

### シリーズ解説

我が国の最先端原子力研究開発  
No. 3

### 13 FBRサイクルの実用化を目指して(I)— 持続的な社会を支える技術の研究開発を推進

限りあるウラン資源を有効利用できる技術として注目されている高速増殖炉サイクル。わが国は国際標準を目指した開発目標を設定し、世界との競争・協調のもとにその研究開発をFaCTプロジェクトとして進めており、その水準は世界の最先端に達している。

長沖吉弘, 名倉文則, 阪口友祥, 川崎弘嗣, 菊地 晋

### 解説

### 19 科学が文明を変える—気候変動に関する 政府間パネル(IPCC)が果たした役割

IPCCの第4次報告を受けて、世界は低炭素社会の方向に動き出した。科学がこれまで、政治にこれほどの影響力を行使したことがあっただろうか。その力の源泉は、科学の厳密さの追及と、政策からの中立性にある。

西岡秀三

### 24 再処理・リサイクル技術開発の 状況と我が国の開発への提言

再処理とリサイクルを行う機運が、世界的に高まりはじめた。燃料の有効活用と放射性廃棄物の環境負荷低減という観点から、我が国では今後、第二再処理工場に向けての検討を着実に進める必要がある。

再処理・リサイクル部会

### 部会報告

### 29 再処理・リサイクル部会(RRTD) の活動

天野 治

### 報告

### 33 「原子炉出力向上」は どうすれば実現できるか

「原子炉出力向上に関する技術検討評価」特別専門委員会は、2年間にわたる研究の成果と今後の課題などを議論する講演会を開催した。

岡本孝司

### 巻頭言

### 1 原子力カルネッサンスを現実の ものとするために

服部拓也

### 時論

### 2 倫理の目で見ると何が 見えるか—身近な規制の法令に 目を向けよう

法令を不合理なままに放置しておくことが、不正の温床になりかねない。国・自治体・事業者間での情報の円滑な流通と、そのプロセスの透明性の向上を図る必要がある。

杉本泰治

### 講演

### 30 原子力の広報活動を振り返って— 新たな信頼関係づくりに向けて ダイアローグの推進を

原子力の広報は一般広報と違い、世論獲得競争である。世の中には様々な考えがあり、一般の人々から共感と納得を得るためには、ダイアローグが重要な要素となる。

榎本晃章

### 連載講座 今、核融合炉の壁が熱い！ —数値モデリングでチャレンジ(4)

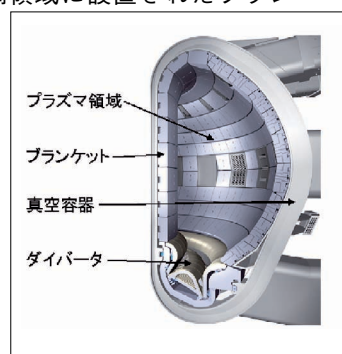
### 36 壁の中で何が起きているか？

核融合炉のプラズマ内で発生した大量の中性子は、第一壁の外側領域に設置されたブランケットと呼ばれる領域に達し、さまざまな核反応を引き起こす。

そこでは、何が起きているのか。それを数値シミュレーションにより解き明かしていく。

村田 勲, 今野 力

核融合炉の断面図



表紙イラスト 乗鞍高原 / 長野県松本市安曇村・中部山岳国立公園

乗鞍高原は乗鞍岳の東の裾野に広がる海拔1,500 mの広大な高原である。温泉宿も何軒もあり、7キロほど離れた2,000メートル付近で湧出する源泉を引湯しているとのことである。白濁し硫黄の匂いもほどよく、やや熱めのお湯で疲れを癒してくれる。真っ白に雪をまとうのも近い晩秋の景色をスケッチした。

絵 鈴木 新 ARATA SUZUKI

日本美術家連盟会員・JIAS 国際美術家協会会員

## 公募記事

## 46 原子力、50年前と今後への希望

古橋 晃

## タイムカプセル記事

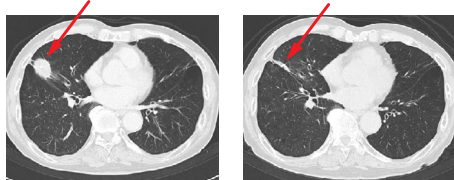
## 47 「氷河期」 臼井暁子

「原子力発電の夜明け風景」 石川迪夫

## 公募記事

## 48 放射線の利用と展望—工業・医療分野における利用動向

放射線を利用した経済活動の年間総額は8.6兆円で、原子力エネルギーの7.3兆円を上回る。このうち最も額が大きいものは半導体加工である。そのほかにも放射線は、医療照射や滅菌などさまざまな用途に利用されている。柴田徳思



治療前

1回の照射治療後

炭素線によるⅠ期肺がんの治療例(放医研 辻井博彦氏提供)

連載講座 軽水炉プラント  
—その半世紀の進化のあゆみ(12)42 日本の軽水炉開発(6)  
—第2次改良標準化計画(BWR)

信頼性の向上などを目標に実施されたBWRの第1次改良標準化計画に続き、昭和53年度からはさらなる稼働率向上や従業者の被ばく量低減、標準化範囲の拡大をめざす第2次改良標準化が始まる。これによって、「日本型軽水炉」が確立していく。吉川和宏、守屋公三明

## 連絡会報告

## 55 核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会

—「2008年春の年会」新連絡会の設置に当たって

勝村聡一郎

## リレーエッセイ

## 56 「出会い」上西紗耶加

「因縁という考え方」朽山 修／

## 4 NEWS

- 定期検査の間隔が最長24ヶ月に
- 短寿命放射性同位元素のビーム加速に成功
- 重粒子線が、がん遺伝子に打ち克つことを発見
- 原子力機構、国際協力リエゾンオフィスを開設
- 原産協会が通常総会を開催、副会長に佃 和夫氏
- 原産協会提供の動画番組のご案内
- 海外ニュース

## 会議報告

53 「稔りある原子力人材育成を目指して」  
—原子力人材育成シンポジウム

長谷川 信

## 54 「中越沖地震の緊急出版の舞台裏と新聞社の男女共同参画」—朝日新聞 科学エディターの講演

大野富生

## 委員長あいさつ/委員紹介

## 57 編集委員長・編集長あいさつ/編集委員一覧

## 59 企画委員長あいさつ/企画委員一覧

## 60 部会等運営委員長あいさつ/委員一覧

## ジャーナリストの視点

## 62 「原子力業界OBたちに学ぶ」

福田 悟

## 32 From Editors

## 41 書評

## 63 英文論文誌(Vol.45, No.9)目次

## 和文論文誌(Vol.7, No.3)目次

## 65 会報 原子力関係会議案内、人事公募、「奨学生」の募集、新入会一覧、主要会務、編集後記

WEB  
WEBアンケート

5月号のアンケート結果をお知らせします。(p.61)  
学会誌記事の評価をお願いします。<http://genshiryoku.com/enq/>

学会誌ホームページが変わりました  
<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/atomos/>

# 原子力カルネッサンスを現実のものとするために



日本原子力産業協会 理事長

**服部 拓也** (はっとり・たくや)

東大大学院工学系研究科修士課程修了。東京電力に入社後、原子力計画部長、福島第一原子力発電所長、副社長を経て、平成18年に日本原子力産業協会副会長、19年から現職。

2007年末現在、世界で運転中の原子力発電所は約430基、合計出力390 GW、平均稼働率約80%、年間発電量2,700 TWhであり、総発電量の約16%を賄っている。国際エネルギー機関(IEA)は、2030年に世界のエネルギー需要が2005年の1.5倍に増加すると評価しており、原子力の比率を現状レベルに維持するには、2030年までに約200 GW、すなわち100万 kW 級のプラント200基を建設する必要がある。加えて、2030年までに運転停止になるプラントのリプレースを考えると、更に100 GW 以上の増設が必要と考えられる。

近年、世界各国で、エネルギー需要増大、原油価格高騰、および地球温暖化への対応の観点から原子力が再評価され、新規建設計画が目白押しの状況にある。公表されている計画を単純に合計すると2030年までに2~300 GW となり、上述した数値にほぼ相当している。計画通り建設できたとして、ようやく2030年においても現状の原子力比率を維持できることになる。

ところで、原子力によるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果は、現状世界で約9%と評価されており、地球温暖化対策の切り札として期待が大きい。2030年時点で現在の日本における削減効果(約20%)を目標にすると、単純計算で約700 GW 程度の新增設が必要ということになる。過去50年間に500基以上のプラントを建設してきた実績からすると決して不可能な数字ではないが、過去20~30年間にわたるハード、ソフト面でのインフラ、とりわけ人材面でのブランクを考えると、相当な覚悟で世界が協調・連携して取り組んで初めて実現可能なものである。

現在、世界の原子力産業界は、各社が受注競争に走り「A社が何基、B社が何基受注」といった数だけの報道が目立ち、さながら原子力バブルの様相を呈しているが、今何が必要とされているのかとの議論をしっかり行って、関係者が認識を共有し、冷静かつ着実に取り組む必要がある。

原子力カルネッサンスを現実のものとするためには、原子力先進国、原子力新興国、原子力途上国の3つに区分して評価し、適切に対応していくことが求められる。

第一に、米国、ロシアなどの原子力先進国については、米国の計画が如何にスムーズに進捗するかが、原子力カルネッサンスの帰趨を決めるものと考えられる。しかし計画が具体化するにつれ、建設コストの上昇と資金調達の問題に始まり、許認可スケジュール、人材不足、サプライチェーン、プロジェクト管理能力など、過去30年プラントの新規発注がなかったことに起因する様々な課題が浮上してきている。加えて米国の計画が未だ実績のないAP1000、ESBWR、USEPRなどの新規開発炉が中心であることと相まって、計画通り進捗するかどうか疑問視する声もある。米国の計画実現のために、今こそ、過去40年間以上途切れることなく建設を続けてきた日本が、電力、メーカー、ゼネコン一体となって築き上げてきた、実プラントで実証済みの「日本モデル」を持ち込み、まずは初号機を工程どおり、予算内で完成させてみせることが重要である。

第二に、中国、インドなどの原子力新興国では、原子力開発計画も極めて意欲的である。中国、インド共に2030年頃には原子力発電の規模は現在の我が国と同等のレベルに達し、2050年までには倍増の勢いである。両国共に自主開発を基本としていることから、急激な発展に合わせ、ソフト面の安全確保システムを如何に確立するか、透明性の確保による情報共有の枠組み作りとともに、セーフティー・カルチャーの定着が鍵である。

そして第三に、中東湾岸諸国、アフリカ諸国などの原子力途上国については、何よりも3S(核不拡散/保障措置、原子力安全、核セキュリティ)の確保が重要である。周辺環境を含め、政治的安定性が見通せる国、透明性の確保が担保される国が、人材の育成、管理システムの構築といったインフラ整備を進めながら、長期的視点から着実に取り組むことが求められる。これらの国々を対象に、3Sを担保しつつ運転保守が容易な国際標準の中小型炉の開発を、国際プロジェクトとして進めることを検討すべきであろう。

(2008年 7月18日 記)





# 倫理の目で見ると何が見えるか 身近な規制の法令に目を向けよう



杉本 泰治(すぎもと・たいじ)

NPO 法人 科学技術倫理フォーラム  
代表

金沢大学工学部卒業。化学系製造業企業の勤務や企業経営を経て、名古屋大学法学部を卒業。現在、T.スギモト技術士事務所代表。

## 1. 抵抗を許さない規制行政

行政庁が、その裁量で、企業の法令不順守を判断し、摘発する。直ちにマスメディアで報道され、社会的非難が広がる。

その間、企業は抵抗できない。行政庁の裁量による行政は法令に定められた権限だから、企業は何もいえず、打ちのめされる。やがてマスメディアも静かになり、あとに残るのは、企業に対する「国民の信頼を大きく損ねる」<sup>1)</sup>現実である。ここで、そのことに注目する。

## 2. 保安院総括の両面効果

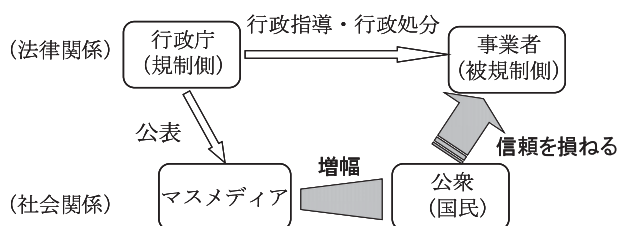
原子力安全・保安院は、平成19年4月20日付報告「発電設備の総点検に関する評価と今後の対応について」において、過去のデータ改ざん等の内容と再発防止対策とを総括した。

この総括は、「事実を隠さずに出すように」との方針を貫き、事業者の姿勢を正す極めて大きな効果をあげた。顕著なプラスの効果である。

その反面、保安院報告は、行政庁の権威のもとに事業者の法令違反を列挙したから、国民は、これほどひどいのか、と事業者に対する信頼を下げた。原子力発電(原発)の事業者が信頼を失うことは、わが国の原発に対する国民の信頼を失うことにはほかならない。行政庁は国民の信頼を高めたい本心なのに、結果は逆になった。

## 3. 信頼を大きく損ねるメカニズム

行政庁が、行政指導・行政処分をし、公表することは、



第1図 行政庁と事業者の関係

法律に基づいている。法律上、行政庁が事業者を相手に行う指導・処分である。ところが現代、それが公表され、マスメディアを通じて国民に伝わるうちに増幅され、事業者に対する「国民の信頼を大きく損ねる」結果になる(第1図)。法律が予定しない社会現象である。

しかし、社会におけるマスメディアによる増幅は、非難されることではなく、現代の社会では必然だから、そのことを前提に、法令を運用し、情報のインプットに気を遣わなくてはならない。今後のために、この観点から検討しよう。

## 4. データ改ざん等の構成

新聞で大きく報道され、保安院の報告にも出ている、温排水データ改ざんがある。東京電力福島第一原発4号機では、福島県に毎年提出している報告書に、1984(昭和59)年~97(平成9)年、冷却用海水の取水、放水の温度差が管理目標値(8.4℃)に収まるようにしていた。4号機では設備上の特性から温度差が目標値を上回る状態が頻発し、国からも指摘を受けていたが、担当副長が検査官の指摘に対応するのが面倒などの理由で改ざんを指示していた。この改ざんは安全への影響はないが、保安院は、「原子炉等規制法、電気事業法以外の法令等に抵触したもので、コンプライアンスの観点からは問題があった」と評価した。

そこで、こう考えてみる。福島県へ提出された報告書に、管理目標値を1℃上回るデータが記載されたとしよう。1℃上回るのは違法状態だから、福島県の係員は何か措置をしなければならないが、どうしようか、戸惑うだろう。福島県の係員は困るし、事業者の係員も困る。そういう状況が改ざんを生むのではなからうか。

このような場合、目標値から外れたときの管理基準を具体的に詳しく定めていれば、どうだろう。データ改ざんや法令抵触は起きにくくなるはずだ。

もう一つ、1984(昭和59)年から10数年にわたり「目標値を上回る状態が頻発」していた。もし、その間に、国・

福島県・事業者の3者が協議し、「管理目標値(8.4℃)」を再検討し改定していれば、このデータ改ざんや法令抵触は起きなかった。

この例から、法令上の管理基準の定め方が現場での管理に適するようになっていないと、違反を生じさせる、ということがわかる。

法令の不備が顕在化した例として、2000年7月に露見した炉心シュラウドひび割れ隠し問題がある。検査の基準として、長年稼働しても「新品と同レベルに維持する必要がある」とする非現実的な観念があるのみで、明確な報告基準があるわけではなく、個別の判断は事業者にゆだねられていた。

管理基準の合理化はすでに進行しているだろうが、保安院報告で法令違反とされたことには、過渡期の法令の不備によるものがあって、もし、そのことが知らされれば、国民の印象は違ったに相違ない。事業者に対する信頼の低下の程度も、その分だけ少なかっただろう。

## 5. コンプライアンスの双方向性

民主国では、行政が国民に対し権力を行使しようとするときは、立法機関によってつくられた法に従うことが必要である。法は、支配される側のみならず、支配者をも拘束する(法の両面拘束性)<sup>2)</sup>。

保安院は、事業者側のコンプライアンスに目を向けた。しかし、コンプライアンスの義務は、規制される側だけでなく、規制する側の行政庁にもあるという、双方向の義務である。

法令の不備は当然、行政庁の関心事である。2007年の原子力総合シンポジウムで、近藤駿介原子力委員会委員長が、「規制法体系の全面改定のための検討」を取り上げ、「原子炉構造物の欠陥評価の考え方を法令に取り入れるのが遅れたことが現場に負担をかけたことなど、法令制度をいつも科学的合理的なものとしていくことの重要性の認識や、不合理な制度の改善の遅延は、不正の温床を用意するとの反省」を述べたところである。

## 6. 法の不備の是正に向けての手続き

法令に不備があるとなったら、対策をとることになる。その手続きについて考えてみる。

わが国では、第2次大戦後、民主国になったとはいえ、行政は国家権力の行使の面が強いという古い体質は容易に改められなかった。ようやく1994(平成6)年施行の行政手続法によって、法律による行政が実体化されることになった<sup>3)</sup>。「行政庁は、審査基準を定めるものとする」(同法5条1項)。審査基準を定めるに当たっては、「許認可等の性質に照らしてできる限り具体的なものとしなければならない」(同条2項)、などとある。

行政手続法の2005(平成17)年改正で、行政庁が命令等を定める場合の意見公募手続(パブリック・コメント)が新設された。行政の意思決定過程における公正の確保と透明性の向上を図るものである。そこで思うのだが、この目的には、すべての場合に、パブリック・コメントだけで十分だろうか。

## 7. 行政庁と事業者の関係

行政庁と事業者の間には、2種類の法律関係があるとみられる。一方は、行政庁が公権力を行使し優越的な立場から事業者に命令強制するもので(優越関係)、行政処分はこれである。他方は、行政庁が事業者と対等の立場で行政作用を行うもので(対等関係)、通常の行政行為には、これに入るものがある。

要は、優越の立場での行政ばかりでなく、事業者と対等の立場での行政が有用である場合がある。法令に基づき管理基準の適正を図るといったことは、パブリック・コメントの手法はなじみにくい。むしろ、規制の当事者である国・地方自治体・事業者の3者が、対等の立場で協議することによって実現できることである。規制の対象となる現場のことは、事業者側の技術者が一番よく知っている。その知識や意見が素直に吐露され、相互チェックによって管理基準が決められれば、3者いずれにも使いやすい規範になり、順守されることになる。管理基準と3者間の協議の内容とが知らされれば、マスメディアも国民も、なるほど、そうか、と納得するだろう。と、筆者は考えるのである。

## 8. 倫理の出番はどこか

不正・不祥事が起き、倫理の目で観察を進めると、倫理では解けない問題にぶつかる。よく見れば、それは法の問題だとわかる。法令の不備をそのままにして、モラルや倫理に依存するわけにはいかない。

倫理というと、倫理規程などの規範も大切だが、もっと大切なのは、規範が順守される環境条件を整えることだ。倫理が有効に機能しないなら、阻害要因を見つけ出さなくてはならない。倫理は、単に不正・不祥事を防ぐ“道具”に終始するものではなく、そういう研究の側面があることをご理解くださるとよい。

(2008年 7月4日記)

### —参考文献—

- 1) 田中俊一原子力委員会委員長代理，“原子力への期待に応えるために”，原子力総合シンポジウム2008，(2008)。
- 2) 今村成和(畠山武道補訂)，行政法入門(第8版補訂版)，有斐閣，p.3，8(2007)。
- 3) 団藤重光，法学の基礎，有斐閣，p.108(1996)。



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

## 定期検査の間隔が最長24ヶ月に一年内にも新検査制度施行へ

原子力発電所の定期検査のあり方などを検討している総合資源エネルギー調査会の「検査の在り方に関する検討会」(委員長=班目春樹・東大院教授)は、6月24日の会合で、原子力安全・保安院の新検査制度に関する省令案を審議し、了承した。また保安院は同案に対するパブリックコメントの募集を7月25日に終了。新検査制度は早ければ8月中に公布、年内にも施行される見通しとなった。これにより制度上は、2サイクル目から18ヶ月、5年後から24ヶ月の連続運転が可能になる。

同案は発電用と研究開発段階の原子炉の設置・運転に関する規則および電気事業法施行規則の一部を改正するもの。主な改正は、保全活動の充実、定期検査時期の適正化、高経年化対策の強化など。

事業者は頻繁に見直すことのない基本事項(保安規定に該当)、点検周期ごとに見直す点検計画や補修・取替計画などの具体的活動の計画(保全計画)により構成する「保全プログラム」を策定。国は基本事項を保安規定と同様の方法で審査するとともに、「保全計画」も妥当性を審査・確認する。

定期検査間隔は、新制度導入時にはすべて13ヶ月以内でスタートし、導入後の2サイクル目から18ヶ月以内の申請が可能になる。24ヶ月以内は点検時のデータ蓄積や経年劣化の管理、状態監視の導入見通しなどから、保安院では新制度下で3サイクル程度の運転が必要と判断。5年経過後に運用を開始することとした。

◇ ◇

また日本原子力産業協会は7月18日、原子力安全・保安院の「保全プログラムを基礎とする検査制度の導入」に関する規制制度改正について、パブリックコメントを提出した。組織名でパブコメを提出したのは、昨年6月の「原子炉設置、運転等に関する規制の改正」での安全管理検査などのあり方について以来2回目。

意見内容は全体的に改訂の方向性を指示したもので、提出したパブコメは以下の通り。

日本原子力産業協会は「原子力発電の健全な推進基盤構築のための提言」(平成19年5月28日)で示したとおり、原子力発電所の安全・品質レベルの向上は、事業者による自主管理の徹底と、国の科学的・合理的な規制によって達成されるものであり、国による規制は、事業者の努力と創意工夫を促し、事業者による自主管理を徹底し充実する観点から行われるべきであると考えている。

今般、原子力安全・保安院から示された新しい検査制度(保全プログラムを基礎とする検査制度)の導入に係る規制制度の改正案については、

- 新しい検査制度を導入することによって、事業者の自主管理の充実のもと保全の高度化が行われるものであって、安全性の向上につながるものであること
- 改善が続けられている事業者の自主管理と国の規制制度が共に、目標とする世界標準に向かっているものであること
- 合理的規制制度の下で、原子力発電所が効率的に運用されることにより、地球温暖化ガスの排出削減につながるものであること

から、規制制度に適切な改善が加えられているものであり、原子力産業界として歓迎すべきものと考えている。

国および事業者には今後とも、科学的・合理的な規制となるよう規制制度の高度化に取り組むとともに、制度の実運用にあたっては、これまで実施してきた保全活動をベースとして事業者の自主的な努力、創意工夫をさらに促し、安全・品質レベルを向上させるよう、適切な緊張関係を保ちつつ信頼関係を維持、発展させていくことを期待する。

(資料提供：日本原子力産業協会)



## 短寿命放射性同位元素のビーム加速に成功 —超新星爆発時の元素合成の解明研究

高エネルギー加速器研究機構(高エネ機構)と日本原子力研究開発機構(原子力機構)は、短寿命核加速実験装置を用いて、自然界には存在しない質量数123のインジウム(半減期6秒)と質量数143のバリウム(半減期14秒)放射性同位元素のビーム加速に世界で初めて成功した。

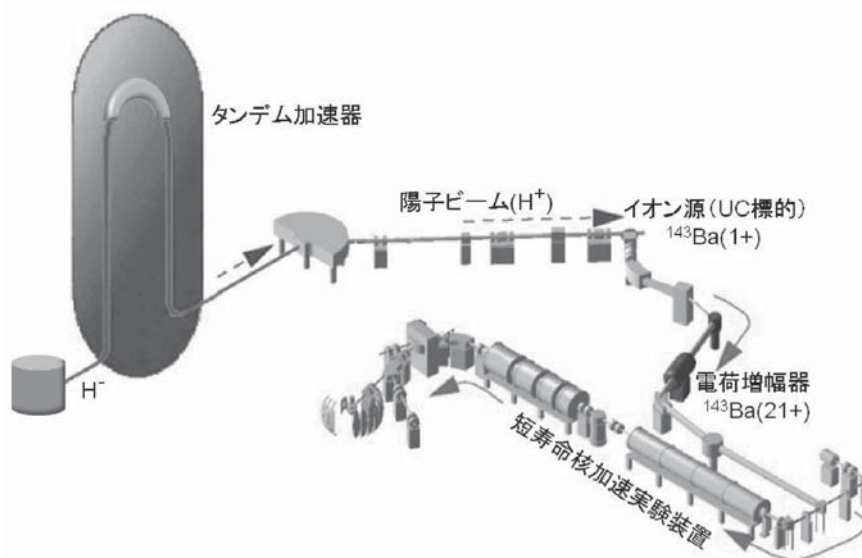
インジウムやバリウムの短寿命核は、ウランにタンデム加速器(茨城県東海村)の陽子ビームを当てることにより生成する。これらを加速するには、1価のイオンとして取り出して分離し、さらに20価程度の高価イオンに変換する必要がある。原子力機構は、短寿命核をウランの中で高速に拡散・蒸発させ、瞬時に1価のイオンを生成するためのイオン源を開発した。高エネ機構は、1価のイオンをプラズ

マ中に静止させ、プラズマ中の高速電子で多価イオンを生成する電荷増幅器を開発した。これらの高度な開発により、毎秒約1万個の強度をもつビーム加速を実現し、実験に使用することを可能とした。

鉄よりも重い元素は、超新星爆発時の中性子密度の極めて高いところで生成されたと考えられている。このような環境下では、中性子が短寿命核に吸収される。今回成功したインジウムやバリウムの短寿命核ビームを用いることにより、短寿命核と中性子との核反応を模擬することが可能となり、元素合成を解明するための研究の展開が期待される。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08061801/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構)



Tandem-TRIAC 概要図

## 重粒子線は、がん遺伝子 Bcl-2に打ち克つことを発見 —Bcl-2高発現タイプのがんに重粒子線治療が有効

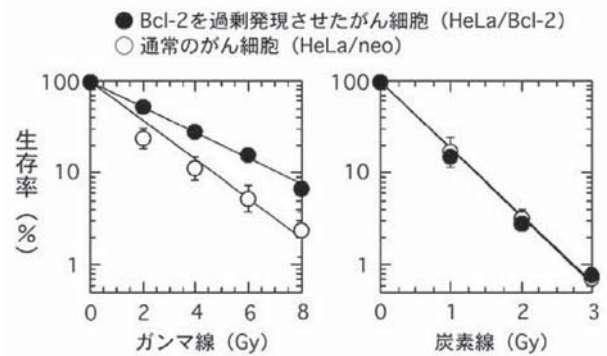
群馬大学と日本原子力研究開発機構は、がん遺伝子 Bcl-2が働いて  $\gamma$  線や X 線に抵抗性を示すがん細胞に対して、炭素イオンなどの重イオンビーム(重粒子線)では高い致死効果があることを明らかにし

た。このことは、 $\gamma$  線や X 線などによる従来の放射線治療が効きにくいがん、重粒子線による治療が有効である可能性を示すものである。

がんの中には、 $\gamma$  線や X 線など従来の放射線治

療ではあまり治療効果のみられないタイプがある。その一つに、がん遺伝子 Bcl-2 の働きによってアポトーシス(細胞の自殺)が抑制され、がん細胞が死に難くなるタイプがあり、乳がんの約 8 割、大腸がんの半数以上、メラノーマ(悪性黒色腫)の 6 割以上、肺がんの約 3 割、膵臓がんの約 1/4 など、実際のがんの半数近くがこれにあたる。

これまでに、群馬大学と原子力機構は、原子力機構の高崎量子応用研究所のイオン照射研究施設(TIARA)を用いてがん細胞への重イオン照射効果の研究を進めてきた。今回、がん遺伝子 Bcl-2 を組み込んで人為的に過剰発現させた培養がん細胞に重イオンビームを照射したところ、抵抗性を示さないことを発見した。がん治療に抵抗性を示すがん遺伝子 Bcl-2 が活発に働くと、 $\gamma$  線や X 線では抵抗性を示すのに対して、「重粒子線」では、がん遺伝子 Bcl-2 の有無に関わらず、抵抗性は見受けられなかつ



培養がん細胞への $^{60}\text{Co}$ ガンマ線(LET=0.2keV/ $\mu\text{m}$ )と18.3MeV/u炭素線(LET=108keV/ $\mu\text{m}$ )照射効果

た。この結果は、がん遺伝子 Bcl-2 の働きによって従来の放射線治療が困難ながんであっても、重粒子線治療が有効である可能性を世界で初めて示した。

(参考: <http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08061601/index.html>)

(資料提供: 日本原子力研究開発機構)

## 原子力機構、国際協カリエゾンオフィスを開設 —「もんじゅ」の性能試験等に参画する外国人研究者を支援

日本原子力研究開発機構は平成20年7月1日、福井県敦賀市にある原子力機構敦賀本部の国際原子力情報・研修センター内に国際協カリエゾンオフィスを開設した。

国際協カリエゾンオフィスは、職員が駐在し、「もんじゅ」の性能試験等に参画する外国人研究者に対して「もんじゅ」の近況に関する情報提供や通訳作業を含む研究支援等を行う。また、外国人研究者を受入れる担当部署との調整作業なども行い、より効率的に研究者のサポートを行う。

福井県は、平成17年3月に「エネルギー研究開発拠点化計画」を策定している。これを着実かつ円滑に推進するため、平成19年11月に開催した「エネルギー研究開発拠点化推進会議」において、平成20年度を中心とした各関係機関の施策を盛り込んだものとして「エネルギー研究開発拠点化計画 推進方針〈平成20年度〉」の取りまとめを行った。原子力機構は、この計画の推進方針に沿って、積極的な取り組みを行っている。今後は、フランス原子力庁、米国の

国立研究所等の欧米の研究者にとどまらず、アジア各国の研究者の受入れを促進し、「もんじゅ」および「ふげん」を国際原子力研究開発の中核拠点にすることを原子力機構は目指している。

(参考: [http://www.jaea.go.jp/04/turuga/jturuga/press/2008/07/p080701\\_2.pdf](http://www.jaea.go.jp/04/turuga/jturuga/press/2008/07/p080701_2.pdf))

(資料提供: 日本原子力研究開発機構)





## 第58回原産協会通常総会を開催，副会長に佃 和夫・三菱重工業会長を新任

日本原子力産業協会は6月20日，日本工業倶楽部で第58回通常総会を開催した。総会では，役員の内任期満了に伴い，新役員が選任された。今井 敬会長，服部拓也理事長の再任および，秋元勇巳副会長の退任と，後任に佃 和夫三菱重工業会長の就任が承認された。また，石塚昶雄，八束 浩・両常勤理事ほか10理事，2 監事が再任，5 理事が新任された。

総会の冒頭，今井 敬会長は「世界の原子力ネットワークを現実のものとするため，原子力先進国であるわが国としては，官民一体となり，安全性の確保および核不拡散に配慮しつつ，原子力平和利用の発展に貢献していくことが大切だ」と述べ，さらには「世界最高水準の原子力製造技術をもつ日本のメー



カーが，持てる力を十分に発揮していくことが重要」と指摘した。

(資料提供：日本原子力産業協会)

## 原産協会提供の動画番組のご案内

原産協会では，今年1月から原子力関係の情報を毎月，動画配信(インターネット・テレビ)「Jaif Tv」として，原産協会ホームページ(<http://www.jaif.or.jp/>)から，無料でお届けしている。

6～8月の番組(予定も含む)は以下の通り。

・原子力関連ニュースと特集「HLW 地層処分少

人数対話集会の概要」(6/16公開)

・特集「柏崎刈羽原子力発電所—新潟県中越沖地震から1年」(7/15公開)

・特集「ロシアの原子力事情事情」(仮題，8/14公開予定)

(資料提供：日本原子力産業協会)

## 海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

[米国]

### エネルギー省，ユッカマウンテン処分場で NRC に建設認可申請

米エネルギー省(DOE)は6月3日，ネバダ州ユッカマウンテンに原子力発電所からの使用済み燃料を主とする高レベル放射性廃棄物の処分場を建設する認可申請書を原子力規制委員会(NRC)に提出した。DOE が1983年に電力会社と結んだ契約では，98年1月31日までの操業開始が予定されていたが，建設計画に対する議会と大統領の承認が得られたのは2002年のこと。当初計画から20余年を経て，ようやく新たな段階に踏み出すとともに，バックエンド対

策が前進することで，米国内における新規原子炉の建設にも一層大きな弾みがつくものと期待される。

8,600ページに及ぶ申請書には，ラスベガスの北西約90マイル，モハベ砂漠中に位置するユッカマウンテンの深地層にトンネルを掘削し，使用済み燃料と高レベル放射性廃棄物(HLW)を安全に隔離するための計画が記載されている。米国初の永久処分場となる同施設の建設にNRCの認可が得られれば，国内の39州・121箇所に暫定貯蔵されている6万5,000トンともいわれる廃棄物の処分が可能になる。DOEは今回の申請書の添付資料として，最終環境影響声明書(EIS)と200編の補助資料を提出しており，NRCは直ちにこれらの文書の受領審査を開始する。正式な審査については，放射性廃棄物政策法とNRCの規制条項に則り，約3年間を要する予定だ。

DOE の S・ポドマン長官は、「今回の申請は、エネルギー供給保証や地球環境問題の解決、そして国家安全保障に非常に重要な役割を果たす原子力発電の拡大を一層促すことになるだろう」と明言。「科学者や技術者達の20年以上にわたる科学研究とエンジニアリングの集大成であり、当省にとっても大きなマイル・ストーンといえる」との見解を示した。

また、NRC の厳正な審査により、「ユッカマウンテンが使用済み燃料と HLW の安全な処分場であり、将来にわたって人々の健康と環境を守ると確認されるだろう」と述べ、安全性に自信をのぞかせた。

## WH とサウスカロライナ電力、 AP 1000建設で正式契約

東芝のグループ企業であるウェスチングハウス (WH) 社は 5 月 27 日、米国のショー・グループとともに、米国スクナ電力の子会社であるサウスカロライナ・エレクトリック&ガス (SCE&G) 社およびサウスカロライナ州所有の電力会社であるサンティ・クーパー社と、新規原子炉の建設に関する契約を正式に締結したと発表した。

これは SCE&G がサウスカロライナ州ジェンキンスビルで運営する V・C・サマー原子力発電所に、2、3号機として110万 kW 級 AP1000を2基および「エンジニアリングと原子炉周辺設備の調達および建設工事等 (EPC)」を提供するというもので、建設プロジェクト全体に関する一括契約となっている。今後 WH 社らはこの契約に従い、2号機の運転開始を2016年、3号機は2019年を目指して作業を進めていく。

SCE&G とサンティ・クーパー社は今年 3 月、V・C・サマー発電所サイトを対象とした建設・運転一体認可 (COL) を原子力規制委員会 (NRC) に申請しており、2011年に認可が下りれば、州の公益事業委員会等の承認をもって着工にこぎつけるとの見通しを示している。

今回の契約について WH 社の S・トリッチ社長兼 CEO は、「(今年 4 月にジョージア・パワー社と A・W・ボーグル発電所の増設で締結した EPC に続いて) 当社がこの 6 週間に締結した 2 度目の EPC 契約になった」と指摘。「原子力発電がコスト競争力のある、クリーンかつ安全なベースロード電源として

完全に受け入れられている証拠だ」との認識を示した。

同社長はまた、「WH 社を選んだ SCE&G 社およびサンティ・クーパー社らとともに、世界の原子力ネットワークを牽引していきたい」との考えを表明した。

## デトロイト・エジソン社、フェルミ 増設に GE 日立の ESBWR を採用

米国の GE 日立ニュークリア・エナジー (GEH) 社は 6 月 16 日、米国ミシガン州最大の電力会社であるデトロイト・エジソン (DTE) 社がデトロイトの南 35 マイルに位置するエンリコ・フェルミ-2原子力発電所への 1 基増設用として、GEH が開発した第 3 世代+型の原子炉である ESBWR を採用したと発表した。

ESBWR は、新規建設に向けた新しい許認可の実証を目的とする米エネルギー省 (DOE) の補助金プログラムの支援対象炉。すでにドミニオン社のノースアナ発電所、エンタジー社のグランドガルフおよびリバーバンド発電所、エクセロン社がテキサス州で計画中的新規発電所サイトで採用が決まっており、DTE は米国内で ESBWR を採用する 4 番目の電力会社となった。これらを含め、GEH は現在、米国で新設が予定されているサイトにおいて、合計 6 基の ESBWR が採用される見込みであることを明らかにしている。

今後 GEH は DTE との合意に基づき、建設・運転一体許可 (COL) 申請に係わる技術支援を DTE に提供していくことになるが、DTE としては 9 月にも米原子力規制委員会 (NRC) に同炉の COL を申請する予定。152 万 kW の ESBWR を採用する計画となることはすでに NRC に連絡済みであるとしている。

今回の決定について GEH の J・フラー社長兼最高経営責任者はミシガン州がまとめた「21世紀のエネルギー計画」に触れ、「州の長期的なエネルギー需要を満たすために DTE が進めている計画で、ESBWR が選定されたことは喜ばしい」と強調。GEH としても、今回のプロジェクトにより、建設工事に 3,000 人の一時雇用、技術職・サポート職として 700 人の恒久雇用が創出されるほか、ミシガン州には年間 5

億ドルの経済波及効果が見込まれると予想していることを明らかにした。

一方、DTEのA・アーリー会長兼最高経営責任者は、「実際に発電所を建設するには、ミシガン州政府による規制が変更される必要がある」と指摘。2005年エネルギー政策法が定める連邦政府の財政支援を受けるために今年末までにCOLを申請しなければならないが、それによって必ずしも原子炉の建設が確約されるわけではない点を強調している。

### [ウクライナ]

## 欧州復興銀行、「石棺」修復で 1億3,500万ユーロ拠出

欧州復興開発銀行(EBRD)は5月19日、ウクライナのチェルノブイリ原子力発電所サイトを浄化するための国際協力に、2007年の収益の中から1億3,500万ユーロ(約2億1,200万米ドル)を拠出することになったと発表した。

チェルノブイリ・サイトの安全性向上に関してEBRDはすでに昨年9月、同行が管理する基金を使って2つの重要な契約が締結されたことを明らかにしていた。

一つは事故を起こした4号機の石棺上部を鋼製の構造物で覆う「新規安全封じ込め施設(NSC)」を建設するためのもので、もう片方は、1号～3号機の使用済み燃料を保管する「中間貯蔵施設2」の完成に関わるもの。

昨年6月にドイツで開催されたハイリゲンダム・サミットでは、G8各国がチェルノブイリ・サイトの更なる安全性向上のために努力していくことを再確認する一方、資金面での協力が進んでおらず、EBRDは今回の寄付金でチェルノブイリ関連の資金協力に新たな推進力を与える狙いがあったとしている。

NSCは敷地内で組み立てた後、レールを使って原子炉上部に滑らせることになるが、縦257m×横150m、高さは105mと、この種の構造物としては最も大型の部類に入るといえる。100年程度の耐久性を持たせるほか、最終的に解体した時のことを考慮してクレーンを装備することになっている。建設資金については、EBRDが原子力安全とデコミ関係で管理運営している6つの基金の一つ、「チェ

ルノブイリ・シェルター基金(CSF)」から賄う予定。使用済み燃料中間貯蔵施設の方は「原子力安全口座」から支出しているとEBRDでは説明している。

NSCの建設は現在、準備作業が進行中で、施設の基礎工事に欠かせない掘削等の作業についての契約を取り交わしているところ。

設計と技術的な詳細に関しては、NSCおよび使用済み燃料貯蔵施設の両方について作業が進んでいるとしており、最終設計は2009年の春にウクライナの規制当局に提出する計画であることを明らかにしている。

CSFには、原子力発電施設を持たない欧州の国を含めて、日本や米国など23カ国・1機関が出資している。

### [カザフスタン]

## 加カメコとカザフスタンが新会社 設立、カザフに転換工場建設へ

カナダの大手ウラン生産業者であるカメコ社は6月3日、カザフスタンの国有原子力企業であるカザトムプロム社と、ウラン転換の新しい有限責任事業組合となる「ウルバ転換LLP」を設立することになったと発表した。

これはカザトムプロム社がウスチ・カメノゴルスクで操業しているウルバ冶金工場敷地内に、年間生産能力1万2,000tUの六フッ化ウラン生産設備を建設するというもの。これは世界のUF<sub>6</sub>需要量の約17%に相当するという。

所有権はカザフ側51%、カメコ側が49%となっており、両者はすでに昨年、ウラン転換能力とウラン生産量の拡大を目的とする了解覚書(MOU)を締結済み。カメコ社はカナダのポート・ホープ転換工場(UF<sub>6</sub>生産能力1万2,400t/年)で培った技術を新たなウラン転換工場に提供することになっている。新会社の事務局長には、ウラン探鉱のJVであるアクバスタウJSCのA・ベルヤロフ事務局長が任命された。

今後、両者はMOUに基づいて協定を締結することになるが、予備評価結果に基づいて転換工場計画を評価するため、実行可能性評価の第1段階を開始することで合意に達している。作業資金は所有権の



比率に応じて両者が負担し、2009年中に作業を終える計画だ。

なお、両者はこのほか、カザフスタンのインカイ地区で試験採掘中のウラン鉱山の生産量を将来、年間1,040万ポンドまで拡大する計画であることを明らかにした。同ウラン鉱床では現在、カザトムプロム社が40%、カメコ社が60%の出資比率で運営するJVがフル・スケールの源位置リーチング採掘所と工場を建設したところ。2010年の年間生産量520万ポンドを目標に、今年中にも商業生産を開始したいとしている。

### [オーストラリア] ウラン協会が報告書ウラン輸出拡大で「140億豪ドルの利益」

オーストラリアのM・ファーガソン資源エネルギー相が5月16日に公表した報告書で、同国のウラン輸出拡大によりオーストラリアは2030年に約140億豪州ドルの利益を得ることが可能であるほか、世界全体では数10億トンの温室効果ガスを抑制できるとの経済分析結果が明らかになった。

「豪州ウラン産業の見通し—2030年までの経済効果を評価する」と題されたこの報告書は、同相の主導により豪州ウラン協会(AUA)が昨年開始した研究内容を取りまとめたもの。実際の作業はデロイト経済分析チームの専門家が既存の経済分析モデルとAUAのデータを活用して行った。

この研究ではまず、2050年までに大気中のCO<sub>2</sub>濃度を550ppmで安定化させるという気候変動に対する穏健な行動シナリオと、CO<sub>2</sub>排出量を多くの科学者が推奨しているように60%削減して450ppmにするという意欲的な行動シナリオを設定。これらにオーストラリア国内のウラン政策について2種類のシナリオ(①採掘を既存の3鉱山に限定、②新たな鉱山からも採掘を開始)を組み合わせるウラン輸出の経済効果を探っている。

穏健な行動シナリオでは、2030年までの世界の原子力設備容量が現在の372GWから960GWに拡大すると設定しているが、これは1トン当たりの炭素価格を50米ドルとした「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」第4次評価報告書の想定に沿ったもの。

意欲的な行動シナリオの方は2030年までの原子力

設備導入レベルを1,634GWとしており、2050年までのCO<sub>2</sub>濃度を450ppmで安定化すれば、世界平均の気温上昇は約2℃に抑えることができるとしている。ただし、1トン当たりの炭素価格は少なくとも100米ドル必要となる。

穏健シナリオの方が実現する可能性は高いが、CO<sub>2</sub>濃度は現在の385ppmよりはるかに高い。どちらのシナリオにおいても、オーストラリアはそれぞれ世界のウラン需要の20%と30%を供給すると予想され、現在、各州政府がしている制約が解かれた場合の輸出量は2030年までに3万1,400トンと6万4,500トンに達する見込みだ。

AUAは、これらの輸出によりオーストラリアにもたらされる経済的な効果と温室効果ガスの排出抑制によって世界が浴する恩恵は数字で表すことができると指摘。「さらに保守的なシナリオにおいてさえ、オーストラリアのウラン産業が潜在的な可能性一杯に拡大すれば、オーストラリアのGDPは2030年までに現在の金額で142億~174億豪州ドルに増えることが明らかになった」と強調している。

AUAはまた、「これらのシナリオの下では、オーストラリアのウラン輸出拡大によって、世界規模で抑制される温室効果ガスの排出量は2030年までに約110億~150億トンと見積もられる」と予測。仮に、気候変動に対して一層本格的なアクションが取られた場合、オーストラリアのウラン産業はオーストラリアの経済拡大に一層大きな役割を果たすことになるとの認識を示した。

### [中国] 中国とロシア、遠心分離法濃縮で 協力協定を締結

ロシアの国営原子力総合企業であるロスアトム社は5月25日、ロシアと中国が遠心分離法ウラン濃縮に関する協力協定を結んだと発表した。

これは両国の原子力平和利用分野における経済協力の一環として、ロスアトム社の傘下で燃料サービス事業を扱っているTENEX社と中国原子能工業公司(CNEIC)との間で結ばれたもの。主要なポイントは、(1)中国における遠心分離法ウラン濃縮工場の新規ユニット建設に対する技術協力、(2)ロシアから中国への濃縮ウラン供給—などに関する契約の基本

項目であるとしている。

この協定の枠組みとなる協力協定についてはすでに昨年11月、両国の首脳がモスクワで調印しており、TENEX社は中国で4基目となる遠心分離濃縮工場(年間容量500tSWU)の建設に協力するとともに、2010年から11年間にわたってCNEICに低濃縮ウランを供給する、などが明記されていた。

今回の協定締結に先立つ5月23日にはロシアのD・メドヴェージェフ大統領が就任後初めて中国を訪問し、胡錦濤国家主席と両国間の経済協力分野について会談。同大統領にはロスアトム社のS・キリエンコ総裁やS・シュマトコ・エネルギー大臣らが随行していたことから、原子力の平和利用分野は特に重要との点で見解が一致したものと見られている。

### [台湾]

## 馬政権、原子力委員長に蔡教授任命

台湾で8年ぶりに政権を奪取した国民党の馬英九総統は5月20日、原子力委員会委員長(大臣)に台湾の清華大学の蔡春鴻・抜群教授(58歳)を任命したと発表した。副委員長には台湾核能研究所(INER)の謝得士副所長が任命された。

蔡委員長は30年以上にわたって原子力工学と原子力材料分野における研究者および教育者として活躍。米カリフォルニア大学バークレー校で博士号取得後、1982年に出身校である台湾の清華大学の助教授に就任した。その後、同大で教授、原子力工学プログラムや原子力科学部の部長などを務め、「抜群教授」の称号を付与されていた。

これまでに300編以上の技術論文を公表しているほか、プラズマ技術やナノ物質関係では10件の特許を取得。台湾原子力委員会でも、原子力施設や放射性廃棄物の安全性に関する専門部会の委員および議長などを務めた実績がある。

謝副委員長は米テネシー大で原子力工学の博士号を取得。1975年から台湾 INER で原子力の民生利用に係わる研究開発を行っており、所内では運転保守センターの部長や原子力計測部長、諮問委員会議長などを務めていた。

5月26日にメディアと初会見した蔡委員長は、「原子力安全規制の権威として、原子力委員会は一般公衆が原子力エネルギーと放射線源を利用する際の安

全や幸福を保证する責任を負っている」と明言。一般公衆は原子力委が国民の側にいることを知ってほしいと述べた。また、将来の規制改革に備えて「原子力業界に若い技術者をひきつけていくこと、質の高い最先端の訓練を従業員に提供していくことが重要だ」と強調した。

### [国際]

## NEA と IAEA が『レッド・ブック』刊行—発電炉用ウラン資源は「100年間は十分」

経済協力開発機構・原子力機関(OECD/NEA)と国際原子力機関(IAEA)は5月26日、『ウラニウム2007, 資源, 生産および需要(通称=レッド・ブック)』を公表し、「世界の原子力発電所における現在のウラン燃料消費率で見ると、少なくともあと100年間は十分なウラン資源が確保される」との見解を明らかにした。

レッド・ブックはNEAとIAEAが共同で2年に1度、取りまとめている世界のウラン資源需給に関する報告書。2007年版では、40カ国からの公式情報に基づいてウランの資源量や探査状況、生産量および需要量のほかに、2030年までの予測所要量などを掲載している。

報告書はまず、世界の既存ウラン鉱山で130米ドル/kg以下で採掘可能な確認資源の量を2005年版の470万トンより80万トン多い550万トンと評価。既存鉱床の地質的な延長上に存在が推定される未発見資源量についても、05年版から50万トン上方修正して1,050万トンと見積もった。これは近年のウラン価格高騰の影響を受けて、既存鉱床の再評価や新たな鉱床発見によるものだと説明している。

報告書はまた、2006年時点の原子力発電規模や技術レベルに基づいて計算すると、今後100年間は十分な確認資源量が存在するとしている。しかし、世界全体のウラン資源量が流動的で市場価格に左右される点も指摘。ウラン産業界が近年の価格上昇に反応して、新たなウラン鉱探査に多大な資金を投入していることに触れ、これらの06年の総額は世界全体で7億7,400万米ドルに上るとの計算結果を示した。これは04年実績の250%以上に相当しているが、07年はこの実績をさらに上回るようになるとの

予想を示している。

報告書は次に、世界のウラン生産量について2006年末実績で3万9,603トンだったことを明らかにしており、これは世界で稼動している原子炉435基による総所要量(6万6,500トン)の約6割に相当すると指摘。不足分は約1万2,000兆の核弾頭解体や減損ウランの再濃縮といった2次供給源で賄われたと説明した。しかし、これらの多くは現在、在庫量が減少しつつあり、不足分を補うには今後、新たな生産が必要との見方を示している。そして、新たな鉱床で採掘可能になるまでの典型的なリードタイムの長さを考えると、生産設備がタイムリーに整備されなかった場合、不足量は増加していく可能性があるとも警告している。

世界の原子力発電設備容量について報告書は2007年現在の372GWから2030年までに509~663GWに増加すると見積もっており、これらに対して必要となるウラン資源量は、既存原子炉の炉型等から判断して年間9万4,000~12万2,000トンになると計算。この拡大分は現在の確認資源量で十分賄うことができると強調するとともに、新型炉やサイクル技術の開発により、原子力を千年単位の長期間で利用していくことも可能だとの見方を示した。

## 加カメコ社がレーザー濃縮に参加 —GE 日立のサイレックス法ウラン濃縮で

米国のGE日立ニュークリア・エナジー(GEH)社は6月20日、世界でも最大手のウラン生産業者であるカナダのカメコ社がGEと日立が共同で推進しているレーザー・ウラン濃縮事業に資本参加したと発

表した。

この事業体はGEHの子会社である「GE日立グローバル・レーザー・エンリッチメント(GLE)」社で、レーザー技術を使った濃縮プロセスを原子力発電所の濃縮ウラン用に商業化することを目指している。カメコ社としては米国法人であるカメコ・エンリッチメント・ホールディングスLLCがこのGLEに24%出資。これに伴い、GEが間接所有するGLEの株式比率は51%、日立製作所は25%ということになった。

今回の取り決めにより、GLEとカメコ社は顧客がウラン供給と濃縮サービスの一体供給を希望する場合は、相互補完的なお互いのサービスを一本化して販売することも可能だと強調。カメコ社は核燃料サイクルのフロント・エンド事業の強化を図る一方、GEHも、「顧客のニーズに合わせて供給の幅を広げることができる」と指摘した。

GLEは2006年にオーストラリアのサイレックス・システムズ社と結んだ契約により、サイレックス社が独自に開発したウラン濃縮技術の開発、商用化および運用を全世界で独占的に実施する権利を取得。現在、米ノースカロライナ州ウィルミントンのGEH本社で、この技術の商用化を実証するテストループ施設を建設している。同施設の運用は今年末までに開始する見通しで、2009年初頭にも3,500~6,000tSWU(作業分離単位)の商用施設建設に関する最終判断を下す計画。商用施設は2012年からの運転開始を念頭に置いており、GLEはすでに許認可取得の準備を進めていることを明らかにしている。

なおGEHは今年4月、GLEの本格的な濃縮施設がGEH本社敷地内に建設される予定であることを米原子力規制委員会に連絡済みである。



## 我が国の最先端原子力研究開発

## シリーズ解説 第3回

## FBR サイクルの実用化を目指して(Ⅰ)

## 持続的な社会を支える技術の研究開発を推進

日本原子力研究開発機構 長沖吉弘, 名倉文則,  
阪口友祥, 川崎弘嗣, 菊地 晋

高速増殖炉(FBR)サイクルは、限りあるウラン資源を有効利用し地球環境保全にも適合し、持続的な社会を支える枢要技術である。国内外のFBRサイクル研究開発は、いよいよFBRサイクルの具体化・実用化を目指した新たなフェーズに入り、日本原子力研究開発機構ではFaCTプロジェクトを開始した。FaCTプロジェクトでは、国際標準を目指した開発目標を設定し、世界との競争・協調のもと、最先端に立ったFBRサイクルの研究開発を進めている。

## I. FBR サイクルの原理と研究開発の意義

原子炉は、核分裂反応を制御しエネルギーを取り出す装置であり、燃料重量あたりに発生するエネルギーは化学的な燃焼反応の約100万倍に相当する。このため、軽水炉と呼ばれる原子炉が実用化され、現在、基幹電源として我々の生活を支えている。軽水炉では濃縮ウラン( $^{235}\text{U}$ の割合を3~5%程度に濃縮したもの)の酸化物を燃料とし、通常の水(軽水)を用いて中性子を減速して核分裂反応を起こしやすくするとともに、同じ水により発生したエネルギーを取り出す。さらに、現在では軽水炉のプルスール利用、すなわち濃縮ウランを燃料に用いず、使用済燃料の再処理により回収したプルトニウムと劣化ウラン等の混合酸化物燃料を軽水炉に用い、資源の有効利用を図る軽水炉サイクルの開発が進められている。しかしながら、50年、100年といった長期的視点ではエネルギー資源の枯渇という問題は依然として残る。

FBRは、原子炉の種類のひとつであるが、軽水炉と異なり、核分裂反応と同時に発生する高速の中性子を減速せずに利用する。高速の中性子でプルトニウムを核分裂させた場合、核分裂と同時に発生する中性子の数は軽水炉の場合よりも多く、さらに減速というプロセスを踏まないぶん、利用可能な中性子が多く存在することにな

る。これを活かせば、核分裂のエネルギーを取り出しながら、核分裂に寄与しない余剰な中性子を利用してほとんど核分裂しない $^{238}\text{U}$ をプルトニウムに変換し、核燃料を増殖することが可能となる(第1図)。さらに、使用済燃料を何度リサイクルしても、プルトニウムの組成劣化の程度は小さい。FBRサイクルを構築し、多重リサイクルすることで、軽水炉からFBRへの移行に必要なプルトニウムを確保しつつ、ほとんど核分裂しない $^{238}\text{U}$ の持つ潜在的なエネルギーを最大限利用することができ、エネルギー資源の利用効率を飛躍的に高めることができる。

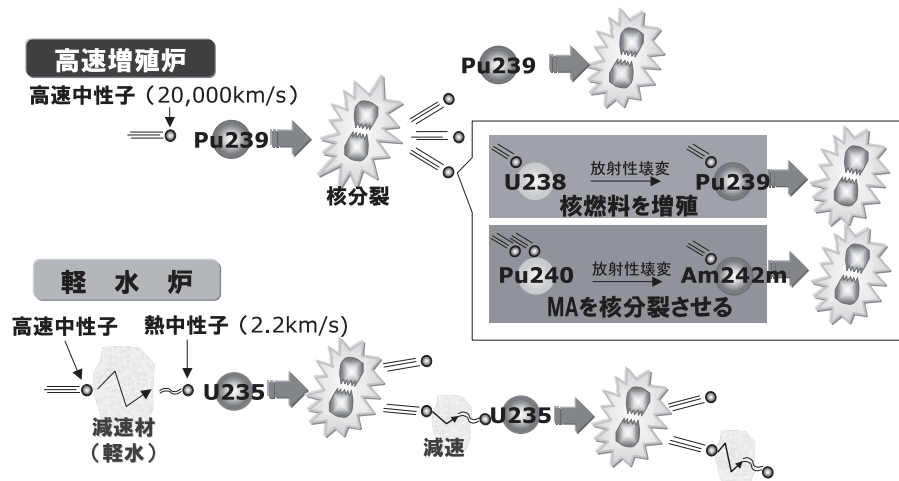
また、FBRは、燃料中に蓄積する核分裂生成物(FP)等の核分裂反応への影響が小さい。このため、FPがある程度蓄積しても長期間の燃焼が可能となり燃料重量あたりに取り出せるエネルギーを多くすることができる。

FBRサイクルによって、資源の利用効率は60%程度、リサイクル時のロス低減を図れば、さらにこれを高めることが可能であり、1000年規模の準国産エネルギー源になりえる。

加えて、現状では高レベル放射性廃棄物としてFPとともにガラス固化処理して地層処分されることとなる、マイナーアクチニド(MA)も核分裂させることができる。FBRサイクル内でMAをリサイクルし、高レベル放射性廃棄物としてMAを処分しないことにより、ガラス固化体内に内包可能なFP量を増大させ、固化体の発生量を低減し、地層処分後の潜在的な有害度を低減できる可能性がある。もちろん、原子力発電は、そのライフサイクルにおいて発生する温室効果ガスの量が極めて少

*Toward Commercialization of FBR Cycle (I)*: Yoshihiro NAGAOKI, Fuminori NAGURA, Tomoyoshi SAKAGUCHI, Hirotsugu KAWASAKI, Shin KIKUCHI.

(2008年 7月7日 受理)



第1図 高速増殖炉における核反応の原理(軽水炉との比較)

ない。地層処分に対する社会的コンセンサスの醸成、基幹電源としての原子力発電の今後の発展を考慮するならば、FBR サイクルは、有意な特長を持った技術といえる。

FBR サイクルは、これらの特長から、エネルギーの安定供給、地球環境との調和の取れた発展への貢献が期待され、「環境と経済の両立」等の政策目標の達成に資する技術とされている。これを踏まえ、国は2006年3月に定めた第3期科学技術基本計画において、FBR サイクル技術を国家基幹技術の一つに指定し、今後、わが国総力をあげて推進するとしている<sup>1)</sup>。

## II. 研究開発の経緯

FBR の持つ可能性は、プルトニウムが<sup>235</sup>U よりも容易に核分裂する事実が発見された頃より注目され、ウランを燃料とする原子炉の開発と並行して、FBR の研究開発が進められた<sup>2)</sup>。1940年代後半には、米国はクレメンタイン炉を用いてプルトニウムを燃料とした炉の諸特性を評価し、1950年代に入ると EBR-I によって、高速炉が工学的に成立すること、冷却材としてのナトリウムなどの液体金属が実用的であること、燃料の増殖が理論だけでなく実現可能であることを実証した。欧州でも1960年代に入ると英仏にて高速炉の開発が本格化し、1986年にはフランスの高速増殖実証炉 Super Phenix が発電を開始した。日本では、1964年に設置された動力炉開発懇談会での議論を踏まえ、自主開発により FBR を開発することとし、高速実験炉「常陽」が建設・運転され、高速増殖原型炉「もんじゅ」が建設された。一方、天然ウランを安価に安定して入手できるようになり、先行して実用化していた軽水炉のコスト低減も背景に、FBR 開発のインセンティブが低下した。さらに、1970年代後半の米国カーター政権による核不拡散政策強化によって、以降の欧米の FBR 開発は停滞に向かった。

このような国際情勢下にあっても、資源に乏しい島国である日本は、エネルギーセキュリティ確保の観点か

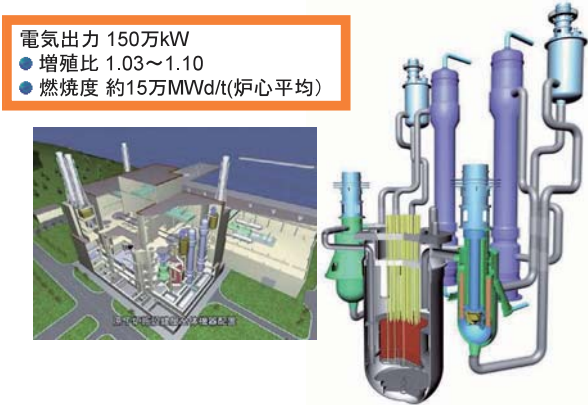
ら、FBR そして関連する燃料サイクルの技術開発を継続してきた。そのような中、1995年12月に発生した「もんじゅ」2次系ナトリウム漏えい事故を契機として、原子力委員会の高速増殖炉懇談会にて FBR 開発に係る幅広い議論が行われ、FBR サイクルの安全性や経済性等の様々な諸要件を改めて評価し、ユーザーそして社会のコンセンサスを得ながら、FBR サイクルの実用化の可能性を技術的、社会的に追求し研究開発を進めるべきとされた。

このため、1999年7月から、FBR サイクルの将来の基幹電源としての適切な実用化像とそこに至るための研究開発計画を改めて提示する目的で、原子力機構は電気事業者らとともにオールジャパン体制で「FBR サイクルの実用化戦略調査研究(FS)」を2006年3月まで実施した。その結果、酸化物燃料を用いた「ナトリウム冷却 FBR」、「先進湿式法再処理」、「簡素化ペレット法燃料製造」の組合せが、安全性、経済性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性、資源有効利用性のすべての開発目標への適合可能性が高く、技術的実現性の面でも有望であると評価し、総合的に最も優れた概念であるとした<sup>3)</sup>。

### 1. ナトリウム冷却 FBR(第2図)

経済性向上のため、ODS(酸化物分散強化型)銅や高クロム銅などの新材料を用い、ポンプ組込型中間熱交換器、冷却ループ数の削減(150万 kWe 級で2ループ構成)等の革新技術を採用するとともに機器の大出力化を図ることで、従来概念よりもプラント物量や建屋容積を大幅に低減可能なプラントシステム概念を構築した。また、単位燃料重量あたりに取り出せるエネルギーを多くすることで燃料費を低減し、連続運転期間の長期化による運転費低減とあわせ、発電コストの目標を達成できる可能性を見出すことができた。資源有効利用性や環境負荷低減性などについても、高いレベルで目標に適合する可能性がある。

国際的には、第4世代原子力システム国際フォーラム



|                         |   |
|-------------------------|---|
| 資源有効利用性                 | 増殖比 1.03~1.10<br>リプレイス最短期間 60年程度              |
| 環境負荷低減性                 | 低除染多重リサイクル可能<br>LWR使用済燃料からのMA受入れ可能(MA含有率5%まで) |
| 経済性<br>(建設費 ≤ 20万円/kWe) | 建設単価 90%程度                                    |

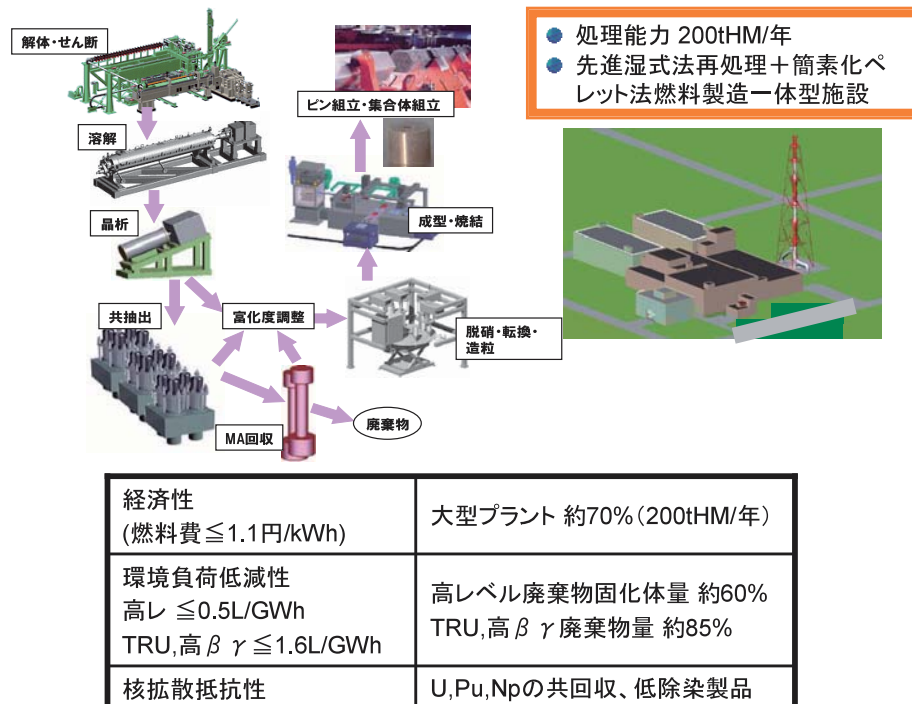
第2図 ナトリウム冷却FBRの概念

(GIF)でナトリウム冷却炉が候補炉型の一つに選定されており<sup>4)</sup>、国際標準の概念へ発展していく可能性があるうえ、その実現に向けた研究課題を国際的に分担することにより技術的実現性の向上が期待できる。

さらに、ナトリウム冷却炉は金属燃料を利用することで、燃料の増殖性能を高め、装荷に必要なプルトニウム量を低減した炉心設計が可能となる。これらのことから、FBRの導入が急がれる場合や原子力発電容量の増加など、将来のウラン供給が予想以上に逼迫した場合にも柔軟に対応できる能力が期待できる。

## 2. 先進湿式法再処理および簡素化ペレット法燃料製造(第3図)

前述のとおり、FBRではFP等の核分裂反応への影響が小さいため、再処理で高い除染(FPの除去の程度)が必要とならない。このため、再処理製品の精製設備を要しない。また、使用済燃料溶解液中のウランの約7割をあらかじめ粗取りする晶析技術の導入により、後工程の処理量を大幅に削減し、設備の合理化が可能となる。一方、従来の再処理技術にはないMA回収工程を付加することなど、経済性の面で一長一短がある、しかし、施設全体では従来再処理技術を採用した場合と比べ建設費が半減するなど、合理化に寄与する部分の効果が大きい。経済性についての目標に適合する可能性があり、資源有効利用性、環境負荷低減性および核拡散抵抗性に対しても同様である。先進湿式法再処理では、晶析技術やMA回収技術など革新技術が必要であるが、東海再処理施設や六ヶ所再処理工場における多くの湿式法共通の技術的知見を活用できることから、高い確度で技術的実現性を見通すことができる。また、湿式再処理概念を開発の中心としているフランス等との国際協力により技術的実現性の向上が期待できる。簡素化ペレット法燃料製造では、原料粉末の取扱い工程を大幅に合理化できる一方、MAやFPを含有する原料を取り扱うため、遮へい性能を有するホットセル内に機器・設備を設置し、遠隔で運転、保守・補修する必要がある。このため、従来の燃料製造技術にはない革新的な機器・設備の開発が必要になるが、基本的な工程操作は従来のペレット燃料製造技術と共通しているため、高い確度で実現性を見通すことができる。



第3図 燃料サイクル施設概念



わが国は、FBRサイクルが国家基幹技術であることを念頭にFSの成果を評価し、原子力機構が総合的に最も優れた概念を「主概念」、すなわち、現在の知見で実用施設として実現性が最も高い実用システム概念とし、今後は実用化に集中した技術開発を行い、FBRサイクルの研究開発を加速すべきとした。

世界に目を向けると、欧米のFBRサイクル研究開発は一たん停滞しており、連続性をもって研究開発を進めてきたわが国のFBRサイクル技術には一日の長があるといえる。

原子力機構は、FBRサイクルの実用化に向け、電気事業者等とともに、この主概念の研究開発を「FBRサイクル実用化研究開発」、通称FaCTプロジェクト(Fast Reactor Cycle Technology Development Project)として推進している。

### Ⅲ. 今後FBRサイクルが目指すもの

20世紀後半には科学技術の飛躍的進歩の恩恵により、先進国では物質的に豊かな生活を享受してきたが、一方では、資源の浪費や環境破壊などの問題が顕在化してきた。21世紀には、発展途上国を中心に大幅なエネルギー需要の伸びが予想され、エネルギーや環境問題が地球的な規模で深刻化することが懸念される。このため、「持続可能な発展」を目指す必要があるとの認識が国際的に共有されている。

わが国は、エネルギーの安定供給、地球環境との調和の取れた発展への貢献が期待できるエネルギー源の一つとして、FBRサイクルを国家基幹技術に選択した。また、安全確保を大前提とすることはもちろん、電力自由化などを背景に、事業として成立するための経済性を備えることが不可欠であり、さらに、平和利用を担保するための核不拡散性にも配慮することが必要である。

こうしたわが国の認識は、世界における最近の急速な高速炉の導入機運の高まりに先行するものであり、特に、かつて高速炉先進国といわれた米国、フランス等は同様の視点をもってFBR開発に係る積極的な政策を打ち出している。これらの国々と開発目標を共有し国際的に協力を進めていくことは、国際標準のFBRサイクル技術を構築する上で極めて重要である。

開発目標の共有にあたっては、具体的な技術や核燃料サイクルの絵姿として確認することが重要であり、国内においてFBRサイクル導入の具体的なシナリオが検討されている。今後は、廃棄物管理と核不拡散性への配慮を一層高めた国際的な競争力を有するFBRサイクル技術を早期に開発するとともに、軽水炉サイクルからの柔軟かつ合理的な移行を目指すことが重要であり、それは世界の持続可能な発展への貢献につながる。

FaCTプロジェクトでは、2015年までにその技術体系

の整備と具体的な実用化像の提示を果たすことを目標としている。このため、2010年までに、FBRサイクルシステムの主概念を中心として、プラントの概念設計を行うとともに、革新技術の開発を併せて進め、代替技術の取扱いを含むその採否判断を明らかにすることとしている。また、機器システムの設計仕様や取り扱い条件の見直しを通して、それらの最適化検討も行う。

FaCTプロジェクトにおいては、より高いレベルのグローバル性を目指し、GIFの枠組みで実施されている第4世代原子力システムの検討やIAEAのINPRO(革新的原子炉及び燃料サイクル国際プロジェクト)などの国際協力プログラムとの整合性を意識し、4つの視点に対する開発目標の指標、すなわち、「安全性及び信頼性」、「持続可能性」、「経済性」、「核不拡散性」を定め、それらを具現化した設計要求の下に研究開発を進めている。これらの開発目標の視点については、GIFにおける開発目標と対比してもほぼ整合しているものである(第1表)。

開発目標は、2050年頃の本格導入時におけるFBRサイクル技術仕様の目標理念を示すものであり、FSの研究成果および最近の社会環境や国際動向の変化を踏まえ、FBRサイクルの研究開発を先導するとともに、国際標準技術として通用し得るものとすることを目指して定めた。

設計要求については、開発目標にて示したFBRサイクル実用化像の実現に向けて、当面2010年までに行う実用施設の設計目標を示すものであり、原則として開発目標に対するより具体的な数値目標として設定している。FSでは、技術レベルや実績の点で大きく異なる複数のFBRサイクルシステムを概念を対象として、それらの技術的なポテンシャル評価(開発目標の達成度評価)を行い、技術的実現性や国際的開発環境も考慮し、主として開発を進める概念を検討した。このための開発目標に対応した設計要求は、ある特定の概念に対して決定的に不利益となり検討の当初から排除されることがないように、要求レベルの異なる設計要求(要求値、基準値および目標値)を設定した。

これに対して、FaCTプロジェクトでは、主概念に重点化して研究開発資源を投資することになるので、より魅力ある概念を追及する設計研究や研究開発の目標となるべき値を設定するとともに、将来の基幹電源としてエネルギー需給や社会情勢の変化への柔軟な対応が可能であることを示す検討範囲(設計ウィンドウの幅)を設定した。この意味合いにおいて、FaCTプロジェクトにおける設計要求は、当該値を達成することが必須のものではなく、将来社会に対して魅力があり、かつ、柔軟に対応し得るシステムを提供するための目標値と位置付けている。

第1表 FaCTプロジェクトと Generation-IVとの開発目標の対比

| Generation-IV          |                    | FaCTプロジェクト      |                                   |                 |
|------------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| 分野                     | ゴール                | 開発目標の視点         | 開発目標                              |                 |
| 安全性と信頼性                | SR-1 安全性と信頼性       | 安全性及び信頼性        | SR-1 次世代軽水炉及び関連するサイクル施設と同等の安全性の確保 |                 |
|                        | SR-2 炉心損傷          |                 | SR-2 次世代軽水炉及び関連するサイクル施設と同等の信頼性の確保 |                 |
|                        | SR-3 緊急対応          |                 |                                   |                 |
| 経済性                    | EC-1 ライフサイクルコスト    | 経済性             | EC-1 発電原価                         |                 |
|                        | EC-2 資本リスク         |                 | EC-2 投資リスク                        |                 |
| 持続可能性                  | SU-1 資源有効利用        |                 | 持続可能性                             | EP-1 平常時の放射線の影響 |
|                        | SU-2 廃棄物の最小化と管理    | 環境保全性           |                                   | EP-2 環境移行物質の抑制  |
|                        |                    | SU-2 廃棄物の最小化と管理 |                                   | 廃棄物管理性          |
| SU-2 廃棄物の最小化と管理        | 資源有効利用性            |                 | WM-2 廃棄物の質の向上                     |                 |
|                        |                    | WM-3 潜在的有害度の低減  |                                   |                 |
| 核拡散抵抗性と核物質防護           | PR&PP 核拡散抵抗性と核物質防護 | 核不拡散性           | UR-1 増殖比                          |                 |
|                        |                    |                 | NP-1 核不拡散                         |                 |
| NP-2 核物質防護のシステム設計と技術開発 |                    |                 |                                   |                 |

・基礎的に研究開発を進める長期的課題として、長寿命核分裂生成物の分離・核変換

#### IV. 世界の研究開発と日本の対応

開発目標の方向性が世界で一致しており、各国は自らの政策として考えるシナリオに基づき研究開発を進めている。わが国は、研究開発リスクを低減する一つ的手段とするとともに、国際標準のFBRサイクル技術の構築に向け、米仏を中心とした国際協力に取り組んでいる。

米国では、2006年2月にエネルギー省(DOE)のボドマン長官が国際原子力エネルギー・パートナーシップ(GNEP)構想を発表した。この構想は、1970年代後半からの「再処理凍結路線」から転進し、FBRサイクル技術開発への回帰を物語っており、米国での高速炉の導入時期は2020~2025年とされている。原子力機構は、2007年4月に日米閣僚により署名された日米原子力共同行動計画の下で、GNEP分野の高速炉技術WG、燃料サイクルWG等にてFBRサイクル技術の協力を行っている。2008年6月には、GNEPフェーズIでの協力結果を報告し、以降はGNEPフェーズIIとして協力を開始することになっている。

一方、フランスは、経済的な理由から1998年に実証炉 Super-Phenix を放棄し、原型炉 Phenix が2009年に運転終了を迎える予定である。しかし、2006年1月のシラク大統領の所信表明演説において、第4世代プロトタイプ炉を2020年に運転開始する旨が発表された。日本においては、原子力機構が高速炉サイクル技術の実用化に向けて、FaCTプロジェクトを推進しているが、本プロジェ

クトにおける高速実証炉の導入時期は2025年であり、米仏両国とほぼ同じ開発フェーズにあると理解できる。

このような高速炉技術の開発フェーズの一致、効率的な研究開発の推進の必要性を背景に、日米仏3カ国は、高速炉の中で最も技術的成熟度が高いナトリウム冷却高速プロトタイプ炉に特化した協力枠組みを構築することで合意に達し、2008年1月に米国DOE、フランス原子力庁、原子力機構の3者による当該協力の覚書を締結した。当該協力においては、実証炉(プロトタイプ炉)を導入するという目標に向けて、3カ国は各国の開発計画に従い、相互の高速炉技術の開発が重複しないよう、必要な技術と資源を互いに活用すべく協力を実施している。具体的には、①設計目標、ハイレベルの設計要求および共通の安全原則の設定、②建設費、運転費、保守費の削減等のために必要な革新技術の抽出、③プロトタイプ炉の出力、炉型、燃料およびスケジュールの検討、④各機関の共同利用可能な研究施設の抽出、整理を実施している(第4図)。

他方、これらGNEPおよび日米仏3カ国協力が立ち上がる以前において、ナトリウム冷却高速炉の国際協力は、2000年初頭に米国が提唱した多国間の枠組みであるGIFにおいて協力を実施した経緯がある。GIFにおいて第4世代炉として検討されている有望概念は、ナトリウム冷却高速炉、ガス冷却高速炉、鉛冷却高速炉、超高温ガス冷却炉、超臨界水冷却炉、熔融塩炉の6炉型であるが、このうち、ナトリウム冷却高速炉における協力は、

## 三国協力の内容

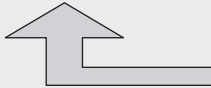


## 特徴: 協調と競合の共存

<協調>  
共通の目標・基準  
インフラ等のコスト分担等

<競合>  
炉型、燃料等の比較検討等

タスク1: 設計目標、ハイレベルの設計要求の設定  
タスク2: 共通の安全原則の設定  
タスク3: 炉型(ループ、タンク)及び出力レベルの検討  
タスク4: 酸化燃料と金属燃料の予備的比較検討とメリット・デメリットの評価  
タスク5: スタートアップ燃料製造施設に関する共通の戦略についての協議  
タスク6: 建設費、運転費、保守費の削減等のために必要な革新技術の抽出  
タスク7: インフラを活用した研究協力計画の作成及び研究協力の可能性のあるインフラの特定  
タスク8: プロトタイプ炉の導入時期等の全体スケジュールの議論



多国間の既存枠組みとの連携



開発目標についてはGIFとほぼ同じ



## 高速炉サイクル技術の国際標準化

第4図 ナトリウム冷却高速実証炉/プロトタイプ炉実現に向けた日仏米の研究開発協力

わが国が議長国となり積極的に GIF の活動を主導してきた。候補概念 6 炉型の中で最も協力が進んでいるものはナトリウム冷却高速炉であることから、米仏等は同炉の導入に高い関心を持っており、米国 DOE が2006年末に示した「米国における高速炉戦略」からも大きな期待がうかがえる<sup>5)</sup>。

一時期、米仏の開発が停滞したとはいえ、日本の FBR サイクル開発を担う FaCT プロジェクトが今現在世界に注目され、国際協力などが具体化している事実は、日本の FBR サイクル研究開発が世界の最先端にあるとの証ではないかと考える。

## —参考資料—

- 1) 総合科学技術会議 <http://www8.cao.go.jp/cstp/>
- 2) 柳澤 務, 他, “高速増殖炉の変遷と現状(1)~(7); 日本的高速炉開発の歴史”, 日本原子力学会誌, 49(7)~50(2), (2008).
- 3) 根岸 仁, 他, “高速増殖炉の変遷と現状(8): 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究の成果”, 日本原子力学会誌, 50(3), 174(2008).
- 4) U.S.DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum, *A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems*, GIF-002-00, (2002).
- 5) U.S.DOE Office of Nuclear Energy, *The U.S. Generation IV Fast Reactor Strategy*, DOE/NE-0130, (2006).

## 著者紹介

長沖吉弘(ながおき・よしひろ)

本誌, 50(6), pp.367(2008)参照。

名倉文則(なぐら・ふみのり)

日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)制御工学/推論, プロジェクト管理



阪口友祥(さかぐち・ともよし)

日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)社会心理学/エネルギー問題, 研究開発資源



川崎弘嗣(かわさき・ひろつぐ)

日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)材料力学/エネルギー需給, 経済性



菊地 晋(きくち・しん)

日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)機械工学, システム工学/高速炉の国際協力, 計算科学





## 解説

# 科学が文明を変える：気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が果たした役目

西岡 秀三

2007年に出された IPCC(気候変動に関する政府間パネル)第4次報告は、直ちに国際政治に取り入れられ、世界がいっせいに低炭素社会の方向に動き出した。科学がこれだけの力で政治に示唆を与えたことがこれまであったのだろうか。この歴史的な社会転換を進める原動力は、何によってもたらされているのだろうか。この30年に気候変化に関する科学の進歩が大きかったことは確かであるが、その科学の結果を世界が直面する大課題の解決に向けて集約するという仕掛けを IPCC はどのようにつくっているのか。真実を求めるこれまでの科学の力に加え、将来を危ぶむ社会の要請を一体化するための膨大な知識の集約の方法は、どのように構築され運営されているのか。科学の厳密さの追及と、政策からの中立性が IPCC の力の根源であると、1988年の設立当初から IPCC に参加し観察してきた筆者は見ている。

## I. 科学の成果が示唆した文明の転換

2007年2月以降発表された IPCC[ボックス参照]の第4次報告書は、気候変化が確実に進んでおり、それが人為的な原因によるものであることはほぼ間違いがなく、すでに多くの地球上の物理・生物システムが影響を受けていると報告した。また、このままの温室効果ガス排出を続ければ、21世紀にはより大規模な温暖化がもたらされ、世界の気候システムに多くの変化が生じる。いまや変化する気候に適応する手立てを考えねばならない。しかし適切な緩和策を取ってゆけば、排出量を現在のレベル以下に削減する可能性がある、とした。

こうした結果は、ただちに国際政治に反映された。2007年6月ハイリゲンダムにおける G8 サミットは、日本も提案した「2050年に世界の温室効果ガス排出を今から半分以下にする」ことを真剣に検討するとした。それが、2008年7月洞爺湖サミット G8 首脳による、この目標に向けてすべての国が進んでゆこう、という呼びかけにつながった。

2007年10月12日、ノーベル平和賞が IPCC と気候変化の危機を訴えてきたアル・ゴア元米国副大統領に与えられた。その受賞理由は、「人為的気候変化に関するより多くの知識を結集し敷衍した努力、およびその変化への取組みに必要な手段に関する基盤を築いた」ことであ

る。また平和賞に値するのは、「気候変化が進むと、多くの人類の生存条件を脅かし、大規模な移住を引きおこし、地球資源の取りあいをもたらし、各国間の暴力的な紛争、戦争の危機が増大する」からである。

G8 サミットでの提案は、二酸化炭素排出を減らすという文言だけではすまない世界文明の大転換を意味している。20世紀型エネルギー技術文明から決別し、安定な気候のもとで自然環境資源を維持しながら、人類社会を持続させていこうという方向に世界が舵をきったと見るべきである。このように、人類文明を動かすきっかけを作った IPCC とは、一体どのような組織なのか、そしてその世界を動かす力はどこにあるのだろうか。

## II. 半世紀の科学を集積する作業

ノーベル平和賞を受け取ったパチャウリ現 IPCC 議長は、「この栄誉は、これまで IPCC の作業に貢献したすべての科学者のもの」として、これまで気候変化に関する知見を積み上げてきた多くの科学的努力をたたえている。

### 1. IPCC なるもの

この IPCC とはなんであるかという、本体は各国政府と関連科学者の全体会合自身である[ボックス参照]。その機能は、人為的気候変化の状況をあらゆる面から科学的に評価することにある。評価というのは、その時点時点での関連研究の最新成果を集め、それが全体で何をその時点で示しているか(the state of the art)を、1,000

人もの科学者が寄ってたかって取りまとめることである。IPCC自身は研究も観測もやらない。気候変化に関する研究はきわめて多岐にわたる。昔の気候がどうであったか、気候が自然ではどれほど変化するか、この後、どんな変化が予想されるかといった気候科学から始まり、気候変化で世界の農業生産・水資源がどのように変わるのかといった地理学や生産生活にわたる研究分野、さらには、将来の各国と世界のエネルギーがどれだけ必要なのか、省エネ技術がどれほど進むのかといった、社会経済学・工学まで、実に広い範囲の研究分野を含む。IPCCは、これらの分野で進展する研究成果を集め、気候変化の危険性を読み解き、防止の対策についてのさまざまな最新知識を提供する。

## 2. IPCCの任務

IPCCの任務は、次のように書かれている。「気候変化に関心ある意思決定者やそのほかの人々に、気候変化に関する客観的情報基盤を与えることを任務とする。人為的に引き起こされた気候変化のリスク、その観測され予測される影響、それへの適応と変化抑制オプションの理解に向けて、世界で出された最新の科学的、技術的、そして社会経済分野の文献を、総合的、客観的、そして公開し透明な形で、評価することにある。」

## 3. IPCCの作業

報告書は、おおむね5～7年に1回作られる。科学の新たな発見を集約するのに適切な期間と見られるからである。第5次報告書は2014年提出に予定されている。ほかに、最近のCCS(二酸化炭素隔離・貯蔵)に関する報告書[2006]のように、緊急に検討しなければならないと判断された課題には、特別報告書がad hocに作られる。

第X次報告書作業は、目次に対応して選定された章執筆者が、1～2年かけて担当分野の論文をくまなくあたり、そこで得られた結論を合議の後、各部会800頁ほどの報告書にまとめる。さらに政策決定者向け要約(SPM: Summary for Policy Makers)を作成する。これらの作業の間に、世界中の研究者・政府からのチェックを2回受ける。20ページほどの1章だけに1,000近くの意見が出るので、そのすべてに答えなければならない。こうした過程で、厳密に科学的な第X次報告書が出来上がっていく。

## 4. 科学の進歩と蓄積が背景

2007年の第4次報告は大きなインパクトを国際政策に与えたが、これは突然出てきた結果ではない。IPCCが始まった1980年あたりから拡大され発展した科学の成果がようやく集約された結果である。

IPCCの活動と並行して、1990年には地圏・生物圏国際共同研究プログラム(IGBP)をはじめとする国際共同

### ボックス：IPCCの歴史・組織・活動

名称：IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change：気候変動に関する政府間パネル)

設立：1988年国連環境計画・世界気象機関の呼びかけで作られた政府間の会合

組織：各国政府と研究者からなる全体会合そのものがIPCCである。

- ・1名の議長の下に、先進国・途上国から各1名の共同議長が統括する、科学・影響・対策の3部会および国別温室効果ガス勘定に関するタスクフォース(TF)が作られている。
- ・報告書作成者(章担当執筆者・執筆者・協力者・査読編集者)：各国政府推薦から選択された関連分野研究者・専門家 合計約1,000名
- ・報告書審議など：研究者、政府政策担当者、国際機関、NGOなど
- ・事務局(TSU: Technical Support Unit)：議長・各部会議長の下に置かれている。
- ・Bureau：全30人。議長・3人の副議長・部会/TF共同議長・世界気象機関の定める6地域の代表

作業：評価報告書(Assessment Report)作成が中心作業、ほぼ5～6年ごと。他に特別報告書数件

- ・報告済み：第1次報告書(1990)、第2次報告書(1995)、第3次報告書(TAR:2001)、第4次報告書(AR4:2007)
- ・各第X次報告書作成は、内容・目次決定、執筆者選定、執筆作業、各部会で報告書作成と政策決定者向け要旨(SPM)作成、IPCC全体での統合報告書作成、の手順。その間、専門家・政府関係者による査読がそれぞれに行われる。

報告先：各国政府・社会全般・特にUNFCCC(国連気候変動枠組条約)

活動資金：各国政府の寄金。ほかにTSU活動資金や先進国メンバーの参加は各国持ち

研究が開始され、地球変化に焦点をあてた衛星・海洋・陸上観測が強化された。1950年代には1次元の予測しかできなかった気候モデルが、こうした研究観測の成果をモデルに取り入れ、さらにこの間、高速コンピュータ技術が桁違いの高速化に成功し、数百キロであった単位格子を台風の発生を模擬できる20キロまでの高解像度で再現させ、100年以上にわたる予測計算を数週間で行えるまでにし、温暖化が人為的原因であることを突き止めるのに貢献した。太陽活動が11年周期で振動し、海洋の南北振動が20年周期で見られるなど、気候を決める要因は20年以上の長い観測を続けないと真の変化が検出できな

い。1970年代に始められた多くの観測の結果が、ようやく地球の変化を確実な形でとらえて、多くの科学の蓄積を实らせたのが第4次報告書である。

### III. IPCCの力の源泉

IPCCがなかったとしても気候変化が把握できたかもしれない。しかし、これまでの好奇心に基づく異論併記型科学的事実の羅列だけだったら、そして現在でもまだ続く、科学のわずかな断片をとらえて気候変化などはおきてないとか、人為的原因ではないと断言する声高な論調に世論がひっぱられていたとしたら、政策決定者は何をよりどころに決定をしたであろうか。人々がすでに気づき始めた今の気候異変に、世界が手をとって対応することなどは、まったくできなかつたであろうし、次世代に大きな負の遺産を残すことになっていたであろう。

IPCCが政治を動かしたのは、これまでの科学に加えて、新たな科学の方法論を打ち立てたところにある。その付加価値がIPCCの力の源泉である。

#### 1. 科学的厳密性

IPCCの任務としては「報告書は、高度な科学的、技術的標準を保たねばならないし、見方、専門分野、地理的範囲を広く十分カバーするものでなくてはならない」と書かれている。IPCCの命はもちろん、その科学的厳密性にある。そのため二重三重に科学的厳密性を保持する仕掛けを構築している。第X次作業は、まずベテラン科学者が集るScoping会合で、今の科学の先端はどこにあるか、その政策的意味はどうかを勘案し、報告書目次を作ることから始まる。その目次に適切な著者を、政府推薦の科学者から各章数人選ぶ。世界中の関連最新科学的論文をそれら1,000人近くの執筆者(Lead Author)が手分けして読みとき、章会合でグループや公開ワークショップでの討論を経て、全体で何を示しているかをまとめる。対象とする論文は、それぞれの分野の学会で査読を受けて論文として公開されたものに限る。英語圏でない国での現地語論文もなるべく取り上げるようになって、英文梗概で判断し執筆者が確認する。

世界全体の地上観測結果では明らかに温度上昇が観測されているのに、衛星観測結果はむしろ温度低下が観測されているという論文があり、数年にわたる論議の結果、衛星データの補正方法に問題があったことがわかり、温度上昇傾向が確認された例がある。

特に温度上昇が人為的温室効果ガス排出が原因なのか否かに関しては、多くの仮説がさまざまな科学者から提案されてきた。こうした提起が科学的なものである限りは、科学の進展にきわめて有用なものであるから、IPCCでもほとんどを取り上げて評価している。特に第一作業部会は丹念にそれらの論文を取り上げ、科学的正確さを

評価・判断しつづけてきている。懐疑派といわれる論者が示す論のほとんど全部、この20年のIPCC報告書本文のどこかで論議されきちんと評価されている。たとえば、よく主張される、宇宙線による雲の形成が太陽活動と連動して、それが原因で温暖化が起こるのであって、人間が出している温室効果ガスは効いていないとする論に対しては、すでに第3次報告書で1頁を割いて、それがまだ十分なデータの裏づけのない仮説のひとつであると判断している。

たとえば、20年前はまだ温度上昇が顕著でなかつたため、温暖化しているということすら科学的に明言できない状況であった。1990年の第1次報告書では「100年間で0.3~0.6℃の温度上昇が見られるが、自然変動による気候変動も同程度の変動を持つ」として、何が何でも温暖化といったスタンスはまったく取っていない。

人為的原因に関する記述の変遷を見ると、科学的成果をIPCCが極めて慎重に判断して、科学の厳密性を踏まえながら発信していることがわかる。すなわち、1990年第1次報告では「温暖化を観測結果からはっきりと検出することは10年またはそれ以上できそうもない」、1995年第2次報告書では「証拠を比較検討した結果、識別可能な人為的影響が全球気候に現れていることが示唆される」、2001年第3次報告書では「近年得られた、より強力な証拠によると、最近50年間に観測された温暖化のほとんどは人間活動によるものである」、そして2007年第4次報告書での「20世紀中ば以降に観測された世界平均温度上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性がかなり高い」と記述している。

このややまどろっこしい書き方の変遷を見ても、今回の人為的原因への断定がいかに科学の厳密さを守りながら得られた真摯なものであって、ずっしりと重みを持った結論であるかがわらう。ゴア元副大統領は「温暖化が人為的でないとする査読済み論文は皆無であるが、本屋に出回る温暖化の本の6割は、温暖化は自然現象であって人為的でないと述べている」と述べている。科学の厳密さの検証を経ない懐疑論がとかく取り上げられ、それを言い訳にする多くの政策決定者の行動を遅らせる結果になったことはまことに残念なことであった<sup>a), b)</sup>。

#### 2. 多重査読による品質保証

章責任執筆者(Coordinating Lead Author)のもとで1章に5~10人の執筆者(Lead Author)が1年がかりで報

<sup>a)</sup>科学的な事実の解説は<http://www.nies.go.jp> 国立環境研究所 環境学習「ココが知りたい温暖化」を参照。

<sup>b)</sup>多くの解説書の中でも、S.R.ワート『温暖化の<発見>とは何か』、みすず書房、p 262(2005)が、科学者の真摯な努力を克明に記しており、気候科学とその周辺をめぐる状況を解説するよい読み物になっている。



告書原案にまとめ上げると、それはいったん各国政府を通じて世界の科学者による査読に回され科学的基礎固めがなされる。通常20頁ほどの原案に800~1,000のコメントが寄せられるが、その一つ一つに論拠を持った対応をし、必要ならば意見を取り入れる。各質問にどう判断して、拒否あるいは修正したかは、記録にきちんと残される。その対応が正しくなされたか否かを執筆者と独立にチェックするために、査読編集者(Review Editor)がおかれている。対応が終わった報告書は、さらに政府と科学者による査読に回される。政府のコメントには時には国の立場を反映した政治的意見も混じるから、慎重に対応しなければならない。科学大国米国は、組織的に科学者を割りあて大量の意見だしをする。こうして何重にも検査を経た報告書は、各国担当政策決定者を含む最終部会報告会での意見を受けて修正され、承認される。

### 3. 執筆者の選定

執筆者の選定にも厳密性を維持している。報告目次案に対応し、各国政府からの推薦で執筆担当者を募る。筆者の経験でいうと、議長団は、数日部屋に閉じこもって2mに積み上げられた研究者の履歴書を読み解き、研究者としての実績と地域バランスを考えて、執筆者を合議で選定する。執筆者にはノーベル賞科学者も多く含まれているし、科学の中立性を反映して懐疑論を展開する有力科学者もわけへだてなく選ばれている。ひところ、日本で「IPCCの科学者」といういい方で、気候対応推進者の牙城のような表現に使われたこともあったが、まったくそんなことはなく、作業はいかに科学的中立性を保って書くかに徹している。

## IV. 政策からの中立

報告書がどこかの国の利害を反映しているものならば、とても世界の各国が一致して受け入れるものにはならない。政治的中立性も大きなIPCCの力である。それを踏まえて、IPCCの任務には「その報告書は、政策に関連する科学的、技術的そして社会経済的要因を客観的に扱う必要があるが、政策に関して中立でなくてはならない」と書かれている。IPCCの全体会合の前に議長が必ず「policy relevantな課題をもれなく取り上げるが、決してpolicy prescriptiveになってはならない」と演説する。

書かれている内容も、気候変化の科学的事実を示すだけの役割に徹しており、その結果を読み解き行動に移すことは政策決定者や個人の役割としている。ここまでわかったがここまではわからない、こういう前提ならばこうなる、との判断は示すが、どのような文章にも、「これがお勧め」とすることはない。

そうはいいながらも、気候の問題が国際政策や産業の

運命に大きくかわかるため、どうしても世間の干渉は避けられない。筆者は1988年IPCC設立以来、なんらかの形でIPCCに貢献してきたが、その間、随所に政治的干渉が見え隠れしているのを見てきている。石油ロビイストはいつも米国メンバーグループのあとをつけ回っていた。さすがに、科学者だけの章別会合にはロビイストは入り込めないが、章ごとの承認の段階になると、科学者だけでなく、政府関係者やNGOが参加し、政治的色合いが加わる。1994年部会総会で、章責任執筆者として説明したとき、外交官からまったく非科学的な質問が出されるのに辟易していたが、壇上から見ると、反対する産油国と新興途上国代表の間を石油ロビイストが質問をささやきにめぐっているのを目のあたりにしている。また、第4次作業の議長の選考に、米国が自国の候補者を、政権の政策に合わないとして忌避したともいわれる。

## V. IPCCの成し遂げたこと

IPCCは、科学の面では新たな方法論を開発したり、その結果は気候変化以上の人類課題をあぶりだした。

### 1. 人類の智慧集約システムを形成

IPCCは、これまでの科学の方法に加えて、問題解決に向けて人類の智慧を結集する新たな科学の方法論を開発し、そのシステムを構築し、実際にそれを動かした。3部会がカバーする学問領域はまことに広く、気候の科学から、土地利用モデル、感染症研究者もいれば経済学も混じって、分野の違う研究者が互いにその分野用語を確かめながら議論している。これこそIPCCの最大の力であり、世界への貢献である。Disciplineに分かれた既存学界での科学に基盤を置きながらも、気候安定化という社会からの要請に、分野横断的に知識を統合する科学の手法を打ちたてたのである。手遅れになりやすい「自然・人間社会システム」の制御のためには、予測モデルやシナリオといった、どちらかという従来科学で疑問視されてきた分野での手法が中核的であることを示したことも、「持続可能性の科学技術」の確立に一步を進めた。

これに刺激を受けて、生態学の分野で、Millennium Ecosystem Assessmentが行われ世界の生態系の実情を明らかにしたし、エネルギーの分野でもIIASAを中心として、世界的な評価をしようという動きが始まっているし、物質・資源利用の現状を世界的に把握する試みも始まろうとしている。

### 2. 社会へのわかりやすい伝達

科学者がまとめる報告書本体は、1,000頁近くにもなり、しかもきわめて密度が濃いため、専門家でも読み解くのに苦勞する。IPCCの大切な役目は、分析した科学

の結果を政治家や、企業、研究者、そして一般社会に伝えることにある。

30頁程度の読みやすい形に編集される政策決定者向け要約(SPM: Summary for Policy Makers)が、科学、影響、対策の第1から第3作業部会それぞれに、議長団・章責任執筆者と事務局によりまとめられる。この要約は最も多くの人たちに読まれるものである。すでに書き上げられた報告書本体に書かれたことだけを取り上げることにしているが、その表現をめぐって、正確であろうとする科学者と政策的な意味合いを探る政府関係者との間で激しい論議が常に起こされる。わかりやすすぎて削除される場合もある。第3次報告では掲載されていた、温度上昇に伴い危険性があがってゆくことを色合い示した「燃えさし図(Ember Chart)」は、わかりやすいが主観的過ぎるとの観点から削除された。この部会報告をさらにまとめて、2007年11月にまとめられたような統合報告書(Synthesis Report)が編集され、総会での論議の後承認され、第X次の作業が終わるのである。

### 3. IPCCの示唆は気候にとどまらない

IPCCを通して、科学は世界に大きな警告を発した。IPCCが活動していなかったら、世界はいまだ変化する気候の原因もわからず、不安にさいなまれながら、各地で起こる災害にさき見通しもなく、もぐらたたき的に適応していただろうし、水資源や食料不足で人々の移動が始まり、紛争があちこちで始まっていたかもしれない。IPCC報告は、結果として、世界が低炭素社会へ向かうこと、エネルギーシステムの大転換が必要なことを示唆している。2008年6月、国際エネルギー機関(IEA)がG8の行動計画支援のためにまとめたエネルギー技術展望2008(ETP 2008)<sup>3)</sup>は、おおむね50%削減のために、省エネルギーによってエネルギーの伸びを抑え、エネルギー効率の改善、CCS、再生可能エネルギー、そして原子力を組み合わせた新システムに向けて、世界は「いま」、行動を起こさねばならない、としている。日本はその場合、60~80%削減を目指すとして福田首相が述べており、二酸化炭素70%の削減のためには、社会変革を前提

<sup>3)</sup>IEA, *Energy Technology Perspective 2008—Scenario's and Strategies to 2050*, OECD, p 643(2008).

<sup>4)</sup>西岡秀三編著『日本低炭素社会のシナリオ—二酸化炭素70%削減の道筋』, 日刊工業新聞社, p 208(2008).

にした省エネルギー社会形成が大きな役目を持つという研究結果も得られている<sup>4)</sup>。

また、エネルギー価格の高騰が引き金となって、気候安定化に必要なバイオ燃料と食糧生産の間で、そして森林・生物多様性維持の間で、土地資源をめぐる葛藤もはげしくなってきたし、さらに気候変化・水資源不足がそれに追い討ちをかける。

IPCC報告は単に気候安定化の科学の成果を述べただけでなく、地球環境資源利用の限界にきた人間社会が、そろそろエネルギー資源多消費型文明から脱却しなければならぬことを示唆したのである。

### 4. 厳密さゆえの遅れ

IPCCは、その厳密性、正確さで科学の力を発揮しているが、一方でそれがまた科学の限界を示すことにもなっている。研究者と政府への査読期間が2年近く必要なため、報告へ採用できる査読論文はおおむね最終報告承認の2年前のものしか評価できない。すでにこの2年のあいだに、北極海氷面積が急激に減少していることや、当分解けないとされた南極やグリーンランドの氷床の一部がすでに解け出していること、氷床の動的挙動解明がすすみ棚氷の崩壊による氷床滑り出しの可能性などが指摘されつつある。これらは5年以上後となる第5次報告書までは取り上げられないことになる。これから10~20年の世界的対応が重要なときに、この7年の遅れは大きい。これもIPCCが打ち立てた科学の厳密性を保つための手順としてやむを得ないものではある。一方で、IPCCと並行して英国政府が2年でまとめた被害と対策の経済的比較をしたStern報告は、IPCCほどの厳密な評価プロセスを経たとはいえないが、実際的には大きなインパクトを世界に与えている。

今後は、急激に動きつつある気候変化と迅速な対応の必要性を考慮し、回転の早い評価プロセスをも並存させる必要がある。

### 著者紹介

西岡秀三(にしおか・しゅうぞう)



元国立環境研究所理事  
気候変化リスク管理、低炭素社会設計。  
IPCCに1988年設立当初から現在まで参加。

# 再処理・リサイクル技術開発の状況と我が国の開発への提言

日本原子力学会 再処理・リサイクル部会

## I. ま え が き

世界中で再処理、リサイクルを巡る状況は大きく動きつつある。燃料の有効活用と放射性廃棄物の環境負荷低減という観点では燃料のリサイクルが必須であることによる。このような時代において、日本原子力学会「再処理・リサイクル部会」は様々な活動を展開しているが、それらを単に紹介することに加え、現在の国内、国外での再処理リサイクルの動向と技術開発の状況を説明し、その中で、今後、我が国の開発への提言を部会として行うことの意義が大きいと考え、そのような構成とした。

## II. 我が国の再処理技術の経験と現状

### 1. 東海再処理工場の経験

昭和30年代後半、自主開発を目指し、日本原子力研究所(現 日本原子力研究開発機構(JAEA))のホットケープでピューレックス法のプロセス実証試験を行い、Pu約200gの抽出に成功した。しかしながら、原子力委員会は海外再処理施設調査団の報告を受け、当初の自主開発路線から技術導入路線に転換した。これを受け、原子燃料公社(後の動燃事業団、現 JAEA)は東海製錬所に仏SGN社の設計で主工程を構成した東海再処理工場(TRP)を建設することとした。

昭和52年に入り、TRPのホット試験直前になって、米国の原子力政策が変更され、日本の再処理・リサイクル路線に急ブレーキがかかった。日本政府はエネルギー安全保障の立場から、米国と厳しい再処理交渉を行い、技術開発とセットでこれを取り切った。日本は米国の核不拡散政策の趣旨を尊重し、TRPにおいてマイクロ波混合転換技術の開発並びにハルモニタリングシステム、

溶液測定モニタリングシステム等の保障措置に関わる技術開発を約束し、ホット試験を開始することができた。TRPは当初の数年間、酸回収蒸発缶の腐食トラブルを皮切りに、軽水炉の使用済燃料の再処理に起因する予期しない数々のトラブルに見舞われることとなったが、遠隔および直接保守に関わる各種国内技術を結集してこれを修復してきた。その集大成として安定運転を確保し、再処理運転保守技術を国産技術といえるレベルに到達させることができた。

こうした過去30年に及ぶ成果は、六ヶ所再処理工場(RRP)や次世代再処理技術開発に活かされている。ウラン脱硝技術、混合転換技術、ガラス固化技術そして大半の保障措置技術はTRPで生まれ育った技術である。このように、TRPは、その草創期から、地元合意の形成を経た立地、米国の核不拡散政策への対応、環境安全対応、トラブル対応等多くの課題を克服しつつ、日本の再処理技術の確立に貢献してきた。今後、我が国の第二再処理構想を実現する過程で、こうしたTRP、RRPの経験を十分活かすことが重要である。

### 2. 六ヶ所再処理工場の現状

六ヶ所再処理工場は、国内で発生する軽水炉使用済燃料を対象とし、年間最大再処理量800tを有する我が国初の商業用施設として、青森県六ヶ所村に建設を進めており、現在アクティブ試験の最終段階にある。

主工程の技術は、国内外で実績のあるピューレックス法を用い、使用済燃料の一時貯蔵、せん断、溶解、分離、精製、脱硝の各工程を経て、ウラン酸化物およびウラン・プルトニウム混合酸化物(MOX)を回収する。

再処理本体施設に先立ち、1999年12月に使用済燃料受入れ・貯蔵施設の操業を開始し、2008年1月末までに約2,435tの使用済燃料を受け入れている。一方、再処理本体施設については、2001年4月から建設工事の最終ステップである通水作動試験を開始し、これに引き続き、硝酸や有機溶媒などの化学薬品を使用する「化学試験」(2002年11月～2005年12月)、劣化ウランを使用する「ウ

*Perspective of Reprocessing Technology and Remarks for the Research and Development in Japan: Reprocessing and Recycle Technology Division, Atomic Energy Society of Japan.*

(2008年 5月19日 受理)



ラン試験」(2004年12月～2006年1月)を経て、2006年3月から、「使用済燃料を用いた総合試験(アクティブ試験)」を実施している。

2008年2月にはアクティブ試験の第4ステップを終了し、現在(2008年3月末)、最終ステップである第5ステップの実施に向けて準備しているところである。

これまでに予定した確認事項については、高レベル廃液ガラス固化設備における白金族対策、流下停止事象対策を除き、満足できる結果が得られた。また安全機能については、各設備が必要な性能を有していることを試験により確認した。

とくに、第4ステップでは高燃焼度のPWR燃料を処理したために第1ステップから第3ステップまでと比較すると使用済燃料中の放射エネルギーが多くなったものの、分離・分配設備等での核分裂生成物の除染係数は目標値を満足していることなどから、安全機能として重要である放射性物質の除染能力について十分な性能を有していると考えられる。また、これまでのステップよりも多くの使用済燃料を連続処理し、再処理施設全体として十分な処理性能を有していることが確認できた。

第5ステップでは、再処理全体の処理性能を確認するとともに、高レベル廃液ガラス固化設備のガラス溶融炉の運転方法を具体化した上で、処理能力確認試験、環境への放出放射エネルギーについての確認等を実施する。

### Ⅲ. 我が国における次世代再処理・リサイクル技術開発

#### 1. 酸化物燃料高速炉と先進湿式再処理を組み合わせた高速炉サイクル

FBRサイクル実用化戦略調査研究(FS)では、将来の基幹電源としての核燃料サイクルに求められる安全性、経済性、資源有効利用性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性に対する開発目標、さらにこの目標を具体化した設計要求を定め、FBRサイクル、すなわち、FBR、FBR再処理、FBR燃料製造の候補概念の抽出を行い、研究開発を進める概念を検討した。その結果、酸化物燃料ナトリウム冷却型FBR、先進湿式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造の組合せを、開発目標に対して総合的に最も適した概念として提示した。現在、FS結果に対する国の評価を踏まえ、JAEAは資源を集中的に投資して実用化に向けた研究開発として「FBRサイクル実用化研究開発」、通称“FaCT”プロジェクトを推進している。

先進湿式法再処理については、燃料集合体の解体技術、燃料ピンを短くせん断・溶解し、高濃度の溶解液を得る技術、晶析により溶解液中の大部分のウランを回収し後段の溶媒抽出工程の処理流量削減と設備合理化を図る技術、プルトニウムをウランやネプツニウムとともに一括回収する溶媒抽出技術、溶媒抽出廃液からのMA

回収に多くの試薬や溶液を使用しない抽出クロマトグラフィ技術等の開発が必要である。さらに、廃液処理の点で発生廃液を高レベルと極低レベルに二極化し、廃液処理コストの低減を図る技術の開発も必要である。簡素化ペレット法燃料製造は、溶液混合段階でのプルトニウム富化度調整や原料粉末の流動性改良に加え、ダイ潤滑成型技術(型に潤滑剤を直接塗布する燃料ペレット製造法)を取り入れることで、従来の混合酸化物燃料製造における粉末取扱い工程等を合理化し、燃料製造設備の簡素化を目指したプロセスである。また、低除染で再処理されMAを含む原料を取り扱うため、遮へいセル内に設置された機器・設備を遠隔操作しペレットを製造することが必要となる。このため、おのおのの工程の成立性に係る課題のほか、遠隔操作、保守・補修に適した機器の開発を行う必要がある。また、高い品質保証のもとでの製造、炉内での健全性確保のベースとして、燃料物性基礎研究が重要である。

FaCTプロジェクトは2050年頃からのFBRサイクルの商業ベースでの導入に対応すべく開発を進めており、まず、2010年までに革新技術の採否判断を可能とするとともに、実用および実証施設の概念設計の取りまとめを目指している。

#### 2. 金属燃料高速炉と乾式再処理を組み合わせた高速炉サイクル

金属燃料FBRサイクル技術は、FSで将来の社会環境によっては「主概念」よりもその時点の社会に柔軟に適合する可能性があるとして「副概念」と位置づけられ、FaCTにおいても電力中央研究所とJAEAが中心となって研究開発が進められている。500℃の溶融塩と溶融Cdを用いた電解と抽出を主工程とする金属電解法乾式再処理は、MAがPuとともに回収されることや溶媒(溶融塩)が放射線劣化しないことから、核拡散抵抗性や環境負荷低減、経済性の向上が期待されている。FS以降の進捗をまとめると、プロセス開発では、Puを用いたプロセス連続試験により工程全体としてのマスバランスの評価やプロセスの最適化検討が進むとともに、不純物酸素による塩中U、Puの沈殿反応とそのZrCl<sub>4</sub>による再塩化の実証などで、より信頼性の高いプロセスデータの取得が進んだ。一方、プロセス機器開発は、工学規模の試験を実施している。陽極と固体陰極を一体化した高速電解アセンブリーについては、U-Zr-模擬FP合金を用いた試験により改良を進め、直径30cmで約800gU/hと、従来の固体陰極の10倍以上の高速化に成功した。また、500℃の溶融塩や溶融Cdの液移送技術を開発し、工学規模の多段TRU抽出や連続型Cd陰極、ゼオライトカラムなどの装置開発に適用してこれらの実用装置概念がより具体化してきた。さらに、照射済み燃料での実証試験については、ドイツのカーlsruエにある超ウ

ラン元素研究所や米国アイダホ国立研究所と協力し、金属燃料の電解試験やMOX燃料の電解還元試験を行っており、将来のわが国でのホット試験に向けたデータベースの蓄積が進んでいる。なお、燃料製造技術については、「常陽」における照射試験の認可を受け、照射用のU-Pu-Zr燃料ピンの製造を進めているところである。

### 3. その他の分離技術

主概念、副概念以外で国内外で開発されている主要な技術は次の通りである。

- (1) Co-processing法(日)：核拡散抵抗性向上を目的に検討したU/Pu共抽出技術で、Puを単離しないこと以外は現行の再処理技術(PUREX法)と同じである。
- (2) COEX法(仏)：次世代の軽水炉再処理技術として検討している技術(詳細は未公開)。U/Pu共抽出回収技術と推測される。
- (3) UREX+法(米)：Uを分離した後、PuをNpとともに抽出回収する技術で、高レベル廃棄物処分場削減のため、MAや発熱性FPの分離も検討されている。
- (4) モノアミド法(仏)：廃棄物(廃溶媒)低減のため、抽出溶媒としてTBP(PUREX法)の代わりにガス成分(C,H,O,N)だけで構成されるモノアミドを使用する技術である。
- (5) GANEX法(仏ほか)：溶媒抽出でアクチニドを一括で回収する技術。最適溶媒を現在開発中である。
- (6) FLUOREX法(日)：フッ化物揮発法でUを粗分離した後湿式法でU/Puを回収する技術である。
- (7) 超臨界直接抽出法(日)：TBPと超臨界二酸化炭素を用いて固体から直接アクチニドを回収する技術である。
- (8) NCP沈殿法(日)：U粗分離、U/Pu共回収を沈殿法で行う技術である。
- (9) イオン交換法(日)：イオン交換/抽出クロマトグラフィによりU、Pu、MA、FPを分離する技術である。

## IV. 海外諸国の状況

### 1. GNEPを中心とした米国の状況

2006年2月6日、米国DOEは、国際原子力エネルギーパートナーシップ(GNEP:Global Nuclear Energy Partnership)構想を発表した。この構想下において、Puを単離しない先進的再処理技術開発とともに、Pu等を燃焼させるための高速炉開発を進める方針を表明した。米国内では、軽水炉使用済燃料処理の商業施設である統合核燃料取扱センター(CFTC:Consolidated Fuel

Treatment Center)と、研究開発・実証を行うための先進的燃料サイクル施設(AFCCF:Advanced Fuel Cycle Facility)の研究開発が進められており、両施設はいずれも2020年操業開始を目指している。

米国外への動きとしては、DOEは2006年8月に、GNEP計画の加速を目的として2トラック方式の採用を発表し、産業界が保有している既存技術の活用による施設開発の早期立上げを目指して国内外からの提案を募るための関心表明(EOI:Expressions of Interest)を募集した。トラック1では、既存の技術を多用して短期の立上げを目指してCFTCと先進燃焼炉(ABR:Advanced Burner Reactor)を導入し、トラック2は長期の研究開発としてCFTCで高速炉使用済燃料も含めて処理するとともに、MAも分離してABRと先進リサイクル炉(ARR:Advanced Recycling Reactor)で燃焼させる構想であった。その後、2007年5月に、DOEはGNEP構想下で検討中のARRとCFTCに係る調査研究事業について、産業界からの提案公募を開始した。

日米政府間の動きとしては、両政府は「日米原子力エネルギー共同行動計画」を策定し、その中で、GNEPに基づく研究開発活動の一つとして燃料サイクル技術WGが設置された。現在、日米共同研究開発プログラムのための研究開発実施計画の策定に向けて、研究開発項目、内容等を検討している段階にある。

### 2. フランスの状況

フランスではラ・アージュの再処理工場の実績を踏まえて、第3世代の再処理技術としてU、Puを共抽出するCOEX技術を、また第4世代の炉・サイクルシステムとしてアクチニド元素を一括抽出するGANEX(Global Actinide Extraction)法の研究がなされている。前者はPuを単独に分離しないようにピューレックス法の分配制御を行う方法である。後者は高速炉時代の再処理技術で、MA元素も含めアクチニド元素をリサイクルして燃焼させる技術として1991年12月に制定した放射性廃棄物研究管理法(2006年にその継続として新放射性廃棄物管理法が制定)に基づいて高レベル廃棄物の合理的処理・処分の研究テーマの一つとなっている。このGANEX法では、BTP、BTBPの溶剤の開発を含め、アクチニド元素を一括抽出する新抽出剤の開発を行っている。これらについてはEUのプロジェクトであるEUROPART(2008年からACSEPT計画として継続)の一部としても研究を進めており、その成果を踏まえて今後の最適手法の選択および実燃料による実証に備えている。

### 3. アジア諸国の状況

アジア諸国、特にインド、中国では、今世紀前半からの膨大なエネルギー需要を賄うために原子力発電の容量を大幅に増やすことを計画しており、そのために必要と



なる再処理、燃料サイクルの開発を積極的に進めている。

### (1) インド

インドは独自の原子力開発路線を進めている。現在はカナダの CANDU 炉を基本とした PHWR を主力に運転しているが、第2段階である高速増殖炉の開発を精力的に進め、その後、最終段階(第3段階)として豊富に存在する Th を<sup>233</sup>U に変換する高速増殖炉を長期にわたり半永続的に利用する計画である。

インドでは、炭化物を燃料とした高速実験炉(FBTR)を1985年から現在まで20年以上運転しており、その使用済み燃料についても高燃焼度15 at%までの燃料240ピン(80 kgHM)をピューレックス法で再処理した経験を有する。現在、この経験をもとに独自の技術で熱出力1,250 MWt、電気出力500 MWe の高速原型炉(PFBR)の建設を進めており、これと併せて再処理開発も着実に進めている。2007年にはFBTR用にピューレックス法を使った再処理施設を建設し高速炉燃料再処理を実証している。また、2012年にはFBTR用のピューレックス再処理プラントの建設を計画している。さらに2012年からはFBTRと同型、同出力のTwinのプラントの建設を計画し、これとあわせ2012年からはPFBR用の燃料再処理プラントの建設へと進める予定である。

### (2) 中国

中国では、今後予想される急激なエネルギー需要を賄うため現在の設備容量(2005年、8.7 GWe)を大幅に増加させ、2020年に40 GWe、2050年には240 GWeの原子力発電規模を計画している。この計画を実現するためには高速増殖炉の開発は必須としており、2009年に臨界の予定で20 MWeの高速実験炉(CEFR)を建設している。この後には2020年に600 MWeの実験炉、さらに1,000~1,500 MWeの実証炉、商業炉へと展開する計画である。燃料も当初はMOX燃料を利用するが、2030年頃から高増殖が期待できる金属燃料に転換することを考えている。この実現のため再処理にも力を注いでおり、フランスの協力を得て現在、酒泉にピューレックス法を使った200 tU/年(1 tU/日)の商業用再処理パイロットプラントを建設しており、2007年に運開を予定している(運開したか否かは未確認)。この後には4 tU/日で年間処理容量800 t規模の再処理工場の建設を計画している。これら再処理に関する研究開発のため、現在、中国原子能科学研究院(CIAE)に湿式分離技術開発や乾式技術の基礎試験が行えるホットセルを備えた放射化学研究施設を建設している。

### (3) 韓国

韓国は国際的に再処理が容認されていないが、発生する使用済み燃料の処理を目的として乾式法による技術を開発している。これまでに1990年代から軽水炉で利用した燃料を解体して、高温で揮発性の元素を分離した後、

CANDU 炉用の酸化物燃料に再加工するという DUPIC 法を開発してきた。しかし、軽水炉に比較して多量の廃棄物が発生するため、今後 CANDU 炉導入の計画がないという理由から、Generation-IVで開発される高速炉を使って燃料をリサイクルする方針を中心にそえ、その第1段階の燃料処理として酸化物燃料を電解還元法で金属に転換して金属ウランを電解精製で分離する開発を進めている。さらにこのプロセスが使用済み燃料20 kg規模で実証できる専用のホットセルを建設して、ウラン試験に続き、現在使用済み燃料を使った試験を実施するため米国政府と協議を続けている。

## V. 我が国における次世代再処理技術開発の課題と提言

### 1. 課題

実用化に至る進め方が最大の課題である。我が国の次世代 FBR 再処理技術は、FaCT プロジェクトの立上げに際して、正、副の候補を選択した。公募研究や米 GNEP などの枠組みで、これ以外にも取り組んでおり、次世代の再処理技術開発は、まさにルネッサンス時代にある。現状は、ラボ段階のものが多く、工学、実規模段階への展開に当たっては、改めて課題の抽出・特定を行い、候補技術の‘選択’と資源の‘集中’が必要になる。実用化までに予見される課題を、十分調査、把握し、専門家の叡智を結集して解決策を提示する戦略が重要になる。

こうした FaCT プロジェクトなどで狙う技術は、FBR マルチサイクル時代を見据えたものであり、六ヶ所再処理工場が寿命を迎える2050年頃までに必要となる第二再処理プラントで採用する技術との関係はどうなるのか、検討が求められる。我が国の現在のシナリオでは、第3世代 LWR から第4世代 FBR への移行期は、2050年頃から22世紀始めまでと長期にわたる。この間の再処理対象燃料は、蓄積された多量の LWR ウランから、プルサーマル、さらには FBR 導入スピードに依存する FBR-MOX に移行し、リサイクル原料(回収 U, Pu など)は FBR 立上げに利用されると予想される。第二再処理プラントでは、燃料の種類・量と供給先に合わせた対応が求められることになる。世界的にも、LWR ウランが再処理の主対象であり続けると見込まれ、リサイクル方策の確立は、正にグローバルな課題でもある。こうした視点から、現行技術の高度化も視野に入れた‘移行期の再処理技術開発’が必要になる。

再処理技術を実用化段階まで開発する上で、燃料集合体規模の工学試験が必須になる。我が国でこれができる施設は東海再処理工場に限定されるが、すでに30年余りを経過したプラントである。中長期に至り、枢要技術を効率的に開発するためには、これに代わるコンパクトでフレキシブルな試験ができる‘小規模工学試験施設’が必



要である。また2020年代後半に、FBR 実証炉の運転を開始する計画であることから、これに合わせた燃料製造と再処理技術はどうするかの見点も、あわせて検討する必要がある。

社会的条件は急激に変化しており、長期予測では不確定幅が拡大する。原発の増加と使用済燃料の蓄積、ウラン価格の上昇、地層処分場の立地などへの取組みが、現状以上に加速するであろう。これらに連動し、世界的に再処理リサイクル路線が見直され、持続可能なFBRサイクル実用化への期待が、いま以上に高くなる可能性がある。開発のスピードは、こうしたリスク管理的観点を加味しつつ、的確に設定する必要がある。

## 2. 技術開発への提言

### (1) 六ヶ所再処理技術の技術継承、深化と技術支援体制の構築

六ヶ所再処理工場の安定な運転は我が国のリサイクル路線を堅持していくために最も重要である。そのためには安定運転に必要な技術基盤を国内で維持・向上させるとともに、その建設や運転を通して得られる知見(エンジニアリング的知識、ノウハウ等)を継承し、既技術の改良や次世代技術へとつなげていくことが重要である。さらに、これら技術的知見を培うため再処理工場を支える技術支援体制の構築が必要である。

### (2) 次世代燃料サイクル技術開発への留意点

次期再処理工場(2050年前後に稼動)で対象となる燃料は軽水炉からの使用済み $UO_2$ 燃料で、一部に軽水炉、高速炉からのMOX燃料の処理が考えられることから、その技術選定はその燃料の特徴をよくとらえて行うことが必要となる。MOX燃料を対象とする場合には、 $UO_2$ 燃料に比しはるかに強い放射線やMAの増加のため、効率的な分離法やMA分離などが必要となる可能性があり、現有技術の課題、適用の限界を把握するとともに、必要となる革新技術の開発が必要となる。

### (3) 国内の開発体制の強化・再構築

フランスにおける再処理の歴史、経験、実績に基づいた開発技術や開発実施体制(CEA-AREVAの緊密な連携)や、インドや中国における研究開発スピードなど鑑みると、我が国の開発技術の選定や実施体制、関係機関の協力などをより強力に築くことが必須である。一方、燃料サイクル技術は開発期間が長期に及ぶこと、開発リスクを考えると、技術体系としてプロセス化学、エンジニアリング技術ともJAEAに蓄積していくのが最も妥当である。このためJAEAでは指導性を持ったリーダーによる一元的体制のもと、長期にわたるサイクル技術開発を継続して担える専門的技術者を育成していくことが不可欠である。

### (4) 開発における国際的視点

六ヶ所再処理工場をはじめとして、中国、米国への接

近などAREVA社の積極的な世界戦略、米国提唱によるGNEP、Generation-IVに代表される多国間の協力などが進展しており、我が国の開発技術が実用化技術として利用されるためには、我が国技術が世界基準となっていくことが必要である。そのためには、技術の成熟度や経済的優位性だけでなく、施設の安全確保、Puの分離形態・純度(核拡散抵抗性の強化)、MAの分離プロセスの採否、廃棄物発生量の低減と合理的処理など、次世代技術としての要件について共通となる基準を決めていくことが必要である。今後、多国間にわたる共同開発、共同研究も活発化していくが、そのなかにおいても我が国としてしっかりした役割分担をもって対応することが重要である。

## VI. まとめ

本稿に続く再処理リサイクル部会の活動とともに、この機会に国内および国外におけるサイクル、再処理の現状と計画について紹介した。六ヶ所再処理工場が操業開始直前であり、我が国において本格的なサイクル事業が始まろうとしている。さらに米国においては再処理を志向した路線が検討されているとともに、今後、原子力の大幅な拡大を計画している中国、インドにおいては再処理、リサイクルを着実に進めようとしている。また、韓国においては使用済燃料の処置について合理的な方法を検討中である。今後、原子力の導入を計画している国においては燃料供給と使用済燃料の措置が重要な課題となり国際的な協力が重要となる。我が国においては、このような国内外の状況を見つつ、第二再処理工場に向けての検討を着実に進める必要がある。六ヶ所再処理工場の安全、安定な操業と、それを高度なものにするための様々な研究開発、軽水炉から高速増殖炉サイクル移行期におけるサイクル、燃料製造の研究開発、および本格的な高速増殖炉サイクル時代における再処理、燃料製造に向けての研究開発を、バランスよく行っていく必要がある。これは決して容易なことではないが、多くの経験を有し、専門家、技術者がいる我が国においては不可能なことではない。このとき、日本原子力学会「再処理・リサイクル部会」は専門家の集団として、また、中立的な組織として、それに求められる使命は極めて大きいものがあると認識している。本稿においても技術開発への提言を行っているのはこのことによる。

(執筆担当：東京大学・田中 知(部会長)、電力中央研究所・井上 正(副部会長)、原子力安全委員会・山村 修、日本原燃・中村裕行、日本原子力研究開発機構・船坂英之、松村達郎、野村茂雄、小山正史(電力中央研究所) 日立GEニュークリア・エナジー・深澤哲生)

## 再処理・リサイクル部会(RRTD)の活動

電力中央研究所 天野 治(部会幹事)

使用済み燃料の処理やウランのリサイクルのあるべき姿を広く議論し、日本や世界の仲間とコンセンサスを得て、再処理・リサイクル路線を推進するために、2001年3月に有志で再処理・リサイクル部会(RRTD)を日本原子力学会の中に設立した。RRTD設立当初のねらいとして、原子力にかかわる技術者にウランリサイクルの必要性を認識してもらい、わが国における東海再処理から六ヶ所再処理工場への継続等の再処理路線の定着化、次の世代を形作る(人材育成)各大学の活動の活発化を3大目標として2001年から7年間活動してきたが、各大学の活動については、まだ道半ばというところであろう。

RRTD設立時から強く念頭に置いたのが、海外、特に米国の再処理路線否定に対し、学会ベースで米国の良識派との意見交換を通して、米国の再処理路線への変革の可能性と変革への共同歩調であった。2001年9月にパリで開催された国際会議GLOBAL 2001の会場にそれぞれのキーパーソンが集って第1回目の会合を持ったことにより、RRTDとFCWMD(米国燃料サイクル&廃棄部会)両部会の結束ができ、2ヵ月後に情報交換協力協定を締結した。ブッシュ大統領の原子力推進もあって、米国はAFCI(高レベル廃棄物減少のための燃料サイクル推進)、GNEP(世界全体での燃料サイクルの国別役割分担)等のプログラムが実施されてきた。名目は使用済み燃料処理であるが、基本部分はウランリサイクル技術である。

部会メンバーでも部会設立当初は、ウランや石油などの資源の潤沢さを理由にリサイクルに否定的な人も散見された。しかし第1回部会セミナー(2001年11月、東海)や中心となる技術を徹底的に議論するざんざん技術セミナー<sup>a)</sup>(2003年2月、箱根)、部会主催特別講演(2004年9月、東京)で石井吉徳東大名誉教授の「地球は有限、安くて豊かな石油時代は終わる」の講演、春秋の学会年次大会の部会での竹内哲夫初代部会長(元原子力委員会委員)による講演などを経て、ウランリサイクルの必要性に対する認識が高まり、運営委員等の部会コアメンバーを中心に、技術者、研究者に伝わり、部会が一つにまとまりはじめた。

このまとまりが国際会議GLOBAL 2005(2005年10月、つくばで開催、650名参加)を日本では初めて日本原子力学会主催で当部会が運営することにつながった。同会合では、石油ピーク後の原子力の必要性やウランピークへの対応から、参加した多くの関係者がリサイクル路線への必要性を強く感じるようになり、米国のGNEP構想のベースともなった。

<sup>a)</sup>ざんざん技術セミナー:「ざんざん」の名前はざんざんに冷えたビールの発想で、京大山名教授が命名した名前である。

RRTDではウランリサイクルに関する最高知見の集団として、わが国の各組織や連合体の最新の研究成果を常にウオッチし、全体最適化の観点から多面的な検討を加える勉強会(サイクル技術検討ワーキング、2007年8月6日発足)を開催し、その結果を部会HPで公表している。以上の活動をまとめて下表に示す。

さらに藤家前原子力委員長が産み落とした実用化戦略調査研究では、炉とサイクルの有望候補技術が絞り込まれ、さらに選定する上での様々な調査研究が原子力研究開発機構を中心に、電力中央研究所、東芝、日立、三菱重工、三菱マテリアル等のメーカー、東大、京大、東工大、東北大、九大等を巻き込んで実施されてきた。この調査研究は、研究所、メーカー、大学の研究陣の再構築と酸化燃料先進湿式再処理法を主概念技術として、金属燃料乾式再処理技術等幅広いリサイクルに関する知見と試験経験の蓄積をもたらした。日本の再処理技術そのものと研究者を世界のトップレベルに押し上げつつある。

また2004年に青森で開催したセミナーは地元の人への再処理工場の意義と地元の不安に学会が答える形となり、学会が求められる役割を果たしたものと考えている。今後は、六ヶ所再処理工場の運転、補修、分析等のデータとして活用し、経済的な補修方策とそれを支える合理的な民間基準作成など部会が技術者集団として広く社会に貢献するなど全体最適化を目指して活動していきたい。

| 主な行事               |                    |                   |                                       |
|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------------------------|
|                    | 時期,頻度              | 場所                | 備考                                    |
| 部会セミナー             | 秋,年1回              | 青森,仙台,東海,東京,大阪,九州 | それぞれのテーマの本質を議論                        |
| 部会企画セッション(学会年会・大会) | 春,秋,毎回             | 学会開催地             | リサイクルを取り巻く状況を幅広く勉強する                  |
| 国際ワークショップ          | 冬,2年に1回            | 東京,九州             | 国際的視点から、人材、技術、方向を議論                   |
| GLOBAL国際会議         | 秋,米国,フランス,日本で2年に1回 | 米国,フランス,日本        | 原子力先進国、原子力に関心のある国々でエネルギーとしての原子力を幅広く議論 |
| ざんざん技術セミナー         | 春,年1回程度            | 箱根                | それぞれの再処理方式を分離抽出元素別に横断的に比較し、技術の本質を議論   |
| サイクル技術検討ワーキング      | 毎月                 | 東京                | 最新の研究成果を常にウオッチし、全体最適化の観点から多面的な検討を加える  |
| 部会特別セミナー           | 不定期                | 青森,東京ほか           | 必要の都度                                 |

## 講演

# 原子力の広報活動を振り返って 新たな信頼関係づくりに向けてダイアログの推進を

東京電力(株)顧問 榎本 晃章

原子力の広報は一般広報と違い、世論獲得競争である。世の中には様々な考えがあり、異論や異説がある。このことを十分に認識したうえで、共感と納得をいただくため、説明をし、広報をするのだ。そのためには“相手を知り、己を知る”必要がある。また、透明性を高めるためには、「全部出した」といえる状況を組織内部に作り出すことも必要である。メディアの記者を始めとして、一般的には、納得をしてもらうため、討論よりも、時に、ダイアログ(対話)が重要である。一方で誤った報道には毅然とした対応も必要である。

中越沖地震では、TV報道の影響の大きさが改めて認識された。文字のメディアとは異なり、即時的、直感的な訴えをするTV報道への対応を真剣に考えなければならない。

本稿は2008年3月4日、「原子力コミュニケーションのあり方を問う—社会と原子力界の相互信頼を求めて」と題して行われた、シニアネットワーク連絡会第7回シンポジウムにおける講演の結果をまとめたものである。

## I. 世論の獲得には共感と納得が必要

私の原子力との係りは1970年、東京電力原子力部原子力業務課で広報関係の仕事に就いた時に始まる。折しも日本で軽水炉の運転がスタートを切った時であった。

その後、広報部へ異動した。振り返って見ると、広報のいろいろな対象の中で、原子力関係は、優に7割を占める案件であった。広報駆け出しの頃から、相当に長い間、原子力担当部門からは、情報がなかなか出て来ない状況が続いた。また、テクニカルタームを含め、用語が難しく、これは、相当に長い間変わっていない。その分、広報としては、一工夫も二工夫も必要だった。

1972年、日本社会党が政党として初めて原子力反対を打ち出した。前年の1971年、その動きに対して、電事連で反論の小冊子を作ろうという作業があり、その手伝いをした。今考えてみると、その時は、難しいことばかりだったが、関わった先輩が優れた人達であったこともあり、その後、大変に役に立った体験であった。

原子力の広報は一般の広報と違い、“世論獲得競争”で

ある。当時の原子力関係者は、“原子力は、正義”との思いで仕事をしてきた。原子力の開発に対しては当初から常に異論や異説はあったが、当時の関係者は、そのような異論や異説、さらには反対をする人達の主張は、間違っている、あるいは、理解不足との認識が強かった。しかし、世の中には様々な考えがあるのが常であるものだと受け止めたかと思う。一般的には、むしろ、多様な考えがある方が健全な社会であろう。

1986年のチェルノブイリ事故の際は電事連で広報担当をしていた。その際は、メディアと記者側にも問題はあつたものの、自分達の中にも問題が多々あるということ強く感じた。

“理屈で理解させよう”や“力任せの説得”で成果を得ることは難しい。そのような方法はむしろ反発を招くことすらあるのであって、目指すべきは“共感・納得”を得ることである。これは、説明する人、される人双方の人格をさらけ出すことによって実現されることが多い。説明する人の“全人格的要素”が試されることになる。

## II. すぐ頭に入る反対派のキャッチ

### フレーズ・わかりにくい事業者の説明

1986年のチェルノブイリ事故以降、反対運動は大きく変化した。輸入農産物等への微量な放射能汚染が検疫で見つかり、チェルノブイリ事故という原子力発電所での事故が一般家庭の食の安全問題と結び付いた。原子力の安全問題が、“食の安全問題”あるいは、“食卓での安全議論”に変わったのだ。それまでとは異なった人たちが、原子力反対運動に加わり始めた。

*Looking back on Public Information by Nuclear Utilities and Recommending an Approach using Dialogue for Improving Reliable Relationship between Media and Utilities : Teruaki MASUMOTO.*

(2008年 5月7日 受理)



1988年2月に行われた四国電力伊方1号機の出力調整運転阻止運動は、それまでの政党や労働組合主導の運動から、市民型運動へと変質を見せた。それまでに経験したことの無い社会的な“うねり”ともいえる現象が全国に広がっていった。記憶に鮮明に残っているのは、反対の人たちのキャッチフレーズだ。一般人にわかりやすく、頭に入りやすい。私が覚えているものを挙げてみたい。当時、新進の歌人・俵まち氏のベストセラー歌集“サラダ記念日”をもじり“原発サラバ記念日”。また、その年の夏に北海道で運動を展開した際に使われたコピーは、ちょうど、北海道電力泊発電所が日本で37(ミナ)番目の原子力発電所として運転開始直前だったことをもじって“泊(とまり)止め(とめ)れば、ミナ(37)止(とま)る”。さらには、北陸電力の志賀1号立地(旧能登)に反対して、“ノット原発”。残念ながら、一度耳にすれば、忘れないような見事なキャッチフレーズである。

対するに、電力の説明はわかり難く、到底、直ぐに頭に残るようなものではなかった。反省を込めていえば、電力サイドは、メッセージを出すことで頭が一杯で、市民にメッセージをどう受け止められるかなどということを考える余裕がなかった。

一般の人たちが、しっかりと受け止めてくれるメッセージを出すには、“相手を知り、己を知る”ことが大切である。そのうえで説明の仕方を考えるべきである。皆が共有できる単語を選び、言葉を一つ一つチェックしていく必要がある。広報マンは、まずは、案件についての自分のイメージを作ってみることが大切だと考える。そのイメージに基づいて、相手の立場に立ってわかり易く説明することが重要な点だ。自らの発信する情報の持つ弱さや、課題を知っておくことも欠かせない。

### Ⅲ. メディアとの信頼関係の醸成には

一般的に、原子力案件は、発表を現場、本社、自治体、行政庁の4ヶ所で行うので、その間に齟齬がないよう調整が必要になり、どうしても時間を要する。一方で、メディアはせつかちだ。発電所と地元自治体との何分以内連絡や発表などの約束が先行することになるが、事情の説明も大切である。特に、東電の場合、発電所敷地は広く、プラントは大きい。発電所職員ですら、プラントの状況把握には時間を要することが少なくない。急いでいる時には、こうした事情の説明がややもすれば言い訳になってしまう。このようなことを避けるためには、普段の信頼関係をもとに、平常時に状況を理解しておいてもらうことが大切である。

思えば、昨年の中越沖地震の際には、現場では、被害状況の把握ですら大変だった。メディアが押しかけてきて、すぐ情報を出せと迫る。関係者の大変さが手に取るようにわかる。

軽水炉開発初期の昭和45年頃から今日に至るまでの間に、原子力の技術はかなり改善を重ねられ、進歩してきた。米国で開発された技術を取り込んで、走りながら改善してきた結果である。その代表的事例のひとつは、燃料だろう。7×7が今では9×9に改良され、さらにその上を行こうとしている。ウラン燃料から取り出すエネルギーの総量も大幅に改善された。燃料棒の内側のライナー、ペレットの品質向上なども素晴らしいものがある。定検で圧力容器の蓋を開けると、燃料棒にピンホールがかなりあったなどということも、つい最近のこのように思い出される。

原子力は、不具合やトラブルを公表したとたんに、厳しく問題の追求を受けるケースが少なくない。それだけに、地道な努力や改善について説明する機会が少ない。軽水炉の改善には語るべきものが多いにもかかわらず、残念なことである。関係者には、これからも、軽水炉のトラブルと改善の歴史を十分に知り、語ってほしい。メディアの中には、こうした技術改善について関心を持って貰える人がいるに違いない。なぜならば、そこには多くの場合、大小の人間ドラマがあるからである。メディアの皆さんにどうやって関心を持ってもらうか、大いに考え工夫してもらいたい。

メディアとの信頼関係は、たった一つのトラブル対応の拙さでダメになることもある。大事な場面で、メディアの皆さんにどういう情報を出し、どう理解して貰うかを考え、普段の努力を積み重ねてゆき信頼関係を築いていってもらいたい。同時にメディアの方々には、原子力発電所で働く人々の苦勞する姿や悩んでいる姿、そして、努力の様を見てほしい。働く者達に共感してもらいたいと思う。これは、メディアの人達への大いなる期待である。

### Ⅳ. 毅然とした対応も必要

自分の意見と決定的に違いや誤りの報道に対しては、立場を明確にしたうえで、毅然として対応することが必要である。企業は事業の責任を取ることで企業のガバナンスを保っている。一方、メディアは普通、報道の責任を明確にしないことが少なくない。ちょっとした記事で、あるいは表現で、原子力関係者はダメージを受ける。こうしたケースの対応は難しいが、メディアの有する影響力の大きさを考えると、第三者の力を借りてでもその責任を問うべきであると考え。まず、クレームを伝える。抗議という形が普通だろう。最近では、ホームページやウェブサイトなどを活用することも必要だ。解釈の違いもありうるわけだから、関係者は、しっかりと主張をこうした場で、行うことも大切だ。ただし、こちらの主張が、一方的なものでなく、読んだ人達がなるほどと受け止めるような主張でなくてははいけないことはい

うまでもない。

## V. 説明や説得よりダイアローグの推進を！

最近、特に、広報においては、説得や説明ではなく、“ダイアローグ”，いわゆる“対話”がきわめて重要な要素であると感じる。その“対話”を進めるに当たっては、“信頼”が必要であり、“信頼”なくして、いかなる言葉も相手に通じない。コミュニケーションは、信頼関係を維持した上で対話を通して成立する。

一般的に、記者は長くても2年で交代する。したがって、なかなか専門的な知識を蓄えにくい。広報関係者は、ジャーナリストが“自己表現したい人達”だということを、よく踏まえる必要がある。一方、広報は、ややもすれば教えてやろうという傾向になりがちである。記者会見がレクチャー型になりがちなのも気懸りである。

記者とのやり取りを通じて記者の関心を知り、それを踏まえて、更なるやり取りをする。対話である。そのやり取りの中から、信頼関係が生まれる。これは、一種の真剣勝負のような様相すらある。

広報は、ただ、情報を発信する側から変質し、積極的

にアプローチし、聞いてくれという姿勢も大切である。これは、ダイアローグの出発点にもなる。

広報関係者は、中越沖地震の際の報道から貴重な教訓を得た。とりわけテレビは、文字のメディアとは決定的な違いがあることを再認識した。テレビの影響力の大きさを考えると、事業者は今後、テレビ報道への対応を一層勉強する必要がある。即時的、直観的に訴えることをわきまえて、どのような報道を期待するかを真剣に考えねばならない。

現在ならびにこれからの時代を支える若い人たちは、これまでの経験を踏まえ、社会から信頼を得られる広報になるよう努力してほしい。そのためにシニアの経験を活用してほしいと念じている。

### 著者紹介

榎本晃章(ますもと・てるあき)



東京電力(株)広報部長，取締役副社長，電気事業連合会副会長等を歴任，現在東京電力(株)顧問

(関心分野)地球温暖化をめぐる国内外動向と対策，世界エネルギー動静

## From Editors 編集委員会からのお知らせ

○学会誌記事執筆者のための  
テンプレートを用意しました  
執筆要領と合わせてご覧下さい



<http://www.soc.nii.ac.jp/aesj/atomos/mokuji.html>

—最近の編集委員会の話題より—

(8月1日 第2回学会誌編集幹事会、  
8月8日 第2回論文誌編集幹事会)

### 【学会誌関係】

- ・50周年記念特集号と通常号の50周年記念記事の掲載計画について説明があった。各部会等にも順次寄稿を依頼している。
- ・予算管理のため、学会誌編集委員会所掌分記事62ページ、会報等学会関連記事9ページで毎月厳密に行うこととした。学会誌HPに記事作成手順や執筆要領、執筆用テンプレートを掲載している。
- ・巻頭言、時論、座談会等の企画を検討した。50周年座談会を8、9月に実施予定。

- ・主要記事(解説・講演・報告・特集等)については、過去のWEBアンケート結果を参考に、幅広く、バランスよく、会員が望む記事作成に努める。また、投稿記事の掲載基準について議論し、学会誌に掲載する価値があり、広く読まれる記事かどうかで判断することとした。
- ・学会誌に保全関係の記事が少ないとの意見があり、今後検討することとした。

### 【論文誌関係】

- ・編集委員会からの論文賞推薦候補論文を検討した。現状候補者は会員に限られているが、今後、著者が会員外の論文の推薦についても検討したい。
- ・査読の遅延対策について検討している。
- ・英文論文誌の2007年のインパクトファクターは0.497とやや低下。向上策について検討を開始する。

編集委員会連絡先 [hensyu@aesj.or.jp](mailto:hensyu@aesj.or.jp)

## 報告

# 「原子炉出力向上」はどのようにすれば実現できるか

## 講演会「原子炉出力向上に関する技術検討評価」を開催

「原子炉出力向上に関する技術  
検討評価」特別専門委員会 主査 岡本 孝司

平成20年4月2日、東京大学武田先端知ビル武田ホールで「原子炉出力向上に関する技術検討評価」特別専門委員会(以下、「特別専門委員会」という)の主催で講演会「原子炉出力向上に関する技術検討評価」が開催された。当日は、大学関係者、研究機関、電気事業者、メーカー、その他の幅広い関係機関から100余名の参加者を得て、澤田 隆氏(三菱重工、原子力学会前理事)の進行の下、活発な議論が交わされた。本稿では、この講演会の開催趣旨、講演会当日の議論の様子などについて報告する。なお、「特別専門委員会」の成果については、別途特集記事として掲載を予定している。

### I. 「講演会」開催の背景と趣旨

まず、特別専門委員会岡本主査(東京大学)の開催挨拶から講演会開催の背景と趣旨を紹介する。

2005年2月に京都議定書が発効され、二酸化炭素などの温暖化ガスを極力排出しないエネルギー供給システムの確立が急務となっている。さらに、エネルギーセキュリティの観点からも、エネルギー資源の効率よい利用が重要となっている。原子力発電システムは、これらの観点から優れたシステムであり、わが国の電気エネルギーの重要な供給源である。また、「原子力政策大綱」(平成17年10月)において、安全確保の観点から、技術的妥当性を十分検討したうえで原子炉定格出力を増加する「原子炉出力向上」への取組みが期待されている。

このような背景のもと、平成16年度に原子力学会で原子力発電の安全研究ロードマップ(軽水炉利用高度化)が策定され、その中で課題とされた原子炉出力向上に取り組むべく、平成17年9月に特別専門委員会を設置した。

この特別専門委員会での2年間の研究成果を、多くの専門家の方々に紹介し、多様な観点から意見、評価などをうけることを趣旨として、今回の講演会を企画した。

### II. 「特別専門委員会」の研究成果は どのようなものか

講演会ではまず、特別専門委員会の委員から各研究成果について説明が行われた。

#### 1. 「原子炉出力向上に関する技術検討評価」の 背景と目的

原子炉出力向上への取組みが期待される中、原子力学会の活動として特別専門委員会を設置し、わが国での原

子炉出力向上に向けた技術検討評価を実施し、超音波流量計に関する技術検討と原子炉出力向上の安全性を確保するための具体的な道筋(手段)を示すことを目的に2年間の活動を行ったことが紹介された。

#### 2. 欧米における原子炉出力向上の状況

欧米においては、数%から20%程度の出力増加が1970年代から実施されており、延べ約160件の認可実績がある。認可されたプラントを見てみると、運転年数に関わらず幅広く認可されていること、また、いくつかのトラブル事例があるものの安全性を本質的に損なうものはないことなどが紹介された。なお、最近の動向としてフランスでも3%程度の出力向上を行うとの情報があることが補足説明された。

(補足) 原子炉出力向上のタイプは、以下のように大別できる(米NRC分類を参考とした)。

- (1) 原子炉の安全解析は、給水流量の計測不確かさを考慮して102%出力での解析を実施しており、この計測不確かさを低減することによって2%以下の出力向上を行う測定精度改善(MU型)のタイプ
- (2) 主要設備の改造(ほぼ現状または小規模改造で7%までの出力向上：S型、大規模改造で20%程度の出力



「講演会」の様子



向上：E型)によって出力向上を行うタイプ

### 3. 超音波流量計の技術検討評価

超音波流量計の各型式(Chordal, ExternalおよびCrossflow)に対する流量計測の不確かさについて検討評価が行われ、ExternalおよびCrossflow型は実機レイノズル数付近での試験により高レイノズル数への外挿性を評価することを推奨、Chordal型は外挿性が比較的高い等の結果が報告された。これらの検討結果を参考に、高レイノズル数試験と組み合わせることで、超音波流量計による測定精度改善(MU)型出力向上は技術的に可能であること、また今後、ECCS性能評価指針等の指針の合理的な改訂および不確かさの標準的手法の確立が望まれるなどの提言があった。

### 4. 安全上評価すべき項目の検討と結果

原子炉出力向上に際して安全上評価すべき項目については、出力向上に伴い変化するプラントパラメータと設備への影響を検討し、原子炉の設置許可申請書をベースに評価すべき項目を網羅的に抽出した。これらの項目は、事故・過渡解析で評価される燃料被覆管温度、反応度停止余裕などの「安全評価に係る項目」と、中性子束や蒸気流量の増加などによる「設備への影響を評価すべき項目」に分類し、検討・評価したことが報告された。

### 5. 安全評価への影響の検討と結果

安全評価への影響検討は、「安全評価に係る項目」を概略評価で安全性の見通しが得られる項目と、注目すべき項目に分類し、後者についてはBWRの例(出力向上量7%)とPWRの例(出力向上量9%)を解析評価した。その結果、いずれの安全評価項目も判断基準を逸脱するものはなく、安全性を確保できる見通しが得られたことが報告された。

### 6. 設備への影響に関する検討と評価

「設備への影響を評価すべき項目」については、重要な項目として、原子炉圧力容器の中性子照射脆化、配管減肉およびBWR蒸気乾燥器の音響共鳴振動疲労について検討された結果が報告された。これらは、いずれも現在適用可能な既存の技術で対応可能であり、これらを適切に適用することによりプラントの安全性は確保できることが報告された。

### 7. まとめと提言

原子炉出力向上に際して安全上評価すべき項目について、幅広い調査・検討を実施した結果、わが国においても現在の知見と技術に基づき適切に対応すれば十分な安全性を確保した原子炉出力向上は実施可能であり、積極的な取組みが望まれること。また、原子炉出力向上の実施にあたっては個別プラントごとに評価し、設計や保全管理で適切に対応していくことが重要であることが報告された。さらに、将来に向けて安全かつ合理的に、より大幅な原子炉出力向上を目指すため、安全評価手法の高度化および新燃料の研究開発・導入などを推進する必要

があること、リスク情報の活用が推進されていくことを期待することが提言された。

## Ⅲ. 専門家による議論・評価

特別専門委員会からの成果発表後、この特別専門委員会に参加されていない専門家の方々から客観的評価を受けるため、杉山憲一郎氏(北海道大学)、竹田敏一氏(大阪大学)、三島嘉一郎氏(京都大学)、関村直人氏(東京大学)の各氏に講評をお願いした。以下にその概要を報告する。

### (1) 杉山 憲一郎氏(北海道大学)

今回の原子炉の出力向上に関する技術検討評価に関する結果およびまとめについては、同意する。現在の地球温暖化などの問題を考えると、日本のこれから進むべき道程のスタート点として良い地点にいるといえるが、一方では産業界としてこの成果を活かし、出力向上を実現するために必要な人材の確保等を含めた体制の整備が課題と考える。

日本は諸外国と比べると小中高校生の科学技術に対する理解が劣っている。これは、教育の問題があると認識している。このままでは、次世代の人々は原子力をマスコミ情報で理解してしまう。そこで、このような現状を踏まえて、今回の特別専門委員会の成果をどのように展開したらよいか提言したい。それは、今回の成果を原子力学会・機械学会の先生方の情報として大学で講義できるように展開するということである。大学の使命は21世紀の機能的、総合的な視点で戦略的に講義展開することである。今回の内容は原子炉のみならず、振動、材料などハードの技術から深層防護やリスクなど非常に大事な内容が含まれている。こういうものが大学の講義に盛り込まれ、ごく自然に学生が身に付けられるようになっていくべきである。今回の特別専門委員会には、原子力学会や機械学会の先生方の情報として使用できる形で展開していただきたい。また、北海道大学での原子力人材育成の一つとして講義展開をしていただくことを私からの提言とさせていただきます。

### (2) 竹田 敏一氏(大阪大学)

この技術検討評価は、原子炉出力向上の安全性を評価するために何を評価したらよいかなど総合的に考えられており、よくまとまった報告書になっている。日本は、新しい解析手法などを認めるシステム作りが遅れている。力を合せてこれを乗り越え、新しい手法、物理的な現象を忠実にとらえている手法、統計的手法も含めて日本で認められるようにしていかなないと、日本が世界に遅れをとってしまう。

原子炉出力向上を実施していくことは、新しい解析手法を認めるシステム作りを進めることにもなり積極的な取組みを期待したい。

**(3) 三島 嘉一郎氏(京都大学)**

今回の報告書が、原子炉出力向上は現行の規制体系の範囲内で可能とまとめていることについては同意する。

測定精度改善(MU)型出力向上については、超音波流量計の精度について1%とか2%というような僅かな誤差を問題にされるなら、信頼性の高い試験データを取って議論すべきである。その点で実際のプラントと同様のRe数領域でデータを取れる産総研の装置を活用すべきではないか。

出力向上アップ量が比較的大きくなるS型、E型については、特に配管減肉管理基準がバラツキのあるデータをもとに策定されているので、もう少しパラメータを押さえてデータを取れば、管理をもっと合理化できると考える。そのようなところも含めて今後検討していったらよい。

今後の課題として、安全評価手法を高度化すべく統計的安全評価手法が原子力学会の標準委員会で検討されている。早期に一般公衆の意見を聴取する公衆審査等の作業を終え、それを規制に取り込んでいただきたい。また、出力アップ量が20%、30%となると、新しい燃料の導入が必ず必要となるが、そのメリットは大きい。今後、そのための検討を始めていく必要がある。さらに、リスク情報をうまく活用すると、国民の福祉向上にもつながるので、規制の側でどういう考え方でこれを取り入れるか考えていただきたい。

**(4) 関村 直人氏(東京大学)**

学会の活用、高経年化、材料劣化、保全技術、燃料、水化学等の観点から述べる。

まず、今回の特別専門委員会は産・官・学が学会という場をうまく活用した良い例であり、素晴らしい活動をしていただいた。

次に、高経年化、材料劣化、保全技術などの観点から、原子炉出力向上をどのように見るべきかについてコメントしたい。高経年化と燃料については、学会等の場もうまく使いながら、技術戦略マップ、ロードマップを策定するという形で議論が進められてきた。原子炉出力向上で必要となる新しい燃料もその中に組み込まれている。水化学についても原子力学会でロードマップが作成されており、おそらく原子炉出力向上はこれとも今後協調していく必要があるだろう。

出力向上という技術は、多分次世代軽水炉の設計開発にスムーズにつながっていくであろうことは想像に難くない。技術開発という面では、今回の成果が次世代軽水炉につながり、世界標準という形で実を結んでいくことを願う。

高経年化や保全技術の観点からは、原子炉出力向上に伴い温度や中性子束などの条件が変わるところをどのようにマネージしたらよいか、という問題点が残されている。

個々の事象ごとで見ればマネージできると考えるが、全体システムとして納得できるものに上げていく必要がある。米国が80年運転の準備を戦略的に検討し始めているように、原子炉出力向上と運転期間の延長を組み合わせた場合を想定した制度的あるいは技術的な検討が必要である。

今回の報告は、非常に広い分野に係る内容であり、リスク評価なども含む総合的な評価手法がきちんと提示されたものと評価する。

**Ⅳ. おわりに**

本講演会の閉会にあたって、各専門家のご講評を踏まえて特別専門委員会の山口副主査(大阪大学)から、以下のまとめと挨拶があった。

今回の特別専門委員会で、様々な課題やその側面が明らかになり、これらについて検討・評価した結論として、原子炉出力向上を選択しないという積極的な理由はないことが明らかになったものと考えられる。そこで、今後、産業界においてはぜひ原子炉出力向上を具体的に展開していくことを期待するとともに、規制する側においても前向きに検討していただき、どのように応えていくのかを示していただきたい。

われわれは原子炉出力向上について先行している米国等の規制や運転経験といった貴重な知見を活用できる状況にあるが、他国での実績をベースにそれを後追いするだけでよいのかということについて、ぜひ考えなければならない。わが国でも様々な新しい取組みを展開する必要があるのではないかと感じる。原子炉出力向上の検討は、原子力エネルギーの利用をもう少し合理的にするうえで入口にある。出力向上を行うか否かを決めるときに、リスク情報を活用してもう少し賢く決めるなど出力向上の周辺にいろいろな課題があり、今後、これらに取り組みでいかなければならない。そういう意味では、本報告書も述べているように、新しい安全解析手法などの開発が必要であり、これらについて学会活動として様々な取組みがなされている。そういった標準についてご意見、ご批判をいただき、より良いものにしていくことが非常に大切なことである。

**著者紹介**

岡本孝司(おかもと・こうじ)



東京大学 人間環境学専攻  
(専門分野/関心分野)原子炉熱流動、可視化環境学など。  
「原子炉出力向上に関する技術検討評価」特別専門委員会主査、保全高度化、廃止措置等の活動も実施

連載  
講座今、核融合炉の壁が熱い！  
—数値モデリングでチャレンジ

## 第4回 IV. 壁の中で何が起きているか？

大阪大学大学院工学研究科 村田 勲, 日本原子力研究開発機構 今野 力

## IV. 壁の中で何が起きているか？

第Ⅲ章で詳しく述べられた通り、核融合炉では、プラズマ内に閉じ込められた荷電粒子が第一壁に激しく衝突している。それらはしかし、そこで即座にエネルギーを失うため、それより深く侵入することはない。一方、プラズマ内では、(1)式に示す核融合反応により、大量の中性子が発生している。中性子は電荷を持たないため壁を透過しやすい。しかもこの中性子のエネルギーは約14 MeVと高く、壁の奥にまで到達できる(残りのエネルギーは $^4\text{He}$ に分配される。詳しくはIV-4(2)項参照)。中性子は、こうして第一壁の外側領域に設置されたブランケットと呼ばれる領域に達し、様々な相互作用(核反応)を引き起こす。この章では、そこで何が起きているのか、について、中性子核反応と数値シミュレーションの助けを借りて説明していく。



## 1. 核融合炉ブランケットとは？

核融合炉ブランケットとは、第IV-1図の中に示されているようなもので<sup>1)</sup>、プラズマ領域を覆うように設置されている。ブランケットの役割は主に3つある(第IV-2図参照)。その第1番目はトリチウム(三重水素( $^3\text{H}$ ))生成である。核融合炉には、(1)式からわかる通り、燃料となるトリチウムが必要である。しかし、トリチウムは放射性同位元素(半減期12.3年)であり、地球上に安定に存在しない。ブランケットには、中性子から核反応により巧妙にトリチウムを作り出す仕組みが備わっている。この仕組みについては、IV-4(1)項で詳しく説明する。

次に、熱への変換がある。核融合炉は発電炉であり、当然、熱を取り出し発電する仕組みが必要である。核融

*The Fusion Reactor Wall is Getting Hot!—A Challenge towards the Future for Numerical Modelling (4) : Chap. IV What is really happening in the wall? : Isao MURATA, Chikara KONNO.*

(2008年 4月3日 受理)

各回タイトル

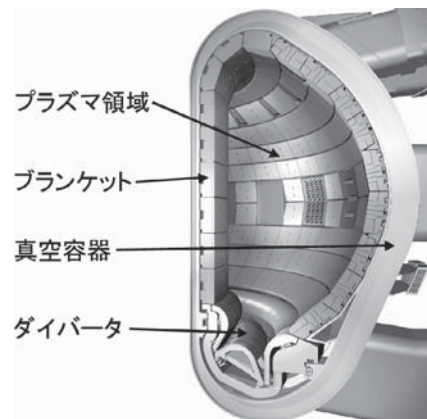
第1回 I. はじめに

II-1 壁の前で何が起きているか？(物理モデル)

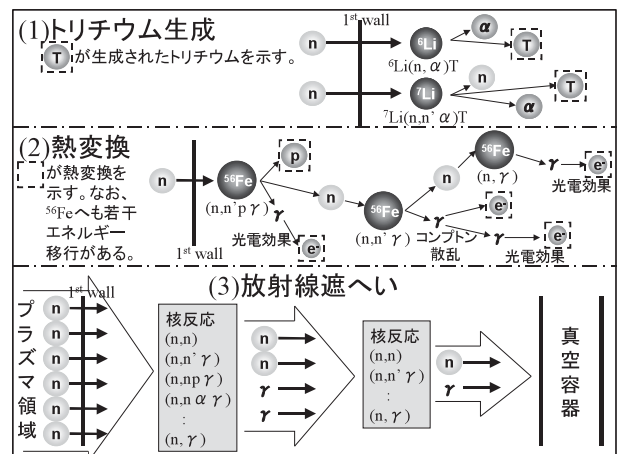
第2回 II-2 壁の前で何が起きているか？(プラズマの攻撃)

第3回 III. 壁の表面で何が起きているか

合炉で発生する熱のもとになるものは(1)式で放出される17.6 MeVの運動エネルギーである。これを熱に変える役割もブランケットは担っている。これについては、第V章で詳しく説明されるが、IV-4(2)項で、その基礎となる核反応について概説する。そして、最後に、放射線の遮へいである。核融合炉の壁には、1 cm<sup>2</sup>あたり毎秒約10<sup>13</sup>~10<sup>14</sup>個の中性子が入射する。後に詳しく示すが、ブランケット内では、中性子の核反応により2次的に多量のガンマ線も発生する。中性子はもちろん、これらのガンマ線も外部に漏れないよう遮へいする機能をブランケットは有している。遮へいについてはIV-4(3)項に示す。ところで、ブランケットには、これら3つのほか、エネルギー増倍機能を持たせることも実は可能であ



第IV-1図 核融合炉断面図



第IV-2図 核融合炉ブランケットの役割



る。あまり一般的ではないためここでは取り上げないが、一つのアイデアとして、ブランケットに核燃料を装荷する核融合・核分裂ハイブリッド炉<sup>2)</sup>が知られている。

ブランケットは、このように50 cm 足らずの厚さの中に、実に様々な機能を凝縮した多機能先進材料ということができる。

## 2. 中性子核反応

すでに述べた通り、ブランケット内で中性子が引き起こす現象には、すべて核反応が関係する。ここでは、後の理解のため中性子の核反応について解説する。

中性子は、電荷がないため荷電粒子とは異なり、原子の大部分の体積を占める電子雲を障壁なく突っ切ることができる。つまり、中性子から見ると、壁は意外とスカスカした状態である。原子を野球場に、原子核を野球場の中にあるゴルフボールに例えることがしばしば行われるが、その中を飛ぶゴルフボールよりかなり小さい粒子が中性子である。つまりそのままでは、なかなか標的に当たらないと思われるが、実は、中性子はとても小さく、そのために波の性質を発現するようになる。その波がゴルフボール(原子核)に引っかかると反応を起こす。したがって、上の描写そのままほどはスカスカではないが、荷電粒子に比べるとはるかに容易に壁の奥まで到達する。

中性子が標的である原子核と反応する確率は barn (バーン) という単位で表される。1 barn =  $1 \times 10^{-24} \text{cm}^2$  である。このように面積単位になることは、上で述べた描写からは理解しやすい。中性子から見て、原子核と衝突する可能性は、その投影面積に依存すると考えられるからである。中性子が原子核と反応すると、2次的に中性子、ガンマ線、荷電粒子が発生する。例えば、中性子が1個放出される核反応は、 $(n, n)$  や  $(n, n')$  等と書かれる。前者は通常、中性子( $n$ )が入射し、その同じ  $n$  が放出されると理解する。いわゆるビリヤードの衝突と同じ現象ということが出来るが、これは残留核が励起されないことを意味している。後者は、残留核が励起されることを意味しており、視覚的のわかり易さのため入射する  $n$  と放出される  $n$  が異なることを明示する'記号が付けられている。なお、 $(n, n)$  反応の場合に“同じ” $n$  が、 $(n, n')$  反応の場合に“異なる” $n$  が、本当に放出されているかどうかについては、実は簡単には断言できない。また、 $n$  を2個放出する場合もあり、 $(n, 2n)$  と書く。一般に、 $x$  個の  $n$  を放出する反応を  $(n, xn)$  と記載することになっている。

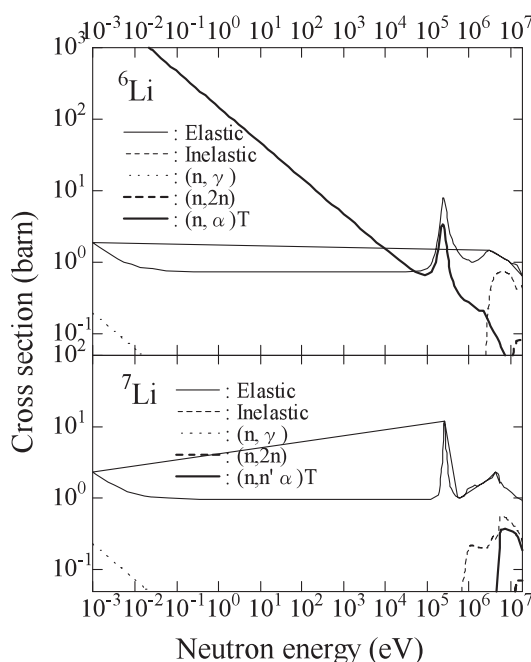
原子核の励起にはエネルギーが必要なので、中性子のエネルギーはその分小さくなる。励起された原子核は通常、すぐに基底状態に戻るが、この時2次ガンマ線( $\gamma$ )を放出する。この反応を  $(n, n'\gamma)$  と書く。荷電粒子を放

出す核反応は、 $(n, p)$ ,  $(n, d)$ ,  $(n, t)$ ,  $(n, \alpha)$  等と記載するが( $p$  は $^1\text{H}$ を、 $d$  は $^2\text{H}$ (本文中ではDとも記載)を、 $t$  は $^3\text{H}$ (本文中ではTとも記載)を、そして $\alpha$  は $^4\text{He}$ を意味する)、すべての場合において、中性子の放出を伴うケースもあるし、残留核が励起されている場合や、ガンマ線の放出を伴う場合もある。 $(n, p)$  の場合で書くと  $(n, np)$  や  $(n, np\gamma)$  となる。そして、最後にガンマ線のみを放出する  $(n, \gamma)$  という反応がある。この反応は、エネルギーの低い中性子で顕著に起こり、中性子を消滅させる反応として知られている。この反応が起こりやすい物質に、例えばカドミウム ( $^{113}\text{Cd}$ ) がある。

このように、若干複雑であるが、これらの核反応の起こる確率(核反応断面積)は、一般的に入射中性子のエネルギーによって大きく変わる。例として、第IV-3図にブランケット材として用いられるリチウムの同位体ごとの核反応断面積のエネルギー依存性を示す<sup>3)</sup>。低エネルギーで $^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$  反応の断面積が著しく大きいことがわかるが、これは $^3\text{He}(n, p)$ ,  $^{10}\text{B}(n, \alpha)$  反応と並び例外的なものである。後で述べるが、この反応により核融合炉の燃料となるトリチウムを生産できる。これら核反応断面積はデータベース(核データライブラリー(詳しくはIV-5節参照))として整備されており、それを用いた詳細な数値シミュレーションにより、どのような材料をどの程度の量、どのように配置すれば、ブランケットに任されている役割が果たされるのかを知ることができる。この作業がブランケットの核設計になる。

## 3. 中性子挙動の数値シミュレーション<sup>4)</sup>

中性子のブランケット内における挙動を理解するには、中性子がそこでどのように振舞うかを正確に知るこ



第IV-3図 リチウム同位体の核反応断面積

とが必要になる。ここでは、そのために行われる数値シミュレーション(中性子輸送計算)について説明する。ブランケット内で中性子が引き起こす現象は、基本的にすべてこの数値シミュレーションに基づき予測される。ある場所の中性子束強度  $\phi(E)$  [ $n/s/cm^2$ ] が中性子輸送計算により正確にわかれば、 $\sigma(E)$  を核反応断面積、 $N$  を原子核数とすると、 $\int N\sigma(E)\phi(E)dE$  を計算することで、その場所でこの核反応がどのくらい起こるかを精度よく評価できる。

中性子輸送を支配する方程式は Boltzmann 方程式と呼ばれ、空間における粒子の生成、消滅、漏洩のバランスを表す方程式である。これをある境界条件に従い解くことになる。例えば、原子炉の計算では、中性子のエネルギーが低いため、拡散法と呼ばれる近似法が用いられる。中性子はその濃度(数密度)の差に比例して拡散するという考え方である。詳細に解析する必要がある場合には、中性子の飛行方向の角度と空間をメッシュ分割することで取り扱う  $S_N$  法と呼ばれる方法が用いられる。しかし、核融合炉では中性子のエネルギーが高く(それにより散乱の非等方向性が大きくなる)、構造も複雑なため、もっと厳密な計算が必要になってくることがある。そのために使われる計算方法がモンテカルロ法である。この方法では、中性子の挙動をできるだけ実際に近い状態で再現することを行う。 $S_N$  法のような空間メッシュも使用しないため、モデル化が厳密に行えることも大きな特徴である。

モンテカルロ法に基づく輸送計算コード(モンテカルロコード)では、中性子を実際に中性子源で発生させ、散乱確率や角度分布等の核反応断面積データベース(核データライブラリー)を参照しながら、乱数を用いたサンプリングにより散乱場所や角度を決定し、実際の物質内輸送を模擬計算する。これをこの粒子が消滅するまで続けるわけである。中性子は、物質内を輸送する間、物質を構成する原子核と相互作用(核反応)を起こし、その結果2次粒子を発生することもある。もちろんこれらの粒子の挙動も厳密に取り扱う。このような計算を多数の粒子について実施すると、その平均は統計的に実際の現象を再現するというのがモンテカルロ法の基本である。しかし、モンテカルロ法には困難さもある。一般的に中性子束の強度は、25 cm 程度のコンクリート壁で1桁程度減衰するといわれているが、そうすると2 m を越えるような壁を透過する中性子の計算は難しくなる。8桁も強度が落ちることになり、これは $10^8$ 個の粒子を発生させることで、ようやく1個の中性子が壁の反対側に到達することを意味するからである。現在の計算機では、1分間にせいぜい10万個程度の粒子しか発生させることができず、つまり、十分な精度をもった計算結果を得るためには相当に時間がかかることになる。これを回避するため、様々な計算上の工夫が提案されており、そのほか

げで次第に実用に耐えるコードが出てきているが、ここではそのことについては触れない。

このような理由から、モンテカルロコードは、これまであまり核施設の設計に使用されてこなかったが、核融合炉では、設計上のツールとして使われるようになってきている。さらに、ここ数年各国で、モンテカルロコードで複雑な3次元形状を持つ核融合炉体系をどのように正確にモデル化するか、という計算技術の研究が盛んに進められている。第IV-4図は日本のグループの結果で、CAD データから直接モンテカルロコード MCNP 用計算モデルを作成するツールを使って作成した、ITER を40度ごとに分割したモデル(ITER 40度モデル)と、その輸送計算結果の一つである ITER の外側真空容器の水平中央部分に開けられたポート(中央ポート)に詰められた遮蔽体(プラグ)に沿った中性子束分布である<sup>5)</sup>。この研究はまだ発展途上であるが、極めて詳細な設計が可能になると期待されている。

#### 4. ブランケットの役割

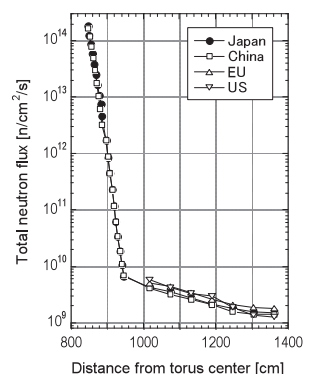
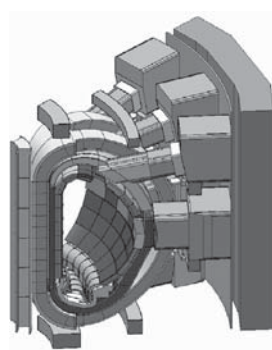
本節では、これまでのことを踏まえながら、ブランケットの役割について詳しく見ていく。なお、熱変換については、V章でより詳細に解説されるのでそちらも参照されたい。

##### (1) トリチウム生成

すでに述べたが、(1)式による核融合炉を成立させるためには、トリチウムを自己充足させる必要がある。つまり、Tを1個消費するごとに、1個より多くのTを作り出さねばならない。これに対する解は現在、ほぼ一つしかないと考えられている。それは、次の核反応を利用することである。



トリチウムの自己充足性を示す指標にはトリチウム増殖比(tritium breeding ratio: TBR)がある。この定義は次式のようなになる。

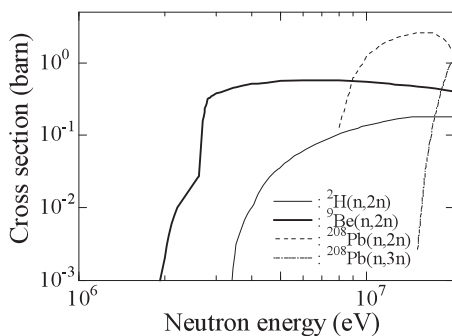


第IV-4図 ITER 40度モデルと計算で得られた中央ポートプラグに沿った中性子束分布

$$TBR = \frac{\text{系内で生成されるトリチウム量}}{\text{系内で消費されるトリチウム量}} \quad (4)$$

トリチウムを作り出す反応は、上記の通り2種類あり、それぞれの部分TBRをT6およびT7と表すことになっている。もちろん、T6は ${}^6\text{Li}$ の反応により生成されるTの分を指し、T7は ${}^7\text{Li}$ により生成されるTの分を指す。つまり、 $TBR = T6 + T7$ となる。 ${}^7\text{Li}$ による反応( ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)T$ )は第IV-3図に示すとおり、 ${}^6\text{Li}(n, \alpha)T$ に比べるとそれほど起こりやすい反応ではないので、 ${}^6\text{Li}$ を主として利用することが有利であると現在は考えられている。しかし ${}^7\text{Li}$ の反応は、反応式から明らか通り中性子のロスがなく、 ${}^6\text{Li}$ と一緒に使用してもマイナスではない。これは ${}^6\text{Li}$ の天然存在比が7.6%と少ないことから出てくる議論であるが、ちなみに現在のITERの設計では、 ${}^6\text{Li}$ は40%濃縮することになっている。いずれにしても、Tの回収時等におけるロスを考えると、Tを1個消費して発生する中性子1個から1個より多くのTを生産しておかねばならないことは明白である。

そこで次に、中性子の数を増やすことを考えることになる。このために使える核反応は $(n, xn)$ があるが、中性子のエネルギーは高々14 MeVなので、利用できる反応は、 $(n, 2n)$ になる(第IV-5図参照)。 $x > 2$ の反応では普通、しきいエネルギー(その核反応が起こり始める入射中性子のエネルギー)が14 MeVを超えてしまうので使えない。現在はBeを使用することが検討・計画されている。なお、 $(n, 2n)$ 反応断面積は、Pb等の重核でも大きいことが知られており、慣性核融合では、液体LiPbを用い、中性子を増倍しながらTを生産することが計画されている。Beは融点が高くとても安定な元素で、 $(n, 2n)$ 反応のしきい値も約1.8 MeVとDとともに例外的に低い。この反応により生成される粒子は $2n + 2\alpha$ であり、運動エネルギーの熱への変換にも寄与しやすく、また、中性子を減速する能力が高いことでも知られている。Beを適当に配置し、 $\text{Be}(n, 2n)$ 反応により中性子を増倍・減速することで、効果的に ${}^6\text{Li}(n, \alpha)T$ 反応を起こさせる設計がなされている。なお、第IV-1表に示す通り、これまでの研究により、Beを使用する



第IV-5図  $(n, 2n)$ 反応断面積

第IV-1表 球体系によるTBR実験の計算との比較<sup>6)</sup>  
(点線源-隙間(5.7 cm)-Be(11.65 cm)-Li(40 cm)-C(20 cm))

| 評価方法                    | T 6  | T 7  | TBR         |
|-------------------------|------|------|-------------|
| JENDL-3 <sup>a)</sup>   | 1.17 | 0.25 | 1.42        |
| ENDF/B-IV <sup>b)</sup> | 1.23 | 0.24 | 1.47        |
| 実験値                     | —    | —    | 1.46 ± 0.09 |

<sup>a)</sup>日本の核データライブラリーによる計算値

<sup>b)</sup>米国の核データライブラリーによる計算値

ことで、 $TBR > 1$ が余裕を持って実現できることが実験的に確かめられている<sup>6)</sup>。

### (2) 熱への変換

トリチウムの自己充足はとても重要である。しかし、核融合炉は発電炉であるから、運動エネルギーを熱に変換し取り出すことが必要になる。ただ、トリチウム生産から来る要求は避けられないので、LiやBeがある程度配置された状態が設計のスタートラインにならざるを得ない。その隙間に、除熱するための流体を流すことになる。この項では、核反応の観点から、中性子の運動エネルギーがどのように熱エネルギーへ変換されるかについて説明する。

やるべきことは、核反応の結果放出される反応当たり17.6 MeVのエネルギーをどうやって熱に変換するかということに尽きる。しかし、このエネルギーはすべて使えるわけではない。17.6 MeVは放出粒子の質量の逆比により分配され( $E_n : E_\alpha = 4 : 1$ )、3.5 MeVが $\alpha$ 粒子に与えられる。これは、主としてプラズマを加熱するために使用される。残りの14.1 MeVが中性子に与えられるが、この中性子の運動エネルギーを熱エネルギーとして取り出すことが必要になる。すでに述べたが、荷電粒子の場合には、物質を構成する原子と直接相互作用を起こすことで、簡単にその運動エネルギーが物質に移行され、結果的にその物質の温度を上昇させる。しかし、中性子は、原子核としか相互作用を起こさない。中性子は物質内でおおむね $\sim 1/(n\sigma)$ <sup>a)</sup>[cm]程度進んだら1回原子核と反応を起こし、その結果、2次的に中性子、ガンマ線、荷電粒子を放出する。入射中性子のエネルギーが比較的高い場合、荷電粒子を放出する反応( $(n, p)$ ,  $(n, \alpha)$ ,  $(n, n'p)$ 等)を起こし、中性子はそのエネルギーを失う。中性子は、この1回の核反応で消滅してしまう場合もあるが、2次中性子が放出されることも多く、実は中性子はなかなか消滅しない。2次中性子のエネル

<sup>a)</sup>平均自由行程(mean free path:MFP)として知られる物理量である。この程度、中性子が進むと核反応が1回起こる距離として知られている。 $\sigma$ は核反応全断面積[ $10^{-24}\text{cm}^2$ ],  $n$ は原子数密度[ $10^{24}\text{個}/\text{cm}^3$ ]を表す。14 MeV中性子のMFPは、水で10 cm, 鉄で5 cm程度。熱中性子( $\sim 0.025\text{eV}$ )では、それぞれ0.7 cmおよび0.9 cm程度となる。



ギーは、核反応にエネルギーが使われるので、その分だけ入射中性子より小さくなる。中性子はその後も原子核と $(n, n)$ や $(n, n')$ 反応等を繰り返し、エネルギーを失っていく。そして、最終的に体系外に漏れるか、もしくは、低エネルギーで支配的な核反応である $(n, \gamma)$ 反応を起こし消滅する。発生したガンマ線は、良く知られている通り、主として3つの相互作用(光電効果, コンプトン散乱, 電子対生成)により、そのエネルギーを全て電子に移す(第IV-2図参照)。

このように中性子は、直接運動エネルギーを熱エネルギーに変換することはできない。しかし、様々な核反応により、そのエネルギーを荷電粒子およびガンマ線に移すことで、その運動エネルギーをすべて熱エネルギーに変換するのである。

### (3) 放射線遮へい

ブランケットは、これまで述べてきたトリチウムの生成と熱変換という重責を担いながら、さらに、その外側に存在する機器および人の放射線被ばくを極力少なくする機能も有する必要がある。ただし、放射線が漏れ出るとは、エネルギーが漏れ出ることでもあることから、熱変換機能とは相容れる設計となることはプラス要因といえる。

核融合中性子の遮へいは若干難しい面がある。エネルギーの高い中性子とエネルギーの低い中性子の挙動が異なるためである。遮へいの基本的な考え方は核分裂炉と同じであるが、少しだけ工夫を要する。まず、中性子の遮へいは、“もの”を置いて遮るだけでは無理である。中性子そのものを消滅させる必要があるからである。その方法は、まず、中性子のエネルギーを十分に下げることから始める。初めは14 MeVと高いが、いわゆる熱中性子( $E_n=0.025$  eV)と呼ばれる領域まで9桁ほどエネルギーを下げる。そして、 $(n, \gamma)$ 反応のような中性子を消滅する反応を起こさせる。この反応は、すでに述べたとおり、例えば $^{113}\text{Cd}(n, \gamma)$ でもよいし、 $^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$ でもよい。第IV-3図に示す通りそれらの反応断面積は一般的にとっても大きく、中性子は消滅を免れない。中性子のエネルギーを下げるには、衝突によりエネルギーの一部をはぎ取っていけばよい。一般的に軽い核種が効果的であることが知られている。これは解析計算で確かめることができるが、ビリヤードを思い浮かべるとその物理が理解できる。ビリヤードでは、打った球(白球)が、別の球(黒玉)に衝突し止まることが時々ある(これを完全弾性衝突という)。この黒玉がもし鉛のように重たいものだったらどうなるだろうか。おそらく、当たる球(白玉)があまりに軽いため、鉛の黒玉は少しだけ動き、白玉は跳ね返るだけだろう。結局、白玉を中性子と考えると、方向は変えられたが、エネルギー(つまり速度)は減っていない、ということになる。

以上の考察から、中性子と重さが近い水素や重水素を

用いると中性子の減速には有利であることがわかる。しかし、これらの核は、14 MeV付近で断面積があまり大きくないため平均自由行程が大きくなり、結果的に壁の奥まで到達しやすい状況を招いてしまう。そこで鉄等、14 MeV付近での断面積が大きい(つまり、平均自由行程が小さい)材料を使用し、核反応が早めに起こるようにする。ビリヤードの原理で、減速はしないが、中性子の流れ(つまり、核融合炉ではプラズマから外に向かう中性子流)はせき止められ、中性子は周りに散らされる。その後、中性子を減速しやすい軽い核で減速し、最後に中性子を吸収しやすい物質で消滅させる(核融合炉の場合は、鉄がこの役割も果たしている)。これが一般的な手順になる。実際のブランケットでは、それよりもトリチウムを生産することの方が重要なため、上の手順そのままは使えない。しかし、そのことを踏まえて、優先するものは優先し、取り入れられる手法は取り入れ、適切に設計がなされている。

いずれにしても、ブランケットは50 cm程度の厚さしかないため、完全な遮へいはなかなか難しい。 $^6\text{Li}$ を使うことは、トリチウム生成と遮へいの両方に寄与するため、とても良いが、構造材等で発生する2次 $\gamma$ 線は少々厄介である。厚い $\gamma$ 線遮へい体をおくことは、空間の有効利用からは少しもったいない。ただし、ブランケットの外側にも真空容器があり、そのさらに外側には生体遮へい体が設置してあるため、50 cmで止められないことは致命的ではない。しかし、漏れが多くなることは、熱変換の観点からは少し損になる。

## 5. 核データライブラリーの重要性

ここまで、数値シミュレーション結果に基づき、核融合炉ブランケット内で起こっていることを解説してきた。核融合炉ブランケット内の挙動を正確に知るためには数値シミュレーション(輸送計算)技術が重要であることは議論を待たないが、実は、それと同様に重要なのがそこで使用される核反応断面積データベース(核データライブラリー)である。これについては、長年にわたって、日本原子力研究開発機構および大学を中心に多くの努力が払われ<sup>7)</sup>、その精度は設計に耐えられる程度にまで向上してきた。日本では現在JENDL-3.3<sup>8)</sup>が公開されているが、さらに次世代核データライブラリー(JENDL-4)公開に向けた研究が着々と進められている。国際的には、核融合炉設計用核データとして、FENDL(最新版はFENDL-2.1<sup>9)</sup>)が整備され、標準的に使用されている。核データの精度向上は核融合炉の設計精度向上に直接結びつく重要なものであることを忘れてはならない。

## 6. まとめ

第一壁のうしろに存在する核融合炉ブランケットには、プラズマ領域で大量に発生する14 MeV中性子か

ら、トリチウムを生産し、またその運動エネルギーを熱に変換する巧妙な仕組みが備え付けられている。しかし、50 cm 程度の厚さの中でそれらをすべて実現することは容易ではない。中性子が、ブランケットの厚さ方向に、その強度とエネルギーを数桁から最大約10桁も減衰させる事実を考える時、その予測を担当する数値シミュレーション技術にはまだまだ高度化が要求されるだろう。

#### —参考文献—

- 1) <http://www.iter.org/>
- 2) I. Murata, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **75-79**, 871 (2005).
- 3) [http://www.ndc.jaea.go.jp/index\\_J.html](http://www.ndc.jaea.go.jp/index_J.html)
- 4) 小林啓祐, 原子炉物理, コロナ社, (1996); モンテカルロ計算ハンドブック, 日本原子力学会, (2006).
- 5) S. Sato, *et al.*, Presented in the 11<sup>th</sup> International Conference on Radiation Shielding, April 14-18, 2008, Pine Mountain, Georgia, USA.
- 6) K. Sumita, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **18**, 355 (1991).

- 7) I. Murata, *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **Supl.2**, 1112 (2002).
- 8) K. Shibata, *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **39**, 1125 (2002).
- 9) D. L. Aldama, A. Trkov, INDC(NDS)-467, IAEA, (2004).

#### 著者紹介

村田 勲(むらた・いさお)



大阪大学

(専門分野/関心分野)中性子科学/中性子核反応断面積, モンテカルロ粒子輸送理論, BNCT用加速器中性子源

今野 力(こんの・ちから)



日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野)核融合中性子工学の実験的研究



## 書評

### 激動の世紀を生きて —あるユダヤ系科学者の回想

ロバート・W. カーン著, 小岩昌宏訳, 201 p. (2008. 1),  
アグネ技術センター,  
(価格2,000円+税) ISBN 978-4901496391

本書の著者, R. W. Cahn は, 材料分野では著名な研究者で, 本会会員にも多数の読者がいる核燃料, 材料分野の国際専門誌 *Journal of Nuclear Materials* の創始者でもある。第2次大戦中の少年時代, ユダヤ系ドイツ人として大変な苦勞の末, 英国に渡り, ケンブリッジ大学を卒業, 学位取得の研究をハーウエル原子力研究所で行い, 当時の金属ウラン燃料で問題だった双晶変形や, 現在, 燃料のリム効果でも関心もたれているポリゴニゼーションの発見など独創的な研究を行っている。若くしてオランダの出版社から上記国際誌の創設を依頼され, 長らくチーフエディターを務めた。1950年代米国で材料科学という学問分野が作られ世界中に広まったが, 同氏は英国で最初の材料科学科教授(サセックス大学)になった方でもある。昨年亡くなるまでの波乱に満ちた人生

を, 率直で肩の凝らない筆致で描いている。

本書は, 著者と親交の深かった小岩昌宏氏(京都大学名誉教授)が出版前に著者から送られた電子原稿を元に, 雑誌「金属」に連載されたものを1冊の本にまとめたもので, 通常のように外国で出版された本を日本語に直したという一般の翻訳書とは異なる。実際に英国の出版社から出版されたものでは, 本訳書の5章の「転位論」に関する章は削除されているが, この章には, 例えば上述の高燃焼度燃料で関係深いポリゴニゼーションの発見の経緯なども書かれており, その意味で英語版よりも価値が高い。訳者は頻繁に著者と連絡をとって写真なども訳者撮影のものを使うなど, 原著と比べて, 日本の読者にとってははるかに読みやすいものとなっている。文章は翻訳物と思わせない名訳である。誠に残念なことに, Cahn氏は連載の最終号(2007年3月号)を見届けるかのように2007年4月9日に亡くなった。同氏が創始した *Journal of Nuclear Materials* 誌では2008年7月15日刊行の最新号で同氏の追悼記事を掲載している。



(東京大学名誉教授,

*Journal of Nuclear Materials* エディター・石野 栞)

連載  
講座軽水炉プラント  
—その半世紀の進化のあゆみ第12回 日本の軽水炉開発(6)  
—第2次改良標準化計画(BWR)

日立 GE ニュークリア・エナジー(株) 吉川和宏, 守屋公三

## I. はじめに

連載講座第10回では、国内における改良標準化計画の概要ならびにBWRの第1次改良標準化について取り上げた。今回は、引き続き実施された第2次改良標準化について、BWR設計の観点から説明する。

## II. BWR 第2次改良標準化計画

## 1. 第1次改良標準化から第2次改良標準化へ

昭和50年度から昭和52年度にかけて実施された第1次改良標準化計画により、第1次標準化プラントは従業員の作業性、被ばくおよび信頼性の面で従来プラントに対して大幅な改善を達成することができた。第2次改良標準化は引き続き昭和53年度から昭和55年度にかけて実施されたもので、第1次改良標準化の成果をベースに、機器・システム等に更に改良を加えるとともに、標準化範囲の拡大等を行うことで「日本型軽水炉」を確立することを目的として掲げていた。第1表に第2次改良標準化計画における目標を示す。以下、改良策と標準化それぞれ

*LWR-Plants - Their Evolutionary Progress in the Last Half-Century—(12): Light Water Reactors Development in Japan*⑥; *Improvement and Standardization of BWR (Second step)*: Kazuhiro YOSHIKAWA, Kimiaki MORIYA. (2008年 7月15日 受理)

各回タイトル

- 第1回 原子力発電前史
- 第2回 軽水型発電炉の誕生
- 第3回 日本の研究用原子炉の始まり
- 第4回 日本の原子力発電の始まり
- 第5回 米国および日本の軽水炉の改良研究(PWR) —シッピングポートから美浜1号機まで
- 第6回 軽水炉の改良研究(BWR) —ドレスデンから敦賀1号炉まで
- 第7回 日本の軽水炉開発(1)—軽水炉の導入(PWR)
- 第8回 日本の軽水炉開発(2)—軽水炉の導入(BWR)
- 第9回 日本の軽水炉開発(3)—PWRの改良標準化①
- 第10回 日本の軽水炉開発(4) —第1次改良標準化計画(BWR)
- 第11回 日本の軽水炉開発(5)—PWRの改良標準化②

第1表 第2次改良標準化目標

|         | 従来のプラント                | 第1次標準化プラントの推定 | 第2次改良標準化の目標 |
|---------|------------------------|---------------|-------------|
| 信頼性     | 一部のプラントで要補修箇所          | ノートラブル        | ノートラブル      |
| 定期検査日数  | 90~100日<br>(補修工事がない場合) | 85日程度         | 70日程度       |
| 稼働率     | プラントによりかなり異なる          | 75%程度         | 80%程度       |
| 時間稼働率   |                        | 70%以上         | 75%以上       |
| 設備利用率   |                        |               |             |
| 従業員の被ばく | (100%とする)              | 65~75%        | 30~50%      |

について述べる。

## 2. BWR 第2次改良

改良計画については、昭和52年度に策定された第1次標準化プラントをベースとして、機器システムにさらに改良を加え、プラントの一層の信頼性確保、トラブルの根絶、稼働率向上、被ばく低減を図るための改良が進められた。主なものを以下に挙げる。

## (1) 燃料および炉心設計等の改良

当時、すでに燃料破損の発生はほとんど見られなくなっており、燃料および炉心設計等については、稼働率向上の観点からの改良が行われた。

## (a) 燃料の改良

燃料改良の一つとして、加圧燃料の実用化研究を進めた。これは燃料棒内の封入ガスを加圧してギャップ熱伝達を良くし、ペレット温度上昇を低く抑えることでペレット-被覆管作用(PCI)を低減した燃料であり、健全性に対する裕度を増すことが可能となった。また被覆管やペレットの改良についても、照射試験等を実施して引き続き検討を続けることとした。

## (b) 炉心設計の改良

制御棒先端部の改良(ステンレス鋼製のグレーノーズを設置し、制御棒挿入時の出力の急激な変化を抑制)、



炉心の出力分布の平坦化等による熱的余裕の増大や、燃料ならし運転(PCIOMR)の見直しといった稼働率向上に向けた取組みを実施した。また新型8×8燃料集合体や後述する高速スクラム等の採用を検討し、運転裕度の拡大の見通しを得た。

(c) 制御棒駆動機構(CRD)の改良

従来の水圧式CRDを一部改良し、スクラム速度を早くした高速スクラムCRDを実用化した。第1図に高速スクラムCRDの概念構造図を示す。これにより、プラント過渡応答時の炉心制御特性上の余裕を増加させることが可能となった。また、高速スクラム機能に加えて、通常時駆動を電動機で行い1ノッチ間隔を従来より1桁小さくする新型CRDの開発にも着手した。これが後にABWRにて採用されるFMCRD(Fine Motion CRD)の開発へとつながっていく。

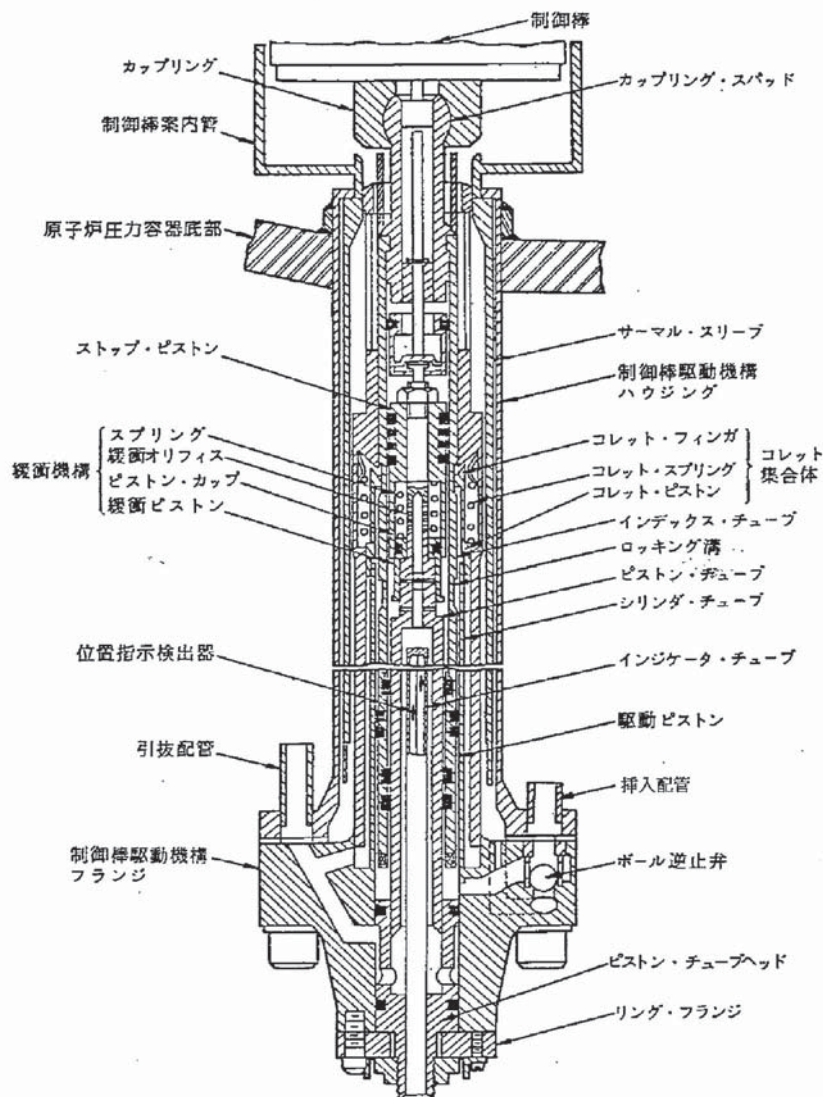
(2) 応力腐食割れ(SCC)対策

第10回講座でも述べられたように、BWRプラントのオーステナイト系ステンレス鋼に生じた粒界応力腐食割

れは、材料の鋭敏化、応力および環境因子が重畳したときに起きるものとされており、その要因の解明および対策が急務となっていた。その対策として、第1次改良標準化における取組みに引き続き、次のような材料の変更、施工方法の改善・環境の改善を行った。

- (1) 材料の変更：低炭素ステンレス鋼，炭素鋼への変更
- (2) 施工法の改善：内面水冷溶接法，内面肉盛溶接法，溶接後固容化熱処理，高周波誘導加熱による溶接残留応力改善法
- (3) 環境の改善：起動時の脱気運転
- (3) 定期検査の効率化

当時、我が国の定期検査工程は不具合箇所のない通常の定期検査においても90日以上を要しているのが実情であり、第1表に示す第2次改良標準化の目標(75~80%程度の稼働率および50%の被ばく低減)の達成は困難ではないかという見方もあった。そのため、稼働率の一層の向上のために、欧米の設備も参考にしながら定期検査



第1図 高速スクラムCRDの構造概念図

のクリティカルパス作業を中心として以下のような改良策を実施した。

- (1) 原子炉圧力容器蓋の開閉：シングルスタッドテンションによる自動化
  - (2) 燃料シッピング：シッパーキャップの改良(取扱燃料の増加)およびサンプリング装置の自動化
  - (3) 燃料交換：計算機の高度利用等による燃料交換機のスPEEDアップ
  - (4) CRD：装置の位置決めおよびCRDマウンティングボルトの自動着脱が可能なCRD自動交換機の採用
  - (5) LPRM(局部出力領域モニタ)：原子炉内に設置されているLPRMの交換作業の改善
- (4) 被ばく低減策

定期検査における被ばく低減策としては、環境の放射線レベルを下げるのと同時に、被ばく線量の多い作業について次のような一層の改良を行った。

- (1) ISI(供用期間中検査)の効率化：ISI装置の自動化範囲拡大および検査結果のデータ処理自動化
- (2) Co(コバルト)フリー代替材の開発：プラント停止時の表面線量を低減するために、制御棒のピン・ローラー等についてCoフリー代替材を実用化
- (3) 核種分析の自動化：排気筒中希ガス等の自動分析装置を開発
- (4) 弁グランド部の改良：耐漏えい性にすぐれ、弁グランド部を小型にできる黒鉛系パッキンを改良

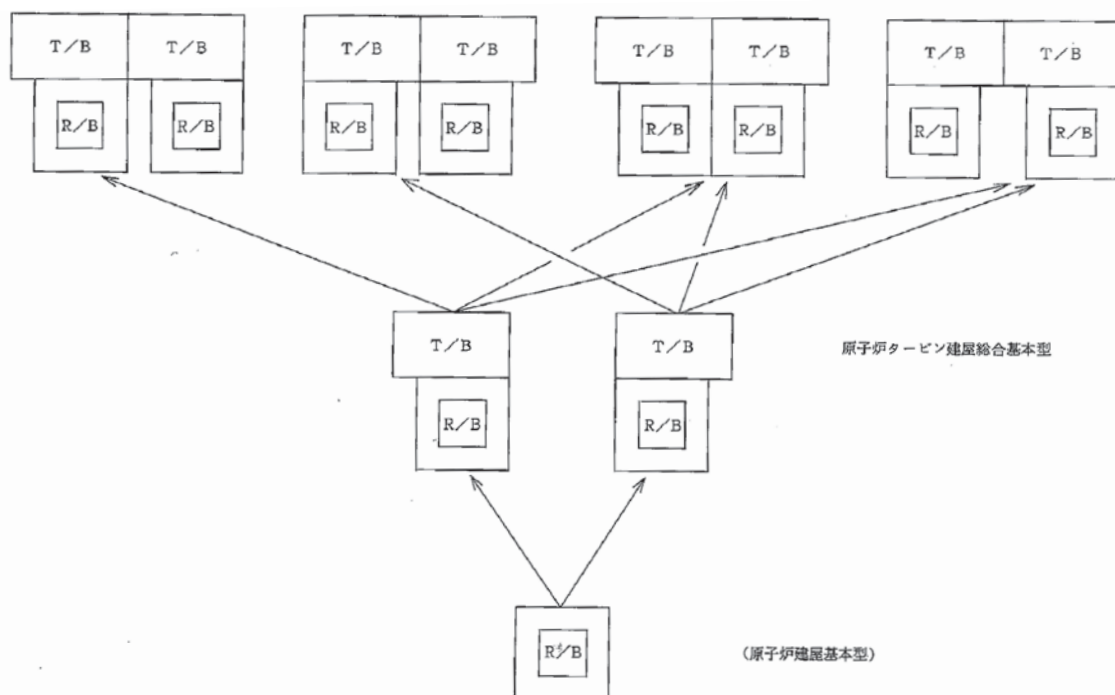
### 3. BWR 第2次標準化

#### (1) 設備の標準化

標準化設計については、昭和52年までに第1次標準化としてプラントの主要な基本仕様を取りまとめており、安全設計を中心として、基本的な設計方針、基本仕様、主要配管・機器を含む主系統の基本系統図について基本設計を行っていた。これに引き続く第2次標準化では、浜岡3号機(MARK-I改良型格納容器)、福島第二2～4号機(MARK-II改良型格納容器)設計をベースに標準化の見直し、検討を実施した。標準化範囲は原子炉格納施設、原子炉補助設備およびタービン設備等の主要な設備にまで拡大され、標準化制約因子の調査に基づく対応策検討から設計方針、主要系統構成などを中心に標準化の検討を進めた。

#### (2) 建屋基本配置および機器配置の標準化

我が国の場合、原子力発電所の立地点ごとに敷地・地盤条件が著しく異なるため、原子力発電設備全体の標準化は困難であるが、建屋形状および機器・設備について最低限の設計の基本方針およびその概念設計の標準化を行うことで、配置設計についても標準化への挑戦が行われた。建屋基本配置の考え方を第2図に示すが、原子炉建屋、タービン建屋の基本型を組み合わせ、考えられる建屋配置を想定し、これに対する機器配置の標準化をベースプラントについて進めていった。例えば原子炉格納容器(PCV)内配置計画においては、耐震性、保守点検性および配管応力上の妥当性の検討を通して、PCV内の総合的な保守点検性向上につながる改良策(主蒸気管、給水配管ヘッダーおよびペネトレーション位置の分離、PCV内空調機器(HVH)の上下方向の分離、主蒸気隔離弁分解・搬出入用モノレールの設置等)が具体化され、従業員の被ばくおよび作業性が従来のPCV内作業



第2図 建屋基本配置の考え方<sup>1)</sup>

に比べて格段に改善された。

#### 4. 工事計画認可関連事項の標準化

原子力発電設備設計の標準化は、工事計画認可関連事項の標準化を可能とする。すなわち、第1号標準プラントの審査が行われた後は、第2号以降のプラントについては設置許可時の審査と同様に、第1号プラントと異なる点を重点的に審査する等、審査の効率化が図れるとともに、申請者が異なる場合であっても審査の要点が過不足ない水準に保たれることが可能となる。これにより、工事計画認可申請から運転開始までの期間の短縮が期待できる。このような観点から、昭和53年度から標準プラントに係る工事計画書(設備区分の基本方針、計画書フォーマットの標準化)および添付書類(基本方針、計算書フォーマットの標準化)の標準化の検討が進められた。

### Ⅲ. おわりに

以上、主にBWR設計に重点を置いて、昭和53年度から昭和55年度にかけて実施された第2次改良標準化につ

いて述べた。本計画の成果は、昭和56年度以降設置許可申請されたプラントに適宜反映されるとともに、当時建設中あるいは建設準備中であったプラントにも可能な範囲で反映された。そして、この改良標準化計画の成果を踏まえながら、更なる信頼性の向上、定期検査の効率化、従事者被ばく低減を進める第3次改良標準化計画が、翌年度(昭和56年度)よりスタートしていくのである。

#### —参考文献—

- 1) 軽水炉改良標準化計画総合資料集, 通産省資源エネルギー庁原子力発電課, (1985).

#### 著者紹介

吉川和宏(よしかわ・かずひろ)



日立GEニュークリア・エナジー(株)  
(専門分野/関心分野)BWR原子炉廻り系  
統設計/将来炉設計や既設炉のPower  
Uprate

守屋公三明(もりや・くみあき)

本誌, 50〔5〕, pp.317参照。

### 学会誌アンケートシステムのご案内

編集委員会では、多くの読者からのご意見をうかがうため、学会のホームページを利用したWebアンケートを導入しております。学会誌に関する感想や意見をお寄せください。

学会誌ではWeb上で回答いただいたデータをもとに、記事の方向づけを進めていく方針です。

#### <アンケートの回答方法>

- ① 学会誌評価専用のWebサイト(<http://genshiryoku.com/enq/>)を開いてください。  
ここでは、過去2か月の学会誌を選択することができます。評価していただく号をクリックしてください。
- ② 当該号の記事が表示されましたら、それぞれの記事について5段階で評価をお願いいたします。この際、一部の記事に対する評価だけでも構いません。  
さらに『次へ』をクリックしてください。
- ③ 学会誌全体に対する評価や意見、今後掲載を希望する記事、編集委員会への要望などを記入できる画面が表示されます。回答は意見のある項目のみで結構です。  
記入されましたら『次へ』をクリックしてください。
- ④ あなたご自身についておうかがいする画面が表示されます。ここでいただいた情報は、アンケート結果を全体で集計する際にのみ、限定して使わせていただくものです。
- ⑤ 『送信』をクリックすると、終了です。

・②、③のページでは、途中まで入力した回答の内容を保存することができます。詳しくは②、③ページ目の下部にある説明をご覧ください。

・個別の記事について、意見や要望を記入できるページもご用意しております。②のページの理由・コメント欄の『回答する』をクリックしていただくと、記入画面が表示されます。こちらにもご回答していただければ、学会誌の方向づけに役立つことができると編集委員会では考えています。



50

周年企画  
公募記事

これまでの原子力、これからの原子力

## 原子力、50年前と今後への希望

元日本原子力研究所 古橋 晃

2007年8月27日、JRR-1初臨界50周年記念行事が東海村現地で行われた。公的機関の主催の型にし得なかったため、本学会誌に載ることもなく、関係者の脳裏以外からは消えて行ってしまふことであろう。しかし私は1957年時点でのJRR-1の成功は、今日の尺度では測り得ない重要な意義があったことを改めて喚起しておきたいと思う。何分ハード・ソフト両面でインフラストラクチャーが現在とは全く違っていたからである。故神原豊三氏が「我々は原子力事始を行っているのだ。」とっておられたのが、それを象徴している。

また当時は、今日とは異なる観点からの原子力反対論・慎重論が根強くあった。被爆国日本は平和利用とはいえ、原子力に手を出すべきでないという学者派、我が国にはまだそれだけの力がなかりと見る大衆などが例である。当時JRR-1現場には記者が多数詰めていたが、失敗の記事を密かに用意していた社があったと聞いている。私がおの半年ほど前、シカゴでほぼ同型炉の作業に参画した時、滞在期間中に確な出力が出せずいたから、その記事準備も故無しとはいえないであろう。

それがJRR-1の建設・初臨界から全出力運転までの早期かつ安全な成功により一掃され、国民は一転して新時代の到来を実感・歓迎する事態となり、以後、約四半世紀に及ぶ原子力高度成長への道が開かれたのである。JRR-1当事者の一人として、同炉がトラブルはもちろん、遅延しただけでも、その後の原子力に大きな悪影響をもたらしたであろうと、今更にして感じている次第である。

日本原子力学会の創立・発展も、上記道程の中でこそ順調に進んだものといえる。私はまだ若輩であったから、学会の創立自体にはあまり関わっておらず、比較的早期に編集委員を務めた程度であるが、前身の諸会合を始め、機会ごとにできるだけの発表を行い、またJournal of Nuclear Science and Technologyに目が集まるようにと願って、外国誌の権威を借りず、極力、欧文誌を中心とする原子力学会誌に投稿するように努めた。特に尽力したつもりなのは、炉物理連絡会の設立・育成、夏の学校・炉物理分科会といった発表・討論会の発展で、2回にわたって相当額の寄付もして興隆を願った。(その後、会計制度の変化から、この基金は消えてしまい、最終決算も伝えて頂けなかったのは残念である。)

JRR-1以後の研究炉・臨界集合体・動力炉等の歴史とそれらへの私の関与は記さないが、学会が、歴代の役員・

委員・支部員・部会員等の努力で発展を続けてきたことは同慶の至りである。ただ、原子力界としては、原子力発電容量が1970年頃の見通しの半分にも達していないこと、国産動力炉型をものにし得なかったこと、増殖炉が遅延していること等、物足りないことも多い。また、大学の原子力関係学科が原子力の名を避けるようになったり、研究炉・臨界集合体・加速器等の新設をほとんどしなくなり、閉鎖を出すに至るなどは、一時期、大学に奉職した者としては不本意である。種々の要因のためであろうが、一つには学会も含めて、原子力のエネルギー以外への利用可能性と成果を世に強調し足りないことが響いているように思われる。原子力には未発掘の可能性もまだ多く残されているはずであり、予算が絞られている故もあろうが、狭い範囲の研究開発に重点が置かれ過ぎ、科学と新技術の萌芽へ向ける力が不足しているように見える。大学や諸機関の制度や査定の変化により難しくなっているのであろうが、当事者が、もっと長期研究に自信を持って立ち向かえるように変わってほしいと願っている所である。

原子力のエネルギー利用については、安全性、特に放射性廃棄物への過度の懸念を解消するべく、他技術との比較を交えて、よりPRすることが望ましい。発電だけでなく、水素製造・淡水化・動力源その他、温暖化防止上も原子力の活用が必須であることを国際的にも更に強調してもらいたい。これに関連して、炉型と燃料サイクルをあまり限定せず、多目的性や多種の可能性を図ってみることが望ましい。なお世界への普及を考えると、炉は、幾分性能は低くても取り扱い易いものが良いように思う。その意味からも、核分裂性物質の生産・増殖は国際管理の下での加速器増殖炉に委ね、炉は自己維持増殖炉程度の中性子経済を狙うのも手であると考え。その場合、核拡散抵抗性と高次核種の観点から、資源量も多いTh系サイクルを追求するのが世界的には合っていると思う。

原子力学会創立50周年記念記事の募集ということで、昔を知る人が日々減ってゆくこの頃、JRR-1の前年に、原子炉の初臨界というものに最初に米国カリフォルニア州にあるサンタ・スザンナの実験場で従事した日本人として、私自身の回顧と展望を書き残すことも責務と考えて敢えて応募した次第なので、記録と記憶に残って頂ければ幸いに思う。(2008年6月8日記)

## タイムカプセル記事

この企画では、さまざまなジャンルのさまざまな年代の方に、原子力に対する思いを語っていただきます。

これまでの原子力、これからの原子力

## 「氷河期」

原子力安全委員会事務局規制調査課 白井 暁子

「えっ科学技術庁っていったら、原子力をやるのか。大丈夫か？」就職氷河期にやっと科学技術庁で内定をもらえたことを、バイト先の上司に告げるときに開口一番いわれた言葉である。

上司は考古学の研究者ではあったが、考古学に科学を取り入れた研究をしており、むしろ先駆的のものごとを考える人である。尊敬する知識人に、苦勞して勝ち取った就職先をあっさり否定されたことは結構ショックであった。

当時の私は、身の回りにそのようなたぐいの施設がなかったためか、原子力について深く考えたことがなかったというのが本音である。バイト先の上司の言葉は、はじめて接した「ふつうの人の原子力に対する感じ方」であった。

その後のことである。私が原子力の業務を続けていくなかで、風当たりは激しさを増している。当然である。JCOの事故など、ふつうの人では理解できない事象が

起こって、被害が出たのだから、平和に暮らしていた人たちが不安に陥るわけである。

その中で、原子力を取り巻く情勢は、ますます厳しい対応を求められている。規制強化、それに伴う業務の増加。逼迫した環境におかれている業界の中を見渡すと、膨大な業務と強いストレスに押しつぶされて、従事者の表情が暗くなっているような気がする。

この状況は、たぶん、しばらくの間続くかもしれない。しかし、つらい中でも真面目に頑張っている人たちがいる限り、彼らのたゆまぬ努力のおかげで、ふつうの人たちの安心を少しずつ取り戻していけるだろう。手塚治虫の漫画『ブッダ』を読みながら、ふとそう思った。「人の一生は雲のように変わる けっして 一生涯おんなじように 幸福だったり不幸だったりするものではない」、「ヤケクソになるな 苦しくとも正しい心と正しい行ないさえつづければ…」、「それがきっと未来によい結果になってあらわれる！」 (2008年 6月27日 記)

## 「原子力発電の夜明け風景」

有限責任中間法人 日本原子力技術協会 石川 迪夫

日本最初の非均質炉 JRR-2の臨界が1960年。まだコンピュータのなかった時代の話だが、炉心設計の失敗で10 MWの定格出力が出なかった。主契約会社はボーリング機械で有名な AMF 社。後日、燃料濃縮度を変えて解決した。アルミ製の重水熱交換器は、米国からの運搬中に、太平洋の塩風でピッティング腐食を起し送り返した。当時の技術レベルは、米国でもまだこんなものだった。

JPDR による日本最初の原子力発電達成が1963年10月26日。東海道新幹線の開通前のことだ。自慢してよい。8月末の臨界に始まり、12月中旬の100時間定格出力連続運転をもって出力試験を終了した。その記録が、『JPDRの初回臨界および出力試験』に残されている。その間わずか100日余、緊急停止(スクラム)回数が34件、故障やトラブルが大小合わせて68件もある。平均して1日1回の割合で何事かが起きていた。問題が起きれば自分で解決して試験を続行するのが試運転の常識、それができた。今日のように規制当局に一々お伺いを立てる必要は

なかった。今なら幾日を要するであろうか。

米国 GE 社での運転員訓練期間は約3ヶ月、約ひと月の講義とバレット発電所での3交代実務。サンフランシスコまでの空路は、始まったばかりのジェット機での旅、鶴丸マーク登場以前の日航機だった。だが、途中、燃料補給のためグアム、ホノルルへ立ち寄り、ほぼ1日かかるとの旅だった。便数は週4回、乗客は少なくほとんどが日本人。渡航自由化以前の話だから、所持金は外貨規制で50ドル未満、パスポートも今日のものとは違っていた。

帰路ハワイで、映画スターの故石原裕次郎さんと偶然出会った。ビーチへの道を尋ねたのが奇縁の始まり、椰子の木陰でハイボールをご馳走になったままである。過日、小樽の裕次郎記念館で、共に杯を挙げていた合成写真を撮って貰って、思い出としている。

(2008年 7月2日 記)

# 放射線の利用と展望

## 工業・医療分野における利用動向

日本原子力研究開発機構 柴田 徳思

原子力エネルギーと放射線の利用に関する経済的規模の調査が1997年度を対象に行われた。それによると、放射線の利用の経済的規模は8.6兆円で、原子力エネルギーの利用の経済的規模7.3兆円を上回ることが示された。放射線の利用のうち、工業利用が85%、医療が14%、農業が1%となっている。本稿では工業分野と医療分野における利用の現状とその展望を示す。

### I. 放射線利用の経済的規模

1997年度を対象にした放射線利用に関する経済的規模の調査によれば、8.6兆円であり、GDPの1.7%を占める大きな経済活動を示している<sup>1)</sup>。工業分野の利用の経済的規模は7兆2,600億円、農業分野の利用は1,200億円、医療分野の利用は1兆2,000億円となっている。米国との比較ではすべての項目についてデータがあるわけではないが、データのある部分で比較すると、米国においては、工業利用が1.4倍、農業利用が17倍、医療利用が3.9倍となっていて、農業利用と医療利用で大きな差がある。

なお、平成19年に2005年度の経済的規模に関する調査が内閣府の委託事業として日本原子力研究開発機構で実施された<sup>2)</sup>。その中で、半導体加工およびラジアルタイヤ加工については経済的規模が大きいことと、放射線を利用する部位が一部に限られていることから、寄与率を半導体加工について25%、ラジアルタイヤに関して4%としたため、1997年度を対象とした調査と数字が大きく異なっている。また、1997年度との比較のために物価指数の補正も行われている。本稿では、詳しい内容が論文等で公表されている1997年度の調査結果を基に述べる。

### II. 工学分野における放射線利用

工学分野における放射線利用の経済規模の内訳は、照射設備 4,300億円、放射線機器等 650億円、非破壊検査

*Utilization of Radiation and Its Perspective—The Trend of Radiation Usage in Industrial and Medical Fields: Tokushi SHIBATA.*

(2008年 3月14日 受理)

310億円、放射線滅菌 2,800億円、放射線加工 1兆1,000億円、半導体加工 5兆3,000億円となっていて、半導体加工が飛び抜けて多い。

#### 1. 半導体加工

半導体の製造では、集積度を上げるために様々な技術開発がなされている。光リソグラフィでは、回路パターンの原型(マスク)を通して、Siウェハ-の上に塗布したレジスト上に紫外光を縮小投影し加工される。集積度を表す線幅について、国際半導体ロードマップ(ITRS: International Technology Roadmap for Semiconductor)の予測を第1表に示す<sup>3)</sup>。

線幅を狭めるには光リソグラフの解像度 $R$ を上げる必要がある。解像度 $R$ は次式で与えられる。

$$R = k\lambda / NA$$

ここで、 $k$ はレジストの解像性能や $\lambda$ および $NA$ 以外の光学系の特性に依存する定数、 $\lambda$ は露光する光の波長、 $NA$ は露光装置のレンズの性能である開口数である。

これより、解像度を上げるためには、①レジストの解像性能などを上げる、②長の短い光を用いる、③ $NA$ の大きな装置を用いる、ということになる。レジストの解像性能などを上げる技術として超解像技術が提案され実

第1表 ITRSによる半導体リソグラフィのロードマップ

| Year of Production   | 2008 | '09 | '10 | '11 | '12 | '13 |
|----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| DRAM ハーフピッチ (nm)     | 57   | 50  | 45  | 40  | 36  | 32  |
| MPU/ASIC ハーフピッチ (nm) | 59   | 52  | 45  | 40  | 36  | 32  |
| Flash ハーフピッチ (nm)    | 51   | 45  | 40  | 36  | 32  | 28  |
| MPU プリントゲート長 (nm)    | 38   | 34  | 30  | 27  | 24  | 21  |
| MPU ゲート長 (nm)        | 23   | 20  | 18  | 16  | 14  | 13  |



用化されている<sup>3)</sup>。短波長化については、水銀ランプのg線(436 nm), i線(365 nm), KrFエキシマレーザー(248 nm), ArFエキシマレーザー(193 nm)と開発が進んできた。開口数は $NA = n \sin \theta$ と表され、 $\theta$ はレンズの見込み角で、 $n$ は屈折率である。したがって屈折率の大きな状況で用いれば有利となる。このために液体に浸けて用いる液浸露光技術が開発されていて、 $k$ の小さい条件下で水( $n = 1.44$ )を用いた液浸露光技術を用いれば、線幅で45~40 nmまでは到達できると考えられている。しかし、それ以上の解像度を得るためには、より短波長が必要となる。現在、開発が進められているのは軟X線領域の13.5 nmの極端紫外線(EUV: Extreme Ultra Violet)である。金属にレーザー光を照射してプラズマを発生させ、その発光を利用するものであるが、EUVでは光学系の吸収が大きくなり、リソグラフィに必要な出力が大きくなる。現在、EUVに対して、そこまでの出力は得られていない。この開発には世界的に熾烈な競争が繰り広げられている。

なお、EUVの利用は、2013年ころには技術的には可能であると考えられているが、システムのコストが非常に高くなり、経済的に成り立つかどうか懸念する声もあり、集積度を上げるために3次元構造の開発などEUV以外の方向へ進むことも考えられる。

光リソグラフィのほかに、少量多品種の半導体にはマスクレスリソグラフィやナノインプリント技術の開発が進められている。マスクレスリソグラフィとして電子ビームによる直接微細描画技術で多面同時描画によりスループットを上げる開発が進められている。また、電子ビームによる微細描画でモールドを作り、このモールドをウェハー上のレジストに押し付けてプリントし、エッチングによりパターンを作るナノインプリントの技術の開発も進められている。このように、EUVの発生源の開発、電子ビームを用いた描画によるリソグラフィのスループットを上げる開発、ナノインプリント技術の開発など、多くの興味ある開発が進められている。

## 2. 放射線加工

放射線加工で用いられる放射線の作用は、橋掛け、キュアリング、クラフト重合、分解・重合などである。いろいろな分野における利用について文献<sup>4)</sup>に示されている。放射線加工の中で経済的規模が飛びぬけて大きいものはタイヤの製造である。タイヤは一つのゴムの塊ではなく、いくつかのゴム部材を組み合わせて作られている。このため部材の寸法精度が必要で、電子線照射による前処理としての加硫を用いて寸法精度を向上するとともに、グリーン強度を損なわずに天然ゴムを合成ゴムに置き換えることができる。これにより部品の成形性や加硫性が向上し、原料の大幅節約が可能となり、組み立ての自動化を容易にし、生産速度を上げることに寄与して

いる。

電子線による改質は、橋掛けを利用したものとしてタイヤのほかに耐熱電線、発泡プラスチック、熱収縮チューブの製造、分解メカニズムはテフロン<sup>®</sup>の製造、硬化メカニズムは塗装や表面加工、グラフト重合は電池の隔膜・吸着材の製造に用いられている。将来、燃料電池の電解質膜の製造が大きく伸びる可能性がある。

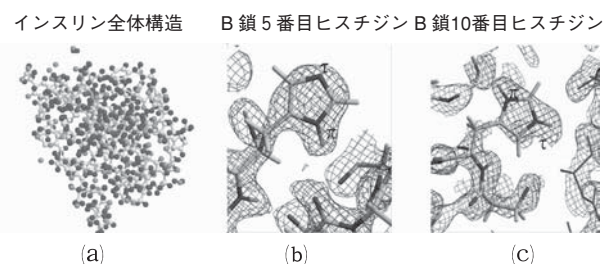
## 3. 照射設備

照射設備には工業用と医療用がある。経済的規模の大きいのは医療用で、診断用X線装置が大きな割合を占めている。経済的規模の調査が1997年を対象に行われたので、その後の大きな変化は陽電子断層撮影(PET)用のサイクロトロンである。

現在、先端的な分析方法として放射光の利用が進められている。一方、J-PARCの建設が進み、新たに大強度パルス中性子による分析方法が始まろうとしている。放射光やX線は原子による散乱が原子番号に比例するために重元素と軽元素が混在している物質中の軽元素の観察は困難となる。これに比べ中性子の散乱は、共鳴散乱では原子番号に無関係、ポテンシャル散乱は原子核半径の2乗であるので、原子番号依存性は小さく、混在している場合に軽元素の観測が可能となる。

蛋白質の構造解析は放射光で精力的に進められているが、蛋白質中の水素あるいは水の位置の特定はできない。中性子を用いるとこれが可能となる。第1図は、中性子散乱で見たインスリンのPH9での水素原子の分布を示す。B鎖5番目のヒスチジン(アミノ酸の一種)では2つの窒素原子のうち $\pi$ 窒素の近傍に水素原子が存在し、 $\tau$ 窒素原子では水素原子の存在しない互変異性体(異性体同士が互に変換し共存する状態)となっている。一方、10番目のヒスチジンでは2つの窒素原子の近傍にそれぞれ水素原子が存在し、陽子の受容体となっていることが示された<sup>5)</sup>。このように、水素原子の分布を明らかにすることは蛋白質の機能を解明する上で、重要な情報を与える。

中性子線の工業利用は、ラジオグラフィ、反射率系、応力解析など広い分野での利用が期待できる。X線との違いは、重元素物質中の軽元素の観測が可能、反射率や



第1図 インスリンの構造

(a)はインスリンの全体構造、(b)はインスリンのB鎖5番目のヒスチジン、(c)はB鎖10番目のヒスチジンを示す。

応力観測が表面のみでなく内部でも可能、磁気分布の観測が可能、など相補的な利用ができ、今後の発展が期待される。一方、現在利用可能な中性子源はごく弱い場合にのみ利用可能な放射性同位元素(RI)を除いて、原子炉の中性子源に頼らざるを得ない。小型加速器による中性子源の開発が望まれる。

最近、京都大学原子炉実験所で新しい開発がなされ、加速器中性子源の新たな展望が生まれた。小加速器中性子源として、利用に必要な中性子を得るには中性子発生ターゲットの熱除去が大きな問題で、小型加速器中性子源としてこれまで安定に強度の大きい中性子を発生させることに成功した例はない。京都大学原子炉実験所の方式はFFAG-ERIT<sup>®</sup>と呼ばれるもので、FFAG(Fixed Field Alternating Gradient)シンクロトロンが運動量のアクセプタンスの大きいことを利用して、ビーム軌道内に中性子発生ターゲットを置きビームを周回させるもので、1回の入射で1,000回の周回に成功している。このため、実際の電流が1/1,000の強度で済むために中性子発生ターゲットの熱除去の問題を解決したものである。軌道内に置く中性子発生ターゲットは複数置くことが可能であると考えられ、1台の小型加速器で複数の中性子発生源を持つことが期待できる画期的な小型加速器中性子源といえる。

#### 4. 放射線滅菌

放射線滅菌に対する1997年度の経済的規模では $\gamma$ 線による滅菌が電子線による滅菌よりはるかに多い。しかし、 $\gamma$ 線による滅菌では大量のRIを用いること、滅菌に必要な時間が長い、大量の物質の滅菌には対応できないなどの理由で電子線による滅菌が増加している。実際に滅菌に用いられる<sup>60</sup>Coの供給量は1997年以降微増であるが、電子線滅菌施設の数も2倍に増加している<sup>2)</sup>。電子線による滅菌は大規模な施設に委託して処理されていて、電子線による滅菌の有利性が生かされていない。小型加速器で生産現場における滅菌ができれば、大規模施設での照射に必要な運送や梱包を省くことができ、その利用価値は高くなる。

#### 5. その他

非破壊検査に関して、1997年の調査以降、売上高は減少し、平成15年ころから再び増加に転じている。

その他の利用として、X線、 $\gamma$ 線、陽子線、中性子線を用いた分析法がある。この中でマイクロPIXEを用いた分析法ではビームを2次元でスキャンし、発生する特性X線を同期して測定することにより元素の分布を調べることができる。各種の元素の含む薬剤を用いて取り込ませ、細胞内の分布を調べることにより核や細胞質に取り込まれる元素を特定できる<sup>7)</sup>。またその時間変化を測定することにより細胞の機能を調べることができ

る<sup>8)</sup>。環境問題が大きな比重を占めている現状で、電子線を用いて排煙から硫黄酸化物や窒素酸化物を取り除く技術、焼却炉の排煙からダイオキシンを除去する技術などの開発も行われている<sup>4)</sup>。これらの利用では処理する物質の種類や排煙の量に応じて必要な電子加速器の出力が決まる。電子線を極短パルス状に加えることにより、パルスあたりの出力を大きくし、オゾンの発生や衝撃波により、さらに効果を高める工夫もなされている。

### III. 医療分野における放射線利用

医学分野における放射線利用の経済的規模は、医科および歯科での診断が大きい<sup>1)</sup>。放射線を利用した治療は、患者の負担が小さい、機能や形態の保存がしやすい、などの利点があり、欧米では普及しているが、我が国ではまだその利用の規模は小さい。今後、普及していくと思われるが、放射線科医や医学物理士の増加が普及に必要である。

#### 1. 診断

放射線を用いる診断には、RI、X線、X線断層撮影(CT)、陽電子断層撮影(PET)などを用いる方法がある。RIを用いる診断には、RIで標識した薬剤を体内に投与する*in vivo*検査と、採血して血液中の物質を調べる*in vitro*検査がある。平成18年度の放射性医薬品の供給金額と供給量は、*in vivo*検査が438億円で557TBqであり、*in vitro*検査が58億円で42GBqとなっている<sup>9)</sup>。*In vitro*検査は代替法の開発などにより漸減傾向にある。*In vivo*検査に用いられるRIでは、<sup>99m</sup>Tcの利用(<sup>99m</sup>Tcを生み出す<sup>99</sup>Moを含む)が供給量で85%と大きな割合を占めている。<sup>99m</sup>Tcを用いる診断はがんの骨転移を調べるのに用いられる。特に進行した前立腺がんの場合、約8割の患者に骨転移が見い出される。平成14年の調査では年間100万件の診断が行われている。<sup>99m</sup>Tcを生み出す<sup>99</sup>Moの半減期は65.9時間と短いにもかかわらず、輸入に頼っていて、ほとんどがカナダから輸入されている。短半減期であるために年間250回程度輸入されている、2007年にはカナダの原子炉のトラブルにより1ヶ月程度輸入が停止した。近年はカナダ以外からも輸入されているために、かろうじて供給停止は避けることができた。全量でなくても国内での製造が望まれる。

X線を用いた診断は病気の診断だけでなく人間ドックなど健康診断にも用いられる。我が国にはCTやPET診断装置が多く設置され、多くの患者の診断に用いられている。PET装置で用いられるRIは、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O、<sup>18</sup>Fである。すべて半減期がごく短く、一定量以下の使用に対して、定められた期間保管すれば放射性同位元素としての管理を要さないように規制が緩和されている。PET検査に用いるRIは半減期が短いので、病院内に設



置された小型サイクロトロンで製造されている。 $^{18}\text{F}$ で標識されたグルコース誘導体( $^{18}\text{F}$ -FDG)を用いた診断が保険適用になったことから急速に増加している。 $^{18}\text{F}$ は半減期が比較的長く、 $^{18}\text{F}$ -FDGは医薬品メーカーから購入して用いることもできる。

2008年にはサイクロトロンを設置した施設の数は131箇所、 $^{18}\text{F}$ -FDGを購入してPET検査を行う施設の数は66箇所となっている。CTがX線を用いた形態を描画するのに対し、PETは臓器の機能( $^{18}\text{F}$ -FDGの場合ブドウ糖の臓器への取込み)を描画する。この両方の情報を一度に得るためにPET/CT装置が用いられている。この有用性は、(1)CT画像では検出困難ながん病巣がPET画像で描出される、(2)CT画像で描出される病巣のうち、がんの可能性の小さい病変がPET画像でわかる、(3)CT画像で得られた病巣のうち、がんの活動性の異なる部位をPET画像で把握できるなどで、より正確ながん部位の理解ができることにある。

## 2. 治療

放射線を用いた治療は、がんの治療に用いられる。これは、がん組織が細胞増殖の速度が速く、このような組織が放射線感受性が高いこと、組織の機能や形態の保存がしやすく、患者への負担の小さな治療法であることによる。放射線治療というと、通常、RIやX線・ $\gamma$ 線を用いる治療法をさす。このほかに陽子線や炭素線を用いる粒子線治療、ホウ素中性子捕獲反応を利用したホウ素中性子捕捉療法(BNCT)がある。

### (1) 放射線治療

RIによる治療には、放射性医薬品の投与によるもの、密封線源からの $\gamma$ 線照射および密封線源の挿入によるものがある。放射性医薬品の投与による治療は、 $^{131}\text{I}$ による甲状腺がん治療、 $^{90}\text{Y}$ による悪性リンパ腫の治療などがある。また、 $^{89}\text{Sr}$ による多発性骨転移の疼痛緩和治療がある。これまで放射性医薬品は主に診断に用いられてきたが、今後、 $\beta$ 線や $\alpha$ 線放出核を用いた治療への利用が進むと考えられる。 $^{60}\text{Co}$ 線源の $\gamma$ 線照射によるがん治療は他の照射治療法の進歩によって行われなくなってきている。小密封線源による治療は、 $^{192}\text{Ir}$ による腔内照射や患部に挿入して行う肺がん、食道がん、子宮頸がんなどの治療、 $^{198}\text{Au}$ を用いた舌がん、中咽頭がん、口腔底がんなどの治療、 $^{125}\text{I}$ による前立腺がんの治療などがある。X線や $\gamma$ 線による照射では、線量が体表面で高く、体内部で小さくなるので、患部での線量を高くする工夫がある。このためには多方面からの照射が必要になる。このような方式をより進めた治療法として、200個あまりの密封線源を用いて $\gamma$ 線を患部に集中させるガンマナイフ、X線発生装置をコンピュータで制御しX線を患部に集中させるサイバーナイフ、患部の形状に合わせて多方面から強度を変化させて照射する強度変調放

射線治療(IMRT)などの治療法が用いられている。

### (2) 粒子線治療

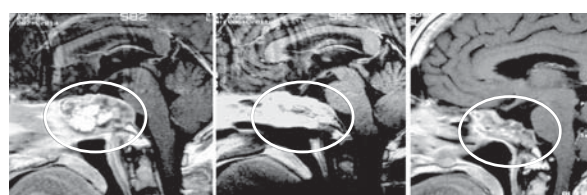
荷電粒子の物質内でのエネルギー付与は、荷電粒子の飛程の最終端で大きくなるブラッグカーブで表せる。このため、体内の患部へ大きな線量を与えることができ、がん治療に適した方法である。

陽子線治療の特徴は、(1)飛程より遠くには線量を与えないため、周囲に健常組織があっても十分な線量を安全に照射できる、(2)世界で30,000件以上の実績があり、眼のメラノーマ、頭蓋底腫瘍、肝細胞がん、前立腺がんなどで他の治療法と同程度あるいは優れていることが明らかになっていることである。第2図に頭蓋底脊索腫に対する陽子線治療例を示す。照射前の腫瘍が照射後4年で治癒している様子が示されている。

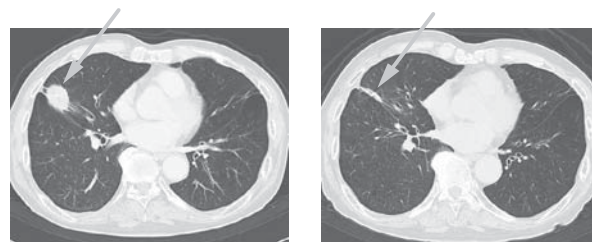
重粒子線治療の特徴は、(1)荷電粒子の質量が大きいため、体内で散乱の影響を受けにくく直進性が陽子線に比べてよい、(2)細胞に与えるエネルギーが高いので、細胞周期による放射線効果の違いを超えて、細胞を死滅させるので、がんによっては1回照射で治療効果が期待できる、(3)がん組織の中心部は血流が不足し、酸素不足状態になっていて、このため放射線感受性が低い重粒子線ではこの影響を受けないなどである。これまでに放射線医学総合研究所で治療数の多いものは、前立腺、肺、頭頸部、骨軟部、肝臓がんなどであり、他の治療法と比較して、同等あるいは優れた結果が得られている。第3図にはI期肺がんの治療例を示す。炭素線1回の照射で肺がんの顕著な縮小が見られる。

### (3) ホウ素中性子捕捉療法

ホウ素が熱中性子を捕獲すると、 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応で $\alpha$ 粒子とLi粒子が放出される。その反応断面積は3,840



第2図 陽子線による頭蓋底脊索腫の治療例(筑波大学陽子線医学利用研究センター 松村明氏提供)



第3図 炭素線によるI期肺がんの治療例(放射線医学総合研究所 辻井博彦氏提供)



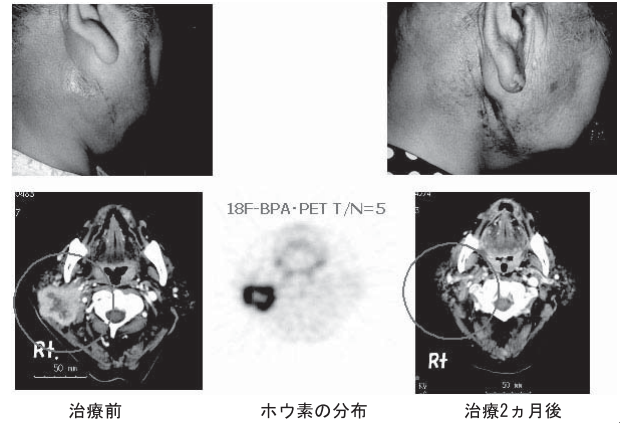
bと大きく、反応のQ値は2.8 MeVで $\alpha$ 粒子とLi粒子の飛程は約 $10\ \mu\text{m}$ と $5\ \mu\text{m}$ であり細胞内で止まる。細胞に与えるエネルギーが大きいので細胞は死滅する。一方、熱中性子の健全細胞に対する影響はこれらの粒子に比べて十分小さいので、がん細胞にホウ素を取り込ませることができれば、がん細胞のみを殺すことができ、理想的な治療法といえる。ホウ素薬剤を投与し、がん細胞へ薬剤が到達した時点で熱中性子を照射することによりがんを治療する方法をホウ素中性子捕捉療法(BNCT)という。熱中性子の到達距離は半価層で水中15 mm程度であり、BNCTの治療研究が始まった当初は手術で開頭して患部を照射していたが、その後、熱外中性子(0.6~10 keV)を用いることにより、開頭せずに治療が可能となり、患者への負担の少ない治療法となっている。最近では、MRI、CT、PET画像を基にどのような照射が必要かシミュレーションし、治療計画を立てることができ、ホウ素薬剤を $^{18}\text{F}$ で標識しPET検査で患部へのホウ素の集積状況を把握できること、治療中の中性子強度を測定できることなどから、より信頼のできる治療法となっている。ただし、現状に必要な中性子強度を得るには原子炉での照射が必要で、京都大学原子炉実験所および日本原子力研究開発機構の原子炉を用いてのみ治療研究が行われている。第4図に耳下腺がんの治療例を示す。治療後2ヶ月で腫瘍部分がほぼ消えている。BNCT治療で開発に必要なものとして、小型加速器による中性子源とともにがん組織へ効率よくホウ素を送り込む薬剤の開発がある。これまでに、ポルフィリンとの化合物や不活化したウイルスを用いる有望な開発が進んでいる。

#### IV. おわりに

工業、医療分野での放射線利用について現状を述べた。将来、発展が期待できるものとして、半導体加工に必要な EUV 発光装置、スルーホットの高い電子微細描画装置、小型加速器を用いた中性子源、病院内に設置可能な BNCT 用の小型中性子源などがある。

#### —参考資料—

- 1) 原子力百科事典 放射線利用の経済的規模, (08-01-04-



第4図 BNCTによる耳下腺がんの治療例  
(川崎医科大学 平塚純一氏提供)

06)

<http://atomica.nucpal.gr.jp/atomica/index.html>

- 2) 平成19年度放射線利用の経済規模に関する調査報告書—要約版—(内閣府委託事業), 日本原子力研究開発機構, 平成19年12月;

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryo2008/siryo18/siryo1.pdf>

- 3) 2005 ITRS JEITA 和訳;

<http://strj-jeita.elisasp.net/strj/ITRS05/Roadmap-0606.html>

- 4) 飯田敏彦監修, 先進放射線利用, 大阪大学出版会, (2005).

- 5) N.Nimura, *et al.*, *Cell Biophys. BioChem.*, **4**, 351 (2004).

- 6) Y. Mori, *Nucl. Instrum. Methods, PRS. A563*, 591 (2006).

- 7) 石井慶造, *RADIOISOTOPES*, **55**, 495 (2006).

- 8) 原田聡, *RADIOISOTOPES*, **55**, 419 (2006).

- 9) 放射線医薬品流通統計2007, 日本アイソトープ協会, (2007).

#### 著者紹介

柴田徳思(しばた・とくし)



日本原子力研究開発機構 J-PARC センター特別研究員・日本学術会議連携会員  
(現在の活動分野)放射線防護, 放射線計測, 加速器施設の放射線管理技術

# 会議報告

## 「稔りある原子力人材育成を目指して」 原子力人材育成シンポジウム

2008年6月3日(東京大学武田ホール)

平成20年6月3日(火)に、東京大学 武田先端知ビル 武田ホールにて、原子力人材育成シンポジウム「稔りある原子力人材育成を目指して」を、教育委員会主催で開催した。シンポジウムには大学関係者を中心に約100名の参加者があり、近藤原子力委員会委員長の特別講演も交え、活発な討議が行われた。(写真)

シンポジウムの主旨は、文部科学省および経済産業省が昨年度から共同で始めた「原子力人材育成プログラム」において、平成19年度として採択された課題の報告である。また、その狙いは、大学・大学院および高等専門学校代表から多種多様な特徴ある取組み成果およびその自己評価を教育関係者で共有化することで、将来における原子力教育の自己改善に役立てることである。

平成19年度の文部科学省関連の原子力人材育成プログラムは、大学・大学院で13課題、高等専門学校で8課題の合計21課題、経済産業省関連では大学・大学院で21課題、両省合わせて42課題が採択されている。複数課題が採択された大学も多いことから、シンポジウムでは採択課題ごとの報告ではなく、大学・大学院および高等専門学校単位の報告とした。報告は、各課題の内容だけではなく、教育機関としての人材育成方針も踏まえて、大学・大学院14校、高等専門学校2校から行った。

各大学等からの報告は、原子力人材育成プログラムの主旨に沿って、特徴を生かした課題設定となっていた。報告の一例を紹介すると、

- (1) 学生が原子力施設の見学や学会等への参加で原子力に興味を持たせる良い機会となったこと
- (2) 老朽化している実験設備の整備と合わせて原子炉シミュレーションや製作した模擬実験装置を活用す

ることで、実験教育に幅を持たせることができるようになったこと

(3) 研究炉を用いた原子炉実験を、理論と実験の両面からアプローチすることで学生が緊張感を持って教育に取組み、非常に高い教育効果があったこと等、多様な事業による教育効果の紹介があった。これらの報告から、教育を提供する教授陣および教育を受ける学生の両者が、共に原子力教育を盛り立てようとする機運が高まってきていることがうかがえた。このような動きは、プログラムの主旨に沿ったひとつの成果と受け止めることができる。しかしながら、このプログラムが目に見える成果として形をなすためには、長期間、着実に実施していかなければならない、との意見も多く出された。

また、近藤委員長の特別講演では、将来を見据えた原子力人材育成のポイントの紹介があった。そのポイントとして、「相互に影響するポジティブフィードバックによる循環」、「社会環境変化を見据えた多様性のあるチャレンジングな対応」、「国際的な教育ネットワークを活用した教育システム」の3点であった。これらは、今後の長期的課題として原子力界全体が取り組まなければならない内容である。特に、教育機関である大学等では、社会や産業界との連携を積極的に進め、教育内容もそれによって進化していかなければならないと感じた。

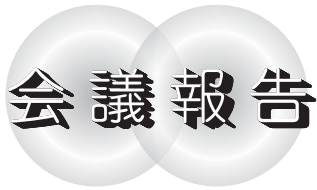
最後に、文部科学省山野課長、経済産業省新井企画官からの講評として、人材を育成するには時間がかかるためブレのない実直な対応が必要、専門性を考慮する必要があるため産業界との連携を緊密にすることが重要、各採択課題は特徴を生かした内容で今後の取組みが期待される等、教育関係者へ激励する挨拶があった。

原子力学会は、社会に対し「地球のためのクールエネルギー原子力」という声明を出しているように、環境に配慮したカーボンフリー社会の構築が必要である。このためにも、「原子力人材育成」は産学官共通の極めて緊急かつ重要な課題の一つであり、学会を挙げて進めていかなければならない事項である。このような活動が、次の世代の優秀な若者を育てるベースとなるよう、取組みの強化が必要であるといえる。

(日本原子力研究開発機構・長谷川 信、  
2008年 6月25日 記)



会場風景



## 朝日新聞 科学エディターの講演

## 中越沖地震の緊急出版の舞台裏と新聞社の男女共同参画

「2008年春の年会」では、朝日新聞科学エディター\*の高橋真理子氏を講師として招聘し、男女共同参画委員会企画の招待講演を開催した。



高橋真理子氏

2007年7月に発生した新潟県中越沖地震では、柏崎刈羽原発を大きな揺れが直撃したが、当時の様子をまとめた本『震度6強』が原発を襲った(同社)』は高橋氏を中心に編集された。本講演では、同書出版の経緯と女性と科学技術の関わりを中心に広範な内容でご講演頂いた。会場は、熱心に耳を傾け

る150名の聴衆で埋まり、質疑応答も活発だった。以下、講演内容を要約する。

## 地震発生から出版まで

今回の地震で世界最大の原発が直撃を受けた。この未曾有の事態の全体像をきちんと把握できるよう本にまとめることは新聞社の大事な使命ではないか、そう私が思い至ったのは8月初めだった。阪神大震災のあとにまとめた『都市防災の科学—追跡阪神大震災—』という文庫本の出版担当者に相談したところ、快諾を得た。しかし、新聞社の編集局内の他の部署も新潟総局も日常業務で手一杯で、それ以外の仕事をこなせる状況でないことは想像できた。一方、科学グループだけで行うことは実務上も適切でなく、協体制作りがまず課題となった。編集局長からは本の出版と科学グループを中心とした体制に了解を得られたので、次に社会グループのエディターの所へ行き、「新潟総局が了承するなら」という条件付き了解を得た。地方総局の8月は高校野球の取材で多忙な時期であり、私が新潟総局長に電話して「本を作りたい」と言うと、非常に驚いた様子だったが、科学グループが中心となり迷惑は掛けないようにするというので了承を得た。しかし、地域報道グループのエディターから「現地の記者にも記事を書かせてやってほしい」と申入れがあり、新潟総局の記者も一定範囲で参加するという基本方針となった。科学グループの中でこの本作りに対して異論が出なかったことはありがたかった。

8月9日に前述の出版担当者と顔合わせを行い、章構成と執筆担当者を決めた。科学グループにはデスクが5人おり、1人が1つの章を担当することとした。原稿の締切りは8月末としたが、特に抵抗はなかった。9月13日にはすべての章の原稿が一応揃い、章間で重複している内容の調整や章構成の見直し等を私が俯瞰的に行った。

編集作業においては「中立公正を貫く」、「センセーショナルリズム、ポピュリズムを排す」、「正確に分かりやす

く」、「できる限り全体像を」、「結論の押し付けではなく、読者が主体的に考えられる材料を提供する」、「記者個人の思い入れを排除する」ということを心がけた。

9月25日には完成原稿を出版担当者に渡し、地震発生から3ヵ月後の10月初めに本が完成した。本当に8月、9月は大変であったが、やればできるものだと感じた。

この本作りには科学グループのベテラン女性記者、新潟総局の若い女性記者も携わった。現在、科学グループの女性比率は17%(5人/29人)である。先輩世代の女性は家庭欄担当が多かったが、現在では海外特派員やデスク、論説委員など活躍の場は拡大しており、社全体の女性比率は16%である。

## 女性と科学技術の関わり

記者として、コバルトのβ崩壊でパリティの非保存を初めて実験的に確認した女性物理学者・呉女史に1983年にインタビューをした。その際に「アメリカでも女性が教授になるのは難しい」とお聞きし、驚いた経験がある。呉女史はその業績にもかかわらずノーベル賞を受賞していないが、これにはノーベル賞委員会の差別だという批判もある。

そのような女性研究者の不利な現状について、論説委員時代の1999年6月にハンガリーで開かれた世界科学会議に参加して欧米の最新状況を知り、同年8月に千葉で国際女性科学技術者会議が開催されたのを契機に、「科学と女性の関わりを広げたい」という社説を書いた。現在では、男女共同参画学協会連絡会の設立や第3期科学技術基本計画に女性研究者の活躍促進が明記されるなど、日本でも取組みが進んできた。

科学への女性の参画の必要性について前述の呉氏は、「科学はいろいろなアプローチがあって前進していくものであり、男性とは違う女性の視点が必要」と指摘した。EU各国が女性支援に懸命なのは、少子化が進む成熟国にあって、高等教育を受けた女性の能力発揮が国の行く末を決めると考えているのではないかと。

これまで日本の学術界が女性にとって居心地が悪い場所であったということ、そして、日本の学術発展のためにはこの現状を変える必要があるという認識がまず必要である。Think global, act local, 現状を変えるため身近な所から良いと思われることを実行して頂きたい。

(\*朝日新聞編集局は2006年12月に組織改革をし、従来の「部」を廃止してグループ制に移行した。それに伴い従来の「部長」を廃止し、グループの責任者は「エディター」と呼ばれるようになった。)

(男女共同参画委員会・大野富生(九大)、

2008年6月11日記)



核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会  
Nuclear Nonproliferation, Safeguards, Nuclear Security Committee

## 「2008年春の年会」新連絡会の設置に当たって

2008年3月27日(大阪大学 吹田キャンパス)

近年、次世代核燃料サイクルなど原子力技術の開発に当たっては、核拡散抵抗性や保障措置への考慮が不可欠となっており、関連技術の開発、設計・建設を担当する実施主体が、効率的に業務を進めるためには、設計等初期段階から核拡散抵抗性や保障措置について十分な認識をもつことが必要な状況にある。2004年からは統合保障措置が適用され、原子力に携わるすべての関係者が、この状況を十分認識した上で原子力技術の研究開発を推進することが必要かつ重要となってきている。また、2001年9月11日の同時多発テロを契機として、世界的に核セキュリティの重要性に対する認識が高まっており、その一環として、一昨年12月になされた、原子炉等規制法の改正、原子力委員会における「原子力防護専門部会」の設置、検討などの動きがある。加えて、核物質および原子力施設に対する妨害破壊行為も核物質防護の対象となるなど、核セキュリティにおける情勢は大きく変化しており、原子力関係者の理解とその対応が求められている。

このような原子力を取り巻く最近の諸情勢を鑑み、当分野における関係者間の連絡を密にすべく、「核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会」(以下、核不拡散連絡会)は新設された。この核不拡散連絡会の「2008年春の年会」での活動について報告する。

去る3月27日の正午から、核不拡散連絡会の第1回総会、午後一番に、講演・パネルディスカッションを行った。

今回の連絡会企画セッションは第1回目であることから、国内の核不拡散セキュリティ等の状況について紹介すると共に、原子力学会における当分野での重要性について議論を行った。

企画セッションでは、冒頭、座長の中込良廣京都大学名誉教授より、核不拡散・保障措置・核セキュリティの動向・課題とわが国の取組み、本連絡会への期待について講演が行われた。また核物質管理学会(INMM)日本支部・核物質管理センターの内藤香専務理事より、核物質管理学会の最近の活動について紹介がなされた。続いて、日本原子力研究開発機構(JAEA)の千崎雅生核不拡散科学技術センター長より、核不拡散へのJAEAの取組みについて講演が行われ、その後、日本原燃(株)(JNFL)の藤巻和範理事より、六ヶ所再処理工場における保障措置の実施とその課題について講演がなされた。最後に、核不拡散に係わる次世代専門家の育成における東京大学グローバルCOEプログラム(G-COE)での取組みについて東京大学大学院原子力国際専攻の久野祐輔客員教授が講演を行った。

講演後、講演者をパネリストにしたディスカッションがなされ、原子力平和利用推進における核不拡散への配慮の重要性や今後の課題などについて議論がなされた。参加者数は50名に及び、第1回核不拡散連絡会企画セッションは盛会のうちに幕を閉じた。また引き続き午後2番目には一般セッション(核不拡散)が行われ、講演・パネルセッションのみならず、「核不拡散」全体としても非常に盛会となった。

今後も継続的に原子力学会や他の部会、他学会との連携を図り、共同セッションやセミナーなどを開催し、部門を越えた議論ができるよう取り組んでいく。

(核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会  
事務局 勝村聡一郎、2008年5月20日記)



講演の様子



パネルディスカッションの様子



### 出会い

思い返せば、私が今に至るまで多くの出会いがあった。今の大学を受験したのは、高校の総合学習の時間に、当時、アフガン戦争で問題になっていた劣化ウラン弾を調べたのがきっかけで、原子力について勉強したいと思ったから……このきっかけは、ある種の出会いだったと思う。また、就職しか考えていなかった私が、今の研究室に入り、大学院進学を決意できたのも、熱心な先生方、同じ大学や他大学の先輩方と出会いがあったから……本当に出会いは人生を左右する。私は小学校から高校まで地元の学校に通い、また大学と進む中、本当に多くの人たちと出会ってきた。その中で、育ってきた環境や価値観が違う友達や、様々な立場の人と交流を持つようになった。それぞれが違う人生を歩んでいるはずなのに、誰かと出会って、関わり合っていることは、偶然ともいえない何か不思議なものを感じる。特に高校の友達は、就職、結婚をしてそれぞれの人生を歩んでいる。でも、どこかでつながっていて、支え合っていて、これからのことを語り合い、刺激しあえる仲。生き方は別だけど、お互いを認め合える友達。卒業して、今の距離感だからこそ、本音で語り合えて、より大切に感じるができるのだと思う。この生涯付き合える友達に出会えたこと、今の自分の環境はすべて、高校につながっていると思う。私が通った高校は、望んでいた学校ではなかったけれど、もしあの高校に行っていなかったら、今の親友はいないし、原子力にも興味を持つこともなかったかもしれない。さらにいえば、数学と物理の先生が、あの先生方でなかったら、私は工学部にさえ進学していなかったかもしれない。そう考えると、自分の思い通りにならない状況であっても、そこにはそこにしかないものがあると感じる。今の自分にとって、それまでの出会い、悩みも、良いことも悪いことも全部が意味のあること。だから私は、友達、家族、今ある環境とそれに関わる方々、これからあるだろう出会いを大切にしていきたい。

上西紗耶加(武蔵工業大学4年)



### 因縁という考え方

角川文庫に、高神覚昇という人の書いた『般若心経講義』という本がある。若い頃に出会って、含蓄が深いので時々読み返しているのであるが、その冒頭に、仏教の根幹は因縁生起を知ることだと述べられている。「因」とは、結果に対する直接の力であり、「縁」とは因を扶けて、結果を生じせしめる間接の力である。ところがわれわれは、どうしてもすべてを因果としてみて、すべての因から結果を導いて、ラプラスのデーモンの真似をするのが科学だと考えてしまう。あるいは、条件を制御した実験や対照実験では、因果関係に注目するあまり、「因」のおかれた状況や条件のことを所与のこととして見落としてしまう。「専門家」は試験管の中とか生体内とか、それぞれの分野で扱う状況や条件の中で起こる可能性のある事柄についてよく知っているから専門家と呼ばれるのだろう。

一方、放射性廃棄物の地層処分では、何万年何十万年という時間にわたって、地下数百mのところにおかれた放射性廃棄物がどうなる可能性がどのくらいあるかを考えなければならない。「縁」に相当する、廃棄物の置かれた状況や条件は、既存の研究分野が扱ってきたものとは著しく異なっている。この状況や条件となる環境は、短時間で平衡に向かうような閉鎖系ではなく、さまざまな時間スケールで変化しつつある物質世界の中で、動的または過渡的に準平衡状態にある開放系である。このため、この時空間の条件をすべて因とみなして廃棄物がどうなるかを考えるには無理があるので、まず、そのおかれた状況や条件がどうなっているかあるいはどうなるかを考えるのが処分の安全研究の進め方である。このような見方の違いが、因果を追究してきた他の研究分野の人に処分研究をなかなか理解してもらえず、処分の安全性や実現可能性について納得してもらえないことにつながっているのではないかと思う。専門家と呼ばれる人が、「縁」が異なっていることに気づかないで、既存の科学的成果や考え方をそのまま処分の安全性の判断に適用してしまうという誤解が生じることにもなっているのではないかと思っている。因縁という考え方も大事なのではないだろうか。

栢山 修(原子力安全研究協会)



リレーエッセイは、今回で最終回です。

## 編集委員会



## 平成20年編集委員長あいさつ —社会との双方向性をめざして—

大阪大学 堀池 寛

このたび、代谷先生の後任として編集委員長を仰せつかりました。学会誌・論文誌の発行は、学会を取り巻く社会で何が考えられ、何が行われているのかなど様々な情報を広く発信し、また会員の研究成果を公表し議論を進めて学会全体の発展を目指す、という学会活動の中核ともいえる重要な活動です。そのため、多数の編集と査読委員の方々にボランティアベースの重い作業を担っていただいていることにつきまして、改めて関係御各位のご努力に感謝と敬意を表したいと思います。

さて、学会誌は昨年よりアトモス ATOMOΣとして一新され、近藤編集長の檄によりますと、町の本屋で売れる雑誌を目指して、内容も報道性と社会性の高い記事を掲載するべく更なる改革が進められています。英文論

文誌は、改革努力がインパクトファクターの向上として反映されてきました。短期間での査読通過と、その代償としての掲載拒否数の増加は、発展の早い社会への適応という昨今の社会情勢に適応し、公正で質の高い成果を公表するためのものです。会員各位が社会的な責任も視野に入れた原稿を上手に作成され投稿していただくことが、ますます重要となっています。このため編集委員会ではガイドラインの整備とITメディア化を進め、透明性が高く迅速な審査を目指しております。会員各位のご発展をお祈り申し上げると共に、学会誌・論文誌へ大いに寄与していただき、学会の発展を目指して下さいますよう、僭越ながらお願い申し上げます。

理事 小川 徹      理事 森山裕丈      理事 池本一郎

### 論文誌編集長挨拶

論文誌は学会の宝もの

東京工業大学 矢野豊彦

編集長を引き受けて、かれこれ8年目になります。この間、和文論文誌の創設、審査の迅速化、論文種別と審査基準の改定、英文の全文素読校閲導入等、改革を鋭意進めてきました。その結果、英文・和文ともに投稿数の増加に結び付き、英文誌ではインパクトファクターが米国原子力学会発行誌を凌ぐまでになりました。また、海外からの投稿が増加し、平成18～19年度には約30%を占めるまでになりました。今年度には、インターネットを全面的に取り入れた新しい論文投稿・審査システムへの切替えを予定しております。これにより、海外からの投稿がより増加することが期待されます。

英文論文誌は代表的な国際誌として、また和文論文誌は一般社会にも開かれた研究論文誌として、その定期的な発行と、高いレベルの論文を掲載していくことが、学会の使命の大きな一翼を担う編集委員会に課せられた役割であると認識し、編集・発行作業を進めていく所存であります。なお、投稿論文の審査は多数の会員にボランティアでお願いしております。真摯なご協力に感謝いたします。

### 学会誌編集長挨拶

原子力界の代表誌 ATOMOΣ を目指して

三菱商事(株) 近藤吉明

学会誌は、多くの会員が求める情報をわかりやすく、読みやすい記事にして時宜を逸せず提供して、学会と会員をつなぐことにあります。また原子力立地自治団体、マスメディア関係者等への原子力情報提供の役割も担っています。

学会誌の記事は、編集委員会の企画による依頼記事と一部の投稿記事で構成され、執筆者は、会員と会員外の有識者からなっています。記事の方向付けは、毎月開催される編集幹事会と編集連絡会の意見と Web アンケート評価結果をもとに行っています。

学会の財務状況を考慮して紙数を徹底管理し、また少ない資源で効率的に編集業務が行えるように、常に編集作業システムを見直しています。執筆者向けにマニュアル類とテンプレートを用意して、学会 HP に掲載しています。

読者は辛抱してまで記事は読んでくれません。よい記事は読もうと努力しなくても自然に頭の中に入ってきます。その甲斐もあってか、最近寄せられる原稿の流れが変わりつつあります。

『原子力界の代表誌 ATOMOΣ』に向かって努力してまいりますので、読者の方々のご支援とご指導をお願いいたします。



## 編集委員会委員一覧

## 学会誌編集長

近藤 吉明(三菱商事)  
 (副)白川 典幸(エネ総研)  
 (副)佐田 務\*(原子力安全委事務局)

原田 秀郎(原子力機構)  
 原野 英樹(産総研)  
 前畑 京介(九大)  
 村田 勲(阪大)

芝 清之(原子力機構)  
 藤森 治男(日立 GE ニュークリア・  
 エナジー)  
 山村 朝雄(東北大)

## 論文誌編集長

矢野 豊彦(東工大)  
 (副)橋本 憲吾(近畿大)

## 3 分野 炉物理

長家 康展(原子力機構)  
 松本 英樹(三菱重工)  
 岩本 達也(GNF-J)  
 下 哲浩(京大)  
 山本 俊弘(原子力機構)  
 若林 利男(東北大)

9 分野 炉化学,放射化学,燃料再処理,  
保障措置技術

明珍 宗孝(原子力機構)  
 市川 長佳(東芝)  
 熊谷 幹郎(UI 技研)  
 笹平 朗(日立)  
 松村 達郎(原子力機構)

## グループ主査

A 澤田 哲生(東工大)  
 B 植田 伸幸(電中研) 7 分野  
 C 山西 敏彦(原子力機構)  
 D 川島 正俊(アイテル) 3 分野  
 E 北田 孝典(阪大) 3 分野  
 L 松浦 治明(東工大) 9 分野  
 M 執行 信寛(九大) 2 分野  
 N 宮木 和美(東芝) 7 分野  
 P 高橋 浩之(東大) 2 分野  
 Q 小林 容子(テプコシステムズ)

4 分野 原子炉計測制御、ヒューマン  
マシンシステム

五福 明夫(岡山大)  
 武内 豊(東芝)

## 10 分野 放射性廃棄物の処理, 処分

稲垣八穂広(九大)  
 上田 真三(三菱マテリアル)  
 豊原 尚実(東芝)  
 長尾 誠也(北大)  
 西 高志(日立)  
 山口 徹治(原子力機構)

## 5 分野 遠隔操作, 原子炉機器

谷内 廣明(トランスニュークリア)

## 編集顧問

(共)河出 清(名大名誉)  
 (学)鈴木達治郎(東大)  
 (論)森田 健治(名城大)  
 (論)中島 健(京大)

## 6 分野 伝熱流動

田中 伸厚(茨城大)  
 川原顕磨呂(熊本大)  
 岩城智香子(東芝)  
 江里幸一郎(原子力機構)  
 岡田 英俊(NUPEC)  
 工藤 義朗(GNF-J)  
 宋 明良(神戸大)  
 辻 延昌(富士電機アド)

## 11 分野 核融合工学

相良 明男(核融合研)

## 学会誌専任

嶋田昭一郎(元三菱重工)  
 関 泰(元原子力機構)  
 根井 弘道(元東芝)

## 12 分野 保健物理と環境科学

高橋 知之(京大)  
 木名瀬 栄(原子力機構)  
 床次 眞司(放医研)  
 三浦 太一(KEK)

## 1 分野 総論

小野 清(原子力機構)  
 八木 絵香(阪大)  
 入江 一友(JNES)  
 田邊 朋行(電中研)

## 7 分野 原子炉運転管理, 原子力安全工学

笠原 文雄(JNES)  
 内山 軍蔵(原子力機構)  
 守田 幸路(九大)  
 山越 義規(三菱重工)

## 学会誌諮問委員

石橋すおみ(東京電力)  
 喜多 智彦(原産協会)  
 黒木 慎一(原子力委員会)  
 小林 大和(資源エネルギー庁)  
 花井 祐(原子力機構)  
 矢野 眞理(JNES)  
 一杉 義美(日本原燃)

## 2 分野 放射線工学と加速器・ビーム科学

河原林 順(名大)  
 今野 力(原子力機構)

## 8 分野 原子力材料, 核燃料

佐藤 修彰(東北大)  
 黛 正己(電中研)  
 鶴飼 重治(北大)

\*印は諮問委員兼務

## 企画委員会



### 仕事は増やさず，テーマは広く 企画委員長あいさつ

日本原子力研究開発機構 小川 徹

1年があつという間に過ぎてしまいました。前期からの課題の三分の一もできたでしょうか。この委員会に限らないのですが、仕事には真面目にやればやるほど増えるという恐ろしい本性があるようです。したがって、ときには、やらないという決断も必要と思えます。

昨年来、専門委員会について規程関係を整理して、混乱した議論を繰り返さないようにしようとしてきました。いま、受託事業について、特別専門委員会を設置して対応すべきものと、それ以外のものとに分類し、一般管理費のあり方もそれに応じて整理しようとしています。こういった議論でも、効率的に進めようとする個々の事情と合わないいろいろな問題が出てきます。しか

し、緻密に個々の事情に合わせれば、そこでまた大きなエネルギーと時間が費やされてしまいます。解決は適時に簡潔に、しかし、決して改まらない解決というものがない、というところで関係者のご理解を得ていきたいと思っています。

さて、本来の企画業務とは、学会の果たすべき役割や機能を見通し、必要な手を打っていくことでしょうか。そのとき、委員個々の視野は限られていることから、広く会員からの提案に対して開かれた委員会であるべきです。限られた時間の中で実効をあげるには、取り上げるべき課題は絞らざるを得ませんが、各種の提案が宙に消えてしまわない仕組みも考えていきたいと思っています。

理事 小川順子      理事 黒田雄二      理事 阿部清治  
理事 小澤通裕      総務理事 吉田 正      編集理事 堀池 寛

副委員長



澤田 隆  
三菱重工業株

委員



藤田玲子  
株東芝

委員



大場恭子  
金沢工業大学

委員



三原隆嗣  
資源エネルギー庁

委員



関村直人  
東京大学

委員



青山肇男  
株日立製作所

委員



石井慶造  
東北大学

委員



石寺孝充  
日本原子力研究開発機構

委員



中塚 亨  
日本原子力研究開発機構

部会等運営委員会

部会等運営委員会委員長就任にあたって  
皆様の視点に立って

名古屋大学 松井 恒雄



部会等運営委員会は、年会、大会など、費用収益を伴う事業の推進、並びに部会、連絡会、専門委員会などの運営を担当しています。これらの活動は、編集委員会が担当している学会誌・論文誌発行などと並んで、学会(学術)活動の基本であります。

近年、年会・大会については、オンライン登録の開始、CD-ROM 予稿集発刊、若手会員のポスターセッション、Webによるプログラム編成の本格実施、年会・大会のウェルカムレセプションの創設などが進められてきました。

一方、部会、連絡会、専門委員会等の運営については、その活動状況の報告・把握が始まったばかりであり、今年度以降、企画委員会と連携を取りながら部会、連絡会、

専門委員会等のあり方・活性化に向けての支援、必要とあらば、再編・整理を含めた議論が行われます。これらの活動は学会からの経費の支出を伴っており、公益法人化対応とも関連しており重要な議題と考えています。

このように、本委員会では、企画委員会で従前担当していた事項を引き続きながらも多岐にわたる日常的な審議事項を多数の部会、連絡会等の代表委員と議論している状況であり、メール審議とワーキンググループを併用して迅速かつ効率的な運営を行っています。

本委員会は多くの会員の皆様に直接的に関連した課題を扱っています。常に会員の皆様の視線に立って活動をしていく所存ですので会員皆様のご支援・ご協力をどうかよろしくお願いいたします。

理事 佐藤正知      理事 武藤 栄      理事 吉田 正  
教育理事 森山裕丈      企画理事 小川順子      編集理事 小川 徹

|                   |                 |                   |                    |                     |                  |                            |
|-------------------|-----------------|-------------------|--------------------|---------------------|------------------|----------------------------|
| 炉物理               | 核融合工学           | 核燃料               | バックエンド             | ヒューマン・マシン・システム      | 熱流動              | 放射線工学                      |
|                   |                 |                   |                    |                     |                  |                            |
| 岩崎智彦<br>東北大学      | 横峯健彦<br>九州大学    | 安部田貞昭<br>三菱重工業(株) | 山田憲和<br>三菱マテリアル(株) | 五福明夫<br>岡山大学        | 坂場 弘<br>三菱重工業(株) | 神野郁夫<br>京都大学               |
| 加速器・ビーム科学         | 社会・環境           | 保健物理・環境科学         | 核データ               | 材料                  | 原子力発電            | 再処理・リサイクル                  |
|                   |                 |                   |                    |                     |                  |                            |
| 古澤孝弘<br>大阪大学      | 三島 毅<br>日本原燃(株) | 飯本武志<br>東京大学      | 中島 健<br>京都大学       | 鈴木雅秀<br>日本原子力研究開発機構 | 河村浩孝<br>電力中央研究所  | 深澤哲生<br>日立GEニュークリア・エナジー(株) |
| 計算科学技術            | 水化学             | 海外情報連絡会           | 学生連絡会              | 原子力青年ネットワーク<br>連絡会  | シニアネットワーク<br>連絡会 | 核不拡散・保障措置<br>・核セキュリティ連絡会   |
|                   |                 |                   |                    |                     |                  |                            |
| 笠原文雄<br>原子力安全基盤機構 | 鈴木 晃<br>東京電力(株) | 飯尾俊二<br>東京工業大学    | 鈴木 将<br>東海大学       | 石寺孝充<br>日本原子力研究開発機構 | 金氏 顯<br>三菱重工業(株) | 鈴木美寿<br>日本原子力研究開発機構        |



# 地球が直面している危機に多くの関心

## マスメディア報道の検証が必要だとの声も(5月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」5月号に対して寄せられた Web アンケートの結果をご紹介します。今回は99名の方から、回答がありました。

### 1. 高く評価された記事

Web アンケートでは、各記事の内容および書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。5月号で高く評価された記事について、「内容」、「書き方」に分けてそれぞれ上位4件をご紹介します。

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

| 順位 | 記事の種類      | タイトル                                   | 評点<br>(内容) |
|----|------------|--|------------|
| 1  | 巻頭言        | 地球の直面している危機をどうやって救うか。本音で話そう            | 3.92       |
| 2  | 特集         | 制御棒引き抜け事象調査委員会の報告について                  | 3.74       |
| 3  | ジャーナリストの視点 | 書を持ち、街へ、人へ。                            | 3.72       |
| 4  | 連載講座       | 高速炉の変遷と現状(最終回)<br>最近の高速炉の位置づけと国内外の開発動向 | 3.71       |

第2表 「書き方」の評価点の高かった記事(上位4件)

| 順位 | 記事の種類      | タイトル   | 評点<br>(書き方) |
|----|------------|--|-------------|
| 1  | 巻頭言        | 地球の直面している危機をどうやって救うか。本音で話そう                            | 3.76        |
| 2  | 表紙         | シェヴェービッシュ・ハルト  | 3.68        |
| 2  | ジャーナリストの視点 | 書を持ち、街へ、人へ。  | 3.68        |
| 4  | 連載講座       | 軽水炉プラント—その半世紀の進化のあゆみ(8)<br>日本の軽水炉開発(2)<br>—軽水炉の導入(BWR) | 3.67        |

有馬朗人氏の巻頭言が「内容」、「書き方」ともトップでした。

### 2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 「時論」のタイトル「サステナブルな社会を目指して」に関して、カタカナ英語は一般の人には通じない。適切な日本語を示してほしい。
- (2) 「NEWS」の「柏崎市で「地震国際シンポ」を開催」に関して、もっと内容の詳細を報告してほしい。また、マスコミの当時のニュースの取り上げ方について、原発、報道者、一般市民が時間をかけて討論してほしい。
- (3) 「特集」に関して、制御棒引き抜け事象の原因について、詳細な検討がなされており、読み応えがあった。欲をいえば、本事象がどの程度起こりやすいのか、確率論的アプローチも含めるとさらに良かったと思う。
- (4) NPO 活動の「解説」に関して、記事内のマスメディア報道に対する議論で用いられている実効報道量という新しい用語が興味深かった。
- (5) 「支部便り」に関して、オープンスクールに大人の割合が増えたことは望ましい。その原因まで書いていただけたらさらに良かった。
- (6) 今後、掲載を希望する記事として、各部会活動の面白い点、重要な点のアピールをしてほしい。

### 3. 編集委員会からの回答

- (1) 上記(6)のコメントに関して、「50周年記念号」(2009年4月号)で、16部会の活動記事を掲載する予定です。各部会の執筆者は、読者の期待に応えるような内容をお願いします。

学会誌ではこれからも、会員の皆様により質の高い情報を送りたいと考えております。記事に対する評価はもとより、さまざまな提案もぜひ、Web アンケートでお寄せ下さるようお願いいたします。

## ジャーナリストの視点 Journalist's eyes

### 原子力業界 OB たちに学ぶ

東奥日報 福田 悟

原子力施設は迷惑施設，中央から押し付けられた厄介者一。私はずっとそう思っていた。10年ほど前に原子力の担当記者になってからも，その考えは正しいと信じて疑わなかった。原子力に批判的な記事を書くのが地方紙の記者の使命とさえ思っていた。

「ちょっと待てよ。別な見方もあるようだぞ」と思い始めたのは連載企画の取材で，原子力開発の黎明期やビッグプロジェクトの開始時期に活躍した原子力業界OBから直接，苦勞話を聞く機会を得てからだ。

平岩外四元電事連会長，小林庄一郎元電事連会長，依田直元電力中央研究所理事長，豊田正敏元日本原燃サービス社長，森一久元日本原子力産業会議副会長，伊原義徳元科学技術事務次官，金子熊夫元外務省原子力課長…。現役の電力会社幹部や官僚は奥歯にモノが挟まったような話し方が多いが，裏話や失敗談を交えた当事者ならではの率直な発言からは，原子力開発に賭けた彼らの熱い思いが伝わってきた。

特に，原子力船「むつ」の放射線漏れや高速増殖炉「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故の対応にもあつた伊原氏の言葉が今も脳裏に焼き付いて離れない。

「企業の入社式で社長が失敗を恐れるな」と訓示するが，こと原子力については失敗が許されないのは甚だおかし。日本式完璧主義によるものだろうが，太平洋戦争で帝国陸軍の完璧主義により命を失いかけた私の年代にとっては恐るべき精神主義だ。技術は失敗の積み重ねで進歩する。わが国の世間一般が世界的常識に従って原子力の安全問題を理解するようになってほしい。

伊原氏の嘆きは，われわれマスコミ業界に投げ掛けられた重い問い掛けにも感じた。「資源小国・日本に原子力エネルギーは不可欠」という“決まり文句”が徐々に実感へと変わってきた。日本の将来を考え，原発，核燃料サイクルに取り組まなければならないと真剣に考えた多くの人が出たことを知ったのは大きかった。

私はここ10年ほど原子力報道にずっと携わっているが，地方紙では希な例だと思う。前出の原子力OBの方々に出会う機会に恵まれたのも比較的長い間，原子力を担当していたからだろう。他社も含め，私の周囲を見渡せば，担当記者が1年ごとに替わるケースも珍し

くない。このような場合，報道はどうしてもセンセーショナルになりがちに思う。

原子力トラブルが起きたとき，緊張感を持ってもらうためにもマスコミが事業者を批判することも必要だろう。何より周辺住民に被害を及ぼしてほしくない。しかし，それが雰囲気流されたバッシングになってはならないと思っている。後輩記者にもそう助言しているし，広い視野を持つためにも，原子力OBらに直接会い，話を聞く機会を設けるよう勧めている。

せっかくの機会なので日本原子力学会のことも触れておきたい。地方暮らしのためか，学会がどんな活動をしているのか私にはピンと来ない。一方，原子力資料情報室など反対派といわれる団体の広報活動は積極的でわかりやすい。原子力トラブルの報道に際し，新聞社としては推進・反対両派の識者の見方を紹介したいと考える。取材にすぐに応じしてくれる資料情報室などは，その日その日が勝負の新聞社にとってはありがたい存在だ。その点，学会に意見を求めようとしても，だれに，どう連絡すればいいのかわからない。

日本原子力文化振興財団が，原子力施設が立地する地方で開催しているマスコミ向けの研修会は有意義な試みだと思う。最近では，山名元京都大学原子炉実験所教授が六ヶ所再処理工場の安全性について，長崎晋也東京大学教授が高レベル放射性廃棄物の最終処分について青森市で講義をした。以来，両教授には機会あるごとにコメントを求めようになった。

日本原子力学会も「コメンテーターバンク」のような仕組みをつくり，取材に即応できる態勢を整えたらどうだろう。マスコミ向け勉強会を開くのもいい。そうすれば，「マスコミは批判的な意見ばかりを取り上げる」といった不満も徐々に解消されるのではないか。



福田 悟(ふくだ・さとる)

東奥日報三沢支局長

1988年弘前大学人文学部卒業，東奥日報社入社。政経部，むつ支局，政経部次長などを経て，2008年4月より現職。青森県下北半島の原子力事業を約10年間にわたり取材。