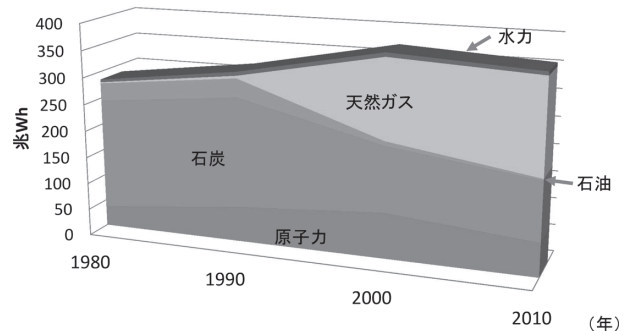
1979年に誕生したサッチャー政権は、新自由主義と呼ばれる、市場を重視し政府の介入を最小にする思想のもと、国営企業の民営化を進めた。航空、通信、ガス、造船などの国営企業が民営化されたが、電力事業も民営化の対象となった。サッチャー政権誕生当時、英国のイングランド、ウェールズ地区の電力事業は中央電力公社(CEGB)により発電、送電が行われ、配電は地域の12の局により担われていた。1983年に発電部門への独立発電事業者(IPP)の参入が認められたが、実効性がなく、CEGBが発電を独占する状況に変化はなかった。

1989年になり電気事業法が改正され、1990年4月からCEGBを発電会社として3分割すること、自然独占の分野である送電部門を担うナショナルグリッドを設立すること、12の配電局を配電と小売りをを行う12社として設立することが決まった。

これにより発電部門は、CEGBが分割されたナショナル・パワー、パワージェン、ニュークリア・エレクトリックの3社に加え、フランスのEDF、スコットランドのスコティッシュ・パワー、IPPなどによる競争環境が作られた。小売りの自由化は1990年に1,000kW以上の大口需要家、1994年に100kW以上、1999年にすべての需要家向けに実施された。

自由化の結果、1990年に総発電設備量7,000万kWの約50%を占めていた石炭火力設備は、10年間で1,000万kW減少することになった。国内炭生産量は9,100万トンから10年間で3,100万トンに減少した。石炭火力の減少を埋めたのは、当時生産が増加していた北海の天然ガスを燃料とする効率の良いコンバインドサイクルガス発電(CCGT)だった。英国の発電源のシェアは第1図の通り推移している。

石炭火力発電設備減少の背景には、新自由主義と呼ばれたサッチャー首相の考えもあった。危険な坑内で働く



出典: IEA "Electricity Information 2013" :page702

第1図 英国の電源別発電量の推移

ゆえに結束の極めて固い炭鉱労組はサッチャー首相にとっても強敵だった。電力業界の自由化により、坑内掘りで採炭条件が悪くコストが高い国内炭を使用する発電所が減少し、結果として炭鉱の閉鎖が続き、労組の力が弱まったのは、サッチャー首相には望ましいことだったに違いない¹⁾。

CEGBの分割により誕生したナショナル・パワーの国内部門とパワージェンはドイツの大手エネルギー企業RWEとイーオンにそれぞれ買収された。その後、発電部門、小売り部門ともにドイツ2社、フランスEDFなどの大手6社が、大半のシェアを握る状態になった。自由化の結果、発電設備の建て替えが進まず、停電の可能性が出てきている。英国の悩みもIIの自由化の問題点で取り上げたい。

3. 日本の電力自由化

第二次世界大戦の直前に日本の電力設備はすべて国有化され日本発送電(株)と9配電会社が設立された。戦後、日本発送電は解体され、1951年に9配電会社をもとに垂直統合の電力会社として9電力会社が設立された。1988年には沖縄電力が民営化され、10電力会社体制となった。地域の電力会社に卸として発電し供給を行う電源開発(株)、日本原子力発電(株)は卸電気事業者と呼ばれた。

1995年に発電部門に競争原理を導入するために、電源調達入札制度が導入され、IPPが地域電力会社向けの卸事業に参入した。1999年に小売り部門の一部自由化が行われ、大規模工場、デパートなど契約電力2,000kW以上の特別高圧の需要家向け販売が2000年3月から自由化された。2004年には中規模工場、スーパーなど契約電力量500kW以上、2005年には小規模工場など50kW以上の高圧需要家向け販売まで自由化範囲が拡大された。自由化された需要家向けには地域の電力会社に加え、新電力と呼ばれる特定規模電気事業者(PPS)が供給を行うことが可能になった。

いままでに販売電力量の約60%が自由化されたが、販売量の35%を占める家庭用、5%の小規模商店など向けには地域電力会社が規制料金で供給を行っている。今年6月に成立した電気事業法の改正では、安定供給を確保した上で需要家の選択肢を増やし、かつ電気料金を抑

制するためとして、2016年をめぐりに小売りを全面的に自由化すること、2018年から2020年をめぐりに送配電部門の地域電力会社からの法的分離を実施することが想定されている。送電部門の分離は、発電を行う全事業者が同じ送電の条件を適用されるために実施される。

II. 電力自由化は何をもたらしたのか

1. 米国カリフォルニア州の電力危機

カリフォルニア州は、米国50州のなかでも電力自由化にいち早く踏み切り、制度を改革した。競争環境を作り出すために、地域電力会社3社に対し、発電設備の一部を売却するように指示する一方、小売価格が上昇することを防ぐために、一定の条件が揃うまで小売価格を凍結することを電力会社に求めた。地区電力会社は競争力のある電源として、水力、原子力発電設備を引き続き保有することを決めたものの、燃料価格の変動により、コストが変動する火力発電設備の大半を売却した。設備を購入したのは、州外の電力会社の関係会社などだった。

1998年から自由化が実施されたが、2000年の夏になり供給力が不足する事態となった。その理由として制度設計の不備が挙げられることが多いが、市場に任せた当然の結果とも言える。カリフォルニア州に電力供給を行っていた企業のなかには、電気料金を上昇させるために意図的に発電所を停止させた例もあった。

2001年12月に粉飾決算が明るみに出たために破たんした総合エネルギー企業エンロンは、カリフォルニア州に電力供給を行っていたが、破たん後、社内の会話を録音したテープが見つかり、意図的に発電所を休止し電力供給量を削減したことが明らかとなった²⁾。目的は市場操作による価格上昇だった。エンロン以外の企業も同様のことを行っていたのではないとも言われている。第2図がカリフォルニア州に電力供給を行っていた発電所の休止状況を示しているが、電力危機が発生した2000年の夏からサンフランシスコが停電に追い込まれた2001年1月にかけて発電所の停止が急増している。

「消費者向け電気料金を凍結していたために、小売価

格が卸価格に合わせ上昇せず、結果需要量が抑えられず、需給バランスが崩れた、要は自由化が中途半端だったことが危機の原因」との説もある⁴⁾。

2000年夏、既にサンディエゴ地区だけは小売価格の凍結が解けていた。小売価格は卸価格に合わせ6月からの3か月間に標準家庭で2.4倍になった。月額50ドルが120ドルになったのだ。電力需要は減らなかった。暑い夏だったのだ。気温が平年並みであれば、13%減少したはずと分析したレポート⁵⁾はあるが、140%の価格の上昇に対し、13%減だ。通常の商品であれば、価格の上昇に応じ需要は大きく減少する。しかし、電気では価格上昇に対し需要減少の割合を測る弾性値は、0.1以下だ。生活必需品の電気の使用量は価格上昇に応じて簡単には減少しないということだ。電力市場の難しさが分かった多くの州は、規制を続け、自由化を行っていた州も中断することになった。米国では半分以上の州が規制緩和を行っていない。

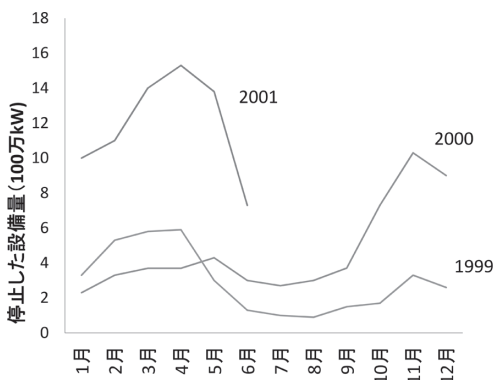
2. 停電におびえる英国

2013年6月、英国政府は突然、産業界に対し2年後の冬の節電を呼びかける発表を行った。発電設備の老朽化が進んでいるものの建替えが進まず、このままでは電力需要が大きくなる冬場に停電の可能性があるとの英国政府の報告書を受けたものだった。原因の一つは自由化だ。

電力市場が自由化されると、将来の電気料金は当然ながら不透明になる。商品の価格が不透明でも、商品の供給が途絶することは通常の商品ではない。例えば、缶コーヒーの10年後の価格を予測することは無理だが、製造コストは、会社によって大きく異なることはないはずだ。要は、他社のコストが下がり販売価格が下落したとしても自社のコストも同様に下がり、収益は確保できると考えられる。

電気は市場価格に加え、製造コストも予測が不可能な商品だ。発電のためには様々な方法があり、コストが大きく異なる。水力、原子力発電であれば、建設費が発電コストの大半を占める。建設した時点で今後数十年間の発電のコストの予測が可能だ。火力発電であれば、燃料費がコストの大半を占めるが、将来の化石燃料の価格を予測することは不可能だ。歴史的には石炭が最も安かったが、二酸化炭素排出量の多い石炭の使用は、温暖化防止の観点から将来制限されるかもしれない。

発電設備を建設しようとした場合に、将来の相対的な競争力が不透明というのは、大きな問題だ。天然ガス火力を建設しても、将来石炭火力に負けるかもしれない。もし、他の電源との競争に負ければ、いつも発電を行うベース電源ではなく、最需要期にだけ発電を行うピーク電源になるかもしれない。ベース電源とピーク電源では稼働率、つまり収入が全く異なる。ピークになれば、とても採算は取れない。こういう競争環境では、数十年間のリスクを取り発電設備を建設しようという投資家は現



出典: Attorney General Bill Lockyer (2004); page 18³⁾

第2図 カリフォルニア州の発電所停止の状況

れないだろう。唯一投資家が現れるのは、固定価格買い取り制度などの補助金で収益が保障される太陽光、風力などの再生可能エネルギーだけであろう。

ここで、また発電設備への投資家にとっては別のやっかいな問題が出てくる。再生可能エネルギーの発電量が増えると、火力発電が調整に使われるので、稼働率がさらに低下する。稼働率の低下は採算の悪化を招き、電力会社は火力発電所を維持できなくなり、さらに設備が減少してしまう。再生可能エネルギーの導入が進んでいる欧州では、電力会社が、稼働率が低下した天然ガス火力を維持できなくなり、既に5,000万kW以上の設備が閉鎖された。主要電力会社がEU委員会に対し、再生可能エネルギーへの補助金全廃を申し込む事態になっている。こういう状況下では、新設火力設備へ投資する事業家は出てこなくなり、供給能力の減少を避けることは難しくなる。

3. 新電力の数は増えたが設備は増えない日本

大口向け小売り自由化以降、新電力の登録数は数十社で大きな動きはなかったが、家庭向け小売り自由化が検討されるようになり、急激に登録数は増えている。既に、300社近い企業が新電力として電力供給を行う用意ありとして経済産業省に届け出をしている。なかには、連絡先の電話番号もホームページの記載もなく、とりあえず届け出だけという企業もある。

数は増えているが、供給力となると新電力の力はまだまだだ。2013年度の自由化されている分野の需要量は5,441億kW時。新電力による供給は227億kW時であり、シェアは4.17%だが、新電力が保有している全発電設備は232万kW、地域電力会社10社が保有する発電設備量、2億932万kWの約1%に過ぎない。2013年度に需要家に供給を行った新電力は59社あったが、自社の設備を保有していた企業は9社しかなかった。

9社の新電力が保有する発電設備のうち最大能力を持つのは大阪ガス系列の泉北ガス火力だ。111万kWある。さらに、王子製紙、大王製紙の発電設備がそれぞれ52万kW、27万kWある。この3設備だけで190万kWあり、新電力の全設備の80%以上ある。王子製紙、大王製紙の設備は工場の自家発電設備であり、新電力として登録はされているものの、実際には外部にはほとんど販売されていない。

新電力の多くは自社設備ではなく、自家発電設備などから余剰電力を購入し、販売を行っているのが実態だ。小売りの全面自由化を契機に新電力が新たに発電設備を建設する動きがみられるが、新たに燃料受け入れ設備を建設するとなると大きな投資額を伴うことになるので、既存設備を保有し、石炭を現在利用している製鉄会社、製紙会社などによる石炭火力、ガス会社によるガス火力以外の設備が新設されることは考え難い。

さらに、日本着の化石燃料の将来価格の推移を予測す

ることは難しく、どの発電源がプラントライフを通し競争力を持つかは不透明である。先に述べた温暖化の問題によっては、二酸化炭素の排出量が制限されることもあり得るために、発電源の長期の競争力を予測することはさらに困難になる。数十年にわたり競争力を持ちベース電源として供給できない限り、投資額に対し適切な収益を確保できない可能性が高い。このため不透明な要素が多い環境下では、発電設備の新設が進まないだろう。

III. 自由化とは相容れない原子力発電

1. 自由化により発電設備への投資は困難に

ためることができない電気は、需要がある時に発電を行う必要がある。電力の需要は1年を通し、また1日を通し変動するので、最大電力需要に合わせて発電設備を保有する必要がある。このため、発電コストが相対的に高い設備は需要が多いときにだけ使用されるピーク電源にならざるを得ないが、収入の少ないピーク電源への投資を考える企業はなく、どの企業もベース電源への投資を考える。しかし、既に述べた通り、どの電源が将来競争力を持ち、ベース電源になるかは化石燃料の価格次第であり、長期にわたって予測することは不可能である。

電力市場が自由化された米国テキサス州では、2007年に原子力、石炭を主たる発電源とするTXUが投資家により買収されエネジー・フューチャー社が設立された。4兆円以上の買収額であったが、化石燃料価格の上昇により電力価格が上昇すると、発電源のなかで原子力と石炭は相対的に価格競争力を維持するために、収益が増加するとの投資家の予測が買収の背景にあった。

しかし、2008年頃からシェールガスの商業生産が本格化し、天然ガス価格が下落を始めた。特にテキサス州はシェールガスの産出州であり、天然ガス価格は全米平均を下回って推移した。このために、電力価格も下落した。さらに、テキサス州では風力発電設備が増加し、火力発電設備の稼働率が下落する事態になった。今年の4月に化石燃料価格を読み間違ったエナジー・フューチャーは破たんした。自由化された市場で電源の競争力を見極めるのは難しい⁶⁾。

もし、将来自社の電源が競争力を失えば、ピーク対応の設備になってしまう。1年のうち僅かの時間しか使われないピーク対応の設備では収入も限られることとなり、投資に対する適切な収益をあげることもできない。将来の電力価格も、自社の発電設備の相対的な競争力も不透明な状況下では、発電設備への投資は減少を続け、誰も投資を行わなくなる。これが、欧米の自由化された市場の現状だ。

2. 自由化した市場で発電設備を建設する方法

電力の自由化市場では、老朽化した発電設備が閉鎖されるようになっていても、建替えが進まない可能性がある。この問題を避けるための方法が考え出されている。一つ

は、米国のペンシルバニア州(P)、ニュージャージー州(J)、メリーランド州(M)などを供給地域とする自由化された PJM 市場で行われている方法だ。

PJM では、最終需要家に電力供給を行う小売り事業者は供給予備力を常に 15% 確保しておく必要がある。要は、発電事業者と契約し、小売りで販売する電力量を 15% 上回る設備の契約量を小売り事業者は持っていなければいけない。もし、余剰設備を保有していなければ、送電管理者に対し大きなペナルティーの支払いが必要になる。発電事業者にすれば、動いていない設備があっても、ある一定金額は小売り事業者から得ることができる。ただ、最近では小売り事業者が支払う額では十分な収益が得られないとして、設備の提供を渋る事業者もでてきているようだ。この方法では、長期にわたり収益保証が必要な原子力発電所の建設は難しい。米国で建設が進む 5 原子力発電所すべてが規制州で建設されているように、自由化により原子力発電所は建設されなくなってきた。この問題を解決する一つの方法が英国の採用した案だ。

設備を作った発電事業者に稼働にかかわらず一定額を支払う方法だ。これは容量市場と呼ばれ、英国で天然ガス火力発電設備を対象に昨年導入された。設備を作った事業者は容量市場で入札により一定額の収入を得ることが可能になる。しかし、この方法では、数年に一度程度の入札に参加することが必要になり、長期にわたり収入が保証されることにはならない。

投資額が巨額であり、プラントライフが 40 年以上になる原子力発電所を建設するためには、容量市場の方法では不十分だ。長期にわたり一定額の収益が保証される総括原価主義のような制度でなければ投資は難しい。このために、英国政府は再生可能エネルギーの建設に利用される固定価格買い取り制度を原子力発電にも適用することを決めた。

昨年 10 月にヒンクレイポイント C 原子力発電所を建設するフランス EDF と中国の合弁事業者と 35 年間にわたり一定額で発電された電気をすべて英国政府機関が購入することが合意された。その購入価格は第 1 表の通りであり、再生可能エネルギーの買い取り価格を下回っている。英国政府が、新制度を作ってまで原子力発電所の建設に力を入れるのは、エネルギー安全保障、電力コストの安定化と温暖化対策のためだ⁷⁾。

IV. 日本への教訓

天然ガスも石炭も産出し、欧州大陸とガスパイプラインも送電線もつながっている英国より、日本のエネルギー安全保障はぜい弱だ。地球温暖化の問題、アジア地区を中心に化石燃料の使用が急増するとの予測を踏まえるならば、原子力の利用を避けて通ることはできない。一方、規制緩和、自由化を行った欧米では発電所への投資が行われなくなり、問題を解決するために容量市場な

第 1 表 英国の固定価格買い取り額

設備	買い取り価格 (£/1MWh)
原子力(ヒンクレイポイントC)	92.50
陸上風力	100
洋上風力	155
潮力	305
波力	305
バイオマス	105
太陽光	125

注: 2012年価格。原子力は2023年から適用、他は2014年適用

出典: 英エネルギー気候変動省 "Investing in Renewable Technology-cfd Contract Terms and Strike Prices"(2013)

どが考え出されている。

日本でも電力市場が全面自由化され、総括原価主義がなくなれば、同様の問題が発生するだろう。解決策の一つは英国のように容量市場と固定価格買い取り制度を導入することだろう。しかし、その前に、規制緩和、自由化が欧米諸国で電気料金の引き下げにつながり、供給の安定化に貢献したのか、十分に検証する必要がある。自由化の結果、得られるものと、失うものがバランスしていないであれば、再度政策をよく検討し、考える必要がある。2008年にノーベル経済学賞を受けたプリンストン大学のクルーグマン教授は、電気は市場には向いていない商品と指摘している。規制緩和が全ての問題を解決するわけではないし、いつも正しい政策とは限らない。

— 参考資料 —

- 1) D. Marsh, "Privatization under Mrs. Thatcher: Review of the Literature", Public Administration 69, 459-480 (2001).
- 2) T. Egan, "Tapes Show Enron Arranged Plant Shutdown", New York Times, February 4, 2005.
- 3) Attorney General Bill Lockyer, State of California, "Attorney General's Energy White Paper", State of California, (2004).
- 4) T. Duan, "Regulation's Rationale: Learning from the California Energy Crisis", Yale Journal on Regulation, Vol.19, No.2, 470-540 (2002).
- 5) P. Reiss, M. White, "What changes energy consumption? Prices and Public Pressure", RAND Journal of Economics, Vol.39, No.3, 636-663 (2008).
- 6) 山本隆三, 「Wedge Infinity」[ウォーレンバフェットですら大損米再エネ法の影響で破綻した電力会社]
<http://wedge.ismedia.jp/articles/-/3921>
- 7) 山本隆三, 「国際環境経済研究所」ホームページ「報道ステーションはバラエティー番組?」
<http://ieei.or.jp/2014/07/yamamoto-blog140717/>

著者紹介

山本隆三 (やまもと・りゅうぞう)

常葉大学

(専門分野/関心分野) エネルギー・環境政策論, 環境経済学



解説シリーズ

UNSCEAR2013 レポートの概要

第1回 福島報告：放射性核種の放出，拡散，沈着

日本原子力研究開発機構 永井 晴康，
放射線医学総合研究所 栗原 治

2013年5月にUNSCEARが総会を開催し、多くの専門家によって解析と検討が行われてきた東京電力福島第一原子力発電所事故の環境および人体への影響について報告が行われた。この内容については、2014年4月にUNSCEAR2013レポートの科学的附属書Aとして、詳細が公開された。本稿では、科学的附属書Aの概要と、その中の1つの章としてまとめられた大気中と太平洋への放射性核種の放出、環境中の拡散、および沈着についての報告内容を概説する。

I. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災により引き起こされた東京電力福島第一原子力発電所（以下、「F1」という）事故により、大量の放射性核種が大気中および海洋中に放出された。事故によって最も影響を受けた地域での復旧活動と環境修復、損傷を受けた原発サイトの廃止措置についての努力が今後何十年にわたって続くことになる。また、発電所内外において被ばくレベルと健康影響のモニタリングを長期間にわたり実施することが求められている。原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）は、2011年5月の第58回会合において、F1事故による被ばくレベルと放射線リスクの評価を実施することを決定した。この評価のために、日本の政府機関がまとめた多くのデータ、査読のある学術誌に発表された多くの論文が提供された。また、包括的核実験禁止条約機関（CTBTO）、食糧農業機関（FAO）、国際原子力機関（IAEA）、世界保健機関（WHO）、世界気象機関（WMO）などの国際機関からもデータの提供があった。これらすべてのデータについて、当該アセスメントに含めることが妥当かどうかを検討し、2012年9月末までに発表されたデータと文献を主として用いて、レポート原案が作成された。レポート原案は、2013年5月の第60回会合に提出され、内容の精査、改訂を経て、2014年4月に「科学的附属書A 2011年東日本大震災後の原子力事故による放射線被ばくのレベルと影響」¹⁾が公開

Outline of UNSCEAR 2013 Report (1) : Radionuclide releases, dispersion and deposition : Haruyasu NAGAI, Osamu KURIHARA.

(2014年8月1日 受理)

された。また、同時に「科学的附属書B 子供の放射線影響」²⁾も公開されている。本解説シリーズでは、計4回にわたりUNSCEAR2013レポートの内容を概説する。

- 第1回 放射性核種の放出，拡散，沈着（科学的附属書A）
- 第2回 公衆及び作業員の線量評価（科学的附属書A）
- 第3回 ヒトおよびヒト以外の生物種への影響（科学的附属書A）
- 第4回 子どもへの放射線影響（科学的附属書B）

本稿は本解説シリーズの第1回目として、科学的附属書Aの概要と、大気中と太平洋への放射性核種の放出、環境中の拡散、および沈着についての報告内容を、著者らの取組みを交えて概説する。

II. 科学的附属書Aの概要

1. 科学的附属書Aの目的

UNSCEARは、F1事故がもたらした放射線被ばくのレベル、それに関連した健康影響とリスク、生態系に対する影響に関する知見を提供することを目的として、主に2011年と2012年に取得した情報に基づき評価を行った。科学的附属書Aは、被ばく線量の推定値を提示するとともに、UNSCEARがこれまで行ってきた科学的評価手法に基づき、収集したデータおよび情報を使用して、日本国内および近隣諸国での放射線の健康と環境への影響について取りまとめたものである。また、将来実施される可能性のある追跡調査や研究のために、どのような知識が不足しているかについても抽出している。一方、「本附属書は、人権、公衆の健康防護、環境保護、放射線防護、緊急時への準備と対応、事故の管理、原子力安全およびこれらに関連する事項についての教訓を見いだしたり、政策問題を検討するものではない。また、地方

自治体や日本政府, その他国家機関や国際機関に対する助言を意図するものではない。」¹⁾と述べ, あくまでも科学的知見の提供に限定していることを強調している。

2. 科学的附属書 A の構成

この科学的附属書は 8 つの章からなる本文と 6 つの専門的附属録で構成されている。

- 第 I 章: 評価の目的, 背景, 範囲, 評価方法の紹介。
 - 第 II 章: F1 事故の進行, 放射性核種の環境への放出, 被ばく防護のために講じられた措置など, 事故の経時的推移のまとめ。
 - 第 III 章: 大気中と太平洋への放射性核種の放出について, また大気, 地上, 海水, および堆積物における放射性核種濃度の推定手法の解説。
 - 第 IV 章: 事故後 1 年間に公衆が受けた被ばく線量に関して, UNSCEAR が行った評価についての報告。
 - 第 V 章: 2011 年 3 月 11 日から 2012 年 10 月 31 日の期間に緊急時対応と除染作業に従事した作業員の線量に関して, UNSCEAR が実施した評価についての説明。
 - 第 VI 章: F1 から放出された放射性核種による被ばくが健康にどのように影響するかの考察。
 - 第 VII 章: 陸圏および水圏の生態系に生息する生物相の線量と影響について, UNSCEAR が実施した評価結果。
 - 第 VIII 章: 概要と結論, および F1 事故の影響をさらに深く理解するために, 現時点で行うべき研究の提言。
 - 附属録 A: 評価のために使用したデータの編集方法と質の保証に対するアプローチについての解説
 - 附属録 B, C, D, E, F: それぞれ第 III 章, 第 IV 章, 第 V 章, 第 VI 章, 第 VII 章に関連した技術的基礎と詳細な解説。
- 本稿では, 第 III 章の内容を以下に解説する。

III. 放射性核種の放出

UNSCEAR は, F1 事故により環境中に放出された放射性核種について, 大気中と海洋環境への放出量と放出パターンの経時変化の推定を, 以下の 2 つを目的として行った。

- (a) 環境に放出された放射性核種の量を示すため。
- (b) 環境の中でデータが存在しない, あるいはもはや測定が行えない地点における放射性核種の拡散と沈着を, モデルと組み合わせて推定するため。

環境中に放出された放射性核種の時間空間分布を求めることは, 公衆の放射線被ばくに関する推定(第 IV 章)および生態系への影響の評価(第 VII 章)を実施するための必要条件である。UNSCEAR は, これらの評価において, 環境中の放射線レベル又は放射性核種に関する測定値を

用いることを原則としているが, 測定値が入手できない場合には, (b)による推定値を活用する以外に現実的な方法はないとしている。

1. 大気中への放出

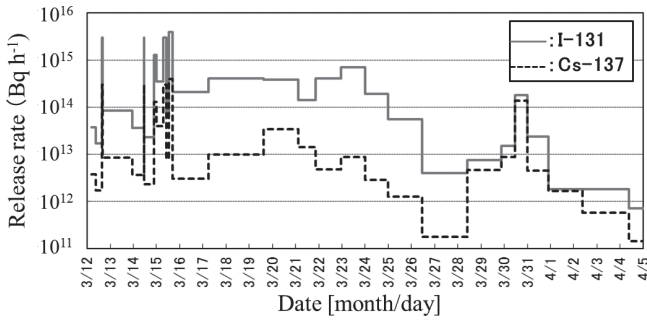
F1 からの放射性核種の放出は, 長期にわたり, 放出パターンが時間的にも空間的にも複雑なものであった。2011 年 3 月 12 日から大量の放出が始まり, それぞれの原子炉における個々の事象(水素爆発, ベント, 格納容器の損傷など)に関連して著しい増加が見られ, 1 週間にわたって放出率が大きく変動した。その後, 若干の変動が見られたものの, 放出率は徐々に低下し, 4 月初めの時点での放出率は, 最初の週に発生した放出率の 1000 分の 1 以下に低下した。放出はさまざまな場所で発生し, 高さや特性もそれぞれ異なるものであった¹⁾。

F1 からの放射性核種の放出源情報(放出の規模, 時間プロファイル, 特性などの情報で, 「ソースターム」と呼ばれる)は, 2012 年までに数多くの推定値が発表されていた。この推定には, 2 つの異なるアプローチが用いられている。

- (a) F1 事故の炉内事象の進展に関する解析
- (b) 環境中における放射線レベル又は放射性核種の濃度の測定値からの逆解析

発表されているソースタームの総放出量の推定値はおおむね合致するものであったが, 総放出量を推定したものもあれば, 限られた期間内を対象としたものなどもあり, その多くが直接的な比較のできないものでもあった。¹³¹I の総放出量の推定値は, 約 100 ~ 500PBq の範囲にあり, ¹³⁷Cs の推定値の大部分は 6 ~ 20PBq の範囲(一部の推定値では, 最大 40PBq)にあった。これらの範囲は, 事故時に稼働中だった 3 基の原子炉(1 号機から 3 号機)における ¹³¹I および ¹³⁷Cs の総インベントリーの約 2 ~ 8% および約 1 ~ 3% であった。なお, ¹³¹I と ¹³⁷Cs の推定放出量の平均は, それぞれチェルノブイリ事故における推定放出量のおよそ 10% と 20% であった¹⁾。

発表された多くのソースタームは, 放出総量についてはおおむね一致するにもかかわらず, 放出率の時間変化パターンや, それらが原発サイト内で発生した事象と関連する度合いには大きな違いがあった。UNSCEAR は, 前述のように測定値が存在しない地点における被ばく線量推定に活用するという観点から発表されたソースタームを評価し, 陸圏環境での放射性核種の時間空間分布を推定するための合理的な基礎データとして, 1 つのソースタームを特定した。この目的においては, 上記 2 つのアプローチのうち, 後者の環境中の放射性核種レベルの測定値から導き出されたものが適しており, それらの中から日本原子力研究開発機構(以下「原子力機構」という)が推定したソースターム³⁾が現時点で最適なものとして選ばれた。このソースタームにおいては, 推定された



第1図 大気への¹³¹I(実線)と¹³⁷Cs(破線)の放出率の時間変化³⁾

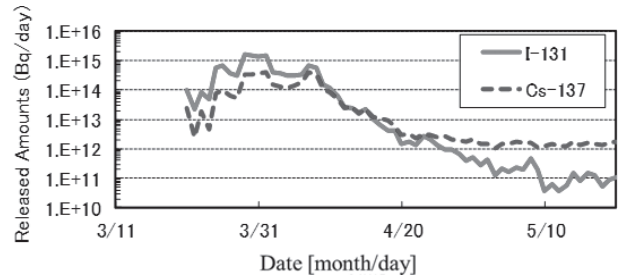
¹³¹Iと¹³⁷Csの総放出量はそれぞれ、120PBqと8.8PBqであり、いずれも発表された値の範囲の中では下限に近いものであり、海上に拡散した期間についての放出の仮定により、総放出量を最大で2分の1程度に過小評価している可能性があることが示唆されている。しかし、測定値が存在しない陸圏環境での放射性物質の濃度を推定する上で合理的な基礎データを提供するものであった。また、放出率の時間変化については、¹³¹Iと¹³⁷Csのみが全期間にわたり推定されているが(第1図)、他の被ばく線量評価上主要な放射性核種の放出率パターンについても、3基の原子炉の推定インベントリーおよび環境測定における¹³¹Iまたは¹³⁷Csに対する相対量を基に、時間変化を導き出している。なお、このソースタームは、環境省の平成24年度原子力災害影響調査等事業「事故初期のヨウ素等短半減期による内部被ばくの線量評価調査」においても、同様な理由により、事故初期段階の内部被ばく線量評価に利用されている^{4,5)}。

2. 海洋環境への放出

F1から海洋環境への放射性核種の放出には、直接的と間接的な経路がある。直接放出については、2号機のトレンチからの高濃度汚染水の漏えい(2011年4月2日に発見)と、貯蔵タンクからの低濃度汚染水の投棄が明らかになっている。後者の投棄は、高濃度汚染水を収容する容量を確保するために貯蔵タンクを空にしたものであり、その後も直接放出が発生した(例えば、2011年5月と12月)が、これらは事故直後の1ヶ月における放出量に比べればわずかなものであった。放射性物質の間接的な海洋への放出経路としては、以下の2つがある。

- (a) 大気中に放出されたものが海洋表面へ沈着(最も重大な経路)
- (b) 地上に沈着したものが河川により輸送されて海洋に流入

放射線影響のより重要な放射性核種が海洋に到達した経路別の総量と放出パターンの時間変化について、さまざまな推定値が発表されている。海洋への直接放出量は、海水中の放射性核種の測定レベルをもとに推定された。UNSCEARは、発表された推定値を検討し、海洋への¹³⁷Csの総直接放出量が約3~6PBq、¹³¹Iの総直接



第2図 海洋への¹³¹I(実線)と¹³⁷Cs(破線)の直接放出率の時間変化⁶⁾

放出量は約3倍と評価した。海への直接放出の経時的パターンについては、第2図に示すように原子力機構⁶⁾や電力中央研究所などが推定しており、最大の放出は3月の最終週と4月の第1週の間に発生し、その後、放出は何週間も続いたが、そのレベルははるかに低く、ゆっくりと低下したと推定されている。これらの推定結果は、上記大気中への放出量推定と比べて、総放出量と時間変化ともに推定値間の一致度が高く、確からしい結果が得られていると考えられる。

間接的放出量の推定は、上記(a)についてのみ、大気中に放出された物質の拡散と海洋上での沈着のモデル計算で行われた。大気中への放出量が最も多かった期間中のかなりの部分において、風は海の方に吹いており、¹³¹Iと¹³⁷Csの大気中への総放出量について、それぞれ約50%と60%が海洋上に沈着したと推定されている。大気からの沈着によって北太平洋に投入された¹³⁷Csと¹³¹Iの総量は、それぞれ約5~8PBqと60~100PBqである。しかし、F1から半径80km内に沈着したと推定されるのは、これらの量のごく一部(約5%)に過ぎないとしている。この評価結果は、大気放出量の推定結果への依存性が高く、直接放出量推定に比べて不確かさが大きくなっている。

3. 環境放出の概要

F1からの放射性核種の環境放出量推定値について、UNSCEARが取りまとめたものを第1表に示す。原子炉3基の停止時における各核種の総インベントリーも参考のために示している。UNSCEARは、これらの推定はすべて多くの不確かさを伴っており、今後、事故の進展についての情報と環境中の測定値がより広く使用でき、評価方法が進歩することにより、その質が向上すると期待されるが、特に放出の経時的パターンに関しては

第1表 UNSCEARにより取りまとめられたF1から放出された放射性核種の推定環境放出量¹⁾

核種	インベントリー (PBq)	大気放出 (PBq)	海洋放出 (PBq)	
			直接	間接
¹³¹ I	6000	100 ~ 500	10 ~ 20	60 ~ 100
¹³⁷ Cs	700	6 ~ 20	3 ~ 6	5 ~ 8

かなりの不確かさが残る可能性がある」と指摘している。

IV. 環境拡散と沈着

1. 大気と陸圏環境

F1 事故時に大気中に放出された放射性核種の挙動は、その時点における気象条件と、放出の高さ、物理的特徴(気体か粒子かなど)に依存して決まる。これらの条件は放出期間において大きく変動しており、それによって放射性核種がどの地域に拡散し、大気中でどの程度希釈され、沈着するかが決定する。UNSCEAR は、日本の陸圏での放射性核種のレベルと沈着分布を決定した放出は、3月12日、14～16日、20～23日に発生し、放射性核種の挙動を決定した気象条件を以下のように整理した。

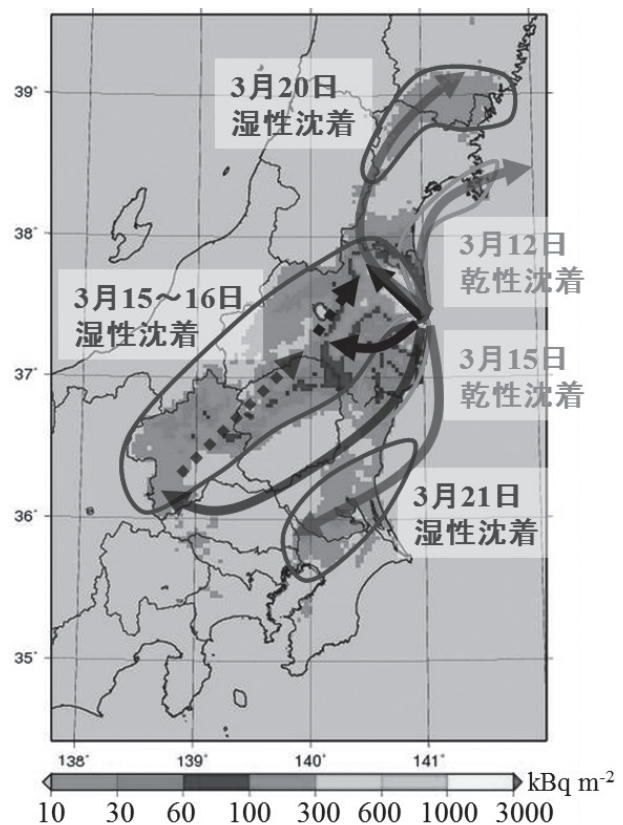
- (1) 3月12日に最初に放出された放射性核種は太平洋に向かったが、1号機での水素爆発から生じた3月12日午後の放出は、最初に本州の東海岸に沿って北方に広がり、大量の乾性沈着をもたらし、その後、北北東の方向に向きを変え、宮城県沿岸地域に広がった。
- (2) 3月14日夜遅くから放出された放射性核種は南方向へ移動し、3月15日の朝には福島県の南東部沿岸地域と茨城県北東部地域に沿って沈着した。これらの放射性物質はさらに東京都、埼玉県、神奈川県へと拡散し、低いレベルの乾性沈着をもたらした。3月15日午後までに、拡散した放射性核種は降水帯と重なり、その結果、群馬県、栃木県、福島県の各地域で高い濃度の湿性沈着が発生した。さらに、大量の放出が3月15日の朝に生じ、はじめ放射性核種は南に向かい、徐々に北西の方角に進路を変え、F1の北西地域において相当量の放射性核種の乾性沈着と湿性沈着を生じさせた。
- (3) 3月20日から23日にかけて放出された放射性核種は、日本各地に拡散し、降水帯と重なった岩手県、宮城県、茨城県、千葉県の各地域で湿性沈着を生じさせた。

上記の検討は、以下に述べるように各種環境モニタリングデータや気象観測データと放出された放射性核種の大気拡散と沈着のモデル計算との比較検討により、初めて詳細な状況を把握することができた。

日本国内の自動観測所から得られた空間線量率測定値は、事故進展中に報告されているデータのなかで最も多いものであったが、福島県では自動モニタリングポストの多くが作動せず、測定値のほとんどは可搬式線量率モニターを使用して得られたものであった。これらのデータは、空間線量率の時間変化についての情報を得ることができるが、放射性核種の大気中濃度と沈着量、および空間的分布を把握することは困難である。この点については、事故後の地表と土壌中における放射性核種の沈着、およびその降下物による空間線量率についても広

範な調査が実施された。中でも、文部科学省(文科省)と農林水産省が実施した地上の調査、および文科省と米国エネルギー省(DOE)が行った航空機による調査により、詳細分布を把握できる有用なデータが取得された。しかし、これらのデータは、上記沈着分布を決定づけた期間以降に実施されたものが多く、形成過程を把握することはできない。さらに、放出期間中に日本国内で放射性核種の大気中濃度を測定した値は非常に少なく、特に、事故の初期や津波の被害を受けた地域ではごく限られたものしかない。

一方、放出された放射性核種の大気拡散と沈着のモデル計算は、環境モニタリングデータを再現できるかを確認することを目的に、原子力機構³⁾、世界気象機関(WMO)の作業チーム、フランス放射線防護・原子力安全研究所(IRSN)など多くのグループにより実施されてきた。これらはすべて、日本の陸圏上における¹³⁷Csの沈着分布をおおむね再現できている。対象とする地域では、モデル推定値は測定レベルの10倍から10分の1の範囲におおむねおさまっており、より良く一致する場合もあった。原子力機構のモデル計算結果³⁾を用いて、上記測定値を時間空間的に補間することにより、第3図に示す文科省の航空機モニタリングによる¹³⁷Cs沈着量分布を形成した主要なプルームの動きと沈着過程を明らかにすることができた。このように限界があるにしても、これらのモデル計算は、測定値が存在しない、ある



第3図 文科省の航空機モニタリングによる¹³⁷Cs沈着量分布を形成した主要なプルームの動きと沈着過程

いはもはや測定できない環境における放射性核種のレベルを推定するための唯一の手段である。

2. 海洋環境

UNSCEAR は、F1 事故による海洋環境への放射性核種の拡散状況を、海洋測定データおよびモデル計算結果に基づき、以下のように整理している。

海水と海底堆積物、魚類その他の海洋生物相における¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, その他の放射性核種濃度について、広範囲にわたる測定が行われた。東京電力は、3月21日以降毎日、F1の南北に位置する排出口近く、海岸に沿った南北の地点、沖合3km, 8km, 15km地点において、それぞれ海水サンプルを採取し測定した。文科省は沖合30kmの線に沿って測定を行い、これと独立して国内外の研究機関により日本沖合の水域で測定が行われた。これらの結果によると、3月末にF1周辺における海水中の濃度がピークに達し、4月の初めには、さらに沖合で濃度がピークに達した。海水の測定濃度はその後低下し、2011年8月時点では、放射性ヨウ素は検出不能となり、放射性セシウム濃度は原発サイトの排出口でさえ検出限界近傍又は検出限界を下回るものであった。

海底堆積物の放射性核種濃度も測定された。東京電力による測定では、F1の港内における海底堆積物中の¹³⁷Csの濃度は、乾燥重量1kgあたり最大で100,000Bqというものであったが、全体的な測定値のレベルはそれよりも何桁も低いものであった。海底堆積物中の濃度も、時間の経過に伴って低下はしたものの、その速度は海水の測定濃度ほどではなかった。

これらの測定値を使用して、前述の原子力機構の解析⁶⁾など、複数の機関が海への直接の総放出量およびその後の太平洋における放射性核種の拡散に関する推定を行っている。これらのモデルによる推定値は、測定データをおおむね再現することができている。大気中から降下した放射性核種は、海洋表面の広いエリアにわたって拡散・沈着した。他方、直接放出された放射性核種についてのモデル計算では、まず北からの風を受けて、海岸に沿って約200km南方に移動し、次に黒潮に乗り海岸から東の方向へ向かい、さらに拡散、希釈されたことが示唆された。モデル計算の結果は、最も影響を受けた地域では、3月26日頃までは大気中から沈着した物質による影響が大きかったが、それ以降は海洋への直接放出の寄与率が上回るようになったことを示している。

V. 結言

本稿は、UNSCEAR2013 レポートの科学的附属書 A について概説するとともに、その中の1つの章「放射性核種の放出、拡散、沈着」について解説した。UNSCEAR は、本科学的附属書により、F1 事故による放射線被ばくのレベルに関する評価結果を取りまとめ

た。しかしながら、この評価は、あくまでも F1 事故後 2 年間に取得した情報に主として準拠し、報告時点で考えられる最適な結果ではあるが確定的なものではなく、適切な時期に再評価するとしている。これは、チェルノブイリ原発事故後 20 年以上にわたり、UNSCEAR が再評価を複数回行ってきたことから理解できる。今後、UNSCEAR による評価の信頼性を上げ、確認し、向上させるための科学的な研究を行うことが望まれており、本稿が取り扱った部分に関して、UNSCEAR は以下の科学研究を優先的に進めるべきと指摘している。

- (1) 事故の進展や放出中の気象条件に関する理解と、大気輸送、拡散、および沈着のパターンを再構築するモデル計算に基づき、放射性核種の大気中への放出量とその特性の時間的変化の推定を改善する。
- (2) 放射能汚染水の漏えいと水域環境（地下水および最終的には太平洋を含む）への放出に関し、測定を継続して特性評価を改善するとともに、放出された放射性核種の長期的な輸送と混合、水圏の経路からもたらされる被ばくを予測して定量化する。

これらの課題については、筆者らも共通の認識を持って研究を継続しているところであるが、今後さらに国内外の連携を強化して課題の解決に取り組み、確度の高い評価に貢献していく計画である。

— 参考資料 —

- 1) UNSCEAR: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly with Scientific Annexes Volume I Scientific Annex A, United Nations, New York, (2014).
- 2) Id., Scientific Annexes Volume II Scientific Annex B, United Nations, New York, (2014).
- 3) H. Terada, G. Katata, M. Chino, H. Nagai: J. Environ. Radioact., 112, 141-154 (2012).
- 4) 永井晴康: 日本原子力学会誌, 55, 712-717 (2013).
- 5) 栗原治: 日本原子力学会誌, 55, 718-722 (2013).
- 6) H. Kawamura, T. Kobayashi, A. Furuno, T. In, Y. Ishikawa, T. Nakayama, S. Shima, T. Awaji: J. Nucl. Sci. Technol., 48, 1349-1356 (2011).

著者紹介



永井晴康（ながい・はるやす）
日本原子力研究開発機構
（専門分野/関心分野）環境中物質動態/原子力緊急時対応



栗原 治（くりはら・おさむ）
放射線医学総合研究所
（専門分野/関心分野）個人被ばく線量評価/放射線計測

UNSCEAR2013 レポートの概要

第2回 福島報告：公衆及び作業者の線量評価

放射線医学総合研究所 栗原 治, 谷 幸太郎

本稿は、東京電力福島第一原子力発電所事故の環境及び人体の影響に関して2014年4月に公開されたUNSCEAR2013レポートの解説シリーズ第2回目として、同レポートの科学的附属書Aの公衆及び作業者の被ばく線量評価に関する内容について概説する。

I. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所(以下、「F1」という)事故により、大量の放射性核種が環境中に放出される事態に至った。これらの放射性核種は、東日本を中心とした広い範囲に拡散し、公衆への放射線被ばくをもたらした。その線量の把握のため、我が国でもこれまでに多くの調査が進められてきたところである。今般、UNSCEARから公開されたUNSCEAR2013レポート科学的附属書A¹⁾では、様々な被ばく経路からの公衆の線量に関する推計値を、その推計方法とともに網羅的に記述している。また、同附属書では、事故対応に従事した作業者の線量評価の信憑性についても言及している。本稿は、UNSCEAR2013レポートの解説シリーズ第2回目として、これらの内容について概説する。

II. 公衆の被ばく線量評価

1. 線量評価の方法

UNSCEARによる公衆の被ばく線量評価は、地域毎の集団を代表する個人、すなわち、行動や食物摂取などの習慣が典型的と見なせる架空の個人を対象として、現実的な線量を示すことを目的として行われた。この個人の年齢集団としては、WHOによる暫定評価²⁾と同様、20歳の成人、10歳の小児、及び1歳の幼児が選定された。線量評価の対象器官(臓器)と評価期間としては、前者が、甲状腺、赤色骨髄及び女性の乳房における吸収線量と全身の実効線量、後者が、事故発生から1年間、10年間及び80歳に到達するまでの期間とされた。

公衆への被ばく経路としては、(a)ブルーム中放射性核

種による外部被ばく、(b)ブルーム中放射性核種の吸入による内部被ばく、(c)地表に沈着した放射性核種による外部被ばく、及び(d)飲食物中放射性核種の経口による内部被ばくが主なものとして検討された。また、日本全体の公衆構成員の線量について、入手可能なデータや合理性を踏まえて推計を行うため、次の4グループの集団が考えられた。

- グループ1：福島県内において18の避難シナリオに従って避難を行った地域の集団
- グループ2：グループ1以外の福島県内の地域の集団
- グループ3：福島県に隣接する宮城県、栃木県、群馬県、茨城県のほか、その近隣の千葉県、岩手県に居住している集団
- グループ4：上記以外の都道府県に居住している集団

以下、UNSCEARによる外部被ばく及び内部被ばくの線量評価方法の概要を述べる。これらの方法は、線量評価の空間的な細かさの違いを除いては、避難を行わなかった集団(グループ2, 3及び4)間で基本的に同じである。避難を行った集団(グループ1)については、飲食物の経口摂取を除いては、放射性核種の大気輸送・拡散・沈着モデル(ATDM)の結果のみに基づき、避難前・避難中及び避難後の線量が評価された。また、避難後は年間を通じて避難先に留まるものと仮定された。18の避難パターンについては、文献³⁾に詳細が記述されている。

(1) 外部被ばく線量

外部被ばくの経路としては、前述の(a)と(c)がある。(a)は比較的短期間のものであり、(c)は今後も継続する被ばく経路となる。UNSCEARが外部被ばく線量評価の基礎とした実測データは、主として文部科学省や農林水産省によって取得された放射性核種の地表沈着密度であっ

Outline of UNSCEAR 2013 Report (2): Assessment of doses to the public and workers: Osamu KURIHARA, Kotaro TANI.

(2014年8月1日受理)

■前回タイトル

第1回 福島報告：放射性核種の放出、拡散、沈着

た。地上 1m での空間線量率の測定値は数多く得られていたものの、事故前のバックグラウンドに関する情報が得られなかったことから、線量評価に直接利用することは困難であったと附属書には書かれている。地表沈着密度から外部被ばく線量への換算は、建屋の遮へい特性、屋内外の滞在時間(居住因子)、地表沈着密度の物理的減衰や移行等による時間変化などを考慮した複数の計算モデルを組み合わせて行われた。また、事故発生後の最初の年の評価では数学ファントムに基づく線量換算係数が用いられ、より長期の評価では 1 歳児及び 10 歳児の成長も考慮された。土壌中の放射性核種の存在比は、文部科学省のデータから第 1 表に示すとおり決定された。ここで、F1 の南方の沿岸に沿った狭い地域(南方トレース)では、 ^{137}Cs に対する ^{131}I と $^{129\text{m}}\text{Te}$ の割合が比較的高いことから、他の地域とは区別された。

放射性プルーム中放射性核種による外部被ばく線量については、ATDM から得られた放射性核種の積算空気中濃度から計算された。ただし、地表に沈着した放射性核種からの外部被ばく線量と比べると軽微であった。

(2) 内部被ばく線量

内部被ばくの経路としては、前述した(b)と(d)がある。それぞれの線量の評価方法は次のとおりである。吸入摂取による内部被ばく線量の評価は、これに必要な放射性核種の空気中濃度の実測データが極めて限られることから、ATDM の計算結果に基づいた。ただし、ATDM から計算される空気中濃度には大きな不確かさがあるため、積算空気中濃度と地表沈着密度の両方の計算値の比を用い、実測された地表沈着密度から積算空気中濃度を求め、これから放射性核種の吸入摂取量を導出した。吸入摂取に伴う線量係数及び 1 日の平均呼吸率は、国際放射線防護委員会(ICRP)の刊行物で与えられる数値を使用した。屋内と屋外の放射性核種の空気中濃度の差異は考慮されなかった。

食品の経口摂取については、厚生労働省を含む日本政府当局と共同で国連食糧農業機関(FAO)及び国際原子力機関(IAEA)が連携して構築した飲食物の放射性核種濃度に関するデータベースが参考にされた。このデータベースには、47 都道府県全てにおいてサンプリングさ

れた 500 種類以上の食品のデータが網羅されている。飲料水中の濃度に関しては、厚生労働省から提供されたデータが利用された。飲食物の経口摂取量は、各品目の放射性核種濃度と消費量の積として求められる。食品の放射性核種濃度に関しては、市場に出されたもののデータを評価に使用し(すなわち、未成熟農作物や制限が実施された地域内で収穫された食品のデータは除く)、前述した各グループの地理的区画に応じた各品目の平均濃度が使われた。他方、データの大半が検出限界値またはそれ未満であったが、公称の検出限界値(10 Bq kg^{-1})が摂取されると仮定した(ただし、 ^{131}I については、事故後 4 ヶ月以降は 0)。事故の翌年以降の食品の経口摂取については、日本特有の事情を考慮した食品中濃度の予測モデル(FARMLAND モデルと呼ばれる)から推計された。

2. 線量評価の結果

(1) 事故発生後の最初の 1 年間

第 2 表に各グループの実効線量及び甲状腺吸収線量の地域平均推定値をまとめた。同表の線量の幅は、各グループに含まれる線量評価のための地理的区画(グループ 2 であれば市町村単位、グループ 3 及び 4 は都道府県単位)毎の平均推定値の範囲を示したものであり、これらの地域に居住する個人の線量幅ではない。

グループ 1 の実効線量及び甲状腺吸収線量は、避難開始時期の違いによって有意に異なる結果であった。避難期間中の成人の実効線量としては、3 月 15 日までに避難した集団については 3mSv 未満、その後の時期に避難した集団については 10mSv 未満であった。避難期間中の 1 歳児の甲状腺吸収線量としては、3 月 15 日までに避難した集団については最大約 50mGy、その後の時期に避難した集団については最大約 70mGy 未満であった。他方、20km 圏内の予防的避難により、その場に留まり

第 2 表 事故発生後の最初の 1 年間の実効線量及び甲状腺吸収線量の地域平均推定値
(外部被ばく線量と内部被ばく線量の合計)

グループ	実効線量 (mSv)		甲状腺吸収線量 (mGy)	
	成人	1 歳児	成人	1 歳児
1 予防的避難区域 ^a	1.1 - 5.7	1.6 - 9.3	7.2 - 34	15 - 82
計画的避難区域 ^b	4.8 - 9.3	7.1 - 13	16 - 35	47 - 83
2 福島県内 (上記除く) ^c	1.0 - 4.3	2.0 - 7.5	7.8 - 17	33 - 52
3 近隣県 ^d	0.2 - 1.4	0.3 - 2.5	0.6 - 5.1	2.7 - 15
4 その他の 都道府県	0.1 - 0.3	0.2 - 0.5	0.5 - 0.9	2.6 - 3.3

^a 2011 年 3 月 12 日から 3 月 15 日までに緊急時防護策として避難を指示された区域の避難者

^b 2011 年 3 月末から同年 6 月にかけて避難を指示された区域の避難者

^c 福島県内の避難区域対象外行政区画の住民

^d 宮城県、群馬県、栃木県、茨城県、千葉県、岩手県

第 1 表 種々の放射性核種の土壌沈着密度の比率
(^{137}Cs の土壌沈着密度に対する相対値, 2011 年 3 月 15 日時点で補正)

地域	右記以外	南方トレース
^{110}Ag	0.0028	0.0028
$^{129\text{m}}\text{Te}$	1.1	7.9
$^{132}\text{Te}/^{132}\text{I}$	8	59
^{131}I	11.5	74
^{134}Cs	1	1
^{136}Cs	0.17	0.17
$^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$	1	1

続けた場合に比べて、最大約 50mSv までの成人の実効線量、及び最大約 750mGy までの 1 歳児の甲状腺吸収線量が回避されたと推計している。

実効線量全体に占める各被ばく経路の寄与は集団によって異なり、グループ 2 の比較的高い地表沈着密度の地域では外部被ばくが、グループ 4 では 0.1mSv 程度の経口摂取が支配的な経路となった。外部被ばくに寄与する放射性核種としては、放出後の数週間は ^{131}I 、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs が支配的であったが、ごく初期には $^{132}\text{Te}/^{132}\text{I}$ の寄与も有意であった。南方トレースでは、初年の ^{137}Cs 単位地表沈着密度当たりの外部被ばく線量は、他の地域に比べて約 2 倍大きいと推定された。第 3 表には食物の経口摂取から生じる各グループの実効線量と甲状腺吸収線量の推定値を示した。同表の数値は第 2 表の線量推定値に含まれるが、総線量に占める割合は比較的大きい。これは前述した線量評価の仮定によるものであり、他県または国外からの流通食品の消費率等を考慮することで、推定値は大幅に低くなる可能性があることを附属書では述べている。

(2) 将来年度にわたる線量

附属書では、事故発生からの最初の 1 年間のほかに、10 年間及び対象となる個人が 80 歳に到達するまでに受ける実効線量を与えている。結果は第 4 表に示すとおりであり、最初の 1 年間に受ける実効線量の 2 倍から 3 倍程度を、次の 10 年間及び 80 歳までに受ける地域もある。

3. 不確かさ及び他の評価との比較

(1) 不確かさ

UNSCEAR による公衆の線量評価には多くの不確かさ要因があり、その主なものを以下に列挙する。

- 地表に沈着した放射性核種からの外部被ばく：線量推計は福島県内の最も一般的な家屋である木造家屋を仮定した。木造不燃家屋やコンクリート造高層住宅に居住する人々については、1/4～1/2 程度低くなると推定される。

第 3 表 事故発生後の最初の 1 年間の実効線量及び甲状腺吸収線量の地域平均推定値
(食物の経口摂取を介した内部被ばく)

グループ ^a	実効線量 (mSv)		甲状腺吸収線量 (mGy)	
	成人	1 歳児	成人	1 歳児
2 福島県内	0.94	1.9	7.8	33
3 近隣県	0.21 ^b	0.53 ^b	2.1 ^b	9.4 ^b
4 その他の都道府県	0.11	0.18	0.53	2.6

^a 第 2 表と同じ

^b 岩手県を除くグループ 3 の 5 県

第 4 表 事故発生から最初の 10 年間または 80 歳までに受ける実効線量の地域平均推定値

グループ ^a	10 年間の線量 (mSv)		80 歳までの線量 (mSv)	
	成人	1 歳児	成人	1 歳児
2 福島県内	1.1 - 8.3	2.1 - 14	1.1 - 11	2.1 - 18
3 近隣県	0.2 - 2.8	0.3 - 6.4	0.2 - 4.0	0.3 - 6.4
4 その他の都道府県	0.1 - 0.5	0.2 - 0.9	0.1 - 0.6	0.2 - 0.9

^a 第 2 表と同じ

- 大気輸送・拡散・沈着モデルの不確かさ：避難区域の集団の外部被ばく線量及び吸入による内部被ばく線量は ATDM の結果に直接基づいて推計しているため、モデル自体の不確かさにより線量を 4 倍から 5 倍過大評価もしくは過小評価している可能性がある。
- 経口摂取：食品の検査がランダムサンプリングされなかったことによる、すなわち、最も高い放射能核種濃度の食品の特定を優先して検査が行われたことによる真の平均濃度を過大評価した可能性、食品の流通、消費パターンの不確かさ、食品の検査の検出下限値相当の濃度を摂取したと仮定したことによる過大評価の可能性がある。

(2) 他の評価との比較

2011 年 3 月 26 日から 30 日までの期間において、いわき市、川俣町及び飯館村の 1 歳から 15 歳までの 1,080 人の小児について行われた甲状腺モニタリングの結果から得られた線量は、UNSCEAR の対応する線量推定値よりも 2 倍から 5 倍低かった。その他の人の実測に基づく線量についても、UNSCEAR の線量推定値より低かった。WHO による暫定評価との比較ではおおむね両者は一致したものの、UNSCEAR による推計値の方が低くなるケースも見られた。

III. 作業員の被ばく線量評価

1. 緊急作業に係る線量限度

日本国内の法令に定められている平常時の作業員の実効線量限度は、5 年間につき 100mSv かつ 1 年間につき 50mSv である。また、緊急時作業にかかる実効線量限度は 100mSv である(ただし、女性の場合には、妊娠不能と診断された者及び妊娠の意思のない旨を使用者等に書面で申し出た者を除き、適用されない)。しかしながら、100mSv の実効線量限度が緊急性及び重要性の高い作業の妨げになることから、F1 事故後の 2011 年 3 月 14 日に特例の省令によって緊急時作業に係る実効線量限度が 250mSv に引き上げられた。緊急時作業に係る線量限度について、ICRP2007 年勧告⁴⁾では、重篤な確定的影響及び他の確定的影響は、それぞれ 1,000mSv 及び 500mSv 以下の実効線量で回避できるとの考えに基づき⁵⁾、緊急救助活動における参考レベルとしてこれらの値を設定することを推奨している。放射線審議会は、

F1 事故が発生する以前の 2011 年 1 月の時点において、「我が国における緊急作業に従事する者に許容する線量の制限値について、国際的に容認された推奨値との整合を図るべきである。」と提言しており⁶⁾、今回の事故に伴う実効線量限度の引き上げについても妥当であるとの見解を示していた。実際に東京電力(以下、「東電」という)が緊急時作業において設定した実効線量限度は、250mSv の実効線量限度を確実に順守する考えから、それよりも低い 200mSv であった⁷⁾。なお、この実効線量限度は、F1 の 1～3 号機の原子炉冷温停止後の 2011 年 12 月 16 日に再び 100mSv に戻されている。

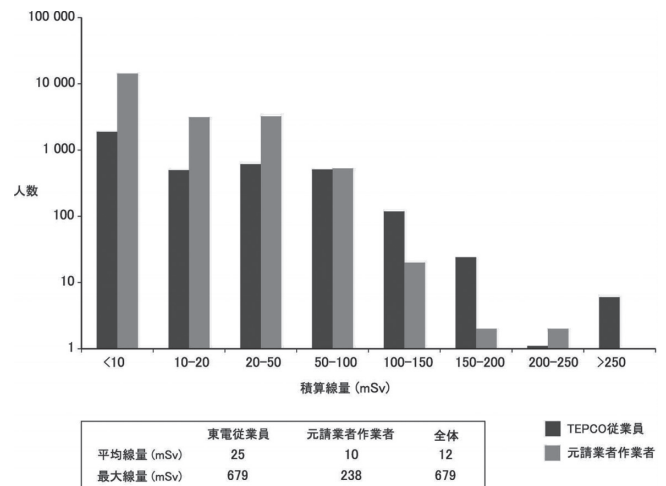
2. UNSCEAR による線量評価の目的

F1 事故以前には数千人の作業員が現場で雇用されていたが、事故後に東電及びその元請業者に雇用されて復旧作業に従事した作業員は 2012 年 10 月までで約 2 万 5,000 人に及んだ。また、それ以外にも消防士 260 名、自衛隊員 168 名、警察官 13 名を含む数百人の作業員が事故現場に派遣された。これらの作業員の線量が我が国で評価され、その数値が UNSCEAR に報告されている。そこで UNSCEAR は、報告された線量が健康影響等を評価する上で信頼できるものであるかを判断することを目的として、日本国内での線量評価手法の妥当性を独自に評価するに至った。特に、内部被ばく線量については、評価に用いるモニタリングデータの解釈や線量評価モデルに用いられる種々のパラメータの選択等に関する専門家の判断によって差異を生じるため、UNSCEAR は一部の作業員のモニタリングデータを抽出して複数の海外専門家による内部被ばく線量の再評価を実施し、我が国からの報告値との比較を実施した。

3. 我が国から UNSCEAR に報告された線量

2011 年 3 月 11 日から 2012 年 10 月 31 日までの期間に緊急時作業や復旧作業等に従事した作業員の人数と個人の積算実効線量が(外部被ばく線量と内部被ばく線量の合算値)東電から公表されている⁸⁾(第 1 図)。積算実効線量が 250mSv を超えた作業員は 6 名であり、事故発生直後の緊急時作業において生じた¹³¹I の吸入摂取による内部被ばくが線量の大半を占めていた。これらの作業員を含め、内部被ばくによる(預託)実効線量が 100mSv を超過した作業員は計 13 名であり、その全員が東電の従業員であった。

260 名の消防士は 2011 年 3 月 18 日から 25 日の間に作業に従事しており、うち 249 名の実効線量が UNSCEAR に報告された。外部被ばくによる実効線量は最大で 29.8mSv であった。また、全身計測から評価された¹³⁴Cs 及び¹³⁷Cs による預託実効線量(摂取から 50 年間の実効線量の積算値)は全員 1mSv を下回った。甲状腺計測は 2011 年 9 月から同年 11 月の間に実施された



第 1 図 2011 年 3 月 11 日から 2012 年 10 月 31 日までの期間における積算実効線量の人数分布
(同図は UNSCEAR2013 年報告書科学的附属書 A を改訂)

が、作業から時間が相当経過していたために¹³¹I は検出されなかった。自衛隊員については、168 名のうち 147 名の実効線量が UNSCEAR に報告された。外部被ばくによる実効線量は 132 名が 10mSv 未満、3 名が 10～20mSv、8 名が 20～50mSv、4 名が 50～100mSv であり、100mSv を超えた自衛隊員はいなかった。また、1 名の自衛隊員の内部被ばくによる預託実効線量は 3.8mSv であったが、他の全ての自衛隊員については 0.2mSv を下回った。13 名の警察官は 2011 年 3 月 17 日に F1 敷地内に滞在しており、外部被ばくによる実効線量が 10mSv、預託実効線量が 0.1mSv 未満であった。

4. UNSCEAR による評価と判断

(1) 線量評価手法の妥当性

(1) 外部被ばく線量

UNSCEAR は、東電及びその元請業者の作業員の外部被ばく線量を評価するにあたり、使用された個人線量計の種類や校正手法等に関する情報を入手し、一般的な個人モニタリング要件を満たしていると判断した。一方、津波による浸水で 5,000 台の個人線量計が失われたため、事故直後の最初の数日間に利用できたのは 320 台のみであった。よって東電では、この期間の緊急時作業では以下の条件を満たすことを確認した上で、個人線量計を作業グループ毎に配布した⁹⁾。

- 実効線量が 10mSv を超えないこと
- 作業場所の環境線量率が既知であること
- 作業環境の線量勾配が大きくないこと
- 作業グループの全員が同一の行動を取ること

UNSCEAR は、これらの条件が確実に満たされていたとすれば、報告された外部被ばく線量が妥当であると判断した。他方、消防士、自衛隊員、警察官の線量評価手法に関する情報は UNSCEAR 側に提供されなかった

ことから、UNSCEAR がその妥当性を評価することはできなかった。

(2) 内部被ばく線量

UNSCEAR は、内部被ばく線量測定のために使用された体外計測システムに関する校正手法及び保守管理に関する情報を入手し、日本で実施された体外計測が十分な精度であったと判断した。

多くの作業員について、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の預託実効線量が報告された。一部の作業員からは、 ^{136}Cs 、 $^{129\text{m}}\text{Te}$ による線量も報告されたが、その寄与は小さかった。一方、UNSCEAR は、我が国からの線量の報告値に対し、 ^{132}Te 、 ^{132}I 、 ^{133}I 、 ^{133}Xe 等の短半減期核種に関するデータの欠落、及び尿サンプルのモニタリング結果が線量評価に反映されなかった点を指摘している。

(2) UNSCEAR による内部被ばく線量の再評価

内部被ばくによる預託実効線量が 100mSv を超えた 13 名の作業員のうち 12 名について、UNSCEAR は線量の再評価を実施した。預託実効線量が最も高い作業員については 5 名の専門家が、またその他の作業員については 2 名の専門家がそれぞれ独自に線量を評価した。UNSCEAR は、再評価した結果と日本から報告された結果が比較的良好に一致したことを確認した(第 2 図)。また、預託実効線量のほぼ全てが甲状腺に取り込まれた ^{131}I に起因していると結論づけた。

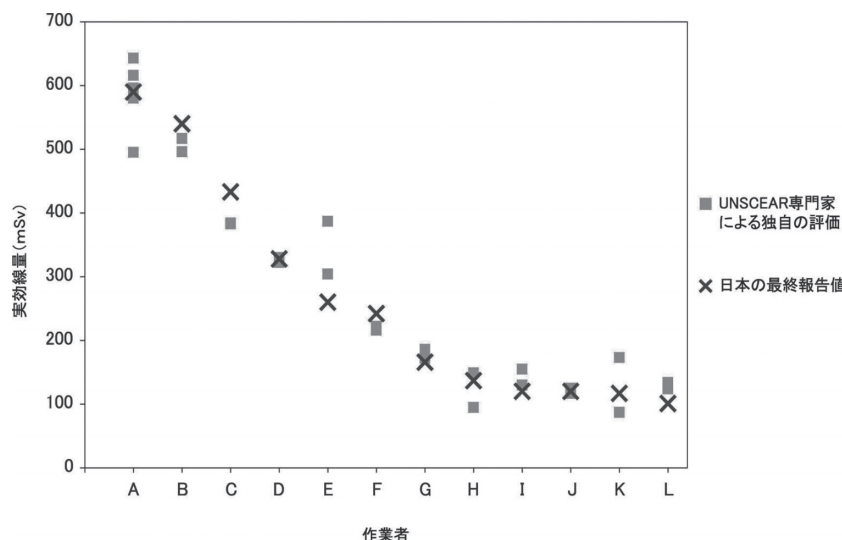
UNSCEAR は、上記の 12 名以外にも、無作為に抽出した東電及び元請業者 21 名ずつの従業員と 13 名の警察官の合計 55 名のうち 12 名については甲状腺計測によって ^{131}I が検出されており、この測定値に基づいて再評価した結果は日本からの結果とよく一致した。しかしながら、甲状腺計測の遅れにより ^{131}I が検出されなかった他の作業員について、UNSCEAR は摂取量の推定に伴う不確かさが非常に大きいことを指摘し、これらの線量の

信憑性を確認することはできなかったとした。また、元請業者の作業員の線量については、UNSCEAR 側と日本側の評価が一致しない場合があった。警察官の預託実効線量は、日本側の評価では 0.1mSv 未満とされていたが、UNSCEAR は 0.01 ~ 0.03mSv (10 ~ 30 μSv) と再評価した。消防士と自衛隊員については、我が国から UNSCEAR 側に再評価に必要な情報提供はされなかった。

IV. 結言

本稿では、UNSCEAR2013 レポートの解説シリーズ第 2 回目として、同レポートの科学的附属書 A に含まれる公衆及び作業員の線量評価に関する内容について概説した。報告された内容は網羅的であり、国内外の関連する専門家にとっても有益な情報を提供している。その一方で、線量評価に係る多くの課題を抽出しており、現時点の評価はまだ中間的なものであることを示唆している。以下は、公衆及び作業員の線量再構築に向けた著者らの現在の取り組みについて簡単に述べる。

公衆の線量再構築に関して、著者らは環境省委託事業の一環として、福島県住民の初期内部被ばく線量の推計を行ってきた^{10,11)}。その結果、放射性ヨウ素等の体内摂取による甲状腺等価線量は、線量が比較的高い地域における小児のおおむね 90 パーセントに相当する数値として 30mSv であると推計した。UNSCEAR の今回の報告とは大きな乖離があるが、その理由は推計方法の違いや評価対象とする被ばく経路の違い(著者らの推計では主に吸入による内部被ばく線量を対象)である。一方、UNSCEAR が採用した大気拡散シミュレーションによる線量推計のアプローチは、公衆の実測データが極めて限られる現状においては著者らも必須と考えており、その実現性を検証している¹²⁾。作業員の線量再構築に関



第 2 図 12 名の東電作業員に対する日本及び UNSCEAR による預託実効線量評価の比較 (同図は UNSCEAR2013 年報告書科学的附属書 A を改訂)

しては、甲状腺計測などの内部被ばく線量評価の基礎となった体外計測の不確かさ解析やヨウ素剤の効果等を考慮した再評価を検討している。最後になるが、UNSCEAR2013 レポートの本稿の該当部分では、我が国からの情報提供が不十分であった旨の記載が随所に見受けられた。得られた実測データは確かに限られるが、国内外の関連する分野の研究者が一層連携し、新たな知見が世界に発信できることを今後期待したい。

－ 参考資料 －

- 1) UNSCEAR, Sources, Effect and Risks of Ionizing Radiation UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly, Scientific ANNEXE A, United Nations, New York. (2014).
- 2) WHO, Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami. (2012).
- 3) K. Akahane, *et al.*, Sci. Rep. 3: 1670 (2013).
- 4) ICRP, Publication 103, Ann. ICRP37 (2-4), Elsevier, (2007).
- 5) ICRP, Publication 96, Ann ICRP35 (1), Elsevier, (2005).
- 6) 放射線審議会 基本部会. 国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007 年勧告 (Pub. 103) の国内制度等への取入れについて—第二次中間報告 :
http://www.nsr.go.jp/archive/mext/b_menu/shingi/housha/toushin/_icsFiles/afiedfile/2011/03/07/1302851_1.pdf
- 7) IAEA. IAEA International fact finding expert mission of the Fukushima Dai-ichi NPP accident following the Great East

Japan Earthquake and Tsunami,

http://www-pub.iaea.org/MTCD/meetings/PDFplus/2011/cn200/documentation/cn200_Final-Fukushima-Mission_Report.pdf

- 8) 東京電力プレスリリース (2012 年 11 月 30 日),
http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12_j/images/121130j0101.pdf
- 9) 東京電力. 福島原子力事故調査報告書,
http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12_j/images/120620j0303.pdf (2014 年 7 月 17 日)
- 10) 栗原治, 他, Proc. 14th Workshop on Environmental Radioactivity, KEK, Tsukuba, Feb. 26-28, 2013, (2013).
- 11) O. Kurihara, International Workshop on Radiation and Thyroid Cancer, Tokyo, 21-23 Feb. 2014, Available from
<http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/workshop201402/index.html>
- 12) 栗原治: 日本原子力学会誌, 55, 718-722 (2013).

著者紹介

栗原 治 (くりはら・おさむ)

本誌, 56 [12], P.41 (2014) 参照.

谷 幸太郎 (たに・こうたろう)

放射線医学総合研究所

(専門分野/関心分野) 放射線防護/個人線量計測, 数値シミュレーション



目安箱への投書のご案内

日本原子力学会 編集委員会

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

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

などについてのご意見・ご要望がございましたら、学会ホームページ

<http://www.aesj.or.jp/publication/meyasu.html>、または E-Mail : aesj2005meyasu@aesj.or.jp にてお寄せください。編集委員会にて検討後、担当者より回答させていただきます。

学会誌編集活動への皆様の積極的なご参加をお願いいたします。

連載
講座

放射性廃棄物概論

施設の運転および廃止措置により
発生する放射性廃棄物の対策

第4回 放射性廃棄物の処理

(株)東芝 電力システム社 三倉 通孝, 金子 昌章,

日立 GE ニュークリア・エナジー(株) 雪田 篤, 野下 健司

I. はじめに

本連載講座第4回では、放射性廃棄物の処理について解説する。放射性廃棄物には、発電所や再処理工場などの発生場所や放射能濃度によって様々な種類があり^{1,2)}、それぞれの特性に応じ、放射性廃棄物の放射能濃度を低減するための「除染処理」、放射性廃棄物の物量を低減するための「減容処理」、放射性廃棄物の貯蔵、処分の安定化のための「固化処理」などが実施されている。本稿では、代表的な廃棄物の処理技術の現状を紹介するとともに、ウラン廃棄物や研究施設等廃棄物の処理技術についても簡単に触れる。

II. 原子力発電所の放射性廃棄物処理

1. クリアランス及び極低レベル放射性廃棄物

原子力発電所(運転中および廃止措置)では、「放射性物質として扱う必要のない」クリアランス対象物や、放射能濃度が極めて低い極低レベル放射性廃棄物が発生する。これらは主に、コンクリートや金属からなり、発生量が多いことが特徴の一つとなっている³⁾。

クリアランス対象物のうち、金属についてはリサイクル処理が行われており、溶融された後、遮蔽体やベンチなどが製作されている⁴⁾。また、発生する全放射性廃棄物に対してのクリアランス対象物の割合をさらに増加させるため、粉塵発生を抑制しつつ高い除染性能が得られるウェットプラスト除染技術や、有機酸による化学除染など、機器類、構造物などの部位に応じた物理的、化学

Introduction to Radioactive Waste—Management of Radioactive Waste from Operation and Decommissioning of Nuclear and Other Facilities (4) ; Radioactive Waste Treatment : Michitaka SASO, Masaaki KANEKO, Atsushi YUKITA, Kenji NOSHITA.

(2014年6月17日 受理)

■前回タイトル

第3回 原子力施設の廃止措置とクリアランス

的除染技術の開発が進められている^{5,6)}。

極低レベル放射性廃棄物は、固型化せずにフレキシブルコンテナ等に収納される。なお、収納後の廃棄物は、素掘りの埋設用トレンチに処分される。日本原子力研究所の動力試験炉(JPDR)の解体では、発生したコンクリート等の極低レベル放射性廃棄物に対して、処理から埋設、その後の保全までのプロセスが実証されている⁷⁾。

クリアランス対象物や極低レベル放射性廃棄物の処理は、廃止措置を円滑に進めるための必須技術であり、今後さらには有効な資材のリサイクル方法や、安全かつ合理的な処理技術が求められている。

2. 低レベル放射性廃棄物

原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物のうち、放射能レベルの比較的低い廃棄物を特に低レベル放射性廃棄物、または浅地中処分対象廃棄物などと呼ぶ。この低レベル放射性廃棄物は、原子炉運転に伴い発生するプロセス廃棄物と、原子炉の点検や保守で発生する雑固体廃棄物に大きく分かれる⁸⁾。

原子力発電所の運転、定期検査などの作業に伴って発生する廃棄物(プロセス廃棄物)には、原子炉冷却水の浄化に用いる使用済みイオン交換樹脂、イオン交換樹脂の再生処理を行った場合に発生する濃縮廃液などがある。このうち、1次系冷却水の浄化に用いたイオン交換樹脂は放射能レベルが高く、次項の炉心等廃棄物に分類される。

これらの廃棄物は、長期的な安定性を確保するため、200Lドラム缶に固化材と混合され、均一固化体が製作され、日本原燃(株)の六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターの1号埋設施設に搬出されている。固化処理法については、従来はアスファルト固化、プラスチック固化なども実施されていたが、現在はセメント固化が主流となっている。これはセメント系固化材で製作した固化体は、埋設処分後も長期的に放射性核種を化学的に保持し、環境への漏洩を抑制する効果が高く、埋設処分への適合性が向上するためである^{9~11)}。

セメント固化体の製作方法は、廃棄物とセメントペーストを予め混練してドラム缶に充填するアウトドラム固化法と、ドラム缶内で廃棄物とセメントペーストを直接混練するインドラム固化法がある。近年ではインドラム固化法は設備の簡素化が可能であり、固化後の混練設備の洗浄廃液量も少ないため主流となっている。

雑固体廃棄物は、原子炉の保守や点検などで生じた様々な固体廃棄物であり、金属類、塩ビ・ゴム類、保温材、フィルタ、コンクリート・ガラス類などが含まれる。これらの廃棄物は種類や形態に応じて、切断や圧縮、溶融などの減容処理が行われ、その後、200Lドラム缶内に流動性の高いモルタルペーストで充填固化される¹²⁾。これらの充填固化体は六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターの2号埋設施設に搬出されている。

3. 炉心等廃棄物

原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物のうち、放射能レベルの比較的高い廃棄物は炉心等廃棄物に分類され、深度50～100mの余裕深度への処分が検討されている。対象廃棄物は主に制御棒、炉内構造物などの放射化金属や、1次系の浄化に使用されている使用済みイオン交換樹脂である¹³⁾。(第1図)また、余裕深度処分へは、再処理工場などから発生する低レベル放射性廃棄物も対象とされている。

現在、青森県六ヶ所村の日本原燃(株)の埋設事業の中で、これから対象となる廃棄物として検討が進められている。また、低レベル放射性廃棄物の中でも深い深度へ

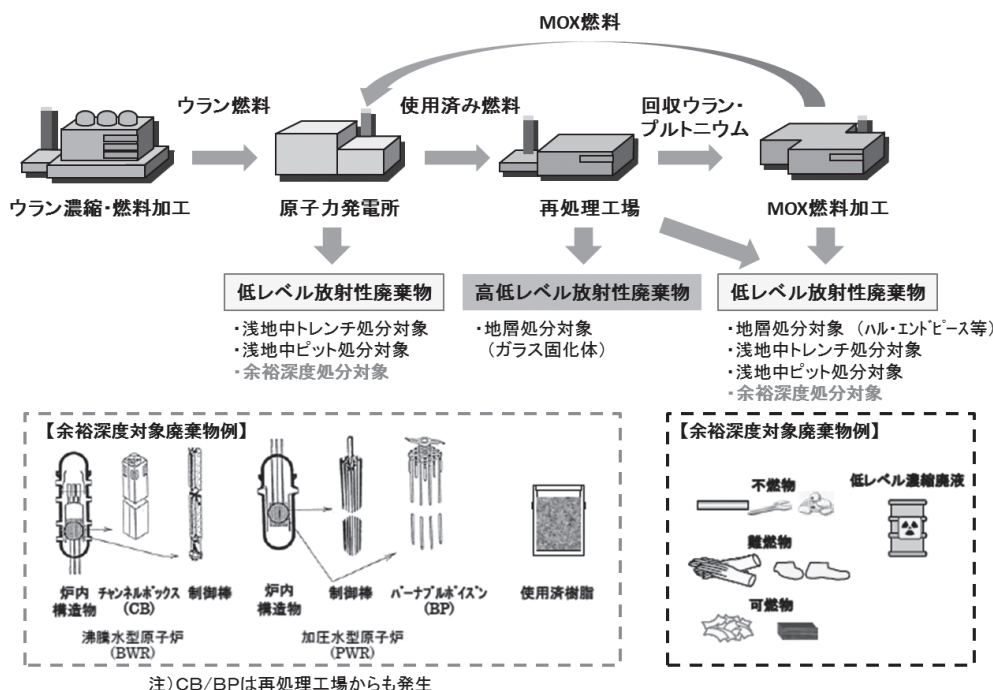
の処分であることから、廃棄物の作製には、処分時の安全性を考慮した処理及び減容処理が各電力にイオン樹脂の減容処理の具体例について記載する。

放射化金属の廃棄物の作製は、主に4工程¹³⁾が考えられている。①プール等に貯蔵されている放射化金属廃棄物(制御棒、チャンネルボックス(CB:燃料集合体を覆う金属板)、シュラウド(原子炉压力容器内に配置されているステンレス製の構造物)など)を切断する。②乾燥し、処分容器に廃棄物を収納する。③処分容器の蓋を閉める。④検査し、輸送容器に収納する。

工程①は、遮蔽を考慮してプール内での遠隔切断方法が検討されている。切断方法には、プラズマ切断、アーク切断、レーザー切断などがある。工程②は、水の放射線分解による水素発生が予測されることから、廃棄物の貯蔵、輸送時の安全性を考慮し、乾燥を行うことが検討されている。工程③の処分容器の蓋閉め方法は、遠隔でのボルト締め、あるいは溶接が検討されている。

使用済みイオン交換樹脂の処理は、有機物を分解し無機化・減容する熱分解、湿式分解と、イオン交換樹脂に吸着されている核種を除去して、減容を図る溶離に分類できる。(第1表)

熱分解には、乾留処理、CCIM(Cold crucible Induction Melting)処理、IC(Inductively Coupled)プラズマ処理、スチームリフォーマ処理がある。乾留処理は、約600℃の還元雰囲気下で樹脂を乾留分解する。CCIM処理¹⁴⁾は、溶融ガラス中で有機物を分解しガラス化する。ICプラズマ処理¹⁵⁾は、プラズマにより樹脂



第1図 余裕深度処分対象の炉心等廃棄物の例

第1表 使用済みイオン交換樹脂の処理(例)

分類	処理方法	処理概要	主な実績
熱分解	乾留処理	約600°Cの還元雰囲気での乾留分解	再処理工場の有機廃液処理
	CCIM ^{※1} 処理	熔融ガラスによる熱分解	韓国
	IC ^{※2} プラズマ処理	プラズマを利用した無機化・減容	—
	スチームリフォーマ処理	500°C~600°Cでのガス化 1000°C~1200°Cでの水蒸気を加えた熱分解	米国
湿式分解	超臨界処理	水の超臨界状態での酸化剤注入(空気等)による酸化分解	JAEAの有機廃液処理
	湿式酸化処理	触媒(鉄、銅など)と過酸化水素による酸化分解	—
溶離	酸による溶離	硫酸による核種の除去	一部のPWR
		有機酸(シュウ酸、ギ酸)による核種の除去	—
	酸を用いない溶離	オゾン、過酸化水素、鉄による核種の除去	—

※1 Gold crucible Induction Melting コールドクルーシブル誘導溶融

※2 Inductively Coupled 高周波誘導結合

を無機化・減容する。スチームリフォーマ処理は、樹脂をガス化し、水蒸気を加え1,000~1,200°Cで熱分解する方法である。湿式分解には、超臨界処理と湿式酸化処理がある。超臨界処理¹⁶⁾は、水の超臨界状態に空気を酸化剤として注入することにより、樹脂を酸化分解する。また、湿式酸化処理¹⁷⁾は、鉄または銅を触媒として過酸化水素により、樹脂を酸化分解する方法である。湿式分解は、分解ガスの発生が少ないが、添加する薬剤等の2次廃棄物が熱分解よりも多くなる。

溶離には、硫酸¹⁸⁾や有機酸(シュウ酸、ギ酸)¹⁹⁾により、イオン交換樹脂に吸着されている核種を除去する方法である。硫酸を用いた溶離¹⁸⁾は、一部のPWR発電所に用いられている。また、酸を用いない方法として、オゾン、過酸化水素、鉄を用いた溶離方法²⁰⁾が検討されている。

Ⅲ. 再処理工場の放射性廃棄物処理

我が国における再処理施設は日本原子力研究開発機構(JAEA)の東海再処理工場と、日本原燃が運転準備中の青森県六ヶ所再処理工場が挙げられる。再処理工場から発生する高レベル放射性廃棄物は、ガラス固化する処理方法が採用されている。また、それ以外の放射性廃棄物は、発電所廃棄物と異なり、TRU核種を多く含むことが特徴の一つである。これは再処理工場において使用済み核燃料をせん断し、燃料要素を溶解することに由来する。廃棄物には操業に伴い発生するプロセス廃棄物と、運転、保守および補修に伴い発生する雑廃棄物に大別される⁸⁾(第2表、第2図)。プロセス廃棄物のうち、本稿では、現在運転準備中の六ヶ所再処理工場での

廃棄物処理方法について説明する²¹⁾。

六ヶ所再処理工場でもJAEA東海再処理工場と同様、硝酸とリン酸トリブチル(以下TBP)を用いるPUREX法が用いられており、これらの物質を多量に含有する廃棄物が発生する。なお、廃棄物に対しては将来の最終処分を念頭に「処理」及び「貯蔵管理」において「分別」管理とそれに基づく合理的な処理方式を組み合わせた廃棄物処理が進められている。

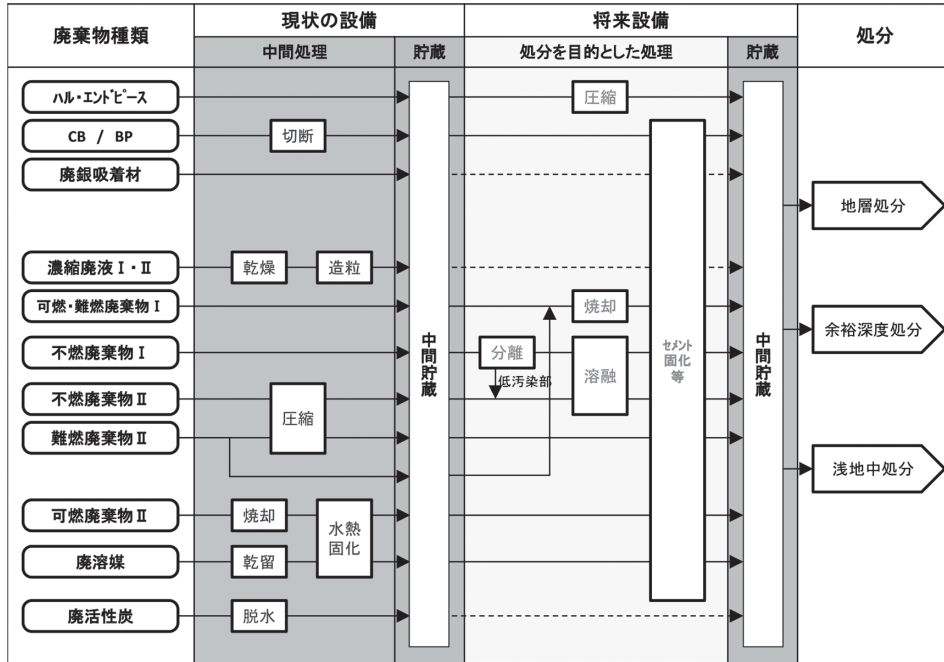
一方、JAEA東海再処理工場と異なる点には、硝酸を含有している低レベル濃縮廃液とTBPと希釈剤であるn-ドデカンを含む廃溶媒の処理方法がある。六ヶ所再処理工場では、低レベル濃縮廃液は乾燥、造粒する処理がとられている。また、廃溶媒は、水酸化カルシウムを添加したのち、乾留分解処理によりリン酸カルシウムを主成分とする無機の分解物とし、圧縮成型し固化体を作製する処理方法(水熱固化)がとられている。

なお、この水熱固化技術は六ヶ所再処理工場で発生している雑廃棄物のうち、比較的レベルの低い可燃性固体廃棄物を焼却炉で処理した際に発生する焼却灰の固化方法としても適用されている方法である。また、比較的レベルの低い難燃性及び不燃性固体廃棄物は減容のため、圧縮処理がなされている。更に、チャンネルボックス(CB)やバーナブルポイズン(BP:中性子を吸収する物質)等、燃料集合体の処理前に取り外される廃棄物は切断されている。

六ヶ所再処理工場では発生する廃棄物のより減容化及び安定化を行い、放射性廃棄物の処分を念頭に置いた廃棄物処理設備を計画している。これらの設備には、ハル・エンドピース(ハル:燃料被覆管の断片;エンドピース:燃料集合体の末端部)の圧縮処理、比較的レベ

第2表 国内の再処理工場での廃棄物処理方法

種類	処理方法	容器	固化方法	備考	
プロセス廃棄物	ハル・エンドピース	圧縮	キャニスター	—	六ヶ所、JAEA
	低レベル濃縮廃液	乾燥・造粒	200L ドラム	セメント固化	六ヶ所、JAEA
		蒸発濃縮	200L ドラム	アスファルト固化	JAEA
	廃溶媒	乾留分解→水熱固化	200L ドラム	セメント固化	六ヶ所
		TBP分解	200L ドラム	プラスチック固化	JAEA
	廃樹脂	脱水→焼却	200L ドラム	セメント固化	六ヶ所、JAEA
	活性炭素	脱水→焼却→水熱固化	200L ドラム	セメント固化	六ヶ所
		脱水→焼却→熔融	200L ドラム	セメント固化	JAEA
廃銀吸着材	吸着メディア解体	200L ドラム	セメント固化	六ヶ所、JAEA	
スラッジ	脱水	200L ドラム	セメント固化	JAEA	
雑廃棄物	可燃性廃棄物 I	焼却→熔融	200L ドラム	セメント固化	JAEA
		焼却	200L ドラム	セメント固化	六ヶ所
	難燃性廃棄物 I	焼却→熔融	200L ドラム	セメント固化	JAEA
		焼却	200L ドラム	セメント固化	六ヶ所
	不燃性廃棄物 I	熔融	200L ドラム	セメント固化	六ヶ所、JAEA
		切断	角型容器	セメント固化	六ヶ所
	可燃性廃棄物 II	焼却→水熱固化	200L ドラム	セメント固化	六ヶ所
		焼却→熔融	200L ドラム	セメント固化	JAEA
	難燃性廃棄物 II	焼却→水熱固化	200L ドラム	セメント固化	六ヶ所
		焼却→熔融	200L ドラム	セメント固化	JAEA
	不燃性廃棄物 II	圧縮	200L ドラム	セメント固化	六ヶ所、JAEA
		切断	200L ドラム	セメント固化	六ヶ所



第2図 六ヶ所再処理工場での廃棄物処理フロー

ルの高い可燃性及び難燃性固体廃棄物と廃樹脂の焼却処理, 不燃性固体廃棄物の熔融処理等を行う。

再処理工場から発生する TRU 廃棄物については, 電気事業者と核燃料サイクル開発機構(現 JAEA)が処分概念の検討書を二度にわたり取りまとめている²¹⁾。この中で, 幅広い地質環境及び安全性裕度の向上への対応, 評価の不確実性への対応が重要であると位置づけている。これらの対応の中で, 廃棄物処理技術に関連するものとして, I-129 の固定化技術, C-14 の長期閉じ込め技術, 硝酸塩の分解技術等が取り上げられている。また, 固型化などに用いられるセメント材料の影響に関しての評価の必要性もうたわれている。

より信頼性の高い放射性廃棄物の最終処分を確立するためにも, 上記のような課題点に関する影響評価を行うだけでなく, 適切な処理を行えるような研究開発を進めることも重要である。

IV. その他の放射性廃棄物

1. ウラン廃棄物

ウラン燃料の製造プロセスを担う, 製錬, 転換, 加工等の施設で発生する廃棄物はウラン廃棄物と呼ばれる。廃棄物に含まれる放射性核種は, ウラン及びその子孫核種に限定されるが, 廃棄物の種類は原子力発電所から発生する廃棄物と大きく異なるものではない^{22, 23)}。具体的には, 液体処理で発生するスラッジ類(鉄沈殿物やシリカ沈殿物, ろ過助剤, 使用済みイオン交換樹脂など)や, 可燃廃棄物の焼却灰, 気体処理から発生するフィルタ類, 施設の保守・点検等で発生する雑固体廃棄物などからなる。また, 施設解体時には, 建屋のコンクリートや鉄骨などが廃棄物となる。

現在, ウラン廃棄物は処理されておらず, 安定に保管された状態にある。基本的には, 発電所の低レベル放射性廃棄物の処理技術を適用可能であるが, ウランには資源としての側面があること, 半減期が長く放射能の有意な減衰が期待できないことなどの課題もあり, 廃棄物の除染性能向上や, 除染物からの効率的なウラン回収技術が期待されている。

2. 研究施設等廃棄物

放射性同位元素は, 医療, 研究, 産業分野等で幅広く利用されており, 現在およそ 5,000 以上の施設で用いられている。これらの施設から発生する放射性廃棄物は, 研究施設等廃棄物と呼ばれる。これらの廃棄物には, 発電所等で発生する種類以外にも, 動物廃棄物や実験廃液など特有の廃棄物が含まれ, 多種多様な形態の廃棄物を含むことが大きな特徴となっている^{24, 25)}。

現在は, 圧縮や焼却などの処理が行われているものの, 大部分は安定に保管されたままの状態にある。多様

な廃棄物を含むことから廃棄物の分別の負担を軽減可能な熔融処理や, 揮発性核種の除去等を目的とした仮焼処理が有望な技術として期待されている。

V. おわりに

本稿では, 原子力発電所, 六ヶ所及び JAEA 東海再処理工場における放射性廃棄物の保管, 処分に向けた減容, 固化処理技術について分かりやすく解説した。今後, 放射性廃棄物の処分に向けた減容, 固化処理技術が重要視されてくると推察される。放射性廃棄物の処理に関してなじみの薄い読者に現状の放射性廃棄物の処理の状況が伝われば幸いである。詳細なデータや情報は参考文献等を参照されたい。

— 参考資料 —

- 1) 長尾誠也, 他, 「バックエンド連載講座 放射性廃棄物概論, 第 1 回」, 日本原子力学会誌, 56 (9), 593-597 (2014).
- 2) 日本国政府, 使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約, 日本国国別報告書, (2011).
- 3) 宮坂靖彦, 「JPDR 解体プロジェクトの概要と成果」, デコミッションング技報, No.14, p.24-33 (1996).
- 4) 日本原子力発電(株), 「東海発電所の廃止措置クリアランス制度の適用」, <http://www.japc.co.jp/project/haishi/clearance.html>.
- 5) 浜田宣幸 他, 「クリアランスのためのウエットブラスト除染性能確認試験」, デコミッションング技報, No.45, p.2-9 (2012).
- 6) 村上督, 他, 「試験研究炉等廃止措置における除染技術実証試験」, デコミッションング技報, No.40, p.11-22 (2009).
- 7) 阿部昌義, 他, 「極低レベルコンクリート廃棄物の埋設実地試験」, デコミッションング技報, No.15, p.50-58 (1996).
- 8) 秋山和樹, 他, 「バックエンド連載講座 放射性廃棄物概論, 第 2 回」, 日本原子力学会誌, 56 (10), p.656-660 (2014).
- 9) 櫻井次郎, 他, 「東芝のバックエンド関連技術の開発」, デコミッションング技報, No.28, p.30-46 (2003).
- 10) 野下健司, 他, 「セメント系材料による放射性核種の取着」, 放射性廃棄物研究, Vol.3, No.2, 63-70 (1997).
- 11) 佐々木忠志, 他, 「低レベル放射性廃棄物のスラグセメント減容固化処理技術」, 放射性廃棄物研究, Vol.3, No.2, 45-54 (1997).
- 12) 原子力環境整備センター, 「低レベル放射性廃棄物処分用廃棄物製作技術について(各種固体状廃棄物)」, (1998).
- 13) 脇寿一, 「余裕深度処分対象廃棄物の基本的要件」, 平成 20 年度「放射性廃棄物管理専門研究会」報告書, 平成 20 年 11 月.
- 14) 西尾隆志, 他, 「コールドクルーシブル誘導熔融技術の原子力分野への適用」, 「KOBE STEEL ENGINEERING REPORTS/Vol. 53 No. 3 (Dec. 2003)」.
- 15) 藤沢盛夫, 他, 「放射性廃棄物処理・処分技術」, 富士時報, Vol.76, No.6, 2003.
- 16) Y.Akai, *et al.*, "Development in waste volume reduction technologies for highly contaminated organic radioactive compounds", Proc. Int. Conf. on International Congress on Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP 06), Rino, Nevada, USA, June 4-8, 2006, No.6233 (2006).

- 17) 松鶴秀夫, 他, 「Fe(II)-H₂O₂による粉末状陽イオン交換樹脂の酸化分解」, JAERI-M 82-087, (1982).
- 18) 宮本均, 他, 「使用済み放射性イオン交換樹脂処理技術の開発・実用化」, 三菱重工技報 原子力特集 1998年.
- 19) 住谷貴子, 他, 「使用済樹脂の化学除染技術の開発」, 日本原子力学会「2013年春の年会」.
- 20) 杉森俊昭, 他, 「使用済みイオン交換樹脂の分解処理に関する研究開発」, 日本原子力学会「2014年春の年会」.
- 21) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構, 「TRU廃棄物処分技術検討書-第2次 TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ」, 第2章, 平成17年9月.
- 22) 原子力委員会, 「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」, (2000).
- 23) 山本正史, 「ウラン廃棄物の処理処分について」, 京都大学原子炉実験所 平成12年度「放射性廃棄物管理専門研究会」報告書, pp.63-72 (2000).
- 24) 宮本陽一, 「研究施設等廃棄物埋設事業の進捗状況について」, デコミッションング技報, No.45, p.10-28 (2013).
- 25) 古川修, 「RI廃棄物管理の展望(現状と将来)」, 京都大学原子炉実験所 平成17年度「放射性廃棄物管理専門研究会」報告書, p.1-10 (2005).

著者紹介



三倉通孝 (さそう・みちたか)

㈱東芝 電力システム社
(専門分野/関心分野) 放射性廃棄物処理・処分, 放射化学, 核燃料再処理, 環境修復



金子昌章 (かねこ・まさあき)

㈱東芝 電力システム社
(専門分野/関心分野) 放射性廃棄物のセメント固化, 人工バリア材の長期劣化評価, 核種移行挙動評価



雪田 篤 (ゆきた・あつし)

日立 GE ニュークリア・エナジー(株)
(専門分野/関心分野) 液体・固体放射性廃棄物処理, 固化, 処分



野下健司 (のした・けんじ)

日立 GE ニュークリア・エナジー(株)
(専門分野/関心分野) 放射性廃棄物固化, 天然バリア・人工バリア材中の核種移行挙動評価, 収着メカニズム評価

日本原子力学会誌 ATOMOS 広告のご案内

一般社団法人 日本原子力学会

「日本原子力学会誌」は、特集・解説・講演等、広く原子力に関わる記事を掲載し、我が国原子力研究、産業の発展に資するべく、努力しております。学会誌は毎月約8,000部が発行されており、電力、メーカー、大学、研究機関を中心とする会員および賛助会員の原子力関係者はもとより、広く原子力関係機関、市町村、マスコミ等にわたっております。本誌への広告掲載は、発展の一助になるものと信じておりますので、ぜひ、広告の掲載をお願い申し上げます。

■賛助会員料金(消費税別)

表2	150,000円	前付	110,000円
表3	140,000円	後付	100,000円
表4	190,000円	差し込み	230,000円

※差し込みは本誌に同封となります。

■一般料金(消費税別)

表2	160,000円	前付	120,000円
表3	150,000円	後付	110,000円
表4	200,000円	差し込み	240,000円

■上記の金額は、1ページあたりのモノクロの料金です。カラーの場合、1ページあたり120,000円追加となります。

■過去1年以上毎月出稿された機関につきましては10,000円引きとなります。

■連絡先 105-0004 東京都港区新橋2-3-7 新橋第二中ビル3F, 一般社団法人 日本原子力学会, 学会誌編集担当 富田, 野口

TEL 03-3508-1262, FAX 03-3581-6128, E-Mail: hensyu@aesj.or.jp

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



ハーグ核セキュリティ・サミットに併せて開催された 原子力産業サミットの概要 原子力事業者の取組

日本原燃(株) 岩本 友則

オバマ米大統領のプラハ演説での提案により開催に至った核セキュリティサミットは、オランダのハーグで第3回が開催された。この政府レベルの核セキュリティサミットのサイドイベントとして、実際に核物質を扱い管理する原子力産業界のセキュリティサミット(核セキュリティ産業界サミット)がアムステルダムで開催されたことから、核セキュリティ産業界サミットの概要とサミットを通じた原子力産業界における核セキュリティに関する取組について報告する。

1. はじめに

核セキュリティサミットは、オバマ米大統領のプラハ演説での提案で2010年4月に第1回首脳会議が米国ワシントンDCで開催され、日本を含む47か国と3国際機関が参加した。

当該サミットは、核セキュリティ(核テロ対策等)向上のための国内措置及び国際措置等について検討するもので、第1回サミットにおいて核テロ防止に向けた核物質の国際的な管理体制の確立を目指すとしたコミュニケと、それを補強するため各国が自発的に実施する作業計画を採択した。また、サミットのコミュニケで表明された「原子力産業界との協力」を受け、産業界が政府とともに推進するアクションプランに対応するための会議として「核セキュリティ産業界サミット(Nuclear Industry Summit: NIS)」において、核物質防護、計量管理、核セキュリティ文化の醸成、研究炉の低濃縮ウラン化、機微情報管理に関する国内規制の枠組み強化に関する産業界の役割と対応が協議されることとなり、政府レベルの核セキュリティサミット(NSS)のサイドイベントとして産業界の代表が集まりNISが開催されている。また、その他のサイドイベントとして、大学、研究機関、シンクタンク等によるNuclear Knowledge Summit (NKS)が開催されている。

NISを通じた原子力事業者の核セキュリティに係るこれまでの取組とオランダ・ハーグ第3回核セキュリティサミット(2014年3月24～25日)に併せてアムステルダムにおいて開催されたNISの概要及び産業界の取組について以下に報告する。

Outline of Nuclear Industry Summit in Conjunction with Hague Nuclear Security Summit and Industry's Efforts : Tomonori IWAMOTO.

(2014年8月25日 受理)

2. 第1回から第2回NISまでの取組

第1回ワシントンにおけるNISの共同声明を受け、合意した作業計画の実施状況をレビューし、今後の取組の方向性について議論することとし、第2回韓国ソウルNIS(2012年3月23日)開催に向け、ワーキンググループ(WG)の活動は、半年以上前から開始している。ソウルNISにおけるWGは、以下の3つのWGが設置された。

WG1: 民生利用の高濃縮ウラン(HEU)の最小化(具体的には、医療用Mo-99製造のための研究炉用燃料をHEUから低濃縮ウラン(LEU)への転換)

WG2: 機微情報の管理

WG3: 福島以後、安全とセキュリティの連携

上記のWGにおいて各テーマに対応した提案を検討し、作成された3つのレポートは、下記に示す「共同宣言」としてまとめられ、諮問委員会において採択後、政府レベルの核セキュリティサミット(NSS)にNISの取組として表明された。

- (1) セキュリティ文化の醸成と、地域および国際協力を推進する
- (2) 医療またはその他の目的で利用されるアイソトープ製造の新技术に関する研究開発は、国際プログラムとして共同実施する
- (3) IAEAによる安全&セキュリティ基準の開発を支援する
- (4) サイバー脅威に対して継続的に監視する
- (5) セキュリティ強化のため、機微情報を含む核セキュリティ情報とベストプラクティスの交換を促進する
- (6) IAEAが推奨する核セキュリティと安全の統合化を支援する
- (7) 国際会議やフォーラム等によるグローバルな対話

を推進する

- (8) IAEA によるフォーラムや国際会議などを通じて、セキュリティと安全に関する情報交換を目的とした産業レベルでの対話活動を推進する
- (9) IAEA および国際組織(先進原子力産業界)は、原子力新興国における原子力安全とセキュリティのインフラ構築に対し、要求に応じて支援する

3. 第3回 NIS の概要

第3回 NIS は、URENCO (株)オランダがホストとなり、WG の実施等を含め約1年の準備期間を経て2014年3月23～24日アムステルダムで開催され、米、カナダ、蘭、仏、英、独、日、中、台、韓、印、豪、アルゼンチン、インドネシア、UAE、伊、西、チェコ、カザフスタン、ルーマニア、パキスタン、南アフリカ、ナイジェリアなど世界の企業・団体からの最高経営責任者やリーダー等約200名が参加した、極めてハイレベルで大掛かりなものであった。

2010年4月(ワシントンDC)及び2012年3月(ソウル)に引き続き3回目となる本NISでは、①WG1:セキュリティガバナンスの強化、②WG2:サイバー脅威への対処、③WG3:懸念すべき物質の管理(前回のWG1の継続テーマ)の3つのWGが設置され、日本からは、関西電力(株)(WG1)、日本原燃(株)(WG2)、日本原子力研究開発機構(WG3)がWGメンバーとして参加した。

会議の進行は、英国BBCにて活躍しているサイエンス・プロデューサーのA.Lamont 女史がモデレーターとして会場からの質問を、壇上のメンバーに振りながら回答を求め、自らも質問を投げかけるなど切り込んだ論議がなされた。

4. Pre-サミット

3月23日Pre-サミットとして各WGの最終確認会合、映画「パンドラの約束(Pandora's Promise)」の上映と同映画監督Robert Stone氏への質疑応答が行われた。その後、オープニングセッションが行われ、M. Rutte 首相の挨拶から始まり、この挨拶の中で地球環境を鑑みた原子力エネルギーの必要性、安全の向上とセキュリティ強化について言及があり、実際に核物質を管理し取り扱う原子力事業者に対する確かな核セキュリティ実施責任があること、また、核セキュリティの向上のためには、政府と産業界との緊密な連携の必要性が強調された。

アイゼンハワーグループ代表S. Eisenhower 女史からAtoms for Peace Program 60周年を踏まえ、原子力の平和利用と平和利用における核セキュリティの継続的対応について、欧州産業会議のJ. Poncellet 氏から原子力産業における安全・核セキュリティへの取組の重要性についてスピーチが行われた。

5. 本サミット

3月24日の本サミットとして、H. Kamp・オランダ経済大臣による開会挨拶およびURENCO(株)、NEA、World Institute for Nuclear Security (WINS) 及びWANOからの基調演説に引き続き、各WGから、それぞれの検討テーマに関する背景や現状、WGでの議論の紹介、今後の産業界として取り組むべき課題等の提案がなされた。要点を以下に紹介する。

(1) 基調講演

(1) R. Echaverri OECD/NEA 事務局長の講演概要

今後の原子力エネルギーの展開における経済、社会、環境要因から以下の点が述べられた。

① 原子力開発は中長期的であり、新たな原子炉の建設も含め原子力への投資には、政府の安全性に係る規制が必要。また、経済状況はベースロード電源の選択に影響する。NEAは、再生エネルギーはコストおよび補助の問題があり、長期的な課題と考えている。

② 原子力の社会的受容の観点では、安全確保と廃棄物管理が肝要であり、福島後も原子力利用を決めている国は多く、多くの議論が必要となろう。

③ 地球環境や気候変動において、原子力は有効な選択肢であり、原子力は莫大なCO₂を削減できる。一方、自然エネルギーはエネルギーのごく一部を代替するにとどまる。原子力の安全確保徹底の上で原子力を利用していくべきである。

(2) R. Howsley WINS 代表の講演概要

経営層から実務者に至る核セキュリティに対する意識・能力の必要性について以下の点が述べられた。

① 企業がガバナンスと核セキュリティ戦略は環境、財務、安全に比べ弱い。取組はトップから始まることを認識すべきである。

② 企業の核セキュリティに対する戦略・アプローチが必要であり、職員の能力にギャップがある。管理職も核セキュリティの専門性を持つべきであり、そのため、WINSアカデミーを設置し、能力開発の機会を提供している。

③ 安全と核セキュリティには隔たりがあり、核セキュリティの専門的教育が不十分である。それは、一部の専門家任せで、これは情報管理の厳しさから生じていると考えられる。

④ 原子力でセキュリティによる重大な事故を起こさないため、役員会が優先付けを行うこと、核セキュリティにはサイバーなどズル賢い世界があり、物理的防護に限定しないこと、秘密性が安全確保と核セキュリティとの共有を妨げていることの3点が指摘された。

(3) K. Ellis WANO 事務局長の講演概要

原子力発電所における安全性の継続的改善について以

下の点が述べられた。

① 核セキュリティに係る企業がバナンスについては、専門部署にとどめず経営層に情報が集約できること、企業活動に核セキュリティリスクと緩和戦略がクリティカルであり、核セキュリティ文化の醸成、役員会と独立した部会 Nuclear Security Review Board を設置して、核セキュリティ監査と役員会へ報告を行う。

② リスク評価は、国が設計基礎脅威を設定し、発電所は、脆弱性の対応に集中する。

③ 原子力業界には運転経験共有の仕組みがある。情報が機微で国のルールなどがある中で、運転経験共有のよい仕組みを構築することが急がれる。(WINSの最善慣行良好事例ガイドが参考になる。)

④ 核セキュリティは、安全にも貢献できるが、一方で核セキュリティ事象があるなら、どこでもそれは起こりうる。

会場から、福島第一事故を防げなかったこと、また、WANOは商用炉から産業界全般に広げないのか、について質問があり、Ellis 事務局長からポスト福島委員会の取組について説明された。

(2) 各WGからの報告

(1) WG1 セキュリティ・ガバナンスの強化

(座長：D. Hawthorn Bruce Power 社長)

事業者が守るべき原則として、「規制の順守」「産業界の核セキュリティ・プログラム」「産業界の経験」「緊急時対応」などが提言された。

質疑応答の中で、資格認定プログラム、武力対抗訓練、自己評価、安全性と核セキュリティの両立、運転経験の共有の難しさについて紹介があった。

(2) WG2 サイバー脅威の取扱い

(座長：L. Oursel AREVA 社長)

WG2は、昨今のコンピュータ技術の進歩を踏まえ、サイバー脅威についても核セキュリティにおいて対応すべき重要な点との認識から、今回NIS2014でWGを設置し検討したもので、事業者並びに関係国(仏、日、韓、蘭、露、英、米、UEE)の対応状況について評価し、強化のため以下の提言がなされた。

- ① サイバー脅威に対するリスクの緩和措置
- ② サイバー脅威を踏まえた施設設計
- ③ 核セキュリティ文化及びサイバー脅威に関する能力の向上
- ④ サイバーセキュリティに関する情報交換及びフォーラムの設置
- ⑤ 適切な規制と対策と国のイニシアティブを支援し続けること
- ⑥ サイバー脅威への産業界協力の強化

⑦ サイバーセキュリティ文化と能力を組織内で改善すること

討議において、サイバーセキュリティは追加事項ではなく、セキュリティの基本事項であり、核物質防護、サイバー、情報管理の3点はセキュリティの基本要件であり、切り離せないとの見解で一致した。

(3) WG3 懸念物質の管理

(座長：A. Paterson ANSTO 社長)

WG3は、前回のNISにおけるWG1の継続テーマとして民生利用の高濃縮ウラン(HEU)の最小化(具体的には、医療用Mo-99製造のための研究炉用燃料をHEUから低濃縮ウラン(LEU)への転換である。その対応が順調に進んできたことの報告と、以下の提言がなされた。

- ① HEUの利用を更に最小化する努力
- ② 高密度燃料の開発を促進
- ③ LEU化に係る経験と技術の共有化
- ④ 新技術により、HEUターゲットも使わない方法の検討
- ⑤ 国の役割の重要性の認識
- ⑥ 19.75%濃縮ウランの供給者の確保
- ⑦ 技術的かつ経済的な研究炉使用済燃料の再処理手法の検討

会場から、公衆の懸念は、安全、廃棄物の管理、核セキュリティだが、原子力産業がなくなっても廃棄物は残る。廃棄物に対するセキュリティの検討は、次回のNISのテーマではないか？ また、HEUからLEUへの転換が進んだが、使用済燃料中のHEUについても検討すべきではないかとの意見が出された。

(3) パネルディスカッション

3名のパネリスト P. Wilke氏 NKS組織委員長より「NKS概要について」、F. Majoor大使(NSS特別代表)より「核セキュリティと国家の責任」、T. Gitzel WNA議長より「核セキュリティ要求の枠組み作りと履行における産業界の役割」についてそれぞれスピーチがあり、パネルディスカッションがなされた。特筆すべき点を以下に紹介する。

① 兵器級核物質は、産業界には15%が保有され、85%は軍事であることがコメントされ、この点についてF. Majoor大使は、兵器級物質については秘密性文化を破る必要があり、NSS2016で扱えればとの希望が述べられた。

② 核セキュリティのリスクについて現実的シナリオ設定があるのかとの問いかけがあったが、Wilke氏から、シナリオを決めると対応を限定することになるとの指摘と、福島第一においても想像もしていなかった事故で、テロにも大きな想像力が必要とのコメントが出された。

最後に、モデレーターから、各界(学界、政府、産業界)の理想とする所について質問があり、Wilke氏からは、理想は良い実践を組み合わせること、一致は困難であるが、また、そこから新しいアイデアが出るであろうこと、Majoor大使は、宣言された方針ではあるが核兵器を撤廃し、核物質を平和利用することとのコメントがなされた。Gitzel WNA 議長からは、原子力には発がん性、軍事への転用が連想されるが、「クリーン」「信頼性」が原子力の特徴であり安全性を強化し、それを示すこと、また、規制と産業界が緊密な連携を図ることとのコメントがなされた。

6. NIS2014 共同声明

最後に主催者である H. Rakhorst URENCO (株)副社長より NIS の取組として NSS2014 へ表明する以下の共同声明が読み上げられ拍手により採択された。

(1) 核物質防護およびサイバーセキュリティを考慮した設計 (security-by-design) を盛り込んだ国内外のガイダンスと、良好事例を盛り込んだ核セキュリティ対策を統合する

(2) 原子力業界の長所である互いに学び合うことが、安全性と運転業務の改善に結びついたことから、国内法に基づいて、この国際協力、情報交換、レビューの精神を可能な限り広げる。

(3) セキュリティ対策(規定)の充足性を日常的に評価するとともに、サイバーセキュリティをはじめとする、セキュリティの実施に対して、パフォーマンスとリスクに基づいた手法を推進する。

(4) 核セキュリティ分野におけるコーポレートガバナンス手法を強化し、組織全体を通じて強力なセキュリティ文化を醸成する。

(5) セキュリティ説明責任を持つすべての人員に対する、人選、教育訓練、資格認定の適切な基準を定め、力量を有していることを明確・確実にする。

(6) 統合セキュリティ・プログラムの一環として、核物質防護、サイバーセキュリティ、情報セキュリティなどのセキュリティに関する説明責任を明確に指定する。

(7) 施設と政府機関の適切な協力と連携をもって、緊

急時に施設の職員と公衆に警告を与え、防護する上で十分な規定を定める。

(8) 国と産業界の協力をはじめとする様々な場において、ダイナミックかつ国際的なサイバーセキュリティ上の脅威の管理について議論を続けるとともに、議論を運転基準へと拡大させ、原子力業界に共通の枠組みを提供する。

(9) 良好事例の共有を目的に、サイバーセキュリティをテーマにした検討の場を定期的に設け、既存および今後の脅威に関する情報を交換し、産業界の連携を強化する。

(10) HEU (高濃縮ウラン) の使用については、技術的・経済的に実現可能な場合、研究炉において HEU を LEU (低濃縮ウラン) 燃料へ変換し、放射性同位体生産においては Mo-99 の継続的かつ安定した供給を確保しながら HEU から LEU へとターゲットを切り替え、さらなる最小化に努める。

(11) 既往の科学的協力を強化すると同時に、世界的なレベルで産業化問題に取り組み、高密度燃料 (high-density fuel) の開発を促す。

(12) 濃縮度 19.75% の濃縮ウランの供給元の分散化と、LEU 研究炉用燃料の実行可能な処分手段を確保することを行政および関係機関と約束する。

(13) 不使用線源 (disused sources) の返還、その返還に伴う所有者への物的 / 財的支援、および不使用線源の管理のための施設の提供について行政と約束する。

参加者は、2016年に米国で行われる次回核セキュリティサミットに合わせて開催される NIS において、更なる核セキュリティ対策の強化について報告することを合意した。

著者紹介

岩本友則 (いわもと・ともり)

日本原燃(株)

(専門分野) 保障措置、核物質の計量管理、核物質防護



会議報告

原子力分野のリーダー育成をめざして 日本と IAEA がマネジメントスクールを開催

「原子力発電導入国で原子力政策に携わっていますが、真新しい話ばかりで大変でした。しかし、世界の原子力事情を知ることができ、広い枠組みの中で自身の業務がどう位置づけられるのか、原子力エネルギー全体を考えるよいきっかけになりました」——IAEA が世界中の若手人材を対象に開催した本スクールの参加者から寄せられた感想である。

その研修会の名称は「原子力エネルギーマネジメントスクール」。世界各国で将来、原子力に関する計画を策定したり管理したりするリーダーを育成するために、IAEA が開講したコースだ。2010年にイタリアで始まり、これまで4ヶ国で計9回開講された。

日本ではこれまで3回開催され、今年6月には東京と東海村で17日間にわたって実施された。運営したのは日本の原子力人材育成ネットワーク、原子力機構、東京大学大学院工学系研究科原子力専攻、日本原子力産業協会及び原子力国際協力センター。なお今年から運営は日本が主として行うこととなったことから、名称に Japan-IAEA Joint と冠することとなった。

6月のスクールに参加したのは、バングラデシュ、中国、チェコ、ハンガリー、トルコ、インドネシア、カザフスタン、リトアニア、マレーシア、ポーランド、UAE、フィンランド、南アフリカ、タイ、ベトナム、韓国の16ヶ国からやってきた21人。政策や規制組織の担当者、プロジェクト企画・管理担当者、技術者、研究者など、将来その国のリーダーとなることが期待される人材が集まった。彼らの平均年齢は35歳。そのほかに日本国内からは原子力機構や電力会社、メーカーなど11人が参加した。

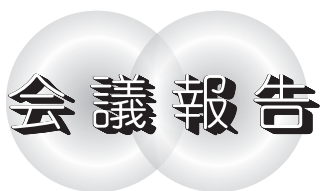
スクールの前半は東京大学を会場として、原子力委員会や清華大学、韓国電力大学院、IAEA、日本の大学な



どの講師が講義。内容はエネルギー戦略、核不拡散、国際法、経済、環境問題、人材育成など多岐にわたった。テクニカルツアーではいくつかの原子力施設を見学。とりわけ中部電力の浜岡発電所にある「失敗の回廊」の見学(写真左下)が、参加者からは事故の教訓を学べると評価された。さらに東海村の中学生と、英語による交流活動(写真右上)も行った。

一方、グループ討論(写真右中)では、それぞれ5人程度でエネルギー計画や立法、核燃料サイクルと廃棄物管理、セキュリティ保障措置、知識管理と人材、放射線リスクのコミュニケーションとアウトリーチをテーマに議論した。参加者は国ごとに、原子力をめぐる状況が異なる。背景となる文化や言葉そのものも異なる。そんな中で参加者は、その垣根を越えて実践的なチームワークで共同活動に取り組み、その議論の成果を最後に公表した。(日本原子力研究開発機構・山口美佳)





若手の国際的なプレゼンス強化を！

International Youth Nuclear Congress 2014
2014年7月6日～12日 (ブルゴス, スペイン)

International Youth Nuclear Congress (IYNC) 2014は、世界の原子力業界の若手(原則35歳以下)によって構成される国際NGO・IYNCが主催する国際会議で、国際的な専門家ネットワークの提供、原子力技術の平和利用の促進、知識の世代間継承を目的として、2000年以来、隔年で開かれている。本会議は、プログラム編成や会場手配、参加募集、講演者招聘、資金調達など、運営の全てを若手が担うのが特徴であり、IYNCには約40カ国のYGN (Young Generation Network, 原子力青年ネットワーク連絡会と同様の国別の若手組織)が加盟している。

8回目となる今回は、2014年7月6～12日、スペイン・ブルゴスにて開かれた。世界34カ国から計382名の参加があり、11件の基調講演と174件の一般講演が行われた。今回、国際動向の把握と日本のプレゼンス向上を目的として、原子力青年ネットワーク連絡会(日本YGN)から5名が参加した。日本全体からの参加者は18名であった。

会議の内容は、発電所の保守運転、次世代炉、シビアアクシデント、核燃料サイクル、放射性廃棄物処分、人材育成、医療応用等、原子力全般にわたっており、一般講演のみならず、パネルセッションやワークショップ(討論会)も多数行われた。実にボリュームたっぷりのプログラムであったため、多くのセッションが同時進行となり、参加者に暇を感じさせない構成であった。

また今回は、特別セッション「福島」が開かれ、日本の原子力分野の若手が世界各国の若手に対して、東京電力福島第一原子力発電所(1F)のオンサイト及びオフサイトの現状や課題について報告した。これはわれわれ日本YGNが企画、主催したものであり、詳細を本学会誌において別途報告の予定である。

キーノートセッションでは、元欧州議会副議長のAlejo Vidal Quadras氏が、中国、インド、アフリカの経済発展に伴うエネルギー消費増大と、米国のシェールガス革命によるエネルギー需給構造の変化について触れ、EU経済における原子力の重要性を主張した。原子力利用における公衆の理解は重大な問題であり、1F事故はネガティブな影響を与えているが、原子力の受容度は近年改善しつつあるとのことであった。ウエスチングハウスCEOのDanny Roderick氏は、2030年までに250GWの電力需要の増大が見込まれることから、原子力市場は今後も拡大する見通しであることを述べた。また、次代を担う若手へのメッセージとして、「自分の専門性に照らして問題ではないかと感じたときには、若手

であっても組織の中で問題提起する勇気を持つべきだ」と述べたことが印象深かった。一方、原子力安全をテーマとしたプレナリーセッションでは、近藤駿介 NUMO 理事長が1F事故後の原子力安全のあるべき姿について述べ、過去に学び未来に活かす姿勢の重要性を強調した。WANO代表取締役のKen Ellis氏が原子力発電所の長寿命化のメリットとデメリットについて述べたほか、英原子力規制局(ONR)前首席調査官のMike Weightman氏は安全性の向上とコストのバランスの問題について述べ、「How much do you spend to make it safe enough?」を考え続けることの重要性を伝えた。

有力者らの講演から感じられたのは、エネルギー需要の拡大や温室効果ガスの削減といった世界的な問題に対し、原子力によって解決を目指すという使命感であり、これからはそれを若手が担っていくのだという強いメッセージであったが、ある若手からの「新規建設が撤回・凍結される事例が近年見られる」というコメントに対し、Roderick氏が「基本的にはビジネス上の重大なリスクとは考えていない」と答えたことは興味をひいた。Roderick氏からは、安全性を追求すれば原子力は受容されるというシンプルな態度が見て取れたが、質問者は、いかに安全性を追及しようとも潜在的危険性をはらんでいることに対する社会の懸念があり、それに原子力業界はどう応えていくべきかを問うていたように思えた。両者の間には、社会受容に対する認識に温度差があったのではないかと。もちろん有力者らの間にも温度差はあろうが、「Lessons and Learns from Fukushima」というキーワードを多くの講演で耳にしたものの、社会受容に関する問題に対してこの言葉が使われることがなかったことがそれをよく表している。われわれが主催した特別セッション「福島」では福島社会状況についても報告したが、そうしたローカルな情報にこそ若手が教訓とすべきものが多く含まれていたのではないかと思う。

IYNCの開催場所は、会議期間中のIYNC理事会において投票によって立候補国の中から決められる。次回は、2016年7月に中国・杭州で開催されることとなった。今回、われわれは会議の時間外に中国YGNおよび韓国YGNと会合を行い、今後より密に連携していくことを約束した。日本のプレゼンス強化のためにも、われわれ日本YGNは次回IYNCの会議運営に積極的に関与していくつもりである。

(日本原子力研究開発機構・佐藤真一郎、
2014年8月14日記)

理事会だより



学会活動の透明性の向上と経営改革の進捗

学会活動の透明性の向上への取り組み

当学会は、今までの活動が福島事故を防ぎ得なかったことを真摯に受け止め、定款の改定、行動指針と倫理規程の見直しを行いました。また、福島事故調査委員会(学会事故調)を立ち上げ、事故とそれに伴う原子力災害の実態を科学的・専門的視点から分析し、その背景と根本原因を明らかにするとともに、学会自らの組織的・社会的な問題点とも向き合い、原子力災害を妨げなかった要因を明らかにして、必要な改革を提言しました。報告書では、学会は社会からの信頼と負託に応える責務を有しており、「客観的、公平な観点から自立性をもった活動の重要性を認識し、自由で率直な意見交換を行える雰囲気醸成に努めなければならない」としております。

理事会として、これを受けて、これまで以上に学会運営の透明性、活性化を図るべく、いくつかの取り組みを始めております。

- (1) 理事会で何が議論されているのか、学会員各位に見えるようにし、学会員各位から理事会に提案等をしやすくするため、学会誌に「理事会だより」の頁を設けました。
- (2) 学会運営について、学会内外の方々からご意見、ご指導いただく「外部諮問」制度を発足させました。
- (3) 学会での学術的な成果を一般の方々に広くお知らせするために、会長記者会見等を積極的に行うことにしました。
- (4) 学会員にとって利用しやすく、また一般の方々が良質な情報を容易に入手できるよう、学会 web のリニューアルを今年度中に行うこととしました。

(理事・副会長 柴田 洋二)

経営改革の進捗

当学会では、平成 23 年度に一般社団法人へ組織変更しましたが、その年の予算案は約 3 千万の赤字を見込んだものでした。3 月 11 日に東京電力福島第一原子力発電所の事故が発生し、電力事業者等の賛助会費の削減、民主党政権下での政府関係組織からの委託事業の減少、賛助会費の削減等が見込まれ、抜本的な経営改善策を取らない限り、数年のうちに、経済的に破綻することが危惧されました。そこで、理事会直結の経営改善特別小委員会を平成 24 年 1 月に立ち上げ、平成 24 年度上期に企業経営の経験豊富な方に改善策の提案を委託し、①事務局と理事会の連携の強化、②事務局職員の給与体系・就業規則の同規模の民間会社並みへの見直しおよび事務所

賃料の低減、③学会内組織の責任と権限の明確化、④実態が掴みにくい予算書類の見直しを含め、事務局業務合理化のための規定類の見直し等の提言を受けました。

理事会では、この提言を受け、平成 25 年度から職員の給与体系の全面見直しを含め、本格的に各種の改革を進めてきました。この過程では、大会参加費の値上げ等、直接会員の皆さんにご負担をお願いしたのもありますし、学会誌を担当している編集委員会には、大幅な体制変更をお願いしました。また、部会等の活動に当たっては、各組織で独自の収入源を確保して頂くようお願いしました。さらに、事務局職員の皆さんには、まさに身を切るような協力を頂いたことを申し添えます。

以上のように皆さんにご協力をお願いした結果、収支バランスは改善され、平成 24 年度及び 25 年度の決算ではわずかながら黒字を計上することができました。これに油断することなく、経費削減は引き続きお願いしてまいります。しかし、小康を得た現状は、会費収入や受託収入の減少傾向に歯止めがかからない中で、会員や事務局職員に我慢をお願いして支出の抑制をした結果であり、言わば縮小均衡状態と認識しています。このままでは「学会としてやるべきことができていないのではないか」という問題意識もあり、この改革期間中でも、既存の基金を取り崩すこと等で、福島特別プロジェクトによる福島復興への貢献や、学会事故調の活動は維持してきました。

平成 26 年度からは、前向きな活性化策への取り組みも始めています。具体的には、学会活動に少しでも参画している組織をこまめに訪問して、賛助会員として入会して頂くよう勧誘する活動、部会や支部に本部から配賦されている予算の用途の制限緩和や、前倒し・繰越ができる制度の整備、年度予算に予備費枠を設け、年度途中に発生したニーズに対しても迅速に対応できる制度等です。また、新たに発足した会員サービス委員会とも連携し、学会の存在感を高める活動にも取り組み始めています。

福島事故後の自主的な安全性向上に大きな役割が期待される標準制定活動は、大幅な賛助金の削減等を受けて、財政的な見通しに非常に厳しいものがありますが、理事会は標準委員会と一体となって、標準制定活動を継続的に進めるための取り組みも進めていきます。

(理事・経営改善特別小委員会 主査 百々 隆)

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