

○セル内遠隔設備開泰（図1-2-20参照）

燃料製造設備のモジュール構造化により、セル内での遠隔保守を可能とし放射線量の高い低除染 TRU 燃料の量産を実現することを目指す。このため、モックアップ試験を中心に、製造設備のモジュール開発、モジュール開発に連動した遠隔ハンドリング機器を開発するとともに、インライン粉末分析、ペレット検査迅速化技術について開発するものである。

○TRU燃料取扱技術（図1-2-20参照）

原料の発熱影響を緩和する適切な除熱対策を組み込んだ集合体組立装置の設計へ資することを図ることとする。このため、集合体組立装置および燃料バンドルを模したモックアップ試験を中心に、燃料集合体組立て時の除熱効果を詳細に解析評価できるコードを開発するものである。

② 代替技術

主概念に導入するとした革新的な技術は、今後の研究開発により技術的実現性が高いと判断したものである。しかし、研究開発の結果、技術的実現性が見通せないと結論される可能性がないとは言えない。このような開発リスクを考慮し、今後集中的な研究開発を行うことなく革新的な技術を代替することが可能と見込まれる既存技術を、革新的な技術に対する代替技術として選定しておくことは、リスクマネジメントの観点から必要であると考え（後述の図2-1-4、図2-1-8、図2-1-9の代替技術の欄を参照）。

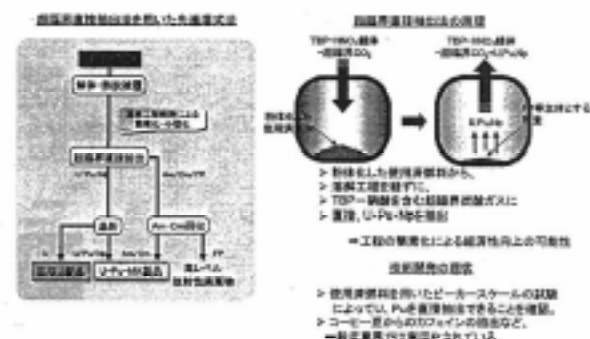
万一、ある革新的な技術について、その技術の実現性が見通せないとの結論になった場合には、当該高速増殖炉システム概念を全体として放棄するのではなく、その革新的な技術だけを代替技術に置き換えることが可能と考える。なお、代替技術の採用に際して、開発目標に対する適合性についてその影響度合いを評価しておくべきである（表1-2-4参照）。

表1-2-4 代替技術と設計への影響の例

[illegible]

地址: 220-1 瓦里安街, 加州, 圣何塞

図1-2-21 新たな革新的な技術の夢の例



地址：15778—2 貝爾格萊德市

③ 新たな革新的な技術の芽

今後の研究開発の進展を考慮すると、将来、現時点で導入することとした革新的な技術よりも優れた新たな革新的な技術が出現する可能性を研究開発計画に織り込んでおくことが必要であると考え。この際、国内外における研究開発の進展に留意し、常に革新的な技術の芽を発見し、育てようとする態度が重要であると考え。

「FS フェーズⅡ報告書」では、先進型式法に対応するものとして超臨界直接抽出法の適用可能性が検討されている(図1-2-21参照)。現時点の知見に基づき技術的実現性の観点から先進型式法を選択しているが、超臨界抽出法には、工程がより簡略化され、経済性が向上する可能性があると考えられている。この他、新たな革新的な技術の芽として、発熱性 FP 等の分離技術、造粒が不要あるいは焼結温度が低い焼結技術なども考えられる。

表1-2-5 二重伝熱管蒸気発生器の製作性

【実績】

- ・ 約2mの長さの12Cr鋼密着二重伝熱管を試作
- ・ 旧動燃における1MWt二重伝熱管蒸気発生器小型試験体等の製作時に全長20m程度の9Cr鋼二重伝熱管を製作した実績がある。
- ・ 伝熱管本数7,100本/基については、APWRの5,830本/基という実績があり、AP=1000では10,000本/基としていることから実現可能と考える。

【課題】

- ・ 製作性については、以下の課題が残されており、製作手順を含めた検討を開始した。
 - 二重伝熱管: 所定の曲げ及びギャップ幅を有する35m級管の製作
 - 球形管板: 高クロム鋼厚肉構造材の熱処理、及び3次元リガメント加工性(管台の削りだしと管板孔開け加工)
 - 銅ベローズ: 高クロム鋼による削り出し製作性
 - 管・管板溶接継手: 管台と二重伝熱管端部の溶接技術、及び高クロム鋼二重伝熱管の拡張技術

出典: JAEA-Research-2009-042 フェーズⅡ技術報告書「FS蒸気炉システム」

ヘリカルコイル型蒸気発生器が提案されている。「もんじゅ」で用いられている伝熱管は、直管ではなくヘリカル（らせん状）の単管であり、これにより熱交換に必要な表面積を確保している。

蒸気発生器の大型化に伴い、溶接箇所が増加するとともに、伝熱管破損時の水リーク検知時間は一般に長くなり、破損伝播の可能性が高くなる。このため、単管ヘリカルコイル型蒸気発生器の単純な大型化は適切ではなく、なんらかの対応が必要となるが、容易ではないと考える。従って、これを代替技術とするためには、水リーク検知手段の高度化、あるいは、小型の蒸気発生器を1ループあたり複数設置する設計（デメリットとして、経済性の低下に留意）などを考慮すべきである。

iii. 二重伝熱管蒸気発生器の安全設計思想と採用判断にあたっての留意事項

二重伝熱管を単管の伝熱管と比較した場合、熱伝達性能が若干劣ることから機器の大型化や製造コストの上昇につながるものの、安全性の観点からは、伝熱管に何らかの原因で破が生じた場合でも内外管の境界で破が停止する効果を期待できると考える。

原子力機構は、二重伝熱管の健全性を担保する方策として、定期検査時に内外管全数検査を行うこととしている。これにより、二重伝熱管を採用した場合、ナトリウム中への大規模な水リークを設計基準外事象とできるとしている。しかし、二重伝熱管は検査性能の面で単管に比べ課題が多く、水リークの検出性能、二重伝熱管の密着性の誤差も考慮して設計を行うことが必要であると考えられる。

従って、二重伝熱管を採用可能であるか否かを判断するためには、安全裕度をどの程度確保することが合理的であるかなどを含めて、総合的な比較を行う必要があると考える。（図1-2-22、表1-2-6及び図1-2-23参照）。

iv. 変形大型管板の成立性

図1-2-23 直管二重伝熱管蒸気発生器のナトリウム-水反応防止の考え方と水リーク時の影響緩和

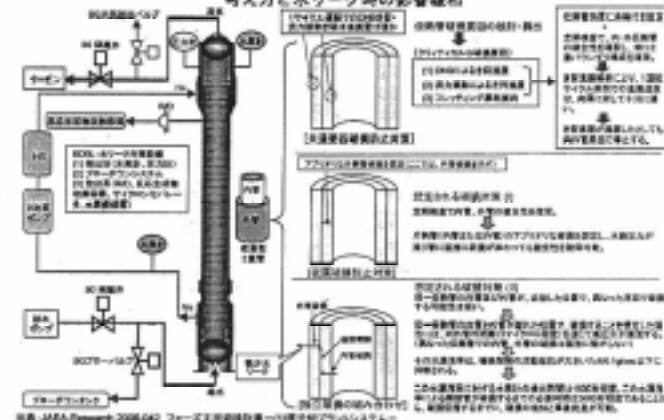
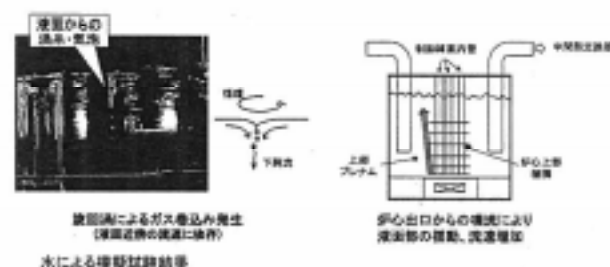


図1-2-24 原子炉容器内のナトリウム自由液面からのカーブガス巻き込み



出典: JAEA Research 2008-042 フォーズII炉試験計画-1(原子炉システム)

二重管伝熱管はオフセンタで球形管板を貫通する設計となっている。
このような変形大型管板については、製作性の検討とともに、設計手
法の確立及び許認可性の見通しを得る必要があると考える。

② 2ループ化

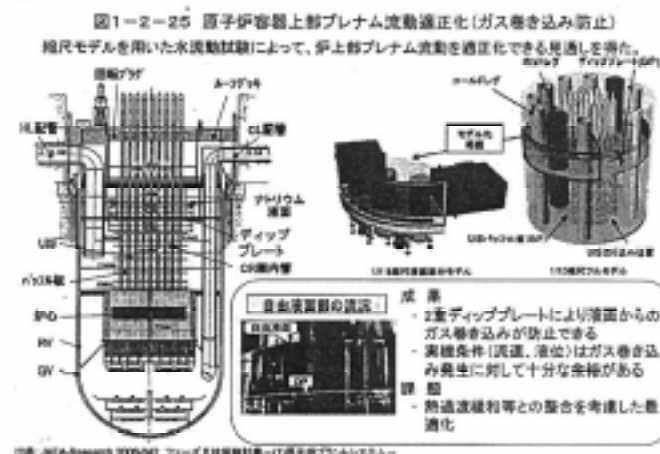
1. ガス巻き込みの影響

軽水炉は冷却材である水を加圧状態で利用しており、万一の配管破
断の際には減圧に伴い冷却材に大量のボイドが発生することが想
定されるが、そのような場合でも十分に「ボイド反応度係数が負」(出
力の上昇などによりボイドが発生した場合、核分裂に寄与する熱中性
子が減少、核分裂連鎖反応が抑制され、その結果、出力が低下する)
である。

一方、ナトリウム冷却高速増殖炉では、冷却材密度が減少すると核
分裂に寄与する高速中性子が増加し、反応度は大きくなることから、「ボ
イド反応度係数が正」となる。特に、炉心の大型化に伴ってその傾向
が強まる。しかし、ナトリウム冷却高速増殖炉は、冷却材が低圧系で
あるため、配管破断等を想定してもガードベッセル等によって炉心冷
却材の炉心からの流出が抑制され、また想定される種々の異常に対
しても炉心冷却材が沸騰せず、ボイドが発生しないよう設計されている。

しかし、例えばボイドが発生しない設計であるとしても、冷却材ナ
トリウムに何らかの原因で気泡が混入し、炉心を通過する可能性を否定
することはできない。その原因としては、冷却材中に溶解しているガ
スの低温部での析出、制御棒から放出されるヘリウムガス、冷却材界
面でのガス巻き込みなどが考えられる。

「FS フェーズII報告書」では、原子炉から熱を取り出す冷却系統を
2系統にし(2ループ化)、機器・配管の物量や原子炉建屋全体の体積
などを抑える設計が提案されている。この際、1系統から取り出すべ
き熱量が大きくなることから、配管を大口径化(もんじゅの約 1.5 倍
以上)するとともに、配管内を流れるナトリウムの流速をこれまでよ
り速くする(もんじゅの約 1.5 倍～3 倍近く)ことが提案されている。



また、原子炉容器上部プレナム内のナトリウムの流速が速い設計となっている。このため、原子炉容器内のナトリウム自由液面（表面）から渦流によってカバーガスを巻き込む（カバーガス巻き込み）可能性が高くなる傾向にあると考えられる（図1-2-24参照）。

ナトリウムの自由液面から巻き込んだガスが、炉心冷却材の主流に入り、炉心燃料領域を通過するとなれば、正の反応度効果や燃料ピンの冷却を阻害する効果の発生が懸念される。このため、原子炉容器内でガス巻き込みを防止するために、二重ディッププレートという整流効果を持つ構造物を上部プレナム部に設置し、ガス巻き込みを抑制する方策が提案されている（図1-2-25参照）。しかし、反応度の上昇は原子炉に重大な影響を与える可能性があることから、ガス巻き込みが工学的に十分抑制できるものであるかどうかなど、安全性に関連して十分な検討を行うことが必要であると考えられる。

ii. 大口径配管の課題

ナトリウム冷却高速増殖炉では、冷却材ナトリウムの運転時と停止時の温度差が一般的に大きい。このため、ループ型炉では温度差に伴う配管や容器の膨張・収縮が力として配管に大きく加わることになり、これを分散するため配管に多数のエルボ部（配管を曲げた部分）を設けて応力を分散させる工夫が取られている。

「FS フェーズII 報告書」で提案されている設計の場合、原子炉の出口温度約 550℃、入口温度約 395℃、停止時温度約 200℃となっている。冷却系配管は室温（プラント建設時）から運転温度に昇温され熱膨張することにより応力が発生し、応力の大きさは材料の熱膨張特性と配管の引き回しに依存する。仮に、「もんじゅ」に使われている配管材料と同じオーステナイト系ステンレス鋼を用いて設計した場合、応力分散に必要な配管の長さやエルボ数を十分に確保する必要が生じ、コンパクトな建家とすることが困難になる。経済性を向上させる観点からは、ループ数を減らすことはもとより配管を短くすることが効果的であり、このため、種々の革新的な技術の採用と併せて、熱膨張が小さく強度が高い新しい配管材料として高クロム鋼を用いることが提案されている（図1-2-26参照）。

図1-2-27 高流速・大口径配管内流動

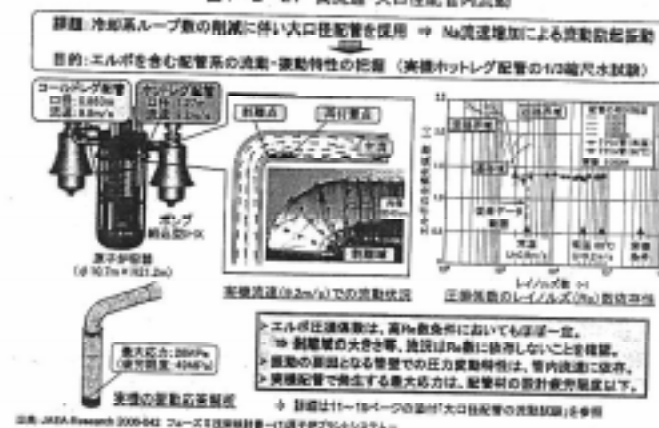
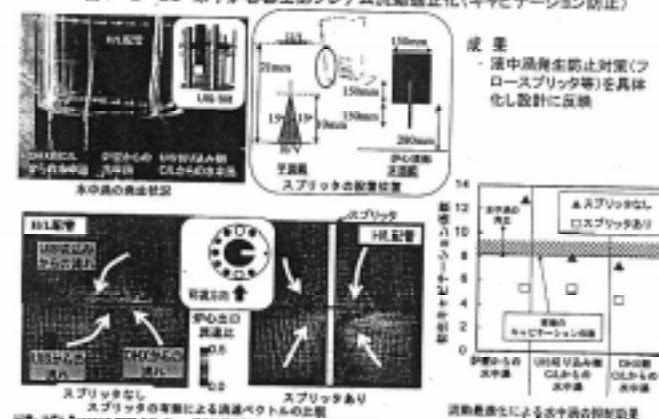


図1-2-28 原子炉容器上部プレナム流動適正化（キャビテーション防止）



また、150 万 kW_e の出力で冷却系を 2 ループ構成とするため、配管口径と冷却材流速を従来の設計と比べ大きなものとしている。このような大口径で高流速となる配管では、流れの乱れとそれに伴う振動が課題となる。これに対応し、FS フェーズⅡでは既に、実機の 1/3 縮尺試験装置を用いて水流動試験を行い、エルボ部を含む配管内の流動と振動特性を確認している（図 1-2-27 参照）。

しかし、振動特性については実機に近い条件での確認、及びキャビテーション（発泡現象）やエロージョン（流れによる配管材料の減肉現象）などの流動特性に対する確認を行うことが必要であると考え（図 1-2-28 参照）。また、大口径のわりに管厚が薄い配管であり、配管の製作性や配管支持のあり方についても検討を要すると思われる。

iii. 安全設計で想定している条件の成立性

冷却系 2 ループ化に適合するための安全設計（短期の炉心冷却）は重要である。安全評価では流量急減時の炉心反応度フィードバック特性が重要であり、ドップラー係数、冷却材温度係数等の反応度係数の不確かさをより低減するために、高速増殖炉の実機でのデータと MA に関する核データを拡充することが必要であると考え。

③ 主循環ポンプ組込型中間熱交換器の課題

i. 設計の要の判断基準

「FS フェーズⅡ報告書」においては、システムのコンパクト化を図るため、炉心からの熱を運び出すナトリウムを循環させるための主循環ポンプと炉心からの熱（一次系の熱）をその外側の系統（二次系）へ伝えるための中間熱交換器（IHX）を一体化した主循環ポンプ組込型中間熱交換器の採用が提案されている。

FS フェーズⅡでは、実機の 1/4 規模の試験体を用いて試験を行っている（図 1-2-29 参照）。具体的には、試験体に、①ポンプと IHX の間の熱伝達防止及び流体を介した振動伝達減少のために、ポンプと IHX 構造間にガス層を配置する、② IHX 中心部の狭い空間にポンプを

図 1-2-29 中間熱交換器伝熱管摩耗防止
（1/4スケール流動試験・解析による設計手法開発）

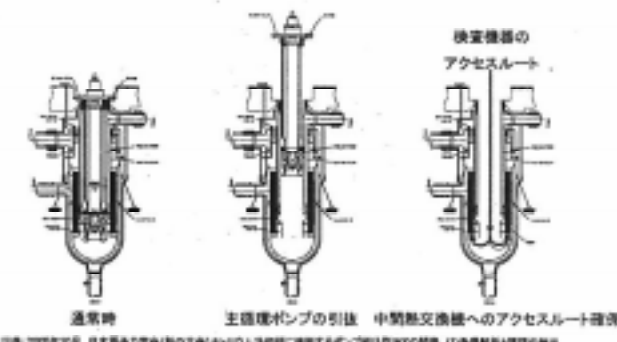
- ・ 振動伝達試験
1/4スケール水試験により機器内振動伝達データを取得
－ 解析モデルの検証データを得る
- ・ 解析モデル開発
3次元シェルモデルに流体要素も考慮したモデルを開発



出典: JAEA Research 2006-042 フェーズⅡは原子炉設計—(1)原子炉システム—

図 1-2-30 主循環ポンプ組込型中間熱交換器の検査性について

万一、容器内部の下部にある構造（バウンダリペローズ、下部管板、伝熱管）の検査の必要が生じた場合、ポンプを引抜くことによってアクセスルートを確認することが可能



出典: 2005年12月 日本原子力研究開発機構（核の未来）ナトリウム冷却炉に適用するポンプ組込型中間熱交換器の開発（1/4スケール流動試験）

収めるために、ポンプを従来のように剛構造とせず、ケーシングのコンパクト化が可能な柔構造とする、などの工夫を施している。また、試験により、振動特性を確認するとともに、静圧軸受部の安定性解析、振動伝達解析モデルによる評価などが行われている。これらにより、技術的な見通しが得られたとしている。

しかし、従来、高速回転機器である主循環ポンプについては振動を防止するために剛構造の設計がなされ、また、熱交換器については、伝熱管部分に薄肉の材料を使用することから振動に弱くなるため、振動の発生源から分離した設計としている。主循環ポンプ組込型中間熱交換器の設計においては、この相矛盾する設計の要求を一体の機器に持ち込むという点でこれまでにないものである。このため、両機器の合体に伴って要求される構造健全性判断条件、運転時の制限条件、等の新たな設計制限条件を把握した上で、十分な試験や解析評価を行うことが必要であると考ええる。

ii. 検査性への配慮

機器を実用化する際には、検査性も重要な要素である(図1-2-30参照)。特に、主循環ポンプ組込型中間熱交換器はこれまでにない革新的な技術であり、また、原子炉の一次系を構成する重要な機器であることから、検査性に関しても十分な配慮をした開発を行うことが必要であると考ええる。

図1-2-31 連続晶析装置の研究開発

(1) 技術の現状

晶析方法の化学的成立性及び連続晶析装置の基本的成立性を確認

- ・実用解凍を用いた小規模ポット試験により、フルトニウムを4箇所に分離することで、ウランを精製できることを確認。
- ・U-フルトニウム溶液、U-フルトニウム溶液及びフルトニウム材料の溶解度を用いた試験により、除染係数100程度が達成可能であることを確認。FP元素によっては、条件により、異なる挙動を示すことを確認。
- ・臨界管理を形状管理とした円筒型キルン式晶析装置を試作し、ウラン試験で性能に問題がないことを確認。

U-フルトニウムにおけるPuの存在

U-フルトニウム溶液 Pu 正

Run1 100 : 0.3 (U) (Pu)

Run2 100 : 5 (U) (Pu)

Run3 100 : 1.5 (U) (Pu)

原料材料などを用いた試験により晶析条件の基本的成立性の見通しが得られつつある

晶析操作条件の最適化、工学規模装置の開発が必要



連続晶析装置試作機(基礎試験装置)

(2) 結晶中のUに対するPuとFPの除染係数 (DF)

核種		洗浄回数			
		0	1	2	3
I-3	Am-241	12	100	250	3,000
	Cs-137	13	100	170	740
	Eu-155	11	100	240	850
I-4	Am-241	6	58	550	1,700
	Cs-137	6	57	420	1,300
	Eu-155	6	56	530	1,400

		Pu	¹³⁵ Sr	¹³⁷ Cs	¹⁵⁴ Eu
Run1	洗浄前	5.6	1.6	1.2	4.2
	(急冷)	25	0.7	0.8	27
Run2	洗浄前	4.6	0.8	0.9	3.5
	(緩冷)	19	0.5	0.9	19

出典: JNC 9000 Series (Mitsubishi, UK, 4-8 July 2000) "Crystallization Behavior of Uranium and Plutonium in Nitric Acid Solution", K.Yano et al.
 Journal of Nuclear Science and Technology (日本原子力学会 論文報告会) 41(12) 203-214, 2004
 JNC 9000 Series (Mitsubishi, UK, 4-8 July 2000) "The crystallization of fissionable waste fuel", K.Yano et al.
 JNC 9000 Series (Mitsubishi, UK, 4-8 July 2000) "Crystallization Behavior of Uranium and Plutonium in Nitric Acid Solution", K.Yano et al.

(4) 再処理の技術開発課題の留意事項

① 晶析工程

Ⅰ. 基礎データの充実

「FS フェーズⅡ報告書」においては、再処理工程を「解体・せん断→溶解→ウランの粗取り→共抽出→MA回収」とし、この「ウランの粗取り」の工程に晶析法を採用することが提案されている。晶析法は、物質によって溶解度に差があり、かつ温度によって溶解度が変化する、という物質の性質を利用する方法であり、これまでの溶媒抽出法と比較して制御が容易であること、廃棄物発生量が少ないことを期待している。

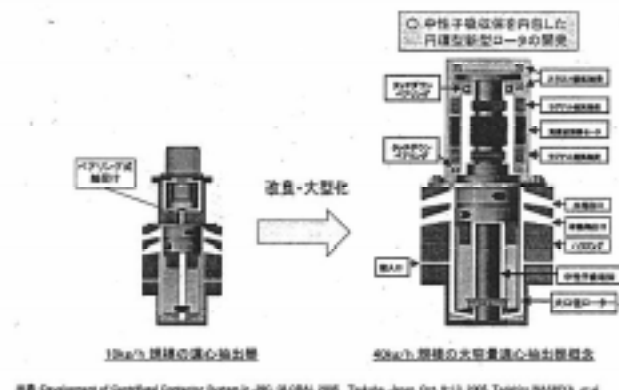
これまでに、小規模ではあるがホット試験を行い、プルトニウムの挙動、FPの挙動の確認が行われている。しかし、革新的な技術であり、今後、さらに溶液から固体を析出する非均質プロセスとして TRU、FP 挙動に係わる基礎的なデータの充実、ウラン回収率の安定性、制御性などに関する検討を行うことが必要であると考え（図1-2-31参照）。

Ⅱ. 機器の大型化に配慮した研究開発の実施

晶析法は固相と液相が共存するプロセスであるが、固相と液相が共存する場合には機器の規模が大きくなるとプロセス内で不均一性の問題が顕在化する可能性が高い。このため、大型機器を用いて基礎的なデータの拡充を図るなど、機器の大型化に配慮した研究開発が必要であると考え。また、①ヨウ化パラジウム、モリブデン酸ジルコニウムなど溶液条件の変化により固相を生成する化学種が与える影響、②ウラン濃度の上昇に伴う配管閉塞の懸念、などを考慮した機器開発が必要であり、その有効性を確認するためには、実際の使用済燃料を用いた工学規模での試験を行うことが必要であると考え。

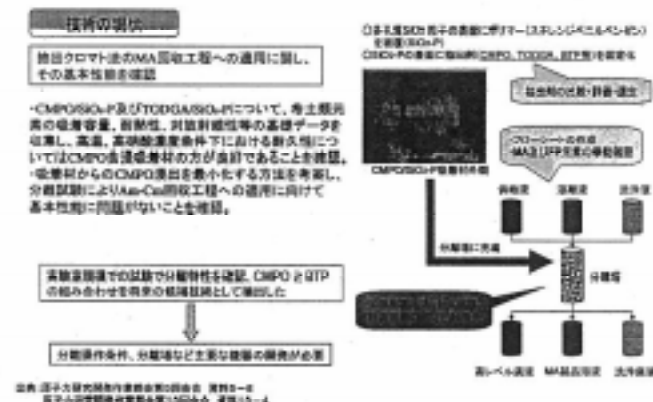
Ⅲ. 晶析法の軽水炉燃料再処理への適用

図1-2-32 遠心抽出器の研究開発



出典: Development of Centrifugal Extractor System in JRC, IAEA, 1995. Toshiba, Japan, Oct. 9-13, 1995. Toshiba NAREK, etc.

図1-2-33 抽出クロマトグラフィ装置の研究開発



出典: 原子力燃料開発内閣府報告書 資料5-8
原子力燃料開発内閣府報告書 資料5-4

現在の軽水炉燃料再処理施設においては使用済燃料の中からプルトニウムとウランを選択的に回収している。このウラン（回収ウラン）は、回収される工程において他の核種と十分に分離されている（「高除染」と呼ばれている。）ことから、放出する放射線量が少なく、発熱量も少ないなど、その取り扱い是比较的容易であり、改めて核燃料に加工して利用することも容易である。

晶析法で回収されたウランには、FPやTRUの一部が多く含まれ（「低除染」と呼ばれている。）、このため放出される放射線量や発熱量が多く、取り扱いがこれまでより困難になることから、回収ウランの貯蔵にも配慮が必要になる。このため、晶析法を将来の軽水炉燃料再処理に採用する場合には、軽水炉燃料再処理からの大量の回収ウランについて、その除染係数をどの程度とすべきかなど検討が必要と考える。また、回収ウランの除染係数を設計要求として設定するにあたっては、軽水炉サイクルを含む燃料サイクル全体を視野に入れて評価することが必要であると考える（図1-2-3.4参照）。

なお、米国が将来の再処理工程として検討している UREX 法（溶媒抽出法の一つ）では、回収ウランの除染係数について、回収ウランの処分をも見据え、低レベル放射性廃棄物と同等の処分が可能な放射能レベルに設定することを検討していると言われている（表 1-2-7 参照）。回収ウランの除染係数の妥当性については、我が国と米国ではウラン資源に対する考え方が異なり、技術的側面からのみで判断すべきではないと考える。軽水炉燃料からの回収ウランの活用方法に関する議論などが必要であり、これに基づき設計要求の見直しが要請される可能性があることに留意すべきと考える。

② ウラン、プルトニウム、ネプツニウムを一括回収する高効率抽出システムの課題

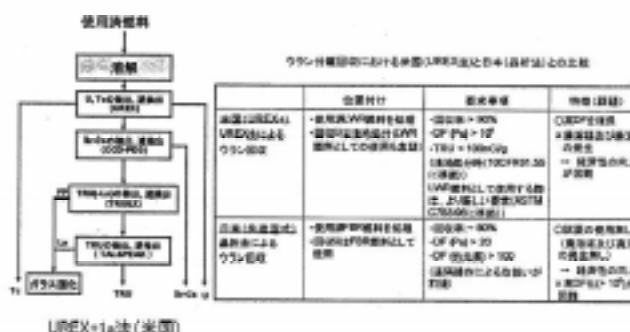
1. 遠心抽出器に中性子吸収体を配置した場合の吸い込み性能

既に、ロータ部の直径が 8cm 相当の遠心抽出器による試験が行われている。さらに遠心抽出器を大型化する場合を想定し、安全性の観点からロータ部の内側に中性子吸収体を挿入することが提案されている。

図1-2-34 将来の軽水炉使用済燃料の再処理への
将来型 PUREX 法の適用と先進型式法の適用の比較



表1-2-7 米國が開発しているPUREX法によるウラン分離回収装置の概要



図表 7: Decaying and Demonstration of the LBRX-Design using Spent Nuclear Fuel² G. F. Vandegriff, et al., presented at ATLANTIS 2008 – Advances in Future Nuclear Fuel Cycles, Miami, Florida, June 12-14, 2008

しかし、吸い込み部分の形状はノウハウが多い部分であり、ロータ部の内側に中性子吸収体を挿入した場合に生じる吸い込み部分への影響については、慎重な検討を行うことが必要であると考え（図1-2-32参照）。

II. 不溶解性スラッジの影響

「FS フェーズII 報告書」には特段の記載がないが、工学的には、遠心抽出器の前段の工程から十分に溶解されていない残渣（不溶解性スラッジ）が混じって流れ込んでくることが懸念される。このため、不溶解性スラッジへの対応に関し、今後十分な検討を行うことが必要であると考え。

③ 抽出クロマトグラフィ法による MA 回収技術の開発

「FS フェーズII 報告書」では、これまで TRU 回収技術として研究開発が行われてきた溶媒抽出法ではなく、廃液の大幅な低減及び経済性の向上が期待できるとして抽出クロマトグラフィ法を採用し、これにより高レベル放射性廃液からアメリシウムとキュリウムを回収することが提案されている。抽出クロマトグラフィ法で利用する抽出剤に関しては、溶媒抽出法（SETFICS 法）で利用されている抽出剤と同じ CMPO 抽出剤を利用し、これを吸着材に担持する方式が提案されている。

溶媒抽出法と比べて抽出クロマトグラフィ法では利用する溶媒の量が少ないことから廃溶媒発生量の低減効果などが期待できると考えられ、これの導入を目指して研究開発を行うことは妥当と考える。しかし、抽出剤に関しては CMPO 抽出剤以外の使用も考えられ、より環境適合性や経済性などに優れた抽出剤の研究開発を行い、比較検討を行うことが必要であると考え（図1-2-33参照）。また、抽出剤を担持する材料や抽出剤溶出対策に関する検討が必要であると考え。さらに、クロマトグラフィ装置は分析設備としては実績があるものの、分離のための工業用大型施設としての実績はないことから、工業用大型施設として必要とされる要件を満足できる設計について、今後とも検討が必要であると考え。

(5) 燃料製造の研究開発課題の留意事項

① MA の取り扱い

「FS フェーズII 報告書」では、高速増殖炉サイクル平衡期には、MA 組成はネプツニウム 0.1 %、アメリシウム 0.7 %、キュリウム 0.2 % になることが示されている。一方、高速増殖炉サイクル導入期においては、長期に中間貯蔵した軽水炉燃料やプルサーマル燃料から回収される MA を最大 5 % 程度まで添加して燃料を製造することから、MA 組成は平衡期とは異なる。特にキュリウムは発熱源となることから、その比率が大きくなると、特に燃料製造の際にハンドリングが困難になる。今後の研究開発にあたっては、このような MA の組成割合に対応した燃料製造が可能となるよう、優先的に取り組むべきである。

② ダイ潤滑成型

従来のペレット製造法では、成型工程における MOX 粉末の潤滑性を高めるために粉末段階で潤滑材を混合している。これに対し、簡素化ペレット法では、ペレット成型の際に潤滑剤を噴霧する方式が提案されている。これまでの研究開発において、実験室規模では成立性を確認したとされているが、量産技術として成立するか否か今後さらに研究開発を行う必要があると考える。

(6) その他の留意事項

① 保障措置技術分野

我が国は、今後も、原子力の研究、開発及び利用は、厳に平和の目的に限って推進し、国際的な核不拡散体制に積極的に参加し、IAEA保障措置及び国内保障措置の厳格な適用を確保して行くこととしている。新たな高速増殖炉サイクルシステムを実用化するにあたっては、この考え方を踏まえて推進することが必要である。このため、新たな高速増殖炉サイクルシステムを実用化するためには、核拡散抵抗性に優れ、十分な計量管理がなされ、合理的な保障措置の適用が可能となるような設計及び運転管理とする必要があると考える。

「FS フェーズⅡ報告書」では保障措置関連技術に関する記述が十分にされていない。保障措置関連技術は施設の設計に深く係わるものであり、今後、実証段階の施設の設計や実用段階の概念を具体化していく際には徐々にその重要性が増してくる。今後の研究開発にあたっては、保障措置関連技術に関する検討を十分に行うべきであると考え

② 知識ベースの構築とシミュレーション技術の活用

研究開発の推進にあたっては、研究開発施設等の設計、建設、運転、保守・補修等でこれまで蓄積された知見と経験を体系的に整理し、設計研究等に反映するとともに、近年著しい発展を遂げたIT技術及びシミュレーション技術を活用するなど、研究開発を効果的かつ効率的に進めることが必要である。

概念設計研究を行うに際して、革新的な技術に関する研究開発成果を絶えずフィードバックして設計を改良、最適化していくためには、常に必要な知識ベースを意識して研究開発成果を体系的に集約して活用する必要がある。また、高速増殖炉サイクルの研究開発は研究開発機関、製造事業者、大学など多くの組織で実施されるが、今後の研究開発においては、これらの組織での研究開発成果を知的財産権の適切な保護を考慮しつつ体系的に集約し、確実に実用化に結び付けていく必

要があると考え

そのためには、研究開発の早い段階から関係機関で連携を図りつつ、知識ベースの構築について検討すべきである。

なお、この知識ベースの構築を検討するにあたっては、これまで得られた知識・経験や研究開発成果を次世代においても積極的に活用することが可能となるよう、人材育成や技術継承にも留意して検討することが重要と考える。

各論 第二部 今後の進め方

1. 2015年までの研究開発計画

(1) 基本的な考え方

原子力政策大綱(2005年10月)は、高速増殖炉サイクル技術が2050年頃から原子力発電体系の中核技術として導入できるようにするため、その研究開発を進めるにあたって、まず実用化すべき技術体系を定め、その後実用化に取り組むという段階的アプローチを定めている。具体的には、「高速増殖炉サイクルの適切な実用化像と2050年頃からの商業ベースでの導入に至るまでの段階的な研究開発計画について、2015年頃から国としての検討を行う」こととしている。これを受け、当委員会は、この検討において必要となる科学的技術的な知見を提供することを今後2015年までの研究開発の目的とし、この目的を達成するための今後の研究開発について、次のような基本的な考え方に沿って進められるべきであると考えます。

① 研究開発課題の重点化

原子力機構と日本原電が「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究(FS)」を1999年に開始して以降これまで、炉型、再処理法、燃料製造法など高速増殖炉サイクル技術に関する多様な選択肢について検討を行ってきており、本年3月にFSフェーズⅡを終了した。

当委員会は、各論第一部で述べたように、現在の知見で実用施設として実現性が最も高いと考えられる実用システム概念であり、今後研究開発を特に進めるべきものは、「ナトリウム冷却高速増殖炉(MOX燃料)、先進湿式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造」の組み合わせであると判断し、これを「主概念」とした。さらに、この概念を成立させるために必要な革新的な技術を選定した。今後は、実現性をより確実なものとするために、この「主概念」を中心に研究開発を行うこととし、特に、この概念を成立させるために必要な革新的な技術について集中的に研究開発を行うべきである。

しかしながら革新的な技術の研究開発においては、開発リスクが無

視できない。このため、革新的な技術に対しては、既存技術に基づく代替技術を準備しておき、当該革新的な技術を代替技術に置き換えた場合のシステム概念が、実用システム概念として適切であるかを検討するというアプローチが必要であると考え。これにより、万一、いくつかの革新的な技術が研究開発の結果採用できないと判断される結果になったとしても、直ちに主概念全体が成立しないという状況にならないよう、柔軟性を確保することが可能となると考える。ただし、この代替技術については、開発資金の効率的活用観点から、革新的な技術が採用できないと判断された後に必要な研究開発を行うことが適切であると考え。なお、代替技術の採用に際して、開発目標に対する適合性についてその影響度合いを評価しておくべきである。

革新的な技術の幾つかに対して、現在の知見では実現性などで劣るものの、更なる性能向上の可能性を有する革新的な技術の新たな芽ともいえるべき技術が指摘しうる。このような技術については、国内外における今後の研究開発の進展の可能性を考慮し、高速増殖炉サイクルの基盤的な研究開発として取り組むことが適切であると考え。

「副概念」は、「ナトリウム冷却高速増殖炉（金属燃料）、金属電解法再処理、射出鋳造法燃料製造」の組み合わせとすることが適切であると判断した。これは、現在の知見で実用施設として実現性は認められるものの、社会的な視点や技術的な視点から比較的不確実性がある概念と考えるからであり、今後、高速増殖炉サイクルの基盤的な研究開発として取り組むべきである。

今回、「主概念」及び「副概念」を選定したが、その他の概念についても、研究開発を行うことにより科学技術として多様な知と革新が期待される。このため、その他の概念については、原子力分野の裾野を広げる基礎研究として取り組むべきである。

前述の通り「主概念」と「副概念」を選定し、特に「主概念」を中心に実用化に向けた研究開発を促進することが必要であると考え。このような研究開発の重点化を踏まえ、これまでの「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」で行ってきた幅広い戦略的な調査という方向性を変更し、今後は「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」として、実用化に集中した技術開発を行い、高速増殖炉サイクルの研究開

発を加速するべきである。

② 高速増殖炉サイクルの適切な実用化像の明確化

今後 2015 年までの高速増殖炉サイクル技術の研究開発は、その成果として高速増殖炉サイクルの適切な実用化像を明確化することが求められている。これを踏まえ、具体的な目標を、革新的な技術についてその採用可能性を判断できるところにまで具体化させ、それらを取捨選択し、組み合わせて高速増殖炉サイクル技術の設計研究を行い、開発目標・設計要求を満足する概念設計を得ること、とするべきである。

高速増殖炉が 2050 年頃から商業ベースで導入開始され、その後は高速増殖炉と軽水炉とが共存するが、高速増殖炉は軽水炉のリプレースとともに徐々にその比率を増加させ（高速増殖炉サイクル導入期）、2110 年頃以降は高速増殖炉により我が国の原子力発電の全てを担う（高速増殖炉サイクル平衡期）ことが想定される。これに対応し、今後 2015 年までの概念設計研究にあたっては、高速増殖炉サイクル導入期及びその後の高速増殖炉サイクル平衡期の両方を視野に入れるべきである。

③ 実証炉、燃料サイクル実証施設の明確化

高速増殖炉サイクルの適切な実用化像については、2015 年頃から国として検討を行うとされている。この検討では、実用化像として示されるシステム概念を経済性を含めて実証することの必要性や、そのために必要となる施設の建設が真剣に議論されるものと考え。この検討に対して適切な技術的知見を提供するため、今後 2015 年までの研究開発においては、実証炉と燃料サイクル実証施設の概念設計をとりまとめるべきである。

この際、燃料サイクル実証施設は、実証炉に燃料供給を行う役割を担うことから、施設能力や建設時期などに関して実証炉と整合性がとれたものとする必要があると考え。なお、実証炉及び燃料サイクル実証施設は、ユーザーが将来の導入に確信を持てるものである必要がある。一方、実用施設と規模が違ふこと、実証目的を含めた設計であることなどから、経済性など設計要求の一部が実用施設と異なることが合理的であると考え。従って、研究開発の前提となる設計

要求に関し、国（文部科学省、経済産業省）、原子力機構、電気事業者、製造事業者が緊密に連携し、早急に検討を行うべきである。

④ 段階的な評価の実施

高速増殖炉サイクル技術の研究開発は、原子力利用や広範な科学技術分野に革新をもたらす可能性が大きい革新技術システムを実用化の候補にまで発展させるための研究開発段階にある。このため、段階的な計画として取り組み、段階を進める際には国が成果と計画の評価を行い、実施すべき研究開発を重点化して進める必要があると考える。

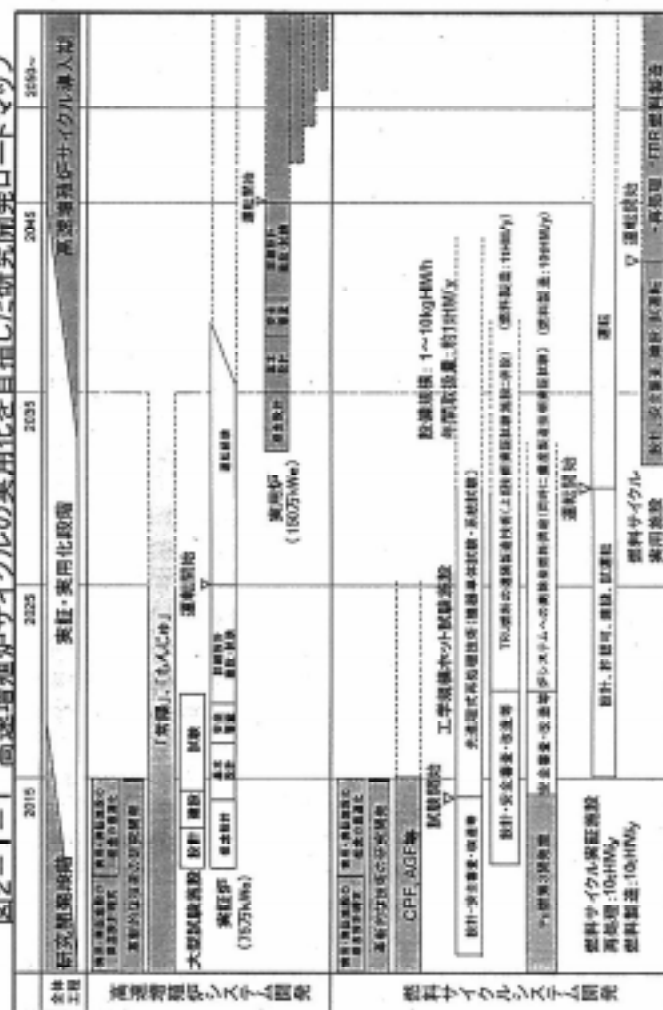
この際、原子力政策大綱（2005年10月）は「2015年頃から国としての検討を行う」としており、この2015年頃の国の評価は特に重要であると考えられる。

また、(i) 原子力政策大綱（2005年10月）は「軽水炉使用済 MOX 燃料の処理の方策は、(中略) 2010 年頃から検討を開始する」としており、この検討において必要となる科学技術的な知見の提供を求められること、(ii) 今後5年間の研究開発成果を踏まえて、採用する革新的な技術を高い確度の見通しを持って決定し、その後の概念設計（実用施設・実証施設）活動や実証試験施設の整備に反映させる必要があること、(iii) 諸外国の高速増殖炉サイクル開発に関する状況は大きく動き、適宜、我が国の研究開発計画の再検討が必要になること、が考えられる。これに対応するため、2010 年までに高速増殖炉サイクル技術に関する研究開発成果をとりまとめ、これを国が評価することが必要であると考えられる。この際、採用する革新的な技術を高い確度の見直しを持って決定できるよう、また、採用する革新的な技術あるいはそれ以外の技術と当該技術の採用に伴うコストが明かになるよう研究開発成果がとりまとめられることが必要であると考えられる。

⑤ 既存施設の有効活用

今後の研究開発を進めるにあたっては、高速実験炉「常陽」、高速増殖炉原型炉「もんじゅ」、東海再処理施設、プルトニウム燃料開発施設など、既存施設の有効活用を優先的に考えることが、研究開発を効率的・効果的に進める観点から重要であると考えられる。

図2-1-1 高速増殖炉サイクルの実用化を目指した研究開発ロードマップ



※本ロードマップは2015年までの研究開発計画を作成するにあたり想定したもの

(2) 実用化に向けてのロードマップ

「高速増殖炉の（中略）2050年頃からの商業ベースでの導入に至るまでの段階的な研究開発計画」に関連して、「FS フェーズⅡ報告書」では、革新的な技術の実証方法などが異なる3つのシナリオが紹介されており、また、製造事業者からもシナリオが提案されている。このように、2050年頃までの高速増殖炉サイクルの実用化を目指したロードマップとして複数のものが考えられる。

当委員会は、これらのシナリオを踏まえ、技術的な知見を前例して蓄積していくことの必要性、研究開発資源の効率的利用などを考慮し、図2-1-1のロードマップを想定して2015年までの研究開発計画をまとめることが適切であると考えます。

なお、ロードマップは、社会環境の変化や国内外における研究開発の進展に対応したものであることが必要であることから、2010年及び2015年に予定している評価において、再検討されるべきである。

(ロードマップのポイント)

高速増殖炉の燃料は、天然に存在するウランではなく、再処理施設（及び燃料加工施設）から供給されることから、高速増殖炉システムと燃料サイクルシステムとの整合性が不可欠である。このため、実証炉に向けての燃料供給の流れを図2-1-2のように想定している。

具体的には、2025年に実証炉を運転開始することとしている。実証炉は、MAが含有されていない燃料（高除染燃料）で運転を開始し、MA含有燃料（TRU燃料）に関する再処理、燃料製造技術の開発を並行して行うとともに、実証炉運転の習熟を経て、取替え燃料として順次TRU燃料に移行していくこととしている。

ただし、これらの施設の規模や運転開始時期は、小規模なシステムから実用段階のシステムに規模を大型化する際の段階をどのように刻むことが適切かという判断によって異なってくる。また、研究開発の進展や社会環境の動向を正確には予測できない。このため、施設の規

図2-1-2 ロードマップに基づく燃料供給の流れ

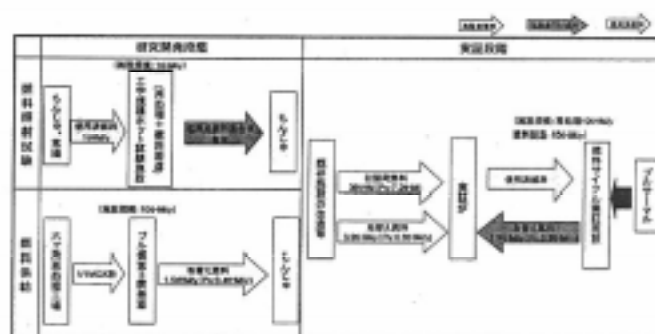
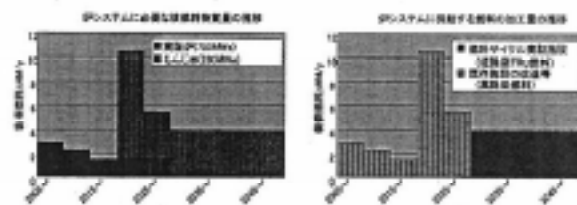


図2-1-3 ロードマップに基づく必要な核燃料物質の供給量



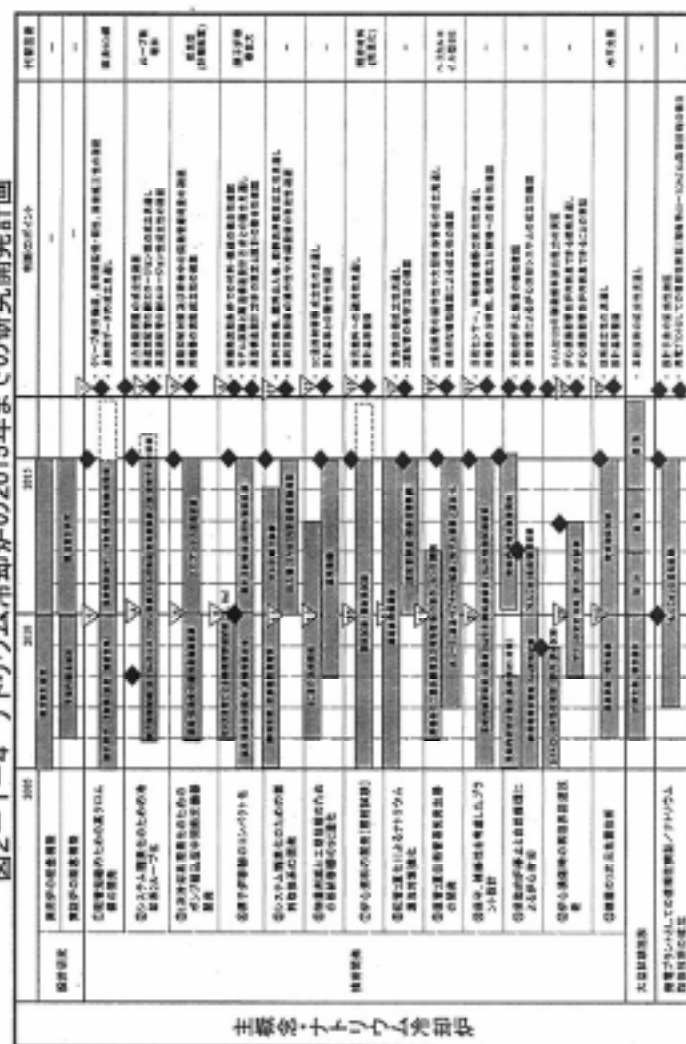
模や運転開始時期については、ひとつの目安として捉えたものであることに留意すべきである。なお、施設の立地準備に必要となる期間は明示していないが、今後ロードマップを詳細なものとしていく場合にはこの点に関し考慮することが重要であると考え。

2015 年頃までは、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」として、革新的な技術の研究開発を中心に実施することとしている（具体的な研究開発計画は「(3) 研究開発計画」に示す。）。今後 2015 年頃までに、革新的な技術について、その採用可能性を判断できるところにまで具体化させ、それらを取捨選択し、組み合わせて高速増殖炉サイクル技術の設計研究を行い、開発目標・設計要求を満足する概念設計を得ることとしている。2015 年頃以降、得られたシステム概念を経済性を含め実証するための実証炉、燃料サイクル実証施設において総合的に実証し、実用炉及び燃料サイクル実証施設に成果を反映させて行くものとしている。これらを踏まえ、2045 年頃に実用炉を運転開始できるよう技術的な知見を整えるものとしている。

高速増殖炉に必要な核燃料物質の供給については、図 2-1-3 のように想定している。「もんじゅ」や実証炉の運転に必要な核燃料物質を既存施設を改造した施設から供給される高除染燃料と核燃料サイクル実証施設から供給される低除染 TRU 燃料で賄うと想定している。

また、2045 年頃の実用炉運転開始の以前に燃料サイクル実証施設が運転を開始するものと想定している。この燃料サイクル実証施設は、軽水炉燃料及び高速増殖炉燃料を再処理し、実用炉へ低除染 TRU 燃料を供給する役割を想定している。

図 2-1-4 ナトリウム冷却炉の 2015 年までの研究開発計画



な確認も行えない。このため、燃料ピンレベルでの燃焼に関する知見の獲得については、既存施設である高速実験炉「常陽」を活用することが適切であると考え。また、燃料体レベルでの燃焼に関する知見の獲得、並びに、発電プラントとしての信頼性実証及びナトリウム取扱技術の確立については、高速増殖原型炉「もんじゅ」を活用することが適切であると考え。

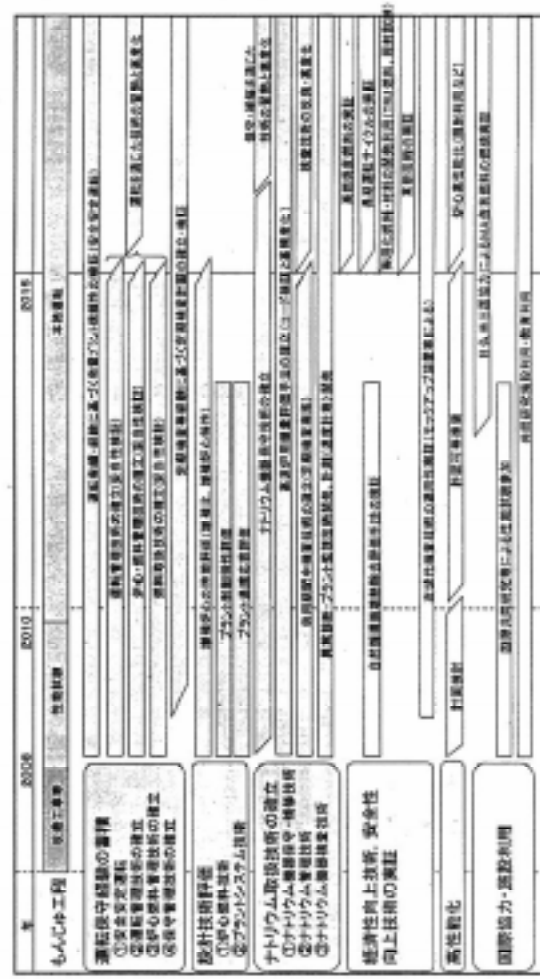
特に、「もんじゅ」については、安全確保を前提に地元の理解を得て早期に運転を再開し、原型炉としての所期の目的の達成に注力するとともに、その成果を実用化に向けての研究開発に反映するべきである。まず、性能試験結果等に基づく高速増殖炉プラント設計技術の評価し、高速増殖炉の設計手法の妥当性を検証することが必要であると考え（図2-1-6参照）。続いて燃料交換・運転保守経験の蓄積による運転管理技術等の確立を図るとともに、ナトリウム機器の保守経験等に基づくナトリウム取扱技術の確立することが適切であると考え。これらにより、発電プラントとしての信頼性実証とナトリウム取扱技術の確立を達成するべきである。

所期の目的を達成した後、高速中性子による照射、TRU 燃料開発、長期運転サイクルの実証など炉心の高性能化に向けた研究開発を実施し、また経済性向上技術や安全性向上技術の実証の場として活用するなど、高速増殖炉の実用化に向けた研究開発の場として活用・利用することが期待される（図2-1-7参照）。なお、将来の研究開発計画については、研究開発の進捗などを踏まえ、2010年及び2015年の評価において見直すべきである。

なお、2008 年より開始する予定の性能試験の実施に当たっては、安全を最優先とし、リスクを小さくしながら、成果を確実に得る性能試験計画とするべきである。すなわち、燃料及びプラント設備機器が長期保管状態にあったことを踏まえ、臨界状態での炉心確認試験および40%の低出力運転状態でのプラント確認試験を追加し、その評価・確認を行った上で、出力上昇試験を実施することが適切であると考え。また、炉心の長期停止に伴い、プルトニウムがアメリシウムに変化した炉心の炉物データを取得することは、高速増殖炉による TRU 燃焼に関する基礎的なデータを得る機会として重要であると考え。

図2-1-7 「もんじゅ」における研究開発計画

- もんじゅの運転保守経験に基づき、運転管理技術等を確立、設計技術の評価、ナトリウム取扱技術の確立。
○ 特に、性能試験では、安全確認の他、運転一対に基づくFR設計手法の妥当性検証などの設計技術評価を行う。



出典：第31回原子力委員会資料2(2006.8.1)をもとに作成

2. 2015年までの研究開発の進め方

(1) 安全の確保

安全の確保は、高速増殖炉サイクル技術の研究開発を推進するに当たっての前提条件である。

これまでの高速増殖炉サイクル技術に関する研究開発においては、もんじゅナトリウム漏れ事故、東海再処理施設アスファルト固化処理施設火災・爆発事故を経験している。これらは、安全性に関連した情報共有の問題やチェック体制の機能不全などにより事故の発生を未然に防ぐことができなかっただけでなく、事故情報の公開への取り組みに問題を起こし、国民の信頼を大きく失うことにつながったものである。

1995年に発生したもんじゅナトリウム漏れ事故の発生から10年以上が経ち、この間、原因究明と総点検、さらに国による安全性の確認が行われるとともに、研究組織は、動力炉・核燃料開発事業団から核燃料サイクル開発機構を経て現在の原子力機構になった(図2-2-1参照)。しかし、国民の信頼を回復するには至っていない。

安全の確保が全てに優先されるべきことを改めて徹底し、安全確保に関する法令の順守、品質保証活動の絶えざる改善、業務に関する安全性についての十分な知識の蓄積、安全確保についての高い意識と管理の維持、さらに、危機管理や積極的な情報公開などを通じ、高速増殖炉サイクルの研究開発に係わるすべての組織と人が安全文化を維持発展させていくことによって、安全確保の実績を積み上げ、国民の信頼の確立に努めることが重要であると考えられる。

(2) 国際協力の推進

① 基本的な考え方

高速増殖炉サイクルの研究開発を国際的な共同研究・共同開発により実施することは、我が国が研究開発を進めている高速増殖炉サイク

ルと共通の概念について幾つかの技術候補の研究開発を分担したり、炉型や燃料の異なる高速増殖炉サイクル技術の研究開発を並行して実施したりすることにより、研究開発のリスクや資源の低減を図ることができる可能性がある。また、国際協力を通じて設計概念を共有することにより、世界標準概念を構築できる可能性がある。このため、国内における資源の効果的で効率的な活用や世界の公共財的な技術として国際的に貢献するとの観点から、競争する分野と協調する分野を峻別しつつ、国際協力を推進するべきである。

このような認識に立ち、今後の国際協力は、次のような基本的な考え方に基づき進めることが適切であると考えられる。

- 我が国が進めている高速増殖炉サイクル研究開発について、諸外国と目標を共有することを目指すこと
- 我が国の技術が世界標準となることを目指すこと
- 研究開発のリスクや資源負担の低減、研究開発に要する期間の短縮など、我が国にとって利益が明確であること
- 必要に応じ、二国間協力と多国間協力を適切に選択すること
- 情報、技術等を提示するにあたり、知的所有権の確保に留意すること
- 国際協力によって我が国の研究開発計画に悪影響が生じないように留意すること(例えば、国際協力への過度の依存は、相手国の方針変更等によって我が国の計画に重大な影響を及ぼすリスクがある)
- 平和利用、核不拡散の担保、安全の確保、核セキュリティの担保を求めること

② 国際協力の現状

高速増殖炉サイクルに関する国際協力の現状を図2-2-2に示す。

多国間協力である「第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(GIF)」は、持続性、安全性、経済性、核拡散抵抗性・核物質防護の要件を満たす第4世代原子力システムを、2030年頃の実用化を目標に開発することを目指している。個別の協力については、ナトリウム冷却高速炉の開発に関する共同研究のシステム取決めが原子力機構を

実施機関として2006年2月に締結され、設計・安全性、新型燃料、機器設計・BOPなどの分野での具体的な協力が開始されようとしている（開発目標と設計要求の比較については添付資料6を参照のこと）。

IAEAが主導する「革新的原子炉・核燃料サイクルに関する国際プロジェクト（INPRO）」では、開発途上国とともに、各種の高速炉サイクル技術を対象としたINPRO評価手法による評価について共同研究を行うこととしている。

表2-2-1は、高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究（FS）フェーズIIにおける開発目標と、GIF及びINPROにおける開発目標を比較したものである。FSはこれらの国際的な取り組みに先行して1999年に開始されたが、GIF及びINPROとFSでは、ほぼ同様な開発目標や設計要求が設定されている。高速増殖炉サイクルの研究開発は、我が国を含めて概ね同様の方向を目指しており、国際協力が関係国間で有効な研究開発手段となりうると考えられる。

二国間協力では、原子力機構が仏国原子力庁（CEA）と、高速増殖炉サイクル先進技術に関し、高速炉プラント設計研究、構造健全性、熱流動、炉物理、安全性、炉心燃料開発、プラント運転技術、再処理プロセス技術、燃料製造プロセス技術、および高速増殖炉サイクル導入シナリオ研究などの分野で情報交換を中心に行っている。

米国との間では、原子力機構が、米国の過渡事象試験炉「TREAT」を用いた新型燃料の安全性試験の準備等を進めている。

ロシアとの間では、1998年から開始された日露政府間の高速増殖炉サイクル協力の枠組みの下で、原子力機構が原子炉科学研究所（RIAR）と、燃料材料照射試験（「BOR-60」炉によるODS銅を用いた燃料ビンの照射試験）を実施している。なお、乾式再処理（酸化物電解法の基礎試験）については2005年度で協力を終了している。

カザフスタンとの間では、炉心損傷時の溶融燃料流出挙動に関する炉内・炉外試験について、原子力機構がカザフスタン国立原子力研究センターと共同研究を実施している。

表2-2-1 実用化戦略調査研究とGIF、INPROとの開発目標の比較

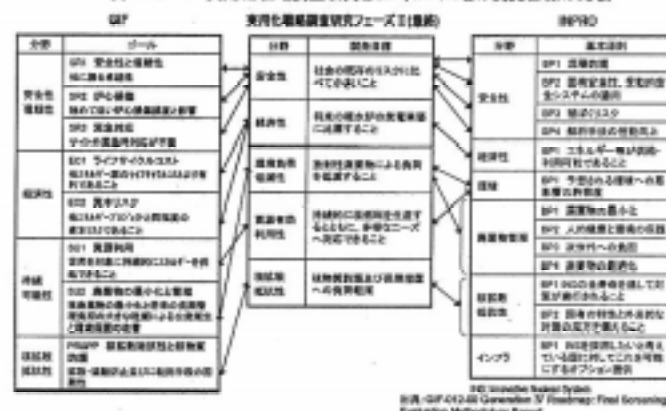
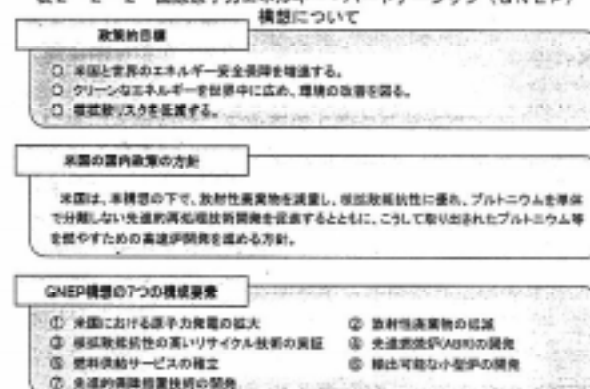


表2-2-2 国際原子力エネルギー・パートナーシップ（GNEP）



③ 今後の国際協力の進め方

ア. 国際原子力エネルギー・パートナーシップ (GNEP)

米国が本年2月に提唱した新たな枠組みである「国際原子力エネルギー・パートナーシップ (GNEP)」構想(表2-2-2参照)は、世界的な原子力発電の拡大に対応しつつ、核不拡散を確保するための国際的なシステムを構築しようとするものである。

GNEP 構想の中の高速炉サイクル技術は、放射性廃棄物の低減、核拡散抵抗性の向上、プルトニウムを単体で分離しない再処理(当面は軽水炉から発生する使用済燃料を再処理)の推進、ナトリウム冷却高速炉の導入などの点で我が国と方向性が共通している。一方、方向性が異なる点もある。例えば、GNEP 構想の中のナトリウム冷却高速炉はプルトニウムの増殖を目指していない。これは、我が国と米国のエネルギーセキュリティに対する考え方の違いによるものと考えられる。

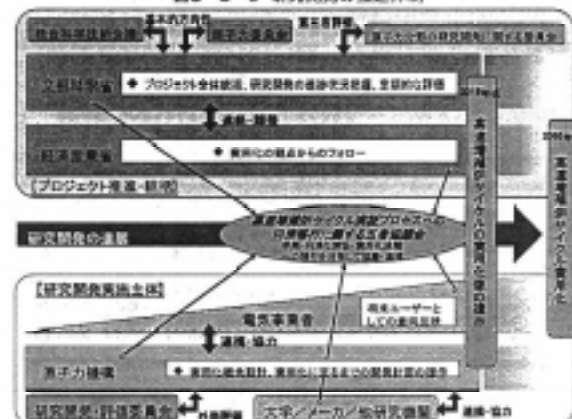
今後、GNEP 構想を詳細に検討し、共通点及び相違点を明確にしておく必要があるが、GNEP 構想に対し積極的、また前述の基本的な考え方に沿って戦略的に対応することが適切である。

具体的には、日米両国が研究開発を進めている技術の比較検討を行って共同研究・共同開発の可能性を探ること、先進燃焼炉「ABR」の設計活動に積極的に参加すること、「常陽」、「もんじゅ」、米国過渡事象試験炉「TREAT」など研究開発施設を相互利用すること、などを検討することが適切である。

イ. 第4世代原子力システムに関する国際フォーラム (GIF)

ナトリウム冷却炉システム取決めの締結に続き、ナトリウム冷却炉に係るプロジェクト取決め(設計・安全性、新型燃料、機器設計・BOPなどの分野)を締結し、国際共同研究を本格化させることが適切であると考えられる。これにより、主としてプラントシステム技術及び炉心燃料技術の分野でメリットがあると考えられる。特に、プラントシステム技術については、GIF が開発を目指す炉概念の比較検討プロセスにおい

図2-2-3 研究開発の推進体制



て、我が国の技術が世界標準となるよう主体的にリードしていくことを期待する。炉心燃料技術については、各国における要素技術開発に関する情報交換を通じて基礎データの拡充が可能となることから、研究開発のリスク低減や費用負担の低減を期待する。

ウ、革新的原子炉・核燃料サイクルに関する国際プロジェクト (INPRO)

開発途上国からの参加もあることから、我が国が提供可能な技術が国際的に活用されていくものとするため、開発途上国の動向等の情報収集を含め、幅広く国際的な理解を得るよう努力して行くことが重要である。

エ. その他の二国間、多国間の協力

上記以外の二国間や多国間の協力についても積極的にその可能性を追求し、世界標準概念の構築と開発リスクの低減に寄与するよう努めることが重要である。

(3) 研究開發體制

高速増殖炉サイクル技術の研究開発は、原子力利用や広範な科学技術分野に革新をもたらす可能性が大きい革新技術システムを実用化の候補にまで発展させるための研究開発段階にあることから、国および研究開発機関が、産業界とロードマップ等を共有し、大学や産業界の協力・協働を得つつ、主体的に取り組むべきである。

これに対応し、原子力基本法に定められる唯一の原子力研究開発機関である原子力機構を中核として、電気事業者とともに、電力中央研究所、製造事業者、大学等の協力を得つつ、着実に推進することが適切であると考える（図2-2-3参照）。

原子力機構は、2005 年 10 月、基礎的な研究開発を主に行ってきた日本原子力研究所とプロジェクト指向の研究開発を主に行ってきた核燃料サイクル開発機構が統合して設立された独立行政法人である。今後とも、

図2-2-4 高速増殖炉サイクル実証プロセスへの田邊修行に関する5ヵ年協議会



表2-2-3 評価の体制

国 の 評 価

○概況：
 本邦研究界：科学技術・学術審議会 研究開発・評価分科会 原子力分野の研究開発に関する委員会
 に対して、基礎研究やイタリとの共同研究機関研究フェーズⅡ連絡会議等、各評価
 調査委員会：欧米連合委員会、OECD分科会、OECD分科会、OECD分科会、OECD分科会、OECD分科会
 両国のシナリオや修正シナリオに基ける重要度・影響度のあり方などを検討

○2008年及び2010年：
 研究開発費削減から影響・実効性評価に門戸を開くための開示の政策実施に広くかかわる計画に資する
 ものであるから、評価のあり方を検討する必要あり

研究開発機関が自ら実施する評価

○重要事として選択が必要に自らの研究開発成果を評価することが必要
 ○この際、各種のビジネス・モデルや研究開発成果を評価すること、何れの責任性を確保することが必要

●プロジェクトレビュー：核燃料の取り扱いの厳格な実施を確保
 ・原子力分野の専門家を各大学研究機関の外部に委ねることも可能

●マネジメントレビュー：核燃料の取り扱いの厳格な実施を確保
 ・核燃料の取り扱いの厳格な実施に関する研究機関の共同による評価
 ・研究機関における評価を実施し、成果の活用を促進する

○重要事として選択が必要に自らの研究開発成果を評価することが必要
 ○この際、各種のビジネス・モデルや研究開発成果を評価すること、何れの責任性を確保することが必要

●プロジェクトレビュー：核燃料の取り扱いの厳格な実施を確保
 ・原子力分野の専門家を各大学研究機関の外部に委ねることも可能

●マネジメントレビュー：核燃料の取り扱いの厳格な実施を確保
 ・核燃料の取り扱いの厳格な実施に関する研究機関の共同による評価
 ・研究機関における評価を実施し、成果の活用を促進する

○重要事として選択が必要に自らの研究開発成果を評価することが必要
 ○この際、各種のビジネス・モデルや研究開発成果を評価すること、何れの責任性を確保することが必要

●プロジェクトレビュー：核燃料の取り扱いの厳格な実施を確保
 ・原子力分野の専門家を各大学研究機関の外部に委ねることも可能

●マネジメントレビュー：核燃料の取り扱いの厳格な実施を確保
 ・核燃料の取り扱いの厳格な実施に関する研究機関の共同による評価
 ・研究機関における評価を実施し、成果の活用を促進する

原子力機構は、原子力政策大綱等にとり、統合効果及び経営の自主性・自立性を発揮しつつ、高速増殖炉サイクルの実用化に向けた研究開発を総合的、計画的かつ効率的に行うことが必要である。このため、深い専門的能力を有し、組織横断的にリーダーシップを発揮するプロジェクトリーダーの下、推進チームの顔が見える、研究開発能力及び研究開発管理能力に優れた体制を整備し、革新的なアイデアや新たな課題の解決が期待される基礎・基盤研究の部門とも連携を図りつつ、強力に研究開発を推進することが重要であると考ええる。

今後の研究開発においては、産業界が実用化の対象として選択できる環境を整えることが必要であり、文部科学省と経済産業省が連携を進めることが重要であると考ええる。特に、研究開発段階から実証・実用化段階に円滑に移行させるためには、2015 年までの研究開発の終了を待つのではなく、常に研究開発側と導入者側とで円滑な移行に向けた協議を行うことが重要であると考ええる。既に、経済産業省、文部科学省、電気事業者、製造事業者、原子力機構により「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」が本年 7 月に設置、開催されている。この協議会においては、今後の研究開発に対するユーザー側の要求、軽水炉から高速増殖炉へのサイクル側（再処理・燃料製造）の移行シナリオ、国際協力のあり方、開発スケジュールと実証ステップのあり方などを検討することとしている（図 2-2-4 参照）。このような場が十分に機能することを期待する。

また、高速増殖炉サイクル技術の研究開発にあたっては、中核となる原子力機構とともに、基礎的な研究や実証・実用化に向けた研究開発などの各分野において、大学、研究開発機関、電気事業者、製造事業者における取り組みも強く期待する。

(4) 研究開発の評価体制

研究開発の評価については、国の評価と研究開発機関が自ら実施する評価が必要不可欠である（表 2-2-3 参照）。

今回の「FS フェーズⅡ報告書」の評価は、本委員会（文部科学省 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 原子力分野の研究開発に

表 2-2-4 2010 年までの研究開発経費

(単位: 億円)

年度	2006	2007	2008	2009	2010	計
研究開発経費						
設計研究(高速増殖炉システム)	5	3	3	3	3	17
設計研究(燃料サイクルシステム)	2	3	3	4	3	15
革新技術(高速増殖炉システム)	10	57	79	61	37	233
革新技術(燃料サイクルシステム)	11	40	48	38	26	164
工学技術の試行試験	0	13	17	18	16	70
「もんじゅ」維持管理費	80	91	193	166	208	804
「もんじゅ」改修工事等費	139	133	87	1	0	340
「もんじゅ」性能試験費	4	2	4	21	11	42
「もんじゅ」関連技術開発	5	5	5	5	5	25
「常陽」	29	30	39	39	38	235
CPF等	6	10	15	15	15	61
プルトニウム燃料製造	46	71	72	73	73	335
燃料後処理施設	7	8	15	12	13	55
その他(コールド試験、施設維持等)	21	18	21	44	44	148
総 計	370	518	589	513	518	2,494

※高経炉と設備設備費・安全対策を含む費用

出典: 原子力機構資料

関する委員会)において行った。一方、本年 8 月に取りまとめられた経済産業省 総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 原子力部会の報告書において、「FS フェーズⅡ報告書」の評価が言及されるとともに、高速増殖炉サイクル実用化のシナリオや移行シナリオにおける官民役割分担のあり方などが検討されている。高速増殖炉サイクルの実用化は、文部科学省に限らず、我が国全体として取り組むべき重要な課題であると考えられる。特に、今後 2010 年及び 2015 年に評価を行うこととしているが、研究開発段階から実証・実用化段階に円滑に移行するための原子力政策全般に広くかかわる判断に資するものとなることから、国は、これによりふさわしい評価のあり方を検討する必要があると考える。

研究開発の中核である原子力機構は、研究開発の当事者として適正かつ厳正に自らの研究開発成果を評価することが必要である。この際、研究開発に携わる原子力機構の個々の研究者・技術者及び組織としての原子力機構は、各種のピアレビューや外部評価を効果的に活用して、判断の妥当性を確保していくことが必要であると考えられる。このような評価の手法として、①複数の取り組み提案の相互比較を当該分野の専門家を含む学識経験者の集団に求めるなど、課題に対する取り組み方法などが妥当であることを保証していくプロジェクトレビュー、②取り組みの進捗状況や成果に関する担当者の上司による評価や学会等における批判を効果的に活用する他、分野毎に国内外の専門家、成果の利用者からなるチームを設け、研究開発活動の妥当性評価を求めるなどして、取り組みが適切に推進されることを保証していくマネジメントレビュー、が考えられる。このようなプロジェクトレビューやマネジメントレビューを充実させることが重要であると考えられる。また、研究開発活動の成果を性能目標の達成度の観点から評価し、これを踏まえて次に取り組むべき活動を提案するため、多方面にわたる学識経験者と関係分野に深い学識を有する国内外の専門家から構成される評価チームによるレビューを実施することが必要であると考えられる。

(5) 研究開発資源の確保

① 研究開発費の確保

高速増殖炉サイクル実用化研究開発の推進にあたっては、高速増殖

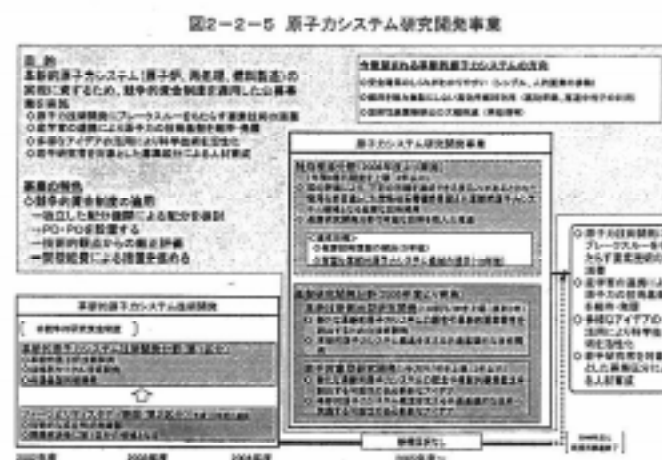


表2-2-5 原子力システム研究開発事業の採択実績

平成18年9月7日現在

	2005年度		2006年度		採択総数(件)	
	採択件数	採択率	採択件数	採択率		
原子炉	ナトリウム炉	3	1	5	3	
	軽水炉		1		2	
	ガス炉		2			
	水素炉	1	3		1	
	高速炉用熱交換器		3		3	
熱交換器	高速炉用熱交換器 (重水炉用)	(3)	(4)	(2)	(3)	2
	軽水炉用		2	1	1	
燃料製造 (濃縮)	濃縮ウラン製造 (濃縮ウラン製造)	(1)	(1)	(2)	(2)	2
	重水炉用燃料				1	
	高速炉用燃料			1		
	高速炉用燃料製造技術	5	7	2	6	
合計	12	24	12	20	9	

(*)高速炉用熱交換器(原子炉は高速増殖炉)

原型炉「もんじゅ」など既存の施設における研究開発とともに、設計研究、革新的な技術の研究開発などに資金が必要となる。原子力機構の見積もりでは、表2-2-4のようにになっている。2010年以降は、大型試験施設や工学規模ホット試験の建設に必要な資金を含め、研究開発費は増大する傾向にあると考えられる。

このため、国の厳しい財政事情を踏まえ、高速増殖炉サイクル実用化研究開発の中核となる原子力機構は、研究開発の重点化、既存施設の有効活用、大学等との共同研究、国際協力の活用などを含め、効果的・効率的に研究開発を着実に実施することはもとより、原子力機構の業務の選択と集中を行い、必要な研究開発資金を確保することが重要であるとする。また、国は、適切な資金を確保することが重要であるとする。

また、基盤的に取り組むべき技術開発課題については、研究機関、大学、産業界などの革新的なアイデアから成果が生み出される。このため、競争的な環境の下で革新的なアイデアを公募し、第三者による評価を受けつつ研究開発が進められるよう、競争的資金を活用することも重要であり、国はこれに適切に対応する必要があると考える(図2-2-5、表2-2-5参照)。

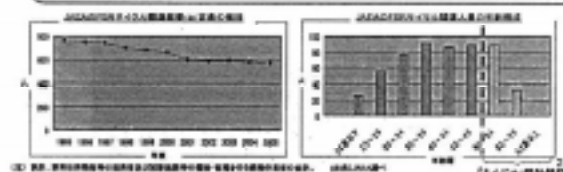
実証プロセスに関し、本年8月、経済産業省 総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 原子力部会 がとりまとめた報告書は、「軽水炉発電相当分のコストとリスクは、民間事業者が負担することを原則とすることが適切である。それを越えるコストとリスクについては、(中略)国の積極的関与が不可欠であること、を踏まえて、国が相当程度の負担をするのが適切である。」としている。今後、「高速増殖炉サイクル実証プロセスへの円滑移行に関する五者協議会」において、役割分担、資金負担の考え方などについても必要な検討がなされることを期待する。

② 人材の確保・育成

高速増殖炉サイクル技術の研究開発にあたっては、創造性と備わることなき探究心を持つ人材、様々な困難を乗り越えて技術革新を実現していく強い意志を持った人材の確保が必要である。また、(i)革新

図2-2-6 日本原子力研究開発機構における高速増殖炉及び高速増殖炉再処理関連の技術・人材の現状

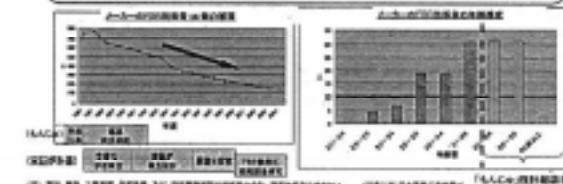
- ・ (注) 日本原子力研究開発機構(JAEA)及び関係機関(サイクル開発機構、原子力炉・燃料開発事業団)における高速増殖炉及び高速増殖炉再処理関連の調査は、1980年代から90年代半頃まで、ほぼ横ばい。その後、行方による予算削減の中で減少傾向。
- ・ 注2) 「高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究」の策定や、「もんじゅ」の維持・運転等を通じて、一部の技術は維持しており、メーカーに比べ減少幅は小さい。
- ・ 高速増殖炉・高速増殖炉再処理関連の人員構成は、メーカーと異なり、若手・高齢化が進んでいない。ただし、技術者の減少に伴い、若年層の割合が減少。



出典: 経済産業省資源エネルギー庁原子力部会資料1-2

図2-2-7 メーカー高速増殖炉関連の技術・人材の現状

- ・ メーカーにおける高速増殖炉(FBR)関連の技術数は、「もんじゅ」基本設計・製作設計やFBR実証炉計画が進められた1980年代がピーク。その後、「もんじゅ」の設計作業終了と、FBR実証炉計画の延期とともに、技術数はピークの1/5程度に急減。
- ・ 現時点では、「もんじゅ」改修工事や(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)を中心に実施している「高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究」への参画等により、各社とも一定の技術者を維持、しかしながら、今後ともFBR開発スケジュールが不透明なままでは、今後の技術者数は経年上困難な状況。
- ・ 若年層の配置が減少した結果、FBR関連部署の人員構成は高齢化が進行。



出典: 経済産業省資源エネルギー庁原子力部会資料1-2

的技術概念に基づく技術システムを実現する方策を探索する研究開発、
 (ii) 実現できるとわかった革新的技術システムを支える材料、構造、
 システム統合技術等の革新を通じてこれを実用化候補まで発展させる
 研究開発、(iii) 関連する産業の技術基盤の革新を図ることによって
 実用化候補技術システムを実用化していく研究開発、という3段階の
 長期間にわたる研究開発活動を経て実用化されることから、研究開発
 機関、産業界、大学における人材、そして、将来これらの組織におい
 て研究開発を担うであろう人材の確保・育成が必要であると考え、

高速増殖炉サイクルの研究開発人材の現状をみると、原子力機構の
 人材は、国の研究開発投資の減少、特殊法人改革等に伴い減少基調に
 あり、民間企業の人材も、建設機会の減少や研究開発投資の減少に伴
 い減少傾向にある(図2-2-6参照)。また、高速増殖炉原型炉「もん
 じゅ」の設計経験者は50歳以上となっている。さらに、六ヶ所再
 処理工場の試運転終了とともに技術者数が減少するおそれを指摘でき
 る(図2-2-7、図2-2-8参照)。大学においては、名称として「原子」
 が含まれる学部・学科が減少している。しかし、原子力に
 関する学問の進展に伴い関連する教育研究の領域が様々な分野に拡大
 しており、このような状況を踏まえ、量子エネルギー工学、エネルギ
 ー科学等の名称の学部・学科において、従来の原子力分野を含め、よ
 り幅広い分野を内容とする原子力に関する教育研究を実施している。
 その学生数は、学部生、修士、博士の数ともにほぼ横ばい状態とな
 っている(図2-2-9参照)。しかしながら、幅広い学問、学際分
 野を対象とした教育・研究を指向する傾向が強くなり、原子力の専門教育
 ・研究の希薄化が懸念される状況である。

このような状況を踏まえると、(i) 2015 年までの研究開発を着実に
 推進するため、(ii) 開発段階から実用化段階への円滑な移行を推進
 するため、(iii) 将来を担う人材を確保・育成するため、それぞれに対
 応した適切な対応をとる必要があると考える。

(i) 2015 年までの研究開発を着実に推進する観点からは、研究開
 発の中核的実施機関である原子力機構内部における人材の集中と研究
 開発機関、産業界、大学などの人材の裾野の拡大が必要であると考え
 る。このため、原子力機構は、研究者・技術者を主概念の研究開発に

図2-2-8 メーカーの再処理工場の技術・人材の現状

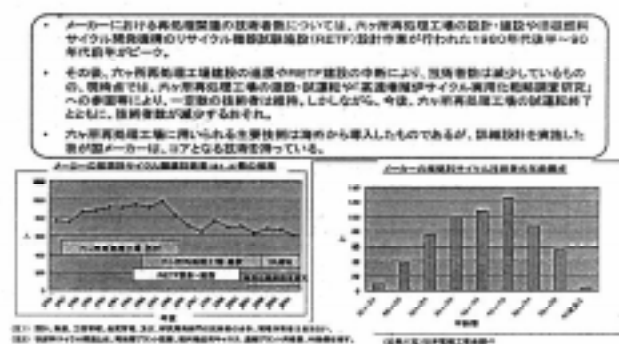
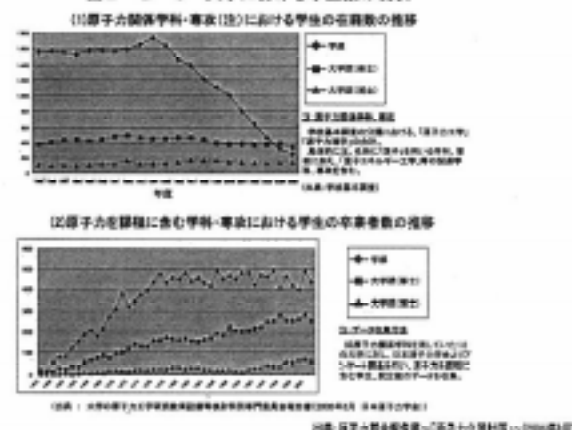


図2-2-9 大学における学生数の現状



集中するとともに、これまで FS に携わってきた人材のみならず、基礎的な研究開発や高速増殖炉サイクル関連施設の運転を行っている研究者・技術者を今後の研究開発に積極的に参加させることが重要であると考え。また、人材の裾野の拡大については、競争的資金制度の活用や原子力機構と他の研究開発機関、産業界、大学などとの共同研究の推進が重要であると考え。

(Ⅱ) 研究開発段階から実用化段階への円滑な移行を推進する観点からは、産業界における人材の確保、研究開発機関・産業界・大学などの人材交流の促進、これまで高速増殖炉サイクル施設の設計を行った世代の能力の活用と若手研究者・技術者への技術継承が必要であると考え。産業界における人材の確保については、国が中長期的な研究開発計画を明確にし、産業界が投資を行いやすい環境を整えることが重要であると考え。研究開発機関・産業界・大学などの人材交流の促進については、大型試験施設やホット工学試験施設などの試験施設の設計、建設、運転を通じての人材交流と技術継承、並びに高速増殖炉原型炉「もんじゅ」などの既存施設の運転を通じての人材交流と運転・保守経験の蓄積が重要であると考え。また、これまで高速増殖炉サイクル施設の設計を行った世代の能力の活用と若手研究者・技術者への技術継承については、実用施設の概念設計活動のみならず、各種施設の設計、建設活動を通じて、その能力を活用する場を提供し、同時に若手研究者・技術者へ技術継承を行うことが重要であると考え。

(Ⅲ) 将来を担う人材の確保・育成の観点からは、次世代の人材の育成や社会への情報発信が必要であると考え。次世代の人材の育成については、原子力機構と大学との連携大学院の実施など大学教育に対する連携強化が重要であると考え。また、社会への情報発信については、世界標準を目指した国際競争の姿やその成果の発信、高速増殖炉サイクル技術の異分野へ成果展開、地域科学教育活動への貢献などを通じ、幅広い世代に対し夢を提供し、高速増殖炉サイクルへの関心を広げ、その実用化に携わろうとする若年層が増えるよう努めることが重要であると考え。

(6) 説明責任を果たす活動の充実

原子力に関する活動は、多方面にわたり、成果が得られるまでに長期にわたる総合的な取り組みを要し、しかもその達成には様々な不確実性を伴う。このため、国や事業者は、施策の企画・推進にあたって、施策がもたらす公共の福祉に対する貢献の大きさやそのライフサイクルにわたるコストとリスクなどを可能な限り定量的に評価することが重要である。この際、こうした評価の内容を国民に積極的に公開することが、施策についての理解の促進に有効であることに十分に留意すべきである。

特に、高速増殖炉サイクル技術の研究開発にあたっては、エネルギーセキュリティの向上、地球環境保全への貢献など研究開発の意義や内容を国民に分かり易く説明し、社会のニーズを的確に捉え、納税者への説明責任を果たすべく、積極的に広聴・広報活動を行うことが必要であると考え。

さらに、長期的に国民の支援を受け、萌芽としての研究者・開発者を育成するという意味において、学校教育の中で原子力発電所や研究開発施設の見学、エネルギーや地球環境保全などをカリキュラムに折り込めるよう、高速増殖炉サイクルに係わる全ての関係者が様々な働きかけを行うことが重要であると考え。