

分置

PNC-N2410 86-009 VOL.2

本資料は〇/年〇月〇/日付けで登録区分、
変更する。

[技術情報室]

高速増殖炉技術の現状

(PNC N2410 86-009 要約版)

昭和61年10月

動力炉核燃料開発事業団

(第 4)

[注 冊 商 標]

核燃料サイクル開発機構

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大字村松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 Cycle 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)

高速増殖炉技術の現状

「もんじゅ」技術的分析作業 W / G

要 旨

今後、高速増殖炉の実証炉の基本仕様選定、さらに設計・建設を進めるにあたり、実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」の設計・建設・運転、およびこれらと並行して進めてきた研究開発によって蓄積されている経験・成果と、今後さらに期待される成果を最大限に活用してゆくことが必要不可欠であることを認識し、高速増殖炉の経験とその技術の現状をとりまとめた。

2章において実験炉「常陽」で得られた経験と原型炉、大型炉への反映についてまとめ、さらに今後の高速増殖炉技術の高度化にあたっての活用について記述した。

3章において原型炉「もんじゅ」に関して、これまで実施してきた研究開発の成果と今後各種試験、運転を通して実証炉へ反映してゆく項目についてとりまとめた。

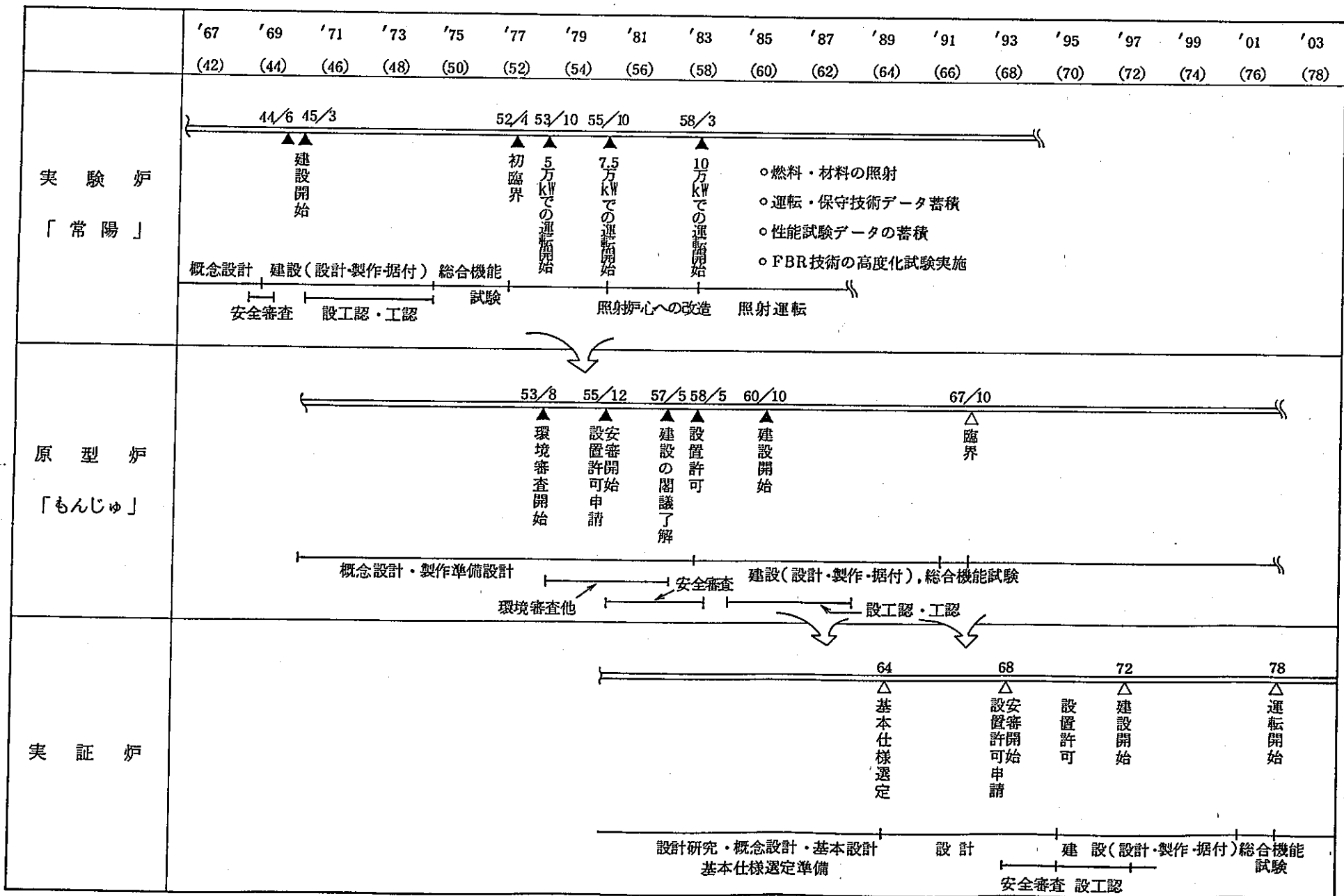
4章では単に固有のプラントに限定することなく、総合的技術として高速増殖炉の実用化にあたって土台とすべき共通的な技術としての基盤技術について、これ迄に得られている成果と今後の高度化について記述した。

今後の高速増殖炉の実用化にあたっては、上記の経験によって培われてきた技術を総合化、体系化し、さらに一層の高度化をはかりつつキーテクノロジーの実用化、新概念の創出をはかり、要求される安全生を確保しつつ経済生目標を達成した実証炉、実用炉を実現するために、広く各界の力を結集することが重要である。

高速増殖炉技術の現状

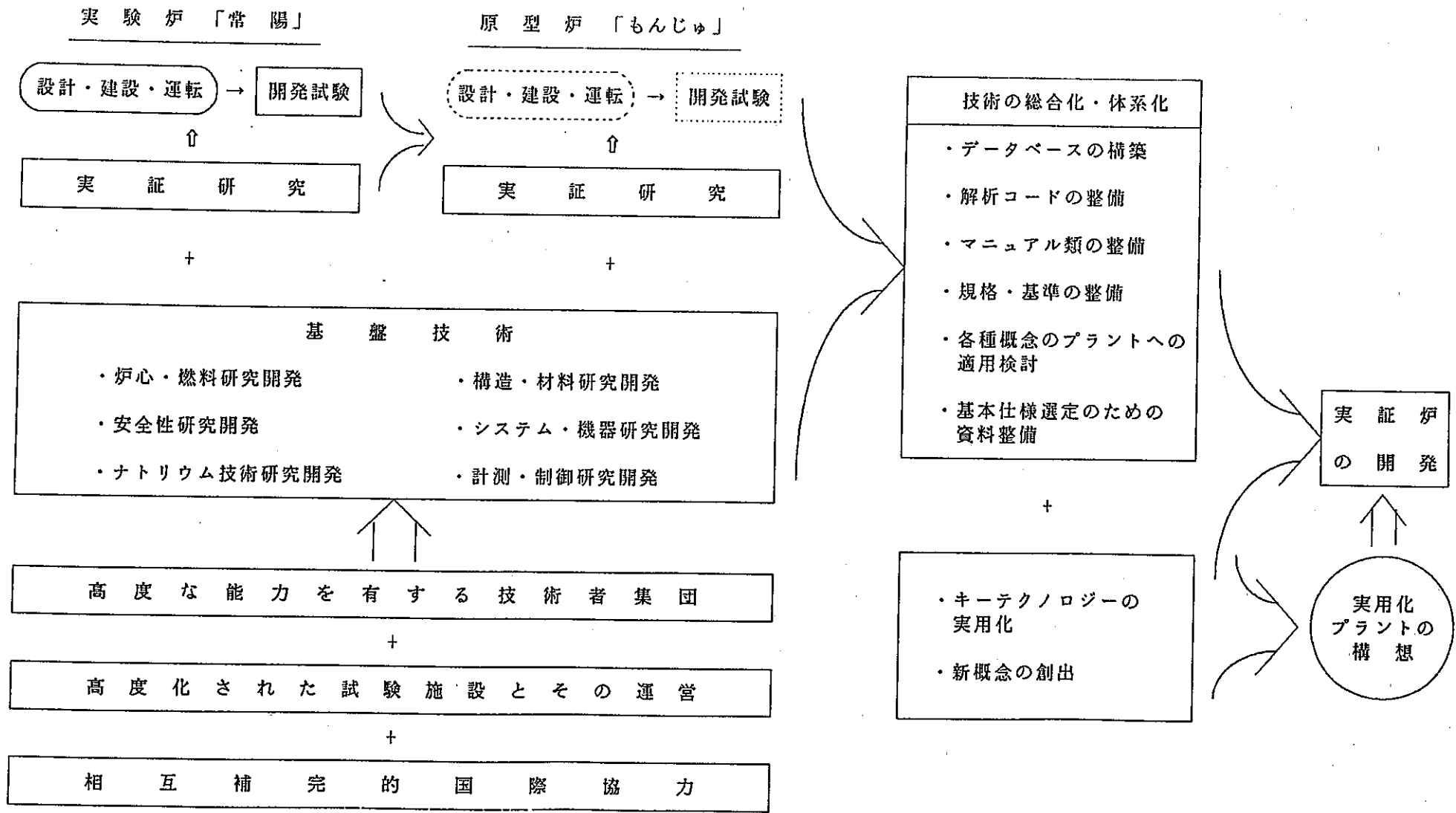
目 次

1章 まえがき	1
2章 「常陽」の建設・運転経験	3
2.1 「常陽」の現状	5
2.2 「常陽」の経験の「もんじゅ」への反映	9
2.3 「常陽」を活用したFBR技術の高度化開発計画	12
3章 「もんじゅ」の設計・建設経験	13
3.1 「もんじゅ」の概要	15
3.2 「もんじゅ」の設計・建設のための研究開発	16
3.3 「もんじゅ」の試験・運転経験の実証炉への反映	19
4章 基盤技術の現状と体系化	22
4.1 基盤技術の現状と高度化	23
4.2 技術の体系化	46
4.3 国際協力の現状	51



「常陽」「もんじゅ」建設・運転経験の実証炉への反映

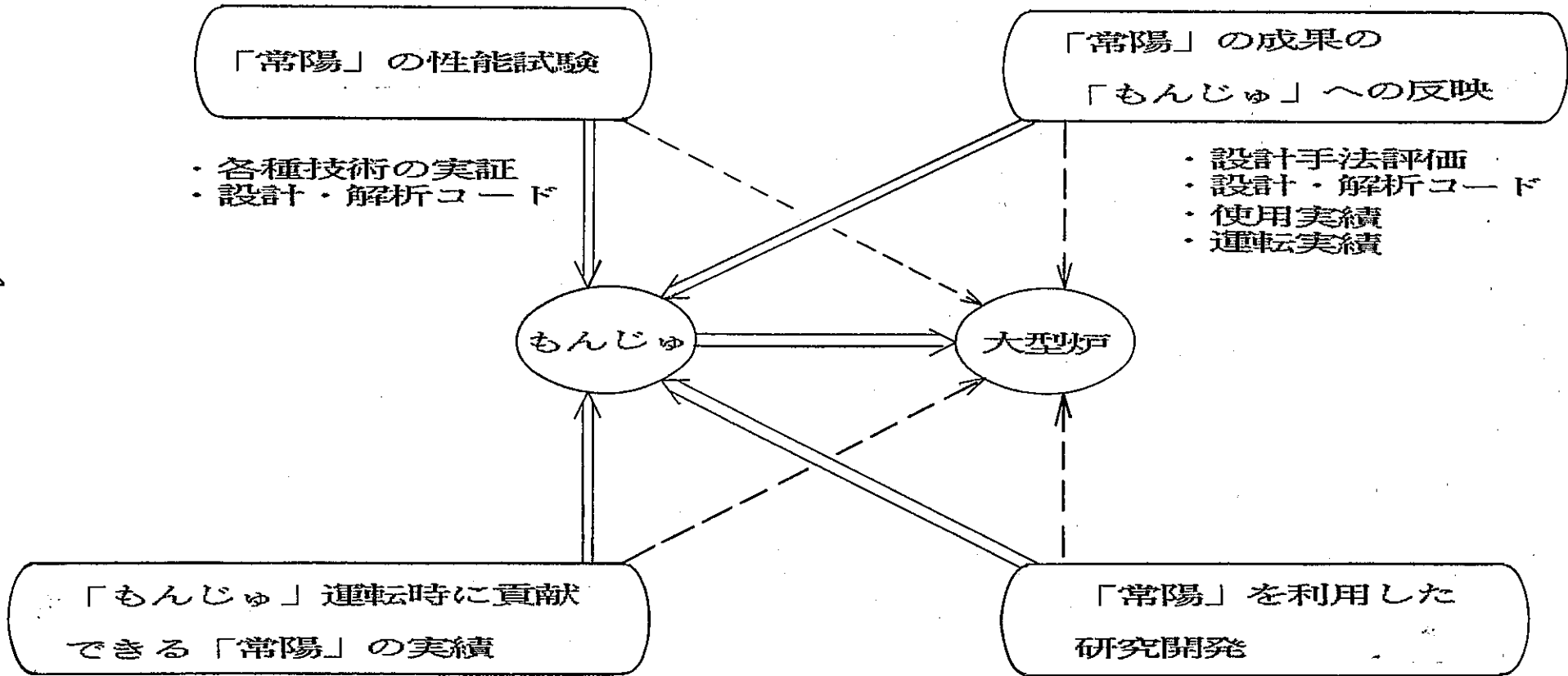
2



実証炉開発のアプローチ

2章 「常陽」の建設・運転経験

「常陽」の建設・運転経験



高速実験炉「常陽」運転実績

年度	S. 52. (1977)	S. 53. (1978)	S. 54. (1979)	S. 55. (1980)	S. 56. (1981)	S. 57. (1982)	S. 58. (1983)	S. 59. (1984)	S. 60. (1985)	S. 61. (1986)												
運 転 実 績	MK-I (増殖炉心)					(炉心移行)	MK-II (照射炉心)															
	50MW 性能試験		50MW 運転	75MW 性能試験		75MW 運転			照射炉心移行作業		MK-II 性能試験	照射炉心特性試験		100MW 運転								
	自主点検		第1回 定期検査		第2回 定期検査			第3回 定期検査		第4回 定期検査		第5回 定期検査		第6回 定期検査								
	0~100kW	50MW (0)	(1) (2)	(0) (1)	(2) (3)	(4) (5) (6)	100MW (0)	(1) (2)	(3) (4) (5) (6) (7)	(8) (9)	(10) (11) (12) (12')											
▲ 臨界	▲ 50MW		▲ 75MW			▲ 臨界	▲ 100MW															
				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> MK-I 運転実績 52.4.24 初臨界 57.1.10 運転終了 積算運転時間 12,968H 積算熱出力 673,330MWh 最大燃焼度 燃料要素最高 40,500Mwd/t 集合体平均 40,100Mwd/t </div>																		
				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> MK-II 運転実績 57.11.22 初臨界 61.8.20 第11サイクル終了 積算運転時間 14,208H 積算熱出力 1,250,987 MWh </div>																		
記 事	52.4.24 初臨界達成	52.11.19 低出力試験終了	53.2.27 原子炉格納容器第一回全体減速中試験	53.5.31 50MW出力達成 53.5.31 50MW出力達成(75、100MW)許可	54.3.5 第一回定期検査開始 54.5.21 米国のT.M.1事故発生 54.5.23 科技庁特別保安監査	54.7.16 75MW出力達成	54.12.8 原子炉格納容器第二回全体減速中試験	55.2.1 第一回定期検査合格 75MW使用前検査合格	55.8.29 第二回定期検査開始	56.3.28 第二回定期検査合格	56.4.17 運転一万時間達成	56.12.23 75MW運転終了、自然循環試験 MK-I (増殖炉心) 運転終了 MK-II (照射炉心) 初臨界	57.1.10 炉心構成要素交換作業開始 MK-I (増殖炉心) 運転終了 MK-II (照射炉心) 運転終了	57.11.11 原子炉格納容器第三回全体減速中試験	58.3.12 第三回定期検査合格 100MW出力達成	58.3.31 第三回定期検査合格	58.12.1 第四回定期検査開始	59.4.28 第四回定期検査合格	59.10.10 運転二万時間達成	60.4.28 第五回定期検査開始	60.12.10 第五回定期検査合格	61.12.10 第六回定期検査開始

高速実験炉「常陽」の性能試験

(1) 臨界試験

- ① 初期炉心構成手法の実証
- ② 設計・解析コードの精度向上

(2) 制御棒特性試験

- ① 反応度係数の実測，炉停止余裕，スクラム反応度の確認

(3) 反応度効果試験

- ① 各種炉心特性の把握
- ② 炉心管理技術への反映

(4) 出力校正・出力分布試験

- ① 核計装校正技術の確立
- ② 炉心特性の把握，設計・解析コードへの反映

(5) 温度・流量特性試験

- ① 炉心特性の把握
- ② 炉心管理技術への反映，設計・解析コードへの反映

(6) 炉心特性試験

- ① 炉心動特性の把握

(7) 出力上昇・定格出力試験

- ① 「常陽」運転性能の実証

(8) 安定性試験

- ① プラント制御系の安定性の実証

(9) 崩壊熱除去能力試験

- ① 各モードによる崩壊熱除去能力の実証
- ② 設計・解析コードへの反映

(10) 過渡応答試験

- ① プラントの安全性の確認
- ② 設計・解析コードへの反映

(11) 運転性能確認試験

- ① プラント諸特性の把握
- ② 設計・解析コードへの反映

(12) 圧損特性試験

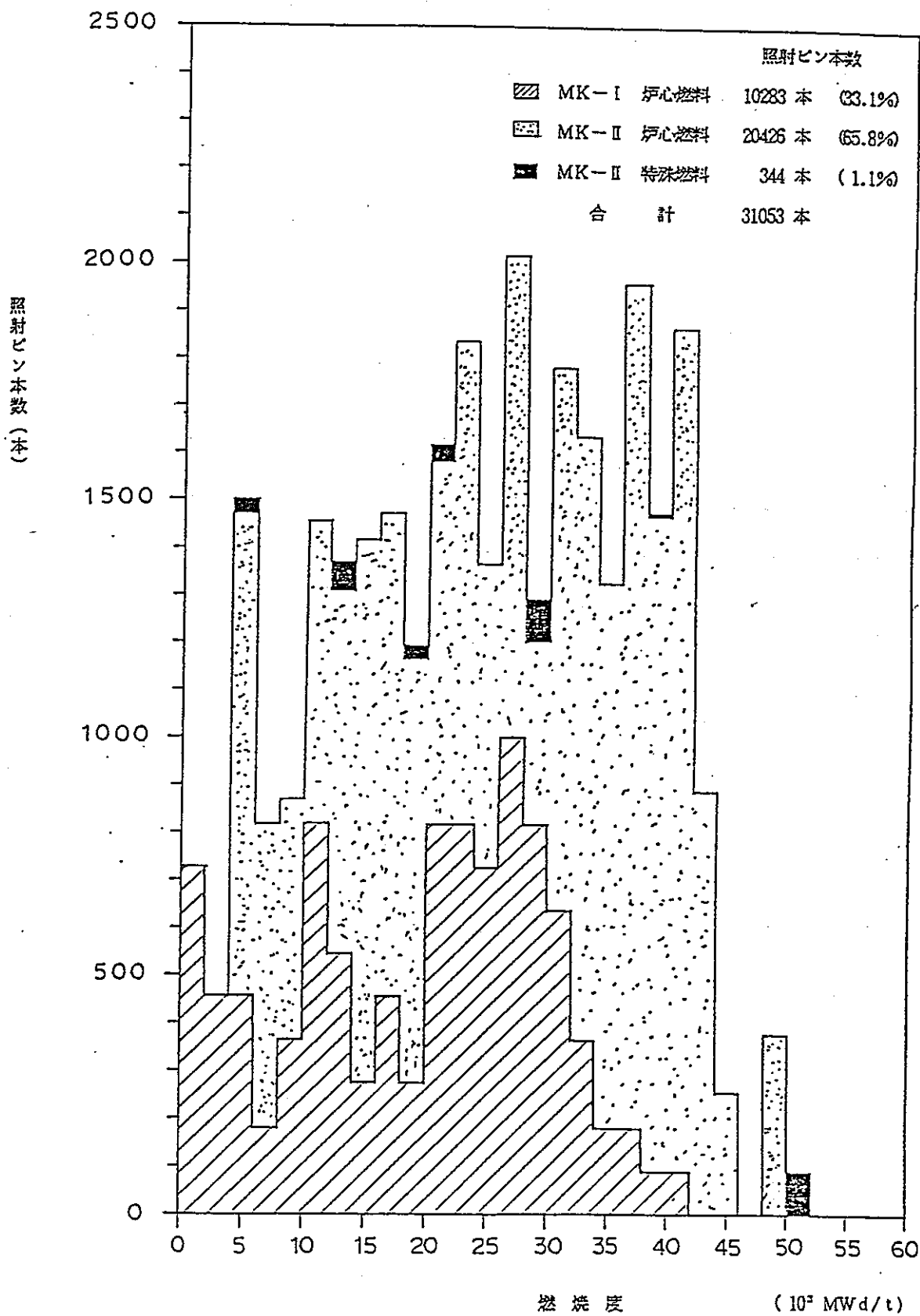
- ① 各系統の圧損測定
- ② ポンプのナトリウム軸受設計に反映

(13) 遮蔽特性試験

- ① 被曝の低減化
- ② 設計・解析コードの精度向上

(14) 運転監視試験

- ① プラント監視手法の確立
- ② 安全性の向上



燃料照射実績 (昭和 61 年 6 月現在)

「常陽」の成果の「もんじゅ」への反映例

- (1) 炉心設計および炉心管理
 - ① 「もんじゅ」炉心管理コードへの反映
- (2) 遮蔽設計
 - ① 「もんじゅ」遮蔽設計手法への反映
- (3) 原子炉停止系
 - ① 設計・製作技術の反映
 - ② 性能の実証
- (4) 燃料設計
 - ① 「常陽」の設計経験の反映
- (5) プラント動特性解析コードの検証
 - ① 性能試験結果によるコード検証
- (6) 燃料破損基準
 - ① 「燃料破損基準」設定のデータベースの妥当性確認
- (7) 1次主循環ポンプ位置
 - ① コールドレグポンプの採用
- (8) 主要構成機器
 - ① 「常陽」の実績の反映
- (9) ナトリウム純化系
 - ① 使用実績の反映
- (10) ナトリウム計装
 - ① 使用実績の反映
- (11) 1次主循環ポンプ計装
 - ① 使用経験の反映
- (12) 燃料集合体出口ナトリウム温度計
 - ① 使用実績の反映

「もんじゅ」運転時に活用できる 「常陽」の実績

- (1) 燃料、材料等の照射実績の蓄積
 - ① 「もんじゅ」初装荷燃料、制御棒の性能確認
 - ② 取替燃料等の開発
 - ③ 炉容器材の照射挙動の把握
- (2) 制御棒の開発
 - ① 異常監視能力の向上、安全性向上
 - ② 制御棒の長寿命化、制御棒製作本数節減
- (3) プラント試験手法の標準化
 - ① プラント試験手法の標準化
 - ② 機能試験、性能試験の効率化
- (4) 格納容器全体漏洩率測定試験基準の確立
 - ① 試験時のプラント安全性確保と高精度測定法の確立
 - ② 定検工程の短縮、プラント稼働率の向上
- (5) 運転保守データベースの構築
 - ① 高速炉の保守基準の確立
 - ② 高速炉安全解析用データベースの構築
- (6) 運転保守技術の体系化
 - ① 運転、保守基準の明確化
- (7) 異常監視技術の開発
 - ① 異常時における運転支援方法の確立
 - ② プラント信頼性の向上

(8) 予防保全技術の開発

- ① プラント信頼性の向上

(9) 腐食生成物の除去、除染技術の開発

- ① 保守・補修時被爆の低減化

(10) 放出放射能の低減化

- ① アルゴンガス系の放射化除去

- ② 減衰効果の把握

(11) 大型ナトリウム機器メンテナンス手法の
確立

(12) 廃棄物発生量の予測と低減化

- ① 廃棄物蓄積量の予測手法の確立

- ② 廃棄物低減化

「常陽」を利用した研究開発

(1) 燃料および制御棒の開発

- ① 「もんじゅ」燃料の確性試験
- ② 高性能・長寿命燃料の開発
- ③ 過渡過出力照射試験
- ④ 限界照射試験
- ⑤ 長寿命制御棒の開発

(2) 運転管理技術の開発

- ① 被爆低減技術開発
- ② 自然循環試験
- ③ 使用済燃料の水中裸貯蔵技術の確立
- ④ 機器信頼性データベースの開発
- ⑤ 破損燃料検出法および取扱技術の開発
- ⑥ ナトリウム純化システムの開発
- ⑦ FBR運転支援技術の開発
- ⑧ 保守エキスパートシステムの開発

(3) 新技術等の実証

- ① 配管ベローズ継手の実証試験
- ② 二重管蒸気発生器の実証試験
- ③ 耐震技術の実証 (第4紀層立地、
床免震構造)

3章 「もんじゅ」の設計・建設経験

「もんじゅ」の設計・建設経験

「もんじゅ」の設計・建設のための研究開発

- ・ 「常陽」からのスケールアップ
- ・ 発電炉としての検討
- ・ 高温化に対する検討
- ・ 安全対策上の検討
- ・ 運転稼働率向上
- ・ その他

大型炉

「もんじゅ」の試験・運転経験

[期待できる情報]

- ・ 設計の妥当性の実証, 設計裕度確認のための試験・運転データ
- ・ 発電プラントとしての運転の安定性, 信頼性実証データ
- ・ 長期運転に伴う炉心特性, 燃料特性データ
- ・ 保守・補修経験, 放射線管理データ

項目 \ 年度	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
設計・建設							マットコン 開始			原子炉容器 据付				臨界
	製作準備設計					建設								総合機能試験
許可							▲着工							
	土木工事				仮設用地，敷地造成，道路，海城工事等									
					本工事									
	設計，製作，据付													
	環境審査他					設工認・工認								
		安全審査												

「もんじゅ」建設工程

「もんじゅ」設計・建設の検討事項

1. 「常陽」からのスケールアップ
 - (1) 格納容器の大型化
 - (2) 機器の大型化
 - (3) 炉心および燃料集合体の大型化
 - (4) 燃料・制御棒の高性能化

2. 発電炉であることによる事項
 - (1) 蒸気発生器の性能, 信頼性向上
 - (2) 圧力開放系
 - (3) 水リーク検出系

3. 高温化による事項
 - (1) 高温構造設計基準
 - (2) 原子炉炉壁保護
 - (3) 熱衝撃対策
 - (4) サーマルストラティフィケーション
対策
 - (5) サーマルストライピング対策

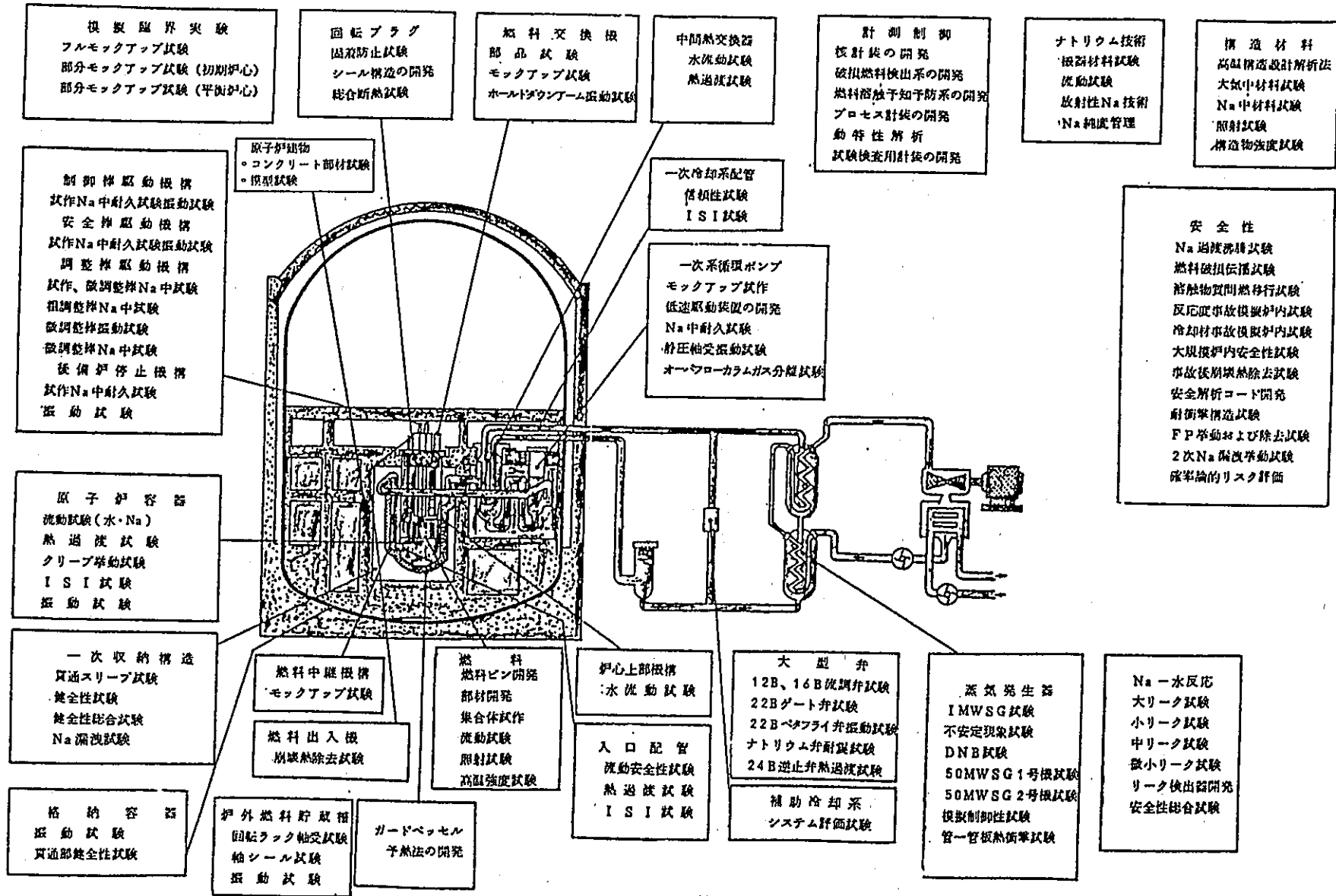
4. 安全対策
 - (1) ナトリウム漏洩対策
 - (2) 崩壊熱除去
 - (3) ナトリウム-水反応対応
 - (4) 制御棒駆動機構の信頼性

5. 運転稼働率向上

- (1) 燃料の高燃焼度化
- (2) 破損燃料位置決め法

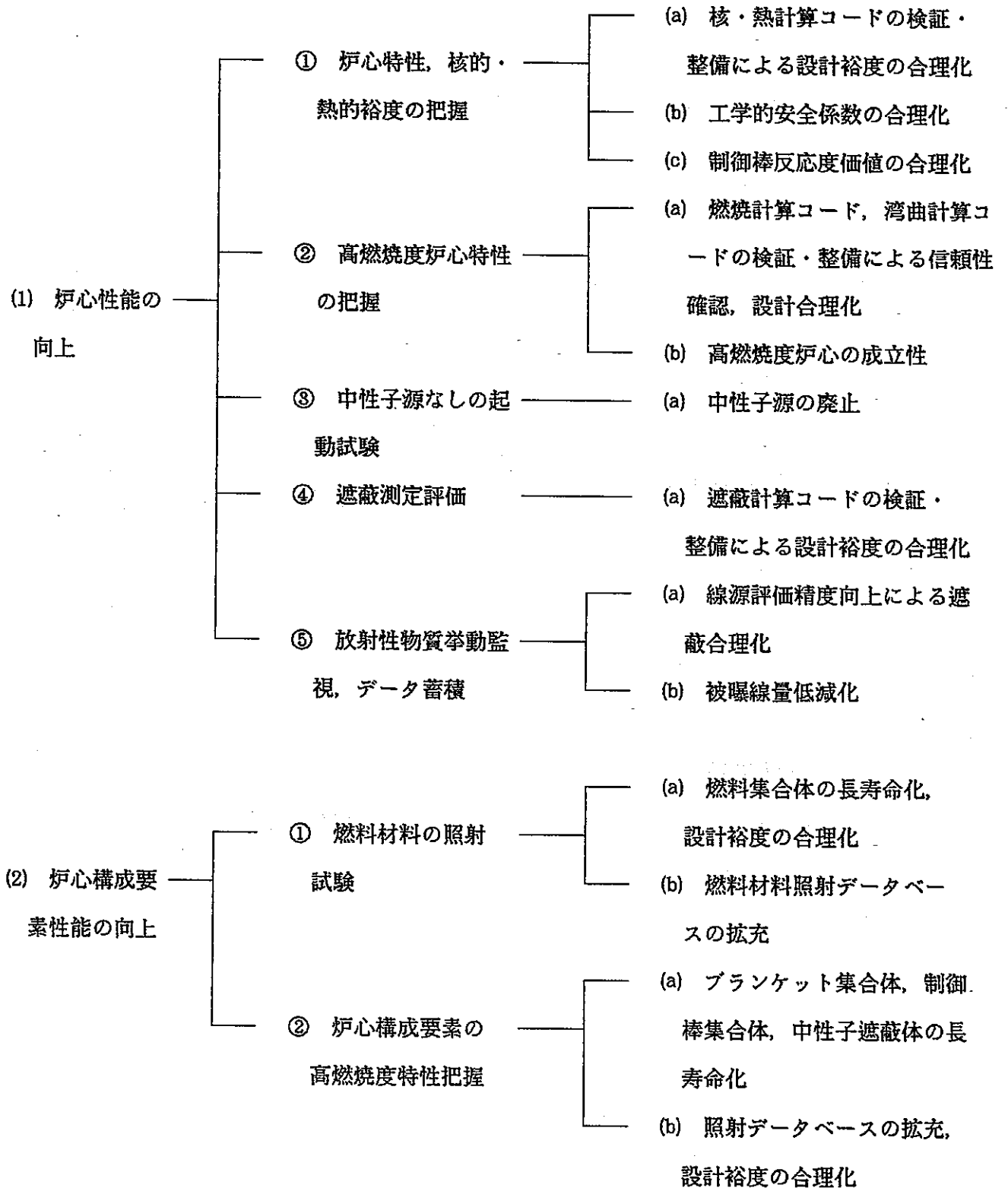
6. その他

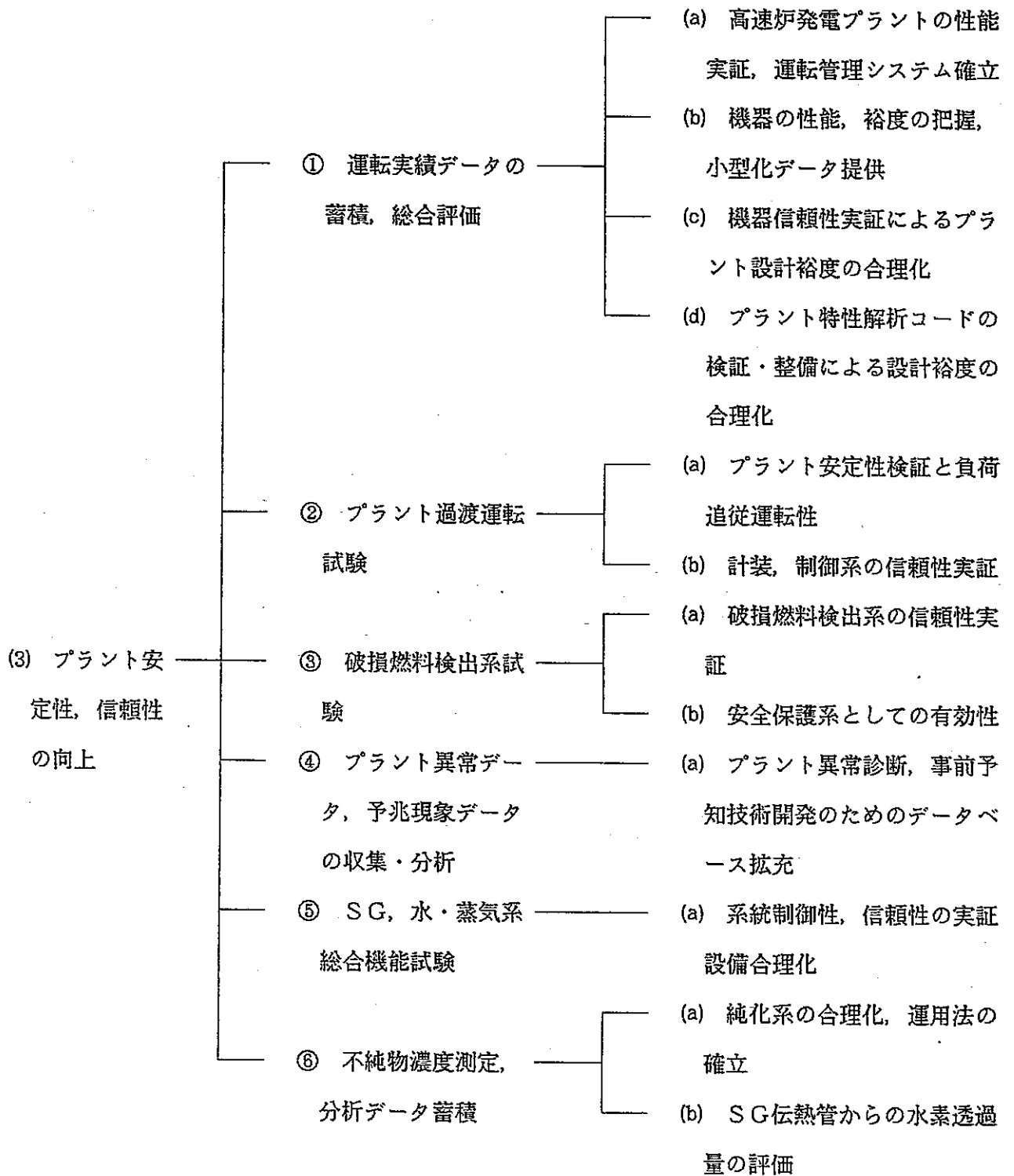
- (1) 耐震性確認

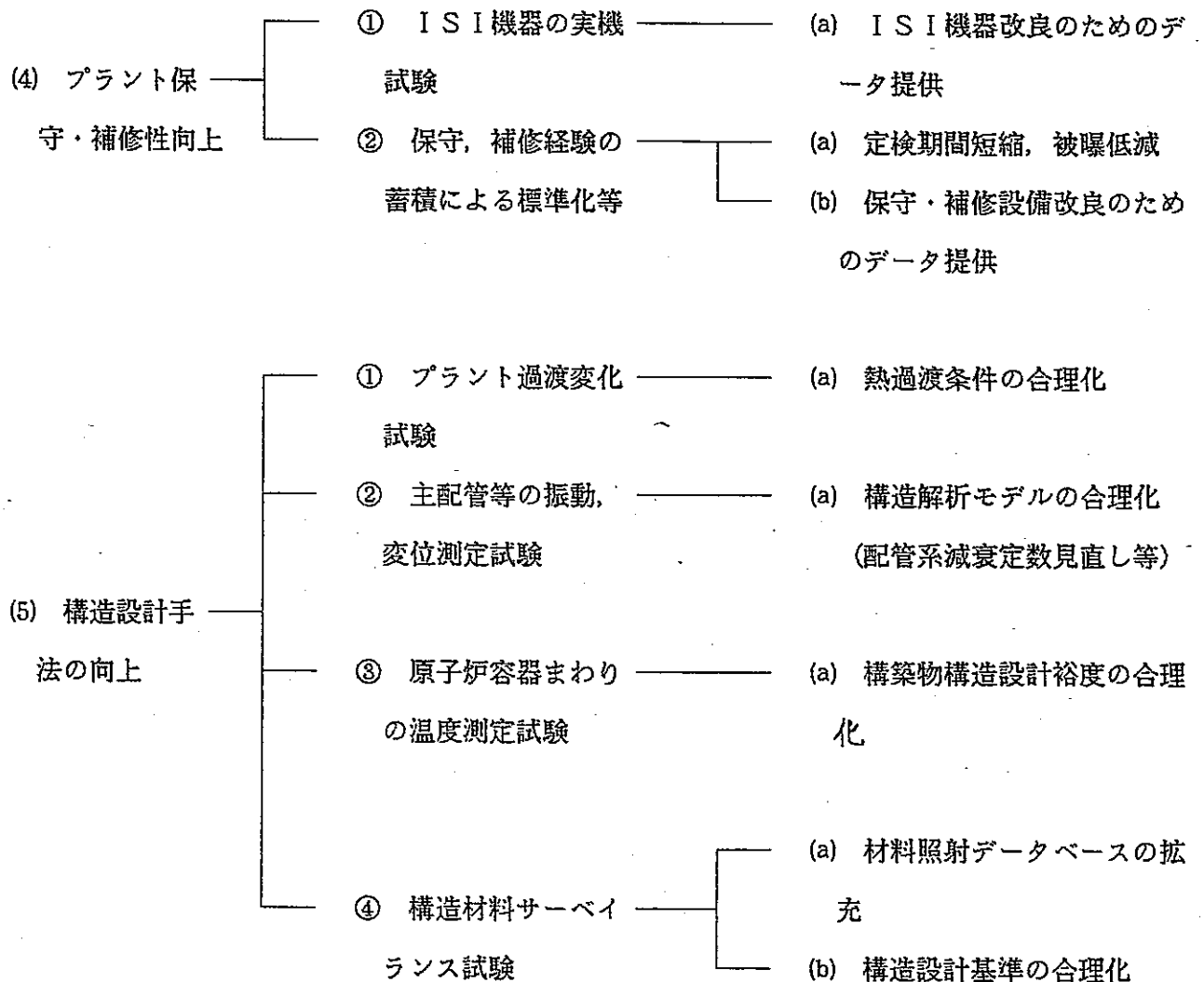


高速増殖原型炉「もんじゅ」の研究開発

「もんじゅ」の試験・運転経験の 実証炉等への反映例







4章 基盤技術の現状と体系化

高速増殖炉開発に関する技術の現状と
研究開発の課題

1. システム設計

概要

実証炉に関する設計研究については、従来各機関で実施されてきており、いくつかの有望な設計や革新技術が提案されている。

今後はこれらの研究開発成果を総合化し、実証炉1号の基本仕様選定に必要な技術判断資料の作成、革新技術や先駆的な未来技術の技術評価を行い実用プラント概念の創出及び長期開発戦略の確立に資する必要がある。

(1) 基本仕様選定のための技術評価

- (a) 電力において「実証炉合理化設計」が行われ、トップエントリ方式ループ型炉、タンク型炉の概念が検討され、それぞれ成立性が見通しが得られている。その後「革新的技術の抽出、合理化効果の研究」が行われ、コスト低減の期待できる革新技術や未来技術の抽出とその成立性、経済性の検討、評価が行われた。
- (b) 動燃では、実証炉1号の基本仕様選定に資する技術資料の整備を目的としてパラメータスタディ、諸概念の比較検討による「大型FBRの設計主要目に関する研究」を実施した。

技術の現状

研究開発の目標

建設費が軽水炉の1.1倍以下となる実用炉を展望しうる実証炉1号の基本仕様選定に必要な技術資料を整備する。

研究開発の課題

- ① 革新的技術のシステム化の検討
- ② 実証炉設計主要目に関する研究
- ③ 実証炉技術及び設計評価
- ④ 海外プラント等の調査

(2) 将来炉概念の調査検討

- (a) 原電では、「革新的技術の抽出、合理化効果の研究」及び二次系削除型蒸気発生器の系統など、将来炉概念の要素技術に関する調査を行った。
- (b) 動燃では、二次系削除型プラント等の将来炉概念に関する検討を行った。
- (c) 電中研では、二重タンク型炉等、タンク型炉を中心に、その配管、機器の簡素化による将来炉概念について検討を行った。

技術の現状

研究開発の目標

革新技術や未来技術に関する技術評価を行い、これらの技術を組込んだ実用プラント概念の創出及びFBR長期開発戦略の作成に資する。

研究開発の課題

- ① 将来炉の設計主要目に関する研究
- ② 将来炉に対するフィージビリティスタディ
- ③ 実証炉2号用基本仕様の検討

2. 安全性

概 要

我が国におけるFBRの安全性の考え方は、「常陽」、「もんじゅ」の開発を通じて、その基本的構築が行われてきている。実証炉では、出力規模の増大及び経済性向上の観点から、高度の安全性、信頼性を確保しつつもより合理的な設備設計を可能とするため、着実な安全研究を展開しながら安全性評価技術の高度化を進める必要がある。

(1) 設計基準内事故及び立地評価事故に対する検討

- (a) 局所事故に対する数多くの実験的、解析的研究によるデータの蓄積と各種解析コードの開発・検証を行い、「もんじゅ」では全炉心事故に至らないことを確認した。
- (b) 新燃料及び照射燃料ピンの各種事故時の安全評価のための試験研究を実施した。また、事故時燃料ピン評価コード(PAPAS等)の開発を実施し、「もんじゅ」の燃料破損限界の評価に活用している。
- (c) 冷却材漏洩事故模擬試験による現象把握と解析コード(SOFIRE, ABC等)開発、及びエアロゾルフィルタ等の漏洩対策設備の性能確認を実施した。
- (d) 燃料から放出されたFP等のNa中挙動、カバーガスへの移行挙動を把握し、安全評価に使用している。

技術の現状

研究開発の目標

- ① 実証炉では、燃料線出力の増大、燃料ピン太径化、燃焼度増加、炉心大型化等が予想されるため、これらに対応した事故解析及び解析手法の高度化に進め、安全性、信頼性を確認する。
- ② 格納容器を非耐圧に合理化する。
- ③ 事故時燃料挙動を含む燃料設計基準を確立し、燃料設計を合理化する。
- ④ 二次Naの漏洩に伴う建物や機器への熱的影響対策の軽減及びNa漏洩対策の合理化をはかる。

研究開発の課題

- ① 炉心事故に関する研究
- ② 事故時燃料挙動に関する研究
- ③ 炉心事故解析の評価と高度化に関する研究
- ④ 非放射性Na漏洩対策に関する研究
- ⑤ 放射性物質の移行挙動に関する研究

(2) 設計基準外事故評価手法の整備

- (a) 「もんじゅ」では、局所的燃料破損、LOPI、ATWSについて、その起因事象と事象経過に対する防止対策との関連において評価を実施し、放射性物質の放散が抑制されることを確認した。LOPIについては、プラント過渡応答試験装置で模擬試験を実施する予定である。ATWSについても確率論的安全性評価手法を用いた事象推移の定量的評価を実施している。

技術の現状

研究開発の目標

現状の炉心損傷に関する評価手法に含まれる保守性を評価モデルの改良及び検証等により合理的な範囲で取り除き、評価手法の信頼性向上をはかる。

研究開発の課題

- ① ATWS, LOHRS, PAHRの各事象評価モデルの改良・検証
- ② 放出放射性物質の炉外放出移行に関する研究
- ③ 環境影響評価に関する研究

(3) 確率論的安全性評価(PSA)手法の整備

- (a) PSA評価コード(SETS)を導入し、整備を進めている。
 (b) 「常陽」及び他のNa試験施設の運転経験の収集・整理によるFBR機器故障率データベースの開発整備と日米共同開発による機器信頼性データベースCREDOの拡充・整備を実施している。
 (c) 「もんじゅ」プラントを対象としたPSA手法の適用性研究を実施している。

技術の現状

研究開発の目標

PSA手法の適用を通じて、FBRプラントの安全性を一層向上させるとともに、従来の決定論的アプローチを補完し、安全設計・評価の合理化とプラント運転・保守の適切化をはかる。

研究開発の課題

- ① 機器信頼性や人的因子等に関するデータベースの整備
- ② PSA手法の高度化
- ③ PSA手法の実機への適用性評価

(4) 安全設計・評価方針の検討

- (a) 「高速増殖炉の安全性の評価の考え方について」に従い、FBRの特質を考慮した「もんじゅ」の代表的事象の選定及び評価を実施した。

技術の現状

研究開発の目標

軽水炉と同等の安全性を確保しつつ、プラントの合理化を達成する。

研究開発の課題

- ① 実証炉安全設計方針の検討
- ② 実証炉安全解析評価方針の検討
- ③ 非放射性Naエアロゾルの影響評価

3. 構造・材料

概要

原型炉までの開発では、高温域での使用、冷却材としてのナトリウムの使用等に伴う構造・材料上の特徴を考慮して、新しい評価手法を取り入れた高温構造設計基準、材料強度基準を開発・整備し、設計を行った。

実証炉においては、プラント合理化、建設費低減をはかるため、国外の同種基準も参考にして、現行基準の裕度の見直し、適用範囲の拡大、非弾性解析手法等の採用を含めた評価手法の高度化等によって設計基準をさらに適正なものとする必要がある。

(1) 高温構造設計基準の高度化・整備

(a) 「高速原型炉第1種機器の高温構造設計方針」（高温構造設計方針）の策定

非弾性ひずみ評価法、クリープ疲労評価法、座屈評価法等を開発整備し各種試験により、これら評価法の妥当性、安全裕度の確認を行った。

(b) 原型炉構造材料（SUS304、316、321、21/4Cr-1Mo鋼）の大気中及びナトリウム中材料試験等により、「高温構造設計方針 材料強度基準等」を開発・策定し、製作設計、設工認での評価ベースを確立した。

(c) 溶接部強度評価法の開発・整備

各種溶接部健全性確認試験の実施により、溶接部強度評価法を開発し、「試験研究の用に供する原子炉施設等の溶接の技術上の基準に関する規則」等に反映した。

(d) 管板、ベローズ、弁等特定構造物の評価法の開発

(e) 構造材料データベース、バンキングシステム（SMAT）の開発・整備

技術の現状

研究開発の目標

- ① 原型炉用に整備された基準の安全裕度等の見直し、解析法の高度化等により、基準を一層適正なものとする。
- ② 大型化、構造の多様化に対応できる特定構造の評価法を拡張・整備する。
- ③ 高クロムモリブデン鋼等の新材料の採用を可能とする。
- ④ 温度範囲、材料仕様、溶接法等に関する基準の適用範囲を拡大する。

研究開発の課題

- ① 非弾性ひずみ評価法、クリープ疲労評価法、溶接部強度評価法、座屈評価法等各種評価法の合理化
- ② 特定構造の評価法の拡張・整備
- ③ 第1種機器以外の機器の高温構造設計基準の合理化、整備
- ④ 高クロムモリブデン鋼用高温構造設計基準の整備
- ⑤ 現行材料強度基準の適用範囲の拡大
- ⑥ データベースの拡充・整備
- ⑦ 新材料の適用性調査

(2) 非弾性解析法の高度化・整備

- (a) 非弾性解析法を整備し、「高温構造設計方針」の非弾性ベース評価法による設計，許認可のための評価，解析に活用した。
- (b) 非弾性解析の可能な汎用非弾性構造解析プログラム（FINAS等）を開発し，活用している。
- (c) 各種構造要素の熱疲労，クリープ疲労，ラチェット，クリープ座屈データ等の構造物強度／挙動データの取得により，「高温構造設計方針」の策定ならびに非弾性解析法の妥当性を実証した。

技術の現状

研究開発の目標

非弾性解析を一層幅広く採用することにより，さらに厳しい設計条件下でも構造健全性の評価を可能とし，構造及び運転条件の適正化をはかる。

研究開発の課題

- ① 非弾性解析法の高度化とその検証
- ② 非弾性解析指針の整備
- ③ 非弾性解析のためのデータベースの整備
- ④ 非弾性解析プログラムの拡張・整備

(3) 高温破壊力学手法の整備

- (a) 線形破壊力学手法による配管等の漏洩先行型破損（LBB）評価法を確立し，設計破損開口量選定，ISI基準への反映をはかった。

技術の現状

研究開発の目標

非線形破壊力学手法の適用により，設計破損開口量の縮小化ISI基準の合理化をはかる。

研究開発の課題

- ① き裂進展特性の定式化，不安定破壊発生条件の把握
- ② 破壊力学手法を用いた評価法の整備
- ③ き裂開口量の評価法整備とISI基準への適用性検討

(4) 環境効果評価

- (a) 原型炉構造材料について，Na環境効果評価法を開発し，製作設計，設工認での評価ベースを確立した。
- (b) 原子炉容器等に使用されるSUS304の中性子照射環境効果評価法を開発し，製作設計，設工認での評価ベースを確立した。
- (c) 原型炉機器接触摺動部のCofree表面効果材のNa中摩耗，摩耗，自己融着特性データを取得した。
- (d) 蒸気発生器に使用されるSUS321，21/4Cr-1Mo鋼について，水・蒸気環境効果を評価した。

技術の現状

研究開発の目標

高クロムモリブデン鋼等新材料の環境効果評価法を確立する。また，各評価法の高度化をはかる。

研究開発の課題

- ① 高クロム鋼，炭素鋼用評価基準の整備
- ② 破壊力学特性に関するNa環境効果評価法の確立
- ③ 水・蒸気及びアルカリ環境効果評価法の確立

4. 熱流動

概要

「もんじゅ」までの研究開発によって熱流動上の研究課題はかなり解決され、各種の汎用解析コードも開発・整備されてきた。

実証炉に向けては、大型化（スケーリング）の問題、構造あるいは形状の違いによる適用性の問題、炉型の違いによる問題等、設計上解決すべき課題の解析評価技術の高度化が必要となる。

(1) システム熱流動評価

- (a) プラント動特性解析コード（COPD）を開発・整備し、「常陽」機能試験データ等による検証を行った。COPDは「もんじゅ」設計コードとして活用された。
- (b) 異常な過渡変化及び事故時のプラント熱流動解析ならびにLOPI現象等の評価が可能な次元動特性解析コード（SCC）を開発した。

技術の現状

研究開発の目標

- ① 実証炉のシステム全体にわたる動特性を明らかにするため炉心を考慮したプラント過渡応答試験を行うとともに、これまで開発された解析コードの改良・整備を行う。
- ② 炉型の違いや大型化に伴うスケール効果を見極めるため、基本仕様として選ばれた炉型に対して大型水流動試験を行い主要部の熱流動設計及び炉内機器配置の妥当性を確認する。

研究開発の課題

- ① プラントシステム解析技術の高度化
- ② 大型模型による水流動試験

(2) 崩壊熱除去システム性能評価

- (a) 「常陽」，「もんじゅ」では，崩壊熱除去系として補助炉心冷却システムを採用している。「もんじゅ」の崩壊熱除去系の性能は，蒸気発生器試験施設で実証した。
- (b) 蒸気発生器試験施設，「常陽」等の施設における自然循環試験の実施により，自然循環による崩壊熱除去の可能性実証と解析コードの検証を行った。
- (c) 低ペクレ数域管群の熱伝達評価を実施している。

技術の現状

研究開発の目標

これまでに開発された各種の自然循環解析コードの高度化を行うこと，直接炉心冷却系等の新しい崩壊熱除去システムの実験による性能評価を行うことにより，自然循環を積極的に活用した設計を行う。

研究開発の課題

- ① 自然循環時熱糧道評価手法の確立
- ② 崩壊熱除去系運転時炉容器内熱流動評価手法の確立
- ③ 全体システム性能評価
- ④ 炉容器壁自然通風冷却システムの性能評価

(3) 炉容器内熱流動評価手法の確立

- (a) 炉容器上部プレナム混合試験，サーマルストライピング試験，炉容器液面近傍健全性試験，炉容器内温度成層化試験等により，「もんじゅ」の構造健全性の実証及び熱流動評価手法の開発を行った。
- (b) 多次元汎用熱流動解析コードCOMMIX-PNCを開発した。
- (c) 実証炉に対して，炉容器流動実験（水試験）を行い，液面揺動温度成層化，自然循環特性等を調べた。

技術の現状

研究開発の目標

FBR特有の炉容器内熱流動現象を積極的に解明し，評価手法を確立して，炉容器内に配置される構造物の大きさ，形状の違いによる熱流動現象を適正化し，設計の詳細化や合理化をはかる。

研究開発の課題

- ① 液体と薄肉大型構造物との連成振動評価手法の確立
- ② 炉内機器配置の適正評価
- ③ サーマルストライピング評価手法の確立

(4) 炉心内熱流動評価手法の確立

- (a) 「もんじゅ」燃料集合体の圧損評価手法，冷却材ミキシング評価手法，燃料ピン接触時ホットスポット評価手法を確立した。
- (b) 「もんじゅ」炉心流量配分については，自然循環時を含む拾い流量範囲について流動特性相関式を得ている。
- (c) 単相サブチャンネル解析コードASFRE，定常解析用コードCOBRA-IV，沸騰サブチャンネルコードSABENA等の燃料集合体熱流力解析コードを開発・改良した。

技術の現状

研究開発の目標

プラント通常運転時から事故時にわたり，炉心内の熱流動特性を評価する手法を確立し，炉心設計の確証と裕度確認に資する。

研究開発の課題

- ① 炉心入口流況に関する研究
- ② 大型燃料集合体の過渡時熱流動評価手法の確立

5. 耐震

概要

FBR機器は低圧、高温、高熱応力下での使用と耐震上の要求を満足させる必要があり、高温設計と耐震設計の調和をはかることが重要である。

「もんじゅ」では高温設計と、軽水炉での合理化を含む耐震技術を整合させて設計を推進してきたが、実証炉では設計の一層の合理化をはかるため、合理化の進んだ軽水炉耐震技術の活用、「もんじゅ」の耐震設計基準の高度化をはかるとともに免震システム等の新しい概念を取入れ耐震性を大幅に高める方策を確立する。

(1) 設計・解析法の開発・整備

- (a) 「もんじゅ」床応答設定にあたり、波動論に基づく合理的地盤減衰を取入れた相互作用解析法を採用した。
- (b) 「常陽」起震試験により、軟地盤に深く埋込まれた原子炉建物の振動性状に関するデータを取得し、地盤-建物相互作用の解析を実施している。
- (c) 「もんじゅ」の原子炉容器、配管、ポンプ等主要な機器についてモックアップを用いた振動試験により動的応答解析手法等の妥当性を確認した。
- (d) 流体-構造物連成振動解析手法の検討を実施している。

技術の現状

研究開発の目標

FBR特有の耐震技術に関する研究開発の成果と軽水炉最新耐震技術を活用して実証炉耐震設計の合理化をはかる。

研究開発の課題

- ① 建屋及び機器耐震解析法の信頼性向上
- ② 耐震信頼性評価法の開発
- ③ 長周期地震動の検討
- ④ 流体関連振動評価法の開発
- ⑤ 薄肉構造物の地震時座屈評価手法の開発

(2) 炉心、配管系耐震設計の合理化

- (a) 「常陽」及び「もんじゅ」用に高放射線下での使用に耐える機械式防振器を開発した。
- (b) 炉心については「もんじゅ」用に炉心群振動解析コードを開発した。

技術の現状

研究開発の目標

- ① 高減衰付加型防振器等の新型支持装置を開発し、耐震設計の合理化をはかる。
- ② 炉心構成要素のホールドダウン力を適切に定めるため、上下地震動による応答を把握し、安全性を高める。
- ③ 実証炉炉心は大型化し、炉心構成要素数が増加するため、炉心の耐震性を確認する。

研究開発の課題

- ① 機器配管用新型支持装置の開発
- ② FBR配管の耐震限界試験
- ③ 炉心構成要素上下動の検討
- ④ 炉心群振動試験

(3) 原子炉構造耐震性総合評価

- (a) 「常陽」、「もんじゅ」においては小型の部分モデル振動試験を実施している。

技術の現状

研究開発の目標

実証炉の耐震合理化構造の実証のため、1/10モデルと1/3程度のモデルについて振動試験を行い、耐震設計の妥当性を総合的に実証する。

研究開発の課題

- ① 原子炉構造耐震限界試験
- ② 原子炉構造耐震確認試験

(4) 免震システムの開発

(a) 海外の原子炉施設、日本の特殊建築等で採用された実績があり日本の軽水炉でも研究が進められている。

技術の現状

研究開発の目標

免震システムの実証炉から実用炉での採用に向けて、免震装置の開発を進め、信頼性、耐久性、保守性等の確認を行う。

また、免震効果が期待できる浮揚式プラントの概念についても、そのフィージビリティ、経済性等に関する検討、評価を行う。

研究開発の課題

- ① 免震構造の開発
- ② 浮揚式プラントの概念検討

6. 炉心・燃料

概要

「常陽」の運転、MK-I, II炉心の特性試験、「もんじゅ」炉心設計を通じて、高速炉の炉心特性を把握し、炉心設計に必要な情報と経験を蓄積している。燃料の分野では、原型炉に必要な炉心材料の開発及び燃料性能の実証等を行い、これらをおして原型炉用燃料集合体構造設計方針、燃料挙動解析コード等が整備されている。

実証炉に対しては、プラント建設費や燃料サイクル費の低減につながる炉心設計、燃料の一層の高燃焼度化を目的として、炉心・燃料の高性能化のための研究開発、設計・評価手法の確立とデータベース拡充のための研究開発、実証炉基本使用選定及び最適化のための評価・検討等を実施する。

(1) 炉心概念の検討

- (a) 「常陽」、「もんじゅ」は均質炉心を採用している。
- (b) 「常陽」MK-I, II炉心特性試験、「もんじゅ」炉心設計を通じて炉心特性を把握し、技術経験が蓄積されている。
- (c) 日米共同の大型炉心臨界実験（JUPITER計画）等により均質炉心、非均質炉心の核特性の把握と大型炉の炉心校正要素としての成立性評価等が進められている。

技術の現状

研究開発の目標

- ① 実証炉1号の炉心について、経済性、安全性等の検知から最適化をはかるための検討評価を行い、炉心主要目の技術的根拠を明確にする。
- ② 将来炉としての最適炉心形式を検討するため、中空ペレット、炭、窒化物等の新燃料炉心、長寿命炉心などを対象に特性把握あるいは成立性に関する評価を行う。

研究開発の課題

- ① 実証炉1号の検討
- ② 将来炉心概念の検討

(2) 核設計手法及び炉心安全等評価技術の高度化

(核設計)

- (a) 炉定数セット (JFS-3-J2等) の整備が進められている。
- (b) 三次元輸送計算コード等各種の核計算コードが開発されており JUPITER 実験解析などにより、検証が進められている。
- (c) 「常陽」炉心管理コードが開発され、これをベースに「もんじゅ」炉心管理コードの開発が進められている。

(動特性・炉心安全)

- (a) 「もんじゅ」では、核計算を一点近似モデル、熱計算を1チャンネルモデルで計算し、各種フィードバックを核計算に取り込む手法を用いている。
- (b) 実証炉に向けて、微少な反応度変化にも精度よく対応できるコード開発を進めている。

技術の現状

研究開発の目標

- ① 核設計については、日米共同研究計画による JUPITER 臨界実験及び「常陽」等による実機性能試験を実施し、これらをもとに核データ・炉定数の整備、核計算コード類の改良・開発を進め、核設計精度の向上をはかる。
- ② 動特性・炉心安全については、空間依存性動特性解析コードを開発し、制御棒引抜事故時の炉心安全評価技術、炉心の核的結合定数の評価技術の高度化をはかる。

研究開発の課題

- ① 核データ・炉定数の整備
- ② 核計算コードの改良・開発
- ③ 臨界実験及び特性試験
- ④ 核設計精度の向上
- ⑤ 炉心動特性解析法の開発
- ⑥ 固有の安全性の検討

(3) 遮蔽設計技術の高度化

- (a) ステンレス鋼製中性子遮蔽体の使用実績の取得
- (b) 「常陽」、FFTF等の遮蔽実験データの評価、解析による解析精度の検証を実施した。
- (c) 二次元輸送およびモンテカルロ計算コードの整備と拡充を実施してきた。
- (d) 日米共同の大型炉遮蔽実験 (JASPER計画) が進行中である。

技術の現状

研究開発の目標

新遮蔽方式の適用性評価、炉内遮蔽体の開発、遮蔽設計手法ならびに設計精度の評価技術の高度化をはかり、炉容器周りの遮蔽構造のコンパクト化をはかる。

研究開発の課題

- ① 遮蔽設計の合理化
- ② 遮蔽設計手法の高度化
- ③ 炉内遮蔽体の開発

(4) 長寿命燃料材料の開発

(燃料材料)

- (a) SUS316鋼の改良を行い、世界的にも優れた316ステンレス鋼を開発し、照射挙動に関する性能の確認を実施し、「もんじゅ」2年炉心相当の材料開発を終了している。
- (b) より高性能の材料を開発するため、候補材のスクリーニング試験を進めている。
- (c) 混合酸化物燃料について、燃焼度13万MWd/t(ピン)までの性能を確認している。

(炉心構成要素)

- (a) 「常陽」、「もんじゅ」の実機レベルでの確認試験を主体として進めており、使用実績が蓄積されている。
- (b) 国産B、Cペレットの「常陽」での照射実績から、「もんじゅ」2サイクル寿命の制御棒を開発し、確証試験を実施している。また、ベント型ピンを開発し、「常陽」で実証中である。
- (c) ブランケット燃料については、「もんじゅ」5サイクル運転までの見通しを得るための確性試験を実施している。
- (d) 制御棒吸収ピン挙動解析コードCORAL等を開発した。

技術の現状

研究開発の目標

- ① 高速炉実用化のための指標の一つとして、20万MWd/tの高燃焼度燃料を開発する。このため、長寿命燃料材料の候補材として316相当ステンレス鋼、改良オーステナイト鋼、フェライト鋼を取り上げ、各材料の最適化をはかりながら性能評価・使用限界の確認を行う。
- ② 炉心構成要素に関しては、ブランケット燃料に対して可変流量調整機構を、制御棒にたいしては、下部ベント機構及びNaボンド型要素を開発し、長寿命化をはかる。

研究開発の課題

- ① 316相当ステンレス鋼燃料開発
- ② 改良オーステナイト鋼燃料の開発
- ③ フェライト鋼燃料の開発
- ④ 炉心構成要素の長寿命化

(5) 燃料設計手法の高度化

(燃料設計)

(a) 「常陽」, 「もんじゅ」の燃料設計, 「常陽」の運転実績等により, 燃料設計手法を確立してきた。これらは「もんじゅ」用燃料集合体構造設計方針」として集大成され, 材料強度基準, 設計用物性値等のデータ, 基準が整備されている。

(b) 燃料ピン及び集合体の挙動解析コード (CEDAR, SHADOW) の開発及び検証

(運転信頼性評価)

(a) プラント運転過渡時の燃料の設計裕度や燃料破損時のMOX燃料とNaの反応, 燃料のNa中への放出などプラントの安全性や信頼性を実験により評価し, 実証をはかってきた。

(b) 燃料破損時の運転信頼性に関し, 燃料設計の裕度やプラント計装 (燃料破損検出系等) の妥当性及び性能を確認・実証してきた。

技術の現状

(6) 新燃料の開発

(a) 燃料性能の改良を目指して被覆管内面へのTiコーティングの開発や軸方向非均質燃料の照射試験を進めている。

(b) MOX燃料以外の燃料として金属燃料や炭・窒化物燃料の研究が行われてきた。(小規模)

技術の現状

研究開発の目標

- ① 燃料設計については, 燃料用設計データベースの拡充, 挙動評価技術の向上をはかり, 燃料の大型化, 高線出力化, 製造仕様の合理的緩和を進める。
- ② 運転信頼性については, 原子炉運転下の過渡状態での燃料挙動, 破損に至るまでの安全余裕の評価, 破損機構の解明等を通じて運転信頼性を向上させ, 合理的判断基準を確立する。

研究開発の課題

- ① 燃料の大型化, 高線出力化のための評価手法の整備
- ② 燃料製造仕様の改良
- ③ 解析コードの改良
- ④ 燃料材料設計データベース, 基準の整備
- ⑤ 過渡運転時及び破損燃料運転時の信頼性評価

研究開発の目標

- ① 金属燃料, 炭・窒化物燃料等の新燃料について実用化を見通すための基礎的, 基盤的研究を進める。
- ② 改良型燃料として軸方向非均質燃料の挙動評価, 燃料要素短縮化のための下部プレナムピンの開発, PCMI低減と高線出力化のための中空ベレット, ソフトベレットの適用性評価を行う。

研究開発の課題

- ① 改良型燃料要素の評価
- ② 炭化物, 窒化物燃料及び金属燃料の評価
- ③ 改良型集合体の評価

7. プラント機器・設備

概要

「もんじゅ」の技術レベルを外挿したプラント機器・設備は設計可能であることが確認されている。

近年、FBRの経済性向上に対する要求は増々強まり、それにつれてプラント機器・設備についても新しい概念を適用することなどにより合理化をはかることが必要になっている。今後は耐震設計と高温設計との調和のとれた設計条件のもとに、機器・システムの一層の合理化と簡素化が極めて重要である。

従来の開発実績を基礎に、新しい技術を取り入れる積極性が必要である。

(1) 原子炉構造の開発

- (a) 「もんじゅ」の原子炉容器仕様（Na温度、大きさ、炉壁保護材質、溶接法等）に対する技術基準を確立している。（構造健全性確認、サーマルストラティフィケーション対策等）
- (b) 遮蔽プラグについては、「常陽」は二重回転プラグ、「もんじゅ」は一重回転プラグを採用。「もんじゅ」で大重量プラグの駆動技術を確立、カバーガス挙動の解明とNa蒸着防止法の開発を実施した。プラグ内温度分布解析技術を開発している。
- (c) 実証炉用としてタンク型炉、ループ型炉のルーフスラブ、炉容器、炉心構造等のフィジビリティ研究が行われ、その成立性の見通しが得られた。
- (d) 新概念等を取入れ、燃料取扱系との調和、炉内流動と適合したコンパクト原子炉構造の検討が進められている。

技術の現状

研究開発の目標

実証炉では出力の増大とともに、炉容器径が増大するため設計をできるだけコンパクトにする必要がある。これに伴い新しい概念や構造が検討されており、これらの成立性の評価や性能の確認を行う。

研究開発の課題

- ① 原子炉容器炉壁保護構造の成立性評価
- ② ルーフスラブ、遮蔽プラグ、回転プラグの開発
- ③ 炉心支持方式、炉心下部構造物の検討
- ④ 上下プレナム隔壁構造の簡素化

(2) 反応度制御設備の開発

- (a) 「もんじゅ」制御棒駆動機構としてS₂地震時にも1.2秒以下で挿入できる技術を開発し、フルモックアップによる水中及びNa中での試験により、機能、耐久性を確認した。
- (b) シール用ベローズ等の部品開発を実施し、耐久性、信頼性を確認した。

技術の現状

研究開発の目標

従来型駆動部を短尺化し、耐震性の向上をはかる。
また、地震時挿入性向上、駆動機構の多様性向上のために新型炉停止装置を開発し、プラントの安全性をより一層向上させる。

研究開発の課題

- ① 短尺型制御棒駆動機構の開発
- ② 新型炉停止装置の開発

(3) 蒸気発生器(SG)の開発

- (a) 「もんじゅ」では、分離型ヘリカルコイル式SGを開発した。モックアップにより、万千時間の運転を行い性能及び耐久性ならびに静的、動的特性を確認した。また、静的、動的特性解析コード等を開発し、その検証を実施した。
- (b) 「もんじゅ」SGの安全性として、小リークから大リークまでを模擬したNa-水反応試験を行い、伝熱管水リーク時の設計基準リークの選定、水リーク時の事象推移評価コードの開発・改良水リーク検出システムの開発を実施した。
- また、大リーク対応設備としての圧力放出系、反応生成物収納施設の機能確認等を実施した。

技術の現状

研究開発の目標

高クロム鋼製一体貫流型SGを開発し、コンパクト化をはかる。
二次系削除の可能性を追求して信頼度の高い二重管型SGを開発する。
設計基準リークの合理化及び水漏洩対策設備の効率化と合理化のためにNa-水反応試験、水リーク検出システムの開発を行う。

研究開発の課題

- ① 一体貫流型SGの開発
- ② 二重管型SGの開発
- ③ Na-水反応対策の検討

(4) 主循環ポンプの開発

- (a) 「もんじゅ」用に流量100 m³/分のポンプを開発した。一次主循環ポンプについてはモックアップ試験で性能及び耐久性を確認した。また、この試験でカバーガスの対流防止対策の一つとして、対流防止板の有効性を確認した。
- (b) 大型ポンプ構造設計法、地震時機能維持評価法等を開発した。
- (c) タンク型炉用インデューサポンプのモデル試験が行われ、コンパクト化の検討が実施されている。

技術の現状

研究開発の目標

プラント物量削減の観点から、ポンプの小型化をはかるとともに経済性と信頼性の向上をはかる。

研究開発の課題

- ① 高吸込比速度ポンプの開発
- ② シュラウドインデューサポンプの開発
- ③ 要素技術、ポンプ計装の開発
- ④ キャビテーション基礎研究開発とその応用
- ⑤ 新型ポンプの開発（フローカブラ等）
- ⑥ 無液面型二次主循環ポンプの開発

(5) IHXの開発

- (a) 「もんじゅ」用IHXに対しては水及びNaを用いた流動試験により、各部の最適形状、流動特性を評価した。（設計、製作、特性データ取得）
- (b) タンク型炉用IHXのモデル試験が行われ、原子炉容器、ポンプ等を含むコンパクト化の検討が行われている。

技術の現状

研究開発の目標

タンク型炉容器コンパクト化の観点から新型IHXを開発する。また、タンク型、ループ型の両炉型に共通するコスト低減策としてIHXに高クロム鋼を適用する。

研究開発の課題

- ① 新型IHXの開発
- ② 高クロム鋼のIHXへの適用に関する研究
- ③ 伝熱管束部の伝熱流動特性の研究

(5) 配管系の開発

- (a) 「常陽」、「もんじゅ」では配管の引回し方式を採用、配管設計解析、評価手法を開発した。
- (b) 配管ベローズ継手の実規模信頼性試験及び構造解析評価手法等の開発を実施している。

技術の現状

研究開発の目標

配管短縮化技術の一つとしてベローズ継手を開発し、配管系の大幅な合理化を実現し、コスト低減をはかる。

研究開発の課題

- ① ベローズ継手、容器挿入式一体型コールドトラップの開発

(6) 燃料取扱設備の開発

- (a) 「常陽」は直動型、「もんじゅ」は固定アーム型燃料交換機を採用し、モックアップ試験等により機能及び耐久性を確認した。
(設計、製作、特性データの取得、運転技術の習得)
- (b) 「もんじゅ」用燃料出入機については、モックアップにより、崩壊熱除去能力の確認等を実施した。また、設計、製作、特性データの取得、運転技術の習得が行われた。

技術の現状

研究開発の目標

原子炉容器小型化のために、新しい概念や組合せによる小型で信頼性の高い燃料取扱機器を開発する。
また、使用済燃料の水中裸貯蔵技術等により、燃料取扱設備の合理化をはかる。

研究開発の課題

- ① コンパクト型燃料交換機、燃料出入機の開発
- ② 革新型燃料交換機、燃料出入機の開発
- ③ 燃料交換機保管技術の開発
- ④ 裸燃料水中貯蔵技術の開発

(7) 計装技術の開発

- (a) 核計装については、「もんじゅ」までの研究開発で実証炉以降のプラントにも十分対応できる検出器が開発された。
- (b) 「常陽」及び「もんじゅ」用の燃料破損検出位置決め装置について各種試験を実施し、性能を実証した。
- (c) 12Bまでの電磁流量計、超音波流量計について実流校正を実施した。「もんじゅ」用24B電磁流量計についても実流校正を実施する。
- (d) 測定長5mの長尺液位計、校正端付圧力計を開発した。
- (e) 微量ナトリウム漏洩検出器及び検出システムについて、各種の検証試験を実施し、システムの有効性を確認した。
- (f) 「もんじゅ」用に垂直型、水平型のナトリウム透視装置を開発した。

技術の現状

研究開発の目標

経済性、信頼性向上の観点から計装の高度化をはかるとともに、異常検出・診断システムと合わせて総合化をはかる。

研究開発の課題

- ① 原子炉計装の高度化
- ② プロセス計装の高度化
- ③ 監視・検査用計装の高度化
- ④ 異常診断システムの開発

8. 運転・保守

概要

「常陽」はすでに10年の運転実績を積んでおり、この間に多くの運転・保守経験を蓄積している。これらは「もんじゅ」の各段階で有効に反映されている。「もんじゅ」は昭和67年10月頃に臨界を達成する予定であり、その後は運転・保守の経験を積むことができる。

実証炉はこれらの経験を有効に活用し、運転・保守の面からも適切なプラントにすることが重要である。

(1) 運転・保守補修技術の高度化

- (a) 被曝低減を目的に、CP、FP、トリチウム等放射性物質の挙動解明が進められ、各種データの蓄積と挙動解析コード（PSYCHE等）の開発、実証が進められ（ALPHABET計画）、「もんじゅ」用としては完成している。
- (b) CPトラップ、セシウムトラップ等の開発が行われ、セシウムトラップについては「常陽」に設置して実証中である。（ALPHABET計画）
- (c) 放射性物質の付着したNa機器の取扱い及び装荷技術、ならびにNaやCPの除染技術等大型Na機器のメンテナンス技術の開発が進められている。また、放射性廃液の処理技術の開発も進められている。
- (d) 「常陽」の機器の故障、補修データをベースに「常陽」保守支援システムを開発し、実機に適用して改良を重ねている。
- (e) 「常陽」において運転支援システムの開発、実機適用がはかられ、多くの実績を積んでいる。

技術の現状

研究開発の目標

運転、補修員の被曝低減をはかるとともに、点検・保守・補修技術の高度化により点検期間の短縮をはかり、プラント稼働率の向上をはかる。

また、運転性の面からプラントの合理化をはかる。

研究開発の課題

- ① 運転支援技術の高度化
- ② 被曝低減化技術の高度化
- ③ 遠隔点検・保守・補修技術の高度化
- ④ 保守支援システムの高度化

(2) 供用期間中検査技術の高度化

- (a) 狭隘な炉容器周り I S I のため、耐熱、放射線性ファイバ스코ープ（肉眼試験センサ）を開発した。
- (b) 体積試験センサとして耐熱性を有し、非接触で測定可能な電磁超音波センサ（EMAT）を開発した。また、蒸気発生器伝熱管用の I S I 装置（UT, ECT）を開発した。
- (c) 連続モニタリング用として、微少ナトリウム漏洩検出システム（SID, DPD, RID等）を開発した。
- (d) 「もんじゅ」用検査機（走行装置等）については機能確認を実施中である。

技術の現状

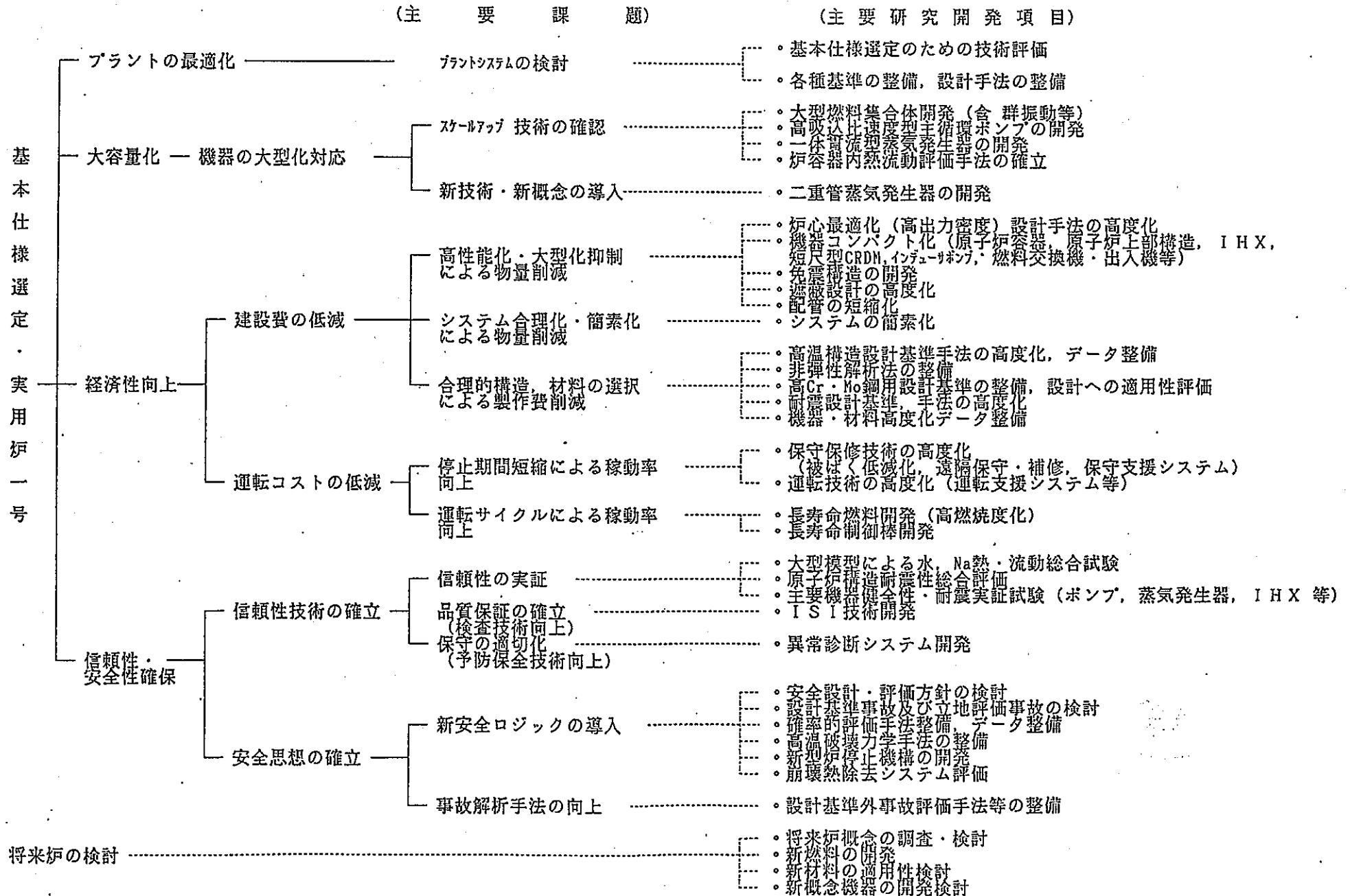
研究開発の目標

I S I 装置の簡素化、信頼性の向上、検査期間の短縮をはかる。

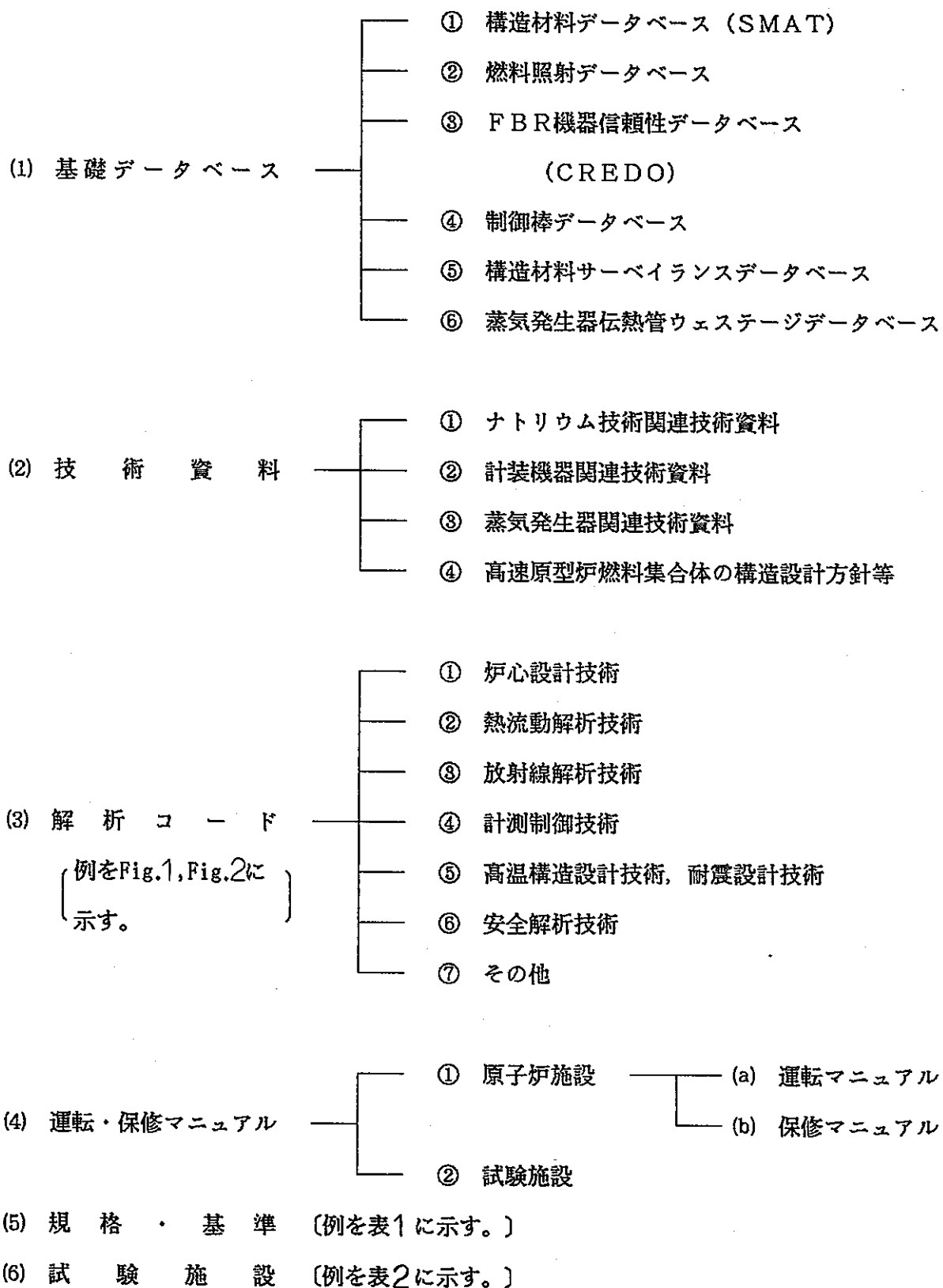
研究開発の課題

- ① I S I 方針の検討
- ② I S I 装置の高信頼度化

高速増殖炉開発に関する主要課題と研究開発項目



技術の体系化

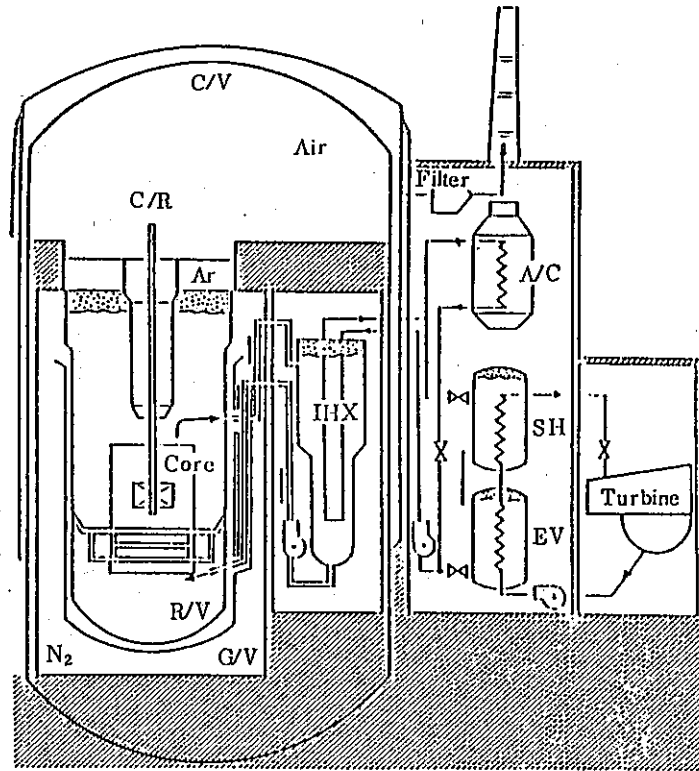


II. 事故時の炉心冷却

- (1) プラント動特性
{ JOYO, FFTF, 50MW-SG }
{ SSC, MIMIR }
- (2) 炉容器内熱流動
{ JOYO, FFTF, EVST, Stratification }
{ COBRA-WC, ARMADA }
- (3) 全炉心
{ JOYO, PLANDTL }
{ COBRA-WC, ARMADA }
- (4) 燃料集合体
{ PLANDTL, DIIB, THORS(ORNL), MIT-MC, KNS(KFK), SOBOB(UK) }
{ SPIRAL-1 ϕ , ASFRE-1 ϕ , SABENA-2 ϕ }

III. HCDA (TOP, LOF, PLOHS)

- (1) 起因過程
 - ・ 沸騰・燃料破損
{ P, CABRI(CEA), TREAT(ANL) }
{ SAS(ANL), PAPAS }
 - ・ FCI
{ (1) }
{ SAS, PAPAS }
 - ・ 被覆材・燃料溶融移動
{ -, CABRI, TREAT, STAR(SNL) }
{ -, SAS }
- (2) 炉心崩壊過程
 - ・ 遷移過程
{ TREAT, EOS, PBE(SNL), CABRI }
{ SIMMER, VENUS-PM }
 - ・ 炉心膨張過程
{ SRI, KFK, Purdue }
{ SIMMER }
 - ・ 溶融炉心物質再配置
{ -, TRAN(SNL) }
{ -, PLUGM(SNL), APPLOHS }
- (3) 事故後崩壊熱除去過程
{ P, JDBP(SNL) }
{ TRABED/CORCAT(IA), TC2D/3D-NBOIL, PRELUDE, SSC }
- (4) 事故後物質移動過程
{ P, FRAG(SNL) }
{ CORCAT, SIMMER }



IV. 高速炉プラントにおける環境安全

- (1) ナトリウム火災
{ SOFT, SAPFIRE, FAUNA(KIK), ESMEALDA(CEA), SFSTF(AI) }
{ ASSCOPS, SOFIRE(AI), SPRAY(HEDL), CONTAIN(SNL) }
- (2) エアゾール挙動
{ (1), CSTF(HEDL), LTV(AI) }
{ ABC-INTG }
- (3) 格納系全般
{ (1), SNL, HEDL }
{ CEDAN, CONTAIN }
- (4) SOURCE TERM
{ SAPFIRE }

(アンダーライン部は、国産)

I. 局所事故

- (1) 異常検出
{ P, FPI-2, RBCB(ANL) }
{ LOCAD }
- (2) 局所温度異常(ピン接触, ガス放出, 流路閉塞)
{ P, KfK, MOL-7C }
{ ASPRE, SABENA, PYTHON }
- (3) 局所圧力発生(FCI)
{ P }
{ EULFCI }
- (4) 破損伝播
{ -, MOL-7C(KfK), SCARABEE(CEA) }
{ FUMES, SARUP, SABENA, SIMMER(LANL) }

VI. 高速炉プラントの確率論的安全評価

{ FREEDOM(Joyo, 大洗ナトリウム・ループ), CREDO(DOE) }
{ SETS等各種コード, 各種事故解析コード, SNR-300解析例(KfK, GRS), CRBRP解析例 }

V. SG(ナトリウム-水反応)安全研究

{ SWAT-1~4, LLTR(ETEC) }
{ SWACS, LEAP, SWAC-10, SWAAM-LT(ANL) }

Fig.1 FBR安全研究における〔実験データ〕, 〔解析コード〕

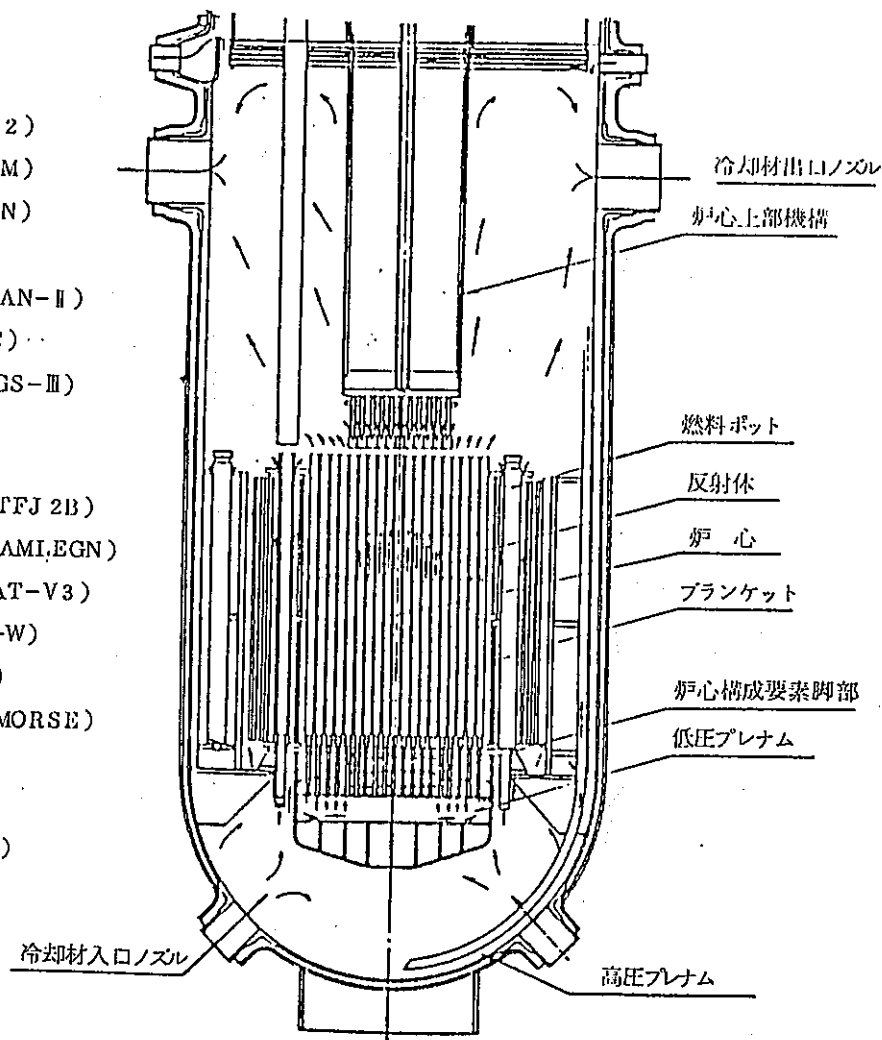
燃料設計・解析

○ 炉心核特性解析

- 基本核定数 (JFS-3R-J2)
- 実効断面積作成 (SLAROM)
- 拡散燃焼計算 (CITATION)
- 拡散振動計算 (CIPER)
- 2次元輸送計算 (TWOTRAN-II)
- 3次元輸送計算 (TRITAC)
- 崩壊熱放射化量評価 (FPGS-III)

○ 遮蔽解析

- 基本核定数 (JSDJ 2B/JTFJ 2B)
- r 線用定数 (POPOP4/GAMEGN)
- 実効断面積作成 (RADHEAT-V3)
- 1次元輸送計算 (ANISN-W)
- 2次元輸送計算 (DOT 3.5)
- 3次元モンテカルロ計算 (MORSE)
- CP挙動解析 (PSYCHE)
- r 線遮蔽計算 (QAD-CG)
- トリチウム挙動解析 (TTT)



○ 燃料集合体解析

- 炉心内集合体湾曲解析 (TETRAS HIBEACON)
- 炉心内集合体群振動解析 (VIOLLON)
- 燃料集合体構造解析 (FINAS, FBRSTRESS)
- 燃料ピンマントル変形解析 (SHADOW, MULTIBOU)

○ 燃料ピン, 制御棒解析

- 燃料ピン挙動解析 (CEDAR)
- 燃料ピン設計 (SIMPLE)
- 燃料ピン破損確率評価 (BORNFREE)
- 燃料ピン・ワイヤ相互作用解析 (SPILE)
- 燃料ピン温度解析 (DIRAD, FEAPUS)
- 制御棒挙動解析 (CORAL)

熱流動・解析

○ 炉内熱流動

- 炉内熱流動解析 (COMMIX)
- 炉内流動配分解析 (MARINE)

○ 燃料集合体熱流動

- 燃料集合体内熱流動解析 (MAMUSY, SWIRL, (PYTHON, FLOWER))
- 制御棒集合体内熱流動解析 (VORTEX)

Fig.2 FBR 炉心・燃料解析コード

表1 規格・基準

- ① 昭和61年12月23日 総理府令第74号
「試験研究の用に供する原子炉施設等の溶接の技術上の基準に関する規則」
- ② 昭和61年12月23日 科学技術庁長官通達61安局(原規)第57号
「溶接の方法の認可について」
- ③ 科学技術庁原子力安全局
 - (a) ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設に関する技術基準
 - (b) ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設に関する構造等の技術基準
 - (c) ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設の耐震設計基準
 - (d) 高速原型炉第1種機器の高温構造設計指針
 - (e) 高速原型炉高温構造設計指針材料強度基準等

表2 動燃事業団におけるFBR実用化のための試験施設

既存の試験施設

- ・50MW蒸気発生器試験施設
- ・蒸気発生器総合安全性試験施設
- ・大型ポンプ総合安全性試験施設
- ・制御棒駆動機構試験施設
- ・燃料出入機・交換機試験施設
- ・しゃへいプラグ総合断熱試験施設
- ・構造物強度確性試験施設
- ・大型クリーブ疲労・座屈試験施設
- ・水流動試験施設
- ・各種構造材料試験施設
- ・各種熱過渡試験施設
- ・各種計測機器試験施設
- ・照射燃料材料・燃料集合体試験施設
- ・DRACS試験装置
- ・FSI試験装置
- ・炉心物質溶融挙動試験装置
- ・各種大規模Na漏洩火災試験装置
- ・Na沸騰試験装置

+

新設予定試験施設

- ・大型Na熱流動試験施設
(50MWSGTFの改造)
- ・Na用計装総合試験施設
- ・大型水流動試験施設
- ・大型照射後試験施設
- ・FBR制御性試験施設

+

「常陽」および「もんじゅ」

試験施設としての利用

- ・大型ポンプ実証試験
- ・大型バルブ、逆止弁実証試験
- ・大型配管ベローズ継手実証試験
- ・大型流量計、レベル計装校正試験
- ・原子炉構造総合水流動試験
- ・ISI機器総合機能試験
- ・照射後試験
- ・FBRシミュレータ、運転支援システム開発

- ・大型配管ベローズ継手実機適用試験
- ・信号多重伝送システム実機適用試験
- ・大型蒸気発生器試験
- ・ISI機器実機適用試験

- ・新材料一体型および2重管型50MW蒸気発生器総合試験
- ・タンク型炉総合確性試験
- ・新型炉停止機構開発試験
- ・燃料出入機、交換機総合機能試験
- ・構造物熱過渡試験
- ・配管ベローズ継手、円筒類クリーブ疲労、座屈試験
- ・IHX、蒸気発生器、原子炉構造水流動試験

高速炉国際協力協定と主な活動

協 定 名 (相手国・期間)	目 的 及 び 主 な 活 動
日米原子力安全研究協力取り決め (米国/NRC)	<p>目的： 軽水炉施設，高温ガス炉施設，高速増殖炉施設の安全性研究に関する研究協力を行う。</p> <p>活動： サンディア国立研究所における試験及び各種研究機関におけるコード開発の実施。</p>
日米高速増殖炉協定取り決め (米国/DOE)	<p>目的： 高速増殖炉に関する情報交換と協力を行う。</p> <p>活動：(1) プラントシステム・機器 技術情報の交換及び技術者交換</p> <p>(2) プラント経験</p> <p>① 運転保守訓練のためEBR-IIに技術者を派遣 (延べ24名)</p> <p>② FFTF/Joyoで技術者交換 (夫々延べ7名)</p> <p>(3) 安全性 FBR事故，故障データベース作成計画他</p> <p>(4) 燃料材料</p> <p>① 長寿命燃料材料共同開発試験</p> <p>② 運転信頼性共同試験</p> <p>③ 燃料挙動解析コード共同開発</p> <p>(5) 炉心設計</p> <p>① JUPITER計画 (大型炉心臨界実験)</p> <p>② JASPER計画 (大型炉遮蔽実験)</p> <p>(6) 廃棄物管理 セラミックメルタの技術評価，PNIメルタ試験への参加</p> <p>(7) 燃料サイクル FBR再処理施設のための臨界安全共同実験</p> <p>(8) もんじゅ/CRBR もんじゅ及びCRBRの設計情報交換</p>

協 定 名 (相手国・期間)	目 的 及 び 主 な 活 動
日英高速増殖炉取り決め	<p>目的： 高速増殖炉の研究開発に関する情報交換及び研究協力を行う。</p> <p>活動： PFR, 常陽の運転保守経験を中心とした情報交換</p>
炉心安全性共同実験＝スカラベ計画 (仏国/CEA)	<p>目的： 局所事故事象解析のための試験に参加し、入口閉塞による集合体破損伝播挙動を把握する。</p> <p>活動： 実験進行中</p>
カプリーⅡ計画 (仏国/CEA)	<p>目的： 日独仏共同カプリー計画の拡張</p>
もんじゅ/SNR-300 技術情報交換に関する協力協定 (西独/インターアトム)	<p>目的： もんじゅ, SNR-300の設計情報交換を行うとともにSNR-300の試運転に参加し、ループ型原型炉の取扱法を習得する一助とする。</p> <p>活動： SNR-300の試運転に参加</p>
日独仏高速増殖炉 技術協力取り決め (西独・仏/kfk, インターアトム,CEA)	<p>目的： 高速増殖炉に関する基盤的研究開発分野における技術的及び科学的協力を行う。</p> <p>活動：(1) Joyo/knk-Ⅱ/Rapsodie 運転経験情報交換 (2) 安全設計分野での専門家会議の定期的開催</p>
日独仏共同カプリー 計画 (西独・仏/ kfk,インターアトム,CEA)	<p>目的： CABRI 炉を使用した異常反応度挿入時の燃料ピン挙動の実験</p> <p>活動： 約30種の試験マトリックス消化, 結果の解析評価</p>
IAEA/IWGFR	<p>IAEA/IWGFR参加国との技術情報交換</p>
OECD/NEA	<p>OECD/NEA参加国との技術情報交換</p>