

「核燃料サイクルの日本型性能保証システム」
研究専門委員会

中間報告案

平成 22 年 12 月

「核燃料サイクルの日本型性能保証システム」研究専門委員会

目 次

| | |
|-------------------------------------|----|
| はじめに | 1 |
| I 検討の前提条件 | 3 |
| 1. 「核燃料サイクルの日本型性能保証システム」とはなにか | |
| 2. 核燃料サイクル技術の国内での商業化のための課題 | |
| II 検討課題の抽出 | 16 |
| 1. これまでの技術開発／実用化体制における課題 | |
| 2. 目指すべき日本型性能保証システム | |
| 3. 検討方針（目的） | |
| 4. 検討項目の抽出 | |
| III 中枢的政策立案機能及びガバナンス機能 | 22 |
| 1. 国家プロジェクト推進のための制度設計 | |
| 2. 必要な資源確保のための基本理念や仕組みの構築 | |
| 3. ガバナンスの必要性 | |
| IV 公的研究機関が行う R D & D 等（性能保証のための仕組み） | 27 |
| 1. 事業者及びプラント供給者の早期段階からの関与 | |
| 2. 実用化段階で求められる技術内容と開発技術データベース | |
| 3. 技術移転段階以降の公的研究開発機関の役割 | |
| V 技術移転及び商業化メカニズム | 36 |
| 1. 技術情報の文書課（形式知化） | |
| 2. 文書課された技術・情報の確実な移転/継承 | |
| 3. 暗黙知の移転/継承 | |
| 4. 開発思想の移転 | |
| 5. 技術移転/継承すべき技術保有者 | |
| VI 安全規制；「柔軟な規制」の必要性 | 42 |
| 1. 試験研究施設に関する安全規格基準整備研究の過去の実施状況 | |
| 2. 商業施設に関する安全規格基準の過去の整備状況 | |
| 3. 安全規制当局は試験研究の計画段階から参加する柔軟な規制を | |
| VII 人材の育成と活用 | 47 |
| 1. 人材の計画的・継続的な育成 | |
| 2. 長期的人材活用プログラムの推進 | |
| 3. 安全規制行政を担う人材の計画的育成 | |
| VIII まとめ | 54 |
| 1. 本報告書における提言事項 | |
| 2. 今後の検討課題 | |

| | | |
|---------|-----------------------------------|----|
| (補足資料1) | ライフサイクル全体を通しての経済性 | 56 |
| (補足資料2) | 国の研究機関における成果の普及 | 58 |
| (補足資料3) | 基礎基盤的技術を維持する機能及び資源；東海再処理工場の事例 | 64 |
| (補足資料4) | 公的研究開発機関の継続的活動に対するクライアントによる一部費用負担 | 74 |
| (補足資料5) | 安全規制に関する考察 | 76 |

(付録) 執筆者一覧及び「核燃料サイクルの日本型性能保証システム」研究専門委員会委員一覧

はじめに

我が国においては、原子力の開発は、平和利用を大前提に、当初から核燃料サイクルの実現を念頭に計画が進められてきており、先行する諸外国と比べてもその基本的考え方は特筆すべきものと言える。しかしながら、我が国が敗戦国でありかつ唯一の原子爆弾の被災国であったという事実を背景に、社会的にも政治的にも今日の核燃料サイクルの実用化段階に至る道筋は決して平たんなものではなく、常に時代の波に翻弄され続けてきた歴史であった。今後も引き続きその進展は平たんではないことを念頭におくべきであろう。

「核燃料サイクルの日本型性能保証システム」研究専門委員会は、昭和 30 年代初頭の核燃料サイクル技術開発の黎明期から実用化段階に入った今日までの 50 年間を振り返りつつ、我が国の核燃料サイクル技術が置かれている状況を冷静に考察することを通じて、核燃料サイクル産業の未来を実り多いものとし、我が国のエネルギーの安定確保における基幹産業としていくための今後のあるべき姿を提言すべく「国家プロジェクトとして総合力を発揮できる、一体感のある研究推進体制のあり方を検討する」ことを目的として発足した。以下に本委員会の設立趣旨を示す。

「原子力立国計画を実現する燃料サイクル技術が実用化される時期になってきた。しかしながら、主に技術的課題により運開が延長されることが多く見受けられるようになり、研究開発成果の実用化技術への移転に課題があることが指摘されている。

そこで、原子力立国計画を実現するために日本型性能保証を目指した長期的研究開発の仕組みに関して、今、我が国は何をすべきか。その有るべき姿に向けて何をどのように改善したら良いか。分析、検討、提言をまとめる。

本研究専門委員会では、再処理施設等を事例として取り上げ、商業プラントの建設・運転主体である事業会社、設計・建設主体であるメーカー、技術研究開発主体である公的研究機関等の間に存在する意識のギャップの実態を分析し、今後国家プロジェクトとして総合力を発揮できる、一体感のある研究推進体制のあり方を検討する。」

このような目的を達成するための本委員会の問題意識は以下に集約される。

- ① 核燃料サイクル技術を国の機関が研究開発し、その成果を民間事業者が用いて事業化する、という我が国独自の仕組みに内在する問題が有るのではないか。
- ② 問題が有るとすればそれは何か、あるべき姿はどのようなものか、問題をどのように解決してあるべき姿を実現すべきか。

これらの問題意識を共有し、その打開策を幅広く検討するため、本委員会は「核燃料サイクルの日本型性能保証システム」研究専門委員会の名称のもと、

研究開発機関、大学、事業者、メーカー、規制関係者等から原子力学会員である委員の参加を得て、多様な構成とした。本委員会の構成は主査の他、幹事3名、委員30数名であり、2009年10月発足以来、ほぼ月に一度の頻度で、これまで10回の委員会を開催してきた。また、この間、2010年3月の日本原子力学会春の年会、9月の同秋の大会において企画セッションを持ち、検討状況を紹介するとともに本委員会の委員以外の学会員からの意見も求めてきた。

この他、本委員会発足の原動力となったメンバー7～8名で構成するコアメンバー会議（準備会合的位置づけ）を昨年春から10数回継続開催してきており、本委員会の議論を支える役割を果たしてきている。

本中間報告書は、学会の委員会として透明性を以て、公正、公平に行った検討の状況を中間的に取りまとめたものである。

なお、本報告書の編集に当たっては、誤字、脱字、用語の不統一等を極力排除したつもりであるが、各執筆者、各委員の思いもあり、原稿の加筆修正も数次にわたったことから、校正作業に十分な時間を割くことができなかった。また、同様に時間的制約から、各委員の見解の反映も十分とはいえないかもしれないとも推察する。以上の事情から、本報告書は当委員会の中間とりまとめ案という位置付けとし、名称も「中間報告案」とした。よって、多少の瑕疵についてはご容赦頂きたい。

I 検討の前提条件

1. 「核燃料サイクルの日本型性能保証システム」とはなにか

核燃料サイクル技術の開発を行うには、大型の核燃料物質取り扱い専用施設が必須であり、これを有する研究開発機関でなければ實際上技術開発を行うことができない。我が国の公的な研究開発機関は、他の原子力先進国と同様に、核燃料サイクル技術の開発を進めるために活用できる大型の核燃料物質取り扱い専用施設を有しているが、他の原子力先進国とは異なる我が国固有の状況として理解しておかなければならないことは、軍事部門に原子力技術が存在しないこと¹であり、技術開発に必要な人材・技術リソースの維持・蓄積はすべて民生部門に依存していることである。

これに加え、核燃料サイクル技術そのものが化学工学と機械工学にまたがる広範な領域に広がっていることも相まって、我が国においては、重要な設計データが公的研究開発機関、プラント供給者、事業者等の多くの企業・機関に暗黙知の形で分散保有²されている場合が多い。このため核燃料サイクル施設については、発電プラント建設に関し受注者であるメーカーが発注者である事業者に対して行っているような意味でのプラント全体の性能保証を行い得る主体が存在しない状況にある³。このことは、国内における核燃料サイクルの事業化に向けて困難な状況を引き起こすばかりでなく、今後我が国原子力産業の国外への展開が本格化していく中で、一層の制約条件となり得ると考えられる。

「核燃料サイクルの日本型性能保証システム」とは、こうした我が国特有の状況の下で、核燃料サイクル技術の開発、技術の継承⁴、機器の設計・製造、施設の建設、運転管理・維持管理に至る一連の過程を通じ、あらゆるステークホルダーの合意形成のもと、プラント全体の性能保証を確保して円滑に商業化を

¹ 日本以外の原子力先進国は軍事部門に燃料サイクル施設と関連研究部門を有し、必要な人的・技術的リソースを維持・蓄積しており、その効果は原子力に関する規制を担う人材供給にも及んでいる。このため我が国は軍事部門のリソースに依存することなく、国際競争力のある核燃料サイクルを構築する必要がある。

² 視点を変えれば、研究開発の主体が事業化の主体と異なること、及び事業化の主体が純民間企業であることも、我が国と他の原子力先進国との差異であると言える。

³ 再処理工場の建設に当たり、総合システムエンジニアリングと、設備・機器の建設とを異なる企業が受注し、前者が総合システムとしての性能保証を、後者が該当する設備・機器の性能保証をそれぞれ担うという契約形態が採用された事例がある。

⁴ 通常「技術移転」と呼ばれるプロセスと同様の概念であるが、「技術移転」という表現は例えば開発主体と製品化を指向する企業との間の特許の実施契約とそれに伴って行われる設計図書の売買等、比較的一過性の目に見える行為を連想させることから、ここではより説明的な表現とした。核燃料サイクル施設の実現に際しては、開発段階におけるプラント供給者や事業者から公的研究開発機関への人材養成も兼ねた人材派遣、設計図書には記述できないような暗黙知データベースの構築とクライアントへのアクセス権の付与、継続的なコンサルティングの実施等、広範囲かつ継続的なプロセスが必要となる。

進めていくために必要な仕組みやルールの体系を意味している。具体的には、ステークホルダー間の責任分担の調整や明確化、各段階における目標設定やチェックアンドレビューの仕組み作り、公的研究開発機関の研究成果を円滑にプラント供給者や事業者へ継承するための仕組み、市場原理に委ねては確保が困難な資源⁵を確保するための仕組み、各段階にふさわしい安全規制体系等、広範な領域にわたる概念であり、全体として核燃料サイクルの構築に向け効果的かつ効率的で強力なガバナンス⁶を可能とするものでなければならない。

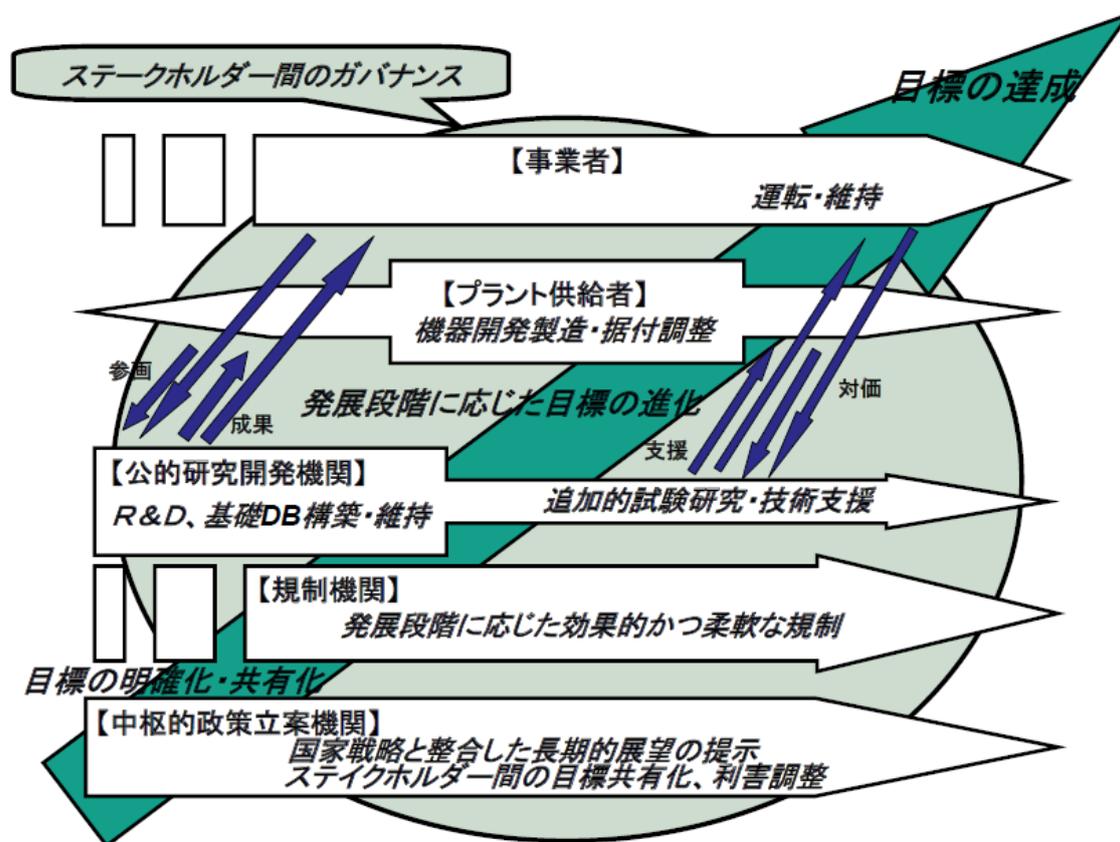


図 1 - 1 目指すべき「核燃料サイクルの日本型性能保証システム」のイメージ

⁵ 例えば、商業化施設の建設に際して必要となった追加的研究開発をプラント供給者や事業者が行うような場合、核燃料物質取り扱い施設を使用することとなるが、この目的のためには公的研究開発機関において研究開発目的のために建設された施設を（当初目的を果たし終えた後まで）継続的に利用することが有効である。現在こうした施設の維持・管理を含む研究支援サービスの提供のために必要な資源を確保するための仕組みは存在しない。

⁶ ガバナンスとは、それぞれが多様な視点と関心を有するステークホルダー間の水平的な関係に基盤を置く組織形態を言い、そこでの意思決定のためにはステークホルダー間の継続的な交渉や、場合によってはいわゆる「同床異夢」の合意が必要となる。これに対し、ガバメントは政府内の上下のヒエラルキーに基づく権限関係を基礎とする組織形態である。

2. 核燃料サイクル技術の国内での商業化のための課題

2. 1 これまでの経緯と現状

我が国の核燃料サイクル技術の開発は、昭和 30 年代当初においては、国が核燃料サイクルサービスを提供する、という前提でスタートした（原子燃料公社の設立）。その後、日本経済の高度成長期を経て、民活論が活発化し、昭和 40 年代に至って「技術開発は国が、事業化は民間で」という仕組みに転換された（原子燃料公社を改組し動力炉・核燃料開発事業団（動燃）を設立）。

この時の思想は、国（動燃）が技術の成立性を確認し、民間（プラント供給者及び事業者）はこれに協力すると共に、その後の事業化を担当する、ということであった。このような流れの中で原子力委員が中心となって海外調査を行い、再処理技術は既に実用段階にあるとの主旨の報告を行った。その結果として、建設計画中であったパイロットプラントたる東海再処理工場（TRP）は、財政局より実用施設とみなされ、建設資金は市中銀行より調達することを義務付けられた。⁷

この時の判断の良否はともかく、このような経緯の中で動燃は、再処理技術について、TRP の建設・運転を通じて、経験を蓄積することを主たる目的とした。その後、地元自治体との約束や米国カーター政権の核不拡散政策強化を受け、TRP を運転するための技術開発⁸を行ってきた。いずれにしろ、動燃の役割は「技術の成立性の確認」というところにあった。逆説的ではあるが、このように特化したことで、コンパクトな組織と限られた資金（国の資金は R&D 目的に限定、他は市中銀行からの借入金）という条件下でも、比較的短期間で再処理施設の建設・運転・保守経験を積むことができ、ホット試験開始 3 年後という早い段階ではあったが、昭和 55 年に設立された商用再処理事業主体からの要請に（経験者の出向・派遣といった形で）有る程度応えられるようになっていた。

⁷ このことが、TRP における合理化設計の動機となり、その結果として、機器の故障＝プラントの停止という状況を繰り返すこととなり、TRP は低い稼働率に甘んじた

⁸ 放出低減化技術、核不拡散抵抗性向上技術、放射性廃棄物処理技術、保守保全技術、被ばく低減化技術等

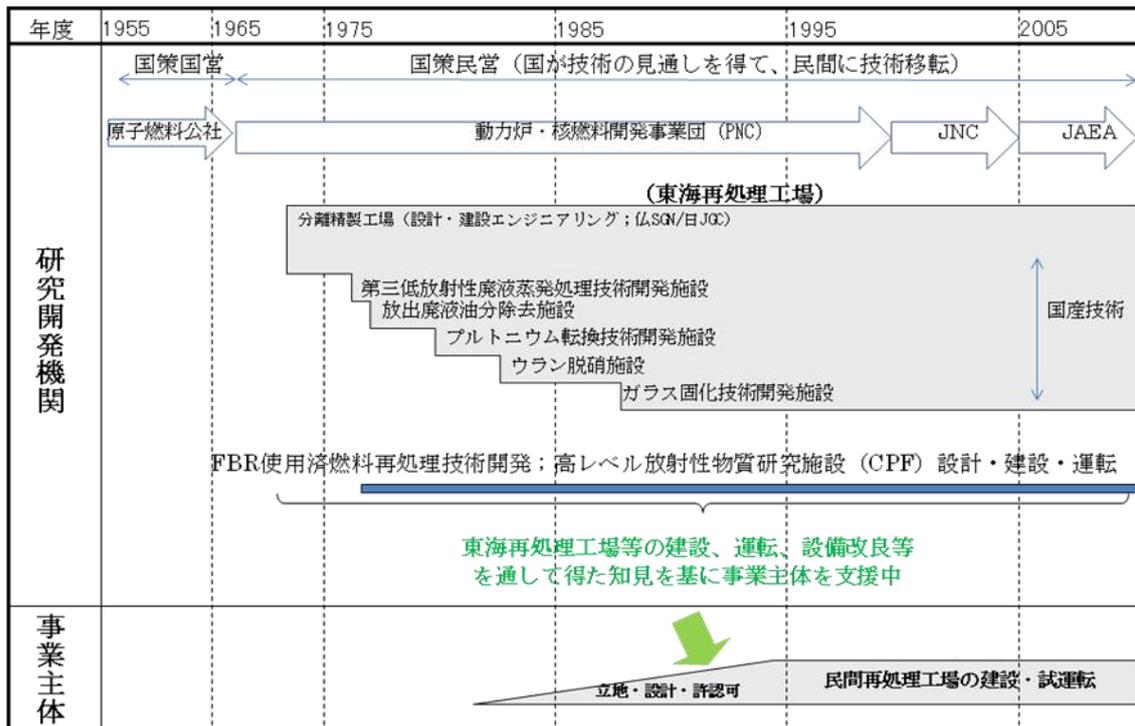


図 1 - 2 再処理技術の開発と技術移転の歴史

もう一つの技術移転の典型例であるウラン濃縮技術については、海外からの技術導入が望めなかったことから、理化学研究所における基礎研究を経て、動燃が重電 3 社と共に国家プロジェクトとして取り組んできた。その開発体制は、素材の研究を含む（基礎基盤技術としての）単機開発とカスケード開発（以上東海地区）、パイロットプラント（PP）の設計・建設・運転、更には、より能力を高めた原型プラント（DP）の設計・建設・運転（以上人形峠地区）という商用化技術開発を一部並行して行う 2 段構えであった。その過程で、事業主体が設立され、それまでの成果を事業主体に移転することとなった。この時点において、機器の設計・製造ノウハウは主としてプラント供給者が、運転上のノウハウも含めて 6 フッ化ウランに係わる部分は動燃が保有する、という形になっていた。

このような経緯から、ウラン濃縮技術については、事業主体に対して、動燃が技術開発の成果報告書や設計図書を始めとする文書の移転と併せて開発経験者を出向・派遣して発注者、運転者となる一方で、重電 3 社がプラント供給者として事業主体の注文を受ける、という方式をとった。技術移転期間の初期においては動燃側の施設も運転を継続し、また次の遠心機の開発にも取り組む等、研究開発活動も継続していたことから、動燃及びプラント供給者による技術支援も比較的前広に行われ、その中で DP 等が事業主体の社員の教育・訓練の場と

しても活用された。

その後、もんじゅのナトリウム漏えい、アスファルト固化施設の火災爆発事故、と続き、動燃解体の動きの中で、ウラン濃縮については研究開発活動の終了、また TRP についても電力との契約分及び「ふげん」燃料等の再処理をもって運転終了との方向性が示され、一定程度の技術レベルの達成/技術移転（移植）の進展＝国による研究開発の終了、という路線が現実化した。

その結果として、特に、ウラン濃縮については、国としての研究開発活動が終了されることとなり、担当していた組織も解体されたことから、事業主体への支援は次第に困難になっていったが、もともと技術移転終了との考えから、このことが顧みられることはなかった（事業主体の技術的孤立化）。一方で、事業主体とプラント供給者との行き違いもあって、事業主体が計画していた遠心機のリプレースが順延されていく中、遠心機が次々と設計寿命を迎え、動燃が開発した技術の信頼性問題に発展していった。

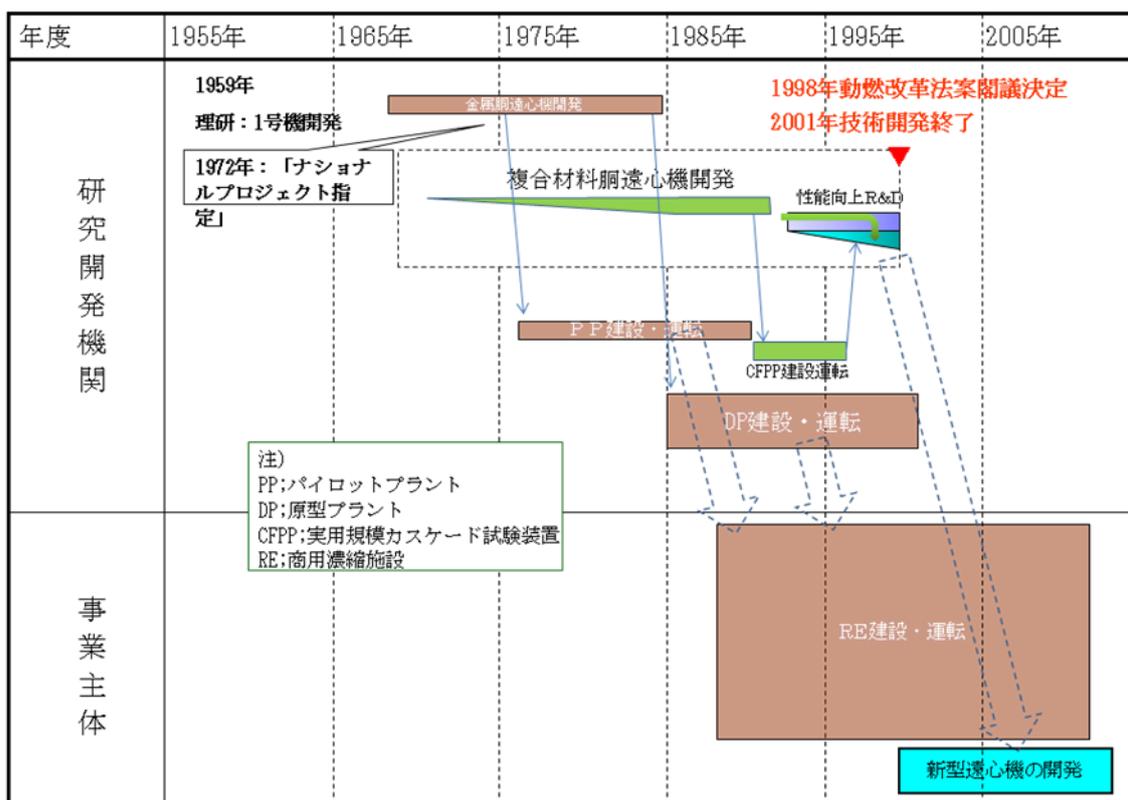


図 1-3 ウラン濃縮技術開発と技術移転の歴史

再処理技術については、国として FBR サイクルの実用化に向けた技術開発という目標が残されていたこと及び TRP において電力との再処理契約分の残りや「ふげん」燃料の再処理が残されていたことから、事業主体を支援する人的能力も

維持されていた。しかしながら、再処理の分野では数少ない自主技術の一つであるガラス固化技術については、東海ガラス固化技術開発施設（TVF）の建設開始を以って、その基礎的技術開発を終結し、研究開発関係者を TVF の建設・運転業務や処分研究等に振り分けてしまったことから、商用技術として事業主体に採用されたにも拘わらず、TVF の運転管理技術はともかく、熔融炉内の物理化学現象等の基礎的な知見の面において十分な支援が行えなくなっていた。これは、基礎研究が終わったらその体制を解いて工学研究に移行、それが終わったら、体制を組み替えてプラント建設・運転体制に移行という、人的資源を使い回しする方策、言い換えれば商用段階において生ずる課題を基礎研究まで立ち戻って検証することができない路線（一本道開発路線）を選択した結果といえる。この方法は実用化まで最小の資源で、かつ最短で当面の目標が達成可能ではあるものの、その成果の適用範囲は狭く、技術基盤としては脆弱なものであった。⁹

このようになった背景として、人的資源が限定的であったことが挙げられる。即ち、当時の動燃の技術者数は 2000 名程度（欧米の同種の開発機関の 1/10 程度の人数であり、軍事技術による技術基盤も無し。）であり、この人数で FBR サイクル、ATR、ウラン濃縮、再処理、MOX 加工、ウラン探鉱・製錬、高レベル廃棄物の処理・処分、といった、核燃料サイクル全般にわたる技術開発を基礎から実用規模施設の設計・建設・維持管理までを含めて担当していたところに限界があったと考えられる。

この限られた資源では、一本道開発路線はやむを得ない路線選択であったと考えられるが、その結果として、当初の目論見であった国から民間への技術移転が、十分な成果を上げられないでいる現状を考えると、今後は国と民間の役割分担の考え方も含めて、技術開発や成果の技術移転のあり方について再検討する必要が有ると考える。

ちなみに、動燃を母体の一つとする現在の原子力機構は、独立行政法人の枠組みの中で、今後も予算・要員の削減が継続されることから、国として原子力開発をどうすべきか、との視点で、原子力機構の役割、位置づけを再検討すべき時期に来ている。

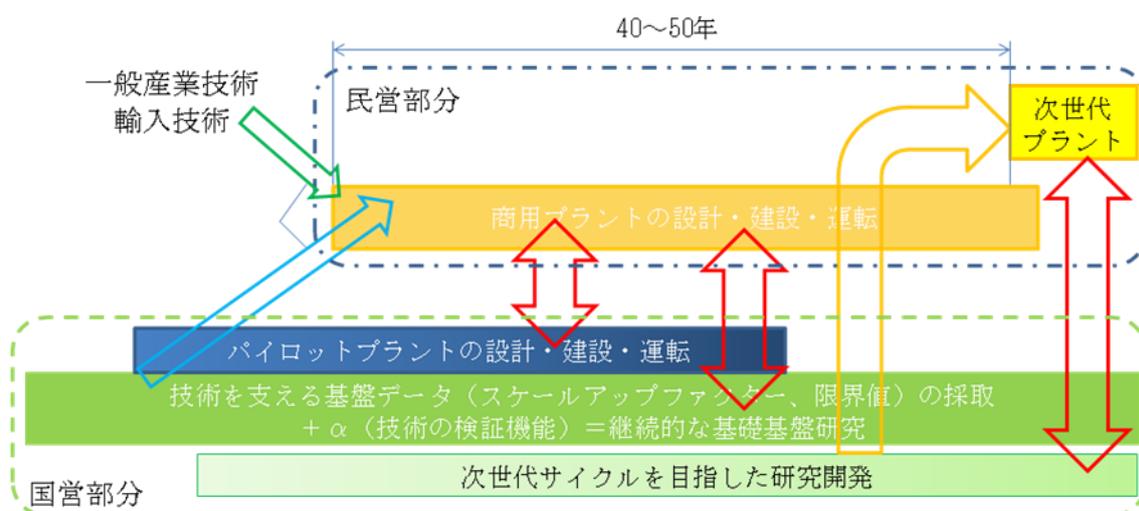
2. 2 国内における核燃料サイクル技術の商業化に向けた課題

ウラン濃縮事業、再処理事業共に産みの苦しみとなっている現状を踏まえ、（国の過大な負担を避けるために）国策民営路線を継承しつつ、商業化に向けた国

⁹動燃から事業主体に移転された技術として、この他 U/Pu 混合転換技術と U 脱硝技術があるが、これらは硝酸塩から酸化物への転換という、比較的シンプルな技術であったこと、また、実規模大のモックアップ試験、U を用いた試験等で技術の確認を行ったこと、等により、ほぼ問題なく立ち上げられている

及び事業主体の主な課題を取り上げてみると以下のものが挙げられる。

- 国による施策の見直し
 - 公的研究開発機関による核燃料サイクル分野の基礎基盤研究の充実
 - 公的研究開発機関の持続可能な経営基盤の強化（資源の充実）
 - プラント供給者等の人材育成をも念頭に置いた試験研究施設新增設（民間による投資インセンティブの維持）の考慮
- 民間側の役割
 - 国の開発成果を引き継ぐための、技術の性格に対する理解も含めた、組織としての技術レベルの確保（そのための人的、資金的面での国の研究開発業務への積極的な協力）
 - 国の研究開発への参画等を通じた関連技術の取得（プラントエンジニアリング能力の醸成を含む）
 - 国が行うパイロットプラントレベルの施設建設への協力を通じた、設計・建設・運転要員の育成



前提条件；

○研究開発組織と商用プラント設計建設組織の有機的結合

⇒人的つながり、資金的つながり＝最小のコストで最大の国民的利益を

理想形＝技術の基盤は国が担い、それを礎に民間が商用プラントを建設運営

図 1－4 核燃料サイクル技術を維持/発展させる方策の例

(⇒は技術の流れを、⇔は人と情報の交流を表す)

(ポイントは、民営化後も国の機関が技術基盤を維持し続け、事業者を技術的に孤立させないこと。)

2. 3 国際展開のための課題

本章ではこれまで、もっぱら国内における核燃料サイクル技術の商業化を念頭に置いて性能保障実現のための課題検討のあり方について論じてきた。しかしながら、「1. 『日本型性能保障システム』とは何か」で言及したように、我が国固有の状況を前提とした性能保障システムの構築は、今後我が国原子力産業の海外市場への展開が本格化していく中で、一層重要性を増していくことは言うまでもない。本中間報告書ではこうした国際展開のための課題について掘り下げた検討は行わないが、本中間報告書に続く検討の方向性を以下に簡単に示すこととする。

(1) 現状

これまで、核燃料サイクル技術は、自主技術開発（ウラン濃縮技術等）と海外の技術を導入（再処理技術等）することの組み合わせで実用化（商業化）に結び付けてきた。その目的は、国際競争の中でバーゲニングパワーを持ちつつ、商用施設としての稼働率の確保を図ると同時に、国内需要の一部を賄う規模に限定することで初期投資額を適正な規模に抑えるところにあったと考えられる。このように、我が国においては、核燃料サイクル技術（あるいはそれによる役務サービス）を海外に展開しようという発想は従来なかったと考えるのが妥当であろう。

しかしながら、地球温暖化に対応するため、昨今、原子力発電を導入する意思を持つ国が増えつつあり、これに対応して海外進出を目論むプラント供給者が出てきている。海外輸出の実績としては、これまで、国として取り組んでこなかったこともあり、韓国、ロシアに先んじられてはいるが、最近になって、国-電力-プラント供給者が一体となって原子力発電所を売り込む体制を作る動きが出てきており、最初の成果としてベトナムから受注に見通しを付けた。

(2) 国際展開のための課題

原子力発電所を海外市場に売り込む場合、特に開発途上国に対しては、発送電設備や運転保守技術まで含んだ、パッケージ化をする必要があり、韓国、ロシアが勝ち取ってきた背景にはこれらを両国が先導して保証したことがあげられる。もちろん、それだけではなく、国同士の軍事面も含めた広範囲な取り決めが裏にあることは周知の事実ではある。

我が国としても、原子力発電所を海外に輸出するにあたっては、軍事協力はともかく、国を挙げて売り込みを図ることが不可欠と考える。そこで、我が国がおかれた国際環境の中で実現可能性ありと思われる対策を列挙すると、以下のようになる。

- 原子力発電所を発送電設備も含めて設計・建設・運転・維持管理・燃料供給さらには運転保守要員の教育訓練まで含めたパッケージとして提案する

必要がある。そのためには、電力会社の参画は不可欠。

- 原子力の安全を担保するための技術基準や検査基準を含む安全規制のノウハウについてもパッケージの一部として提供する必要がある。そのためには国の規制当局及びその技術支援組織（TSO）の参画が不可欠。
- 原子力発電の魅力は最終的には核燃料サイクルにあることから、相手国によっては、そのサービスの提供もパッケージに含めることが必要（国内において核燃料サイクルを商用規模で実現することが大前提）。但し、国内において、海外へのサービスの提供についてコンセンサスが必要。
- 仮にこれが可能となれば、施設規模の拡大が必要となり、国内における技術の維持・高度化はより容易になる（国内需要だけでは事業者単独での技術の維持・高度化は困難）。
- 国際市場における我が国の主要競争相手であるフランスやロシアにおいては、国策会社とも言える企業の下に核燃料サイクル事業の「垂直統合化」が進められている（次章「表3-1 事業者別の燃料サイクル事業範囲」参照）。我が国としてこれら競争相手とどのように対抗していくかにつき、事業体制を含めた検討を進めることが不可欠。

はあるが、2020年までに6,800~6,900万バレル/日前後の安定水準に達する。しかし、2006年に記録した過去最高の7,000万バレル/日には決して届かない。」とした。さらに、天然ガス液（NGL）と非在来型石油の生産量は大幅に増加するが、中国などの新興国の需要はさらに増加していく可能性が高く、価格の上昇は避けられない見通しであることも明らかにしている。¹¹

安価な石油の生産ピークを補うように、天然ガス、石炭、水力の他井に再生エネルギーや原子力発電を各国とも導入する予定であり、その見通しはいくつかの文献で紹介されている。図1-6によれば、石油の生産ピークを補うように、天然ガスの生産を増加させるが、2015年から2020年に天然ガスの生産のピークを迎え、その後生産は減少していく。石炭の生産も増加させるが2020年から2025年頃に石炭の生産ピークを迎え、その後減少幅は少ないものの、漸減していく。水力、風力、太陽光発電を各国とも増加させるが、元々の量が少ないことと導入には経済的支援が必要なことから、量的拡大には限界がある。

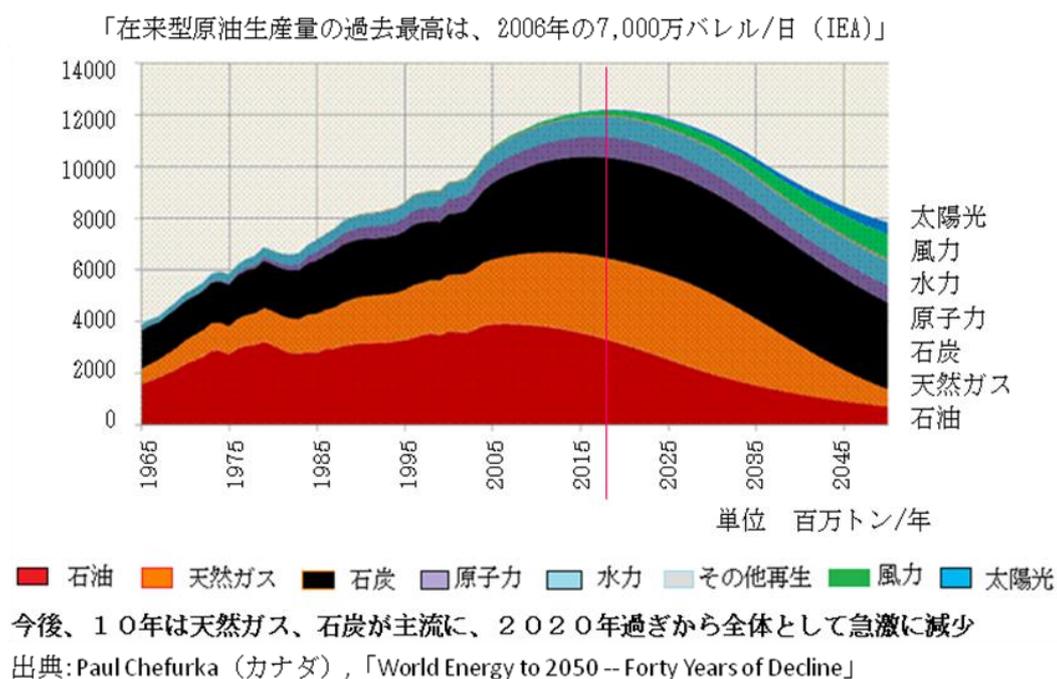
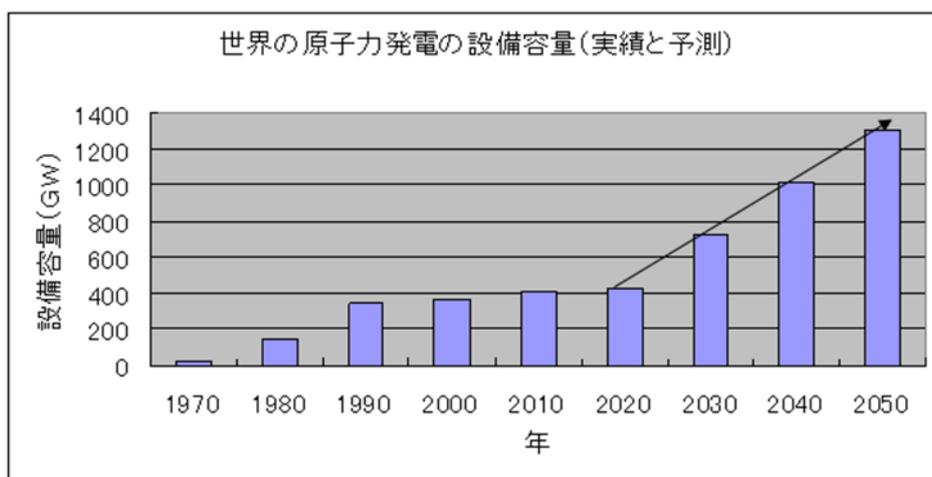


図3 ラビットリミットを超えない世界のエネルギー供給(グロス) 予測

安価な石油生産ピーク後の最低限のエネルギー確保として、原子力発電未導

¹¹出典 World Energy Outlook 2010, International Energy Agency, November 2010

入国であるベトナムなどのアジアやサウジアラビアなどの中近東各国が原子力発電の導入を積極的に計画している。ベトナムやサウジアラビアだけではなく、アジア各国や中近東各国が原子力発電を導入する見通しである。一つの資料として、原子力学会 再処理・リサイクル部会の招待で講演を行った、フランス タンチュリエ博士（元CEAで当時フランスEDF会長顧問）の今後の原子力発電の発電容量の推移予測を図1-7に示す。それによれば、2010年から2020年にかけて、各国は原子力発電の導入に向けての検討と人的育成と許認可、安全審査などの制度的インフラ整備を加速させる。そして、建設期間5年から10年を経てプラントが運転開始するので、2030年から世界の発電容量は急激に増加すると予測している。



出典: タンチュリエ博士(フランス EDF 会長付き顧問)のAESJ講演からのグラフ
立ち上がる原子力発電 (2020から)

図1-7 最低限のエネルギーの確保のため増加する世界の発電容量

アジア、中近東の各国が最低限のエネルギー確保としての原子力発電導入が拡大すると、天然ウランの価格の上昇は避けられなくなる。原子力発電導入量のスピードにより、ウランの価格の上昇の時期は異なるが、2010年から2020年頃には、ウランは1kgあたり40ドルであったものが、3倍程度の130ドルまで上昇すると予測されている。この前後から、天然ウランを濃縮して原子炉の燃

料とすることから、使用済み燃料からのプルトニウムを成分とする MOX 燃料の利用も経済的に成立する。すなわち核燃料サイクルの下流側（再処理）も回り始める。

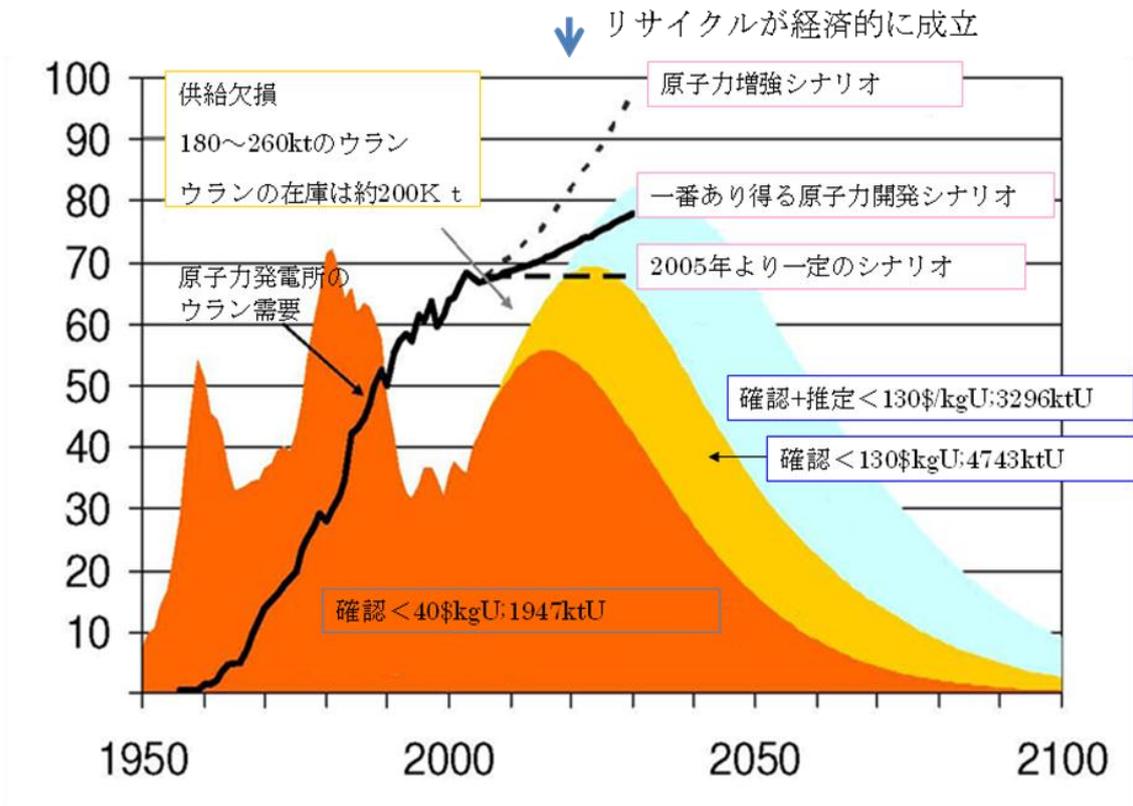


図 1-8 IEAシナリオによるウラン需要と供給の可能性

II 検討項目の抽出

1. これまでの技術開発／実用化体制における課題

一章で紹介したように我が国では、プラントの性能保証があまりうまくいっていない。再掲すると、国（動燃）が技術の成立性を確認し、民間（事業者とプラント供給者）が事業化を担当という認識の結果として、ウラン濃縮、再処理、ガラス固化の性能保証上の課題は以下の通りであった。

- ① ウラン濃縮：理研の基礎研究、動燃と重電3社との国家プロジェクト終了後、技術移転終了と見なされ、その後、事業主体が技術的に孤立化。
- ② 再処理：財政当局より実用施設とみなされ、建設資金は、市中銀行より調達するなど、実用化は研究とは見なされない。

例えば、ガラス固化については、東海ガラス固化技術開発施設（TVF）の建設開始をもって、研究開発者を他業務に振り分け、基礎研究は終了。その結果、成果の適用範囲は狭く、技術基盤としても脆弱。

（原因として考えられるもの）

- (1) 我が国独自の仕組みに内在する問題。
- (2) プラント全体の性能保証を行い得る主体が存在しない。
- (3) 米国、フランスでは、軍事部門に原子力があるが我が国にはない（技術基盤が脆弱）。
- (4) 日本人としての国民性？

.....

2. 目指すべき日本型性能保証システム

（長期的視点）

世界エネルギー機関が安い石油の生産は2006年にピークを過ぎて、天然ガスがこれからの主力になるが、長期的安定供給は難しいと公表している。アジア、中近東各国の主導者はそれを理解して、原子力発電の導入を加速している。中国、インドの原子力発電導入の拡大でウランの価格の上昇は避けられない見通しである。我が国は、使用済み燃料の再処理を実施することで、燃料資源を他国に頼らずに、自立した資源として長期に使うことができる。化石燃料時代がフェーズアウトする中で、核燃料サイクルが中心になるシステムである。この観点から我々がイメージできる2030年あるいは、それ以降の長期を視野に入れた視点での検討が必要である。

(役割分担)

国、公的研究開発機構、プラント供給者、事業者、大学のそれぞれの役割の確認と効率的連携が大切である。

国は、予算と規制が日本の成長戦略実現に寄与する視点が必要になる。公的研究開発機構が有する大型の核燃料物質取り扱い専用施設を有効に利用して、プラント供給者の製造能力の維持、性能保証のコアになる仕組みとサポート、事業者のプラント運転、補修技術の維持、トラブル対応の研究などに活用できる。また大学の実習や研究の場として活用できる。

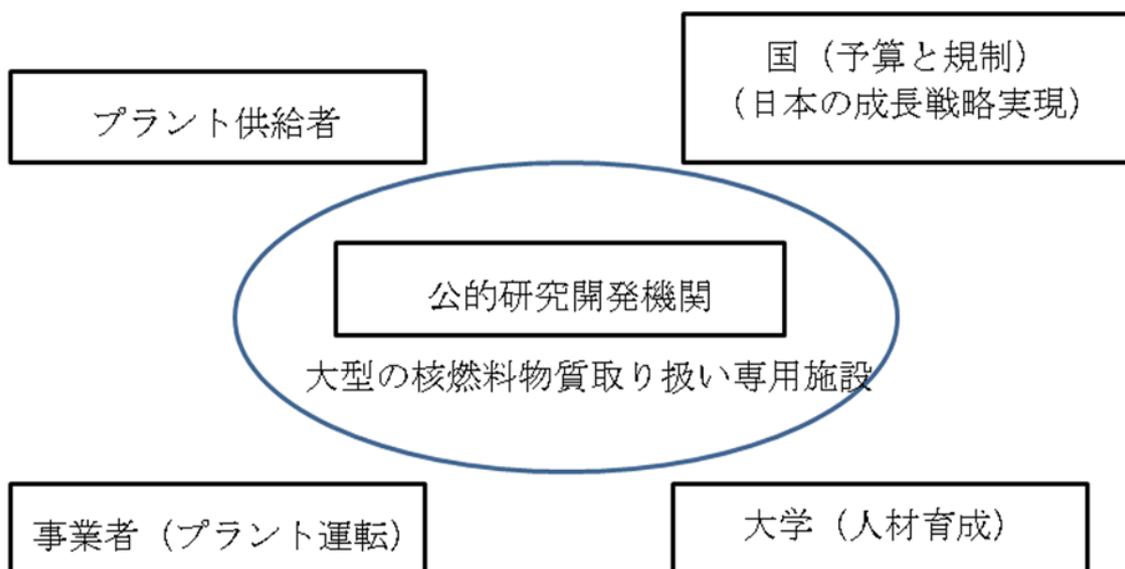


図 2-1 役割分担と効率的連携

(国内需要か海外役務受託を含むか)

本研究専門委員会では、これまで国内需要を中心に議論を進めてきた。アジア、中近東への原子炉の輸出に絡んで、将来的には燃料供給や使用済み燃料の処理などパックで検討する必要がある可能性が高いことから、アジア、中近東の役務を受けることも視野にいられておきたい。

(経済性の評価)

初期投資の大きいプラント建設費の経済性を優先に評価が行われてきた。しかし、ライフサイクル全体を通しての経済性が重要であることの認識の高まり、その中には運転・補修費、廃棄物処理・処分費も含まれる。建設費を削減するために、システムの冗長性を少なくすると、ある部品の故障がシステム全体に影響を及ぼし、システムの稼働率に大きな影響を与えることもある。また、経

済性評価では、個別の価格は商習慣から公表されないケースも多く、オープンに評価されることは少ない。

以上の観点から、ライフサイクルのエネルギー収支分析という概念を導入し、製品を得るまでの投入エネルギーを最小にして、製品量（エネルギー換算）を最大にすることを目標に分析をおこなっていく。

図2-2は原子力発電所（PWR）での寿命を通じてのライフサイクルのエネルギー収支分析結果である。濃縮は遠心濃縮で、発生する使用済み燃料は100%一回のみ再処理し、MOX燃料として発電に供する。これらに関わるプラント、施設の建設エネルギー、運転・補修エネルギー、廃棄物の処理・処分に関わるエネルギーを示している。

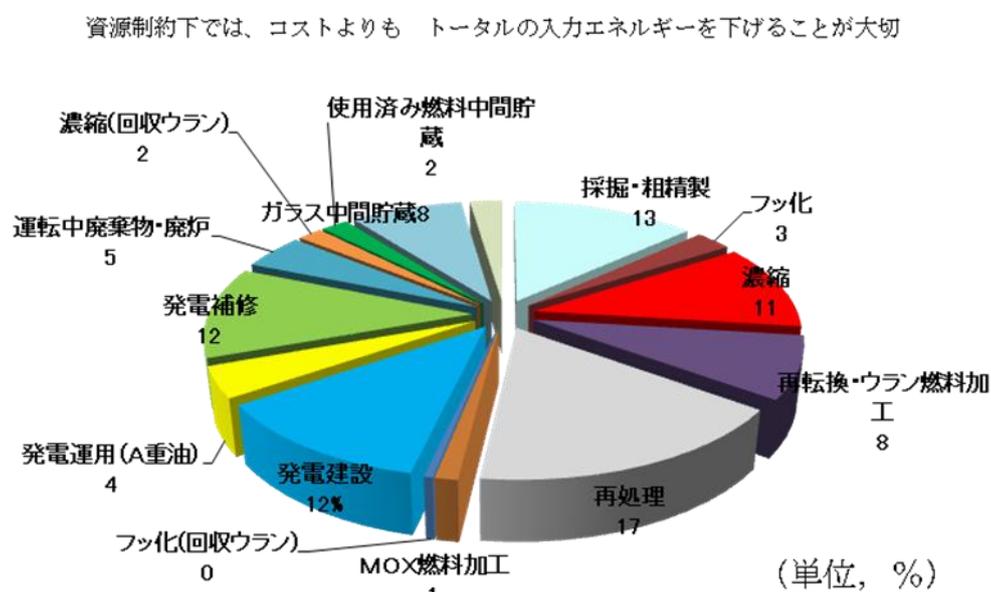


図2-2 遠心濃縮, PWRでの使用済燃料一回MOX利用のEPRと入力内訳

(稼働率低下要因)

原子力発電所の稼働率の分析が行われており、この分析は今後の燃料サイクルの稼働率の分析にも有用であるので、紹介しながら、ライフサイクルのエネルギー収支分析に影響を与える稼働率の低下要因について、検討を深める。

図2-3は原子力発電所の稼働率に関する日米の比較分析である。予防保全措置や品質管理などの停止時間に日米の差異は見られない。定期検査や不正行為や再起動の遅延などの停止時間は、日本が突出して高い。稼働率を高めることも、日本型性能保証システムの狙いであり、国民への説明責任と規制の進化、国際化の方策も検討する。具体的には

- (1) 安全性の第一義的責任は、事業者にある。
- (2) 事業者は、地元、および国に対して、説明する責任がある。
- (3) 事業者をプラント供給者、公的研究開発機関は支援する。(日本型性能保証システムの一環)
- (4) 国は、国の成長戦略に沿うように、規制を進化させ、国際化を図る必要がある。

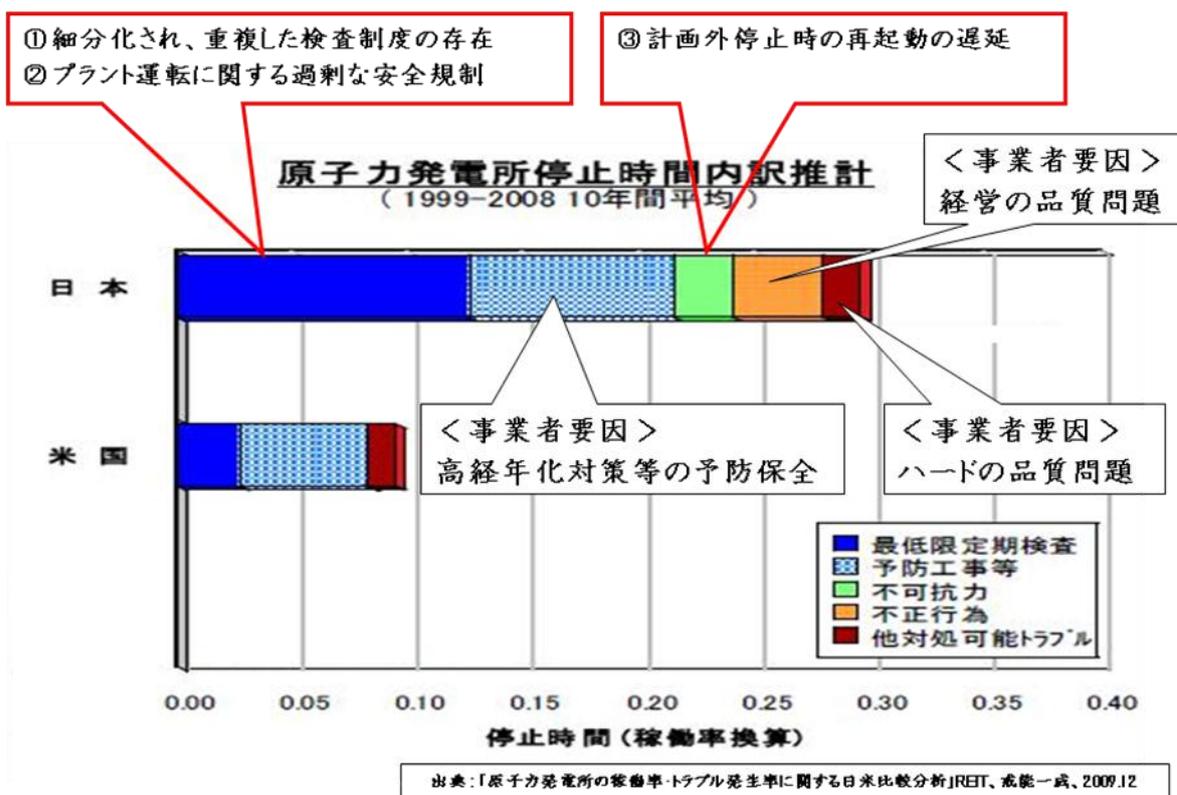


図 2 - 3 稼働率低下要因の内訳

3. 検討方針 (目的)

- (1) 国内、海外において、2030年あるいは、それ以上の長期にわたり、最低限のエネルギー確保として、炉を取り巻く核燃料サイクルの性能保証システムを構築する。
- (2) 安定かつ競争力を持つため、ライフサイクル全体の入力エネルギーを最小にして、出力エネルギー(稼働率等)を最大にする日本型性能保証システムを構築する。
- (3) 国、公的研究開発機関、プラント供給者、事業者、大学の効率的連携を図り、日本型性能保証システムを構築する

4. 検討項目の抽出

以上の観点から、本研究専門委員会が重点的に検討してきた項目と課題の概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 我が国における技術開発/実用化体制の課題の概要

| 項目 | 課題の概要 |
|----------------------------|---|
| <p>中枢的政策立案機能及びガバナンス機能</p> | <p>国としてのエネルギー戦略、環境戦略、産業戦略等と整合のとれた原子力開発利用戦略を構築し、それを踏まえて長期的にぶれることのない科学的、経済的合理性を有する国家プロジェクトの目標設定が行われる必要があるが、十分に行われてこなかった（中枢的政策立案機能）。</p> <p>更に、国家プロジェクトの目標達成に必要な、ステークホルダー間の長期的な役割分担、リソースの確保方策等に関するコンセンサスの構築（ガバナンス）機能が不十分だった。</p> |
| <p>公的研究開発機関が行う R&D</p> | <p>R&D から商業化に至るタイムラインに沿ったステークホルダー間の役割分担や、リソース（資金、人材等）の確保策及び配分のあり方等に関する、ステークホルダー間の合意形成、客観的評価に基づく効果的な工程管理が図られてこなかった（ガバナンスの不在）。</p> <p>また、公的研究開発機関に必要十分なミッションが必ずしも与えられてこなかった。</p> |
| <p>技術移転及び商業化メカニズム</p> | <p>性能保証の観点から必要なプラント供給者の早期段階からの関与が十分に行われてこなかった。</p> <p>長期にわたるプロジェクトでは、技術情報の文書化・形式知化と暗黙知の継承が必要だが、そのことの認識が不十分だった。</p> |
| <p>安全規制</p> | <p>「自主保安」の考え方の尊重による柔軟な試験研究を行える仕組み、研究開発の初期段階から商業化までの規制の変化、事業意欲を維持向上させる規制、国際展開に対応する規制等の面で課題がある。</p> |
| <p>人材の育成及び活用</p> | <p>核燃料サイクル事業、特に再処理事業においては、数十年に一度という建設頻度の低さが足かせとなる。技術は人と一体の部分があり、人材と共に引き継がれる部分が残る。一人の技術者がその技術者人生の間に一回しか建設機会が無い産業では人材の育成自体が非常に困難な事業となる。このことは、メーカーのみならず、研究開発機関さらには事業主体や規制行政機関でも同様であり、それぞれ、人材の育成方法に工夫を必要とする。</p> |

Ⅲ 中枢的政策立案機能及びガバナンス機能

国と民間との役割分担の下、基本的に経済原則に委ねられる形で進められてきた我が国の核燃料サイクルの構築は、結果的にこれまで国全体として最適化されたプロセスで推進されてきたとは言い難い状況にある。具体的には、国家プロジェクト推進途上での方針転換によるステークホルダー間の役割分担の変更に伴う混乱や、ステークホルダー間の合意形成が適切に行われなかったことによる役割分担自体の不明確化等、ガバナンスが不十分であったことによる諸問題を経験してきている。

我が国の原子力開発を巡る状況を前提として、こうした問題に適切に対応していくためには、国家プロジェクトの創設・推進から、成果の継承、商業化に至るまでの全てのプロセスを性能保障の対象と位置付け、強力なガバナンスを構築する必要がある。そこでは、エネルギー戦略を始めとする国家戦略との整合を図りつつ、ステークホルダー間の目標の共有化を前提として、国家プロジェクトの創設・推進・評価の役割を果たす中枢的政策立案機能の実現が重要である。また、長期間にわたるプロセスを円滑かつ効率的に進めるためには、ステークホルダー間の役割やリソースの分担に関する合意形成、及び予算制度を含む諸支援制度の充実が不可欠である。

1. 国家プロジェクト推進のための制度設計

我が国経済社会の持続的発展にとってエネルギーの安定供給確保は必要不可欠の要件であり、エネルギー政策は環境政策や経済産業政策とともに国家戦略の重要な政策領域であるとともに、これらの政策は長期的視野に立ち相互に十分な関連性や整合性をもって構築される必要がある。エネルギー政策上重要な位置を占める核燃料サイクルの構築を含む原子力エネルギーの開発利用においては、研究開発段階における公的研究機関の役割を始めとして国が直接関与して推進すべき範囲が広く、かつ商業化までに数10年にも及ぶ長期間を要する場合も多いことから、研究開発から商業化に向けた道筋は、他のエネルギー源にもまして国家戦略中に明確に位置付けられ推進していく必要がある。

この観点からこれまでの我が国核燃料サイクル事業の変遷を振り返ってみると、当初は将来にわたり国が継続的に核燃料サイクルサービスを提供するとの方針でスタート¹²したものが、その後日本経済の高度成長期を迎え、国が中心となって成立性を確認した技術を民間が中心となって事業化するとの方針に転換された。中でも再処理事業については、技術成立性の確認を目的とするパイロットプラントとして計画された施設¹³が、海外においては再処理技術が既に商用

¹² 原子燃料公社（1956年設立）。

¹³ 動力炉・核燃料開発事業団（原子燃料公社を場体として1967年に発足）東海再処理施設（1977年操業

段階にあるとの新たな共通認識の下、改めて「商用施設」とみなされることとなって建設資金の市中調達を求められ、結果的に設計の合理化を余儀なくされる等、幾度かの大きな方針転換を経験してきている。

こうした過去の経験を踏まえれば、今回検討している性能保証の観点からは国家プロジェクト創設の制度設計が特に重要である。具体的にはプロジェクト創設過程における一般国民も含むあらゆるステークホルダー間の合意形成過程を可能な限り透明化するとともに、科学的、経済的合理性のある目標設定を行った上で公平な事前評価プロセスを経て初めて国家プロジェクトとするような仕組みが必要である。その際、将来の商業化に至る説得力あるシナリオ¹⁴を描き、その全過程を通じて我が国経済社会にとって最大の投資効果を達成するとの観点¹⁵で、施設の建設費のみならず、維持運転経費、研究開発成果の継承に必要な有形無形の費用とその効果を総合的に勘案してプロジェクトの評価を行う必要がある。

2. 必要な資源確保のための基本的理念や仕組みの構築

我が国固有の状況の下、核燃料サイクルの性能保証を実現するためには、これまでの公的研究開発機関からプラント供給者・事業者への一方向的な「技術移転」という発想から、全てのステークホルダーが共通のタイムフレームの下に目標を共有し「協働」していくという発想に転換する必要がある。即ち実用化を目指した国家プロジェクトでは、初期段階からプラント供給者と事業者が参画し、公的研究開発機関の施設をフィールドとして、公的研究開発機関、プラント供給者及び事業者の三者が一体となって技術開発を進めることが重要である。このことにより、商用施設の必要条件をも加味した技術開発が可能となる。また、事業化段階からは、事業遂行に直接関わる研究開発はプラント供給者及び事業者が（必要に応じ国による補助事業制度を活用して）主体的に対応することとし、一方関連する基礎基盤的研究は、公的研究開発機関が継続的に担うといった役割分担が必要である。

こうすることにより、現状の技術移転の枠組みで課題となっている「対価」の必要性については、論ずる必要もなくなるのではないかと考えられる。但しこのためには、以下のような整理が必要である。

開始)。

¹⁴ 着実な商業化の実現のためには、公的研究開発機関がどこまで技術開発のリスクを負えば事業主体として商業化に踏み切ることができるのかにつき、あらゆるステークホルダー間の十分な議論に基づく合意形成が必要である。

¹⁵ この観点からは、規制行政のあり方も国家戦略との整合性が重要である。つまり、原子力施設の安全性確保を絶対的な前提条件としつつ、合理性・民主性・透明性・経済性のバランスを取ることで、最終的には原子力エネルギーの利用が我が国にとって便益をもたらすものとするとの基本姿勢を示す必要がある。

(1) 基礎研究段階、事業化段階及びそれ以降の国の役割の明確化

国は公的研究開発機関を中心に以下の役割を果たすべきである。なお、当然国が担うべき、防災、保障措置、賠償、核セキュリティ等の機能については本報告書では論じないこととする。

- ▶ 実用化段階で求められる技術内容に整合する基礎データベースの構築と維持（データの補足、補強を含む）
- ▶ パイロットプラントの設計・許認可・建設・運転を通じた技術の成立性の確認及びノウハウの蓄積
- ▶ 技術の移植段階以降での、プラント供給者及び事業者のニーズに合わせた基礎データベース拡張のための試験研究機能維持¹⁶
- ▶ 以上の国の役割に伴う長期的（基礎研究段階、事業化段階及びそれ以降の）人材活用プログラムの推進

(2) プラント供給者及び事業者による公的研究開発機関の活動への参画

プラント供給者及び事業者は、基礎研究段階から以下の役割を果たすべきである。

- ▶ 基礎研究段階における人的、資金的な参画（≠対価）
- ▶ パイロットプラントの設計・許認可・建設・運転段階における要員の教育訓練を兼ねた人的参画

3. ガバナンスの必要性

我が国の原子力開発は国と民間で役割分担して進められてきたが、基本的に経済原則に委ねられていた部分があった。特に自主技術開発については、これまで国として最適化されていたとは言い難い部分があり、結果として税金を投入して開発した自主技術が商用化段階で躓きを生ずることになっている。このことから、我が国のような体系で国家プロジェクトを推進するに当たっては、研究成果を継承し円滑な商業化に至るまでの全プロセスを性能保証の対象と位置付け、強力なガバナンスを構築する必要があることが分かる。そしてそのためには、研究開発から商業化までの過程に関与する全てのステークホルダー間の合意形成を前提として、国により統括権限と責任を付与され、高度なガバナンス能力を有するプロジェクトリーダーの存在が不可欠である。

¹⁶ こうした試験研究については、必要な施設整備も含めプラント供給者及び事業者が自らの費用負担で行うべきだとの考え方もあり得る。それに対し、ここではステークホルダー間のガバナンスの過程を経て、例えば『商業機製造に当たって必要な追加的試験研究については、燃料物質を使用して行うことが望ましく、総合的に判断して、RD&Dに使用された公的研究開発機関の施設を一定期間維持し、活用することが最も効率的である。』とのステークホルダー間の合意が得られた場合等を想定している。こうした場合にも、追加的試験研究期間中のリソースは当然クライアントが負担することとなろうが、それとは別に当該施設の待機期間中の維持・管理に必要なリソースの負担方法についても、ステークホルダー間の合意があらかじめ形成されている必要がある。

また、単年度を原則とする国家予算制度や、大型施設建設に当たっての分割発注の手法は、研究開発の円滑な推進については商業化段階での性能保証に馴染まない場合もあることから、これらの仕組み¹⁷についても国家戦略の推進に相応しいものを追求する必要がある。具体的には、多年度にわたる国家予算の措置を可能とする予算制度の導入や、国の主体的な取り組みであることを明確にする手法としての委託事業方式の採用¹⁸、逆に企業の取り組みに対する国の債務保証を伴う公的借入金の適用、国が保有する施設を企業が運営する方式¹⁹やこれら手法の組み合わせ等、個々の状況に最も適した仕組みを構築し、活用していく必要がある。いずれにしても、これらを統制するガバナンス能力が最も大切であり、これを抜きにしては今後の技術開発は語れない。

その上で、研究開発段階から商業化段階に至るいくつかの節目²⁰においては、プロジェクトの打ち切りの可能性も排除しないとの前提の下、プロジェクトのリスク評価の観点も含め厳正な評価を実施し、その結果を全てのステークホルダー間で共有することによりリスク管理を徹底し、真に国家戦略の推進に相応しいプロジェクトとするよう適切な工程管理を行っていく必要がある。

17 透明性を確保し、国民から疑惑をもたれない方式で、かつ効率性、合理性を確保できる方式（現実的には少数の企業集団への発注とすることになる）を検討する必要がある

18 この場合、全体計画の中で、どんな項目を何時までに研究・開発するというスケジュール管理とその成果の目標管理がキーポイントになる

19 例えば、国の研究機関が建設したパイロットプラントの運営を事業主体が引き受け、その経験を商用プラントの設計・建設・運転に生かす、といったことが想定される

20 技術の成立性が確認された段階（即ち、パイロットプラントの建設に移行する段階）、パイロットプラントの成果から、商用施設にスケールアップを図る段階といった節目が考えられる

(参考)

世界の動き

(1) 核燃料サイクルの垂直統合化

世界的に原子力発電の増設・導入の動きが活発化しているが、その原子力発電を巡って原子力先進国間での受注競争が激化していることは案内の通りである。原子力先進各国はこの受注競争を有利に展開するため、核燃料サイクル市場の垂直統合化が進められている。[表1参照]

表1 事業者別の燃料サイクル事業範囲

| No. | 事業 | 市場規模 (2009年) | 燃料費に占める フロントエンド コスト比率 注5 | 日本 原燃 | アレバ | 三菱 グループ | USEC | 東芝・ WH | GE・ 日立 | BNFL ・ BNG | ウレンコ | ロスアトム |
|-----|----------|-----------------|-----------------------------------|----------|-----|------------|------|-----------|-----------|------------------|-------|-------|
| | | | | 日 | 仏 | 日 | 米 | 日 | 米,日 | 英 | 英,蘭,独 | 露 |
| 1 | 天然ウラン | 約60,000トンU | 40% | | ○ | | ○ | ○注1 | | | | ○ |
| 2 | 転換 | 約60,000トンU | 5% | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | ○ |
| 3 | 濃縮 | 46,000トンSWU | 40% | ○ | ○ | | ○ | ○注2 | △注3 | | ○ | ○ |
| 4 | 成型加工 | 約7,000トンHM | 15% | | ○ | ○注4 | | ○ | ○ | | | ○ |
| 5 | 原子炉(PWR) | | - | | ○ | ○ | | ○ | | | | ○ |
| 6 | 原子炉(BWR) | | | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| 7 | 再処理 | 約30,000トン | | ○ | ○ | | | | | ○ | | |
| 8 | MOX加工 | 約2,200トンHM | | △注6 | ○ | | | | | ○ | | |

注1: 2007年8月、カザフスタンのハラサン鉱山プロジェクトに出資し最大600トンUの権益を取得(2007.8.20付東芝IRニュース)

注2: 2010年5月、米国ユーゼック社に1億ドルの資本参加し、濃縮の権益の一部を取得。(2010.5.25東芝IRニュース)

注3: 2009年8月17日GE-Hitachi Global Laser Enrichment(GLE)社がNRCにSILEX法によるウラン濃縮工場の建設許可を申請。計画では6,000トン規模の工場完成を目指している。(米国NRCホームページより)

注4: 2010年4月、三菱原子燃料(MNF)にアレバが資本参加し、三菱グループ3社との合併体制に移行。(2009.10.21付電気新聞)

注5: 2009年1月26日ウィーンで開かれたIAEA主催のSeminar on Global Nuclear Fuel SupplyでのTENEX社資料に拠る

注6: 2027年6月に130トンHM/年規模の稼働を目指し、2010年10月に建設に着工している。

(2) 知識データベース

古くから言われていることであるが、米国企業は日常、日本企業とは桁違いに膨大な情報を知識データベースに入力している。米国で品質水準の高い原子力発電所では年間数万件の不適合情報が入力されているとのことである。官庁報告事案にとどまらず、ヒヤリハットの的なものまで登録しているであろうことが数の多さから推察される。このデータベースは品質保証にとって非常に貴重な情報源になっていると共に、技術継承にとっても大きな役割を果たしているものと思われる。欧米企業は社員の流動性が高いため、必要に迫られてこのような知識データベース作成のカルチャーが培われたものと思われる。技術継承を重要視しなければならない我が国の原子力企業は改めてこのカルチャーに学ぶべきでないだろうか。

IV 公的研究開発機関が行う研究開発等（性能保証のための仕組み）

本章では、研究開発の目標設定時に「性能保証」の概念を取り入れることを提案している。研究開発段階で目標性能を裏付けデータ²¹が得られていなければ、円滑な事業化推進が望めないからである。

これまでの性能保証

これまでの核燃料サイクル技術では事業化段階の性能保証は以下の3通りの方法が採られていた。第一は事業者がリスクを負担し性能保証のないまま²²事業化に進むケース。第二はプラント供給者が裏付けデータを持たないまま性能を保証するケース、そして第三は事業者またはプラント供給者が改めて必要な基礎データを採取し直すケースである。第三のケースで基礎データを採取し直す、と言っても民間は試験施設のインフラがないので、模擬的試験データの採取が限界であった。

研究開発と性能保証の関係のあるべき姿

これを改め、事業化段階で目標とすべき性能をあらかじめ想定し、その性能を裏付けるデータを研究開発の研究開発段階で採取し、事業化段階で間違いなくその性能が達成されるようにするのが日本型性能保証システムのあるべき姿である。

阻害要因はミニトリレンマの存在

それではなぜ、これまでそれが実現出来なかったのか。それは公的研究開発機関と事業者が研究開発段階から一体となって事業化を目指す仕組みがなかったためである。その最大の原因は後述する”ミニトリレンマ”の存在である。

研究開発段階では通常、将来の事業者が未確定である。仮に業界団体等が肩代わりをしたとしても、開発成果も不明確な段階で、目標とすべき性能を示せと言われても無理な注文である。しかも目標性能設定の際に大きな制約条件となる、安全規制の基準でさえまだ不明確である。仮に規制機関にそれを示すことを求めても、どのような事業を計画しているのかも不明確な段階で規制基準案を示すことは無理な注文である。規制機関、公的研究開発機関、事業者の要求がそれぞれ相矛盾した関係にあるのが”ミニトリレンマ”である。

これまでは公的研究機関独自に目標設定

このため、従来は事業化段階での目標性能は公的研究開発機関自ら想定せざるを得ず、それが必ずしも実際の事業化段階での目標性能と合致していないのである。すなわち、事業化段階で設定した目標性能を裏付けるデータが研究開発段階で十分得られていないことが有り得たのである。

²¹ 性能の裏付けデータとは、単に試験データがある、というだけでなく、第三者のレビューを受ける等、ASME等の国際的な品質基準を満たした形で得られたデータを指す。

²² ここでいう性能とは、プロセス性能を指している。従来も機械的な性能は納入者の保証事項とされている。

国策民営路線の研究開発に潜む疵

これは国策民営のわが国独特の研究開発の仕組みに潜む大きな瑕である。

本章ではこれを改め、初期段階では従来の方式を採らざるを得ないとしても、開発技術に一定の見通しが得られた段階からは安全規制機関及び民間の事業者が研究開発にコミットする仕組みを構築し、研究開発段階で、将来の事業化段階で保証すべき性能を明確化し、それを裏付けるデータを整えた上で円滑な技術移転、技術継承を行うことを提案している。

1. 事業者とプラント供給者の早期段階からの関与

1. 1 研究開発のゴール

研究開発の目的は、言うまでも無く、核燃料サイクル技術の実用化である。しかし、問題は「実用化」の中身である。技術には常にリスクを伴うものであるが、研究開発はそのリスクを軽減するプロセスであるとも言える。軍事目的で開発する場合にはリスクが大きくても実用化に踏み切るであろうし、商用目的で開発する場合には採算に見合うレベルまでリスクが軽減しないと実用化には踏み切らない。一般的には研究開発者、プラント供給者、事業者の間でリスク判断にずれがある。研究開発者は研究業績の価値を高めるために、オリンピックデータ的な機能を重視する傾向があるのに対して、プラント供給者、事業者はあくまでも採算性の観点から平均的なパフォーマンスを重視する²³。

したがって、「実用化」までに何をしておくべきか、という研究開発のゴールの設定は研究開発機関が一方的に決められない。その技術の事業化の担い手である事業者が、ここまでリスクが軽減されれば事業化に踏み切れる、と判断できるレベルまでリスクを軽減したところが理想的なゴールである。

1. 2 ミニトリレンマ問題

しかし、この理想的なゴール設定は現実的には簡単に実現しない。その最大の理由は”ミニトリレンマ”の存在である。研究開発の初期段階ではどのような技術が開発されるのかが漠然としているので、事業化の見通しも判然とせず、事業者が誰になるのかすら不明確である。したがって、まず、「事業者サイドの判断」を誰に訊ねたら良いかが解らないのである。仮にそれを業界団体のような機関が引き受けてくれたとしても²⁴、どんな技術が開発されるのかも解らない

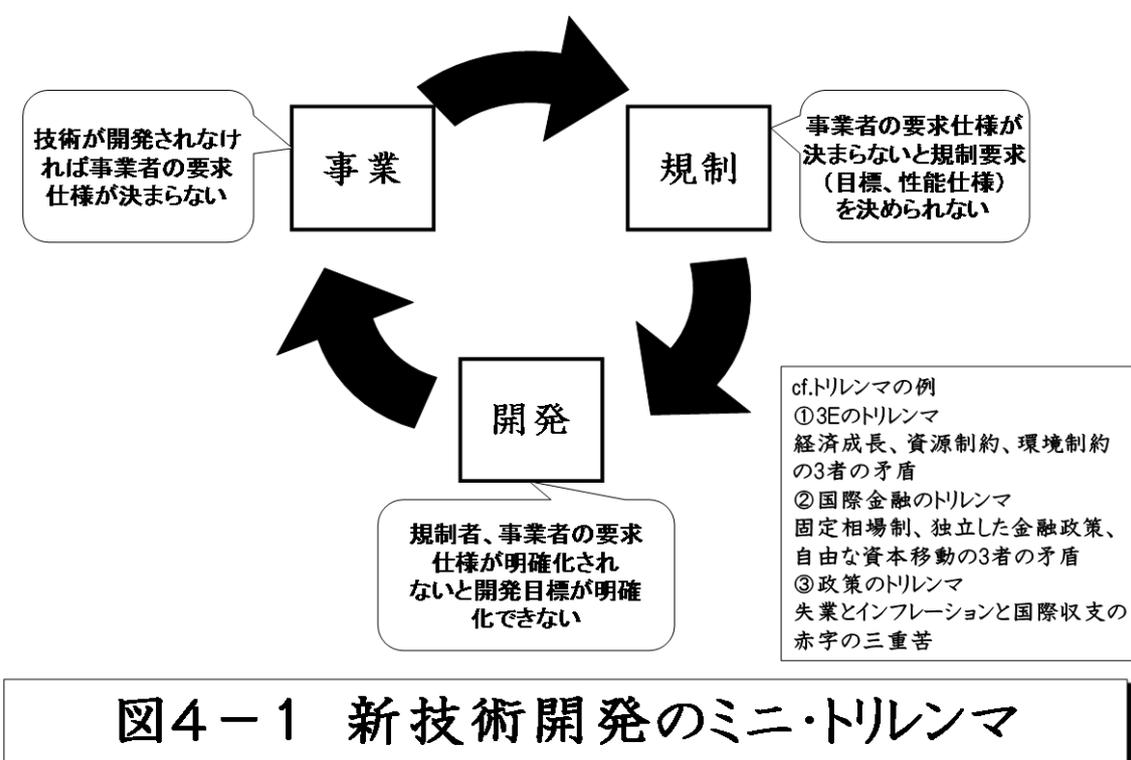
²³ 事業者サイドでも事業計画関係者と設計・技術関係者の間にリスク判断のずれが生ずる可能性がある。そのため、近年の企業経営にはリスク判断に客観性をもたせることによってそのギャップを埋める、様々なリスクマネジメント手法が開発されている。

²⁴ 高速増殖炉開発に関してはこれに相当する機関として 2006 年 7 月に文部科学省、経済産業省、電気事業連合会、日本電機工業会及び日本原子力研究開発機構の 5 者により、「高速増殖炉サイクル実証プロセスへの円滑移行に関する五者協議会」（以下「五者協議会」）が設置されている。

段階では、リスク分析も実施できず、「事業者サイドの判断」を答えようがない。

さらに、その判断を困難にする問題は規制の不透明性である。事業リスクの評価ではどのような規制が適用されるのか、は重要なファクターの1つであるが、新しい技術の安全規制を決めるのはあくまでも規制当局である。しかし、研究開発段階でそれを規制当局に訊ねても、事業者がどのような事業を計画しているのかも解らない段階で規制機関がどのような安全規制をするかは考えようが無いのである。

これが前項で述べた理想的なゴール設定が現実的には実現を困難にしている”ミニトリレンマ”問題である。この関係を図4-1に示す。



1. 3 現実的なゴール設定

前項で述べたミニトリレンマを念頭に置き、研究開発のゴール設定はどうあるべきかを考える。理想的なゴール設定が難しいからと言って研究開発サイドで一方的に目標設定すると実用化段階で問題を起こすことになる。その轍を踏まぬためには安全規制と事業者に早い段階からのコミットを求め、1. 1項で述べた理想に近い方式で研究開発のゴール設定をするのが望ましい。それが「日本型性能保証システム」のあるべき姿であり、その内容は以下のとおりである。

すなわち、研究開発中の早い段階、できれば開発する技術のアウトラインが見通せる段階で規制機関と事業者とプラント供給者の参加を求める。個別企業

の参加が難しい場合には業界団体のような機関に代行を求める。そして、下記の2点を公的研究開発機関に提示するよう求める。

- a) 事業者は実用化段階で安全規制上の規制要件をどう想定し、目標性能をどう設定するか
- b) プラント供給者²⁵はその保証性能を達成するために、製作上の目標性能をどう設定するか

公的研究開発機関は上記を研究開発計画に織り込んで研究を進める。

事業化段階での目標性能は複数存在

上述した、安全規制機関、事業者、プラント供給者のそれぞれが設定する基準、目標性能（保証性能）の関係を図4-2に示す。安全規制機関、事業者、プラント供給者が信頼性確保のレベルをどこまで高められるかは、研究開発段階でそれを裏づけるデータがどこまで得られているかに依っている。データが乏しければ十分な尤度を持った目標設定が出来ないことになるので、事業者、プラント供給者の側にも早い段階から研究開発機関に目標性能を提示するメリットは大きいのである。

また、規制機関にとっても早い段階から規制基準を提示することが、施設の総合的な安全性向上に寄与するのであり、やはりメリットが大きいと言える。

²⁵軽水炉の原子力発電所の場合は、プラント供給者は重電メーカー1社になることが一般的であるが、六ヶ所ウラン濃縮工場の主要設備・機器は UEM、東芝、日立、三菱重工業、の4社、六ヶ所再処理工場の主要設備・機器は、東芝、日立、三菱重工業、IHI、富士電機、日揮、三菱マテリアル、住友金属鉱山、三菱電機、千代田化工の11社が製造建設主体となっており、燃料サイクル施設の場合は製造・建設主体が多数になるのが大きな特徴である。

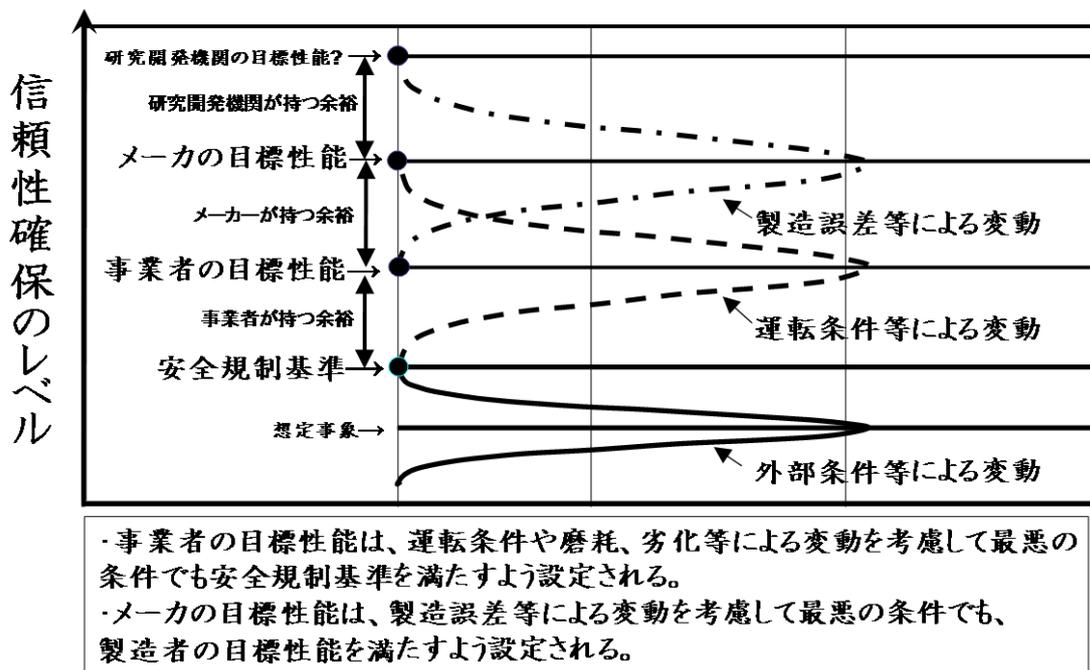


図4-2 研究開発の目標性能はどのレベル？

—安全規制基準、事業者の目標性能、メーカーの目標性能の関係—

1. 4段階的見直しの実施

前項に示したゴール設定は1. 2項で述べたミニトリレンマの関係にあるため、安全規制機関、事業者、プラント供給者とも相当、無理をして設定する。開発の早い段階では当然設定精度は相当粗い物にならざるを得ない。したがって、開発の進展に応じて見直すことが出来るようにすることが望ましい。しかし、大きなプロジェクトのゴール設定を余り頻繁に変えることは非効率であるので、その頻度は概ね3～5年とするのが適当と考えられる²⁶。

1. 5ガバナンスの存在

上述した1. 3及び1. 4項がまさに「日本型性能保証システム」のコアをなすものである。研究開発機関、製造企業、事業者が手を携えて事業を作り上げていくシステムである。紙の上では簡単に言えることであるが、現実にはそれぞれの機関、企業ともしかるべきリソースの投入を要するとともに、ゴールの設定次第では利害が反することにもなり、合意形成は容易ではない。したが

²⁶ 2007年4月の5者協議会(前出脚注13参照)で決定した「高速増殖炉の実証ステップとそれに至るまでの研究開発プロセスのあり方に関する中間論点整理及び第二再処理工場に係る2010年頃からの検討に向けた準備の開始について」では高速増殖炉仕様のC&Rはおよそ5年毎に行うこととされている。

って、この「日本型性能保証」システムの実施に当っては利害当事者以外の第三者によるガバナンスが必要である²⁷。過去の研究開発ではその存在が欠けていたため、当事者間に利害調整が委ねられ、合意形成に長期の交渉を要したことが事業化に少なからず影響を与えたこともあった²⁸。

2. 実用化段階で求められる技術内容と開発技術データベース

2. 1 開発技術データベースの重要性

核燃料サイクル技術の研究開発で最も肝要なことは開発技術のデータベース構築である。その理由は2つある。第一に、我が国では研究開発と実用化の実施主体が異なり²⁹、わが国独特の「日本型性能保証」が必要なこと、第二に、研究開発が何十年という非常に長期に亘るためである。以下にこの2点の理由について詳述する。

我が国の経験はかけがいのないノウハウ

核保有国以外で核燃料サイクル技術、とりわけウラン濃縮と再処理の両技術を保有しているのは我が国だけである。両技術を保有しているわが国以外の国³⁰はいずれの国も、軍事目的で開発・実用化している。両技術の研究開発と実用化の実施主体が異なるのは我が国だけである。すなわち、ウラン濃縮、再処理の両技術を公的研究開発機関から民間企業へ技術移転をしたのはわが国が初めてである³¹。我が国はいずれの技術とも、公的研究開発機関で開発し（再処理は一部³²のみ）、民間企業が実用化した。その過程で得られた様々な体験はその意味で、世界で初めて得られたかけがいのないノウハウであると言って過言ではない。このような技術移転をどのように行えば円滑に事業化できるのかについては、世界広しと言えども我が国だけが持つ大変貴重なノウハウだと言えよう。この貴重な経験・知見を体系化し、「日本型性能保証システム」として今後の研究開発に活かすことは、今後、類似の形態で技術の実用化を目指している³³我が国にとって何に増しても重要かつ必須な作業である。

²⁷ 研究開発のガバナンスについては日本原子力学会第2回日本型性能保証専門委員会(09.11.26)「研究開発ガバナンスの品質向上」p.26に詳しい。

²⁸ ウラン濃縮の技術移転交渉が当時の動燃事業団(現日本原子力研究開発機構)と原燃産業(現日本原燃)の直接交渉に委ねられ、交渉が長期化したことは大きな反省材料の一つである。

²⁹ ウラン濃縮、再処理ともに研究開発は現(独)日本原子力研究開発機構、事業者は現日本原燃(株)である。

³⁰ ウラン濃縮、再処理の両技術を保有していると、公に確認されている国は、米、英、仏、露、中の核保有5カ国である。この他、インド、パキスタン両国は核保有国とみなされており、軍事的な再処理技術を保有していると考えられるが、商用化できるレベルのものかどうかは不明。

³¹ 各国とも軍事技術として開発し、実用化したため、初期の開発から実用化への移行過程は公開されていないので不詳である。

³² 再処理工程のうち、混合酸化物製造工程、ウラン酸化物製造工程、高レベル廃液ガラス固化工程が国の研究機関で開発され、民間企業が実用化した工程である。

³³ 具体的には高速増殖炉及び次世代再処理技術がそれに該当する。

ノウハウを残す手段がデータベース

その際、最も大きな役割を果たすのが開発技術データベースである。これまでは必ずしも十分整っていなかったが、研究開発過程でどのようなデータが得られ、それをどのように評価し、技術選択を進めたのか、の過程を全てデータベース化し、その過程を透明化しておくことが、我が国のように研究開発と事業主体が異なる場合に、円滑に事業化する上で必須であることを肌身に体験している³⁴。

長期の研究開発にはデータベースが必須

開発技術データベースの構築が肝要だと考える2つめの理由は、核燃料サイクルの研究開発が長期にわたることである。ウラン濃縮では、六ヶ所ウラン濃縮工場の建設に先立つ研究開発には約20年³⁵を要しており、再処理では六ヶ所再処理工場の建設に先立つ研究開発にやはり30年以上³⁶の歳月を要している。現在開発中の次世代再処理技術は実用化が2050年頃³⁷とされているので、研究開発期間は40年以上ということになる。研究開発期間が長期化する場合の最大の課題は技術継承問題である。研究開発中に何世代もの世代交代が進むので、ベテラン研究者にとって解り切った事柄であっても、その知見を文書化して次世代の研究者に間違いなく継承していかなければならない。そのためには、研究開発過程でどのようなデータが得られ、それをどのように評価し、技術選択を進めたのか、の過程を全てデータベース化し、その過程を透明化しておくことが組織内の技術継承を円滑に進める上で重要である。

技術革新により評価根拠が覆る場合への備え

研究開発が長期化する場合の2つ目の課題は、周辺技術の技術革新によって技術採否の評価根拠が変化する可能性が高いことである。或る時点で正しかった技術採否根拠が、10年、20年も経つうちに正当性を失い、棄却された技術が逆転して有利になる可能性も否定できない。或いは試験データに内在していた予兆事象が分析技術や評価技術の進歩によって顕在化する可能性も否定できない³⁸。このためにも、技術採否の決定経緯を書き残し、いつでも遡って再確認できるようにしておくことが必要なのである。このため、後年の再評価に備えてデータの評価結果だけでなく、膨大な費用をかけて実施した試験で採取された生データなど、全ての開発データをデータベース化しておくことが求められる。

技術継承者、移転先技術者がいつでも閲覧

³⁴ 再処理の試運転中に発生したガラス固化工程の問題がその事例の一つである。

³⁵ 1972年に当時の動燃事業団がナショナルプロジェクトの指定を受けてから1992年に日本原燃六ヶ所ウラン濃縮工場が稼動開始するまで20年を要した。

³⁶ 1977年に東海再処理工場がホット試験を開始してから日本原燃六ヶ所再処理工場の稼動開始予定である2010年まで33年を要している。

³⁷ 2005年10月14日に閣議決定した原子力政策大綱 p.45 参照 (<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/tyoki.htm>)

³⁸ 六ヶ所ウラン濃縮工場の初期運転単位の早期停止問題はこの事例に該当。

それ故、「日本型性能保証システム」上、また、研究開発が長期にわたることにより発生する課題を克服する上で、これらのデータベースを技術継承する後の世代の研究者や、技術移転先の技術者がいつでもアクセスしてレビューできるようにしておくことが大切である。

2. データベースに登録すべき技術情報

開発技術データベースに登録すべき技術情報は基本的に全てである。どの情報が重要で、どれが重要でないか、という仕分けを行うことは、その重要度の評価に既成概念が含まれることになる。将来、その既成概念すら覆る可能性を勘案するとデータベースに登録すべき対象は、技術情報全てということになる。

以下に、データベース化する必要がある情報の例を示す。

なお、a)～e)までは施設ごとに纏められていることが好ましい。

a) 計画書類、契約書類

品質保証計画書、品質保証実施記録、
研究開発計画（予算、工程、実施内容等）、
試験装置計画（設計図書、解析図書、建設図書、試運転等）、
試験実施計画（予算、工程、試験内容等）
発注仕様書、契約仕様書、特記仕様書 等

b) 試験データ

試験条件、試験装置仕様、計測器仕様、計測データ、計測器校正記録 等

c) 運転・保全記録、品質記録、不具合・不適合記録

特に、不具合・不適合に関しては、発生事象リスト、
発生事象の生データ（事象発生時の運転データ、原因究明試験データ、
対策確認試験データ等）、事象ごとの経緯記録、
事象原因究明報告、類似事象再発防止対策報告 等

d) 評価資料

試験結果評価書、評価に使用したデータ資料 等

e) 許認可資料

許認可申請書、許認可証、許認可質疑応答資料、許認可説明図書 等

f) 技術移転資料

技術移転要求書、技術移転実施計画書、技術移転記録、教育計画、
教育記録、
人員移籍計画、人員移籍実施記録、移転に係る質疑応答記録 等

g) 第三者監査記録

第三者による監査計画、第三者による監査実施記録、
監査結果反映実施記録 等

h) 知的財産資料

知的財産リスト、知的財産の個別資料、知的財産権利授受リスト、知的財産権利授受個別資料 等

2. 3 開発技術データベースの形態と管理

核燃料サイクル技術が核セキュリティ上の機微情報に該当するものが多い。したがって、その形態、管理方法、閲覧方法及び閲覧者の資格等は法的に万全の方法を講じる必要がある。

3. 技術移転以降の公的研究開発機関の役割

従来は、公的研究開発機関の役割は技術移転までとされ、技術移転後の役割は基本的にはないものとされていた。しかし、実際にはウラン濃縮、再処理とも公的研究開発機関が実質的な技術支援活動を継続しているのが現実である。

大規模インフラの重要性

ウランや使用済燃料を使った大規模インフラは公的研究開発機関にしか存在せず、性能を変更するような改造を行う場合の確認試験等は公的研究開発機関が支援せざるを得ないのである。ここにも日本型性能保証システムの必然性が存在する。すなわち、他の技術保有国は軍事の公的研究開発機関が存在し、その研究開発機関が大なり小なり民間事業に係りがあるのは明らかである。わが国が燃料供給国として国際的な責任を果していくことを国是とするならば、技術移転後の公的研究開発機関の役割を見直すことは日本型性能保証システムとして不可欠である。

技術移転後も基礎基盤データの充実が必要

技術移転段階以降においても、基礎基盤的データの充実を目的とした研究開発にも継続して取り組める環境を整えることを提案する。

基礎基盤的データというと、ビーカースケールでの基礎研究というイメージが先行しがちだが、商業規模の施設を支援するためのデータとして、実規模大の装置による物理化学現象の解明や、中規模程度の実液試験により得られる情報などが必要なことがある。これらの情報は公的研究開発機関の既存施設を有効活用することで取得可能と考えられることから、関連施設の維持管理、改修などの予算を確保すると共に、これらの業務に従事する要員確保も必要である。

人材育成にも活用

なお、以上の基礎データの取得においては、事業者やプラント供給者から人材を派遣し、研究成果の取得に協力すると共に、技術者の育成にも活用すべきと考える。

V 技術移転及び商業化メカニズム

日本型性能保証システムで公的研究開発機関から民間の事業者への技術移転、技術継承を如何に円滑に進めるかが核燃料サイクルの新技术の事業化の成否を左右する。

暗黙知の存在

一般に、技術移転／技術継承を困難にする根源的な原因は暗黙知の存在にある。核燃料サイクル技術の場合、技術が巨大なため、暗黙知を保有する研究者、技術者が非常に多く、さらに開発が長期に亘るため、個人が保有している暗黙知の量も非常に多いことが技術移転／技術継承がさらに困難にしていることを、まず、関係者が十分認識し合うことが技術移転／技術継承の出発点となる。

最大限に形式知しても暗黙知は残る

前章で示した通り、日本型性能保証システムでは、公的研究開発機関が日常的にあらゆる技術情報を文書化、即ち、形式知してデータベースに入力することによって暗黙知の範囲を最小限にとどめることを提案しているが、それを実行したとしても暗黙知を皆無にすることは不可能であることも関係者間で十分認識し合うことが重要である。

暗黙知の移転／継承が最も難しい

日本型性能保証システムでの技術移転／技術継承の理想的な進め方は、上述の認識に立つと以下の通りとなる。第一に、日常的に技術情報を文書化して技術情報データベースに登録する³⁹こと。第二に、形式知化されたデータベースの情報を確実に移転／継承すること。第三に、暗黙知の移転／継承に万全を尽くすこと。の3点である。最後の暗黙知の移転／継承が最も難しい。

暗黙知を引き出すのはコミュニケーションしかない

この暗黙知の移転を円滑に進めるにはひたすらコミュニケーションを深める必要があり、そのためにはお互いの信頼関係の構築が前提となる。現実の技術移転／継承では上記3項目以外にも様々な事務的な手続きが必要になるが、それらの手続きはここで指摘した信頼関係の構築に支障が生じないように進められなければならない。万一、事務的な手続きにより対立関係が生まれるようなことがあれば、技術移転／継承の成功は覚束なくなり、引いては新技术の実用化も実現しない。このような事態に陥ることはどちらの当事者にとっても不幸な

³⁹ 技術情報の渡し手と受け手は技術移転前とその後で異なる。技術移転前は公的研究開発機関が渡し手で事業者が受け手であるが、移転後の運転段階での異常事象の原因究明等では立場が入れ替わり、事業者が当該事象の技術情報の渡し手になり、公的研究開発機関が受け手になる。したがって、技術情報のデータベース化は公的研究開発機関だけでなく、事業者も取り組む必要がある。もちろん、双方とも組織内の技術継承のために技術情報のデータベース化が必要であることはもちろんである。

ことで、まさに“角を矯めて牛を殺す”類である。したがって、技術移転の協議は細心の注意を払って慎重に進める必要がある。

1. 技術情報の文書化（形式知化）

技術移転/継承で最初に行うべきことは技術情報の文書化すなわち形式知化である。一般的にわが国の技術者は文書化が不得手だと言われている。とりわけ研究者には”一国一城の主”的なプライドがあって、自分のノウハウを他人に見せたがらない傾向があるとされている。

NASAはシステム工学を駆使して属人化した暗黙知を形式知化

この傾向は米国にもあり、月面探査プロジェクトが開始された当初、NASAが統括した研究センターは10以上あったが、いずれの研究機関も我が国と同じように職人肌の文化が支配的だったようである。文書化する文化はNASAのテクノクラート達が必至になって浸透させたものだったようである。NASA本部の担当官らは、各センターの技術プロセスに対する管理を強化するため、形式化・規格化された、いわば脱人格化された技術手法の導入を推進した。そのような手法の中核が大規模技術システムを体系的に統合するために用いられるシステム工学であった。システム工学の手法は技術プロセスの徹底した文書化を要請した。システムの全構成要素の様子が明確に定義され、文書化した。全ての設計変更とそのコスト及びスケジュールへの影響も同様に文書化した。そしてその文書は遅滞なく関連部署に伝達され、技術プロセスが明示的・体系的に記録管理された⁴⁰。

日本型性能保証システムでも徹底した文書化を

日本型性能保証システムでは、この手法に倣い、公的研究開発機関はプラント供給者の支援のもとに徹底した文書化を進め⁴¹、前章で示した通り、それらを技術情報データベースに登録することを提案する。

2. 文書化された技術情報の確実な移転/継承

文書化された情報の移転/継承も単に渡せば済む、というものではない。技術情報が文書化された文書の行間には通常、膨大な暗黙知が詰まっている。読み手がその技術に精通していればその行間を読み取ることが出来るが、その技術を知らない場合は、行間の情報が伝わらず、書いてあることだけしか伝えることが出来ない。したがって、文書化された技術情報を移転/継承する際は当該文書の筆者が同席し、補足説明と質疑応答の時間を十二分にとって行うこと

40 佐藤靖「NASA文化を築いた人々」東京大学出版会、2007

41 ウラン濃縮の技術移転では特にこのことに腐心し、ほとんど全ての基本設計図書に、通常の場合は書かないような、採用仕様の決定理由説明を記載することを徹底した。このため、それらの図書のページ数がいずれも通常よりもかなり膨大化している。

が求められる。書いてあることよりも、むしろ、書いていないことを如何に引き出すかに双方が腐心すべきである。

これも暗黙知の移転／継承に万全を尽くす対策の一つである。

3. 暗黙知の移転／継承

3. 1 暗黙知とは何か

暗黙知と一言で言っても様々なものがある。開発思想や考え方と言った設計に係るものから、モーターの異音の判別方法のような機械の良否判別技術に係るもの、或いは、ボルトの締め方、力加減などといった物作りに係るものまで様々な分野に存在する。研究企画者から現場の研究者に至るまでほとんど全ての部署に存在すると言っても過言ではない。

3. 2 暗黙知の移転方法

本章の前書きで述べたとおり、技術情報を最大限に努力して形式知化しても100%の形式知化は有り得ず、暗黙知は必ず残る。その属人化している暗黙知を移転／継承するには以下の4つの方法が有効である。

- a) 文書化された情報の移転時のコミュニケーション
- b) マンツーマンのOJTによる移転
- c) 人そのものの移転
- d) 移転／継承先の技術者による技術情報へのフリーアクセス

このうち、a)については既述(2項)した。b)は従来のプロジェクトでも採られてきているが、時間と費用がかかる割にうまくいかないのが実情である。その最大の理由は、移転後もその技術が属人化してしまうことである。すなわち、その暗黙知はOJTで移転を受けた人しか保有していないため、その人が人事の問題や時間的タイミングの問題により、その技術を活かせるポストに就けないと無になってしまう。移転を受ける人の人事的なタイミングがうまく合うことと、移転を受ける人の所属組織が思惑通り、その技術を活かせる仕事を担当すること、の2つの条件が成り立たないと折角のOJT技術が活かせないのである。

人の移転は決め手にならない

暗黙知の移転の3つ目の方法は「人そのものの移転」である。これは一見、決め手のように思われるが、この方法にも大きな難点がある。その本質的な理由はb)の場合と同様、この方法でもその技術が属人化されたままであるということである。暗黙知を持っているとおぼしき研究者を移籍しても、その人が昇進して別のポストに異動してしまうその暗黙知が活かせなくなることである。したがって、c)の方法を採ったとしても移籍後にb)の方法で若手技術者への継承を進めるなどの方法によってそれを補う必要がある。いずれにしても「人

そのものの移転」は暗黙知の移転の決め手とはならない。

技術情報へのフリーアクセスが重要

暗黙知の移転の4つ目の方法は「移転／継承先の技術者による技術情報へのフリーアクセス」である。フリーアクセスの対象としては試験（トラブルを含む）で得られた生データも含まれる。開発研究者はややもすると開発技術の良い面を強調する余り、マイナス面は隠さないまでも、余り積極的に説明したがないものである。したがって、a)の「文書化された情報の移転時のコミュニケーション」での説明対象になる情報方法はどうしても臍目目で選択されがちになる。フリーアクセスの効用の一つは移転先技術者による公平な目でそれを補い、追加の説明を求めることが可能になることである。二つ目は事業者という全く異なる立場の技術者の目でプラス面に限らず、マイナス面も含めて冷静にレビューできることである。

以上の暗黙知の移転／継承の4つの方法の内、a)からc)までの3つの方法は従来も行われてきたものであるが、d)「移転／継承先の技術者による技術情報へのフリーアクセス」は日本型性能保証システムとして新たに提案するものである。

4 開発思想の移転

開発思想も既述した1～3の移転対象の技術情報の一つであるが、重要であるので若干補足して特筆する。

技術移転で最も重要なことは開発思想の伝達である。技術移転とは試験データや採用された設計仕様を受け渡すことではなく、それらのデータを評価したプロセスや仕様を選定したプロセスの基本となった開発思想を伝えることが最も重要なのである。例えば、スケールアップをする際になぜその規模を選定したのか、なぜこの試験が必要だと考えたのか等である。すなわち、様々な技術仕様の選択肢の中から最終仕様を選択した根拠となったデータとその評価根拠とした考え方を示すことである。

開発思想を文書化した行間に暗黙知あり

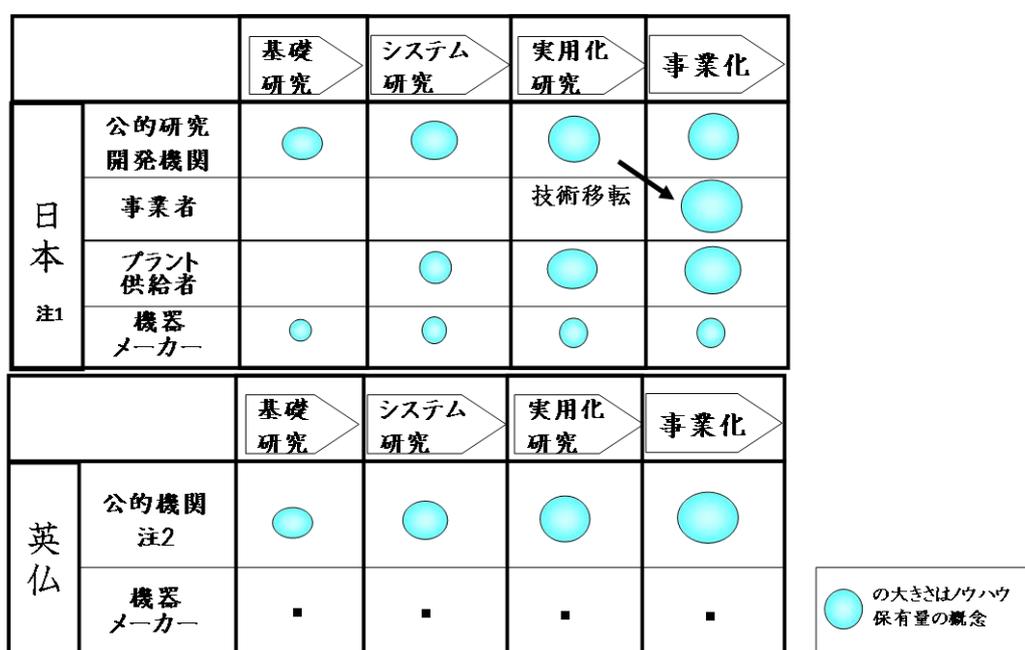
それと同程度に重要なことは、その評価過程で採られた考え方、言わば開発思想を伝えることである。しかし、開発思想は最も暗黙知に近い領域である。これを文書化することは容易ではない。言葉で表わしてもその言葉のニュアンスの受け止め方は人それぞれで微妙に異なるからである。したがって、開発思想の受け渡しは単なる文書の授受だけでなく、実地に行う試験や運転を通して伝える必要がある。そこで起きる様々な事象、特に新たに経験するトラブルの原因究明の場面でどのような考え方で原因究明を進め、再発防止対策を講じるのか、の場面に両当事者が参画し、両者が真摯に意見を交わすことによって、開発思想の暗黙知部分を相当程度伝えることができる。

5 技術移転／継承すべき技術保有者

上述した技術移転／継承の考え方は、公的研究開発機関から事業者への移転／継承を念頭に置いたものであるが、わが国の研究開発段階における技術は公的研究開発機関だけでなく、設備・機器を納入したメーカーも一定程度保有している。

我が国は機器メーカーも技術ノウハウを保有

これがわが国における技術移転／継承を複雑化・困難化している要因の一つでもある。英仏とわが国の研究開発体制と技術保有者の比較を図5-1に示す。このような違いが生じる背景にはそれぞれの国の商習慣の違いがある。



注1: 日欧の相違の原因の一つは、日本の「機能購買」に対して欧州は「仕様購買」という、商習慣の相違にある。

注2: 仏はエンジニアリング会社SGNを使っているが、公的研究開発機関と人的な交流もあり、

長期間継続して同一社に発注されており、実質的に公的研究開発機関と一体運営されている。

図5-1 日欧のノウハウ所有者の概念比較

－我が国はノウハウが分散して保有されている－

英仏では研究開発においても設備・機器の仕様を明示した発注形態を採っているが、わが国では機能を指定して発注する、所謂、機能購買の発注をする場合が多い。前者の場合は機器メーカーは仕様選定のための研究開発を実施せず、指定された仕様の設備・機器を製造するだけなので、技術保有者にはならない。しかし、後者の場合、プラント供給者、機器メーカーは指定された機能を実現する、競争力のある仕様選定のため、しかるべきR&Dを実施した上で仕様を

決定する。プラント供給者から機器メーカーへの発注でも同様のことが行われている。このためわが国では技術保有者が多くなっている。

公的研究開発機関以外のノウハウの移転／継承も重要

技術移転／継承ではしたがって、公的研究開発機関と事業者間の問題だけでなく、プラント供給者、機器メーカーが保有している技術をどのように取り扱うのかも考える必要がある。

VI 安全規制；「柔軟な規制」の必要性

試験研究から実用化そして商業化に至るまで、施設の性能、安全機能、稼働率などに大きな影響を及ぼす要因の一つに安全規制があげられる。安全規制の如何によっては、施設本来の技術的な性能を実現するために必要なシステムや設備機器に付加して、安全規制に対応するため多くのシステムや設備機器が必要となることがある。仮に技術的あるいは経済的に実現が困難な、あるいは実現に時間を要する安全規制上の要求がある場合は、試験研究そのものが成立しない場合もあり得る。このため、施設の性能保証という観点から見た場合、安全規制要求事項については、基本的な要求事項は試験研究の初期段階で示され、その後は試験研究の進展に応じてより詳細な要求事項が示されることが望まれる。

以下に、過去の規制の教訓を考慮しつつ、円滑な技術開発の商業化を推進する観点から検討した内容を示す。

1. 試験研究施設に関する安全規格基準整備研究の過去の実施状況

試験研究段階にある原子力施設の安全対策は、これまで主に研究者によって試験研究と並行して検討されてきた。しかしこの場合の安全対策は、研究当事者としての施設やシステムに係わる人の安全対策及び災害防止に関するものであった。施設の安全性に関する実証試験を除けば、許認可等に当たり安全規制当局が使用する安全規格基準を事前に整備するための研究は、取り組みが遅れたケースが過去には多かったように思われる。原子力委員会（後には原子力安全委員会）による基本的な審査指針類の整備を除けば、多くの場合、安全規制当局に対する許認可等の申請が具体化する段階で、安全規格基準の整備が開始されたように見受けられる。このような状況にあった背景には、そもそも我が国の原子力技術が、安全性は実証済みと判断された海外技術の導入から始まった歴史的経緯があることに加え、安全に関する規格基準についても海外のものを活用してきたことも挙げられる。

2. 商業施設に関する安全規格基準の過去の整備状況

東海発電所等初期段階の原子力発電所の建設・運転に係る安全基準は、主に海外のものを活用してきたが故に、我が国独自の安全規格基準の整備には時間を要した。国としてようやく規格基準を整備し始めた後も、主に米国の規格基準や ASME 等の民間規格基準を参考にしてきたために、法令としての規格基準の整備は、海外での制定の 6～7 年後というケースも見受けられた。構造強度に関する維持基準である ASME SECXI に相当する我が国の維持基準の整備については、それまでの我が国の技術基準が設計・建設用であるのか、維持

基準の性格も併せ持つのかの位置付けを巡る議論もあり、米国の整備から 35 年後に整備されたという例もある。

原子力施設建設と指針・基準類の整備の関係

| 西暦 | 原子力発電所建設 | 原子力関係指針、技術基準類整備状況 | 米国ASME等の制定状況 |
|-----|----------|---|----------------------------------|
| S31 | 1956年 | 原子力委員会発足 | |
| S34 | 1959年 | 東海発電所設置許可 | |
| S37 | 1962年 | | ANSIB31.1“Power Piping”制定 |
| S38 | 1963年 | JPDR発電成功 | ASME SecⅢ“Nuclea Vessel”制定 |
| S39 | 1964年 | 原子力委員会“原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断の目安について”を制定 | |
| S40 | 1965年 | 電気事業法 発電用原子力設備の技術基準を定める省令第62号制定 | |
| S41 | 1966年 | 敦賀1号、福島第一1号、美浜1号設置許可 | |
| S43 | 1968年 | 福島第一2号、美浜2号設置許可 | |
| S44 | 1969年 | 原子力船「むつ」進水、高浜1号、島根1号設置許可 | |
| S45 | 1970年 | 電気事業法 発電用原子力設備の構造等の技術基準(昭和45年告示)制定・・・1963版 ASME SecⅢ“Nuclea Vessel”及び1962年版ANSIB31.1“Power Piping”を参考に、容器と管を主体とした基準 | |
| S46 | 1971年 | 福島第一5号設置許可 | ASME SEC X I 維持基準制定 |
| S47 | 1972年 | 福島第一4、6号、福島第二1号、東海第二、美浜3号、大飯1、2号、伊方1号設置許可 | |
| S49 | 1974年 | 原子力船「むつ」放射線もれ | ASME SECⅢ改定 ポンプ、弁、支持構造物、炉心構造物を追加 |
| S50 | 1975年 | 原子力委員会“発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針について”を制定 | |
| S51 | 1976年 | 原子力委員会“発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する評価指針について”を制定 | |
| S52 | 1977年 | 原子力委員会“発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針について”を制定 | |
| S53 | 1978年 | 福島第二2号設置許可 | |
| S54 | 1979年 | 米国TMI事故 | |
| S55 | 1980年 | 電気事業法 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準 告示501号制定・・・1974年版ASME SecⅢ及びNRC Regulatory Guide 1.26を | |
| H18 | 2006年 | 発電用原子力設備の構造等の技術基準の性能規定化、告示501号の廃止。日本機械学会の設計・建設規格2005年版、維持規格2002年版および2003年版が引用され活用される。 | |

図6-1 原子力施設建設と指針・基準類の整備の関係

また再処理工場については、1970年代初頭には工学規模実証施設として東海再処理工場が建設着工されたが、国としての安全規制に関する指針については、商業プラントとしての六ヶ所村再処理工場の建設運転等を目的とする日本

原燃サービス(株) (その後の日本原燃(株)) が設立される 1980 年に「核燃料施設安全審査基本指針」(原子力安全委員会決定) が整備された。1984 年 7 月には電気事業連合会会長が青森県知事及び六ヶ所村長に原子燃料サイクル三施設立地協力要請を行ったが、「再処理施設安全審査指針」(原子力安全委員会決定) は 1986 年に整備された。「再処理施設の設計及び工事の方法の技術基準に関する規則」(総理府令) については 1987 年に整備されたが、材料及び構造に関する詳細な規格基準については、告示案が別途検討されたようであるが、最終的には電気事業法の「発電用原子力設備に関する構造等の基準」(告示 501 号) を参考にして処理されたと聞いている。

再処理技術の研究と六ヶ所村工場の建設工程と実績

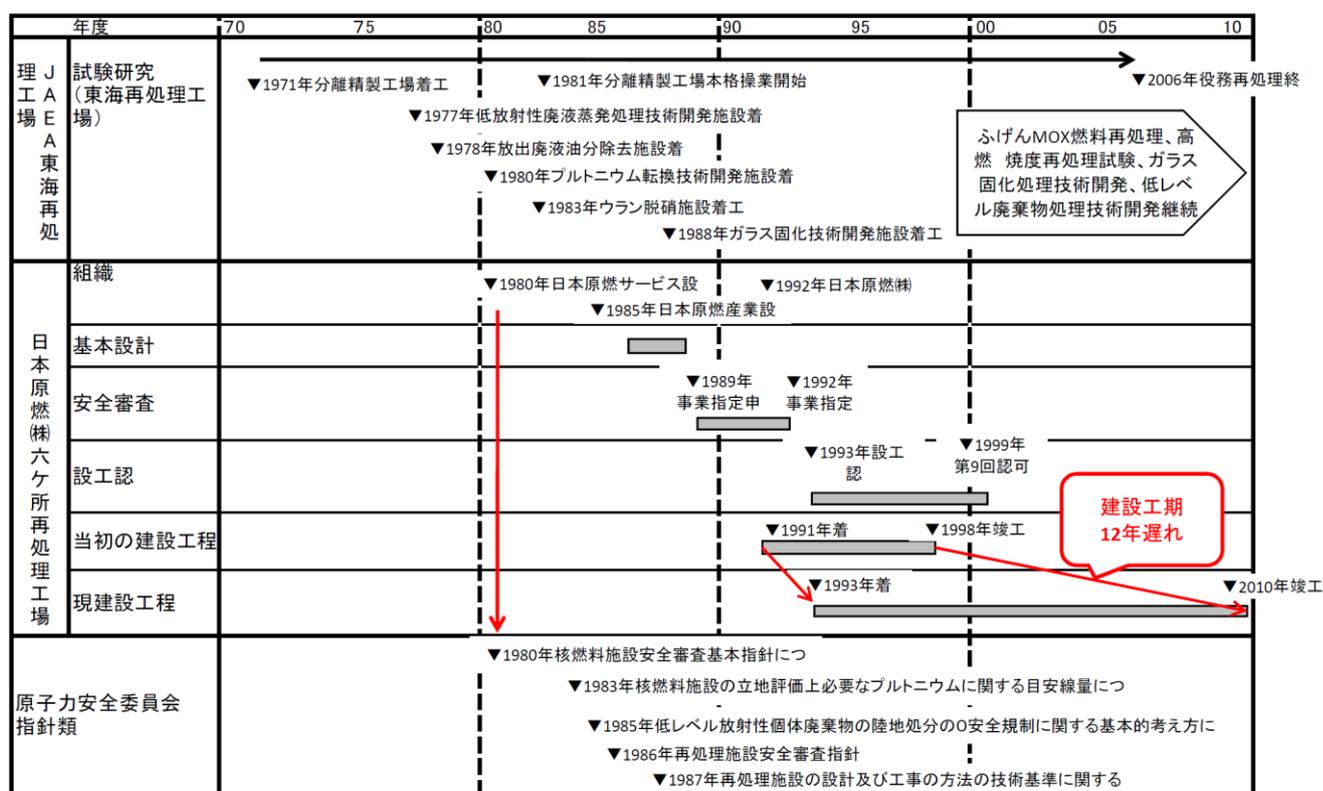


図 6 - 2 再処理技術の研究と六ヶ所工場の建設工程

なお、近くにある三沢基地から飛来する航空機の落下事故を想定した、より慎重な対策は、建設が進んだ段階になって追加対策が講じられ、これが再処理施設の工事費増加の大きな要因の一つになったといわれている。⁴²航空機事

⁴² 1996 年当時、六ヶ所再処理工場直接工事費は、当初計画 5,700 億円であったところ、その後 1 兆 6,000 億円に増大した。その理由として、途中から追加した航空機衝突対策を含む策安全対策充実費増 (2,000 億円)、環境への放出放射線対策、保障措置等対策費増 (3,300 億円)、建設期間 3 年遅れを含む物価上昇 (5,000 億円) が大きな原因となった。出展：Plutonium Spring 1996 No.13

故等による飛来物等対策は、「核燃料施設安全審査基本指針」には明確な指針は定められていないが、「再処理施設安全審査指針」の中で基本立地条件として確認すべき事項にあげられている。その後の「再処理施設の設計及び工事の方法の技術基準に関する規則」には航空機落下事故対策に関する事項の記載が無く、安全審査指針と技術基準のとの間の連携はうまく取れていなかったように思われる。なお、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」（1965年制定）においても、航空機落下事故対策に関する事項は当初は無かったが、最新版の省令では第4条の（防護措置等）において、適切な措置を講じなければならぬと記述されている。

施設の性能保証という観点から見た場合、施設の安全性や経済性に重大な影響を及ぼす安全対策については、規制当局及び事業者の間で事前に入念に検討される必要がある。

なお、規格基準の法令化に際しては、行政庁内では技術審査とは別に法律系職員による法令審査が行われる。この法令審査を担当する職員は不足気味であり、加えて法令審査に際して技術系職員の説明力量が適切でない場合は、規制当局による規格基準整備の遅延の原因になる場合があることも併せて指摘しておきたい。⁴³

3. 安全規制当局は試験研究の計画段階から参加する柔軟な規制を

安全規制当局にとって試験研究段階にある原子力施設の安全規制については、試験研究対象の技術が未だ確立しておらず、したがって安全規制方法も定まらず、ましてや前例も殆ど無い。このため、安全規制は試行錯誤にならざるを得ず、これまで海外の規格基準を活用してきたわが国では、規格基準整備を含む安全規制の研究はなかなか進まなかったものと思われる。また、過去にお

⁴³法律としての体裁、論理性、多くの法令間の整合性などを審査するために、行政庁内には法令審査を行う部門があり、規制に使用される規格基準も法令審査の対象となる。規格基準類を理解するには専門技術知識を必要とするため、法令審査担当職員にとっては苦労が多く、審査に時間を要するのが常である。一方で、法令審査担当職員が短期間に人事異動することがよくあるために、仕掛かり案件はその都度振り出しに戻る。また、急を要する法律の法令審査が優先されるため、規格基準類の審査は後回しになることがある。これらが原因となって規格基準の整備が大きく遅れることがある。このような状況を打開するために規格基準の性能規定化を図り、国の技術基準に適合する規格基準として、一時は民間規格基準を引用する制度ができた。しかしその後、行政手続法の施行に伴い、国による許認可の判断の際に用いられる規格基準は、国自らが整備すると解釈された。このため、現在では国の基準に民間規格基準の引用するにしても、国において改めて詳細に審査するために、多くの時間とマンパワーが費やされている。

いては、試験研究推進行政と安全規制行政を同一行政庁が実施する場合には、推進行政が先行し規制行政は後追いになりがちであった。試験研究施設であれ、商業施設であれ、法律に基づく安全規制は、事業者からの許認可の申請があつて初めて審査が開始される、いわゆる「申請主義」であることは避けられない。しかし、「申請主義」を理由に、実際に申請されるまで具体的な安全規制の準備が遅れるようなことがあるとすればそれは非効率であり、事業者から申請があり次第直ちに審査開始できるよう準備されていることが望ましい。そのためには、試験研究施設にあつては、安全規制当局は計画段階から当事者として参加し、将来の安全規制方法を検討しておく必要がある。

安全基盤研究や商業施設にあつてもトピカルレポート制度⁴⁴のような事前審査制度を活用し、早めに規制方法を検討しておく必要がある。このような業務は行政サービスとしてではなく規制当局のミッションとして明示しておくことが望ましい。これによって施設建設が相当進んだ段階で、新たな規制が要求されるような事態を避けることができるようになり、事業者も規制に対して柔軟に対応できるようになるのではないかと思われる。

規格基準に関する最近の動向として、平成 19 年には原子力安全・保安部会原子力安全基盤小委員会において、安全規制当局が安全研究計画を作成・実施するとの提言が行われた。更に平成 22 年 3 月には同基盤小委員会⁴⁵で、今後 JNES が安全研究の中核的役割を担うとともに、ロードマップの活用、規制側と産業界等の被規制者側の共同研究のメリットの活用等について提言しており、今後現行原子力規制法体系のもとでの規格基準等の整備については早めの整備が期待される。今後はさらにリスク情報を活用した合理的な安全規制体系の構築と、その下での規格基準の整備のあり方についての検討も期待したい。

44 (補足説明資料 5) 安全規制に関する考察 を参照

45平成 19 年 10 月原子力安全・保安部会 原子力安全基盤小委員会報告～原子力の安全基盤の強化について～、平成 22 年 3 月同基盤小委員会 安全基盤研究ワーキンググループ報告～原子力の安全基盤研究の効果的な実施について～を参照

VII 人材の育成と活用

人材育成を考えた場合、核燃料サイクル事業、特に再処理事業においては、それが、数十年に一度という、一般産業界では想像もできないほどの建設頻度の低さが足かせとなる。技術は人と一体の部分があり、データベースを如何に詳細化しても、人材と共に引き継がれる部分が残る。ウラン濃縮技術のように、不断の技術革新と比較的短い装置寿命の設備を扱う場合には、核燃料サイクル分野といえども、一定規模の需要が継続する限り、人材の育成もまた比較的容易であるが、一人の技術者がその技術者人生の間に一回しか建設機会が無い産業である場合は人材の育成自体が非常に困難な事業となる。このことは、プラント供給者のみならず、公的研究開発機関さらには事業者や規制行政機関でも同様であり、それぞれ、人材の育成方法に工夫を必要とする。

かつて動燃から技術移転した際は、いずれの技術も動燃自体の施設建設が継続していたか、またはその経験者が残っていたことから、プラント供給者としても有る程度人材の活用が図れたし、事業主体の人材育成についても、動燃の施設を活用することで比較的容易であった。さて、これを次のプラント、所謂、第二再処理工場に当てはめるとどうなるか？事業主体の運転要員養成は稼働中の施設を活用することで比較的容易であろうが、プラント供給者の技術者については、同工場の計画が具体化することは、現工場で経験を積んだ技術者たちは、定年や配置転換により既に散逸し、組織内での技術の継承すら困難になっていることが予想される。また、研究開発機関の要員についても、数十年先の技術開発という観点で要員を維持することは不可能であることから、何らかの工夫が必要となる。この点、規制行政の要員については、むしろ、手続きが体系化されているであろうし、あまり問題ないかもしれないが、より合理的な規制行政を目指すとの観点からは、やはり一つの課題となるのではないかと考える。

本報告書においては、以上のような考察をベースに、核燃料サイクル事業を支えるあらゆる分野の人材の確保育成について、考察する。

1. 人材の計画的・継続的な育成

原子力開発のように、長期間にわたる取り組みにおいて開発された技術を商業化段階まで着実に継承していくためには、高度なガバナンス能力を有する人材を始めとして多様かつ多数の人材が必要である。そこで、産業界や公的研究開発機関で技術開発に直接携わる研究者・技術者のみならず規制当局の人材も含めて計画的に養成し、所用の規模の人数を確保・維持していくことが極めて重要であり、このことが最終的な性能保証の成否を握っていると言っても過言ではない。

このため国家プロジェクトの目標に人材養成を明示的に位置付けた上で、節目の段階における評価の対象とすることにより、確実に達成していく必要がある。特に中核的役割を担う公的研究開発機関については、国際協力も視野に入れつつ、法律上のミッションに人材育成に係る役割を明示する必要がある⁴⁶。この他、人材の活用並びに技術の伝承という観点からプロジェクトの進展に応じ、公的研究開発機関と企業との間の双方向的な人材移行を円滑に行えるような仕組みの構築も重要と考える。

人材育成には立場により多様な意見が有るが、一般論としては以下のようなことが考えられる。

例えば学校教育的な部分については、小学校から大学／大学院に至る既存の体系の中で原子力に関する教育を⁴⁷明確に位置付け、これに公的研究開発機関も協力する、という形が最も自然であるし、効率的ではないかと考える。もちろん、職業人の再教育の場として、公的研究開発機関の人材育成プログラムを活用することも有益と考えるが、職業人の時間的制約を考慮すると、あくまでも補完的な位置づけとすべきであろう。

一方で、昨今の原子力関係の専門教育（大学、大学院）の現状を見ると、かつては幾つかの大学で運営していた教育訓練用原子炉の相次ぐ閉鎖、放射性物質の管理に係わる諸問題といった、原子力専門教育環境の劣化が顕著であり、これを補完する機能が公的研究開発機関に求められるようになってきている。公的研究開発機関においては、これに対処するために関係大学との連携教育に取り組んでいるところであるが、公的研究開発機関及び大学の双方の人材や予算のひっ迫という問題も有ることから、これらの課題も改善していく必要がある。

この他、職業人の教育訓練としてのOJTに相当する部分は、いわゆるインターシブ的な学生の教育・訓練から始まり、各社の業務を通じた経験の蓄積、更には公的研究開発機関における研究開発活動に参加することを通じた技術者としての資質の向上、といった段階が想定される。

2. 長期的人材活用プログラムの推進

2. 1 TRP における人材活用過程

TRP に例を取って人材活用プログラムを論じてみよう。TRP は研究開発機関 JAEA に所属する施設として、再処理施設の設計・建設・試運転・操業を通し工学的にその実証性を示してきた。無論この間経験した、多くのトラブルも克服しつつ SF 約 1140tU を処理し、2006 年電力との役務処理運転を終了し、

⁴⁶ 日本以外の核燃料サイクル保有国においては、軍が人材供給源になっているが、我が国においては公的研究開発機関がこれに代わる機能を果たさざるを得ないのではないかと

⁴⁷ 高校までは理科教育の一部として原子力を扱い、また大学においては一般教養的扱いあるいは専門教育の中の原子力を概論的に扱う等、原子力を専攻しない学生に対する原子力教育の充実が求められる

現在ホット試験中の大型商用再処理施設 RRP にその任を委ねた。

(1) JV への人材派遣による OJT

TRP は組織構成として特徴的であったのは、再処理工場の建設に当たって臨時再処理建設所を構成し実務にあたり、TRP が完成域に入り通水作動試験 (BT) 開始時点から再処理工場組織を立上げ、建設工事の一環として従業員の内、将来の再処理工場要員として大量に採用した新入職員等を中心に BT を担う建設を請け負った JV:SGN-JGC 社に派遣し試運転に参加させていった事である。これにより、派遣された職員は技術導入元の仏 SGN 社のエンジニアとコミュニケーションに苦勞しつつ BT に参加し、機器や配管の施工状況を EFD (Engineering Flow Diagram) 等の施工図と対比しつつ直接確認できたことである。多くの主要機器・配管はセル内に設置されているため、ホット試験以降はセル閉口され人が立入れないため貴重な体験となった。所謂 OJT:On the Job Training) が有効であった。

(2) 管理組織と運転部門との責任区分

ホット試験以降、組織は工場のライン業務を担当する管理組織と、運転部門を担当する運転組織と分け責任を区分した。したがって、工場の当直運転体制時のトラブル処理は運転部門がまた監督官庁等への対応は管理部門が担当し、役割分担を明確にした現場重視の姿勢が明らかだった。運転組織に配属された職員は、BT 試験等に当たる運転員と試験計画を立案する技術員で構成され、SGN 技師に直接指導を受けながら、これらの者がホット試験以降の中核として自らの手で運転計画を立てる中心要員に育っていった。

TRP の運転・保守当直組織は、当直長 (SGL:Senior Group Leader), 運転主任者 (GL:Group Leader), 直長 (SL:Shift Leader) 等から構成され、夫々経験年数から上/中/下級運転員として資格認定されることとなる。また、技術員は担当部門の運転管理計画の立案と技術評価等の任務に当たり、運転報告書の作成にもタッチし日勤直勤務である。当直長迄に到達するには約 10 年の運転経験を要する。また分析業務に関しても同様な組織体系となるが、日進月歩する分析技術を習得し、しかも計量分析等高精度を要求される分析手法の習得には充分時間を掛ける必要があり、セルライン等を通し、放射性物質の直接・間接触れることとなり、被ばく管理、汚染管理、臨界管理、計量管理等安全管理手法もあわせ習得する必要があり、極めて重要な役割と判断する。

(3) TRP-RRP 間の業務支援協定による人材派遣

TRP-RRP 間には業務支援協定があり、RRP へは TRP から技術員、SGL, GL, SL 等を派遣し運転支援を行うとともに RRP から TRP には運転員が派遣され、各種現場で OJT により再処理の現場技術の習得訓練の機会を提供している。ここで重要なのは再処理施設は建設から運転まで結局 40 年サイクルの希少施設

であるということで、結果として、人材の育成、技術の伝承、施設の有効活用が極めて重要な選択となる。

2. 2 研究開発終結後の人材活用への対応

(1) 既存アクティブ施設の利用と人的資源の投与

研究開発機関としての JAEA は限られた人材を有効に活用する義務がある。特に、核燃料サイクル施設は特殊な分野でアクティブフィールドを擁した施設群を使用して行う必要がある。再処理分野では TRP-RRP の LWR 再処理技術で確認された技術上の課題は発生する低レベル廃棄物の減容技術の開発、高燃焼度 MOX 燃料再処理技術の検証、FBR 燃料の再処理技術の検証等があり、この分野に人的資源集中し取組まなければならない。

(2) 合理的規制の現場実証

さらに、JAEA の研究開発成果を事業化に繋げるときに重要な因子は、合理的な規制の役割の明示である。TRP を例にとると、法令に定める性能の確認のため定期検査が実施される。この検査も、各種警報計器の作動確認等模擬信号による機能検査などの運転停止中の検査と各種機器の処理能力、放出放射エネルギーの確認、遮蔽能力等運転中の検査とに分かれ、年間 2 回の運転キャンペーンの間に行われる。無論自主検査等により、その機能確認は事前に行われているが、主要な検査は国の立会いの元で実施される。TRP はこれらの検査のあり方に関し、国との協議により、検査項目の合理的進め方を論議してきている。

(3) 品質保証と経年変化施設への管理体制

さらに、再処理保安を定める保安規定には最近品質保証規定や高経年化対応を定めることとされており、トラブル発生時の根本原因分析を明らかにし、類主事象の対応の水平展開に供するとともに、設備保安に対し、状態保全システム等を整理し、再処理施設としての機能保全を長期的に監視する仕組みを用意することが求められている。そのために ISI 機器等を付設し、長期的に主要機器の経年変化状況を把握し、機能を解析・評価し、定期的な予防保全対応への有力な対策とする必要がある。RRP では、酸回収蒸発缶等に UT (超音波探傷装置) 等を取り付け材料の耐食性をオンライン監視しデータの蓄積を図っている。

これら予防保全技術開発は再処理工場の健全な展開と合理的検査に極めて有効である。

(4) 安全管理に対する最近の知見の反映

さらに、再処理安全指針に示される様に最新の知見に沿って、トラブル事象の解明が必要であり、特に異常な過渡変化(AT), AT を超える事象 (BAT) 等の設計基準事象を定期的に整備し、FEMA/HAZOP 等の安全解析手法により、定

期的に施設安全が確保されているかの把握に努めなければならない。これら予防保全技術や安全解析技術により得られた成果は第 2 再処理や次世代 FBR 再処理施設に反映されるべきものとする。

(5) 連携大学院制度による人材育成展開

最後に、研究開発機関として JAEA は連携大学院制度を保有し、専門分野に応じて、研究フィールドを提供している。特に、核燃料サイクル分野は世界的にもホットのフィールドは限られ、東海一大洗地区にはモックアップ施設等も含め施設へのアクセスが可能である。一方原子力システム工学を研究しようとする大学院生はそのテーマ研究を進める実証フィールドが極めて限られる。このような状況を双方向的に解決し、原子力に携わる人材を早期に育成する手段としてこの制度を有効に活用することが望ましい。

施設対象としては、大洗工学センターの常陽、燃材施設、東海核燃料サイクル研究所では、Pu 燃料加工センター、再処理センター、ホット及びコールド工学試験施設等が存在する。これらの施設を有機的に共用しテーマ研究を目的とした機能を提供、これまで得られた知見の共有も図ることが有効と考える。

又、RRP のような自らの工場には小型試験装置を保有していなくて、大型商用再処理施設としてのプロセス変動条件に対応した、システム変更を検討しようにもその実証フィールドが無い。そこで TRP や燃料サイクル関連のコールド/ホット試験施設を技術継承のフィールドとし、プラント工学研究の実証の場として双務的に有効活用することも、希少施設の再処理・Pu 燃料加工部門では極めて有効でスケールアップファクターを指標に検証することも重要と考える。

3. 安全規制行政を担う人材の計画的育成

合理的な安全規制を目指す上で重要と考えられるのは、安全規制行政を担う職員（上級管理職を含む）の力量である。これまで職員の多くは 2~3 年間隔で人事異動を繰り返すのが常であった。これは補助金等のお金を扱う部門や許認可を行う部門に所属する職員に関しては、長期間同じポストにいたのでは腐敗や権力の肥大化を招きやすいとの懸念からとられてきた措置と考えられている。

しかし、この制度には、経験の範囲は広いが専門知識の浅い職員を生み出し、短期間で成果が上がる課題への取り組みを優先しやすくなる一方で、長期間を要する課題処理には複数の責任者が介在することにより、組織としての責任を取ることは当然ではあるものの、個人としての責任の所在が曖昧になりやすいなどの弊害も出てくる可能性がある。

3. 1 安全規制担当職員には長めの人事サイクル適用を

安全規制を担う職員の力量と就任できる職務の関係については、人事に係ることでもあるが、力量不足が直接もしくは間接原因となって、適切かつタイムリーな安全規制を遅らせ、その結果事業者の原子力施設建設運転計画のみならず、安全規制の対象となるプラントの性能保証に大きな影響を及ぼす可能性が考えられる。行政職員が短期間で異動しても技術的専門性が維持できるように、技術支援機関として独立行政法人原子力安全基盤機構が設立されているが、最終的な行政措置の実務者である行政職員は、これまでとそれほど大きく変わらず比較的短期間で異動しているように見受けられる状況は、やや気になるところではある。

長めの人事サイクルを通じて計画的に人材育成を行うことにより、行政職員が高い技術的専門性を持つようになれば、事業者等に対してもこれに対応してより一層高い技術的専門性が求められようになり、高い水準の科学的合理的、効率的な安全規制の実現が期待される。なお、行政職員の中には多くの知識経験、資格、責任を求められことに対する処遇とのバランスが課題との指摘もある。今後安全規制を担う人材の計画的育成が望まれるとともに、力量向上に対してはインセンティブを与えるような適切な処遇制度ができることが望まれる。

3. 2 力量に係る品質の確保を（資格制度の導入等）

我が国では、産業界、学会、行政の各分野にはそれぞれに最高知見を持つ識者がいるが、これら識者の知識経験をニーズに合わせて適切に運用していく統合的管理者、いわゆるシステムインテグレーターが不足していると言われる。原子力の安全規制分野でも同様の状況にあると考えられる。

我が国の安全規制行政では、申請書類、記述内容、審査方法、判断基準等については、米国 NRC のように規制行政の実務の詳細を標準文書化したスタンダードレビュープラン⁴⁸が無いために、審査の行方を左右する行政職員個人の力量の影響は大きい。今後スタンダードレビュープランの整備を通じて、行政職員の力量の向上、安定化を図り、安定した品質の安全規制行政が確保される仕組みの構築が必要と考えられる。

日本の安全規制行政では、行政職員の力量を向上するために、教育カリキュラムに沿った、OJT 中心の教育が相当行われている。しかし、試験や実技訓練などを通じて一定の力量を有していることを証明する資格制度や、当該資格保有者がどのような任務に就任できるかの明確な制度は未だ確立していないようである。事業者を選任が義務付けられている原子炉主任技術者、核燃料取扱主任者、放射線取扱主任者などについては、一定以上の学識経験を有しているこ

⁴⁸ NRC Standard Review Plan : NUREG0800 他を参照。

とを確認するために国家試験等があることを考慮すれば、行政職員に対しても必要に応じて試験等を伴う一定の資格制度の導入が望まれる。人材育成には長期間を要すると思われるが、資格制度と処遇制度がうまくかみ合えば、行政職員の任務遂行に対する意欲を向上させ、力量に自信を深めさせるとともに、規制当局が国民から信頼向上の確保に貢献するものと思われる。

資格制度を通じて、行政職員が原子力施設及びシステム全体に対する統合的な専門知識、経験を持つようになれば、よりバランスのとれた安全規制行政への進化が期待できよう。構造強度や材料に特化した安全審査が行われれば、その後の検査においてもハードの検査に重点が置かれ、行政職員の教育もまたハード中心になろう。各種検査制度が一見重複しているように見える一方で、原子炉等規制法及び電気事業法に基づく安全規制が複雑に入り組んでいる行政上の諸課題の一部は、法律の立案実務者及び技術系職員の、原子力施設及びシステムに関する統合的な専門知識、経験の不足から由来していることではないかとも推察される。

今後世界的な原子力発電所建設推進時代の到来が期待されている。このような状況の中で、行政職員の力量向上により、安全規制の分野でも世界と競争できるように、我が国の安全規制の国際化が進むことを大いに期待するとともに、併せて世界で活躍できる行政職員の輩出を大いに期待したい。

VIII まとめ（今後の検討方針等）

当研究専門委員会を昨年 10 月に立ち上げ、一年余が経過したことから、これまでの議論を振り返り、本中間報告書を取りまとめた。以下に、これまでの議論に基づいてまとまってきた提言事項と今後の検討課題について記し、今後の議論のたたき台とする。

1. 本報告書における提言事項

(1) 中枢的政策立案機能及びガバナンス機能

これまでの核燃料サイクル技術開発における反省として、中枢的政策立案機能が不十分であったことが挙げられる。今後も国策民営化路線を有効に堅持するためには、この中枢的政策立案機能の充実強化と、ガバナンス機能への有効な参画が必須要件。

(2) 公的研究開発機関が行う研究開発

○国の過大な負担を防止しつつ、核燃料サイクルの国策民営路線をより効果的に継続するための主な具体的提言：

- 国による核燃料サイクル分野の基礎基盤研究への資源の投入
- 公的研究開発機関の持続可能な経営基盤の強化

(3) 技術移転及び商業化メカニズム

○自国産エネルギー実現の要となる濃縮や再処理などの核燃料サイクルの研究開発／商業化において、公的研究開発機関、プラント供給者を始めとする全てのステークホルダーが性能保証の観点から有機的に連携することが必要。

○国策民営化路線におけるポイントは、公的研究開発機関とプラント供給者及び事業者との「協働」による、スムーズで効果的な技術移転／技術継承の実現。

○民間による投資インセンティブを維持するための施策

○民間による国家プロジェクトへの参画を通じたプラントエンジニアリング能力の醸成等

(4) 安全規制

○研究開発の初期段階から規制研究を行い研究開発の進展に応じて柔軟な規制を目指すとともに、安全規制力量に係る品質の確保（資格制度の導入等）を図り、原子力ビジネスの国際化に対応して、規制制度も人材も国際競争力を持つことが必要である。

(5) 人材の育成及び活用

○人材育成の原点は学校教育。その体系内に原子力教育を明確に位置付け、

これに公的研究開発機関も協力することが有効。それ故、公的研究開発機関及び大学の人材や予算のひっ迫への対応（例えば、建設頻度が限られる大型施設の建設・運転要員の育成においては、既存施設のフィールドとしての維持・活用や関連施設の新増設の機会を捉える等）が必要。

2. 今後の検討課題

(1) 中枢的政策立案機能及びガバナンス機能

○中枢的政策立案機能及びガバナンス機能強化のための組織設計（国家行政組織法上の位置付けを含む）。

○中枢的政策立案機能充実へ向けた具体的な道筋の検討。

(2) 公的研究開発機関が行う研究開発

○多年度にわたる国家予算の措置を可能とする制度をはじめとする、個々の状況に適した多様な事業運営方式の制度設計。

(3) 技術移転及び商業化メカニズム

○公的研究開発機関とプラント供給者及び事業者による「協働」の充実へ向けた具体的道筋の検討。

(4) 安全規制

○国際的に整合性のとれた規制に近づけるための具体的作業内容（それぞれの役割分担、実施すべき項目等）の検討。

(5) 人材の育成及び活用

○日本型性能保証システムの実現のために必要な、人材育成・活用システムの具体的イメージ（それぞれの役割分担、実施すべき項目等）と実現に向けた道筋の検討。

以上の各事項を包括し、環境ビジネス的な側面も有する、我が国原子力産業の海外への展開に資するような「日本型性能保証システム」の具体的イメージ（望ましい推進体制、それぞれの役割分担、海外展開推進上特に重要な事項等）の展開と実現に向けた道筋の検討を行っていく。

以上

(補足資料 1)

ライフサイクル全体を通しての経済性

これまで経済性は、プラント建設費が主な観点であった。しかしプラント全体のライフサイクルで考えると、建設費、運転費、補修費、解体・廃棄物処理費がかかる。これらは、プラントが製品を作る上での費用である。プラントのライフサイクルを通して、製品量（たとえばk g単位）がわかれば、k gあたりの建設費、運転費、補修費、解体・廃棄物処理費として、お互いに比較することができる。

一方、製品量は時間あたりの生産量（k g／時間）に年間時間に稼働率を乗じることで、年間の生産量が求まる。生産量が多ければ、前述のk gあたりの建設費、運転費、補修費、解体・廃棄物処理費は相対的に低くなり、経済性は向上する。

稼働するまでの建設期間および許認可期間があり、製造者は建設期間短縮のため工場、現地で創意工夫を精力的に実施する。しかし、許認可は相当時間がかかっている。この分析を行い、我が国として科学合理的に時間短縮を図ることが望ましい。

営業運転に入ってから、実施者が自らその後の稼働率を高めるように、実施するプラント補修の他に、公的機関による検査がある。これまでの検査にも相当の時間がかかっている。この分析も行い、我が国としての改善を図る必要がある。

一方、機械には不具合はつきものである。その不具合が周辺への放射線放出などのリスクに関わらない限り、科学合理的に対処すべきである。トラブルへの実施者の説明責任、トラブルへの製造者、研究機関の支援体制、監督官庁の本質的な対応、地元との良好なコミュニケーションなど現在の状態から改善すべき点は多い。

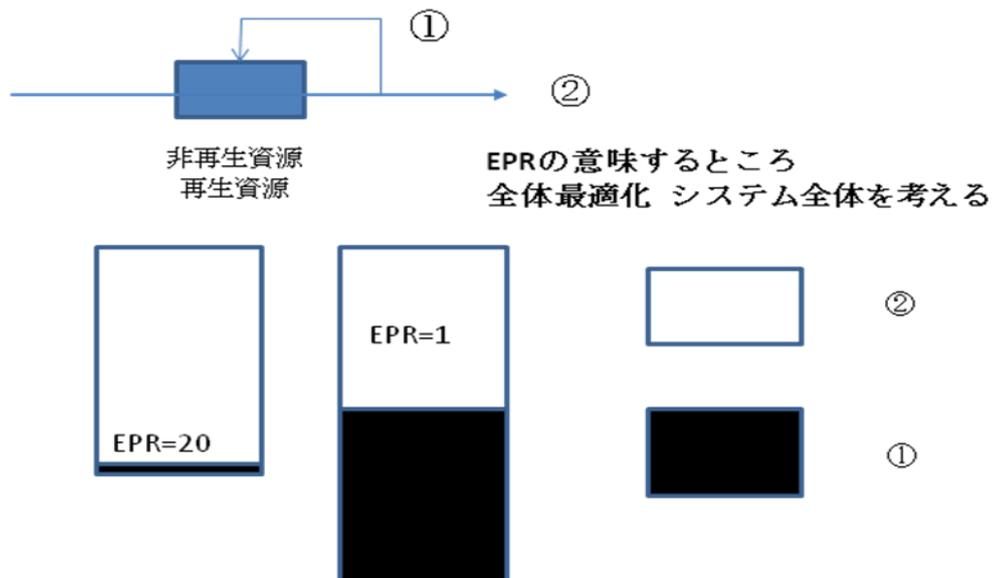
エネルギー収支分析は、1960年代に提案された分析手法で、LCA分析であり、エネルギーとして分析する方法と、二酸化炭素排出量で分析する方法がある（次表参照）

表 補足1 エネルギー収支分析とは

- ライフサイクル全体を考える
LCA (Life Cycle Assessment)分析の一つである
LCA in CO₂ (二酸化炭素排出量) ,
LCA in ENERGY (エネルギー収支分析)
- エネルギー収支分析
 - ① 比をとるEPR (Energy Profit Ratio) 出力/入力
 - ② 差をとる正味分の分析 Net = 出力 - 入力
 - ③ Net EPR = Net / 入力

エネルギー収支分析の一つエネルギー収支比は、比で表すことで入力エネルギーに対して、出力エネルギーがどの程度取れるかなどが視覚的に理解できるためにわかりやすい。 下図に概要を示す。

$$\text{エネルギー収支比 (EPR)} = \frac{\text{社会に生み出されるエネルギー (②)}}{\text{その活動に投入するエネルギー (総和) (①)}}$$



図補足1 EPRの意義

(補足資料2)

国の研究機関における成果の普及

動力炉・核燃料開発事業団（動燃）の設立目的は、動燃法第1条によれば、

(設立の目的)

第一条 動力炉・核燃料開発事業団は、原子力基本法（昭和三十年法律第百八十六号）に基づき、平和の目的に限り、高速増殖炉及び新型転換炉に関する自主的な開発、核燃料物質の生産、再処理及び保有並びに核原料物質の探鉱、採鉱及び選鉱を計画的かつ効率的に行ない、原子力の開発及び利用の促進に寄与することを目的として設立されるものとする。

というもので、業務の範囲は、

(業務の範囲)

第二十三条 事業団は、第一条の目的を達成するため、次の業務を行なう。

- 一 高速増殖炉及び新型転換炉に関する開発（実用炉に係るものを除く。）及びこれに必要な研究を行なうこと。
 - 二 前号に掲げる業務に関する核燃料物質の開発及びこれに必要な研究を行なうこと。
 - 三 核燃料物質の再処理を行なうこと。
 - 四 核燃料物質の生産及び保有を行なうこと。
 - 五 核原料物質の探鉱、採鉱及び選鉱を行なうこと。
 - 六 核燃料物質及び核原料物質の輸入及び輸出並びに買取り、売渡し及び貸付けを行なうこと。
 - 七 前各号の業務に附帯する業務を行なうこと。
 - 八 前各号に掲げるもののほか、第一条の目的を達成するため必要な業務を行なうこと。
- 2 事業団は、次の場合には、内閣総理大臣の認可を受けなければならない
- 一 海外の地域において前項第五号の業務を行なおうとするとき。
 - 二 前項第八号に掲げる業務を行なおうとするとき。

と定められていた。

第一項第三号及び第四号は、第一条の「・・・核燃料物質の生産、再処理及び保有・・・を計画的かつ効率的に行ない、原子力の開発及び利用の促進に寄与する・・・」という部分をブレークダウンしたものとなっている。旧原子燃料公社のミッションを、ほぼそのまま引き継いだ⁴⁹ため、こういう表現になって

⁴⁹ 旧原子燃料公社の設立目的は、「核原料物質の開発及び核燃料物質の生産並びにこれらの物質の管理を総合的かつ効率的に行い、原子力の開発及び利用の促進に寄与すること」と規定。再処理については、公社法では業務の範囲として特記されていなかったが、公社設立の翌年、昭和32年6月10日公布の核原料物質、核燃料物資及び原子炉の規制に関する法律で、再処理を原子燃料公社に集中して行わせることが規

いたということである。FBRやATRについての「自主的な開発」という研究開発ミッションとは趣を異にしていた。そして、動燃設立当時、ウラン濃縮の基礎研究は理化学研究所で行われており、また再処理の基礎研究（溶媒抽出法に関する工学的試験研究）は日本原子力研究所のミッションであった。

軽水炉使用済燃料再処理のための東海再処理施設は、動燃法の再処理業務のための施設である。このための施設建設費は、大半は民間借入金で賄い、借入金は操業収入で返済するという事業であり、利益を上げる必要はないが、採算性は求められる事業であった。一方、高速増殖炉使用済燃料の再処理技術の開発は、原研と動燃が協力し、実施することが期待されており（昭和43年核燃料懇談会報告）、動燃法上はFBRの開発に関連する研究開発業務（第二十三条第一項第二号）と見なされた。

従って、我が国として民間再処理事業の立ち上げが決まり、その結果生じた技術移転・技術協力業務は、第二十三条第八号の、いわゆる「目的達成業務」と位置付けられた。

歴史的には、動燃の再処理に関する技術協力は、昭和57年策定の原子力長計に基づき、原燃サービス（昭和55年3月1日設立）からの要請を受けて行われることとなったということ。しかも技術協力業務は、当事者間で決めれば進むというものではなく、事業団法上の「目的達成業務」として昭和60年1月31日に国から認可され、初めて法的に位置付けられ、実施可能になったものである（動燃法第二十三条第二項の規定により内閣総理大臣の認可が必要であったため。）。既に再処理事業民営化のための原子炉等規制法改正から5年半を経過していた。

この動燃法の枠組みに比べ、動燃の後継のサイクル機構（平成10年10月～）及び現在の原子力機構（平成17年10月～）では、自らの業務である研究開発の成果普及業務は、本来業務となっている。

「成果の普及」は、「動燃法」を「核燃料サイクル開発機構法」に改正するに際して、初めて登場する。即ち「核燃料サイクル開発機構法」の目的には、成果の普及が明記され、業務規定も「動燃法」に比べ、時代に合った、より整理されたものになった（本補足資料の最後に採録）。再処理技術の研究開発も、この時点で初めて明示的に規定された。同時にウラン濃縮技術の開発業務は、整理縮小事業とされ、所定の期間経過後に廃止することとされた。この変化は、動燃設立後数十年経過して、「動燃法」の業務範囲の定め方が、社会の要請に必ずしも合致しなくなっていたことを暗に示しているものと考えられる。実際のところ、昭和50年代に入って、「民間事業主体」は誰なのか、どのようなプ

定されたことを踏まえ、動燃法には「核燃料物質の再処理を行なうこと」と明記された。しかし、昭和43年の核燃料懇談会報告には、「第2工場も湿式法によって民間企業が建設することが予想される」との記載が既にある。

プロセスで民間に事業主体が形成されるのかといった議論と併せ、技術移転業務とは何か、経費、人員はどこから出すのかといった内部議論が行われていたことが思い出される。かつて技術協力・技術移転を、ミッションとして明確にする必要のなかった時代から、その必要の生じた時代への変化があり、この変化に伴い様々な課題を生じたと見ることができる。

関係機関の役割分担という観点では、新型動力炉の開発については、大まかな認識として原型炉までは国が主体、実証炉以降は民間が主体という役割認識が、関係者間にあったと言えよう（動燃法の業務の範囲で、『（実用炉に係るものを除く。）』と規定）。ただ、核燃料サイクルに関しては、動燃の業務に除外部分があるわけではなかった。ウラン濃縮については、昭和 53 年策定の原子力長計では、パイロットプラントの建設・運転を進め、国産技術の確立を図るという方針であったが、その後、濃縮プラントの信頼性・経済性の向上を図るとの観点から、商業プラントに先立って原型プラント（DP: Demonstration Plant）を建設することとなり、民間借入金も得てこれを動燃で建設・運転、原型プラントの設計書を民間事業主体に移転するといった経過となった。

再処理の場合は、当初は経済的最小規模⁵⁰のプラント、将来は大型プラントの建設が必要との認識の下、最初のプラントとして東海再処理施設の建設を計画⁵¹、その後東海施設の役割は、「運転を通じ、我が国における再処理技術の確立を図るとともに、再処理需要の一部を賄う」とされた（昭和 53 年原子力長期計画）。さらに、増大の見込まれる再処理需要に対処するため、建設・運転は、電気事業者を中心とする民間が行う本格的な商業施設として、いわゆる第二再処理工場の建設・運転を民間が行うものとされ（昭和 53 年原子力長期計画）、昭和 54 年 6 月に再処理事業民営化のための原子炉等規制法改正、昭和 55 年 3 月には、電力業界を中心に民間再処理会社として日本原燃サービス（株）が設立されるに至った。この、事業主体の国から民間への変更は、昭和 30 年代から 40 年代前半には想定されていなかった変更であり、ここに、先に述べた国から民間への技術移転が必要になった、もしくは、その必要が生じたのである。

当時の昭和 57 年原子力長期計画では、「動力炉・核燃料開発事業団は、蓄積された再処理技術に関する経験が同工場の設計、建設及び運転に有効に利用できるよう円滑な技術移転を図るとともに、技術開発面における協力を行って

⁵⁰ この「経済的最小規模」という考え方は、核燃料開発に対する考え方（昭和 33 年 12 月 24 日原子力委員会）に以下の指針が示されたことによる。

「使用済燃料再処理の事業は原子炉等規制法の定めるところにより原子燃料公社が担当することになるが、その事業を開始する時期は再処理の経済的最小規模とわが国で再処理を要する燃料の量との関連において決定することが必要であり、その時期に備えてすみやかに再処理技術の研究を促進し、さしあたり国産 1 号炉の使用済燃料を用い再処理を研究するための試験設備の設置を考慮するものとする。」

⁵¹ そもそも我が国の再処理施設の建設は、「再処理技術の確立および技術者の養成訓練を目的として、再処理パイロットプラントを原子燃料公社に設置する」という方針でスタート。昭和 40 年代前半の完成を目標として原子燃料公社に再処理パイロットプラントを建設し、再処理の工業化試験を実施する計画であり、さらに「なお、将来再処理事業は原子燃料公社に行なわせる」とされていた。（昭和 36 年原子力長期計画）

くものとする。」とされ、こうした方針を踏まえ、動燃事業団と日本原燃サービス(株)との間で、昭和57年6月「再処理施設の建設・運転等に関する技術協力基本協定」が締結された。ただし、昭和57年原子力長計では、「民間に技術を移転する場合の対価に対する考え方、さらに、技術開発の受託、技術・施設を含めた出資等の必要性に関し、関係者による検討が早急に行われ、その結果を踏まえて実用化への移行が円滑に進められるよう措置されるべきである。」との宿題が残り、これを踏まえ昭和60年2月に、更に技術移転の円滑化に資するよう技術協力実施協定が締結された。

民間事業主体が、自らの事業に必要な技術としていかなる技術を採用するかは、重要な経営判断のひとつである。当時の関係者の認識は、「国内外の優秀な技術に係る十分な検討の成果を同工場の設計・建設・運転に反映するよう努力すべき」（昭和59年7月2日、総合エネルギー調査会原子力部会報告書）というもので、原燃サービスは、「最良の技術によって設計・建設する」との旗印のもとに、内外の技術を調査、フランスその他の技術の採用を決定した。同社は、昭和62年2月に基本設計に着手し、昭和62年4月にはフランスのSGN社と再処理工場の主工程の技術を導入するための技術移転契約を締結、昭和62年6月には、英国のBNFLから減圧蒸発技術を、また西独のKEWA社からオフガス中のヨウ素除去技術を導入するための技術移転契約を締結した。

さて、以上の経緯を踏まえ、技術移転にいかなる課題があり、教訓があるのかを分析できれば、「成果の普及とは何か、どのように行うのか、どう評価するのか、・・・」に関し、将来に向けた前向きな議論が行えるようになる。成果の普及に関し、原子力機構法には「成果を普及し、及びその活用を促進すること。」とまで書かれている。

成果の普及の具体的方法は、中期目標に基づき、最も適切と思われる方法を原子力機構が自ら定めれば良く、その方法に従って自ら成果普及業務を実施することができるであろう。ただし、成果普及業務には、必ず普及対象の者（受益者、国内法人、海外法人、その他）が存在するので、考慮されるべき最大の問題は、誰がその経費等必要な資源を提供しあるいは負担するのかという点であろう。直接の利害関係者間の調整が必要となる所以。さらに、その成果普及が、政策的に国益に資するといった場合、国の補助事業とするかどうかといった考慮も必要となろう。

従って、成果普及の方法に一般的処方箋はなく、個々のケースバイケースで利害調整を行い、方策を定め、具体化していくということが必要ではないかと思う。単純に特許等知的財産の処分といった問題から、そもそも民間事業主体あるいは民間プレーヤーの育成から計画する必要があるものまで、様々であり得る。利害関係が広く複雑な場合、機構のみの判断で成果普及の方法を定めることは出来ない場合も生じよう。

原子力機構法にある「・・・開発を総合的、計画的かつ効率的に行う・・・」という件については、「総合的」という語がそれだけではなく、新たに入ったものだが、どうして「総合的」を加える議論になったか、記録はない。「総合的」に関する一層具体的なクライテリアはまだないと言っているのではないか。

実用化し、商業化することを最終目標とする技術開発であれば、当然、経済性や安全性、環境適合性などが成果の備えるべき要件目標になるから、開発目標の議論をするのであれば、経済性は重要な要件となる。機構法では、研究開発機関設置の目的として、開発対象は示しているが、開発目標まで規定している訳ではなく、むしろ示した対象の開発をどのように行うべきかを規定していると解釈すれば良いように思う。経済性のみならず、その他の開発要件も、「中期目標」以下のレベルで示されれば良いということであろう。ただ、技術移転を前提とする大型の開発であれば、その利害関係者が、研究開発計画の策定当初から、実施、評価等のプロセスも含め、「責任のある」関与を行っていくことは、最低限必要な条件ではないか。

~~~~~  
参考：核燃料サイクル開発機構法より抜粋

(設立の目的)

第一条 核燃料サイクル開発機構は、原子力基本法（昭和三十年法律第百八十六号）に基づき、平和の目的に限り、高速増殖炉及びこれに必要な核燃料物質の開発並びに核燃料物質の再処理並びに高レベル放射性廃棄物の処理及び処分に関する技術の開発を計画的かつ効率的に行うとともに、これらの成果の普及等を行い、もって原子力の開発及び利用の促進に寄与することを目的として設立されるものとする。

(業務の範囲)

第二十四条 機構は、第一条の目的を達成するため、次の業務を行う。

- 一 核燃料サイクル(原子炉に燃料として使用した核燃料物質を再度原子炉に燃料として使用することにより核燃料物質を有効に利用するために必要な一連の行為の体系をいう。)を技術的に確立するために必要な業務で次に掲げるものを行うこと。
- イ 高速増殖炉の開発(実証炉を建設することにより行うものを除く。)及びこれに必要な研究
- ロ イに掲げる業務に必要な核燃料物質の開発及びこれに必要な研究
- ハ 核燃料物質の再処理に関する技術の開発及びこれに必要な研究
- ニ ハに掲げる業務に伴い発生する高レベル放射性廃棄物の処理及び処分に関する技術の開発及びこれに必要な研究

- 二 前号に掲げる業務に係る成果について、技術の提供その他の方法により、普及を行うこと。
  - 三 前二号の業務に附帯する業務を行うこと。
- 前三号に掲げるもののほか、第一条の目的を達成するため必要な業務を行うこと。
- 2 機構は、前項第四号に掲げる業務を行おうとするときは、主務大臣の認可を受けなければならない。
  - 3 機構は、第一項の規定により行う業務を妨げない範囲内において、主務大臣の認可を受けて定める基準に従って、その設置する施設及び設備を原子力の開発及びこれに関連する業務を行う者の利用に供することができる。

### (補足資料 3)

基礎基盤技術を維持・拡張する機能及び資源；東海再処理工場の事例

#### 1 東海再処理工場 (TRP) の生い立ちと位置づけ

TRP は軽水炉燃料再処理のパイロットプラント的工場として仏国からの導入技術でスタートした。パイロットプラント的と称したのは、昭和 30 年代、原子力委員会として、当時の先進的な再処理工場は約 1t U/d(日)の処理規模であれば、経済性が確保できるとの判断があったことによる。この再処理技術の導入にあたっては、海外調査団による再処理にかかるアクティビティ調査等を経て、欧米の進んだ技術が取り入れるという判断が背景にあったと思われる(原子力委員会月報第 6 巻第 11 号)。

TRP を運転する事業者として当時の原子燃料公社に課された使命は、「核燃料開発に対する考え方」として昭和 36 年長計の「工業化試験」がベースとなり、個々の要素技術の実証という位置づけではなく、メインプロセスである機械設備・化学設備に加えて、それに付随する計測制御技術や分析技術、計量管理<sup>註</sup>技術などといったプラント全体にわたってのいわゆる「工学規模再処理実証」が目的であった。(註：当初設計では計量管理と呼称、現時点で言えば保証措置)

#### 2 基礎基盤技術確立に向けた取り組み (トラブルに根ざした技術)

##### (1) 軽水炉再処理の黎明期に由来するトラブルの発生について

安全審査を終え、昭和 46 年に建設を開始した TRP は、主要な機器の殆どを仏国から導入し据付けた。その時代における欧米の再処理工場は Pu 分離を主目的とする軍事技術を基盤に置くガス炉からの天然 U の使用済燃料の再処理が主流で燃焼度 (BU) が低く取り扱いが容易であった。これに対し、TRP で処理する軽水炉 (LWR) の使用済燃料は BU が高く FP 中の粉末成分と腐食生成物 (CP) が多い特徴を有していた。

このため、昭和 50 年ウラン試験、昭和 52 年ホット試験において、当初は比較的順調に推移したものの、導入した主要機器のせん断機、溶解槽 2 基、酸回収蒸発缶、高レベル廃液 (HLW) 蒸発缶、Pu 濃縮液蒸発缶等が軒並み粉末の詰りや腐食でトラブルに見舞われ、1 系列のため、工場としても機能不全状態に陥った。即ち LWR の SF の再処理は世界的にも黎明期であり、TRP と同時期にスタートした仏国の同規模の UP2-HA0 工場も同様なトラブルに見舞われた。

##### (2) トラブルの克服

主要機器のトラブルを契機に当時存在した国産技術を駆使し、殆どの機能

不全状態に陥った機器を修復した。ここに日本独自の設備保全技術が完成した。高放射線量率区域における所謂ホットメンテナンス技術である。

①せん断機（機械処理設備の遠隔保守技術）

せん断機および付帯設備は特殊輸入機器として導入されたが、せん断に伴い微粉末や切断片が機械装置に噛みこみ、作動不良をきたし、安定操業に影響を与える稼働率低下をきたした。このため、国産技術における設備更新にチャレンジした。機器製作にあたっては、詳細施工図が無いことから機器類寸法の遠隔測定などを行い、国産技術により製作・更新を実施した。

②溶解槽（化学処理設備の遠隔保守技術）

せん断機と同様に人の立ち入れないホットセルに設置された溶解槽に対しては、当時存在した国産技術を総動員して遠隔補修冶具を開発し、遠隔補修し、第3溶解槽のため用意されていた予備セルには加熱部に溶接線を要しない鍛造部品で構成する新溶解槽まで製作し、予備的措置が施された配管系等を設置し溶解槽3基（0.35t U/dx3）体制とし万全を期した。

②酸回収蒸発缶（セル内におけるホット機器の解体・撤去・据付直接保守技術）

同じく高線量率区域でも除染等により人の立入を可能とした酸回収蒸発缶のセルでは直接保守により、欠陥のあった蒸発缶を撤去、品質管理の徹底した日本で製作した新設蒸発缶に交換した。

③放射性廃液蒸発缶（ホット機器の遠隔検査技術、**ならびに予備機切替**）

高放射性廃液蒸発缶は、遠隔検査装置を開発、数10メートルに渡り詳細に検査し、欠陥部を同定し、予め準備していた、予備蒸発缶に切り替え、関連ユーティリティ配管や計装ライン等も切り替え、使用しない部分は閉止板を取り付ける等の万全の措置をした。

(3) トラブルの総括と基礎基盤技術の維持について

上記に示すとおりTRPにおける再処理プラントの工学規模での運転に係る基礎基盤技術は、奇しくも軽水炉再処理が黎明期であったことに起因するトラブルに多々見舞われ、これを克服してきたことにより確立され、維持してきたといえる。

すなわち、再処理プロジェクトに関連する基礎基盤技術とは、単なるプロセス機器で構成する化学プラント技術のみならず、高放射線量率下での設備保全技術、耐食性のある材料工学またそれに付随する溶接施工管理技術等の単位操作が集合した複合基礎基盤技術を構築していかなければならない。

(4) 基礎基盤技術の拡張に係る考察

TRPの再処理プラントに関する基礎基盤技術を将来の再処理プロジェクトに向け昇華させるためには、技術の維持のみならず拡張が必要であり、このためには、将来の商用再処理工場の安全・安定運転の維持に何が課題か検

討する必要がある。以下に安全・安定運転への例示として、複数系列化と予備的措置について述べる。また補足的に合理化設計に関する考察を述べる。

### ①複数系列化

TRP の当初の設計思想は、メンテナンスフリーであり、殆どのセル内機器は健全性を維持できると考えられていた。従って、プロセス機器は 1 系列システムで構成された。溶解槽は当初 2 基設置であるが、これは TRP の処理性能である 0.7 t/day を担保すべく 2 基設置したもので、溶解槽の個々の能力は 0.4 t/day であり、RRP における 2 系列化とは性格を異にするものである。また、HAW 蒸発缶はその内蔵放射エネルギーから見て、リスクが大きいとの判断で、2 系列運転のためでなく腐食トラブルに備え予備機が設置されたものである。

前述したとおり、予備系列が用意されていなかったせん断機、溶解槽、清澄工程、酸回収蒸発缶等の主要輸入機器は、機械系の故障や腐食により全面的に機能不全に陥り、予想外の保守・保全を余儀なくされた。

これらトラブルの克服等により TRP における再処理技術に係る基礎基盤技術は確立されてきたが、大型商用再処理施設の場合、フルスコープの機能を果たすために、稼働率確保上必要となる複数系列を用意しておくことが必要である。

この考え方に沿って、RRP は TRP の知見も生かしつつ、仏国の UP3 最新鋭工場の実績を踏まえ再度海外から技術導入され建設された。無論、その後の知見により、機械処理系、化学処理系の稼働率の懸念される所には、設備保全に改良を加えた。機械処理系も、耐食性を向上させた化学処理系も主要なところは 2 系列化し 100%稼働率確保を目指して工場建設が進められ、ガラス固化施設を除く部分では、既にホット試験を通してその実証を果たしたところである。

### ②予備的措置

再処理工場は多数の単位操作のかたまりを連ねた大規模システム施設群であるので、プロセス系の複数系列化と併せて、機能不全が考えられる箇所に対する配慮、すなわち予備貯槽、予備セル、予備配管等の事前設置も必要となる。具体的に一例を示すとすれば、TRP における溶解槽のトラブルでは、予め新規溶解槽が設置できる予備溶解セルが設置なされていたことから、腐食トラブルに見舞われた溶解槽の復旧には多大な労力が費やされたものの、新溶解槽の設置は比較的容易に可能であった。また、溶解工程から清澄工程へ溶解液を送液する配管の閉塞や、サンプリング配管の閉塞などの事象を経験しており、複数の送液経路や予備のサンプリングラインが予め備わっていたことから、運転が継続できてきたとも言える。

どのような設備が予備的処置の対象になるかは、JAEA の保有するコールド・ホット実証施設で十分検証を積んできているところであるが、ホット試験施設を持たない RRP においては、十分な設備診断技術の確立とあわせ、JAEA との共同研究などにより、再処理という稀少施設の安定運転の確保にむけた共通技術の検証や高経年化対応などについて取り組む仕組みが必要と考える。

すなわち、現有の JNFL-JAEA 協定を見直し、TRP がこれまで培った基礎基盤技術と RRP が大型商用プラントとして得る技術について、相互に連携が図られるよう、より強力な展開をすることにより、将来の再処理プラントに向けた基礎基盤技術の拡張が合理的に図れるものと考え。

### ③合理化設計

補足事項として、TRP 及び RRP において共通であり将来の再処理工場についても共通であろう課題として、合理化設計の功罪について若干の警鐘を述べる。

産業プラントの宿命として初期建設コスト削減は重要課題ではあるものの、初期コストを抑えた部位については、トラブル等による復旧コスト及び期間が増大するリスクを抱えることになる。TRP においてもまさに予備的配慮のなされた部分の復旧は早く、そうでない箇所への対応は予算、期間とも多大なものとなった。TRP の場合、パイロットプラントとして最低限の商用ベースに乗る程度の連続運転は命題であったものの、商用プラントそのものではないことから、幸いにも長期にわたるトラブル対応などにより、その生命線を絶たれることはなかったが、商用プラントの場合の長期停止やそれに伴う膨大な資金は、原子力に関する世論も併せて致命傷となるリスクを秘めている。次期再処理工場においては TRP、RRP の経験（基礎基盤技術）を十分に生かし、合理化によるメリットとそれに伴う将来のリスク評価（基礎基盤技術をさらに進めた拡充）を実施し、正に将来のランニングコストを包含した合理化設計となることを望むものである。

## 3 保障措置 (SG) 技術の確立について

### (1) TRP における保障措置 (SG) 技術適用の経緯

TRP が直面したもう一つの側面は、日米再処理交渉に基づく保障措置 (SG) 技術の適用である。ホット試験を直前に控えた TRP は日米原子力協定 8 条-C 項 (米国により生産された濃縮ウランを使用した原子炉からの SF の再処理にあたっては米国との協議が必要との規定) に基づき、熾烈な再処理交渉を強いられた。

その結果、核拡散抵抗性の高い技術開発を行うこととし、IAEA 等による全

面査察の適用、Pu の単体抽出は認めず 2 年以内に新しい Pu 混合転換技術を開発すること、SG 技術開発実証試験等を約束し、昭和 52 年 9 月 22 日 99tU を限度に SF のホット試験が開始された（制限付再処理の開始）。後に、これらの課題は逐次解決され、制約無しの運転が認められることとなる。

ここで重要な点は、核兵器国以外の国において日本が世界で唯一再処理を認められたことであり、そして現在も TRP に続き RRP が再処理を認められているという確固たる実績である。その背景には、平和利用に徹し、核拡散抵抗性技術の実証を常に要求され、それを実行し続けてきたことにある。

TRP は、米国ロスアラモス国立研究所等と共同研究で再処理工場に適用する SG 機器の開発に取組み、工程内の核物質の移動検知能力を高めた。SF の移動検知用 FTPV (SF Transfer Pool Video System)、Pu 溶液移動検知用 SMMS (Solution Measurement and Monitoring System)、SF 溶解残渣ハルや、HLW ガラス固化体等廃棄物系への Pu 移動検知用 HMMS (Hull Measurement and Monitoring System) および VWCC (Vitrification Waste Coincidence Counter) 等を開発し、TRP の運転を通しその性能を確証し、核物質の閉じこめ・監視 (Containment and Surveillance: C/S) 機器として、IAEA 等の査察に適用され、核兵器への転用を防止し、透明性を高める極めて有効な検知手段としての重要な役割を果たしている。

## (2) 計量管理技術

再処理工場において、工程運転と共に核物質は移動し、この在庫量を物質計量区域で適切に管理することが要求される。いわゆる計量管理システムである。この目的のために、再処理工場に入量、出量計量槽がおかれ、工程管理機器の一環として設備構成されている。しかしながら、再処理プラントでの Pu 通過量に係る測定の不確かさが課題とされ、近年 IAEA の査察に当って測定精度の向上が要求されている。

IAEA のガイドライン等では公称の測定の不確かさを年間 1% とすると、小規模再処理工場 (30t HM/yr) で 2.4kgPu, 中規模再処理工場 (100t HM/yr) で 8.0kgPu, 大規模再処理工場 (800t HM/yr) で 64kgPu が不確か存在するとされ、核への転用の目安である 1SQ (1 Significant Quantity; 8kg Pu) を超える可能性のある大規模 LWR 再処理工場ならびに FBR 再処理工場に対して、工程内の Pu 量の確認を厳重に行うよう警告している。

既に六ヶ所再処理工場 (RRP) では、TRP の実績に加えてさらに TRP で開発実証された 0.3% の計量分析精度を持つ K-edge 計量分析装置を Pu の計量に、またその他のオンライン計量分析装置、NRTA (Near Real Time Accountancy: 実時間計量管理制度) 等を導入し、核不拡散の実証プラントとして IAEA の査察に備えている。

### (3) 核拡散抵抗性技術

TRP の運転開始に向けて日米再処理交渉で示された核拡散抵抗性のある技術として、Pu 混合転換装置はTRPで実証され、日本の平和利用に徹した核燃料サイクルの実現に不可欠の技術として国際的にも認知されてきており、その結果、RRPにも国産開発技術として採用されているところである。

すなわち、今後の核燃料サイクル施設は核拡散抵抗性のある技術としてのC/S技術、精度向上（IAEAの目標要求精度：0.3%）した計量分析技術、NRTA等の計量管理制度の付備なくしては国際的認知が得られないことを念頭に置くべきである。

### (4) SG技術の総括

上記に示すとおり、わが国においては、再処理・濃縮・核燃料加工施設等の核燃料サイクル施設において、平和利用に徹するとともに、種々のSG技術の査察への適用を図ってきており、その結果、IAEAから核拡散防止への高い透明性が認められ、世界で初めて統合保証措置適用対象（合理的査察の適用国）として認められたことは極めて意義の大きいものである。

すなわち、原子カルネッサンスといわれる昨今、原子炉の建設ラッシュとともに排出される使用済燃料の処理について、いずれ大きな課題となることは自明であり、その際に核兵器非保有国の保障措置適用に際し日本は世界のリーダーとなるべき資質を備え、大きなアドバンテージを得たと評価できる。

## 4 環境負荷低減技術の確立について

### (1) 環境負荷低減化に係る技術開発の経緯

TRPの複合的基礎基盤技術として、環境負荷低減技術がある。TRPは放射性気体ならびに液体廃棄物に関し、周辺公衆への被ばくへの寄与を極力減らすことで、実効線量を $18\mu\text{Sv/yr}$ （法令値： $1\text{mSv/yr}$ ）を目標に、廃棄物処理をおこなってきた。放射性気体廃棄物としては、被ばく寄与の大きいI-129、C-14等は、排気系統に特殊フィルター設置し捕捉、環境への放出を可能な限り低く抑えた。また、放射性液体廃棄物に関しては、ゼロリリースを目標に、低放射性廃液蒸発缶を多段に設置、極低放射性廃液を海洋放出管から放出し、海外の再処理施設の放出放射能の3-5桁低い海洋放出管理を実現している。近年英・仏の再処理工場から海洋放出される放射性廃液の周辺公衆への被ばくが懸念され、オスパー（Oslo-Paris）条約によって、ドーバー海峡を挟む沿岸諸国からクレームが出され、英仏の再処理施設の海洋放出にあたって日本と同様な蒸発施設を組み込み、放出放射能の低減に努めているが、なお、2-3桁高い値に留まっている。

ゼロリリースに関するTRPの取り組みは、TRP建設当時における原子

力に対する国民的感情なども十分に勘案された日本的要素が強いものと捉えることができ、国からのゼロ放出勧告を受け第二低放射性廃液蒸発処理施設、第三低放射性廃液蒸発処理施設を増設するなど、国が主導的に予算をつけ実現してきたもので、国の方針に見合った予算の配分がなされた好例といえる。具体的には再処理施設の建設は政府出資と借入金に依ったため、TRPの操業に伴い借入金を返済するという義務を負ったが、環境負荷低減等に係る予算としては、政府出資として必要な資金が提供されたことにある。

## (2) 今後の課題

今後の課題は、再処理に伴って発生する工程内廃棄物の低減化技術の開発である。低レベル固体廃棄物はその減容固化技術としてLWTF施設がTRPに組み込まれつつある。そのほか、溶媒再生廃液等有機物を発生しないソルトフリー技術や、低レベル廃棄物へのガラス固化技術の適用が急がれる。また、環境への負荷低減を目指した固体廃棄物の安定化技術として、セメントやコンクリートならびにガラス固化体に対する最新の知見による技術開発が鋭意進められており、国際競争力確保の観点から、国内外の技術開発とも歩調を合わせて進めるべきと考える。

## 5 安全管理技術について

再処理安全審査指針に示されるとおり、再処理施設には安全管理施設の備が要求されている。その主要な項目は、臨界管理、遮蔽管理、火災・爆発防止等となる。その他再処理技術で特筆されるのは、放射能のセル内等への閉じこめ管理で建屋・セル・塔槽類換気系統と合わせ、負圧管理が重要な指標となる。

その上でこれを補完する重要な技術として、安全確保のためのユーティリティ供給や、試薬調整、計装ならびに分析技術があり、操業の安定のみならず安全に寄与する工程支援技術が必須であることを記しておく。

## 6 基礎基盤技術の確立と維持に係る総括

再処理施設の基礎基盤技術とは、単にプロセスの安全性や操業の安定性に必要な技術にとどまらず、環境負荷低減や保障措置・核不拡散等といった時流に即した技術を取り込んだ総合エンジニアリング技術である。従って、この基礎基盤技術の維持においては、常に最新の動向・知見を反映し、技術確証を継続して実践していくことが必要であると考ええる。

TRPの当初の命題は工学規模再処理実証であったため、運転やトラブル経験等を経て、種々の技術の確立と維持がなされたところであるが、現在においては第二民間再処理工場の設計に資するデータの提供が命題となってお

り、そのためには、確立・維持してきた技術をオールジャパン体制で十分に活用しうる環境の整備が必要と考える。

## 7 基礎基盤技術の拡張にかかる各種提言

### (1) 設備機能維持にかかる視点（保全と検査）

TRPは、わが国初の再処理プラントであることから、種々のトラブルなどを経験しつつ事後保全から予防保全へ技術展開してきた経緯があるが、次期商用再処理プラントにおいては、稼働率確保の観点から、予防保全の必要性が極めて高くなると判断される。従って、TRPの経験と今後のRRPの経験を生かし、基本設計の段階において、予防保全、状態保全、事後保全に対応した保守・保全の考え方を整理し、それに沿った設備設計を実施し、機能的な設備配置等に反映することが重要であり、これがTRPで培われた基礎基盤技術の拡張といえる。

国内再処理施設は現在TRPとRRPのみであり、長年の操業による保守のノウハウを有しているのはTRPのみである。従って、原子炉のように多数のプラントの保守事例を共有できる段階になく、協力メーカー等がそのノウハウを入手することは、原子炉に比べ容易ではない。次期再処理施設を運営していく事業主体が何処であるかに関わらず、工場建設や設備保守には必ずメーカーの力が必要であり、前述したとおり、基礎基盤技術の活用という観点で、メーカーなどの民間企業などがTRPの保守データを活用できる仕組みが必要と考える。

また、TRPでは運転当初に設計想定外の腐食トラブルを経験し、定期検査では技術基準の適合性・性能維持について確認できるものの、機器の健全性を確認する方法が確立していなかったことから、国により、機器の工学的健全性を確認するためのISI（供用期間中の検査）を事業者において実施するよう指導を受けた。プラント建設後に検査設備を付加することには限界があり、この点、次期商用再処理プラントにおいては、枢要機器の設計においてISIの考え方を事前に整理し、設備設計に盛り込むことが重要である。そのうえで、このISI時に高経年化対応等に備えたデータの蓄積が必要である。

### (2) 性能保証にあたっての実用化、商業化の判断材料としての視点

工業規模の再処理工場は年間処理能力800-1500t U/yrと言われており、六ヶ所再処理工場、仏国UP-3/UP-2-800、英国のセラフィールド再処理工場がその規模とされている。無論、使用済燃料の供給量の確保に依存する規模である。従ってこれらの処理能力を発揮するための設備は個々に十分な能力を有しなければならない。商用再処理工場の性能保証項目は（年間）処理能力に

加えて、1) 製品の品質、2) 環境への放出放射エネルギー担保、3) 仕様を満足する廃棄物性状等の確保、が主な対象となる。

### (3) 性能保証を目的として維持・拡張する支援機能のミッションの視点

年間処理能力を考える際、個々の設備を統合して動かす連続運転機能が重要であり、そのためのプラント構成が必須要件となる。さらに、今後の日本における商用再処理工場の必須要件として、世界に先駆け非核兵器国として適用された厳格な IAEA の保障措置の維持・拡張が挙げられる。今後の高速炉燃料再処理を視野に入れると、施設の Pu インベントリは現商用規模の軽水炉再処理工場の 2 倍とも目されており、さらなる核拡散抵抗性を示す必要がある。

次に、商用再処理工場で重要な要件は稼働率の向上であり、年間操業日数 200 日工場稼働率 80% を保証するためには、4t U/d 年間 800t U/yr 工場では処理能力を 1000t U/yr の裕度を持つ機器及び中間貯槽の構成が必要で、主要工程はほとんど連続再処理が可能でなければならない。このシステム構成するための課題を早期に既存パイロットプラントで確認する必要がある。

また、保守・保全性ならびに運転の健全性判断を可能とする迅速な工程分析の対応体制の整備とこれを補完するインライン分析技術の精度向上も重要な課題であり、技術の修得にも極めて多くの時間を要するし、何よりも最新の知見を反映する課題への挑戦が欠かせない。

### (4) ミッションを実現するための計画的な人材、施設等を確保、維持する仕組みの視点

TRP を例にとると、年間の工場保守・保全費用は工程運転を実施しなくても、換気系の機能保持、廃液、製品等の貯蔵管理等で 800 万円/日、年間約 24 億円必要とされる。また、年間 40t U の再処理を実施する場合は、直接費用で約 120 億円の費用が必要である。また間接費としての人件費を約 300 人/年としても約 240 億円必要でこのため、MOX 燃料の再処理や高燃焼度燃料の再処理を実施しながら、適正な再処理費用を確保、上記性能保証のためのミッションを果たし、必要な高度化実証の検証プラントとして既存のコールド/ホット施設等も活用することを考え、従事者のレベルアップも図りつつの適用が望ましい。

TRP は 2006 年度電力との役務契約終了時点で借入金の返済が完了した。一般に再処理費の算定は工場建設費に固定比率（償却・利子・税/保険・R&D・一般管理等で～30%）を掛け、これに年間操業費を加え、この和を年間処理量で除し廃棄物費用を加えると、1kg あたりの再処理費が試算される。建設に当たって役務契約締結時の試算によると、約 1.5 万円/kgU で米国民間再処理工場の NFS ('62-'72) 試算値で約 30\$/kgU とされており、当時の為替レート

(¥360/\$) を考慮しても約 1 万円/kgU とやや割高である。TRP の場合、前述したように、ホット試験以降のトラブル等による稼働率の低下要因で相対的に借入金利子を含めコストは嵩んだと推定される。しかしながら現在、RRP で想定される SF 再処理費約 25 万円/kgU と直接比較できるかは内訳が明らかでないので判断できない。

(補足資料 4)

## 公的研究機関の継続的活動<sup>52</sup>に対する事業者及びプラント供給者による一部費用負担

### 1. 再処理の場合

東海再処理工場における合理化設計の例でも分かるように、初期投資の削減は、長期にわたりコスト負担せざるを得ない運転維持費の上昇を招きがちである。

特に再処理工場は、仮に全量再処理をすとしても、全世界的にも 10 基程度あれば十分であるし、核不拡散政策上、多数の国がそれを保有することも望まれない。また、全量再処理を目指している我が国においても、施設の新規建設は数十年に一度程度しか見込めない。このような施設においては、施設の設計・建設技術の維持すら難しく、初期投資の削減にどれだけの意味が有るかよく考える必要がある。

これほど建設頻度が少なく、かつ特殊な技術、設備で構成される施設は一般産業界では例を見ないし、それ故に、この設計建設を通じてメーカー各社が培った技術を応用する先も非常に限定的と考えられることから、メーカーとしても投資メリットが大きくなり、それ故に、個々の機器もコスト高になりがち、と考えられる。このようなプラントでは、有意な期間での反復性が期待できないことも有り、建設コストの議論をすることすら意味が無いようにも思える。

再処理工場のように、立地地点周辺の住民から迷惑施設と見られがちな施設は建設費のコストダウンより、安全・安定な運転を期することの方が大切であり、運転継続性の確保（多系列化）や故障からの早期の立ち上げ能力（良好なメンテナンス性）こそ大切であり、そのための初期投資は必須と考える。

とはいうものの、民間企業がこれを担うためには資金的余裕と技術的能力を兼ね備える必要があり、現実的には難しい面も多い。そこで、資金面では長期低金利資金の供給（開銀融資等）や税制優遇、技術面では公的研究開発機関による下支えといった国の支援策が大切になる。

公的研究開発機関における関連研究開発については、国が予算措置して、間接的に事業者を支える方法があるし、国が補助事業として直接事業者を

---

<sup>52</sup> RD&D 終了後商業化過程で必要となる基礎データベース拡張等のためクライアントのニーズに沿って行う試験研究活動

支援し、事業者がその資金も活用して必要とする研究開発を公的研究開発機関に委託するということも可能であろう。この他、データベースの構築・維持といった事業については国の役割として公的研究開発機関が行い、必要に応じて、事業者が対価を払って利用する、というやり方も考えられる。

いずれにしろ、核燃料サイクル事業は我が国が原子力発電に依存する限り、国のエネルギー政策に直結し、国民の福祉の維持向上に不可欠なものと考えられることから、これを推進する民間企業を資金面、技術面において国が支える構図は十分合理性を持つものとする。

## 2. 遠心分離法によるウラン濃縮の場合

一方、ウラン濃縮施設の場合は、同一設計の遠心機を多数並べることで、施設能力を発揮することになるので、一般工業製品と同様に量産効果が期待できる。それ故に、ウラン濃縮工場の場合は施設規模の大きさが製品の単価に大きく影響する。また、この技術は核不拡散上機微な技術とはいえ、その基盤は一般産業界に存在し、ウランによる影響さえ考慮できれば、その製造は既存のメーカーで十分対応可能である。ただし、量産機というには一定以上の継続的な生産が前提であり、ウラン濃縮施設の設備規模を限定しすぎると、メーカーとしての量産効果は無くなってしまいかねないことから、継続的な量産が必然となるような施設規模の設定が望まれる。また、濃縮ウランは既に国際商品であり、常に価格競争に曝されていることから継続的な遠心機の性能向上が必須要件となっている。具体例として言えば、月産数百台といった規模で生産を継続し、設計寿命に相当する10年程度でフルスケールに到達、この間に次世代機を開発して、翌年から順次リプレースを行っていくことで施設能力の維持／向上を図る、といったことが考えられる。

この場合も、事業者は施設の建設運転、維持管理に注力し、遠心機の継続的な研究開発の部分はメーカーの協力を得て、国がサポートしていくことが、国際価格競争に打ち勝つためにも望ましいところである。国際価格競争に勝てないような技術がユーザーの支持を得られないのは自明であり、そのためにも継続的な国の関与が求められる。

ただし、事業により得られた利益を国民に還元することは必要であり、そのためにも、国（公的研究開発機関）が行う研究開発には、事業者による一定の負担（委託研究や共同研究）が求められる。なお、その負担割合は、事業の継続性を担保できる範囲で決められるべきであろう。

(補足資料 5)

安全規制に関する考察 (追加)

永年解決すべき課題と考えられながら、諸般の事情からなかなか解決できていない原子力の安全規制に関する問題の中で、安全規制が核燃料サイクルの研究開発に間接的に影響を与えたであろうと推察される点について、「日本型性能保証システム」という観点から見た場合の対応策を以下に考察する。

1. 想像力たくましい規制

安全規制に関しては、事業者は規制範囲、内容、規格基準が定まらなければどのような安全対策を講じ、申請すべきかわからないとの主張がある。一方で、規制当局はどのようなものが申請されるかわからないものについては安全規制とりわけ規格基準は整備しようがないとの意見がある。このような問答は試験研究施設の安全規制については特に生じやすいと思われるが、「ニワトリが先か卵が先か」の押し問答を行うのではなく、国も事業者も安全研究等を通じて早期にリスクを分析し、安全対策を予防的に講じることが必要である。

1. 1 スタンダードレビュープランの早期導入を

どのような規制が標準的に行われるかについて予め文書化されていれば、申請者は事前に準備でき、文書の様式の違い等の瑣末なことではなく、当該プラントに特有な本質的な安全問題を的確に審査できよう。米国 NRC のように「スタンダードレビュープラン」を定め、予め安全規制対象となる範囲、申請書類に記載すべき内容、安全審査の方法、安全の判断に用いる基準等を明らかにしておけば、許認可手続きに関するビジネスリスクは相当程度低下するものと考えられる。また、標準的な安全審査がわかっているならば、後は立地点特有の安全審査問題の検討に取り組むことができよう。

1. 2 リスク分析に基づく想像力たくましい安全規制を

試験研究施設のように規制当局が事前に安全に関する規格基準を定めることが困難な場合の対応策としては、事業者（あるいはプラント供給者）が設計・製造から運転・廃止に至るまでの安全に係わるリスクを分析し、リスクに応じた安全対策に係わる提案を事業者及び規制当局に申請し、その申請書に基づき安全審査を行うという手法を示した国際標準規格 (IEC61508) がある。これは、製造物の安全に関し顧客側に十分な知見が無い場合に、プラント供給者に対して、リスク分析とその対策を顧客に提示説明することを調達の際の条件とする制度で、欧州内の企業等が原子力施設、鉄道システムや自動車、電気製品等を

内外から調達する際に適用される標準となっている。日本の企業がこのような分野の製品やシステムを欧州に輸出する場合に適用されることから、調達応募に際してリスク分析と安全対策の提示を既に経験している日本企業は多いと思われ、全くの未経験分野ではない。このような手法が我が国でも採用されるならば、たとえ試験研究施設の安全性について規制者や事業者側に知見が不足していても、プラント供給者にリスク分析とこれに基づく安全対策の提示を求めることができるようになる。また、安全対策について委員会での審議やパブリックコメントを求めることにより、少なくともその時点での最高知見を反映したものにすることが期待できる。巨大システムにリスク分析を適用することは容易ではないと思われるが、「ニワトリが先か卵が先か」の不毛な議論を避けることができ、プラント供給者も参加した提案型の柔軟な安全規制の実現が期待される。米国 NRC の総合安全解析 (Integrated Safety Analysis) を参考に、我が国でもウラン加工施設を対象にリスク解析手順とリスク情報の活用案が JNES で準備されているが、原子力施設に係る一般的な手法としての早期確立を期待したい。

平成 17 年から 18 年にかけて、原子力安全・保安院はリスク情報を原子力の安全規制の合理化のために活用することを表明したが<sup>53</sup> <sup>54</sup>、これまでの活用例はプラント停止時 PSA や地震 PSA など限られた分野に過ぎない。今後安全規制システムそのものの合理化に速やかに活用されることを期待したい。

### 1. 3 トピカルレポート制度の一層の活用を

原子力安全・保安院による安全規制制度の中には、「トピカルレポート制度」がある。これは、実際の許認可申請がなくとも、規制当局は試験研究機関、製造者、事業者などからの要請に応じて、標準的な条件下での施設の安全審査を前もって実施しておき、施設の立地点が決まり正式な許認可申請があった場合は、立地点に特有の安全審査だけを行うことにより、実際の許認可申請を効率的に行おうという制度である。このトピカルレポート制度は未だ広く利用される状態にはないようであるが、今後リスク分析手法の活用と併せて提案型安全審査手法を活用すれば、更に柔軟な安全規制の実現が期待される。

### 2. 進化が求められる規制

---

<sup>53</sup>原子力安全規制への「リスク情報」活用の基本的考え方 平成 17 年 5 月 31 日 原子力安全・保安院

<sup>54</sup>原子力安全規制への「リスク情報」活用のガイドライン (試行版) 平成 18 年 4 月 原子力安全・保安院

## 2. 1 我が国の安全規制制度に規制効果を科学的に検証する制度の構築を

原子力施設に関する日本の安全規制の進化の速度が遅い印象は否めない。新しい安全規制手法は多くの場合米国等海外の例を参考とすることが多い。新しい規制の導入に際しては、その有効性、規制の費用対効果などの事前検討は十分になされていたであろうか。多くの場合、事故トラブルが発端となって新しい規制が早急に導入されることが多かったように思われる。このため、結果として日本の安全規制には規制の効果等を評価する制度が定着していないように思われる。原子力施設に関する安全規制の質、量は膨大であり、関係者の投入するエネルギーもまた膨大であるだけに、規制当局および被規制者による規制対応エネルギーを効率的に投入するためにも、定期的な規制効果の検証は不可欠と思われる。

規制効果の評価が困難である、あるいは抽象的にしか説明できないということは、その規制をやってもやらなくても安全性は変わらないというに等しい。時として、規制を行うのは国会で制定された法令にしたがっているのであるという回答を聞くことがある。もし規制の必要性に関する前提条件が崩れた場合には、法令条文の必要性そのものに立ち却って検討すべき問題である。この意味で、新しい規制の検討とは別に、普段から既存の規制の改廃を検討することを、規制当局のミッションとすることが重要である。

「原子力の安全規制は一方向的に増殖する」との声も聞かれるが、規制者、被規制者のリソースも限られており、今後より効率的な安全規制を目指して、規制効果を科学的に検証する制度の構築を望みたい。

## 2. 2 安全規制行政組織内に品質保証制度の導入を

日本の原子力安全規制の進化が遅いと感じられる理由の一つに、規制行政組織内に品質保証制度が明確には導入されていないことが考えられる。規制を受ける事業者には厳しい品質保証制度の運用を求める一方で、安全規制が適切に行われているかどうかの安全規制の品質の保証が必要である。一見重複して見える検査制度や、ハードを重視し過ぎる安全規制の課題などは指摘されて久しいが、改善はスローペースと見える。品質保証制度では、問題が指摘されれば直ちに是正措置が求められ、それが実行されない場合は、厳しい改善命令が出るはずである。やはり規制当局内に品質保証制度の明確な導入が必要であると考える。

一般的な行政監査制度はあるが、原子力の安全に係わる厳しい品質保証監査制度とはレベルの違う問題である。本来事業者を規制する行政組織には品質保証制度は必要ではないという主張もあり、その背景には「国は過ちを犯さない」との無謬主義論が垣間見られるが、安全規制分野では国も過ちを犯すし、その

結果次第では国家賠償責任を負うこともあるとするのが昨今の裁判における判決例である。<sup>55</sup>

原子力安全委員会は品質保証的な観点から、安全規制行政庁を調査し必要に応じて勧告等を行っているが、行政庁に対し品質保証制度導入の勧告までは行っていない。日本の安全規制制度がユニークであるといわれる背景には、PLAN→DO→CHECK→ACTIONを通じて、IAEA等の原子力安全規制に関する国際的な標準との整合化を含めて、常に進化していくような仕組みになっていないのではないかと懸念される。現在の安全規制が妥当なものであるのかどうかを常に検証しつつ、より合理的かつ効率的な規制手法や理論を研究し、品質保証組織と連携して実行に移していく仕組みが不可欠であろう。

規制行政庁の品質保証制度については、原子力安全委員会による、あるいはそれが困難な場合は別の中立的な第三者機関による監査が必要になろう。

## 2. 3セーフティーゴール及びリスク論に基づく安全規制手法の早期導入を

日本の安全規制について、定量的な安全評価に基づく科学合理的規制の取り組みが大きく進展していない原因としては、どこまで安全を求めるべきか、その安全はどのように定量的に評価するかなどに関して、安全目標（セーフティーゴール）やリスク論に基づく定量的な安全評価手法をいまだに正式に導入していないことがあげられる。世界の多くの国で、試験的にもリスク論に基づく安全規制手法が従来の方法と併行して導入されつつあり、早晚日本もそのような方向で対応することが必要になるであろう。

安全規制の理念及び安全性の定量的評価手法を明確にし、どこまで国は規制すべきか、民間自主保安に委ねられるのはどこからかなどが一定程度明らかになれば、規制者と被規制者間の信頼が増し、安全規制はより合理的なものになるであろう。

事故が起きる度に、その時の原子力をめぐる情勢に影響され、不規則かつ際限なく安全規制の範囲が広がるのではないかと思われる状況があれば、規制当局、事業者、自治体、地元住民、国民にとっても望ましい姿ではない。また、事業者が自主保安強化のために自主規格基準を作成したところ、これを規制のために引用されるというようなことがあれば、自主規格基準の作成は自分を規

---

<sup>55</sup>石綿被害>国の不作為認め、賠償命令 大阪地裁（平成22年5月19日）

大阪府南部の泉南地域の石綿（アスベスト）紡織工場の元従業員らが、石綿の粉じんを吸い込んで石綿肺や肺がんなどになったのは、国の規制が遅れたためだとして、損害賠償を求めた訴訟の判決が19日、大阪地裁であった。小西義博裁判長は原告26人に関し国の不作為があったと認め、国に賠償を命じた。石綿被害で企業責任を認めた判決はあるが、国の責任を認めた判決は初めて。

制で縛るための規格基準になりかねないとの懸念を生み、自主保安の努力を摘みとる可能性もある。

### 3. 事業意欲を維持・向上させる規制

3. 1 品質保証制度は本来の自主保安の進化を促す重要な間接型規制制度としての活用を

品質保証制度は、原子力施設の設計、建設、運転などのすべての分野にわたり、安全上重要な影響を及ぼしかねない不適合について、建設的な改善策を自主的に提案させ、その実行を促進するなど、本来事業者の自主保安による安全対策取り組みの進化を、プロセス監査型手法により促す制度である。品質保証制度は安全確保手段として中心的な理念であることから、米国においては 10CFR Appendix B to Part 50 (Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants and Fuel Reprocessing Plants) として定められている。一方日本の安全規制では、運転上の制限事項などが主に記載されている保安規定の中に品質保証制度が組み込まれ、品質保証制度はプロセス監査型であるべきチェック手法であるにもかかわらず、あたかもハードの品質管理のための検査手法のごとくその実行状況について細かい事実のチェックが行われていると聞く。例えばある種の手続き違反があった場合、品質保証規定違反すなわち保安規定違反とされる可能性があり、結果次第では 1 年未満の運転停止という非常に厳しい罰則まで適用され可能性がある制度になっている。

原子炉等規正法に基づく認可対象である保安規定の申請に際しては、何が運転に関して安全上重要であり認可の条件であるか明確には規定されていない。このために、安全上軽微なことまで詳細に規定を記述した場合は、その実施状況について国から詳細にチェックを受けることになりかねず、そのため保安規定違反となりやすい構造となっている。その結果、保安規定はなるべく簡単かつ抽象的に記載したほうが無難であるとの解釈になりかねず、保安規定の認可規制の目的および効果が薄れてしまいかねない。

このような保安規定の認可、運用のあり方は、事業者の自主保安精神を委縮させ、ひいては国が求める安全規制上の対策をもって、それが事業者として行うべき安全対策の全てであると解釈する傾向を助長しかねず、事業者による自主保安を旨とする制度の基本を損ないかねない。今後構築を目指す日本型性能保証システムにあつては、品質保証制度は施設の運用に係わる保安規定の中に定めるのではなく、施設の設計・製造・工事・維持・運用全般に係わる品質保証制度として独立した法令条文で定め、その中で品質保証の目的として自主保安を促進することを明確に記載することを望みたい。法律改正を行わずに、無

理に関係の薄い条文の中で運用しようとするれば、法の運用を誤らせる可能性が高い。

### 3. 2 安全規制に ALARA の原則を常に適用する方針の明確化を

安全性の判断には常に経済合理性の判断が伴うものであり、IAEA を始め海外諸国でも安全規制には「As Low as reasonably Achievable」の原則が適用される。この ALARA の精神は、「原子力安全委員会の当面の施策の基本方針について」（平成 16 年 9 月 13 日決定）において明確に記載されている。しかし現在の原子力安全・保安院のミッションは、「強い使命感」、「科学・合理的な判断」、「中立・公正性」、「業務執行の透明性」とあり、「経済合理性」は明示されていない。「科学・合理的な判断」に含まれると解釈するのであろうが、規制に当ってこの ALARA の精神を失ってはいけない。これまでの安全規制の歴史から、原子力安全規制当局が「経済合理性」をミッションとすることは表明しにくい状況にあることは理解できるものの、それでは安全規制を担う現場の職員には理解されない恐れがある。安全が最優先されるべきことは当然であり異論は無いが、事業として成立するためには経済合理性が成立することが前提となる。もし安全規制の現場で経済合理性を無視した安全規制が行われる傾向が出てくるようであるならば、合理的な安全規制の概念から逸脱しかねない。原子力安全・保安院はミッションとして「ARALA」の原則の適用を明確に掲げ、あわせて経済合理性との両立可能性の評価手法に関する指針を示すことが必要であると提言したい。なお、米国 NRC は規制行政の「効率性」を、「良い規制の原則」(NRC's Principles of Good Regulation)<sup>56</sup>の一つに掲げており、納税者や被規制者などのニーズに真摯に応えようとしているように見受けられる。

「経済合理性」や「規制行政の効率性」を求めることもミッションとなるならば、事業者との間で相互理解も得やすくなり、事業意欲を向上させ、ひいては安全性の一層の向上が期待できるであろう。

## 4. 国際展開に資する規制

### 4. 1 日本の安全規制のユニークさ

これまでの日本の原子力安全規制は、主に米国 NRC の規制体系・規格基準や ASME などの規格を参考にしつつ、日本独自の発展を遂げてきた。日本は世界で唯一の原子爆弾の被爆国である歴史的経緯を踏まえ、原子力エネルギーの利用について厳しい反応を示す国内世論があることから、安全規制分野では極め

---

<sup>56</sup> Principle of Good Regulation : 独立性 (Independence)、開放性 (openness)、効率性 (Efficiency)、明瞭性 (Clarity)、信頼性 (Reliability) の 5 原則。NRC ホームページ <http://www.nrc.gov/about-nrc/values.html#principles> を参照

て保守的に、すなわち安全側に対応してきた。

一方で、事故トラブルや不祥事が起きる度に、大きく反応するメディアや世論を背景に、科学合理性及び経済合理性の観点から見れば、ややバランスを欠くような安全規制が行われてきたことも否めない。その結果、原子炉等規制法、電気事業法による「基本設計」、「詳細設計」の二段階規制制度、原子力安全委員会による「ダブルチェック」制度、事故トラブルの度に新たに講じられてきた「定期検査」、「定期安全管理審査」、「保安検査」、「立ち入り検査」等の一見類似する審査・検査制度、年 1 回の定期検査制度（現在はより定期検査感覚が弾力的な新検査制度に移行）、製造段階で品質管理的に詳細にチェックされる燃料体検査、ハード重視の工事計画の安全審査・検査制度、地元自治体が安全協定を基に国の許認可権とは別に実質的に発電所の運転・停止に大きな影響を与えている実態等、現時点で見れば世界でも独特の安全規制等が行われてきた。

IAEA の標準的な安全規制体系から見てもユニークである。IAEA の IRRS (Integrated Regulatory Review Service) においても、安全規制の基本的な問題点として改善すべき各種の指摘を受けている。このような保守的、安全側ではあるがユニークな安全規制によって、逆に、世界の優良プラントと比べて稼働率が低い、従事者の放射線被ばく水準が高いなどのあまり望ましくない状況にあるとすれば残念なことである。

#### 4. 2 日本の安全規制に関する国際競争力は低い

しかし最近では地球温暖化対策として原子力発電が世界的に見直しされつつあり、日本の電気事業者やプラント供給者は原子力発電プラント総合システムの輸出を念頭に置いた商談を活発化させつつある。ところでプラントを輸出する際には、当該プラントの設置、運転等に関する安全性を担保するための何らかの裏打ちが必要になる。輸出国のライセンスシステムが信頼できるものであるならば、輸入国はそのライセンスを取得することを条件とすることが一般的であろうが、残念ながらこれまでのところ日本政府のライセンスを取得することを条件づけた商談の例は見当たらない。米国やフランスなどは自国政府のライセンス取得を以て安全を担保することで商談を進めていると思われるが、日本では安全規制当局が輸出プラント向けのライセンスを発行することを検討した形跡は、その必要がなかったということでもあろうが、これまで無いようである。これまでのところ、日本のプラント供給者は原子力発電プラントの建設運転総合マネジメント能力を持つ海外メーカーの傘下に入り、海外メーカーの母国または米国 NRC のライセンス取得を以て安全性を担保するというのを基本的考え方としているのではないか。その理由として考えられるのは、日本の安全規制は科学合理性、経済合理性、最新の技術的知見の反映という意味

でも、世界の最先端をいくものとはみなされていないことがあるのではないか。また、IAEAのIRRS指摘事項にも見られるように、海外諸国の間でも日本の安全規制システムが国際標準からはややかけ離れたユニークなものと考えられているようであり、海外の顧客が日本の安全規制当局のライセンスを取得するように要求して来た例もないようである。

このような状況下では、世界的な原子力発電の推進機運の中で、日本の安全規制が果たせる役割は限定されよう。原子力の平和利用を約束する二国間原子力協定の締結、資金供与、原子力プラント購入者の信用不安や当該国政府の信用リスクをカバーする貿易保険の適用などの策は、原子力プラントの主な輸出国ではいずれも同程度に提供できる支援措置であり、後は価格、サービス等の面で顧客にどれだけ有利な条件を提供できるかの競争になると思われる。もとより商談が成立するかどうかは、単にプラントの価格や安全性担保能力だけではなく、軍事協力や産業の技術協力等を含めた総合力が求められるのが一般ではあるが、安全性の担保ということになると、裏打ち出来る国は限られており、現状のままでは輸出プラントに対するライセンス制度を持たない日本政府の商談支援は、包括的な安全規制という面では出番は少ないと思われる。

日本のプラント供給者の高度な製造技術、製品の信頼性、特に耐震設計は世界のだれもが認める水準であるにも関わらず、こと安全性担保の問題になったとたんに、原子力発電プラントの商談を進める観点からの日本の安全規制の国際競争力は低いように思われる。このままの状態では、日本の企業は今後も恐らくフランスや米国等のライセンスを取得して商談に臨まざるを得ないであろう。海外企業がライセンスを取得する場合は、海外企業に商談の主導権を掌握され、これまで同様に実態上フランスや米国等の企業の傘下に入って下請け的立場に甘んじざるを得なくなる可能性が高いのではないかと懸念される。

#### 4. 3 我が国の安全規制も国際化が求められる。

これからは世界的な原子力発電所建設推進の時代に突入していくと思われる。そうなれば原子力発電の輸出競争が激しくなる中で、輸出プラントの安全性を担保する安全規制部門も国際化が求められるであろう。安全規制部門が国内だけを相手にしていて良いとは思われない。安全規制に係る許認可制度の国際整合化もさることながら、安全規制に係る規格・基準の国際標準化と、安全規制業務の国際化対応も必要となるであろう。

世界では今後IAEAを中心に国際標準的な規制システムの標準化、規格基準類の標準化、相互認証制度の導入等が検討されるであろう。IAEAによる多国間設計評価プログラム(MDEP)の動きはそのような今後の動向を示唆している。日本が安全規制の国際化に対応できなければ、国際貿易システムに組み込まれ

た輸出用原子力発電の安全性の担保については、国際的に信頼されている規制機関がその役割を担うであろう。国内市場だけを相手としていた安全規制機関も国際競争にさらされる時代になっていくと思われる。

#### 4. 4 国際的に通用するライセンス制度の構築を

日本の安全規制にあつては、まずは原子力プラント輸出を想定したライセンスシステムの構築が急務と考えられる。この場合、日本の現在の安全規制体系を前提とせず、国際標準以上のものとして国際的に評価されるような新しい別の安全規制体系及び規格・基準の整備が必要と考える。国際標準的な規格・基準は、IAEA などの国際標準が既に整備されていることから、これらの規格基準と連動した最新のものを整備すればよいのではないか。IAEA で不足している規格基準類がある場合は、むしろ IAEA に積極的に働きかけて整備を促す方法もある。韓国では既に NRC や ASME などの国際的に信用のある規格・基準を国内に限らず海外向けの原子力プラントの安全規格基準としてそのまま採用している。

1995 年に発行した WTO/TBT 協定（貿易の技術的障害に関する協定）では、各国の工業製品等の規格及び規格への適合性評価手続き（規格・基準認証制度）が、不必要な貿易障害とならないよう、国際規格を基礎とした国内規格の策定及び規格作成の透明性の確保を規定している。このため多くの工業製品やシステムの輸出入に関しては国際規格との整合性を図るべく関係機関で多大な努力が払われてきたが、原子力の安全規格・基準についてはこれまでは国際統合化はそれほど厳しく求められなかったように思われる。このため、IAEA、ISO、IEC 等の最新の国際規格や、ASME、ASTM 等の国際的に信用のある実質的な国際規格との整合性確保の取り組みは、あまり進んでいないように思われる。実質的に差異は無いと証明するための受身的整合化作業は行われているが、国際展開を考慮した国際標準を基本とする整合化作業は進んでいないようである。

永年にわたる積み重ねにより形成された日本の安全規制体系は、国際標準との単純な統合化論では解決できない課題を内包しているが、国際統合化は日本の安全規制改革論に一石を投じるきっかけになるものと考えられる。国際統合化推進の最終目標の一つに、主に発展途上国を相手とする IAEA 自身による国際ライセンス供与システムを整備することがあげられる。日本として輸出用原子力プラントの安全性担保のためのライセンスを発行する意思、能力を将来ともに持ち得ないとするならば、今後日本が目指すべきは、世界市場で普遍的に通用することが期待される IAEA の原子力安全標準の一層の充実と、発展途上国等を相手とする IAEA 自身によるライセンスシステムの構築ではなかろうか。

#### 4. 5 まずは性能規定化された技術基準解釈の国際整合化を

二段階規制制度、ダブルチェック制度、一見重複して見える多数の検査制度等わが国独特の制度については、国際標準的な制度との整合性を図るには時間がかかると思われるが、技術基準の類はその科学的根拠に大きな違いはないであろうから、国際整合化はそれほど困難ではないものと思われる。我が国の原子力に関する技術基準は既に性能規定化され、技術基準に適合する具体的な規格基準の一例として「解釈」が定められている。技術基準に適合する規格基準は「解釈」以外に複数存在することを許容する制度になっている。「解釈」を定めるに時には、信頼できる JIS、学協会の民間国内基準等を引用することがある。国際標準との整合化という観点からは、原子力を除く分野では、例えば IEC や ISO との整合性を図った JIS 規格をまず制定し、これを解釈に引用するケースが一般である。どうしても国内事情により整合性が確保しづらい場合は、国際標準からのデビエーションとして国内向けの規格基準を併記することも認められている。このような状況を踏まえるならば、輸出用の原子力プラントに適用される安全基準は、国際標準と整合のとれたもので別途審査する制度を確立しても良いのではないか。

国内向けと海外向けとで安全規制が違うことは、我が国の原子力施設立地地元に説明が困難などの意見も出てこようが、顧客の要求仕様がそのようになっているのであれば、国際ビジネスでは顧客の要望に出来るだけ対応するのが基本である。輸出プラントでの安全性の実績が出てくれば、そのうち国内プラントについても地元の理解次第では国際標準適合安全基準の適用例が実現する可能性が出てこよう。

中越沖地震が発生した時に、柏崎原子力発電所の耐震設計とプラント健全性に疑問がもたれたが、IAEA から派遣された専門家の意見を聞くことによりメディアをはじめ、地元住民の不安は一定程度解消されたように思われた。国際標準の意味はここにあるのではなからうか。人間の心理としては、安全性の科学的根拠に不安があり、利害関係者による説明では不十分とした場合は、より中立的かつ専門的な者の意見を聞き、世界の常識と比較してはじめて不安を解消できるのかもしれない。国際整合化のメリットは国内対応でもありそうである。

#### 4. 6 日本型性能保証と国際整合化の関係

日本型性能保証システムに関して指摘されてきた問題点の中には、国際的に見てもユニークな安全規制に由来するものがある。繰り返しになるが、基本設計、詳細設計の二段階規制制度、ダブルチェック制度、一見類似する検査制度等について、解決すべき課題が少なからずあると言われている。国際的にみれば必ずしも合理的とは思われていないこれらの課題は、「国際標準との整合化」

を進めることによって、一定程度解決できるのではなかろうか。そのためには、原子力安全規制行政の中に、「国際標準を基本とする整合化」をミッションとする業務を組み込むことも一案である。積極的に国際整合化を進めることにより、これをきっかけに日本の安全規制システムの諸課題を解決して世界屈指の安全規制を確立し、そのうえで高い技術力、高信頼性、優れた耐震設計、多くの運転経験など日本の原子力関係企業の強みを活かしていけば、輸出競争にも勝ち抜ける「日本型性能保証」システムが実現できるものとする。

#### 5. プラント供給者が安全規制上一定の役割を果たせる規制

「IV公的研究開発機関が行う研究開発等」のところで記述されているように、プラントの性能保証を行うためには、目標性能を裏付けるデータが必要であり、研究開発の早い段階から安全規制機関、事業者、プラント供給者がこれらのデータへのアクセス権を持ち、手を携えて事業を作り上げていくシステムの構築が重要である。このようなシステムが構築された場合は、プラント供給者も安全規制上一定の役割を担うことが期待される。

##### 5. 1 プラント供給者は最終的な性能保証の要

安全対策の第一義的責任は事業者（法律上の許認可申請者）にあることは、これまでしばしば言われてきていることであるが、試験研究施設、商業施設に限らず、一般的に施設の設置運転に係る安全上のリスクを最もよく知る者は、試験研究を行った者であり、施設を設計、製造する者である。事業者による運転経験をその後の施設改造等に反映させるべき立場にあるのは事業者自身であり、設計・製造する者への伝達が重要である。しかしこの伝達がなかなか難しいように思われる。設計から運転以降まで一貫して性能及び安全に関する品質保証が行われることが理想的であるが、運転段階以降の性能及び安全対策の責任が別会社に分割される場合がある。このような場合は分割された会社間の連携をとり、施設全体の調和のとれた品質保証が行えるような品質保証システムの構築が不可欠である。<sup>57</sup>

---

<sup>57</sup> 電気事業法や原子炉等規正法で規制対象となるのは電気事業や再処理事業行おうとする事業者であって、施設の設計プラント供給者は含まれていない。このため、プラント供給者やその下請けに対する国の品質保証監査は及ばないこととなっている。なお、溶接方法の認可や燃料体検査については、プラント供給者が直接に申請し認可や検査を受けることができるが、何故この二つだけが直接申請できるようになっているのかは、調査不足のため不明である。米国の場合は、立地地点が具体化していない段階でも、原子炉設計の安全設計に係わる型式承認制度があり、プラント供給者はNRCから直接承認を受けることができ、早い段階で柔軟に設計変更等を行うことができる仕組みとなっている。最近ではわが国においても下請け企業等を直接検査するベンダーインスペクション制度が検討されている。

統合調整機能が不十分な場合は責任の分界点で往々にして事故トラブルが発生しやすい。施設の設置運転がどのようなリスクを内包しているのか、そのリスクを低減するためにどのような安全対策を講じる必要があるのかを最もよく把握して分析し、フィードバックして対策を講じることができるのは、当該施設を設計製造したプラント供給者であると考えられる。プラント供給者にこのようなフィードバック機能を求めようとするならば、試験研究成果を含め、性能・安全に係る情報は全てプラント供給者が入手し、統合調整機能を発揮して、事業者に対しては性能を保証し、国民に対しては安全に係わる品質保証が出来るような制度を構築する必要がある。これによって常に設計段階まで遡って、場合によっては試験研究段階までさえ遡って、選択幅の広い柔軟な性能・安全対策を検討することができるようになり、安全規制もより柔軟性が増すであろう。

#### 5. 2プラント供給者は安全対策に関する品質保証当事者としても期待される

日本の安全規制法体系下では、安全規制者と法律上の安全責任を負う事業者との間のコミュニケーションは、IAEAのIRRSで指摘されているように必ずしも良好とは言い難い。一方、安全規制者と実際の安全対策を設計製造する事業者との間のコミュニケーションは、プラント供給者が直接法律の規制を受けない立場にあることから、これも必ずしも良好とは言い難い。このことが安全規制に係る大きなステークホルダーとしてのプラント供給者の発言力を低下させているのではないかと思われる。世界市場にプラントを輸出するために、安全規制に関する世界標準との整合を最も期待する立場にあるはずのプラント供給者の発言力が弱いことが、日本の安全規制の国際統合化を遅らせている主な原因になっているのではないかと考えられる。

施設を発注し運転する事業者に最終的な安全対策の責任があるのは当然であるが、プラント供給者が事業者の背後にあって、主として製造物責任を担うことをもって十分との立場をとることは望ましい姿ではない。プラント供給者が設計製造した施設の安全に関する当事者として、国民に対し直接説明責任を果たす機会を失っていることは、国内での今後の原子力開発に限らず、海外市場への展開上も決して望ましい姿とはいえないであろう。原子力安全・保安院で既に採用されている「トピカルレポート制度」は、プラント供給者が規制当局に安全設計方針を直接説明できる制度であり、安全規制制度の柔軟性を確保する観点からも、この制度の積極的活用を期待する。

(付録)

中間報告案 執筆者一覧 (敬称略)

|        |            |                             |
|--------|------------|-----------------------------|
| 森 信昭   | 当研究専門委員会主査 | 日本電気協会                      |
| 天野 治   | 当研究専門委員会幹事 | 日本原子力研究開発機構<br>(当初、電力中央研究所) |
| 諸葛 宗男  | 当研究専門委員会幹事 | 東京大学                        |
| 山本 隆一  | 当研究専門委員会幹事 | 日本原子力研究開発機構                 |
| 岸本 洋一郎 | 当研究専門委員会委員 | 日本原子力研究開発機構                 |
| 村上 正一  | 当研究専門委員会委員 | 文部科学省<br>(当初、日本原子力研究開発機構)   |
| 山村 修   | 当研究専門委員会委員 | 日本原子力研究開発機構                 |

「核燃料サイクルの日本型性能保証システム」研究専門委員会委員一覧  
(平成 22 年 12 月 1 日現在；敬称略)

主査

森 信昭 日本電気協会

幹事

天野 治 日本原子力研究開発機構  
諸葛 宗男 東京大学  
山本 隆一 日本原子力研究開発機構

委員

井上 正 電力中央研究所  
巖淵 弘樹 日本原子力研究開発機構  
内山 軍蔵 日本原子力研究開発機構  
遠藤 芳浩 石川島播磨重工業  
大澤 隆康 日本原子力研究開発機構  
大場 一鋭 三菱マテリアル  
大森 勝良 日本原燃  
小野 清 日本原子力研究開発機構  
岸本 洋一郎 日本原子力研究開発機構  
久保田和雄 原子力安全基盤機構  
黒田 一彦 三菱重工業  
小林 広昭 電力中央研究所

|        |             |
|--------|-------------|
| 小山 正史  | 電力中央研究所     |
| 小山 智造  | 日本原子力研究開発機構 |
| 佐々木 憲明 | 原子力安全基盤機構   |
| 竹下 健二  | 東京工業大学      |
| 田中 知   | 東京大学        |
| 塚田 毅志  | 電力中央研究所     |
| 富田 邦裕  | 東京電力        |
| 内藤 孝   | ナイス         |
| 長崎 晋也  | 東京大学        |
| 中村 裕行  | 日本原燃        |
| 野村 茂雄  | 日本原子力研究開発機構 |
| 深澤 哲生  | 日立製作所       |
| 藤田 玲子  | 東芝          |
| 松村 達郎  | 日本原子力研究開発機構 |
| 村上 正一  | 文部科学省       |
| 森 行秀   | 三菱重工業       |
| 森谷 洋一郎 | 日本原子力研究開発機構 |
| 山崎 誠一郎 | 川崎プラントシステムズ |
| 山村 修   | 日本原子力研究開発機構 |
| オブザーバー |             |
| 山澤 正俊  | 日本原燃        |