

### 会長あいさつ

#### 1 学会の役割—学術と実働—

上坂 充

### 解説シリーズ

#### 21 地政学的リスクとエネルギー 第2回 米国新政権のエネルギー・環境政策

米国ではトランプ政権の規制緩和と政策により石油・ガス部門での生産・輸出拡大が進む可能性がある。一方でパリ協定離脱により同協定の目指す目標の実現可能性の低下が懸念される。

小宮山涼一

#### 31 断層変位に対するリスク評価と工学的な対応策 (その5) 機器・配管系に対する影響評価

断層変位に対する建屋の応答と耐力から、建屋内に設置されている安全上重要な機器・配管系の影響評価手法を紹介する。

佐藤邦彦, 他

#### 36 断層変位に対するリスク評価と工学的な対応策 (その6) 事故シナリオ・リスク評価

断層変位に対する裕度評価手法を用いたリスク評価の適用例と、原子力施設の安全性向上活動に活用していくための拡張例を通じて、影響が局所的な断層変位の特徴を考慮した工学的なリスク評価の有効性を示す。

黒岩克也, 他

### 時論

#### 2 「フクシマの教訓」と早稲田大学 ふくしま広野未来創造リサーチ センターの挑戦

松岡俊二

#### 4 福島県の環境を回復し、新たに創造する

角山茂章

### 解説

#### 12 今、大学における研究・教育現場から 訴える —春の年会セッションから

福島原子力発電所事故後、大学などの研究炉の停止や廃止が相次いだ。基礎・基盤研究の展開や人材育成への影響が懸念されている。

上坂 充, 他

#### 16 次世代リチウム資源循環型社会の 実現へ —核融合研究の新たなイノベーション

核融合炉燃料のトリチウムはリチウムと中性子の核反応で製造する。しかしリチウムは電気自動車用電池に使われるため、価格が急騰している。このため海水からリチウムを回収する基盤技術を確立した。

星野 毅

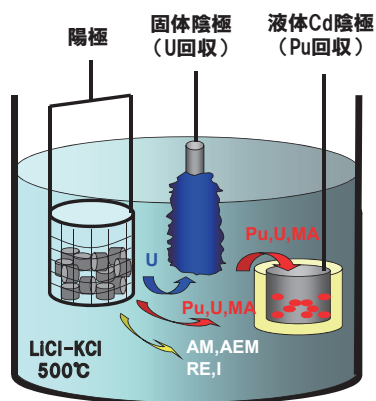


非連続イノベーションを伴うリチウム循環型社会

## 26 マイナーアクチノイドの分離技術

発電用高速炉の酸化燃料と金属燃料、加速器駆動システムの核変換用窒化物燃料を対象としたマイナーアクチノイドの分離技術について解説する。

「放射性廃棄物の分離変換」研究専門委員会



AM:アルカリ金属、AEM:アルカリ土類  
RE:希土類、MA:マイナーアクチノイド

電解精製工程の概要

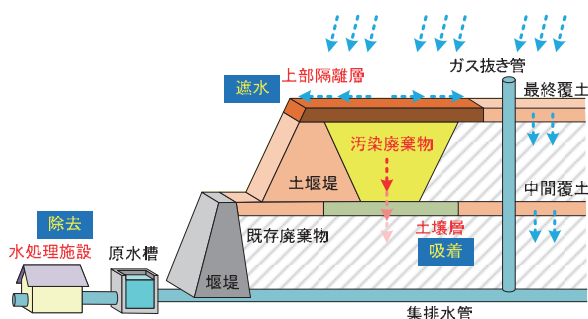
## 連載講座

### 福島環境回復に向けた取り組み (第5回)

## 41 放射性物質を含む廃棄物等の総合的管理

福島原発事故の影響で生じた汚染廃棄物は、放射性物質汚染対処特別措置法のもとで総合的に管理されている。その管理の基本的考え方、主要な技術プロセス、および今後の技術戦略上の課題について概説する。

大迫政浩, 倉持秀敏, 遠藤和人



放射性セシウムを含む廃棄物の管理型埋立処分  
(8,000Bq/kg 以下)

## 6 NEWS

- 高レベル廃棄物処分で科学特性マップ
- 原子力委が「基本的考え方」
- 九州電力が川内1号機で安全性向上評価
- 規制委, 検査官の資格制度導入
- 海外ニュース

## 報告

### 46 10万年間の安全とは～社会環境との接点を考える —使用済燃料直接処分も含めた高レベル放射性廃棄物地層処分に関わる諸課題と提言

我が国の核燃料サイクル政策に使用済燃料の直接処分を組み込むことは、社会環境に対してどのような意味や影響を持つのか。専門委員会での議論のあらましと提言を紹介する。

「使用済燃料直接処分に関わる社会環境等」研究専門委員会

### 50 学会誌アンケート結果サマリー (2017年3～5月号)

小林容子, 佐田 務

## 理事会だより

### 53 会員の維持と原子力への理解活動の取り組み

田中治邦

## 56 From Editors

57 会報 原子力関係会議案内, 人事公募, 新入会一覧, 英文論文誌 (Vol.54, No.9) 目次, 和文論文誌 (Vol.16, No.3) 目次, 主要会務, 編集後記, 編集関係者一覧

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

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

## 会長あいさつ

# 学会の役割—学術と実働—



第39代(平成29年度)会長

上坂 充 (うえさか・みつる)

16年ぶりに会長の2年続投となりました。昨年度の皆様のご協力に感謝し、その責任を重く受け止めて力を尽くして参る所存です。

この1年の原子力の状況は、5つの原子力発電所の再稼働となり、厳しい局面の中でも徐々に前進が得られております。ベストミックスとしての電源構成(原子力比率20-22%)を2030年に達成するには、既存原発の40年を超える運転、さらには新規原発建設の必要性の議論も始まっています。学会としては、原子力の安全・リスクにつき、人文社会学も視野に入れた議論を展開し、指標・目標を示していきたいと考えます。深層防護の第5層である防災対策にも踏み込んで参ります。大津地裁の高浜原発の仮処分の件は、学会誌および「2016年秋の大会」理事会セッションで取り上げ、学会全体で学習しております。地域住民の方々、ひいては国民の皆様全体の視線に立ちながら、活動していく所存であります。

福島県では4月に避難区域の一部解除がありましたが、避難されているの方々にはそれぞれのご事情がおありかと拝察いたします。多くの方々が1日も早く元の生活を取り戻されるよう願っております。廃炉計画には「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」を通して引き続き貢献して参ります。「福島特別プロジェクト」では復興に向けて地域の方々にお役に立てる活動を継続します。「福島復興・廃炉推進に貢献する学協会連絡会」は36学協会の参画を得て活動が開始されております。土木系、地質学系の学協会と連携も見えてくる段階となりました。廃炉・復興に向け、具体的なアクションプランを開始して参ります。

学会ではこれからの我が国の原子力を支える若手(若手連絡会)と学生(学生連絡会)の活動支援を推進しております。2020年に開催予定の原子力青年国際会議(IYNC)は、ぜひ日本に誘致出来たらと考えています。原子力人材育成ネットワーク活動との連携も強化しており、IAEAとの共同教材の国際標準化にも取り組みます。研究・教育・人材育成の面で、大学の研究炉の再稼働は朗報であります。これで原子力系学科・専攻の学生に対する原子炉の運転・使用の教育が再開されます。学会では出力とリスクに応じた規制のグレイデッドアプローチに関する具体的提言を作成していきます。原子力界の若手が学会の年会・大会にて発表しやすいよう、分野のキーワードを見直し、若手の学会主・共催のセミナー等活動の出席に関しては、CPD(Continuing Professional Development)として実績登録を推進していきたいと考えています。ホームページの充実など会員サービス向上は常に行って参ります。

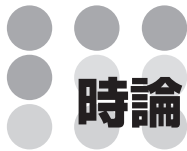
一方、核燃料サイクル、高速増殖炉、さらには核融合までを含めた総合的な議論を展開し、原子力の可能性を検討していきたいと思えます。放射線応用は、原子力の重要な分野であり、さまざまな活動を展開していきます。

このような折、日本原子力研究開発機構の大洗研究開発センターで被ばく事故が起きました。総力を挙げて安全・セキュリティ強化を図っていた最中の事故で、とても遺憾と感じております。同機構には、原因の分析と再発防止対策をお願いすると共に、学会でも職場環境・活性化・体制等の内的要因を分析し、事故防止に協力していきたいと思えます。

社会への発信は、会長記者会見・学会見解等、わかりやすく、頻度を上げて行います。学会からの情報発信の方法などについては、「2017年秋の大会」広報情報委員会企画セッションでの議論や学会誌を通じて、広く会員の方々と共有していきたいと思えます。学会の運営体制・規則の改善や透明化を行い、会員の皆様と一緒に学会を盛り上げていきたいと存じます。

(2017年6月30日記)





## 「フクシマの教訓」と早稲田大学ふくしま 広野未来創造リサーチセンターの挑戦



松岡 俊二 (まつおか・しゅんじ)

早稲田大学アジア太平洋研究科教授  
早稲田大学環境総合研究センターふくしま広  
野未来創造リサーチセンター長。専門は環境  
経済政策学。主な編著書に『フクシマ原発の  
失敗』早稲田大学出版部、2012年、『フクシマ  
から日本の未来を創る』早稲田大学出版部、  
2013年などがある。

早稲田大学ふくしま広野リサーチセンターの開設  
2017年5月25日、早稲田大学は、環境総合研究セン  
ターの地域リサーチセンターの一つとして「ふくしま広  
野未来創造リサーチセンター(RC)」を設置し、その開所  
式および記念シンポジウムを、福島県広野町公民館に  
て、地元住民やNPO関係者、国・県や町の行政関係者、  
東大や京大などの大学関係者を含む約100名の出席の  
もとに開催した。筆者は、本RCのセンター長としてふ  
くしま広野未来創造RCの立上げに関わってきた立場か  
ら、原子力災害からの地域再生に取り組む福島の復興の  
課題について述べ、原子力学会の諸氏と「フクシマの教  
訓」<sup>1</sup>について共に考えたいと思う。

### 福島原発事故から6年の日本の学術界

2011年3月11日の福島原発事故から6年が経過した  
が、福島の放射能汚染をめぐる風評被害は中国・韓国な  
どの周辺国も含めて国内外に根強く残る中で、福島復興  
への社会的関心は著しく低下している。かつて、日本国  
政府は「福島復興再生基本方針」(2012年7月13日閣議  
決定)において「福島の再生なくして日本の再生なし」と  
いう標語を掲げた。原子力災害の地・福島における地域  
社会の再生をなし遂げ、持続可能な地域社会形成の福島  
モデルを構築することで、衰退を続ける日本の多くの地  
域に対して実現可能な再生モデルを提示する決意を示し  
たのであった。2012年の閣議決定から5年が経った。  
今、「福島の再生なくして日本の再生なし」という標語を  
語る人は少ない。

福島原発の失敗は日本の科学技術だけでなく日本の大  
学の失敗でもあった。福島原発事故は、日本の多くの学  
者・大学人に、日本の学術研究体制や大学の教育研究のあ  
り方を根底から問い直さないといけないとの想いを強く

抱かせた。「福島の再生なくして日本の再生なし」は、「福  
島の再生なくして日本の大学の再生なし」でもあった。事  
故から6年がたった今、日本の大学の多くは真摯な反省  
や改革をすることもなく権力と癒着し、天下り人事を  
唯々諾々と受入れ、外部資金の獲得に汲々としている。

日本学術会議は、2017年6月8日に「原子力総合シ  
ンポジウム2017」を開催し、そのテーマは「原子力事故によ  
る影響と社会的側面～福島の現状と復興に向けて～」で  
あった。そのセッションで議論され提案された「フクシ  
マの教訓」とは、分野間交流の重要性や専門家と市民と  
の対話の必要性などであった。福島原発事故から6年を  
経た時点で、日本学術会議における「フクシマの教訓」を  
めぐる討論が、「異なる学術分野間の交流が重要」や「専  
門家と市民との対話が必要」といった事故後によく語ら  
れたし、事故以前においても語られていた重要ではある  
が極めて平凡な一般論に終始していることに、正直に  
言って非常に当惑した。

事故から6年も経って、いまだにこうした一般論を  
「フクシマの教訓」として議論している日本学術会議とは  
何なのだろうか。2週間前の5月25日に私たちが福島  
県で開催したふくしま広野未来創造RCの記念シポ  
で、被災地富岡町出身のH氏から「大学や学者は福島復  
興には役に立たない」と言われたことが脳裏に蘇り、な  
るほどこれでは福島の人々から「学者は役に立たない」と  
言われても仕方ないなと思ってしまった。言うまでもな  
く、日本学術会議のパネリスト各氏は今もなお福島問題  
に取り組んでいる社会的責任感の強い日本を代表する第  
一線の学者であり、そうした優秀な学者でさえこの程度  
なのである。しかし、これが福島原発事故から6年が  
経った日本の学術界の現状であり、日本社会のリアリ  
ティなのだし、我々はこのことから出発するしかない。

### 「フクシマの教訓」とは何か

さて、それでは事故から6年が経つ中で「フクシマの  
教訓」とは何なのか？ふくしま広野未来創造RCは何を  
すべきなのだろうか？

<sup>1</sup> 筆者がなぜ「フクシマ」という表記を使用するのかについて  
は、以下の早稲田大学レジリエンス研究所 Web サイトを参  
照ください。

[http://www.waseda.jp/prj-matsuoka311/material/fukushima  
20150302.pdf](http://www.waseda.jp/prj-matsuoka311/material/fukushima20150302.pdf)

そもそも福島原発事故は、1986年のチェルノブイリ原発事故と対比されて論じられるが、両者の背景となった社会制度は全く異なる。「豊かな民主主義社会」の中で起きた原発事故としてフクシマは、人類社会が初めて経験するものであった。日本だけでなく人類社会そのものが、豊かな民主主義社会における原発過酷事故に対応する有効な知恵や経験を欠いたまま、日本社会は連鎖的にエスカレートするレベル7の原発事故に対応せざるをえなかった。豊かな民主主義社会における原発過酷事故に対する経験と知恵の欠如を考えると、事故対応や避難対応の「良し悪し」ということを、後知恵で安易に言うべきではない。

### 福島復興政策の問題点

しかし、原子力災害という極めて特殊な災害であったにもかかわらず、福島の災害復旧政策は自然災害復旧の基本型である「出来るだけ早く元の状態に戻す」という旧来の思考の呪縛に囚われてきたように思える。その結果、早期全面帰還路線が福島復興政策の基本におかれ、早期全面帰還を前提にした除染政策や賠償政策が展開された。

早期全面帰還を基本とした福島復興政策は、多くの避難者は早期全面帰還を望んでいないのに、避難者は早期全面帰還を望んでいるはずだという「願望に基づく政策」になってしまった。また、早期全面帰還のために、強制避難や避難解除の放射線基準(リスクマネジメント基準)もトップダウンにより20mSv/年に決めるという「ボタンの掛け違い」を引き起こし(このプロセスは典型的な欠如モデル型リスクコミュニケーションであった)、結果として行政組織への「社会的信頼の喪失」をまねいてしまった。事故から6年経った今、早期全面帰還路線によって社会的に掛け違えたボタンをどのように掛け直すのか、失われた社会的信頼をどのように再建していくのかが問われている。

### イノベーション・コースト構想

イノベーション・コースト(福島・国際研究産業都市)構想の取組を含め、国や福島県では様々な取組を精力的に行っているが、イノベーション・コースト構想の中核は廃炉産業であり、それに付随したロボット産業開発である。福島県浜通り地域には、すでに楡葉町の楡葉遠隔技術開発センター、富岡町の廃炉国際共同研究センター国際共同研究棟、大熊町の大熊分析・研究センター、南相

馬市と浪江町のロボットテストフィールド、さらに南相馬市のロボットの国際産学官共同利用施設といった多くの箱物が、文字どおり地域にばらまくように建設されている。今後、この地域には廃炉作業員(現在も事故処理で7,000人程度の作業員が暮らしている)と廃炉研究者などの数万人程度が、外部から転入すると考えられる。

イノベーション・コースト構想が仮にうまくいき、廃炉産業クラスターといったものが浜通り地域に形成される時、福島県が福島復興計画(第3次)に掲げる「原子力に依存しない、安全・安心で持続的に発展可能な社会づくり」という基本理念と、どのような関係になるのだろうか。さらに福島県は「世界のモデルになるような復興・再生」を目指すことを掲げ、復興庁の「福島12市町村の将来像に関する有識者検討会提言」においても「世界に発信する新しい福島型の地域再生」を謳っているが、こうした地域再生の理念と廃炉産業クラスターとの関係は、住民にとって決して理解しやすいものではない。

### 福島浜通り地域のパラドキシカルな近未来像

問題は復興理念だけでなく、被災地の人々の地域の復興・再生への想いと照らし合わせてどうなのかという問題である。福島県の復興計画では、2020年度末に避難者数をゼロにするということが目標となっているが、最新の復興庁の避難者調査データ(2017年5月16日現在)では、福島県内の避難者23,897人、福島県外の避難者は35,818人となっている。2017年3月調査ではじめて逆転した県内と県外の避難者数の関係は、県内避難者数が急速に減少しているのに対して、県外避難者数の減少スピードは鈍く、今後も長期間にわたり県外避難が継続することを予想させる。

福島県浜通り地域の近未来像は、廃炉産業クラスターの形成による廃炉作業員など数万人の外部からの転入と、原子力災害による地域住民数万人の地域外への避難の継続という、極めてパラドキシカルなものである。豊かな民主主義社会における原発事故のPost-Accident Managementは、少なくとも数十年(セシウム137の半減期30年は一つの目安であろう)の長期の時間軸にわたるものであり、福島県外も含めた広域にわたる空間を対象とするものであり、この点が「フクシマの教訓」の根幹部分であり、こうした時間軸と空間軸を踏まえた福島復興とは何か問われている。

(2017年6月14日記)



## 福島県の環境を回復し、新たに創造する —福島県環境創造センターがめざすもの



角山 茂章 (つのやま・しげあき)

福島県環境創造センター所長

会津大学元学長，工学博士。東京大学理学部物理学卒業後，日本原子力事業株式会社総合研究所(後に東芝原子力研究所と合併)入社，長年原子力畑を歩んできたが，2002年に会津大学の産学連携構想によって立ち上げられた産学連携センターの教授として着任，翌年副学長兼務。2006年4月から2013年3月まで学長職，2014年4月から2015年3月まで顧問を務めた。

東京電力福島第一原子力発電所事故からの環境回復を進め，福島県民の皆さまが将来にわたって安心して暮らせる環境を創造するための拠点として，福島県が，三春町や南相馬市など県内各地に環境創造センターを整備し，2016年7月に全施設が開所しました。

本稿では，施設の概要や環境創造センターが担う機能などについて説明させていただきます。

### 環境創造センターの施設概要

環境創造センターは，「モニタリング」，「調査研究」，「情報収集・発信」及び「教育・研修・交流」の4つの機能を有する福島県の環境回復・創造に向けた総合的な拠点施設であり，福島県内各所に施設を配備し，各施設がそれぞれの役割を担っています。

#### 環境創造センター(三春町)

先述した4つの機能を有し，本館，研究棟及び交流棟「コミュタン福島」の3棟で構成されています。

本館には福島県が入居し，環境放射能のモニタリングや調査研究を行っています。

研究棟には，我が国唯一の原子力に関する総合的な研究開発機関である日本原子力研究開発機構と我が国の環境研究に関する中核的機関である国立環境研究所が入居し，福島県の環境回復・創造に向けた調査研究を行って



います。

「コミュタン福島」は，後述しますが，展示や体験研修を通じ，県民の皆さまの不安や疑問に答え，放射線を身近な視点から理解し，環境の回復への意識を深めていただくための施設で，国際会議，学会等を開催するホール・会議室も備えています。

#### 環境放射線センター(南相馬市)

環境創造センターの機能のうち，原子力発電所周辺における環境放射能のモニタリング等を行っています。

#### 野生生物共生センター(大玉村)

放射性物質が野生生物や生態系に与える影響の長期的調査，生物多様性の保全に向けた環境学習，野生鳥獣の救護や保護などを行っています。

#### 猪苗代水環境センター(猪苗代町)

猪苗代湖・裏磐梯湖沼群の調査研究，環境学習を行っているほか，環境保全活動の場を担っています。

#### 福島支所(福島市)

環境創造センターの機能のうち，環境放射能モニタリングのプルトニウム等の分析等を行っています。

### 環境創造センターの機能

先述のとおり，環境創造センターの機能は4つあり，それぞれ次のとおり取り組んでいます。

#### モニタリング

県内各地において，学校・公園等の定点測定，バス等を利用した走行サーベイ，モニタリングポスト等を用いた空間線量率の常時監視の実施など，きめ細やかなモニタリングを実施しています。

また，国の「総合モニタリング計画」に基づき国，県，市町村等で実施されている環境放射能モニタリングの測定結果の集約，情報共有を行い，効率的に活用する取組を行っています。

また，環境放射能の他，大気汚染，水質汚濁，騒音・振動，廃棄物，化学物質に関する調査分析を行い，データの管理及び情報発信を行っています。



## 調査研究

前例のない原子力災害からの環境回復・創造には、国内外の英知を結集して取組を進めていく必要があります。

このため、福島県のみならず、研究棟に入居している日本原子力研究開発機構と国立環境研究所、また、国際原子力機関と連携・協力して調査・研究を進めています。

## 情報収集・発信

各種の調査研究成果やモニタリング結果について、県民の皆さまに分かりやすい形で情報発信できるような体制の整備を進めています。

また、各種学会や国際会議等を通して、調査研究成果を国内外に積極的に発信していくとともに、福島県の除染などによる環境回復・地域再生状況について、一元的・網羅的な情報収集・発信に取り組んでいます。

さらに、「コミュタン福島」を活用し、各種イベント、ワークショップ等を通じて情報発信の機会の拡大に取り組んでいます。

## 教育・研修・交流

福島県の環境の現状や放射線に関する情報を伝え、福島県の未来を創造する力を育むため、放射線や環境問題に関する学習の支援、大学や他の研究機関等と連携した長期にわたる研究者等の人材育成、「コミュタン福島」を活用したNPO、地域住民等を広く対象とした交流ネットワークの構築、環境回復・環境創造に関連する事業者への研修等に取り組んでいます。

## 交流棟「コミュタン福島」

「教育・研修・交流」の機能を担う環境創造センター交流棟(三春町)は一般の方々が自由に訪れることができる入館無料の施設であり、放射線について学んでいただいたり、学会、地域の会合などで広く活用していただく施設なので、皆さまに愛着をもっていただきたく、施設の愛称を公募しました。愛称は当時の県内小学校6年生が考案した「コミュタン福島」(「コミュニケーション」と福島県のマスコットキャラクター「キビタン」を組み合わせて考案されました。)が採用され、現在、多くの方々に親しみをもって呼んでいただいています。

「コミュタン福島」には、原子力発電所事故が起こったことや事故からの福島県の復興に向けた歩みと現状、放射線についての科学的知識などを子どもたちにも分かりやすく伝える展示室や、世界に2つしかない全球型のスクリーンによる大迫力の映像と音響で、福島県の美しい自然や豊かな文化などを体験できる「環境創造シアター」などがあります。

たくさん子どもたちに「コミュタン福島」へ来館していただいているのですが、その多くは事故時に就学前であり、事故のことを詳しく知っている子どもは少ない状況です。事故のことをきちんと知ったうえで、空間線量

率、除染、農林水産物の検査態勢など福島県の現状を理解し、正確な情報を発信できる人材として育てていただけるよう「コミュタン福島」での学習できっかけを与えられればと考えています。そのため、福島県内の小学校が「コミュタン福島」に来館する際の貸切バス料金を補助するなどの支援を行っています。

「コミュタン福島」には、2016年7月の開所から2017年3月までに約5万2千人の方に来館いただき、小学校団体は185校が「コミュタン福島」で学習をしていただいています。また、視察については508団体を受け入れました。

海外からの来館者も多くあり、「福島県の現状を知ることができた。」「県民の復興に向けた努力を実感した。」など、来館前後で福島県に対する認識が変わったとの感想をいただいています。

福島県に対する誤った認識は日本国内でも未だ多くあると実感していますが、海外においてはその傾向は顕著で、先日、ある記者が取材で来館した際「福島県にはマスクをかけていない人が多いことに驚いた」とおっしゃっていました。

国内においても風評は未だ根強いと感じる調査結果が先日公表されました。福島県産農林水産物に対するイメージ調査です。福島県産の農林水産物の放射能検査は徹底しており、生産段階、流通・消費段階の各段階で複数回検査を行い、食品の基準を超過したものは市場に出回らない仕組みになっています。そういった検査態勢について県外の約4割の方が「知らない」と答え、また、県外の約3割の方が福島県産農林水産物を「買いたくない・買わない」と答えているという調査結果となりました。

風評払拭のためにはあらゆる方面からの粘り強い取組が必要であり、「コミュタン福島」における取組も重要な位置づけにあります。

「コミュタン福島」を活用して福島県の現状を理解しようとする動きが大きくなってきています。例えば、原発事故の影響で横浜市に避難していた小学生(当時)がいじめを受けた問題の再発防止策として、福島県の現状を理解するため、横浜市教育委員会が「コミュタン福島」を活用した教員対象の研修を実施する方針を示しています。このような取組に対しては、積極的に連携協力していくこととしており、また、教育旅行や視察研修の誘致にも積極的に取り組んでいます。

## 結言

福島県には、環境の回復や風評の払拭など、原子力発電所の事故に起因した課題が未だ山積しています。これらの課題に応えるために、環境創造センターでは様々な活動を積極的に進めてまいります。

(2017年6月15日記)



## 経産省、高レベル処分地に関する科学特性マップを公表

経済産業省は7月28日、高レベル放射性廃棄物の処分に関する科学的特性マップを公表した。地層処分に関わる地域の科学的特性を既存のデータにもとづいて整理し、全国地図の形で示した。近くに火山や活断層があること、隆起や浸食が大きいところ、油田やガス田、炭田があることという条件が一つでも該当する場合は「好ましくない特性があると推定される地域」、これらが

一つも該当しない場合は「好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」とした。さらに海岸からの距離が短い場合には「輸送でも好ましい地域」とした。

経産省では今後、全国各地で対話活動を行い、理解が得られた地域を対象に文献調査や概要調査、精密調査を行った上で、最終処分場の選定を進めていく。

(原子力学会誌編集委員会)

## 原子力委、基本的考え方で、原子力利用推進を明記

原子力委員会は7月20日、原子力政策の長期的な方向を示す基本的な考え方をまとめた。原子力利用については徹底したリスク管理を行った上で、原子力技術が環境や国民生活、経済にもたらす便益とコストについて十分に意識して進めることが大切であると明記した。

基本的な考え方ではまず、東電福島原発事故から学ぶべき教訓を常に見直して原子力安全を最優先課題として取り組む必要があると指摘。エネルギーの安定供給や地球温暖化対応をふまえ、安全の確保と実現可能性の検証を的確に行いながら、原子力エネルギー利用を進めるべ

きだとしている。

また、東電福島原発事故を契機に、原子力利用は国民全体の問題として捉えられるようになったと分析。国民の方々の声に謙虚に耳を傾けるとともに、国民一人一人がそれぞれの意見を形成していくことのできる環境を整えていくことが必要だとした。その上で双方向の対話や、科学的に正確な情報や客観的な事実に基づく情報を提供する取組を推進すると述べている。

基本的な考え方はかつての「原子力政策大綱」に代わるもので、原子力委員会では5年後を目途に見直す。(同)

## 九州電力が川内1号機で初の安全性向上評価

九州電力は7月6日、川内原子力発電所1号機について、原子炉等規制法で求められる安全性向上評価の届出書を原子力規制委員会に提出した。自主的・継続的に施設の安全性・信頼性を向上させるため、リスクを合理的に可能な限り低減することを目指すもの。全国の原子力発電プラントの中で先陣を切り、新規制基準をクリアして再稼働に至った同機が初の事例となった。

届出書では保安活動の実施状況調査、確率論的リスク評価、安全裕度評価などを実施した上で、これらの結果を踏まえた一層の安全性向上に向けた今後の取組計画をまとめている。例えば、敷地周辺地震観測装置の追加を2017年度中に、事故時の重要な操作に対する教育訓練の強化を「届出後遅滞なく」行うこととしている。

規制委員会ではこれに先立つ5日、安全性向上評価の届出書の確認を行うとともに、今後の他プラントへの反映も念頭に置き改善事項について議論する公開の会合を開催することを決めた。

施行から間もなく4年を迎える新規制基準のもと、初めての制度運用となる安全性向上評価において、事業者は定期検査の終了から6か月以内に評価を実施し、評価結果を規制委員会に届け出ることとなっている。再稼働後、最初の定期検査を1月6日に終了した川内1号機について、このほど九州電力が評価結果を取りまとめ規制委に提出した。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

## 規制委、検査官の能力向上を見据え資格制度導入

原子力規制委員会は7月12日、原子力施設の検査や

安全審査など高度な専門的知識・経験が必要な職務に携



わる職員の能力向上に向け、資格制度を導入することを決めた。2016 年に来日した IAEA の総合規制評価サービス(IRRS)ミッションでも、検査官の素質と能力の強化や初期訓練の必要性が指摘されており、新たな資格制度の導入により、2020 年度から全面施行となる新検査制度の運用にも的確に対応できるようにする。

資格の種類は、(1)原子力検査、(2)原子力安全審査、(3)保障措置査察、(4)危機管理対策、(5)放射線規制——の専門分野ごとに、基本、中級、上級の 3 段階が設けられる。資格の付与は原子力安全審査、保障措置査察、危機管理対策の各資格分野で、既に安全審査官、査察官、原子力防災専門官として職務に就いている職員や中途採用の専門職員について、今秋より開始される。

原子力検査の資格については、現在の原子力施設検査官と原子力保安検査官の有資格者など、新検査制度に関わる職員に必要な研修を受講させた上で、2019 年度末までに付与し、新制度の円滑な運用開始を図れるようにする。放射線規制の資格についても同様に、現在の放射線検査官の有資格者に放射性同位元素のセキュリティに関する研修を受講させた上で、2019 年中に付与し、テロ対策の充実・強化を盛り込んだ改正放射線障害防止法の円滑な運用を図る。

また、新規に基本資格を取得する職員については原子炉概念、原子力防災の基礎知識、法令概要などからなる全資格共通の基礎カリキュラムを 2018 年度より開始する予定。

## 海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

### 【韓国】

## 古里 1 号機を永久閉鎖、新大統領は脱原子力政策へ転換

韓国で最も古い古里原子力発電所 1 号機(PWR, 58.7 万 kW)が 6 月 18 日、同国の商業炉としては初めて、2 年前に設定された日程通りに永久閉鎖された。1978 年に運転開始した同炉は 2007 年に当初の運転期間である 30 年が経過した後、原子力安全委員会から 10 年間の期間延長許可を得て韓国水力・原子力会社(KHNP)が運転を継続していた。しかし、産業通商資源省(MOTIE)は 2015 年 6 月、同炉の経済性や地元住民の受容性などを考慮した上で、現行の運転認可満了後は期間延長を申請しないよう KHNP 社に勧告。これを受けて同社の理事会は、2017 年 6 月をもって同炉を永久閉鎖する方針を議決していた。

一方、文在寅(ムン・ジェイン)大統領は同日に釜山市の古里原子力発電所で開催された 1 号機の永久停止宣言式で演説を行い、韓国初となる同炉の閉鎖は脱原子力に向かう出発点であり、同国のエネルギー政策における大転換になると宣言した。新規建設計画の白紙化などにより、原子力発電所を徐々に削減していくための「脱原子力ロードマップ」を、脱石炭ロードマップとともに早急に準備すると表明。目標とする達成時期などは示していないが、朴槿恵前政権を始めとする歴代政府の原子力推進政策から大きく変化させていくことを誓約した。他方、古里 1 号機の永久閉鎖は韓国で原子力廃止措置産業を育成する機会になると指摘しており、廃止措置産業で

韓国を世界的な先進国とする上で、新政府は努力と支援を惜しまないとの考えを明らかにしている。

演説の中で大統領はまず、古里 1 号機を始めとする国内の商業用原子力発電所によって、韓国は経済成長の過程で大幅に増加した電力需要に対応することができたと認めた。しかしその際、安い発電単価や効率性を追求したために、国民の安全や持続可能な環境への配慮は軽視されたとの認識を明示。その上で大統領は、新政府が原子力発電所における安全確保を国の存亡がかかった国家安全保障問題として対処すること、原子力安全委員会を大統領直属に昇格させて自らが直接統括すること、および原子力政策も全面的に見直すことなどを明言。原子力中心の発展政策を破棄して韓国は脱原子力時代に向かうとして、具体的には、準備中の新規建設計画を全面白紙化するほか、既存炉の運転期間も延長しないこと。国内で 2 番目に古く、期間延長して運転継続中の月城原子力発電所 1 号機は、電力供給状況を考慮しつつできるだけ早期に閉鎖するとした。

昨年 6 月に建設許可が下りた新古里 5、6 号機の先行きについても、準備作業の進捗率や投入コスト、安全性、補償費、電力設備予備率などを総合的に考慮して、早期に社会的な合意に基づく結論を出すとしている。また、自身の脱原子力政策では原子力発電所を長期間かけて徐々に減らしていくため、韓国社会には十分な時間的余裕があると保証。国民が安心できる「脱原子力ロードマップ」を早急に用意すると約束しており、今後は原子力と石炭火力に代わって、再生可能エネルギーと LNG といった安全かつクリーンなエネルギー産業を積極的に育成し、パリ協定などの国際的な環境変化に能動的に対

処する必要があると語った。

## 【米国】

### エネ長官、「トランプ政権は原子力分野で世界的リーダーへ復帰」

米国が「エネルギー週間」に入ったのにもない、エネルギー省(DOE)のR. ペリー長官は6月27日にホワイトハウスでプレス・ブリーフィングを開催した。D. トランプ大統領とその政権がクリーン・エネルギー社会への移行を目指すことを改めて確認するとともに、原子力抜きではその目標を達成し得ないと考えていることを明確に表明。小型モジュール炉(SMR)などの技術開発を通じて、米国が原子力分野で世界的リーダー的立場に復帰することは非常に重要との認識を示したほか、DOEで進めたい職務の一つとして原子力を再び魅力的な技術とし、規制緩和を通じて原子力産業界を再び活性化するための抱負を明らかにした。

トランプ大統領もその前日、ホワイトハウスでインドのN. モディ首相と会談し、共同宣言のなかで米印両国が自由で公平な貿易やエネルギー分野で連携強化することを約束。民生用原子力の協力についても、インドのアンドラ・プラデシュ州コパダで米国籍のウェスチングハウス(WH)社製 AP1000 を6基建設する計画の実現に向け、両国がコミットしていくと明記しており、WH社とインド原子力発電公社(NPCIL)との間で、早期に契約協定が結ばれることを期待するとの見解を表明している。

ペリー長官はまず、トランプ大統領の目標とするところは、国内の豊富な資源を利用して米国が永久に国内外でエネルギー供給面の自立を果たすことだと説明。エネルギーを経済兵器に利用する国々が引き起こす地政学的騒乱とは無縁の自立した国家となり、世界中の市場にエネルギーを輸出して世界的リーダー的立場と影響力を拡大する方針であるとした。

また、クリーン・エネルギー社会への移行意志を再確認するにあたり、経済性の追求と環境保全は二者択一であると長年にわたって言われてきたのはオバマ政権による誤りであり、実際は両方をともに利することができることを明言。パリ協定からの離脱報道で1つ抜け落ちている事実があるとすれば、それは米国が温室効果ガスの排出抑制ですでに世界を主導している点だと述べた。米国はパリ協定に調印するのではなく、技術革新を通じてこれを成し遂げており、同協定は納税者に高額なコストを強いるだけだとの認識を示した。

同長官はまた、クリーン・エネルギーを推奨する代わりにトランプ政権は行動を起こすと強調した。原子力発電抜きでは、クリーン・エネルギーの利用リストを真に

完成させることはできないと長官自身が確信しており、トランプ大統領もまた同様であると指摘。もしも、我々が生活する環境や気候に良い影響を与えたいのであれば無炭素エネルギー源のリストに原子力を含めなくてはならず、これを安全に思慮深く、かつ経済的に行えば、米国のリーダーシップの下で世界中がその恩恵を被ることができることを訴えた。同長官によると、トランプ政権は世界全体のクリーン・エネルギー利用リストを策定するにあたり、原子力開発が重要な役割を果たすとともに、新たな可能性を切り開くゲーム・チェンジャーにもなり得ると信じている。具体的には、先進的原子炉設計やSMRなどの技術開発に重点的に取り組むことで、それが可能になるとの確信を明らかにした。

### エネ省、熔融塩炉など先進的原子力技術を商業化支援

米エネルギー省(DOE)の原子力局(NE)は6月26日、民間で開発が進められている先進的原子力技術の商業化を支援するため、「原子力の技術革新を加速するゲートウェイ(GAIN)」イニシアチブにおける2回目の支援対象14社に、合計約420万ドル相当のバウチャー(利用権)を交付すると発表した。テレストリアル・エナジー社が開発中の一体型熔融塩炉(IMSR)など、熔融塩関係の技術が大半を占める一方、小型モジュール炉(SMR)や高速炉関係の技術も多数、選定された。DOEとしては、次の段階に進化しつつある原子力技術の開発・商業化に向けた支援の必要性と緊急性は、かつてないほど高まっていると認識している。既存の原子力発電所で安全かつ信頼性のある経済的な運転を保証しつつ、GAINを窓口として、DOEが全米で所有する国立研究所などの複合設備や人材、材料、専門データといった広範な研究機能と専門的知見を先進的な原子力技術の開発事業者を提供。コスト効果の高い迅速な方法で革新的技術を商業化するため、DOEは最先端の研究開発・実証インフラを利用できるようにし、技術面や規制面、財政面で事業者を支援していく考えだ。

GAINは2015年11月、パリで国連気候変動枠組条約・締約国会議(COP)が開催されるのに先立ち、オバマ政権が原子力をクリーン・エネルギー戦略の重要な構成要素と認めた上で、世界的な低炭素経済への移行を米国が牽引する目的で創設した。2016年に第1回目のバウチャー交付を実施した後、DOEは2017会計年度分として、今年2月9日から3月9日までの間、バウチャー希望者から関心表明書(LOI)を募集。今回の交付先公表は、DOEが6月下旬に、国内28州の大学等における先進的な原子力研究と関係施設の共用、分野横断的な技術

開発、インフラ整備などへの年次支援として、合計 6,700 万ドルの補助金交付を発表したのに続く措置となる。

交付先に選定された 14 社は様々な分野の先進的原子力技術をカバーするとしており、熔融塩に関する技術は 7 社が提案した。対象技術の詳細としては燃料の物理特性や熱水力学、機器開発、廃棄物の再処理、塩化物、フッ化物塩などを挙げた。5 社が実施する軽水炉関連の技術開発は既存原子炉と SMR に関するもので、廃棄物の再処理、SMR の熱水力学、受動的安全性、プラントの健全性モニタリングが含まれる。また、3 社は金属冷却高速炉概念の商業化を目指しており、そのための規制/許認可支援やナトリウム冷却炉、鉛ビスマス冷却炉の開発に対して支援が行われる。このほか、モデリングとシミュレーション関係の作業や先進的なデジタル式計測制御(I & C)系技術が支援対象に選定されている。

### 【カナダ】

## テレストリアル社、熔融塩炉・商業用初号機の立地 FS を開始

カナダで小型の一体型熔融塩炉(IMSR)を独自に開発するテレストリアル・エナジー社は 6 月 19 日、商業用初号機の建設地点をカナダ原子力研究所(CNL)所有のサイト内で特定するため、CNL がフィージビリティ・スタディ(FS)を開始したと発表した。2020 年代の IMSR 建設を目標に、オンタリオ州にある CNL のチョークリバー研究所など、建設に適した地点の特定プロセスを共同で実施する。カナダ原子力公社(AECL)の研究所機能を引き継いで設立された CNL は、小型モジュール炉(SMR)の商業化支援で技術ハブを CNL サイトに創設することを主要なビジョンの 1 つに掲げており、自らを SMR 開発と将来的な建設の主要パートナーに位置付ける狙いがある。これと並行して 6 月 1 日には、SMR に対する関心表明書の提出要請(RFEOI)を産業界全体の関係者に発出。7 月末までに得られた情報を元に、SMR 技術の開発企業やサプライ・チェーン、潜在的なエンド・ユーザーおよび受け入れ自治体等の意見を反映したロードマップを作成するとしている。

熔融塩炉は燃料として、熔融塩にトリウムなどを混合した液体を使用。テレストリアル社の IMSR は、出力 2.9 万 kW~29 万 kW まで 3 種類の SMR になる予定で、安全かつ信頼性のある発電ソリューションになるとともに、600 度 C のプロセス熱も供給可能だという。同社と CNL の今回の協力は 2016 年に締結した了解覚書(MOU)に基づいており、同覚書に設定された事業枠組の下、テレストリアル社と CNL は IMSR のエンジニアリング・プログラムを支援する試験や確認活動などで共

同作業を行う。CNL からは様々な原子力サービスが提供される計画で、具体的には原子炉物理や熱水力学、冶金学、化学、廃棄物管理および廃止措置関連のものが含まれる。覚書の内容が非独占的であるため、CNL はその他の原子炉システムを所有サイトで建設可能であるし、テレストリアル社も CNL 以外の地点で IMSR を建設することができる。

テレストリアル社の米国法人は 2016 年 1 月、最初の商業用実証炉をカナダで建設した後、北米その他の市場で幅広く IMSR を売り込む展望を表明しており、同設計がカナダの技術的規制要件をどの程度、遵守できているか確認する認可前設計審査を同年 2 月にカナダ原子力安全委員会に申請した。同年 9 月になると、先進的な原子力プロジェクトを対象とする米国政府の融資保証プログラムに申請するよう、米エネルギー省(DOE)から招聘されたと発表。2020 年代に米国市場で IMSR を販売することを目指して、米国の許認可手続を開始する意向を今年 1 月に米原子力規制委員会(NRC)に伝えた。米国初の商業炉建設サイトについては、DOE のアイダホ国立研究所やミシシッピ川東部の地点を含め、すでに 4ヶ所で検討中であると明言。2019 年後半に設計認証(DC)審査を NRC に申請するとしている。

### 【英国】

## 原子力フォーラム、2021 年に 10 万人以上の原子力技能者が必要と予測

英国・原子力部門の技能者フォーラムである「原子力技能者戦略グループ(NSSG)」は 7 月 4 日、同部門全体で原子力技能者の年間需要数と供給数を 2021 年まで継続的に予測していく「原子力労働力評価(NWA)」を開始したと発表した。20 数年ぶりの新設計画として英国政府が進めている 1,600 万 kW 分の原子力発電設備建設プログラムを唯一のシナリオとし、現行の原子力潜水艦プログラムを加えた上で、2021 年のピーク時に必要とされる技能者数は 10 万人以上に達すると予測。既存の労働力が高齢化していることもあり、原子力発電所の新設や運転のみならず、廃止措置、および軍事活動において必要となる優秀な原子力技能者の人材基盤を維持・育成するとともに、意欲的な建設プログラム推進で新たに人材供給するルートの開発が必要だとした。また、技能者の必要数と必要とされる時期を確たるデータに基づいて理解することは、そうしたルートの設計・開発において根本的に重要だとしており、こうした必要性を満たすために、NSSG はメンバーである EDF エナジー社や NuGen 社、ホライズン社などの原子力発電事業者、原子力規制庁(ONR)、政府の関係省などからデータの提



供や後援を受けて 2017 年版の NWA を作成。これに基づく技能者の供給計画により、必要とされる技能者が適切な場所で適切な時期に、適切な数、確保されるよう保証していきたいとしている。

2017 年版の NWA における判明事項を、NSSG は次のように説明した。まず、2017 年の労働力プログラムで必要とされる総数を 87,560 人とした上で、この数が 2021 年時点で 10 万 619 人に増加すると指摘。民生用原子力発電所の新設スケジュールが 2015 年以降変わっていないため、需要数がピークを迎える時期も 2021 年のまま変更ないと説明した。既存設備に必要な人数が今後 10 年間に約 5 分の 1 まで直線的に下降する一方、リブレース設備のための必要人数は同じ期間で年平均 1,450 人であるため、産業界全体として 2021 年までに新たに補充・増員が予想される正規雇用者数は年平均 6,830 人になるとしている。

また、現在の労働力を技能レベルで分析した結果、原子力技能者は(1)取得に長期を要する高レベルの特殊技能を持った専門家、(2)安全性保証文書(セーフティ・ケース)の作成など原子力産業においてのみ必要とされる原子力技能の保持者、(3)原子力以外の産業でも見受けられる一般的技能の保持者——に大別され、それぞれの比率が 1%、18%、81%というピラミッド構造になっている点を指摘。8 割以上がほかの産業でも使える技能を身につけているものの、将来的に労働力の供給面で不安転換点を迎える分野として、セーフティ・ケース作成、計測制御、原子炉運転、サイト点検、プロジェクトの立案・管理、起動エンジニアリング、電気エンジニアリング、緊急時計画立案、品質保証、などを挙げた。このほか、2016 年 10 月時点で原子力技能者全体のうち 22%が女性だったが、産業界の中での役割毎に 14%~36%までバラツキがあったことを明らかにした。

## 【フランス】

### 安全研究所、深地層処分場建設計画の安全性を評価

フランス原子力安全規制当局(ASN)の技術的支援機関である放射線防護原子力安全研究所(IRSN)は 7 月 4 日、高レベル放射性廃棄物(HLW)などの廃棄物を深地層で長期管理する施設「CIGEO」の「安全オプション意見請求文書(DOS)」を技術面から評価した結果、DOS 段階のプロジェクトとしては全体的に十分成熟したレベルに達していると結論づけた報告書を公表した。DOS は施設の設置許可(DAC)申請に先立ち、主要な原則やアプローチなど、基本的な安全性の考え方を公開討論で説明するために作成される文書。廃棄物処分の実施主体で

ある放射性廃棄物管理機関(ANDRA)が 2016 年 4 月に ASN に提出していたもので、ASN の要請を受けた IRSN は、原子力安全と放射線防護の両面から適切であるかを審査していた。ただし、実際の設計で変更が必要になる可能性のある課題を 4 点、IRSN は指摘。2018 年末までの DAC 申請を目標に、ANDRA が CIGEO の安全性を実証する上で対処すべき事項を明確に示している。

CIGEO では、1 万立方 m の HLW と 7 万立方 m の長寿命・中レベル放射性廃棄物を地下 500m の深地層で少なくとも 100 年間、回収可能な状態で貯蔵する計画。フランス東部のムーズ県とオートマルヌ県にまたがるピュール地区を含めた、30 平方 km の圏内で建設することが 2010 年に決定しており、ANDRA は 2020 年代後半の操業試験実施と 2030 年代の事業許可取得を目指している。建設と操業にかかる基準コストは、2016 年 1 月にエコロジー・持続可能開発・エネルギー省が 250 億ユーロ(約 3 兆 2,555 億円)に改定。これは、廃棄物を発生させるフランス電力(EDF)とアレバ社および、原子力・代替エネルギー庁(CEA)が負担することになっている。

DOS 評価は CIGEO 設計を確定し、安全要件を統合するための最終段階であり、IRSN はその判明事項を今年 5 月、ASN の諮問機関である「廃棄物担当専門家常設グループ(GPD)」と「原子力関連工場および研究所担当専門家常設グループ(GPU)」に提示。設計変更につながるかもしれない 4 点の課題としては、IRSN は以下の点を指摘している。すなわち、(1)貯蔵インフラと縦坑が核物質を環境中に移行させる経路とならないように、施設の構成を最適化する、(2)操業期間中のリスクについてモニタリング措置を取る、(3)インフラ汚染を引き起こす可能性のある状況を管理するため、介入手段を確保する、(4)ピチューメン(アスファルト)を混合した貯蔵パッケージが、処分坑道で火災を発生させた場合の対策を取る——である。

### 環境相、2025 年までに最大 17 基の閉鎖可能性表明

フランス環境連帯移行省の N. ユロ大臣は 7 月 10 日、総発電量に占める原子力の割合を現在の 75%から 2025 年までに 50%まで削減するため、最大で 17 基の商業用原子炉を永久閉鎖する可能性があるとの認識を表明した。同日に RTL ラジオ・ネットワークのインタビューで答えたもので、「この目標を達成しようとするなら、原子炉を 1 基ではなく複数、閉鎖する必要があることは誰でも分かる」と指摘。実際にどの原子炉を閉鎖すべきかは調べてみなければならないと述べ、具体的に

名指しすることは避けた。同国では8か月にわたった全国的な討論の結果、「緑の成長に向けたエネルギー移行法」が2015年に成立。これにより、F. オランダ前大統領が公約としていた原子力発電シェアの削減のほか、原子力発電設備を現状レベルの6,320万kWに制限することが決定しており、国内の商業用原子炉全58基を所有・運転するフランス電力(EDF)は今年4月、最も古いフェッセンハイム原子力発電所(90万kWのPWR×2基)の永久閉鎖は、現在建設中のフランビル原子力発電所3号機(163万kWの第3世代PWR)の起動日に実行する、などの条件を理事会で承認した。今年5月に発足したE. マクロン政権はこのような前政権のエネルギー政策を踏襲すると公言しており、ユロ大臣も、電力消費量の削減と電源の多様化を図りつつ、エネルギー移行法の目標達成を機械的に進めるなら、多数の原子炉を閉鎖することになると説明している。

このインタビューに先だつ7月6日、ユロ大臣はパリ協定でフランスが義務付けられた誓約の現実化やエネルギーの移行を加速するため、マクロン大統領とフィリップ首相の要請を受けて「気候計画(Plan Climat)」を開始すると発表した。CO<sub>2</sub>排出量の削減で同国がこれまで掲げてきた目標は、パリ協定の誓約達成には不十分であり、マクロン政権はさらに意欲的な目標を、さらに迅速に達成すると明言。大気中CO<sub>2</sub>の排出量と吸収量が常に一定に保たれるという「カーボン・ニュートラル」の状態を2050年までに実現するため、「気候計画」の2大要素である熱意と団結を通じて化石燃料の使用を停止したり、フランス国民の生活を改善するなど、様々な手段を講じた。具体的には、2040年までにガソリン車とディーゼル車の販売を終了して電気自動車を普及させる、発電部門では2022年までに石炭火力発電所を全廃する、などを明記。これにともなうエネルギー供給量の不足は、再生可能エネルギー源を急速に推進して補うことなどを示唆した。

「気候計画」の中で原子力は触れられておらず、ユロ大臣が述べたように複数の原子炉が閉鎖されるとしたら、1980年代に主に営業運転を開始した32基の90万kW級PWR(フェッセンハイム発電所の2基を除く)が対象との見方がある。しかし、これらの運転期間を40年以上に延長するため、EDFは安全レベルの維持を目的とした大規模な改修計画「グラン・カレナージュ」を2011年に発表。2014年から2025年までの11年間に550億ユーロ(約7兆1,600億円)を投入する計画だが、40年以上の運転継続に対する規制当局の見解は2019年頃に公

表されると伝えられている。

## 【トルコ】 アックユ原子力発電所建設計画でトルコ企業がプロジェクト会社に出資

トルコ初の原子力発電所となるアックユ発電所建設計画を請け負ったロシア国営原子力総合企業ロスアトム社は6月19日、プロジェクト運営会社として現地に設立したアックユ原子力発電会社(ANPP)にトルコの大手エネルギー施設建設企業3社の連合体が49%出資することで合意したと発表した。地中海沿岸のアックユに120万kWのロシア型PWR(VVER)を4基建設するという同計画では、原子力発電分野で世界初という「建設・所有・運転(BOO)」方式の契約を採用。ロシアが現在100%出資するANPP社は、発電所の建設と所有、および運転で全責任を負う予定だが、2010年にトルコとロシアが結んだ同発電所の建設と運転に関する政府間協力協定(IGA)に基づき、トルコ並びに第三国の企業がANPP社株の49%まで取得することが可能になっていた。正式な出資者協定が今年末までに締結されれば、総工費200億ドルという同プロジェクトの実施に十分な授權資本が確保される見通し。シリア内戦を巡る両国関係の悪化や天然ガスのパイプライン建設交渉などにより同計画は一時期停滞していたが、2023年の初号機の営業運転開始に向けて大きく前進することになる。

今回、ANPP社への主な出資条件を定めた文書に調印したのは、JENGIZホールディング社とKOLIN建設・観光・通商貿易会社、およびKALYON建設会社。いずれもトルコ内外で産業・エネルギー・インフラ分野の施設建設・操業プロジェクトを請け負った広範な経験があり、BOO方式のプロジェクトも含まれている。トルコ電力市場においても3社は売電・配電事業を扱っており、これら3社による卸売市場の占有率は約30%。ANPP社は原子力発電所の完成後、15年間にわたって発電電力をトルコ電力卸売会社(TETAS)に固定価格で販売して建設費を回収する予定だが、3社の企業連合はANPP社への出資により、アックユ原子力発電所の建設やANPP社の運営管理、および必要とされる資金の調達といった活動に積極的に参加していく考えだ。JENGIZ社はまた、すでに2015年6月にアックユ原子力発電所の海上水利施設を設計・建設するターンキー契約をANPP社から受注済みとなっている。

# 今，大学における研究・教育現場から訴える 春の年会セッションから

日本原子力学会 上坂 充，他

東京電力福島第一原子力発電所の事故が起きて6年が経過した。この間に大学等における研究炉の停止や廃止，研究施設の廃止が相次ぎ，原子力分野における基礎・基盤研究の展開に影響が懸念されるとともに，原子力分野における教育および研究環境の整備と次世代への人材育成が喫緊の課題となっている。ここでは，①研究炉に関わる研究環境と課題，②核燃・RI施設に関わる研究環境と課題，③学部・大学院に関わる教育研究と課題について現場からの報告を紹介するとともに，大学における研究，教育に対して原子力界や学会がなすべきことについて考える。

**KEYWORDS:** *Research and Education Environment, University, Research Reactor, Graded Approach, RI Facility, Nuclear Fuel Facility*

## I. はじめに

学会では平成27年度より特別専門委員会「原子力アゴラ」の中で「研究炉等の役割検討・提言分科会」を設置し，国内の研究炉の新規制基準対応のための停止による教育/人材育成等への影響につき，定量的調査を行い，その結果は，「我が国における研究炉等の役割について(中間報告書)」にまとめ，学会会長記者会見，文部科学省，経済産業省，原子力委員会に説明後，学会ホームページにて一般公開した。その後，京大 KUCA, KUR, 近大炉の再稼働，および原子力規制庁での(安全性への影響の程度に応じた)グレーディドアプローチの議論に，少なからず貢献できた。今後，再稼働する研究炉の新規制対応実績のまとめを行う。加えて，世界の研究炉での安全規制のグレーディドアプローチの調査とまとめを行う。

一方，平成28年度に設置した「大学等核燃およびRI研究施設検討・提言分科会」では，大学等におけるRIおよび核燃料使用施設の現状の調査と，対応すべき課題の整理，さらには今後への対応について，検討している。本活動は，平成29年度からは，日本原子力学会の調査専門委員会として継続する。

*Urgent Reports on Research and Education Environment at Universities* : Mitsuru Uesaka, Ken Nakajima, Nobuaki Sato, Masayoshi Uno.

(2017年4月30日 受理)

さらに原子力学会の教育委員会では，人材育成，原子力および放射線技術者・研究者の継続研鑽並びに市民の原子力・放射線リテラシーの向上のための教育機会・コンテンツの提供，また，目的を共有する諸機関による創設・作成を支援している。

平成28年度春の年会の理事会セッションでは，原子力規制委員会により再稼働が決まった研究炉の今後の課題，大学等核燃およびRI研究施設，それを活用する大学・大学院での教育の現状と課題を，報告してパネルディスカッションを行わせていただいた。

東日本大震災・福島第一原子力発電所(1F)事故後4年以上研究炉が停止し，この間の原子力系大学・大学院の卒業生のほとんど，また業界の若手は原子炉を動かした経験はない。さらに大学等核燃およびRI研究施設でも安全管理の厳格化，核セキュリティ管理が課されてきている。最近2つの主要大学の核燃施設の廃止が決まった。官庁で実施されている人材育成プログラムではこれら施設の維持・更新は含まれていない。現在文部科学省では，原子力科学技術委員会の下で原子力研究開発基盤作業部会が実施されている。学会ではそこに向けて，研究炉・核燃・RI施設の定量的調査結果と抽出課題と解決策案をインプットし，課題解決への貢献を目指している。

(執筆担当：上坂 充(東京大学))



## II. 研究炉に関わる研究環境と課題

研究用原子炉は、その名前のとおり「研究」のための原子炉であり、主に核分裂反応で発生する中性子を利用した研究に用いられる大型の実験装置である。このほかに、核特性を測定することを目的とした低出力の原子炉である臨界実験装置もあり、ここではこれらをまとめて「研究炉」と呼ぶ。研究炉を用いて行われる研究分野は多岐にわたっており、例えば、京都大学研究用原子炉 KUR の利用分野を見ると、物理・化学・生物といった基礎的な研究分野から、工学・農学・医学、さらには考古学などの応用分野までの幅広い研究分野が対象となっている。

我が国には、研究の目的や用途に応じて型式の異なる研究炉が 14 基あり、1F の事故前には、これらが研究や人材育成に利用されていた(一部、改造工事で停止中も含む)。しかし、事故後は原子力安全規制の見直しに伴い、平成 26 年には全ての研究炉が停止する事態となり、平成 29 年 4 月現在で 9 基(うち、6 基は日本原子力研究開発機構(JAEA)が所有、3 基は大学が所有)の炉が再開のための設置変更申請を行っている。このうち、大学炉の 3 基は平成 28 年に設置変更許可を取得し、現時点(平成 29 年 4 月末)では、近畿大学原子炉が研究炉として唯一運転を再開した。京都大学の 2 基の研究炉も間もなく運転再開となる見通しであるが、それ以外の研究炉はまだ明確な見通しが立っていない状況である。

このように長期間にわたる研究炉の運転停止は、幅広い分野の研究開発や原子力人材育成に多大な影響を与えている。さらに、再開後の運転継続にあたっては、高経年化対策や使用済燃料取り扱ひ等のハード上の課題に加え、安全管理の人員確保といったソフト上の課題にも対応していくことが必要であり、大学などの一研究機関では研究炉の維持管理が困難な状況となっている。

一方、昨年 10 月には日本原子力開発機構(JAEA)より、国内唯一の材料照射炉である JMTR の廃止が公表された。これにより、原子炉の安全研究を含む今後の原子力研究の在り方を大きく見直す必要が生じている。また、原子力規制委員会では、昨年 1 月に実施された国際原子力機関(IAEA)による総合規制評価サービス(IRRS)を踏まえた原子炉等規制法の改正作業が行われ、本年 4 月 7 日の参議院本会議において、「改正原子炉等規制法」が賛成多数で可決・成立した。

この法改正は、原子力施設の検査制度の見直しを柱としており、事業者が主体となって検査を実施する制度が 3 年以内に実施されることとなる。このような検査制度を適切に運用するためには、規制する側とされる側(事業者)に高いレベルの技術的能力が必要となるが、電力会社のように施設の維持管理に多くの人員と予算を割くことが困難な大学にとっては、この新制度は非常に大き

な負担になる可能性がある。

日本原子力学会では、このような研究炉の状況を踏まえ、研究炉の役割について調査・検討を行う「研究炉等の役割検討・提言分科会」を「原子力アゴラ」特別専門委員会(本年度より調査専門委員会に変更)の下に設置し、これまでに教育・人材育成の観点からの研究炉の実績調査を行い、その結果を踏まえた提言を中間報告書として取りまとめている。この報告によると、1F 事故前に研究炉を利用した研究の実施や教育を受けていた学生数は、年間で 1,000 人以上に及んでいる。すなわち、全ての研究炉が停止していた過去約 3 年間で、学生約 3,000 名(延べ数)の研究・教育の機会が失われたこととなり、将来の原子力を担う人材の育成に大きな影響を与えていることが改めて示された。この結果は原子力委員会や文部科学省・原子力科学技術委員会の「原子力人材育成作業部会」でも取り上げられた。

さらに、文部科学省では、新たに「原子力研究開発基盤作業部会」を立ち上げ、研究炉を含む今後の原子力研究施設の必要性やあり方についての検討を開始したところである。当面は、我が国として持つべき原子力の研究開発機能を検討し、その結果を踏まえて、将来の研究炉及びその運営の在り方について整理・検討を行う予定となっている。

これまで述べてきたように、国内の研究炉は、現在非常に厳しい環境におかれている。また、国内では研究炉の建設が、20 年近く行われていないため、新たな研究炉の設置に必要な人材が不足する可能性がある。その一方、研究炉の設置(設計から運転開始まで)には、長期(10-20 年)のリードタイムと多大な経費が必要である。科学技術の基盤を支える研究炉の重要性・必要性は、今後も変わらないと考えられることから、我が国の原子力研究開発の動向、既存設備の状況などを踏まえ、日本にとって必要な機能を有する研究炉とその運営体制を速やかに決定する必要がある。

(執筆担当：中島 健(京都大学))

## III. 大学等核燃・RI 施設に関わる研究環境と課題

1F 事故以降、大学等においては研究炉の停止や廃止があり、また、核燃料および RI を使用できる研究施設の廃止が相次ぎ、原子力分野における基礎・基盤研究の実施や、次世代への研究展開への影響が懸念されている。現在の核燃施設については、原子炉等規制法による施設管理や、保障措置に対応した核燃料物質の計量管理があり、また、RI を使用する施設では、放射線障害防止法による安全管理が行われている。

一方で、国立大学法人化以降は労働安全衛生法に基づく安全管理への対応も求められてきた。既存の施設では、老朽化している施設の維持管理や、1F 事故以降に発

足した新しい規制への対応に苦慮している。

他方ではIAEAによるIRRSを反映した規制が導入されつつあり、放射線安全管理の品質保証などより高度な対応を迫られ、一事業所の対応ではなく、大学あるいは全国規模での対応が必要である。

そこで、大学における原子力分野関連研究施設の現状を理解し、今後の基礎・基盤研究の在り方を考えることは重要であり、今、大学における研究・教育現場から訴えることとした。このような事態に対し、学会内では、特別専門委員会「原子力アゴラ」内に「大学等核燃およびRI研究施設検討・提言分科会」を設置し、国内大学等の核燃およびRI施設を含めた研究環境について担当教員が現状について調査し、まとめている。

その結果、大学の核燃およびRI施設の実際の管理状況、すなわち、施設の使用状況や経年劣化対策、核燃料物質計量管理など、施設の維持管理に必要不可欠なハード面での業務や、教育訓練、被曝管理、規制庁への変更申請や、在庫および変動報告、立入検査への対応などソフト面での業務に関して、教員あるいは職員がどのように対応しているか実例を挙げて紹介した。

RI施設では、放射線障害防止法により管理され、核種および放射線の許可を得て、使用している。これに対し、核燃料物質の場合は、原子炉等規制法により管理され、天然ウラン等を少量扱う施設と、濃縮ウラン等を扱う施設では、施設の維持管理の負担が異なる。また、対象とする核燃料物質や施設・設備の許可とともに、研究の目的や、実験方法等についても認可が必要となり、技術職員では対応できない場合もある。

さらに、施設管理に対する規制の他に、各施設における核燃料物質の在庫や移動など計量管理も必要であり、管理業務の負担が増えている。一部の施設においては、国際原子力機関による査察への対応もあり、専門の担当者が必要となる。

一方、1F事故で発生した燃料デブリでは、核燃料物質とともに、FPやMAなどRIも共存しており、燃料デブリ等廃炉研究の推進にはRIおよび核燃料物質が使用できる施設が不可欠である。

これまで、各大学では、複数の核燃またはRI施設は異なる部局にあり、それぞれの部局で管理してきた。担当教員の不足から技術職員による管理業務など、管理体制の維持に苦勞するとともに、老朽化した施設の改修、改築など安全管理の維持にも苦勞してきた。このため、センター等による全学的な管理からさらに、複数施設の統合やキャンパス移転による統廃合も進められている。

一方、大学における研究・教育の観点からみてみると、最近では、講義等座学中心のカリキュラムとなり、実験による体験学習が不足し、その結果、研究室における卒論、修論等への対応が難しい事態が発生している。核燃料サイクルに対応した実験プログラム開発や研究室にお

ける安全管理講習、ColdおよびHot実験の実施などとともに、長期にわたる実験および研究指導による原子力人材育成への貢献が挙げられる。

また、原子力関係分野を希望する学生が減少しつつあること、さらには安全衛生管理の強化などにより放射性物質を用いる実験・研究が難しい環境もある。施設管理面では、使用頻度減少と安全管理能力の低下や、施設の老朽化と改修費用不足、担当教員の激減と管理業務の増加といった負のスパイラルができていく。また、これらを実施するにあたっては、以下のような項目について検討していく必要がある。

このような状況を踏まえて、個々の大学での施設維持管理の在り方、国内規模での施設の維持管理の在り方、さらには共同研究体制の在り方を検討し、原子力分野における教育・研究環境と展望を考えると、以下のような対策を進めていくことが必要かと思われる。

- ・核燃・RI規制の情報共有と施設維持管理
- ・使用施設の在り方と全国的な役割分担
- ・施設管理における管理者の役割分担の低減

また、これらを実施するにあたっては、以下のような項目について検討していく必要がある。

- ・核燃およびRIの規制の充実化・柔軟化
- ・使用施設の統廃合、役割分担と拠点化
- ・選任教員の配置と管理体制の共通化(RI施設)

(執筆担当：佐藤修彰(東北大学))

#### IV. 学部・大学院に関わる教育環境と課題

それまで旧七帝大、東工大といくつかの私立大学で行われてきた原子力関連の単独の学科または専攻による原子力教育は、平成に入って始まった国立大学の大学院重点化や学生のニーズに対応する組織再編等により、次々と失われていった。これ以後、その時代の学生の人気によっては、(優秀な)学生の確保に多大な労力が必要になることとなる。

そのような時期、福井大学は、福井県のエネルギー拠点化計画の下、平成16年度に立地地域における大学として、「安全と共生」をキーワードに原子力関連の独立専攻(原子力・エネルギー安全工学専攻)を設置した。しかし、放射線に対する安全と立地地域における原子力発電所との共生を主な研究・教育のテーマとしていたため、必ずしもエネルギー供給システムそのものの研究・教育への対応が十分とは言えなかった。そこで、平成21年度には、「高速炉を含む核燃料サイクルの確立」を目指して附属国際原子力工学研究所を開所している。(開所当時は、福井市内の文京キャンパス)この頃は、福井工大(平成17年度)でも新たな原子力関連の学部が設置されている。

まだリーマンショックの余波で大卒、修士卒の就職状況が決して良くなかった平成20年頃にかけては、原子力関連の求人状況が比較的良かったため、原子力を学ぶ学生は容易に確保できたようである。この頃は、東大の



専門職大学院は別として、一度失われた「原子力工学科」や「原子力工学専攻」が復活することはなかったが、筑波大、大阪府大、八戸工大などで関係する研究室単位での「原子力教員協議会」への加盟があり、そのメンバーが大幅に増えた時期でもある。

しかし、平成 23 年 3 月の 1F 事故を受けて、原子力をとりまく状況は一変する。その影響は各大学で様々であるが、学会教育委員会のアンケート調査結果では、以前、原子力単独の学科や専攻を持っていて、その後の大学科化や名称の変更後もなんとか原子力教育を継続してきた大学で、特に大学院における優秀な学生の確保がますます困難になって来たことがうかがえる。一方で、これ以降、文科省の支援による原子力人材育成事業や原子力研究開発事業の募集テーマに廃止措置、特に福島炉の廃炉が加わったため、旧来の原子力工学はもちろんある程度関連する学科や専攻でも、研究予算の獲得が比較的容易となり、研究のアクティビティーは維持出来ているようである。

福井大学は事故の翌年、当初の予定通り附属国際原子力工学研究所を敦賀キャンパスに移転させたが、同時に廃炉や防災に関して、新たに部門を設置し、教授人材を確保するなどの組織改編を行った。

さらに、そもそも修士 2 年間では十分な原子力教育が難しいという理由で、事故から 5 年後、まだその余波が十分に残る平成 28 年度から原子力の学部教育を開始した。具体的には、福井大学の工学部をそれまでの 8 つの小学科から 5 つの大学科に改組すると同時に、図 1 に示すように機械・システム工学科(定員 160 名)は機械工学コース、ロボティクスコースに定員約 25 名の原子力安全工学コースを設置した。学生の各コースへの正式な分属は 2 年進学時であるが、現在のところ、原子力安全工学コースの人気は決して高くない。

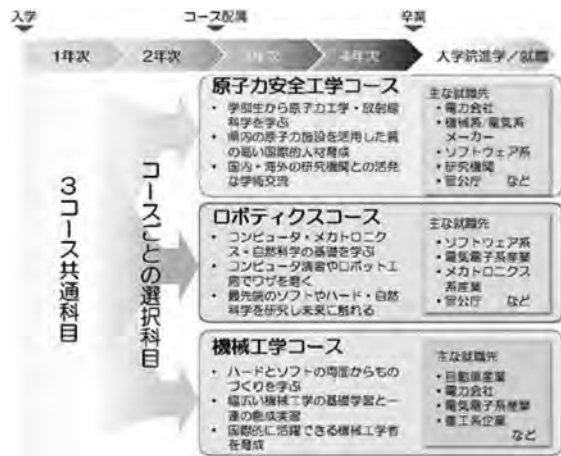


図 1 福井大学工学部の機械システム工学科のコース

1F 事故以降、福井大学の他には、長岡技術科学大学、大阪府大、福井工大でも新たな原子力関連の学科・専攻の設置や改組が行われている。

学部教育の開始にあたり、1 時間以上かかる文京-敦賀キャンパス間の移動、敦賀キャンパスにおける講義室や福利厚生施設の確保等、福井大特有の課題が議論された。一方で、大学のグローバル化や定員の確保の点から、海外、特にアジアの原子力導入予定国からの留学生の確保には、大学をあげて取り組んだ。その結果、留学生の大幅な増加にともなう英語教育の充実と学部教育の開始にともなう学部教育の充実が重なることとなった。これに対応するため、福井大学では、留学生用の大学院の授業を、既に日本人を含めて大学院では英語で授業を行っている阪大から遠隔システムによる配信で行うこととした。言うまでもなく、以前より単独の大学あるいは大学院で原子力教育を行うことは、施設や教授人材の点で大変困難であり、そのため福井大学はもちろん大阪大学も既に原子力人材育成ネットワークに参加し、共通の授業配信装置を所有している。さらに、大阪大学で行っている大学院の英語授業では、廃止措置や原子力防災などの 1.5 科目分を、福井大学の教員が担当している。

以上の様に、福井大学でも学生の確保と原子力教育の充実に向けて多くの課題が残っているが、今後も複数の関係する大学が連携・分担して活動していく必要がある。

(執筆担当：宇埜正美(福井大学))

著者紹介

上坂 充 (うえさか・みつる)

東京大学大学院 (専門分野/関心分野) 加速器・ビーム科学, 医学物理, 原子力構造工学, 国際原子力人材育成

中島 健 (なかじま・けん)

京都大学原子炉実験所 (専門分野/関心分野) 原子炉物理, 臨界安全, 原子炉実験, 原子力人材育成

佐藤修彰 (さとう・のぶあき)

東北大学多元物質科学研究所 (専門分野/関心分野) アクチノイド化学, 核燃料工学, フロントおよびバックエンドにおける素材プロセッシング, 福島原子力発電所事故への対応

宇埜正美 (うの・まさよし)

福井大学附属国際原子力工学研究所 (専門分野/関心分野) 燃料の物性, 照射挙動, 燃料デブリの分析



# 次世代リチウム資源循環型社会の実現へ 核融合研究の新たなイノベーション

量子科学技術研究開発機構 星野 毅

核融合炉燃料のトリチウムは自然界にほとんど存在しないため、リチウムと中性子の核反応にて人工的に製造する。このリチウムは電気自動車(EV)等の駆動用電池として必須なレアメタルであり、リチウム価格は2015年夏頃より急騰している。我が国では100%輸入に頼っており、日本の産業競争力を高めるためには、独自でリチウム資源を確保する技術開発が求められている。そこで、核融合研究にて得られた元素分離回収技術を進展させ、ほぼ無尽蔵のリチウムが含まれる海水等からの、事業採算性を有する革新的リチウム資源回収法の基盤技術を確立した。

**KEYWORDS:** *Fusion reactor, Tritium Breeder, Innovation, Lithium, recovery, Resource, Dialysis, Lithium ionic superconductor, Lithium separation membrane*

## I. はじめに

重水素と三重水素(トリチウム)のほぼ無尽蔵な資源を利用した次世代発電として、現在、国際協力により、国際熱核融合実験炉(ITER)をフランスに建設中である。重水素は海水から回収可能だが、トリチウムは自然界にほとんど存在しないため、リチウムと中性子の核反応にて人工的に製造する。しかしながら、この核反応は、リチウムの中でも約7.8%しか存在しない希少な同位体である、リチウム6(残りはリチウム7)を使用する。そこで著者はリチウム6が分離可能な特殊な膜を用い、核融合燃料製造に必要なリチウム6の同位体分離に関する研究開発を行っている。

一方、近年、地球温暖化緩和に向けた低炭素化社会実現のため、電気自動車、家庭用蓄電池等の大型リチウムイオン電池市場が急拡大し、リチウム資源の需要は急増している。リチウム資源の埋蔵量は南米が約8割を占めているため、偏在性と独占的供給による商業的な需要ギャップ懸念に関する対応だけでなく、近い将来、リチウム資源の需要が供給を上回り、供給不足への対応も必要とされている。

*Realization of next generation technology for lithium resource cycle society ; Innovation of research and development of fusion reactor : Tsuyoshi Hoshino.*

(2017年6月2日 受理)

海水には約2,300億トンのほぼ無尽蔵のリチウム資源が存在すると推定されているため、海水からのリチウム資源回収が実現すれば、国内にて大型リチウムイオン電池材料及び核融合炉燃料製造に必要なリチウム6を持続的に製造可能となる。

海水にはナトリウム等のリチウム以外の不用元素が多く含まれるが、著者が核融合研究にて開発したリチウム6同位体分離技術を進展させることで、リチウムのみの選択的な分離が可能となると考えた。本稿では、従来法より短時間で大量のリチウム資源を海水から回収し、リチウム分離過程では発電も可能な革新的技術を紹介する。

## II. リチウム6同位体分離

### 1. 核融合炉で必要なリチウム6

核融合炉の燃料として必要なトリチウムは、リチウム(Li)セラミックス中のリチウム6( ${}^6\text{Li}$ )と中性子との核反応により生産する(図1)。しかしながら、天然のリチウム中にはリチウム6が約7.8%(残りはリチウム7( ${}^7\text{Li}$ ))しか存在せず、必要なトリチウム量を確保するためには約90%に濃縮したリチウム6が必要である。

海外にて実用化されているリチウム6濃縮技術は、水銀を用いたアマルガム法があるが、水銀は有害金属のため、日本では工業化が不可能である。また、吸着材やイオン透過膜を用いた技術開発も行われているが、リチウ



図1 核融合燃料トリチウムの製造法

ム6同位体分離係数が低く、更に、ウラン回収及び同位体分離でも検討された電気泳動法は、連続処理が不可能なことから、それぞれ量産化には不向きである。従って、日本はリチウム6濃縮技術を有しておらず、希少なリチウム6の海外からの輸入も困難であることから、日本独自のリチウム6濃縮技術の確立は、核融合炉早期実現に向けた最重要課題の一つである。

2. イオン液体含浸有機隔膜

著者は、リチウムイオンを透過させるイオン液体と有機膜をハイブリッド化したイオン液体含浸有機隔膜を開発し、本膜を用いた電気透析法にて、リチウム6を濃縮できることを発見し、これまでの課題を克服した、耐環境性、量産性、省エネルギー性に優れた革新的同位体分離技術を確立した(図2)。

天然同位体比のリチウム水溶液(アノード側)とリチウムを含まない溶液(カソード側)の間をイオン液体含浸有機膜にて隔てた電気透析セルに電位を加えることにより、イオン液体含浸有機隔膜を通してリチウムイオンのみが移動する。移動の際、リチウム6イオンはリチウム7イオンより移動速度が速いため、移動後のカソード側はリチウム6が濃縮した溶液になることを利用したリチウム同位体分離技術である。

リチウム原液側とリチウム6回収側をそれぞれ一つとした単セルを用いて、リチウム6同位体分離の原理確認試験を行った。イオン液体として近年開発された電位窓

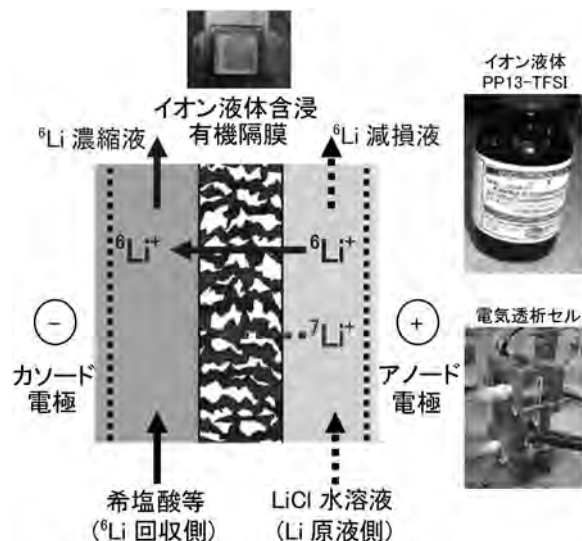


図2 イオン液体含浸有機隔膜によるリチウム6同位体分離技術

の広いPP13-TFSIを使用した結果、リチウム6同位体分離係数としては、最高で1.4と高い値を得ることに成功した(図3)。本数値を、リチウム6収量との関係を加味した実質的な分離効率(6Li同位体分離効率)として、以下式を用いて評価した。

$${}^6\text{Li同位体分離効率} = {}^6\text{Li収量} \times ({}^6\text{Li同位体分離係数} - 1) \quad (1)$$

その結果、リチウム6同位体分離効率はリチウム6同位体分離係数1.05まで急激に上昇し、1.15以降は逆に収量が減少することによりリチウム6同位体分離効率が下がる結果が得られた(図4)。既存技術である水銀アマルガム法におけるリチウム6同位体分離効率は1.06であることから、既存技術とほぼ同等で、かつ、対環境性により優れた手法として適用できることを明らかにした。

III. リチウム資源回収への波及効果

1. リチウム6同位体分離技術を発展させたリチウム回収

核融合炉が実用化された際、燃料としてのリチウム6濃縮のため、大量のリチウムが必要となる。また、近年、電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド自動車(PHV)、一部のハイブリッド自動車(HV)の駆動用電池

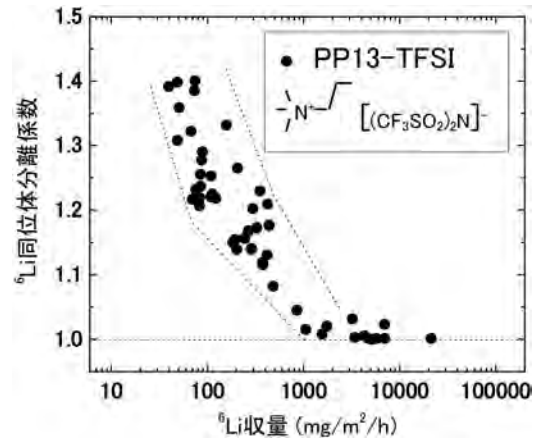


図3 試験後のリチウム6同位体分離係数

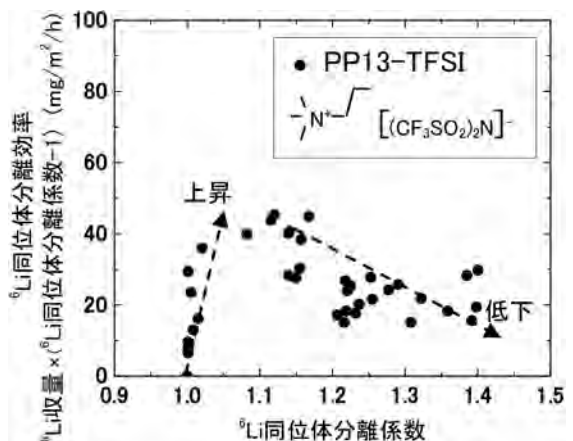


図4 最適なリチウム6同位体分離係数の考察

として必須な、大型リチウムイオン電池の市場が急拡大しており(図5)、その電池の原料となるリチウム価格は、2015年夏の約3倍と急騰しているだけでなく、2025年頃にはリチウム需要急増に対応できず、資源不足に陥る懸念が報告されている。リチウムは輸入に100%頼っており、日本の産業競争力を高めるためには、独自でリチウム資源を確保する技術開発が必須である。

海水にはほぼ無尽蔵のリチウム資源が含まれるため、著者は、四方を海に囲まれた日本の特徴を活かし、これまでに確立したリチウム6濃縮の基盤技術を発展させることで、海水に含まれるリチウムを回収できると考え、新たなリチウム回収技術の研究開発を開始した。

まず、図2と同じ装置構成にて、アノード側には海水(リチウム濃度 0.17ppm)200ml、カソード側には希塩酸(0.1mol%)200mlを通液し、リチウム分離回収の予備的試験を実施した。その結果、海水中に含まれる22%のリチウムを、2時間という短時間で回収することに成功した。また、不要な元素であるナトリウム(Na)、マグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)及びカリウム(K)の回収率は極めて低く、リチウムを選択的に分離回収するために有用な膜であることを明らかにした(図6)。



図5 駆動用バッテリーとして8.8kWhのリチウムイオン電池を搭載する2017年に販売されたプリウスPHV

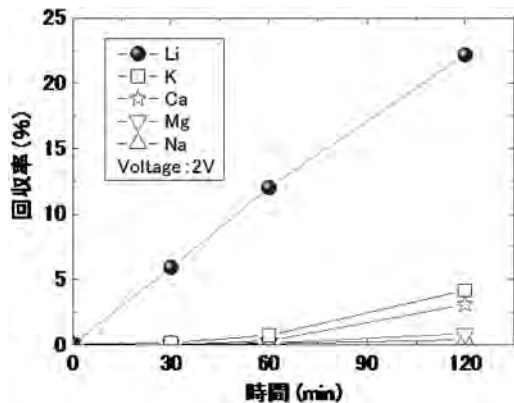


図6 イオン液体含浸有機隔膜による海水からのリチウム回収試験結果

一方で、イオン液体をリチウム分離膜に用いた電気透析では、リチウム(Li)とナトリウム(Na)等の不要元素を完全に分離することが不可能であることも明らかになり、リチウムイオン電池等の原料となる高純度のリチウムを得るには、高コストなリチウム精製技術が必要になると予想されるため、リチウム以外の不純物を含まない回収液が得られる、新たなリチウム分離膜の検討を行った。

## 2. イオン伝導体による発電する革新的リチウム回収技術

次の改良段階として、イオン液体の代わりとして、リチウムのみを選択的に透過する性質を有するリチウムイオン伝導体をリチウム分離膜とした技術開発を開始した。リチウムイオン伝導体は、発火性が低く、充電容量の大きい次世代リチウムイオン電池(リチウム全固体電池、リチウム空気電池)の電解質材料として期待されている。リチウムのみを選択的に透過する性質を有するため、電気透析における新たなリチウム分離膜としての活用を期待し、海水からのリチウム資源回収を行った

まず、イオン液体含浸有機隔膜をリチウムイオン伝導体に置き換えての試験を行ったが、リチウムは全く透過せず、リチウムイオン伝導体が割れるという現象が生じた。この原因として、海水等に溶解しているリチウムは、周囲を水分子で囲まれた水とイオンとなるため、リチウム水合イオンは透過できないイオン伝導体では、電気的に移動させることは不可能であるためと推論した(図7)。

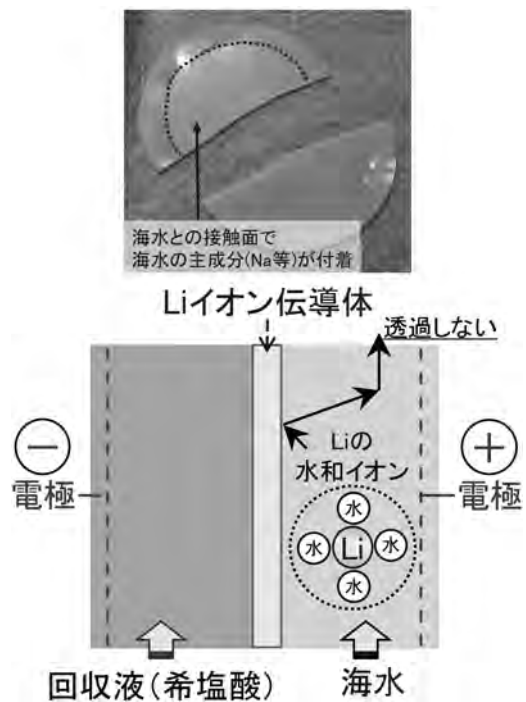


図7 リチウムは水和イオンとして存在するためイオン伝導体を透過しない



そこで、リチウム水和イオンから水分子を取り除く新たな方法の検討に着手した。種々の試験の結果、リチウムイオン伝導体の両端に電極を完全接触させると共に、海水とリチウムを含まない回収溶液間にリチウム濃度差を生じさせることにより、海水中のリチウムが自然に回収溶液へ選択的に移動する分離原理を発案した。更に、濃淡電池のように、リチウムの移動と同時に発生する電子を電極により捕獲することで、電気を発生しながらリチウムを回収できる全く新しい技術を世界で初めて確立した(図8)。

イオン伝導体としては、素材選定試験の結果からNASICON型結晶構造のセラミックスをリチウム分離膜として使用した。資源回収には必ず外部からのエネルギーを必要とするが、本技術は、リチウム分離過程で電気等の外部エネルギー消費を必要としない、革新的技術である。また、日本の主な輸入先である南米の塩湖からのリチウム資源回収技術は、広大な面積の塩湖かん水の蒸発地が必須だけでなく、蒸発期間を含めリチウム回収に約1年の期間を要するため、発案した技術は、省スペース、短時間等、将来の工業化にも大きな貢献が期待できる技術である。

このリチウムイオン伝導体によるリチウム資源回収装置を図9に示す。初期の海水リチウム資源の分離回収装置は携帯電話サイズであったが、装置はiPadミニサイズからノートPCサイズの中型リチウム分離装置へと着実にスケールアップを達成し、実用化へ向けた研究開発を行っている。現在は、ノートPCサイズの電気透析装置の内部を改造し、5cm角のイオン伝導体(有効膜面積16cm<sup>2</sup>)を6枚装荷した装置が稼働している。

実際の海水25リッターを用い、イオン伝導体18枚(6枚のイオン伝導体を装荷した装置3台)にて、3日間のリ

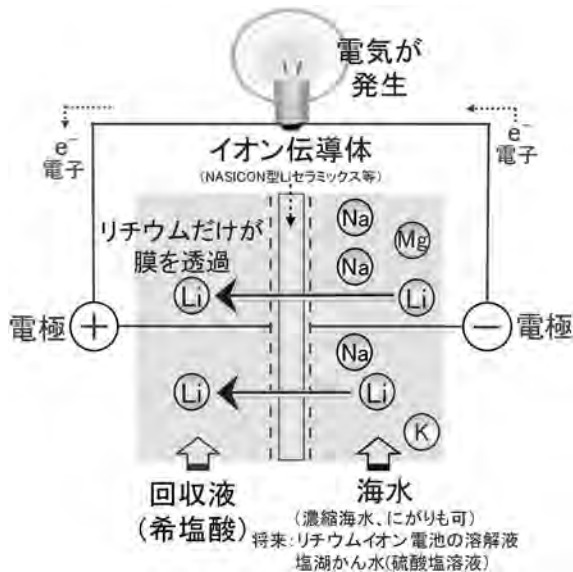


図8 イオン伝導体をリチウム分離膜とした発電するリチウム回収

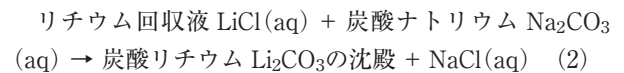


図9 イオン伝導体を装荷したリチウム回収試験装置

チウム回収試験を行ったところ、リチウム以外の不要元素は全く透過せず、海水に含まれるリチウムを最大で約7%回収することに成功した(図10)。

### 3. 電池等の原料になる炭酸リチウム生成

リチウムイオン電池材料を製造する際に必要となるリチウム原料は、炭酸リチウム(Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)である。しかしながら、海水から回収したリチウムは、回収液中では塩化リチウム(LiCl)の水溶液として存在するため、リチウム回収液からの炭酸リチウムの粉末の生成を、式(2)の反応を利用して行う必要がある。



現在のイオン伝導体によるリチウム資源回収装置は実験室規模のため、炭酸リチウムを生成するために十分な濃度のリチウム回収液が得られない。そこで、ロータリーエバポレーターを用い、リチウム回収液中の水分を真空蒸発させ、約10%のリチウム濃度に濃縮した後、炭酸ナトリウム(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)の水溶液を加えることで、容易に炭酸リチウム沈殿が得られた(図11)。

真空蒸発はエネルギー消費を伴うため、パイロットプラント規模では、炭酸リチウムの生成のために最適なり

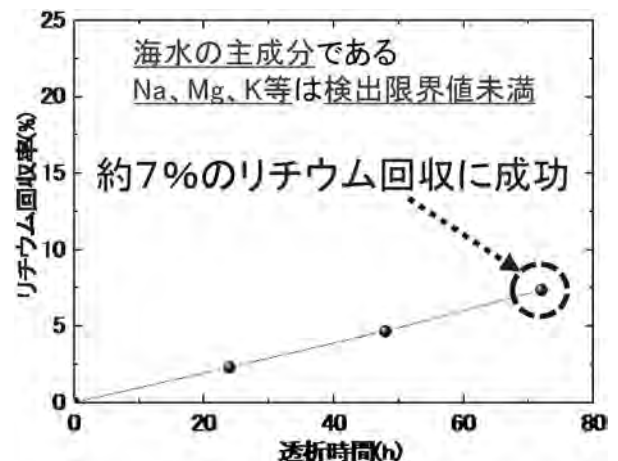


図10 イオン伝導体による海水からのリチウム回収試験結果

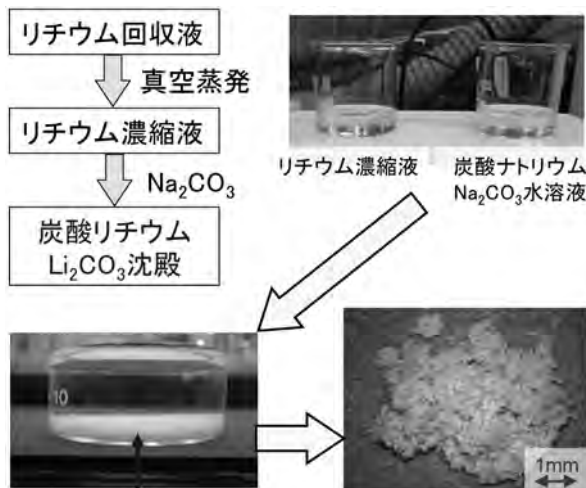


図11 リチウム回収液からの炭酸リチウム ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) 生成

チウム濃度が得られる，イオン伝導体によるリチウム分離回収装置の設計検討が必要である。また，炭酸リチウム沈殿は塩化ナトリウム ( $\text{NaCl}$ ) 水溶液中に生じるため，ろ過して得られた炭酸リチウム沈殿は，不純物として微量の塩化ナトリウムを含む。よって，炭酸リチウムの純度向上のための対策も必要となる。

本研究では，炭酸リチウムは塩化ナトリウムより水への溶解度が極めて低い性質を利用し，塩化ナトリウムが付着した炭酸リチウム沈殿を水で洗浄し，塩化ナトリウムを水に溶解させて洗い流すことで，より純度の高い炭酸リチウム粉末を得た。

#### IV. ゼロエミッションなリチウム資源回収を目指して

本技術は，現在行われている，塩湖からのリチウム回収技術と比べ，省スペース，短時間，さらに，電気を新たに生むゼロエミッション化が見通せる，革新的な技術である。また，使用済みリチウムイオン電池からのリチウムリサイクル，海水淡水化プラントから排出される濃縮海水，火力・原子力発電所の冷却水として大量に取水した海水からのリチウム回収などにも適用可能である。



図12 非連続イノベーションを伴うリチウム循環型社会

実用化には，リチウム分離膜として使用するイオン伝導体の更なる性能向上が必須である。そこで，新たなイオン伝導体の開発に努めるとともに，更なる低コスト化への取り組みとしてリチウム回収システム全体を抜本的に再検討し，排  $\text{CO}_2$  ガスを利用した炭酸リチウム生成を可能とする研究開発を行う。

更に，リチウム分離過程では副産物として燃料電池の燃料である  $\text{H}_2$  ガスも発生するため，化石燃料由来の  $\text{H}_2$  製造が不要な水素社会実現にも貢献し，総合的に  $\text{CO}_2$  排出量を削減する，非連続イノベーションを伴うリチウム循環型社会の実現を目指す(図12)。

#### — 参考資料 —

- 1) T. Hoshino, T. Terai, Journal of Nuclear Materials, 417, 696-699, (2011).
- 2) T. Hoshino, Desalination, 317, 11-16 (2013).
- 3) T. Hoshino, Desalination, 359, 59-63 (2015).

#### 著者紹介

星野 毅 (ほしの・つよし)

量子科学技術研究開発機構 核融合エネルギー研究開発部門

(専門分野/関心分野)核融合炉用材料や発電する海水リチウム回収技術の研究



# 地政学的リスクとエネルギー

## 第2回 米国新政権のエネルギー・環境政策

東京大学 小宮山 涼一

米国トランプ政権は、自国の国益最大化を目指し「米国第一」主義を掲げ、それを阻害する規制の緩和・撤廃や国際的枠組み脱退の動きを見せている。トランプ政権が取り組む石油・ガス資源開発の規制緩和により、石油・ガス部門での生産・輸出拡大が進み、米国は国際エネルギー市場での資源国としての存在感がより高まると考えられる。環境政策では、クリーンパワープラン廃止、パリ協定離脱等を表明したが、特に米国のパリ協定離脱で、同協定の目指す目標の実現可能性が低下することが危惧される。

**KEYWORDS:** *Trump administration, America first energy plan, the Paris Agreement, clean power plan, shale revolution, energy independence*

### I. はじめに

2017年1月に誕生した米国トランプ新政権は「米国第一」主義を掲げて政権運営を進め、環太平洋連携協定(TPP)離脱やパリ協定離脱を表明するなど、世界情勢のリスク要因となっている。国際政治面では、世界の安全保障の安定化に同盟諸国と緊密に連携して取り組む中核的役割より後退する姿勢を見せている。他国の相応の負担なしに、米国の多大な貢献による世界情勢安定化という公益的利益が、関係諸国のただ乗りを許容しているとして、米国にその貢献に見合う国益が無ければ撤退を示唆する孤立主義的な動向が伺える。国際経済面では、トランプ大統領は米国の労働者の利益を重視しており、国際的な自由貿易による米国の経済成長拡大に懐疑的であり、環太平洋連携協定(TPP)からの離脱を表明した。米国内の労働者の利益が市場の国際化により低下するならば、政府が市場を守る姿勢を見せ、また、米国内の経済拡大と雇用創出に貢献しない他国へ圧力をかけ、米国に有利な経済環境整備のため、米国の国際社会でのポジションの再構築を志向しているように推察される。

このような政治、経済政策を見ると、トランプ政権は、

*Geopolitical risk in energy market (2); New US energy and environmental policy* : Ryoichi Komiyama.

(2017年6月4日 受理)

■前回タイトル

第1回 シェール革命と変貌する石油地政学

孤立主義、国益最大化を指向した姿勢を強めており、エネルギー・環境政策も、これまでの大統領令を踏まえれば、国益を第一とする政策を進めている。新政権が公表した「An America First Energy Plan」<sup>1)</sup>では、主要方針として、米国が保有するエネルギー資源の最大限の活用、それを阻害する規制緩和と雇用拡大、オバマ前政権の気候変動対策の撤廃、シェール資源開発とその収入による道路、学校や橋等の公共インフラ整備、クリーンコール技術の推進と石炭産業再生、原油の海外輸入依存度の低下とOPEC原油からの自立化の実現、環境調和を基本政策として表明している。2017年6月のパリ協定離脱の表明など気候変動対策では大幅な転換が進む一方、石油・ガス生産は更に増大し、資源の海外依存度低減や、輸出拡大を表明している。2017年1月には、オバマ前政権が拒否した原油輸入パイプライン建設を承認し<sup>2)</sup>、今後の新政権の資源開発策への関心が高まっている。

米国での政権交代に伴い、同国のエネルギー・環境政策は転換点を迎えると同時に不確実性を増しており、本稿では米国新政権の基本政策を踏まえ、環境問題、化石燃料、原子力の動向等について解説する。

### II. 米国エネルギー市場の動向

オバマ前政権では太陽光や風力、省エネ、シェール革命で拡大した天然ガス利用等の推進に注力した。再エネは、政府による税制支援や規制(再生可能エネルギーポートフォリオ基準(RPS)等)により、普及が拡大した。



またシェール革命により米国は世界最大の産油・産ガス国となり、米国のエネルギー自給率が改善し、政府では原油・天然ガス輸出増加へ向けた動きが活発化し、長らく原油は輸出原則禁止であったが、2015年に輸出が認可され、国際原油市場での米国の存在感が高まっている。また、原油価格に反応して増減産を行いやすいシェールオイルは、国際原油市場でも生産調整の役割を担うようになり、OPECの伝統的な役割が弱体化しつつある。また米国の石油の自給率向上と中東依存度低下により、石油供給確保源としての中東地域の重要性は従来より低下しつつある。石炭は、天然ガス拡大とオバマ前政権による環境政策(水銀や窒素・硫黄酸化物等の排出規制)により競争力が大きく低下した。原子力は、天然ガスや再エネの台頭とそれとの価格競争の影響を受けて新設がほとんど見られず、近年は特にその市場競争力は低下している状況が続いている。

気候変動政策では、オバマ前政権はワックスマン＝マーキー法案等による排出量取引の立案(議会で否決)や、気候行動計画を発表し、また、企業平均燃費基準(CAFE基準)の強化、重量車の燃費基準の設定、民生機器の省エネ基準の強化、新設・既設火力へのCO<sub>2</sub>排出規制、石油・天然ガス開発部門のメタン排出対策を主導するなど、気候変動問題の解決に積極的に取り組んだ。

2013年6月には、前政権の代表的な環境政策であるクリーンパワープラン(CPP、既設発電所からのCO<sub>2</sub>排出規制)等が策定されたが(表1)、本格的な実施には至らなかった。また、オバマ前政権は、米国の温室効果ガス排出量を2025年までに2005年比26～28%削減する目標を国連に提出し、温室効果ガスの主要排出国として、気候変動問題に取り組む姿勢を国際的に示していた。

### Ⅲ. 米国新政権のエネルギー・環境政策

#### 1. 環境政策

2017年3月、トランプ大統領は「エネルギー自給化と経済成長」に関する大統領令<sup>3)</sup>に署名し、オバマ前政権による環境対策を撤回し、化石資源と雇用の促進を目指す方針を表明した。これにより、前政権が策定した州政府に火力のCO<sub>2</sub>排出削減を義務付けるCPP(表1)などが

表1 クリーンパワープラン(CPP)

	内容
CO <sub>2</sub> 削減目標	・2030年までに2005年比32%削減
規制対象発電設備	・設備容量: 2.5万kW以上 ・化石燃料燃焼能力: 260 GJ/時間以上 ・2014年1月8日以前に建設開始
規制方法	・EPAが州毎に排出目標設定 ・排出量枠・再エネ等の取引
期待される政策効果	・石炭火力効率改善 ・天然ガス複合火力稼働率向上 ・再エネ普及拡大

(出所) EPA<sup>4)</sup>等より作成

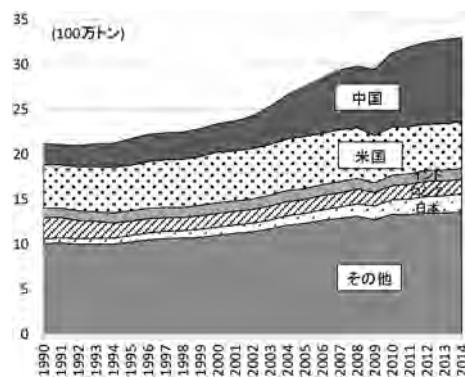


図1 世界の二酸化炭素排出量の推移  
(出所) IEA<sup>5)</sup>

廃止に向け見直された。CPPは、火力への直接的な規制措置だけでなく、石炭からガス火力へのシフトや、再エネ導入拡大も考慮した排出原単位目標を州毎に課す枠組みである。CPP実施により、米国の発電部門のCO<sub>2</sub>排出量は2030年までに2005年比32%削減が見込まれていた。また石油・ガス開発生産時のメタンガス排出規制も見直され、連邦政府所有地でのシェール鉞床開発時の水圧破砕への規制も見直される予定となった。

このような中、トランプ政権は、気候変動問題への取り組みが米国の国益に与える影響を再検討を通じて、2017年6月、気候変動に対する国際的枠組みであるパリ協定からの離脱を発表した<sup>6)</sup>。2016年11月に発効したパリ協定からの脱退により、事実上、前政権が掲げた温室効果ガス削減目標も放棄し、途上国支援も停止する。パリ協定は世界190カ国以上が合意した国際協定であるが、世界第2位(図1)の温室効果ガス排出国である米国の離脱により、大きな転機を迎えることになる。米国のパリ協定からの離脱で、同協定の目指す対策目標の実現可能性が低下することが懸念され、またパリ協定では、先進国は途上国の温暖化対策に対して2020年までに年間1,000億ドルの資金支援を目指し、米国も途上国支援の基金100億ドルのうち30億ドルの分担を約束していたが、停止される見込みとなり、協定の効果的運用が損なわれることが懸念される。オバマ前政権は、2016年9月、パリ協定への加盟を、大量排出国の責務として中国とともに発表し、協定発効を後押ししたほか、途上国による温暖化対策支援基金に多額の資金拠出を表明するなど、パリ協定を主導しただけに、その政策転換の国際的影響が危惧される。ただし米国はパリ協定の大枠である国連気候変動枠組み条約へは参加を継続する見込みであるため、今後も米国が気候変動対策の国際交渉に継続的に関与する環境は維持されることに留意が必要である。

#### 2. 自動車燃費基準(CAFE基準)

トランプ政権のエネルギー・環境政策に関しては、資源開発などの供給側だけでなく、エネルギーを消費する

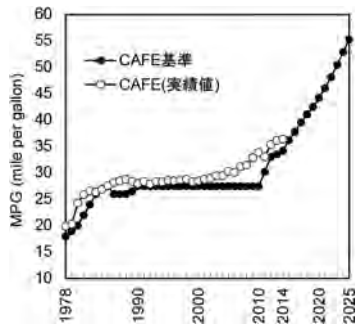


図2 CAFE基準とCAFE実績値の推移(乗用車)  
(出所)米国運輸省道路交通安全局(NHTSA)<sup>7)</sup>

需要側にも注目する必要がある。トランプ政権の主要政策である規制緩和は、消費側から見れば、エネルギー需要に与える影響が大きいと考えられる。オバマ前政権は、自動車の企業平均燃費基準(Corporate Average Fuel Economy Standard: CAFE基準)を2025年にかけて大幅に強化する方針を定めた。CAFE基準は、各メーカーに、製造した対象車種(乗用車と小型トラック)の販売量の加重平均で算出される燃費が基準値を遵守するように義務付ける制度である<sup>8)</sup>。オバマ前政権は2025年式の自動車の平均燃費を54.5マイル/ガロン(約23km/l)とすることを目標としたが、米国の自動車工業会がCAFE基準緩和の陳情を政府に要請し、トランプ政権も規制緩和の方針を表明し、EPA(環境保護庁)、運輸省道路交通安全局(NHTSA)はCAFE基準の見直しを始めている。ただし米国では、州政府の役割も大きい。例えばカリフォルニア州大気資源局(CARB)はCAFE基準見直しに反対し、トランプ政権の規制緩和政策とは異なる政策動向が見られ、クリーンエネルギー自動車の促進を図る方針を堅持している。トランプ政権がCAFE基準を緩和すれば、電気自動車などクリーンエネルギー自動車普及にブレーキがかかり、近年の原油価格低下ともあいまって、中長期的に米国のガソリン需要を押し上げる可能性もあるといえる。

### 3. 化石資源開発の規制緩和

オバマ前政権下では、シェール鉱床開発が進められたが、環境保護の観点から、地域によっては掘削禁止の規制方針を表明し、2015年2月には、アラスカ州の連邦政府所有の陸上・洋上域を恒久的に石油・ガス掘削禁止区域に定められた。さらに2016年12月には、外縁大陸棚法により、一部の北極圏の掘削、開発が、環境保護等の観点より禁止された。しかし、トランプ大統領は2017年4月、洋上油・天然ガス田の掘削規制緩和に関する大統領令<sup>9)</sup>に署名し、北極海、メキシコ湾岸等を対象とした前政権での石油・天然ガス開発規制の見直しを表明し(連邦政府所有の2017~2022年の外縁大陸棚での開発規制緩和など)、前政権の洋上資源開発規制の見直しを指示した。

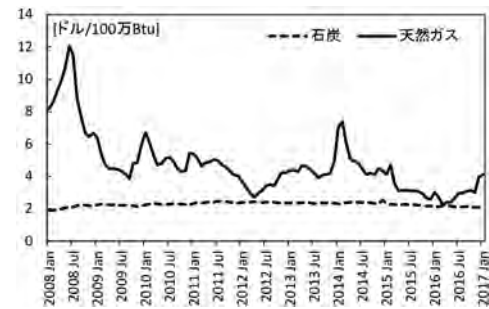


図3 米国の天然ガス価格、石炭価格の推移(発電用)  
(出所)米国エネルギー省(<https://www.eia.gov/>)

またトランプ大統領は、石炭産業再生を公約に掲げ、連邦政府所有地での石炭鉱区開発停止の緩和を支持している。しかし現実には、石炭は市場競争力が低下しつつあり、開発規制や環境規制緩和のみでは、石炭再生は難しいとする見方もある。シェール革命により天然ガス価格低下が進んで、天然ガスと石炭の価格がほぼ熱量等価となり(図3)、資本費が安く発電効率の高い天然ガス複合火力発電と比べ、資本比率の高い石炭火力発電は価格競争力維持が困難となったことから、近年の米国の電源構成で石炭火力比率は低下している。

### 4. 原油インフラ整備

米国の原油貿易を担うキーストーンパイプライン建設許認可に関してオバマ前政権下で賛否が議論された。キーストーンパイプラインは、カナダ西部の重質原油(オイルサンド由来)を米国へ輸入する重要なインフラ建設プロジェクトとして位置づけられ、2008年にキーストーンXLパイプライン(KXL, XLは輸出専用(eXport Limited))を意味、輸送容量は日量約80万バレルの計画が提案された。これに対し、環境団体等は温室効果ガス排出量増加や漏洩の懸念からKXLパイプライン建設に反対したが、前政権時の議会でその建設許可が可決されたが、オバマ前大統領の拒否権発動で実現しなかった。しかしトランプ大統領は、2017年1月、KXLパイプライン建設支持を表明し、国務省も同3月、建設計画を認可した。そのため今後、建設着工へ向けた動きが進み、将来完成すれば、米国へのカナダの原油輸出の増強により、シェール革命と相まって、米国の原油安定供給が強化され、北米での原油需給の自立化に大きく貢献すると考えられる。

### 5. 天然ガス需給

トランプ政権は、連邦政府所有地でのシェール鉱床開発の水圧破碎規制の見直しを表明した<sup>3)</sup>。シェールガス生産の拡大、ガス価格の低下は、米国のエネルギー市場と経済、雇用そしてエネルギー対外政策に中長期的な影響を与え、米国の国益に貢献すると考えられている。シェール革命により実際、天然ガスは市場競争力を高



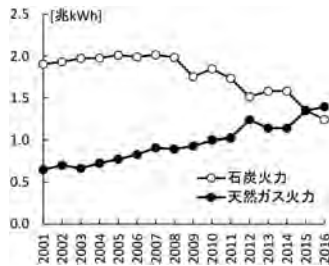


図4 米国の石炭火力、ガス火力発電量の推移  
(出所)米国エネルギー省 (<https://www.eia.gov/>)

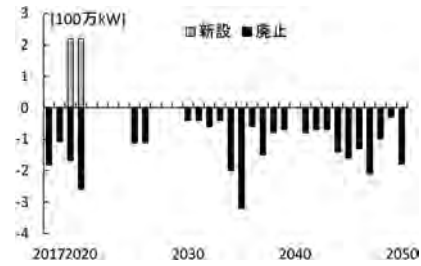


図6 米国の原子力発電の新設、廃止容量の展望  
(出所)米国エネルギー省<sup>10)</sup>

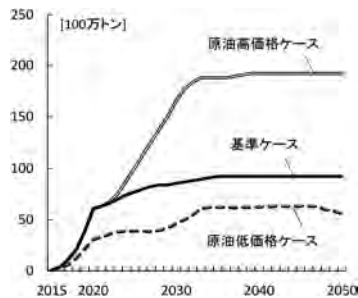


図5 米国のLNG輸出量の展望  
(出所)米国エネルギー省<sup>10)</sup>

め、2016年に天然ガス火力の電源比率は石炭火力を上回って最大となり(図4)、米国のCO<sub>2</sub>削減にも寄与している。ガス価格低下とそれに伴う電力等のエネルギーコスト低下をうけ、豊富で安価なガスを活用した石油化学部門や石油精製部門、シェール資源周辺産業の活性化は、米国の経済成長と雇用に大きな貢献をしている。また米国では、以前に計画されていたLNG輸入基地がLNG輸出基地に転換され、多数のプロジェクトがLNG輸出を開始し、今後、米国は世界有数のLNG輸出国に変貌し(図5)、オーストラリアや東南アジア諸国と肩を並べる新興的なLNG輸出国として台頭して、米国の資源国の側面での国際的重要性を高め、国益に貢献すると考えられる。またトランプ大統領は米国の貿易赤字を問題視するが、LNG輸出拡大はその改善効果をもたらすと考えられる。

## 6. 原子力発電

米国では現在、原子力稼働基数が99基となり100基を下回ったが、その発電比率はシェール革命での経済的逆境下でも2割を維持している。また原発稼働率は2016年には92.5%と過去最高の稼働率を記録し、近年も90%前後で推移しており、米国の原子力はガスが市場競争力を持つ中でも、電力市場で一定の存在感を示している。

1979年のTMI事故以降、米国では原子力の新規建設が停滞しており、2016年10月、ワッツバー2号機が約20年ぶりに新規原子力として営業運転開始に至ったが、以前に比べ、原子力発電は厳しい事業環境が続いてい

る。米国内の原子力は現在、電力市場自由化が実施されていない州にて、総括原価規制により原発コストを電気料金に上乗せできるため建設が進められ、建設中の原子炉はボーグル発電所3号機、4号機(ジョージア州)、VCサマー発電所2号機、3号機(サウスカロライナ州)の計4基存在する。電力自由化州では卸電力市場の機能活用により、新規建設の投資回収の予見性が低下しており、建設が進んでおらず、その事業環境は依然厳しい。さらに既設炉の運転維持も、経済性の問題から不確実性が高まっている。シェールガスや再エネの拡大を受けて卸電力価格が低下して既設炉の採算性確保が困難になり、2010年以降、運転ライセンス終了前の早期閉鎖を決定した原子炉が現れている。米国では市場メカニズムの役割が重視されているため、原子力が支援策無しで市場に委ねられれば、現状ではコスト競争力のある天然ガスに淘汰される環境にある。米国の長期予測でも、新設は今後ほとんど見られず、既設炉閉鎖が見込まれている(図6)。

トランプ政権は原子力への政策に関する具体的な動きは見られないが、米国では州政府の政策決定の権限が大きく、州政府の動向が注目されている。現在、イリノイ州やニューヨーク州では、原子炉早期閉鎖の抑制を目的とした政策を決定し、原子力の環境性に経済的価値を付与する制度が制定された。既設炉維持へのインセンティブや原子力産業再生が期待される。

## 7. 対外政策

エネルギー自給率向上は、米国のエネルギー政策の伝統的な政策方針である。近年は、シェール革命により、石油・ガス輸入国から輸出国へそのポジションのシフトが鮮明化している。予測では、米国は2020年代半ばにはエネルギー純輸出国に転じるとみられ(図7)、中東へのエネルギー輸入依存度が低下すると考えられている。これまで米国は、石油資源確保を目指すため、中東地域安定へ政治経済・軍事面で継続的に関与していた。一方、エネルギーの自立化が進めば、トランプ政権の米国第一主義にならえば、中東安定化への関与の低下も想定されるが、国際関係上の重要な問題もある。例えば、イランとの国際関係のあり方や、対テロ戦略を遂行する一環として、サウジアラビアなどアラブ諸国は重要な同盟



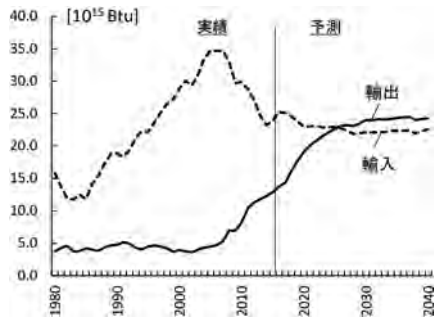


図7 米国のエネルギー資源貿易量の展望  
(出所)米国エネルギー省<sup>10)</sup>

国として位置づけられている。またサウジなど主要な中東諸国が、石油需要の旺盛なアジアを含めた国際原油市場に極めて大きな影響を中長期的に与えると想定される。そして、米国の中東原油の輸入依存度が低下しても、中東情勢の不安定化は国際原油価格高騰をもたらす。米国内の原油価格にも影響を与え、米国にも社会経済上でマイナスになると考えられる。米国のエネルギー自給化が、サウジなどアラブ諸国に対して今後の米国・中東関係に危惧をもたらしたともされるが、中東地域の安定は米国を含めた国際社会に依然として安全保障・経済・エネルギーで広範な影響があるため、今後も米国は中東安定を重視する政策を進めると考えられる。トランプ政権がもし強硬な政治姿勢でイランに対し臨めば、原油輸出上、世界で最も重要な要衝であるホルムズ海峡の緊張が高まり、日本のシーレーンの安全保障問題にも関連するため、トランプ政権による中東政策は、原油輸入に頼る日本のエネルギー安定供給にとって大変重要である。

#### IV. まとめ

トランプ政権は、米国第一主義を掲げ、国益最大化を目指し、エネルギー・環境政策では、パリ協定からの離脱を発表し、また、不要な規制の撤廃、国内資源の最大活用、エネルギー自給化、石炭産業再生、アラブ諸国との関係強化などを目標としている。特に、石油・ガス資源開発の規制緩和により、シェールガス、オイルなど石油・ガス部門での生産・輸出拡大が進み、国際エネルギー市場での資源国としての米国の存在感はより高まると考えられる。シェール革命により、エネルギー純輸出国へ転じれば、海外への政策上の優先度は相対的に低下する危惧もある一方、対テロ戦略など安全保障に関わる重要な問題もあり、米国の中東政策への取り組みは引き続き重要になると考えられる。また、トランプ政権はパ

リ協定離脱を表明したが、同協定では今世紀後半に世界の排出量をゼロに抑えることを国際目標として掲げているため、米国のパリ協定離脱が仮に長期化すれば、国際目標達成には、米国を除く各国での削減努力に委ねられるため、協定批准国の負担増加が不可避になると同時に、公平性も損なわれかねず、世界の温室効果ガス排出削減にブレーキがかかる懸念もある。トランプ政権の対外政策が国際エネルギー情勢に与える影響を詳しく分析し、日本は最適なエネルギー戦略の構築が求められる。

#### — 参考資料 —

- 1) An America First Energy Plan, White House  
< <https://www.whitehouse.gov/america-first-energy> >  
(アクセス日: 2017年5月19日).
- 2) Presidential Permit for Keystone XL Pipeline  
< <https://keystonepipeline-xl.state.gov/documents/organization/269322.pdf> > (アクセス日: 2017年5月25日).
- 3) Presidential Executive Order on Promoting Energy Independence and Economic Growth  
< <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2017/03/28/presidential-executive-order-promoting-energy-independence-and-economi-1> >  
(アクセス日: 2017年5月25日).
- 4) EPA, Regulatory Impact Analysis for the Clean Power Plan Final Rule, August 2015  
< [https://www3.epa.gov/ttnecas1/docs/ria/utilities\\_ria\\_final-clean-power-plan-existing-units\\_2015-08.pdf](https://www3.epa.gov/ttnecas1/docs/ria/utilities_ria_final-clean-power-plan-existing-units_2015-08.pdf) >  
(アクセス日: 2017年6月30日).
- 5) IEA, World Energy Balances, 2016
- 6) Statement by President Trump on the Paris Climate Accord, White House, June 01, 2017  
< <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2017/06/01/statement-president-trump-paris-climate-accord> >  
(アクセス日: 2017年6月4日).
- 7) NHTSA, Summary of fuel economy performance, 2016.
- 8) 小宮山涼一, 米国 CAFE 基準(自動車燃費基準)の概要, 日本エネルギー経済研究所, 2008年3月  
< <http://eneken.ieej.or.jp/data/pdf/1640.pdf> >  
(アクセス日: 2017年6月4日).
- 9) Presidential Executive Order Implementing an America-First Offshore Energy Strategy, White House, April 28, 2017  
< <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2017/04/28/presidential-executive-order-implementing-america-first-offshore-energy> > (アクセス日: 2017年5月25日).
- 10) EIA/DOE, Annual Energy Outlook 2017, 2017.

#### 著者紹介

小宮山涼一 (こみやま・りょういち)

本誌, 59[7], p.57(2017)参照.

## 第2回 マイナーアクチノイドの分離技術

## 長寿命核種の分離変換技術の現状

## 「放射性廃棄物の分離変換」研究専門委員会

日本原子力学会「放射性廃棄物の分離変換」研究専門委員会は、国内外における分離変換技術や関連する技術の研究開発状況について調査・分析してきた。長寿命核種の分離変換技術の現状について、4回に分けて紹介する。第2回では、発電用高速炉の酸化燃料および金属燃料、ならびに加速器駆動システムの核変換用窒化物燃料を対象としたマイナーアクチノイドの分離技術について解説する。

**KEYWORDS:** MA cycle, Aqueous separation process, Extraction chromatography, Ion exchange, Solvent extraction, Pyroprocess

## I. 再処理とマイナーアクチノイド分離

使用済み燃料からUとPuを分離する技術については、すでに再処理技術として実用化されている。現行の再処理工場では、溶媒抽出技術を用いたPUREX法が採用されており、わが国においても六ヶ所再処理工場での方法が採用されている。長寿命核種の分離変換では、さらに、マイナーアクチノイド(MA)のNp, AmおよびCm, ならびに核分裂生成物(FP)を処理方法や利用目的に応じていくつかのグループまたは元素に分離し、高速炉や加速器駆動システム(ADS)による核変換システムに燃料として供給する。

分離変換技術における分離技術は、再処理技術と大きく係わっており、開発が進められている次世代再処理技術には、MA分離技術と一体となった構成として検討されていることが多い。検討されている分離手法は、水溶液系において分離操作を行う「湿式分離技術」と、水溶液を用いない「乾式分離技術」に大別される。

## 1. 湿式分離技術

「湿式分離技術」では、PUREX法あるいはこれを改良した再処理プロセスで発生した高レベル放射性廃棄物中

に含まれるMAを分離対象とする。MAのうちNpについては、PUREX法の分離条件の調整によりU, Puとともに回収側に移行させることが可能であるので、MA分離技術の対象になるのはAmとCmである。溶液中で3価であるAmとCmは、FPとして多量に含まれる希土類元素(RE)と化学的に類似した性質を持つため、REとの分離が重要な課題となる。

湿式分離技術の一つである溶媒抽出法は、互いに混じり合わない有機相と水相の間における親和性の違いを利用して物質を分配させ、分離を達成する手法である。有機物である抽出剤を使用することから、放射線分解に対する配慮が必ず必要となるが、PUREX法の例などにより、その影響を十分評価した装置設計と分解生成物の除去プロセスの実装によって適用可能と考えられる。

この手法によるMA分離技術の研究開発の歴史は長く、2000年頃までには、核燃料サイクル開発機構(当時)によるSETFICS法<sup>1)</sup>、および日本原子力研究所(当時)による4群群分離法<sup>2)</sup>の性能実証試験が高レベル放射性廃液を用いて行われ、良好な分離性能を示した。しかし、これらの方法では、リン酸系の抽出剤を採用しており、分離プロセスの条件により沈殿が発生するなど、プロセス廃棄物の発生量に課題があることから、リンを含まず炭素(C)、水素(H)、酸素(O)、窒素(N)のみから構成される分子構造(CHON原則)を有する新抽出剤の開発や溶媒抽出法に代わる手法である抽出クロマトグラフィーの開発に移行し、イオン交換樹脂による分離法も提案された。

*Present State of Partitioning and Transmutation of Long-lived Nuclides (2); Partitioning Methods of Minor Actinides from Spent Nuclear Fuel* : Research Committee on Partitioning and Transmutation of Radioactive Waste.

(2017年6月15日 受理)

抽出クロマトグラフィは、抽出剤を固体の吸着剤に含浸させてカラムに充填し、固相への選択的な吸着によって分離を達成する方法である。装置が単純で多段効果を出しやすい利点があり、廃棄物発生量を低減化できる可能性があることから、FBR サイクル実用化研究開発 (FaCT) において、U、Pu および Np を抽出した抽出残液から Am および Cm を分離回収する候補技術として、開発が進められてきた<sup>3)</sup>。

イオン交換法を用いた MA 分離は、陽イオンまたは陰イオン交換樹脂と溶離液との組み合わせによって達成され、溶離液に有機錯形成剤を用いることで、RE 間の相互分離も可能である。RE と MA との分離法としては、ピリジン樹脂と塩酸を組み合わせた分離法が開発されている。また、硝酸-アルコール系を用いることで、MA と RE の相互分離だけでなく、Am と Cm の相互分離も達成可能であることが実験的に示されている。イオン交換法は柔軟な適用が考えられ、今後の研究が期待される。

## 2. 乾式分離技術

水溶液を使用せず、熔融塩や液体金属などを溶媒として主要工程を行う化学プロセスを「乾式法」と呼ぶ。溶媒としては、塩化物やフッ化物などの無機塩を高温で溶解させた熔融塩、および Cd や Bi、Al などの比較的融点の金属を溶解させたものが主に使用される。これらの溶媒は化学的に非常に安定であり、水溶液中では水の分解に阻まれて金属にまで還元させることが困難なアクチノイド元素やランタノイド元素の多くを、ハロゲン化物や金属(合金)の状態でも保持することが可能である。また、これらの元素の酸化物や窒化物に対しても溶媒が化学的に安定であるため、幅広い燃料形態に適用することが可能である。

乾式法では、再処理と MA 分離を一体化し、U、Pu 及び MA を回収する分離プロセスとして開発が進められている。乾式法の主要工程の多くはバッチ処理で行われる。一般的にバッチ処理プロセスはスケールメリットが低いが、逆に大きな処理量が必要とされない高速炉サイクル導入期や MA 核変換サイクルなどにおいては、コスト面で有利になる可能性がある。また、機器交換が容易であり、増設による習熟効果、継続的な研究開発や機器設計改善促進、機器故障への対応の観点から利点を有する。乾式法では、強力な中性子減速材である水が工程内に存在しないため、臨界裕度が大きくなる。このため機器あたりのアクチノイド取扱可能量が大きく、機器と設備のコンパクト化が可能になる。また、熔融塩や液体金属は放射線による劣化が起こらないため、高富化度、高線量のプルスーマル燃料や高速炉燃料、核変換ターゲットの処理に適する。

一方で、乾式分離では高温で行われる工程が多いた

め、耐腐食性、機械的強度に優れた材料の選定や開発が求められる。また、従来の PUREX 再処理とは異なる種類の廃棄物が発生することから、その処理方法および安定処分に適した固化形態の開発などが重要な課題となる。さらに、乾式分離では固体状態の製品や中間生成物、廃棄物が多数発生するため、少量多数を対象とした分析方法と核物質管理システムの開発が必要である。

## II. 発電用高速炉を用いた分離変換システムにおける MA 分離技術

高速炉に MA を装荷する分離変換システムでは、高速炉燃料の再処理において MA も分離し、MA を含有する高速炉燃料を発電炉に装荷する。高速炉酸化物燃料を対象とする湿式分離法、高速炉金属燃料を対象とする乾式分離法について、それぞれの技術の開発状況を紹介する。

### 1. 高速炉酸化物燃料を対象とする湿式分離法

MA 分離技術として、抽出クロマトグラフィの開発状況、および溶媒抽出法による化学的安定性が高く抽出速度の速い新規抽出剤の開発状況について、それぞれ紹介する。

#### (1) 抽出クロマトグラフィ

FaCT における先進湿式再処理法のフローを図 1 に示す。抽出剤を用いない晶析法により大部分の U を回収し、改良した PUREX 法により U、Pu および Np を抽出する。抽出剤分解の抑制のために、遠心抽出器の開発が行われた。抽出残液からの MA 分離に、抽出クロマトグラフィの開発が進められた<sup>4)</sup>。

抽出クロマトグラフィによる MA の分離スキームとしては、MA と RE を一括回収する工程と、MA と RE とを相互分離する工程の 2 段階より構成される。それぞ

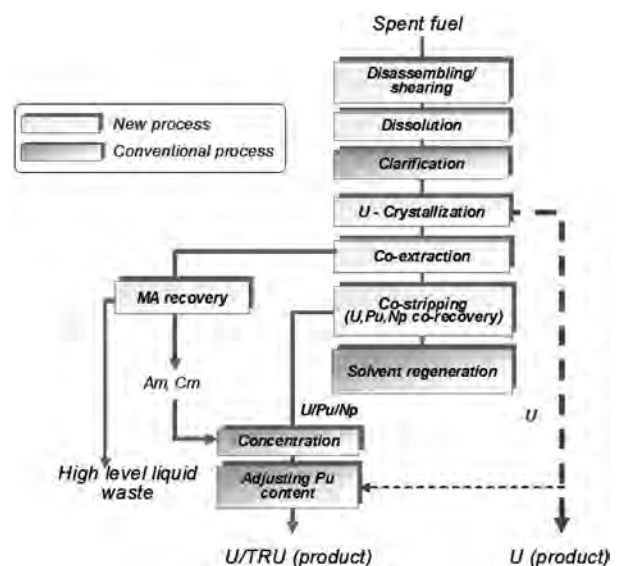


図 1 FaCT における先進湿式再処理法のフロー



れの工程に合わせた抽出剤候補を選定し、適切なプロセスフロー等についての検討を行った結果、一括回収工程に CMPO あるいは TODGA を、相互分離工程に iso-Hex BTP を用いたフローシートを選定した。これらについて高レベル放射性廃液を用いて分離試験を実施し、その適用性を確認した。抽出クロマトグラフィにおける吸着材構造とプロセス操作の概要を図2に示す。

現在、高速炉を利用した分離変換サイクルの小規模実証を目的として、照射済み燃料中の MA を出発原料とした燃料サイクル研究(SmART 研究: Small Amount of Reused fuel Test)を進めており、その中で抽出クロマトグラフィにより、常陽照射済み燃料からグラムオーダーの MA 回収に成功している。

安全性研究では、火災・爆発を防止するための対策として、分離塔の閉塞、放射線分解で生じる水素や熱の蓄積を防止するための試験を実施し、安全対策の妥当性について見通しが示されるとともに、吸着材の放射線分解等による性能の変化についても研究が進められている。機器の開発では、運転操作性、計装制御技術、安全性の確認等を実施するため、工学規模システムを設計・製作し、遠隔操作を模擬した充填層の交換、機器のメンテナンス、繰り返し利用による吸着材の耐久性評価、異常事象からの復旧などについても評価されている。

(2) 溶媒抽出法

Am 及び Cm は、水溶液中で3価のイオンとなり、U, Pu とは異なる挙動を示すことから、溶媒抽出法で分離するためには、新規な抽出剤を用いた分離プロセスが必要となる。化学的挙動が類似した RE との分離を単一の分離操作で達成することは、妨害元素の存在等により非常に困難であることから、高レベル放射性廃液からの MA と RE の一括回収と MA と RE の相互分離の2段階の分離操作を組み合わせた構成としている。MA 分離プロセス構築のために開発された主な抽出剤を図3に示す。

現在、開発が進められている MA 分離プロセスでは、MA と RE の一括回収には TDdDGA, MA と RE の相

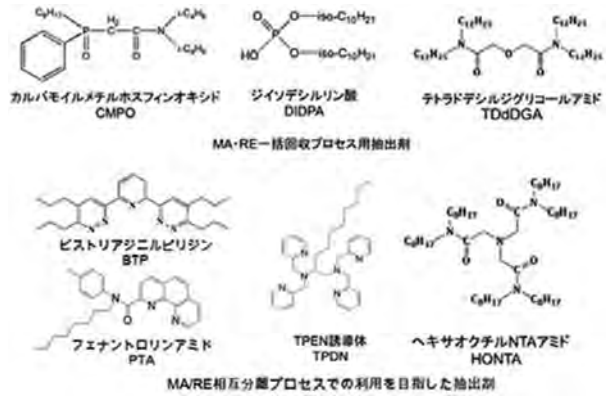


図3 MA 分離プロセス構築のために開発された主な抽出剤

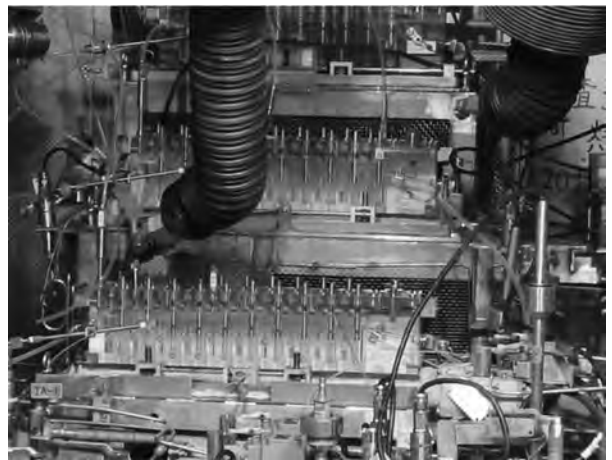


図4 ホットセルにおけるミキサセトラ型抽出器を用いた溶媒抽出法による MA 分離試験

互分離には、わずかなハードソフト性の差により選択性を発揮するソフトドナー抽出剤や、さらに抽出速度等を改善するため分子中にハードドナーを追加したハイブリッド型抽出剤が開発されている。これらの中には、窒素ドナーを分子中に有するものとして欧州で開発された BTP 系, BTBP 系抽出剤や、日本で開発された TPEN 系抽出剤など、極めて高い分離性能を有するものが開発されている。最近開発されたハイブリッド型抽出剤 HONTA は有望な抽出剤であり、TDdDGA と HONTA を採用した MA 分離プロセスは、高レベル放射性廃液を用いた試験において良好な性能が確認されている。

また、最近、Am と Cm の間に高い分離性能を有するハイブリッド型抽出剤 ADAAM が見出され、ミキサセトラ型抽出器による連続抽出試験において Am と Cm の分離に成功した。ホットセルにおけるミキサセトラ型抽出器を用いた溶媒抽出法による MA 分離試験の様子を図4に示す。

2. 高速炉金属燃料を対象とする乾式分離法

乾式法には前述の特徴があることから、軽水炉と比べて燃焼度が高く処理量が少ない高速炉燃料の再処理、

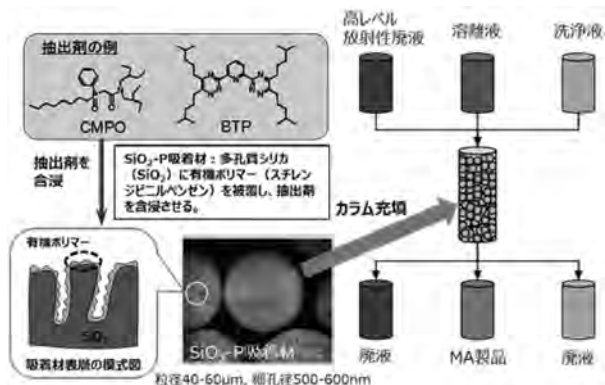


図2 抽出クロマトグラフィにおける吸着材構造とプロセス操作の概要

MA 分離には適用性が高い。ここでは金属電解法について、概要を紹介する<sup>5)</sup>。

金属電解法は、米国アルゴンヌ国立研究所 (ANL) が U-Pu-Zr 合金燃料を用いた高速炉サイクル技術として提案した IFR (Integral Fast Reactor) 概念で用いられる乾式再処理をベースとするプロセスである。IFR は前述の乾式法の特長の他、金属燃料の特性に基づく優れた炉心安全性、簡素で低コストな燃料製造などの特徴を併せ持つ上、高速実験炉 EBR-II 使用済み燃料の処理実績が豊富であることから多くの国々が着目しており、日本では電力中央研究所を中心として研究開発が進められている。

金属電解法の概略プロセスフローを図5に示す。プロセスの中心となるのは、使用済み燃料中の FP を分離し U, Pu, MA の回収を行う電解精製工程である。この概要を図6に模式的に示す。

使用済み金属燃料は被覆管ごと 5~10 mm 程度の長さにはせん断され、ステンレス製のバスケットに装荷されて 500℃ で溶融した溶融塩化物 (LiCl-KCl) 中に浸される。このバスケットを陽極として陰極との間に電圧を加えると、アクチノイドと一部の FP が溶解する。鉄製の陰極を使用すると、溶解した元素の中で最も塩化物生成傾向の低い U が金属形態で優先的に析出する。一方、液体 Cd 陰極を用いた場合には、Cd との間に安定な金属間化合物を形成する Pu および MA が U および少量の希土

類 FP と同時に一括回収され、核拡散抵抗性を高めている。FP のうちアルカリ金属、アルカリ土類金属、ハロゲンおよび希土類の大半は溶融塩中に蓄積する。白金族 FP および金属燃料合金成分の一つである Zr の大部分は、電解精製で溶解せず陽極に残留する。回収されたアクチノイド金属は、陰極処理工程 (高温蒸留による付着溶融塩および Cd の除去) を経てリサイクル燃料原料となる。

電解精製で陽極に残った残留物は溶融固化を経て金属廃棄物となる。電解精製工程で使用された溶融塩化物溶媒は、Cd-Li 合金との反応によるアクチノイド元素の還元・回収、およびゼオライトとの接触による FP 吸着除去の後に再利用される。FP を吸着したゼオライトは、ガラスと混合して加熱・圧縮することにより、ガラス結合ソーダライト固化体として安定化される。

これら各工程の原理的成立性はすでに確認されており、電解精製工程については照射済み燃料を用いて実証済みである。現在は、除染係数や処理速度などのプロセス性能向上を目的とした研究、工学技術としての成立性確認と実用施設設計を目的とした工学規模装置開発と試験、廃棄物固化形態の性能評価などが進められている。

### III. 階層型分離変換システムにおける MA 分離技術

階層型分離変換システムは、核変換専用サイクルを発電サイクルに付加した概念である。この概念では、発電炉の氧化物燃料から ADS に MA を供給する機能、および ADS で核変換後の氧化物燃料から残っている MA を分離して再び核変換燃料とする機能の2つが必要である。

#### 1. 発電炉の氧化物燃料を対象とする湿式分離技術

発電用高速炉の使用済み氧化物燃料からの MA 分離プロセスは、前述の高速炉氧化物燃料を対象とする湿式分離法と全く同様である。一方、軽水炉の使用済み氧化物燃料からの MA 分離技術は、特にウラン燃料においては RE の存在量が MA の 20~30 倍になることから、MA と RE の相互分離に高い性能が要求される。使用する抽出剤等は同じでも、分離プロセスの設計においてより高い分離性能を発揮できる構成とすることになる。現在の溶媒抽出による MA 分離プロセスの開発では、より高い分離性能が要求される軽水炉燃料の再処理により生じる高レベル放射性廃液から MA を分離回収することを目指して進めている。

#### 2. MA 核変換用氧化物燃料を対象とする乾式分離技術

ADS を用いた核変換システムのために現在提案されている炉心設計においては、MA 核変換率が 20% 程度であることから、使用済み燃料を再処理して FP を除去

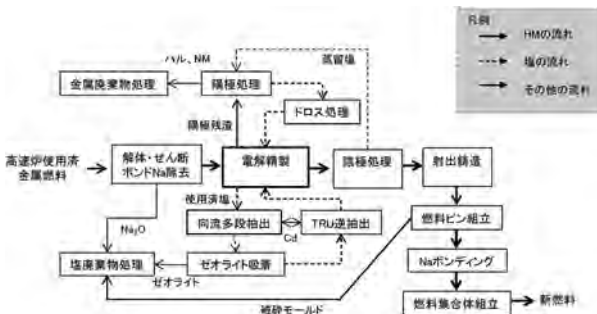


図5 金属電解法の概略プロセスフロー

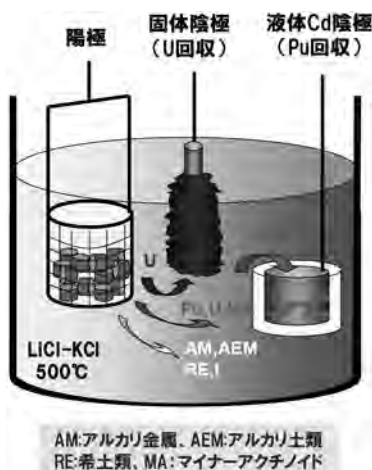


図6 電解精製工程の概要

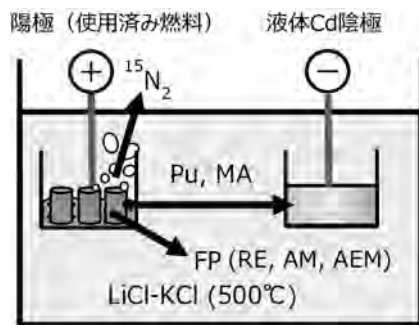


し、回収した MA を燃料として再利用することが必要である。

PUREX 法のように水溶液および有機溶媒を用いる湿式法は、軽水炉燃料等の再処理法として多くの実績があり、FP の分離性能が高い等の利点があるが、比放射能の高い MA 核変換用燃料の再処理では、放射線による抽出剤の劣化が課題である。また、窒化物燃料の場合は、 $^{15}\text{N}$  回収のため、硝酸溶解工程の前に酸化処理の工程などを付加することが必要となる。

一方、乾式法は、熔融塩や液体金属を高温で取扱うために不活性ガス雰囲気の設定が必要であるが、放射線による溶媒の劣化が原理的に起こらず、水が存在しないため湿式法より臨界制限量が大きく、 $^{15}\text{N}$  の回収および再利用が技術的に可能である等の利点がある。窒化物燃料はセラミックスでありながら電気伝導度が高いため、熔融塩電解精製を中心とする高速炉金属燃料用の乾式再処理技術の多くが適用できると期待される。日本原子力研究開発機構が中心となり、MA 核変換用窒化物燃料を対象とした乾式処理プロセスに関する研究開発が行われている。

MA 核変換用窒化物燃料の乾式処理プロセスの主工程は、使用済み窒化物燃料の熔融塩電解と、電解で回収した(Pu, MA)-Cd 合金の再窒化とからなる。MA 核変換用窒化物燃料の熔融塩電解の概要を図 7 に示す。熔融塩電解では、約 500℃ の熔融塩化リチウム(LiCl)-塩化カリウム(KCl)共晶塩中において、陽極を使用済み窒化物燃料、陰極を液体カドミウム(Cd)として電解し、陽極では窒素ガスを発生しながら Pu, MA が熔融塩中に溶解し、液体 Cd 陰極中には Pu, MA が回収される。電解後に回収した(Pu, MA)-Cd 合金を、窒素気流中において約 700℃ で加熱することで、Cd の蒸留分離と Pu および MA の窒化反応を行う。得られた(Pu, MA)窒化物は再装荷用燃料の原料となる。この窒化物製品には、FP のうち主に MA と化学的性質が類似する RE が混入するが、RE は中性子を吸収するため、混入率を下げる必要



RE: 希土類  
AM: アルカリ金属  
AEM: アルカリ土類

図 7 MA 核変換用窒化物燃料の熔融塩電解の概要

がある。

これまでに Pu および MA を用いた実験室規模での基礎研究が実施され、プロセスの成立性が確認されている。現在、工学規模にスケールアップした場合のプロセス性能確認、処理速度向上、不活性母材(ZrN)の処理または再利用手法の検討などが技術的課題となっている。

#### — 参考資料 —

- 1) 小澤, 駒, 野村, 佐野, “溶媒抽出法による長寿命アクチニド及び核分裂生成物の分離に関する研究開発の現状”, PNC-TN8410 98-072 (1998).
- 2) 森田, 久保田, “原研における群分離に関する研究開発 - 4 群群分離プロセス開発までのレビュー -”, JEARI-Review 2005-041 (2005).
- 3) 日本原子力研究開発機構, 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 - フェーズ II 最終報告書 -, JAEA-Evaluation 2006-002 (2006).
- 4) 日本原子力研究開発機構, 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズ II 技術検討書(2)燃料サイクルシステム, JAEA-Research 2006-043 (2006).
- 5) T. Koyama, M. Iizuka, “Chapter 18: Pyrochemical fuel cycle technologies for processing of spent nuclear fuels: Developments in Japan,” in Reprocessing and Recycling of Spent Nuclear Fuel, R. Taylor edited, Woodhead Publishing Series in Energy: No.79, Woodhead Publishing, London (2015).

#### 著者紹介

鈴木達也 (すずき・たつや)

長岡技術科学大学

(専門分野/関心分野)核種分離・同位体分離

竹内正行 (たけうち・まさゆき)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野)湿式再処理機器, 材料腐食

渡部 創 (わたなべ・そう)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野)湿式再処理技術, 特に MA 分離プロセス技術

松村達郎 (まつむら・たつろう)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野)湿式法特に溶媒抽出法による燃料再処理及び群分離技術

飯塚政利 (いづか・まさとし)

電力中央研究所

(専門分野/関心分野)燃料再処理技術, 特に乾式再処理とこれに応用した金属燃料サイクル技術

佐藤 匠 (さとう・たくみ)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野)分離変換技術, 特に乾式再処理とこれに応用した窒化物燃料サイクル技術



## (その5) 機器・配管系に対する影響評価

# 断層変位に対するリスク評価と工学的な対応策

「断層の活動性と工学的なリスク評価」調査専門委員会委員 佐藤 邦彦, 他

日本原子力学会「断層の活動性と工学的なリスク評価」調査専門委員会(以下「本調査専門委員会」という)報告書の解説シリーズである本稿では、断層変位の原子力施設に対する影響評価のうち、機器・配管系に対する影響評価について紹介する。

**KEYWORDS:** *fault displacement, nuclear safety, engineering approach, risk evaluation, equipment and piping systems*

### I. はじめに

本稿では、断層変位の原子力施設に対する影響評価のうち、建屋の断層変位による応答と耐力から、建屋内に設置されている安全上重要な機器に対する一連の影響評価手法について概要を紹介する。なお、構築物や土木構築物に設置されている機器の評価も同様の手法となる。

### II. 対象設備及び評価方針

評価対象は、原子炉施設の安全に係る重要な機能を有する設備、もしくは当該設備の損傷により安全に係る重要な機能を有する設備に波及的影響を及ぼす設備であり、重大事故等対処設備を含むものとする。

評価は、常時又は運転時に作用する荷重と、検討用の断層変位による建屋の応答(短期荷重)を適切に組み合わせ、安全上重要な機器・配管系に要求される機能が保持されること、並びに、限界状態(構造損傷、機能損傷)に対して余裕を有していることを確認する。機器・配管系の機能維持は、間接支持構造物としての建屋の構造健全性が前提となる。評価に際しては、評価対象設備の配置と断層変位による建屋の損傷エリア、損傷状態により影響評価の方法を選択することとし、また、断層変位発生後に継続運転が必要な設備の取扱いや重大事故等対処設備(可搬型設備を含む)を用いた安全確保については、事

故シナリオの中で考慮する。

例えば、機器・配管系に対する建屋の支持機能が維持されている場合は、構造評価による影響分析及び裕度評価にて安全上重要な設備のシステム全体が評価可能である。建屋が局所的あるいは広域にわたり損傷している場合は、支持機能の有無を確認した上で安全上重要な設備を機器毎に評価し、それを入力として事故シナリオを整理し、裕度評価あるいは確率論的な評価に繋げることになる。

評価結果を反映し、必要に応じて対策工事(補強、移設他)を計画していく。

### III. 入力条件

機器・配管系への断層変位の入力は、当該設備の支持構造物である建屋の構造躯体を介して作用する。

このため、図1に示すように建屋の変形、傾斜等が機器・配管系への入力条件となる。また、建屋の損傷状態から設備の支持機能を有するエリアが特定可能である。

すなわち、機器・配管系への断層変位の影響評価は、断層変位による建屋の応答と損傷状態を入力条件として評価対象機器を選定し、構造健全性評価を実施する。

なお、建屋の機器・配管系に対する支持機能が維持されている場合の影響評価における考慮事項を図2に示す。

### IV. 荷重の組合せ

機器・配管系の影響評価は、断層変位による傾斜、建屋内の変形、建屋間の相対変位を短期荷重として取扱い、国内の規格・基準<sup>1,2)</sup>に基づき運転時荷重と組み合

*Risk evaluation method for fault displacements by engineering approach (5) ; Risk evaluation method for equipment and piping systems* : Kunihiko Sato, Takuma Hadano, Tetsuo Imaoka, Tomoshi Hirakawa, Koji Okamoto, Tadashi Narabayashi.

(2017年6月25日受理)

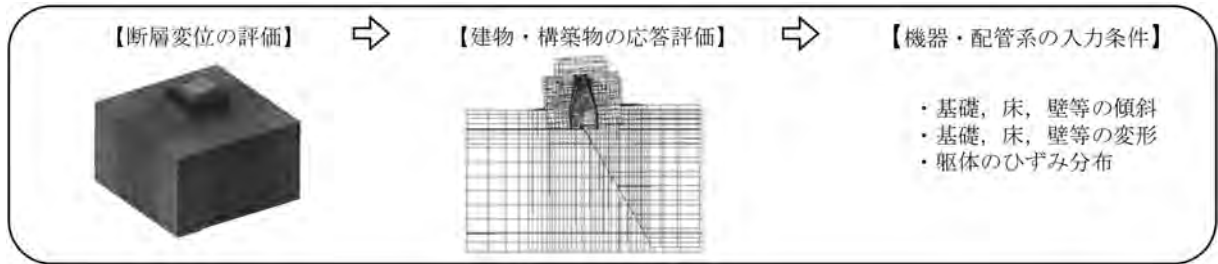


図1 機器・配管系への入力条件の関係

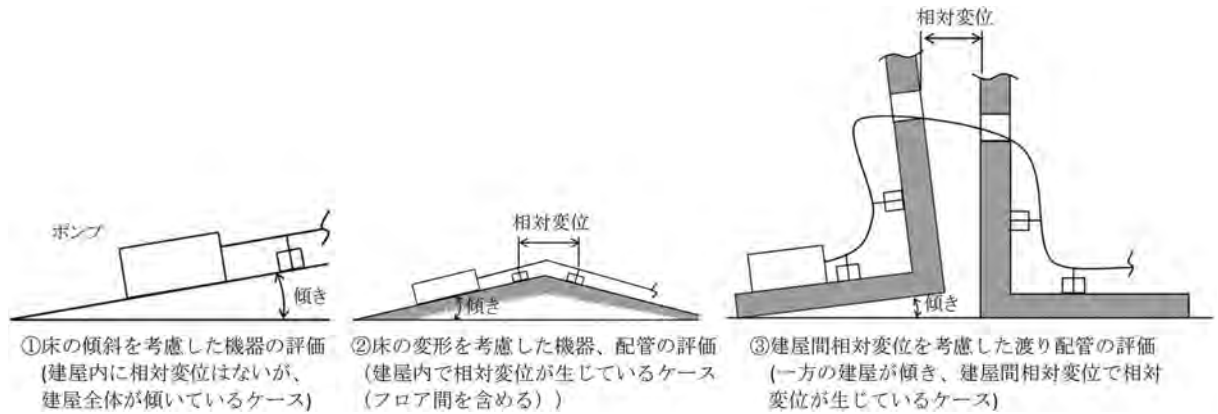


図2 機器・配管系の影響評価における考慮事項

わせる必要がある。また、本調査専門委員会では取扱っていないが、地震動から求めた地震力(地震の揺れによる荷重)を同時に考慮する必要がある場合には、適切にそれらを組み合わせるものとする。

すなわち、①、②の荷重と必要に応じて③の荷重が同時に作用することを想定する。

- ①断層変位による傾斜，建屋内の変形，建屋間の相対変位
- ②運転時荷重，死荷重
- ③地震の揺れによる荷重

## V. 許容限界

### 1. 構造損傷

損傷に寄与する応力は、外力とつりあう応力としての一次応力評価に傾斜の影響を考慮する。また、隣接部分の拘束又は自己拘束により生ずる二次応力評価に、変形、建物・構築物間の相対変位による影響を考慮する。

一次応力、二次応力の許容限界は、国内の規格・基準<sup>1,2)</sup>に基づくものとするが、二次応力は、変形に伴い応力が再分配されるため、延性破断に対する許容応力は把握できない。このため、建屋の変形、相対変位による延性破断の現実的な評価として弾塑性解析を導入すれば、ひずみに対する許容限界を把握することができる。

なお、弾塑性解析を導入する場合の許容ひずみは、既往のガイドライン<sup>3,4)</sup>等を参考に適切に設定する必要がある。

### 2. 機能損傷

断層変位に伴う建屋の傾斜による影響のような長期間継続する可能性がある荷重に対しては、例えば建屋床の傾斜に応じた偏った荷重が機器に作用する。ポンプ等の回転機器であればラジアル荷重、アキシャル荷重及びその複合荷重は増加するおそれがある。断層変位発生後、長期間にわたり機能維持が必要な動的機器は、それらの荷重に対して軸受部、シール部等の構造強度を評価し、長期許容荷重(定格荷重)との比較により動作機能を確認することができる。

なお、非常用ディーゼル発電設備や立形ポンプ等の長尺回転機器は、建屋の変形で生じた荷重による軸受の損傷に注意する必要がある。

## VI. 解析・評価手法

評価は、機器・配管系の各設備の構造面での特徴を踏まえて評価部位を抽出し、国内の規格・基準<sup>1,2)</sup>に基づき適切な評価法を適用する。例えば、配管系のような静的構造物については、建屋の傾斜のような入力条件に対しては影響は軽微であるものの、変位によっては流路閉塞、破断等が発生し、安全機能への影響を検討する必要がある。また、ポンプのような動的機器については、傾斜の程度によっては動作機能が失われるおそれがあり、機器定着部を含めて評価し、運転性能を確認する必要がある。

Ⅶ. 解析評価事例

断層変位に対する評価事例として、原子炉建屋等の直下に鉛直方向に50cmの断層変位を想定した例を示す。まず、建屋の3次元FEM解析結果(図3)に基づき、床の傾斜、変形、建屋間相対変位を算定し、機器評価のための入力条件を評価する(表1)。これを受けて、図4に示す安全系ポンプ、渡り配管及び制御棒挿入性に関して評価する。

1. 安全系ポンプの強度評価

安全系ポンプを対象として、図5に示す構造上クリティカルと想定される基礎ボルトと軸受に着目して断層変位に対する影響を評価した結果、表2、表3に示すとおり有意な応力、荷重は発生せず構造損傷、機能損傷には至らないことが確認できる。

なお、ポンプの台板を傾斜させた動作実験例によれば、約4°(10/145)程度の傾斜では機能に影響がないことが確認されている。<sup>5)</sup>

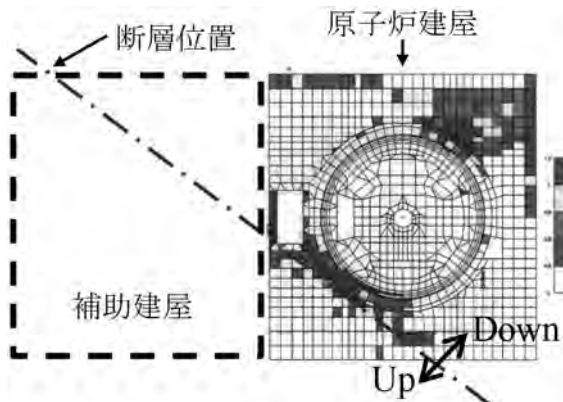


図3 原子炉建屋のFEM解析結果

表1 機器への影響評価のための入力条件

断層変位	①安全系ポンプ	②渡り配管	③制御棒
	床傾斜角度	建屋間相対変位	床傾斜角度
50cm	12/1000 (0.67°)	X: -136.6 mm Y: 6.8mm Z: -212.9 mm	8/1000 (0.44°)

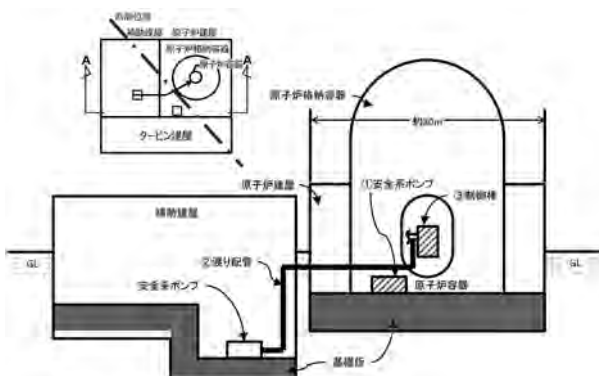


図4 機器評価点(断面A-A)

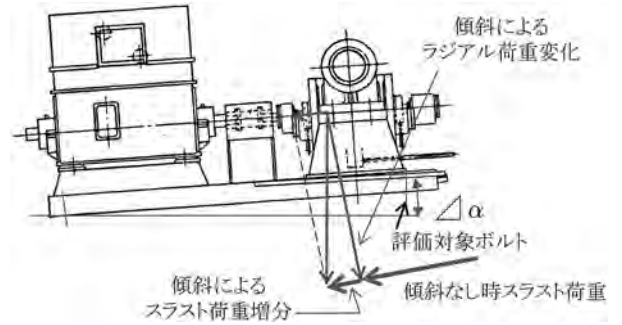


図5 安全系ポンプ評価

表2 傾斜時に基礎ボルトに発生する応力

断層変位 (cm)	傾斜角 (°)	引張応力		許容 応力	せん断 応力	許容 応力	評 価
		軸方向	軸直角 方向				
—	0	—	—	175	—	135	OK
50	0.67	—	—	175	—	135	OK

注)断層変位50cm程度であれば、基礎ボルトに発生する応力はほとんどゼロであり、「—」と表記している。

表3 傾斜時に軸受に発生する荷重(N)

断層変位 (cm)	傾斜角 (°)	スラスト 荷重	許容荷重	ラジアル 荷重	許容荷重	評価
—	0	12,000	355,000	4,452	16,200	OK
50	0.67	12,058	355,000	4,452	16,200	OK

注)断層変位50cm程度であれば、軸受に付加される荷重はわずかである。

表4 安全系配管の仕様

配管仕様 (SUS材)

口径	板厚 (mm)	温度 (°C)	内圧 (MPa)
14B	11.1	150	2.7

2. 配管の強度評価

断層変位に対して、構造強度上厳しいと想定される原子炉建屋と補助建屋とを跨ぐ安全系の渡り配管を評価対象としている。解析モデルは、エルボ部をシェル要素、その他を梁要素として模擬している(図6)。建屋間の相対変位は、強制変位として配管サポート位置に入力し、弾塑性解析により影響を評価している。配管仕様を表4に示す。また、材料特性は、2直線近似による移動硬化則モデルとしている。

評価結果を図7に示すが、最大ひずみは建屋境界部近傍のエルボ部で2%であり、既往のガイドライン<sup>6)</sup>の許容ひずみ8%以下を満足しており、またJIS規格の破断伸びは22%以上であることから、延性破断に対して余裕があることが確認できる。



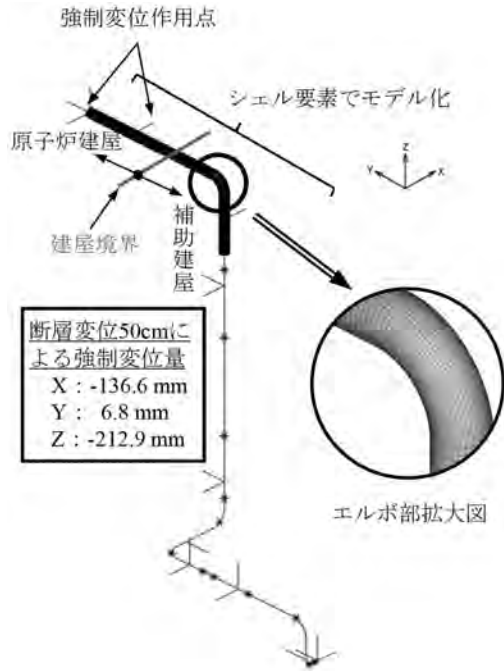


図6 弾塑性解析モデル(ハイブリッドモデル)

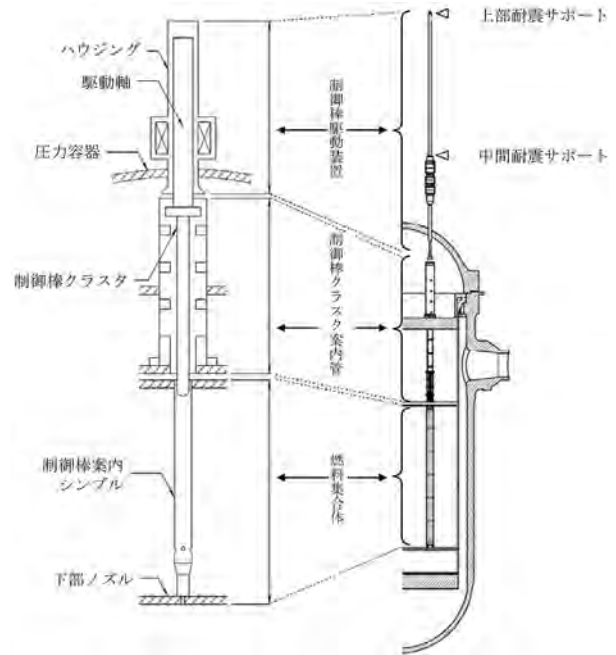


図8 PWR型制御棒挿入経路概略図

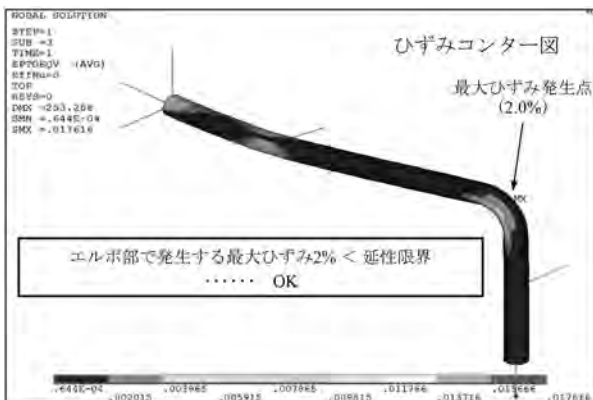


図7 弾塑性解析結果の一例

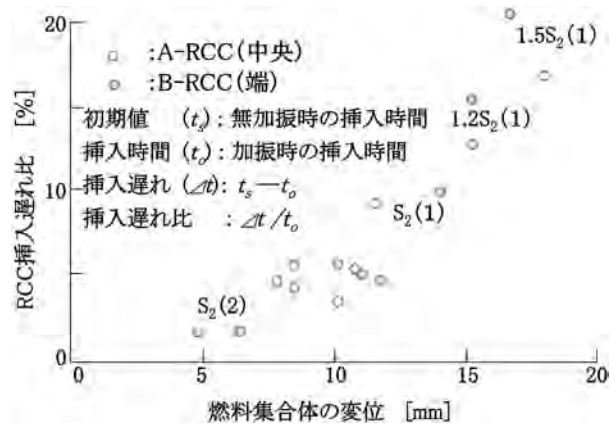


図9 制御棒挿入遅れ比と試験体応答の関係<sup>7)</sup>

### 3. PWRの制御棒挿入性評価

制御棒クラスター及び駆動軸は自重によって円滑に挿入できる構造となっており、軽微な傾斜では制御棒の挿入を阻害するものではないが、断層変位によって制御棒の挿入経路が傾斜した場合は、挿入経路との摩擦によって生じる抗力を評価することで挿入性についての評価ができる。図8に制御棒の挿入経路を示す。

原子炉建屋に8/1000程度の傾斜を想定すると、制御棒クラスターの抗力は下記式(1)によって自重の1.0%程度となり、断層変位によって挿入性は阻害されるものではない。

$$F = \mu \times M \cdot g \times \sin\theta \dots (1)$$

ここで、F: 上向きの抗力

$\mu$ : 摩擦係数

$M \cdot g$ : 自重

$\theta$ : 傾斜(= 0.44°)

なお、傾斜による自重の分力により燃料集合体(制御棒の挿入経路)は0.3mm程度たわむと考えられるが、たわみに対する制御棒の挿入遅れには、旧原子力安全基盤機構が多度津の振動台で実施した耐震実証試験結果<sup>7)</sup>から、図9に示すとおり  $S_2(1)$ 地震時の最大変位である約15mmとの対比により十分小さいことがわかる。

このことから、建屋床の傾斜が8/1000程度であれば、制御棒挿入時間への影響は無視できるほど小さいと推測できる。

以上は、PWRの評価事例であるが、炉内構造の異なるBWRも同様、制御棒の挿入経路の傾斜に対して挿入性は阻害されることなく、挿入時間についても有意な影響がないことを確認できる。

## VIII. 機器フラジリティ評価

断層変位に対する評価としては、決定論的評価とともに、確率論的評価がある。本調査専門委員会では、日本

原子力学会標準「原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2015」<sup>8)</sup>に基づき確率論的評価の例を示すこととし、断層変位単独のフラジリティ評価を当面の目標としている。

図10は、機器フラジリティの評価例であるが、機器の現実的応答と現実的耐力の関係として、断層変位の増加に伴ない建屋応答の認識的不確かさが大きくなるイメージを示したものである。

なお、建屋の損傷状態に応じたフラジリティ評価結果は、安全上重要な設備の区分分離の考え方(単一故障を前提としていること、原子炉格納容器等は多重性を持たないこと等)を考慮して表5の例に従って出力し、確率論的リスク評価に繋げる。

IX. まとめ

本調査専門委員会では、断層変位に対する一連の機器・配管系の影響評価手法を体系的にまとめた。

また、解析事例として示したように、原子炉建屋の直下に少なくとも数十cmの断層変位を想定した場合でも、システム全体としての機器・配管系の安全機能が喪失する可能性は極めて低いことが把握できる。

今後、評価手法の高度化として次の課題が挙げられる。

- ・断層変位に対する機器の長期運転継続性の確認
- ・建物の床や壁の面外曲げによる損傷状態に対応した

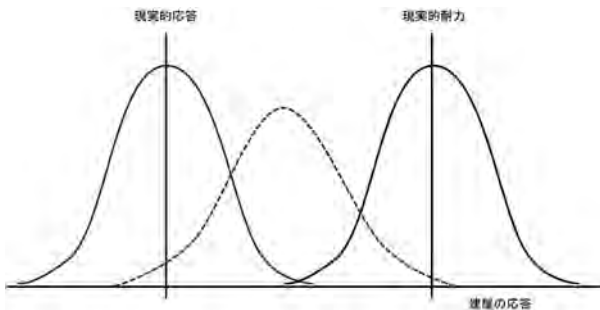


図10 建屋の応答を考慮した機器の現実的応答と現実的耐力の関係

表5 フラジリティ評価結果の出力例

対象設備の多重性	設備の損傷範囲(建屋損傷状態等から想定)	フラジリティ評価結果の出力	安全分離区分の例
有り (ECCS等)	単一区分内の損傷	● 損傷が想定される安全分離された区分を特定し、損傷機器及びフラジリティ評価結果を出力	
	複数区分内の損傷	● 安全分離された複数区分の損傷範囲を特定し、損傷機器及びフラジリティ評価結果を出力	
無し (PCV等)	詳細な構造強度評価に基づいて損傷範囲を想定	● 炉心損傷に直結する機器の詳細な評価結果	

ECCS：非常用炉心冷却系  
PCV：原子炉格納容器

機器定着部の引抜け、せん断耐力の明確化

－ 参考資料 －

- 1) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)，2008年。
- 2) 日本機械学会：発電用原子力設備規格 設計・建設規格第I編 軽水炉規格(JSME S NCI-2012)，2012年。
- 3) 佐藤邦彦，原口龍将，神谷昌伸，小川勤，上屋浩一：断層変位に対する機器・配管系の解析評価事例 (1)機器の解析評価事例，日本原子力学会 2017年春の大会，講演番号 3M-02，2017年3月。
- 4) 新間聡，梅本貴広，神谷昌伸，小川勤，上屋浩一：断層変位に対する機器・配管系の解析評価事例 (2)配管の解析評価事例，日本原子力学会 2017年春の大会，講演番号 3M-03，2017年3月。
- 5) 奈良林直，岡本孝司，百々隆，神谷昌伸：原子力安全規制関連検討会報告 (5)断層変位に対する工学的な対策とリスク評価，保全学，Vol.15, No.4, pp.2-7, 2017年。
- 6) 原子力技術協会：BWR 配管における混合ガス(水素・酸素)燃焼による配管破損防止に関するガイドライン(第3版)，2010年3月。
- 7) 原子力安全基盤機構規格基準部：原子力発電施設耐震信頼性実証試験の概要(JNES-SS-0617)，2006年11月。
- 8) 日本原子力学会：日本原子力学会標準 原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2015，2015年12月。

著者紹介

- 佐藤邦彦 (さとう・くにひこ)  
MHI ニュークリアシステムズ・ソリューションエンジニアリング(株)  
(専門分野/関心分野)機械工学，耐震設計
- 羽田野琢磨 (はだの・たくま)  
(株)東芝  
(専門分野/関心分野)機械工学，耐震設計
- 今岡哲男 (いまおか・てつお)  
日立 GE ニュークリア・エナジー(株)  
(専門分野/関心分野)機械工学，耐震設計
- 平川知司 (ひらかわ・ともし)  
東北電力(株)  
(専門分野/関心分野)機械工学，耐震設計
- 岡本孝司 (おかもと・こうじ)  
東京大学  
(専門分野/関心分野)原子力安全，原子炉熱流動，シビアアクシデント，廃止措置
- 奈良林直 (ならばやし・ただし)  
北海道大学  
(専門分野/関心分野)原子炉工学・原子炉安全工学・気液二相流・次世代炉機器・保全工学/断層変位・リスク評価

## 断層変位に対するリスク評価と工学的な対応策

「断層の活動性と工学的なリスク評価」調査専門委員会 黒岩 克也, 他

日本原子力学会「断層の活動性と工学的なリスク評価」調査専門委員会(以下「本調査専門委員会」という)の検討成果のうち、断層変位の特性を考慮した事故シナリオの分析及び裕度評価手法を適用したリスク評価の考え方について紹介する。

**KEYWORDS:** *fault displacement, nuclear safety, engineering approach, risk evaluation, margin analysis, accident sequences, accident management*

## I. はじめに

解説シリーズ(その2)では、本調査専門委員会で検討した断層変位に対するリスク評価の全体評価手順を提示するとともに、裕度評価手法の適用概念を紹介した。また、解説シリーズ(その3)から(その5)では、断層変位のハザード評価、及び建物・構築物、土木構造物、機器・配管系への断層変位の影響評価について紹介した。

本稿では、これらの検討成果を適用した裕度評価手法によるリスク評価の適用例と、リスク評価を原子力施設の安全性向上活動に活用していくための拡張例を紹介する。また、本解説シリーズを総括した、本調査専門委員会における検討成果の利用可能性等についてまとめる。


## II. 原子炉建屋等の直下に断層変位を仮定した適用例と応用例

## 1. 適用例

解説シリーズ(その2)に示したように、原子炉建屋等の直下に断層変位(縦ずれ)を仮定した場合の裕度評価は表1に示すフローにしたがって行う。

断層変位による影響を直接受ける建屋に対しては、断層変位による建屋の損傷状態として、床面、壁に発生するひずみのほか、基礎の傾斜や層間変形に基づき評価することにより、機器・配管系の評価に必要な情報を提供する。

表1 断層変位に対する裕度評価のフロー

断層位置	建物・構築物の損傷状態	機器・配管系で考慮する変位影響	機器・配管系で防止する損傷形態	リスク評価
建屋直下の場合 補助建屋 原子炉建屋  タービン建屋	有意な損傷無し (○)  基礎・壁・床の 局部損傷 (△, ×)	床の傾斜 建屋間の相対変位  支持機能の低下 床の傾斜 床の変形 建屋間の相対変位	機器の機能損傷 渡り配管等の構造損傷  機器定着部の構造損傷 機器の機能損傷 機器の構造損傷 渡り配管等の構造損傷	プラントシステム 全体としての 裕度に基づく リスク評価

*Risk evaluation method for fault displacements by engineering approach (6): Accident scenario and risk evaluation* : Katsuya Kuroiwa, Toshihiro Aida, Susumu Iida, Tadashi Narabayashi, Katsumi Ebisawa, Masanobu Kamiya.

(2017年6月30日 受理)

機器・配管系は、これらの情報に基づき支持機能の有無を評価し、支持機能が確保されている機器については、床面の傾き・変形、建屋間相対変位に基づき、構造損傷及び機能維持評価を行う。



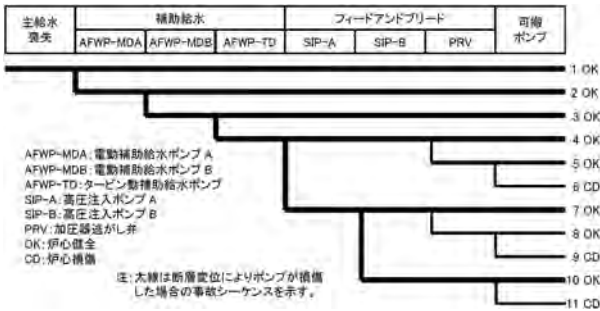


図1 原子炉建屋等の直下に断層変位を仮定したイベントツリーの例

これら断層変位による建屋、機器・配管系への影響評価の結果から、影響が局所的という断層変位の特徴を考慮し、炉心損傷等に至る可能性のある事故シナリオをリスク評価の対象として、深層防護の考え方に基づく多重・多様な設備の分散配置の効果に着目した事故シーケンスを分析・評価する。適用例において主給水喪失を起因としたときの炉心冷却機能に着目した炉心損傷シーケンスを展開したイベントツリーの例を図1に示す。

断層変位による建屋、機器・配管系への影響評価の結果を図1に適用して、断層変位量をパラメトリックに振ったときの炉心損傷シーケンスの有無を評価することにより、断層変位に対する裕度を表2のように整理することができる。表2は、裕度評価によってリスク情報を得ていくことを分かり易くイメージできるように作成した例であるが、例えば断層変位量が30cmを超えた場合に補助給水系の機能が喪失して炉心損傷に至る可能性があるとする、炉心冷却の代替手段であるフィードアンドブリードによって裕度の拡大に期待でき、可搬設備等の代替手段を整備すれば更なる裕度の拡大にも期待でき

表2 原子炉建屋等の直下に断層変位を仮定した裕度評価結果例

	断層変位量 (縦ずれ) ※1				
	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
代替手段なし	炉体損傷有 炉心損傷無	炉体損傷有 炉心損傷無	炉体損傷有 炉心損傷有	炉体損傷有 炉心損傷有	炉体損傷有 炉心損傷有
代替手段あり※2	同上	同上	同上	炉心損傷無	同上
追加の対応策 (可搬型設備の更なる多様化等)	同上	同上	同上	同上	炉心損傷無

※1：断層変位量は、裕度評価のイメージを表現するために任意に設定したもので、  
 ※2：代替の注水ポンプや、可搬ポンプ等のアクシデントマネジメント  
 (注) 上表は整理のイメージを示すもので、前出の図表と対応したものではありません。

るといったリスク情報を得ることができる。

2. 拡張例

断層変位の影響だけでは炉心損傷に至らない場合、断層変位の影響に対して機能を維持できている機器・配管等が、内的事象によるランダムな要因によって機能喪失して炉心損傷に至る条件付き確率を評価することも有効と考えられる。例えば図1において50cmの断層変位を想定した場合に、機能を維持できていると評価された機器(SIP-A及びPRV)に対してランダム要因による非信頼度をそれぞれ0.01と概略推定すると、条件付き炉心損傷確率は図2のように評価することができる。この結果は、例えばアクシデントマネジメントとしてのフィードアンドブリードを整備したことにより当該事故シーケンスの炉心損傷頻度を約2桁低減することに期待できることを示すものであり、断層変位に対する安全性向上のための対策を検討、評価する際の有益な情報となり得る。

さらに、機能喪失するものと評価された機器に対して断層変位に対するフラジリティを評価し、その結果を適

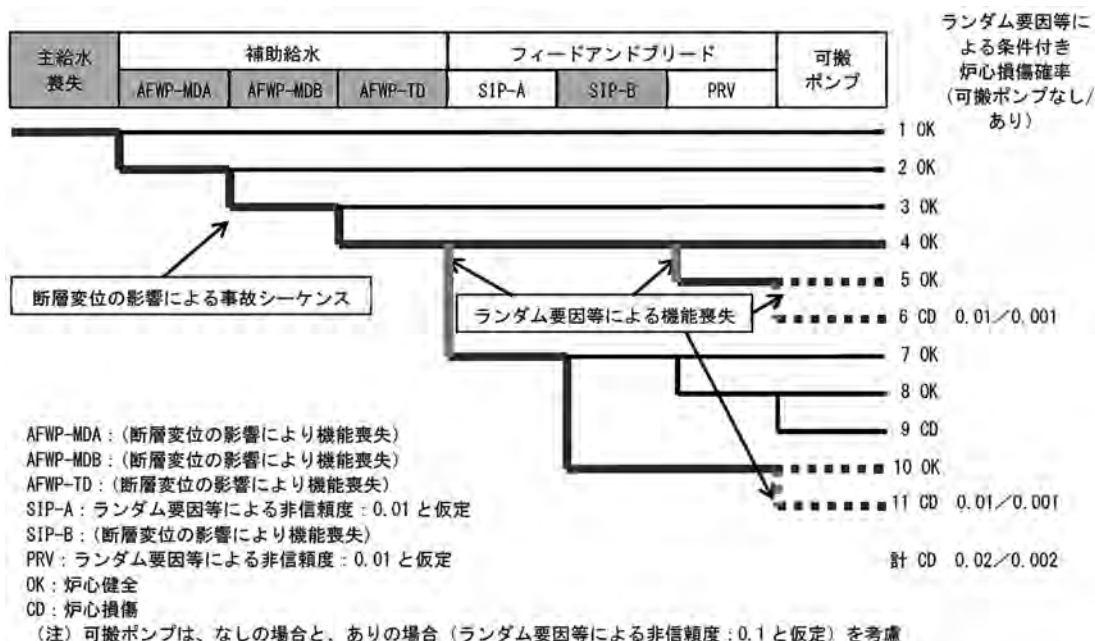


図2 原子炉建屋等の直下に断層変位を仮定したリスク評価の拡張例

用することにより、不確かさの影響をより直接的に取り扱うリスク評価が可能となる。これに加え、断層変位に対する確率論的ハザード評価結果を考慮することにより、炉心損傷頻度を評価することも可能となる。

なお、地震動の影響との重畳の考慮も重要であり、検討が先行している地震動に対するリスク評価の知見を利用した拡張検討が必要である。

### Ⅲ. 非常用海水取水系の直下に断層変位を仮定した適用例と応用例

#### 1. 適用例

本適用例では、図3に示すような非常用の海水取水路(海水ダクト)に影響するような断層変位(縦ずれ)を想定する。

海水取水路(海水ダクト)に対する断層変位の影響は、土木構造物に対する影響として評価する。土木構造物への影響評価は3次元FEM解析の結果を許容限界と比較することにより行い、その結果から、局所的な損傷状態、全体系の崩壊の有無、変位・変形・傾斜などを評価して、機器・配管系への影響評価への情報とする。断層変位量が30cmの場合の影響評価例を図4に示す。

この結果、断層変位量が50cmになると、底版、壁、頂版が損傷する可能性があり、取水機能の維持に影響を及ぼすと評価される。これにより、原子炉建屋内の非常用炉心冷却系、非常用ディーゼル発電機、燃料プール冷却浄化系及び熱交換器建屋内の原子炉補機冷却水系/原子炉補機冷却海水系の機器・配管系自体が損傷することはないものの、これらの設備への冷却水供給機能が低下し、機能喪失する可能性がある。

このような事故シナリオは、最終ヒートシンク喪失を起因とするイベントツリーによって評価することができる。イベントツリーの評価例(BWR)を図5に示す。

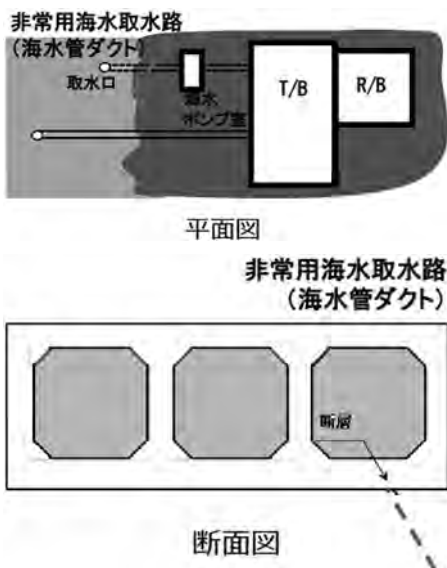


図3 非常用海水取水系の直下に断層変位を仮定した例

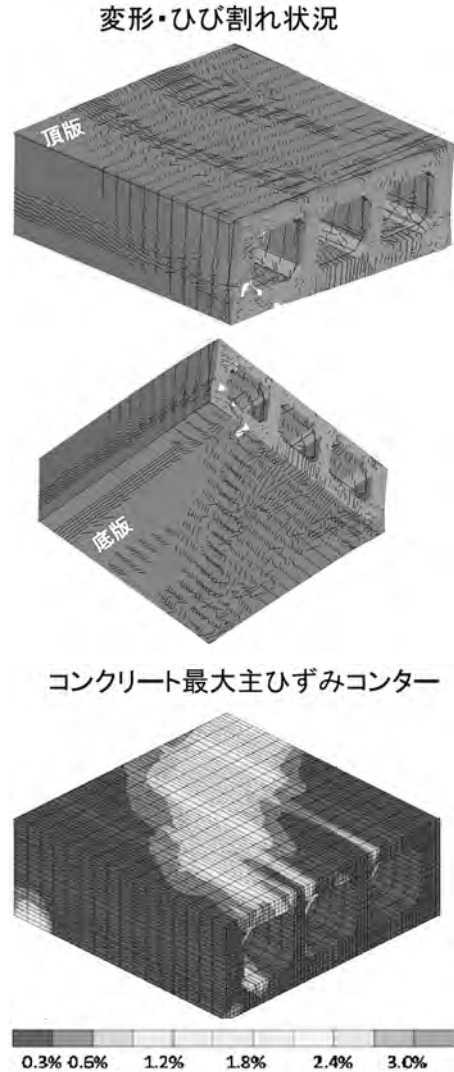


図4 海水取水路(海水管ダクト)への影響評価例 - 断層変位量 30cm の場合 -

最終ヒートシンクが喪失した場合、機器の運転に冷却水が不要な原子炉隔離時冷却系(RCIC)、又は原子炉減圧後にアクシデントマネジメントとして整備している可搬型ポンプ(or 常設低圧ポンプ)による原子炉注水により炉心は冷却できる。また、アクシデントマネジメントとして整備している代替補機冷却(ハイドロサブ、可搬型熱交換器車)を用いたRHR又はPCVベント(耐圧強化ベント又はフィルターベント)による原子炉格納容器の熱除去により、原子炉を安定な状態に移行させることができる。これらの対応手順の概要を図6に示す。図6は全交流動力電源喪失を想定したものであるが、断層変位によって海水取水機能が喪失した場合にも適用できる。

裕度評価結果の例は表3のように整理できる。この結果から、断層変位量が50cmの場合に万一最終ヒートシンク機能が全喪失した場合でも、アクシデントマネジメントによる炉心損傷防止に期待できる、といったリスク情報が確認できる。



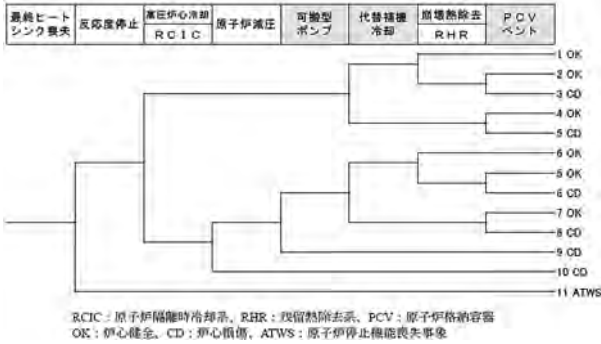


図5 非常用海水取水系の直下に断層変位を仮定したイベントツリーの例

2. 拡張例

原子炉建屋等の直下に断層変位を想定した場合と同様に、断層変位の影響に対して機能を維持できている設備が、内的事象によるランダムな要因によって機能喪失して、炉心損傷に至る条件付き確率の評価例を図7に示す。

ここでは、ランダム要因による非信頼度をそれぞれ図7の分岐上に示すように工学的に概略推定している。この結果、人的過誤等の従属的影響が有意とならないよう適切に対応することにより、断層変位の影響によって発生した最終ヒートシンク喪失による炉心損傷頻度は、断層変位の直接的な影響が考え難いこれらの対策によって約4桁の低減に期待できると概略評価される。

このように、広範な影響が想定される最終ヒートシンク喪失のような事象に対しても、影響が局所的な断層変位の特徴を考慮した事故シナリオを考慮した工学的なリスク評価により、アクシデントマネジメント等の代替手段の検討、評価に有益なリスク情報を提供することができる。

表3 非常用海水取水系の直下に断層変位を仮定した裕度評価結果例

	断層変位量 (縦ずれ) [m]							
	10cm		20cm		30cm		50cm	
代替手段なし	炉体損傷無 取水機能維持	炉心損傷無	炉体損傷有 取水機能劣化	炉心損傷無	炉体損傷有 取水機能劣化	炉心損傷無	炉体損傷有 取水機能喪失	炉心損傷の可能性有
代替手段あり <sup>※2</sup>	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	炉心損傷無
追加の対応策 (可搬型設備の更なる多様化等)	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上

※1: 断層変位量は、裕度評価のイメージを表現するために任意に設定したものの。  
 ※2: 代替の海水ポンプや、可搬ポンプ等のアクシデントマネジメント  
 (注) 上表は整理のイメージを示すもので、前出の図表と対応したものではない。

IV. おわりに

本稿では、影響が局所的な断層変位の特徴を考慮した裕度評価手法を用いたリスク評価の適用例と、リスク評価を原子力施設の安全性向上活動に活用していくための拡張例を通じて、工学的なリスク評価の有効性を示した。

断層変位という自然現象についても、他の自然現象と同様に外部ハザードの一つと捉えて、自然に残された痕跡を詳細な地形・地質調査をすること等によってハザードの程度を把握し、想定を超える領域への対処も含めて、深層防護の概念の適用とリスク評価の活用により、多様なシナリオを考慮したリスク評価を行うことが、原子力安全として価値のあるアプローチである。

想定を超える事象も含めて、設備や安全機能の状態(維持あるいは喪失)、炉心損傷に対する裕度等をリスク情報として得て、得られたリスク情報を活用して、代替手段の有効性の検証、リスク低減のための更なる対応策のための意思決定をすることができる。大規模損壊に対して用意される対応策も有効に活用できる。また、断層

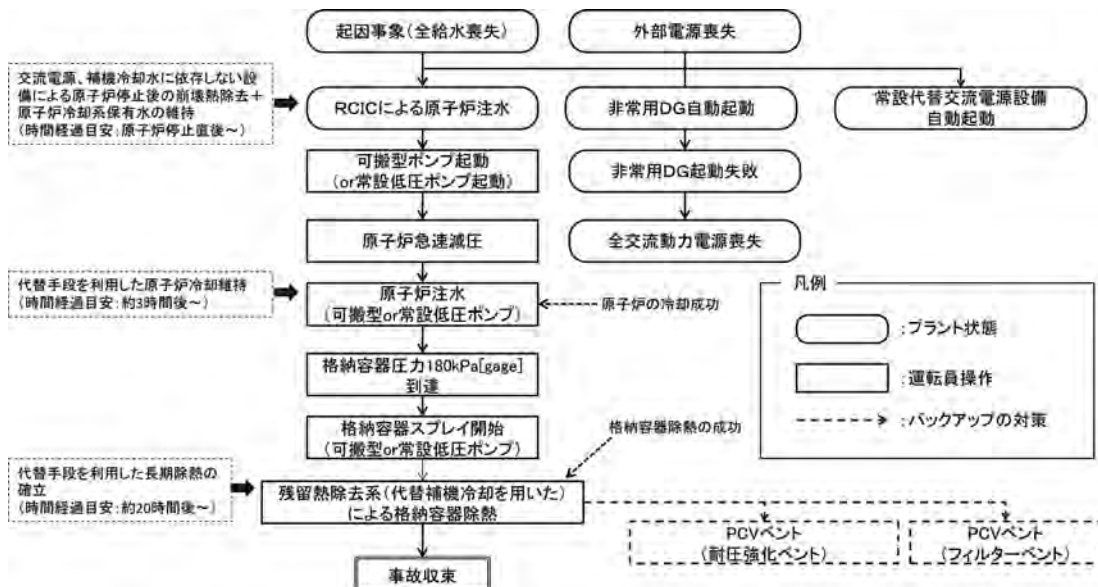


図6 海水取水機能喪失時の対応手順の概要





## 福島環境回復に向けた取り組み

## 第5回 放射性物質を含む廃棄物等の総合的管理

国立環境研究所 大迫 政浩, 倉持 秀敏, 遠藤 和人

本稿では、1F事故の影響で生じた汚染廃棄物等の問題に焦点をあてる。放射性物質汚染対処特別措置法のもとで進められてきた放射性物質を含む廃棄物や除去土壌の総合的管理について、主に技術的観点から、管理の基本的考え方、主要な技術プロセス、並びに今後の技術戦略上の課題等について概説する。

**KEYWORDS:** radioactive waste, incineration process, landfill process, volume reduction, technological strategy

## I. はじめに

福島第一原子力発電所(以下、1F)の事故に伴い多量の放射性物質が環境に放出され、福島県を中心とする広域の環境が汚染された。1986年のチェルノブイリの原発事故による環境汚染と比較して、放射性物質の放出量は少なく、問題となる放射性核種もヨウ素-131やセシウム-134,137に限られたものの、人口密集地域にも汚染がおよび、原発周辺の避難指示区域に居住していた多くの住民がまだ避難を余儀なくされている。

放射性物質により汚染された環境を回復し、汚染された地域の住民の安全・安心な生活を取り戻すためには、除染と汚染された廃棄物の処理が必要になる。そこで国は、除染と汚染廃棄物の対策を柱とする放射性物質汚染対処特別措置法(以下、特措法)を2011年8月に制定し、2012年1月から本格施行することで各種対策を講じてきた。

事故由来の放射性物質に広く汚染された地域においては、人の活動に伴い、放射性セシウムに汚染された多くの廃棄物が生じた。図1に示すように、都市域の中で土壌に沈着した放射性セシウムは、降雨とともに下水道管に流入し、下水終末処理場から放射性セシウムが濃縮された下水汚泥の形で発生した。庭の剪定等により生じる草木類は一般ごみに混入して焼却施設で一緒に処理さ



図1 放射性物質に汚染された廃棄物問題の発生構造

れ、焼却灰の中に濃縮した。また、除染により除去された汚染土壌や伐採された草木などの汚染廃棄物が発生し、その適正処理が課題になっている。

特措法においては、避難指示が出されている高線量地域を汚染廃棄物対策地域として指定し、国が処理を行うこととされた。また、放射能濃度が8,000Bq/kgを超える廃棄物を指定廃棄物として指定し、国が責任をもって処理することになった。8,000Bq/kg以下についても、放射性物質の観点から入念的な管理が必要なものは特定一般廃棄物または特定産業廃棄物に指定し、市町村自治体または事業者が責任をもって処理することになっている。

放射性セシウムを含む廃棄物を処理する過程では、二次的な環境汚染を招かないようにしなければならない。そのために特措法では、汚染廃棄物の保管から運搬、中間処理(焼却処理や破碎選別処理)、最終処分(埋立処分)までの各工程で安全性を確保するための処理基準が定められている。

技術的には汚染廃棄物に対する適正処理の方法が確立されてきたが、福島県内の中間貯蔵施設や福島県外の指定廃棄物最終処分場(その後「長期管理施設」と名称が変

*Challenges for enhancing Fukushima environmental resilience (5): Comprehensive management of radioactively contaminated waste and soil* : Masahiro Osako, Hidetoshi Kuramochi, Kazuto Endo.

(2017年5月31日 受理)

■前回タイトル

第4回 汚染土壌の除染、減容化および再生利用を目指した物理処理及び新しい熱処理法開発への試み

更された。)の整備が進んでいないことから、指定廃棄物等の汚染廃棄物および除去土壌は焼却施設内あるいは仮置き場等に今なお保管されている状況である。汚染廃棄物等の円滑な適正処理により、地域の環境リスク低減が図られ、迅速な環境回復につながることを望まれる。

東日本大震災・原発災害が発生してから6年以上が経過し、福島復興は新たなステージに入っている。計画に基づく除染措置を終了させ、次のステップに進まなければならない。

本稿では、特措法のもとで進められてきた放射性物質を含む廃棄物や除去土壌(以下、汚染廃棄物等)の総合的管理について、主に技術的観点から、管理の基本的考え方、主要な技術プロセス、および今後の技術戦略上の課題について概説する。

## II. 汚染廃棄物等の管理に関する基本的な考え方

事故由来汚染廃棄物は、放射性物質に汚染されていることを除けば、通常の廃棄物と量的・質的特性は同じである。また、制御すべき放射性核種もセシウムに限られた。セシウムは原子番号55のアルカリ金属であり、カリウムやナトリウムなどと物理化学的特性は類似している。大きく違う点は、粘土鉱物に極めて強固に吸着することである。

廃棄物の大量かつ多様な性状と上記のセシウムの物性を踏まえ、適正な処理処分を行っていくための技術プロセスは、現在の通常の廃棄物に適用されている技術をベースに構築された。被ばくリスクの観点からは、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響を受けた廃棄物の処理処分等に関する安全確保の当面の考え方について」(原子力安全委員会、平成23年6月3日)に基づき、一般公衆および作業員の追加的被ばく線量が年間1mSvを超えないこと(ただし、埋立終了後は10 $\mu$ Sv/年)を許容限度とされた。廃棄物処理で想定されるあらゆるシナリオに基づいた被ばく線量リスクの評価に基づいて、先述した指定廃棄物として区別する基準を8,000Bq/kgとした。なお、当該基準設定の決定経路は、埋立処分の作業員の外部被ばくである。

## III. 焼却処理プロセス

かつて廃棄物の焼却処理においてはダイオキシン類が問題になったが、放射性セシウムを含む廃棄物の焼却処理においても、排ガスとともに周辺環境を汚染させるのではないかと住民不安があった。しかし、科学的知見の蓄積により、ダイオキシン類対応が施された施設においては、排ガス中の放射性セシウムは十分除去されていることが明らかとなった。焼却施設の概要を図2に示

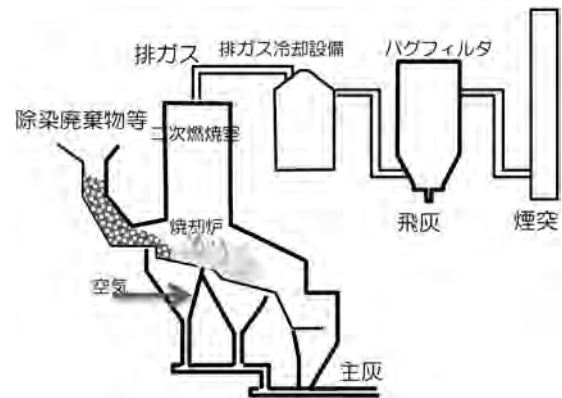


図2 焼却施設(ストーカー炉)の概要

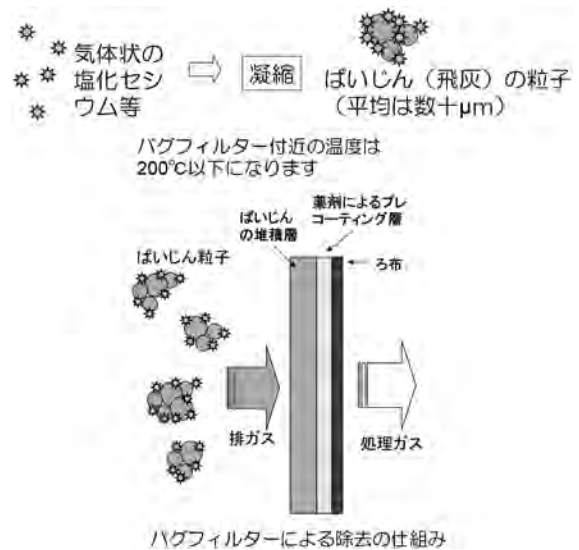


図3 排ガス中の放射性セシウムの挙動

す。熱力学的平衡計算や分析化学的手法による解析<sup>1, 2)</sup>では、廃棄物の焼却時にセシウムは塩化セシウムの形態と予想され、その物性から考えても、排ガスの冷却過程で固体化して生成したばいじん(飛灰)として、バグフィルタで十分に除去されていることが膨大なデータにより確認されている。バグフィルタの温度域付近では塩化セシウムの飽和蒸気圧も極めて低く<sup>3)</sup>、気体状での存在は無視できる。微粒子の存在とその除去効果についての懸念も指摘されるが、バグフィルタ上に堆積したばいじん層による除去能は極めて高く、サブミクロンオーダーの粒子径よりさらに小さくなるとブラウン運動による衝突率の増加でむしろ除去能が高まることが知られている(図3参照)。

施設の長期的な維持管理および解体撤去時の作業員の安全性や撤去後の廃棄物の扱いの点からは、焼却炉内への放射性セシウムの蓄積現象を明らかにする必要がある。炉内で気化した塩化セシウムは、排ガス冷却に伴い固体化して排ガス煙道内に付着し、下流側に行くほど放射能濃度は高くなる。一方、炉内の空間線量率は、耐火物が貼ってある上流側で高く、耐火物内に放射性セシウム



ムが浸透蓄積している状況も観察されており、適切な対策を施していく必要がある。

以上は、焼却プロセスにおける放射性セシウムの挙動からみた一般的な技術的ポイントである。一方、放射性セシウムの挙動は、焼却対象物によって大きく異なる。例えば、放射性セシウムが混入した家庭ごみを焼却する都市ごみ焼却施設と、福島県内の除染廃棄物を中心に焼却する仮設焼却炉では、前者の場合はストーカー施設では飛灰 (Fly Ash) への放射性セシウム移行率が高いが、後者の場合は主灰 (炉底灰: Bottom Ash) への残存率が高くなる<sup>3)</sup>。カルシウム (Ca) や塩素 (Cl) の含有量が多いと、燃焼中に放射性セシウムは塩化セシウムとして揮散しやすくなることが要因である<sup>1)</sup>。

なお、放射性物質を含む廃棄物等の熱処理技術に関しては、倉持によるレビュー<sup>1,3)</sup>に詳説されている。

#### IV. 埋立処分プロセス<sup>4)</sup>

埋立処分における最も大きな課題は、放射性セシウムが濃縮された焼却灰の処分の問題である。なかでも、排ガス中の塩化セシウムが固体化し含まれる飛灰は、塩化セシウムの溶解度が極めて高いことから、その埋立処分には厳重な注意が必要である。ちなみに、主灰中のほとんどの放射性セシウムは難溶解性であり、アルミナシリケートの鉱物を形成するか、または溶融した相に取り込まれガラス状の非晶質中に存在していることが考えられている<sup>3,5)</sup>。

溶出性の高い飛灰の埋立処分については、多重防壁の思想での技術的対応がなされている。10万 Bq/kg 以下の飛灰の埋立処分については、表面遮水により水の浸入を抑制し、セメント固型化により水接触の度合いを低減し、水に溶出した場合には下部土壌層により吸着させる多重バリアが施されている。万が一浸出してきた場合には、従来の排水処理プロセスでは対応できないことから、追加措置としてゼオライトやフェロシアン化鉄 (プルシアンブルー) 等を用いて吸着除去することになる。8,000Bq/kg 以下の飛灰については、図4のように、降雨浸透を抑制する上部隔離層と下部土壌層が必要である

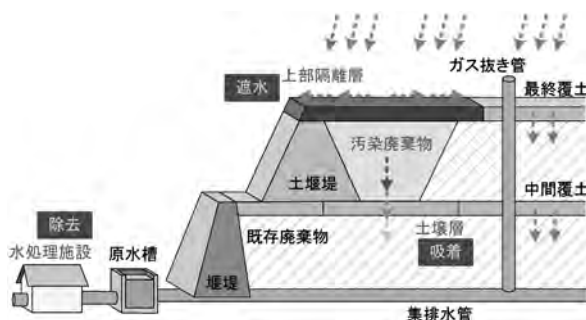


図4 放射性セシウムを含む廃棄物の管理型埋立処分 (8,000Bq/kg 以下)、破線矢印は水の動きを示す

が、セメント固型化は必須ではない。

ここで注意が必要なのは、放射性セシウムに対する土壌層の吸着能力が、焼却灰からの浸出液中では低下する現象である。焼却灰中には多くの塩類を含み、高濃度で共存するアルカリ金属やアルカリ土類金属との競合により、放射性セシウムの土壌への吸着が阻害されることが知られており<sup>6)</sup>、図4に示す下部土壌吸着層 50cm の基準は、その点を考慮した安全側の設計となっている。

一方、10万 Bq/kg を超えるような濃度の高い廃棄物は、福島県外においてはコンクリート構造物による長期的遮断機能が施された遮断型相当の処分場で処分されることになっている。

#### V. 中間貯蔵プロセス

福島県内で除染等により発生した除去土壌や 10万 Bq/kg を超える焼却灰等の汚染廃棄物は、30年以内に県外最終処分が完了するまでの間、中間貯蔵施設において貯蔵されることとなっている。実務的には、環境省から当面の5年間の見通しが示され、東京オリンピックが開催される2020年(平成32年)を「復興・創生期間」の最終年とし、身近な場所や幹線道路沿いの除去土壌等は中間貯蔵施設に搬入できる見通しとしている。その量は、500~1,250万 m<sup>3</sup>程度と概算され、今後加速度的に輸送量を増加させる予定である。

中間貯蔵施設においては、持ち込まれた汚染土壌や廃棄物をフレコンバッグから破袋により取り出し、適切な分別や濃度確認などにより、性状や濃度に応じて二区分の土壌貯蔵施設と、焼却灰等の廃棄物貯蔵施設に貯蔵されることとなっている。既に双葉、大熊の両町において、土壌の受入・前処理・貯蔵施設の建設整備が進んでいる。

また、県外最終処分に向けては2千万 m<sup>3</sup>以上とも言われる大量の汚染土壌や廃棄物の大幅な減容化が必要であり、放射性セシウムの分離によって生じる低濃度で多量の土壌等は管理された状態で可能な限り再生利用を図り、県外最終処分対象量を減容させることが必須である。また一方で、減容化の際に生じる少量の高濃度残渣については、適切な廃棄体化によってその後の長期的な管理が必要であり、低レベル放射性廃棄物の処分概念をベースにした技術的対応が必要になるものと考えられる。

#### VI. 最終処分までを見据えた戦略

先述のとおり、福島県内で除染によって生じた除去土壌等は、中間貯蔵ののちに30年以内に県外での最終処分を完了しなければならないが、30年後を見据えた絵姿はまだ描かれていない。それを具体的に描くには、必要

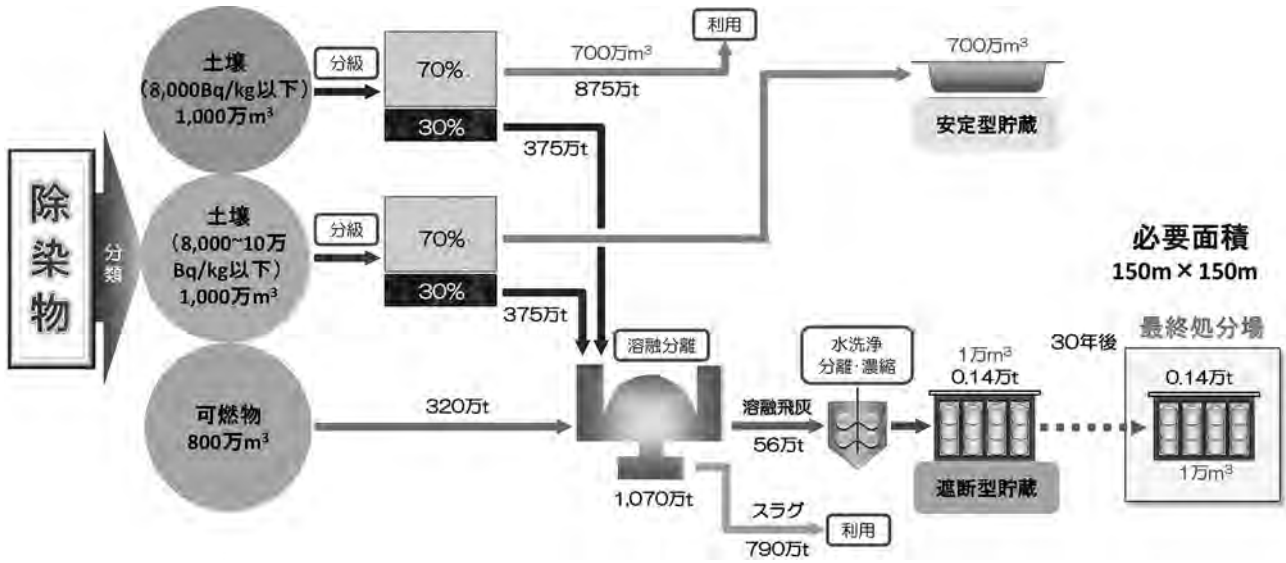


図5 除去土壤等の減容化と最終処分（試案）

とされる技術要素の研究開発を急がなければならない。環境省が平成28年4月に策定した「中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略」によれば、平成30年度を中間目標として分級処理技術開発の先行実証を進め、その後に熱処理等の他の減容化技術を実証し、平成36年度を戦略目標と設定し実事業に移行するとしている。同時に、最終処分方式の検討を進め、具体化していくとしている。また、減容化のためには、放射性セシウムの分離後の生成物（浄化物）の再生利用が必須であり、基準等の基本的考え方等を整備し、モデル事業等を進めながら地域の理解醸成を図っていかなければならない。

我々の研究グループでは、技術開発の先に図5のような技術構成による減容化と最終処分の絵姿を描いている。すなわち、分級処理や溶融技術等の熱処理技術、洗浄技術等を組み合わせることによって高度な減容化を達成し、浄化物の再生利用と減容化された濃縮物の最終処分を実現できると考えている。2千万 m<sup>3</sup>とも言われている除去土壤等を2千分の1程度まで減容化濃縮し、最終処分への負荷を軽減することで大幅なコスト低減も可能である。濃縮物は、現行の「低レベル放射性廃棄物」のコンクリートピット処分に準じた方式が参考になると考えているが、濃縮物の最終廃棄体の放射性セシウム濃度は、コンクリートピット処分の上限値である1,000億 Bq/kgよりも相当程度低くなるものと推測している。

## VII. 高度減容化技術

減容化技術は図6のように、大きく湿式/乾式分級法、化学抽出法、熱処理法に大別される。詳細の説明は割愛するが、それぞれの方法は以下のとおりである。

### ①分級法

放射性セシウムが微粒子ほど高い濃度で吸着している

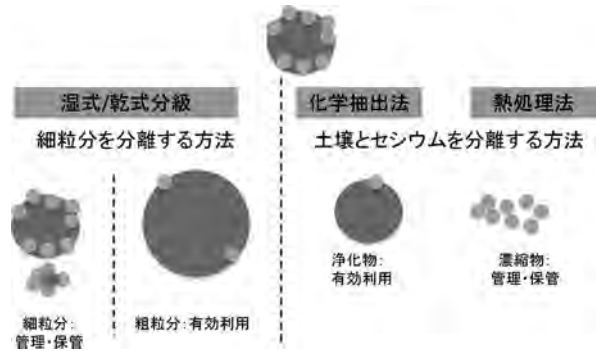


図6 各減容化技術のイメージ

特性を利用して、分級により微粒子と粗粒子を分けて、濃度の低い粗粒子を分離し再生利用等に供する方法。粘土などの微粒分が多い土壤には適用が困難。

### ②化学抽出法

酸などの薬剤により強制的に吸着結合した放射性セシウムを土壤から脱離、または母体となる結晶構造を壊して分離させる方法。熱を加えて効率を向上させる場合もある。生じる廃液等の処理などが課題。

### ③熱処理法

千度前後から千数百度以上の高温に加熱する溶融や焼成により放射性セシウムを揮発分離させ、少量のばいじんへ放射性セシウムを高濃縮させる方法。一般的に揮発分離を促進させる添加剤が必要。生じる溶融スラグや焼成物は土木資材に有効利用可能。高効率な除去率確保が可能。

以上の方法のうち、②および③は高度減容化技術として位置づけられる。溶融技術や焼成技術については、通常の廃棄物処理や土壤汚染対策の分野で多くの実績を有する技術であり、基幹プロセスについては成熟しているといえる。今後、放射性セシウムの挙動を把握して放射線管理上の機能を付加し、実証化していくことが急務で

ある。なお、放射性セシウムが高濃度に濃縮されたばいじんには、通常、放射性セシウムは塩化セシウム等の極めて溶解性の高い化学形態で存在すると考えられ、洗浄技術の適用により溶出した放射性セシウムをフェロシアン化合物等へのさらなる吸着濃縮が可能である。

## VIII. 濃縮物の最終処分

高度減容化技術の適用により、最終的に放射性セシウムが濃縮された残渣物が生じる。現在の想定で、先の熱処理/洗浄プロセス後のフェロシアン化合物としての廃吸着剤が残ると考えると、その放射性セシウムの濃度は数千万あるいは数億 Bq/kg のレベルになる可能性がある。原子力分野における「低レベル」の範疇になり、安定化の後にコンクリートピット処分相当の対応が一つの考え方である。

最終処分の際の安定化処理方法や最終廃棄体が今後の重要な研究開発対象である。フェロシアン化合物は、長期的安定性の点でシアン化合物の生成が懸念され、最終廃棄体としては適さないとの指摘が強い。そうなると、長期的に安定な無機物にする方法が必要になる。セシウムを含むシリカアルミナ酸化物であるポルサイトに変換する方法や、ガラス固化により長期的に封じ込める方法などが考えられるが、それらをさらにセメント固型化したり、容器封入したりすることで、環境流出に対する多重防御策を講じることが可能であり、トータルとして合理的な方法を開発、選択していくことが肝要である。

## IX. おわりに

本稿では、汚染廃棄物等の総合的管理について、主に技術的観点からこれまでの流れと現況、そして今後に向けて残されている技術課題などを概説した。仮置場の構造・維持管理や輸送とその情報管理、汚染廃棄物等を封入する容器、関連施設等の状況を効率的に把握するための調査、測定分析などについては紹介できなかったが、

汚染廃棄物等の管理を適正に進めていくためには関連する重要な技術である。

最後に、合理的な技術を適用していくためには、社会受容性への配慮も必要である。国民的な理解醸成を図る努力も惜しんではならない。

### — 参考資料 —

- 1) 倉持秀敏：環境放射能除染学会誌，2(2)，71-84(2014)。
- 2) Shiota et al.: Analytical Chemistry, 87 (22), 11249-11254 (2015)。
- 3) H. Kuramochi, et al.: Global Environmental Research, 20 (1&2), 91-100 (2017)。
- 4) K. EndoNDO: Global Environmental Research, 20 (1&2), 101-109 (2017)。
- 5) Saffarzadeh et al.: J. Environ. Radioactv. 136, 76-84 (2014)。
- 6) 石森洋行，他：廃棄物資源循環学会論文誌，2839-49(2017)。

### 著者紹介



大迫政浩 (おおさこ・まさひろ)

国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター  
(専門分野/関心分野)環境工学・衛生工学/除去土壌・汚染廃棄物の減容化・再生利用技術戦略



倉持秀敏 (くらもち・ひでとし)

国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター  
(専門分野/関心分野)リサイクル工学・環境化学/熱的減容化処理における有害元素の挙動解明・汚染廃棄物の減容化技術の開発。



遠藤和人 (えんどう・かずと)

国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター  
(専門分野/関心分野)土木工学・環境地盤工学/汚染廃棄物および除去土壌の埋立処分・中間貯蔵・再生利用。



## 10 万年間の安全とは～社会環境との接点を考える 使用済燃料直接処分も含めた高レベル放射性廃棄物地層処分に関わる諸課題と提言

「使用済燃料直接処分に関わる社会環境等」研究専門委員会

当委員会は、我が国の核燃料サイクル政策に使用済燃料の直接処分を組み込むことが社会環境的にどのような意味を持つことになるのか、という問題意識から5回の準備会合を経て平成25年4月に立ち上げた。その後、この4年間で計45回の委員会、6回にわたる本学会の年会・大会での企画セッションにおける委員会外の学会員との意見交換、サイエンスアゴラでの一般市民の意見傾聴を通じて、課題の在り処とその対応策について一定の方向性を見出したので、これを20項目の提言としてまとめた。本報では、当委員会が取りまとめた最終報告書についてその概要を紹介する。

**KEYWORDS:** *direct disposal, spent fuel management, geological disposal, public involvement*

### I. はじめに

当委員会はその発足前の平成24年11月から有志20名による準備会合を開始し、設立趣旨書の策定などを行った上で、日本原子力学会(以下、本学会)企画委員会の了解をえて、幹事会4名、委員24名オブザーバー1名の構成で平成25年4月に発足した。その後、若干の委員やオブザーバーの異動を経つつ、平成29年3月まで45回の委員会を開催した。途中平成26年6月に中間報告書を取りまとめたほか、本学会の年会・大会(2014年春の年会～2017年春の年会)での企画セッションを計6回もち、委員会に参加していない学会員との意見交換を行った。また、委員有志が委員会外の学会員の参画も得て、JSTのサイエンスアゴラに企画提案する形で一般市民とのトークセッションを開催し、その成果を委員会での検討にフィードバックした。

これらの活動を通じて、我が国が使用済燃料直接処分をこれまでの核燃料サイクルの柔軟性確保の選択肢として導入するとしても、これまでの核燃料サイクル路線から転換するためには技術上の課題だけではなく、社会環境上の課題も確かに存在し、それらを乗り越えない限り、先に進むことは叶わないことが推察できた。そこで、そのための方策として20の提言をまとめた。

当委員会は「使用済燃料直接処分に関わる社会環境等」の検討を目的としてきた。しかし、議論は「使用済燃料

の直接処分(以下、直接処分)」に関わる事項にとどまらず、高レベル放射性廃棄物の処分問題に共通する課題に拡散するのが常であった。

そのため、最終報告書においても処分問題に共通する課題と直接処分固有の課題が混在する結果になったことをおことわりしておく。

また、当委員会では委員会の場、あるいは本学会の年会・大会での企画セッションの場に有識者として計8名の方をお招きし講演いただいた。これらの講演が以後の議論に非常に有意義であったことを付記する。

本稿では、Ⅱ章及びⅢ章でこれまでの議論を紹介した上で、Ⅳ章に当委員会の提言を掲載した。

### Ⅱ. 技術論

当委員会には社会科学系の研究者を含むほか、これまで地層処分という分野になじみの薄かった研究者や技術者が委員の大半を占めていたという事情もあって、議論を始めるに当たって処分の考え方、特に技術的側面について共通認識を持つべく、処分関係の研究者や外部の専門家から解説を受けた。また、この技術論を支える重要文献として、2016年12月にJAEAが提示した使用済燃料の直接処分に関する概括的評価である「第1次とりまとめ」<sup>1)</sup>があげられるが、これについては、これを良く知る委員より解説を受けた。

#### 1. 直接処分とガラス固化体処分の相違点について

その中でまず直接処分にはガラス固化体処分と異なる技術的、社会的課題があることが指摘された。このうち技術的な課題の代表例として、①ガラス固化体の潜在的

*What is safety for 100,000 years; Think about the point of contact with the social environment*: The Research Committee on the social acceptance of spent nuclear fuel disposal  
(2017年5月31日 受理)

毒性がウラン鉱石なみに低下するのに1万年程度必要だが、直接処分では10万年程度かかること、②使用済燃料がプルトニウムを含むがゆえに、臨界安全性の検討や恒久的保障措置の適用が求められること、といった点があげられた。また、東京電力福島第一原子力発電所(以下、福島第一)の事故を転機として直接処分の検討が求められるようになってきたことが指摘された。さらに直接処分を選択肢に加える必要性として、①将来の政策変更に対応できるよう備えが必要であることや、②少量ではあるが我が国の再処理工場に適さない燃料が存在することがあげられた。

直接処分の安全評価については、ガラス固化体処分で培われた安全評価の方法論が活用できるものの、両者には寸法、重量、放射線量、内包する放射性物質の閉じ込め機能を期待するマトリクス材の性質、それぞれの処分体に内包される放射性核種に相違があることなどが指摘された<sup>1</sup>。このほか、直接処分においては廃棄体に内包される使用済燃料が多量の核分裂性核種を含むがゆえに、臨界事故の可能性や核物質防護の検討も必要となること、さらには地層処分においては使用済燃料に含まれるC-14やI-129について、(閉じ込め機能を期待したい粘土などへの吸着性が低いことから)廃棄体から生活圏に至る移行挙動の理解に基づくモデル化などが重要課題になっていること、などについて共通認識を持った。

## 2. 共通の課題について

ガラス固化体処分にせよ直接処分にせよ、処分プロセスにフレキシビリティを与える手段として中間貯蔵を組み込むことが有効であることがあらためて指摘された。このほか、多くの国において法律や政策レベルで、可逆性や回収可能性の導入が検討されているので、これについても検討を加えた。

特に見逃せない共通の課題として、福島第一の事故からくみとれる教訓について意見交換したほか、先行処分施設のトラブル事例として、米国 WIPP(核廃棄物隔離試験施設; Waste Isolation Pilot Plant)の2件のトラブル<sup>2)</sup>とドイツのアッセ放射性廃棄物処分場のトラブル<sup>3)</sup>を取り上げ、これを整理することで、事業主体への注意喚起とした。

## III. 技術論を超える課題

前章の技術論を当委員会委員の共通の基礎知識として、本論である社会環境的な課題について議論を始めた。その結果、①地層処分問題がいわゆる「トランス・サイエンス」的課題の極致にあり、それゆえに②公正・公平の確保に特に留意する必要があること、③社会の様々な

ステークホルダーと解決策の共創(共進化)を進める姿勢が重要であることが指摘された。また、①直接処分を含む放射性廃棄物の処分に関する倫理的側面、②原子力利用を考える際のコストに関する考え方、③損害賠償制度を中心に意思決定が円滑に進むための環境整備、④学会及び学术界への期待、と言った課題についても検討を進めた。

### 1. 社会や市民とのコミュニケーションについて

その上で、国や事業者など事業を進める側と、社会や市民とのコミュニケーションのあり方について議論がなされ、国や事業者がこれまで取り組んできた「広報活動」が、一般市民にどう受け取られてきたかを考察し、市民との対話についてより詳細に検討した。また、この市民との対話のあるべき姿として、自然界でみられる異種生物の共進化に学び、事業を進める側と市民が相互に影響し合い両者がダイナミックに変化するようなプロセスとすることの重要性が提案され、合意を得た。これに関連して、処分問題に関わる対話に関する海外の先進的事例が紹介され、我が国への示唆を抽出した。

これらの議論を受けた実践活動として、当委員会の委員有志が当委員会以外の学会員の参画も得てJSTのサイエンスアゴラに企画提案する形で一般市民とのトークセッションを開催するに至った。このトークセッションに参画した委員は、地層処分問題に関する一般市民の受け止め方について、その声を傾聴することにより、自らの考え方が深化していくことを体験した。

### 2. 政治の役割について

事業を進める側と市民が、対等で有意義なコミュニケーションを実現するための周辺条件整備の一つとして、政治の役割について議論した。例えば、2015年5月に特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針が改定され、その改定の大きな目玉が「国が前面に立つ」であった。統治機構としての国が基本方針を定める以上、国には国民や立地地域に対する説明責任があるのは当然である。

同様に、社会とのコミュニケーションを通して共進化するためには、統治機構としての国ではなく、国民によって選出される「政治」の役割が重要であることも異論がないところであろう。

### 3. 倫理的側面と社会コストについて

倫理的側面としては、将来世代の負担と現世代の責任をどう考えるか、という点を論じた。また、原子力利用に伴って社会が負担することになるコストとして、「政策変更コスト」や「事故リスクコスト」の扱いについて議論した。さらにこの関連事項として、原子力損害賠償制度について議論が提起され、損害賠償責任は確かに事業

<sup>1</sup> ガラス固化体処分のケースでは再処理から生まれる TRU 廃棄物の処分が必要であることも当委員会内で共有された。

者にあるが、そのバックアップとして最終的な保証は国が行うことを法的に明記することの必要性について共通認識を得た。

#### 4. 学会及び学术界への期待について

学术界については、福島第一の事故以降、原子力委員会の役割が大きく変更・縮小されたことに伴い、その代替機能としての期待が出てきていることが確認された。併せて、あらためてこの分野の学術的な研究活動の牽引と知見の結集が、人文科学・社会科学を含む学术界に期待されることを再確認した。

以上の議論に加え、放射性廃棄物を総量管理すべきとする考え方への見解、核燃料サイクルにおける中間貯蔵の位置づけ、今後の直接処分研究の進め方、人材の継続的な確保と技術継承についても議論を進め、その方向性を確認した。

特に研究開発の進め方については、そのレビューに当たり、関心のある一般市民の参画を求めることの必要性について確認した。また、人材育成については、スウェーデンの YGN(ヤングジェネレーション・ネットワーク)の例について議論し、我が国への提言について検討した。

### IV. 4年間の議論を通じて得た提言

II章及びIII章で紹介した議論を経て、全委員参画による分担執筆により当委員会として最終報告書を取りまとめた<sup>4)</sup>。この最終報告書については日本原子力学会のホームページにおいて公開されており、その中で、以下に示す20の提言を行っている。なお、提言の中にはやや難解な部分も散見されたので、ここでは若干の修文や補足を行った。

#### 1. 国(政治と行政)への提言

(高レベル放射性廃棄物の地層処分に関するもの)

- 1-1 国は、10万年～100万年といった超長期の知能を超える時間軸に関わる問題をどこまで、どのように考慮すべきか、ということについて、改めて社会的コンセンサスを得るべき。
- 1-2 先般の国の基本方針の改定で、不確実性に対する備えについて万全を期したいという社会の要求に応えるための重要な仕組みの一つとして可逆性・回収可能性の担保が位置づけられたが、具体的にどのようなかたちで具現化するべきか、複数の選択肢毎の利害得失の比較検討や閉鎖までの管理の在り方も含めて議論を深める必要がある。
- 1-3 規制当局による(将来世代にとっても)正統的な処分場という点について、その重要性を改めて認識し、あらかじめ対処方針や対処策を検討し、備えを講じること(すなわち)閉鎖基準の設定とその実

現に向けた関連技術の開発に取り組むべき。

- 1-4 社会全体が「その選択は社会全体の合意に基づいて、地域社会が主体的にしたものである」と認識し、それを尊重できるように、透明性、公平性、地域の主体性を高い水準で備えたプロセスを国として実現すべき。
- 1-5 住民(国民)と事業者・国とが対等な立場で議論でき、相互に信頼関係を構築できるスキームを整備することは有効と考えられ、我が国においても検討の余地がある。
- 1-6 政治のとりわけ重要な課題は、対話を通して得られた社会の意見や地元の要望などを取り上げて様々な意思決定の場や制度設計に反映する仕組みを用意すること。参議院の「調査会」制度の活用も視野に入れるべき。
- 1-7 使用済燃料直接処分を含む高レベル放射性廃棄物処分に必要な知識、経験及び能力を有する人材を継続的に育成し、確保することを目的として、処分実施機関を頂点とする責任体制を整備し、併せてスウェーデン YGN のような業界横断的な人材育成の仕組みを構築して、より広範囲の業界人材の育成を目指すべき。

(使用済燃料直接処分に関するもの)

- 1-8 プルトニウムを資源と認めず、直接処分を行う場合には、「プルトニウム鉱山問題」に代表される将来にわたる核不拡散の懸念への配慮や対処も重要。なお、「可逆性・回収可能性」を担保する場合には、核拡散リスクへの対処について、将来世代に負担を残すことの是非も含めた検討が必要。
- 1-9 「現在の問題を解決するだけでなく、新たな問題を生み出しにくく、“やり直し”しやすい」選択肢として「直接処分」は適切か否かについて技術的検証を行っていくべき。

(その他関連事項)

- 1-10 どのような核燃料サイクルを想定しても、それに使用済燃料中間貯蔵を組み込むことにより、フレキシビリティを与えることができる。
- 1-11 社会の意思決定の重要な前提となるコスト評価においては、中立的かつ科学的根拠のみに基づくとともに、万人がそれらを確認できる透明性が担保されるべきである。原子力委員長も提唱しているように、関係業界による科学的根拠の共有と追跡可能なかたちでの情報公開が必要。
- 1-12 原子力施設事故に係る無限の損害賠償の責任は事業者にあるが、事業者の賠償能力が有限である場合に備え、事業者の無限責任賠償を可能とするために実質的に無限の支払能力を有する国



が最終的に事業者の損害賠償支払いを保証することを法律で明記することにより、地元住民や国民の権利や利益を責任もって守る姿勢を国が明確に示すことが重要。このことは、放射性廃棄物処分にも適用されるべき。

## 2. 事業主体への提言

- 2-1 処分場設置に当たっては、①長期的な安全確保を実現する十分な経営資源の確保、②技術的・社会環境的な問題による予期せぬ処分場使用中止の可能性の認識、③社会体制の変更等予測不能な事態への対応の準備、の3つの点について、その重要性を改めて認識し、あらかじめ対処方針や対処策を検討し、備えを講じることが必要。
- 2-2 処分は“できる”と主張するだけでなく、現時点での自然界に対する理解の限界を専門家側が認め、不確実性への対処を示すことも信頼回復に有効。
- 2-3 聴く側の身になった用語を使い、聴く側の理解のプロセスに沿った説明をすることが大切。進める側が訴えたいことばかりを、訴えたい側の(自分たちの)論理の順番に沿って伝えようとしてもうまく行かない場合がある。
- 2-4 対話のあるべき姿は、生物の世界で言う共進化、すなわち、相互に影響を与え合い、両者ともにダイナミックに変化していくべき。一方のみが他方に対して態度変容を求めてはならない。

## 3. 本学会を含むアカデミアへの提言

- 3-1 学術的な研究活動の牽引と結集に加え、技術的領域とともに社会システム構築の研究を、アカデミアとして奨励すること。
- 3-2 アカデミアは、この問題への対処を進めるために必要な学術研究の推進、学際的な共考協働の促進、国際情報を含む多様な見解を一般の人々を対象に積極的に紹介するなどの役割を負うべき。
- 3-3 アカデミアには、トランス・サイエンス問題である地層処分問題解決の一環として、専門分野横断

のコミュニケーション及び様々な関係者・国民とのコミュニケーションを図りつつ、学際的共考協働作業への取り組みを期待する。

- 3-4 地層処分システムの実現に向けて、社会の理解を促すために取り組むことが必要な研究課題について、所要の研究体制が整備されることを期待する。

### － 参考文献 －

- 1) 日本原子力研究開発機構(2015)：わが国における使用済燃料の地層処分システムに関する概括的評価-直接処分第1次取りまとめ- JAEA-Research 2015-016.
- 2) DOE 報告書「Waste Isolation Pilot Plant Recovery Plan, Revision 0」, September 30, 2014.など.
- 3) 連邦放射線防護庁(BfS) アッセ II 研究鉱山ウェブサイトのアーカイブ(現在は新設の連邦放射性廃棄物機関(BGE)が所管).[http://www.asse.bund.de/Asse/EN/home/home\\_node.html](http://www.asse.bund.de/Asse/EN/home/home_node.html)
- 4) 使用済燃料直接処分に関わる社会環境等研究専門委員会最終報告書.  
本文：  
[http://www.aesj.net/document/com-r\\_sfdirect20170404.pdf](http://www.aesj.net/document/com-r_sfdirect20170404.pdf)  
付録：  
[http://www.aesj.net/document/com-r\\_sfdirect20170404\\_sup.pdf](http://www.aesj.net/document/com-r_sfdirect20170404_sup.pdf)

---

使用済燃料直接処分に関わる社会環境等研究専門委員会  
メンバー(順不同、敬称略、○：主査、△：幹事)  
○鳥井弘之(テクノ未来塾)、△岸本洋一郎、  
△諸葛宗男(PONPO)、△山本隆一(JAEA)、森信昭(NEGA)、  
河田東海夫、千崎雅生(JAEA)、亀井玄人(JAEA)、  
大澤隆康(JAEA)、深澤哲生(日立GE)、大場一鋭(MMC)、  
森行秀(MFBR)、黒田一彦(MHI)、八塩晶子(大林組)、  
雨宮清(安藤・間)、植田浩義(NUMO)、  
土屋智子(NPO 法人 HSE リスクシーキューブ)、  
村上朋子(IEE JAPAN)、寿楽浩太(東京電機大)、  
大久保博生(三菱総研)、柳澤務(JAEA)、石川博久(原安協)  
[オブザーバー]  
村岡進(NRA)、西山潤(東工大)、渡辺凜(東大院)

---

# 学会誌アンケート結果サマリ(2017年3~5月号)

原子力学会誌では昨年秋よりアンケートを行っており、いただいた回答については3ヶ月ごとに集約してその結果を紹介しています。今号では2017年3月~5月号に対して寄せられた回答の概要と、これまで編集委に寄せられた意見や要望の概要および編集委による対応について紹介します。

## I. 2017年3月号アンケート結果

○アンケート実施期間：2017年3月1日~23日

アンケート回答数：83名

### 1. 回答者のプロフィール

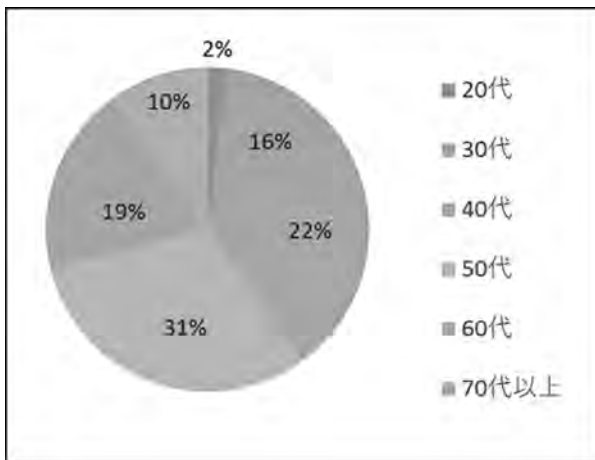


図1 回答者の年齢構成(2017年3月号)

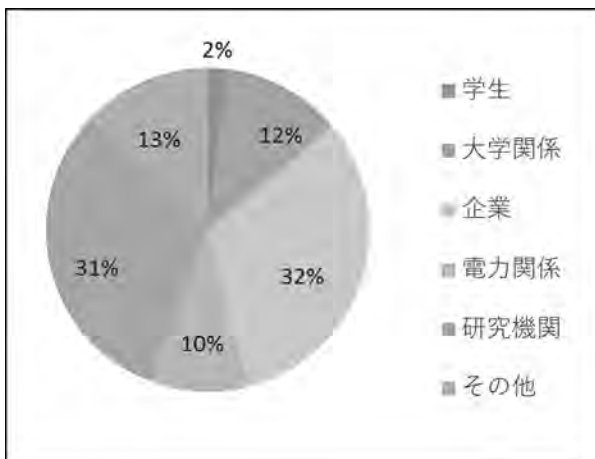


図2 回答者の所属組織(2017年3月号)

### 2. 集計結果

表1 3月号で興味を引かれた記事(上位5件)

順位	記事種別	タイトル	回答数
1	特集	LNT 仮説への挑戦 低線量放射線影響の歴史的経緯と現状	48
2	巻頭言	7年目に入った原子力政策の停滞からの脱却のために	36
3	特集	LNT 仮説への挑戦 統計モデルとしてのLNT仮説の起源	34
4	特集	LNT 仮説への挑戦 LNT 仮説への挑戦としてのWAMモデル	32
5	特集	LNT 仮説への挑戦 パネル討論会	32

## II. 2017年4月号アンケート結果

○アンケート実施期間：2017年4月6日~28日

アンケート回答数：75名

### 1. 回答者のプロフィール

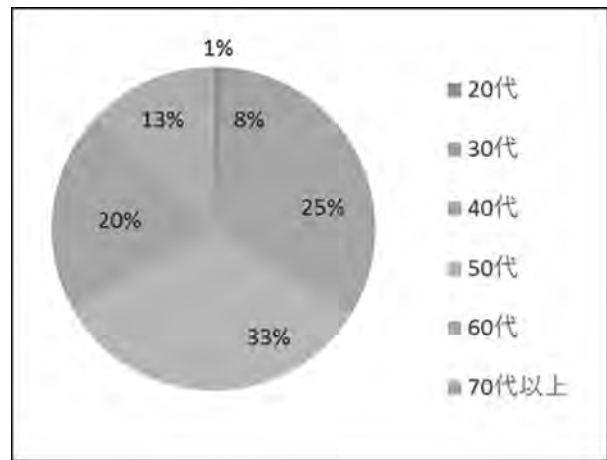


図3 回答者の年齢構成(2017年4月号)

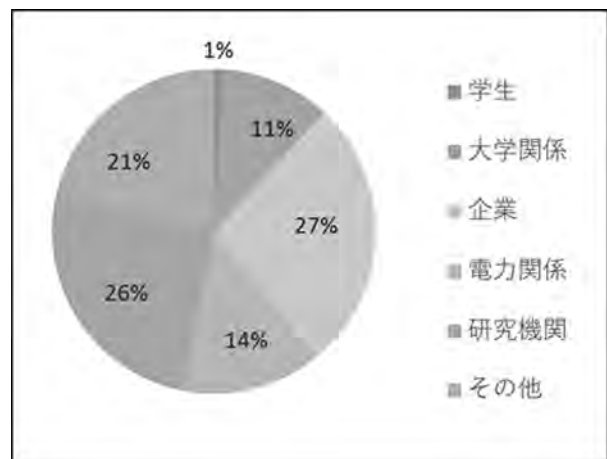


図4 回答者の所属組織(2017年4月号)

### 2. 集計結果

表2 4月号で興味を引かれた記事(上位5件)

順位	記事種別	タイトル	回答数
1	特集	失敗学会による会議、検討、情報発信	28
2	ジャーナリストの視点	福島原発事故から6年の現実	22
3	特集	福島原発事故に対する化学工学会の取組み	16
3	特集	東日本大震災と日本学術会議	16
5	特集	日本保健物理学会の取組み	14

### Ⅲ. 2017年5月号アンケート結果

○アンケート実施期間：2017年5月9日～29日

アンケート回答数：97名

#### 1. 回答者のプロフィール

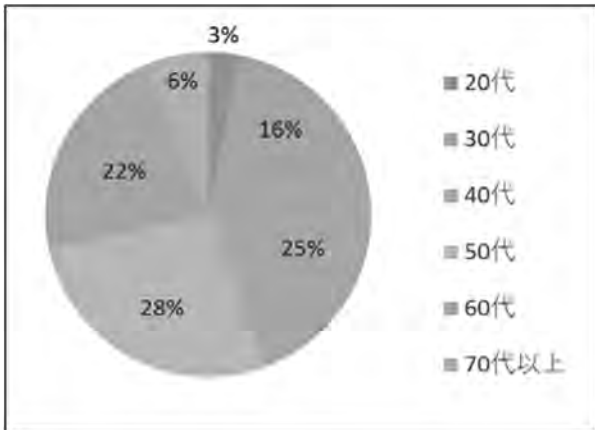


図5 回答者の年齢構成(2017年5月号)

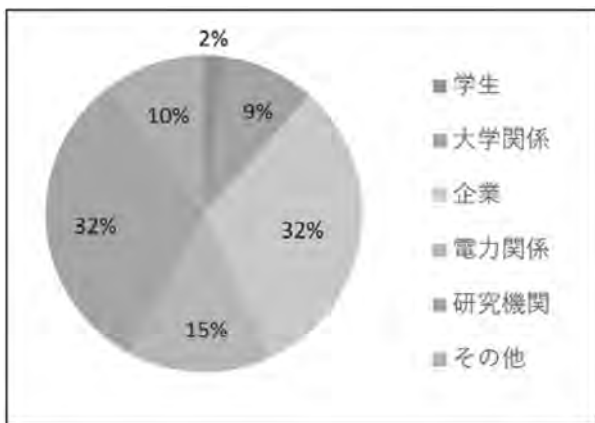


図6 回答者の所属組織(2017年5月号)

#### 2. 集計結果

表3 5月号で興味を引かれた記事(上位5件)

順位	記事種別	タイトル	回答数
1	時論	「バックエンド対策はそれほど高くない」ことを数値で示せ!	53
2	解説	福島後の原発裁判と司法の役割	42
3	報告	「核のごみ」にまつわる中学生の対話	36
4	特集	地球温暖化防止への貢献と我が国の原子力再稼働	33
5	解説	核のごみ処分をめぐる「高レベル放射性廃棄物の処分をテーマとしたWeb上の討論型世論調査」のシンポジウムから(1)	28

#### Ⅳ. 学会誌に対するご意見

学会誌アンケートでは、①学会誌の記事企画や記事の内容についての意見、②今後、学会誌に掲載を希望する記事、③編集委員会への要望や意見の3種類の自由記入欄を設け、学会員のご意見を伺っています。

なお、これまでのアンケートでは皆様方から編集委員会に対してさまざまな意見や要望が寄せられています。それらのうち、すでに「電子化対応」や「もんじゅ特集」などのテーマについては編集委としての対応を紹介してき

ました。

今号ではこれまで、まだ紹介していない意見や要望の主なものと、それに対する編集委としての対応状況や対応方針について紹介します。「」カッコ内がいただいた意見や要望、△以降の文が編集委としての対応です。

##### 【原子力に対する姿勢】

「原子力に対しては公平な評価をすべき」「原子力を非とする意見に対する真摯な討論を」「巻頭言から原子力推進を訴える記事を見るとげんなりする」「社会的受容性のあり方などを含む幅広い企画は読みごたえがある」「若者による推進・反対の対話記事」「論理が通ってれば原子力に批判的な論考も掲載すべく、原子力に批判的な団体からの寄稿も求めてみるべきではないか」「反対派と呼ばれる方々との対話」

「原子力発電の意義を解説する記事と反原発派に対する説得記事を」「会と貴誌は反対派を如何に説得もしくは凌駕する方途を工夫し、実行するのが肝要」

△原子力に対する姿勢としては大きく、「原子力の重要性をより社会に訴えることで推進すべき」という意見と、「原子力に批判的な人たちとの対話をも深めるべき」という意見とがあります。原子力学会誌としては原子力の意義や重要性を訴えつつも、その社会的受容のあり方についてはさまざまな視点のものを紹介していく方針です。

##### 【学外との協働】

「学会外との関連した企画を望む」「原子力関係者が見落としそうな分野の紹介を」「学会員が社会に目を向けるような企画を」「福島原発事故に関連した他学協会の取り組みを紹介してほしい」

△学会誌では4月号特集で、多くの学協会における福島原発事故対応の状況を紹介しました。このような企画は今後も継続していきます。

##### 【原子力への夢がもてるような企画を】

「業界の閉塞感を打破できるような明るい話題を」「若手をエンカレッジできる企画を望む」「学生や一般の人が興味をもつような記事を期待する」

△学会誌では6月号から、「海の向こうの研究放浪記」を複数回、掲載します。これは原子力に携わる人たちが夢をもって仕事に取り組んでいる姿を紹介するものです。この企画が、要望の一部に応えるものになることを期待しています。

##### 【多様な意見の紹介を】

「学生連絡会や青年ネットワーク連絡会の活動を積極的に紹介してほしい」「もっと多様な意見の紹介を」

△学会誌ではまもなく「ダイバーシティエッセイ」を開



始し、学会内の多様な意見を紹介していく予定です。

**【社会的な側面に目を向けた企画を】**

「専門外でも興味をもてる内容にしてほしい」「工学的事象より社会的な記事に興味がある」「専門外の人にも理解できるような平易な内容にしてほしい」「素人への情報発信を期待する」「可能な限りわかりやすい記事を」「家族でも読みたいと思うような記事を」「より視野を広げた記事を望む」「社会との接点の記事が多彩なのは喜ばしい」

**【重厚な企画を望む】**

「近頃の学会誌は専門性が低くなった」「アカデミックな内容が乏しくなった」

△学会誌の記事企画は多様な視点からなりますが、あえてそれらを大別するならば原子力の技術的側面に関するものと社会的側面に関するものとに分けることができます。福島原発事故以降、学会誌ではその両面の記事を掲載してきましたが、今後はそれらの重要性に応じて両面の記事を掲載していきます。また、今年の夏からは各部会の連載企画を開始し、原子力学会が関わっている各分野の専門的な内容を深掘していく方針です。

**【福島原発事故関連】**

「福島原発事故の総括と特集を」「福島原発事故についてはシリーズ企画を」「福島原発事故以降は問題意識がはっきりした」「事故を防ぐことができなかった学会としての責任感をベースに事故を風化させない立場で編集を心がけるべきである」「廃炉に関する学会としての具体的な提言を」「福島原発事故の責任の所在を明確にしてほしい」

「事故原因の追求を」「『福島の今』と題して、毎号福島のどこかの地域の活動または行事を取り上げていくコーナーを設けて欲しい」「福島原発事故にかかわらない研究のあり方の議論を」

△福島原発事故関連については、より深掘した企画や継続した企画を求める声はかなりあったものの、一方で学会誌の記事が福島原発事故関連に偏り過ぎているという声も少数ながらありました。学会誌では4月号特集をはじめ福島原発事故関連は今後も継続して記事を企画していくとともに、それ以外の分野についても前述したように、さまざまな企画を検討していく方針です。

**【その他】**

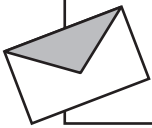
そのほかに下記のような意見や要望をいただきました。

「国内の関係機関のトップ対談を企画してはどうか」「ジャーナリストの視点の継続的な掲載を」「海外動向を紹介してほしい」「目次に概要が入り、見やすくなった。今後もこうした努力を続けてほしい」「必要以上に安全側に位置する規制に対する考察と反省を求める」「テロ対策についての記事企画を」「編集委がアンケートを始めたことは非常によいことである。ぜひ理事会への意見を受け付けるアンケートも設けてほしい」

以上、2017年3月～5月号のアンケート結果を中心に概要を紹介しましたが、今後も毎月アンケートを実施しますので、会員の方の忌憚のないご意見を募ります。

(本誌 小林容子, 佐田務)

## 理事会だより



### 会員の維持と原子力への理解活動の取組み

少子高齢化と理科離れが影響して他の学会でも同様の状況にあるようですが、原子力学会の会員数の減少が止まりません。一時期7,700名を超えていた正会員・学生会員の合計数は、福島第一原発事故以降、毎年100名ずつ減っており、2年以内に7,000名を切る見通しです。1,300口近くあった賛助会員の加入口数もやはり減少が続いており、現在は960口を切っており今後が心配です。

また、各種世論調査によれば、原子力利用への国民理解は少数割合に留まり好転の兆しがありません。これは福島の復興の遅れ、「原子力ムラ」と叩くマスコミ報道、そして事故の教訓を反映した強固な安全性向上策を無視した一部地裁による運転差止仮処分の判断などが影響しており、エネルギー資源の乏しい我が国の将来に原子力エネルギーが必要であるという事実への理解が広まらない状況となっています。

原子力学会は、定款第3条に示される通り、原子力と放射線の利用に関する学術および技術の進歩をはかり、その成果の活用と普及を進め、もって環境の保全と社会の発展に寄与することを目的とし、それに賛同して入会した会員が集まる組織です。そこで、理事会は、次の2点の活動を強化することとしました。

#### 1. 会員維持・獲得の活動

所属する会員数の確保に努めることは、どの学会にとっても当然の活動です。

#### 2. 原子力と放射線の利用に関する理解活動

国民からの支持を得られれば、研究予算や開発投資の増加、更には優秀な若手人材が集まります。

これら2つの活動による学会の強化と原子力利用の復活は、ひいては国の将来を救います。この分野を選んだ学者、研究者、技術者は、各自の担当技術・研究室だけに籠もらず、専門家として一般国民の理解促進を支援する活動にも注力すべきです。原子力は一般社会の理解が無ければ存在できません。原子力分野こそ社会に出て対話する社会性、積極的なアウトリーチ活動が必要です。

そこで理事会は、上記の2つの活動に充てる平成29年度の予算枠として1,000万円を用意し、各支部・部会等に活動計画の申請をお願いしました。しかし集まった

プランには、原子力関係専攻所属の院生の学会発表のための出張旅費に充てると言うものが多く見られました。原子力関係専攻所属の学生にかかる経費は、本来、各教育機関の予算により負担すべきもので、新規の学生会員の獲得にもならず学会からの支援は慎重としたいところですが、卒業後には原子力分野へ就職して頂けること、将来正会員になって頂けるものと期待し、また万一他分野を選ぶとしても原子力への理解を維持して頂けることになるであろうと考え、当該予算活用の全ての申請を認めることとしました(効果の確認はさせていただきます)。

ところで、それらの支部・部会から申請のあった活動計画の費用合計は用意した予算枠の半分程度に過ぎず、まだ余裕があります。そこで、上記の趣旨に沿う活動の拡大による個別予算の超過・予算外も積極的に認めることとし、以下に活動の例を示しますので、部会・支部等には積極的に取り組んで頂くことを求めます。

#### 1. 会員維持・獲得の活動

##### (1) 正会員の維持・新規会員の獲得策

入会に魅力を感じるような支部活動の工夫、例えば、原子力関係者が多く勤務・居住する原子力施設立地地域の近傍で支部主催のシンポジウムなど様々な催しを開き、著名人の講演だけでなく若手に活動報告や研究発表の機会も与える。発表者は会員資格を持つべきだが、聴講者は会員に限定せず、参加会費はとらずに運営経費は学会が負担(支部予算を追加)する。発表内容は理系のテーマに限らず、広聴・広報・出前講義・草の根の理解活動・アンケート調査・世論調査等の社会学系の報告でも良く、これにより広報部門の人、放射線部門の人が入会する動機に繋げることを期待する。企業や研究機関の技術展示の機会付与も必要であろうが、その場合は賛助会員であることを条件とする。

##### (2) 離職したOBの脱会の抑止策

OBが学会へ継続加入する価値・使命感を感じる仕組みが必要である。例えば、OBと現役若手との意見交換の場を設定し、現役を励ます機会があれば、OBには大いに意欲を感じて頂けるものと考えます。

また、学会員であるOB向けに、関心の高い施設(原子

力関係のみならず、広くエネルギー関連で良い)への見学会を実施してはどうか。

### (3) 新規学生会員の獲得策

大学・大学院では、原子力関係専攻を選択した学生への最初のオリエンテーションの段階で、原子力分野で学ぶからには学会からの知識習得が重要であることを説明し、入会を強く推奨して頂きたい。卒業間近の論文発表の為だけが入会の目的では、修了後の退会を予感させる。

また、若手連絡会には、原子力学会員でないメンバーへ学会への加入を奨めて頂きたい。

シニアネットワーク連絡会の行う学生との対話活動では、学生の不安や疑問に答えることは勿論、原子力分野に意欲ある学生に対しては学会への加入を奨めて頂きたい。

### (4) 卒業後の正会員への継続加入の確保策

原子力分野の採用数が原子力関係専攻の定員を下回っている状況の為に、多数の学生が原子力以外に就職する現実から難しい面はあるが、原子力分野に就職した卒業生こそ、退会せず継続加入して貰うことが重要である。そこで、就職先である原子力関連企業・研究機関には、原子力部門に配属した新入社員へのオリエンテーションの段階で、知識獲得の為に学会員であることが望ましいことを説明し、原子力専攻卒業生の継続加入と、他専攻から原子力部門へ配属された人には原子力学会への新規加入を奨めて頂きたい。組織で勤めて時間が経つと、学会への関心が薄れることが懸念される。

### (5) 賛助会員の加入口数の減少抑止策

これまでの勧誘実績から見て、賛助会員の新規獲得や増口は難しく、既存会員に口数の維持をお願いするのが精一杯との印象がある。産業界、研究分野の動向をウォッチし、賛助会員へのサービスを充実して口数減少の傾向を止めるべきで、例えば、会長と業界団体との意見交換、支部長と地元原子力事業者との意見交換、賛助会員の希望に応じた学会活動など検討して頂きたい。

## 2. 原子力と放射線の利用に関する理解活動

### (1) 理系・原子力へ進む学生の増加策

まずは、大学受験で工学部を選ぶ高校生の人数増加が大切であり、原子力の理解活動としても効果があるので、高校生向けの特別講義を企画してはどうか。高校生が魅力を感じるよう「大学体験授業」と銘打つ。講演タイトルは、例えば「科学の目で見えるエネルギー」といったイメージで良く、その内容も原子力に収束させる必要は無

い。エネルギーに関心を抱き、工学部を選んで貰うことが目標で、それで十分である。大学の大きな講義室(階段教室など)で実施し、高校には無い大学の雰囲気を経験できることをアピールしたい。各支部内の近隣高校・高専の生徒が対象であるが、参加は個人の自由申し込みとしなければならない。

### (2) 高校生向けの副読本の編集

これまでの副読本は立派過ぎて厚く使いにくいのではないが、薄いことが採用される条件ではないかとの印象がある。短い休みの理科の宿題として使用できるもの、例えば10頁以下、エネルギー関連に集中した内容とし、原子力の利点ばかり強調するものにしないことが秘訣であろう。考察の材料となる図表を多くし、短いレポートを書かせる宿題の材料にできたり、簡単な例題を入れ、授業の試験問題や調査課題に使えたりすることが、教師の側から見て採用の動機になろう。自ずと原子力の必要性は理解できる筈である。既に副読本は多数あり、そこから上記の趣旨に合う短いものを編集すればよいので、準備は容易と考える。

### (3) 高校の理科系クラブ活動を支援

理科クラブに所属する生徒は、大学受験で工学部さらにはエネルギー関係の学科を受験する有力な候補である。指導教官である高校理科の教師の協力を得て、大学の原子力や放射線利用に係わる研究室の見学、研究機関・研究用原子炉・原子力発電所など実業界の施設の見学、エネルギーの重要性を説明する展示館の見学などをアレンジをしてはどうか。勿論、対象を理科クラブに限定せず広げることができれば素晴らしい。

### (4) 全学共通のエネルギーの講義

大学1年生程度の段階で、エネルギーに関して基礎的かつ広範な内容を教える講義が欲しい。理系の学生だけでなく、文系の学生も選択可能な全学共通の一般教養科目としたい。様々な分野でやがて国の将来を担うリーダに育つ若人達に、エネルギー資源に乏しい我が国がとるべき道を考えさせることは大切で、将来は原子力への理解者となってくれる効果が期待できる。原子力学会発行の図書(マイクロ科学とエネルギー、原子力が拓く世紀、等々)を教材として利用、推奨すれば一石二鳥である。学会で標準プログラムを用意することも考えたい。

### (5) 一般人向けの理解活動

原子力事業者は、それぞれの立地点で地域住民を対象に出前講義などをやっているが、消費地でも活動すべきである。支部の行うオープンスクールの開催場所、訴求対象者なども考え直してみる時期にあるのではないか。



原子力利用の是非が社会全体のテーマとなっており、人口の多い都市、消費地の意見の重要性が増している。

福島の復興も原子力再起の条件であり、単なる放射線の説明から範囲を広げ、例えば消費地での風評被害対策や浜通りでの効果的復興策の提言などが必要と考える。

地層処分の立地も原子力利用の条件であり、様々なプロジェクトの中で遅れが著しい現状を打破すべく、原子力学会も地層処分の理解活動へ貢献すべきである。

専門分野を持つ部会・連絡会は、それぞれ得意な分野で一般向けのイベントを催しては如何か。具体的なイメージを持って頂くためにテーマの案を挙げれば：

炉物理部会	「原子炉の臨界とは」
核融合工学部会	「太陽の原理を地上で活用」
核燃料部会	「核燃料と化石燃料の違い」
バックエンド部会	「生活圏からの隔離処分」
熱流動部会	「原子炉の中の流動を見る」
放射線工学部会	「放射線を利用する文明」
HMS 研究部会	「人間と機械」
加速器・ビーム科学部会	「加速器の利用と夢」
社会環境部会	「社会と原子カムラの対話」
保健物理・環境科学部会	「日常生活の周りに存在する放射線」
核データ部会	「原子核の反応を探る」

材料部会	「原子炉を守る材料」
原子力発電部会	「原子力発電の長所と短所」
再処理・リサイクル部会	「リサイクルできる核燃料」
計算科学技術部会	「コンピュータを利用した計算技術の進展」
水化学部会	「水化学とは何」
原子力安全部会	「原子力のリスクを測る」
新型炉部会	「将来の原子炉は」
海外情報連絡会	「海外の原子力の今」
学生連絡会、若手連絡会	「若人に期待する原子力」
シニアネットワーク連絡会	「OB から聞く原子力の開発史」
核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会	「原子力の平和利用を守る」

等々が考えられる。

以上の 1. (1)~(5), 2. (1)~(5)の 10 項目の例示について、支部・部会等の具体的な提案と積極的な取組みを期待しております。理事会は、そのような活動に効果的に予算を追加する所存です。

(理事 田中治邦)