

第Ⅱ部 2015年頃までの研究開発計画と それ以降の課題





第Ⅱ部 目次

第1章 今後の高速増殖炉サイクルに関する研究開発の進め方

- (1) 高速増殖炉サイクルの実用化に向けた研究開発の基本方針
- (2) 高速増殖炉サイクル技術の段階的研究開発
- (3) 今後の研究開発目標

第2章 技術体系の整備に向けた2015年頃までの研究開発計画

- (1) 高速増殖炉サイクルの技術体系整備
- (2) 効率的な研究開発体制
- (3) 高速増殖炉システム
- (4) 燃料サイクルシステム
- (5) 高速増殖炉サイクルへの移行に関する検討
- (6) 2015年頃までの研究開発の留意事項
- (7) まとめ

第3章 2015年頃以降の進め方に関する課題

- (1) 2015年頃以降の高速増殖炉サイクルの段階的研究開発
- (2) 研究開発方策に関するケーススタディ
- (3) 課題の整理
- (4) まとめ



第Ⅱ部 第1章

今後の高速増殖炉サイクルに関する研究開発の進め方



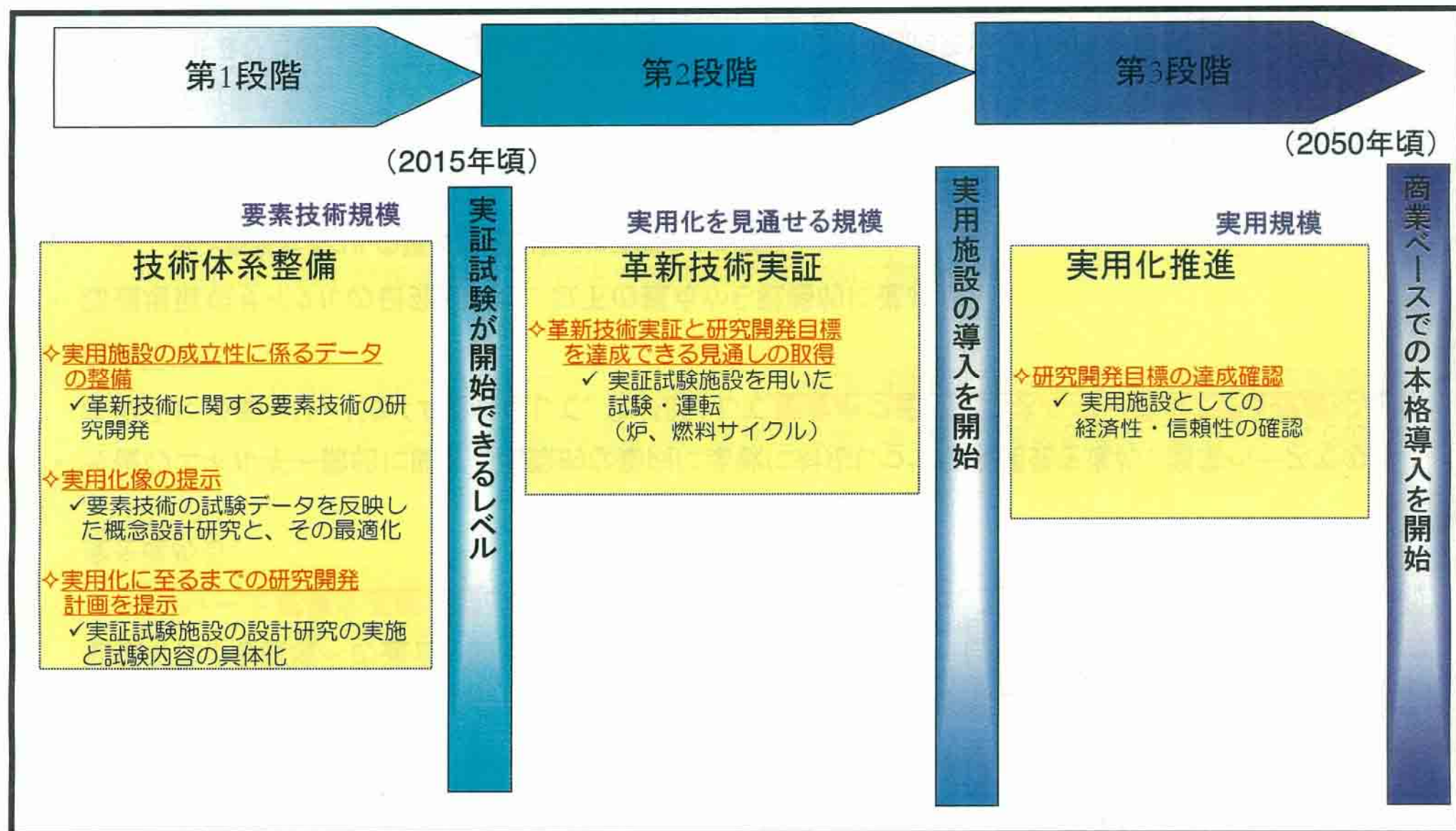
1. (1) 高速増殖炉サイクルの実用化に向けた研究開発の基本方針

高速増殖炉サイクルは、原子力の特徴を生かしたCO₂削減による地球温暖化防止に加え、放射性廃棄物低減等による環境への適合を図りながら将来の我が国のエネルギー自給率を大幅に高めるエネルギーセキュリティ上重要な基幹電源となる最も有望な技術との認識のもと、下記の基本方針に基づいて研究開発を進める。

- 今後のエネルギー需給に関する国際的な動向に柔軟に対応しつつ研究開発を進め、商業ベースでの本格導入に必要なリードタイムを考慮して、我が国として安全かつ安定にエネルギー供給できる技術の確立を目指す。
- 高速増殖炉サイクルの研究開発は、以下の観点から戦略的に進める。
 - 炉と燃料サイクルの研究開発を密接に連携させて推進
 - 高速増殖炉サイクルの導入については、軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの合理的な移行を目指す
 - 研究資源の有効活用を図る観点から、資金の適切な重点配分、定期的なチェック&レビュー等、効率的な研究開発計画を策定
 - GIF及び二国間協力等の国際協力を最大限活用し、我が国で研究開発を進めていく概念を国際標準とすることを旨とする。



1. (2) 高速増殖炉サイクル技術の段階的研究開発(1/2)





1. (2) 高速増殖炉サイクル技術の段階的研究開発(2/2)

- 高速増殖炉サイクルの商業ベースでの本格導入に向けて、多くの革新技術を含んだ中・大型の商用施設の建設・運転に直ちに進むことはリスクが大きいと、以下のように段階的に研究開発を行う。

一 第1段階…技術体系の整備

要素技術規模で

- 革新技術に関する要素研究の実施により、実用施設の成立性に係るデータを整備
- 要素研究のデータを基に実用化像を提示(実用施設の概念を明確化)するために、設計研究を実施して実用施設の技術仕様を提示
- 第2段階の試験施設の設計及び試験内容を具体化することにより、実用化に至るまでの研究開発計画を提示

一 第2段階…革新技術の実証

体系整備した技術を基に、実用化を見通せる規模で

- 革新技術の実証と研究開発目標達成の見通しの取得

一 第3段階…実用化推進

高速増殖炉サイクル全体を対象に、実用規模で

- 研究開発目標の達成を確認

- 研究開発は、各段階の成果を評価した上で次の段階へ進め、更に各段階の途中にも適切に中間評価を行い、進捗と方向性の確認を行う。
- 高速増殖炉サイクルは、高速増殖炉及び燃料サイクルの技術が揃って初めて機能するシステムであるため、第3段階までに各技術の達成レベルの整合性が取れるよう研究開発を推進する。



1. (3) 今後の研究開発目標(1/2)

2015年頃の技術体系整備に向けた目標

安全性

- 社会の既存リスクに比べて小さいこと

経済性

- 将来の国際標準軽水炉の発電単価に比肩すること

環境負荷低減性

- 放射性廃棄物による負荷を低減すること
 - －TRU(超ウラン元素)の燃焼による地層処分への負荷軽減
 - －運転保守および廃止措置に伴う廃棄物発生量の低減

資源有効利用性

- 持続的な核燃料を生産するとともに、多様なニーズへ対応できること

核拡散抵抗性

- 核物質防護および保障措置への負荷軽減

基礎的に研究開発を進めるべき環境負荷低減の目標

- LLFP(長寿命核分裂生成物)の分離変換による地層処分への負荷軽減

- フェーズⅢ以降の研究開発計画策定に向け、研究開発目標の見直しの要否について検討した結果、基本的にフェーズⅡで設定した研究開発目標と一貫性のある目標を設定し、2015年頃までに研究開発目標を満足する技術を準備することとした。
- LLFP(長寿命核分裂生成物)の分離変換については、課題が多く研究開発に長期間を要すると考えられるため、基礎的に研究開発を進めるべき目標とした。
- 研究開発目標については、今後も定期的に見直しを行う。



1. (3) 今後の研究開発目標(2/2) -設計要求への展開(検討中)-

研究開発目標	高速増殖炉の設計要求	燃料サイクルの設計要求
安全性	<ul style="list-style-type: none"> ● 炉心損傷の発生頻度 10^{-6}/炉・年未満 ● 炉心損傷に至る代表事象に対する受動安全性の強化 あるいは事故管理方策の具体化 ● 仮想的な炉心損傷時の再臨界発生を回避し、その影響を原子炉容器あるいは格納施設内で確実に終息 	<ul style="list-style-type: none"> ● 同時代の軽水炉燃料サイクルシステムと同等以上 (異常の発生要因を極力排除、異常の拡大防止等) ● 施設内での放射性物質の大規模放出事象の発生頻度を 10^{-6}/プラント・年未満に抑制し、その事象を想定しても、施設の閉じ込め能力を確保して、影響を周辺環境に及ぼさない設計
経済性	<ul style="list-style-type: none"> ● 建設費: 20万円/kWe * ● 燃料費: 炉心燃料の平均燃焼度 15万MWd/t * ● 運転費: 連続運転期間 18カ月以上 *、稼働率 90%以上 * 	<ul style="list-style-type: none"> ● 処分費等を含む燃料サイクル費は1.1円/kWh * ● 再処理・燃料製造費としては 0.8円/kWh *
環境負荷低減性	<ul style="list-style-type: none"> ● 低除染TRU燃料 (MA含有率 5% 程度) を燃焼できること 	<ul style="list-style-type: none"> ● 発電量あたりの放射性廃棄物の発生量が軽水炉燃料サイクル施設と同等以下 ● UおよびTRUの廃棄物への移行率 0.1%以下
資源有効利用性	<ul style="list-style-type: none"> ● 増殖比: 低除染TRU燃料で、増殖比1.1以上を達成できること (60年程度で軽水炉から高速増殖炉に移行できること) ● 増殖ニーズに柔軟に対応できること ● 高温熱源による多目的利用 	<ul style="list-style-type: none"> ● UおよびTRU回収率99%以上
核拡散抵抗性	<ul style="list-style-type: none"> ● 低除染TRU燃料による高線量化で接近性を制限 	<ul style="list-style-type: none"> ● 核物質防護、保障措置への対応を考慮した設計として、プルトニウムが単体の状態で存在しないこと ● 低除染TRU燃料による高線量化で接近性の制限

* : 国際標準となる具体的な目標を設定予定

➤ LLFPの分離変換に関する設計要求

● 放射性廃棄物発生量が軽水炉燃料サイクルの発生量の1/10に削減する(単位発電量当たり)

✓ 我が国における軽水炉から高速増殖炉への円滑な移行を図るため、増殖比1.1以上を要求するとともに、将来の国際的なエネルギー需給の不確実さを考慮して増殖比の柔軟性も要求した。また、環境負荷低減に関する高い目標を達成するため、UおよびTRUの廃棄物への移行率0.1%以下を設計要求とした。



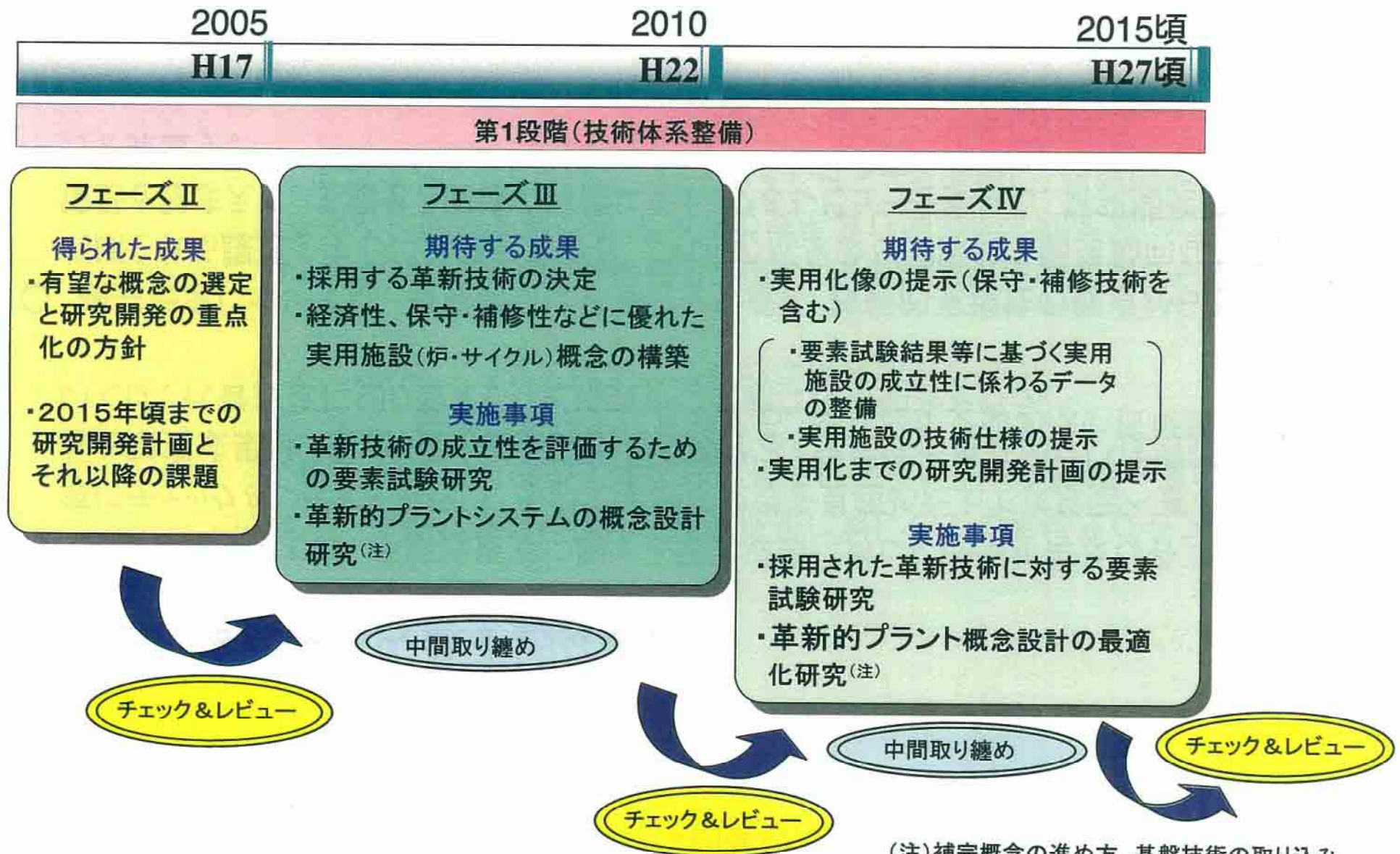
第Ⅱ部 第2章

技術体系の整備に向けた2015年頃までの研究開発計画



2. (1) 高速増殖炉サイクルの技術体系整備(1/3)

－わが国としての今後の研究開発の展開－



(注)補完概念の進め方、基盤技術の取り込みの要否についても検討を実施。



2. (1) 高速増殖炉サイクルの技術体系整備(2/3)

- 主概念、補完概念の基本的進め方 -

主概念、補完概念の基本的な進め方

- 主概念については、革新技術等に関する研究成果に対して2～3年毎及び各フェーズ毎にチェック&レビューを行い、その工学的成立性を見極めた上で次段階へ進む。得られた研究成果は、逐次、概念設計研究に反映する。成立性が見込めない技術課題については、代替技術に切り替えるなど確実かつ柔軟な技術開発を行う。
- 補完概念については、研究開発は効率性を考慮し、技術的実現性の観点から重要と判断される課題を中心に開発を進める。これらの成果及び国際的な開発動向などの諸情勢を踏まえて、主概念と同様の時期にチェック&レビューを実施し、研究開発の進め方を見直す。



2.(1) 高速増殖炉サイクルの技術体系整備 (3/3)

(高速増殖炉システム)

- 実用炉のプラント全体の概念設計研究及びその最適化を行い、その技術仕様を明確にする。なお、「もんじゅ」の運転を通じ、炉心及びプラント設計技術の検証、施設の運転・保守を通じたナトリウム取扱技術の確立を図り、設計研究に反映する。
- 実用炉に採用する革新技术等の研究開発や、被覆管材料やピンレベルでの燃料照射(TRU燃料、高燃焼度等)を実施し、実用炉の成立性に係るデータを整備する。
- 実用炉に必要な技術を実証するための実証試験施設の設計研究を行うとともに、試験内容を具体化し、実用化に至るまでの研究開発計画を提示する。

(燃料サイクルシステム)

- 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの合理的な移行を考慮した実用サイクル施設の設計研究を実施し、その技術仕様を明確にする。
- 実用化に必要な革新的な要素技術に関するプロセス試験及び機器開発を実施し、成立性に係るデータを整備する。
- 実用サイクル施設に必要な技術の実証試験施設の設計研究を行うとともに、試験内容を具体化し、実用化に至るまでの研究開発計画を提示する。



2. (2) 効率的な研究開発体制 (1/2)

○高速増殖炉サイクルの実用化に向けて国内各機関の特長を活かした協力体制の下で、国際協力を活用しつつ、効率的な研究開発を実施。

○ 国内関係機関の知見などの集約・共有化による効率的な推進。

- ・ 国; 研究成果や研究開発計画について定期的な評価を行い、研究開発を着実に進める。
- ・ 原子力機構; 研究開発の中核となって、プロジェクトの司令塔としての役割を果たす。また、関係機関の知見などを統合するとともに、設計研究を実施し、成果のとりまとめを行う。自ら有する「常陽」、「もんじゅ」、ホット試験施設を活用して研究開発を実施する。
- ・ 産業界; プラントの設計・建設技術を有するメーカによる設計研究や革新的技術研究開発の実施。電気事業者が有する軽水炉経験や実証炉研究開発知見の反映。
- ・ 研究機関、大学; プラントの性能向上に資する革新的なアイデアの提案。特に大学には人材育成も期待。



2. (2) 効率的な研究開発体制 (2/2)

○ 国際協力による研究開発の推進。

- ・ 国際標準になりうる概念の構築を目指すとともに、研究開発上のリスクの低減や革新技術などの実現性をより確かなものとしていくため、国際共同研究開発や研究開発分担などを積極的に進める。
- ・ 核拡散抵抗性を担保する技術などの研究開発を進め、国際的にそれらの成果を提示し普及させることにより、高速増殖炉サイクル技術の定着を図る。
- ・ 高速増殖炉システム技術については多国間協力 (GIF など) の活用を基本とする。
 - ・ ただし、機微情報を含む分野、基礎的で新規性を含む分野などについては、二国間・三国間に限定した枠組みの中で研究協力を行う。
- ・ 燃料サイクルシステム技術については機微情報を扱う分野であることなどから、主に二国間・三国間に限定した枠組み (日米仏 3 国協力など) の中で研究協力を行う。

(高速増殖炉サイクルの研究開発に関する海外の動向については参考－Ⅱ－1 (OHP149) 参照)



2.(3) 高速増殖炉システム

(a) 主概念(ナトリウム冷却炉) (1/7)

■ 研究開発目的

- 実用炉の技術仕様の提示
- 実用炉の成立性に係るデータ整備
- 実用化までの研究開発計画の提示

(2010年まで)

- 実用炉概念の成立性の評価
- 採用する革新技術の決定と代替技術への切替必要性の判断
- 基盤研究成果の取り込み要否の判断

(2015年頃まで)

- 要素技術の研究開発成果を設計研究へ反映し、実用炉の技術仕様の提示
- プラントの成立性に関わる試験データの整備
- 実証試験施設の概念と実用化までの研究開発計画の提示



2.(3) 高速増殖炉システム

(a) 主概念(ナトリウム冷却炉) (2/7)

■ フェーズⅢ以降の技術課題

(1)プラントシステム

項 目	フェーズⅢ以降の技術課題
炉心損傷時の再臨界回避	<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料集合体内部にダクトを配置した新型燃料集合体による熔融燃料の早期流出 ・ 損傷炉心の原子炉容器内安定冷却
切込型炉上部機構(原子炉容器コンパクト化)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 炉上部機構の耐熱設計 ・ 炉内構造物の熱過渡設計 ・ 原子炉容器上部プレナム内熱流動設計
ポンプ組込型中間熱交換器	<ul style="list-style-type: none"> ・ 振動抑制対策および寿命中の伝熱管摩耗量の評価 ・ 入口プレナムの流動設計
2ループ化:大口径高流速配管	<ul style="list-style-type: none"> ・ エルボ部の流力振動の評価 ・ 高速流動場における配管の寿命期間中の健全性確保
高信頼性蒸気発生器	<ul style="list-style-type: none"> ・ 長尺二重伝熱管の製作性 ・ 大型球形管板の成立性と製作性 ・ ナトリウム側の熱流動設計 ・ 二重伝熱管の水リーク挙動の把握
新型燃料取扱設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 切込型炉上部機構と整合する新型燃料取扱設備の成立性 ・ 大型燃料集合体の耐衝撃健全性の確保
高クロム鋼採用による配管短縮	<ul style="list-style-type: none"> ・ クリープ疲労強度と長時間延性・靱性を向上させた材料開発と、その試験データの取得 ・ 溶接施工性の確認 ・ 材料強度基準(案)の策定
高温構造設計方針	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高温構造設計方針(案)の策定
ナトリウム中検査・補修技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ ナトリウム中目視センサ、ナトリウム中構造物体積検査機器の研究開発 ・ 二重伝熱管検査機器の研究開発
「もんじゅ」の発電プラントとしての信頼性実証／ナトリウム取扱技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設計手法の妥当性確認 ・ 発電プラントとしての信頼性の実証 ・ ナトリウム取扱い技術の確立

注)具体的な技術課題については参考－Ⅱ－2 (OHP150～151)参照



2.(3) 高速増殖炉システム

(a) 主概念(ナトリウム冷却炉) (3/7)

■ フェーズⅢ以降の技術課題

(2) 炉心燃料

項 目	フェーズⅢ以降の技術課題
高燃焼度燃料・材料研究開発	・ ODS被覆管燃料ピンの被覆管最高温度700℃、ピーク燃焼度25万MWd/t(ピーク照射量250dpa)での性能評価、健全性確認
低除染TRU酸化物燃料の研究開発	・ 5%MA含有率の燃料の物性・照射挙動評価 ・ 低除染TRU燃料の25万MWd/t(実用化目標)までの健全性確認・性能評価 ・ ショートプロセス中空ペレット燃料ピンの性能評価
再臨界回避集合体の研究開発	・ 内部ダクト付集合体の詳細構造決定と製作性 ・ 流動試験等による耐久性 ・ 照射健全性

注) 具体的な技術課題については参考－Ⅱ－2 (OHP150～151)参照



2.(3) 高速増殖炉システム

(a) 主概念(ナトリウム冷却炉) (4/7)

研究開発計画(プラントシステム)

ナトリウム冷却炉

	2005	2010	2015		判断のポイント	代替技術
設計研究	実用炉の概念構築	概念設計研究	概念最適化		—	—
	実証試験施設の概念構築	実証方策の検討	実証設計研究		—	—
技術開発	①配管短縮のための高クロム鋼の開発	設計用データ取得(強度、溶接性等)	長時間評価データ取得/交換補修法整備	1 2	1. クリープ疲労強度、長時間延性・靱性、溶接施工性の確認 2. 長時間データの成立見通し	改良9Cr鋼
	②システム簡素化のための冷却系2ループ化	流力振動試験(水)	Na中エロージョン試験(エルボ等配管要素試験/浸食発生条件試験)	3 4 5	3. 流力振動問題の成立性確認 4. 高速流配管の耐エロージョン性の成立見通し 5. 高速流配管の耐エロージョン性成立性の確認	ループ数増加
	③1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発	振動・伝熱管の磨耗量確認試験	入口プレナム流動試験	6 7	6. 振動抑制対策及び寿命中の伝熱管磨耗量の確認 7. 同機器の流動成立性の確認	従来型(分離配置)
	④原子炉容器のコンパクト化	切り欠き型による熱衝撃評価試験(水、Na) 基準要素技術開発(非弾性解析等)	設計方針策定/適用性確認試験	8 9 10	8. 実機熱流動条件での材料・構造の健全性確認 9. モデル試験と高温構造設計方針との整合見通し 10. 高温構造設計方針の策定と設計の整合性確認	原子炉容器拡大
	⑤システム簡素化のための燃料取扱系の開発	除熱性能、交換機性能確認 ガス中落下試験	出入機、EVST内移送機性能確認	11 12	11. 大型燃料集合体の落下試験による健全性確認 12. 燃料交換設備の操作性や冷却設備の有効性確認	従来型
	⑥物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化	SC造の技術開発	基準整備	13 14	13. SC造格納容器成立性の見通し 14. 設計基準との整合性確認	RC造
	⑦高燃焼度化に対応した燃料被覆管の開発		照射試験・照射後試験	15 16	15. 実用燃料への適用性見通し 16. 設計基準整備	既存材料(低温化)
	⑧配管2重化によるナトリウム漏洩対策強化		漏洩検出器開発 2重配管検査・補修技術開発	17 18	17. 漏洩検出器成立性見通し 18. 2重配管の保守	従来型
	⑨直管2重伝熱管蒸気発生器の開発	実機長の二重伝熱管及び球形管板の製作、流動試験 「常備」を用いた伝熱流動試験(〜60本規模)		19 20	19. 2重伝熱管の製作性や大型球形管板の成立見通し 20. 総合的な機能確認による成立性の確認	ヘリカルコイル型SG
	⑩保守、補修性を考慮したプラント設計	革新的検査装置の開発(Na中目視試験装置、Na中体積試験装置)		21 22	21. 目視センサー、体積検査機器の実用性見通し 22. 同機器の分解能、処理能力と実機への適合性確認	従来型
	⑪受動的炉停止と自然循環による炉心冷却	受動的炉停止装置 要素照射(常備) 自然循環水流動・Na流動試験 「もんじゅ」自然循環試験	受動的炉停止装置開発	23 24	23. 受動的炉停止装置の機能確認 24. 自然循環による炉心冷却システムの成立性確認	—
	⑫炉心損傷時の再臨界回避技術	S-FAIDUS有効性確認 炉内・炉外試験 デブリの安定冷却 炉内・炉外試験		25 26 27	25. S-FAIDUSの溶融燃料排出能力の実証 26. 炉心損傷影響を炉内終息できる概略見通し 27. 炉心損傷影響を炉内終息できることの実証	—
	⑬建屋の3次元免震技術	要素試験・特性試験	技術確認試験	28 29	28. 技術成立性の見通し 29. 設計基準整備	水平免震
	発電プラントとしての信頼性実証/ナトリウム取扱技術の確立		「もんじゅ」の運転経験	30 31	30. 設計手法の妥当性検証 31. 発電プラントとしての信頼性実証(稼働率60〜70%)Na取扱技術の確立	—

▼ 革新技術の採否判断

◆ 各課題の主要なチェックポイント



2.(3) 高速増殖炉システム

(a) 主概念(ナトリウム冷却炉) (5/7)

研究開発計画(炉心燃料)

主概念・MOX燃料	2005	2010	2015	判断のポイント	代替技術
高燃焼度燃料・材料研究開発					被覆管材料: PNC-FMS鋼
低除染TRU酸化物燃料の照射健全性					—
再臨界回避集合体研究開発					—

注) LLFP変換技術開発については、LLFPの変換性能、技術的実現性、経済合理性等を評価すると共に、I、Tcなどのターゲット化合物の照射試験を行い、2015年頃までにはその後の進め方を判断する。

(※) 燃焼度、照射量はピーク値。取出平均燃焼度: 15万MWd/tは、25万MWd/t, 250dpaのピーク値と対応する。

革新技術の採否判断

各課題の主要なチェックポイント



2.(3) 高速増殖炉システム

(a) 主概念(ナトリウム冷却炉) (6/7)

期待する成果(プラントシステム)

(2010年の成果)

- 設計研究では、革新技術の研究開発成果を反映してプラント全体の概念設計研究を行い、実用炉概念を構築
- 要素技術研究開発では、実用炉に必要な革新技術について研究開発を進め、採用する革新技術の採否や代替技術への切り替えの判断
 - 高クロム鋼、二重管蒸気発生器、ポンプ組込型中間熱交換器、2ループ化など
- プラント技術実証/ナトリウム取扱技術確立では、約3年間の「もんじゅ」の運転経験により、高速増殖炉の炉心設計及びプラント設計技術の妥当性を検証

(2015年頃の成果)

- 設計研究では、要素技術の研究開発成果を取り入れて実用炉のシステム設計概念の最適化
- 要素技術の研究開発では、実用炉に必要な全ての革新技術の研究開発を完了し、その成立性を確立
 - 高燃焼度被覆管、高クロム鋼材料、再臨界回避集合体、大口径・高流速配管、ポンプ組込型中間熱交換器、二重管型蒸気発生器、コンパクト型原子炉容器、等
- 実証試験施設の設計研究と試験内容を具体化し、実用化までの研究開発計画を提示
- 約8年間の「もんじゅ」の運転・保守経験により、プラント信頼性の実証、ナトリウム取扱技術を確立



2.(3) 高速増殖炉システム

(a) 主概念(ナトリウム冷却炉) (7/7)

期待する成果(炉心燃料)

(2010年までの成果)

- 高燃焼度燃料・材料の研究開発
 - －ODS被覆管燃料ピンの15万MWd/t、90dpa(実用化目標の40-60%)までの健全性確認・性能評価
- 低除染TRU酸化物燃料の研究開発
 - －TRU酸化物燃料ピンの10万MWd/t(実用化目標の40%)までの健全性確認・性能評価
 - －ショートプロセス中空燃料ピンの5万MWd/tまでの健全性確認
- 再臨界回避集合体の研究開発
 - －炉外試験による再臨界回避集合体の成立性見通し

(2015年頃までの成果)

- 高燃焼度燃料・材料の研究開発
 - －ODS被覆管燃料ピンの実用化目標(250dpa,25万MWd/t相当)までの健全性確認・性能評価
 - －ODS燃料バンドルの15万MWd/t程度までの健全性確認および25万MWd/tまでの健全性外挿評価
- 低除染TRU酸化物燃料の研究開発
 - －低除染TRU酸化物燃料・ショートプロセス中空燃料ピンの実用化目標(25万MWd/t)までの健全性確認・性能評価
- 再臨界回避集合体の研究開発
 - －再臨界回避集合体の7万MWd/t程度までの健全性確認および25万MWd/tまでの健全性外挿評価



2.(3) 高速増殖炉システム

(b) 補完概念 (1/3)

■ 研究開発目的

- 金属燃料

(2010年まで)

MA含有燃料の照射初期の燃料健全性の判断を行う。

(2015年頃まで)

2015年以降の研究開発の進め方を判断できるよう、TRU 燃料の研究開発(照射試験と過渡試験)、再臨界回避方策の有効性確認を実施する。

- ガス冷却炉

(2010年まで)

2010年以降の研究開発の進め方を判断できるようにするため、概念の成立性に関わる革新的な炉心燃料の成立性の判断を行う。



2.(3) 高速増殖炉システム (b) 補完概念 (2/3)

■ フェーズⅢ以降の技術課題

項 目		フェーズⅢ以降の技術課題
金属燃料	燃料開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 照射健全性 <ul style="list-style-type: none"> － 照射初期における被覆管温度650℃の成立性 － 高燃焼度における被覆管内面腐食の評価 ・ 過渡試験による燃料健全性の確認
	炉心損傷時の再臨界回避	<ul style="list-style-type: none"> ・ 再臨界回避方策の有効性の確認
ガス冷却炉	炉心燃料概念	<ul style="list-style-type: none"> ・ 革新的な炉心燃料概念の構築、燃料照射試験を含む研究開発の進め方の立案

注) 具体的な技術課題については参考－Ⅱ－3 (OHP152)参照

補完概念・金属燃料	2005	2010	2015	判断のポイント	代替技術
燃料開発(照射試験)		◆ 金属燃料ピン照射試験(「常陽」, ~20 at.%)	▽ 2	◆ 被覆管温度650℃での液相形成回避確認 ◆ 被覆管温度650℃での内面腐食量評価 ◆ MA含有金属燃料の照射健全性見通し	被覆管材料: PNC-FMS鋼
		◆ 金属燃料ピン照射試験(Phoenix, ~6 at.%)			
燃料開発(過渡試験)			▽ 4	◆ 高燃焼度までの過渡時燃料ピン健全性評価	—
		炉外過渡試験(LOF、国産被覆材)	▽ 4		
炉心損傷時の再臨界回避方策			▽ 5	◆ 再臨界回避方策の有効性確認 炉内・炉外試験	—
			▽ 5		
補完概念・ガス冷却炉	2005	2010	2015	判断のポイント	代替技術
ガス冷却炉(GIFでの協力)		▽ 6		◆ 革新的な炉心燃料概念の成立見通し	—
		炉心燃料等の設計研究	▽ 6		

▽ その後の進め方の判断 ◆ 各課題の主要なチェックポイント



2.(3) 高速増殖炉システム

(b) 補完概念 (3/3)

期待する成果

補完概念(金属燃料)

(2010年までの成果)

燃料開発

- 照射健全性
 - 照射初期における被覆管温度650℃の成立性見通し
 - MA含有金属燃料の照射健全性見通し

(2015年頃までの成果)

燃料開発

- 照射健全性
 - 高燃焼度までの被覆管温度650℃の成立性見通し
- 過渡試験による燃料健全性
 - 過渡時の健全性見通し

炉心損傷時の再臨界回避

- 炉心損傷時の再臨界回避方策の有効性を試験及び解析によって確認

補完概念(ガス冷却炉)

(2010年までの成果)

- 概念成立性に関わる革新的な炉心燃料概念(SiC母材に被覆粒子窒化物燃料を埋め込んだ六角ブロック型燃料)の成立性見通しと、同燃料の照射試験を含めた研究開発計画



2.(4) 燃料サイクルシステム

(a) 主概念(先進湿式法+簡素化ペレット法)(1/4)

■ 研究開発目的

- ・実用サイクル施設の技術仕様の提示
- ・実用サイクル施設の成立性に係るデータ整備
- ・実用化までの研究開発計画の提示

(2010年まで)

- ・軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの合理的な移行を考慮した、実用サイクル施設概念の構築
- ・主要工程の技術的成立性の確認と実用機器概念の提示
- ・基盤研究成果(超臨界直接抽出法等)の取り込みの要否の判断

(2015年頃まで)

- ・要素技術開発成果等を設計研究に反映し、実用サイクル施設の技術仕様の提示
- ・革新技術等の成立性に関するデータの整備
- ・実証試験施設の概念と実用化までの研究開発計画の提示



2.(4) 燃料サイクルシステムー主概念

(a) 主概念(先進湿式法+簡素化ペレット法)(2/4)

■ フェーズⅢ以降の技術課題

		項目	フェーズⅢ以降の技術課題
先進湿式法	プロセス開発	解体・せん断	・高濃度で効率的な溶解に最適なせん断条件(短尺せん断など)の設定
		溶解	・前後の工程と整合した溶解速度の確認
		晶析	・操業条件の最適化、U回収率のスケールアップの影響等の確認
		共除染・逆抽出	・共除染・逆抽出データの拡充、除染性能のスケールアップの影響等の確認
		MA回収	・抽出クロマトグラフィによるMA回収の原理確認およびMA回収率達成の確認、分離性能のスケールアップの影響等の確認
	機器開発	解体・せん断	・これまでの要素技術開発を踏まえて、機械式の一体型解体・せん断機の開発
		溶解	・遠隔保守補修が可能であり、十分な溶解速度を達成可能な溶解装置の開発
		晶析	・遠隔保守補修が可能であり、十分なウラン回収率や処理速度を達成可能な晶析装置の開発
		共除染・逆抽出	・遠心抽出器の遠隔保守補修性、除染性能、耐久性など機器性能確認
		MA回収	・遠隔保守補修が可能であり、必要な分離回収性能を発揮できる抽出クロマトグラフィ装置の開発
簡素化ペレット法	プロセス開発	脱硝・転換・造粒	・原料粉末調整プロセス条件の最適化
		成型	・上記プロセス条件で製造した原料粉末を用いたダイ潤滑成型プロセスの成立性確認
		焼結	・焼結性やO/M調整条件の再現性確認、低除染MA含有簡素化ペレットの製造性確認
	機器開発	脱硝・転換・造粒	・実用化が見通せる規模の機器により、遠隔保守補修、量産性等を確認
		成型	
		焼結	

注) 具体的な技術課題については参考－Ⅱ－4 (OHP153)参照



2.(4) 燃料サイクルシステム

(a) 主概念(先進湿式法+簡素化ペレット法)(3/4)

研究開発計画

項目		目的	2010	2015	評価・判断のポイント	代替技術
主概念	設計研究	・実用サイクル施設の概念構築 ・技術の総合実証 〔実証試験: ～10kg/h＝50t/y相当〕	概念設計研究	最適化設計研究 実用化プラントの仕様 および目標性能 ↓ 計画案の提示	— —	—
	プロセス開発	・操作条件最適化のための 小規模ホット試験（CPF） ・スケールアップの影響等 確認のための 概要プロセス試験 〔小規模ホット試験の 10～100倍程度の規模: ～1kg/h＝5t/y相当〕	② ① ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ 			

注) LLFP分離技術開発は当面基礎基盤の位置づけとして、環境負荷低減性に寄与するFP核種の分離技術、分離スキームの調査・検討を進め、2015年頃までには技術的実現性の見通し、経済合理性等を評価してその後の進め方を判断する。

コールド試験
 ホット試験
 ウラン試験
 MOX試験

革新技術の採否の判断
 各課題の主要なチェックポイント



2.(4) 燃料サイクルシステム

(a) 主概念(先進湿式法＋簡素化ペレット法)(4/4)

■ 期待する成果

(2010年までの成果)

- プロセス及び機器開発成果に基づく実用サイクル施設概念を構築する。
 - － 高速増殖炉導入時期への適合性
 - － 高速増殖炉再処理技術の軽水炉再処理技術への適用性評価
- 使用済燃料などを用いた小規模ホット試験や小規模MOX試験により、最適なプロセス条件を決定する。
 - － 溶解、晶析、抽出等の各再処理工程の小規模ホット試験
 - － MAおよび模擬FPを含む簡素化ペレット製造試験
- 遠隔保守補修性を考慮した実用機器概念の提示
 - － 溶解、晶析、成型装置等の機器設計(試作試験を含む)

(2015年頃までの成果)

- 実用燃料サイクル施設概念を最適化し、技術仕様を提示する。
 - － 再処理－燃料製造一体化施設概念の明確化
- 実用化に必要な革新技术に関するプロセス開発(枢要プロセス試験)及び機器開発により技術成立性にかかわるデータを整備
 - － 使用済燃料を用い、晶析、共除染逆抽出、MA回収などの枢要プロセス試験
 - － 一体型解体・せん断機, 高性能遠心抽出器, マイクロ波脱硝転換造粒装置, ダイ潤滑型成型機, 強制冷却機構(集合体組立), 等
- 実証試験施設の概念と試験内容を具体化して、実用化までの研究開発計画の提示する。



2.(4) 燃料サイクルシステム

(b) 補完概念(金属電解法+射出鑄造法) (1/3)

■ 研究開発目的

主工程機器の開発、プロセス試験、廃棄物固化体の最適化など、主概念(先進湿式法+簡素化ペレット法)と比べて遅れている課題や開発目標への適合性が低い課題について優先的に研究開発を進めるとともに、実用サイクル施設の設計研究も進めて、主概念との比較検討を可能にする。

(2010年まで)

- ・ 実用サイクル施設概念の構築
- ・ 主要工程の機器概念の提示
- ・ 金属電解法小規模プロセス試験計画の立案

それまでの開発進捗および米国等との協力関係の構築を含む国内外の状況を考慮して、小規模ホット試験の実施可能性など、その後の進め方を見直す。

(2015年頃まで)

- ・ 実用サイクル施設概念の最適化
- ・ 金属電解法小規模プロセス試験の準備完了
- ・ 工学規模試験設備概念の提示

それまでの開発進捗および米国等との協力関係の構築を含む国内外の状況を考慮して、小規模ホット試験の実施可能性など、その後の進め方を判断する。



2.(4) 燃料サイクルシステム

(b) 補完概念(金属電解法+射出鑄造法) (2/3)

■ フェーズⅢ以降の技術課題

	項目	フェーズⅢ以降の技術課題
金属電解法 ＋ 射出鑄造法	主要工程の機器概念の提示	操作性や物質移送等を考慮した主工程機器開発、小規模燃料製造(照射用)、計量管理技術開発、廃棄物処分適合性評価、他
	使用済燃料によるプロセス確認 (kg/バッチ程度) (2015年以降実施の準備)	小規模ホット試験計画策定、設備設計、機器設計
	工学規模での技術実証 (2015年以降実施の準備)	計画検討、設備設計、機器設計

■ 研究開発計画

項目	目的	2010	2015	評価・判断のポイント
補完的 概念	設計研究(実用サイクル 施設の概念構築)	概念設計研究	最適化設計研究	
	主要工程の機器概念の提示	操作性や物質移送等を考慮した主工程機器開発、小規模燃料製造(照射用)、計量管理技術開発、廃棄物処分適合性評価、他	主要機器開発 等	① 廃棄物固化体処分適合性、② 主工程機器の性能、計量管理技術成立性、等の確認
	使用済燃料によるプロセス確認(kg/バッチ程度) (2015年以降実施の準備)	小規模ホット試験計画検討、設備設計、機器設計	詳細設計、許認可、ホットセル工事、装置据付	② 実用機器の成立性確認
	工学規模での技術実証 (2015年以降実施の準備)		計画検討、設備設計、機器設計	③ 再処理小規模ホット試験の可能性判断 ④ 再処理-燃料製造工学規模試験の可能性判断

コールド試験

MOX試験

その後の進め方を判断



2.(4) 燃料サイクルシステム

(b) 補完概念(金属電解法+射出鑄造法) (3/3)

■ 期待する成果

(2010年までの成果)

- プロセス及び機器開発成果に基づく実用サイクル施設概念の構築
- 操作性や物質移送などを考慮した主要工程の機器概念の提示
- 使用済燃料を用いた金属電解法小規模プロセス試験計画の立案

(2015年頃までの成果)

- 実用サイクル施設概念の最適化、研究開発目標への適合性確認
- 金属電解法小規模プロセス試験の準備完了
- 工学規模(数tHM/y)再処理・燃料製造一体化試験設備概念の提示



2.(5) 高速増殖炉サイクルへの移行に関する検討

(a) 高速増殖炉サイクルへの移行期の燃料サイクル(1/2)

高速増殖炉サイクルへの移行に際しては、高速増殖炉へのプルトニウムの供給源として燃料サイクルの想定が重要となる。ここでは、ケーススタディとして、できるだけ高速増殖炉へのプルトニウム供給が多くなるように移行期の燃料サイクルを以下のとおり想定した。

<高速増殖炉サイクルへの移行期の想定>

- 寿命を迎える軽水炉のリプレイスとして商業用の高速増殖炉導入が開始される2050年頃から、リプレイスが完了するまでの60年程度が移行期
- 高速増殖炉導入開始までは、六ヶ所軽水炉再処理によって得られるPuはプルサーマルに利用。プルサーマル使用済燃料はPu含有割合が高く効率的燃料供給が可能なことから、その再処理によって得られるPuは高速増殖炉に利用する
- 移行期には、軽水炉、プルサーマル、高速増殖炉使用済燃料が存在し、これらの使用済燃料を再処理して高速増殖炉へ燃料を供給(高速増殖炉導入に伴いプルサーマルは終了)

<移行期の燃料サイクル>

- 移行期の燃料サイクル技術に対する安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗性に関する更なる性能向上(実用化戦略調査研究の研究開発目標と共通:第I部に記載)
- 移行期の燃料サイクル、特に、再処理については、軽水炉、プルサーマル、高速増殖炉といったPu富化度やPu組成等の違う使用済燃料(参考Ⅱ-5(OHP154)～Ⅱ-9(OHP158)を参照)が存在することから、これらをPuの需要(高速増殖炉の導入)に応じて合理的に再処理することが肝要(参考Ⅱ-10(1)(OHP159)～Ⅱ-10(7)(OHP165)を参照)
 - ・1GWeの高速増殖炉1基に必要な初装荷燃料約90tHM(Pu約9tM)



2.(5) 高速増殖炉サイクルへの移行に関する検討

(a) 高速増殖炉サイクルへの移行期の燃料サイクル(2/2)

移行期の燃料サイクルの中でも特に軽水炉燃料の再処理は、高速増殖炉への燃料供給源として重要な役割を果たす。そこで、以下に将来の再処理プラント概念の検討とそこに採用する再処理技術の開発に当たって留意する事項を整理した。

＜移行期の再処理プラント及び再処理技術の開発に留意する事項＞

- － 六ヶ所工場に続く「移行期の再処理工場」については、各種使用済燃料の特徴を踏まえて合理的な処理が可能なプラントを目指すことが肝要
 - ・ 燃焼度、使用済燃料中のPu含有量、Pu同位体組成、MA含有量など
 - ・ 使用済燃料の発生量と貯蔵量
 - ・ 再処理技術の実績と成熟度
- － 高速増殖炉再処理技術は、開発目標への適合可能性及び技術的実現性の観点から先進湿式法を主概念として選択
- － 軽水炉再処理技術も、同様の開発目標を満足するために、革新的な技術の開発や既存技術の改良・高度化が必要
 - ・ 適用技術としては、実用化戦略調査研究で高速増殖炉燃料の再処理技術として評価した先進湿式法、金属電解法、フッ化物揮発法などの他に従来のPUREX法を高度化することが考えられる



2.(5) 高速増殖炉サイクルへの移行に関する検討

(b) 先進湿式再処理法の軽水炉再処理への適用に関する検討(1/2)

前述のように、軽水炉再処理技術として先進湿式法、金属電解法、フッ化物揮発法、従来PUREX法の改良などが候補として挙げられるが、実用化戦略調査研究での評価結果を参考にすれば、先進湿式法は軽水炉再処理に対しても有力な選択肢と考えられる。

以下に、軽水炉再処理に先進湿式法を用いる場合の適用性と効果を示す。

<先進湿式再処理法の軽水炉再処理への適用性>

- 先進湿式再処理法は、従来の軽水炉再処理法であるせん断、溶解及び溶媒抽出に関する技術をベースに高速増殖炉燃料の特徴を考慮して効率化、高度化した技術(参考－Ⅱ－11 (OHP166)を参照)
- 高速増殖炉への低除染燃料供給を前提として、将来の軽水炉再処理に先進湿式再処理法を適用した場合、特に経済性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性に優れたプロセスが想定可能(参考－Ⅱ－12 (OHP167)参照)
 - せん断・溶解工程 : 燃料粉化と連続溶解槽による高濃度、高効率溶解
 - 晶析工程 : 使用済燃料の大部分を占めるUを抽出工程の前に70%程度分離、回収
 - 抽出工程(単サイクル共抽出) : U-Pu-Npを同時に一括回収(Puは常にUやMAと混合された状態)と遠心抽出機の採用
 - 精製工程(削除) : 低除染の再処理製品を高速増殖炉燃料に供給するため、従来軽水炉再処理では必要であった精製工程を削除
 - MA回収工程 : 高レベル廃液中からAm、Cmを回収し、U-Pu-Npと混合
- 再処理工程から回収されるUの再利用方策によって技術の選択が可能
 - 高速増殖炉ブランケット燃料に利用の場合: 上記プロセスで対応
 - 再濃縮する場合: 複数のオプションがある
 - ✓ 上記再処理プロセスで低除染Uを回収し、濃縮の再転換工程で除染
 - ✓ 上記再処理プロセスにU精製工程を付加して高除染Uを回収
 - ✓ 上記プロセスの晶析工程の代わりにUREX法のような高除染のU粗分離技術を導入



2.(5) 高速増殖炉サイクルへの移行に関する検討

(b) 先進湿式再処理法の軽水炉再処理への適用に関する検討(2/2)

<適用の効果>

● 経済性向上

- 連続溶解槽、遠心抽出機の採用による処理時間の短縮及び施設のコンパクト化
- U及びPuの精製工程削除や晶析工程の導入による抽出工程の処理規模削減による、施設建設費、操業費低減

● 環境負荷低減性向上

- 晶析工程の導入及び精製工程削除により、抽出工程以降の廃液発生量を低減可能
- 抽出工程(単サイクル共抽出)及びMA回収工程でのMA回収、リサイクルにより高レベル廃棄物の放射能による潜在的影響の低減が可能

● 核拡散抵抗性向上

- 単サイクル共抽出工程の導入によりPuは常にU、MAなどとの混合物として存在し、Pu単体では存在しない
- 低除染MA入り燃料による接近の困難性向上

なお、先進湿式再処理技術を用いることで、従来型湿式再処理法の物量を大幅に削減可能(高速増殖炉再処理施設の場合、建設費が約1/2 になると試算(参考—Ⅱ—13 (OHP168)参照))

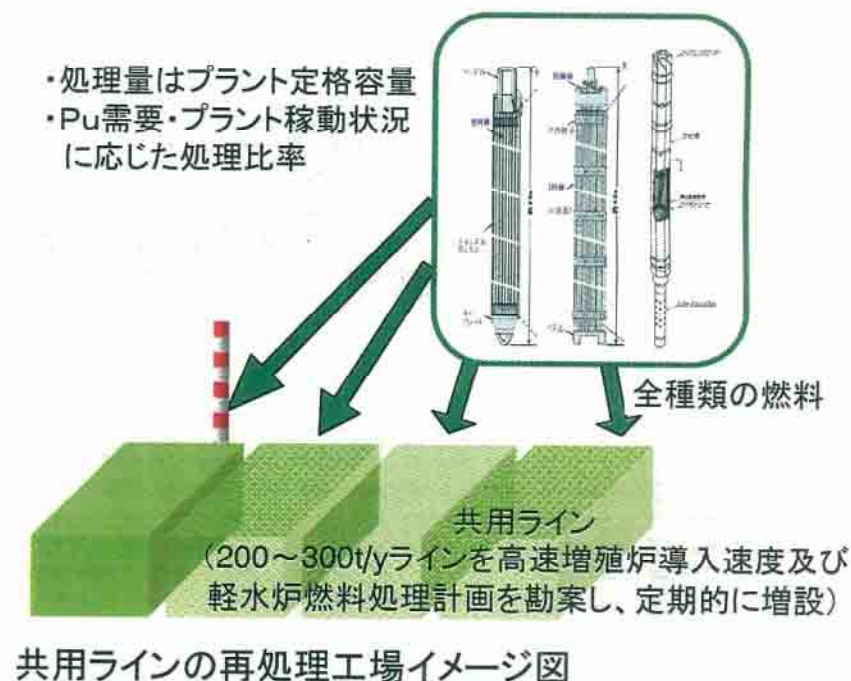
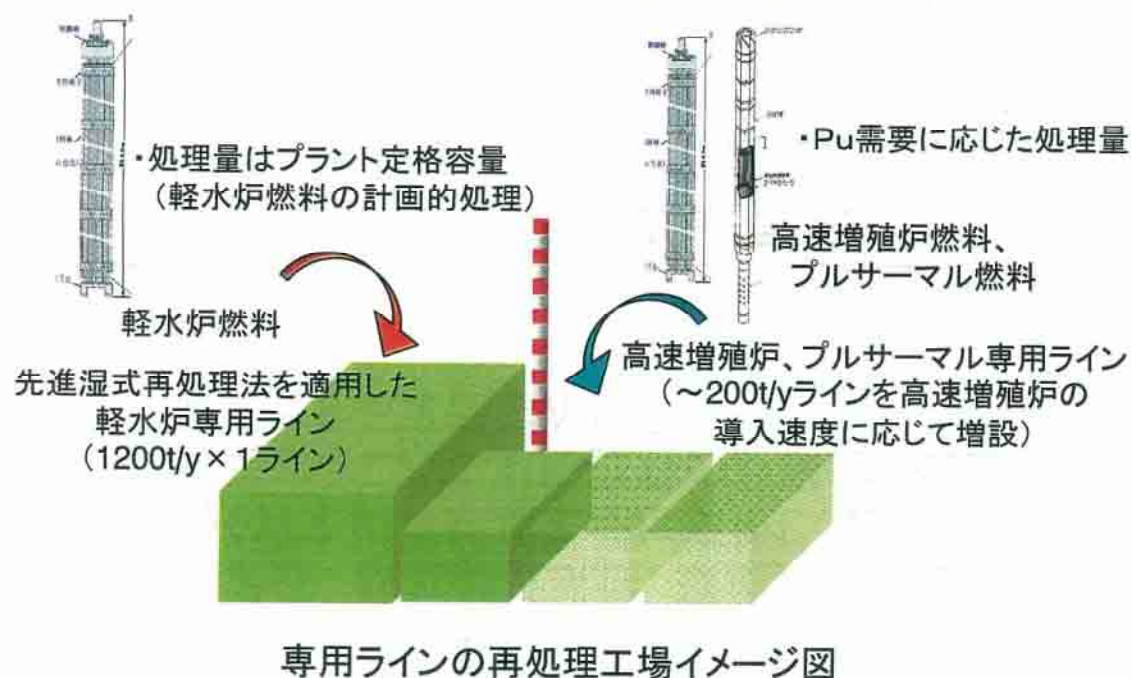


2.(5) 高速増殖炉サイクルへの移行に関する検討

(c) 先進湿式再処理法を適用した将来の再処理工場のイメージ

プルサーマルを含む軽水炉、高速増殖炉の使用済燃料を受け入れ、再処理する将来の再処理工場として、軽水炉、高速増殖炉それぞれの専用処理ラインを設ける場合と共用処理ラインを設ける場合の2つのイメージを以下に示す。

この2つの工場イメージは、移行期のPu需要の状況に応じてそれぞれの特長を生かした組み合わせにより柔軟に対応可能。





2.(5) 高速増殖炉サイクルへの移行に関する検討

(d) まとめ

- 経済性、核拡散抵抗性、環境負荷低減性に優れた先進湿式再処理技術を六ヶ所工場に続く将来の再処理工場に適用し、軽水炉、プルサーマル、高速増殖炉の使用済燃料を再処理することにより、燃料の計画的な安定供給を達成し、商業用の高速増殖炉を円滑に導入できる可能性がある。
- 高速増殖炉サイクルへの合理的な移行(将来の再処理工場の規模、稼働率やサイクルのPuバランスなどを考慮)を実現させるためには、以下が課題となる。
 - 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行シナリオの検討
 - シナリオに応じた最適な施設概念検討
 - ・ 高速増殖炉再処理技術を適用した軽水炉再処理プロセス
 - ・ 将来の再処理工場の目的に適合したライン構成(専用ライン、共用ライン)
 - ・ 上記再処理概念に適合する高速増殖炉燃料製造施設
 - 施設概念を成立させるために必要な新たな研究開発課題の洗い出しと研究開発計画立案(例:高速増殖炉再処理より処理規模が増大する軽水炉再処理のための大容量機器(溶解槽、晶析装置、遠心抽出器等)の開発、MAを含む新たな計量管理の構築、回収Uの扱いなど)
- 上記課題検討成果は、2010年頃から始まる国における六ヶ所再処理工場に続く再処理工場の検討に有益な材料を提供できることから、2010年に向けてより具体的に検討することが有効と考えられる。



2. (6) 2015年頃までの研究開発の留意事項

2015年頃までの研究開発を進めるに当たっての留意事項として以下が挙げられる。

① 必要となる研究開発資源の確保

- ・ 高速増殖炉サイクルの実用化に向けた研究開発を着実に進めていくには、研究開発機関、民間（設計、製造等）、大学において、これに必要な資金、人材、設備を確保していくことが不可欠
- ・ 当面は競争的資金の活用を図るとともに、限られた資金を有効活用して研究開発を推進できる仕組みが必要
- ・ 規模の大きな試験などについては、国際的な共同実施の検討も重要。

② 国際協力の進め方

- ・ 国際標準となりうる概念の構築に向けて、GIF等における研究開発をリードする方策の検討が必要
- ・ 高速増殖炉サイクル技術の研究開発に関する国際的優位性を確保するため、枢要技術について独自性を担保できるよう、国際協力を進めていくことが必要
- ・ 核不拡散体制強化に向けた国際的な動向を踏まえ、平和利用に徹した核不拡散に係る国際的な枠組み作りと、国際的に認知される核拡散抵抗性の高い技術の研究開発が重要



2. (7) まとめ

高速増殖炉サイクルの適切な実用化像とそこに至るまでの研究開発計画を2015年頃に提示するために以下の通り進める。

- ① 主概念については2010年まで(フェーズⅢ)に要素試験研究の成果を踏まえ、採用する革新技術を決める。2015年頃まで(フェーズⅣ)には採用された革新技術に対する要素試験研究成果に基づき、実用施設成立性に係わるデータ整備を行うとともに、実用施設概念の最適化のための設計研究を行う。

なお、補完概念については、技術的実現性などの観点から重要と判断される課題に限定して研究開発を進める。

- ② 上記①を進めるに当たり、以下の点に留意する。

- 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの合理的な移行を図るため、軽水炉、プルサーマル及び高速増殖炉の使用済燃料をリサイクルする将来の再処理施設への先進湿式再処理法の適用を検討する。
- 実用化に向けた研究開発を着実に進めるために必要な資金、人材、設備を確保していくことが不可欠。これらの確保と有効に活用する方策を検討する。
- 国際標準となりうる概念構築のため、GIF等における研究開発をリードしうる研究開発計画を策定し、国際的な研究開発の分担方策を検討する。
- 核不拡散体制強化の動向を踏まえ、国際的にも認知されうる高い核拡散抵抗性を有する高速増殖炉サイクル技術を開発する。



第Ⅱ部 第3章

2015年頃以降の進め方に関する課題



3.(1) 2015年頃以降の高速増殖炉サイクルの段階的研究開発

2015年頃以降の研究開発の進め方

- 2015年頃までの技術体系整備における実用化プラント仕様の明確化を受けて、2050年以降の商用炉導入に向けた段階的な研究開発を着実に進める必要がある。2050年頃までの開発ステップイメージを参考資料－Ⅱ－14(OHP－169)に示す。

◆第2段階：実用化を見通せる規模で革新技術を実証する段階

革新技術の実証

- － 燃料集合体規模の照射による燃料健全性の実証
- － 実用化段階の炉心性能(燃焼度、長期サイクル)の実証
- － 革新的なプラント機器の技術について、実用化を見通せる規模での製作・試験による実証
- － 再処理及び燃料製造技術に関する使用済燃料や低除染燃料を用い、工学規模での主要な革新技術の実証
- － 高速増殖炉への燃料供給を通じた燃料製造に係る量産製造技術の実証

◆第3段階：実用規模で開発目標の達成見通しを取得し実用化を推進する段階

実用化推進炉及び実用化推進サイクル施設*を用いた経済性・信頼性の実証と運転経験の蓄積

- － 経済性、信頼性及び保守・補修性などについて、実用化推進炉、同燃料サイクル施設の運転データによる実証
- － 商用炉(～150万kW_e)の建設判断ができる規模の実用化推進炉の運転経験
- － 実用化推進サイクル施設の再処理及び燃料製造では、高速増殖炉などの使用済燃料を処理し、回収した再処理製品から実用化推進炉などへ低除染TRU燃料を供給し、商用化を見通せる規模での燃料のリサイクル実証

* 革新技術を実証した後、商用炉の導入前までに、商用規模の大型施設を見通せる出力(あるいは処理量)の原子炉(あるいは燃料サイクル施設)を設計・建設し、それらの運転経験を商用施設の設計に反映し、実用化を推進する役割を担う施設を実用化推進炉(あるいは実用化推進サイクル施設)と呼ぶ。



3. (2) 研究開発方策に関するケーススタディ

(a) ケーススタディの考え方

○ 2015年以降の研究開発方策については、以下のようなステップアップの前提条件やそれにもなう施設規模の設定などにより、幾つかの方策が考えられることからケーススタディを実施し、その特徴を把握した。

(ケーススタディのための前提条件)

- 第2段階での研究開発における高速増殖炉のプラント機器の熱出力規模は、革新技術の実証に必要な規模とし、少なくとも商用炉プラント機器の熱出力の数分の1程度とする。
- 商用炉の電気出力は既存の軽水炉のリプレースが主体となることから、リプレース対象軽水炉の(135～170万kWe)に相当する150万kWe程度とする。
- 上記の150万kWe規模の大型商用炉の導入を可能とするには、それまでに75～100万kWe規模の実用化推進炉の設計・建設・運転の経験の蓄積を必須とする。
- 商用炉の運転開始は2050年頃とし、商用燃料サイクル施設は商用炉への燃料供給のために、その数年前(3～4年程度)には運転を開始する。
- 燃料サイクルシステムの開発ステップにおける再処理及び燃料製造の処理規模は回収した再処理製品は原則として全て燃料製造で利用し、高速増殖炉の運転に必要な燃料及び照射用試験燃料の需要量に対して、整合のとれた燃料供給が可能な規模とする。

(炉システムのケーススタディ)

- 炉システムの革新技術の実証方策として以下のケースを検討
 - ・ 原子炉を用いて実証する方策
 - ・ 外部熱源による大型試験施設(コールド施設)を用いるケース
 - ・ 「もんじゅ」を大幅に改造するケース

(燃料サイクルシステムのケーススタディ)

- 燃料サイクルシステムに関しては第3段階で建設される実用化推進炉の規模に応じて実用化推進サイクル施設の再処理、燃料製造規模を決定



3. (2) 研究開発方策に関するケーススタディ (b) 炉システムのケース分け

炉システムについては、技術実証方策に関して前述の考え方に基づき以下の3つのケースを想定。

- ケース1: 原子炉を用いて実証する方策

第2段階: 商用炉に採用する全ての革新技術から構成される30～50万kWe程度*で革新技術を実証するために新たな原子炉を建設・運転し、炉心・燃料技術とプラント機器の技術を総合的に実証

第3段階: 75～100万kWe程度にスケールアップした実用化推進炉の建設・運転により、炉心及びプラント機器の大型化に対する技術を実証

- ケース2: 大型試験施設(コールド施設)による方策

第2段階: 放射性物質を取り扱わない熱出力30万kWt程度*の大型試験施設(コールド施設)を用いて、商用炉に採用する主なプラント機器の革新技術実証のための試験を実施。炉心・燃料材料の実証は「もんじゅ」を用いた燃料集合体レベルの照射試験で実施

第3段階: 75万kWe程度の実用化推進炉を建設・運転により、炉心・燃料及びプラント機器の技術を総合的に実証

- ケース3: 「もんじゅ」を大幅に改造する方策

第2段階: 「もんじゅ」の1次及び2次冷却系を改造*して、商用炉に採用する主な革新技術を組み込んだ主要なプラント機器を設置し、実証のための試験を実施。炉心燃料の性能実証は商用炉よりひとまわり小さな「もんじゅ」の燃料集合体サイズで照射試験により実施。

第3段階: 75万kWe程度の実用化推進炉を建設・運転により、炉心・燃料及びプラント機器の技術を総合的に実証

*: 試験施設の出力規模の検討については、参考資料Ⅱ-15 (OHP170)を参照



3. (2) 研究開発方策に関するケーススタディ (c) 燃料サイクルシステムのケース分け

燃料サイクルシステムについては、技術実証方策に関して前述の考え方に基づき炉システムのケース分けに対応した研究開発方策を検討

第2段階：再処理、燃料製造技術のホット工学規模での実証

- 再処理技術について、第1段階で枢要プロセス試験を実施する再処理ホット工学規模試験施設に一連の革新技术を工学規模(10kgHM/h)で導入し、実使用済燃料を用いた総合システム試験を実施
- 燃料製造技術について、燃料製造ホット工学規模試験施設を用意して、上記再処理試験で発生するTRU燃料を用いた遠隔燃料製造に関するホット工学規模試験を実施するとともに、炉システムでの照射用TRU燃料集合体を供給
- さらに、既存のPu燃料製造施設を活用した燃料量産製造技術実証試験を通して、炉システムの開発に応じて必要な高除染のドライバー燃料を供給

第3段階：商用燃料サイクルを実用化するための総合確証

- 商用燃料サイクル施設へのスケールアップが見通せる規模の実用化推進サイクル施設を想定し、その建設、操業から総合的な開発目標達成を確認
- 実用化推進サイクル施設は、Puバランスの取れた再処理及び低除染TRU燃料供給ができるよう、炉システムの研究開発方策に応じて再処理規模を50～100tHM/y、燃料製造規模を5～10tHM/yの規模に想定
- 再処理は、高速増殖炉使用済燃料(炉心、ブランケット)及びプルサーマル使用済燃料を適切な割合で処理することを想定し、燃料製造については、ブランケット燃料を除く炉心燃料の製造を考慮した規模



3. (2) 研究開発方策に関するケーススタディ (d) ケース1: 原子炉を用いて実証する方策(1/3)

概要

技術実証段階では、商用炉に採用するすべての革新技术を用いた30～50万kWe級の新たな原子炉を建設・運転。

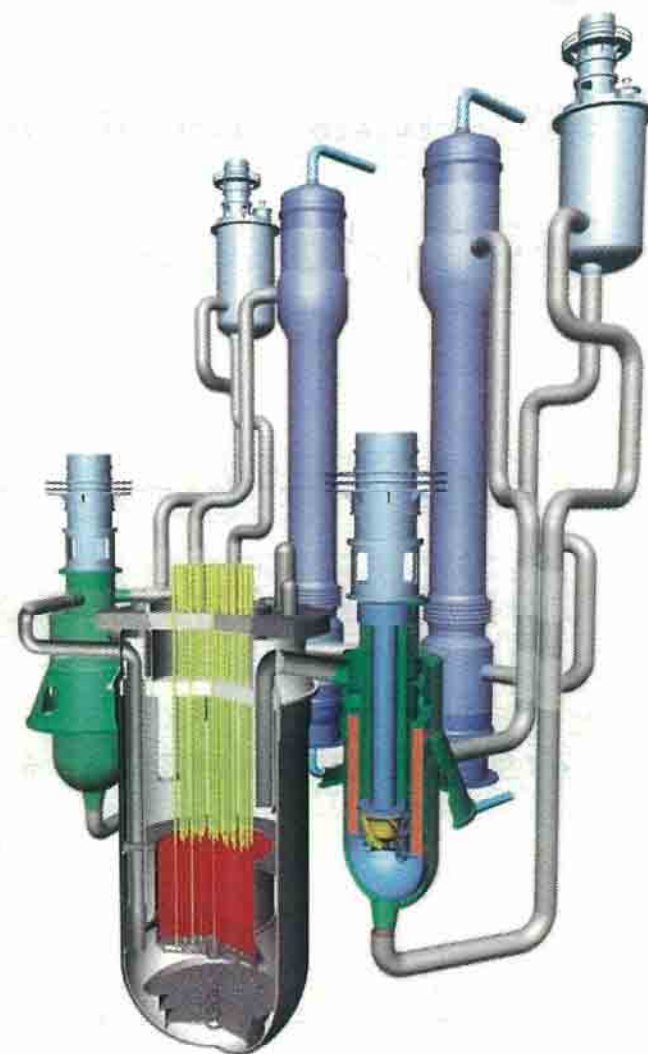
この経験を活かし、実用化推進段階では75～100万kWe級の実用化推進炉を建設・運転。

技術実証段階:

- ・商用炉に採用するすべての革新技术(プラント及び炉心燃料技術)を、商用炉をスケールダウンした原子炉を用いて総合的に実証する。

実用化推進段階:

- ・第2段階(革新技术を実証するための原子炉)から第3段階(実用化推進炉)、第3段階から商用段階までのスケールアップは、それぞれ1.5～2倍程度である。
- ・革新技术を実証するための原子炉と実用化推進炉の2つの原子炉の建設・運転経験に基づいて商用炉の導入判断を行う。



原子炉概念
(30～50万kWe級)



3. (2) 研究開発方策に関するケーススタディ

(d) ケース2: 大型試験施設(コールド施設)による方策(2/3)

概要

技術実証段階では、商用炉に採用する主要な革新技術を、熱出力30万kWt程度の既存火力発電所、「もんじゅ2次系」などを熱源とした大型試験施設で実証。

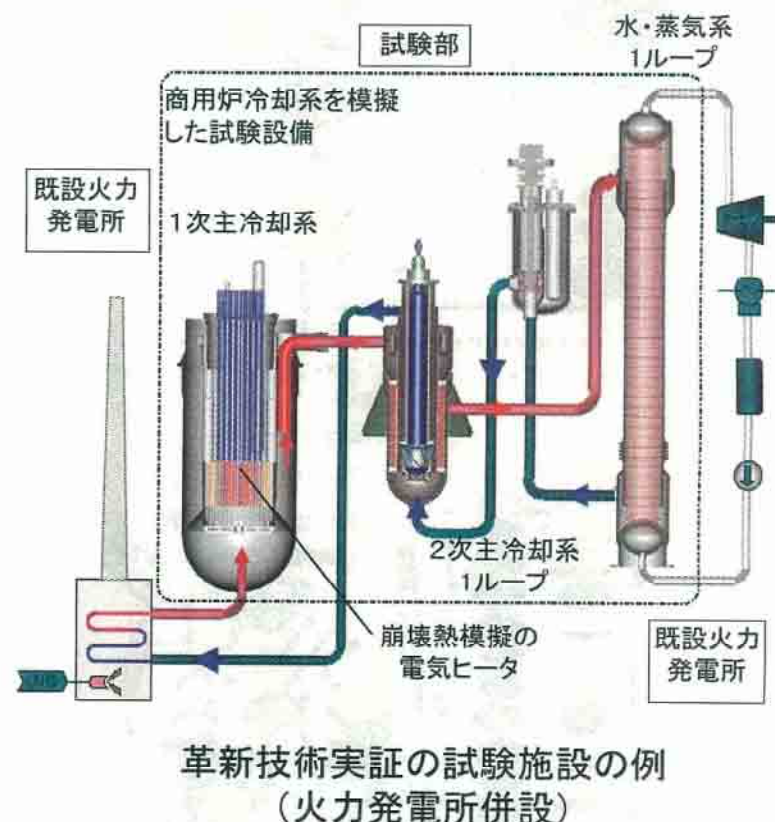
この経験を活かし、実用化推進段階では75万kWe級の
実用化推進炉を建設・運転。

技術実証段階:

- ・商用プラントに必要な革新技術はコールド試験で実証する。
- ・炉心燃料の研究開発と実プラントの運転経験蓄積には「もんじゅ」を用いる。

実用化推進段階:

- ・原子炉を用いた総合的な実証は、実用化推進段階で実施する。
- ・実用化推進炉1基の建設・運転経験に基づいて商用炉の導入判断を行う。





3. (2) 研究開発方策に関するケーススタディ (d) ケース3:「もんじゅ」を大幅に改造する方策(3/3)

技術実証段階では、「もんじゅ」炉心の出力増加と革新的機器を1次・2次主冷却系に組み込んで、プラント技術を実証。

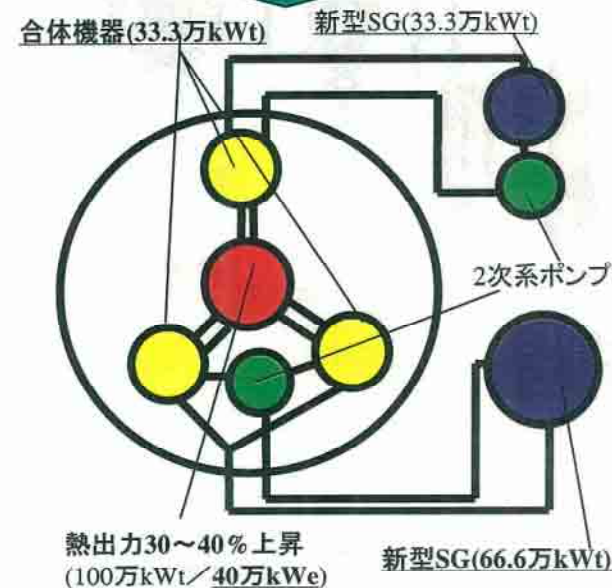
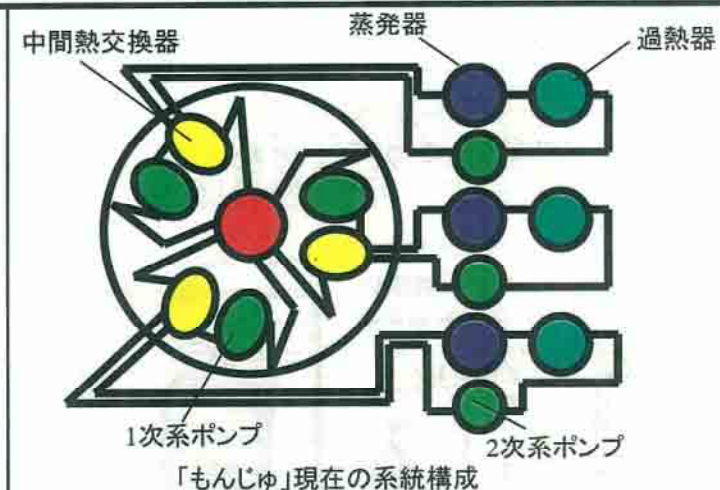
この経験を活かし、実用化推進段階では 75万kW_e級の実用化推進炉を建設・運転。

技術実証段階:

- ・33.3万kW_tまたは66.6万kW_tと比較的大きな出力で主要な革新技術を実証する。
- ・原子炉容器、1次冷却系の改造工事は、全炉心燃料の退避、冷却材ドレン、放射化部位の大幅な改造などの作業を伴う。

実用化推進段階:

- ・「もんじゅ」を大幅に改造した原子炉と、実用化推進炉の2つの原子炉による建設・運転経験に基づいて商用炉の導入判断を行う。



実証試験のための「もんじゅ」
改造概念例



3.(3) 課題の整理

2015年頃以降の高速増殖炉サイクルの段階的研究開発に関する検討結果を踏まえ、2015年頃以降の研究開発の進め方に関わる課題を以下に挙げる。

2050年頃からの商業ベースでの導入に至るまでの段階的な研究開発計画について2015年頃の高速増殖炉サイクルの実用化像の提示(技術体系整備)に対応して、国としての検討が行われる。従って、第2、第3段階の進め方については、今後、より具体化を図るための検討が必要である。特に第2段階の進め方については、2015年頃以降の研究開発を遅滞なく計画的に進めるためにフェーズⅢの早期に検討を行っておくことが重要である。

i) 各ステップにおける研究開発(高速増殖炉システム及び燃料サイクル)のあり方

第2段階(革新技術実証)、第3段階(実用化推進)における研究開発の内容、実施時期、規模、必要資金、国際的な研究開発分担などの検討

ii) 技術体系整備以降の研究開発の役割分担及び技術維持

第2段階及び第3段階における官民役割分担(文部科学省、経済産業省、民間)及び技術維持などを考慮した研究開発体制。



3.(4) まとめ

1. 2015年頃までの技術体系整備(第1段階)を受けて研究開発リスクの低減を図りつつ、2050年以降の商用炉導入を目指すには、以下に示す段階的な研究開発が必要である。
 - ①第2段階
実用化を見通せる規模での革新技术実証。
 - ②第3段階
実用化推進炉、実用化推進サイクル施設を用いた経済性・信頼性の実証と運転経験の蓄積を通し、実用規模での開発目標の達成確認を行う。
2. 第2、第3段階の具体的な研究開発方策については原子炉を用いて実証する方策(ケース1)、大型試験施設(コールド施設)による方策(ケース2)、「もんじゅ」を大幅に改造する方策(ケース3)の複数の選択肢を想定し、それぞれの特徴を把握した。
3. 2015年頃以降の研究開発に関する課題は以下の通りであり、第2段階の課題については2015年頃以降の研究開発を遅滞なく計画的に進めるためにフェーズⅢの早期に検討を行っておくことが重要である。
 - ①第2段階(革新技术実証)、第3段階(実用化推進)における研究開発の内容、実施時期、規模、必要資金、国際的な研究開発分担などの検討
 - ②第2段階及び第3段階における官民役割分担(文部科学省、経済産業省、民間)及び技術維持などを考慮した研究開発体制