

総合資源エネルギー調査会原子力部会
原子力の技術基盤の確保について（とりまとめ（案））

平成13年4月20日

はじめに	1
第1章 原子力の技術基盤の現状及び評価	
I. 分野別の現状及び評価	3
1. 既に民間で事業が定着している分野	3
(1) 原子力発電	
①原子力発電の現状	3
②軽水炉原子力発電の成熟化	3
③軽水炉原子力発電に係る技術力の現状	4
(2) ウラン燃料加工	5
(3) 低レベル放射性廃棄物処分(運転廃棄物)	5
(4) 原子力発電所の解体及びその廃棄物	6
2. 民間事業化への途上の分野	6
(1) ウラン濃縮	6
※ 遠心法ウラン濃縮技術の研究開発における過去の技術移転ケース	
(2) MOX燃料(混合酸化物燃料)加工	7
(3) 再処理	8
3. 今後の事業化に向け引き続き研究開発が必要な分野	9
(1) 高レベル放射性廃棄物処分	9
(2) 高速増殖炉及び関連する核燃料サイクル技術	10
(3) TRU核種を含む放射性廃棄物、ウラン廃棄物処分	10
II. 原子力に係る研究開発投資等、人材の確保・育成の現状	11
1. 原子力に係る研究開発投資等	11
2. 人材の確保・育成	11
第2章 原子力の技術基盤を確保するために必要な対応策	
I. 国の行うべき対応策	13
1. 基本的方針の策定と実施	13

2. 国が中心となって取り組むべき研究開発の分野-----	13
(1)安全確保のために必要あるいは有用な研究開発-----	13
(2) 将来の技術的な不確実性を可能な限り小さくするための研究開発であって、市場及び事業主体に任せているのみでは停滞するおそれのあるもの-----	14
① 高レベル放射性廃棄物処分のための研究開発-----	14
② TRU核種を含む放射性廃棄物、ウラン廃棄物処分-----	15
③ MOX燃料再処理のための研究開発-----	15
(3) エネルギーの長期的安定供給、環境問題の解決を可能とする現実的選択肢を広げるための研究開発-----	15
①高速増殖炉及び関連する核燃料サイクル技術-----	16
②革新的な実用原子力関連技術の開発-----	16
3. 研究開発推進のための環境の整備-----	17
(1)中長期的な研究計画の策定-----	17
(2)研究開発の実施に必要な予算、定員の確保-----	17
(3)安定的・計画的な研究のための環境整備-----	17
(4)原子力委員会への期待-----	18
4. 人材の確保・育成について国が行うべき対応策-----	18
(1)国の研究機関における人材確保-----	19
(2)大学における人材育成-----	19
(3)研究機関等における教育-----	20
5. 民間が行う技術基盤の確保の支援及び民間への技術移転の支援-----	20
(1)ウラン濃縮-----	21
(2)MOX燃料加工-----	22
(3)再処理-----	23
Ⅱ. 主として民間で行われるべき対応策-----	23
1. 原子力施設の操業・保守等の着実な実施-----	24
2. 事業者間、プラント設計者間のネットワークの形成-----	24
3. 民間における人材育成-----	24
4. 民間における研究開発-----	25
おわりに-----	26

総合資源エネルギー調査会は、総合部会において、2000年4月以来、エネルギーを取り巻く各種情勢の変化を踏まえた今後のエネルギー政策の検討を進めているところである。この過程において、当原子力部会に対して、「昨今のエネルギーを取り巻く各種情勢の変化を踏まえた今後の原子力の技術基盤等の確保はいかにあるべきか」について審議を行うよう付託がなされた。

この付託が行われた背景は、原子力エネルギーが他のエネルギー源と比較して、格段に技術集約型のエネルギー源であるため、最近の年間あたりの原子力発電所建設基数の減少等によりこの技術を支える技術基盤の確保が可能であるのかとの懸念があることから、今後のエネルギー政策における原子力エネルギーの役割を検討する上で、原子力に関する技術基盤が現在どのような状況にあり、今後とも健全な状況を維持するためにどのような対応策を必要とするのかを明らかにしておくことが必要との認識があったためである。

これに関連して、原子力委員会は2000年11月に「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」（以下「原子力長期計画」という。）を取りまとめている。原子力長期計画では、「原子力発電を引き続き基幹電源に位置付け、最大限に利用していくことが合理的」、「安全性と核不拡散性を確保しつつ、また、経済性に留意しながら、使用済燃料を再処理し回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用していくことを基本とすることは適切」とした上で、国と民間等における技術開発の役割分担にも言及している。

さらに、省庁再編の結果、2001年1月からスタートした新たな行政体制においては、経済産業省はエネルギーに関する原子力政策を担当することとなり、当原子力部会は、原子力発電のみならず、これに関係する核燃料サイクル、放射性廃棄物処理処分を含めた原子力のエネルギー利用全般に係る政策課題について、原子力長期計画を具体化するための検討を行うことを求められている。

そこで、当原子力部会においては、原子力エネルギーが、エネルギーの安定供給の確保や地球環境問題への対応等の課題に貢献するエネルギーであり、その利用にあたっては、安全の確保を大前提とするため、継続的な研究開発や優秀な人材の供給等が必要であることから、原子力のエネルギー利用に関連する技術全般について、①技術基盤の現状、②将来にわたる技術基盤の確保のために必要な措置、特にその中で、③個々の技術分野の成熟度に合わせた国の果たすべき役割の明確化について検討を行った。

検討にあたって、本報告書では、「技術基盤が確保されている」ためには、原子力発電所を含む原子力施設の建設、運転及び保守、燃料の製造、使用済燃料の再処理、放射性廃棄物

の処理・処分、施設の廃止措置等の各分野において、次の条件が、個々の技術の成熟度等に応じて、適切に満足されていることが必要との認識に立つこととした。

- ①技術の改良・革新や規制活動に利用可能な科学的知識や技術を生み出す研究活動が推進されていること
- ②技術の改良・革新案を探索し、そのフィージビリティを実証する研究開発活動が推進されていること
- ③産業界に実現すべき改良・改善を適切に実施する設計・製造技術力があること
- ④これらの研究、規制、開発、生産、利用活動を担う人材が適切に供給され、維持されていること
- ⑤研究活動を行うために必要な研究施設が利用可能な状態に維持されていること
- ⑥これらの状態が、それぞれの取り組みに携わる者の有機的な意思疎通と連携により達成されること

なお、原子力の技術的側面と密接な関係にある原子力の安全確保等については、別途、原子力安全・保安部会において検討が行われている。

1. 分野別の現状及び評価

「原子力の技術基盤」の現状把握及びその分析は、国及び民間の役割分担を明確にする観点から、「既に民間で事業が定着している分野」、「民間事業化への途上の分野」及び「今後の事業化に向け引き続き研究開発が必要な分野」に大別した上でこれを行った。

1. 既に民間で事業が定着している分野

(1) 原子力発電

① 原子力発電の現状

我が国においては、2001年3月末現在、51基の原子力発電所が運転中であり、2000年の年間総発電電力量は約3,049億kWhとなっている。これは、我が国の総発電電力量の約3分の1を占めている。

我が国の商業用原子力発電の歴史は、1966年の東海発電所（ガス炉。廃止措置に向け停止中。）、1970年の敦賀1号（BWR）及び美浜1号（PWR）の運転開始に遡る。これらの発電所は、いずれも英米からの技術導入による発電所であるが、国内メーカーはこれらの製造・建設等の下請けを担うことにより技術力を蓄積して海外技術を自らのものとし、その後の原子力発電所の建設においては、主体的な役割を果たしてきている。一方、電気事業者は、メーカーと一体となって初期故障、トラブル等を克服し、原子力発電所の運転経験を積み重ねてきている。

この間、日本原子力研究所はその所有する試験研究炉や各種実験施設等を活用して、原子力を支える基盤的な研究、燃料照射・照射後試験、安全解析手段の開発と検証を含む安全性研究等を実施し、広範な分野で人材育成を含めて日本の軽水炉技術の展開及び定着化を支えてきている。また、(財)原子力発電技術機構等の機関は改良標準化計画等に係る確証・実証試験、あるいは安全解析等の分野で貢献してきている。

② 軽水炉原子力発電の成熟化

原子力発電の利用が始まって以来の約30年間の平均運転開始基数は、1970年代は2基/年、80年代は1.6基/年、90年代は1.5基/年であり、このところ、ゆるやかな減少傾向となっている。1997年以降は新規運転開始はないが、現在4基が建設中であり、2001年度電力供給計画によれば、今後10年間に13基の運転開始が計画されている（参考1）。

運転中の原子力発電所における電気事業法及び原子炉等規制法¹に基づくトラブルの報告件数は、運転基数の増加及び平均運転年数の増加にも関わらず、1993年以降、年間10件台の低いレベルで推移しており、特に計画外停止頻度は世界的に見ても低く維持されている（参考2、3）。トラブルについては、初期故障に関す

¹核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律

る知見の集積や教訓の反映等により、運転開始時期が新しいもののほど運転開始直後から少なく、また、古いものであっても、最近は少ない状態で推移している。

また、原子力発電所の設備利用率は、近年80%以上で安定的に推移しており（参考4）、法定の定期検査、燃料交換、機器等の保守・補修及び長期的に計画された大型部品の交換等を考慮すれば、かなり上限に近づきつつあると考えられるが、海外においては90%を超える設備利用率を達成している事例も見受けられる。

③ 軽水炉原子力発電に係る技術力の現状

前述の安定した高い設備利用率と低いトラブル報告件数に見られるように、我が国の原子力発電所の運転は優れた実績を示している。これについて、設計・製造・建設から運転及び保守の各段階における技術力を評価すると以下の通りである。

ア) 設計・製造・建設：

原子力発電所の設計・製造・建設技術は、当初は海外からの技術導入によるものであったが、その後の累次の発電所建設経験を経て国内メーカーに技術が蓄積されてきた。その上で、3次に亘る改良標準化計画とその建設経験のフィードバックにより、国内メーカーは、独自の設計能力を有するに至っている。さらに、製造・建設についても特殊材料の調達、特殊大型機器の製造、溶接技術の確立、建設工法の改良等を通じ、国内メーカーは設計能力とあわせ主契約者としての十分な技術力を備えるに至っている。

イ) 運転：

安定した運転は運転に携わる者の高い技能とモラルによるところが大きい。これは、電気事業者が適切な運転員の長期的養成計画に基づき、発電所の内外に設置されている運転訓練シミュレータによる運転訓練（参考5、6）、原子炉運転のための資格認定制度等を通じて運転員の技能とモラルを高いレベルに維持しているためと評価できる。

ウ) 保守：

少ないトラブル報告件数は、予防保全の徹底によるところも大きい。我が国の原子力発電所では予防保全を重視する考え方を基本に国内外で発生したトラブルの対策を各発電所へ積極的に水平展開するなど、トラブルの未然防止に努めてきた。これらの保全活動は、従来、メーカー及び関連企業を中心に行われてきたが、近年では、発電所によって程度は異なるものの、関連企業を中心とした体制にシフトする傾向にある。今後各発電所の運転年数が長期化していくなかで原子力発電所が引き続き少ないトラブル報告件数を維持するためには、高経年炉に対してはこのことを

²例えば、12ヶ月＋1ヶ月（電気事業法に基づく定期検査期間）に一度、55日間定期補修（10年程度を見込んだモデル的な検査の例）を行うとし、起動・停止等のロス（約2%）を勘案すれば、計算上は約87%の利用率となる。

踏まえた予防保全計画を取り入れるなどして、引き続き予防保全活動を徹底していくことが必要である。

以上のことから、我が国の軽水炉原子力発電に関する技術基盤は確保されているといえる。しかしながら、今後十数年以内に、現在の技術基盤を支えている軽水炉原子力発電の国産化過程で設計に携わった人材が高齢化し定年を迎える。さらに、世界的にみて、原子力発電所の新設基数は減少しており、民間の研究開発投資意欲は必ずしも旺盛とは言えない。したがって、このような状況において、グローバル化の進展、他電源との競争の激化する環境で、いかにして我が国が、必要十分な技術基盤を長期的に確保していくかが今後の重要な課題である。

(2) ウラン燃料加工

ウラン燃料の加工事業は既に民間事業として確立し、我が国で使用されるウラン燃料の加工のほとんど全てが国内で実施されているが、一部の燃料は国際的な市場においても調達されている。国内で製造加工が始まった当初は、燃料ピンホール発生等のトラブルが発生したが、燃料設計の改良、品質管理の向上、原子炉の運転方法の改善により、現在はそのようなトラブルはほぼ克服されている。この結果、コスト削減等の要請に対応していく中であっても、低いピンホール率に代表されるように燃料の不良率が他の国と比べ極めて低い値で推移している（例えば、米国では過去5年の原子炉1基当たりの燃料リーク割合は0.6～1.1体/基。一方、日本では0.04～0.08体/基。）。また、燃料の高燃焼度化の要請に伴う新しいタイプの燃料集合体の開発・製造にも自力で適切に対応してきている。

今後は、将来的な加工役務量の大幅な増加が見込めない中、ユーザーからの更なるコスト削減要請に対応しつつ、この技術基盤を維持していくことが課題である。

一方、安全文化に関して、1999年にJCOが転換試験棟において実施していた高速実験炉「常陽」の燃料製造に関する作業において臨界事故が発生したため、我が国の原子力産業における安全文化の健全性に強い懸念が生じた。当該事故に対する原子力安全委員会の報告書の中で「安全文化の徹底」が示され、原子力災害対策特別措置法の制定とともに、原子力産業界はニュークリア・セイフティ・ネットワークを形成し、安全文化の維持・再確認に取り組んでいる。

(3) 低レベル放射性廃棄物処分（運転廃棄物）

低レベル放射性廃棄物のうち原子力発電所の運転に伴い発生する廃棄物については、1992年以降、日本原燃燃六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおいて、既に約13万本の廃棄体（200リットルドラム缶）の定置が完了し（2001年1月末現在）、この処分事業は円滑に行われている。

(4) 原子力発電所の解体及びその廃棄物

試験研究用原子炉の解体及びその廃棄物の取り扱いについては、既に日本原子力研究所において経験がある。商業用原子炉についても、1998年に日本原子力発電所東海発電所が運転を終了し、本年3月末に全ての使用済燃料を炉心から取り出し、現在、廃止措置段階への移行に向け準備中である。これまで、国及び電気事業者により解体に関する研究開発が進められており、解体技術自体は、技術的に概ね実用の域に達している。今後、数年を目処に作業者の被ばく低減等のための研究開発が行われている。さらに、民間において実際の解体に向け、解体作業の効率的な実施等への取組が必要である。

また、原子力安全委員会は、主な原子炉施設のクリアランスレベル（放射性物質として扱う必要がない物を区分するレベル）の設定についての検討を終了し、現在、その検閲方法について検討中である。

2. 民間事業化への途上の分野

民間事業化への途上の分野（ウラン濃縮（新型遠心機開発）、MOX燃料加工、再処理）の技術基盤の現状は以下の通りである。

(1) ウラン濃縮

ウラン濃縮に係る技術は核不拡散上の機微技術であり、この技術を保有する国は限られている上に、技術情報の多くが非公開となっていることから、我が国においては、一貫して純国産技術として研究開発が進められてきた。現在我が国で商業化されている遠心分離法については、1959年から始められた理化学研究所における基礎研究が、旧原子燃料公社（後に動力炉・核燃料開発事業団、現核燃料サイクル開発機構）に引き継がれて、実用化に向けた開発が進められ、1969年の小型遠心機による濃縮試験の成功を受けて、現在の核燃料サイクル開発機構人形峠環境技術開発センターにおいて1979年からパイロットプラント、1988年からは原型プラントが運転開始された。これらの施設においては、本年までに622トンのUF₆が濃縮され、技術としては、ほぼ実用レベルに達した。

日本原燃では、核燃料サイクル開発機構からの技術移転を受け、上記原型プラントと同型式の遠心分離機により、商業施設としてウラン濃縮工場を建設し、1992年3月に年間150トンSWUの規模で操業を開始した。その後増設を経て、現在、年間1,050トンSWU規模の工場となっており、生産出荷量の累計は835トンUF₆となっている。ただ、初期に運転を開始した年間150トンSWU分の運転ユニットについては、遠心機の不具合から停止台数が多くなったため、昨年同ユニットは停止され、その原因究明が行われている。また、日本原燃は、同工場の規模を年間1,500トンSWUまで増強することを目指して開発を進めていた「高度化機」について、所期の目標達成が困難であることが判明したことから、今後は、核燃料サイクル開発機構が独自に開発を進めてきた「先導機」をベースと

して、海外事業者との競争をも念頭に置き、より高性能で経済性に優れた「新型遠心分離機」の開発を行うことを計画している。

新型遠心分離機開発に当たって日本原燃協は、昨年11月、これまでの遠心分離機の共同開発の際の問題点の一つであった開発責任の明確化を実現するため、核燃料サイクル開発機構、メーカーの技術者を結集して一元化した開発体制を構築すべく、「ウラン濃縮技術開発センター」を設置した。ウラン濃縮は、核燃料サイクル開発機構では整理事業とされており、今後は国内では日本原燃協が唯一の事業者かつ研究開発機関となることから、国際競争力のある濃縮技術の実現に総力を挙げて取り組むために、これまでに蓄積された技術を日本原燃協に集約、継承、蓄積し、技術力の維持向上等を図るべく、開発体制のより一層の強化と整備を進めることが重要である（参考7、8）。

※ 遠心法ウラン濃縮技術の研究開発における過去の技術移転ケース

国の研究開発機関から民間企業への技術移転を行うに当たって、遠心法ウラン濃縮技術の研究開発及びその事業化における2つの事例が参考になる。一つは、核燃料サイクル開発機構が開発した遠心分離機に係る技術の、現在運転中の六ヶ所ウラン濃縮工場への技術移転であり、もう一つは、その後の遠心分離機の高性能化に係る研究開発である。

前者に関しては、核燃料サイクル開発機構の原型プラントが安定した運転実績を示したのに対して、その実証試験と並行してほぼ同時期に同型の遠心分離機を導入した六ヶ所濃縮工場の一部に、安全性には問題ないものの、ウラン化合物の付着等に起因すると推定される遠心分離機の早期停止事象が発生している。このことは、研究開発により得られた文書化されないノウハウを含む包括的な技術的知見をプラント機器の設計・製造・建設・運転の各段階において確実に反映できるようにすることが重要であることを示唆している。

また、後者においては、核燃料サイクル開発機構と民間の共同研究により開発を行った遠心分離機が商業プラントとしての要求を満たすことができなかったが、これは、この共同研究における責任の所在が必ずしも明確でなかったことや、実際の研究場所が複数に分かれていて、各機関の有する知見、ノウハウを集約し相互に活用することが困難な研究環境で進められていたことにも原因があったと考えられる。

(2) MOX燃料（混合酸化物燃料）加工

MOX燃料加工技術の中心となるプルトニウムの取扱技術については、1966年以来、核燃料サイクル開発機構が、新型転換原型炉「ふげん」、高速実験炉「常陽」、高速増殖原型炉「もんじゅ」のMOX燃料加工のための研究開発を通じて、世界で初めてFBR用MOX燃料の遠隔自動化による製造技術を独自に確立したほか、大量のプルトニウム粉末取扱施設における高度な保障措置対応技術、分析技術

等を開発した。同機構はこれまでに30年以上にわたるプルトニウムの取扱経験を有するとともに、既に1500体以上のMOX燃料の製造実績を有しており、一体の燃料破損もなく、世界的に見ても優れた製造技術を有していると評価できる

国内の軽水炉用 MOX 燃料加工事業については、2000年11月に日本原燃協がその事業主体となることが決定され、六ヶ所再処理工場の操業開始（2005年）から3～4年後頃に操業開始する最大加工能力約130トン／年の事業化に向けた取組が行われている（参考8）。ここでは、全生産工程において必要となる基盤的技術であるプルトニウムの安全取扱技術、保障措置技術、MOX 粉末取扱技術等は、核燃料サイクル開発機構から技術移転される一方、国内の民間ウラン燃料加工事業で長年にわたって培われ、実績を有する生産技術及び品質管理技術が応用されるとともに、海外で技術的に実証されているMOX粉末調整技術も参考とすることとなっている（参考9,10）。

これらの要素技術は、それぞれかなりの実績を有するものであるが、これらを円滑かつ確実に移転、定着させていくとともに、個々の技術を組み合わせて使用することによる不都合が生じないことを技術的に確証していくことが必要である。特に、我が国において原料として用いられるMOX粉末は、核燃料サイクル開発機構においては十分な取扱い実績があるものの、海外で利用されている粉末とは特性の差があるので、海外MOX粉末調整技術については、我が国の原料MOX粉末に対する適用性を確証していくことが必要である。また、核燃料サイクル開発機構をはじめとした関係機関の支援、協力により、事業主体である日本原燃協の体制強化を図っていくことも重要な課題である。

その際、核不拡散や核物質防護上の制約のもと、MOX燃料加工もまた国際間の自由な情報交換が制限されていることから、国内で開発された技術を最大限活用しつつ技術基盤を確立していくための体制の整備がとくに重要である。

（3）再処理

我が国における軽水炉使用済燃料再処理の研究開発は、日本原子力研究所の再処理特研での実験室規模での研究に始まるが、実用化に向けての開発は、これまで核燃料サイクル開発機構を中心に実施されてきた。

核燃料サイクル開発機構の東海再処理施設は、ピューレックス法による再処理を既に実用化していた仏国の技術の導入により建設された。しかしながら、主要機器である溶解槽、酸回収蒸発缶等の大型機器の腐食トラブルやせん断機等の機械的トラブル等を経験したことにより、耐食性材料の開発、遠隔補修技術の開発、工程・設備の改造などを行って技術上のトラブルを克服し、さらに、プラント規模での再処理技術の実証、安定運転に向けての技術改良を行って運転・保守を含めた技術の蓄積・定着が着実になされてきた。同機構の東海再処理施設における1977年以来これまでの累積再処理量は950トンに達している。

一方、日本初の商業用再処理工場である日本原燃協の六ヶ所再処理工場は、東海

再処理施設と同様にピューレックス法による再処理施設であるが、実用可能な最良技術を国内外から導入して設計が行われ、具体的には、ウラン脱硝、ウラン・プルトニウム混合脱硝、高レベル廃液ガラス固化には核燃料サイクル開発機構の技術、せん断、溶解、分離、精製等には仏国の技術、ヨウ素除去には独国の技術等が用いられている。

核燃料サイクル開発機構の技術は、1982年に日本原燃協と核燃料サイクル開発機構との間で締結された技術協力基本協定に基づいて日本原燃協に技術移転され、また、海外導入技術については、海外ライセンサーが基本設計を行い、国内メーカーが海外ライセンサーの技術支援を受けて詳細設計・製作・据付を行っている（参考 11）。さらに、これらの技術移転の際には、六ヶ所工場の仕様に合わせて技術の改良が行われるとともに、モックアップ設備により製造方法、操作条件等の検証が行われている。このような過程を通じて、設計、製造、建設技術が、民間事業者である日本原燃協及び国内メーカーに蓄積される努力が図られてきている。

さらに、六ヶ所再処理工場の運転要員について、東海再処理施設での運転・保守等の教育訓練、モックアップ設備での訓練をはじめ、運転操作の理解習得を目的とした教育訓練が行われている（参考 12）。現在、六ヶ所再処理工場は、2005年7月操業開始に向けて施設を建設中であり、2001年2月末現在の工事進捗率は約62%となっている。2001年4月からは一部の機器について通水作動試験が開始される予定であり、建設から試運転、運転へとシフトしていく重要な時期である。今後は、これまでに培った技術を基に、試運転段階で設備の性能確認、不具合の摘出・改善等を実行するとともに、東海再処理施設や海外再処理工場での運転・保守の技術、経験を確実に習得していくことが重要である（参考 13）。

3. 今後の事業化に向け引き続き研究開発が必要な分野

今後の事業化に向けて引き続き国による研究開発が必要な分野（高レベル廃棄物処分、高速増殖炉及び関連する核燃料サイクル技術、TRU核種を含む放射性廃棄物処分等）の技術基盤の現状は以下の通りである。

（1）高レベル放射性廃棄物処分

高レベル放射性廃棄物の処分は、原子力の開発利用のなかの最大の課題の一つであり、現に社会に存在する、避けては通れない課題である。

2000年5月に、高レベル放射性廃棄物の最終処分の計画的かつ確実な実施を目的とした「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が成立し、同年9月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（基本方針）」及び「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画（最終処分計画）」が閣議決定され、同年10月に処分実施主体である「原子力発電環境整備機構」が設立認可された。

最終処分計画では、文献調査を実施した後、概要調査を実施し、平成20年代前半を目途に精密調査地区を選定し、平成30年代後半を目処に最終処分施設建設地

を選定し、平成40年代後半を目処に最終処分を開始するとされている。

我が国の地質環境、地層処分の工学技術及び地層処分システムの安全評価の研究分野においては、これまでの研究成果が、1999年11月の核燃料サイクル開発機構による「我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—」としてとりまとめられている。本とりまとめは、平成12年に、原子力委員会により、「我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性が示されているとともに、処分予定地の選定と安全基準の策定に資する技術的拠り所となることが示されている」と評価されている。

最終処分に関する技術開発を進めるために必要な基盤的な研究を行うための深地層研究施設は、核燃料サイクル開発機構により、第一段階として、地表から行う調査研究が、岐阜県瑞浪市及び北海道幌延町において進められている（参考14）。

これまで、高レベル放射性廃棄物の最終処分に関する研究開発は核燃料サイクル開発機構を中心に進められてきたが、今後は処分実施主体である原子力発電環境整備機構や核燃料サイクル開発機構等の機関が適切な役割分担と密接な連携の下で、技術・研究開発と技術移転を行わなければならない段階に至ってきている。

（2）高速増殖炉及び関連する核燃料サイクル技術

高速増殖炉については、諸外国では、実験炉は1940年代後半から60年代にかけて、原型炉は1960年代から80年代にかけて建設・運転が行われ、一部については現在も運転が続けられている。我が国では、実験炉「常陽」が1977年に運転を開始し現在も運転を継続している。原型炉「もんじゅ」については、1994年に初臨界は達成したものの、1995年12月の2次系ナトリウム漏えい事故により現在は運転を停止している。

我が国では、「常陽」「もんじゅ」の建設等により、これまで設計、建設、運転に関する技術的知見が蓄積されてきた。現在は、原子力長期計画において、高速増殖炉は、「不透明な将来に備え、将来のエネルギーの有力な選択肢を確保しておく観点からその開発に取り組むことが重要」とされ、核燃料サイクル開発機構においては、高速増殖炉及び関連サイクル技術の実用化像とそこに至るための研究開発計画を提示するため、電気事業者等の協力を得て高速増殖炉及び関連サイクル技術に関する多様な選択肢から実用化努力を重点的に行うべき対象を絞り込む「実用化戦略調査研究」が実施されている。同調査研究では、電気事業者、メーカー等の高速増殖炉及び関連する核燃料サイクル技術に関する研究者・技術者が多数核燃料サイクル開発機構に出向して研究開発が行われている。今後は、高速増殖炉及び関連する核燃料サイクル技術の実用化に向け、長期的な観点から、着実に研究開発を進めていくことが求められる。

（3）TRU核種を含む放射性廃棄物、ウラン廃棄物処分

原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会において、TRU核種を含む放射性

廃棄物については2000年4月に、ウラン廃棄物については同年12月に、それぞれ処分方策の基本的な考え方に関する報告書が取りまとめられた。また、安全規制についても、原子力安全委員会において、検討が始められている。処分方法については、核燃料サイクル開発機構、日本原子力研究所、電気事業者等で研究開発が進められている。今後、安全規制の検討の進展にあわせて、処分方法をより具体的に検討する段階に向かっている。

II. 原子力に係る研究開発投資等、人材の確保・育成の現状

1. 原子力に係る研究開発投資等

原子力は技術集約型のエネルギー源であることもあって、その安全性、信頼性、経済性の向上には研究開発が大きく貢献してきた。原子力に関する研究開発には、日本原子力研究所、核燃料サイクル開発機構等の研究機関、大学、メーカー、電力等が幅広い分野で取り組んでおり、その研究費総額は年間約4,500億円（1999年度）である。しかし昨今、エネルギー分野全体の研究費が増加している中で、原子力分野（核燃料サイクルを含む）については減少ないし横這い傾向となっている（参考15）。この中で、特に民間の研究開発費については、軽水炉の高経年化対策への取組が一段落したこと等により、1990年代半ば以降、減少している（参考16,17）。

軽水炉による原子力発電に関する技術の研究開発については、三次にわたる改良標準化の成果であるABWRが建設運転されて良好な運転実績を示していることを踏まえて、現在は、さらに経済性と安全性に優れた次世代大型軽水炉を実現するための検討が電力会社とメーカーとの間で進められている。また、研究機関等では、中長期的観点に立って、革新的な技術を用いた原子炉（軽水炉以外の炉型を含む）の実現可能性についての技術的検討が行われている。

核燃料サイクルに関しては、上記I. 2及び3に述べた核燃料サイクル開発機構における研究開発以外にも、日本原子力研究所における臨界安全性の実験研究と再処理プロセスの基礎研究がある。

さらに、大学では基礎研究が、放射線医学総合研究所では放射線の生物や環境への影響研究等が行われている。これらの研究は、それ自体は事業化を期待できる性格のものではないが、例えば、高レベル放射性廃棄物処分のための研究開発に、放射線医学総合研究所で実施された環境中の核種挙動研究の成果が活用される等、原子力発電や核燃料サイクルに関する研究開発を進めるにあたり、これら機関における研究成果も大変有効なものとなっている。

2. 人材の確保・育成

電気事業において原子力に携わる研究者・技術者数は以前は年々大きく増加してきたが、原子力発電所の新增設数の減少等の中、1995年度以降は、8,000人強で概ね横這い傾向にある。また、主として原子力発電所の運転・保守に携わる放射

線業務に従事する技術者数は、発電所基数に見合った形で、1993年度以降、70,000人前後で維持されている（参考18）。一方、鉱工業における原子力機器の設計・製造等に携わる研究者・技術者数は、1992年度以降、減少傾向にあり、1998年度は約26,000人となっている（参考19）。国の研究機関である日本原子力研究所、核燃料サイクル開発機構においては、定員が減少し、2000年度はそれぞれ約2,300人、約2,600人となっている（参考20,21）。

これらの原子力に携わる研究者・技術者は、原子力だけでなく、電気、機械、化学等幅広い分野の専門背景を有する研究者・技術者で構成されている。これは原子力技術が総合的技術であることを示すものである。

このうち、大学における原子力工学系学生数の最近の推移をみると、数字の上では、学部進学率が減少傾向にあり、大学院入学者数（修士、博士とも）は横這い傾向にある（参考22）。これは、原子力に対する人気の低下の影響が考えられるが、学部学科の再編成等による影響も推定される。学部学科の再編成については、最近の大学院重点化などの動きによって、国立大学の工学部の各学科の再編が行われ、他の学科と同様、原子力あるいは原子核工学科についても、物理工学系、エネルギー工学系等大ぐくりの学科編成に組み込まれ、原子力（あるいは原子核）工学科の名称がなくなったケースが多い。これにより、原子力の履修課程が無くなったわけではないが、この結果、従来の学科群が互いに厳しい競争環境下におかれることになるため、原子力関係の履修課程の担当者には魅力ある教育方法・内容の開拓が求められている。

大学からの電力会社、メーカー、研究機関への人材の供給については、採用数が減ったこともあり、それぞれが必要とする人材の量的な確保という点で現在は問題は生じていないが、大学の教育内容が工学としての実学的な色彩を薄めていくなか、原子力工学等特定の分野を専攻した人材を、今後も大学に無条件で期待することは困難になると考えられるため、人材を採用する側においても、このような状況を踏まえた上で、人材をいかに確保していくかが重要な課題となる。

また、これらの人材の養成については、大学における基礎的な能力の修得後は、卒業後の社内の教育(OJT等)により行われているが、外部の機関による教育も実施されている。例えば、日本原子力研究所では基礎的な実験・実習重視のRI・放射線取扱課程、原子炉工学課程及び法律に基づく指定講習等を中心にしつつ、規制に携わる官公庁職員への研修も実施して、これまでに48,000人を越える原子力、RI、放射線技術者の育成を行ってきた。

我が国が、今後とも長期にわたって原子力発電に中核的な電源としての役割を期待するには、その技術基盤を今後とも確保し続けることが不可欠である。このため、第1章で述べた現状及びその分析を踏まえれば、国及び民間が適切な役割分担の下で、今後以下のような対応を行う必要がある。

I. 国の行うべき対応策

1. 基本的方針の策定と実施

原子力委員会は、これまで原子力の研究、開発及び利用についての基本的方針として原子力長期計画を策定してきている。国が、このように長期的な観点に立って基本的計画を示し、それに基づいて研究開発の実施や所要の制度の整備等を行っていくことは、国と民間における優れた研究開発活動の推進、民間における技術基盤充実のための継続的な投資や優れた人材の集積等を促すため、原子力の技術基盤の確保にとって極めて重要である。原子力長期計画がこのような役割を十分に果たし得るには、その策定作業に国民各層の参加を得るとともに、策定開始時、さらには策定案が取りまとめられた段階で広く意見を聴取して、幅広い支持を得たものとする必要がある。昨年11月に策定された第9次の原子力長期計画は、様々な意見を有する者の参加の下に開催された原子力政策円卓会議の提言をも踏まえつつ、広範多岐にわたる分野の有識者により構成された長期計画策定会議における審議を経てとりまとめられた上で、策定案に対して広範なパブリックコメント手続により広く一般の意見を求めてその反映に努めて決定されたものである。

今後は、このような作業を経て決定された原子力長期計画を具体的に実現していくことが肝要であり、そのためには、特に以下のような対応策を講じることが喫緊の課題である。

2. 国が中心となって取り組むべき研究開発の分野

(1) 安全確保のために必要あるいは有用な研究開発

原子力の利用に当たって、安全の確保は最大の前提であり、安全性の向上に対する不断の努力が社会的に要請されている。

安全規制を効果的かつ効率的に実施するために必要あるいは有用な試験・研究、その成果が基盤的あるいは炉型を横断して安全確保に貢献する課題、リスク管理、品質保証の技術と科学等の原子力一般領域における課題等については、国が主体となって研究開発を実施するべきである。ただし、規制と安全確保の双方に役立つ試験研究を効率的、効果的に実施するためには、産学官が協力して実施することも一つの方策である。

一方、事業者が用いる安全性向上に資する技術の研究開発は、一義的には民間の責任で実施されるべきであるが、そうした研究開発課題の中には、その技術の実用化が他の事業者にも追加投資圧力を高めることが予想されるもの、あるいは、当該技術の開発が原子力技術全体の安全性向上に資することが予想されるものの、開発者によるそのための投資を回収する仕組みが明らかでないものもある。このような課題については、国³が主体となって研究開発を行うことや、民間の研究開発活動を支援する必要がある。なお、事業者が用いる安全性向上に関する研究開発は、多かれ少なかれこうした側面を有しているため、国が関与する研究開発課題を決定するに当たっては、これらの側面が十分に強いものに限定されるべきである。

(2) 将来の技術的な不確実性を可能な限り小さくするための研究開発であって、市場及び事業主体に任せているのみでは停滞するおそれのあるもの

核燃料サイクルにおける高レベル放射性廃棄物の安全な地層処分技術の確立等は、事業化に向けて将来の技術的な不確実性を可能な限り小さくするものであり、事業主体のみならず、国民全体の利益からみても重要な研究開発課題である。しかしながら、これら技術の研究開発のうち、研究開発期間が長期にわたり、基礎基盤的研究を必要とするものについては、研究成果と研究の本来の目的である具体的事業との直結性が低く、その研究成果が本来の目的以外のより広範な分野に役立つ面をも有している。また、核不拡散上の機微技術のように、不特定多数の者が研究開発に携わること自体が適切でない場合もある。したがって、このような研究開発課題については主に国が主体となってその研究開発に当たるべきである。

このような研究開発の例としては以下のものが挙げられる。

①高レベル放射性廃棄物処分のための研究開発

これまで、高レベル放射性廃棄物の最終処分に関する研究開発は、核燃料サイクル開発機構を中心に進められており、その安全性評価等は我が国の幅広い地質環境条件を対象として進められてきた。今後は処分実施に向けて、実施主体による概要調査地区等の選定の進展に応じ、特定地域を対象とした地質環境の把握、より詳細な工学的検討及びその合理化、それらを用いた安全性評価等が必要となる。

高レベル放射性廃棄物の地層処分技術のうち、国及び関係機関は、最終処分の安全規制、安全評価のために必要な研究開発や深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発及び地層処分技術の信頼性の向上に関する研究開発等を適切な役割分担の下で積極的に進めていくことが必要である。特に、核燃料サイクル開発機構は、これまでの研究開発成果を踏まえ、今後とも深地層の研究施設、地層処分放射化学研究施設等を活用し、深地層の科学的研究、実測データの着実な蓄積とモデル高度化によ

³ 本報告書においては、「国」を核燃料サイクル開発機構、日本原子力研究所等、政府の財政措置により研究開発を実施する法人を含めた概念として用いている。

る地層処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化に向けて研究開発を着実に推進することが必要である。(財)原子力環境整備促進・資金管理センターは、国の政策立案のため適切な技術情報の整備・提供を行うとともに、周辺基盤技術の研究開発を行うことが必要である。

なお、最終処分事業の安全な実施、経済性及び効率性の向上等を目的とする研究開発は、実施主体(原子力発電環境整備機構)が担当する。発電用原子炉設置者は、実施主体に対する人的及び技術的支援等を行うとともに、放射性廃棄物に係る共通的研究開発を行う必要がある。

②TRU核種を含む放射性廃棄物、ウラン廃棄物処分

原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会の検討によれば、TRU核種を含む放射性廃棄物及びウラン廃棄物は、安全かつ合理的に処分を行うことが可能であるとの見通しが得られたが、各々の特性に応じた技術的課題があるとされている。さらに、TRU核種を含む放射性廃棄物については、処分施設設計の合理化及び詳細化、並びに安全性の評価の信頼性向上を目指して、試験データの取得、特有な現象のより正確な把握と評価モデルの構築などを行うことが重要であるとされている。また、ウラン廃棄物については、より一層の安全かつ合理的な処理処分を目標として、除染回収技術及び低濃度の放射性核種濃度を測定できる技術、長期間の安全性評価の合理的あり方等を検討することが重要であるとされている。

今後、上記のような技術的課題について、処分方法の具体的検討の進展に応じて、関係機関の役割分担を検討し、解決を図っていくことが必要である。

③MOX燃料再処理のための研究開発

通常の使用済ウラン燃料に比して、プルトニウム富化度が高い使用済軽水炉MOX燃料の再処理に関しては、その多くは既存の技術で対応可能であるものの、将来その再処理を目的とした商業規模の事業を実施するためには、生産性、安全性のより一層の向上等の観点から確認・実証すべき項目も存在する。核燃料サイクル開発機構は、民間事業者と連携を図りつつ、東海再処理施設における「ふげん」、「もんじゅ」燃料の再処理技術の研究開発を通じ、今後ともMOX燃料の再処理等に必要となる技術の研究開発を着実に進めることが重要である。

(3) エネルギーの長期的安定供給、環境問題の解決を可能とする現実的選択肢を広げるための研究開発

エネルギー需給がグローバルな問題であり、地球温暖化の進展は日本のみならず地球全体にとっての現実的脅威であること等にかんがみれば、我が国の長期的発展のみならず、世界的視野からも、供給力、環境影響の観点から優れたエネルギー供給技術の現実的選択肢を広げる努力を行うことが必要である。特にウラン資源の利用率を高め、資源利用に係る環境負荷を小さくすることを可能とする技術であって、

エネルギー安定供給確保の観点から意義が高いが、研究開発に長期間を要するためリスクが高いものについては、資源小国である我が国としては、将来の現実的選択肢を用意しておくために、引き続き重点的に研究開発を行うべきである。このような研究開発は、エネルギー安定供給確保の必要性に照らして研究開発課題を精査した上で、国が主体となって産学と連携し、実施することが必要である。これらの長期的課題の解決のための研究を行うことにより、未来を拓いていくことを研究者が実感できるという効果も期待される。

一方、将来の実用化に向けた新たな技術を探索する研究については、研究機関のみならず、広く大学、民間等から多くのテーマが提案されているところであるが、この中には将来の実用化の可能性が高い有望なテーマも数多くあるため、経済性や安全性が飛躍的に高まるもの等、我が国の実用原子力技術の向上につながるものについては、国としても研究開発を促進していくことが必要である。これらのテーマについては、優れた提案を競争的に選択して実施させるのが効果的であるため、提案公募型の研究開発制度とすることが必要である。また、これらの研究開発の成果を実用化する開発活動は、基本的には産業界が行うべきであるが、将来のわが国にとってそれが実用化されることが有益と考えられるものについては、適宜適切な評価を行いつつ、国の活動もしくは国と民間の共同開発活動として実施していくべきである。

このうち国際的に共通な課題に対しては、世界の研究資源の有効活用等の観点から、積極的に海外のパートナーを見出し、国際共同活動とすることも真剣に検討されるべきである。

このような研究開発の例としては以下のものが挙げられる。

①高速増殖炉及び関連する核燃料サイクル技術

現在、核燃料サイクル開発機構が、電気事業者等の協力を得て実施している「実用化戦略調査研究」は、高速増殖炉に関する我が国の技術者・研究者が結集して行われている。高速増殖炉及び関連する核燃料サイクル技術の研究開発は、これまでは海外が先行し我が国がその後を追う形で進められてきたが、現在我が国が研究開発の中心的な存在となりつつあることを踏まえると、今後は、国際的にも協力を求めて研究開発を推進することが重要である。また、安全確保を大前提とした上で、「もんじゅ」の運転を通じて、発電プラントとしての信頼性の実証を図ることが重要である。

②革新的な実用原子力関連技術の開発

将来におけるエネルギー安定供給の確保を図るため、将来の原子力利用の技術的選択肢を探索する観点から、国として、研究開発機関及び産学の新鋭炉技術や新型燃料技術等に関する研究開発を促進する必要がある。その際、柔軟な発想による研究を促すとともに、競争条件下での研究とするため、提案公募方式による研究とす

ることが望ましい。

なお、エネルギー供給や地球環境問題が世界的な問題であることから、その対応を目的とした経済性等の面で持続可能な次世代の原子力発電技術を探究する活動が国際共同により行われている。我が国としても、我が国の世界に対する技術的貢献の観点から、更には将来の国際標準化炉の共同開発の可能性をも念頭においた上で、国際的な検討の場への参加を行うことが必要である。

また、以上による検討の結果、実現を追求すべき現実的選択肢についての国際的コンセンサスが得られた場合は、我が国独自の研究開発活動との整合性を確保しつつ、研究開発の参加に向けた検討が必要である。

3. 研究開発推進のための環境の整備

(1) 中長期的な研究計画の策定

国は、I. 1. に示したとおり、長期的な観点に立って基本的計画を示し、それに基づいて研究開発の実施や所要の制度の整備等を行っていくことが重要である。国が中心となって取り組むべき研究開発を実施するにあたっては、核燃料サイクル開発機構、日本原子力研究所等の研究開発機関は、原子力長期計画及び本報告を踏まえ、予算・定員も含め具体的な中長期的研究計画を策定することが期待される。その際、安全性の一層の高度化や、高レベル放射性廃棄物の処分に係る研究等においては、政策上の位置づけを研究開発内容に的確に反映させることが求められる。

(2) 研究開発の実施に必要な予算、定員の確保

国が中心となって取り組むべき研究開発を担う中心的主体である核燃料サイクル開発機構の予算及び日本原子力研究所の安全研究予算は、最近著しく減少している（参考 24、25）。その上、厳しい定員の制約から職員の平均年齢は上がっており、核燃料サイクル開発機構の平均年齢は40歳を越えている（参考 26）。国が中心となって取り組むべき研究開発を、安全の確保を大前提として実施するためには、高い技能や知見を有する人材により、途切れることなく継続して研究が行われることが必要であり、その人材の育成には長期的な取組が必要となることを踏まえると、人材の継続した採用が必要である。したがって、原子力長期計画において示された研究開発における国及び民間の基本的役割分担及び本報告を踏まえて、研究開発機関に求められる役割を果たすために要する予算、定員を確保する必要がある。

(3) 安定的・計画的な研究のための環境整備

安定的・計画的な研究を行っていくためには、将来を見通せた環境を醸成することが国の責務である。長期的な研究開発については、研究開発が安定的・計画的に実施されることが必要であり、将来発生する費用等により研究開発が大きく途絶えることがあっては、研究開発が所要の目的を達成することは困難になる。したがっ

て、研究開発を安定的・計画的に実施するためには、将来発生する費用等をも考慮した、財政面、人員面で裏付けのある、長期的な研究計画が必要である。例えば、中長期的な研究計画の中には、将来発生するであろう研究施設の廃止措置を含めた廃棄物処理・処分のために必要な予算を織り込んでおくことが重要である。「原子力安全白書（平成12年版）」によれば、1999年度末時点での国内主要原子力施設における低レベル放射性廃棄物は200リットルドラム缶換算約92万本に達しているが、このうち核燃料サイクル開発機構は約16万本、日本原子力研究所は約15万本を保管しており、これ以外に将来的には解体廃棄物が生ずることになる（参考27）。2000年12月、これらRI・研究所等廃棄物の処理処分の具体化を図るため「財団法人原子力研究バックエンド推進センター」が内閣総理大臣の認可を得（現在は文部科学大臣の監督下）、立地に関する調査等を開始している。これにとどまらず、RI・研究所等廃棄物について、総量、処分費用を明らかにするとともに、具体的資金調達方法等に関して適切な対策を明確化し、国が行うべき技術基盤確保のための研究活動を将来的に圧迫することがないように、計画的に対応していくことが必要である。

（4）原子力委員会への期待

こうした研究開発推進のための環境の整備のためには、原子力に関する国の政策を計画的に遂行するための総合企画調整機能を有する原子力委員会が果たすべき役割は重要なものとなる。

具体的には、原子力長期計画の策定等による政策目的や研究の考え方の明確化が今後とも重要な役割として期待される。また、原子力長期計画を着実に遂行するとともに、国の研究開発機関が、社会からも強く求められている安全確保対策等を十分に行った上で研究計画を実施していくために必要な予算及び定員を確保できるよう、自らイニシアティブをとって予算等の政府部内の調整を行うことが期待される。

また、原子力に係る研究開発に伴い発生するRI・研究所等廃棄物の処分方策に関しては、平成10年5月に原子力委員会バックエンド対策専門部会が基本的な考え方をとりまとめ、文部科学省及び関係機関においてその具体化が図られていくこととなる。原子力委員会においても、こうした動きを適時的確に把握するとともに、RI・研究所等廃棄物処分の対策に関する検討を行い、明確な考え方を示すことが、将来にわたって安定的・計画的に研究開発を進めていくために必要である。

4. 人材の確保・育成について国が行うべき対応策

原子力の研究、設計・製造等の能力を有する人材の確保・育成について、昨今は従来と異なった状況となってきた。過去、原子力発電の規模が拡大していた時期には、人材に対する高い需要と豊富な経験の場が与えられることにより、原子力に携わる人材の規模は拡大してきた。しかしながら、新規の発電所建設の減少等に伴い、過去に維持してきた規模の人材を擁しておく必要がなくなったことから、配

置転換等により、その規模の縮小が進んでいる。

人材の確保・育成は、一義的には人材を必要とする組織が責任を有するものの、市場の見通しの不確かさが大きく、経済性の要求が強い今後の市場条件下では過少状態が発生する可能性が少なくない。原子力の場合には、優れた能力を有する人材の減少は、将来的に安全上の問題に結びつきかねないので、原子力の基盤を中長期的に維持していくため、国としても、人材の確保・育成について万全を期するべきである。

また、JCO 事故を踏まえ、原子力に携わる技術者は、専門職としての高い倫理が求められることから、大学等の教育の場をはじめ、倫理教育を充実させることが望まれる。

他方、個々の人材が自らの進路を選択する際に、その分野の将来性が重要な決定要素のひとつであることに鑑みれば、原子力分野の人材の育成・確保を図る前提として、国として長期的な政策の基本的方針を示してこの分野の将来像を示すとともに、その方針を堅持していくことにより、この分野を魅力あるものとし、この分野に優れた人材を確保することが必要である。

こうした長期的方向性を踏まえて、国の研究機関、大学等においてそれぞれ対応すべきことは以下の通りである。

(1) 国の研究機関における人材確保

既に述べたように、将来的に対応が必要となる技術的諸課題に対応するためには、国としては、その研究開発実施機関である核燃料サイクル開発機構、日本原子力研究所等に期待される機能を維持・向上させ、研究炉、研究開発施設を維持し、かつ安全に運転しながら魅力ある研究活動を行っていくための人材・要員を確保することが必要である。また、これらの人材・要員がより高度の専門知識を身につける機会を設けることなども重要である。

(2) 大学における人材育成

工学部全体が大ぐくりの学科に再編成されてきた中で、大学による人材供給を確保するにはエネルギー産業が将来の職場として魅力的存在であることが最も重要であり、第二には、エネルギーに関する理解を深めさせ、関心をもつ学生数を増やすために、大学前期の教育課程においてエネルギー理工学に関係する魅力的なカリキュラムを用意することが重要である。またその前段階として、小・中学校、高校段階でのエネルギー教育も重要である。

他方、大学院においては、エネルギー関連の優れた研究に従事する教官数が多いこと、この方面の研究室に進学する者に対する奨学金が充実していることが、この分野への志望者を確保する必要条件である。このことから、エネルギー分野の提案公募型研究開発制度の充実、当該分野における大学の研究資金充実をもたらす可能性が高いので、人材育成に寄与する効果も期待される。

(3) 研究機関等における教育

大学卒業後、原子力関係の業務に従事するために必要な知識・技術を習得するための研修機関はこれまで人材養成において極めて重要な役割を果たしてきたので、この機能を今後とも維持することが重要である。また、終身雇用の時代が終わりつつある現在、一定の実務に携わった後、より高度の専門知識を体系的に身に付けるための専門教育機関の充実が求められているので、原子力分野においても各大学において社会人のための修士・博士コースの充実が図られつつあるが、日本原子力研究所等がその技術能力、研究環境等を活用し、学位上の明確な位置づけをもった人材育成事業を行うことを検討することが必要である。

5. 民間が行う技術基盤の確保の支援及び民間への技術移転の支援

昨年11月24日に策定された原子力長期計画において、核燃料サイクルの意義については、原子力発電の有するエネルギー安定供給上の優れた特性を一層改善する可能性を有するものであり、再処理により回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用していくことを基本とすることが適切である旨位置づけられている。これをより具体化するため、核燃料サイクルを構成する重要な技術であって、民間が開発するには大きな技術的リスクが残るものについては、上に述べた国が主体となった研究開発以外にも、国は、民間による研究開発に対する誘導を行う等により、技術基盤の確保を支援する必要がある。

一方、原子力発電については、現在我が国の総発電電力量の約3分の1を占めているが、今後も基幹電源として位置付けられるためには、既設の原子力発電所が安全に運転されることはもちろんのこと、将来的に社会情勢が変化する中であっても、既設の原子炉のリプレイス等への対応が行われることが必要である。このような要請に対応することを目的とした次世代の原子力発電技術の研究開発については、原則としては民間が主体となって行うべきものである。しかし、国としても、前述した革新的な実用原子力関連技術の研究開発動向を踏まえつつ、民間による自主的な研究開発への取組みを評価した上で、その研究開発が、共通基盤技術等長期的な技術の下支え的な性格を有し、公益の観点から国が関与することが合理的と判断される場合には、支援を行うことが重要である。

核燃料サイクルで先行する英・仏においては、BNFL（英国原子燃料会社）、COGEMA（仏国核燃料公社）ともに、国の機関であるが、一部が分離独立し、現在に至ったものであり、国が開発した技術が、事業段階に円滑に移転している（参考28）。他方、我が国においては、研究開発主体と事業主体が異なることから、各段階に応じた最適な人材移転を検討すべきである。例えば、設計・建設の段階では、もともと開発に取り組んでいた者を主に移転すべきであり、運転管理が主な段階では、運転管理者の教育や保全技術の習得に必要な人材の移転等を行っていくというように、各段階における技術移転の必要性に応じた人材の移転等が行われるべきで

ある。加えて、円滑な技術移転のため、研究開発主体と事業主体の関係についても今後さらに工夫すべき点について、外部識者の意見も聞きながら議論を進めていく必要がある。

さらに、核燃料サイクル技術の特殊性として、原子力発電所等と異なり、施設の建設頻度の少なさが挙げられる。原子力発電所であれば、順次増設される際の技術開発・改良、設計、建設、運転を通じて、電気事業者及び国内メーカーの技術力の継続的な維持・向上が図られるが、核燃料サイクル施設ではそれが期待できない。したがって、核燃料サイクル技術については、数少ない施設の建設機会を通じて、確実に技術を移転・定着させた上で、次の建設機会まで技術を維持・向上させていくことが重要な課題となる。

また、核燃料サイクル技術の民間への移転に関しては、濃縮、再処理、MOX 燃料加工等の分野で民間企業として技術の維持・継承を担うのが、日本原燃㈱1社のみとなっていることに留意する必要がある。すなわち、同社における技術基盤の維持・確保が、我が国の商業規模での核燃料サイクル技術基盤の確保に直接つながっている。同社の事業は、基本的に核燃料サイクル開発機構や国内外の民間企業等からの技術導入によって成り立っているが、我が国における核燃料サイクル事業を計画的かつ円滑に進めていくためには、同社へ円滑な技術移転が行われ、それらの技術が同社に確実に定着し、関連技術の基盤維持・確保が図られることが不可欠である。

この技術移転等を円滑に進めていくためには、日本原燃㈱が当事者として責任を持って取り組むことが必要であることはいうまでもないが、さらに技術移転は単なる技術の手渡しではなく、人材交流に加えて人材の移動や、両者が一体となった研究実施を通じた技術定着促進が必要である。また、技術移転後においても、整理事業となったウラン濃縮を除き、核燃料サイクル開発機構で関連した技術開発を継続し、トラブル時の対応等について、同機構の側においても十分な下支えを行う必要がある。さらに、将来の同様な施設の建設に備えて、事業者、メーカーの技術力の維持・向上を図っていくためにも、技術開発・改良等を継続的に実施していくことが必要となる。

(1) ウラン濃縮

今後の我が国のウラン濃縮の事業及び研究開発を一手に担う日本原燃㈱においては、昨年11月に同社に設置された「ウラン濃縮技術開発センター」における新型遠心分離機開発に関して、上記第1章12(1)に示した過去のケースからの教訓も踏まえ、

①核燃料サイクル開発機構等から、従来から受入れている運転要員のみならず、研究開発人材も結集しており、これまでの研究開発における試行錯誤を通じて蓄積された文書化されないノウハウを含め、新型遠心分離機の開発に確実に反映させていくとともに、

②研究開発から建設・運転までの一貫した責任体制の下で開発に取り組むこと

③さらには、研究者が目標達成に向けて一丸となって開発に取り組むことが重要であり、日本原燃㈱における積極的な取り組みが期待される。

この新型遠心分離機の開発に関しては、相当な困難が予測され、民間事業者が長期的かつ大規模な研究開発投資を行うことは投資リスクが大きい。一方、国としても、欧米におけるガス拡散法濃縮プラントの老朽化等に伴い、中長期的には国際的なウラン濃縮役務の需給が不安定になることも想定されることから、六ヶ所濃縮工場における一定の生産能力を確保・維持しておくことが、核燃料サイクルの自主性の確保によるエネルギーの供給安定性の向上の観点から重要である。また、新型遠心分離機の開発目標が、国際的なレベルに比肩し得る濃縮技術の開発・維持にあり、さらにはその一層の高度化を自立的に達成していく体制を構築していくものとするならば、我が国の国際的なバーゲニングパワーの向上に資することとなる。従って、ウラン濃縮は民間で既に事業化されている分野ではあるものの、そのような開発を目指すものであれば、国としてそれに対し所要の支援を行う意義は大きい。

なお、遠心分離機は設計寿命に応じて定期的なリプレイスが必要となり、その製造には高度な加工技術、品質管理技術等が必要となるが、その製造規模は必ずしも大きなものでないことから、量産化においては遠心分離機の製造メーカーにおける技術の維持・向上について配慮する必要がある。

(2) MOX燃料加工

MOX燃料加工について、これまで国内では核燃料サイクル開発機構だけがその技術、経験を有していることから、グローブボックス内でのプルトニウム取扱技術、遠隔自動機器の運転・補修に関する技術、大量のプルトニウムを取り扱うことに関する厳格な保障措置への対応技術、品質管理及び保障措置に係る分析技術等に関しては、核燃料サイクル開発機構が開発した技術が日本原燃㈱に確実に移転されることが必要である。また、海外から導入されることになる技術等に関しては、国内MOX燃料加工施設に適用するために必要な改良、確証試験等を日本原燃㈱が主体となって、核燃料サイクル開発機構等の支援・協力を得ながら実施する等により、日本原燃㈱の技術力の向上、発展が図られることが期待される。これらに際しては、国内で唯一MOX燃料加工技術を有している核燃料サイクル開発機構の技術者が、人材移転・交流等によって日本原燃㈱と一体となって研究開発、設計、建設にあたり、その間に日本原燃㈱に着実に技術の移転・定着を図るとともに、運転段階以降においても、技術者・運転要員の教育訓練、トラブル対応等について、引き続き同機構が必要な支援を行うことが必要である。

なお、ウラン資源を有効活用することにより我が国のエネルギーの安定供給性を向上させるプルサーマル計画を着実に推進していくためには、六ヶ所再処理工場の建設、運転と歩調を合わせて計画的にMOX燃料加工事業を整備していくことが重要であり、早期に産業として定着することが求められている。検討されている

MOX 燃料加工施設においては、個々には実績のある様々な要素技術が採用されるものの、組み合わせられた技術としての利用実績が無いものに関しては、事業として確立させていくために必要な実証を行い、早期に事業の具体化を図ることが必要である。そのため、事業者による計画的なMOX燃料加工の事業化が円滑かつ着実に進められるよう、特に、MOX燃料加工施設において重要な要素技術となるMOX粉末調整技術の適用性等に関する確証試験に関しては、引き続き国による支援を行っていく必要がある。

(3) 再処理

日本原燃協は、核燃料サイクル開発機構、海外ライセンサー、国内メーカー等の支援、協力を得て、六ヶ所再処理工場の試運転等の段階において、施設の設計・施工について十分に検証し、不具合を摘出・改善するとともに、各種試験の実施・解析、不具合への対応、運転要員の教育・訓練等を通じて、運転、保守及び管理の技術の確実な習熟を図ることが重要である。

また、日本原燃協は、試運転から操業開始、さらに段階的に稼働率を上げていく過程で生じるトラブル対応や、それを克服するための改良等を施していく中で得るノウハウ等を着実に蓄積し、その後の安定かつ継続的な運転に資する技術を定着させていくことが重要である。

核燃料サイクル開発機構は、十分な経験を有する技術者や運転員を可能な限り日本原燃協に移転、出向させることや、日本原燃協の職員の教育訓練に協力していくことにより、その技術・ノウハウを六ヶ所再処理工場の立ち上げ、操業に確実に反映させていくことが必要である。また、核燃料サイクル開発機構は、東海再処理施設の海外からの技術導入後の運転・保守経験や故障・トラブル対応を数多く経験していることから、技術改良、工程・設備の改善等に関するノウハウ等を蓄積しており、日本原燃協六ヶ所再処理工場の技術支援等の協力体制を構築していくことも重要である。

さらに、六ヶ所再処理工場の操業後における日本原燃協の技術者、運転員の継続的な教育訓練についても、日本原燃協の施設に加え、核燃料サイクル開発機構の東海再処理施設等も活用しつつ、教育訓練体制を整備することが期待される。

なお、上記においては、核燃料サイクル開発機構が、東海再処理施設での本来の研究開発を安全に遂行していくのと併行して、日本原燃協への技術者等の派遣、同社職員の受入研修等を円滑に行っていくために、必要な人材の確保、育成等について、国は支援を行っていく必要がある。

II. 主として民間で行われるべき対応策

本報告では技術基盤の確保の観点から主に国のとるべき対策について整理を行ったが、原子力発電所及び関連する原子力施設を実際に建設、操業、保守し、また研究開発に携わる民間としては、今後も、原子力発電所等の安全・安定運転の継続、

原子力の技術基盤を確保するための積極的な取組等を行っていく必要がある。

このため、原子力部会の検討の過程で抽出された対応策のうち、主として民間で行われるべき対応策について以下に示す。

1. 原子力施設の操業・保守等の着実な実施

今後の成熟社会にあつては、ライフラインの保守作業が重要性を増していくことが想定され、原子力発電所についても、そのエネルギー供給における役割を踏まえて、安定した運転が行われるとともに、保守作業が着実かつ効率的に行われることの重要性は明らかである。我が国においては保守・点検等が多層に亘る下請け、分業構造によって実施されていることを踏まえ、関係各組織に保守作業の重要性を踏まえた組織文化を確立させ、高い品質の保守活動を実施する共同体となるよう明確な意志疎通を行うことが必要である（参考 29）。一方、プラントの新增設、改造時には、保守作業の容易化・効率化の視点を取り入れ、運転中保守が可能な設計やアクセスが容易で保守しやすい設計をより一層取り入れることが期待される。

2. 事業者間、プラント設計者間のネットワークの形成

万一の事故発生時やトラブル発生時に、設計思想へ立ち返って対応を行うような必要性に迫られることが考えられる。しかしながら、これらプラントの設計者は既に定年を迎える等して社内にはいない場合が想定される。こうした事態に備え、プラント設計経験者、技術の国産化過程の経験者、長い運転経験の知見を有する者とのネットワークを形成するために顧問会等を設置しているケースがある。今後もこうしたネットワークを維持するとともに、例えば経験者の技術的知見をデータベース化する等ネットワークをより充実していくための取組も期待される。

3. 民間における人材育成

原子力に係る業種は多岐にわたっており、これらを支える技術も多様である。したがって、原子力に携わる人材の育成については、広範な分野の人材が原子力の技術基盤を支えているということを踏まえることが必要である。特に安全文化については、各事業者の経営トップから末端までが同様にその向上に努めるとともに、その水平展開についても、ニュークリア・セイフティ・ネットワークの活用等により、協力企業も含め事業者間で安全教育等についての情報交換等を行っていくことが必要である。

保守に携わる人材の育成については、保守作業の方法や内容等が現場によって異なり、多数の企業が一体となって作業を行うという点にその特徴がある。具体的には、各事業者が独自に実施している教育・訓練に加えて、原則として保守作業を監督する側により、現地の作業員に対する現地派遣前から保守作業終了時にわたる徹底した教育や技能訓練が行われるとともに、特殊技能については現地派遣前に一定レベルの技能を習得するための訓練が行われている。今後とも、保守作業の安全か

つ確実な実施は、監督する側の責任であるとの自覚をもって、保守作業に従事する人材の育成に努めることが必要である。

さらに、これら人材の技術力を維持・向上させるためには、教育、訓練等によって得られた知識や技能が定着することが必要であり、そのためには、例えば、全く同じ内容の教育、訓練等であっても一定期間を越えれば例外なく繰り返し実施する等の対応が必要である。

一方、電気事業者、メーカーの技術者にとって、発電所の新增設は、設計思想の習得、設計能力、プロジェクト管理能力、発電所内機器の機能、配置等に関する知見を養う場として絶好の機会であり、またその後の保守における大型機器の更新の際の工事のための技術力を蓄える場でもある。しかしながら、原子力発電所の新增設が減少傾向にあり、さらに軽水炉技術の国産化過程において活躍した設計者等が今後十数年のうちに定年を迎えることが予想される中、次世代、特に20～30歳代の若手への技術継承・発展の場として、建設機会の効果的活用を図ることが期待される。また、他社のプラント建設経験の共有による技術の継承・発展、原子力固有の中核技術に重点を置いた人材能力の維持、向上が期待される。

また、民間への人材供給源である大学の機能維持・強化のため、原子力工学の知識を持った人材を求める産業界は、学生の継続した採用や魅力ある研究を提示することが重要である。また、奨学金等による支援も期待される（参考30）。

4. 民間における研究開発

原子力の技術基盤を確保するために国が中心となって取り組むべき研究開発については、前述の通り明確化したところであるが、技術基盤が今後も十分に確保されるためには、国による取組だけでは十分ではなく、民間においても自主的に研究開発に取り組むことが必要である。民間における研究開発投資に関しては、軽水炉の高経年化対策への取組が一段落したこと等により1990年代半ば以降減少しているが、原子力発電を引き続き基幹電源として位置付けていくためには、今後も、原子力発電所の性能向上、保守に係る研究開発を含め、安全性や経済性の向上を目的とした研究開発への取組も期待される。

原子力部会は、本報告において、総合資源エネルギー調査会長からの付託を受け、今後の原子力の技術基盤の確保はいかにあるべきかについて検討を行った。検討の対象としては、軽水炉原子力発電の分野に加え、核燃料サイクル分野についても現状分析を行うとともに、今後の課題を抽出した。

現状分析の結果、既に民間で事業が定着している軽水炉発電等の分野においては、これまでの技術の蓄積と経験をもとに、現状十分な技術基盤が確保されていると評価された。また、核燃料サイクルのうち、事業化段階にある分野については、技術基盤の確保のためには、これまで国等が開発した技術の円滑な移転が重要な段階にあるとともに、引き続き研究開発が必要な分野では、科学的知見の集積や研究開発が重要な段階にあると評価された。しかし、一方で、中長期的な技術基盤の確保に影響を与えることが懸念される、研究開発活動の縮小等の問題も抽出された。

今回の検討の中で一つの重要な点は、これら現状分析結果を受け、国の役割について意識的に分離して個別の技術分野ごとに対応策を検討したことである。その点では、国が主として研究開発を行うべき分野の明確化、国がこれまでに蓄積した研究開発成果の民間への技術移転の支援の必要性等、国の役割を明確にした対応策を示すことに一定の成果が得られた。また、研究開発のみではなく、技術を支える人材育成等の面にも分析を加え対応策を示した。

今後は、具体的な措置が着実に実施されるとともに、国の予算編成においては、新たに整理を行った「国の役割」に従った効率的な予算配分が行われることが必要である。また、核燃料サイクル開発機構等の放射性廃棄物問題や経済産業省以外の省に計上されている予算に関する事項については、当事者のみならず、わが国の原子力利用に関する政策や原子力予算等の企画、審議等を行う原子力委員会のイニシアティブに期待するところが多い。

また、原子力発電が将来にわたっても基幹電源としての役割を果たしていくためには、その技術基盤が、産官学の取り組みにより、今後とも中長期的に確保されることが条件となる。その意味でも本報告書に示された対応策が、着実に具体化されることを期待する。

なお、今回の原子力部会への検討付託の範囲のみならず原子力部会の検討対象自体を超える問題ではあるが、電力の自由化とエネルギーセキュリティ確保や環境対策を統合的・総合的政策のもとでどのように位置付けるべきか、特に、エネルギーセキュリティ及び環境面と強い関連性を持つ原子力発電関連政策と自由化政策との関係をどのように整理すべきかについて早急に検討することの必要性が、数多くの委員から強く指摘されたところである。当部会としては、これらの論点の重要性に鑑み、適切な検討体制の下で十分な検討が行われるよう政府に要望するところである。