JNC TN1440 2000-003

平成11年度研究開発課題評価(事前評価)報告書

評価課題「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」

平成11年8月

核燃料サイクル開発機構
研究開発課題評価委員会
(高速炉・燃料サイクル課題評価委員会)

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。
〒319-1184　茨城県那珂郡東海村村松４番地４９
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :
Technical Cooperation Section
Technology Management Division
Japan Nuclear Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構（Japan Nuclear Cycle Development Institute）
2000

JNC TN1440 2000-003
１９９９年８月

平成11年度研究開発課題評価（事前評価）報告書
評価課題「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」

核燃料サイクル開発機構
研究開発課題評価委員会
(高速炉・燃料ｻｲｸﾙ課題評価委員会)

要　旨

核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）は、内閣総理大臣が定めた「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方についての大綱的指針」（平成９年８月７日決定）及びサイクル機構の「研究開発外部評価規程」（平成10年10月１日制定）等に基づき、研究開発課題「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」に関する事前評価を、研究開発課題評価委員会（高速炉・燃料ｻｲｸﾙ課題評価委員会）に諮問した。

これを受けて、高速炉・燃料ｻｲｸﾙ課題評価委員会は、サイクル機構から提出された評価用説明資料及びその説明に基づき、本委員会によって定めた評価項目及び評価の視点及び評価の基準に従って当該課題の事前評価を行った。

本報告書は、その評価結果をサイクル機構の関係資料とともに取りまとめたものである。

目　次

１．概要 …… 1

２．高速炉・燃料サイクル課題評価委員会の構成 …… 1

３．審議経過 …… 2

４．評価方法 …… 2

５．評価結果（答申書） …… 5

（参考）高速炉・燃料サイクル課題評価委員会　各委員の評価意見…… 19

参考資料（核燃料サイクル開発機構資料）

参考資料１　研究開発課題の事前評価について（諮問）

参考資料２　評価結果に対する措置

参考資料３　高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究

参考資料４　高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究（ＯＨＰ資料）

1．概要

核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）は、内閣総理大臣が定めた「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方についての大綱的指針」（平成9年8月7日決定）及びサイクル機構の「研究開発外部評価規程」（平成10年10月1日制定）等に基づき、研究開発課題「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」に関する事前評価を、研究開発課題評価委員会（高速炉・燃料サイクル課題評価委員会）に諮問した。

これを受けて、高速炉・燃料サイクル課題評価委員会は、サイクル機構から提出された評価用説明資料及びその説明に基づき、本委員会によって定めた評価項目、評価の視点及び評価基準に従って当該課題の事前評価を行い、その結果を理事長に答申した。

本報告書は、その評価方法や評価結果、及び評価結果に対する措置等のサイクル機構の関係資料をとりまとめたものである。

2．高速炉・燃料サイクル課題評価委員会の構成

本委員会は、平成11年1月に設置され、関連分野の専門家を中心として、社会科学の専門家、ジャーナリスト、ユーザーなど、幅広い分野の委員から構成されている。

委員長	岡　芳明	東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設教授
委　員	井上　正	電力中央研究所原燃サイクル部長
	桑原　茂	関西電力(株)原子力･火力本部原子燃料部長
	近藤三津枝	ジャーナリスト
	清水　雅彦	慶應義塾大学経済学部教授・産業研究所所長
	鈴木　潤	未来工学研究所Ｒ＆Ｄ戦略研究グループリーダー
	戸田　三朗	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻教授
	中川　正幸	日本原子力研究所エネルギーシステム研究部長
	中村　雅美	日本経済新聞社編集委員
	モリス・ブレン	駐日欧州委員会一等参事官（科学技術担当）
	班目　春樹	東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設教授
	松井　恒雄	名古屋大学大学院工学研究科量子工学専攻教授
	松本　史朗	埼玉大学工学部応用化学科教授
	若林　泰夫	東京電力(株)原子力研究所所長

3．審議経過

(1)第１回目の委員会開催（平成 11 年度第１回）　平成 11 年 6 月 21 日（月）

・評価方法の決定

・課題内容の説明、検討

(2)第２回目の委員会開催（平成 11 年度第２回）　平成 11 年 7 月 8 日（木）

・課題内容に関する補足説明、質問への回答

・課題の評価、評価結果報告書の検討

(3)評価結果報告書（答申書）のまとめ

第２回目の委員会における検討結果、委員のコメント等により報告書の修正を行い、文書による協議により各委員の了承を得て、報告書をまとめた。

4．評価方法

第１回目の委員会において、以下の評価作業手順、評価項目、評価基準等を決定し、これらに基づき評価を行った。

(1)評価作業手順

原則として、以下の手順で評価を実施する。

①第１回目の課題評価委員会開催（評価方法の決定、課題内容の把握・検討）

・評価方法を決める。

・被評価者から課題の説明を受け、内容を把握・検討する。

・なお、欠席した委員に対しては、別途、対応させる。

②各委員の評価作業

・各委員は、第１回目の課題評価委員会開催後、評価用資料及び委員会における説明を基に、評価項目に従って各課題についての評価を行い、評価意見及び質問を書面で事務局に提出する。

・事務局は、これらを整理して、次回の課題評価委員会の検討資料とする。

③第２回目の課題評価委員会開催（課題の評価）

・必要に応じて、被評価者より課題についての補足説明を受けた後、各委員が行った評価を基に、課題評価委員会としての評価を行う。

④評価結果の答申

・委員長は、委員会の審議結果に基づき、事務局の補佐を得て委員会としての評価結果をまとめ、理事長に答申する。
・答申書には、次項に示す各評価項目及び総合評価について、評価委員会としての評価結果を記述する。
・評価委員会としての評価結果と異なる意見がある場合には、答申書にその意見を併記する。

なお、評価をより的確なものとし、また評価に対する被評価者の理解を深めるため、上記の委員会には研究実施責任者及び担当者を出席させ、議論に参加させるものとする。

(2)評価項目

事前評価の評価項目は次のとおりとする。(○は評価の視点)
また、研究開発を進めていく上での提言、留意点があれば、コメントする。

①研究開発課題の目的・意義、緊要性について

○国の計画・方針、中長期事業計画との整合
○サイクル機構が実施すべき課題か
○緊急性、重要性が高く優先して実施すべき課題か
(長期的に見て重要性が高いもの、将来に備えて今から対応しておくべき課題を含む)
○社会的・経済的ニーズ、民間からのニーズ
○国内外の技術動向・水準が的確に把握されているか

②最終目標について

○最終目標は適切か
○目的・意義達成のために十分な指標となっているか
○ブレークスルーすべき点が明確か
○国内外の技術動向・水準が的確に反映されているか

③課題の進め方について(全体計画)

○研究開発の方向性

○小課題の設定、内容は適切か
○国内外の技術動向・水準が的確に反映されているか
○実用化への道筋が適切に考えられているか

④次期評価までの実施計画について（評価期間の実施計画）
○達成目標は適切か
○実施内容及びスケジュールは適切か（項目相互間の関連性を含む）
○国内外の技術動向・水準を的確に反映した計画か
○実施体制（他機関との協力・連携、国際協力を含む）は適切か

⑤資源配分について
○資金、人員計画は適切か

⑥期待される成果及び波及効果
○当該分野への効果はあるか
○技術移転を含む成果の普及が期待できるか

⑦成果に対する情報公開の考え方
○情報公開に関する考え方は適切か

⑧その他（上記項目に当てはめ難い評価意見）

⑨総合評価

(3)評価基準
上記の評価の視点を基に評価項目について評価を行い、研究開発課題を実施していくことの妥当性を総合的に判断する。

(4)その他
各委員は、事務局に提出した評価意見について修正を希望する場合には、第２回目の課題評価委員会終了後、修正版を事務局に提出する。（各委員の評価意見は、サイクル機構内において活用される。）

５．評価結果（答申書）

平成 11 年 8 月 4 日

核燃料サイクル開発機構
　理事長　都甲　泰正　殿

研究開発課題評価委員会
(高速炉・燃料ｻｲｸﾙ課題評価委員会)
委員長　　岡　　芳明

研究開発課題の評価結果について(答申)

当委員会に諮問[11 ｻｲｸﾙ機構(経企)005]のあった下記の研究開発課題の事前評価について、その評価結果を別紙のとおり答申します。

記

研究開発課題「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」

以上

事前評価課題「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」
高速炉・燃料サイクル課題評価委員会　評価結果の概要

「高速増殖炉（ＦＢＲ）サイクルの実用化戦略調査研究」は、軽水炉サイクルと比肩する経済性を達成し、併せて将来のエネルギー資源の確保、環境負荷の低減等に対応できるＦＢＲサイクルの実用化概念の構築と、実用化に向けた開発シナリオの策定を行うものである。

本研究は、有望と考えられる複数のＦＢＲサイクルの候補概念を具体化し、実用化に向けた開発シナリオを策定する第 1 期と、工学的試験も含めて技術的成立性を確認し整合性のあるシステムに絞り込む第 2 期の研究から構成されるが、本評価においては、主として、第 1 期の具体的な研究計画について評価を行った。

本研究開発課題を実施することは妥当と判断する。

我が国の長期にわたるエネルギー資源問題を考慮するとき、発電をしながら燃料の増殖が行える安全で経済的なＦＢＲサイクルが実現すれば、エネルギー供給が保障されるので、極めて意義が深い。また、限られた核燃料の有効利用、地球温暖化防止、経済活性化や雇用の確保の点からも意義がある。このため、高水準の安全性の確保を前提として経済性の確保を目標とした本研究は、サイクル機構として非常に重要で、かつ継続的に取り組むべき課題である。研究内容も概ね妥当と評価できる。

ＦＢＲサイクルの開発には長期間を要するので、今から開始して着実に研究開発を進めることが重要であり、そのため、実用化見通しを立て、それに向けての有効で効率的な研究開発戦略計画を早期に策定する必要がある。

一方、この研究の結果、高く評価される成果が出なければ、今後の展望はないと考えるぐらいの決意が必要であろう。また、今ＦＢＲの実用化を念頭に置いた研究を進める意味を、国民的議論の中で深め、明確にしておく必要があろう。

事前評価課題「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」
高速炉・燃料サイクル課題評価委員会の評価結果

【総合評価】

「高速増殖炉（ＦＢＲ）サイクルの実用化戦略調査研究」は、軽水炉サイクルと比肩する経済性を達成し、併せて将来のエネルギー資源の確保、環境負荷の低減等に対応できるＦＢＲサイクルの実用化概念の構築と、実用化に向けた開発シナリオの策定を行うものである。

本研究は、有望と考えられる複数のＦＢＲサイクルの候補概念を具体化し、実用化に向けた開発シナリオを策定する第１期と、工学的試験も含めて技術的成立性を確認し整合性のあるシステムに絞り込む第２期の研究から構成されているが、本評価においては、主として、第１期の具体的な研究計画について評価を行った。

評価は、高速炉・燃料サイクル課題評価委員会において、核燃料サイクル開発機構(以下、サイクル機構)から提出された評価用説明資料及びその説明に基づき、本委員会によって定めた評価項目、評価の視点及び評価基準に従って行われた。

我が国の長期にわたるエネルギー資源問題を考慮するとき、問題解決のための技術的選択肢を拡大することは、極めて重要である。選択肢に課せられた条件は、なによりも高水準の安全性が確保されていることであり、次いで経済性の確保である。これらの条件を確保するなかで計画された本研究は、サイクル機構として非常に重要で、かつ継続的に取り組むべき課題であり、研究内容も概ね妥当と評価できる。ＦＢＲサイクルの開発には長期間を要するので、この研究を今から開始する必要があると考えられる。

ニーズの把握、目標や指標の設定については研究を開始する時点としては妥当と考えられるが、今後計画を遂行していく過程で、場合によっては計画の修正が必要となることもあり得るのではないかと想像される。戦略としての耐性の視点も入れて競合発電技術等の動向も踏まえ、研究開発を進める過程でさらに検討を深められることを期待する。開発期間が長期にわたるため、実用化推奨技術を絞り込んだ後も、内外の技術開発動向を十分把握し、変更すべき点は速やかに変更して、決して一本道の開発にならないようにする必要がある。

化石燃料ばかりでなくウラン燃料まで海外からの輸入にたよっている日本にとって、発電をしながら燃料の増殖が行える安全で経済的なＦＢＲサイクルが実現すれ

ば、エネルギー供給が保障されるので、極めて意義が深い。限られた核燃料の有効利用の観点からもＦＢＲ開発の必要性があると考えられる。原子力発電は、発電に伴う炭酸ガス放出はないので、地球温暖化防止に役立つのみならず、化石燃料の輸入費用を産業振興に当てることができ、経済活性化や雇用の確保の点でも意義がある。日本人の考えはともすれば海外の動向に引きずられがちであるが、これらの点を踏まえて、今ＦＢＲの実用化を念頭に置いた研究を進める意味を、国民的議論の中で深め、明確にしておく必要があろう。

ＦＢＲサイクルの開発には長期間を要するので、ＦＢＲに対する要求が現実のものとなった場合に適切に対応できるように、着実に研究開発を進めることが重要と考えられる。そのため、実用化見通しを立て、それに向けての有効で効率的な研究開発戦略計画を早期に策定する必要がある。一方、この研究の結果、高く評価される成果が出なければ、今後のＦＢＲサイクルの研究は展望が開けないと考えるぐらいの決意が必要であろう。

研究資源については多様な課題を検討するのに必ずしも十分でない面もあるように思われる。これだけの作業を全て実施するには、サイクル機構だけでできるものではないと考えられる。研究グループ間の連携や外部の機関との協力を図りつつ、研究を効率的に実施されることも期待したい。電力会社との共同体制が作られているので、良い効果を生むと期待できる。各組織が柔軟に機動的に機能することが必要である。

このような外部機関との連携や国際協力を推進していくためには、研究のためのインフラストラクチャ整備も必要である。本研究は、サイクル機構としての再出発の基幹となる最重要事業の一つである。国内外の研究者、技術者を集め、国際的なＦＢＲサイクル研究開発を戦略的に推進する中核となるためにも、インテリジェントビルなどの研究基盤の整備も必要であろう。

第 1 期は、実用化候補概念を複数抽出し、その実用システムの開発目標を明確にするとともに今後の実用化技術の確立までの開発シナリオ（開発計画）を策定する期間である。そのため、広く技術を拾い出して、各種シナリオを構築することが重要である。第 2 期ではこれらの各種シナリオを比較検討し、実用化像の明確化とその開発見通しを明らかにする。第 2 期の進め方とそれ以降の開発計画は、第 1 期の中で検討するのが望ましい。

第 1 期は従来技術にとらわれず、幅広くより良いオプションを見出そうとする良い計画になっている。一方、これだけの作業を 2 年で実施するためには既存のデータに頼る部分が多いと思われる。特に、新技術についてはまだその実用性を見

極められるだけのデータがそろっていないものも多いため、評価において新技術がポテンシャルを本来有するものであれば、いくつかのデータがないからといって、それらを落とさないようにすることが大切である。技術を絞り込む場合、評価基準を明確にして、技術データ、試験規模など具体的な評価の根拠を明らかにしておく必要がある。

経済性はエネルギーの需要予測と廃棄物に対する社会的関心の動向や他のエネルギー源の開発動向をにらみながら検討することが必要である。システムの大きさが経済性と密接に関係しており、需要予測等の境界条件の設定によってシステムの最適化を考える必要がある。第1期の目的はFBRサイクルの実用化候補概念を複数抽出することとその経済性の検討にあるが、それらが経済性のあるシステムであると判断することは容易ではないと思われるので、不確定性を考えた目標設定や何らかのクッションとなる考え方、あるいは経済性に密接に関係する因子の裕度等に基づく評価法等の検討も必要なのではないかと思われる。

代替技術の探索や評価は継続的に続けていくべきものである。第1期の成果としてきちんとまとめる必要があるが、この種の評価は第1期終了後も、随時行う必要がある。開発戦略を考える上ではプロジェクトマネージメントの手法を取り入れることも考えられるのではないか。

長期的な境界条件の変化に対応するためには、基盤技術の振興と技術革新への指向が重要である。社会のニーズと技術革新とが相互に作用することで技術は進歩してきた。この戦略調査研究は、高速炉と核燃料サイクル技術の様々な技術革新の可能性を追及する役割もあり、その成果は将来広く役立つものと確信される。

原子力工学は総合工学であり、その要素技術はその分野それぞれで先端のものも多い。それゆえ、他分野の技術革新への波及効果も期待される。

情報公開については、技術開発の目標や成果、安全確保の考え方について、国民に分かり易い形で情報を提供するとともに、疑問に答え、かつ謙虚な姿勢で意見を考慮する姿勢が必要である。専門家だけでなく国民一般に分かり易い形で成果をまとめることが重要である。なお、一般的には、別の独立機関が発表すると情報の公正性が高まると考えられる。

以上を総合して、本研究開発課題を実施することは妥当と判断する。

なお、研究開発を進めていく上での留意点は、次のとおりである。

1．評価の視点

評価の視点として経済性、資源の有効利用性、環境負荷低減性、核不拡散性が挙げられている。これらはいずれも重要な視点であるが、技術開発や設計においてすべての要求を満たす総花主義は成功しないと言われている。それぞれの技術や設計には特徴があるので、その利点をより生かすことを考えつつ研究を進め評価を行うとよいのではないか。評価をすることだけが目標ではなく、高速炉と燃料サイクルのブレークスルー技術を見出し、あるいはその発見に知恵を絞ることにも努力して欲しい。

2．戦略としての耐性

増殖比の高い FBR がいつ必要になるかはエネルギー需要や人口とウラン資源を使う軽水炉の基数に影響される。現在考えられている FBR 導入時期のシナリオは、日本で主流を占める見方であり、妥当と考えられるが、ウラン採鉱技術の進歩、多量の使用済燃料の存在や将来の軽水炉基数の不確定等を考えると、当分の間は増殖性が重視されない可能性もある。増殖性はその１つの例であるが、高速炉の実用化戦略を考える上では、長期的な境界条件の変化に、より耐えるようにするにはどうすればよいかという視点も検討に入れるとよいのではないか。

3．技術の不確実度と高性能化の評価

革新的な高性能化技術には、それに伴う未知の要素があることが多い。高性能化の程度と開発要素の大小を定性的でもよいので評価しておくことが望ましい。

4．安全性

安全の確保を前提にして開発を進めることが最初に述べられてはいるが、多数の国民の目から見ると安全はどうなっているかと問われることになると思われる。研究計画を公開する際は安全確保の考え方一般について十分な説明をすることが望ましい。また、細かいトラブルやヒューマンエラーは技術開発では避けられない部分があるが、それらの理解を得つつ、国民に危害が及ばないよう安全設計がなされることが不可欠である。

いずれにしても、トラブルや事故について、スムーズで前向きに情報提供する姿勢ができている必要がある。一方的な説明ではなく、質問や疑問に答えていく姿勢も必要である。

【各評価項目に対する評価意見】

（1） 研究開発課題の目的・意義、緊要性について

サイクル機構の使命は核燃料サイクル実現のための技術開発であり、実用化概念の構築と開発シナリオの策定という目的はそれに合致したものである。また、原子力委員会及びＦＢＲ懇談会の方針に沿ったものであり妥当である。旧動然がサイクル機構に改組された理由を考えるならばその新しい出発に際し戦略的な調査研究を行うことは、今後のＦＢＲサイクルの研究開発を進める上で有意義であり、サイクル機構として最重要課題の１つである。

これらの課題については、従来当然取り組まれているべきであったのに、最も欠けていた要素であるとも言えるであろう。FBR サイクルの必要となる時期は明確には予測し難いが、従来までの研究開発計画を見直す良い時期にあると思われる。現在のアプローチの延長で FBR が経済的に成り立ち得る可能性が見えない状況下においては、この戦略研究は機構が最も緊急に開始するべき課題の１つである。

ただし、緊要性については、課題の進め方と考えられ得る内容を整理した上で、

・実用化までの考えられるスケジュールを核にしたＦＢＲ開発の全体的な枠組みを提示し、その中における本調査研究の位置づけを示す、
・エネルギー資源に関する長期的かつ国際的な需給動向（見通し）、とりわけ供給サイドに関する化石燃料資源から非化石燃料資源への長期的な代替（時間的スケジュール等）のシナリオを検討することにより、相対的にエネルギー資源に乏しい日本での非化石燃料資源に関する技術開発が急がれること、
・非化石燃料資源に対する長期的かつ国際的な依存度が増大する場合、すでに実用化されている現行の軽水炉システムとの代替・置換に関する技術的・経済的あるいは資源論的な問題点を検討することにより、開発が急がれること、

等の観点からの検討を加える工夫が、一般の理解を得る上で必要であろう。

なお、この種の調査研究は当初の第 1 期で終了するものではなく、常によりよい代替手段を探索し続けるという意味で、恒常的に取り組むべき課題である。また、核燃料サイクルが実現することが国民生活にどのようなメリットをもたらすのか、実現手段としてどのような候補概念があるのか、それぞれの得失は何であるかを明示することはコンセンサス形成の前提条件である。専門家だけでなく国民一般に分かりやすい形で成果をまとめることを希望する。

(2)最終目標について

本課題の最終目標はサイクル機構の使命の実現とも言えるものである。代替技術の探索や評価は継続的に続けて行くべきものであり、最終目標を硬直化した形で捉えるべきではない。現時点では「評価指標の策定」、「概念の抽出」、「シナリオの提示」を第 1 期の目標とすることでよいと思う。また、この観点から第 1 期に関する限り、達成の可能性及び期間から見ても、その目標は適切かつ妥当である。

戦略としての耐性を強化するためには、例えば別の開発目標として増殖に重点を置かず、他の競合発電技術との競争を視点においてプルトニウムを利用する高性能な高速炉を考えるという目標もあると考えられる。この２つのケースを考えることで、研究開発計画が FBR をめぐる境界条件の変化により耐えられるようになる。技術的難易度やＦＢＲサイクルが実用化される時期等の不確かさを考えると柔軟性のあるシナリオを考える必要がある。

経済性以外は達成すべき目標が明確に表現されていないが、環境負荷低減性、核拡散抵抗性などをどこまでねらうのか、さらに安全性、技術の実現可能性も調査検討の中で明らかにしてもらいたい。第 1 期の検討の中で、それぞれの評価指標がさらに細分化されて具体的に示され、できる限り明確化していくことが必要である。これらにより、実用化推奨技術が客観性を持って選択できるようになり、研究開発者にとって、具体的な目標とすることができる。

経済性目標値については、指標そのものをどうすべきか、本研究の中で十分検討してもらいたい。その際、以下の点に留意していただきたい。

・コストやシナリオは、それを導いた主な前提条件に依存する。前提条件や境界条件が変わった時、それがどうコストやシナリオに影響するかも考え、それらの変化に強いシナリオや戦略を考える必要があろう。
・検討するすべての炉概念について横断的に比較できる発電コストを定量的に算出するのは容易ではないと考えられるので、相対値の比較をする等、経済性評価の方法についてよく考えておく必要がある。経済性評価は本研究の場合、最終的な数値を出すことだけが目標ではなく、技術の改良の方向を経済性評価から得ることが重要である。評価を通じて革新技術や改良の考え方が生み出されることを期待したい。
・FBR サイクルの最終目標の設定において、そのシステム導入初期とその後においては、発電コスト、再処理コスト及び燃料製造コストは通常変わっていくと考

えられるので、ある程度のコスト幅を設定して考える必要がある。また、原理的な技術レベルのものは、コスト評価が困難と考えられるので、不確定性を考えた目標設定とする必要がある。

・ナトリウム冷却 FBR の経済性向上を考える際に、革新的設計や技術だけに注目するのではなく、品質管理の区分、耐震設計の区分、ナトリウム取扱い区域の大きさ、燃料取扱い系や高速炉特有の各種補機や設備の単純化、運転保守方法、高速炉の特徴を生かした設計の合理化、実際のリスクをベースにした安全確保の考え方の単純化や設計工法の工夫など、もう少し広い視点で考えてみることも必要ではないか。

環境負荷低減という指標は、計画では長半減期核種の核変換等を想定しているが、より近未来の指標として、再処理や MOX(混合酸化物)燃料製造時の廃棄物の減容、プラントや炉の廃止に伴う廃棄物の減少や再利用などがあり、再処理システムについては、最終処分時の廃棄物の容量や物量という点も少し細かいが挙げられる。

(3)課題の進め方について(全体計画)

研究開発の方向性・小課題の設定等は適切である。技術動向についても主なものは十分把握できている。「実用化」を前面に押し出していることも大切なことである。

課題を進めるに当たり以下の点に留意していただきたい。

・一般的にプロセスを見極めるための評価研究の基本的な取り組み方は、まずプロセスを評価し、成立のために鍵となる技術、かつまだ見極められていない技術を絞り込んだ上で、それについて試験を実施するものである。

・評価において、炉と燃料サイクルとの良い連携を図ってほしい。例えば、炉特性と再処理法や燃料形態とはお互いに関連があり、全体でまとめないと、良い評価にならない。

・安全性重視で、軽水炉技術で得た技術、経験を生かすとともに、今までサイクル機構が培ってきたナトリウム冷却に固執せず、ナトリウム以外の冷却材も選択する意気込みで進めて欲しい。

・計画を硬直的な姿勢で遂行するのではなく、みずから常にチェックアンドレビューを実施し方向を決めていくことが大切である。例えば第 1 期で様々な候補概念の検討が行われるが、検討の深さはその概念の実現可能性を反映させ深いもの

浅いものがあってよい。

・幅広く技術選択肢の評価を行って有望な技術を選択する際に、技術レベルの異なるもの（原理的なものとほぼ技術評価ができる状況にあるもの）の扱いを十分検討する必要がある。

・限られた時間の中で、各分野並行的に検討を進めることは当然であるが、巨大プロジェクトのマネージメントツールとしてのOR手法や、PERT／GERTなど、米国で実績のある方法論の積極的な適用も考慮すべきである。

・統合・評価並びにシステム技術開発はソフトの問題であり、リーダーシップ、組織の作り方、課題解決の仕方等に成果はかなり依存するので十分な検討が必要である。我が国の核燃料サイクルをどう実現させるかという政策に直結する研究だけに、検討のための検討となってしまわないよう、またオープンでフランクな議論が国内外でできるようお願いしたい。これには担当者の努力だけでなく、外部の意見を取り入れる枠組み作りなどの運営上の努力も必要である。

(4)次期評価までの実施計画について(評価期間の実施計画)

「概念の抽出」、「シナリオの提示」、「評価指標の策定」について２年後にまとめる第１期の実施計画は妥当である。ただし、これは次の段階に移った後も並行して将来とも研究すべき課題であり、２年で終了させてしまってはならない。
第１期と第２期で行う研究内容が明確に区別されていない場合も見うけられたが、第１期で候補をあまり絞りすぎず、第２期と合体させながら、７年で絞り込みと技術開発をフィードバックさせて検討する場合もあり得る。第１次案、第２次案というように常にバックアップ案を手元に持って絞り込み、複数候補の決定の可能性を残して欲しい。

なお、候補概念の評価の実施に当たっては、早期に核燃料サイクルが実現するシナリオ、導入がかなり先になるシナリオ等を検討することは勿論であるが、長期にわたっての世界のエネルギー需給動向等の予測に基づいた比較のベースとなる「核燃料サイクルが実現しない社会」の像をきっちり描く必要がある。これ自体が大変な研究で、学界・産業界を巻き込んだ討論が別途進むよう、サイクル機構としても努力していただきたい。

研究開発の成果をまとめるに当たり、「見通しを得る」ことの技術的内容を具体的に分かるようにすることが、段階を踏んで研究開発を進める上で必要である。

研究開発を実施するに当たり、以下の点に留意していただきたい。

・高速炉システムについては、これまで提案されているものがほとんど対象となっているので大きな見落としはないと思われるが、既存の概念の技術的レベルの精粗を考慮し、考えられるシステムは全て公平に評価されるべきである。
・システム評価のための設計は、実際にそのシステムを製作するための設計と同じレベルまで詳細に行うことは、かける費用や期間が限られていたり、技術の不確定性があるため不可能なことが多い。前者は後者と同一レベルである必要はない。しかし、システム評価のためのポイントは押えられている必要がある。炉、再処理、燃料製造ともシステム設計を考えるに当たっては、システム革新や改良のポイントが押えれられているかどうかをよく検討すると良い。コスト評価においても単なるコストデータの積み上げで得られた数値だけを云々するのでなく、当該技術を使った時その数値が得られた理由を論理的に説明できるようにする必要がある。プラントの部分システムについて革新や改良が考えられている場合は、プラント全体のコストに占めるその部分の寄与を明らかにしておく必要がある。補助系や建屋設備が少なからぬコストを占めている場合もある。
・技術レベルの異なるものの評価をする場合は、経済性向上のポテンシャル、研究開発費用を含めた将来性を考慮することは重要だが、なるべく多様な視点で評価して欲しい。例えば、湿式法と乾式法ではそれぞれに特徴があるはずであり、それらが将来の再処理システムへの要求にどう対応できるかも重要ではないか。例えば、再処理プラントは何基も続けて作るものではないので増設（処理容量の増加）やモジュラー型施設、技術進歩による改造への対応性など多様な評価の視点を用意しておく必要はないか。高速炉を軽水炉の土俵（評価関数）ですべて評価するのは妥当ではないように、すべての燃料サイクル技術を１つの視点で評価するのではなく、各システムの特徴が再処理と燃料製造への将来の要求の変化にどのような対応性を持っているかもまとめておいてほしい。
・再処理では、高温化学法の評価を慎重に行う必要がある。ANL(米国アルゴンヌ国立研究所)、RIAR(ロシア原子炉科学研究所)法ともに本計画で述べているように、実用化のためには課題も多いが魅力も大きい。TRU(超ウラン元素)抽出については、原研における TRU 分離法も同レベルで評価すべきである。
・要素技術開発として核燃料サイクル実現のため必須の技術がリストアップされている。要素技術開発は長いリードタイムを要するとともに、開発を一度中断してしまうと次の立ち上げが非常に難しくなることから、並行して実施すべきである。この 2 年間で試験が実施でき成果が得られるものは反映されるが、さらに期間を要するものは、第２期で反映するよう検討することが必要である。

・技術水準のはっきりしている技術に対しては評価期間の実施計画内で適切な評価がされると思うが、技術水準の定量性の低いものに対しては、むりやり判断を下すことなく、検討の余地があることの含みを持たせて欲しい。
・安全は多様なものなので設計や技術のハード面で確保するだけでなく、組織の活性化や情報流通、教育訓練等のソフト面でも向上を図る必要がある。技術改良においてハードの強化だけに向かわないようにして欲しい。これは核不拡散についても同様である。安全や核不拡散も人間が扱うものである以上、ソフトも含めて担保を図るべきものである。

評価対象は多いので、一部は他機関への委託または公募で行うことも必要であろう。特に新しいアイデアを取入れるためには重要である。他機関との協力において、時間的に間に合わない場合が有り得る。その場合の対処の仕方を前もって検討しておくとよい。

我が国の FBR の将来の展開方向の根元に関わるような調査研究計画であることを考慮すると、検討段階から大規模に実施する必要性を感じる。例えば、国際的シンポジウムやワークショップ、専門家会議をサイクル機構主催で精力的に開催するなど計画的に進めて、国内外の研究者や技術者を広く集め、自由な論議を通して適切な評価がなされることを切望する。

(5)資源配分について

サイクル機構の研究体制から見て、制約条件の範囲内では最善に近いものが提示されており、資源配分は適切である。電力会社、日本原子力研究所と適切に共同開発を行い、オール日本で研究を行って欲しい。

要素技術開発についてはそれぞれ必要な項目が挙がっていると思われるが、システム評価という観点で、その必要度と優先順位をもう一度検討してみるのもよいのではないか。開発研究は、技術の取捨選択はどうしても行わざるを得ず、その適切な選択に資するとの観点で優先順位について評価しつつ研究を進めることが必要ではないか。

「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」はサイクル機構としての再出発の基幹となる事業であり、推進体制も動燃時代の体制から大幅な見直しが行われている。他機関との連携、国際協力などを打ち出しているが、これがインフラストラクチャ整備に要する費用無しでできると考えているのなら計画が甘いと言わざるをえ

ない。本研究の目指すものは、高速増殖炉サイクル開発に関する情報の中枢を作り世界へ発信していくことであり、そのための整備が必要である。研究のインフラストラクチャとしてインテリジェントビルを用意するくらいの覚悟がないとすれば、国際協力も形だけとなる。そのような費用は研究経費の中で融通するというのは不透明なやり方である。１０年先を見通したインフラストラクチャ整備の見積もりをきちんとした形で含めてほしい。但し、今後投資される資源には厳しい見方もあるので、肥大化を避けコストミニマムの原則が忘れられてはならない。

(6)期待される成果及び波及効果について

核燃料サイクルの実現は我が国のエネルギー問題の解決にとどまらず、技術立国を目指す我が国が技術開発を通して世界に貢献する最大のものとなると期待される。まず本来の目的に対し十分な成果が挙げられるものと考えられ、期待される成果については概ね妥当である。

なお、成果として期待されている経済性の向上に関しては、研究開発費用の検討も必要である。適切な技術評価並びにシステム評価がなされれば、それらの評価法は今後の研究開発を合理的に進める上でも大いに役立つものと思う。従って、研究開発における技術評価並びにシステム評価方法の確立にも貢献して欲しい。

波及効果として 21 世紀における原子力エネルギー開発、利用のシナリオが明らかになること、マイナーアクチニド、長寿命核分裂生成物の消滅、短寿命化の方策について幅広い検討に基づいた説得力ある提案が出ることを望みたい。また、川下（前方）の効果として電力供給（発電）システムの波及が取り上げられているが、川上（後方）への波及、例えば、極限環境に耐える強耐用性材料など多くの産業技術に転用が可能であるものへの波及についても想定すべきである。

(7)成果に対する情報公開の考え方について

原則、情報公開は必須である。どんな技術開発もそうであるが、国の研究資金を投じて得た技術開発の成果をすべて公開している国はない。本研究についても同様で得られた技術内容の詳細は、知的所有権、ノウハウなど研究開発にかかわる公開が難しい情報もあるので、当然公開の制限があるものと認識される。また、本研究の成果は、一種の公共財ではあるが、その転用により負の外部性をもたらす可能性を否定できない性質を有している。技術的な不拡散性の問題というよりは、社会的・

政治的な問題として、開発に当たる各国政府に管理すべき義務が課せられている技術でもある。従って、成果情報の公開に関しては、サイクル機構の情報公開指針に則って、毅然とやっていただきたい。

しかし、技術開発の目標や成果や安全確保の考え方について、国民に分かり易い形で情報を提供する必要がある。研究報告書の他に最終的なまとめができた段階で、国民向けに分かり易く研究過程、結論を解説した物をインターネットで発信しておくのも一つの手段である。

なお、成果の帰属（特許の帰属）についても、共同研究については共有特許や特許の独占的利用権を認めるなどの制度を取り入れて行くべきである。これは、当調査研究についてはあまり関係がないかもしれないが、今後の展開を見越して、早い内に整備するべき制度であると考える。

例えば米国では、法律により連邦政府の保有する国有特許を民間企業が独占的に使用することや、情報公開法を盾にした研究成果開示請求に対抗するために、連邦政府との間で共同研究協定を結んで資金援助を受ける民間企業に対しては、ノウハウやデータ、発明の内容などを 5 年間非公開とすることを認めている。これらはいずれも、民間企業にインセンティブを持たせ、国の行った基礎研究の成果を迅速に商品化へと結び付けるために大きく役立っていると評価されている。

(8)その他(上記項目に当てはめ難い評価意見)

「もんじゅ」の関連でいうと、国民は原子炉の安全に従来以上に敏感になっている。本研究では炉の安全にどれだけ配慮しているか明確に示した方がよい。

(参考)　高速炉・燃料サイクル課題評価委員会　各委員の評価意見

【総合評価】

技術開発課題の選択、進め方、計画は適切と判断する。

ニーズの把握、目標や指標の設定については研究を開始する時点としては妥当と考えるが戦略としての耐性の視点も入れて競合発電技術等の動向もふまえ、研究開発を進める過程でさらに検討を深められることを期待する。

化石燃料はおろかウラン燃料まで海外からの輸入にたよっている日本にとって発電をしながら燃料の増殖が行える安全で経済的なFBRサイクルが実現すれば、エネルギー供給の安全が保障されるので極めて意義が深い。原子力発電は発電に伴う炭酸ガス放出はないので地球温暖化防止に役立つのみならず燃料の輸入費用を産業振興にあてることができ、国内産業活性化や雇用の確保の点でも意義がある。

研究資源については多様な課題を検討するのに必ずしも十分でない面もあるように思われる。研究グループ間の連携や外部の機関との協力を図りつつ、研究を効率的に実施されることも期待したい。

実用化戦略調査研究の研究開発を実施することは妥当と判断する。

研究開発を進めていくうえでのコメントは次の通りである。

１．評価の視点

評価の視点として経済性、資源の有効利用性、環境負荷低減性、核不拡散性が挙げられている。これらはいずれも重要な視点であるが、技術開発や設計においてすべての要求を満たす総花主義は成功しないと言われている。それぞれの技術や設計には特徴があるので、その利点をより生かすことを考えつつ研究を進め評価を行うとよいのではないか。評価をすることだけが目標ではなく、高速炉と燃料サイクルのブルークスルー技術を見出し、あるいはその発見に知恵をしぼるのもこの研究の目標ではないか。

２．戦略としての耐性

増殖比の高いFBRがいつ必要になるかはエネルギー需要や人口とウラン資源を使う軽水炉の基数に影響される。現在考えられているFBR導入時期のシナリオは、日本で主流を占める見方であり、それなりに妥当と考えるが、ウラン採鉱技術の進歩、多量の使用済燃料の存在や将来の軽水炉基数の不確定等を考えると、

別の開発目標として増殖に重点を置かず、他の競合発電技術との競争を視点においてプルトニウムを利用する高性能な高速炉を考えるとの目標もあるのではないか。この２つのケースを考えることで、研究開発計画が FBR をめぐる境界条件の変化により耐えられるようになるのではないか。この場合、特に火力発電技術開発の将来動向と電力業のビジネス環境の変化が重要と思われる。規制緩和の進展とガスタービンや燃料電池といった火力発電技術の革新に伴う分散電源の普及により、電力業のビジネス環境が変化し、軽水炉の建設が２０～３０年先には大きいチャレンジを受け、これに伴い FBR 導入のシナリオも影響を受ける可能性がある。もちろん、軽水炉の高性能化が進展したり地球温暖化問題への原子力の利点がよく認識されて、逆に軽水炉の導入が世界各国で進む可能性もある。増殖比は１つの例であるが高速炉の実用化戦略を考える上では、長期的な境界条件の変化により耐えるようにするにはどうすればよいかという視点や計画がもっとあった方がよいのではないか。

３．技術の不確実度と高性能化の評価

革新的な高性能化技術には、それに伴う未知の要素があることが多い。高性能化の程度と開発要素の大小を定性的でもよいので評価しておくことがのぞましい。

４．安全性

安全の確保を前提にして開発を進めることが最初に述べられている。多数の国民の目からみると安全はどうなっているかと問われることになると思われる。研究計画を公開する際は安全確保の考え方一般について十分な説明をすることがのぞましい。また、細かいトラブルやヒューマンエラーは国民に危害が及ばないよう安全設計がなされていること。細かいトラブルは技術開発にはつきもので、その経験をすることが技術開発の本質の１つであることの理解も図るとよいのではないか。

安全は多様なものなので設計や技術のハード面で確保するだけでなく、組織の活性化や情報流通、教育訓練等のソフト面でも向上を図る必要がある。技術改良においてハードの強化だけに向かうのは適当ではない。これは核不拡散についても同様である。安全や核不拡散も人間が扱うものである以上、ソフトも含めて担保を図るべきものである。

内容的には従来技術にとらわれず、かなり幅広くより良いオプションを見つけていこうとする良い計画だと思う。一方、これだけの作業を 2 年で実施するた

めには既存のデータで行うよりほかはないと思われる。特に、新技術についてはまだ見極められるだけのデータがそろっていないものも多いと考えられるため、評価において新技術がポテンシャルを本来有するものであれば、いくつかのデータがないからといって、それらを落とさない様にすることが大切と思う。

技術を評価する(絞り込む)場合、評価基準を明確にして、その evidence(技術的データー試験規模や成果などの具体的成果等の具体的データー)を明らかにしておくことが必要だと思う。

これだけの作業を全て実施するには、サイクル機構だけで出来るものではないと考えられる。この作業を実施するにあたって、何をサイクル機構が行い、どこを外部(他研究機関、メーカー等)へ委託、共研等するのか、基本的な考え方を明示しておいて欲しいと思う。

開発期間が長期にわたるため、以下の点に留意する必要がある。

・実用化推奨技術を絞り込んだ後も、内外の技術開発動向を十分把握し、変更すべき点は速やかに変更して、決して一本道の開発にならないようにする。

・代替エネルギー資源の価格動向を把握し、経済性達成目標については、タイムリーに変更することが必要。

我が国の長期にわたるエネルギー資源問題を考慮するとき、問題解決のための技術的選択肢を拡大することは、極めて重要である。選択肢に課せられた条件は、なによりも高水準の安全性が確保されていることであり、次いで経済性の確保である。これらの条件を確保するなかで計画された『高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究』は、おおむね妥当と評価できる。

総合的には、当課題に着手することには大いに賛成である。ただし、この種の調査研究は第 1 期終了後も、よりロングレンジで取り組んでいくというスキームをはっきりさせ、プロジェクトマネージメントの手法を取り入れ、成果の公開や帰属の方針を民間活力を活用するようなものに改善していく、などの点に留意する必要があると考える。

本研究課題は、サイクル機構の出発に当たり、ＦＢＲサイクル研究として妥当であると共に今後の開発方針にも影響する重要なものと位置づけられる。研究課題の対象、進め方は概ね妥当であるが、個々の項目で述べたような配慮が必要であろう。

電力との共同体制を作ったことも、良い効果を生むと期待できる。但し各組織が柔軟に機動的に機能するか否かが、成果の内容、レベルにつながろう。

‘ここで高く評価される成果が出なければ、今後のＦＢＲサイクルの研究は展望が開けない’と考えるぐらいの決意で進めて欲しい。

最後に、経済性を最重要視しているので成果として例えば、各候補ＦＢＲサイクルについて軽水炉とのコスト比等分かり易い結論を示して欲しい。実用化される時期については、長期的スパンで考えざるを得ないので技術予測が大変重要である。これは容易な問題ではないが、本研究の核の部分ともなるので説得力のある根拠を示す必要がある。

長期的に見てＦＢＲは必要であるから本調査研究の実施は妥当であり、課題の選定のほか業務構成、海外との連携なども適切である。サイクル機構の中長期事業計画の中で行うことも妥当と考える。

検討すべき技術体系、費用の算定基準などについては詳細を承知していないので、提示された内容は、資料を読んだ範囲において適切と判断する。

「もんじゅ」の事故の記憶がまだ残っており、また海外諸国でのＦＢＲ開発のテンポが鈍くなっている現状を見ると、日本のＦＢＲ開発は突出している観がある。言い換えればかなり意欲的ととれる。それだけに、今ＦＢＲの実用化を念頭に置いた研究を進める意味を、原子力委員会などにまかせるのではなくサイクル機構の研究の中でも改めて明確にしておくことが必要であろう。日本人の考えは、ともすれば海外の動向に引きずられがちである。海外でのＦＢＲの開発テンポが鈍っている時だからこそ、（開発には長期間が必要だから）今から調査研究が必要なこと、限られた核燃料の有効利用の観点からもＦＢＲの必要性を重ねて強調することも無駄ではないと思う。これは広い意味でのＰＡに相当するであろう。

サイクル機構の中長期計画は、とても野心的である。特に現在は、日本だけがこの分野を開発している。問題はパブリック・アクセプタンスであるが、これに対して、サイクル機構が情報公開をしなければならないが、一般市民にとってその情報が正しいかどうか疑問があるので、その情報は、別の独立機関から発表することが必要である。

非常に重要な課題であり、計画も現時点においては適切になされていると評価する。今後計画を遂行していく過程で、場合によっては計画の修正が必要となることもありうるのではないかと想像する。そのようなときは柔軟な姿勢で計画を

修正し、最終目標が達成できるよう努力されるよう希望する。

核燃料サイクル開発機構として最重要且つ継続的に取り組むべき課題であると考える。経済性の評価は実用化の時点で変わりうるものと考えられるため、安全性の方に重点を置いて進めていただきたい。

第 1 期は革新的要素技術の選定、その統合化としてのシステムの検討およびその最適化を図り、経済性、資源の有効利用性、環境負荷低減性および核不拡散性の視点から、FBR サイクルの実用化候補概念を複数抽出することとその実用化に向けての研究開発シナリオを検討するとの目的は理解できる。しかし、特に、経済性絡みではエネルギーの需要予測と廃棄物に対する社会的関心の動向を睨みながら検討することが必要であり、また、システムの大きさが経済性と密接に関係しており、需要予測等のバウンダリーの設定によってシステムの最適化を考えなければならないと思う。

第 1 期の目的は FBR サイクルの実用化候補概念を複数抽出することとその経済性の検討にあるが、それらが経済性のあるシステムであると判断することは極めて難しいと思われるので、何らかのクッションとなる考え方、あるいは経済性に密接に関係する因子の裕度等に基づく評価法等の検討が必要なのではないかと思われる。

実施内容、資金配分共に基本的には、問題ないと考えますが、本研究を共同で実施する電力としては、以下の点を明確にしておいてほしいと考えます。

・第 1 期は、第 2 期の計画を作るところではなく、実用システムの開発目標を明確にすると共に今後の実用化技術の確立までの開発シナリオ（開発計画）を策定する期間である。
・そのため、広く技術を拾い出して、各種シナリオを構築する。
・第 2 期はこれらの各種シナリオを比較検討し、実用化像の明確化とその開発見通しを明らかにする。
・第 2 期の進め方とそれ以降の開発計画は、第 1 フェーズの中で検討する。

【各評価項目に対する評価意見】

（1）研究開発課題の目的・意義、緊要性について

本研究の目的と意義は、工学的技術開発の観点からみると、おおむね妥当である。しかし、緊急性に関しては、実施計画書（案）及びサイクル機構の説明による限り、必ずしも明確ではない。その理由は次のようである。

エネルギー資源に関する長期的かつ国際的な需給動向（見通し）、とりわけ供給サイドに関する化石燃料資源と非化石燃料資源の長期的な代替（時間的スケジュール等）のシナリオが漠然としており、相対的にエネルギー資源に乏しい日本での非化石燃料資源に関する技術開発が、単に資源確保のためであると受け止められかねず、重要性は認識されるが緊急性については不明確である。たとえ、この種の技術開発の懐妊期間が長期であるとしても先のシナリオ如何によっては必ずしも緊急性を強調することはできないと思われる。

また、非化石燃料資源に対する長期的かつ国際的な依存度が増大するとしても、すでに実用化されている現行の軽水炉システムとの代替・置換に関する技術的・経済的あるいは資源論的な問題点が明確に示されていない。それゆえ、高速増殖炉サイクルの実用化研究の緊急性が不明確になっているともいえる。

国の基本的な計画・方針が、FBR サイクルの実用化である以上、提案された「実用化戦略調査研究」は完全に合目的でかつ必要なものである。逆に言うと、従来当然取り組まれているべきであったのに、最も欠けていた要素であるとも言えるであろう。現在のアプローチの延長で FBR が経済的に成り立ち得る可能性が見えない状況下に於いては、この戦略研究は機構が最も緊急に開始するべき課題の一つであると判断する。

さらに言うならば、この種の調査研究は当初の第 1 期で終了するものではなく、常によりよい代替手段を探索し続けるという意味で、恒常的に取り組むべき課題であると考える。

目的については、原子力委員会及びＦＢＲ懇談会の方針に添ったものであり妥当である。また、旧動燃がサイクル機構に改組された理由を考えるならその新しい出発に際し戦略的な調査研究を行うことは、今後のＦＢＲサイクルの研究開発を進める上で有意義である.

緊要性については、説明資料の記述は説得力に欠く。.必要性②、③に述べて

いるのは進め方であって本課題の必要性を説明するものではないと考える。緊急性について述べるなら社会のニーズから見た観点も若干は必要であろう。

目的、意義については改めて指摘するまでもなく、適切である。ただ、緊要性については資料を読む限りよく伝わってこない。実用化までの考えられるスケジュールを核にしたＦＢＲ開発の全体的な枠組みを提示し、その中における本調査研究の位置づけを示すと緊要性も理解できるのではないか。

原子力委員会は国の中長期計画を準備しているが、サイクル機構の中長期計画とどういうふうに合わせるのか。
さらに、原子力委員会の計画がサイクル機構の計画と違う場合には、どうなるのか。

サイクル機構の使命は核燃料サイクル実現のための技術開発であり、実用化概念の構築と開発シナリオの策定という目的はそれに合致したものである。本課題が意義あるものであることは明白であり、必要性・緊急性も高い。
核燃料サイクルが実現することが国民生活にどのようなメリットをもたらすのか、実現手段としてどのような候補概念があるのか、それぞれの得失は何であるかを明示することはコンセンサス形成の前提条件である。専門家だけでなく国民一般に分かりやすい形で成果をまとめることを希望する。

サイクル機構として最重要課題の１つである。社会的に見てもニーズのある課題である。

FBR サイクルの必要となる時期は明確には予測し難いが、従来までの研究開発計画を見直すいい時期にあると思われる。その点から考えれば本研究課題の目的、意義に対しては結構と思う。同時に、廃棄物の処理・処分を含めての総合的な検討を行う良い機会でもあり、その点での緊急性を言えればと思う。

（２）最終目標について

コストやシナリオは、それを導いた主な前提条件に依存する。例えば、天然ガスの価格は現在のように液化天然ガスを用いるか、パイプラインで供給されるかで異なる。発電コストの目標値も分散電源が普及したり、外国からの送電が可能

になると変えないといけないかもしれない。前提条件や境界条件が変わった時、それがどうコストやシナリオに影響するかも考え、それらの変化に強いシナリオや戦略を考える必要はないか。評価からあるシナリオの妥当性を導いたとき、評価に用いた前提をよく整理しておけば、それらの変わったときには対応をとるのにも役立つのではないか。

ナトリウム冷却 FBR の経済性向上を考える際に、革新的設計や技術だけに注目するのではなく、もう少し広い視点で考えるのもよいのではないか。品質管理の区分、耐震の区分、ナトリウム取扱い区域の大きさ、燃料取扱い系や高速炉特有の各種補機や設備の単純化、運転保守方法、具体的には要員の考え方、高速炉の特徴を生かした設計の合理化、実際のリスクをベースにした安全確保の考え方の単純化や設計工法の工夫などである。これらについて、軽水炉よりも合理化された考え方があってもよいのではないか。革新技術開発では、先行技術（軽水炉）のやり方や慣行を追うという方策は妥当でない面もある。再処理や燃料製造についてもこれらと同様の分析を行い、技術改良に生かすとどうか。技術的安全の考え方を整理し、プラントの合理化に生かすことも考えるとどうか。社会受容性はプラントの技術改良と直接に関係させず、情報の普及など別の形で考えてはどうか。南アフリカの電力会社エスコムは高温ガス炉のコストダウン例を示して注目されている。その主な点はガス炉の低出力密度を逆手にとった安全系の合理化、運転保守員の１／５以下への削減、現地生産である。ナトリウム冷却炉もその固有の特徴を生かすことをもっと考えるとよいのではないか。燃料サイクル技術についても同様である。

検討するすべての炉概念について横断的に比較できる発電コストを定量的に算出するのは容易ではない。発電コストは使うコストデータベースや計算コードさらには出力、建設期間等の入力データに依存する。電気計装系や各種の補助系や BOP 系等のデータは、概念設計では検討されていないことも多いがコスト評価のために必要になる。使うデータベースが古くなっている場合もある。ナトリウム冷却炉については、ある程度の経験やデータベースやコードもあろうが、その他の炉型と相互に比較するのは容易ではない。経済性評価の方法についてよく考えておく必要がある。相対値の比較の方が絶対値より精度が高い。プラント全体の寸法を図面に書いて同一出力で比較したり、総物量で比較したりするなどの方法も併用するとよいのではなかろうか。コストそのものでなくコスト低減の可能性を評価するとの考え方もある。この場合はすべてについて設計の詳細がなくても評価できよう。米国エネルギー省のコスト評価データベースや、外国の発電コスト評価の専門家の知見や研究も、火力や軽水炉に関するものであっても調査す

れば参考になるのではないか。経済性評価は本研究の場合、最終的な数値を出すことだけが目標ではない。技術の改良の方向を経済性評価から得ることが重要である。評価をヒントとして革新技術や改良の考え方が生み出されることを期待したい。その意味で、経済性評価と技術改良にあたるグループのよい連携を図る必要がある。

環境負荷低減という指標は、計画では長半減期核種の核変換等を想定しているように読めるが、よい近未来の指標として再処理や MOX 燃料製造時の廃棄物の減容、プラントや炉の廃止に伴う廃棄物の減少や再利用などがあり、再処理システムの評価では、最終処分時の廃棄物の容量や物量という点も少し細かいが１つの指標になる。

再処理システム、燃料製造システムの評価ではコストのみならず、生産速度、廃棄物発生量なども評価しておく必要はないか。湿式法と乾式法ではそれぞれに特徴があるはずであり、それらが将来の再処理システムへの要求にどう対応できるかも重要ではないか。例えば、再処理プラントは何基も続けて作るものではないので増設（処理容量の増加）やモジュラー型施設、技術進歩による改造への対応性など多様な評価の視点を用意しておく必要はないか。高速炉を軽水炉の土俵（評価関数）ですべて評価するのは妥当でないようにすべての燃料サイクル技術を１つの視点で評価するのではなく、各システムの特徴が再処理と燃料製造への将来の要求の変化にどのような対応性を持っているかも重要ではないか。

システム技術統合･評価(説明資料 15 頁)で「経済性、環境負荷低減、資源の有効利用、核不拡散性を評価の視点」、あるいは「 …に係る目標達成度」とあるが、経済性以外は達成すべき目標が明確に表現されていない。このように表現する以上は、具体的な目標値(それが費用の関数であっても良いが)や目標としていることが具体的に分かるようにする必要がある。

第 1 期の達成目標に関して、評価指標に安全性を加えるべきである。安全性は当然のこととして、前提条件としているが、どの程度の安全レベルを目標とするのか、例えば固有安全炉のようなものを考えるのか、また従業員の被曝はこの中で扱うのか等はっきりしない。

また、評価指標に実現可能性を加えるべきである。開発期間が長期にわたるため、今は実現が難しくても、将来可能になる技術もある。実用化推奨技術を選択するためには、実用化目標年次をパラメーターにした実現可能性指標があることが望ましい。（見直すべき点）

経済性等４つの評価指標が上げられているが、第 1 期の検討の中で、それぞれの指標がさらに細分化されることが必要。例えば経済性で言えば、建設費は高いが、機器、材料の寿命が長いとか、保守が容易で高稼働率が期待できるとか、より具体的な評価が出来ることが必要。また評価指標は、出来る限り定量化していくことが必要。これらにより、実用化推奨技術が客観性を持って選択できるようになるし、研究開発者にとって、具体的な目標とすることが出来る。(留意点)

FBR システムの実用化に向けた開発シナリオの策定という第 1 期に関する限り、達成の可能性から観ても、その目標は適切かつ妥当である。

第 1 期の２年間で、当面利用可能で組み合わせの対象となり得る技術の候補を抽出するという目標は妥当と考えるが、代替技術の探索や評価は継続的に続けて行くべきものであり、最終目標という捉え方には抵抗がある。第 1 期で得られるものは、“2000 年時点で判断される最良解の提示”ではないだろうか。

評価の視点の中の「ブレークスルーするべき点」に対しては、該当項目が見あたらない。「軽水炉と同等の経済性を達成可能な技術の組み合わせを見いだす」ことよりもう一歩踏み込んで、そのために当然犠牲にされる点の明確化と、社会的コンセンサスの形成方法の策定までを目標に含める必要があるのではないか。

第 1 期の目標は期間から見て、おおむね妥当である。ただし、技術的難易度やＦＢＲサイクルが実用化される時期等の不確かさを考えると、シナリオに柔軟性を持たせる必要がある。要素技術開発にはＲ＆Ｄが含まれているので、それらの目標が定量的または具体的に示されていない。

国の原子力に対する政策が変わらなければ、ここに書かれた最終目標は当然のことである。

本課題の最終目標はサイクル機構の使命の実現ともいえるものである。最終目標を硬直化した形で示すことはかえって弊害をうむ。現時点では「概念の抽出」「シナリオの提示」「評価指標の策定」を第１期の目標とするのでよいと思う。

評価指標の目安として経済性目標値が提示されているが、これはあくまでも例示であると理解する。指標そのものをどうすべきか、本研究の中で十分検討してもらいたい。大切なのは国民の判断を仰ぐのに十分な情報提供をすることである。

検討のための検討となってしまわないよう、何が大切かを見失わないでほしい。

なお、候補概念の評価の実施にあたっては、比較のベースとなる「核燃料サイクルが実現しない社会」の像をきっちり描く必要がある。早期に核燃料サイクルが実現するシナリオ、導入がかなり先になるシナリオ等いろいろであることから、比較のベースは長期にわたっての世界のエネルギー需給動向等の予測に基づいたものでなければならない。これ自体が大変な研究で、すべてサイクル機構だけで実施できるとは思えない。学界・産業界を巻き込んだ討論が別途進むよう、サイクル機構としても努力していただきたい。

最終目標は適切である。

FBR サイクルの最終目標の設定において、そのシステム導入初期とその後の発電コスト、再処理コスト、燃料製造コストは通常変わっていくのではないか。ある程度のコスト幅を設定して考える必要がある。要素技術の中には原理的なものも含まれているようなので、コスト評価が困難と考えられる。不確定性を考えた目標設定とする必要があるのではないか。

（3）課題の進め方について(全体計画)

評価において炉と燃料サイクルとのよい連携を図ってほしい。例えば、炉特性と再処理法や燃料形態とはお互いに関連があり、全体でまとめる必要があるように思われる。

一般的に評価研究では、プロセスを見極めるためには、まずプロセスを評価し、成立のためにキーとなる技術、且つまだ見極められていない技術を絞り込んだ上で、それについて試験を実施するというのが基本的な取り組み方ではないかと思う。

個々の技術的開発課題については専門的に評価できる立場にないが、課題の進め方については着実であり妥当と思われる。ただし、懸念すべきことは、選定された課題が多く多岐にわたる点である。この点は、（4）実施計画および（5）資源配分の評価とも関連する。

限られた時間の中で、各分野並行的に検討を進めることは当然であるが、巨大プロジェクトのマネージメントツールとしてのOR手法や、PERT／GERTなど、米国で実績のある方法論の積極的な適用も考慮すべきではないだろうか。

PERT: Program Evaluation and Review Technique

GERT: Graphical Evaluation and Review Technique

統合・評価並びにシステム技術開発はソフトの問題であり、リーダーシップ、組織の作り方、課題解決の仕方等に成果はかなり依存するので十分な検討が必要と考える。サイクル機構がこれまで保持していない技術については他機関との協力が不可欠である。

本課題はソフト研究が中心であるが、この場合は研究全般にわたるやりかた、即ちソフトが大切である。もの作りとは異なる方針が必要と考える。

要素技術開発のＲ＆Ｄも、２年間できちんと成果を評価すること、ずるずる進めないことが大切である。

現段階ではこうした進め方でよいと考える。また、全体の枠組みをより明確に提示することも必要である。

進め方の順番は適当であるが、各テーマの期間は短くした方がよいと思う。

本計画はとても野心的であると思う。特に高速炉のシステムが多いので、早く技術や経済の面から分析を行い、一番期待されるシステムを決定しなければならない。

研究開発の方向性・小課題の設定等は適切である。技術動向についても主なものは十分把握できている。「実用化」を前面に押し出していることも大切なことである。

課題の進め方で注意しなければならないのは、計画を硬直的な姿勢で遂行するのではなく、みずから常にチェックアンドレビューを実施し方向を決めていくことである。例えば第１期で様々な候補概念の検討が行われるが、検討の深さはその概念の実現可能性を反映させ深いもの浅いものがあってよい。我が国の核燃料サイクルをどう実現させるかという政策に直結する研究だけに、検討のための検討となってしまわないよう、またオープンでフランクな議論が国内外でできるようお願いしたい。これには担当者の努力だけでなく、外部の意見を取り入れる枠組み作りなどの運営上の努力も必要である。

進め方は概ね適切である。但し、安全性重視で、軽水炉技術の延長で出来る技術は出来る限り取り上げ、今までサイクル機構が培ってきたナトリウム冷却に固執せず、ナトリウム以外の冷却剤（出来れば水）を選択する意気込みで進めて欲しい。

幅広く技術選択肢の評価を行って有望な技術を選択して、実用化候補概念を構築し、その実用化に向けての研究開発シナリオを検討する進め方において、技術レベルの異なるもの（原理的なものとほぼ技術評価ができる状況にあるもの）に対してどのような考え方で評価するのかを、あらかじめ検討しておくことが必要ではないだろうか。

（4）次期評価までの実施計画について(評価期間の実施計画)

システム評価のための設計は、実際にそのシステムを製作するための設計と同じレベルまで詳細に行うことは、かける費用や期間が限られていたり、技術の不確定性があるため不可能なことが多い。前者は後者と同一レベルである必要はない。しかし、システム評価のためのポイントは押えられている必要がある。炉、再処理、燃料製造ともシステム設計を考えるにあたっては、システム革新や改良のポイントが押えれられているかをよく検討する必要がある。コスト評価においても単なるコストデータの積み上げで得られた数値だけを云々するのでなく、当該技術を使った時その数値が得られた理由を論理的に説明できる必要がある。プラントの部分システムについて革新や改良が考えられている場合は、プラント全体のコストに占めるその部分の寄与を明らかにしておく必要がある。補助系や建屋設備が少なからぬコストを占めている場合もある。

課題選定の背景の(2)技術の現状のところで、見通しを得たという表現が数箇所に出てくる。そして「4. 第 1 期の計画」では、その見通しを付けた技術について開発を進めるとある(例えば、PUREX 技術や TRUEX 技術に関して)。見通しを得たとは何を持ってこう表現したのか具体的に分かるようにする必要がある。即ち、見通しを得たのはどの段階で、次を行うことによりどの段階までの成果が得られるかが具体的に分かるような表現でないと、何年経っても同じような段階でどこまで進んでいるのか明確でなくなる。

さらに「4. 第 1 期の計画」ではどの課題が継続で、どれが新規なことか明確

にして頂きたいと思う。

上記と関連するが、「緊急性」の最後の節(9 頁)で、「実用化見通しを明確にするためには」とあるが、何をもって実用化見通しが明確になるのか、具体的に分かるような記述が必要になると思う。

「実用化要素技術開発」の項で、「システム概念の成立性や経済性に影響を及ぼす重要な要素技術を開発し、システム技術開発へ反映する」(13 頁)とあるが、今から技術の開発を行ったりするものを、2 ヵ年で取りまとめなければならない評価に反映できるか。

また、「乾式再処理については、金属および酸化物の電解精製試験を実施し、プロセスの成立性に関するデータを取得する」(14 頁)とあるが、この 2 年間で試験が実施でき成果が得られるのか。

「システム技術開発」の項の FBR システム技術開発(11 頁)に関して、最初に種々のオプションについて概念を研究するとしながら、その後の、「ナトリウム冷却炉については」では大型 MOX 炉心ナトリウム冷却炉と決めてしまっているように思われる。ナトリウム冷却で金属燃料炉心など他のシステムもあるので、これらのオプションも含め、考えられるシステムは全て公平に評価されるべきである。大型 MOX 炉心が経済性の目標を達成できるベストなシステムとは限らないのではないか。

TRU 抽出には TRUEX 法だけが記述されているが(14 頁)、原研における TRU 分離法(DIDPA を用いる方法)もサイクル機構で開発されている TRUEX 法と同レベルに開発が進んでいるので、この方法についても同レベルで評価すべきである。

「実用化要素技術開発」の燃料製造要素技術開発(14 頁)では、MOX 燃料製造に限定されているが、金属燃料、窒化物燃料についてはどのように取組み、取り扱うのかを記述する必要がある。

第 1 期に関する限り、実施計画は妥当である。

我が国の FBR の将来の展開方向の根元に関わるような調査研究計画であることを考慮すると、検討段階から大規模に（all Japan はおろか関係国全てを巻き込むような体制で)、実施する必要性を感じる。例えば、国際的シンポジウムやワークショップ、専門家会議を機構主催で精力的に開催するなどの姿勢がはっきりと見えないのが気に掛かる。

高速炉システムについては、これまで提案されているものが殆ど対象となっているので大きな見落としは無いと思える。既に提案されている概念には精粗が有るので、この期間でどの程度まで将来の可能性を見通せるかが課題となろう（特に炉ではＮａ以外の冷却材の評価）。

再処理では、高温化学法の評価を慎重に行う必要がある。ＡＮＬ，ＲＩＡＲともに本計画で述べているように、実用化のためには課題も多いが魅力も大きい。他機関の専門家との協力を十分に得ること。

評価対象は多いので、新しいアイデアを入れるためにも一部は他機関への委託または公募で行うことも考慮しては如何か。

２年間でどこまでできるか心配な面もないではないが、「概念の抽出」「シナリオの提示」「評価指標の策定」について２年後にまとめることに賛成する。ただ、これは次の段階に移った後も並行してずっと研究すべき課題であり、２年で終了させてしまってはならない。

要素技術開発として核燃料サイクル実現のため必須の技術がリストアップされている。要素技術開発は長いリードタイムを要するとともに、開発を一度中断してしまうと次の立ち上げが非常に難しくなることから、並行して実施すべきである。なお、炉の概念と深く関わる要素技術の開発はシナリオの提示・評価がすむまで積極的に推進するのは計画の整合性を損なうことになるため前面に出ていないようである。しかしそれによって技術の継続性が失われないよう配慮されることを希望する。これまで開発されてきた技術を今後に残すようしっかりしたまとめをするという作業を本計画の中で実施することによって、炉の概念と直接関係する要素技術の研究の継続性も確保されるものと考える。

評価委員会で受けた燃料製造・再処理サイクルの説明では、第１期と第２期で行う研究内容が明確に区別されていない様に見えた。むしろその方が良く、第１期で候補をあまり絞りすぎず、第２期と合体させながら、７年で絞り込みと技術開発をフィードバックさせて実施して欲しい。実用化時期ごとに分けて、１７年かけての最終案としても、第１次案、第２次案というように常にバックアップ案を手元に持って複数絞り込み複数（あまり多くてもいけないが）候補の決定の可能性を残して欲しい。丁度軽水炉でもBWRとPWRがあるように。

技術水準のはっきりしているものに対しては評価期間の実施計画内で適切な評価がされると思うが、技術水準の定量性の低いものに対して実質１年半の期間

での評価に困難を伴う恐れがある。むりやりこなすことなく検討の余地があることの含みを持たせて欲しい。また、他機関との協力において、時間的に間に合わない場合が有りうる。その場合の対処の仕方を前もって検討していて欲しい。

なお、国内外の研究者や技術者を広く集め、自由な論議を通して適切な評価がなされることを切望する。

（5）資源配分について

要素技術開発についてはそれぞれ必要な項目が挙がっていると思われるが、システム評価という観点で、その必要度と優先順位をもう一度検討してみるのもよいのではないか。実験データを学理にもどりつつ取得することは重要であり、基盤研究として振興すべきものであるが、開発研究は、技術の取捨選択はどうしてもやらざるを得ず、その適切な選択に資するとの観点で優先順位について評価しつつ進めてることが必要ではないか。但し要素技術開発や燃料の照射は長期間を要するので短期的視野だけで取捨選択するのは問題があるものについては基盤研究として実験的研究開発を推進してほしい。

WBS の小項目レベルでの費用が分からなければ、説明資料からだけでは資源配分についてのコメントは難しい。

評価項目としての資源配分に関して、「資源」とは資金と人的資源（研究開発従事者）であるとすれば、サイクル機構の研究体制から観て妥当である。ただし、サイクル機構と民間事業者との共同研究体制における資源配分については、いま少し具体的に示す必要性がある。

適切と考える。

言い難いと思う。同じ研究を行っている人だけが解ると思う。

要員計画は十分とはいいにくいものの、制約条件の範囲内では最善に近いものが提示されていると思う。また、プロジェクトの個々のテーマの遂行に掛かる資金の計画についても私の理解する範囲では概ね妥当だと考える。

ただ気になるのは、研究のためのインフラストラクチャ整備に要する費用の計画が明示されていないことである。「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研

究」はサイクル機構としての再出発の基幹となる事業であり、推進体制も動燃時代の体制から大幅な見直しが行われている。他機関との連携、国際協力などを打ち出しているが、これがただでできると考えているのなら計画が甘いと言わざるをえない。本研究の目指すものは、高速増殖炉サイクル開発に関する情報の中枢を作り世界へ発信していくことであり、そのための整備が必要である。設計も紙と鉛筆があればできるというものではない。研究のインフラストラクチャとしてインテリジェントビルを用意するくらいの覚悟がないとすれば、国際協力も形だけとなる。そのような費用は研究経費の中で融通するというのは不透明なやりかたである。１０年先を見通したインフラストラクチャ整備の見積もりをきちんとした形で含めてほしい。

資源配分は適切である。電力、原研と適切に共同開発してオール日本で行って欲しい。

（6）期待される成果及び波及効果について

長期的な境界条件の変化に対応するためには、基盤技術の振興と技術革新への指向が重要である。社会のニーズと技術革新とが相互に作用することで技術は進歩してきた。この戦略調査研究は、高速炉と核燃料サイクル技術の様々な技術革新の可能性を追及する役割もあり、その成果は将来広く役立つものと確信する。

原子力工学は総合工学であり、その要素技術はその分野それぞれで先端のものも多い。それゆえ、他分野の技術革新への波及効果も期待される。

技術的な成果については専門的な評価をする立場にはないので差し控える。しかし、成果として期待されている「経済性の向上」に関しては、本研究の中でどのように評価すべきか不明確である。この点について詳しくいえば、次のようである。FBR システムの実用化のもとで、電力単位あたり発電コストが経済性の測定基準にされているが、コスト（費用）計算は容易ではない。特に、FBR システムの実用化による発電設備（資本）の建設費用のなかに研究開発費用が含まれるのかどうか、本研究（第 1 期と第 2 期）開発に要する費用とその成果はいわば公共財であり、これを無償で利用できることを想定するのか否かの問題である。

波及効果については、川下（前方）の効果として電力供給（発電）システムの波及が取り上げられているが、川上（後方）への波及についても想定すべきであ

る。例えば、極限環境ともいえる強度の放射線照射に対する耐用性を持った強耐用性材料の開発成果は、多くの産業技術に転用が可能である。

期待される成果については概ね妥当である。波及効果として２１世紀における原子力エネルギー開発、利用のシナリオが明らかになることを望む。また、ＭＡ，ＬＬＦＰの消滅、短寿命化の方策について幅広い検討に基づいた説得力ある提案が出ることを望む。

まず本来の目的に対し十分な成果があげられるものと考える。波及効果はその次の問題であるが、これもおおいに期待できる。

核燃料サイクルの実現は我が国のエネルギー問題の解決にとどまらず、技術立国を目指す我が国が技術開発を通して世界に貢献する最大のものとなると期待する。

原子力だけでなく他分野への波及効果が大きいと考える。

期待される成果は目標としていることに対して適切な評価がなされていることである。適切な技術評価ならびにシステム評価がなされれば、それらの評価法は今後の研究開発を合理的に進める上でも大いに役立つものと思う。したがって、研究開発における技術評価ならびにシステム評価方法の確立にも貢献して欲しい。

（７）成果に対する情報公開の考え方について

どんな技術開発もそうであるが、国の研究資金を投じて得た技術開発の成果をすべて公開している国はない。本研究についても同様である。しかし、技術開発の目標や成果や安全確保の考え方について、国民にわかりやすい形で情報を提供する必要がある。

本研究の成果は、一種の公共財ではあるが、その転用により負の外部性をもたらす可能性を否定できない性質を有している。技術的な不拡散性の問題というよりは、社会的・政治的な問題として、開発にあたる各国政府に管理すべき義務が課せられている技術でもある。したがって、成果情報の公開に関しては、一定の範囲に限定すべきである。

民間の研究開発意欲を高めるためにも、機構が費用負担した委託研究開発や共同研究の成果について 100%成果を開示するのではなく、民間のノウハウとして非公開とする部分や、公開を遅らせるなどの仕組みを取り入れる必要がある。特に共同研究の場合に、論文発表などは共同研究の相手方の特許化等を阻害する恐れのないよう、配慮するべきであろう。

また、成果の帰属（特許の帰属）についても、共同研究については共有特許や特許の独占的利用権を認めるなどの制度を取り入れて行くべきであると考える。これは、当調査研究についてはあまり関係がないかもしれないが、今後の展開を見越して、早い内に整備するべき制度であると考える。

基本方針は妥当である。なお、‘もんじゅ’などＦＢＲに対する関心は高いので、研究報告書の他に最終的なまとめが出来た段階で、国民向けに分かり易く研究過程、結論を解説した物をインターネットで発信しておくのも一つの手段として考えてはどうか。

原則、情報公開は必須である。ただ、知的所有権、ノウハウなど研究開発にかかわる公開が難しい情報もあるので、どういったものを公開するか、あるいは非公開とするか、一定の原則を広く提示することは必要である（すでに原則はあるのかもしれないが）。

勿論公開は必要であるが、全てのことを公開する必要はないと思う。

情報公開については実例がないところで議論してもぴんとこない。例えば「知的財産権の取得」のためどのような配慮がなされるのか、具体的なよい事例をサイクル機構が努力して積み上げていくことが大切である。成果については有償で民間に利用してもらうようになってこそ使われた研究費が活きることになる。どんな小さい事例でもいいから積み上げて、外に向かってこんな例があると発信してほしい。

なお、成果の外部評価が必要なのはいうまでもないことである。

得られた技術内容の詳細は当然公開の制限があるものと認識している。

しっかりした情報公開指針を持っていることと思うので、それに則って毅然とやっていただきたい。

（8）その他(上記項目に当てはめ難い評価意見)

「もんじゅ」の関連でいうと、国民は原子炉の安全に従来以上に敏感になっている。本調査研究では炉の安全にどれだけ配慮しているか明確に示した方がよいのではないか。あるいは、安全関連技術は別途取り上げており、本調査研究では取り上げないのか。

【説明資料の修正意見】

「4.第1期の計画 (2)実施内容及びスケジュール」11頁

「先進リサイクル研究の成果を利用し、海外の研究成果や技術情報を取り入れて…」となっているが、海外の前に国内もあるのではないか。

「4.第1期の計画 (3)実施体制及び要員計画 4)他機関との連携」16頁

「…国内外の関係機関に広く門戸を開いて実施する」とあるが、「…関係機関と協力して実施する」という表現の方が適切ではないか。

「2.目的 (1)研究全体の目的」1頁

同時に、この概念を実現していくために必須な技術課題について実用化までの研究開発計画を明確にすることにより、FBR サイクルの~~早期導入ひいては早期実用化を可能ならしめる~~開発戦略の策定に寄与する。

→「効率的開発と実用化技術開発の着実な推進を可能とする」に修正

「2.目的 (2)第1期の目的」2頁

②FBR サイクルの実用化に向けた研究開発シナリオを検討する。実用化候補概念を実現していく上で重要な技術課題について~~検討し、第2期の~~開発計画を策定することにより実用化に向けた開発の見通しをつける。

→削除（開発シナリオは第2期の開発計画にとどまらない。）

「3.課題選定の背景 (1)研究開発の動向」4頁

日本のようにエネルギー資源の大部分を輸入に依存しており長期的に安定したエネルギー源の確保が必要な国にとっては、原子力、特に FBR の必要性は従来と~~変わってはおらず、資源論的に FBR の実用化を急ぐ必要性が低下したことは従来より実用化までの時間的余裕が増加したと積極的に考えることができる。~~

→変わらない。以下削除（意味が無い）

「3.課題選定の背景 (2)技術の現状 2) 再処理」 5頁

これらの機器、プロセスを実証、高度化するためリサイクル機器試験施設(RETF)を建設して~~いる~~。→「きた」

さらに、FBR 炉心においては不純物の核的特性に及ぼす影響が小さいという特長を活かして、精製工程を削除する等の簡素化プロセスの開発、プラントの合理化設計研究等を実施し、軽水炉燃料再処理の 2 倍程度までコストを削減できる見通しを得~~た~~。→「得つつある」

「3.課題選定の背景 (3)必要性及び緊急性 2)緊急性」 9頁

次の段階に進めて~~説得力のある確かな開発シナリオを提示する~~ためには、第 1 ステップの実用化の見通しをつける仕事を 2 年程度で早期に終えることが重要である。→「開発シナリオを説得力のある確かなものにする」

「4.第 1 期の計画 (1)達成目標」 10 頁

これらの指標のめやすとして実用化時期の経済性をとり、例えば、FBR については軽水炉とほぼ同等の建設費~~(例えば 20 万円/kWe)~~、燃料サイクル費については燃料加工費及び再処理費を合わせて軽水炉とほぼ同等の燃料費とする。
→削除しても良いのではないか？

「4.第 1 期の計画(6)その後の計画について」 18 頁

同時にこれらの研究開発作業を通して、競争力のある技術にとって必須の技術課題の絞り込みを行い実用化までの~~研究開発計画を策定~~する計画である。
→「シナリオをレビューする」

なお、この後は、絞り込まれた必須の技術課題について試験及び解析を経て実用化のための技術を整備することに~~より、FBR サイクルの実用化像の見通しを明かにする段階、さらに、実用化プラント像と必須技術について要素実験とシミュレーション技術等を用いた解析的検討を組合せた研究開発を経て技術の確証を行うとともに、FBR サイクル技術の体系化と技術根拠の整備を図る段階を踏んで、FBR サイクル技術の民間への技術移転を行う。~~
→なるが、具体的には第 1 期で作成する開発シナリオによる。

参 考 資 料

核燃料サイクル開発機構

参 考 資 料 目 次

参考資料１　研究開発課題の事前評価について（諮問）……(1)

参考資料２　評価結果に対する措置……(3)

参考資料３　高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究……(8)
［研究開発課題説明資料本文］……(9)
［添付図表］……(32)
［用語の説明］……(47)

参考資料４　高速増殖炉ｻｲｸﾙの実用化戦略調査研究（ＯＨＰ資料）……(57)

参 考 資 料 1

研究開発課題の事前評価について（諮問）

11 ｻｲｸﾙ機構(経企)００５
平成１１年6月１６日

研究開発課題評価委員会
（高速炉・燃料サイクル課題評価委員会）
委員長　岡　芳明　殿

核燃料サイクル開発機構
理事長　都甲　泰正

研究開発課題の事前評価について（諮問）

研究開発外部評価規程第７条第１項に基づき、次の事項について、理由を附して諮問致します。

なお、検討結果については、平成１１年７月下旬までに答申を示されたく申し添えます。

１．諮問事項

ＦＢＲサイクルの研究開発のうち、実用化戦略調査研究についての評価

２．理由

サイクル機構の中長期事業計画に定めた実用化戦略調査研究に関する具体的計画について評価を受け、その結果を予算要求、研究計画等に反映させることにより、研究開発活動の効率化・活性化に資する。

以上

参 考 資 料 2

評価結果に対する措置

研究開発課題評価委員会
「高速増殖炉ｻｲｸﾙの実用化戦略調査研究」の評価結果に対する措置

平成１１年８月６日
核燃料ｻｲｸﾙ開発機構

「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」のうち、今回評価の対象とした、第１期の研究計画（FBR サイクルの候補概念の抽出と実用化に向けた開発シナリオの策定）について、概ね妥当という評価を頂いたので、本計画に従い研究開発を進めて行くこととします。なお、技術的観点での御指摘については、拝承して計画書に反映する他、今後検討を深めていく等の以下の措置をとることとします。

１．課題の意義と重要性

御指摘のとおり課題の意義と重要性を再認識し、着実に研究開発を進め成果を出してまいります。また、今 FBR の実用化を念頭に置いた研究を進める意味を、インターネット、広報媒体等を利用して積極的に情報発信することにより、国民に理解して頂けるよう努めてまいります。

２．研究開発全般の進め方

研究計画を変更すべきときは速やかに変更して一本道の開発にならないようにすること、外部の機関との協力を図りつつ研究を効率的に行うこと、他機関への委託または公募により新しいアイデアを入れること等の御指摘に対し、御指摘の点を十分考慮して研究を進めます。その他、

・プロジェクトマネージメントの手法の取り入れについては当調査研究への適用性も含めて今後検討してまいります。
・国際的シンポジウム、ワークショップ、専門家会議等を計画的に開催するよう考えていきます。
・研究基盤の整備は重要と認識しており、インテリジェントビル等の構想の実現をめざして努力します。
・なお、平成 11 年 7 月から電気事業者との共同研究体制をスタートさせており、8 月からは国内外の研究機関、研究者から広くアイデアの募集を開始しました。

3．開発シナリオの戦略としての耐性

第１期において各種の開発シナリオを構築し、第２期以降の開発計画を検討すること、開発シナリオにウラン採鉱技術の進歩、軽水炉の規模等の長期的な境界条件の変化に対する耐性を持たせることとの御指摘に対し、御指摘の点を十分考慮して研究を進めます。

4．技術評価の視点・方法

技術や設計の特長を踏まえその利点を生かすような研究・評価を行うこと、革新的な高性能化技術の開発要素の大小を評価すること、システム革新や改良のポイントを押さえること、開発レベルの異なる技術の評価においては多様な視点で評価すること等の御指摘に対し、御指摘の点を十分考慮して研究を進めます。

5．経済性評価

経済性は、エネルギー需要予測、他のエネルギー源の開発動向等を考慮して検討すること、経済性指標の検討においては、相対的比較、不確定性の考慮、高速炉の特徴を活かした設計の合理化等の広い視点の考慮に留意すること等の御指摘に対し、御指摘の点を十分考慮して研究を進めます。

6．環境負荷低減性

長半減期核種の核変換等を計画しているが、より近未来の指標として、廃棄物の低減化や再利用等が挙げられるとの御指摘に対し、御指摘の点を十分考慮して研究を進めます。

7．安全確保

安全確保の考え方一般について十分な説明をすること、技術のハード面と教育訓練等のソフト面とのバランスを図ることとの御指摘に対し、

・FBR サイクルシステムの安全性は、少なくとも現行の軽水炉システムと同等以上の安全性を確保するものとし、そのため、現行の安全関連の指針、基準等が適用可能なシステムについてはそれらに適合すること、適用しがたいシステムについては指針、基準等の考え方を踏襲するとともに見直しを検討するものとします。また、機器の故障及びヒューマンエラーの影響が極力少なくなるようシステムの簡素化等を通して信頼性向上に努めます。
・ハードとソフトのバランスについては御指摘の点を十分考慮して研究を進めます。

8．実用化要素技術開発

システム評価の観点から、要素技術開発の必要性と優先順位を適宜見直すこと、要素技術開発は長いリードタイムを要するので開発を一度中断してしまうと立ち上げが非常に難しくなるので並行して実施すべきであるとの御指摘に対し、御指摘の点を十分考慮して研究を進めます。

9．情報公開

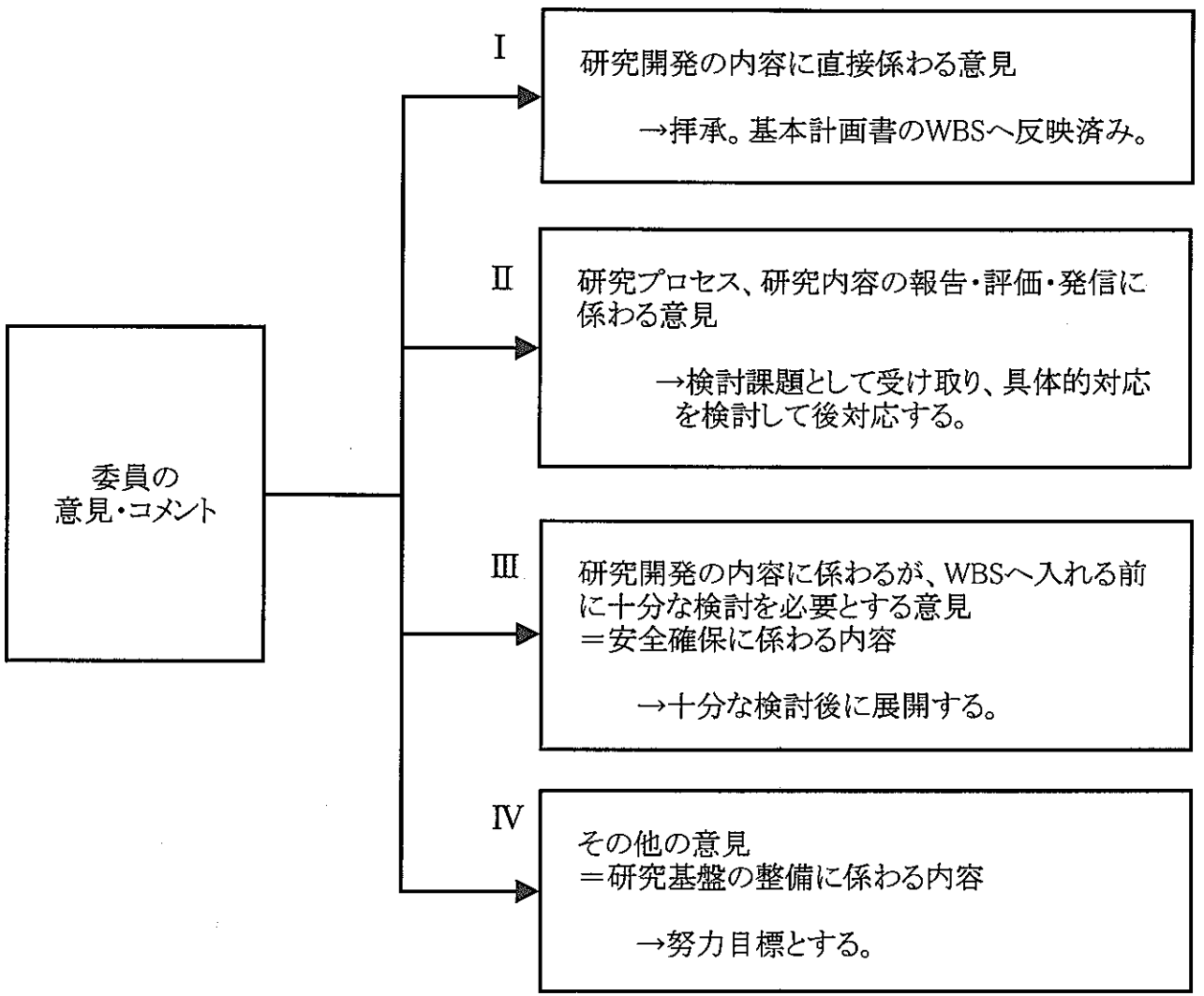
サイクル機構の情報公開指針に則り成果を公開すること、技術開発の目標や成果、安全確保の考え方について、国民一般にも分かり易い形で情報を提供すること等の御指摘に対し、御指摘の点を十分考慮して研究を進めます。

10．期待される成果及び波及効果

波及効果として 21 世紀における原子力エネルギー開発、利用のシナリオが明らかになること、マイナーアクチニド、長寿命核分裂生成物の消滅・短寿命化の方策について説得力ある提案が出ることを望むとの御指摘に対し、御指摘の点を十分考慮して研究を進めます。

添付資料

研究開発課題評価委員会
「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」の評価結果に対する措置における対応の考え方



参 考 資 料 3

高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究

【研究開発課題説明資料】

本資料は、課題評価委員会の評価意見等により改訂したものである。

高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究

平成11年8月

核燃料サイクル開発機構

目次

1. 課題名 ----------1

2. 目的 ----------1

3. 課題選定の背景
(1) 研究開発の動向----------2
(2) 技術の現状----------4
(3) 必要性及び緊急性----------7

4. 第1期の計画
(1) 達成目標----------9
(2) 実施内容及びスケジュール----------9
(3) 実施体制及び要員計画----------16
(4) 資金計画----------18
(5) 利用する施設・設備----------18
(6) その後の計画について----------18

5. 期待される成果及び反映----------19

6. 成果に対する情報公開の考え方 ----------21

7. その他特記すべき事項 ----------21

1. 課題名

高速増殖炉(FBR)サイクル*の実用化戦略調査研究

(＊印は「用語の説明」があります)

2. 目的

本研究は、2 段階に分けて実施する。軽水炉システムと比肩する競争力を確保する上で有望と考えられる複数の FBR サイクルの候補概念を具体化し、実用化に向けた開発シナリオを策定する第１期と、工学的試験も含めて技術的成立性を確認して整合性を図ったシステムに絞り込む第２期とで構成する。

今回の研究開発課題評価委員会では第１期について評価を受けるものとする。

(1)研究全体の目的

研究全体の目的は、FBR サイクルの実用化戦略を明確にする上で必要となる判断資料を整備して、軽水炉サイクルと比肩する経済性を達成しうる実用化概念の構築及び実用化に向けた開発シナリオの策定に資することである。

すなわち、これまでの技術開発の方向性にこだわることなく、FBR サイクル全体にわたり革新的技術の導入を図り、システムの経済性向上を図ることにより、将来の軽水炉システムと比肩しうる経済性を達成でき、併せて将来のエネルギー資源確保、環境負荷低減等の長期的展望に対応できる FBR サイクルの実用化候補概念を構築する。同時に、この概念を実現していくために必須な技術課題について実用化までの研究開発計画を明確にすることにより、FBR サイクルの効率的開発と実用化技術開発の着実な推進を可能とする開発戦略の策定に寄与する。

(2)第１期の目的

幅広く技術的選択肢の評価を行い、実用化候補概念を抽出することにより実用化に向けた開発の見通しをつける。具体的には次の通りである。

①革新的技術を採用した幅広い技術的選択肢の検討、評価を行い、安全確保を前提とし、経済性、資源の有効利用性、環境負荷低減性及び核不拡散性を評価の視点として、FBR、再処理及び燃料製造からなる FBR サイクルの実用化候補概念を複数抽出する。

②FBR サイクルの実用化に向けた研究開発シナリオを検討する。実用化候補概念を実現していく上で重要な技術課題について開発計画を策定することにより実

用化に向けた開発の見通しをつける。

実用化戦略調査研究の研究目的を着眼点とともに図－１に示す。

3. 課題選定の背景

(1)研究開発の動向

我が国の FBR の開発方針は、原子力委員会の「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（原子力長計）」に沿って、実験炉、原型炉、実証炉、実用化へと段階的に進め、かつ核燃料開発と連携して自主開発することであった。サイクル機構（旧動燃）は、この方針に従って研究開発を進め、約 30 年の間に実験炉「常陽」の運転、原型炉「もんじゅ」の初送電、「常陽」及び「もんじゅ」の燃料製造、ＦＢＲ燃料の再処理技術の開発試験等を通して多くの技術データとノウハウを蓄積してきた。簡潔に言うと、FBR サイクルシステムの実用化のため、ナトリウム冷却ループ型大型ＦＢＲ発電所－MOX*ペレット燃料*製造－PUREX 法再処理*という一連の技術体系の確立をめざしたものである。

平成６年６月に策定された原子力開発利用長期計画では、ＦＢＲを将来的に核燃料リサイクル体系の中核と位置付け、相当期間にわたる軽水炉との併用期間を経て将来の原子力発電の主流にしていくべきものとし、サイクル機構において原型炉「もんじゅ」の開発及び FBR の実用化をめざした研究開発を、また、実証炉については、2000 年代初頭着工を目標に電気事業者が建設の準備を進め、2030 年頃までには、実用化が可能となるようＦＢＲの技術体系の確立を目指すこととしてきた。

実証炉の設計と研究開発は電気事業者を中心に行われており、サイクル機構が原型炉段階まで進めてきた技術を基盤にしてさらに必要な研究開発を加えて実施されている。最近十年余の開発努力は主として経済性向上に注がれている。

燃料製造と再処理技術の開発においては、サイクル機構は「もんじゅ」のプロジェクトと並行して開発してきた技術の改良、高度化による実用化をめざして研究開発を進めてきた。一方電気事業者は、経済性向上のポテンシャルが大きいと考えられる乾式再処理技術に着目した研究開発を行ってきた。

「もんじゅ」の２次系ナトリウム漏えい事故を契機として、原子力委員会「高

速増殖炉懇談会」において「もんじゅ」の扱いを含めた将来のＦＢＲ開発の在り方について幅広い審議が行われた。懇談会報告書では、ＦＢＲを将来の非化石エネルギー源の一つの有力な選択肢として、その実用化の可能性を追求するため、安全確保、地元の理解などを前提に研究開発を進めることが妥当としており、その際には、適切な評価と見直しを行うなど、柔軟な計画の下に進めることが必要であるとしている。また、原型炉「もんじゅ」についてはこの研究開発の場の一つとして位置付け、実証炉については、「もんじゅ」の成果及び民間の進めている研究開発の成果などを評価した上で具体的計画を決めることとし、さらに、ＦＢＲの実用化にあたっては、実用化時期を含めた開発計画について、安全性と経済性を追求しつつ、将来のエネルギー状況を見ながら、柔軟に対応することとしている。

原子力委員会としては、「長期エネルギー源確保の必要性、安全確保及び地元の理解の重要性、財政事情の逼迫、経済性の追求重視といった内外の諸情勢も踏まえ、また、今後の原子力研究開発は資源論的観点に加え環境論的観点も重要であるとの当委員会のこれまでの指摘に鑑みても、懇談会報告書の結論は妥当と判断し、今後は同報告書を尊重して高速増殖炉開発を進めること」としている。

他方、海外に目を向けると、ここ十数年の先進各国における FBR の実用化をめざした研究開発は、おおむね実証炉による開発段階への移行期にまで到達しているが、最近に至り種々の要因でスローダウンしている。これらの主な要因として、エネルギー需要の伸びの鈍化を反映したウラン需給の緩和により資源論的に実用化を急ぐ必要性が低下していること、現状では発電所の建設費が軽水炉に比べて相対的に大きく、ウラン価格が低い状況で運転しても経済的に高くつくことが挙げられる。

また、各国の事情をみると、フランスは、経済的理由から実証炉スーパーフェニックス（電気出力 124 万 kW）を閉鎖したが、原型炉フェニックス（電気出力 25 万ｋW）を 2004 年まで運転する計画であり、FBR の研究開発を継続している。ロシアの場合、原型炉 BN-600（電気出力 60 万 kW）が運転されており、実証炉 BN-800（電気出力 80 万ｋW）の建設を開始したところで、財政事情の悪化のため建設を中断している。旧ソ連カザフスタンの発電海水脱塩二重目的炉 BN-350（熱出力 100 万 kW、電気出力 15 万 kW）は 20 年以上運転されており、2003 年までは運転継続する予定である。米国の場合、核不拡散政策としてプルトニウムの商業利用を行わないこととしている。また、米国における原子力エネルギーの将来のために 1999 年度から始まる NERI プログラム（原子力エネルギー研究イニシアチブ）において、核拡散抵抗性のある原子炉及び燃料サイクル、新型炉、先進燃料、廃棄物管理の新技術及び基礎科学研究に関する研究開発を計画している。米国、ドイツ、英国については、国内に有する化石燃料資源で当面のエネル

ギー自給が可能である。中国では、電気出力２万 kWの高速実験炉の建設を計画している。

日本のようにエネルギー資源の大部分を輸入に依存しており長期的に安定したエネルギー源の確保が必要な国にとっては、原子力、特に FBR の必要性は従来と変わらない。

サイクル機構は、設立後直ちに中長期事業計画の策定を開始し、その中で FBR サイクルについては、「安全確保を前提に、『経済性向上、資源の有効利用、環境負荷低減、核不拡散性の確保』を目標として研究開発を進め、実用化に向けて競争力のある技術に着実に仕上げます。中期的には、経済性向上に向けた研究開発を最優先で進めるとともに、『もんじゅ』を用いて発電システムとしての技術の成熟を図り、FBR サイクルの実用化見通しを明らかにします。また、国が行う安全基準等の策定に積極的に寄与します。長期的には、超ウラン元素（TRU）*燃焼や長半減期核分裂生成物（LLFP）*の核変換等によって環境負荷低減を実現する FBR サイクルの確立を目指した研究開発を進めます。」という方針を打ち出したところである。

(2) 技術の現状

これまでの FBR サイクルの開発においては、電気事業者や旧動燃事業団等の各機関が、各々独自性を発揮しながら開発を進めてきた。開発された FBR サイクルは、技術的には実用化にかなり近いレベルにまで達しつつあるが、経済性要求に対する充足度には課題があるとされている。

1)FBR

技術的選択肢の基本としては、炉型、出力、冷却材及び燃料形態が挙げられる。サイクル機構では、ループ型*、大型化、ナトリウム冷却、MOX ペレット燃料等の仕様を選択し、研究開発を展開してきた。

原型炉「もんじゅ」は電気出力28万kWの3ループのループ型炉で、実験炉「常陽」（熱出力 10 万ｋW、2 ループ）の経験を引き継いで建設された。出力上昇試験の途上で 2 次系ナトリウム漏えい事故が発生し、現在停止中であるが、運転再開に向け準備しているところである。

サイクル機構では大型発電炉をめざした研究開発として、当初「もんじゅ」のスケールアップ型を研究したが、物量が大きくなることから改良を図ることとした。その後、配管短縮（原子炉容器上部流出入配管方式）、簡素化燃料貯蔵方式等の物量削減を図った電気出力 60 万 kW 級（3 ループ）と 130 万 kW 級（４ループ）の FBR について設計研究を行った。130 万 kW 級大型炉の建設費

はスケールメリットの効果も評価して単位出力当たりで軽水炉のおよそ 1.4 倍であった。

実証炉は電気事業者が 2000 年代初頭に着工することを目標に、電気出力 66 万 kW の原子炉容器トップエントリ方式*ループ型で、1 次冷却系機器をループ毎に容器に入れ分散配置した 3 ループプラントについて設計研究を進めた。建設費は同出力規模の軽水炉のおよそ 1.4～1.5 倍である。

最近の FBR 設計例として EFR 及びスーパーPRISM を挙げることができる。

ヨーロッパで設計された EFR（電気出力 152 万 kW）は、1 次系 3 ループのナトリウム冷却のタンク型であり、1993 年で設計作業を中断した。EFR は軽水炉との競合可能性をめざして、燃料の高燃焼度化、設計の簡素化、安全グレード設備の限定、機器台数と重量の低減、建屋体積の低減、建設期間の短縮、機器への接近性の向上等によって経済性の向上を図っている。

米国 GE が設計したスーパーPRISM は、タンク型モジュール炉で各モジュールは電気出力 41 万 kW のタンク型である。1 次系は 2 ループ、2 次系は蒸気発生器 1 基の 1 ループ構成であり、モジュール 2 基とタービン 1 基で 1 ユニットを構成し、2～4 ユニットで 1 発電所とする。RVACS*を取り入れて簡素化しており、GE の米国条件での試算では発電コストが多数基建設後で 1kW 当たり 4.2 円（1 $＝122 円換算）である。

資源の有効利用と放射性廃棄物の低減を通して環境負荷低減をめざす研究開発では、FBR を用いた TRU 燃焼と FP 消滅*の研究を行っている。TRU 燃焼の研究においては、大型 MOX 均質炉心*で MA*添加率（ランタニド*同伴）5%程度まで燃焼可能であること、FP 消滅の研究では、半減期 5 万年以上の 7 つの長半減期核種*を消滅できれば潜在的放射性毒性が天然ウランの放射性毒性と同程度になる期間を数百年まで軽減できることを整理した段階である。

2)再処理

FBR 燃料の再処理については、高燃焼度、高プルトニウム濃度の FBR 使用済み燃料の再処理に対して、軽水炉燃料の再処理で実績のある湿式 PUREX 法を選択して開発を展開した。

高レベル放射性物質研究施設(CPF)では「常陽」等の照射試験燃料を用いたホット基礎試験を行い、使用済み燃料の溶解特性や、U/Pu 抽出分離特性に関するデータを蓄積し、プロセスフローシートを確立した。高効率で小型の工程機器開発を実施し、遠心抽出器、レーザ解体機等の新型機器を開発した。これらの機器及びプロセスを実証、高度化するためリサイクル機器試験施設(RETF)を建設している。

さらに、FBR 炉心においては不純物の核的特性に及ぼす影響が小さいという特長を活かして、精製工程を削除する等の簡素化プロセスの開発、プラントの

合理化設計研究等を実施し、軽水炉燃料再処理の2倍程度までコストを削減できる試算例を得た。

環境負荷低減を目指す研究開発では、PUREX 法の改良により使用済み燃料中のMAのうちネプツニウムをほぼ全量プルトニウムとともに回収できることを確認した。アメリシウム、キュリウムについては、TRUEX 法*の改良により99.9%の効率で実高レベル廃液中から回収できることを確認した。

乾式再処理法については、原理的に簡単な工程であるため、湿式法よりも低コストでの再処理が実現できる期待があり、米国（ANL*）、ロシア（RIAR*）でそれぞれ独自のプロセスの開発が進められてきた。我が国では電気事業者がそれぞれ技術協力を行ってきたが、工学的に技術の実証を行うのはこれからの段階である。

3)燃料製造

FBR 燃料は、世界的に酸化物ペレット燃料が主流であり、製造技術として確立している。サイクル機構では、「常陽」及び「もんじゅ」の燃料製造を通して品質向上、量産化、被ばく低減のための自動化、稼働率の向上、保守技術の向上等を図り、年間5トン規模の製造技術を確立した。

さらに経済性を向上させるため、燃料原料調製からペレット成型までの工程プロセスの簡素化を図ったショートプロセス法*の開発を実施しているところである。燃料製造コストは軽水炉燃料の3倍程度に低減可能との試算例を得た。

MOX 振動充填燃料*製造法は、現状のペレット製造法に比較して製造工程が簡単であり、製造コストを低減できる可能性があると期待されている。スイス(PSI*)ではゲル化法により球状燃料を調製し、振動充填する技術開発を手がけており、サイクル機構と共同研究を実施している。ロシアでは不定形の粒状燃料を振動充填し燃料を製造している実績があり、電力が技術協力を進めて来た。ロシア法は乾式再処理と連結することでさらに合理的なプロセスにすることが期待されている。

金属燃料の製造法については、ANL が乾式再処理と一体のプロセスとして射出成型法を採用している。

窒化物燃料の製造は、原研が実験室レベルの実績を持っており、サイクル機構も試作試験によって確認した。

環境負荷低減を目指す研究開発では、ネプツニウム入り燃料はグローブボックスでの製造試験を、アメリシウム入り燃料はホットセル内で遠隔操作による製造試験を実施している。

4)FBR サイクル

「常陽」での照射試験後の試験燃料を使用して、CPF でプルトニウムを回収

し、燃料ペレットに加工し、再び「常陽」に装荷し燃焼させる試験的規模のリサイクルを行った経験はあるが、本格的なリサイクルは今後の課題である。

軽水炉発電コストの現状と将来予測を行い、軽水炉発電と同等以下の発電コストとなるためのFBRサイクルの条件として、燃焼度15万MWd/t*で運転されることを前提にすると、炉の建設費で対軽水炉比1.0倍程度、MOX燃料加工単価は3.0倍程度、再処理単価は2.5倍程度という試算例が得られた。

(3) 必要性及び緊急性

1) 必要性

実用化の可能性追求の必要性

世界的視点に立ったエネルギー需給の長期見通しによれば、エネルギー需要は21世紀中は人口増加と発展途上国の経済発展とともに増大し続け、エネルギー供給は、化石燃料の資源的、環境的制約があり、非化石エネルギーの信頼性の高い大規模な供給がなければ、需給バランスが逼迫する予測である。従って遅くとも21世紀中葉をめざして長期的に化石燃料エネルギーから非化石燃料エネルギーへの代替を進めていく必要がある。高出力密度で大規模な非化石エネルギー源の代表が原子力発電であるが、信頼性の高い大規模な供給源として世界的に頼られていくと、早ければ21世紀中葉にはウランの需給が逼迫する予測であり、その場合には、現行の軽水炉からFBRへの代替を進めなければならない。

これまでは、ウランの需給が逼迫することによりウラン価格が高騰する前に実用化することをめざし、実証炉とその先の実用化のスケジュールに沿った研究開発を行ってきたところ、炉の大容量化により建設費で軽水炉と比較して1.4倍程度まで達成することができる設計概念を構築した。

開発されたFBRサイクルは、技術的には実用化にかなり近いレベルにまで達しつつあるが、上述の経済性要求に対する充足度を一段と高め、将来の主要なエネルギー源としてFBRサイクルが社会に組み込まれるためには、革新的技術を採用して抜本的な経済性向上を図り、ユーザー及び国民のニーズを満足できる高いレベルのFBRサイクルシステムを早期に提示する必要がある。

このFBRサイクル実用化像の構築に向け、①実用化候補（複数）の比較検討による絞込み、②実用化像の見通しの提示、③実用化FBRサイクルの経済的および技術的根拠の整備という段階を踏むことを目安にして進めるが、第1段階（①）として実用化候補概念の抽出から絞り込みを行う実用化戦略調査研究が必要である。

リサイクル社会への対応

また、21 世紀のリサイクル社会においては、利用できる資源を有効に使用し、原子力発電に伴う放射性廃棄物の発生量を少なくできる技術体系が望まれるであろう。FBR を中核に据えたサイクルシステムの体系がそのような社会のニーズに確実に答えられるよう実用化の可能性を追求する必要がある。

2)緊急性

FBR は、将来の非化石エネルギー源の一つの有力な選択肢として、魅力的なものである。FBR の実用化が早いほど、資源の有効利用性、環境負荷低減性等に係わる FBR の持つ長所を享受でき、それだけ社会にとっての便益が大きくなる。FBR サイクルを実用化するための研究開発には少なからぬ時間を要するものであることを考慮すれば、実用化の見通しを早期に付けることが望まれる。また、実用化に向けて研究開発を効率的に進めるためにも、FBR 実用化の可能性を追求する戦略計画についての調査研究を早期に立ち上げる必要がある。

これまでの FBR 研究開発の成果を集大成したプラント像の具体例としては、旧動燃が実施した FBR 設計研究、電気事業者が実施した実証炉設計研究等の成果があり、技術的に実用化にかなり近づいているが、実用プラントとして見た場合に、経済性要求に対する充足度に課題がある。したがって、FBR 実用化の見通しを付けるためには、これまでの研究開発の成果を踏まえつつ、現時点で研究開発計画を見直し、抜本的経済性向上に向けた研究開発をより効果的に実施することが緊急の課題である。

具体的には、これまでの FBR 技術開発の枠に止まらず、広く科学技術開発の現状に目を向け、最新の技術到達レベル、今後の技術開発の動向を十分取り入れて研究開発計画の練り直しを図るための調査研究を開始する必要がある。その結果、革新的な技術を取り込むことによって新たなプラント像を提示して、実用化の可能性を見据えた開発シナリオを策定できる。

また、研究開発の目標、特に経済性に関する目標が達成できるような実用化候補概念が抽出でき、その技術的可能性、実現していくための道筋(研究開発計画)を示すという実用化見通しを明確にするためには、第１ステップとして幅広い技術選択肢の検討を行って有望な実用化候補概念を抽出し、次の段階として工学的試験も含めて技術的成立性を確認し、整合性のとられた FBR サイクルに絞り込む必要がある。次の段階に進めて開発シナリオを説得力のある確かなものにするためには、第１ステップの実用化の見通しをつける仕事を２年程度で早期に終えることが重要である。

4. 第１期の計画

(1) 達成目標

基本的な目標は、FBR、再処理施設及び燃料製造施設からなる FBR サイクルシステムの複数の実用化候補概念の抽出と技術開発計画等の実用化シナリオの提示である。実用化候補概念の抽出のために、経済性、資源有効利用、環境負荷、核不拡散性の観点を加えた総合評価指標を検討し、策定する。

これら各種の評価の観点の中で、経済性を重視してプラント概念の研究を進める。この抽出に当たっての判断のめやすの一つとして、FBR サイクル全体の経済性を指標とし、実用化時期の軽水炉システムに比肩する発電コストとして発生電力１kWh 当たりの費用（たとえば６円程度）とすることが考えられる。経済性の評価は、エネルギーの需要予測と廃棄物に対する社会的関心の動向や他のエネルギー源の開発動向を睨みながら検討する必要があり、評価指標については、不確定性を考慮した検討を行なう

サイクル全体の経済性を検討する前段として、サイクル要素個別の評価指標を設定して有望な技術をスクリーニングする計画である。これらの指標のめやすとして実用化時期の経済性をとり、例えば、FBR については軽水炉とほぼ同等の建設費、燃料サイクル費については燃料加工費及び再処理費を合わせて軽水炉とほぼ同等の燃料費とすることが考えられる。

FBR、再処理及び燃料製造各プラントの評価指標（めやす）と調査研究の要点をそれぞれ図－2、図－3 及び図－4 に示す。

(2) 実施内容及びスケジュール

第１期は、平成 11 年度から２年間にわたって幅広く技術選択肢の評価を行い、安全性を前提とし、経済性向上を重点目標として、資源の有効利用、環境負荷低減、核不拡散性の向上の可能性が認められる有望な技術を抽出する。これまでの国内外の研究開発の蓄積を活用して技術選択肢を幅広くサーベイし、評価指標に照らし有望な技術を抽出するために、FBR、再処理及び燃料製造の各サイクル要素毎の評価検討作業を１年半、FBR サイクルとしての統合･評価に半年の期間を割り当て、２ 年間の計画とした。第１期終了時には、実用化までの研究開発計画を明確にするとともにチェックアンドレビューを受け、その結果を踏まえて第２期に進むものとする。

第１期の目的に照らし、研究開発を３つの階層、すなわち各サイクル要素（FBR、再処理及び燃料製造）についてそれぞれ技術選択肢の検討を行なう「システム技術開発」、このシステム技術開発へ技術情報を供給する「実用化要素技術開発」、

並びに FBR サイクルとしての技術の整合性、最適化を図り実用化候補概念を抽出する「システム技術統合･評価」とで進めることとした。

経済性向上を抜本的に図るには、これまでの開発方法の延長だけでは難しく、経済性の向上に向けた技術のブレークスルーを図ることが必要である。このため、独創的なアイデア及び革新的技術を積極的に幅広く模索して、FBR サイクルに取込む必要がある。

FBR の研究開発の要点は、発電コストに占める割合が大きい FBR プラントの建設費の低減をどのように実現するかにある。炉心・燃料、冷却材、プラントのコンパクト化等幅広いシステム概念を摘出し、成立性、経済性等を比較・検討し、有望な概念を選定する。再処理と燃料製造については、これまで行われてきた先進リサイクル研究*の成果を利用し、国内外の研究成果や技術情報を取り入れて技術的選択肢を摘出し、工学的な規模で経済的に成立し得る概念であるかどうかについて基礎実験やプロセス実験のデータを取得して確認することが要点である。現状の有望概念の具体化を図る前に、新しいアイデアの募集やメーカー間の競争意識を引き出すコンペ方式の発注によって、魅力のある概念を追求するものとする。

技術選択肢の抽出に当たって、目標達成度を評価するための方法（指標の設定等）についての検討も重要である。また、各サイクル要素の評価だけでは不十分であり、FBR サイクル全体としての総合的評価を行うことがもう一つの要点である。

FBR、再処理及び燃料製造の各プラントのいずれの技術選択肢の検討においても安全確保を前提にしている。FBR サイクルシステムの安全性は、少なくとも軽水炉システムと同等以上の安全性を確保するものとし、我が国の安全関連の指針、基準等に適合させるのは勿論、グローバルな基準に適合することも配慮するものとする。また、機器の故障及びヒューマンエラーの影響が極力少なくなるようシステムの簡素化等をとおして信頼性を向上させるものとする。

実用化戦略調査研究第１期の計画を図－５に、研究開発業務の構成を図－６に、工程を図－７に示し、研究開発業務の構成における中項目レベルの実施内容を表－１に示す。これらの業務構成及び工程については、研究開発の進捗に伴い適宜見直すものとする。

1)システム技術開発

FBR、再処理及び燃料製造においてそれぞれ幅広く技術選択肢の検討を行い目標達成度を比較検討する。システム設計を考えるに当たっては、システム革新や改良のポイントを押え、革新的な高性能化の程度と開発要素の大小を評価するものとする。

FBR システム技術開発

ナトリウム、重金属、ガス、水等の冷却材、中小型モジュール炉、並びにMOX、金属及び窒化物の燃料からなる技術選択肢に係るプラント概念を研究する。

ナトリウム冷却炉については、原子炉容器側部流入配管方式と機器合体の組合わせ、EFR タイプのコンパクトタンク方式、二次系削除方式が経済性目標を達成し得る有望な概念として抽出されている。機器合体方式では製作性と電磁ポンプの実現性が、二次系削除方式では伝熱管ギロチン破断時の安全論理が技術課題として挙げられる。現状の有望概念の具体化を図る前に、新しいアイデアの募集等によって、物量削減・簡素化、コンパクト化、安全系の極限化、規格・基準の合理化などの抜本的な見直しを行い、より魅力のある概念を追求する。新しいアイデアを含めて、経済性の目標を達成し得る有望な概念を取り入れたプラント像の具体化に重点的に投資し、ナトリウム冷却炉に関する実用化プラント像を検討する。

重金属冷却炉については、鉛冷却及び鉛・ビスマス冷却が考えられる。実用化のための技術課題（ビスマスの資源量、構造材腐食、耐震設計、高融点冷却材の予熱方法、炉心・燃料設計等）を重点的に検討するとともにプラント概念を検討する。耐震設計等、我が国の実情に合わせた検討が必要なことから、概念検討は国内メーカに発注する。検討内容については、BREST シリーズ*の設計概念を有し、現状、技術的に最も進んでいるロシア（RDIPE*）にコンサルタントを依頼する。炉心・燃料設計については、ロシアが提案している窒化物燃料だけでなく、MOX 燃料についても検討する。

ガス冷却炉については、大型化によるスケールメリットと、熱交換器のコンパクト化を追求することにより、軽水炉並みの建設費の実現可能性を検討する。また、システムが単純で保修が比較的容易であると考えられるため、運転コスト面に及ぼす経済性について検討する。冷却材流出事故時の炉心冷却性、燃料被覆管の腐食や高燃焼度照射データの不足等の技術課題について検討する。冷却材の候補としては炭酸ガスとヘリウムガスがあるが、冷却材流出事故時の炉心冷却性の観点からは炭酸ガスが有望であが、幅広く検討する観点から、ヘリウム冷却炉についても新しい概念をサーベイする。また、炉心・燃料について検討を実施し、技術的成立性並びに経済性の評価を行う。

水・蒸気冷却炉については、RBWR*等の軽水冷却増殖炉と超臨界圧軽水冷却増殖炉（SCFBR）の炉心特性及び燃料サイクルとの整合性について検討し、導入シナリオの中での位置づけを検討する。

中・小型モジュール炉については、GE 社のスーパーPRISM が発電コスト6 円/kWe を達成できる概念として提案されている。これについては、サイト条件、許認可体制等を考慮して、我が国に導入した場合のコスト評価を行う。

小型モジュール炉については、FBR サイクル導入戦略の一つとして、プラント出力規模・形態・機能を整理し、導入戦略に適合するプラント概念を提示するとともに、その開発に要する期間、コスト及び課題を整理する。

その他の FBR 概念については、溶融塩 FBR 概念の検討や TRU 専焼炉概念の検討を行い、それらの技術課題、成立性等を評価する。なお、検討対象については抜け落ちがないように適宜見直すこととし、米国の MIT 等の提案（鉛－ビスマス冷却の小型炉概念）等についても情報収集を行う。

炉心・燃料技術開発、機器構造技術開発、免震技術開発、熱流動技術開発、安全技術開発、プラント技術評価というＦＢＲに共通する技術開発項目については、各種の炉型、システムに横断的な研究を行ない、プラント概念の具体化に反映する。

各技術的選択肢に係るプラント概念について目標達成度の比較検討を行い、FBR サイクルの最適化に反映する。

再処理システム技術開発

従来の湿式 PUREX 工程を経済性向上の観点から抜本的に見直し、低除染*製品生産の許容を前提とした簡素化 PUREX 工程／燃料製造一体化のプラント概念を具体化し、プラント規模、TRU 回収、窒化物燃料対応性等、経済性に影響を及ぼす因子を定量的に評価する。また、プロセス及びプラント設計・評価手法に関する整備を進める。

乾式再処理については、高温電気化学法をベースとする改良 RIAR 法*及び改良 ANL 法*、さらにフッ化物揮発法*の３方式について、それぞれのプラント概念を構築し、主として経済性の観点から評価を行う。また、前述の湿式法のプラントと合わせて、経済的な競争力について比較・評価を行う。

金属燃料を対象とする乾式再処理技術については、電中研の知見を活用して、プラントレベルの工学的成立性、安全性及び経済性を検討する。

各技術的選択肢について目標達成度の比較検討を行い、FBR サイクルの最適化に反映する。

燃料製造システム技術開発

酸化物燃料を対象とするペレット製造技術に関し、粉末流動特性の改良、ペレット直接成型法*、粉末輸送法*等の枢要技術について、工学的成立性を評価し、それらの枢要技術の組み合わせによる簡素化製造工程によるコスト低減見通しを得る。TRU（アメリシウム，ネプツニウム）燃料や窒化物燃料の製造法に関する情報を整理し、成立性や経済性の観点から評価する。

振動充填燃料製造技術については、工学レベルにおける技術的成立性を確認するため、小粒子製造法、充填条件、ゲル化*条件等の枢要技術を評価す

るとともに、燃料設計コードを用いて振動充填燃料及びスフェアパック燃料*の性能を評価する。また、射出成型法による金属燃料の製造法を調査し、製造工程の成立性や経済性の検討・評価を行う。

各技術的選択肢について目標達成度の比較検討を行い、FBR サイクルの最適化に反映する。

FBR サイクルの最適化

FBR サイクル導入条件の調査、エネルギー需給の将来動向の調査、代替エネルギーの開発・普及動向の調査等を行い、FBR サイクルの実用化シナリオの検討に反映する。この際、技術的難易度、ＦＢＲサイクルが実用化される時期の不確かさ、他の競合発電技術との競争を視点においたプルトニウムを利用する高性能な高速炉の導入等、FBR をめぐる長期的な境界条件の変化について考慮するものとする。

経済性、環境負荷低減、資源の有効利用、核不拡散に係る目標達成度を評価するための指標を開発する。コスト評価が困難と考えられる新技術の評価においては、経済性に密接に関係する因子の裕度等に基づく評価、相対値の比較、研究開発費用の検討等、評価指標の内容について検討し、技術改良の方向を経済性評価から得ることも目標にする。

具体的評価においては、品質管理の区分、耐震の区分、燃料取扱い系や高速炉特有の各種補機や設備の単純化、運転保守方法、高速炉の特徴を生かした設計の合理化、実際のリスクをベースにした安全確保の考え方の単純化や設計工法の工夫など、経済性向上につながる広い視点を加える。また、プラントの部分システムについて革新や改良が考えられている場合は、プラント全体のコストに占めるその部分の寄与を明らかにする等、革新技術の導入の根拠を明確にする。

環境負荷低減の指標では、再処理や混合酸化物燃料製造時の廃棄物の減容、FBR、再処理及び燃料製造プラントの廃止に伴う廃棄物の減少や再利用、最終処分時の廃棄物の容量や物量という点にも着目して検討する。

FBR サイクルの要素技術である FBR、再処理及び燃料製造について、それぞれ個別に開発するだけでなく、燃料・炉心を軸にして一つのシステムとして要素間の適切な組合せの下に技術のトレードオフ、整合性を検討し、各サイクルシステム概念についてサイクル諸量*評価を行ない、サイクル全体として最適化を図る。燃料サイクル技術として、各システムの特徴を押さえ、再処理と燃料製造への将来の要求の変化への対応性についても評価する。

情報管理システムの開発

FBR サイクルの技術情報を効率的にデータベース化するとともに、実用化

候補技術の抽出、FBR サイクルとしての最適化、実用化シナリオの構築等の研究開発を支援する統合化情報管理支援システムを開発する。

2)実用化要素技術開発

主としてシステム概念の成立性や経済性に影響を及ぼす重要な要素技術を開発し、システム技術開発へ反映する。要素技術開発は必要性を検討し、継続して並行して実施するよう計画する。第1期で終了できないものは、その成果を第2期で反映するものとする。また、システム評価という観点から、その必要度と優先順位を適宜見直す。

FBR 要素技術開発

高燃焼度・高温出口温度を達成し得る ODS 鋼*の製造コスト低減に関する技術評価を行なう。また、高燃焼度燃料被覆管の代替材料に関して、海外燃料被覆管材の調査を行ない、その性能、適用性及び経済性について国産材料との比較・評価を行なう。有望代替材料である PE16*については、英国から技術情報を購入するとともに、被覆管材を購入し、引張強度等の炉外評価を行う。

再処理要素技術開発

簡素化 PUREX プラント成立のための枢要技術である、低除染 PUREX プロセスに関し、プロセス設計に不可欠な主要核分裂生成物の除染挙動を評価する。また、マイナーアクチニドのうち PUREX 工程で制御可能なネプツニウムについては、プルトニウム/ウラン/ネプツニウム混合抽出回収技術の成立性を検討する。これらのプルトニウムの低除染化及びウランとネプツニウムの混合は核拡散抵抗性の強化に寄与する。

PUREX 工程の物量削減に有効であるウラン晶析*技術については、高濃度アクチニド溶解及び析出データ、晶析ウランからの FP 分離挙動等の基本的データを取得する。

環境負荷低減のため、放射性廃棄物についてはその質及び量の両面から改善を図る必要がある。高レベル廃液中の長半減期 MA（アメリシウム、キュリウム及びネプツニウム）分離のために、中性の有機リン抽出剤 CMPO*を用いる TRUEX 技術の改良を図るとともに、FBR での消滅効率の改善を目指し、MA／ランタニド分離技術を開発する。また、テクネチウム－99 やヨウ素－129 などの長半減期 FP の分離技術を開発する。

大幅な水相廃液低減が期待できるソルトフリー*技術を開発し、それを PUREX 工程に適用することにより放射性廃棄物の低減を図る。また、溶媒抽出工程から発生する放射性有機廃棄物の低減に向け、減容・無機化を可能とする技術の開発を行う。

乾式再処理については、金属及び酸化物の電解試験を実施し、プロセスの成立性に関するデータを取得する。また、廃棄物低減の観点から、塩リサイクルや材料腐食の検討を行う。改良 ANL 法の適用性については、リチウムによる酸化物燃料の還元試験を実施するとともに、CPF でのプルトニウム試験の実施に向け設備の整備を進める。

改良 RIAR 法については、廃棄物低減のための検討を進める。また、乾式再処理に固有の脱被覆、溶融塩電解槽、抽出器等の機器、耐食材料、遠隔操作技術、分析技術の開発を進める。

ロシアとの共同研究では、塩のリサイクルや FP の除染技術に関する試験等、実用化を判断する上で枢要な技術確認試験を行う。

燃料製造要素技術開発

MOX 燃料製造工程の簡素化に資する Pu 富化度*調整法、ペレット直接成型技術、粉末流動性改良技術を開発する。また、粉末輸送システムについてはシステム設計及び試作を行い、システムの成立性評価の見通しを得る。TRU（アメリシウム及びネプツニウム）MOX 燃料製造法に関し、燃料物性、分析技術及び製造技術情報をまとめる。

振動充填燃料製造技術に関し、粒子製造については小粒子製造法、顆粒製造技術、ゲル化条件等の設計データを取得する。振動充填に関しては、製造条件の最適化を検討する。また、海外（PSI）との共同研究により、内部ゲル化法*による振動充填燃料製造の技術開発を進める。BNFL からは外部ゲル化法*による製造技術や製造施設などプラント設計に関連する情報を入手し、評価する。燃料設計に関しては、燃料（TRU，振動充填法）設計コードの開発や低除染燃料設計の検討を行う。

気相吸着法による ^{15}N 同位体濃縮技術の基礎実験を行い、分離効率データを取得して、窒化物燃料実用化のためのボトルネックとなる同位体濃縮コスト低減に対する技術的見通しを得る。

3)システム技術統合･評価

経済性、資源有効利用性、環境負荷低減性、核不拡散性を評価の視点として、FBR、再処理及び燃料製造からなる FBR サイクルの実用化候補概念の抽出･評価を行うとともに、実用化に向けた技術開発計画等のシナリオを作成する。

研究開発の企画・調整

研究開発計画の見直しを含めた企画・立案、工程の管理・調整を行うとともに、エネルギー市場の動向、代替エネルギーの開発動向等の FBR をめぐる境界条件に配慮した FBR サイクルの実用化シナリオの検討を行い、FBR サイクルが順調に導入される実用化シナリオ（サクセスシナリオ）を明確に

する。

FBR サイクル統合・評価

FBR サイクル実用化の開発計画を検討、策定し、実用化シナリオとの統合化を図る。また、実用化候補として検討される FBR サイクルについて総合的な目標達成度の評価を行い実用化候補サイクル概念を抽出する。

この時、原理的なものとほぼ技術評価ができる状況にあるもののように技術レベルの異なるものの扱いを十分検討し、研究開発費用を含めた将来性を検討するとともに、それぞれの技術や設計の特徴を踏まえ、多様な視点で評価するものとする。

(3)実施体制及び要員計画

本年 11 年 7 月に新たな推進体制を発足させる予定である。大洗工学センターを中核として、国内外の研究者や技術者を集め、緊密な意思疎通、自由な議論を通して、既成概念のブレークスルーを実現できるような研究開発環境を作る。

推進体制を図－8 に示す。計画及び評価の機能を有するシステム技術の統合・評価チーム（「FBR サイクル開発推進部」）と研究実施チームとで構成する。研究実施チームは、プラント概念の構築や解析業務を中心とするシステム技術開発チームと、実験や評価ツールの整備を主体とする実用化要素技術開発チームとで構成する。

1)システム技術の統合・評価チーム

FBR サイクル開発推進部における 20 ないし 30 名程度の要員で構成する。主たる役割は以下の通りである。

・全体工程管理
・FBR サイクルの実用化シナリオの検討
・システム技術開発チームが行うプラント概念構築・評価、安全論理、設計基準等の検討について、基本計画及び要求仕様を作成し、作業を依頼する。
・実用化要素技術開発チームが行う要素技術開発について、基本計画及び要求仕様を作成し、作業を依頼する。
・FBR サイクル全体のシステム・インテグレーション
・FBR サイクル候補の比較・評価基準の設定、評価の実施

2)システム技術開発チーム

70 名程度の要員で構成する。主たる役割は以下の通りである。

・抜本的な経済性向上を実現できる FBR プラント、燃料製造プラント及び再

処理プラントの概念の構築を、幅広い選択肢を対象に実施する。

・経済性向上を実現するための設計基準、安全論理の合理化等の検討
・FBR サイクル候補の比較・評価手段又は手法の整備、解析評価の実施
・第２期以降に必要となる重要な要素技術開発課題の摘出

3)実用化要素技術開発チーム

大洗工学センター、東海事業所及び敦賀本部のうち、下記役割を果たすために関係する部署を活用する。

・プラント概念構築に必要なデータ・情報の取得、評価手法の整備
・FBR サイクル開発推進部及びシステム技術開発チームへ、専門技術的知見の反映

4)他機関との連携

実用化戦略調査研究は、国内外の関係機関に広く門戸を開いて実施する。

実用化戦略調査研究の主要目的は、軽水炉サイクルと比肩する経済性を達成しうる FBR サイクル概念の構築であり、まず、FBR 実証炉の開発経験を持ち経済性に最も敏感でニーズの高い電気事業者との連携を深め、人員の派遣、費用分担、共同作業を含め、一致協力して研究開発を行うこととした。

基礎的研究については大学に委託する等して研究を進める。

今後電気事業者以外の機関とも協力の輪を広げていく予定である。

5)国際協力の進め方

FBR 及び関連する燃料サイクル分野においては、従来から欧州各国の関係機関と協力を進めてきたが、実用化戦略調査研究においても幅広く有望な技術をサーベイし取り入れていく観点から、より一層の緊密な関係を構築していく計画である。現在計画中の実用化戦略調査研究関連の国際協力の候補を図－9 に示す。

FBR 関連では、鉛冷却炉のプラント概念の成立性評価（ロシア）、重金属冷却炉に関する情報交換（米）、燃料被覆管の照射データ情報及び被覆管材料の購入(英)等を計画している。

再処理関連では、簡素化 PUREX プロセス開発における主要除染対象元素に関する海外再処理データの収集（仏、英）、PUREX 補完技術開発における晶析法に関するプルトニウム試験（英）、乾式再処理のプロセス改良試験（ロシア）、TRU 及び長半減期核種回収技術に関する情報収集（仏）等を計画している。

燃料製造関連では、振動充填燃料の工学規模の製造実績に関する技術情報の購入（英）、高除染振動充填燃料照射試験(ロシア)、振動充填燃料の製造技術情報収集（ロシア）等を計画している。

(4)資金計画

2年間で総額約50億円の資金を予定している。

(5)利用する施設･設備

FBR システム技術開発におけるプラント技術評価では、「もんじゅ」の設計、建設、試運転経験を、プラント運転コスト、点検・保守コスト、電気・計装系のコスト等の運転コスト面での調査研究に反映する。

再処理要素技術開発における簡素化 PUREX 法の開発では、東海事業所の A、B 棟を使用して、PUREX プロセスの開発と TRU 回収のための基礎試験を行う。乾式再処理電気化学法の開発では、同 A 棟、第1応用試験棟（EDF-1）、第2応用試験棟（EDF-2）及び実規模開発試験室（EDF-3）を使用して、基礎プロセス試験、材料開発試験、機器開発試験及び遠隔技術評価を実施する。また、東海事業所高レベル放射性物質研究施設（CPF）では、溶融塩電解法によるプルトニウム試験の準備を進める。

燃料製造要素技術開発における振動充填燃料製造技術の開発では、東海事業所のプルトニウム燃料第1開発室を使用して製造及び燃料物性の測定を行い、また TRU（ネプツニウム）燃料製造を行う。TRU（アメリシウム）燃料の製造は大洗工学センターの照射燃料試験施設（AGF）で行う。燃料ペレット製造技術の改良簡素化は東海事業所プルトニウム燃料第1開発室及びプルトニウム転換技術開発施設で行う。

(6) その後の計画について

第2期では、第1期で選択された有望な実用化候補技術について、候補概念の成立性を確認するための工学的な試験を行い、およそ5年間でサイクル全体としての整合性、最適化及び実用化を念頭に設計研究として集約し総合的な評価を行う。同時にこれらの研究開発作業を通して、競争力のある技術にとって必須の技術課題の絞り込みを行い実用化までの研究開発シナリオをレビューする計画である。

第2期の計画は第1期の成果のチェックアンドレビューを受けた後確定されるが、研究開発の3つの階層は基本的に引き継がれると考えられる。

システム技術開発では、幅広い技術選択肢に関する検討から、有望な候補技術に絞ってプラントの概念設計レベルまで検討を進め、経済性評価の精度を高める。実用化要素技術開発では、実用化候補となる技術の成立性を試験を通して確認し、さらなる経済性向上に役立つ技術を追求する。システム技術の統合・評価では、実用化FBRサイクル候補技術のサイクルとしての第2ラウンドの最適化を進め、2、3の実用化推奨技術に絞り込むものとする。第2期の計画を図－10に示す。

なお、この後は、絞り込まれた必須の技術課題について試験及び解析を経て実用化のための技術を整備することにより、FBRサイクルの実用化像の見通しを明かにする段階、さらに、実用化プラント像と必須技術について要素実験とシミュレーション技術等を用いた解析的検討を組合せた研究開発を経て技術の確証を行うとともに、FBRサイクル技術の体系化と技術根拠の整備を図る段階を踏んで、FBRサイクル技術の民間への技術移転を行う。

5. 期待される成果及び反映

業務構成の項目毎に目標に向かって成果を集約し、項目間の相互関係を考慮しながら作業を進める。作業項目毎の主要成果をその統合プロセスとともに図－11に示す。

「実用化要素技術開発」におけるFBR、再処理及び燃料製造の各分野の成果は「システム技術開発」のそれぞれ対応する分野に反映される。ここまでの主要成果は、FBRプラント、再処理プラント及び燃料製造プラントの実用化候補技術の内容、特長、オプションの比較評価及び開発課題の提示である。これらの成果は研究開発業務構成の小項目レベルでとりまとめる。

具体的には、FBRプラントについて、ナトリウム冷却炉、鉛冷却炉、ガス冷却炉、水冷却炉、モジュール型炉等で採用された革新的技術と実用化候補となるプラントの姿を示す。燃料として、MOX、金属及び窒化物についてプラントとの適合性を踏まえて組合せる。再処理については、酸化物燃料の簡素化した湿式PUREX工程、酸化物燃料の乾式再処理工程、金属燃料の乾式再処理工程等で採用された革新的技術と実用化候補となるプラントの姿を示す。燃料製造については、簡素化したペレット製造工程、振動充填燃料製造工程、スフェアパック燃料製造工程、金属燃料製造工程で採用された革新的技術と実用化候補となるプラントの姿を示す。

FBRサイクルとしては、MAをプルトニウムとともに燃焼させるTRU燃焼、LLFPのFBR炉心での消滅、サイクルから出される廃棄物の低減化や再利用等につ

いて検討して、放射性廃棄物の発生量を効率的に抑制または低減する方法を示す。

これらの成果は「システム技術統合・評価」において、燃料・炉心を軸としてサイクルとしての技術の整合性及び最適化の観点から各種の評価指標について検討し、FBR サイクル全体としての経済性を評価し、実用化シナリオへの適合性を図り、目標とする FBR サイクル実用化の開発戦略のベースに据える FBR サイクル実用化システムの候補概念を研究開発課題とともに複数例提案する。

実用化戦略調査研究第 1 期における期待される成果及び反映は下記のようにまとめられる。

(1)幅広い技術選択肢を検討し、革新的技術を含めて技術の幅を広げることにより魅力のあるプラント概念が成立する可能性が増す。この広げた技術を、その成立性、将来性、経済性等をベースにして絞り込んでいくことにより、実用化が期待できる候補概念が選択される。

(2)実用化候補概念の研究開発課題が特定され、研究開発費用の比較評価も可能となるため、研究開発費を含めた実用化の見通しの判断を総合的に下すことが可能となる。

また、技術的選択肢を探索する範囲を国際的に広げるとともに、技術開発に当っては、革新的技術のアイデア募集を行うなど競争原理を働かせ、ユーザーニーズを踏まえた研究開発を行う。こうしたことにより研究開発の効率をより一層向上させることが可能となる。

(3)第 1 期で実用化候補概念を明確にすることにより、取得が必要な実験データ、試験データ、解析評価を加えるべき機器・システムの対象を絞ることができ、次の段階における研究開発の基盤整備の目標が明確になる。したがって、第 1 期の成果に基づき、FBR サイクルの研究開発の戦略的展開をより明確なものとすることができ、「常陽」、「もんじゅ」、東海事業所の施設等サイクル機構の研究開発資源並びに海外の機関の活用のあるべき姿がより鮮明になることが期待される。

(4)FBR サイクル技術の選択について、関係者間のみならず外部評価に耐えるだけの知見が整理できる。また、有識者による技術評価を受けることによって、社会の要請を的確に反映した開発を実施できる。

(5)第 2 期の成果と合わせて、21 世紀における原子力エネルギーの開発、利用のシナリオが明らかになり、資源の有効利用、TRU 燃焼及び長半減期 FP 消滅の具体的方策が提案される。また、FBR サイクル技術は原子力工学の一翼を担う総合工

学であり、極限材料技術、数値計算技術、分離化学工学等への波及が期待できる。

6. 成果に対する情報公開の考え方

実用化戦略調査研究の成果は、日本及び世界の将来のエネルギー源の選択に係るものであるから、得られた成果について国内外の有識者の公正な評価を受けることが必要と認識している。また、成果は研究報告書として取りまとめ、サイクル機構の情報公開指針に基づき公開する。その際、技術開発の目標や成果、安全確保の考え方について、専門家だけでなく国民一般に分かり易い形で情報を提供するとともに、疑問に答え、謙虚な姿勢で臨むものとする。

7. その他特記すべき事項

(1)第２期の実用化戦略調査研究

第１期の終了後には、研究開発の成果及びその後の第２期（約５年間を予定している）の計画について研究開発課題評価委員会の評価を受け、必要な見直しを行って、研究開発を進める。

(2)技術評価

実用化戦略調査研究は広く国内外の関係機関に門戸を開いて実施するものであるが、技術的コンセンサスを得ながら進めていくことが重要であり、技術的成果について、研究開発課題評価委員会での評価のほか、実施に携わる機関以外の有識者も含めた評価を適宜受けながら進めていくものとする。

高速増殖炉サイクルの
実用化戦略調査研究

【添付図表】

図表一覧表

表－1　実用化戦略調査研究の主要実施内容（第1期）…… 添－2

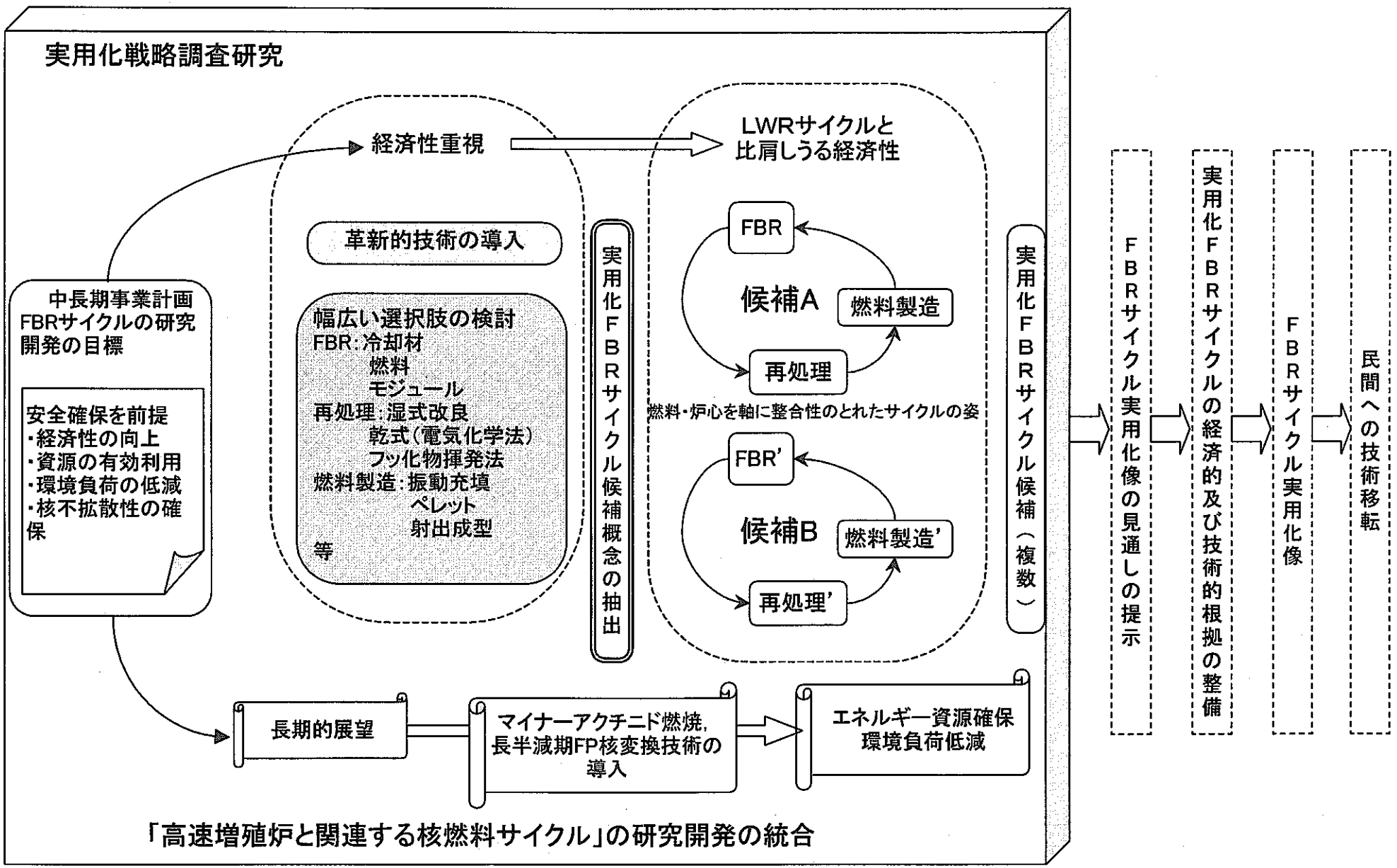
図－1　実用化戦略調査研究の目的と着眼点…… 添－4
図－2　高速増殖炉プラントの達成目標と調査研究の要点…… 添－5
図－3　再処理プラントの達成目標と調査研究の要点…… 添－6
図－4　燃料製造プラントの達成目標と調査研究の要点…… 添－7
図－5　実用化戦略調査研究第1期の計画…… 添－8
図－6　実用化戦略調査研究の研究開発業務構成（第1期）…… 添－9
図－7　実用化戦略調査研究実施工程（第1期）…… 添－10
図－8　実用化戦略調査研究の推進体制…… 添－11
図－9　実用化戦略調査研究における国際協力の候補…… 添－12
図－10　実用化戦略調査研究第2期の計画…… 添－13
図－11　実用化戦略調査研究第1期における業務成果の統合プロセス…… 添－14

表1　実用化戦略調査研究の主要実施内容（第1期）

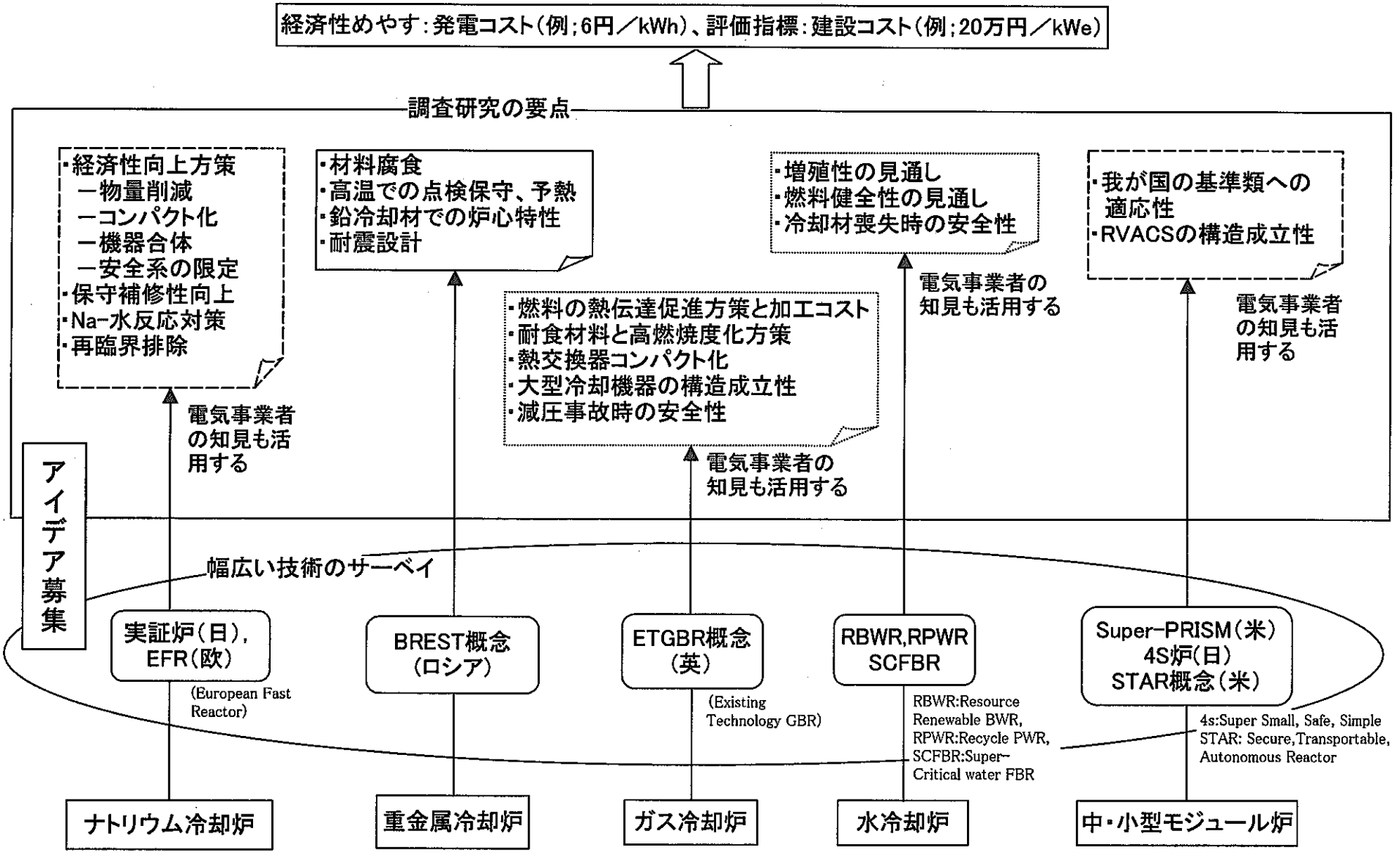
実用化戦略調査研究項目		実施内容
大項目	中項目	
Ⅰ システム技術開発	Ⅰ-1 FBRシステム技術開発	・軽水炉に比肩する建設費を達成するプラントの開発をめざし、ナトリウム冷却炉、重金属冷却炉、ガス冷却炉、水・蒸気冷却炉、中小型モジュール炉等の概念検討を行い、抜本的プラントコストの低減化を図る。 ・炉心概念の検討、燃料形態の影響評価、免震構造概念の検討、冷却材の多様性に対応した構造設計技術、安全評価技術等の検討を行い実用化候補技術の明確化を図る。
	Ⅰ-2 再処理システム技術開発	・軽水炉サイクルコストと同程度の経済的競争力を有する再処理プラントの開発をめざし、また簡素化PUREXシステムによる燃料・再処理一体化プラント構想について概念検討を行う。 ・酸化物燃料を対象とする乾式再処理法（RIAR法、ANL法及びフッ化物揮発法）について、概念検討を行う。
	Ⅰ-3 燃料製造システム技術開発	・軽水炉サイクルコストと同程度の経済的競争力を有する燃料製造プラントの開発をめざし、酸化物燃料ペレットの製造簡素化工程、酸化物燃料振動充填法の製造工程、金属燃料射出成形法の製造工程について概念検討を行う。
	Ⅰ-4 FBRサイクルの最適化	・FBRサイクル導入条件の調査、エネルギー需給の将来動向の調査、代替エネルギーの開発・普及動向の調査等を行い、FBRサイクルの実用化シナリオの検討に反映する。 ・経済性、環境負荷低減、資源の有効利用、核不拡散に係る目標達成度を評価するための指標を開発する。 ・燃料・炉心を軸にして一つのシステムとして要素間の適切な組合せの下に技術のトレードオフ、整合性を検討し、サイクル全体として最適化を図る。
	Ⅰ-5 情報管理システムの開発	・FBRサイクルの技術情報を効率的にデータベース化するとともに、研究開発を支援する統合化情報管理支援システムを開発する。

表1　実用化戦略調査研究の主要実施内容（第1期）

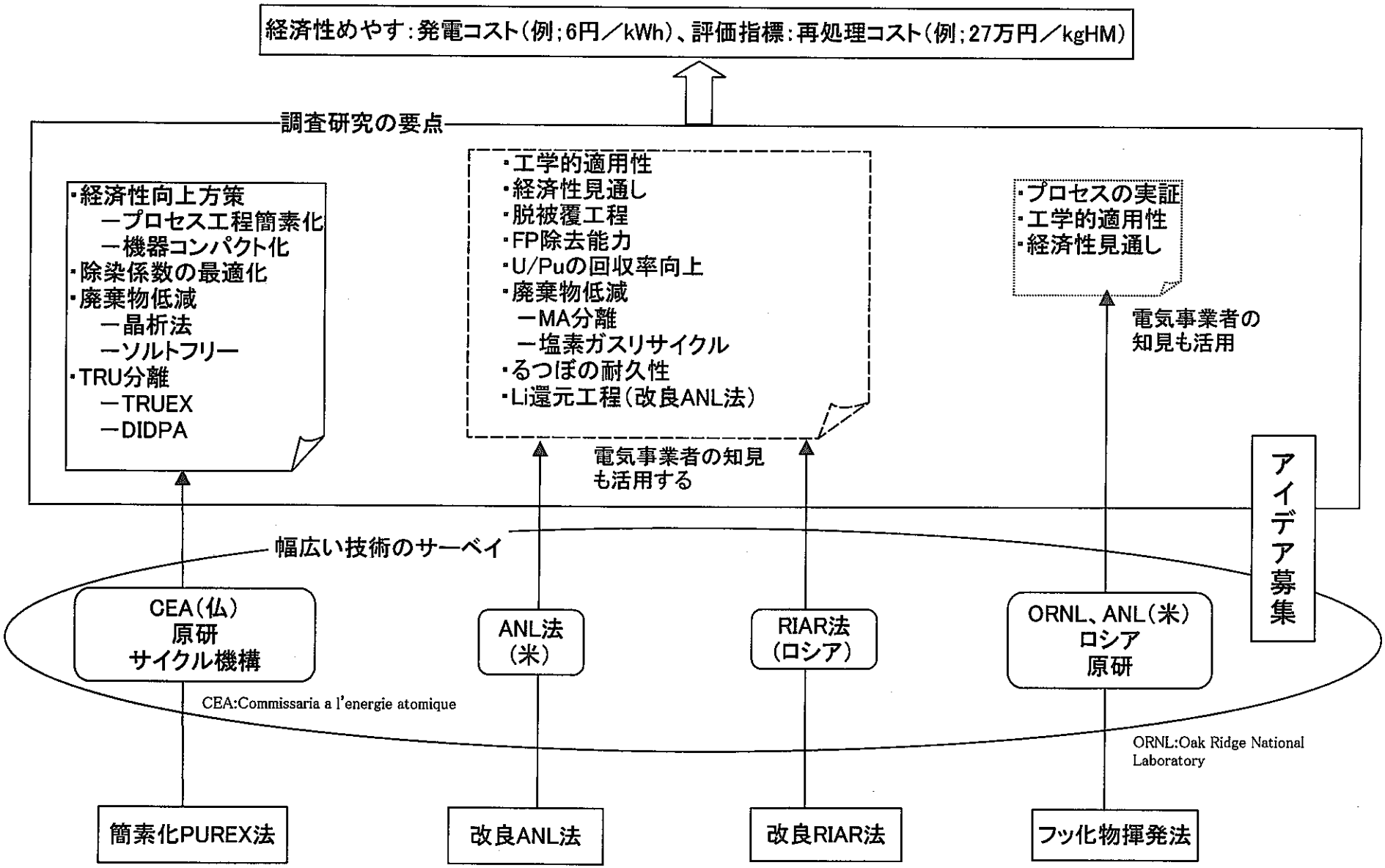
実用化戦略調査研究項目		実施内容
大項目	中項目	
Ⅱ 実用化要素技術開発	Ⅱ-1 FBR要素技術開発	・ODS鋼の製造コスト低減に関する技術評価、海外燃料被覆管材の調査等、高性能燃料被覆管の技術評価を行う。
	Ⅱ-2 再処理要素技術開発	・単一抽出サイクルによる簡素化PUREXプロセスの開発、プルトニウム・ウラン・ネプツニウムの混合抽出技術及び晶析技術の開発を行う。 ・乾式再処理（電気化学法）特有のプロセス技術、機器設計技術等の開発を行う。 ・TRU回収技術及び長半減期FPの回収技術の開発を行う。
	Ⅱ-3 燃料製造要素技術開発	・ペレット製造技術の工程簡素化を図るとともに、振動充填法の成立に必要な要素技術の評価、金属燃料製造のための射出成形技術の製造工程の概念検討を行う。
Ⅲ システム技術統合・評価	Ⅲ-1 研究開発の企画・調整	・研究開発計画の見直しを含めた企画・立案、工程の管理・調整を行う。 ・エネルギー市場の動向、代替エネルギーの開発動向等のFBRをめぐる境界条件に配慮したFBRサイクルの実用化シナリオの検討を行い、FBRサイクルが順調に導入される実用化シナリオを明確にする
	Ⅲ-2 FBRサイクル統合・評価	・FBRサイクル実用化の開発計画を検討、策定し、実用化シナリオとの統合化を図る。 ・実用化候補として検討されるFBRサイクルについて総合的な目標達成度の評価を行い実用化候補サイクル概念を抽出する。



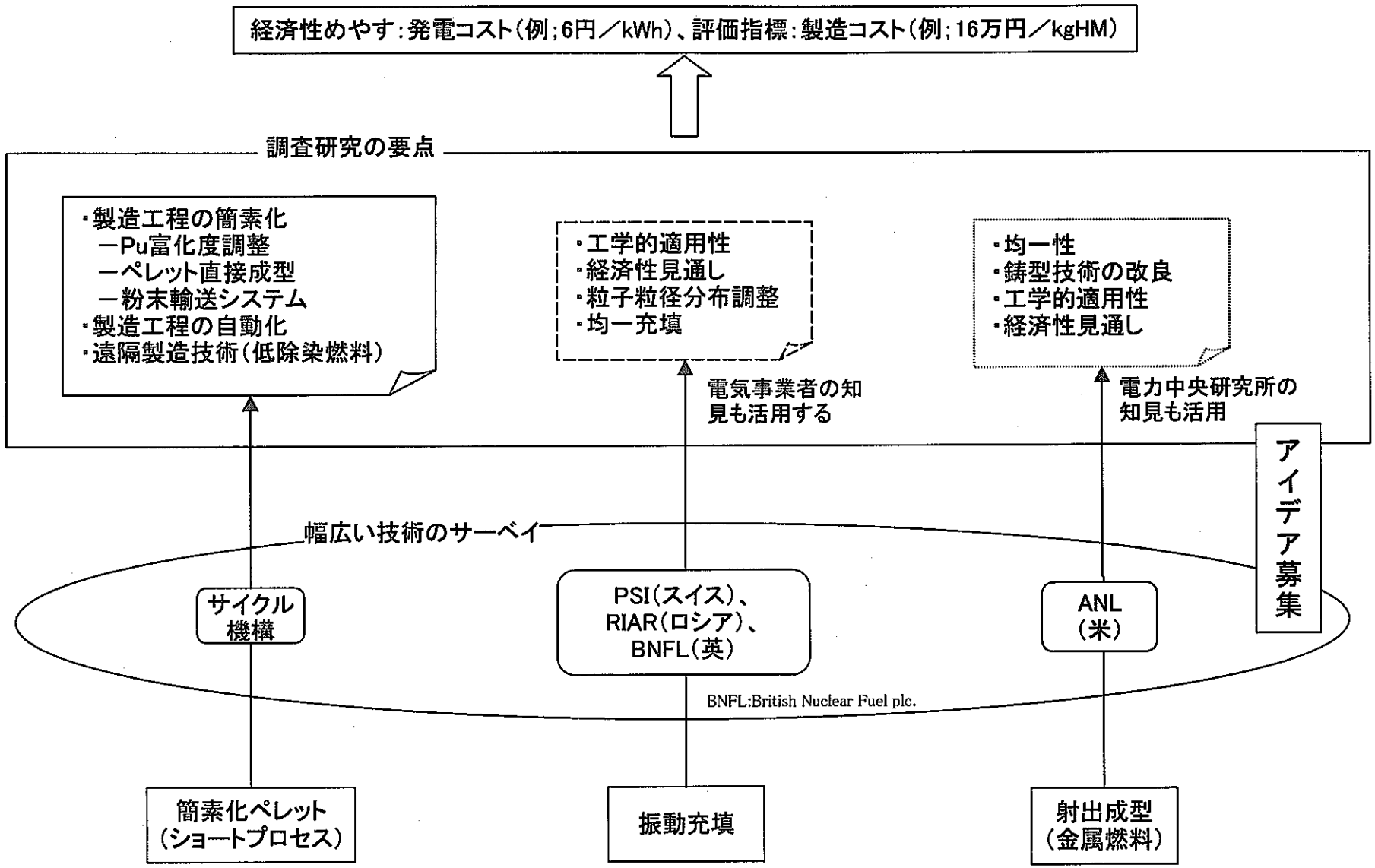
図－1　実用化戦略調査研究の目的と着眼点



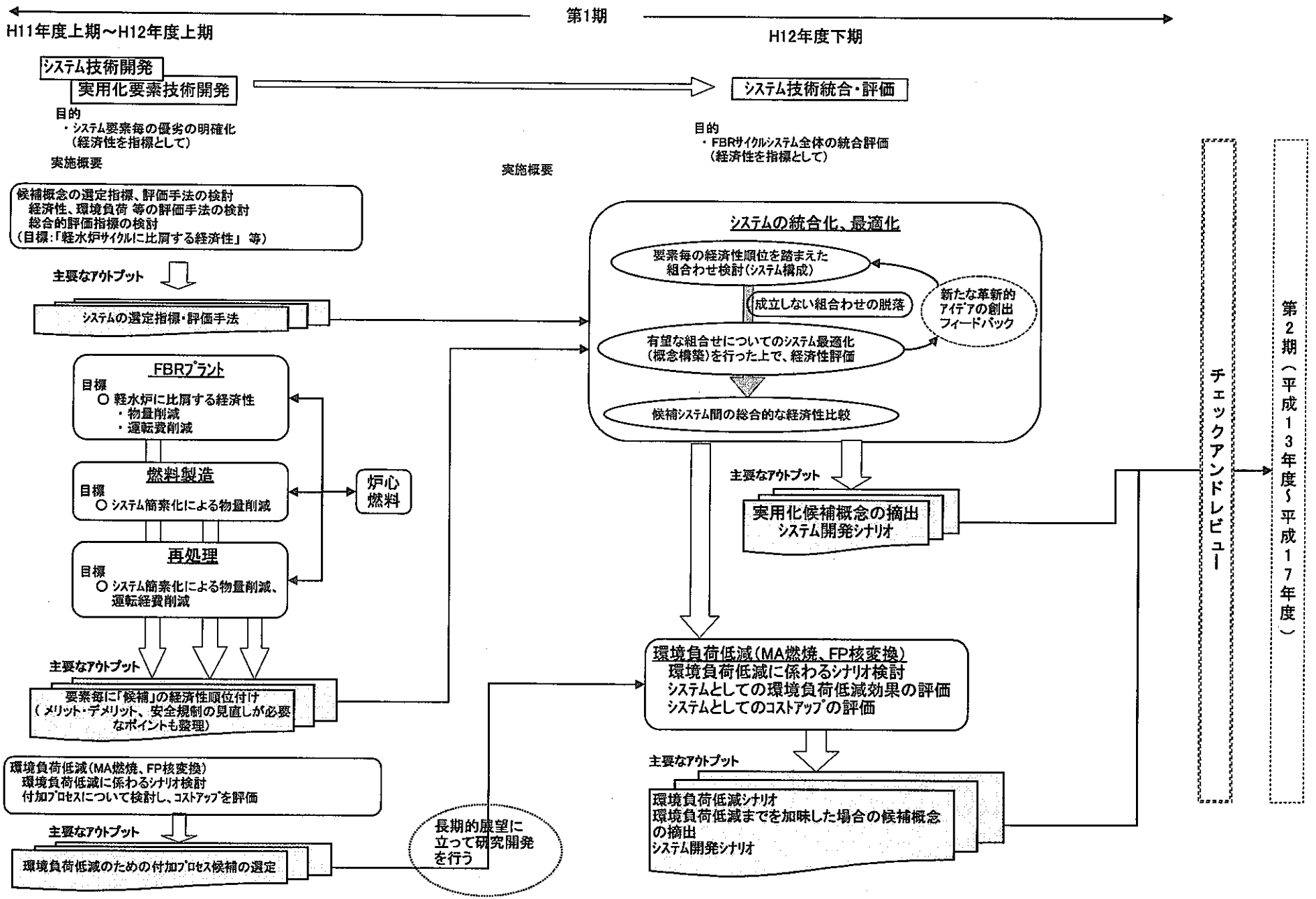
図－2　高速増殖炉プラントの達成目標と調査研究の要点



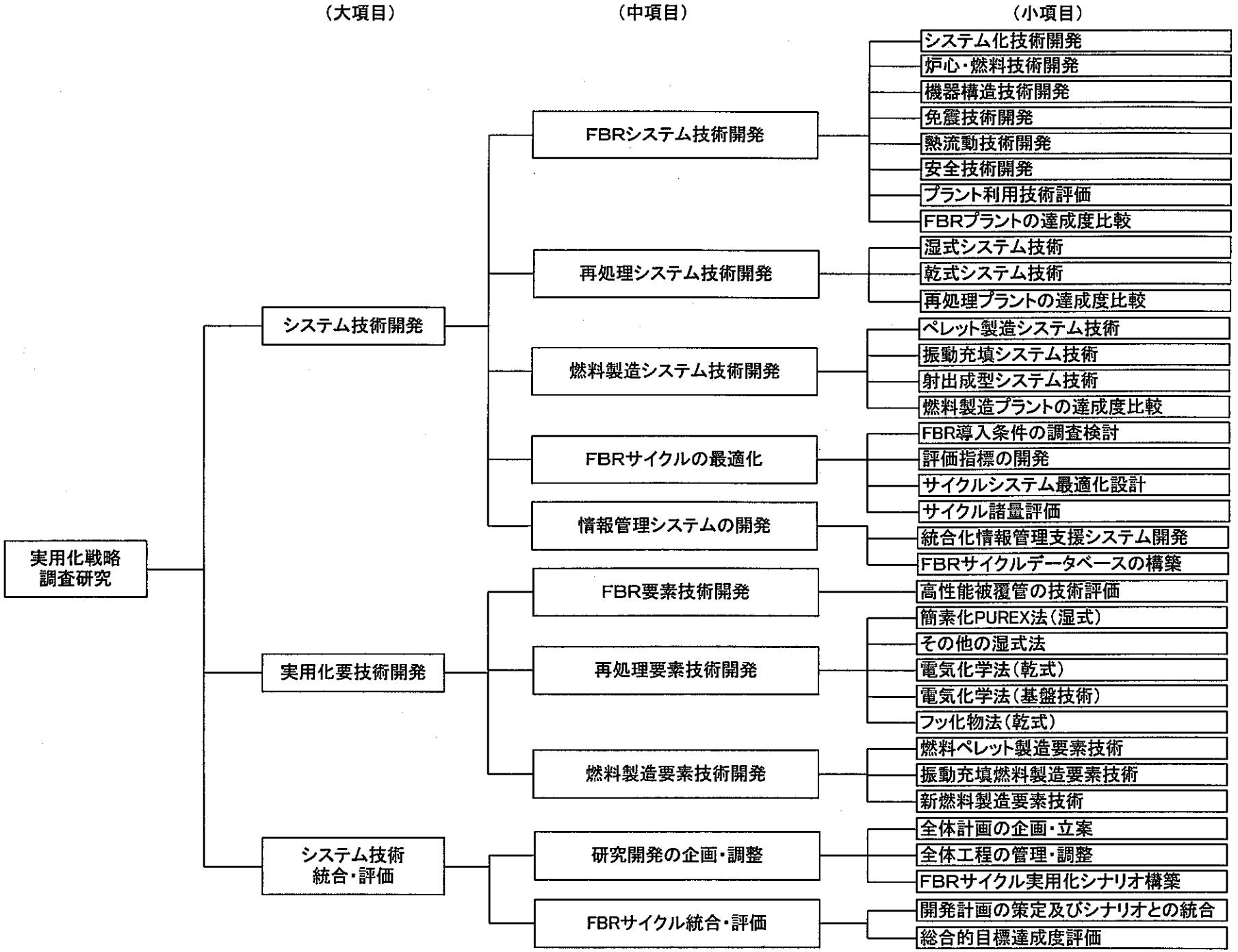
図－3　再処理プラントの達成目標と調査研究の要点



図－4　燃料製造プラントの達成目標と調査研究の要点



図－5 実用化戦略調査研究第1フェーズの計画



図－6　実用化戦略調査研究の研究開発業務構成（第1期）

分野・項目			平成11年度												平成12年度											
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
Ⅰ システム技術開発	1 FBRシステム技術開発	A システム化技術開発			[Na冷却炉, Pb冷却炉, ガス冷却炉, 中小型炉, 水・蒸気冷却炉等]																						
		B 炉心・燃料技術開発			[燃料形態の評価, 多様な炉心概念評価]																						
		C 機器構造技術開発			[各種冷却材に対する構造設計技術, 長寿命プラント設計技術]																						
		D 免震技術開発			[機器上下免震]																						
		E 熱流動技術開発			[多様な冷却系システム, 局限化プラントの動特性]																						
		F 安全技術開発			[安全系の局限化, 炉心安全性, 安全設計方針]																						
		G プラント利用技術評価			[運転コスト低減化, 点検保守コスト低減化等]																						
		H FBRプラントの達成度評価			[建設費、操業費等の比較・評価]																						
	2 再処理システム技術開発	A 湿式システム技術			[簡素化PUREX, 燃料/再処理一体化プラント等]																						
		B 乾式システム技術			[酸化物高温電解法, 溶融塩電解法, フッ化物揮発法, 金属燃料リサイクル等]																						
		C 再処理プラントの達成度比較			[建設費、操業費等の比較・評価]																						
	3 燃料製造システム技術開発	A ペレット製造システム技術			[簡素化製造工程, TRU燃料製造評価]																						
		B 振動充填システム技術			[振動充填法, TRU燃料製造評価]																						
		C 射出成形システム技術			[射出成形法の評価]																						
		D 燃料製造プラントの達成度比較			[建設費、操業費等の比較・評価]																						
	4 FBRサイクルの最適化	A FBR導入条件の調査検討			[導入環境の境界条件、競合性確保の条件]																						
		B 評価指標の開発			[各種目標評価指標, 総合評価指標]																						
		C サイクルシステム最適化設計																									
		D サイクル諸量評価			[サイクル諸量]																						
	5 情報管理システムの開発	A 統合化情報管理支援システム開発			[統合化情報管理システム]																						
		B FBRサイクルデータベースの構築			[サイクルデータベース]																						
Ⅱ 実用化要素技術開発	1 FBR要素技術開発	A 高性能被覆管の技術評価			[ODS鋼被覆管製造コスト低減化, 海外被覆管調査]																						
	2 再処理要素技術開発	A 簡素化PUREX法(湿式)			[簡素化PUREXプロセス, PUREX補完技術, TRU回収技術, 長半減期FP回収技術]																						
		B その他の湿式法			[イオン交換法, 沈殿法等]																						
		C 電気化学法(乾式)			[プロセスデータ, Pu試験, 核種分析技術, 計量管理技術等]																						
		D 電気化学法(基盤技術)			[機器開発, 材料開発, 分析技術, 遠隔操作技術]																						
		E フッ化物法(乾式)			[フッ化物揮発法の調査]																						
	3 燃料製造要素技術開発	A 燃料ペレット製造要素技術			[酸化物燃料ペレット製造技術]																						
		B 振動充填燃料製造要素技術			[製造技術, PSI共同研究, BNFL技術調査]																						
		C 新燃料製造要素技術			[射出成形法による製造技術調査, 窒素同位体濃縮技術評価]																						
Ⅲ 統合・評価 システム技術	1 企画・調整	A 全体計画の企画・立案	策定		[基本計画]			見直						見直						見直							
		B 全体工程の管理・調整																									
		C FBRサイクル実用化シナリオ構築			[サクセスシナリオ]																						
	2 FBRサイクル統合・評価	A 開発計画の策定及びシナリオとの統合																									
		B 総合的目標達成度評価																									

FBRプラントの実用化候補

再処理技術の実用化候補

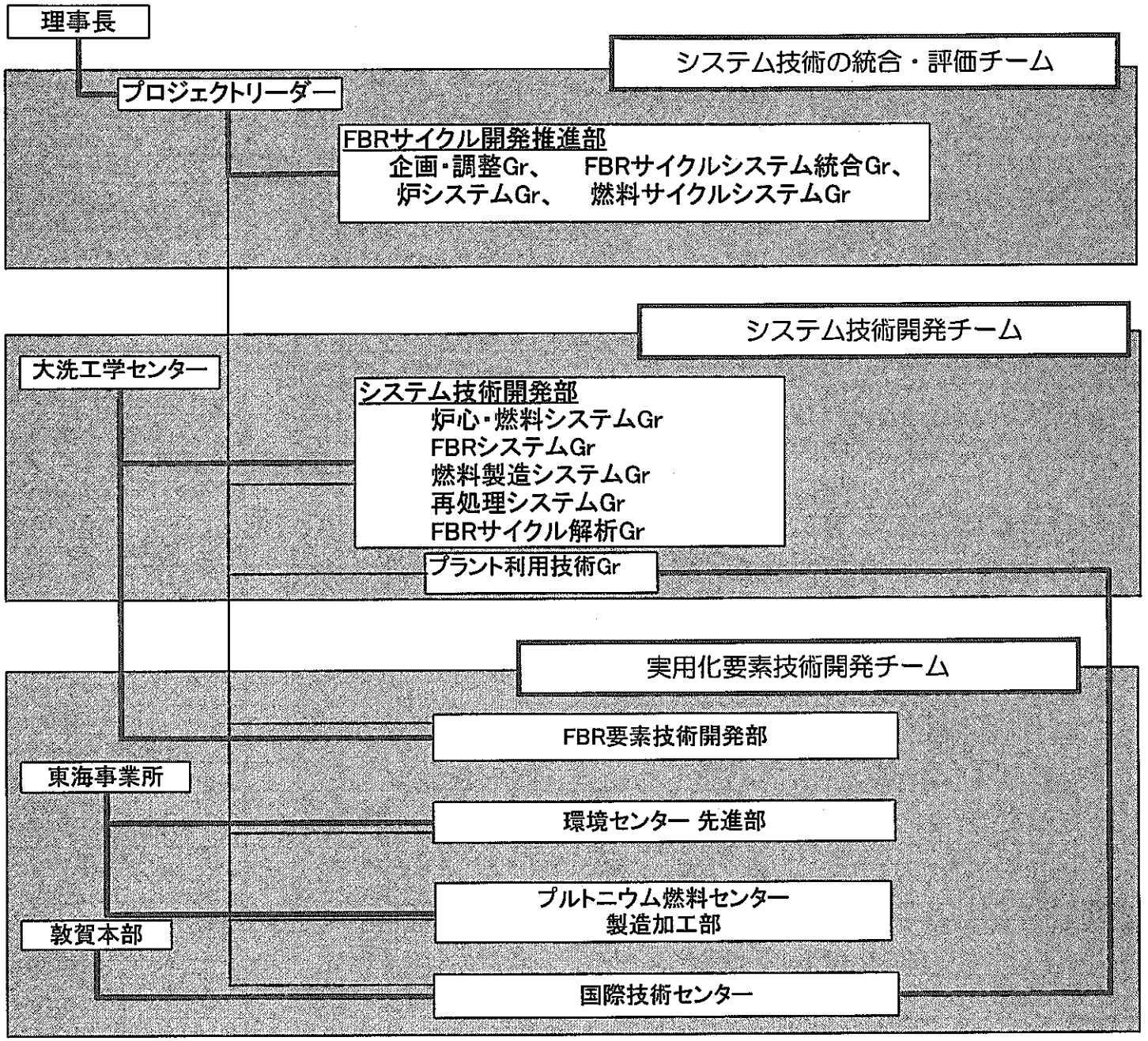
燃料製造技術の実用化候補

サイクル候補

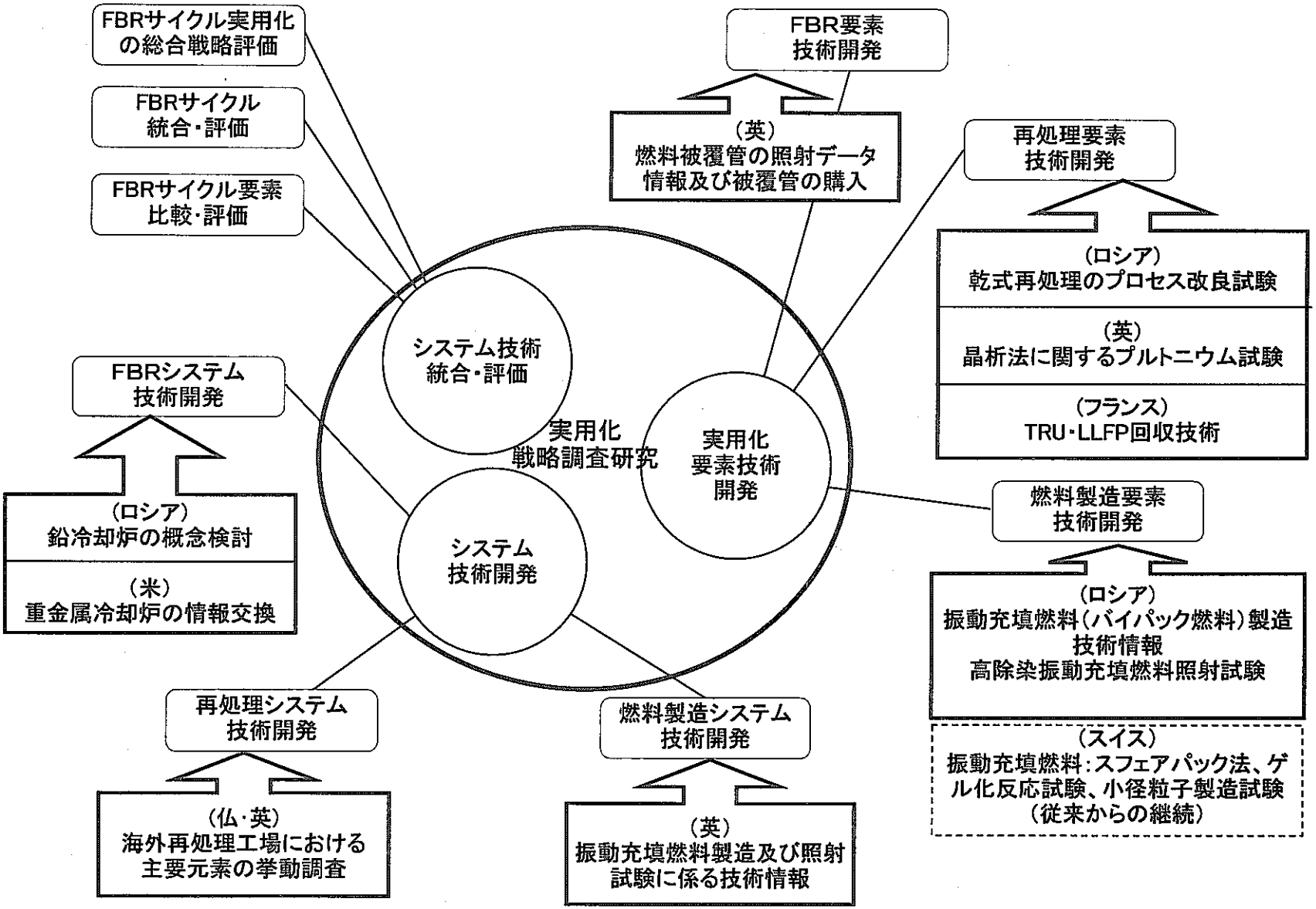
[サイクル要素組み合わせ最適化]

実用化候補概念抽出

図-7 実用化戦略調査研究実施工程(第1期)



図－8 実用化戦略調査研究の推進体制



図－9 実用化戦略調査研究(第1期)における国際協力の候補

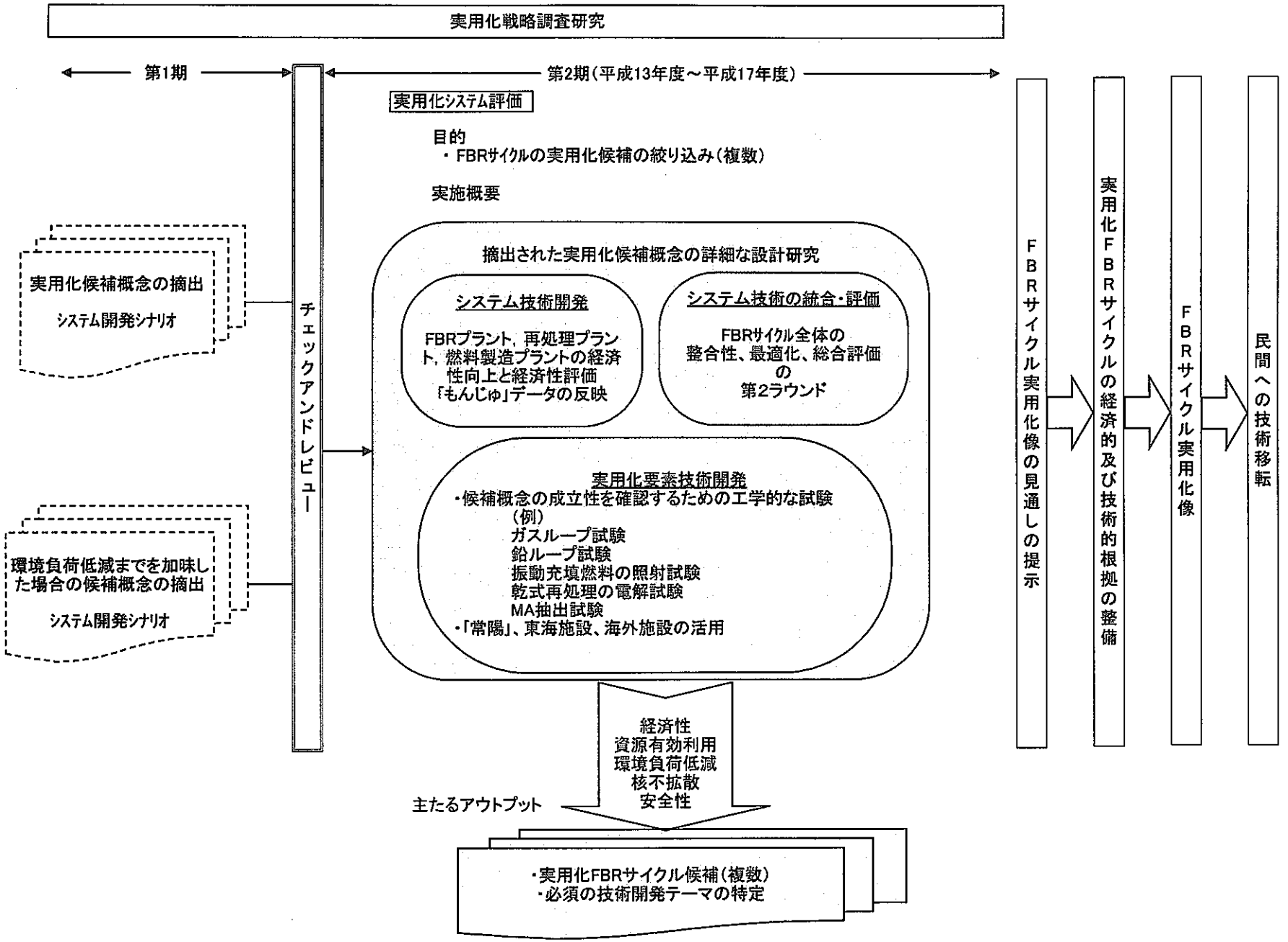


図-10 実用化戦略調査研究第2期の計画

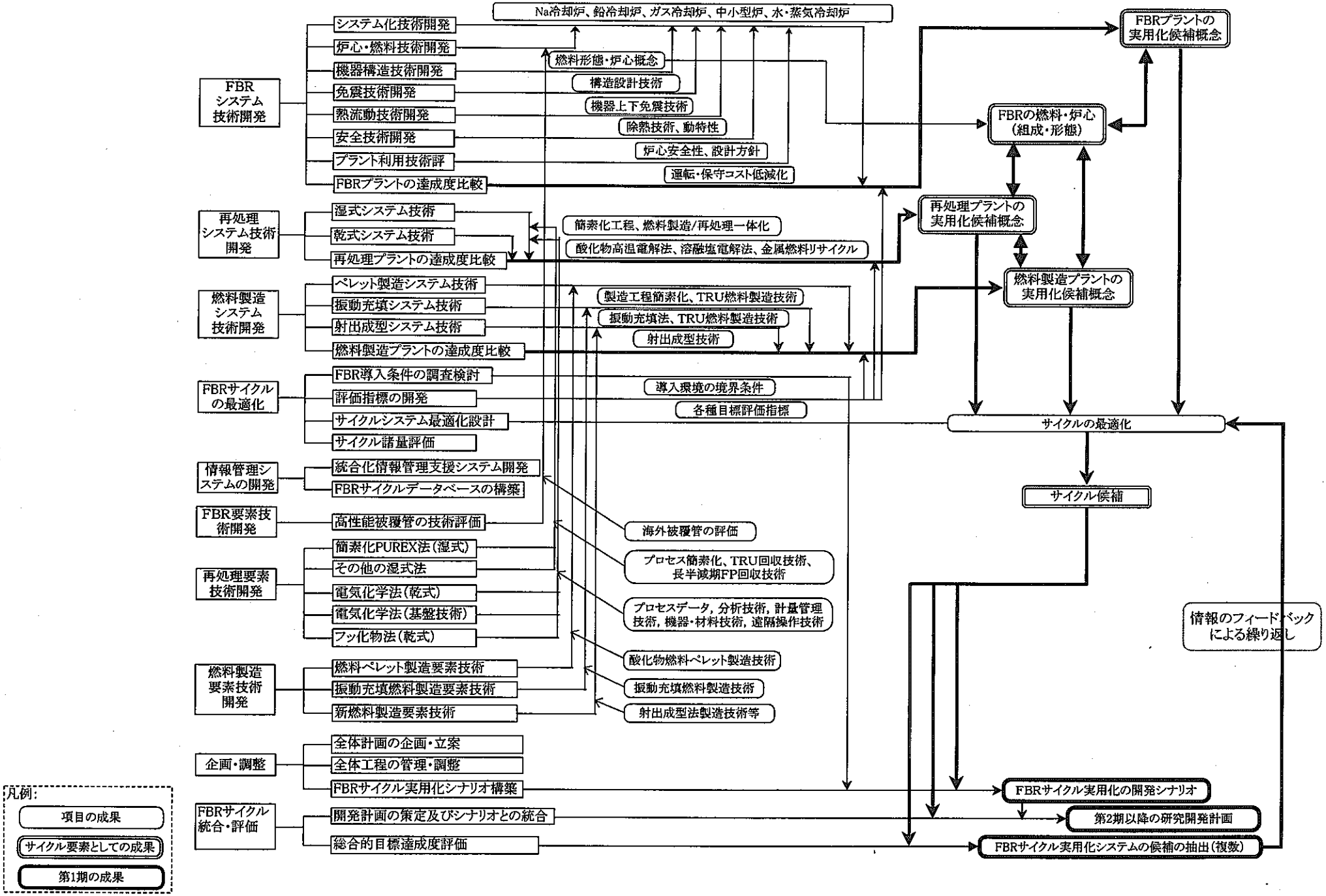


図-11 実用化戦略調査研究第1期における業務成果の統合プロセス

高速増殖炉サイクルの
実用化戦略調査研究

【用語の説明】

FBR サイクル（1 頁初出）

FBR とその関連する核燃料サイクルのことを言う。

FBR（Fast Breeder Reactor）：高速増殖炉

使用した燃料よりもさらに多くの燃料を生み出す（増殖）原子炉。わが国には、実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」があり、実証炉の計画もある。ウラン 238 が中性子を吸収するとプルトニウムに転換することを利用した原子炉で、高速中性子でその転換率が高いので、水のような中性子の減速効果のあるものを原子炉冷却材として用いずに、ナトリウムなどを原子炉冷却材として用いる原子炉。燃料としてはプルトニウムとウランの混合体（MOX 燃料）を用いる。プルトニウムの転換率を高めるため、炉心からもれて出る中性子をウラン 238 に吸収させるブランケット（外套部）を設けている。

軽水炉では天然ウランの 1%程度を有効に利用できるに過ぎないが、核燃料サイクルの中で高速増殖炉を有効に用いることにより、この利用できる割合は 70% 以上に高まりウラン資源を十分に利用することができる。

核燃料サイクル（Nuclear Fuel Cycle）

天然に存在するウラン資源が採掘、精錬、転換、濃縮、加工されて核燃料として原子炉で使用され、さらに原子炉から取り出されたあと再処理、再加工され再び原子炉で使用され、残りが廃棄物として処理処分されるまでの一連の循環（サイクル、最近ではサイクルをリサイクルと呼ぶことも多い。）をいう。一般に、核燃料物質の探査、採掘から始まり、採掘されたウラン鉱石からのウランの抽出、精錬、フッ化物への転換、ウラン同位体の濃縮、原子炉燃料への成型加工、原子炉装荷（燃料の燃焼）、使用済燃料の再処理（プルトニウム、ウランの回収）、放射性廃棄物の処理、処分などの過程をたどる。

FBR サイクルにおいては、原子炉の中でできたプルトニウムは一度原子炉の外に取り出され、不用の核分裂生成物などを分離した後、新しい燃料に加工される。燃料として天然ウランとプルトニウムの混合酸化物燃料を用いるのでウラン濃縮過程を必要としない。しかも、ウラン濃縮過程から発生する劣化ウランを天然ウランに代わって用いることができる。FBR が実用化されても始めのうちは、それに供給する燃料用のプルトニウムを FBR 自体から得るのは量的に不足であり、軽水炉からのプルトニウムの供給が必要である。FBR での燃焼によって生成されたプルトニウムを回収して利用することが前提とされるので、リサイクル型である。

MOX（2 頁）

混合酸化物（Mixed Oxide）燃料の略である。ウラン酸化物とプルトニウム酸化物を混合して作った燃料である。新型転換炉「ふげん」、高速実験炉「常陽」、高速増殖原型炉「もんじゅ」で使用されている。軽水炉での使用も開始されようとしている。

ペレット燃料（2 頁）

ペレット(Pellet)は一般には、球状または円柱状の物体を指す。FBR では MOX 粉末を成型し焼結してセラミックス質にした円柱状の燃料ペレットをいう。ペレットを積み重ねて燃料被覆管に挿入し燃料棒（ピン）とする。

PUREX 法再処理（2 頁）

Plutonium Uranium Reduction EXtraction。使用済核燃料の再処理工程で用いられる溶媒抽出法のひとつで、現在一般的に実用化されている方法である。有機溶媒はリン酸トリブチルをドデカンで希釈したものを用いる。使用済み燃料の硝酸溶解液を、パルスカラム、ミキサセトラ、遠心抽出器などの溶媒抽出装置を用いて有機溶媒と接触することにより、まずウランとプルトニウムだけを有機相に抽出させ、核分裂生成物を水相に残す。次にこの有機相を硝酸ヒドロキシルアミンなどの還元剤を含む水相と接触することにより、プルトニウムだけを水相に逆抽出させ、ウランと分離する。

超ウラン元素（TRU）（4 頁）

TRansUranium。原子番号が 92（ウラン）を超える元素をいい、アクチニド元素に属する。いずれも人工の放射性核種であり、現在までに、ネプツニウム（Np、93）、プルトニウム（Pu、94）、アメリシウム（Am、95）、キュリウム（Cm、96）、バークリウム（Bk、97）、カリホルニウム（Cf、98）、アインスタイニウム（Es、99）、フェルミウム（Fm、100）、メンデレビウム（Md、101）、ノーベリウム（No、102）、ローレンシウム（Lr、103）、及び 105 番から 111 番元素まで存在が確認されている。超ウラン元素のほとんどがα崩壊してα線を放出する。

長半減期核分裂生成物（LLFP）（4 頁）

7 つの長半減期核種（5 頁）

Long-Lived Fission Product。核分裂によってできた核種、またはそのような核種から放射性の崩壊によってできた核種のうちで半減期の長いものをいう。主要なものは、よう素-129（半減期 1570 年）、パラジウム-107（半減期 650 万年）、セシウム-135（半減期 230 万年）、ジルコニウム-93（半減期 153 万年）、テクネチウム-99（半減期 21 万 1 千年）、すず-126（半減期 10 万年）、セレン-79（半減期 6 万 5 千年）の 7 核種である。LLFP の多くは燃料再処理工程で、高レベル放射性廃棄物の放射線と崩壊熱の発生の主要な原因となる。

ループ型（4 頁）

loop type。FBR の炉型は原子炉冷却材等の循環系から見てループ型とタンク型に大別される。ループ型 FBR は、原子炉容器内に炉心、反射体等のみを収容し、一次

循環ポンプや中間熱交換器を原子炉容器内に入れずそれらを配管で結合する構造である。ループ型は機器の独立性が高く、保守・補修時の接近性に優れているが、冷却系配管を収納する空間が必要であり物量が大きくなる傾向がある。他方タンク型FBRは、一次循環ポンプや中間熱交換器を原子炉容器内に収容するので機器配置のコンパクト化を図りやすいが、大きな原子炉容器を必要とするため、その耐震性確保が容易でない。

トップエントリ方式（5頁）

ループ型の一種である。実証炉の設計で採用された。ループ型の配管系を短縮し、原子炉建物の縮小によるコストダウンを図るため、原子炉容器、中間熱交換器、一次主冷却ポンプをそれぞれ逆U字型の配管で連結する方式。

RVACS（5頁）

Reactor Vessel Auxiliary Cooling System。原子炉容器補助冷却系。FBRの崩壊熱除去系の一種。原子炉容器外壁を大気の自然対流で冷却する方式であり、PRISMで採用されている。受動的システムである。

FP消滅（5頁）

核反応を利用して核分裂生成物(FP)を短寿命または非放射性の核種に変換することをいう。また、消滅処理とは、放射性毒性が強いあるいは放射性毒性が長期にわたる放射性核種に中性子等を照射し、核変換を行い、安定あるいは、半減期の短い核種に変えてしまうことで、核変換処理ともいう。

均質炉心（5頁）

FBRの炉心型式としては、均質炉心と非均質炉心とがある。均質炉心では炉心燃料がMOXのみで単純に構成され、通常炉心の周囲にウラン酸化物で作られたブランケット燃料が置かれる。炉心領域にブランケット燃料を混在させたのが非均質炉心である。「もんじゅ」は均質炉心である。非均質炉心は、増殖率の向上、地震時の制御棒の振動の影響抑制で効果があるとされている。

MA（マイナーアクチニド）（5頁）

Minor Actinide。周期律表において原子番号89のアクチニウムから103のローレンシウムに至る15の元素を総称してアクチニド元素という。原子番号90、91、92のトリウム、プロトアクチニウム、ウランは天然に存在するアクチニドである。93のネプツニウム以降は人工元素であり、例えば原子炉内で核燃料物質が中性子捕獲反応とβ壊変を繰り返すことによって生成する。したがって原子炉の使用済み燃料のなかには、原子番号94のプルトニウムとともに微量の他のアクチニドが含まれ

ている。一般に長寿命の放射能を持ち、α壊変を行うが、重い元素では自発核分裂も行う。アクチニドの用途としては原子力分野が多く、核的性質が利用されるので、元素としての特性よりは、個々の同位体の性質が重要視される。使用済燃料中でウラン、プルトニウムに比べ存在量の少ないアメリシウム(Am)，キュリウム(Cm)及びネプツニウム(Np)をマイナーアクチニドと称する。

ランタニド（5 頁）

周期律表において原子番号 57 のランタンから 71 のルテチウムまでの 15 の元素を総称してランタニド元素という。アクチニド元素及びランタニド元素は最外殻電子構造が近似しており、溶液化学的にも両者の性質にほとんど差異がないので相互分離は非常に難しい。高レベル廃液の核種分離プロセスでは、TRU 抽出の際に共抽出されるランタニド元素の分離が最重要課題の一つである。

TRUEX 法（6 頁）

Trans Uranium Extraction。中性の二座配位型有機リン化合物の CMPO（OΦD[iB]CMPO: Octyl[phenyl]-N,N-diisobutylCarbamoylMethyl Phosphin Oxide）と TBP（Tri-ｎ-Buthyl Phosphate）との混合溶媒を用いる、TRU 分離のための新しい溶媒抽出法。1980 年代にアルゴンヌ研究所で開発され、1990 年代に入り旧動燃で高レベル廃液の TRU 分離法としての研究を開始した。アメリカ、日本以外でもイタリア、インド、ロシア等で研究が実施されている。MA 核種に対する抽出能が強力で被抽出液中の硝酸を希釈する必要がなく、また共通の抽出剤（TBP）を使用するので、既往 PUREX 法との取り合いが極めて良い。また既往の抽出技術（抽出器、移送、計測制御等）も使えるなど、多くの利点がある。

ANL（6 頁）

Algonne National Laboratory。アルゴンヌ国立研究所。米国エネルギー省傘下の研究所。イリノイとアイダホに二つの研究所がある。基礎科学研究、科学研究施設の開発・運営、エネルギー資源開発及び環境管理の 4 つの分野で研究開発を行っている。従業員約 4500 人。

RIAR（6 頁）

Research Institute of Atomic Reactors。原子炉科学研究所。ロシア、デミトロフグラードにある国立研究所。原子炉材料科学、原子炉安全性、同位元素、核燃料サイクル等の分野で研究開発を行っている。

ショートプロセス法（6 頁）

酸化物燃料製造法として、旧動燃より開発している簡素化燃料製造法。転換工程で

のプルトニウムの富化度調整、高流動性の MOX 粉への転換を行うほか、ペレット工程では原料秤量、均一化混合及び造粒等を削除する。製品スペックアウトは乾式回収せず、転換工程で湿式回収を図る。これらの合理化により、従来工程に比べ大幅な工程数の削減が図られる。

振動充填燃料（6 頁）

粉体燃料（球状、非球状）を振動下で充填することにより燃料ピンに加工する方法。現行の機械混合法によるペレット燃料製造と比較してプロセスが簡略化でき、粒子の取り扱いも容易なことから、遠隔技術による製造工程の実現が期待される。また自動化が容易と見られることから低除染の燃料製造法としての展開も考えられる。粉体燃料の製造には、硝酸プルトニウム及び硝酸ウラニルの混液を出発液として、試薬中に液滴を滴下してゲル化反応により造粒し、洗浄及び乾燥工程を経て仮焼・還元後、焼結する湿式法、電析あるいは沈殿により製造した UO_2, PuO_2 を粉砕、分級する乾式法の二法がある。

PSI（6 頁）

Paul Scherrer Institute。スイスの国立研究所。素粒子物理学、生命科学、固体物理、材料科学、原子力及び非原子力のエネルギー研究、エネルギー関連のエコロジー等の研究開発を行っている。

MWd/t（7 頁）

mega-watt-day-per-ton メガワットディパートン。燃焼度の単位。単位 MOX 重量当たりに発生した熱出力の総量で表したもの。原子炉の運転において、炉心に装荷された核燃料が、原子炉から取り出されるまでに中性子との反応により消費された割合を示すことにもなる。

先進リサイクル研究（10 頁）

従来の「核燃料サイクル」に比べて、安全性、信頼性、経済性等をより一層向上させ、さらに環境への負荷低減性や核不拡散性などの新しい視点からの要求をも満足させることのできる技術体系を「先進的核燃料リサイクル」と定義する。その実現に向け、サイクル機構を含めた複数の研究機関で検討が進められている。サイクル分野での主な課題は以下のとおりである。

・MOX に代わる新しい燃料（金属、窒化物燃料）の開発
・湿式 PUREX 法に代替する再処理法の開発
・MOX 燃料製造技術及び PUREX 法の簡素化

環境負荷低減のための技術開発としては、新溶媒抽出法による TRU 分離、TRU 燃料製造及び MA の FBR による消滅技術がある。

BREST シリーズ（11 頁）

ロシアが研究している鉛冷却炉の名称。電気出力 30 万 kW の BREST－300 と電気出力 120 万 kW の BREST－1200 の研究がなされている。沸点が高く、化学的に不活性な鉛を冷却材として使用し、密度が大きく熱伝導性が良い窒化物燃料を組合せることにより、軽水炉と競合できる経済性、わかりやすい安全性、高い核不拡散性、放射性廃棄物が少ない、という特長を兼ね備えたプラント概念として提案されている。

RDIPE（11 頁）

Research and Development Institute of Power Engineering。ロシアの国立研究所。Adamov Institute とも呼ばれる。モスクワとサンクトペテルスブルグに研究所がある。

RBWR（11 頁）

Resource Renewable BWR。炉心を稠密化し、六角形の燃料集合体と Y 字型制御棒の組合せで増殖比 1 を達成しようとする BWR タイプの設計概念。炉心高さを 1 m 程度とし、除熱機能と負の反応度ボイド係数を維持して安全性を確保している。

低除染（12 頁）

再処理の目的は使用済燃料中の核分裂生成物を除去し、所定の純度の核物質（ウラン、プルトニウム）を回収することである。再処理前後の核物質中の核分裂生成物の割合の比を除染係数といい、従来の軽水炉燃料再処理では 10^6～10^8が要求される。これに対し、高速炉システムでは燃料中の核分裂生成物に対し炉心特性が柔軟であるために軽水炉ほどの除染は必要としない。現在までの評価では、5～4000 程度を低除染の指標としている。

改良 RIAR 法（12 頁）

ロシアの原子炉科学研究所が開発を進めている乾式再処理技術。酸化物燃料を溶融塩（LiCl－CsCl 等）中で塩素ガスを吹き込みながら溶解（塩素化溶解）し、酸化・還元電位の差を利用して、アクチニドを酸化物（UO_2，PuO_2）として共析出、あるいはPuO_2については沈殿分離する再処理の方法を RIAR 法と称する。改良 RIAR 法では、核物質の回収率の向上や環境負荷低減の観点から、FP の除染係数の向上及び MA の分離プロセスの負荷を検討する。回収したアクチニドは機械的粉砕後、分級及び富化度調整を経て、振動充填法により、燃料製造を行う。

改良 ANL 法（酸化物燃料対象）（12 頁）

金属燃料を溶融塩中で塩素化溶解（またはリチウム還元）し、酸化・還元電位差を利用して金属Uを固体陰極に析出させる。その後、溶融カドミウム陰極でプルトニウム及びMAの析出生成自由エネルギーがウランと近接することを利用して金属プルトニウム・ウラン・MA の共析出を行い、アクチニドを分離する再処理の方法をANL 法と称する。改良 ANL 法は同法を酸化物燃料を対象とするプロセスに改良するもので核物質の回収率の向上や FP 除染係数の向上対策を施すとともに塩リサイクル法を検討する。金属ウラン・プルトニウムの酸化物転換と焼結が必要である。燃料製造は振動充填法を用いる。

フッ化物揮発法（12 頁）

使用済燃料を六弗化物に変換し、その蒸気圧などの物性、あるいは吸着性など化学的性質の差を利用して分離する再処理方式である。基盤となるフッ素化工程についてはウラン濃縮を行うための UF_6 の製造工程で実用化されている。フッ化反応は高温下のアルミナ流動床等で行われるが、工学的には高放射性粉流体の取り扱い、遠隔保守の技術、プロセス化学的にはプルトニウム、MA の挙動等が新たな課題である。ロシア、アルゴンヌ研、原研等で開発実績がある。

ペレット直接成型法（12 頁）

粉末混合及び造粒工程等を省略して、原料粉から直接成形してペレットを製造する。ショートプロセスの核となる開発技術の一つ。

粉末輸送法（12 頁）

気送による粉末の搬送法。ボトル搬送などの従来法に比べ、省力化、自動化が図られる。

ゲル化（12 頁）

コロイド粒子または高分子溶質が相互作用のために、独立した運動性を失って集合した構造をもち、固化した状態をゲルという。

スフェアパック燃料（13 頁）

MOX 等の小さな球状の粒子燃料を被覆管に充填した燃料ピンをスフェアパック燃料という。この際、充填密度を上げるため被覆管に振動を与えながら 2～3 種類（数 10μm～1000μm）の径の粒子を組み合わせて充填する。スフェアパック燃料製造ではペレット燃料製造工程で必要な微粉末取扱、ペレット成型等の工程が不要であり、工程の簡素化の可能性があり燃料製造コスト低減が期待できる。また遠隔製造に優れた燃料製造工程とできる可能性があり、MA、FP を同伴した燃料製造への適

用が期待できる。

サイクル諸量（13 頁）

核燃料サイクルの中でウラン、プルトニウム等を回す上で重要な因子となる、天然ウラン所要量、プルトニウム需給バランス、使用済み燃料蓄積量、マイナーアクチニド蓄積量等の諸量をいう。サイクル諸量評価として、将来のエネルギー需給見通しに基づく原子力発電規模予測を行い、種々の核燃料サイクルシステムにおけるサイクル諸量の評価を通して、最適なサイクルシステムを検討する。

ODS 鋼（14 頁）

Oxide Dispersion Strengthened Stainless Steel。酸化物分散強化型ステンレス鋼。高燃焼度までの耐照射性に優れるが高温強度が不足しているフェライト系ステンレス鋼に微細な安定酸化物粒子を材料中に分散させ高温強度を改善することをねらった材料で、高燃焼度燃料被覆管として期待され開発中である。当面は、製造技術の確立、製造コスト低減の見通しが最重要課題となっている。

PE16（14 頁）

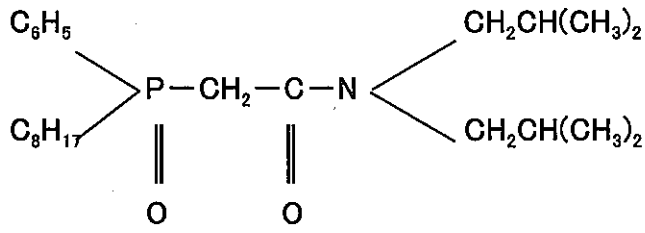
英国で製造・販売されているニッケルの含有率が 43%程度の高ニッケル鋼で、高温強度と耐照射性に優れる。英国では燃料被覆管として中燃焼度までの使用実績が蓄積されてきている。今後、高燃焼度までの性能を評価することが必要である。

晶析（14 頁）

溶液を過飽和にして溶質を結晶として取り出す操作をいう。温度変化により溶解度変化の少ないものは蒸発濃縮により過飽和状態を作り出す。温度効果により溶解度が急激に減少するものは冷却法を用いる。溶解液からのウラン（硝酸ウラニル）の晶析は後者によるが、旧西ドイツ・カールスルーエ原子力研究所でのウラン精製への適用例を除き、世界的にも実施例がない。今後、ウラニル晶析条件の把握を始め、プルトニウム及び核分裂生成物との分離性の確認が本法の成立性の判断に必要となる。

有機リン抽出剤 CMPO（14 頁）

中性の二座配位型有機リン化合物。Octyl (phenyl) –N , N-diisobutylcarabamoylmethylphosphin Oxide。略称 OφD[iB]CMPO。



ソルトフリー（14 頁）

溶媒抽出法による再処理主分離工程（分離、精製、溶媒再生）の各ステップにおいて、分解してガス化する化学試薬による反応操作とその廃試薬を電気分解により処理する方法、あるいは化学試薬を用いず直接（in situ）、電気化学を適用して反応を操作する方法をいい、それらを包括的に組み合せることによって、工程操作に伴う塩を完全に排除することが可能となる。この結果、放射性廃液の高濃縮・高減容が可能となり、廃棄物の処理、処分コストの低減が図られる。

富化度（15 頁）

MOX 燃料中のプルトニウムの濃度のこと。

内部ゲル化法（15 頁）

硝酸ウラニル及び硝酸プルトニウム混液に、アンモニアドナーの６メチル４アミン（$(CH_2)_6N_4$）及び錯化剤の尿素（H_2NCONH_2）を添加し調整液とする。その調整液を 114℃－120℃で加温したシリコンオイル中に滴下し、液滴内部よりゲル化反応を生じせしめ酸化物顆粒燃料を製造する方法。廃棄物のシリコンオイルの処理が課題。スイス PSI で開発中。

外部ゲル化法（15 頁）

硝酸ウラニル及び硝酸プルトニウム混液をアンモニアガス雰囲気下、アンモニア水中に滴下し、液滴表面からゲル化反応を生じせしめ酸化物顆粒燃料を製造する方法。増粘剤として PVA 及びその分解保護剤のアルコール（THFA）を添加する必要がある。サイクル機構などで開発中。硝酸アンモニウムなどの廃棄物の発生が難点である。

参 考 資 料 4

高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究（OHP 資料）

研究開発課題評価委員会

高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究

平成11年8月

核燃料サイクル開発機構

JNC

説明内容

- 研究の目的
- 必要性・緊急性
- 研究開発の動向、技術の現状
- 第1期の計画
  - 目標
  - 実施内容とスケジュール
  - 推進体制及び要員計画
  - 資金計画
  - その他
- 期待される成果と反映
- その他

JNC

実用化戦略調査研究の目的

❒ 研究全体の目的

◆ FBRサイクルの実用化戦略を明確にする上で必要となる判断資料を整備して、軽水炉サイクルと比肩する経済性を達成しうる実用化概念の構築及び実用化に向けた開発シナリオの策定に資する。

❒ 第1期の目的

◆ 幅広く技術的選択肢の評価を行い、実用化候補概念を抽出することにより実用化に向けた開発の見通しをつける。

①革新的技術を採用した幅広い技術的選択肢の検討、評価を行い、安全確保を前提とし、経済性、資源の有効利用性、環境負荷低減性及び核不拡散性を評価の視点として、高速炉、再処理及び燃料製造からなるFBRサイクルの実用化候補概念を複数抽出する。

②FBRサイクルの実用化に向けた研究開発シナリオを検討する。実用化候補概念を実現していく上で重要な技術課題について開発計画を策定することにより実用化に向けた開発の見通しをつける。

JNC

サイクル機構の中長期事業計画(1)

❒ FBRサイクルの研究開発における実用化像の構築

長期的な研究開発の目標
経済性の向上
資源の有効利用
環境負荷の低減
核不拡散性の確保
（安全性の確保が前提）

中期的目標
・安全確保を前提として、FBR発電プラントを実用水準の利用技術へと成熟させる場として「もんじゅ」を完成させる。
・FBRサイクル全体で軽水炉とその関連核燃料サイクルと比肩する経済性を達成するべく経済性の向上を図る。

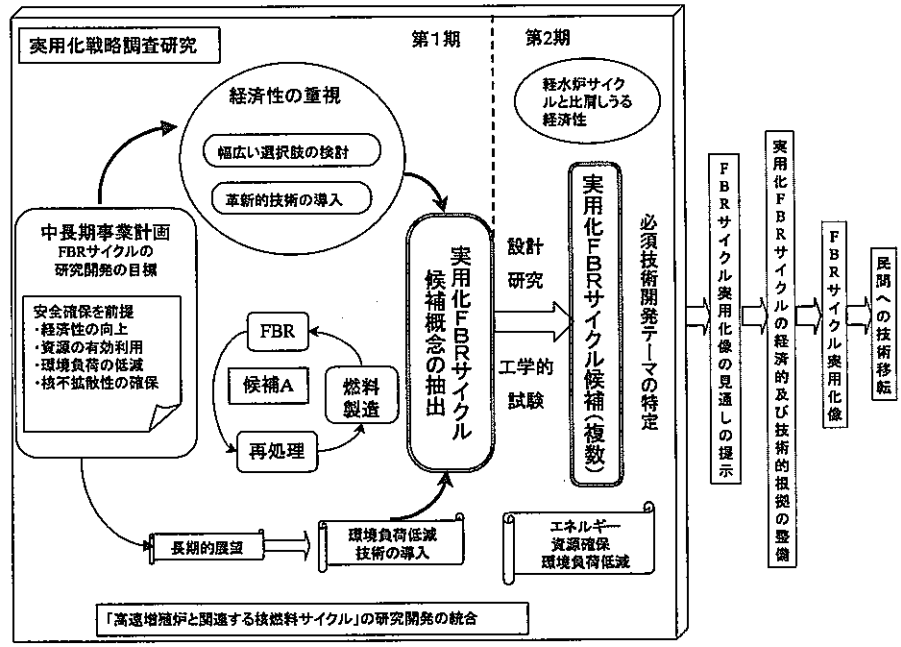
研究開発の進め方
FBRサイクルの実用化に向け、経済性を一段と向上させるため、革新的な技術を積極的に取り入れ、FBRサイクル全体として整合性を図りながら、原子炉、燃料、再処理の各分野の研究開発を進め、経済性と環境負荷低減を両立させたFBRサイクルの実用化像を構築する。

JNC

サイクル機構の中長期事業計画(2)

- FBRサイクル実用化像の構築における実用化戦略調査研究の位置づけ
  - FBRサイクルの実用化に向けた研究開発は、当面、経済性を最優先にして、5年程度の期間毎に区切りを設け、各期間毎に研究開発の方向性および成果について広く評価を受けて次の期間の研究開発を具体化する方式で進める。
    - ➢①実用化候補(複数)の比較検討による絞込み
      - FBRサイクルの実用化戦略を明確にする上で必要となる判断資料を整備する目的で実用化戦略調査研究を行う。
      - 最初の2年間程度の期間で、幅広く技術的選択肢の評価を行う。その後必要な期間で工学的な試験を実施し、そのデータに基づいて、FBRサイクル全体としての最適化、実用化を念頭に置きつつ総合的に評価を行い、実用化候補(複数)の絞込みを行う。
    - ➢②実用化像の見通しの提示
    - ➢③実用化FBRサイクルの経済的および技術的根拠の整備
  - 長期的展望に立って、TRU燃焼や長半減期核分裂生成物(FP)の核変換、または、安定元素化による環境負荷低減を目指し、炉心およびプラント技術、TRUやFPを含有する燃料の製造技術、ならびに、TRU回収および長半減期FP回収技術を、大学および国内関係機関と協力しながら開発する。

JNC



実用化戦略調査研究のスコープ

JNC

必要性及び緊急性

❒ 1) 必要性

◆ ①実用化の可能性の追求

➢21世紀中葉をめざし、化石燃料エネルギーから非化石燃料エネルギーへの代替を進める必要がある。非化石燃料エネルギー源の代表である原子力発電に頼るとウランの需給が逼迫し、軽水炉からFBRへの代替を進めなければならない。

➢経済性を向上させ、ユーザー及び国民のニーズを満足できる高いレベルのFBRサイクルを実用化することが必要である。

➢第1ステップとして実用化候補概念の抽出から絞り込みを行う実用化戦略調査研究が必要である。

◆ ②21世紀のリサイクル社会のニーズに答える

➢資源の有効利用、放射性廃棄物の減量

➢FBRを中核に据えたサイクルシステムでニーズに対応

JNC

❒ 2)緊急性

◆ FBRは将来の非化石エネルギー源として、魅力的な技術である。FBRの実用化が早いほど、資源の有効利用性、環境負荷低減性等に係わるFBRの長所を享受でき、社会にとっての便益が大きくなる。そのために、実用化の見通しを早期につけることが望まれる。

◆ 抜本的経済性向上に向けた研究開発をより効果的に実施することが緊急の課題である。

◆ 次の段階に進めて開発シナリオを説得力のある確かなものにするためには、第1ステップの実用化の見通しをつける仕事を2年程度で早期に終えることが重要である。

JNC

課題選定の背景

研究開発の動向(1)

❒ これまでの研究開発の重点

◆ FBRサイクルシステムの実用化のため、

➢ナトリウム冷却ループ型大型高速増殖炉発電所

➢MOXペレット燃料製造

➢PUREX法再処理

という一連の技術体系の確立をめざしたものである。

◆ 原子力開発利用長期計画(平成6年6月)では、FBRを将来的に核燃料リサイクル体系の中核と位置付け、相当期間にわたる軽水炉との併用期間を経て将来の原子力発電の主流にしていくべきものとされた。

◆ サイクル機構において原型炉「もんじゅ」の研究開発を、また、実証炉については、2000年代初頭着工を目標に電気事業者が建設の準備を進め、2030年頃までには、実用化が可能となるよう高速増殖炉の技術体系の確立を目指すこととしてきた。

◆ 最近十年余の開発努力は主として経済性向上に注がれている。

JNC

研究開発の動向(2)

❒ 原子力委員会「高速増殖炉懇談会」

◆ 高速増殖炉を将来の非化石エネルギー源の一つの有力な選択肢として、その実用化の可能性を追求する。

❒ 原子力委員会 (平成9年12月5日)

◆ 「長期エネルギー源確保の必要性、安全確保及び地元の理解の重要性、財政事情の逼迫、経済性の追求重視といった内外の諸情勢も踏まえ、また、今後の原子力研究開発は資源論的観点に加え環境論的観点も重要であるとの当委員会のこれまでの指摘に鑑みても、懇談会報告書の結論は妥当と判断し、今後は同報告書を尊重して高速増殖炉開発を進めること」

JNC

研究開発の動向(3)

❒ 海外情勢

- ◆ (全般)おおむね実証炉による開発段階への移行期にまで到達しているが、最近に至り種々の要因でスローダウンしている。
  - ➢エネルギー需要の伸びの鈍化を反映したウラン需給の緩和により資源論的に実用化を急ぐ必要性が低下していること
  - ➢現状では発電所の建設費が軽水炉に比べて相対的に大きく、ウラン価格が低い状況で運転しても経済的に高くつくこと
- ◆ フランス
  - ➢実証炉スーパーフェニックス(電気出力124万kW)を閉鎖
  - ➢原型炉フェニックス(電気出力25万kW)を2004年まで運転する計画である。
  - ➢FBRの研究開発を継続している。
- ◆ ロシア
  - ➢原型炉BN-600(電気出力60万kW)を運転中
  - ➢実証炉BN-800の建設を開始したところで、財政事情の悪化のため建設を中断

JNC

研究開発の動向(4)

❒ 海外情勢(続き)

- ➢旧ソ連カザフスタンの発電海水脱塩二重目的炉BN-350(熱出力100万kW、電気出力15万kW)は20年以上運転されており、2003年までは運転継続する予定である。
- ◆ 米国
  - ➢核不拡散政策としてプルトニウムの商業利用を行わないこととしている。
  - ➢米国における原子力エネルギーの将来のために、1999年度から始まるNERIプログラムを計画している。
- ◆ 米国、ドイツ、英国については、国内に有する化石燃料燃料資源で当面のエネルギー自給が可能である。
- ◆ 日本のようにエネルギー資源の大部分を輸入に依存しており長期的に安定したエネルギー源の確保が必要な国にとっては、原子力特にFBRの必要性は従来と変わらない。

JNC

研究開発の動向(5)

❒ サイクル機構の中長期事業計画

- FBRサイクルについて、「安全確保を前提に、『経済性向上、資源の有効利用、環境負荷低減、核不拡散性の確保』を目標として研究開発を進め、実用化に向けて競争力のある技術に着実に仕上げる。
- 中期的には、経済性向上に向けた研究開発を最優先で進めるとともに、『もんじゅ』を用いて発電システムとしての技術の成熟を図り、FBRサイクルの実用化見通しを明らかにする。
- 長期的には、超ウラン元素(TRU)燃焼や長半減期核分裂生成物(LLFP)の核変換等によって環境負荷低減を実現するFBRサイクルの確立を目指した研究開発を進める。

JNC

課題選定の背景

技術の現状(1)

❒ FBR

- 技術的選択肢の基本としては、炉型、出力、冷却材及び燃料形態が挙げられる。サイクル機構では、ループ型、大型化、ナトリウム冷却、MOXペレット燃料等の仕様を選択し、研究開発を展開してきた。
- 実験炉「常陽」: 熱出力10万kW、2ループ。運転中。
- 原型炉「もんじゅ」: 電気出力28万kW、3ループ。試運転停止中。
- 実証炉: 電気出力66万kWの原子炉容器トップエントリ方式ループ型、1次冷却系機器をループ毎に容器に入れ分散配置した3ループプラントについて設計研究を進めた。建設費は同出力規模の軽水炉のおよそ1.4～1.5倍である。
- サイクル機構の設計研究:130万kW級大型炉の建設費はスケールメリットの効果も評価して単位出力当たりで軽水炉のおよそ1.4倍であった。

JNC

技術の現状(2)

❒ FBR(続き)　　最近のFBR設計例

◆ EFR:　電気出力152万kW

➢1次系3ループのナトリウム冷却のタンク型.

➢1993年で設計作業を中断.

➢軽水炉との競合可能性をめざして、燃料の高燃焼度化、設計の簡素化、安全グレード設備の限定、機器台数と重量の低減、建屋体積の低減、建設期間の短縮、機器への接近性の向上等によって経済性の向上を図っている。

◆ スーパーPRISM:　タンク型モジュール炉

➢各モジュールは電気出力41万kWのタンク型である。

➢1次系は2ループ、2次系は蒸気発生器1基の1ループ構成であり、モジュール2基とタービン1基で1ユニットを構成し、2～4ユニットで1発電所とする。

➢RVACSを取り入れて簡素化しており、GEの米国条件での試算では発電コストが多数基建設後で1kW当たり4.2円(1＄＝122円換算)である。

JNC

技術の現状(3)

❒ 再処理

◆ 高燃焼度、高プルトニウム濃度のFBR使用済み燃料の再処理に対して、軽水炉燃料の再処理で実績のある湿式PUREX法を選択して開発を展開した。

◆ 高レベル放射性物質研究施設(CPF)では「常陽」等の照射試験燃料を用いたホット基礎試験を行い、プロセスフローシートを確立した。遠心抽出器、レーザ解体機等の新型機器、プロセスを実証、高度化するためリサイクル機器試験施設(RETF)を建設している。

◆ さらに、FBR炉心においては不純物の核的特性に及ぼす影響が小さいという特長を活かして、精製工程を削除する等の簡素化プロセスの開発、プラントの合理化設計研究等を実施し、軽水炉燃料再処理の2倍程度までコストを削減できる試算例を得た。

JNC

技術の現状(4)

- 再処理(続き)
  - 環境負荷低減を目指す研究開発
    - ➢PUREX法の改良により使用済み燃料中のマイナーアクチニド(MA)のうちネプツニウムをほぼ全量プルトニウムとともに回収できることを確認した。アメリシウム、キュリウムについては、TRUEX法の改良により99.9%の効率で実高レベル廃液中から回収できることを確認した。
  - 乾式再処理法
    - ➢原理的に簡単な工程であるため、湿式法よりも低コストでの再処理が実現できる期待があり、米国(ANL)、ロシア(RIAR)でそれぞれ独自のプロセスの開発が進められてきた。
    - ➢我が国では電気事業者がそれぞれ技術協力を行ってきたが、工学的に技術の実証を行うのはこれからの段階である。

JNC

技術の現状(5)

- 燃料製造
  - FBR燃料は、世界的に酸化物ペレット燃料が主流であり、製造技術として確立している。サイクル機構では、「常陽」及び「もんじゅ」の燃料製造を通して年間5トン規模の製造技術を確立した。
  - さらに経済性を向上させるため、燃料原料調製からペレット成型までの工程プロセスの簡素化を図ったショートプロセス法の開発を実施している。燃料製造コストは軽水炉燃料の3倍程度に低減可能との試算例を得た。
  - MOX振動充填燃料製造法
    - ➢製造コストを低減できる可能性がある。
    - ➢スイス(PSI)ではゲル化法により球状燃料を調製し、振動充填する技術開発を手がけており、サイクル機構と共同研究を実施している。
    - ➢ロシアでは不定形の粒状燃料を振動充填し燃料を製造している実績があり、電力が技術協力を進めてきた。ロシア法は乾式再処理と連結することで合理化が期待できる。

JNC

技術の現状(6)

❒ 燃料製造(続き)

- ◆ 金属燃料の製造法については、ANLが乾式再処理と一体のプロセスとして射出成型法を採用している。
- ◆ 窒化物燃料の製造は、原研が実験室レベルの実績を持っており、サイクル機構も試作試験によって確認した。
- ◆ 環境負荷低減を目指す研究開発では、ネプツニウム入り燃料はグローブボックスでの製造試験を、アメリシウム入り燃料はホットセル内で遠隔操作による製造試験を実施している。

JNC

技術の現状(7)

❒ 4)FBRサイクル

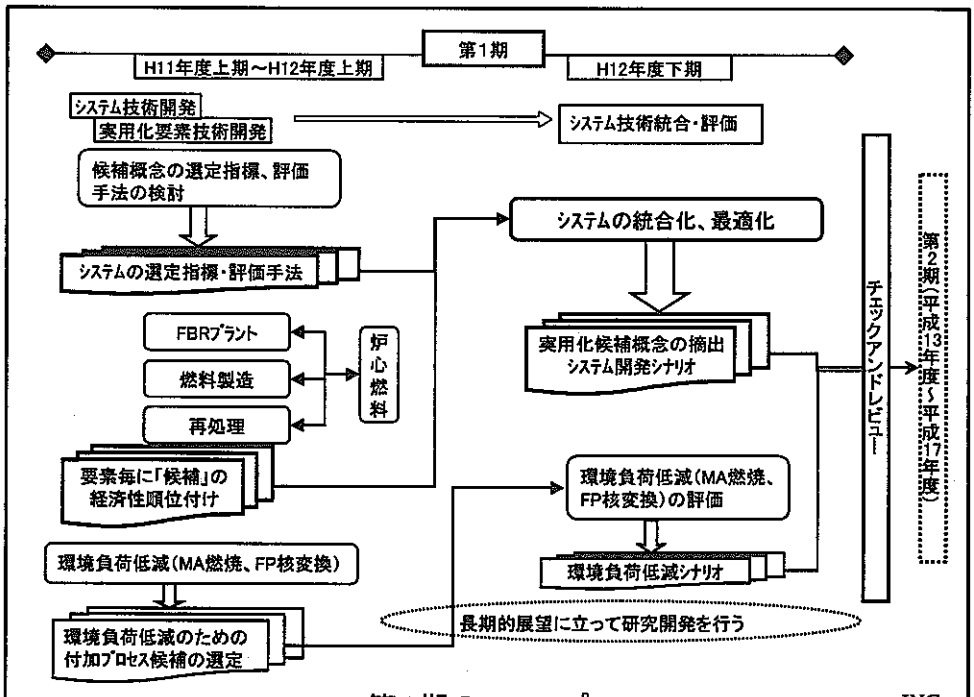
- ◆ 「常陽」での照射試験後の試験燃料を使用して、CPFでプルトニウムを回収し、燃料ペレットに加工し、再び「常陽」に装荷し燃焼させる試験的規模のリサイクルを行った経験がある。
- ◆ 軽水炉発電コストの現状と将来予測を行い、軽水炉発電と同等以下の発電コストとなるためのFBRサイクルの条件として、燃焼度15万MWd/tで運転されることを前提にし、炉の建設費で対軽水炉比1.0倍程度、MOX燃料加工単価は3.0倍程度、再処理単価は2.5倍程度という試算例が得られた。

JNC

第1期の計画

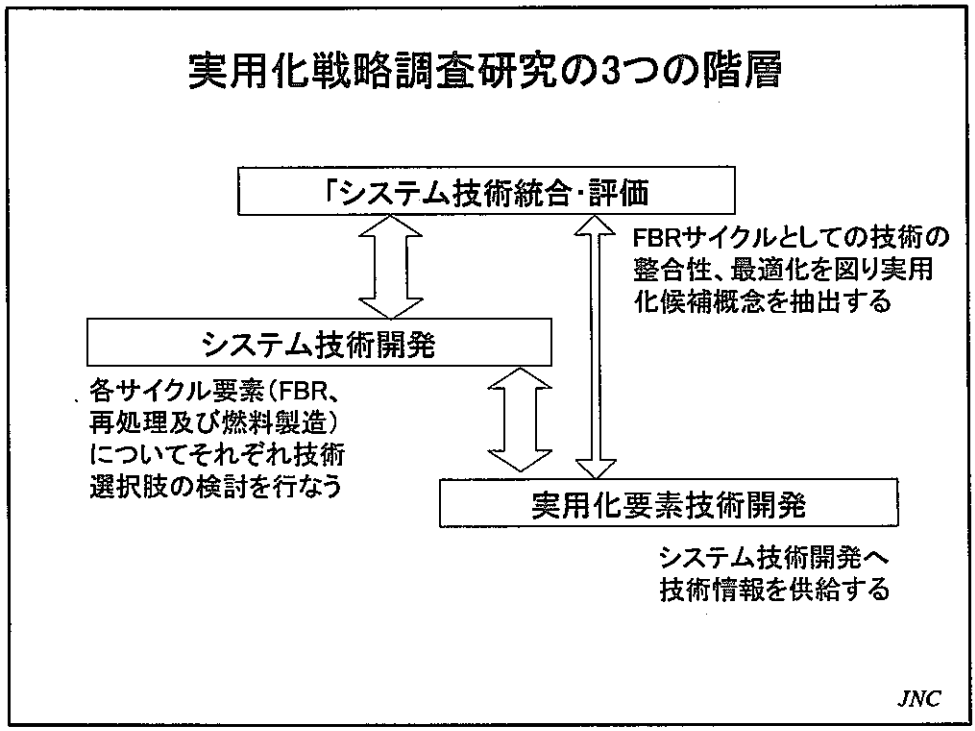
- 全体スコープ
- 達成目標
- 実施内容
- 実施体制
- 資金計画
- その後の進め方

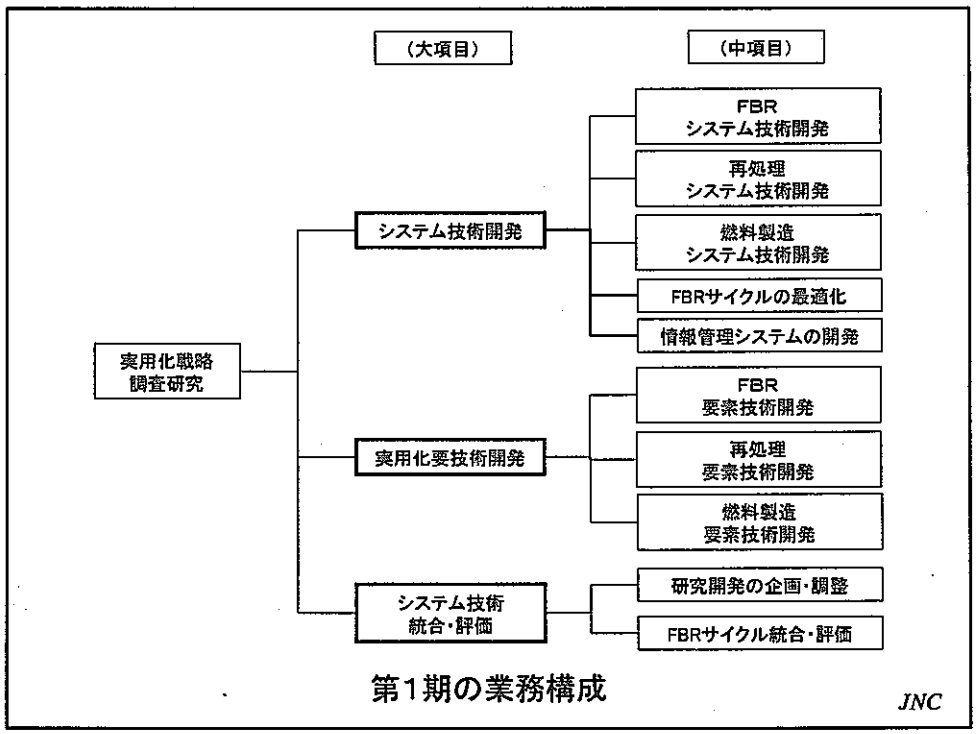
JNC

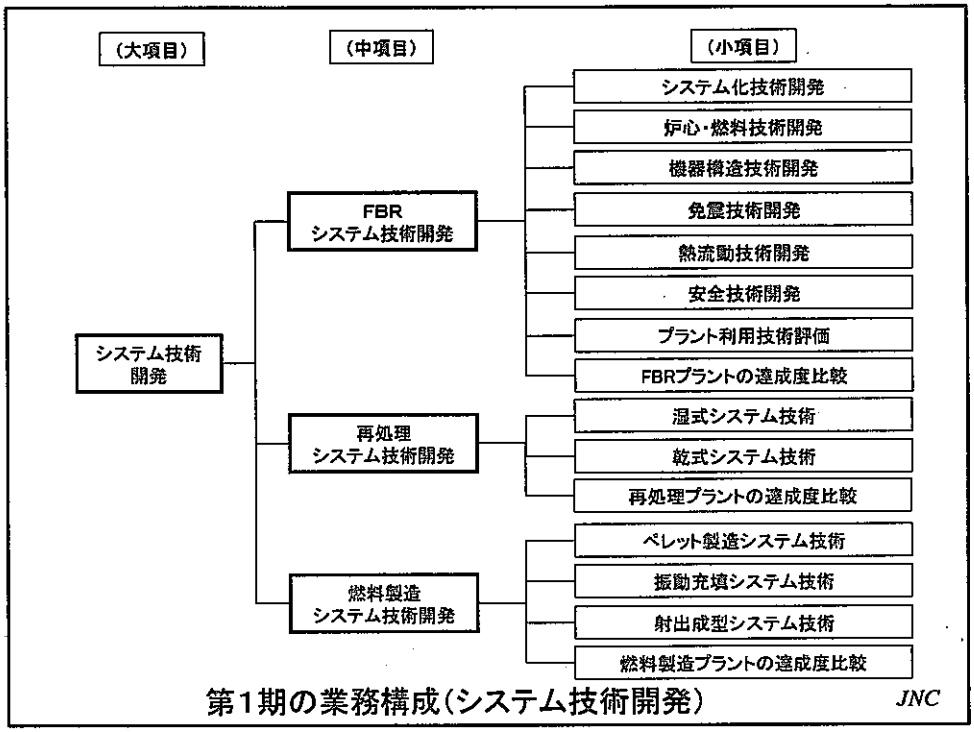


第1期のスコープ

JNC

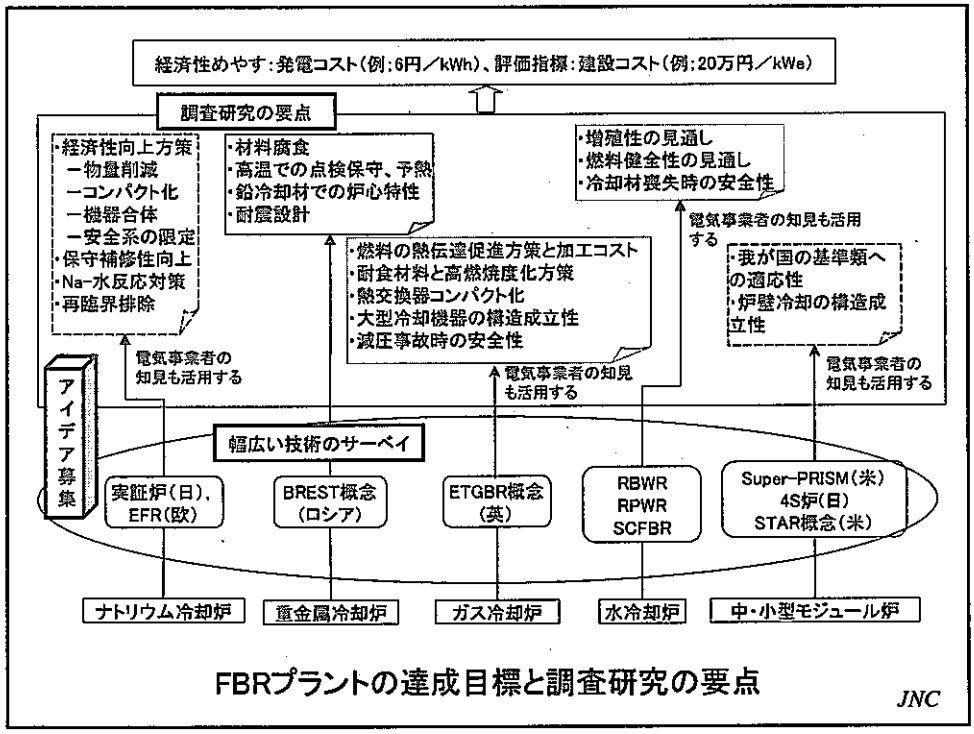

実用化戦略調査研究の3つの階層
「システム技術統合・評価
FBRサイクルとしての技術の整合性、最適化を図り実用化候補概念を抽出する
システム技術開発
各サイクル要素(FBR、再処理及び燃料製造)についてそれぞれ技術選択肢の検討を行なう
実用化要素技術開発
システム技術開発へ技術情報を供給する
JNC


(大項目)
(中項目)
実用化戦略調査研究
システム技術開発
実用化要技術開発
システム技術統合・評価
FBR システム技術開発
再処理 システム技術開発
燃料製造 システム技術開発
FBRサイクルの最適化
情報管理システムの開発
FBR 要素技術開発
再処理 要素技術開発
燃料製造 要素技術開発
研究開発の企画・調整
FBRサイクル統合・評価
第1期の業務構成
JNC



第1期の業務構成（システム技術開発）

JNC



FBRプラントの達成目標と調査研究の要点

JNC

安全確保

- FBRサイクルシステムの安全性は、少なくとも軽水炉システムと同等以上の安全性を確保するものとする。
- 我が国の安全関連の指針、基準等に適合させることは勿論、グローバルな基準に適合することも配慮する。
- 機器の故障及びヒューマンエラーの影響が極力少なくなるようシステムの簡素化等を通して信頼性の向上に努める。

JNC

高速炉システム技術開発(1)

- ナトリウム、重金属、ガス、水等の冷却材、中小型モジュール炉等、並びにMOX、金属及び窒化物の燃料からなる技術選択肢に係るプラント概念を研究する。
- 現状の有望概念の具体化と並行して、新しいアイデアの募集やメーカー間の競争意識を引き出すコンペ方式の発注によって、魅力のある概念を追求する。
- ナトリウム冷却炉の有望な概念
  - 原子炉容器側部流入配管方式と機器合体の組合わせ
  - EFRタイプのコンパクトタンク方式
  - 二次系削除方式
  - 物量削減・簡素化、コンパクト化、安全系の極限化、規格・基準の合理化などを抜本的に見直したより魅力のある概念を追求する。

JNC

高速炉システム技術開発(2)

- 重金属冷却炉
  - 鉛冷却及び鉛・ビスマス冷却が考えられる。
  - 実用化のための技術課題(ビスマスの資源量、構造材腐食、耐震設計、高融点冷却材の予熱方法、炉心・燃料設計等)を重点的に検討する。
  - BRESTシリーズの設計概念を有し、現状、技術的に最も進んでいるロシアに協力を依頼する。
- ガス冷却炉
  - 大型化によるスケールメリットと、熱交換器のコンパクト化等を追求することにより、軽水炉並みの建設費の実現可能性を検討する。
  - システムが単純で保守・補修が容易であると考えられるため、運転コスト面に及ぼす経済性について検討する。
  - 燃料被覆管の耐食性、高燃焼度化方策、冷却材流出事故時の炉心冷却性等の技術課題について検討する。

JNC

高速炉システム技術開発(3)

- 水・蒸気冷却炉
  - RBWR等の軽水冷却増殖炉と超臨界圧軽水冷却増殖炉(SCFBR)の炉心特性及び燃料サイクルとの整合性について検討し、導入シナリオの中での位置づけを検討する。
- 中・小型モジュール炉
  - GE社のスーパーPRISMが発電コスト6円/kWeを達成できる概念として提案されている。
    - ➢サイト条件や許認可体制等を考慮して、我が国に導入した場合のコスト評価を行う。
  - FBRサイクル導入戦略の一つとして、プラント出力規模・形態・機能を整理し、導入戦略に適合するプラント概念を検討する。

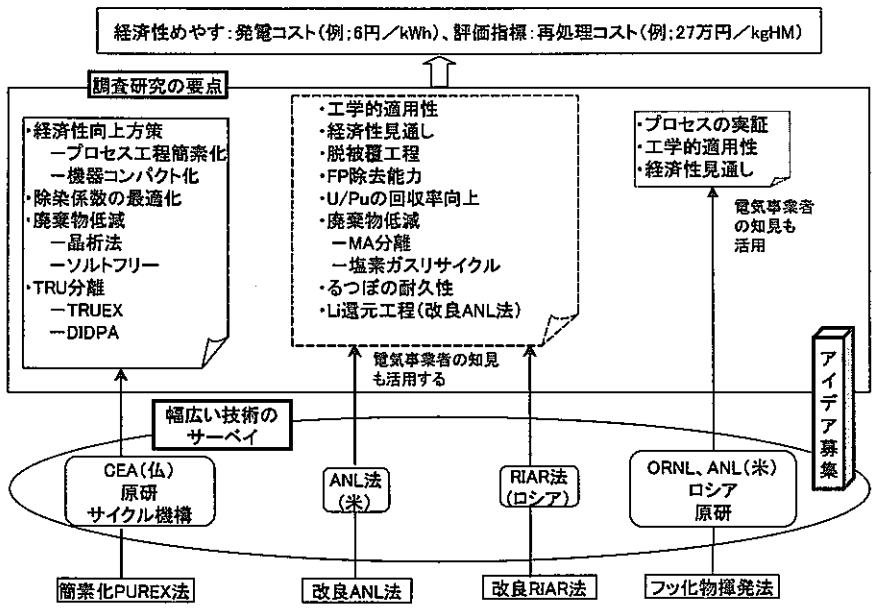
JNC

高速炉システム技術開発(4)

- その他の高速炉概念
  - 溶融塩高速炉概念の検討やTRU専焼炉概念の検討を行い、それらの技術課題、成立性等を評価する。なお、検討対象については抜け落ちがないように適宜見直すこととし、米国のMIT等からの提案(鉛ービスマス冷却の小型炉概念)等についても情報収集を行う。

- 炉心・燃料技術開発、機器構造技術開発、免震技術開発、熱流動技術開発、安全技術開発、プラント技術評価というFBRに共通する技術開発項目については、特定の炉型に限定しない横断的な研究を行ない、プラント概念の具体化に反映する。

JNC



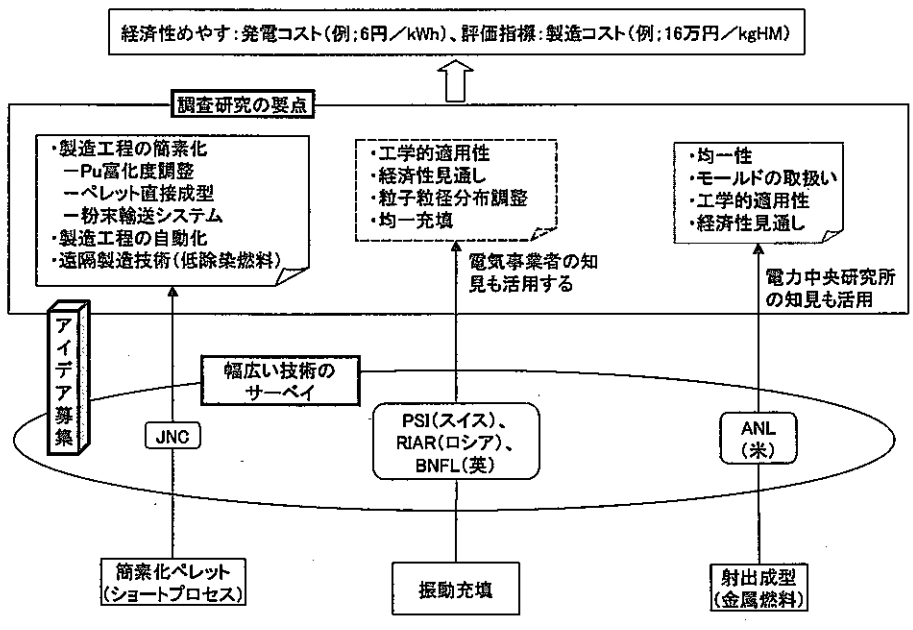
再処理プラントの達成目標と調査研究の要点

JNC

再処理システム技術開発

- 現状の有望概念の具体化と並行して、新しいアイデアの募集やメーカー間の競争意識を引き出すコンペ方式の発注によって、魅力のある概念を追求する。
- 従来の湿式PUREX工程
  - 経済性向上の観点から抜本的に見直し、低除染製品生産の許容を前提とした簡素化PUREX工程／燃料製造一体化のプラント概念を具体化し、プラント規模、TRU回収、窒化物燃料対応性等、経済性に影響を及ぼす因子を定量的に評価する。
- 乾式再処理(酸化物燃料)
  - 高温電気化学法をベースとする改良RIAR法(ロシア原子炉科学研究所)及び改良ANL法(米国アルゴンヌ研究所)、さらにフッ化物揮発法の3方式について、それぞれのプラント概念を構築し、主として経済性の観点から評価を行う。また、前述の湿式法のプラントと合わせて、経済的な競争力について比較・評価を行う。
- 金属燃料を対象とする乾式再処理技術
  - 電中研の知見を活用して、プラントレベルの工学的成立性、安全性及び経済性を検討する。

JNC



燃料製造プラントの達成目標と調査研究の要点

JNC

燃料製造システム技術開発

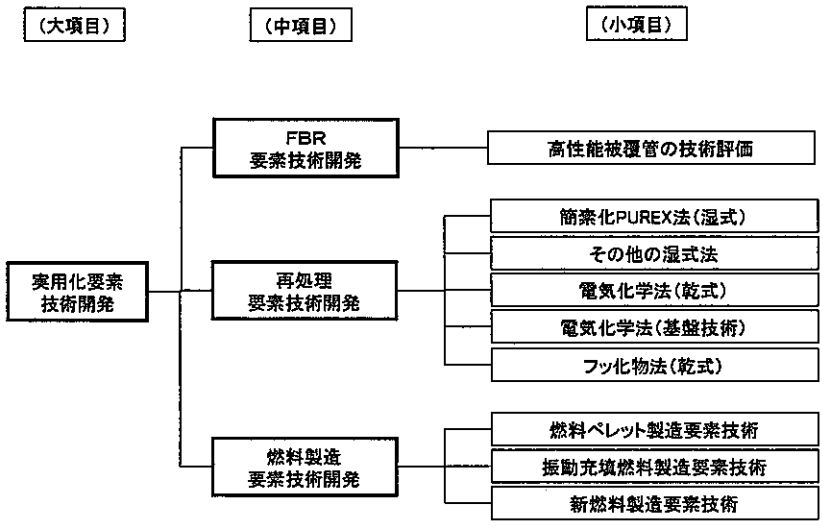
- 現状の有望概念の具体化と並行して、新しいアイデアの募集やメーカー間の競争意識を引き出すコンペ方式の発注によって、魅力のある概念を追求する。
- 酸化物燃料を対象とするペレット製造技術
  - 粉末流動特性、ペレット直接成型法、粉末輸送法等の枢要技術について、工学的成立性を評価し、それらの枢要技術の組み合わせによる簡素化製造工程によるコスト低減見通しを得る。
  - TRU(Am, Np)燃料や窒化物燃料の製造法に関する情報を整理し、成立性や経済性の観点から評価する。
- 振動充填燃料製造技術
  - 工学レベルにおける技術的成立性を確認するため、小粒子製造法、充填条件、ゲル化条件等の枢要技術を評価する。
  - 燃料設計コードを用いて振動充填燃料及びスフェアパック燃料の性能を評価する。
- 射出成型法による金属燃料の製造法を調査し、製造工程の成立性や経済性の検討・評価を行う。

JNC

FBRサイクルの最適化

- FBRサイクル導入条件の調査、エネルギー需給の将来動向の調査、代替エネルギーの開発・普及動向の調査等を行い、FBRサイクルの実用化シナリオの検討に反映する。
- 経済性、環境負荷低減、資源の有効利用、核不拡散に係る目標達成度を評価するための指標を開発する。
- FBRサイクルの要素技術であるFBR、再処理及び燃料製造について、それぞれ個別に開発するだけでなく、燃料・炉心を軸にして一つのシステムとして要素間の適切な組合せの下に技術のトレードオフ、整合性を検討し、各サイクルシステム概念についてサイクル諸量評価を行ない、サイクル全体として最適化を図る。

JNC



第1期の業務構成（実用化要素技術開発）

JNC

高速炉要素技術開発

- 燃料被覆管の製造コスト低減に関する技術評価
  - 高燃焼度・高温出口温度を達成し得るODS鋼を対象とする。
  - 高燃焼度燃料被覆管の代替材料に関して、海外燃料被覆管材の調査を行ない、その性能、適用性及び経済性について国産材料との比較・評価を行なう。
  - 有望代替材料であるPE16については、英国から技術情報を購入するとともに、被覆管材を購入し、引張強度等の炉外評価を行う

JNC

再処理要素技術開発(1)

- 簡素化PUREXプラント
  - 低除染PUREXプロセスに関し、プロセス設計に不可欠な主要核分裂生成物の除染挙動を評価する。
  - マイナーアクチニドのうちPUREX工程で制御可能なネプツニウムについては、プルトニウム/ウラン/ネプツニウム混合抽出回収技術の成立性を検討する。
  - これらのプルトニウムの低除染化及びウランとネプツニウムの混合は核拡散抵抗性の強化に寄与する。
- PUREX工程の物量削減
  - ウラン晶析技術について、高濃度アクチニド溶解及び析出データ、晶析ウランからのFP分離挙動等の基本的データを取得する。

JNC

再処理要素技術開発(2)

- 環境負荷低減
  - 放射性廃棄物についてはその質及び量の両面から改善を図る。
  - 高レベル廃液中の長半減期MA(アメリシウム、キュリウム及びネプツニウム)分離のために、中性の有機リン抽出剤CMPOを用いるTRUEX技術の改良を図る。
  - 高速炉での消滅効率の改善を目指し、MA／ランタニド分離技術を開発する。
  - テクネチウム－99やヨウ素－129などの長半減期FPの分離技術を開発する。
- ソルトフリー技術
  - 大幅な水相廃液低減が期待できるソルトフリー技術をPUREX工程に適用する。
  - 溶媒抽出工程から発生する放射性有機廃棄物の低減に向け、減容・無機化を可能とする技術の開発を行う。

JNC

再処理要素技術開発(3)

- 乾式再処理
  - 金属及び酸化物の電解試験を実施し、プロセスの成立性に関するデータを取得する。
  - 廃棄物低減の観点から、塩リサイクルや材料腐食の検討を行う。
  - 改良ANL法の適用性
    - ➢リチウムによる酸化物燃料の還元試験の実施
    - ➢CPFでのプルトニウム試験の実施に向け設備の整備
- 改良RIAR法
  - 廃棄物低減のための検討を進める。
  - 乾式再処理に固有の脱被覆、溶融塩電解槽、抽出器等の機器、耐食材料、遠隔操作技術、分析技術の開発を進める。

JNC

燃料製造要素技術開発(1)

- MOX燃料製造工程の簡素化
  - プルトニウム富化度調整法、ペレット直接成型技術、粉末流動性改良技術を開発する。
  - 粉末輸送システムについてはシステム設計及び試作を行い、システムの成立性評価の見通しを得る。
  - TRU(Am及びNp)MOX燃料製造法に関し、燃料物性、分析技術及び製造技術情報をまとめる。
- 気相吸着法による^{15}N同位体濃縮技術
  - 基礎実験を行い、分離効率データを取得して、窒化物燃料実用化のためのボトルネックとなる同位体濃縮コスト低減に対する技術的見通しを得る。

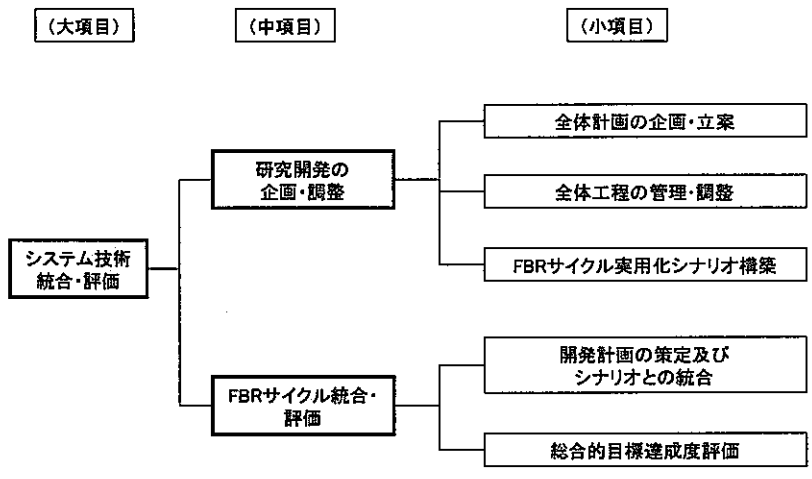
JNC

燃料製造要素技術開発(2)

❒ 振動充填燃料製造技術

- ◆ 粒子製造については小粒子製造法、顆粒製造技術、ゲル化条件等の設計データを取得する。
- ◆ 振動充填に関しては、製造条件の最適化を検討する。
- ◆ 海外(PSI)との共同研究により、内部ゲル化法による振動充填燃料製造の技術開発を進める。
- ◆ BNFLからは外部ゲル化法による製造技術や製造施設などプラント設計に関連する情報を入手し、評価する。
- ◆ 燃料設計に関しては、燃料(TRU, 振動充填法)設計コードの開発や低除染燃料設計の検討を行う。

JNC



第1期の業務構成(システム技術統合・評価)

JNC

❒ 研究開発の企画・調整

◆ 研究開発計画の企画・調整、工程の管理・調整

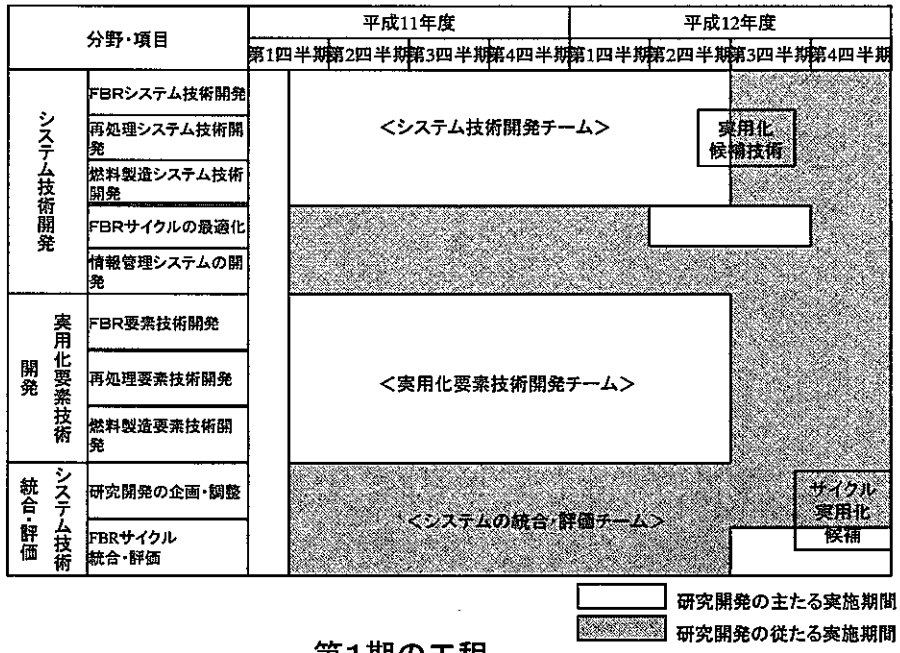
◆ エネルギー市場動向、代替エネルギーの開発動向等FBRをめぐる境界条件を配慮した実用化シナリオの検討

❒ FBRサイクル統合・評価

◆ FBRサイクル実用化の開発計画を策定し、実用化シナリオとの統合化を図る。

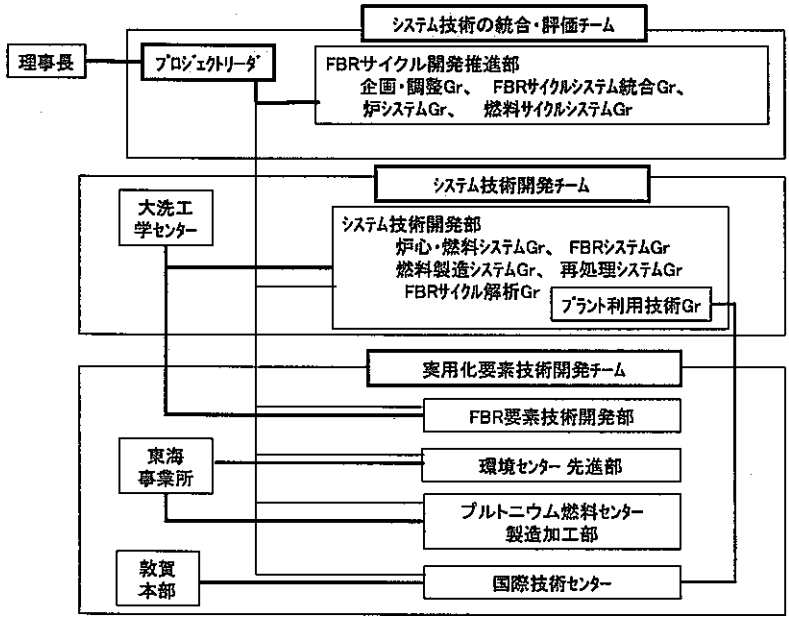
◆ 実用化候補について総合的な目標達成度を評価し、実用化候補サイクル概念を抽出する。

JNC



第1期の工程

JNC



実用化戦略調査研究(第1期)の推進体制

JNC

システム技術の統合・評価チーム

- FBRサイクル開発推進部における20ないし30名程度の要員で構成する。
- 主たる役割
  - 全体工程管理
  - FBRサイクルの実用化シナリオの検討
  - システム技術開発チームが行うプラント概念構築・評価、安全論理、設計基準等の検討について、基本計画及び要求仕様を作成し、作業を依頼する。
  - 実用化要素技術開発チームが行う要素技術開発について、基本計画及び要求仕様を作成し、作業を依頼する。
  - FBRサイクル全体のシステム・インテグレーション
  - FBRサイクル候補の比較・評価基準の設定、評価の実施

JNC

システム技術開発チーム

- 70名程度の要員で構成する。
- 主たる役割
  - 抜本的な経済性向上を実現できるFBRプラント、燃料製造プラント及び再処理プラントの概念の構築を、幅広い選択肢を対象に実施する。
  - 経済性向上を実現するための設計基準、安全論理の合理化等の検討
  - FBRサイクル候補の比較・評価手段又は手法の整備、解析評価の実施
  - 第2フェーズ以降に必要となる重要な要素技術開発課題の摘出

JNC

実用化要素技術開発チーム

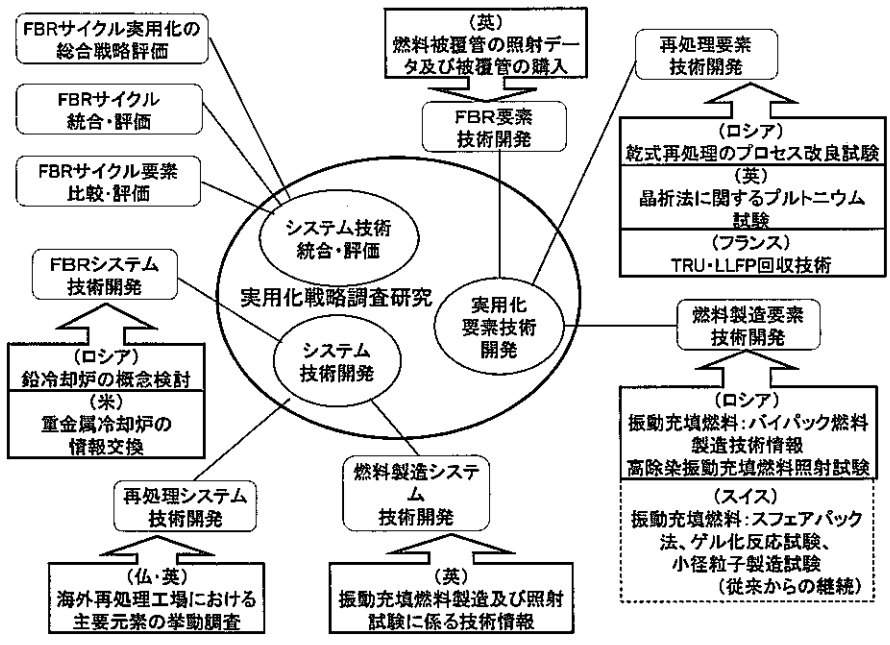
- 大洗工学センター、東海事業所及び敦賀本部のうち、下記役割を果たすために関係する部署を活用する。
  - プラント概念構築に必要なデータ・情報の取得、評価手法の整備
  - FBRサイクル開発推進部及びシステム技術開発チームへの、専門技術的知見の反映

JNC

他機関との連携

- 実用化戦略調査研究は、国内外の関係機関に広く門戸を開いて実施する。
- FBR実証炉の開発経験を持ち、経済性に最も敏感でニーズの高い電気事業者との連携を深め、人員の派遣、費用分担、共同作業を含め、一致協力して研究開発を行う。
- 基礎的研究については大学に委託する等して研究を進める。
- 今後電気事業者以外の機関とも協力の輪を広げていく予定である。

JNC



第1期における国際協力の候補

JNC

国際協力の進め方

- 従来から欧州各国の関係機関と協力を進めてきたが、幅広く有望な技術をサーベイし取り入れていく観点から、より一層の緊密な関係を構築していく。
- FBR関連
  - 鉛冷却炉のプラント概念の成立性評価(ロシア)、被覆管照射データと被覆管材料の購入(英国)等を計画している。
- 再処理関連
  - 簡素化PUREXプロセス開発における主要除染対象元素に関する海外再処理データの収集(仏、英)、PUREX補完技術開発における晶析法に関するプルトニウム試験(英)、乾式再処理のプロセス改良試験(ロシア)、TRU及び長半減期核種回収技術に関する情報収集(仏)等を計画している。
- 燃料製造関連
  - 振動充填燃料の工学規模の製造実績に関する技術情報の購入(英)等を計画している。

JNC

資金計画

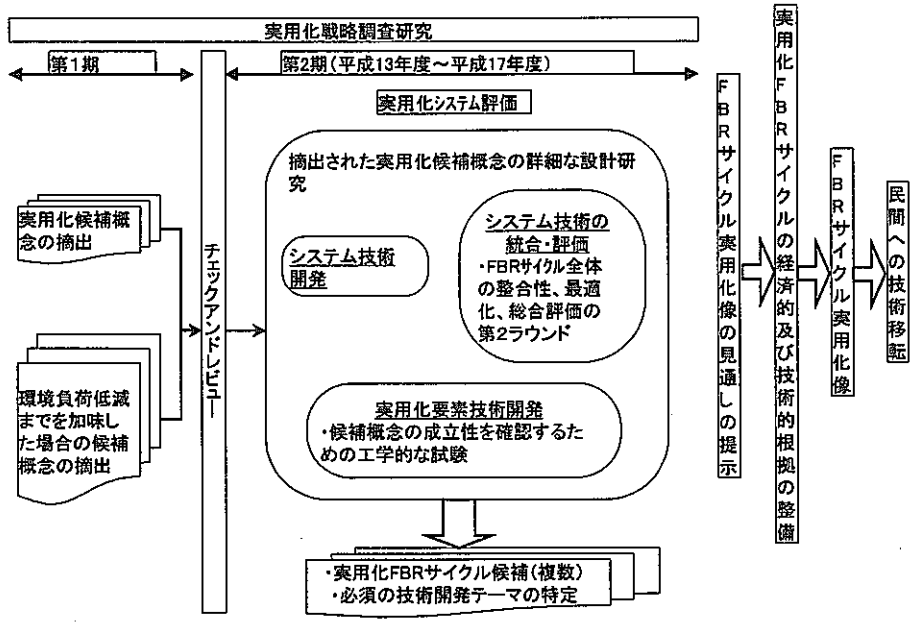
- 2年間で総額約50億円の資金を予定している。

JNC

利用する施設・設備

- 高速炉システム技術開発
  - プラント技術評価:「もんじゅ」の設計、建設、試運転経験を活用
- 再処理要素技術開発
  - 簡素化PUREX法の開発:東海事業所のA、B棟
  - 乾式再処理電気化学法の開発:同A棟、第1応用試験棟(EDF-1)、第2応用試験棟(EDF-2)及び実規模開発試験室(EDF-3)
  - 東海事業所高レベル放射性物質研究施設(CPF)では、溶融塩電解法によるプルトニウム試験の準備を進める。
- 燃料製造要素技術開発
  - 振動充填燃料製造技術の開発:東海事業所のプルトニウム燃料第1開発室
  - TRU(アメリシウム)燃料の製造:大洗工学センターの照射燃料試験施設(AGF)
  - 燃料ペレット製造技術の改良簡素化:東海事業所プルトニウム燃料第1開発室及びプルトニウム転換技術開発施設

JNC



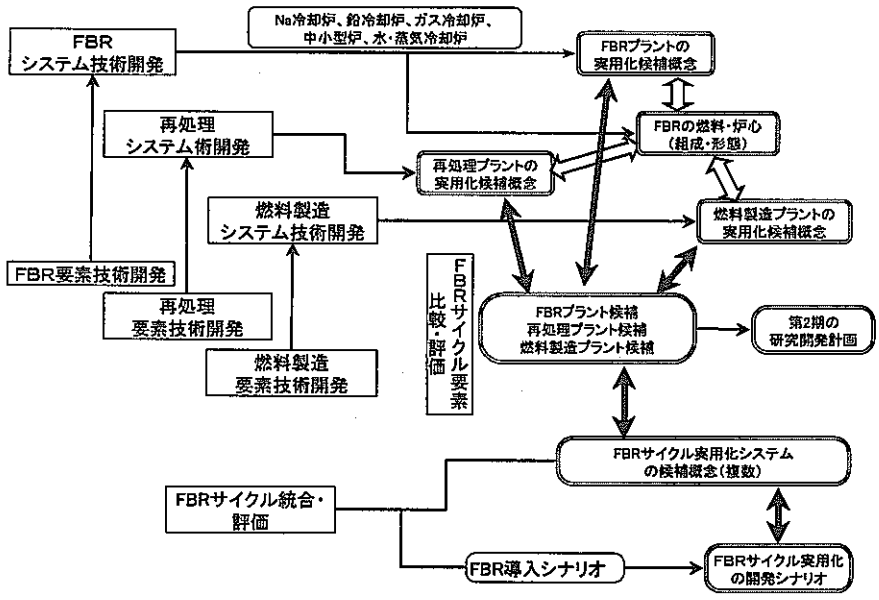
第2期以降の計画

JNC

その後の進め方

- 第2期
  - 第1期で選択された有望な実用化候補技術について、候補概念の成立性を確認するための工学的な試験を行い、およそ5年間でサイクル全体としての整合性、最適化及び実用化を念頭に設計研究として集約し総合的な評価を行う。同時にこれらの研究開発作業を通して、競争力のある技術にとって必須の技術課題の絞り込みを行い実用化までの研究開発シナリオをレビューする計画である。
  - 第2期の計画は第1期の成果のチェックアンドレビューを受けた後確定されるが、研究開発の3つの階層は基本的に引き継がれると考えられる。

JNC



業務成果の統合プロセス

JNC

業務成果の集約と統合

- 業務構成の項目間の相互関係を考慮しながら目標に向かって成果を集約する
- 「実用化要素技術開発」におけるFBR、再処理及び燃料製造の各分野の成果は「システム技術開発」のそれぞれ対応する分野に反映される。
- これらの成果は「システム技術統合・評価」において、燃料・炉心を軸としてサイクルとしての技術の整合性及び最適化の観点から各種の評価指標について検討し、FBRサイクル全体としての経済性評価及び実用化シナリオへの適合性を図り、FBRサイクル実用化システムの候補概念を研究開発課題とともに複数例提案する。

JNC

期待される成果及び反映

- 第1期における期待される成果
  - 幅広い技術選択肢を検討し、革新的技術を含めて技術の幅を広げることにより魅力のあるプラント概念が成立する可能性が高まり、実用化が期待できる候補概念が抽出される。
  - 実用化候補概念の研究開発課題が特定され、研究開発費用の比較評価も可能となるため、研究開発費を含めた実用化の見通しの判断を総合的に下すことが可能となる。
  - 第1期の成果に基づき、FBRサイクルの研究開発の戦略的展開をより明確なものとすることができ、「常陽」、「もんじゅ」、東海事業所の施設等サイクル機構の研究開発資源並びに海外の機関の活用のあるべき姿がより鮮明になることが期待される。
  - 第2期の成果と合わせて、21世紀における原子力エネルギーの開発、利用のシナリオが明らかになり、資源の有効利用、TRU燃焼及び長半減期FP消滅の具体的方策が提案される。

JNC

成果に対する情報公開の考え方

- 実用化戦略調査研究の成果は、日本及び世界の将来のエネルギー源の選択に係るものであるから、得られた成果について国内外の有識者の公正な評価を受けることが必要と認識している。また、成果は研究報告書として取りまとめ、サイクル機構の情報公開指針に基づき公開する。
- 公開に際しては、技術開発の目標や成果、安全確保の考え方等について、一般に分かりやすい形で情報を提供する。

JNC

その他特記すべき事項

- 第2期の実用化戦略調査研究
  - 第1期の終了後には、研究開発の成果及びその後の第2期（約5年間を予定している）の計画について研究開発課題評価委員会の評価を受け、必要な見直しを行って、研究開発を進める。
- 技術評価
  - 実用化戦略調査研究は広く国内外の関係機関に門戸を開いて実施するものであるが、技術的コンセンサスを得ながら進めていくことが重要であり、技術的成果について、研究開発課題評価委員会での評価のほか、実施に携わる機関以外の有識者も含めた評価を適宜受けながら進めていくものとする。

JNC