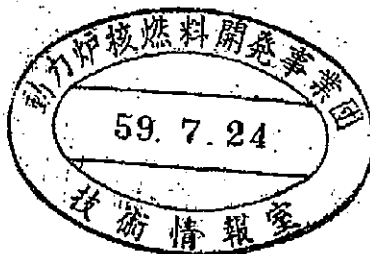


本資料は2001年11月30日付けで  
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

## F B R 研究開発の方向と概況

昭和59年7月



動力炉・核燃料開発事業団

高速増殖炉開発本部

本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部または一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別の許可を必要としますので、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)

## F B R 研究開発の方向と概況

本資料は、FBR研究開発の現状（原型炉「もんじゅ」へ全力投球している現実と内外とも流動的な実証炉研究開発という将来問題）を踏まえ、今後の研究開発の進め方を産業化、技術移転の問題も含め、動燃の在るべき将来像に照しながら再考すべき時期にあるとの認識の下に取り纏めたものである。

本資料の前半に研究開発の進め方が、後半に大洗4部の経緯、現状、主な成果、当面の課題、将来計画等が取り纏められている。

なお、本資料の一部は昭和59年7月3日に開催された社内拡大幹部会において「FBR研究開発の現状と当面の課題」というテーマで報告されている。

# 目 次

## A. FBR研究開発の現状と当面の課題

I. 現 状 .....	1
II. 研究開発の方向 .....	2
III. 実施方策 .....	3
1. 実験炉による研究開発（A計画） .....	3
2. 原型炉の研究開発（A計画） .....	3
3. 実証炉に関する研究開発の展開（B計画） .....	4
4. 基盤技術の拡大と推進（C計画） .....	4
5. 国際協力 .....	5
IV. 当面の課題 .....	6

## B. FBR研究開発の方向と概況

1. 研究開発の方向 .....	9
2. 研究開発の概況 .....	24
I. 高速炉機器開発部 .....	27
II. 燃料材料試験部 .....	44
III. 高速実験炉部 .....	57
IV. 高速炉安全工学部 .....	70

## A. FBR 研究開発の現状と当面の課題

## F B R 研究開発の現状と当面の課題

### I. 現 状

高速増殖炉の研究開発は大洗工学センター（高速炉機器開発部，燃料材料試験部，高速実験炉部，高速炉安全工学部）を中心として，国内の研究開発機関の協力を得て進めるとともに，日米，日英，日独仏等の国際協力も積極的に進めている。

高速実験炉「常陽」は，その第2の使命である高速炉用燃料材料開発のための照射施設への移行を終了し，現在，昭和59年6月からの第4サイクルを順調に運転している。「常陽」の順調な運転は，混合酸化物燃料ナトリウム冷却高速増殖炉の安定かつ安全な運転を立証するものであり，高速増殖原型炉「もんじゅ」建設への大きな支援になっている。

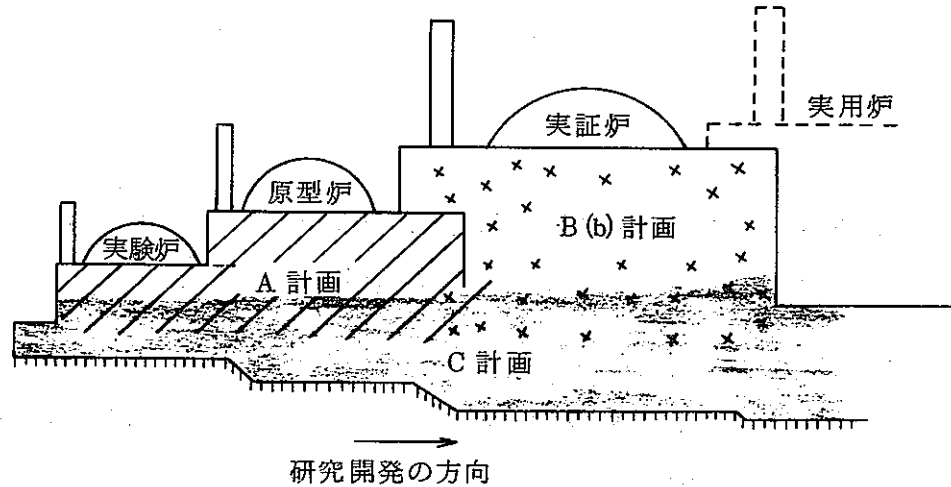
「もんじゅ」の研究開発は，安全審査終了に伴い，昭和59年度後半から昭和62年度前半にかけて予定されている設工認を得るためのR & Dに主力が置かれている。なお，安全審査で指摘された事項〔「詳細設計段階等で検討すべき事項」（53項目）及び「行政庁が設工認以降の段階で確認すべき事項」（10項目）〕については，予算上の制約を勘案し，重要度，緊急度に対応したR & Dを昭和57年度から行っている。

実証炉の研究開発は，原子力開発利用長期計画に沿って，現在，原子力委員会でその進め方の検討が行われているが，第1段階としての基本仕様の決定（昭和62年度炉型選定）に必要な研究開発は，電気事業者との分担・協力についての合意項目を中心に進めることとしている。なお，設計研究については，昭和50～53年度に予備設計，昭和54～56年度に原型炉外挿型の設計研究，昭和57年度以降建設費低減を目標としたループ型に関する設計研究及び58年度よりタンク型炉を含む炉型式選定に関するシステム評価検討を行っている。

## II. 研究開発の方向

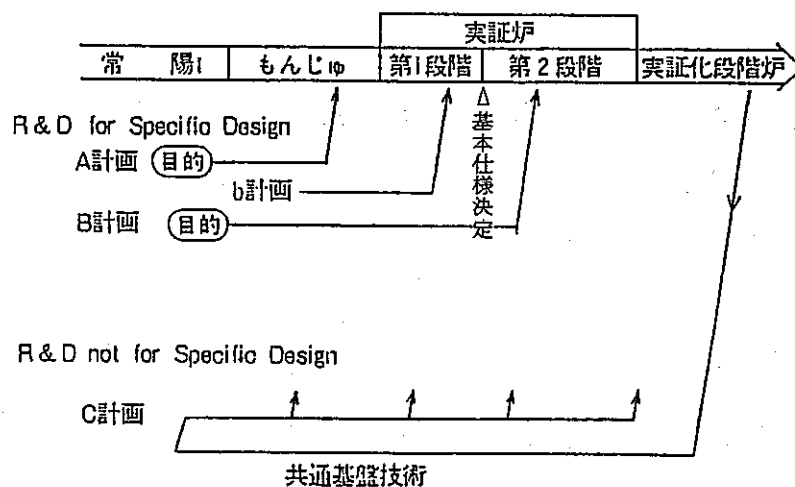
高速増殖炉の研究開発は、便宜上次の3つの計画に分類される。

- (1) 実験炉「常陽」及び原型炉「もんじゅ」に特有なR & D (A計画)
- (2) 実証炉に特有なR & D (B及び(b)計画)
- (3) 実験炉, 原型炉及び大型炉に共通な基盤技術開発 (C計画)



このうち、実証炉に特有なR & Dは、第1段階としての基本仕様決定のためのR & D (b計画)から第2段階としての基本仕様に従う設計、許認可、建設及び運転に必要なR & D (B計画)へと続く。

共通基盤技術は、「常陽」、「もんじゅ」の研究開発のなかで既に行われてきているものであるが、今後FBRの実用化に向けて、C計画として動燃が一層力を入れてゆく分野である。



研究開発方向と成果の反映

### Ⅲ．実施方策

これらの研究開発を実施するに当たっては、

- (1) コスト意識，システム意識に基づく重点的研究開発
- (2) 建設費低減，経済性を意識したシステム評価研究
- (3) 成果の横断的評価と実用化のための基準類の整備
- (4) 国内外の趨勢に対する適切，調和のとれた配慮
- (5) 国際協力による有効活用

などに十分留意して行う。

なお，実証炉の設計・建設に動燃事業団が積極的に寄与するため

- (1) 「実験炉」，「原型炉」及びこれまでの研究開発の成果を基盤とした動燃事業団が持っている技術力を発揮できるようにする。

- (2) 広角的，多角的な検討が可能な力をつけることが出来るようにする。

(実証炉関連グループを本社及び大洗に設置し，その活性化を図ることとした。)

#### 1．実験炉による研究開発（A計画）

実験炉「常陽」は国内外からの受託を含め，今後益々燃料材料開発のための高速中性子による照射ベットとしての活用を図ると共に運転経験，保守・保修経験等を通じ，また訓練施設として将来炉のための反映を図る。また試験施設として諸種の実証データを得るためにも活用する。（原研J M T Rは熱中性子利用照射炉）

#### 2．原型炉の研究開発（A計画）

原型炉の研究開発については，所定年度の臨界を目標に，「もんじゅ」建設に総力を結集して進める。このため，行政庁安全審査における指摘事項（詳細設計段階等で確認すべき53項目及び行政庁確認10項目）の対応をはじめとする建設・運転に必要な研究開発を当面，第1優先で進める。原型炉の研究開発，建設，運転の経験は順次整備集大成を図り実証炉へその成果を反映させるものとする。



### 3. 実証炉に関する研究開発の展開（B計画）

実証炉の研究開発は、軽水炉と較べて建設費が高いことから特に、経済性に主眼を置く必要がある。また、原型炉プロジェクトの成果に基づき、安全性を備えた実用化の在り方を検討することにより、プラントの大容量化、高性能化等を図る。また、高速増殖炉の特徴をよりよく活かした安全設計の方針と、これに対応した新概念のプラント系統及び機器設計の考え方を打ち出すとともに、これらを裏付ける試験研究を行う。

当面は電力と協調、支援研究を行う他、原型炉までの経験を延長して大型炉の最適化設計を自ら行なうために必要かつ、重要な課題（キー・テクノロジー）について検討を行うとともに、炉型比較について知見が得られるようシステム評価研究並びに新しい炉心概念、機器システム、材料などの可能性の試験研究を行う。また、大型試験施設の準備を行う。

### 4. 基盤技術の拡大と推進（C計画）

FBRプラントには、様々な型式が考えられるが、それらを構成する要素技術には共通的なものが多い。

基盤技術は、実験炉、原型炉をはじめ将来の大型炉に共通して必要な技術なので、これまでの実験炉、原型炉の研究開発の中で得られた成果、経験、ノウハウを踏まえて、今後さらに実用化に向けて経済的に競争力のあるFBRの実現及び核燃料サイクルの確立のために拡大強化を図る。例えば、

- (1) 照射、ナトリウム環境下における燃料、材料データの整備。
- (2) 遮へい合理化、炉心合理化のための核データの整備と精度の向上。
- (3) 安全設計、安全評価手法の整備等のFBR安全性研究
- (4) 設計解析法、設計基準、計算コード、マニュアル等規格・基準の整備・標準化
- (5) 被曝低減化技術等プラントの運転保守経験に基づく研究開発
- (6) 新技術、新概念の導入、機器システムの改良等経済性、信頼性向上技術の研究開発

(7) F B R 運転技術等の教育訓練

なお、これらの研究開発の成果は適宜実証炉設計・建設に反映していくものとする。

5. 国際協力

- (1) 従来の日米、日欧協力は、その内容を必要に応じ見直しつつ、今後も継続する。
- (2) 当面は重要課題である、安全設計クライテリア、プラント最適化研究、日仏交換照射、ラプソディ廃炉計画への協力等について、具体的内容をつめる。
- (3) 原型炉計画を強力に進めるために新たに必要となる国際協力は速やかに進める。また C R B R 情報の有効活用に努める。
- (4) 国際協力の成果の評価を行ない今後諸外国における新しい状況変化と、国内における実証炉以降の官民の役割分担に対応した新しい国際協力関係を作るのに役立てる。

#### IV. 当面の課題

##### 1. 全 般

###### 1) 中長期計画の策定

F B R 研究開発 5 ヶ年計画，燃材開発長期計画，構造材料試験計画等現有計画を見直し検討中。

###### 2) 受託研究の可能性検討

「常陽」を使用しての受託照射（東北大学）

###### 3) 産業化に伴う動燃の役割と民間との協調

###### 4) 各部門との横断的な協調

###### 5) 人材の育成と組織の活性化

##### 2. 実験炉「常陽」

###### 1) 「常陽」/フェニックス交換照射計画の契約

###### 2) 「常陽」プルトニウムの国外からの入手計画

##### 3. 原型炉「もんじゅ」

###### 1) 設工認，試験検査，運転・保守対応 R & D の実施

###### 2) 「もんじゅ」使用済燃料検査施設の建設（F M F 増設案）

###### 3) F B R 燃料サイクル施設建設対応

###### 4) 福井臨港動燃取得用地の利用計画（運転シミュレータ等）

##### 4. 実証炉

###### 1) 電事連対応，原子力委員会 F B R 懇談会対応等

###### 2) 実証炉に係わる R & D の予算化，資金調達と民間出資金（一般会計と特別会計の処理範囲）

###### 3) 実証炉用大型汎用試験施設の建設

## 5. 実用化に向けての R & D

- 1) 共通基盤技術の拡大と充実化
- 2) 設計研究及び R & D データの資料化, 基準化等の集大成
- 3) 新技術の採用検討
- 4) 技術移転と蓄積データ, ノーハウの技術管理

## 6. 大洗工学センターの在り方

- 1) ソフトウェア拡充とこれに伴う電算機システムの整備
- 2) 運転訓練センター構想
- 3) 工学センターの民間利用と施設の運転管理委託

## B. F B R 研究開発の方向と概況

### 内 容

1. 研究開発の方向
2. 研究開発の概況

## 1. 研究開発の方向

表-1 FBR 研究開発の方向

( A 計画 ) : 「常陽」および「もんじゅ」用

---

「常陽」および「もんじゅ」のために実施中の R & D  
で、順次収束をはかるべきもの

( B 計画 ) : 実証炉用 ( For specific design )

---

- 実証炉基本仕様選定用 R & D ( b 計画 )
- 実証炉仕様、基準の作成と確性用 R & D

( C 計画 ) : 共通基盤技術 ( Not for specific design )

---

- 経済的に競争力のある低コスト FBR の実現のために必要な基盤的 R & D
- 「常陽」、「もんじゅ」の経験をもとに、設計研究、データバンク、コード、規格・基準、仕様ガイド等の整備
- 実用化時代の核燃料サイクルの確立に必要な R & D

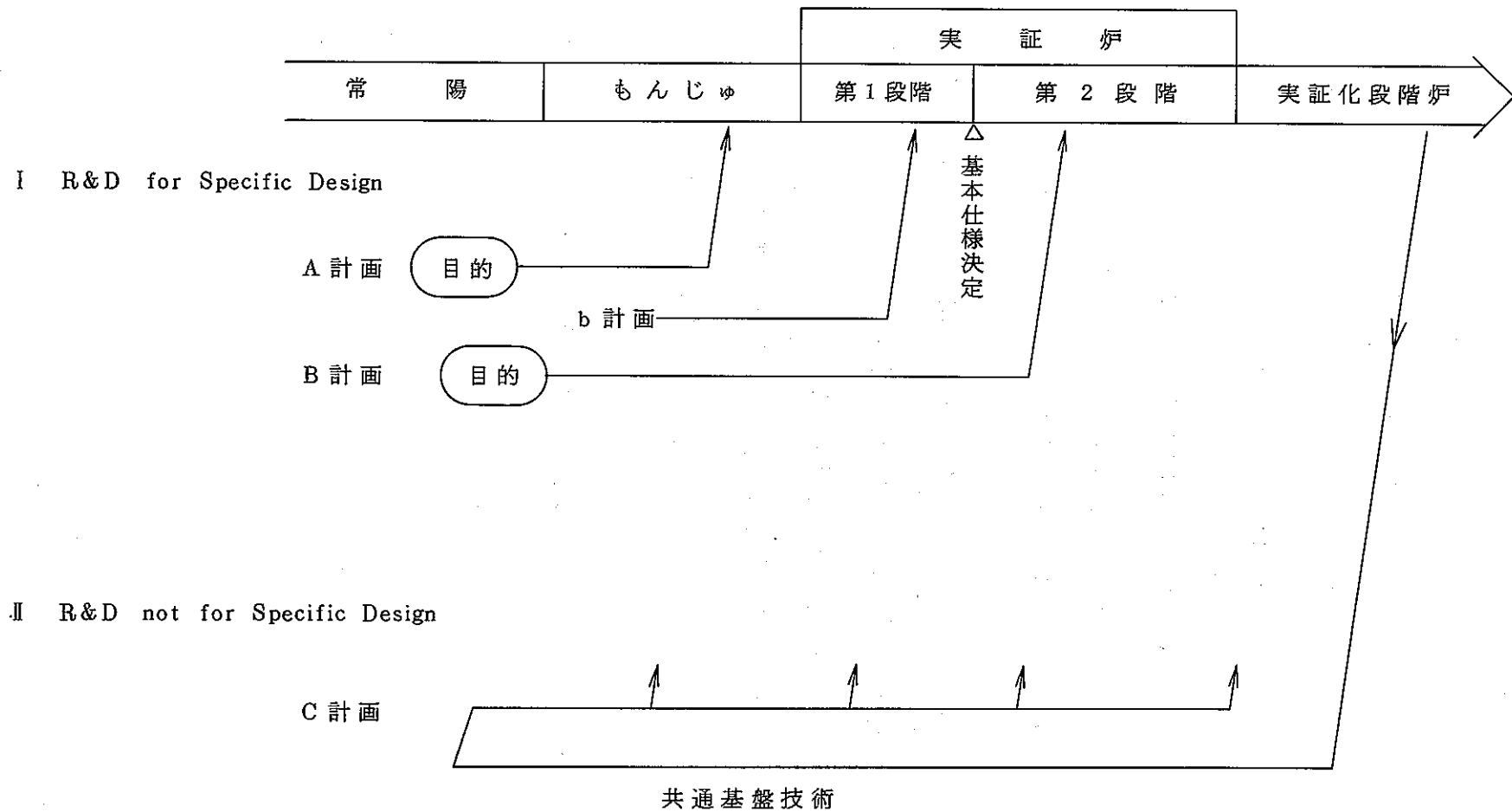


図-1 研究開発成果の反映



内 容	個々の試験研究(ハード)	設計研究及び基盤汎用化研究(ソフト)				炉の開発段階	
<ul style="list-style-type: none"> <li>原理・アイデア考案</li> <li>装置, 概念の形成及びその成立性</li> <li>構成各システム(部分, 小型)の研究開発</li> <li>装置の技術的合理性の実証</li> <li>商業化への努力(含制度化)</li> </ul>	原理, 成立性確認試験 部分(模擬)試験 実機(器)作動試験 システム試験 実機性能実証試験 商業化 R&D 目標 大型化 経済性 信頼性 安全性 運転保守性	原理 成立性 検討 設 計 研 究 最適化 R&D 摘出	デ ィ タ ・ バ ン キ ン グ 材 料 核・熱・ 流力・機 械特性 機器部品 信頼性	解 析 コ ー ド 安 全 性, 機 械 耐 震 強 度 燃 料 挙 動 核・熱・ 流力特性	規 格 基 準 案 高 温 構 造 物 安 全 設 計 評 価	仕 様 ガ イ ド 機 器 シ ス テ ム 運 転 保 守	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">核融合炉</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">高速 実験炉</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">高速増殖 原型炉</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">高速増殖 実証炉</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">軽水炉</div>

図-2 FBR, または機器システムの研究・開発段階

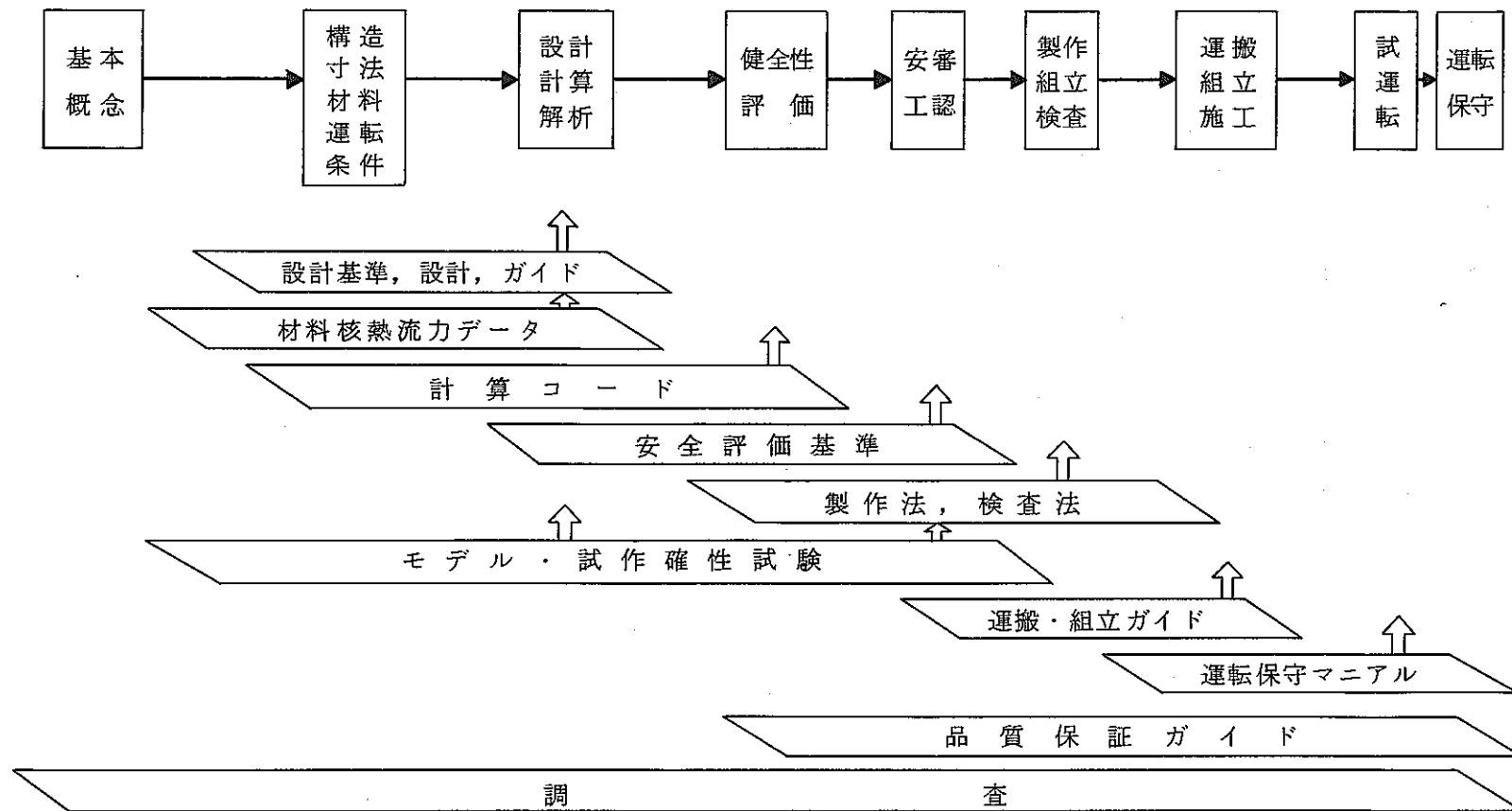


図-3 設計・製作と R & D の関係

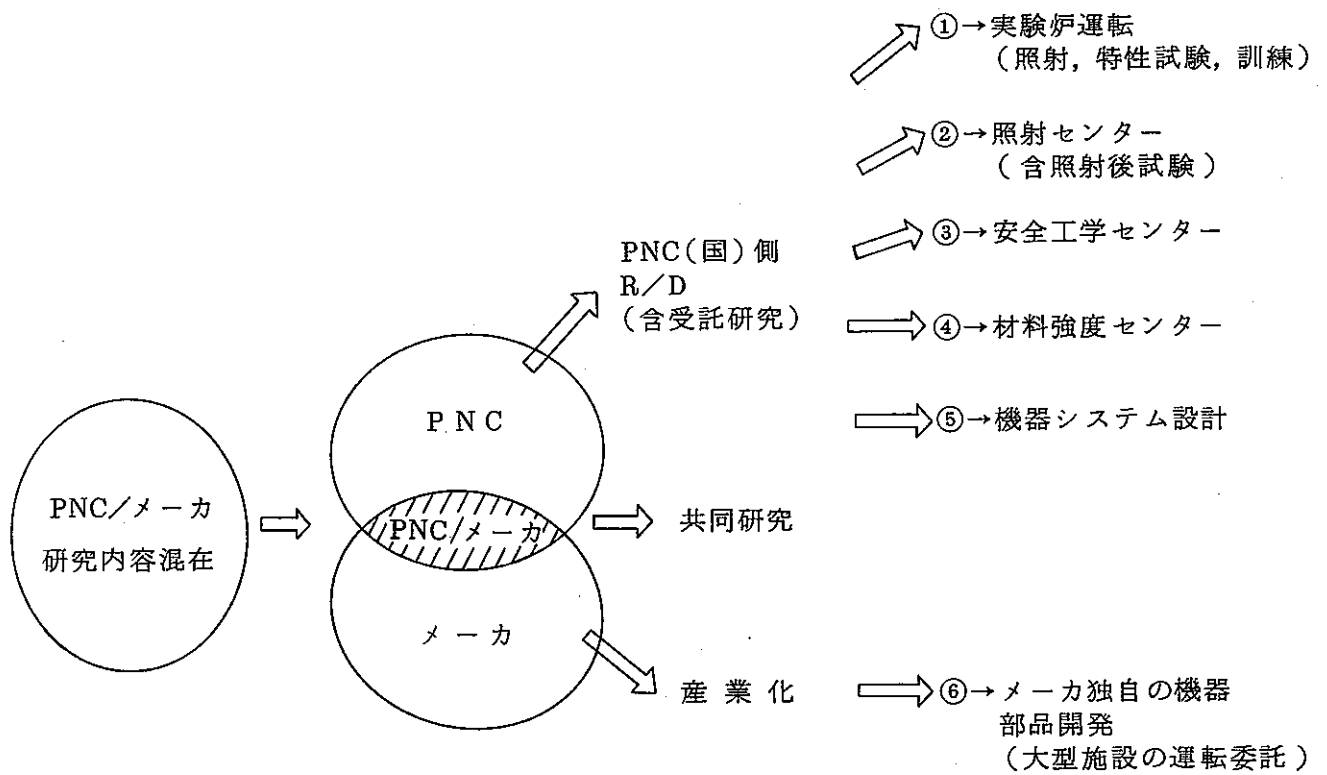


図-4 大洗工学センターに於けるR & Dの今後の方向

表-2 高速増殖炉の指針・基準等

炉の種類 基準等		軽水型炉	高速増殖炉	
			原型炉	実証炉
安全審査指針	安全設計	発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針 (原子力委員会)	液体金属冷却型高速増殖炉施設の安全設計方針(昭55.12)	要指針化 (もんじゅ対象) から一般化
	安全評価	発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針 (原子力委員会)	高速増殖炉の安全性の評価の考え方について(原子力安全委員会, 昭56.11)	要指針化 (具体的規定)
技術基準	設備の技術基準	発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令(昭和40年通産省令第62号)	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(案) (科技厅, 昭59)	要もんじゅ対象 から一般化
	溶接の技術基準	電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令(昭和45年通産省令第81号)	ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設の溶接に関する技術基準(案) (科技厅, 昭59)	同上
	構造等の技術基準	発電用原子力設備に関する構造等の技術基準を定める告示(昭和55年通産省告示第501号)	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(案) (科技厅, 昭59)	同上
	耐震設計基準	原子力発電所の耐震設計基準(案)(通産省内規)	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耐震設計基準(案) (科技厅, 昭59)	同上
民間自主規程・指針	㈱日本電気協会 電気技術規程・指針	原子力発電所の品質保証指針(JEAG-4101)	準用可	同 左
		原子炉構造材の監視試験方法(JEAC-4201)	動燃案用意	要もんじゅ対象 から一般化
		原子炉格納容器の漏えい試験(JEAC-4203)	科技厅内規(常陽対象)準用	同上
		発電用核燃料体検査指針(JEAG-4204)	動燃案用意	同上
		軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査(JEAC-4205)	基本計画(「供用期間中検査について」)あり, 今後詳細化	同上

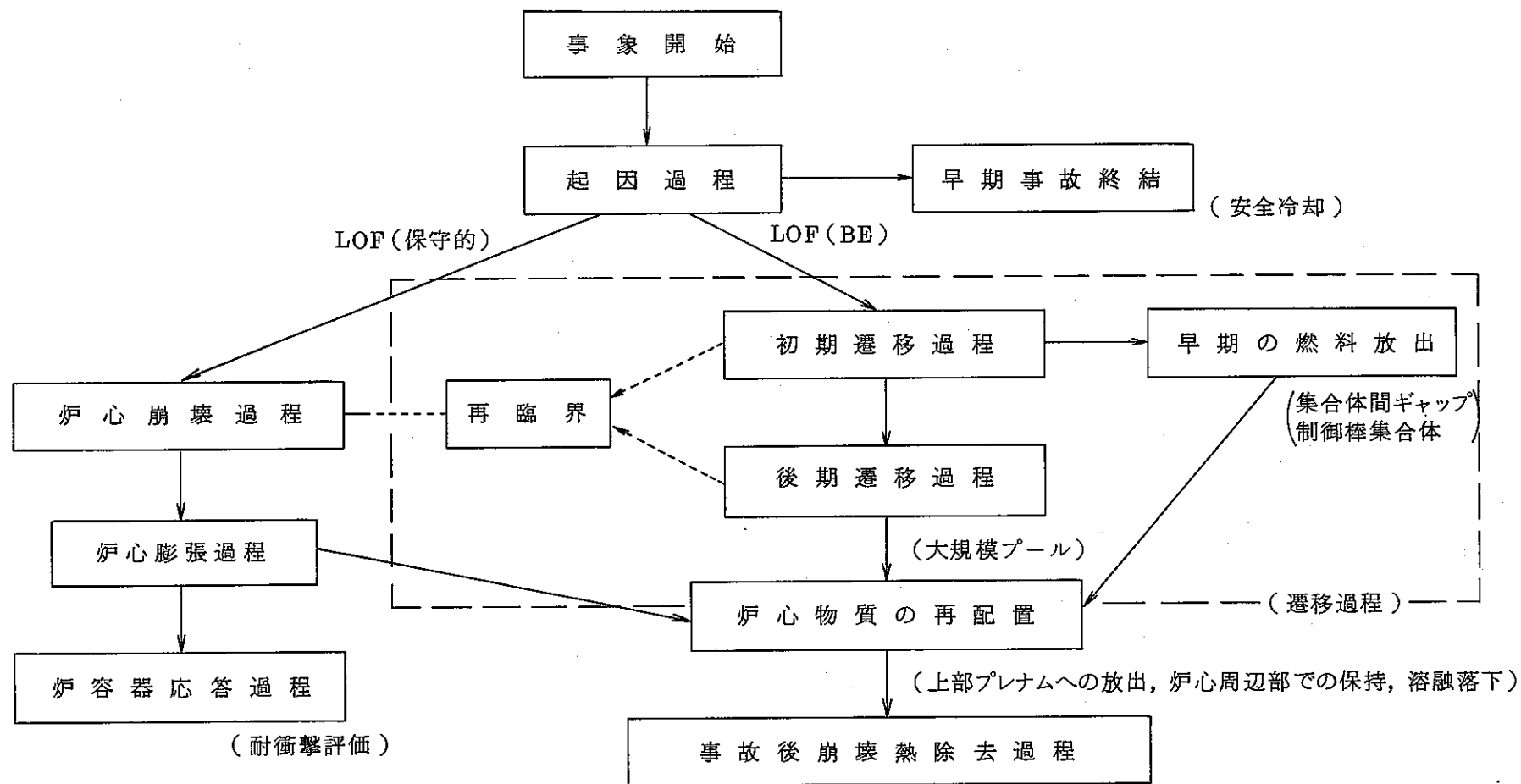
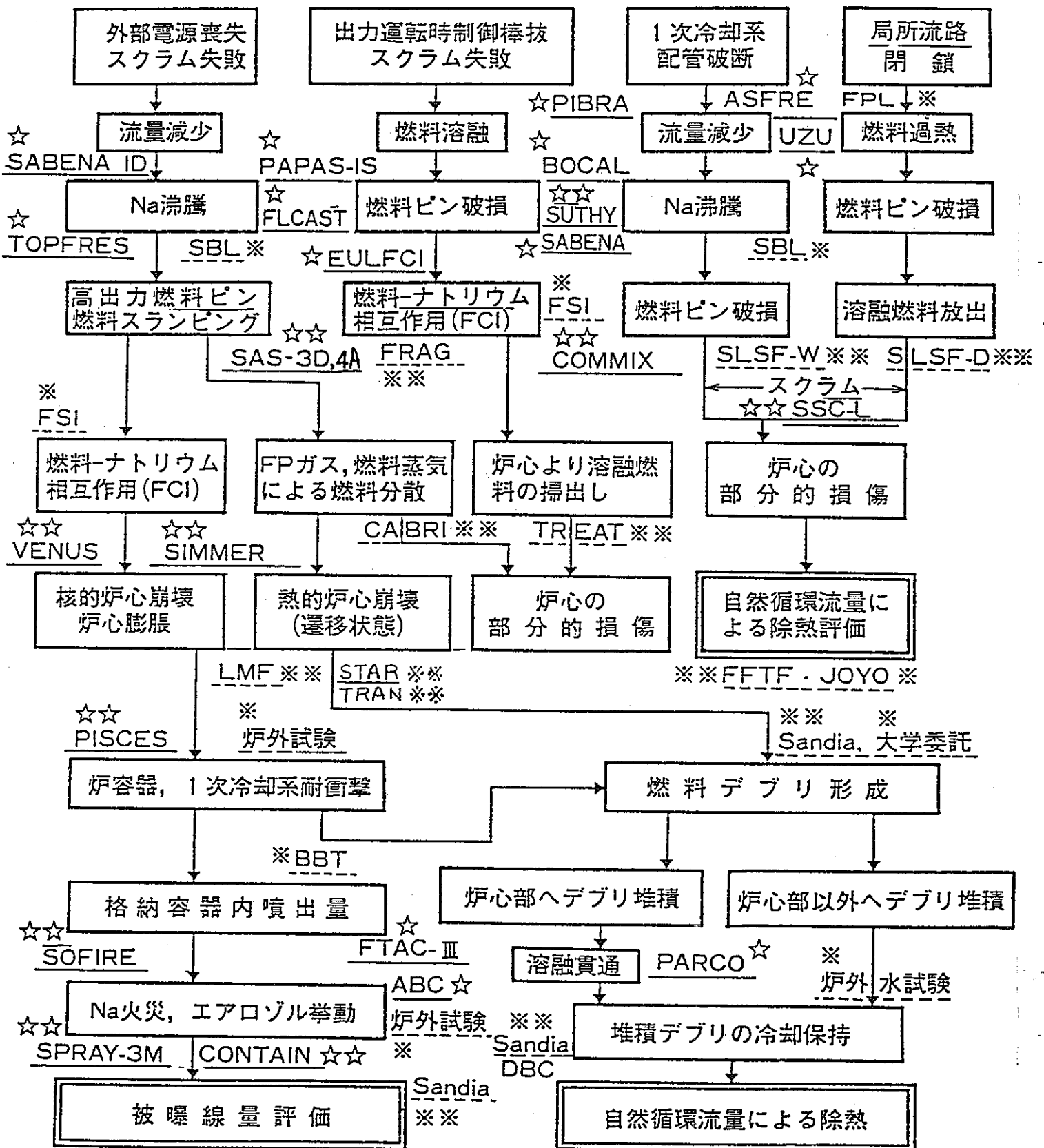


図-5 仮想的炉心崩壊事故(HCDA)の事故シーケンス



☆ 国内解析コード      ☆☆ 外国解析コード  
 ※ 国内実験            ※※ 外国実験

図-6 仮想的炉心崩壊事故シナリオ

表-3 高速炉と軽水炉の物量推測比較例

材 料	CRBR の推測値 (オリジナル) A	代表的な 1100MWe 軽水炉 B	直接物量比 C	単位出力 当り物量比 D	規模換算 物量比 E			
コンクリート 10 <sup>3</sup> yd <sup>3</sup>	208	175	1.19	3.49	2.43			
鉄 筋 10 <sup>3</sup> トン	21	17	1.24	3.64	2.52			
構造用鋼材 10 <sup>3</sup> トン	8.2	5	1.64	4.81	3.35			
型 枠 10 <sup>3</sup> ft <sup>2</sup>	1,870	2,000	0.94	2.75	1.91			
ケーブルトレイ 10 <sup>3</sup> ft <sup>2</sup>	159	75	2.12	6.21	4.31			
電線管(金属) 10 <sup>3</sup> ft	727	350	2.08	6.10	4.23			
ケーブル (電力用及び制御用) 10 <sup>3</sup> ft	6,867	4,800	1.43	4.19	2.92			
ナトリウム配管 10 <sup>3</sup> ft	17.2	—	}	}	}			
非ナトリウム配管 (2.5インチ以上) 10 <sup>3</sup> ft	124	170				0.74	2.17	1.51
非ナトリウム配管 (2.5インチ以下) 10 <sup>3</sup> ft	83	130						

(計算式)

$$C = \frac{A}{B}$$

$$D = \frac{A \times \left(\frac{1100}{375}\right)}{B}$$

$$E = \frac{A \times \left(\frac{1100}{375}\right)^{0.66}}{B}$$

(出典) 日米高速炉協定にもとづく第4回プラント  
経験WG(昭和56年秋)の配布資料より計  
算した。

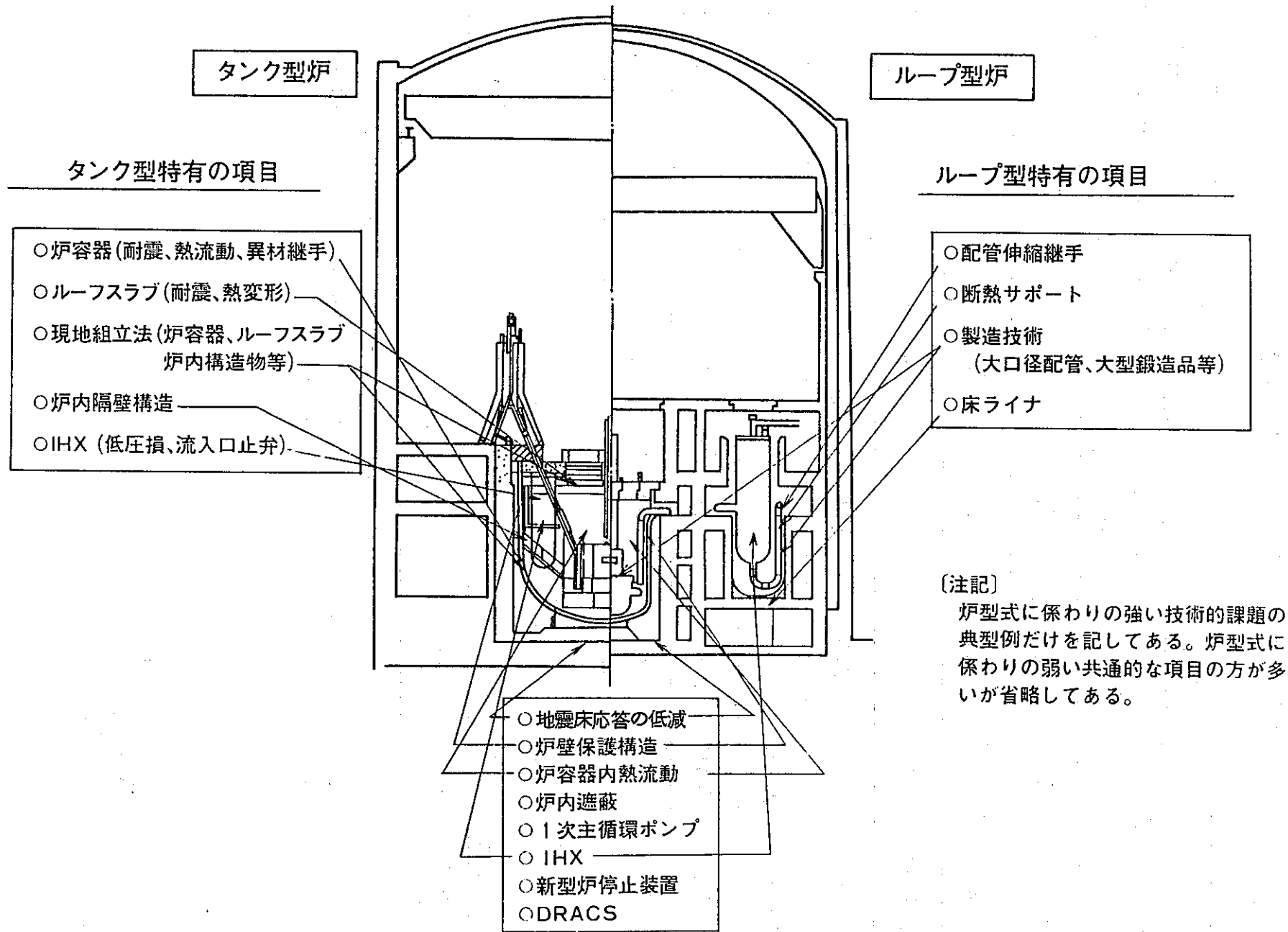


図-7 炉型式に係わる主な技術的課題



表-4 「もんじゅ」53項目+行政庁確認10項目

I. 「もんじゅ」 53項目

- |                                       |                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. 安全上の重要度分類の妥当性                      | 30. 安全系以外の機器の誤作動による安全評価への影響の評価        |
| 2. 火災防護指針への適合性                        | 31. L O P I の事象推移についての補強              |
| 3. 発電所緊急時対策所の機能の確認                    | 32. H C D A 時のデブリの形成と冷却機能について事象推移の補強  |
| 4. シェヘイ設計について常陽の実績の反映                 | 33. 遷移過程の事象推移の確認                      |
| 5. 原子炉格納容器の耐震座屈強度の評価                  | 34. L O P I 時のG / Vの機能保時の確認           |
| 6. 燃料集合体群の流力振動                        | 35. H C D A に関して受皿の材質の検討              |
| 7. 炉心出口温度計, D N 法検出装置の有効性確認           | 36. クリープ強度に及ぼす熱中性子照射効果の評価             |
| 8. 制御棒駆動機構の信頼性向上のための性能確認試験実施          | 37. クリープ特性データの拡充                      |
| 9. 炉内構造支持構造物の強度評価                     | 38. 64,000 MWD / T を超える被覆管の耐スエリング性の確認 |
| 10. 下部プレナムの流動状況評価と流量配分の確認             | 39. 高燃焼度に至るまでの照射挙動データの拡充              |
| 11. メカスマ固着に対する配管健全性の評価                | 40. 燃料の破損機構解明のためのデータ拡充                |
| 12. 配管破損の発生頻度の評価                      | 41. 破損燃料の継続照射時の挙動とプラントへの影響            |
| 13. I H X 伝熱管の破損検出, 補修及び検査法の開発        | 42. 燃料集合体材料の高速中性子照射効果のデータの拡充          |
| 14. I S I 機器と検査の手法の開発                 | 43. P I E 計画の策定                       |
| 15. I S I 検査方法の確立                     | 44. 事故時放射線計測への適合性の確認                  |
| 16. ライナ溶接部の健全性の試験法                    | 45. 気象観測設備の既存観測点とのオーバーラップ観測の実施        |
| 17. コンクリート構造物の長期高温時の健全性               | 46. 保守時の被ばく低減対策について先行炉のデータ反映による検討     |
| 18. 原子炉トリップ設定値への計測器応答遅れの考慮            | 47. F P , C P の挙動の把握と低減化の検討           |
| 19. 原子炉停止系の共通故障対策を含めた信頼性の検討           | 48. 放射性液体廃棄物処理設備の指針への適合性の確認           |
| 20. 事故時対策マニュアルの整備                     | 49. 盛土部の排水効果の確認                       |
| 21. メンテナンス冷却系の事故時の役割の検討               | 50. 堆積層の含水比と強度との関係の確認                 |
| 22. メンテナンス冷却系の活用によるプラントの効率的運用と信頼性の検討  | 51. 盛土斜面に関する影響範囲の補強                   |
| 23. 燃料挙動等の解析コードの整備, 検討                | 52. 地震時の動的座屈の評価                       |
| 24. 事象選定解析の定量的評価の実施                   | 53. 海外の安全規制における新しい解析の検討               |
| 25. 確率的リスクアセスメントの実施                   |                                       |
| 26. S G 伝熱管の大規模破損の評価                  |                                       |
| 27. 長期崩壊熱除去の事象推移の補強                   |                                       |
| 28. 2次ナトリウムの漏えい形態と流動性, 火災抑制板の有効性の確認   |                                       |
| 29. ナトリウムエアロゾル挙動, ナトリウムと水分の反応現象について確認 |                                       |

II. 行政庁確認 10項目

- |                              |                   |
|------------------------------|-------------------|
| 1. 原子炉施設背後山地の法面              | 6. I S I の詳細計画    |
| 2. 原子炉施設後背地の盛土斜面             | 7. S G 伝熱管施工後の健全性 |
| 3. 事故時の放射線計測                 | 8. 運転時の出力上昇計画     |
| 4. 64,000 MWD / T を超えて使用する場合 | 9. N a 漏洩後の措置     |
| 5. 炉心出口近傍のサーマルストライピング        | 10. 燃料被覆管の擦り痕     |

表-5 もんじゅ「53項目+10項目」のR&Dと反映時期

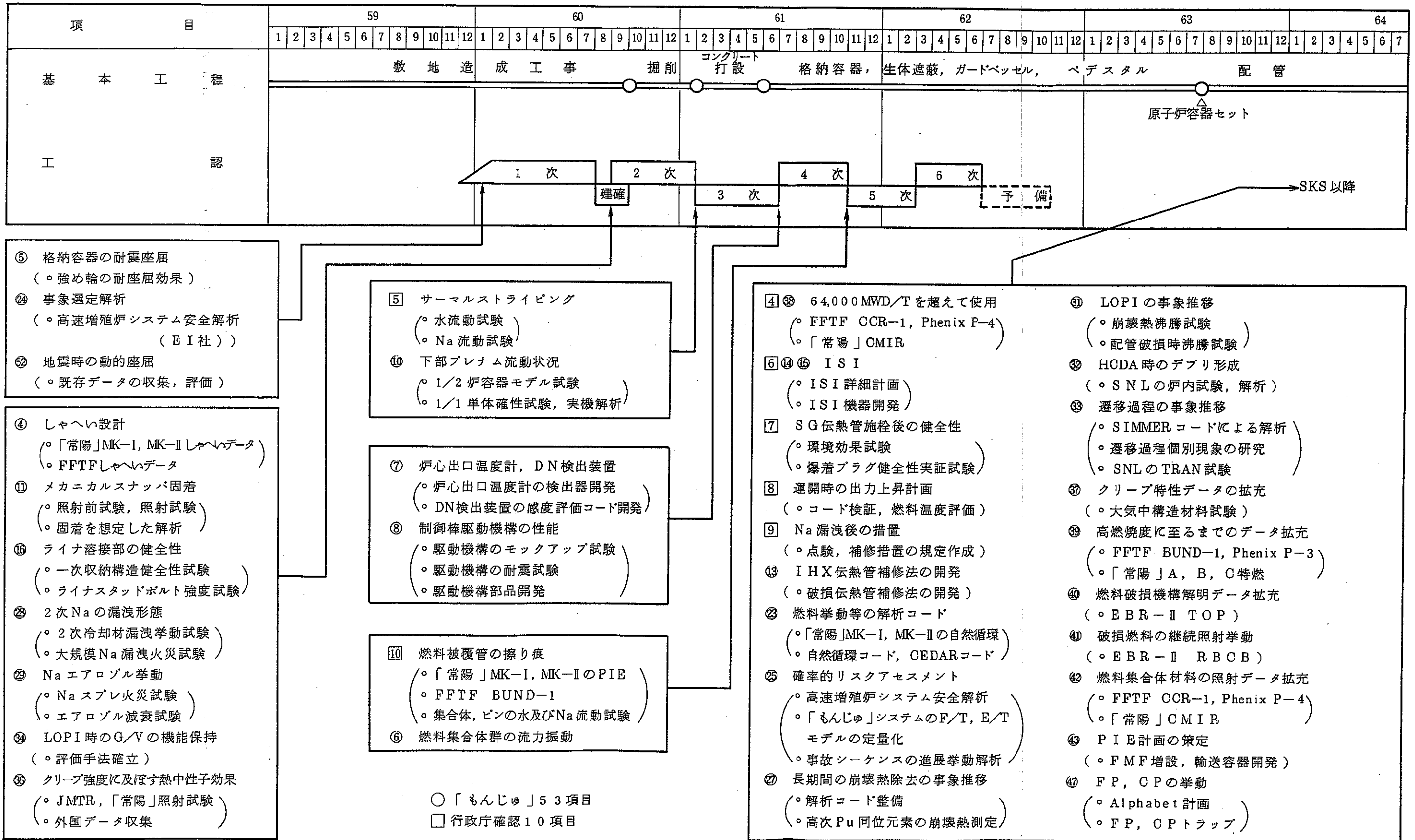


表-6 高速増殖実証炉開発のための課題と当面の研究開発項目

実証炉開発のための主要課題		基本仕様選定までに必要な項目例		注		
		基盤技術項目	設計概念選択に必要な項目			
大容量化	機器の大型化対応	従来技術の活用 —— スケールアップ技術の確認 (既開発技術の活用)		○1次系配管削除 (タンク型) 設計研究	1) 基本仕様選定後のR&D項目としては基盤技術項目の他	
		新技術・新概念の導入- 新技術・新概念の成立性				○炉容器, 炉内隔壁, ルーフスラブ強度確認
経済性向上	建設費の低減	高性能化・大型化抑制 (限界確認)	○炉心最適化 (高出力密度, 非均質炉心)	○炉壁保護方式開発	イ) 主要機器システムの試作, 確性試験	
		物量削減	○機器コンパクト化	○耐震, 免震構造開発		
		システム合理化・簡素化	○計測制御システム改良	○異常時直接炉心冷却系開発		
		製作費低減	○高温構造設計基準改良, データバンク	○機器システム, 構造の最適化研究		
		建設期間の短縮	○耐震設計解析法改良	○配管短縮技術開発		
	稼働率向上	合理的構造, 材料の選択	○機器・材料改良開発, データバンク			ロ) 設計詳細化に伴う詳細解析 ハ) 保守・補修改良に係る研究  などがある。
		製造技術の向上	○大型ステンレス鋼鍛造品の溶接及び厚肉ステンレス鋼の溶接施工法開発			
		停止期間短縮	○大型燃料集合体開発			
		運転サイクル長期化	○長寿命燃料開発 (高燃焼度化)			
		所内動力低減	○長寿命制御棒開発			
運転コストの低減	燃料サイクルコスト低減	○放熱量低減策開発				
	製造コスト低減	○遠隔操作技術開発				
	再処理コスト低減	○各種設計解析コード整備				
	燃料高性能化	○構造材料仕様ガイド整備				
信頼性・安全性確保	設計, 製造技術の向上	○製造中検査技術の向上				
	信頼性技術の確立	品質保証の確立	○ISI技術開発			
		品質保証システム確立	○異常診断システム開発			
	保守の適切化	検査技術向上				
		予防保全技術向上				
	安全思想の確立	新安全ロジックの導入	○新型炉停止機構開発			
	事故解析手法の向上	○確率的評価手法開発, データバンク ○解析コード開発改良, データバンク				

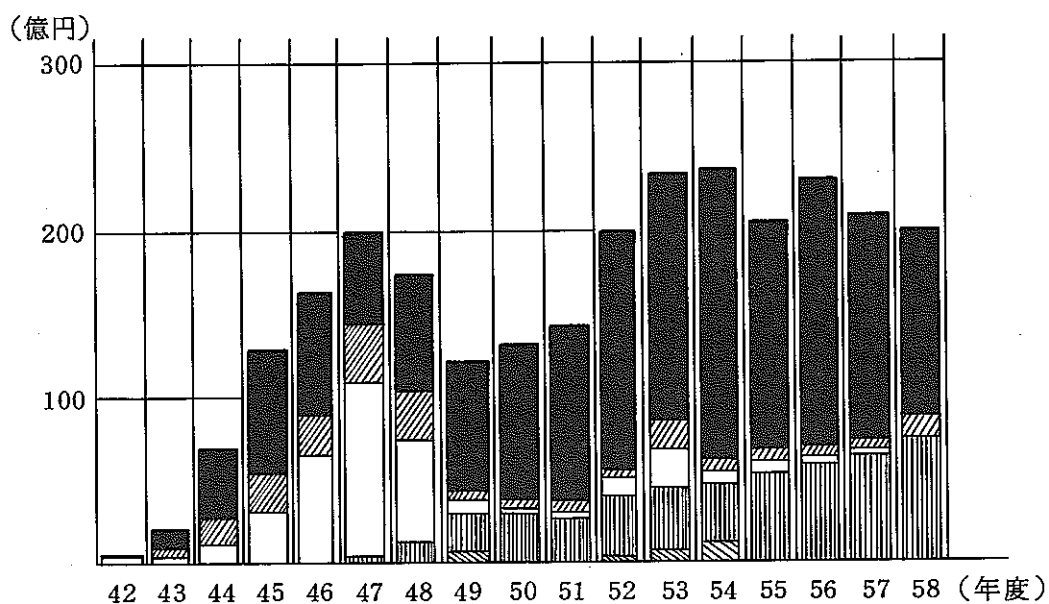


図8 FBR開発費の年度別推移（一般会計）

昭和58年度末累計（億円）

研究開発費	1,605
施設費	240
実験炉建設費	342
実験炉運転費	439
原型炉建設準備費*1	28

\*1：原型炉建設準備費は昭和56年度より特別会計に移行

合計 2,655

表-7 研究開発費の年度別推移計画（案）

（単位 億円）

年度	57	58	59	60		
研究開発費合計	132	125	103	112		
実証炉	3	3	0.2	1	} A計画	
原型炉	93	82	56	33		
大型炉	4	4	9	14		-- B計画
共通	32	36	38	64		-- C計画
安全審査関連分 （内数）	39	45	36	30		

（注）① 57年度～59年度は認可額

② 60年度は要求額

## 2. 研究開発の概況

I 高速炉機器開発部

II 燃料材料試験部

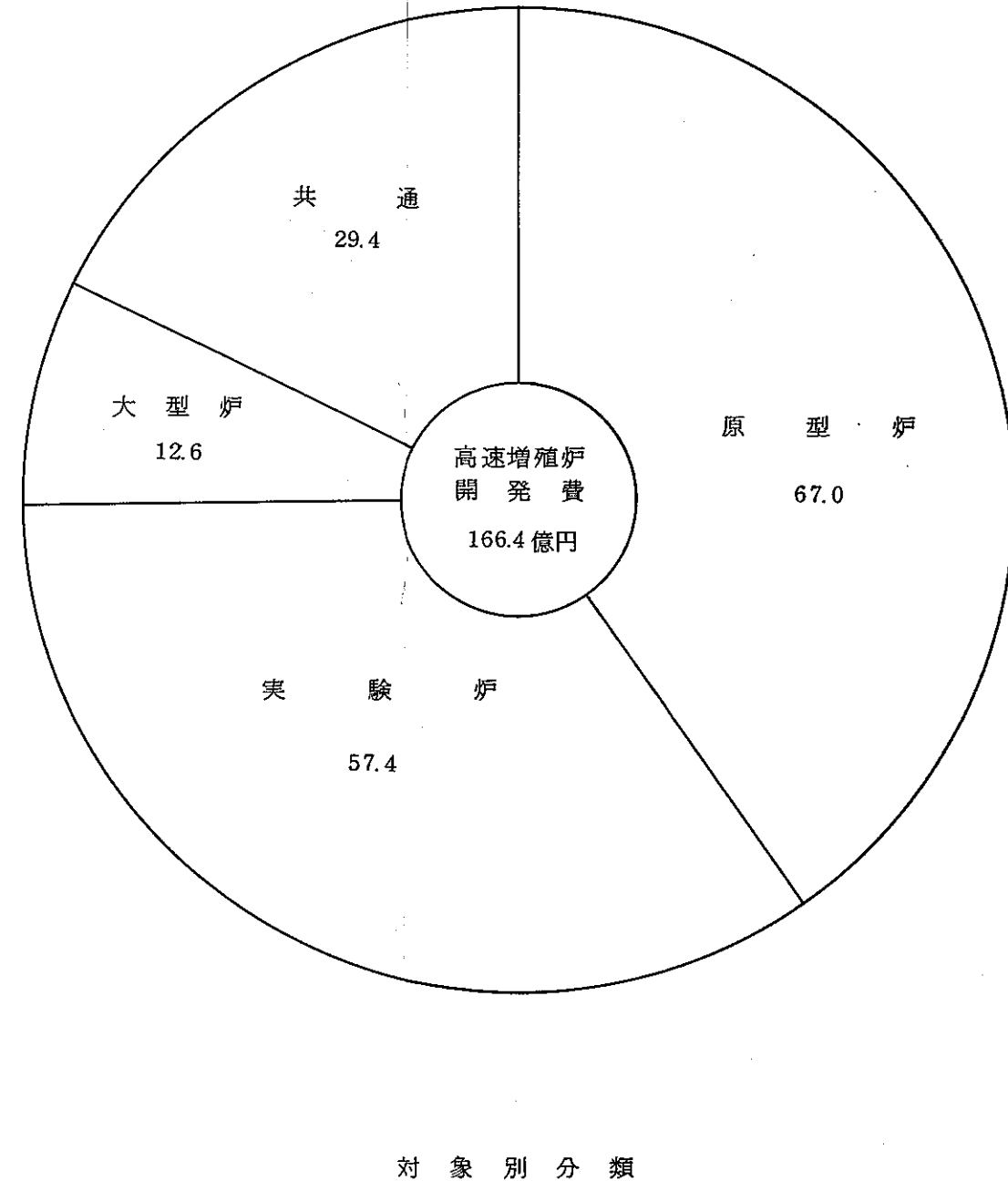
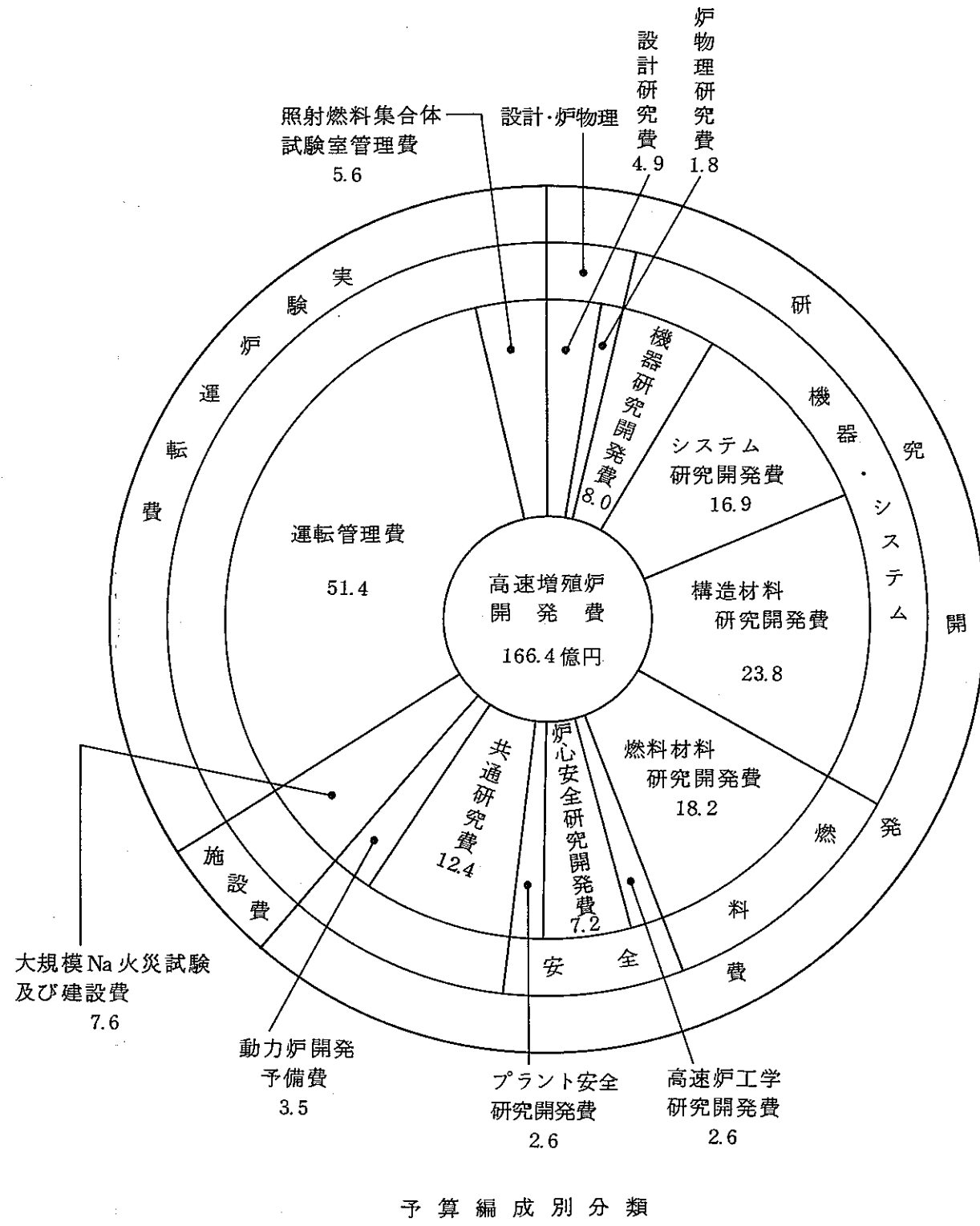
III 高速実験炉部

IV 高速炉安全工学部



59年度高速増殖炉開発費（実施予算）内訳表

（一般会計）



# I. 高速炉機器開発部



## 高速炉機器開発部の R & D 業務概要

### 1. 経 緯

- 昭和 45 年 4 月 ナトリウム技術開発施設の試験開始
- 昭和 47 年 3 月 「常陽」用主要機器の実寸大モデル試験開始
- 昭和 48 年 4 月 「もんじゅ」用主要機器の実寸大モデル試験開始
- 昭和 49 年 4 月 50MW 蒸気発生器の試験開始
- 昭和 55 年 4 月 構造材料試験施設増強
- 昭和 57 年 4 月 ナトリウム技術部，蒸気発生器開発部を再編成し，高速炉機器開発部として発足

### 2. 現 状

#### 機器開発室

- 「もんじゅ」用ポンプ制御棒駆動機構のナトリウム中試験
- 炉内計装，プロセス計装，試験検査用計装の開発
- 供用期間中検査装置の開発
- 配管ベローズ継手の開発

#### システム設計開発室

- 「もんじゅ」用蒸気発生器の長期健全性実証試験
- 自然循環冷却特性試験
- 圧力開放板の環境効果試験

#### 構造物強度試験室

- 「もんじゅ」用管，管板構造物の熱過渡試験
- 炉容器上部胴の健全性試験
- 炉心上部機構のサーマルストライピング試験

#### ナトリウム材料開発室

- 「もんじゅ」用材料のナトリウム環境試験
- 大気中材料試験
- 表面硬化材のナトリウム中摩擦，摩耗試験

### 3. 主な成果

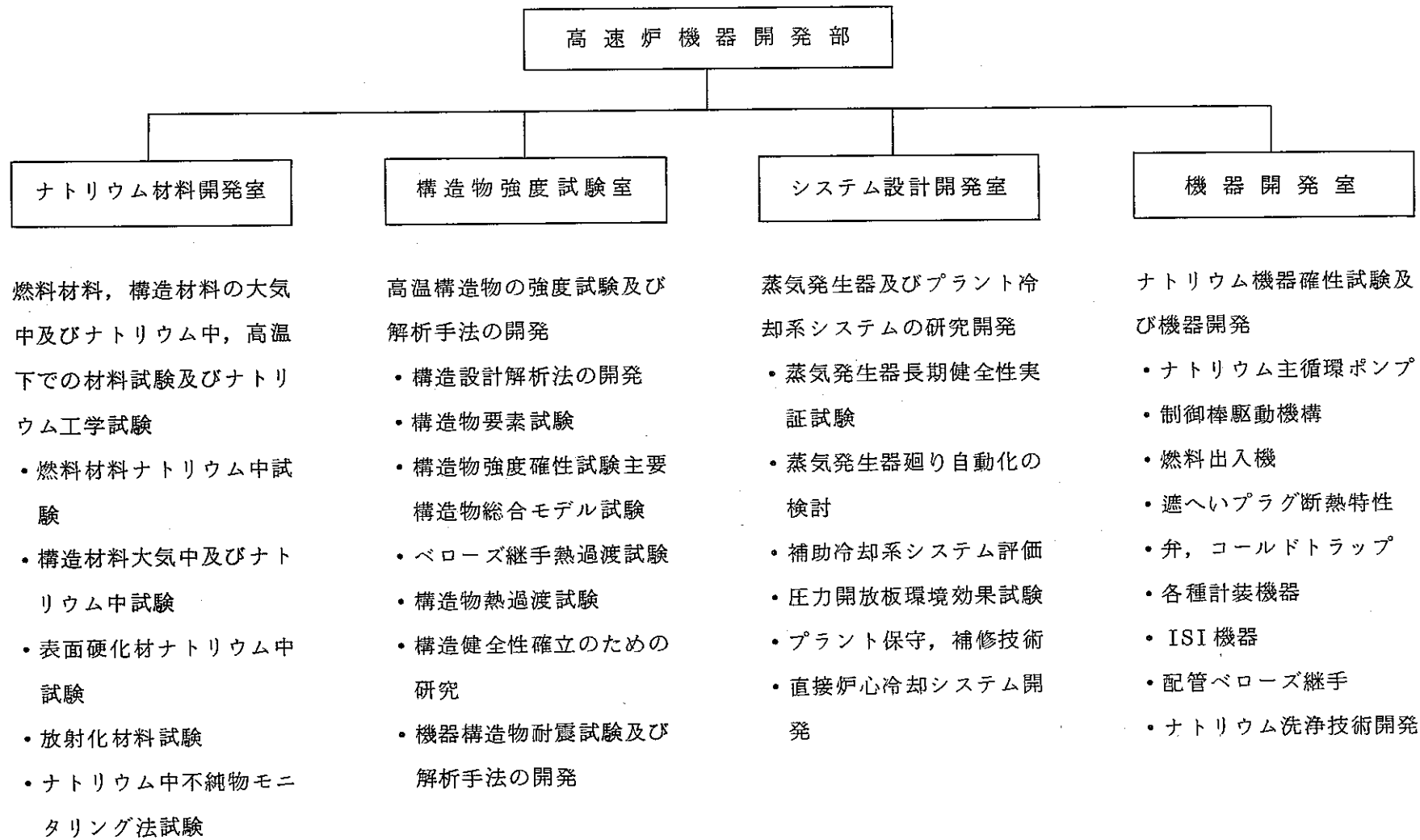
- 1) 「常陽」, 「もんじゅ」機器のNa中確性試験データの実機設計, 製作, 運転法への反映
- 2) 蒸気発生器の設計, 製作の妥当性を検証し, 蒸気発生器に係る各種コードを開発
- 3) 各種構造物の強度試験結果を「常陽」の管継手施工法への反映
- 4) 高速炉の設計基準の作成, 設計解析法確立のためのデータ提供
- 5) 「常陽」75MW, 100MW安全審査用データの提供
- 6) 「もんじゅ」安全審査用データ提供

### 4. 当面の課題

- 1) 「もんじゅ」機器, 構造物, 構造材料の設工認のためのデータ取得及び技術基準, 設計, 解析法確立のための業務支援
- 2) 「もんじゅ」の供用期間中検査装置の開発
- 3) 「もんじゅ」用シミュレータの開発の収束とその検証
- 4) 蓄積された各種技術情報, データ, 保守, 補修データの取纏め
- 5) 配管ベローズ継手の開発試験の推進及び設計基準作成のための検討
- 6) 直接炉心冷却システムの開発

### 5. 将来計画

- 1) 大型炉用機器システム開発試験
- 2) 新型炉停止機構の開発
- 3) ナトリウム計装総合試験
- 4) 保守, 補修用遠隔操作ロボットの開発
- 5) 2重管蒸気発生器の開発
- 6) 2次系削除プラントの検討
- 7) 配管短縮技術の開発
- 8) 大型炉用構造設計のための大型熱過渡試験(シリウス計画)
- 9) 高クロムモリブデン鋼材料試験, 大型鍛造材料試験(カペラ計画)



I-1 高速炉機器開発部の組織と業務

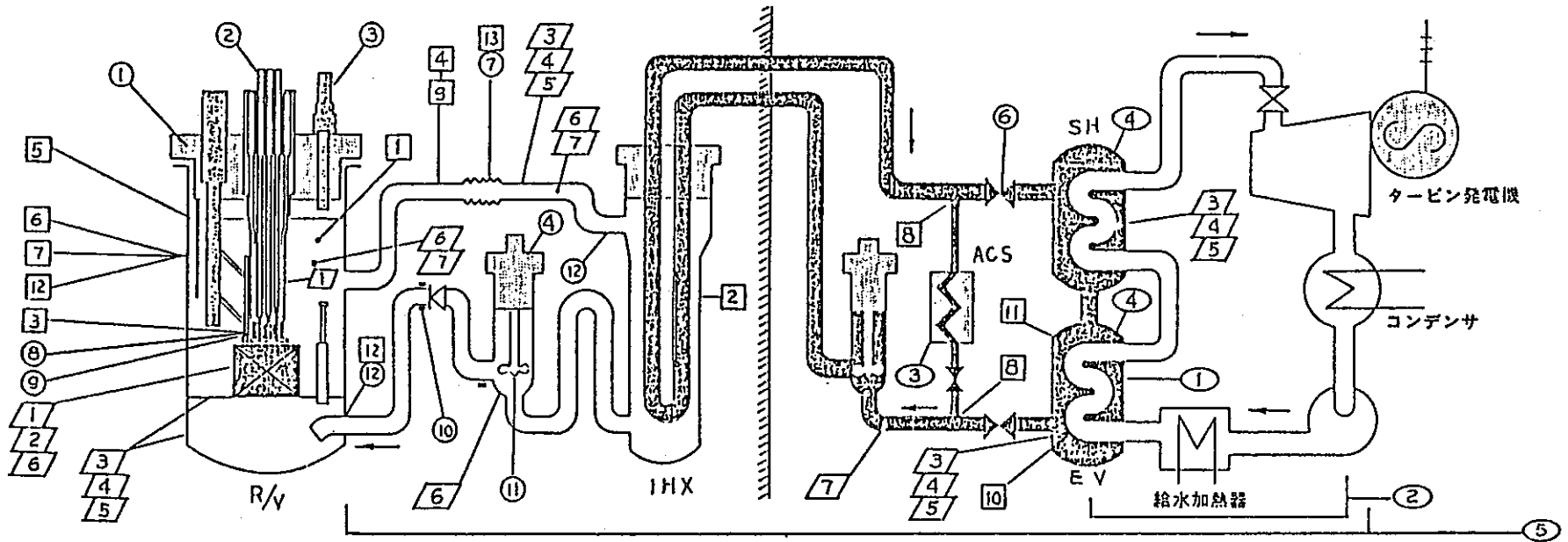
○ 機器開発室

① 遮蔽プラグの断熱特性 (C <sub>6</sub> )	⑧ 燃料出口温度計 (T <sub>14</sub> )
② 制御棒駆動機構 (C <sub>10</sub> )	⑨ 燃料出口流速計 (T <sub>13</sub> )
③ 燃料出入機 (C <sub>7</sub> )	⑩ 大口径ナトリウム流量計 (—)
④ 主循環系ポンプ (C <sub>2</sub> )	⑪ ポンプ軸変位計 (C <sub>2</sub> )
⑤ コールドトラップ (C <sub>1</sub> )	⑫ ISi装置開発 (C <sub>6</sub> )
⑥ 弁 (C <sub>2</sub> )	
⑦ ベローズ (C <sub>2</sub> )	

○ システム設計開発室

① 蒸気発生器静特性 (伝熱性能, 圧損特性) (G <sub>2</sub> )
② 蒸気発生器まわり運転自動化実証 (G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub> )
③ 補助冷却系システム評価 (G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub> )
④ 圧力開放板環境効果 (G <sub>2</sub> )
⑤ プラント保守, 補修技術 (G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub> )

— 31 —



○ 構造物強度試験室

① 原子炉容器上部プレナムストラ (C <sub>8</sub> , C <sub>9</sub> )	⑧ ティ管継手構造強度 (S <sub>3</sub> )
② IHX 整流シュラウド性能確認 (C <sub>8</sub> )	⑨ 配管構造健全性評価 (A.E法) (S <sub>3</sub> )
③ 炉心上部機構熱疲労 (ストライピング) (C <sub>9</sub> )	⑩ 管材熱ラケット・クリープラケット (T <sub>11</sub> )
④ 周溶接継手熱疲労 (T <sub>11</sub> )	⑪ 管板熱衝撃 (A <sub>1</sub> )
⑤ 液面近傍健全性 (C <sub>5</sub> )	⑫ 構造物強度 (C <sub>1</sub> )
⑥ 1次, 2次応力重量クリープ (S <sub>6</sub> )	⑬ ベローズ強度 (S <sub>3</sub> )
⑦ 2軸応力緩和 (S <sub>7</sub> )	

○ ナトリウム材料開発室

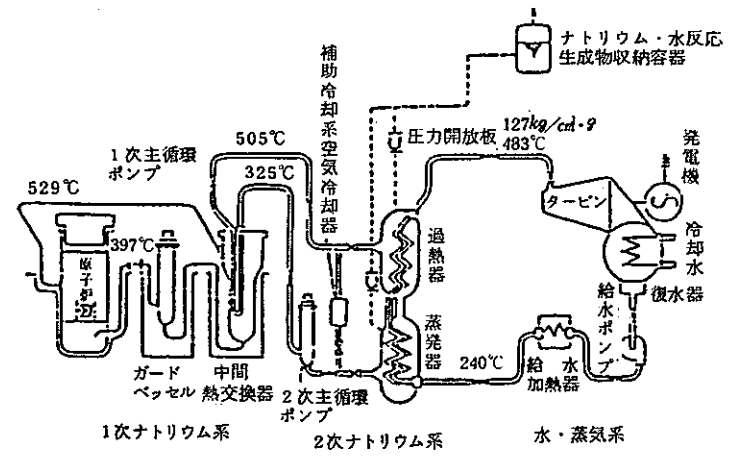
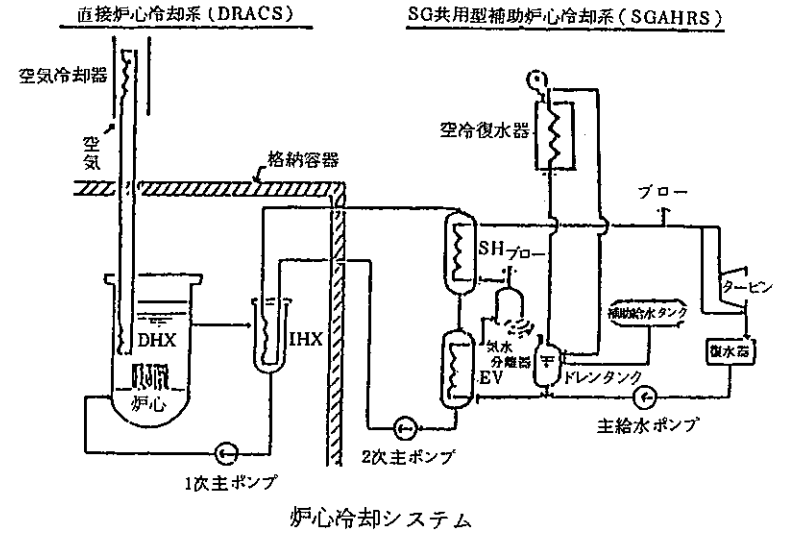
① 炉心材料の質量移行 (T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> )
② 炉心材料のNa中又は, 浸漬後強度 (T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , T <sub>5</sub> )
③ 構造材料の質量移行 (T <sub>4</sub> , T <sub>19</sub> )
④ 構造材料のNa中又は, 浸漬後強度 (T <sub>4</sub> , T <sub>6</sub> , T <sub>7</sub> , T <sub>8</sub> , T <sub>9</sub> , T <sub>10</sub> , T <sub>19</sub> )
⑤ 大気中構造材料強度 (T <sub>12</sub> )
⑥ 放射性核種の移行 (T <sub>6</sub> , T <sub>17</sub> )
⑦ ナトリウム純度管理 (T <sub>10</sub> )



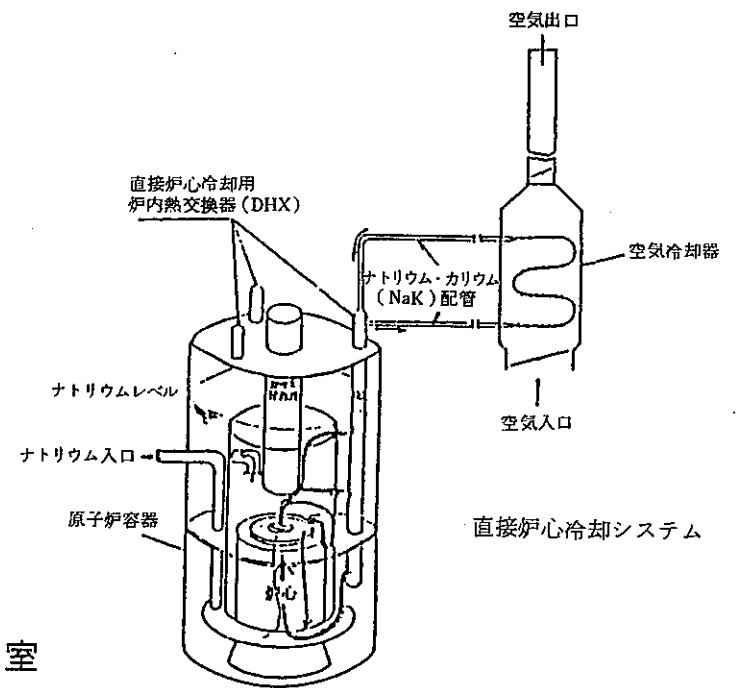
プラント冷却システム研究開発

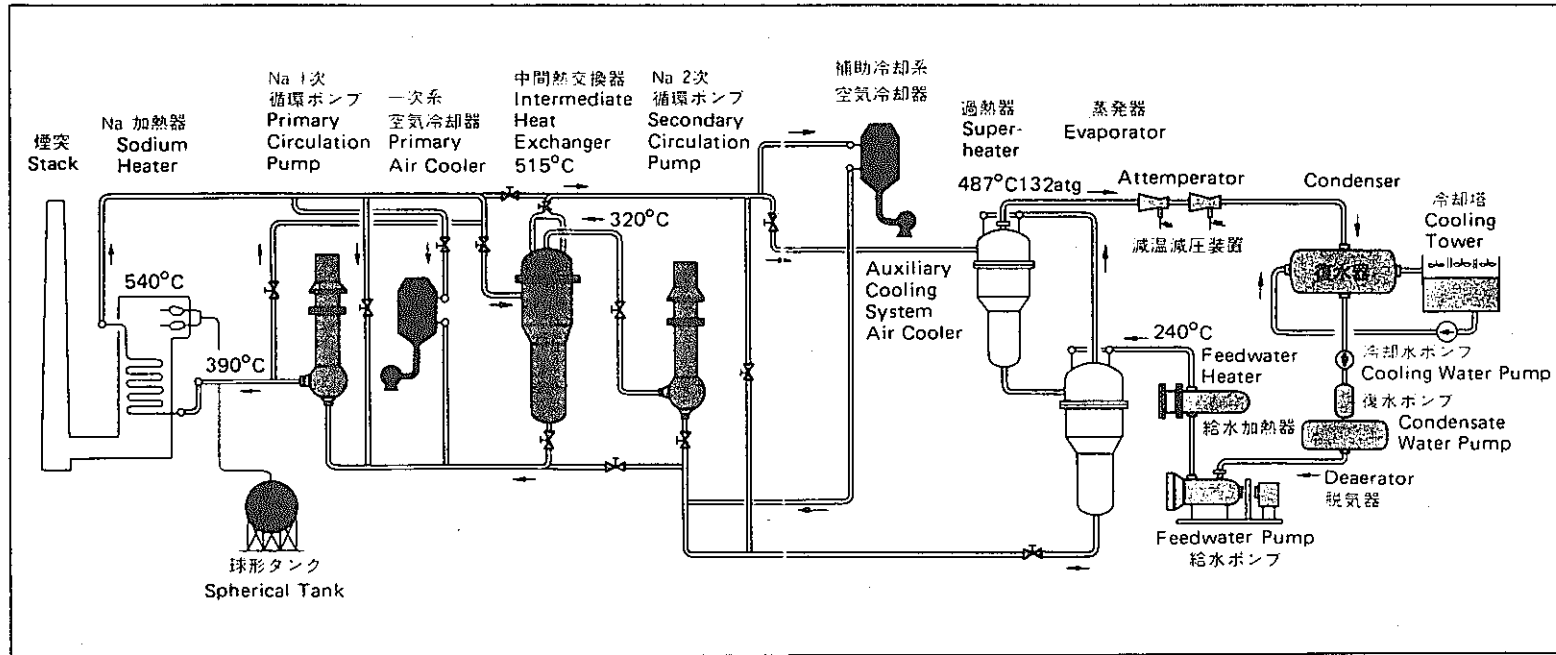
- (イ) 冷却システムの制御性能の実証
  - プラント運転手順の検討
  - タービンまわり制御性の検討
- (ロ) 補助冷却系システムの性能・機能の実証
- (ハ) 蒸気発生主器水リーク時の検出システムの实証

- (ニ) 直接炉心冷却システムの研究
  - 原子炉内自然循環力の挙動解明
  - 原子炉内熱交換器挿入に伴う伝熱流動特性試験
  - 炉内自然循環機能評価解析コードの開発と検証
  - 崩壊熱除去安全ロジックの見直し
- (将来)
  - 大型炉用直接炉心冷却システムの総合実証試験

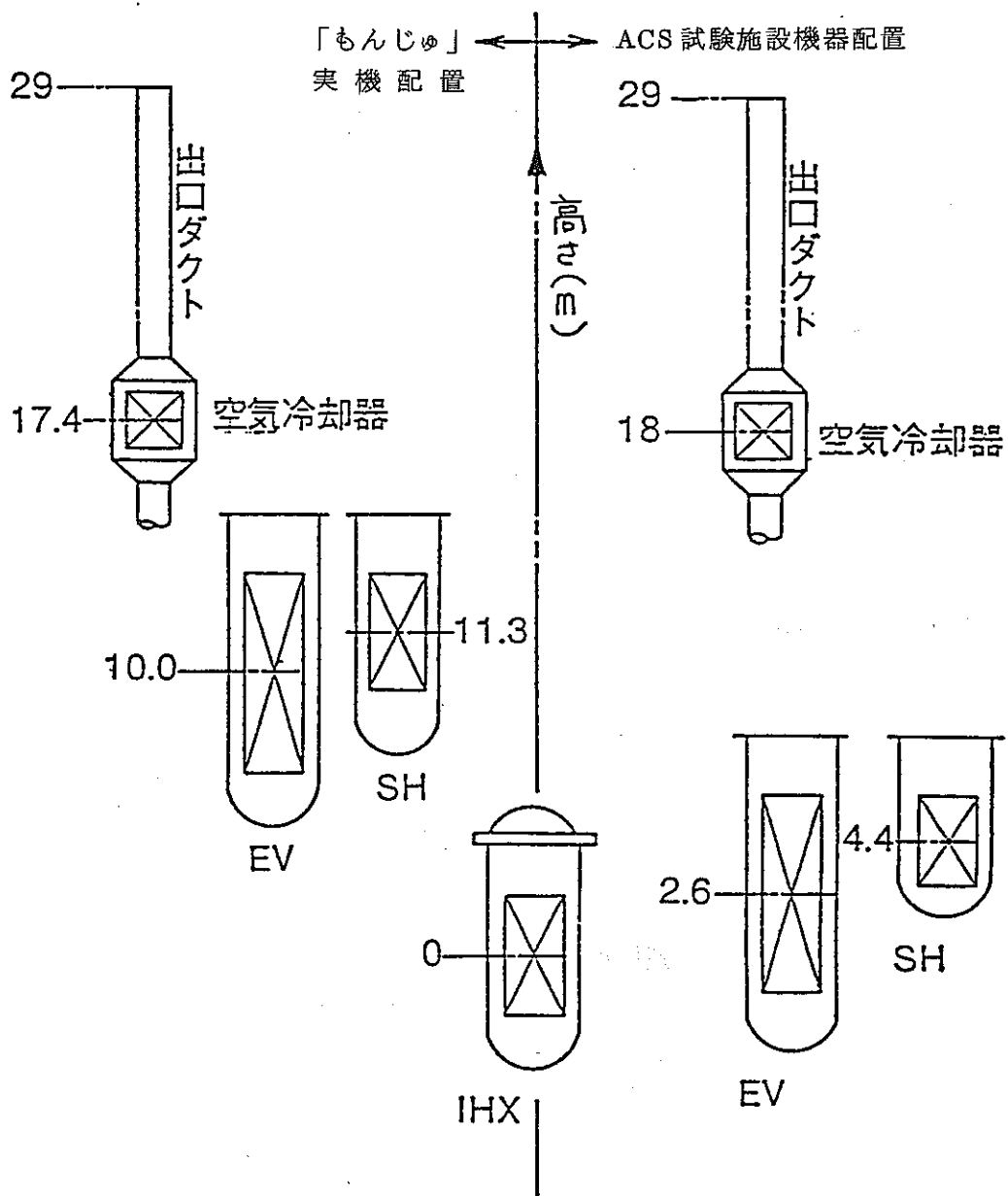


もんじゅ冷却系システム





I-5 50MW蒸気発生器試験施設フローシート

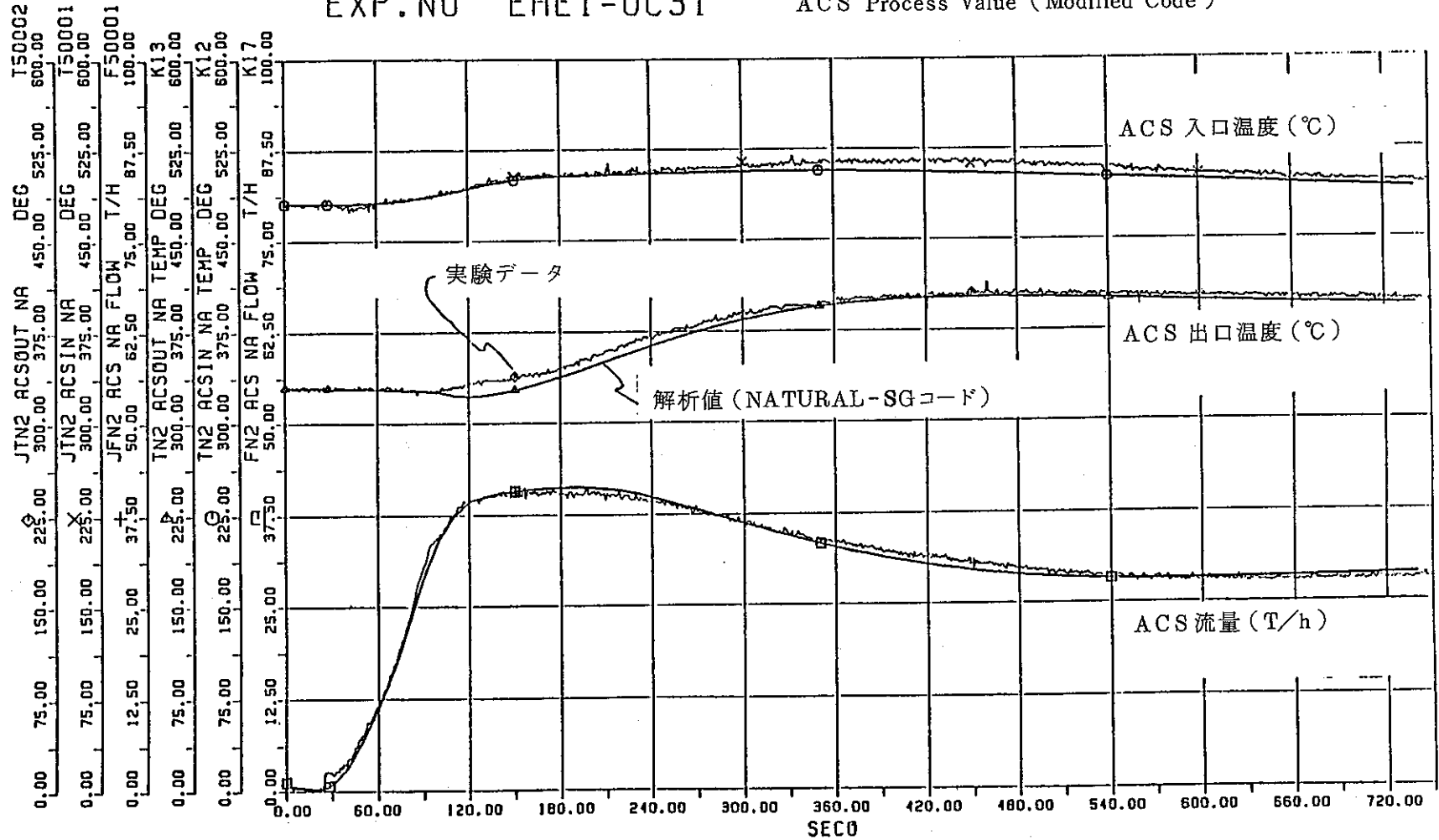


I-6 「もんじゅ」ACS及び50MWSG-ACS試験施設  
各機器高さ関係



EXP. NO EHE1-0C31

ACS Process Value (Modified Code)

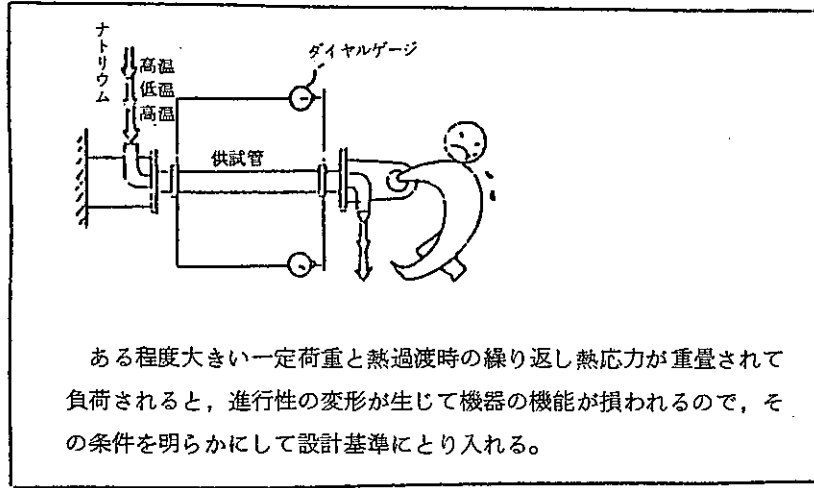


### I-7 全動力電源喪失時のACS側自然循環流量

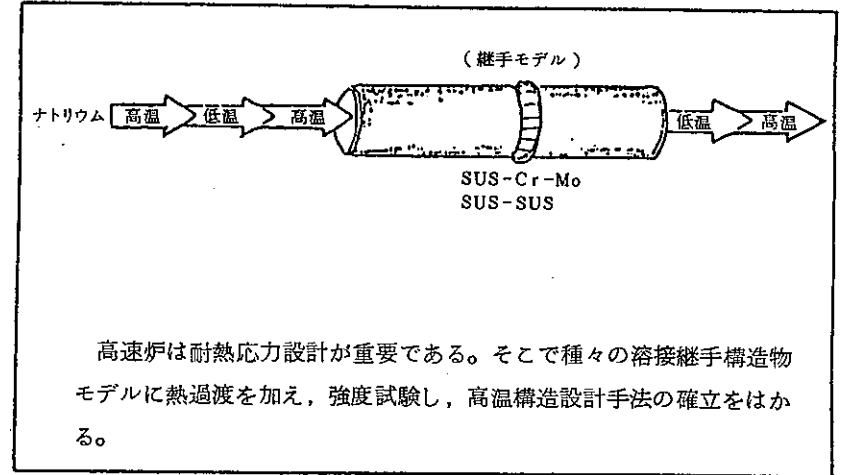
( \* 商用電源停電及びディーゼル起動失敗 )

# 構造物要素強度試験

(1) 配管構造物熱過渡試験

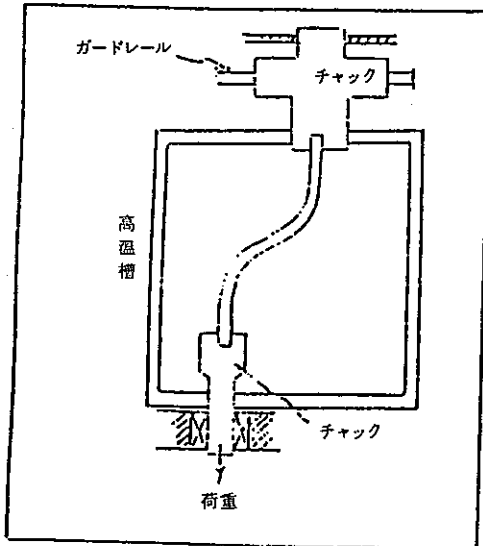


(2) 小型熱過渡試験

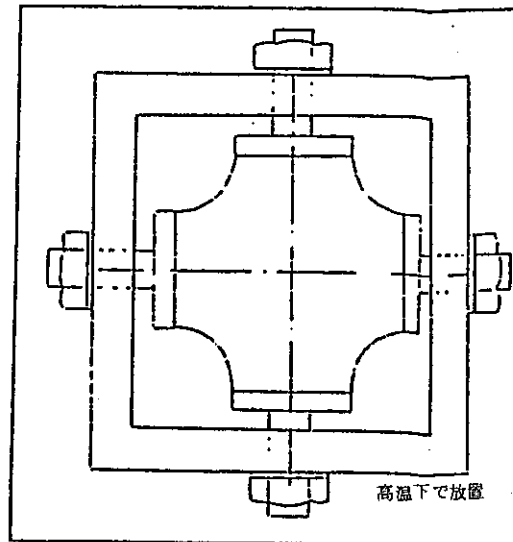


— 37 —

(3) 多荷重試験

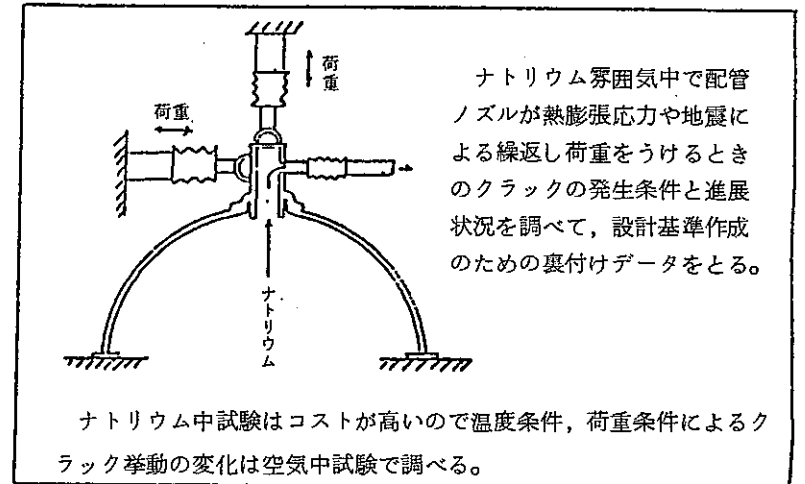


(4) 二軸挙動試験



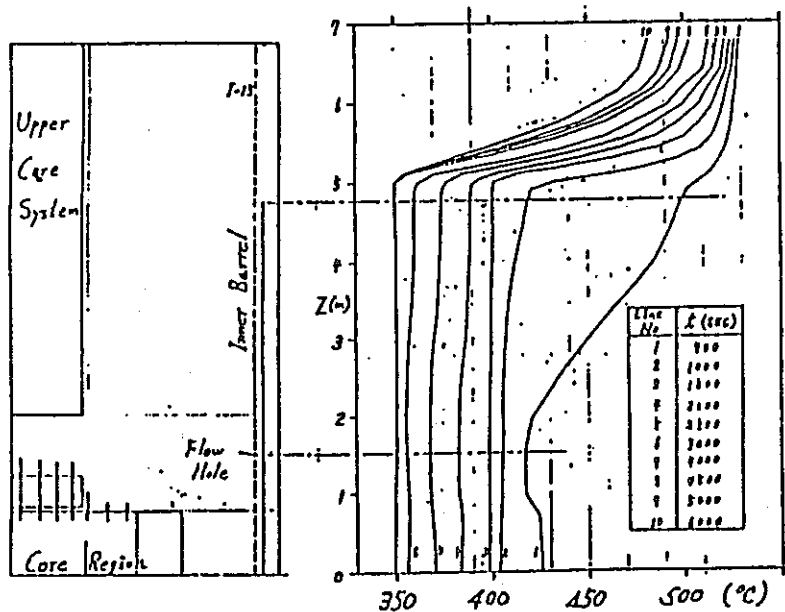
(5) ナトリウム中クリープ疲れ試験

(6) 空気中クリープ疲れ試験



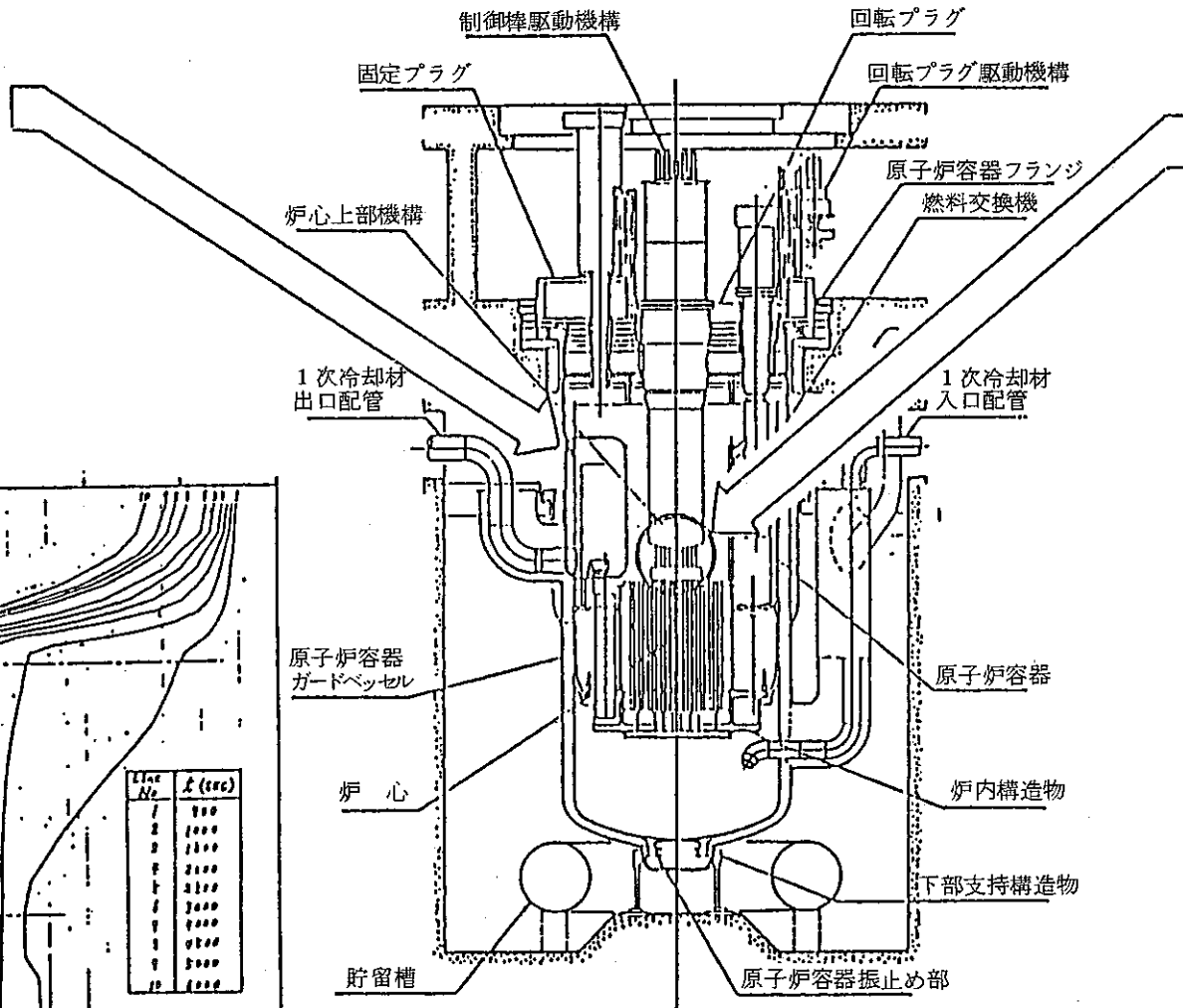
サーマルストラティフィケーション

- スクラム等の非定常時
- 温度境界層の形成による軸方向の温度勾配
- 熱応力



通常スクラム後の内筒附近軸方向温度分布  
(NAGAREによる解析結果)

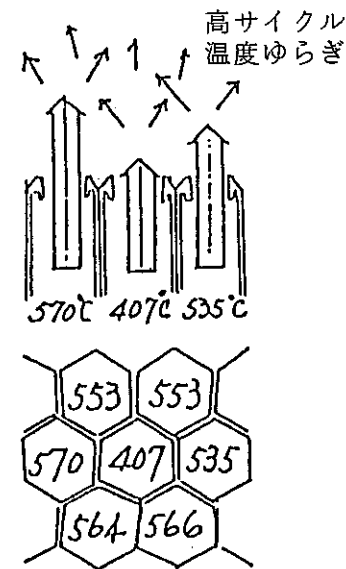
I-9 THERMAL STRIPINGとTHERMAL STRATIFICATION



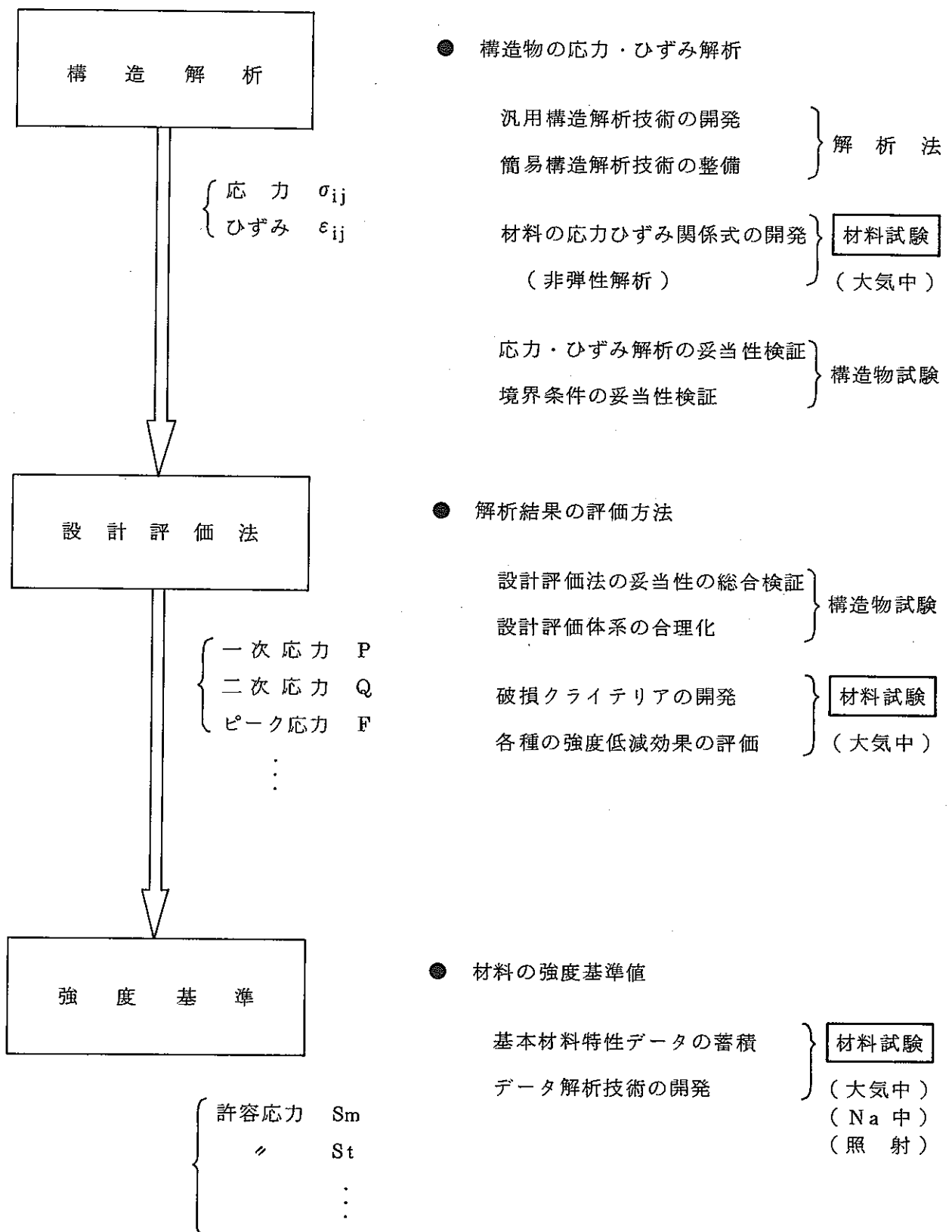
原子炉容器内構造

サーマルストライピング

- 定常時
- ミキシングによる温度ゆらぎ
- 熱疲労・高温クリープ

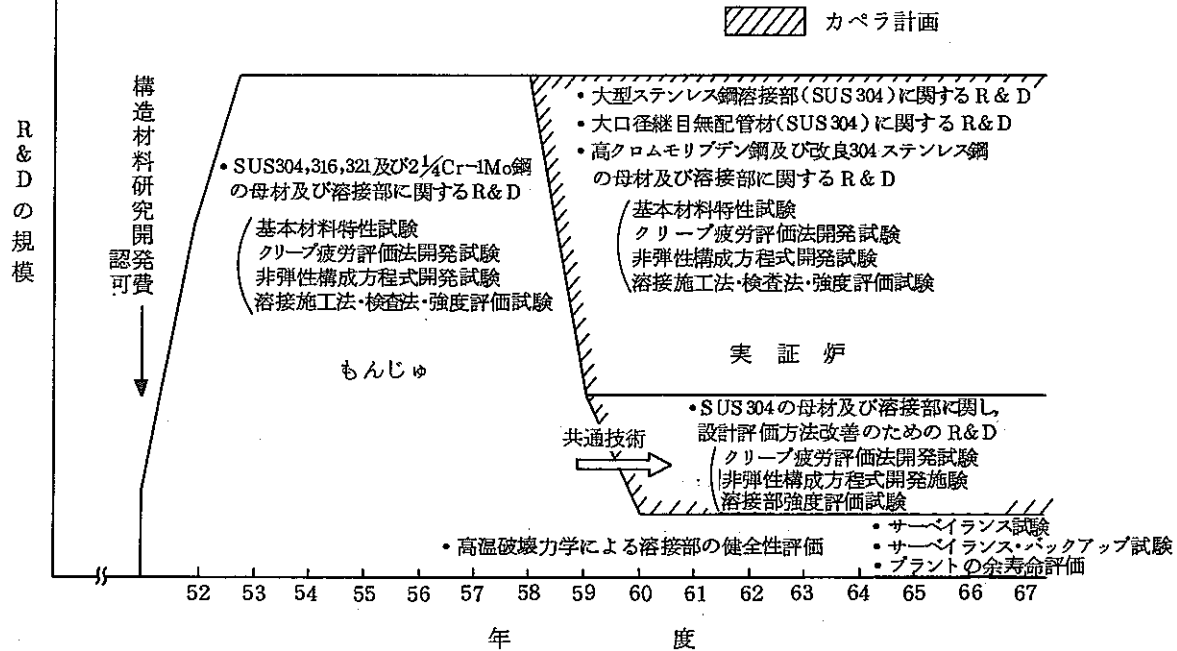


F/A, C/A冷却材出口温度分布  
(平衡炉心, 第9サイクル末期CCR-OUT)



I - 10 高速炉構造強度設計法の開発における構造材料試験の役割

注1) 昭和52年度以前は、安全性研究開発費  
 注2) 常陽は、別枠で対応  
 (サーベイライン及びサーベイランス・バックアップ試験)



動燃事業団における高速炉構造材料試験の推移

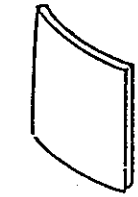
R & D 計画実施スケジュール カペラ計画

年 度		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
炉	大型炉	設計研究		基本設計			詳細設計			建設						
	1次系	もんじゅ設計認データ取得		もんじゅ設計基準の改良			実証炉設計基準の策定									
炉	SUS304 (大型鍛鋼品 大口径継目無配管)	適用性検討試験		母材の改良・施工法・検査法の確立			実証炉設計認データの取得									
	改良 SUS304	高速炉への適用性評価試験		実証炉設計認データの取得												
炉	2次系	もんじゅ設計認データ取得		もんじゅ運転時バックアップデータ取得			もんじゅ設計認データ取得									
	SUS321 2 1/2 Cr-1Mo	もんじゅ設計認データ取得		もんじゅ運転時バックアップデータ取得			もんじゅ設計認データ取得									
炉	高Cr-Mo鋼	調査		材料選定試験			実証炉設計認データ取得			余寿命評価						
	もんじゅ	着工		設計及び工事認可			材料手配・製作施工・試験検査・機組試験			臨界						

図 I-11 大型炉用構造材料試験基本計画 (カペラ計画)  
 (もんじゅ用試験計画との関連)

構造材料試験

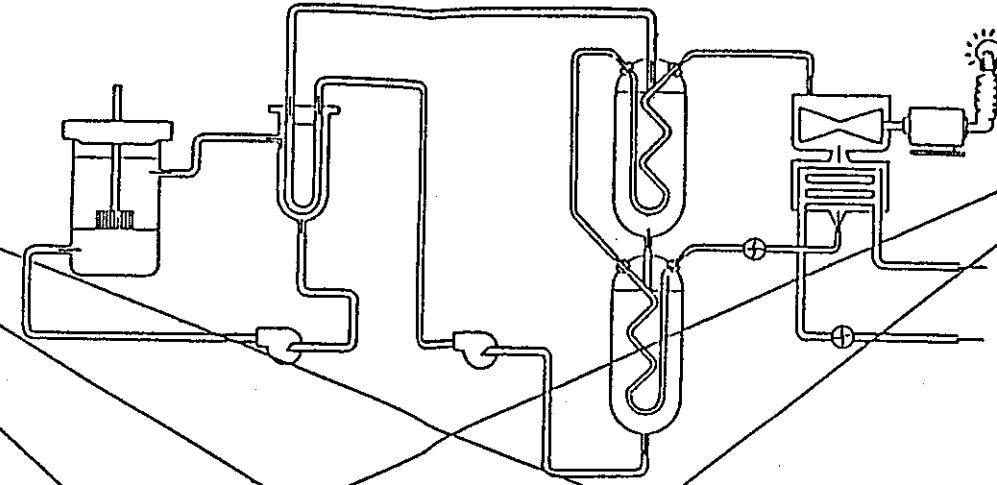
(高速原型炉対象)



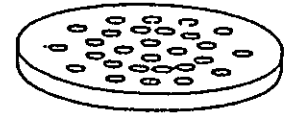
容器用板材



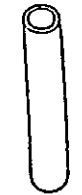
冷却系配管材



(原子炉構造) (一次冷却系) (中間熱交換器) (二次冷却系) (蒸気発生器) (タービン発電機)  
 SUS 304 SUS 304 SUS 304 SUS 304 SUS 321 2¼Cr-1Mo



管板用鍛造材



伝熱管材

41

構造材料の使用環境下における強度の劣化

9. ナトリウム構造材料試験



ナトリウム浸漬後及び流動ナトリウム中試験

- リラクセーション試験
- クリープ試験
- クリープ疲労試験

冷却材であるナトリウムと構造材料の共存性についての定量的評価を行なう。

8. 構造材料の照射



中性子照射

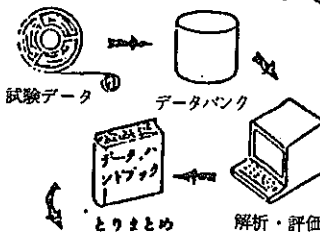
照射後及びビンプイル試験

- 高温引張及びクリープ試験
- 疲労及びクリープ疲労試験
- 破壊靱性試験

中性子照射を受けることにより、材料は劣化する。強度の低下、靱性の低下の評価を行なう。

データ処理システムの開発

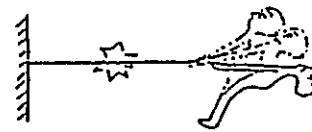
データバンクシステムの開発



高速原型炉の構造設計・製作

構造材料の母材及び溶接継手に関する基本材料強度・クリープ疲労強度の基準化

7. 大気中構造材料試験



基本材料特性試験

- 高温引張試験
- クリープ試験
- リラクセーション試験

クリープ疲労評価法の開発  
 クリープ疲労試験

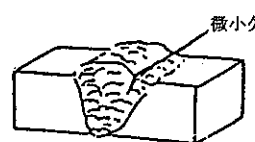
非弾性ひずみ挙動の定式化  
 材料挙動試験

微小欠陥の評価法の開発  
 微小き裂挙動試験

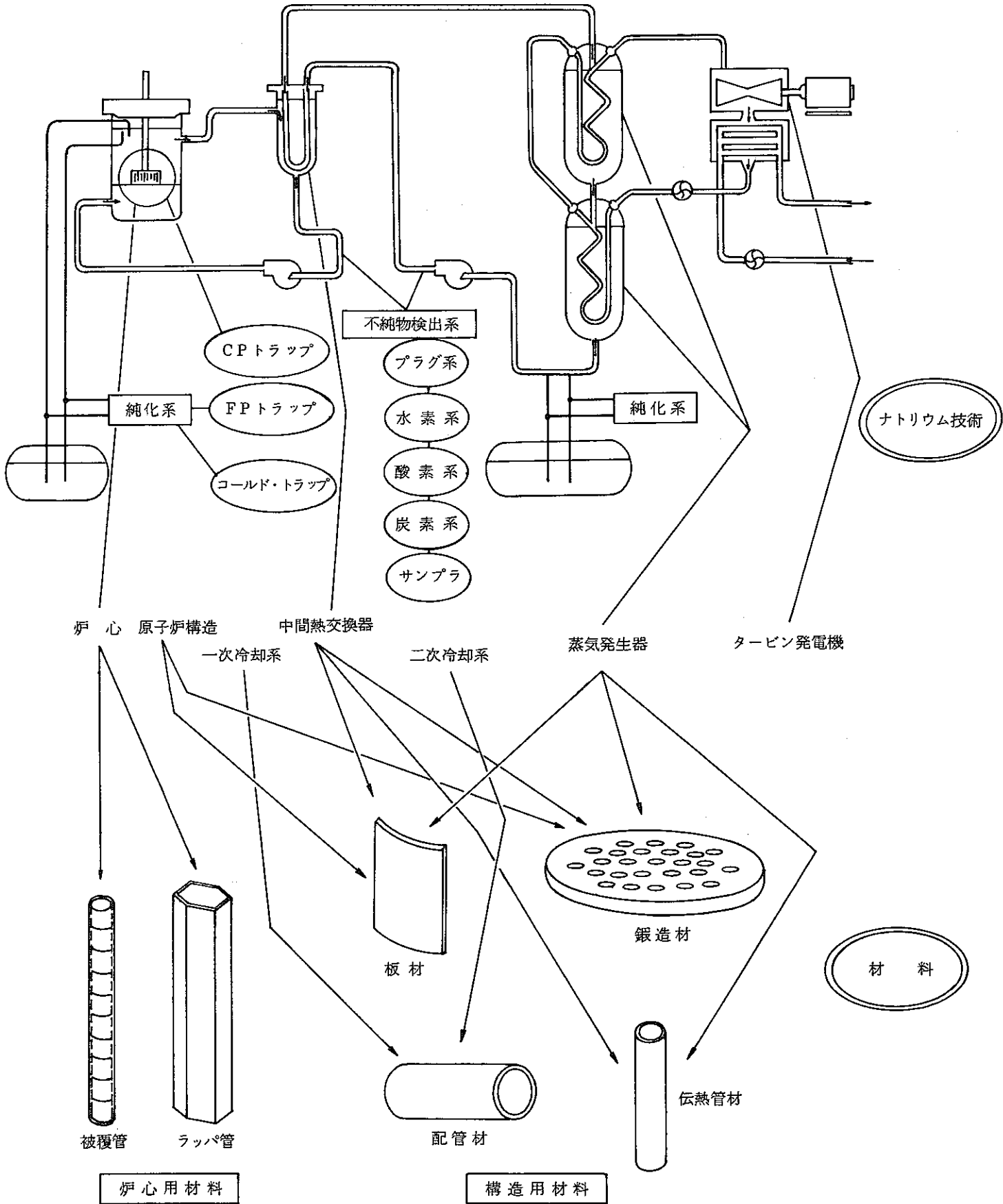
溶接施工法の確立



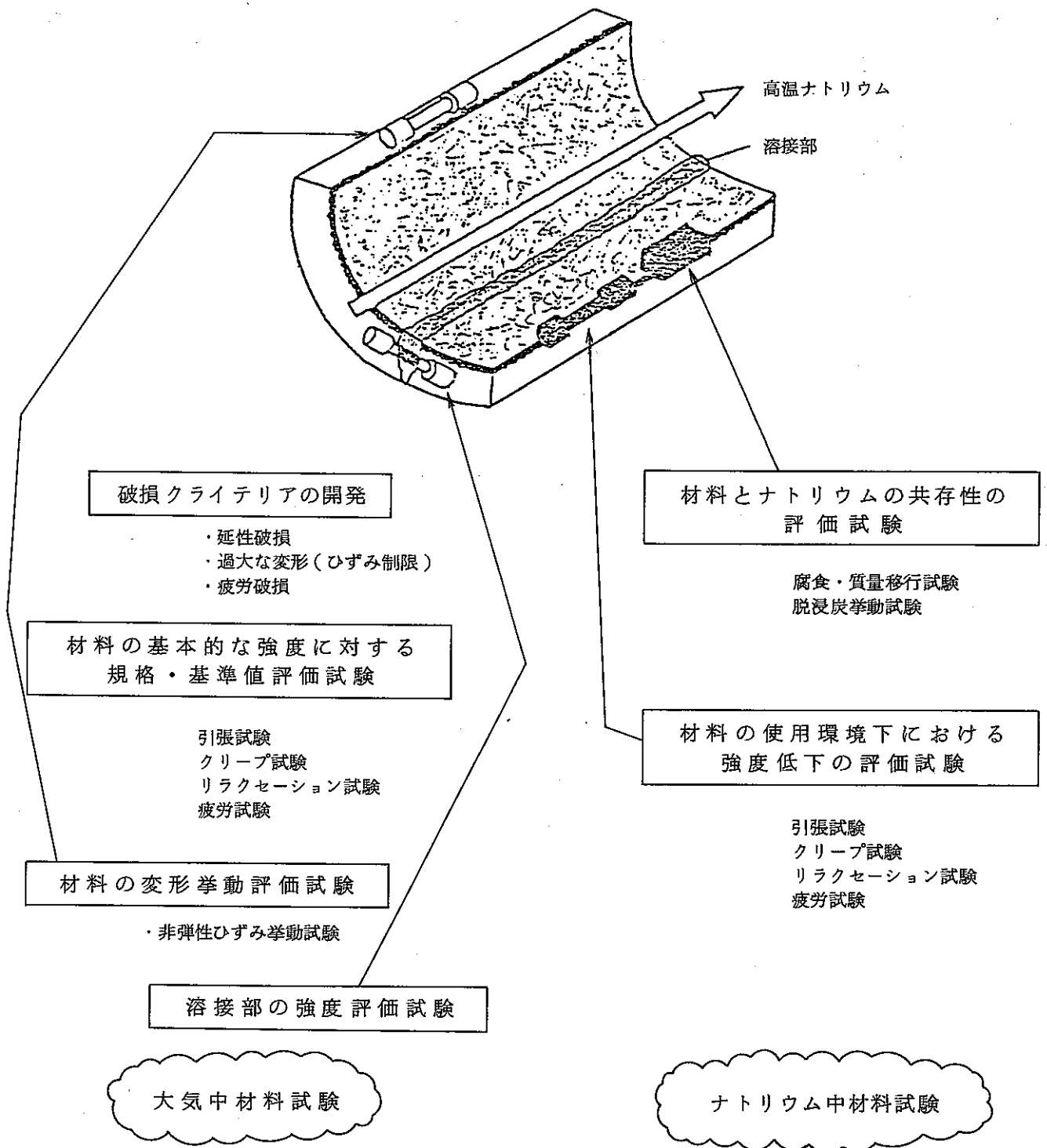
溶接部非破壊検査法の確立



微小欠陥



I-13 ナトリウム材料開発室の主なR&D領域



### I-14 典型的な材料試験

・ 炉心材料	燃料被ふく管, ラッピングワイヤ, ラッパ管	SUS-316
	ラッパ管パッド部材	クロムカーバイト
・ 構造材料	制御棒駆動機構部材	ステライト, インコネル・718, コバルトフリー合金
	炉容器, 炉心支持板, 各種機器, 配管	SUS-304
	蒸気発生器伝熱管 (EV)	2 1/4 Cr-1 Mo
	蒸気発生器 (SH)	SUS-321
	炉上部機構部材	インコネル・718



## Ⅱ. 燃 料 材 料 試 驗 部

## 燃料材料試験部の R & D 業務概要

### 1. 経緯

- 昭和46年10月 照射燃料試験施設 (AGF) において海外炉照射燃料のPIE開始
- 昭和48年6月 照射材料試験施設 (MMF) において海外炉照射材料のPIE開始
- 昭和53年11月 照射燃料集合体試験施設 (FMF) において「常陽」MK-Iの炉心構成要素 (炉心燃料, ブランケット, 制御棒等) のPIE開始
- 昭和56年8月 AGF増設部 (物性測定施設) においてPIE開始
- 昭和58年7月 「常陽」MK-II炉心構成要素のPIE開始
- 昭和59年5月 第2MMF (PIE能力拡充) においてPIE開始

### 2. 現状

#### 技術解析室 (AES)

- 照射後試験結果の総合的評価, 解析
- 「常陽」MK-I, MK-II 及び海外照射燃料材料のPIE
- 燃料挙動解析コード (CEDAR) の改良

#### 照射燃料集合体試験室 (FMS)

- 「常陽」MK-I, MK-II 炉心構成要素のPIE (比重はMK-IIに移行しつつあり)
- 大型ホットラボ運転経験の蓄積

#### 照射燃料試験室 (AGS)

- 「常陽」MK-I, MK-II 及び海外照射燃料のPIE
- 燃料設計のための照射燃料の物性データ取得 (融点, 熱伝導度等の物性測定)

#### 照射材料試験室 (MMS)

- 「常陽」MK-I, MK-II 及び海外照射材料, 構造材料のPIE
- ATR「ふげん」圧力管のサーベイランステスト試料のPIE
- 再処理蒸発缶材の試験検査

### 3. 主な成果

- 1) 「常陽」MK-I 炉心構成要素，特に炉心燃料の健全性確認（試験実績：炉心燃料ピン 3000本）
- 2) ウェアマーク問題の工学的解決
- 3) 海外照射試料，「常陽」MK-I 炉心燃料材料のPIE結果を「もんじゅ」燃料設計，安全審査へ反映
- 4) 大型ホットラボ運転技術の確立

### 4. 当面の課題

- 1) 「もんじゅ」宿題，設工認のためのデータ取得
- 2) 照射後試験技術の整備
- 3) 照射燃料の再組立，再装荷技術の整備
- 4) 「もんじゅ」燃料PIE施設の建設に関し，PNC内の他のMOX燃料開発に係るニーズの調整

### 5. 将来計画

- 1) 燃料材料使用限界の把握（設計余裕の切詰め）
  - 燃料寿命：高燃焼度，高照射量の定常照射試験（MK-II，海外炉）  
RTCB試験（海外炉，MK-II）
  - 過渡過出力試験：TOP試験（EBR-II，MK-II）
- 2) 使用限界を越えての燃料挙動把握
  - 破損燃料の運転試験：RBCB試験（EBR-II，MK-II）
- 3) 挙動解析コードの開発
  - 過渡過出力挙動解析コード：CEDAR Transient
  - 集合体挙動解析コード
- 4) MK-II照射試験データの解析
- 5) 実証炉用燃料材料の開発
- 6) 「もんじゅ」燃料等のPIE施設の建設，運転
- 7) 使用済燃料輸送キャスクの開発

# 燃料材料試験部

## 照射燃料集合体試験室 (FMS)

### 工学的照射後試験

- 燃料集合体, 燃料ピンの非破壊試験
  - ・ 外観観察
  - ・ 寸法測定
  - ・  $\gamma$ 線測定等
- 燃料ペレット, 被覆管の微少分析 (運転はAESが担当)
  - ・ X線微少分析
  - ・ 表面観察等

## 照射燃料試験室 (AGS)

### 燃料及び燃料ピンの物性測定

- 燃料ピンの破壊試験
  - ・ 金相試験
  - ・ 燃焼度測定等
- 燃料ペレット照射後の物性測定
  - ・ 融点
  - ・ 熱伝導度等

## 照射材料試験室 (MMS)

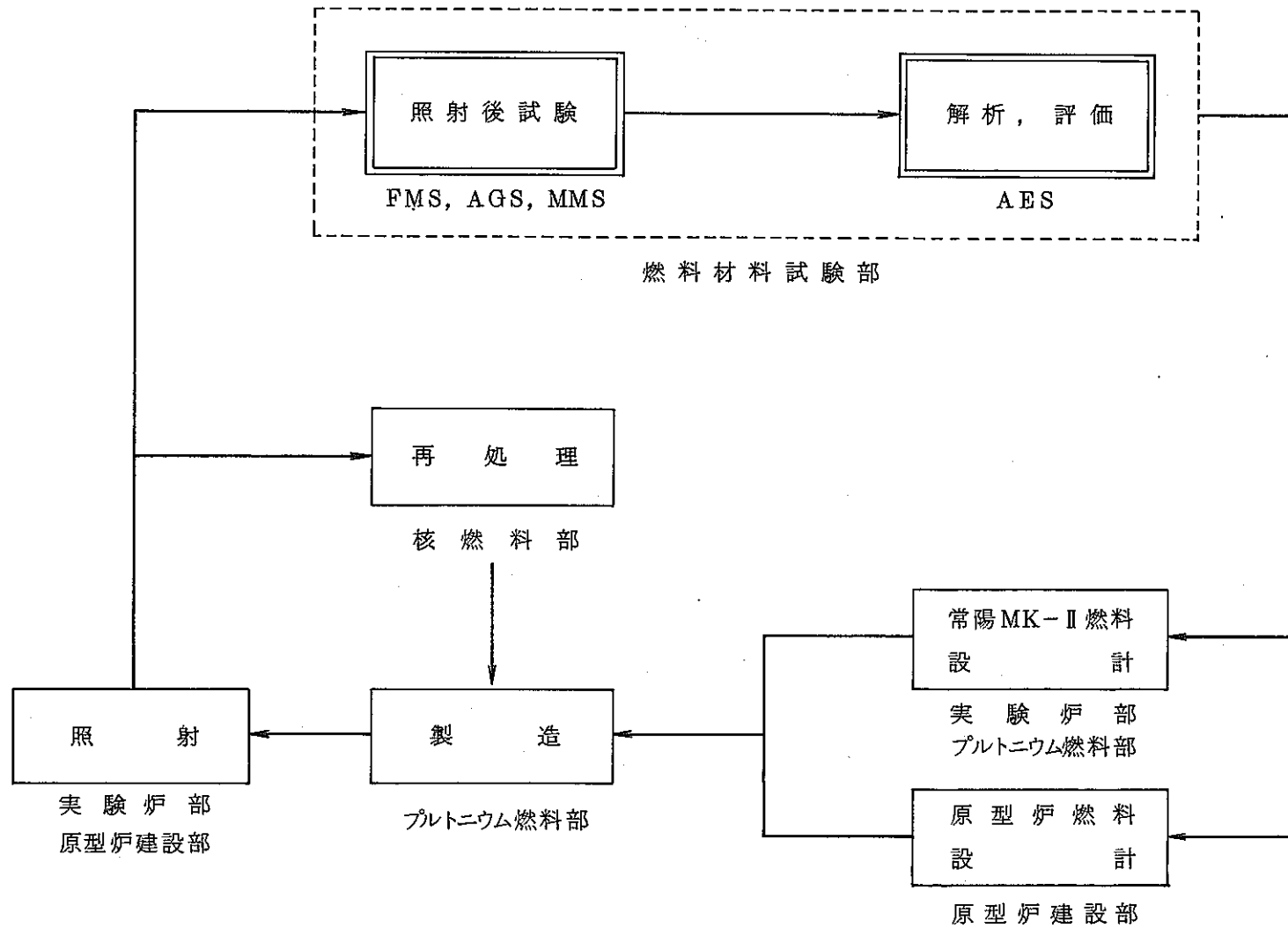
### 被覆管等の材料工学的試験

- 被覆管, 集合体部材等の材料試験
  - ・ 金相試験
  - ・ 強度試験
  - ・ 電子顕微鏡観察等
- 構造材の材料試験
  - ・ 強度試験
  - ・ シャルピー試験等

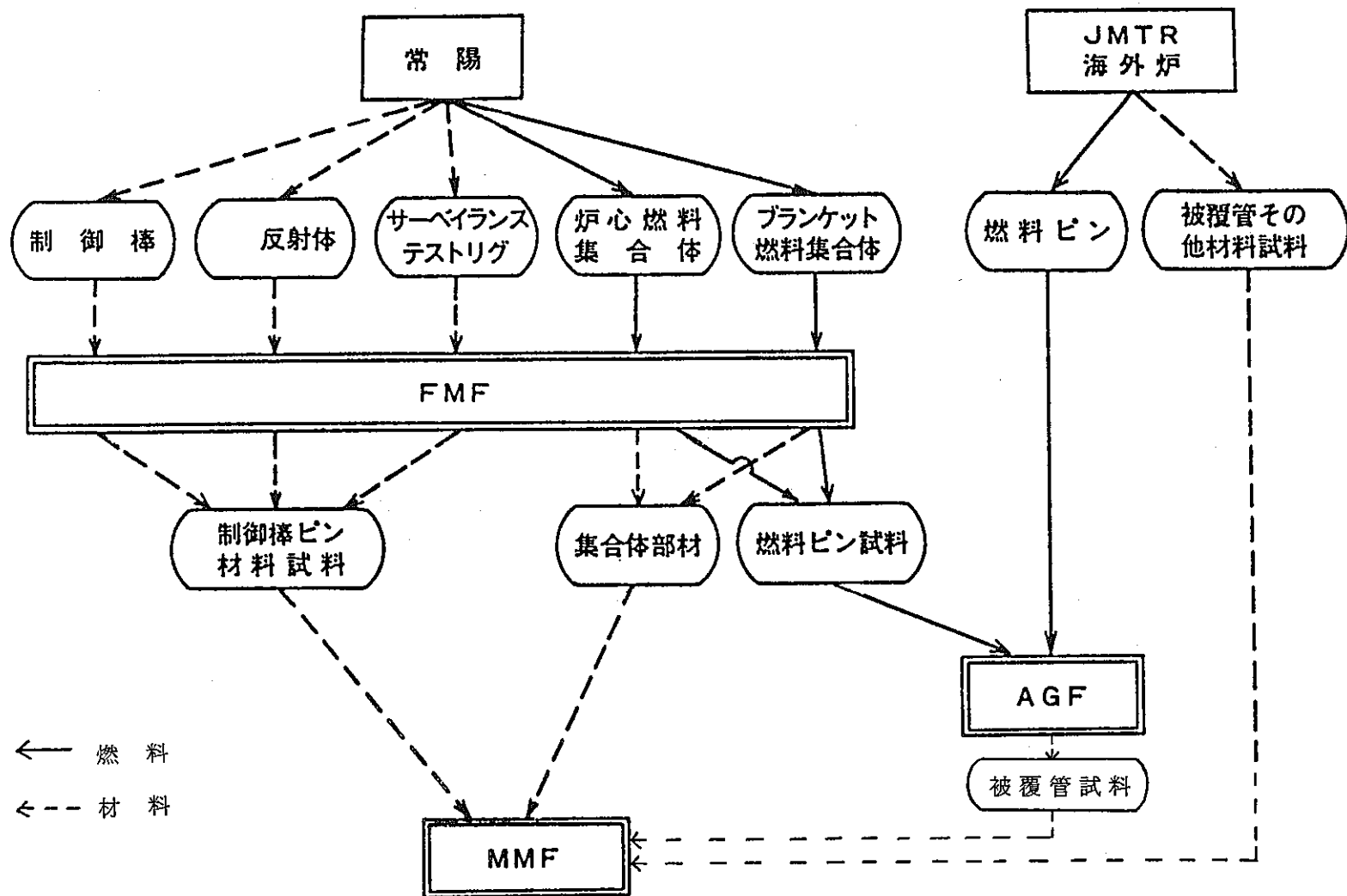
## 技術解析室 (AES)

### 三試験室よりの試験データの総合解析とその設計, 製造への反映

- データバンキング・システムの確立
- 燃料工学としての総合評価
  - ・ 健全性の確認
  - ・ 設計余裕度の確認
  - ・ 燃料挙動の推定
  - ・ 燃料寿命の予測
- 燃料挙動解析コード等の各種コードの開発



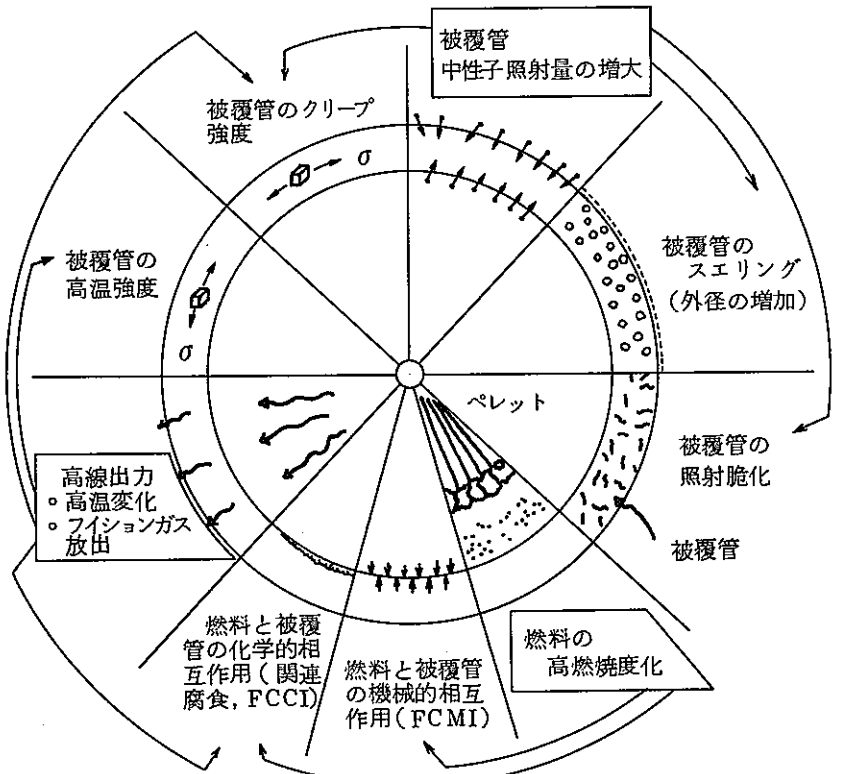
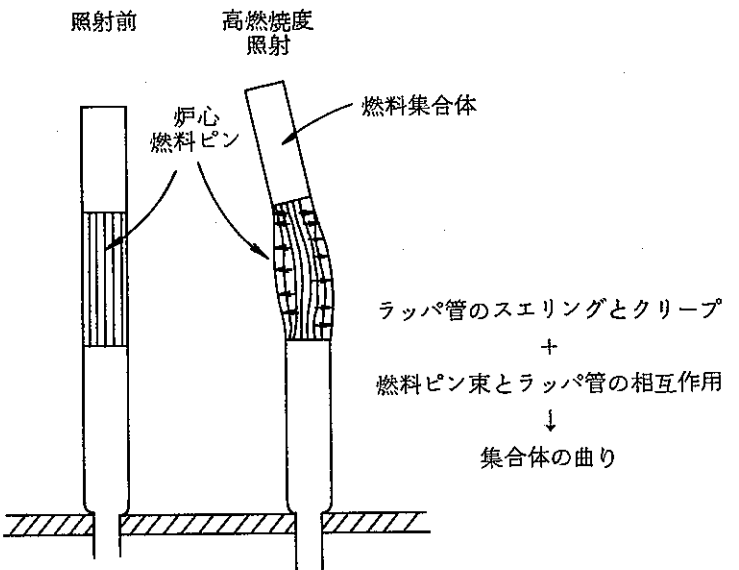
## II-2 FBR 燃料の開発体制



II-3 燃料材料試験部における試料の流れ

## II - 4 軽水炉燃料と高速炉燃料の比較

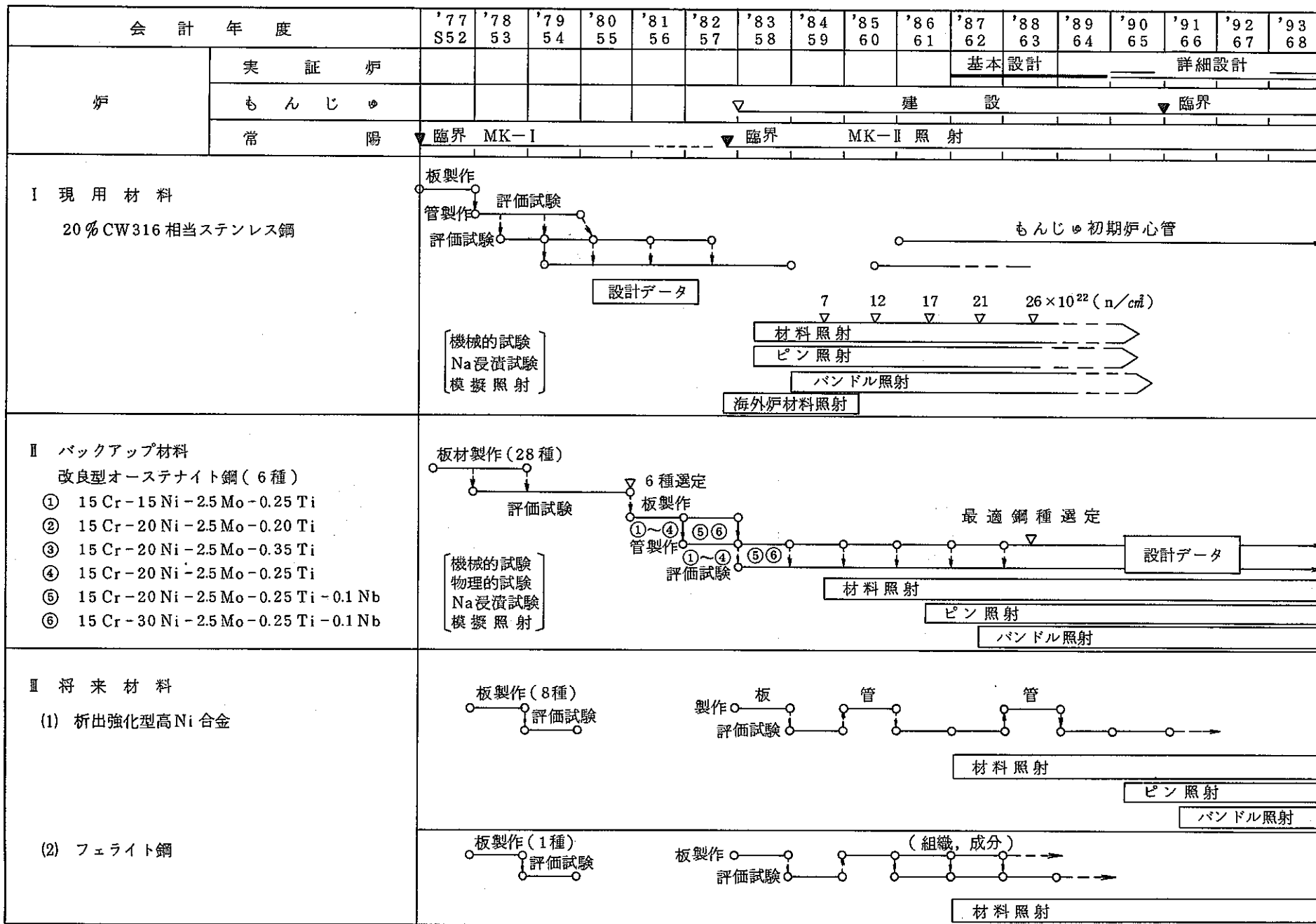
	被覆管温度 (°C)	中性子照射量 (n/cm <sup>2</sup> , >0.1MeV)	燃 焼 度 (MWD/T)
軽 水 炉	~300	1×10 <sup>22</sup> 以下	~ 35,000
「常陽」	MK-I ~550	~0.6×10 <sup>23</sup>	~ 42,000
	MK-II ~600	~0.7×10 <sup>23</sup>	~ 50,000
「もんじゅ」	初期 ~650	~1.6×10 <sup>23</sup>	~ 67,000
	最終 ~650	~2.3×10 <sup>23</sup>	~ 98,000
実 証 炉	~650	~2.5×10 <sup>23</sup>	~100,000
商 業 炉	~650	~3.5×10 <sup>23</sup>	~150,000
高速炉実用化への 問題点	( 高 温 )	( 高 中 性 子 照 射 量 )	( 高 燃 焼 度 )
	○ 被覆管 高温強度	○ 被覆管, ラップ管 スエリング 照射脆化 照射クリープ	○ 燃料ピン 燃料-被覆管 相互作用
	○ 燃料集合体 燃料ピン束とラップ管の相互作用		

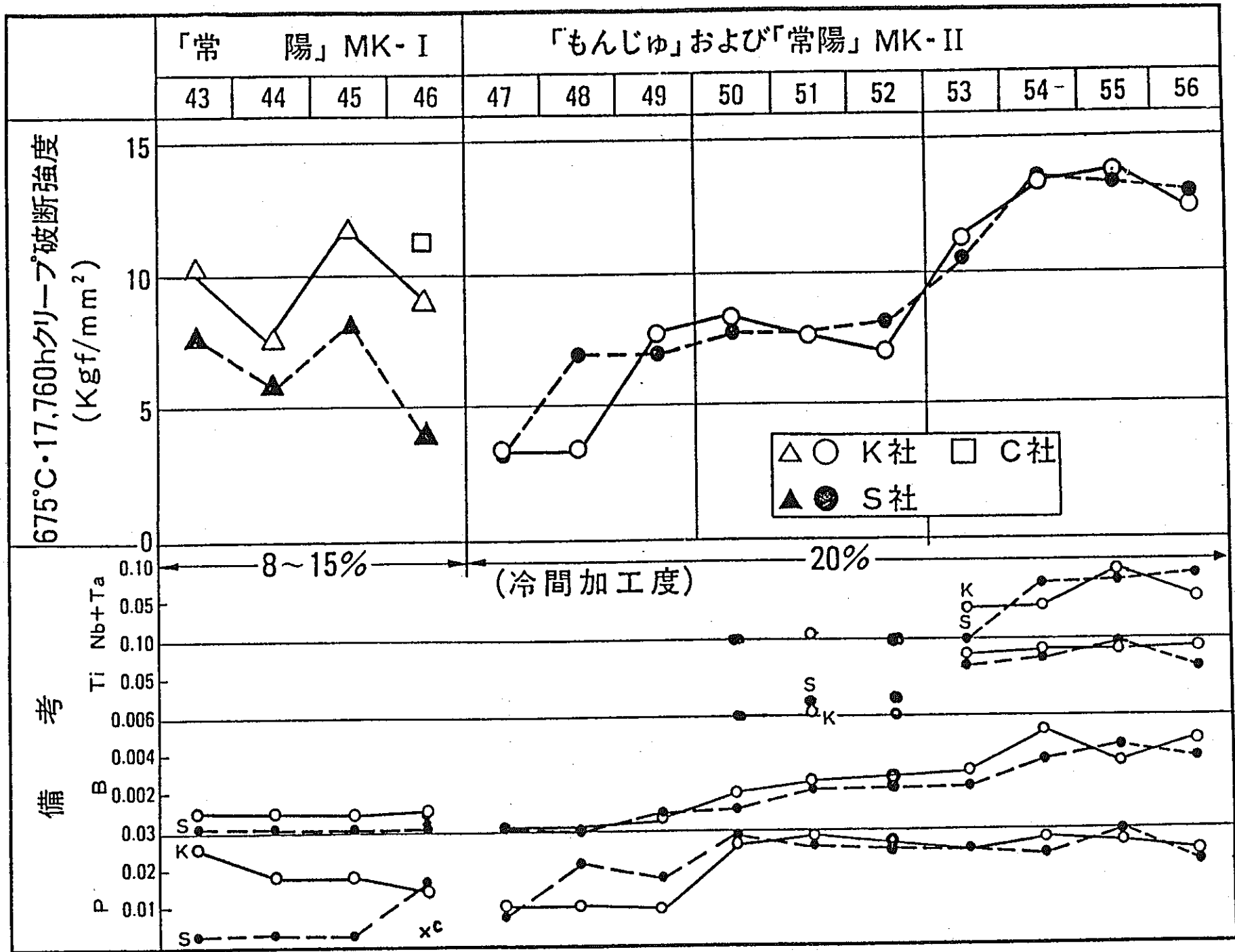
燃 料 ピ ン			燃 料 集 合 体		
					
課 題	対 処 方 法	R & D	課 題	対 処 方 法	R & D
照射による被覆管の劣化 被覆管の照射スエリング 照射脆化 照射クリープ 高温強度	スエリング等の防止 ↓ 新被覆管材の開発	製 造 試 験 炉 外 試 験 照 射 試 験	照射による集合体の曲り ラッパ管のスエリング 燃料ピン束とラッパ管の相互作用	被覆管, ラッパー管のスエリング防止 ↓ 新材料の開発 設計的検討	製 造 試 験 炉 外 試 験 照 射 試 験 (管材及び集合体)
燃料と被覆管の相互作用	設計裕度の確認 コーティングによる防止 被覆管材の開発	照 射 試 験			

II-5 燃料開発における技術的課題

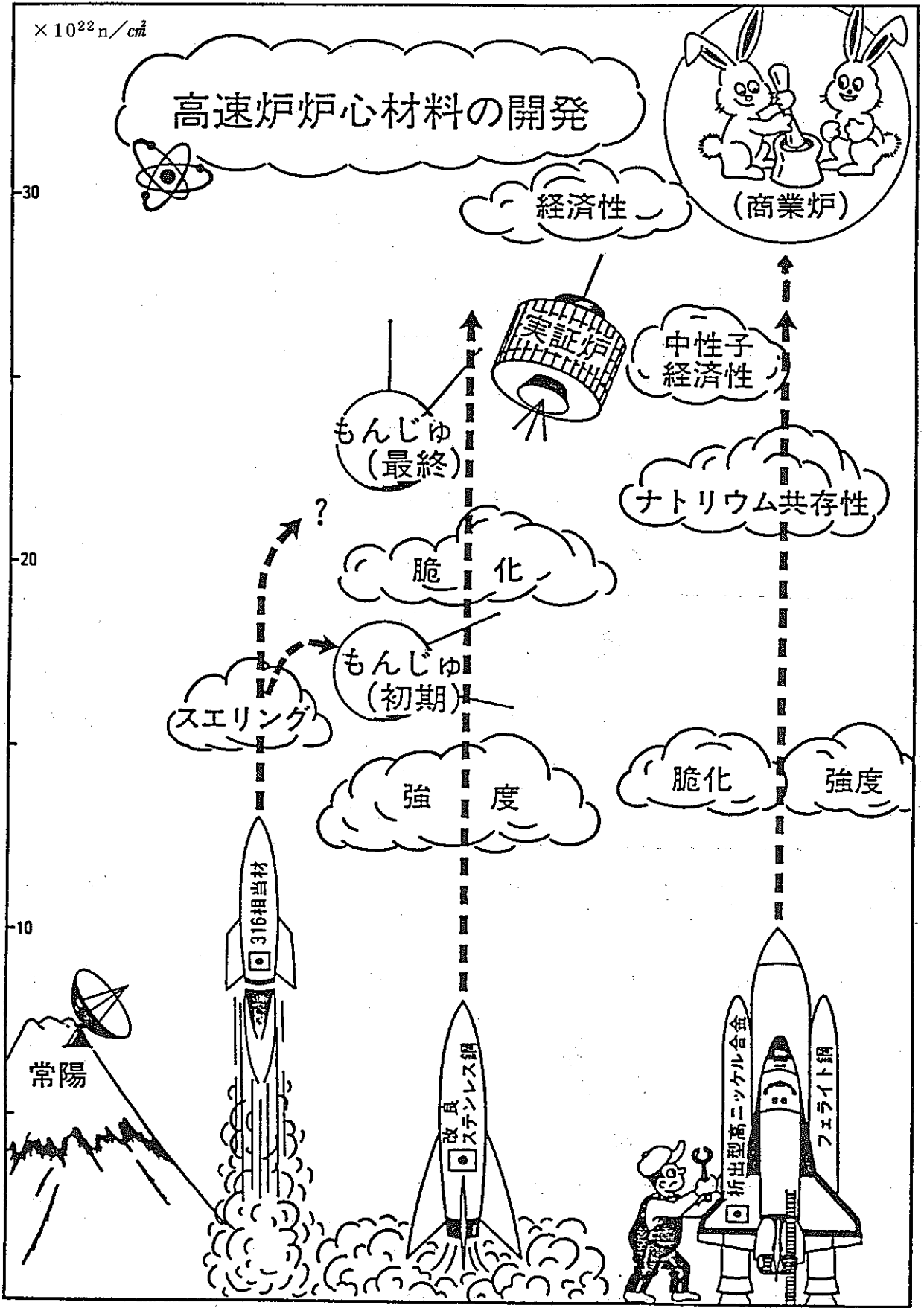


## II-6 炉心材料開発スケジュール



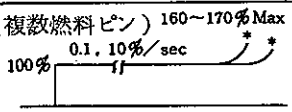
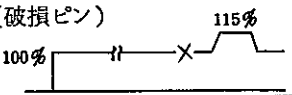
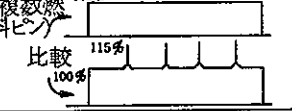


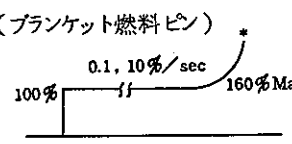
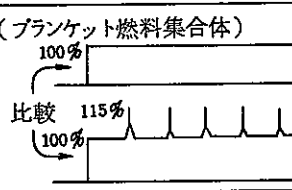
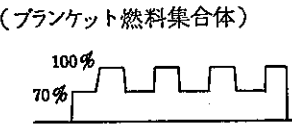


II-7 燃料被覆管のクリープ強度の推移



II-8 高速炉炉心材料の開発

Ⅱ - 9 国際協力による燃料開発 (DOE との共同研究) - 運転過渡時の燃料挙動試験 (EBR-II, TOP 試験) -

名称	実験の概要	S56	57	58	59	60	61	62	63	
1 TOP1-1 ABCD	(複数燃料ピン) 160~170% Max 0.1, 10%/sec 100% 	前照射した燃料ピンを用い、高速炉内で種々の反応度投入速度を与え過出力条件下での燃料破損限界を調べる。								
2 TOP1-2	(破損ピン) 100% 115% 	定常照射下で破損を生じた燃料ピンの過出力条件下の挙動を把握する。								
3 TOP-4 AB	(複数燃料ピン) 100% 115% 比較 100% 	定常照射を続けながら定期的に過出力条件を与え、定常照射のみ受けた場合との比較を行う。意図的に寿命を短く設計した燃料ピンを一部含めることにより、繰返して与えられる過出力条件が燃料ピンの寿命にどのような影響を及ぼすかを調べる。								
4 TOP-7	(複数燃料ピン) 100% 70% 	出力レベルを繰返して変動させながら燃料ピンを照射し、このような条件下での健全性確認を行う。								
5 TCB-10	(集合体) 115% 100% 	定常照射を続けながら、繰返し過渡条件を与え、このような条件下での集合体全体としての健全性確認を行う。								
6 TOPB1 -1	(ブランケット燃料ピン) 0.1, 10%/sec 100% 160% Max 	過出力条件下でのブランケット燃料の健全性確認を行う。								
7 TOBB-2 AB	(ブランケット燃料集合体) 100% 比較 115% 100% 	定常照射を続けながら、繰返し過出力条件を与え、このような条件下でのブランケット燃料集合体の健全性確認を行う。								
8 TOBB-4	(ブランケット燃料集合体) 100% 70% 	出力を変動させながら、ブランケット燃料集合体を照射し、このような条件下での健全性確認を行う。								

Ⅱ - 10 国際協力による燃料開発 (DOE との共同研究) - 破損燃料の運転試験 (EBR-II, RBCB 試験) -

名 称		実 験 の 概 要	S56	57	58	59	60	61	62	63
1	RBCB-1, -2, -3; XY-2	照射済欠陥ピン又は人工欠陥ピン照射, EBR-II, BFTF 安全性確認予備試験								
2	RBCB-K1, -K2A, -K2B, -K2C	燃料/Na 反応, DN シグナルプラント汚染 状況確認試験								
3	RBCB-D1, -D2	人工欠陥ピンの出力変動, 冷却材流量変化 時の挙動								
4	RBCB-V2	プレナム部人工欠陥ピン照射								
5	RBCB-V4	太径ピンと細径ピンの破損挙動比較試験								
6	RBCB-V5	高燃焼度ブランケット燃料ピン破損試験								
7	RBCB-V7A, -V7B, -V7C	破損伝播試験								
8	RBCB-V6	欠陥ピンの炉内貯蔵時の挙動								

## Ⅱ. 高 速 実 験 炉 部

## 高速実験炉部の R & D 業務概要

### 1. 経緯

- 昭和 52 年 4 月 高速実験炉「常陽」初臨界達成
- 昭和 53 年 7 月 高速実験炉「常陽」50 MW 出力達成
- 昭和 54 年 7 月 高速実験炉「常陽」75 MW 出力達成
- 昭和 57 年 11 月 高速実験炉「常陽」MK-II (照射炉心) 初臨界達成
- 昭和 58 年 3 月 高速実験炉「常陽」100 MW 出力達成
- 昭和 58 年 8 月 高速実験炉「常陽」100 MW 第 1 サイクル開始

### 2. 現 状

プラント：○第 4 回定期検査(58 年 12 月～59 年 4 月)終了。この間に主循環ポンプ A 号機交換。

○100 MW 第 3 サイクル(59 年 4 月～59 年 6 月)運転中。

照 射：○特殊燃料集合体(B 型 1 体, C 型 2 体), 制御材, 構造材各 2 体照射中。

照射準備：○特殊燃料集合体(A 型)

○炉心材照射リグ

○計測線付燃料集合体(INTA)

○炉上部照射プラグリグ(UPR)

設置変更(その 10)申請準備：

○ドライバー燃料の等価 fissile 方式の採用

○ドライバー燃料の高 fissile 化

○ドライバー燃料の高燃焼度化

○ドライバー燃料被覆管の高温許容

○この他特殊燃料関係検討中。

### 3. 主な成果

- 1) MK-I 計画の達成(自主技術による設計, 建設, 運転を通じ, 技術的経験を取得)
- 2) 自然循環試験による安全性実証
- 3) ウェアマーク問題の工学的解決

- 4) MK-II 100MW(照射炉心)運転の軌道化
- 5) 照射装置の開発(A, B, C型特燃, AMIR, CMIR, SMIR等)

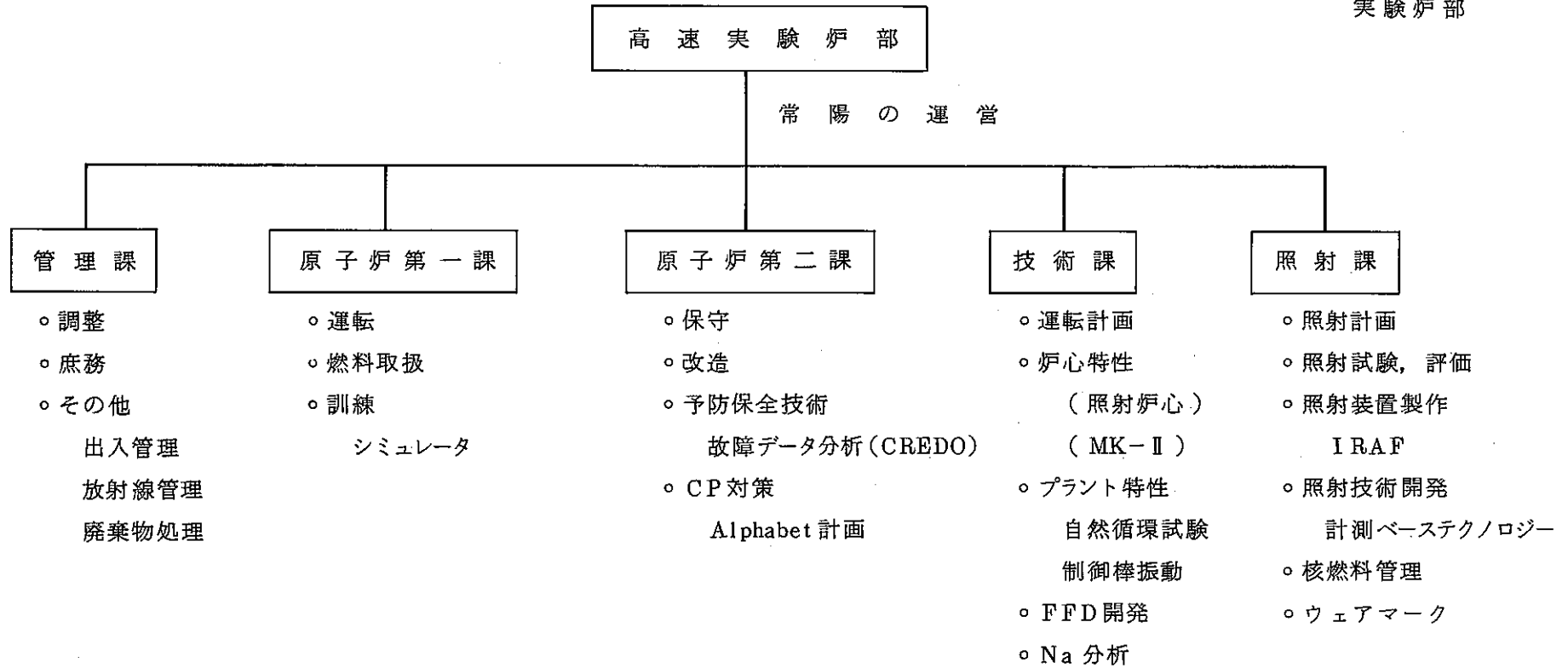
#### 4. 当面の課題

- 1) 照射試験の拡大
  - 燃料溶融試験
  - 燃料破損試験
- 2) 照射技術の高度化
- 3) FFD, FFDLの開発
- 4) CP対策の確立(Alphabet計画)
- 5) 安全性実証試験
  - 自然循環, ATWS試験
- 6) 計装系合理化
  - 信号多重伝送実証試験
- 7) 故障データ分析, 機器信頼性評価

#### 5. 将来計画

- 1) 安全運転のもとでの照射試験の効率化
- 2) 運転保守経験及び試験結果を一般化することにより後続炉への反映
- 3) 予防保全技術の確立
- 4) 高速炉プラント技術者の資質向上

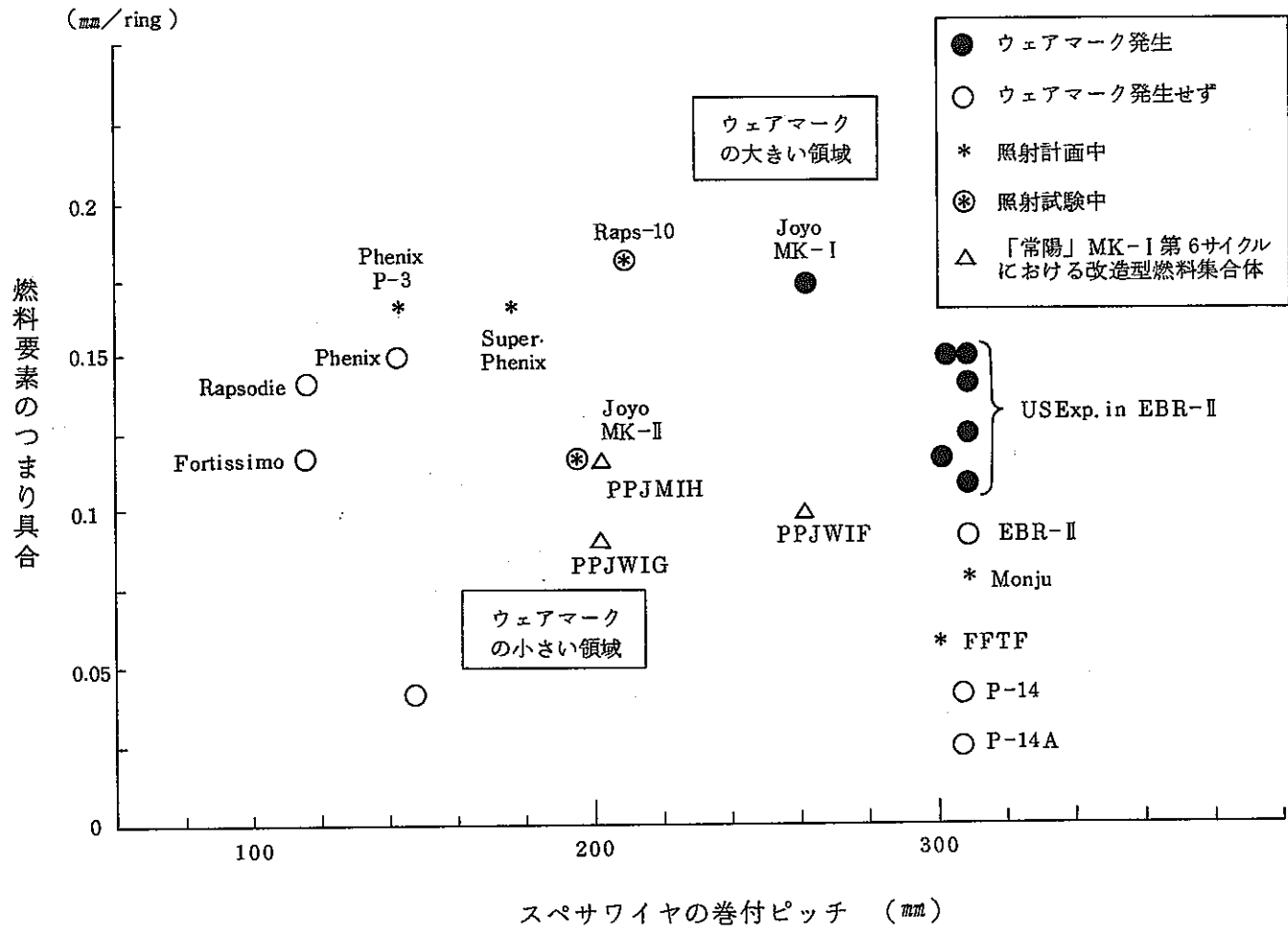




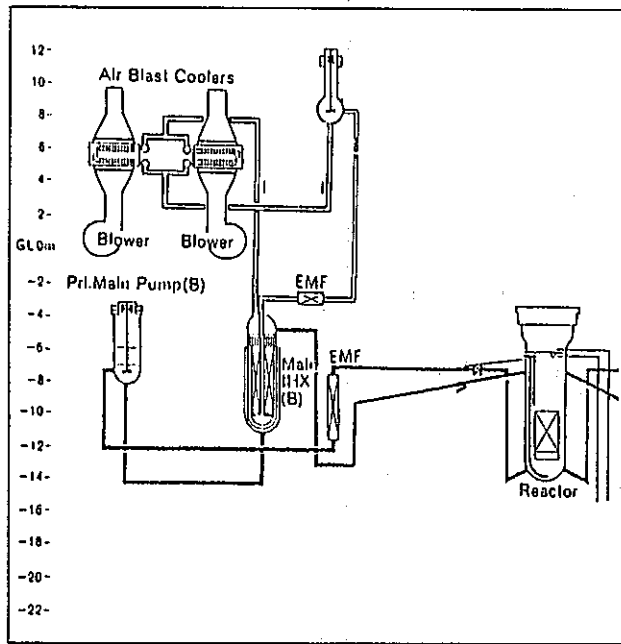
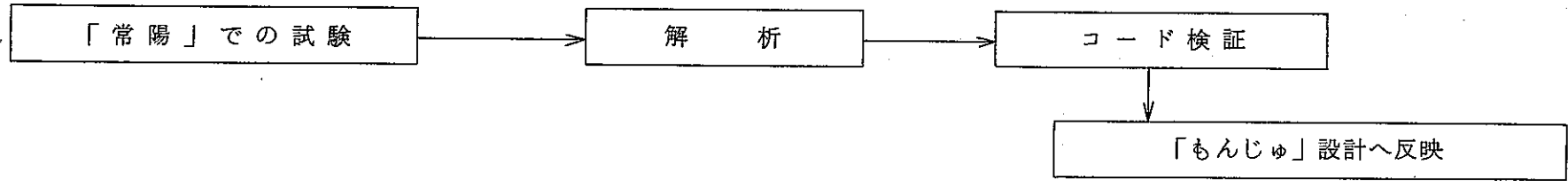
### Ⅱ-1 高速実験炉部の組織と業務

II-2 高速実験炉「常陽」運転実績

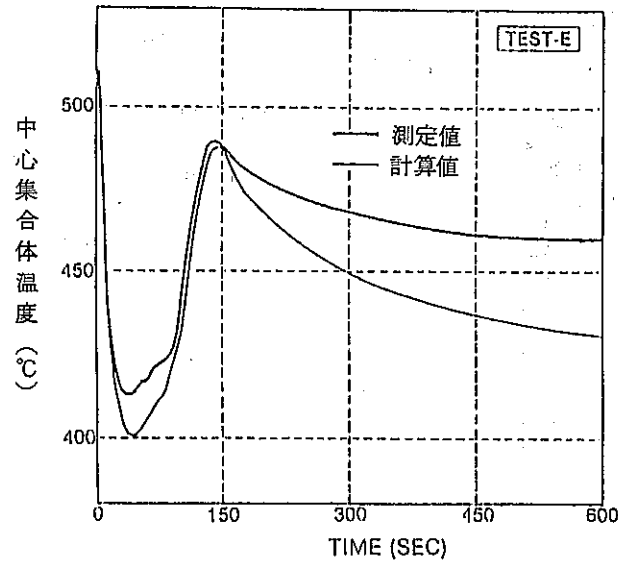
年度	S. 52 (1977)			S. 53 (1978)			S. 54 (1979)			S. 55 (1980)			S. 56 (1981)			S. 57 (1982)			S. 58 (1983)			S. 59 (1984)																																																	
運 転 計 画	MK-I (増殖炉心)												(炉心移行)			MK-II (照射炉心)																																																							
	50 MW性能運転			50MW運転			75 MW性能試験			75 MW 運 転			照射炉心移行作業			MK-II性能試験			照射ベッド特性試験			100 MW 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																																																							
	0~100MW			50 MW (0) (1) (2)			75 MW (0) (1) (2) (3)			4) (5) (6)			100 MW (0) (1) (2)			(3) (4) (5) (6)																																																							
記 事	▲ 臨界			▲ 50 MW			▲ 75 MW			▲ 臨界			▲ 100 MW																																																										
	52.4.24 初臨界達成			52.11.14 低出力試験終了			53.2.27 原子炉格納容器第一回全体漏洩率試験			53.7.9 50 MW出力達成			53.9.29 50 MW使用前検査合格			54.3.5 第一回定期検査開始			54.5.21 科技厅特別保安監査			54.7.16 75 MW出力達成			54.12.8 原子炉格納容器第二回全体漏洩率試験			55.2.1 75 MW第二回定期検査合格			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 75 MW運転終了・自然循環試験			57.1.11 MK-II (増殖炉心) 運転終了			57.1.11 MK-II (照射炉心) 初臨界			57.4.10 炉心構成要素交換作業開始			57.11.22 第三回定期検査開始			57.11.22 第三回定期検査合格			58.12.1 第四回定期検査開始			58.12.31 100 MW出力達成			58.12.31 第三回定期検査合格			59.4.28 第四回定期検査合格			(60.1.1 第五回定期検査開始)	
MK-I 運転実績			MK-II 運転実績																																																																				
52.4.24 初臨界			57.11.22 発臨界																																																																				
57.1.10 運転終了			58.12.2 100MW第2サイクル終了																																																																				
積算運転時間 12,968 H			積算運転時間 3,835 H																																																																				
積算熱出力 673,330 MW-H			積算熱出力 281,376 MW-H																																																																				
最大燃焼度																																																																							
燃料要素最高 40,500 MWD/T																																																																							
集合体平均 40,100 MWD/T																																																																							



Ⅲ-3 ウェアマークの発生状況



「常陽」プラント系統図

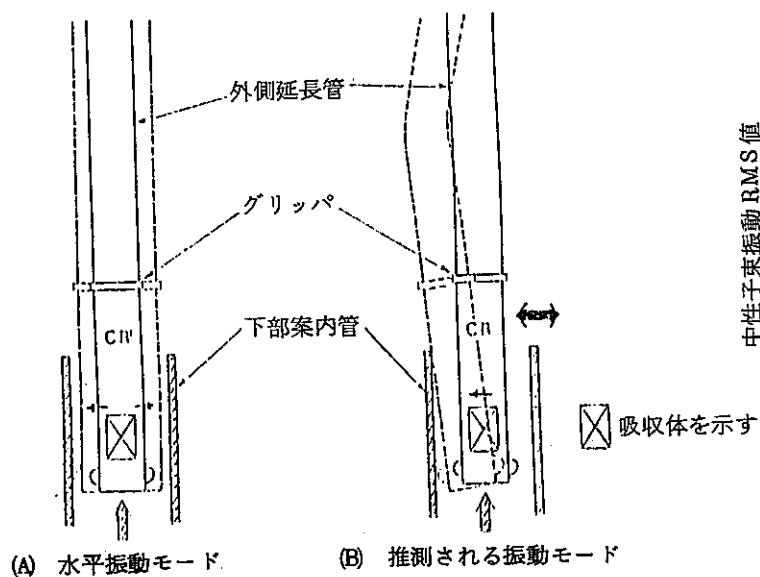
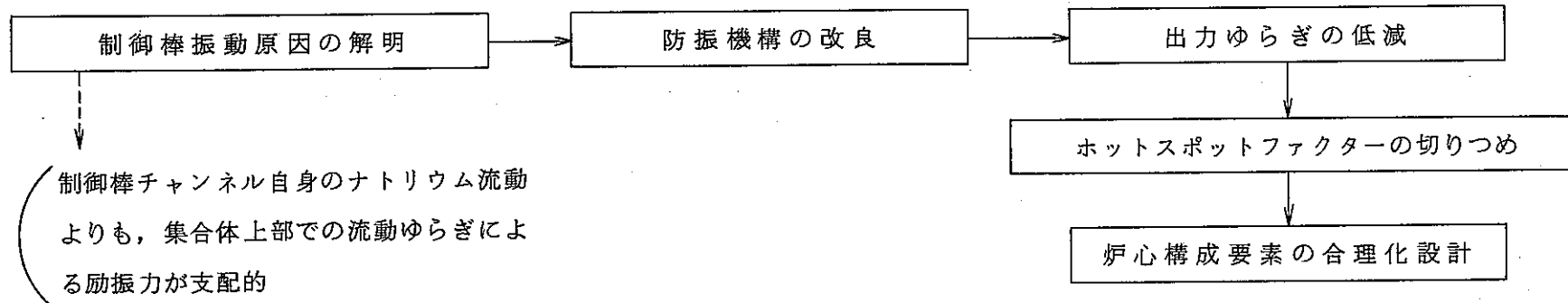


自然循環試験結果と予測値との比較

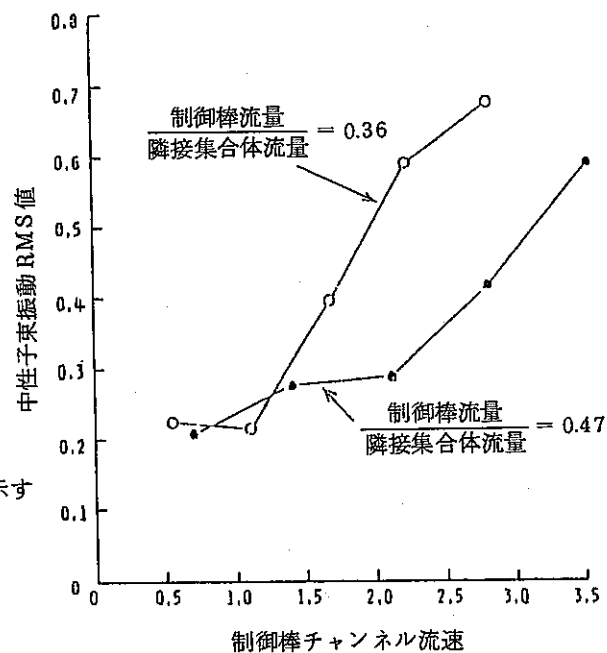
特徴

1. 過渡現象
2. 極低流量
3. 炉容器内層化現象
4. 配管内層化現象

### Ⅲ-4 自然循環試験



制御棒振動モード概念図



中性子束振動と制御棒チャンネル流速

### Ⅲ-5 制 御 棒 振 動

## Ⅱ-6 「常陽」照射試験計画(1)

年度	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
照射 目 標	(1) 「もんじゅ」燃料仕様の確性 →「もんじゅ」燃料設計の確認 →「もんじゅ」燃料の高性能化 (高燃焼度) (2) 「常陽」燃料設計のコスト・パフォーマンスの向上 →「常陽」燃料設計余裕の確認と 高性能化 →「常陽」燃料適性品質の追求 (FBR燃料の適性品質の追求)								(1) 「もんじゅ」燃料仕様 の確性補完 (2) 将来炉に向けての基礎 照射(燃料熔融, 燃料破損) (3) 国際協力					(1) 安全性試験 (2) 過渡実験					

## Ⅱ-7 「常陽」照射試験計画(2)

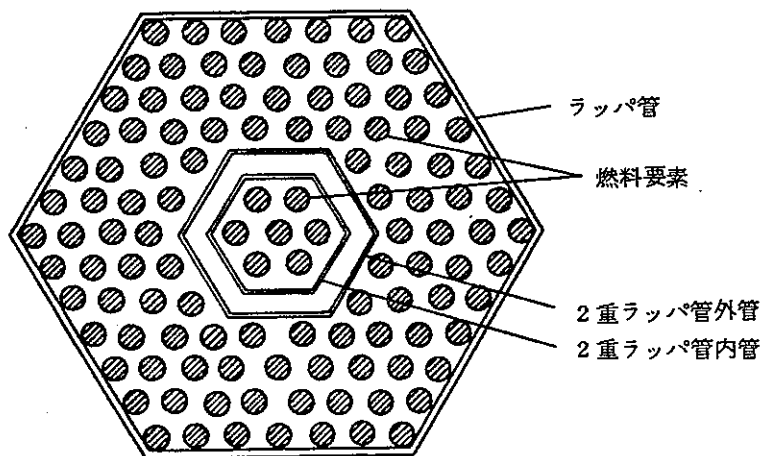
年度	S. 57. (1982)				S. 58. (1983)				S. 59. (1984)				S. 60. (1985)				S. 61. (1986)				S. 62. (1987)			
	4	7	10	58	4	7	10	59	4	7	10	60	4	7	10	61	4	7	10	62	4	7	10	63
照射炉心移行作業																								
MK-II 性能試験				照射ベッド 特性試験				MK-II (照射炉心) 100 MW 定格運転																
照射計画	特殊燃料 集合体 (A型)	BOJ				C1J				A1M				B2M				B3M				~(21)		
	(B型)	BIJ																C3M				~(23)		
	(C型)									C2M														
	計測線付 集合体													INTA-1				INTA-2						
	炉上部照射 プラグリグ													UPR-1-1				UPR-1-2						
	燃料材料 照射用反射体	CMIR-0																CMIR-1						
制御棒材料 照射用反射体									AMIR-1				AMIR-2											
構造材料 照射用反射体					SMIR-1				SMIR-2				SMIR-7				SMIR-5				SMIR-9			
					SMIR-3								SMIR-8				SMIR-6				SMIR-10			
					SMIR-4																SMIR-11			
																					SMIR-12			

### Ⅲ-8 MK-II 照射装置一覽

名 称	構 造	特 徴	試験項目(予定)	
特殊 燃料 集合体	A 型	<ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法は運転燃料と同一。</li> <li>集合体中央部に照射ブロック(単1または2種の内部ラッパ管で区別)を設け</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>集合体中の燃料体積密度が比較的大で核設計上有利。</li> <li>内部ラッパ管で流量・温度を設定できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>被覆管材料試験</li> <li>燃料の高線出力照射</li> </ul>
	B 型	<ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法は運転燃料と同一。</li> <li>軸心管(中心1本)コンパートメント(周囲6本)組立式。</li> <li>コンパートメント内に照射燃料ピン束収納。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>照射後、FMFホットセル内で分解、再組立可能→「常陽」で再照射可能。</li> <li>コンパートメントにより照射条件(流量・温度)を設定できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「もんじゅ」燃料の確性試験</li> <li>PCCI, PCM試験</li> <li>スパーサワイヤ挙動調査</li> </ul>
	C 型	<ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法は運転燃料と同一。</li> <li>運転燃料ラッパ管内側に別のラッパ管を設け、内部に照射ピン束を収納。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピンバンドルの照射挙動調査が可能。</li> <li>多数同一条件照射による統計的データ取得ができる。</li> <li>異なる設計・仕様のピンの同一条件照射比較試験ができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「もんじゅ」燃料集合体確性試験</li> </ul>
材料 照射用 反射体	燃料材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法は運転燃料と同一。</li> <li>6本のコンパートメント内に試料を収納。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\gamma</math> 発熱-流量制御による照射温度制御。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「もんじゅ」改良型被覆管照射。</li> <li>インパイルクリープ試験。</li> </ul>
	制御棒材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法は運転燃料と同一。</li> <li>6本のコンパートメントと1本の軸心管の中に試料入りのキャプセルを収納。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\gamma</math> 発熱と試料キャプセル間のギャップ幅により照射温度制御</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「もんじゅ」制御棒材料(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)照射。</li> </ul>
	構造材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法は運転燃料と同一。</li> <li>6本のコンパートメントと1本の軸心管の中に試料入りのキャプセルを収納。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>He-Arの混合比と<math>\gamma</math>発熱によりキャプセル毎に照射温度制御</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「もんじゅ」構造材料(SUS304等)照射。</li> </ul>
計測線付集合体	<ul style="list-style-type: none"> <li>試料部集合体、下部案内管、保持装置、計測制御系および付属機器から成る。</li> <li>試料部集合体は2重六角管構造で下部案内管に挿入され、ハンドリングヘッドは運転燃料と同一。</li> <li>計測量は回転プラグを通し炉外にとり出される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>オンラインで照射挙動を測定できる。</li> <li>燃料交換時は炉上部機構内に試料部集合体を収納できる。</li> <li>試験後は計測線を切断し、試料部のみ取出せる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料中心温度</li> <li>燃料要素F-Pガス内圧</li> <li>冷却材混合効果</li> <li>ギャップ熱伝導率</li> </ul>	
炉上部照射 プラグリグ	<ul style="list-style-type: none"> <li>試験片収納容器、案内管、案内管、遮蔽プラグ、流速計ウエル及び付属機器から成り、炉心上部機構に装荷。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>オンラインで照射挙動を測定できる。</li> <li>高温・低フルエンス照射。</li> <li>試験片収納容器のみ取出せる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「もんじゅ」構造材料(SUS304等)照射。</li> </ul>	
インパイル・ループ	<ul style="list-style-type: none"> <li>試料部集合体、熱交換器、電磁ポンプ、Naタンク、計測ケーブルおよびこれらを収納する断熱機能を有する構造物より成る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>オンラインで照射挙動を測定できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>破損までの燃料照射挙動調査</li> <li>破損燃料の挙動調査</li> <li>燃料溶融実験</li> <li>FGI実験</li> <li>流量減少および流路閉塞事故模擬実験</li> </ul>	

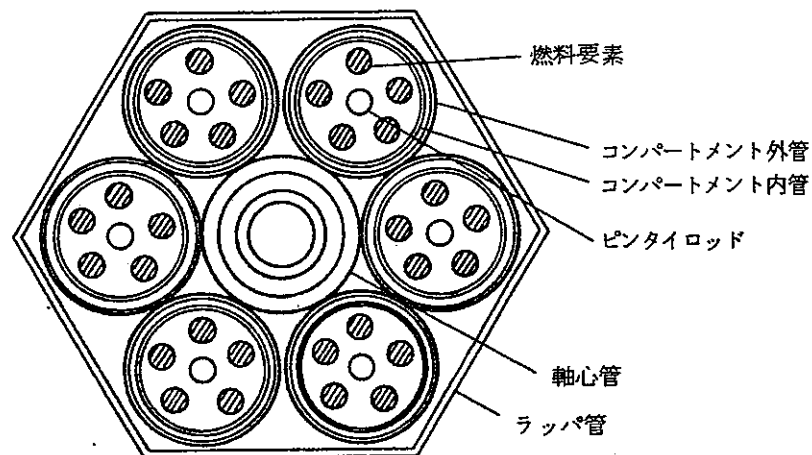


- ① カプセル方式の内筒とMK-II炉心燃料ピンで構成
- ② 照射燃料ピン 7本



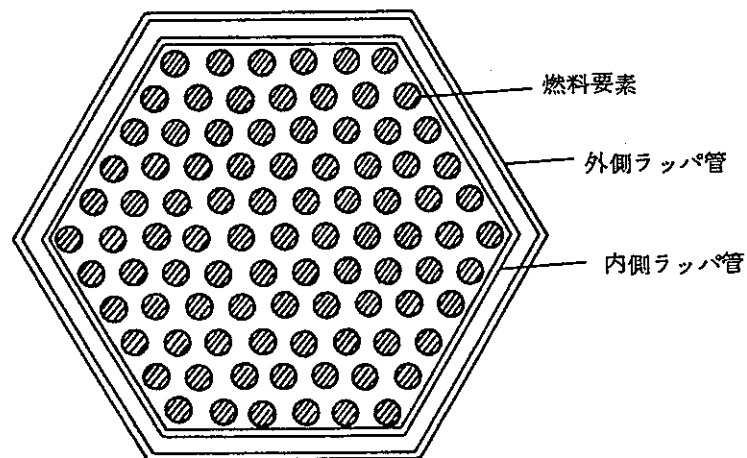
A型特殊燃料集合体

- ① 着脱可能なコンパートメント6個で構成, 別価の条件設定可
- ② 照射燃料ピン 30(6×5)本



B型特殊燃料集合体

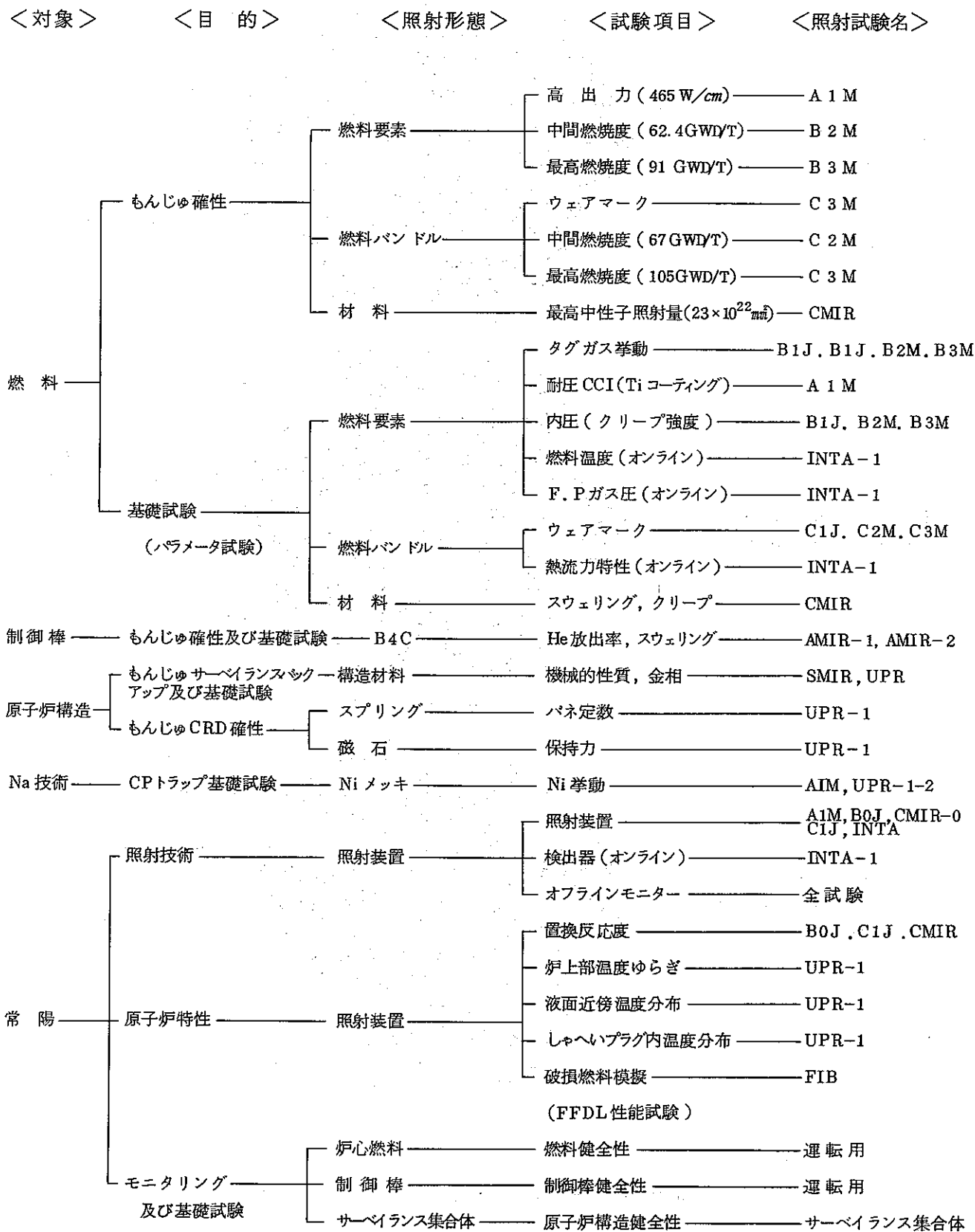
- ① 2管ラッパ管構造で, ピン束とラッパ管モデルの照射用
- ② 照射燃料ピン 61本



C型特殊燃料集合体

### Ⅲ-9 特殊燃料集合体の断面

### Ⅲ-10 「常陽」MK-II における照射試験の内容



#### IV. 高速炉安全工学部

## 高速炉安全工学部の R & D 業務概要

### 1. 経 緯

- 昭和44年8月 ナトリウム流動・伝熱試験装置完成
- 昭和45年11月 大リークナトリウム-水反応試験開始 (SWAT-1)
- 昭和46年4月 ナトリウム過渡沸騰試験開始
- 昭和48年4月 燃料破損伝播 (ナトリウム中) 試験開始
- 昭和50年3月 CABRI 炉内試験に参加 (以後各種海外協力に参加)
- 昭和54年12月 溶融燃料ナトリウム相互作用試験施設 (FSI) の試験開始
- 昭和57年4月 ナトリウム技術部, 蒸気発生器開発部を再編成し, 高速炉安全工学部として発足

### 2. 現 状

#### 高速炉工学室

- 「もんじゅ」炉内流量配分試験
- 「常陽」A型特殊燃料集合体のミキシング試験
- 炉心及び冷却システムの各種熱流動解析コード開発

#### 炉心安全工学室

- 溶融炉心物質挙動炉外試験
- 機械的工学エネルギー低減効果試験に着手
- 各種事故解析コードの改良開発

#### プラント安全工学室

- SWAT-3 試験装置による蒸気発生器伝熱管の高温内圧破管試験
- SOFT-1 試験装置によるNa漏洩火災基礎試験
- Na火災及びエアロゾル挙動解析コードの整備改良

### 3. 主な成果

- 1) Na 流動伝熱試験装置の長期運転による Na ループ設計，運転技術の習得
- 2) 各種燃料集合体，大型弁，中間熱交換器及び炉容器等の流動・伝熱特性の把握
- 3) 各種熱流解析コードの整備
- 4) ナトリウム過渡沸騰試験を行い，各種事故条件下での沸騰現象を解明
- 5) 大型事故解析コードにより「もんじゅ」の仮想的炉心崩壊事象の評価を実施し，安全審査へ反映
- 6) 試験に基づく各種ナトリウム-水反応事故評価コードと，水素式水リーク検出計設計法の完成
- 7) ナトリウム漏洩火災に関する基礎データの取得

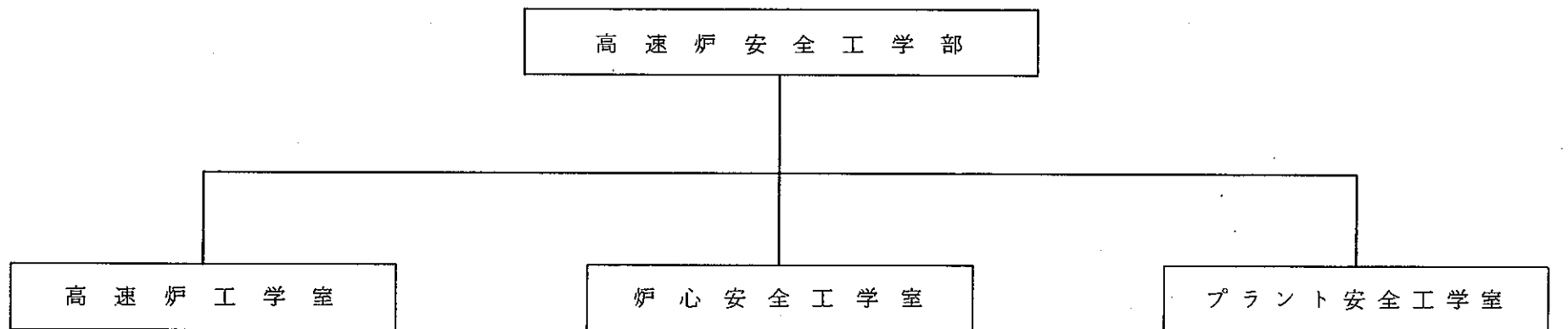
### 4. 当面の課題

- 1) 「もんじゅ」宿題，設工認のための試験装置建設と試験実施  
大規模ナトリウム漏洩火災試験施設の建設  
配管破損時沸騰試験装置の設置  
EVST 合理化のための自然循環試験
- 2) 各種安全解析コードの大型炉向け汎用化
- 3) 確率論的リスク評価体制の整備とデータ収集
- 4) 安全設計・評価の基本的考え方を見直し
- 5) 大型コード用開発要員の養成
- 6) 各種 R & D 成果のまとめ，一般化

### 5. 将来計画

- 1) 安全研究及び安全評価を総括するグループ又は室の設置
- 2) 確率論的リスク評価
- 3) 固有の安全機能追求のための炉内試験（海外），炉外試験実施
- 4) SCARABEE 試験参加を含む一層の国際協力の活用
- 5) 炉心損傷の予防，保全技術の追求
- 6) 微小リーク検出法の開発
- 7) 蒸気発生器基準リーク選定法及び Na-水反応評価コードの改良

- 8) Na 漏洩火災実験を実施し，設備機能の把握と解析コード改良
- 9) 過渡時における熱流解析コードの改良・開発

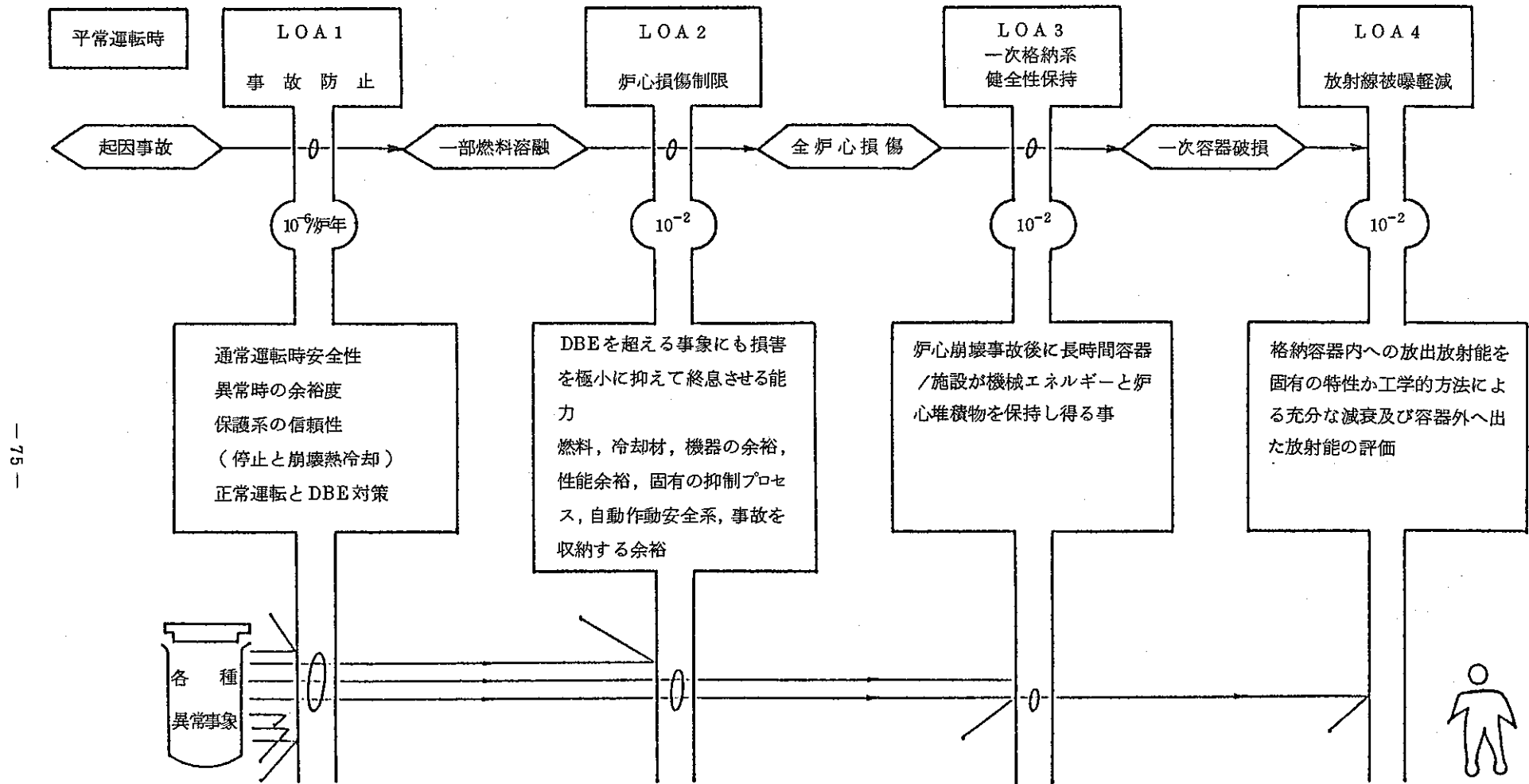


- (1) 流動試験
- (2) 崩壊熱沸騰試験
- (3) ナトリウム流動伝熱試験
- (4) 各種伝熱流動解析コードの開発

- (1) 海外炉内試験に参加
- (2) 溶融炉心物質挙動試験計画
- (3) 蒸気泡挙動試験計画
- (4) 各種安全解析コードの開発
- (5) 仏・スカラベ炉内試験

- (1) 蒸気発生器水リーク試験
- (2) Na - 水反応解析コード開発
- (3) ナトリウム漏洩火災基礎試験
- (4) 大規模ナトリウム漏洩火災試験
- (5) 各種ナトリウム漏洩時安全解析コードの開発

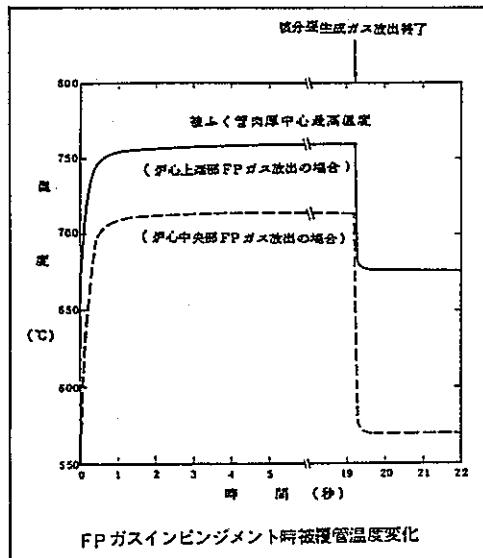
#### IV - 1 高速炉安全工学部の組織と業務



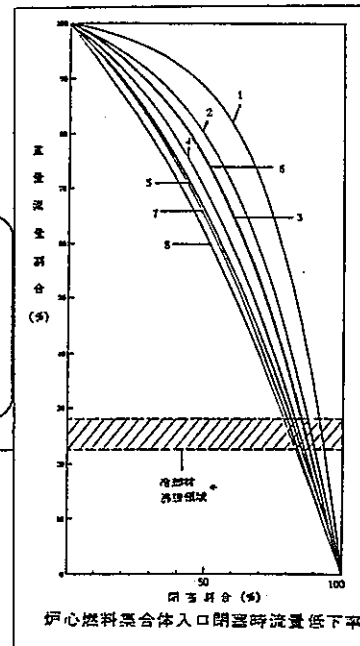
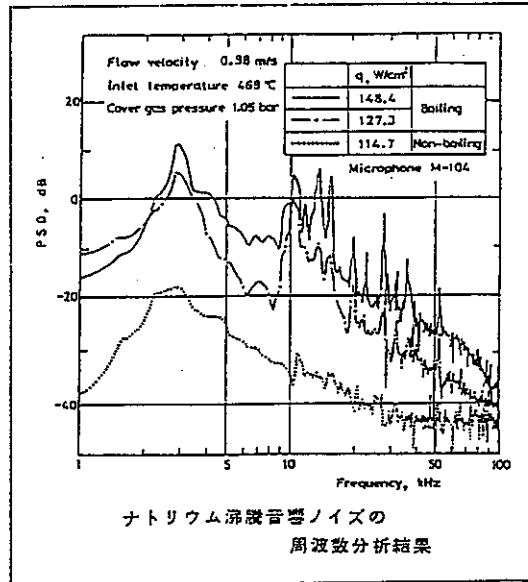
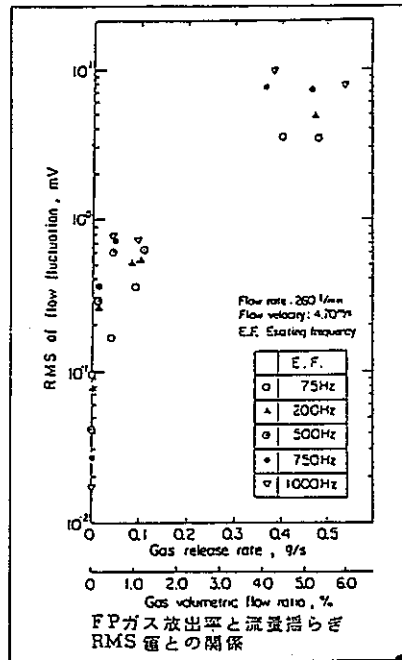
IV-2 米国におけるLOAの考え方



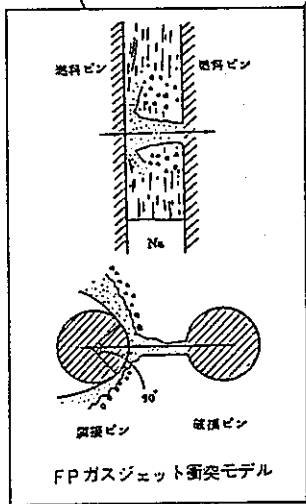




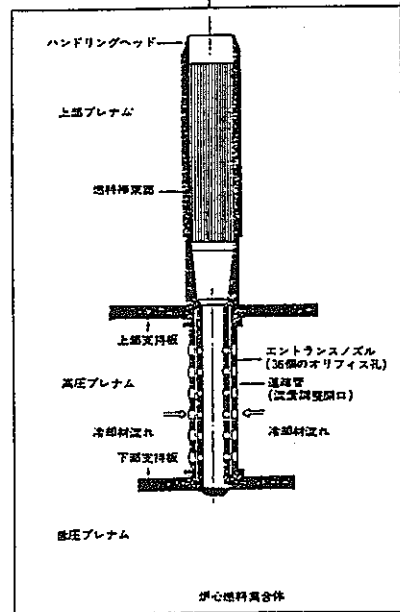
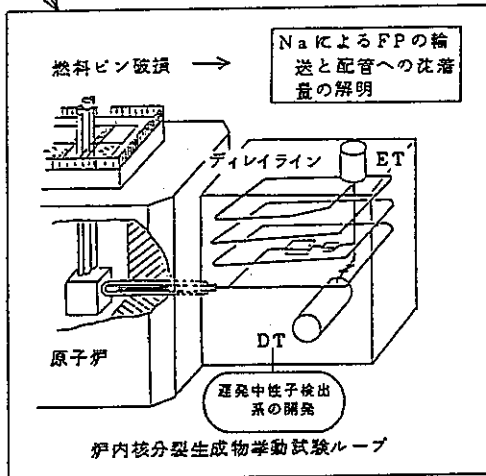
(解析例)



流路閉塞

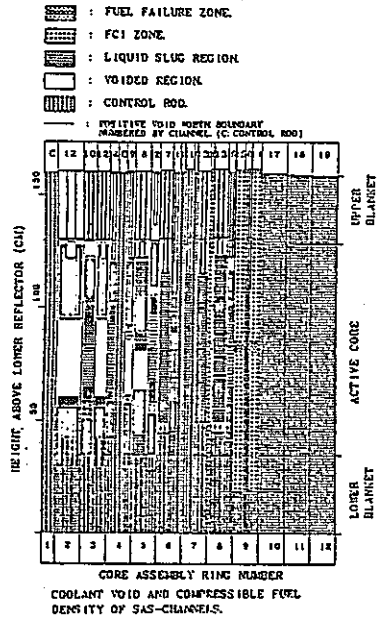


異常検出法の開発

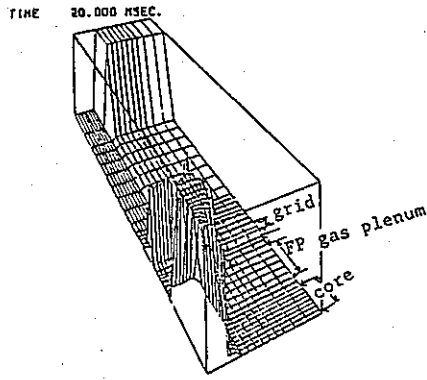


IV-4 局所事故に関する研究 2

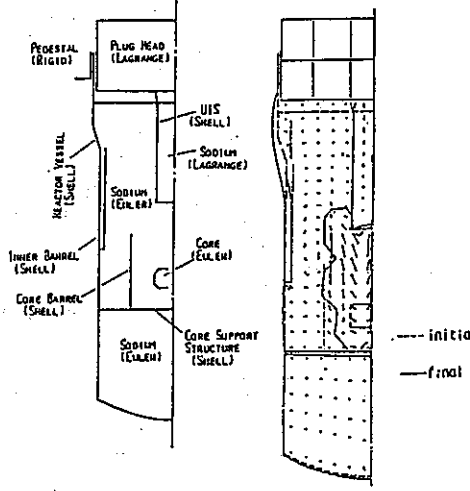
起因過程解析 (SAS3D)



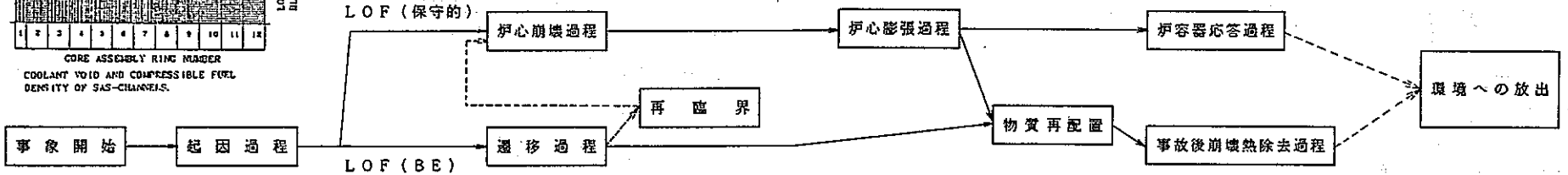
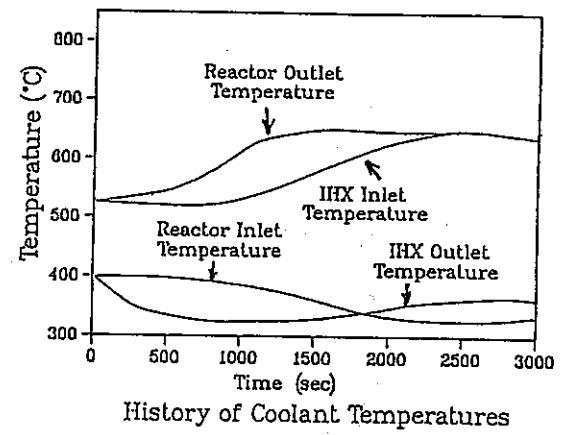
炉心膨張過程解析 (SIMMER)



炉容器応答解析 (PISCES)

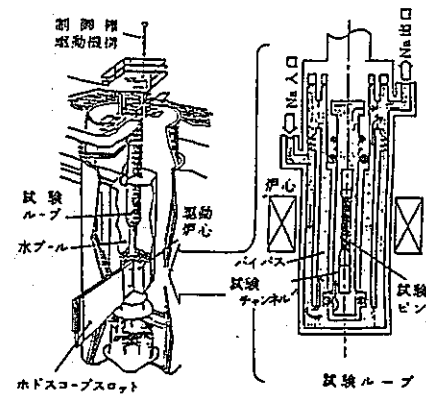


事故後の一次冷却系解析 (MIMIR-N2)



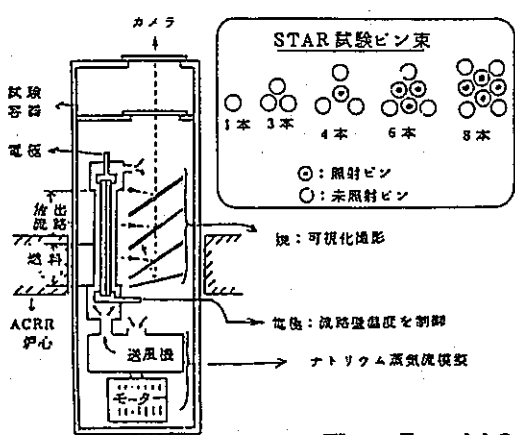
反応度事故模擬炉内試験 (CABRI)

- 目的
- 燃料ピン破損及び冷却材沸騰挙動
  - 溶融燃料-Na冷却材相互作用
  - 放出燃料の冷却材中運動



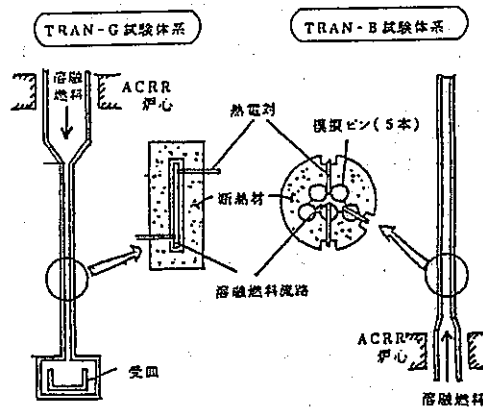
燃料ピン溶融・破損・放出炉内試験

- 目的
- 燃料ピンの溶融・分散、炉心外への放出
  - 固有の核停止設備・事故緩和設備の解明



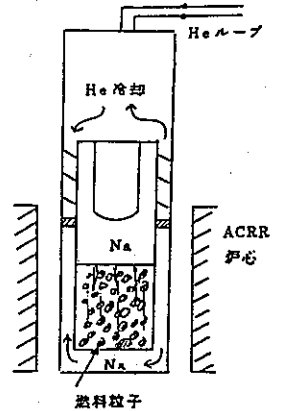
溶融炉心物質放出炉内試験

- 目的
- 溶融炉心物質の炉心外への放出挙動

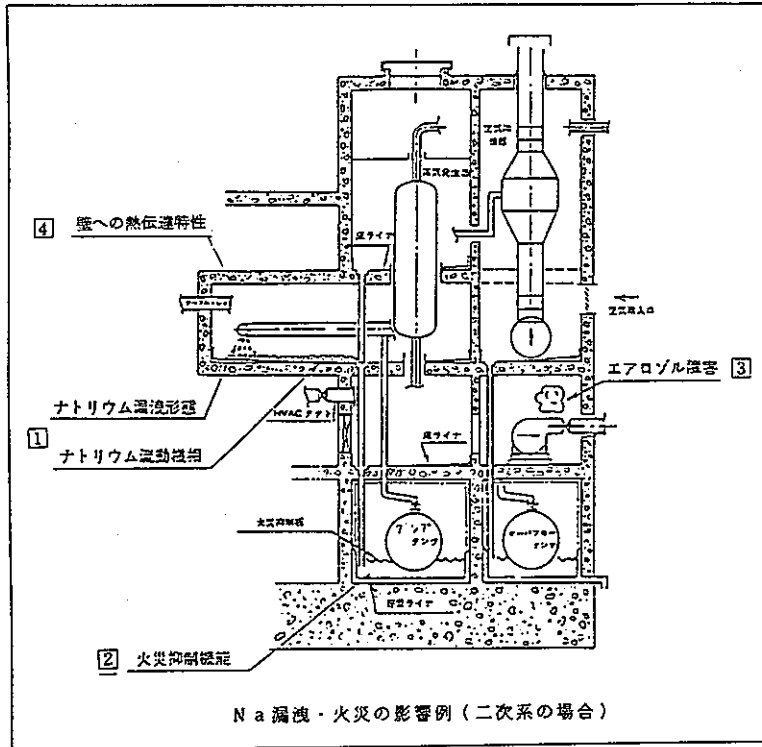


事故後崩壊熱除去試験

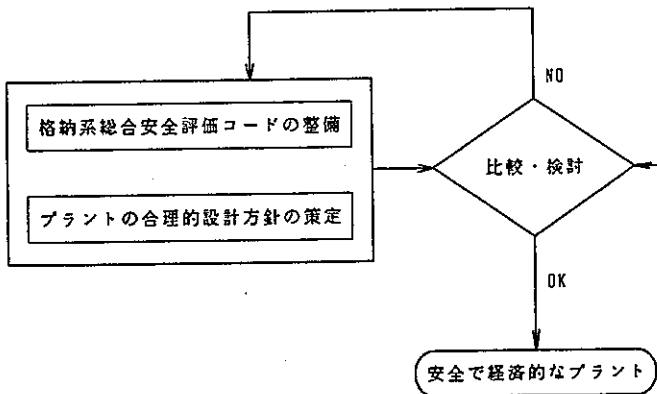
- 目的
- 炉心崩壊事故後の分散燃料の安定冷却
  - 原子炉容器の健全性



IV-5 HCDA に関する研究



大規模  
総合的



### 大規模ナトリウム漏洩火災試験

（装置名）

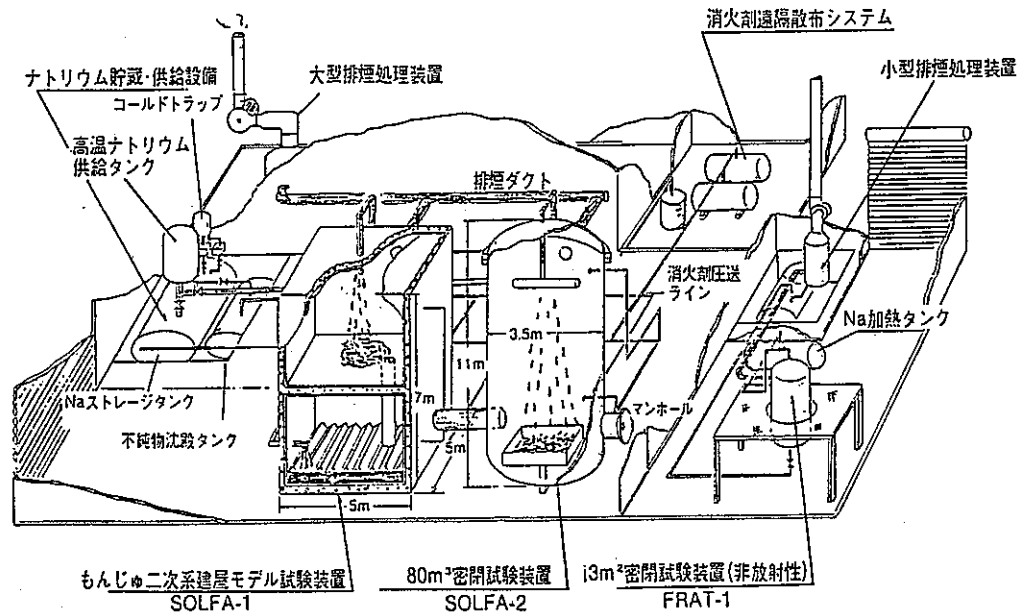
SOLFA - 1 : 鉄筋コンクリートの2階建てで、配管Na漏洩から床上ライナ、連通管を経て、燃焼抑制板に至る一連の事故事象を実証する

SOLFA - 2 : 80m<sup>3</sup>の鋼製容器で、大規模Na火災実験による計算コードの検証、エアロゾル挙動試験を実施する。

FRAT-1 : 基礎試験、Naと異物質反応（ケーブル、塗料など）試験

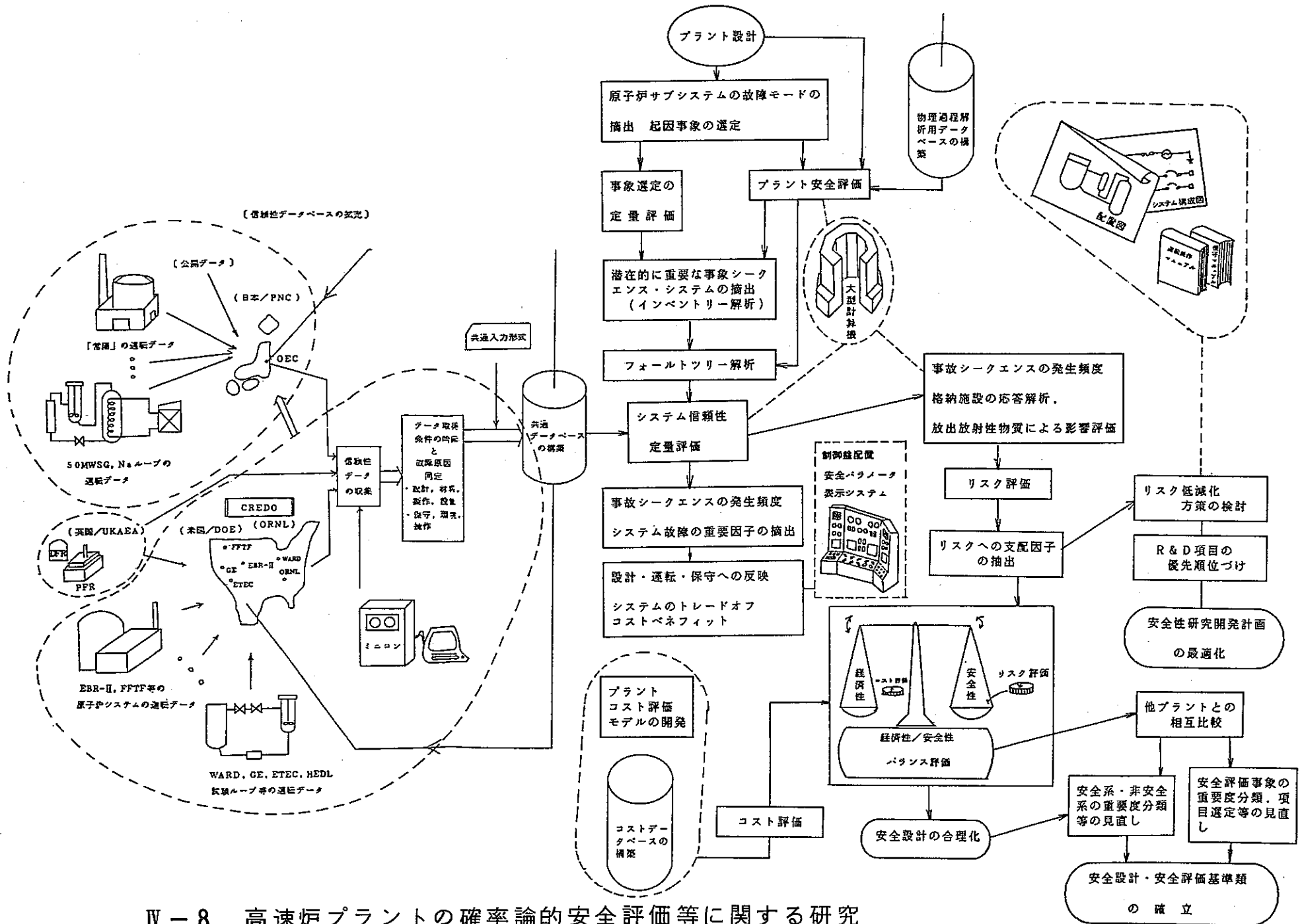
（試験能力）

最大使用Na量：12ton、試験継続時間：数時間以上



### IV - 6 高速炉プラントにおける環境安全 ——大規模Na漏洩火災試験の概要——





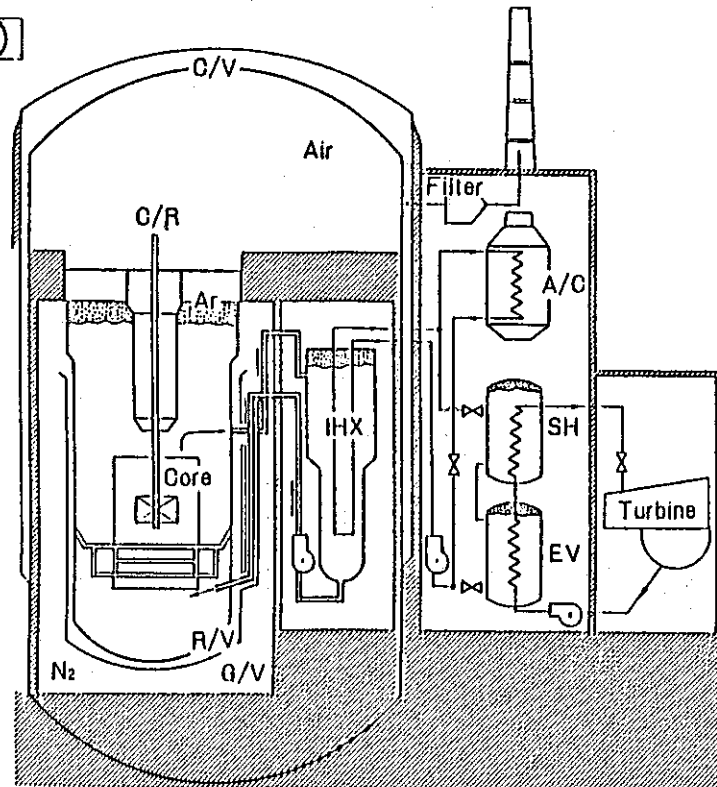
IV-8 高速炉プラントの確率論的安全評価等に関する研究

## II. HCDA(TOP, LOF, PLOHS)

- (1)沸騰・燃料破損
  - [P, CABRI(GEA), TREAT(ANL)]
  - [PAPAS, SAS(ANL)]
- (2)FCI
  - [(1)]
  - [EULFCI, MURTI(KIK), SAS]
- (3)被覆材・燃料溶融移動
  - [-, CABRI, TREAT, STAR(SNL)]
  - [-, SAS]
- (4)炉心崩壊
  - [EOS, PBE(SNL), CABRI, EOS-SS(KIK)]
  - [VENUS-PM, SIMMER]
- (5)遷移過程
  - [-, TREAT]
  - [-, SIMMER]
- (6)溶融炉心物質再配置
  - [-, TRAN(SNL)]
  - [-, PLUGM(SNL)]
- (7)耐衝撃
  - [P, Ispra, IA]
  - [FTAC, PPP, PISCES(PI), APRICOT]
- (8)デブリ冷却
  - [P, JDBP(SNL), FRAG(SNL)]
  - [-, CORCAT/TRABED(IA), SNL-model]

## III. 事故後の炉心冷却

- (1)全体流動・長期間除熱
  - [Joyo, 50MW-SG, FFTF]
  - [PIBRA, MIMIR, APLOHS, SSO(BNL), COMMIX(ANL)]
- (2)沸騰 = I (3)



## 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, SAPPHIRE, FAUNA(KIK), ESERALDA(GEA), SFSTF(AI)]
  - [SOFIA, ASSCOPS, SOFIRE(AI), SPRAY(HEDL), NACOM(BNL), CONTAIN(SNL)]
- (2)エアロゾル挙動
  - [(1), OSTF(HEDL), LTV(AI)]
  - [ABC-INTG, CONTAIN]
- (3)フィルター
  - [P]
- (4)格納系
  - [(1), SNL, HEDL]
  - [CEDAN, CONTAIN]

## I. 局所事故

- (1)異常検出
  - [P, FPL-2, RBOB(ANL)]
  - [LOCAD, SUGAR]
- (2)ピン接触・閉塞
  - [P, KFK, LMBWG]
  - [PICO, LOCK, ASFRE, UZU, FALL, SEETHE]
- (3)ガス放出・沸騰・FCI
  - [P, SLSF(ANL), GEA]
  - [TOPFRES, SABENA, BOCAL, SUGAR, REDNEG(ANL)]
- (4)破損伝播
  - [-, MOL-70(KIK), SCARABEE(GEA)]
  - [SARUP, FUMES, SIMMER(LANL)]

## VI. 高速炉プラントの確率論的安全評価

- [Joyo, 大洗各種ナトリウム・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(KIK, GRS), ORBRP解析例]

## V. SG(ナトリウム-水反応)安全研究

- [SWAT-1~4, LLTR(ETEC)]
- [SWACS, LEAP, SWAO-10, SWAAM-LT(ANL)]