

9080 92-007
TN

社内資料

分置

本資料は 年 月 日付けて登録区分、
変更する。

2001. 7. 31

[技術情報室]

PROFIT 計画

平成3年度成果と今後の展開

1992年4月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。については複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問合せは下記に願います。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002
動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター
技術開発部・技術管理室

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 Mfuramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

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

社内資料
PNC PN9080 92-007
1992年4月



PROFIT計画

平成3年度成果と今後の展開

PROFIT計画事務局*
MK-III計画グループ
第1、第2及び第3分科会

要旨

PROFIT計画推進会議は平成3年度に発足し、途中の中止を経て、平成3年度後半に再開した。

本報告書は、PROFIT計画で所掌している「常陽」MK-III計画に係わる研究開発と革新技術の開発・実証（第1～3分科会）に係わる研究開発について、それぞれ平成3年度の活動内容と成果の評価および今後の展開について記載してある。

また、末尾に付録として平成3年度の活動経緯を添付した。

*本資料は、下記に示すPROFIT計画事務局、MK-III計画グループ、第1、第2及び第3分科会の各メンバーを中心として作成したものである。

PROFIT計画事務局
(PROFIT担当) 中本 香一郎 機器構造開発部（現、技術開発部）
坪 政義 実験炉部
林道 寛 機器構造開発部 機器システム室
渡土 克己 機器構造開発部 構造工学室（現、材料開発室）
田辺 裕美 機器構造開発部 機器システム室
一宮 正和 機器構造開発部 材料開発室（現、プラント工学室）
山口 勝久 安全工学部
浅賀 健男 燃料材料開発部 燃料材料技術開発室
伊藤 正彦 技術開発部 研究管理室
佐藤 浩司 技術開発部 研究管理室

登録区分
2001.7.31
変更

Mk-III計画グループ

(Mk-III計画担当) 坪政義 実験炉部
 鈴木 惣十 実験炉部 技術課
 宮川 俊一 実験炉部 照射課
 小林 孝良 実験炉部 技術課
 富田 直樹 実験炉部 原子炉第二課
 伊東 秀明 実験炉部 原子炉第一課
 吉田 昌宏 実験炉部 技術課
 近藤 等士 実験炉部 原子炉第二課

第一分科会

(主査) 林道 寛 機器構造開発部 機器システム室
 (副主査) 渡士 克己 機器構造開発部 構造工学室(現、材料開発室)
 長井 秋則 実験炉部 原子炉第二課
 上出 英樹 安全工学部 原子炉工学室
 月森 和之 機器構造開発部 構造工学室
 軍司 稔 機器構造開発部 機器システム室
 大和田 敏雄 技術開発部 研究管理室

第二分科会

(主査) 田辺 裕美 機器構造開発部 機器システム室
 (副主査) 一宮 正和 機器構造開発部 材料開発室(現、プラント工学)
 磯崎 和則 実験炉部 技術課
 三宅 収 安全工学部 プラント安全工学室
 町田 秀夫 機器構造開発部 構造工学室
 谷田部 敏男 機器構造開発部 機器システム室
 照沼 捷 技術開発部 研究管理室

第三分科会

(主査) 山口 勝久 安全工学部
 (副主査) 浅賀 健男 燃料材料開発部 燃料材料技術開発室
 島川 佳郎 実験炉部 技術課
 古谷 章 安全工学部 高速炉安全工学室
 根岸 仁 技術開発部 研究管理室
 佐藤 浩司 技術開発部 研究管理室

目 次

まえがき	i
第1章 MK-Ⅲ計画の活動内容と今後の計画	1
第2章 第1分科会の活動内容と今後の計画	25
第3章 第2分科会の活動内容と今後の計画	56
第4章 第3分科会の活動内容と今後の計画	99
付録1 平成3年度活動経緯	111

MK-III計画の活動内容と今後の計画

1. はじめに

平成3年度のMK-III計画に関する活動としては、「常陽」技術評価専門委員会、PROFIT推進会議及び「炉心の高中性子束化検討委員会」の場に於いて、内外の専門家により必要性、許認可性等の観点から審議を受けると共に、設計研究等として、計画の具体化・詳細化を行った。

年度末に当たり、平成3年度の成果を中心とする活動内容と今後の展開をまとめた。

2. 平成3年度の成果

(1) 委員会等

(イ) 「常陽」技術評価専門委員会

「常陽」の現況、MK-III計画及び新技術の開発実証について、審議を行ったが、常陽の役割、照射能力、新技術の開発動向等に関する関心が示された。

(ロ) PROFIT推進会議

MK-III計画の基本計画、成果の評価及び重要事項の審議を行った。本会議は4回(H3.9.11, 11.26, H4.2.5, 3.11)開催された。

(ハ) 「炉心の高中性子束化検討委員会」

MK-III計画のうち設置変更許可に係わる事項について、許認可取得の観点から審議した。本委員会は4回(H3.10.22, 12.24, H4.1.28, 2.21)開催され、審議内容は炉心設計、冷却系設計、燃料取扱系設計及び安全評価となっている。

本委員会での審議の終了にあたり、審議結果は「炉心の高中性子束化に係る設置変更の許認可性検討書」にまとめられているが、検討課題を残しているものの許認可性の見通しが得られている。

(2) 設計研究等

(イ) 高中性子束化

・高性能炉心

標準設計炉心及び代表的移行炉心の出力分布、反応度バランス、流量配分等の詳細核熱特性を解析評価した結果、高速中性子束が照射用炉心(MK-II)の約1.3倍となり、燃料集合体は熱的制限値を超えず、炉停止余裕も十分なレベルを確保できることを確認した。

一方、燃料は新被覆管(PNC1520)を使用し線出力、燃焼度とも増大させているが、熱流力解析及び機械的強度評価により運転時の異常な過渡変化時の健全性を確認した。また、燃料の健全性に影響する流量の最適化に関する解析評価により流量配分を定めると共に、流量調節機構部にエロジョンが生じないことを実験的に検証した。

炉体周りの遮へい評価では、炉容器、炉心上下部構造物等への照射量を把握しているが、問題とはならないことを確認した。

なお、高性能炉心の安全解析により、安全設計の妥当性を確認した。

- ・冷却系の改造

機器設計では、主中間熱交換器及び主冷却器の基本構造、2次系システム健全性等の設計・評価を行うと共に、炉容器の余寿命評価を実施し問題のないことを確認した。

設計条件の熱過渡については、1次・2次主循環ポンプ及び主冷却器プロワに相互インタロックを設け緩和を図っている。また、耐震性に関しては、大洗地区統一地震動による地震力においても既設機器が健全である見通しを確認した。

なお、MK-IIIでは流量が増加し、出入口冷却材温度差が大きくなってしまい、使用条件が変わっていることから、炉内機器・配管の流力振動、配管の健全性評価等の既設機器に関する検討・評価を行い構造健全性に係る見通しを得ている。

(d)稼働率の向上

燃料交換期間の短縮については、燃料取扱設備の自動化に係る燃料交換機及び装填燃料移送機の機械的改造について検討を進め基本設計を行っている。また、燃料取扱設備全般に係る制御系改造についても、設備の運転を集中制御するための基本構想を構築し、構成機器の内、燃料交換機及び燃料出入機については基本設計に着手した。定期検査期間の短縮については、燃料交換機での取扱いを可能とするため、制御棒下部案内管の改良設計を行った。

(e)照射性能の高度化

材料照射精度の向上を目指した制御型材料照射装置(MARICO)については、部分模擬性能試験を行い、実機製作に着手した。また、燃料限界照射能力の向上及び計測線付照射の合理化については、要素機器である電磁ポンプ及びNa中コネクターの性能試験を行っている。

なお、中間検査・再装荷技術に関しては、グリッド型リグの詳細設計を終了し、模擬試験体による試験を開始した。

3. 平成3年度の評価と今後の展開

(1) 設置変更許可申請の準備

平成3年度の作業により、安全設計及び安全評価に関する設置変更許可申請に向けた見通しが得られていることから、今後は、平成4年度末の設置変更許可申請に向けて、安全設計の精緻化を図ると共に、安全評価に被曝評価等の解析・評価を加え設置変更許可申請書を作成する。

(2) 設計研究

(i) 高中性子束化

- ・高性能炉心

炉心及び炉心構成要素の仕様は平成3年度の設計で明かとなっており、今後は、設置変更許可申請に向けた核熱流力計算書の整備、細部の仕様確定及び被曝評価を含む安全解析を行う。また、燃料集合体をはじめとする炉心構成要素については、移行炉心段階での使用に向けて早期に設計・製作に着手する。

なお、高性能炉心(MK-III炉心)及び移行炉心に係る運転監視コードを作成すると共に、運用時の核熱流力を評価していく。

- ・冷却系の改造

平成3年度末の段階で、冷却系の改造に関する大枠は定まっており、今後は、既設機

器・配管の余寿命評価等を行い設置変更許可申請に備えると共に、設工認に向けた設計を進める。

なお、平成 8 年度に改造を行うには、平成 5 年度に材料発注することが必要になる。

(ロ)稼働率の向上

燃料取扱設備の自動化については、一部機器を平成 4 年度に製作の契約を行うべく設計の詰めを行っていたが、予算の審査段階で延期となった。これらについては、平成 5 年度には詳細設計を行い設工認に備えると共に、一部機器の製作に着手する必要があり、今後の進め方の調整を図る。

また、単体機器の試験として、遙へい集合体の水流動試験及び制御棒下部案内管の取扱試験を行う。

(ハ)照射性能の高度化

照射に係る研究開発は着実に進める必要があることから、従来より開発計画に基づいて作業を進めている。

具体的には、材料照射精度に係る制御型材料照射装置(MARICO)及び安全容器内照射装置を製作し、平成 5 年度に照射を開始する。また、燃料限界照射能力の向上及び計測線付照射の合理化については、要素機器である電磁ポンプ及びNa中コネクタの試験結果を受け評価を行った後に実機を製作する。

一方、中間検査・再装荷技術に係るグリッド型リグについては、水中及びNa中試験を行い、実機(B型特殊燃料集合体)に適用する。

(3) 今後のマイルストーン

平成 4 年度に安全審査を開始し、移行炉心での運転及び機器の製作を経て、平成 8 年度に改造を行い、平成 9 年度にはMK-III炉心での運転を開始する。

PROFIT推進会議資料

- MK - III 計画 -

平成4年3月11日

実験炉部

平成3年度のMK-III計画に係る活動

I. 委員会等

- (1) 「常陽」技術評価専門委員会
- (2) PROFIT推進会議
- (3) 炉心の高中性子束化検討委員会
- (4) MK-III推進グループ（実験炉部内検討会）

II. 設計研究等

項目	実施箇所
(1) 高中性子束化	技術課、原子炉2課、照射課、原子炉工学室
(a) 高性能炉心	原子炉2課、技術課
(b) 冷却系の改造	原子炉1課、技術課、原子炉2課、照射課
(2) 積働率の向上	照射課、技術課、原子炉1課、原子炉2課、 A D S、M M S、F M S、原子炉工学室、機器室
(3) 照射技術の高度化	

平成3年度の成果

I . 委員会等

(1) 外部委員会

「常陽」技術評価専門委員会

日 時：平成3年12月9日

審議内容：常陽の現況、MK-III計画及び新技術の開発実証

(2) 大洗工学センター内委員会

(a) P R O F I T 推進会議

日 時：平成3年9月11日、11月26日、

平成4年2月5日、3月11日

審議内容：MK-III計画の評価及び重要事項

(b) 炉心の高中性子束化検討委員会

日 時：平成3年10月22日、12月24日、

平成4年1月28日、2月21日

審議内容：設置変更許可に係る事項の許認可性

最終報告：「炉心の高中性子束化に係る許認可性検討書」

(3) 実験炉部内の検討会

MK-III推進グループ

会議回数：48回（平成3年4月～平成4年3月現在）

II . 設計研究等

(1) 高中性子束化

(a) 高性能炉心

- ・ 高性能炉心（MK-III炉心）及び移行炉心の詳細特性解析
- ・ 中性子束、制御棒価値、炉停止余裕等を確認
- ・ 炉心構成要素の設計
 - ・ 燃料集合体の熱的解析、機械的強度評価による健全性確認等
 - ・ 流量配分解析・流量調節機構部キャビテーション試験
 - ・ 流量配分を最適化し、エロージョンの無発生を確認
 - ・ 遮へい評価
 - ・ 炉容器等への照射量を把握し、問題ないことを確認
 - ・ 安全評価
 - ・ 安全設計の妥当性を確認

(b) 冷却系の改造

・ 改造対象機器の設計

- ・ IHX 及び DHX の設計及び DHX 温度制御系の検討
- ・ 設計条件

・ 热過渡条件の整備及び新耐震設計条件への適合性確認

・ 既設設備の健全性評価

・ 炉容器の余寿命評価、主配管の BDE 解析、流力振動評価等

(2) 積働率の向上

燃料交換期間の短縮

- ・自動化に係る設備の機械的改造及び制御系改設計
　燃料交換機等の基本設計実施及び制御系の設計継続
- ・炉内冷却専用ボットの廃止
　遮へい集合体設置により廃止できることを確認
- 定期検査期間の短縮
- ・下部案内管の改良設計
　燃料交換機での取扱いが可能であることを確認

(3) 照射技術の高度化

- ・材料照射精度
　制御型材料照射装置の試験実施及び製作に着手
- 耐高温・耐照射作動トランジスタのガス中試験・評価実施
- ・燃料限界照射能力
　P T M 試験を実施し、R T C B 試験の設置変更許可申請中
　流量制御型照射装置用電磁ポンプの試作試験実施
- ・計測線付照射の合理化
　N a 中コネクタの試作試験実施
- ・中間検査・再装荷技術
　継続照射用のグリッド型リグの詳細設計を終了し試験実施

平成3年度の成果

高中性子束化（高性能炉心）

添付図 MK-III計画の概要

MK-II炉心とMK-III炉心の比較

MK-II炉心とMK-III炉心の基本仕様比較

MK-IIIとMK-II炉心の高速中性子束の比較

標準設計炉心の核特性比較

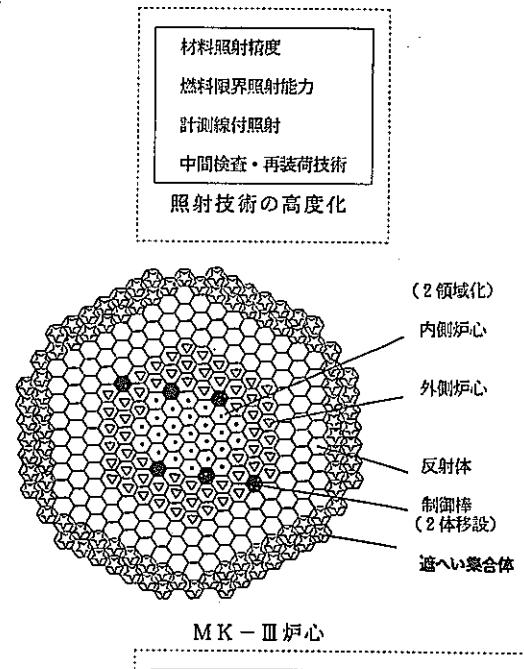
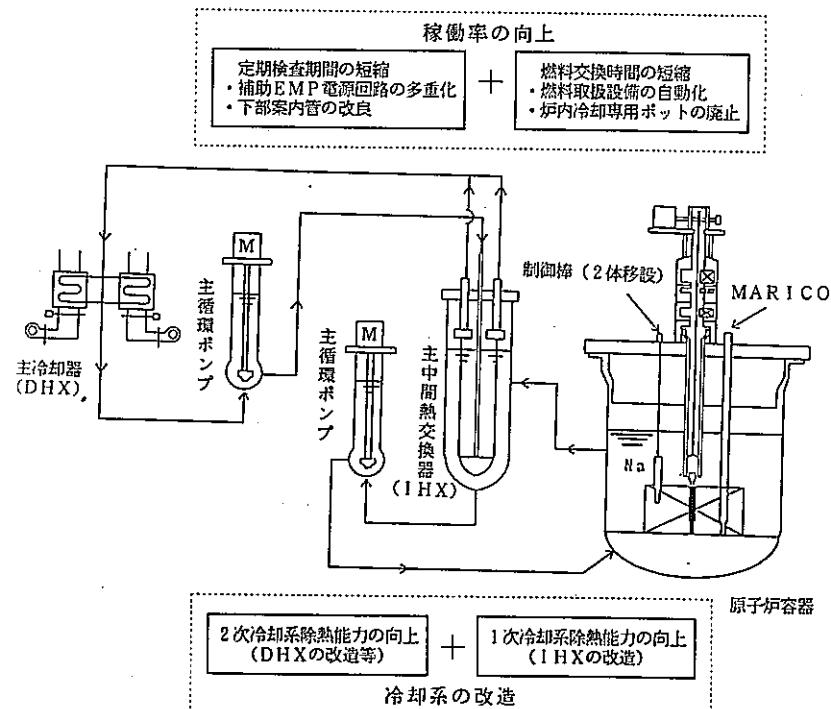
燃料設計

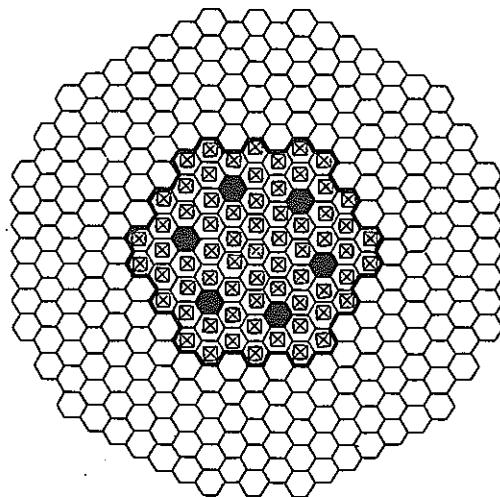
MK-III炉心の燃料被覆管最高温度評価結果

MK-III炉心における主要構造物位置での中性子束計算結果

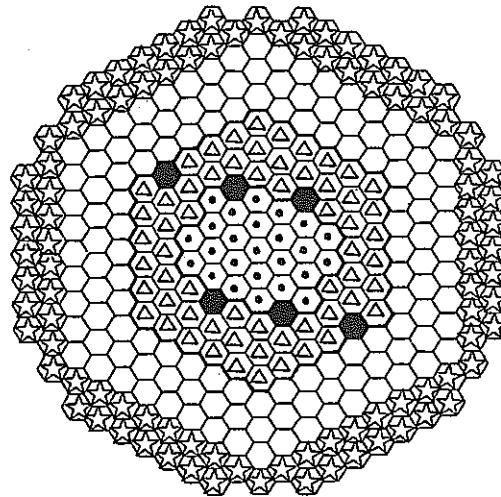
1次主冷却系循環ポンプ軸固着事故

MK-III計画の概要





MK-II炉心



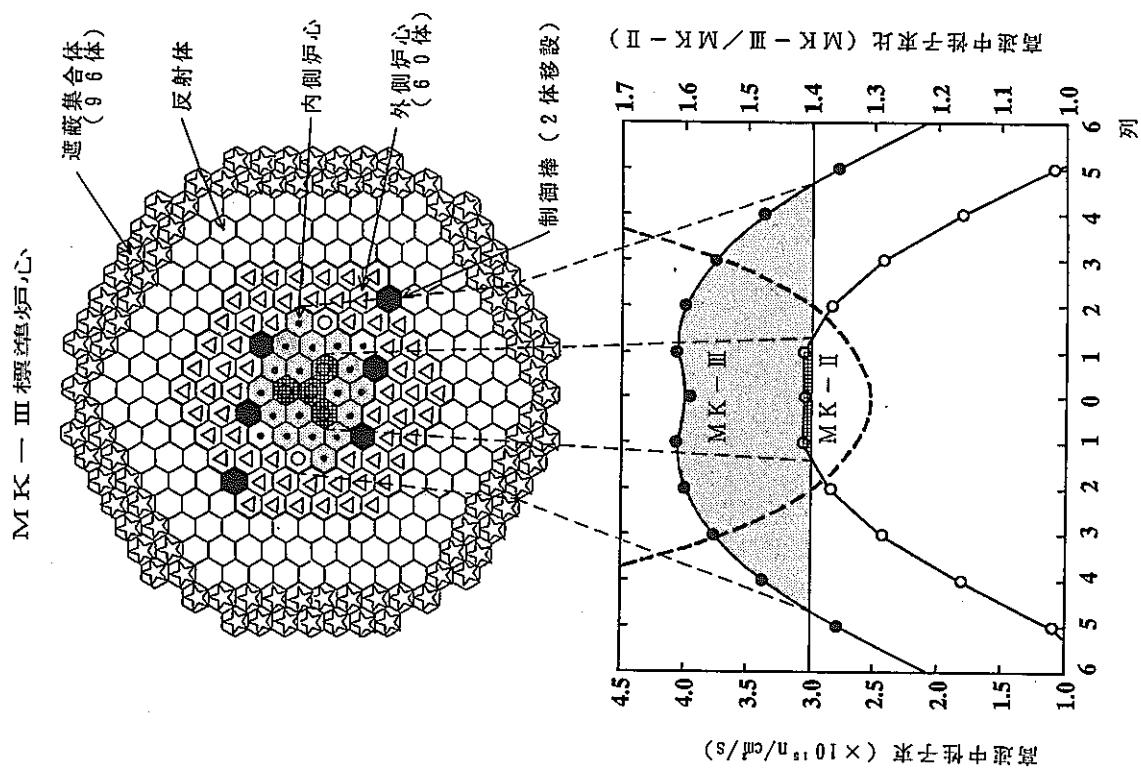
MK-III炉心

MK-II炉心と
MK-III炉心の比較

- ◎ MK-II炉心燃料集合体
- MK-III内側炉心燃料集合体
- △ MK-III外側炉心燃料集合体
- 反射体
- 制御棒
- ◇ 遮蔽集合体

MK-II炉心とMK-III炉心の基本仕様比較

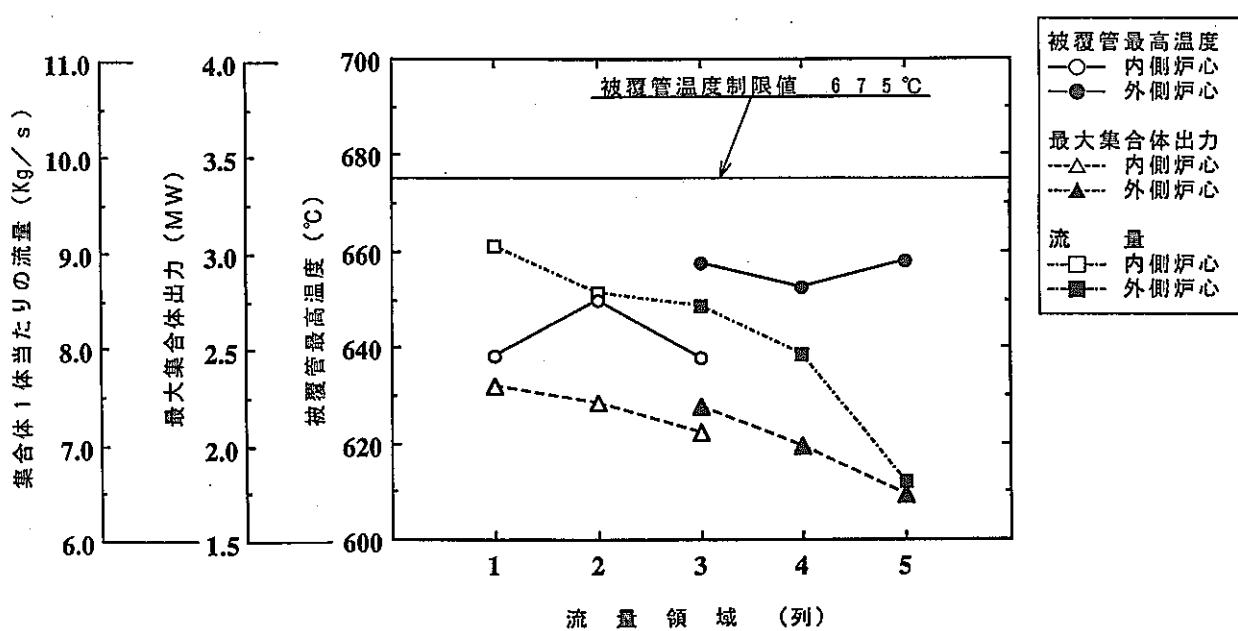
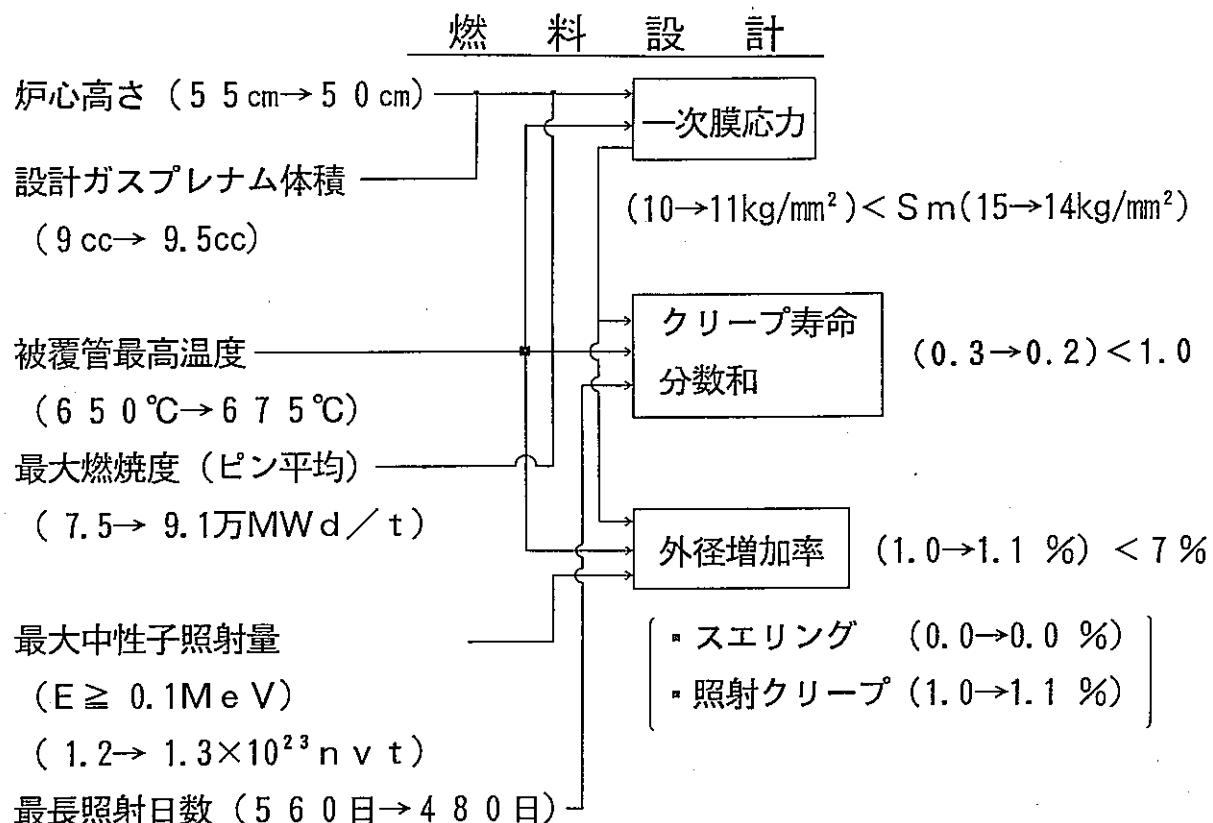
項目	炉心	MK-III炉心	MK-II炉心
原子炉出力	MW	140	100
冷却材流量	t/h	2,700	2,200
冷却材温度	°C (入口/出口)	350/500	370/500
炉心高さ	cm	50	55
燃料集合体数	体	最大 85	最大 67
Pu富化度	wt/o	約30	約30
U濃縮度	wt/o (内側/外側)	約10/約16	約12→約18
反射体/遮蔽集合体		SUS+B ₄ C	SUS
運転日数	日	60	45→70



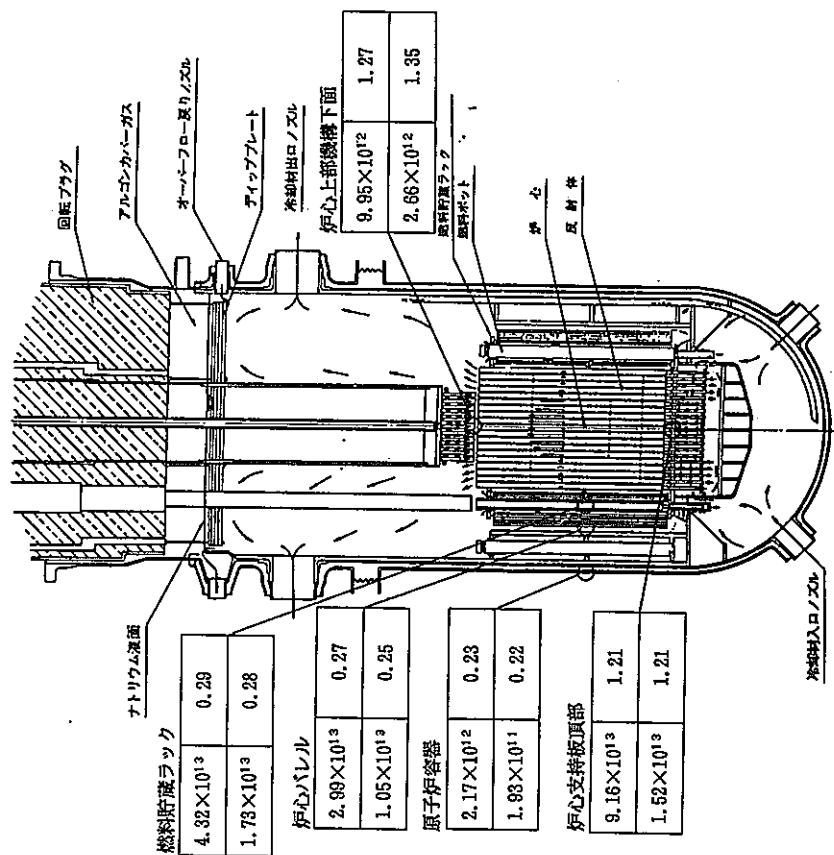
MK-III炉心とMK-II炉心の高速中性子束の比較

標準設計炉心の核特性比較

項目	炉心	MK-III炉心	MK-II炉心
中性子束 (total / 0.1 MeV 以上)			
・炉心最大		5.9 / 4.1	4.4 / 3.0
・内側炉心平均		5.5 / 3.9	3.9 / 2.8
最大過剰反応度 (100°C)	(%Δk/k)	4.9	5.5
ワンロッドスタッフ時の 最小制御棒価値	(%Δk/k)	5.9	7.2
炉停止余裕	(%Δk/k)	1.0	1.7
最大線出力 (内側 / 外側)	(W/cm)	425 / 428	396
最大燃焼度	(MWd/t)	91,000	75,000

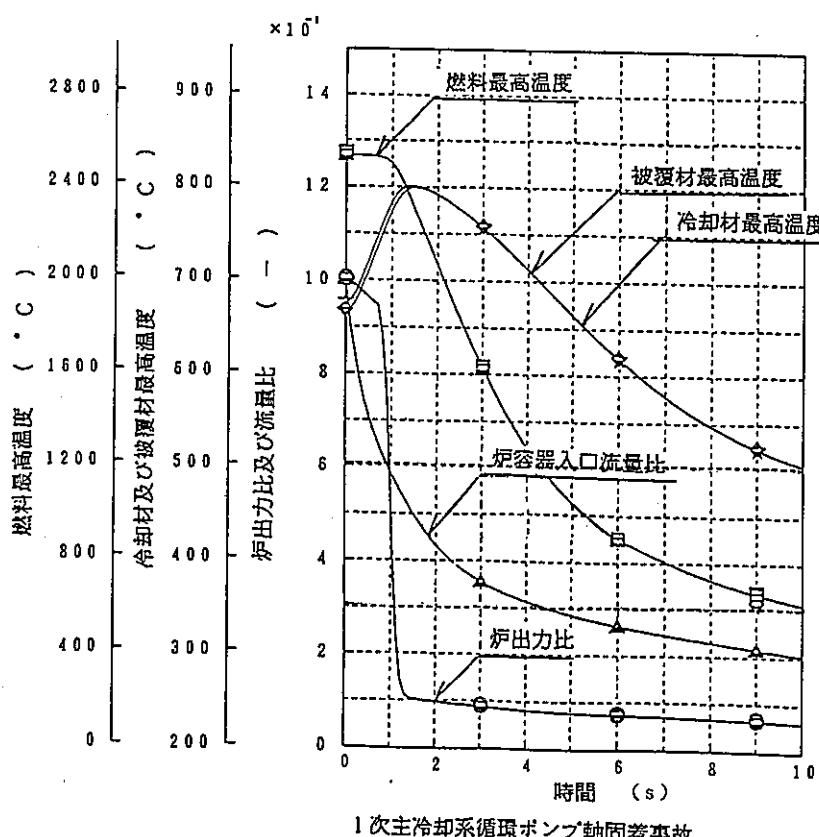


MK-III炉心の燃料被覆管最高温度評価結果



〔凡例〕	
ϕ_{TOTAL} ($\text{n/cm}^2/\text{s}$)	MK-IIとの比
ϕ_{RUST} ($\text{n/cm}^2/\text{s}$)	MK-IIとの比

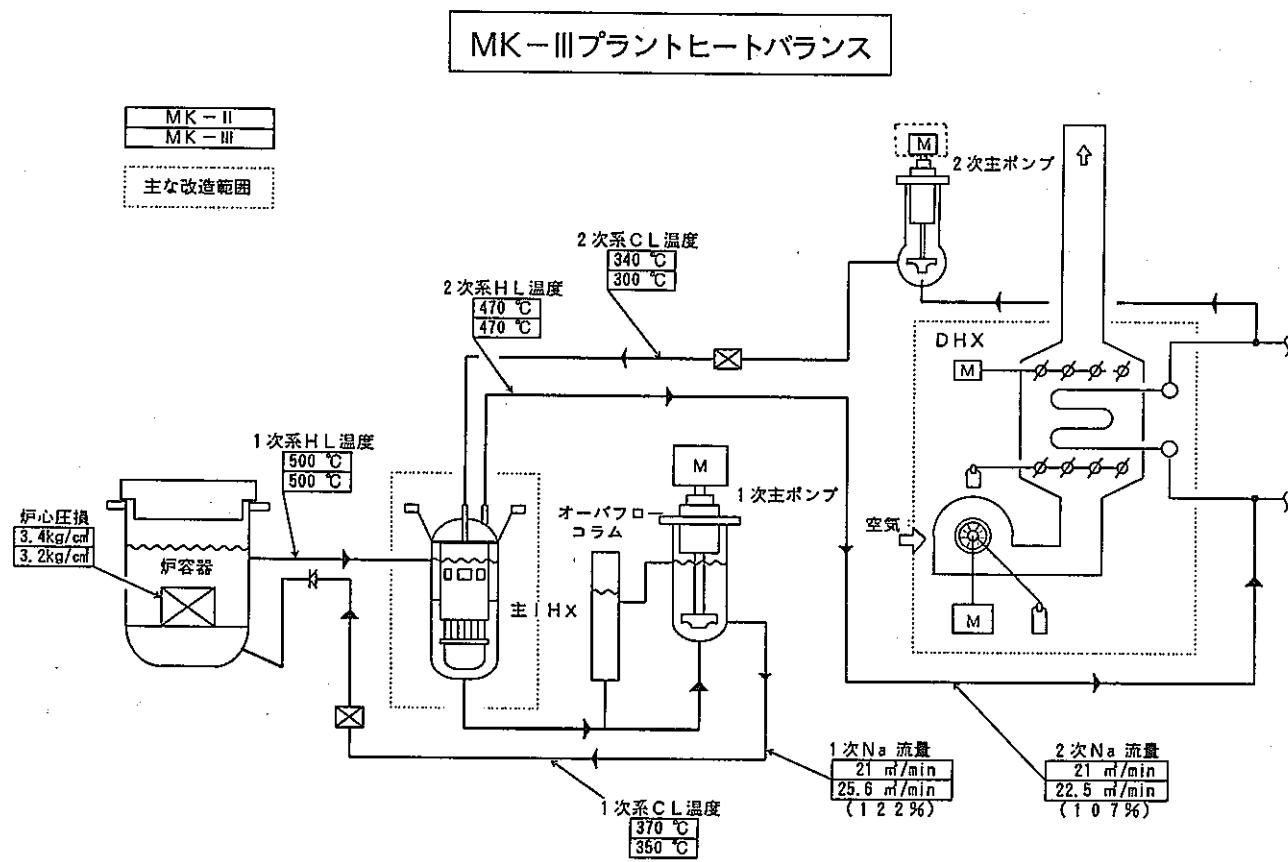
MK-III炉心における主要炉構造物位置での中性子束計算結果



平成3年度の成果

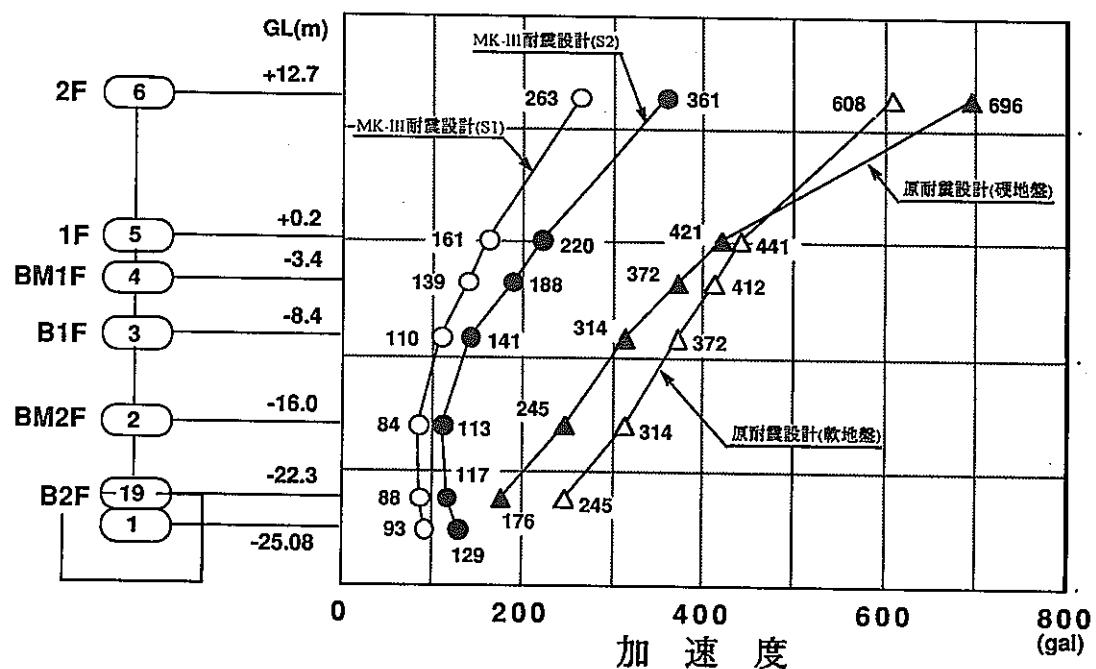
高中性子束化（冷却系の改造）

添付図 MK-IIIプラントヒートバランス
 設計条件変更の概要
 耐震評価上の対比（原子炉建物）
 現設計(100MW)とMK-III(140MW)電源喪失時の
 热過渡条件の比較
 余寿命（構造設計上）の計算条件
 主中間熱交換器の構造
 主冷却器の構造



設計条件変更の概要

機器名称 炉心	MK-III		MK-II	
	機器区分	耐震クラス	機器区分	耐震クラス
1次系主配管（内管） (外管)	第1種管	A s	第1種管	A
	第3種管	A	第2種管	A
1次系機器 (IHX等)	第1、3種機器	A s, A, B	第1、2種機器	A, B
2次系主配管	第3種管	A s	第2種管	A
2次系機器 (DHX等)	第3、4種機器	A s, A, B	第2種機器	A, B

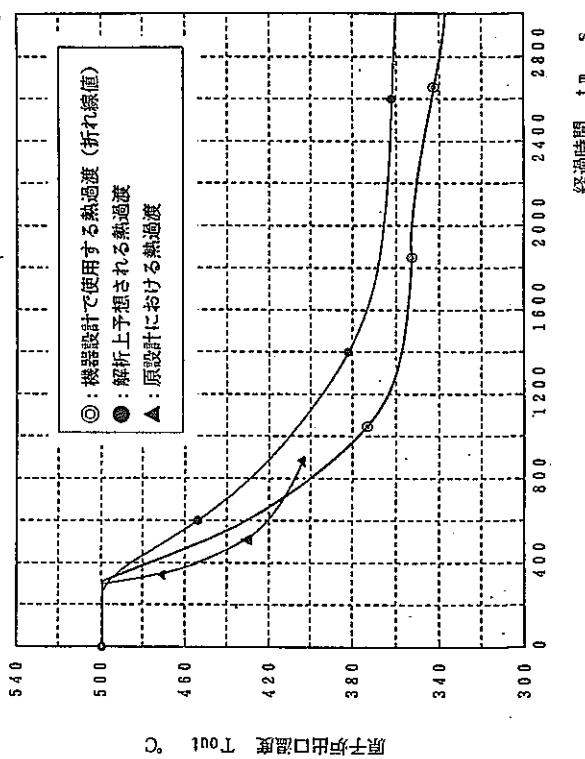


耐震評価上の対比（原子炉建物）

運転状態Ⅱにおける温度変化率の比較（原子炉容器）

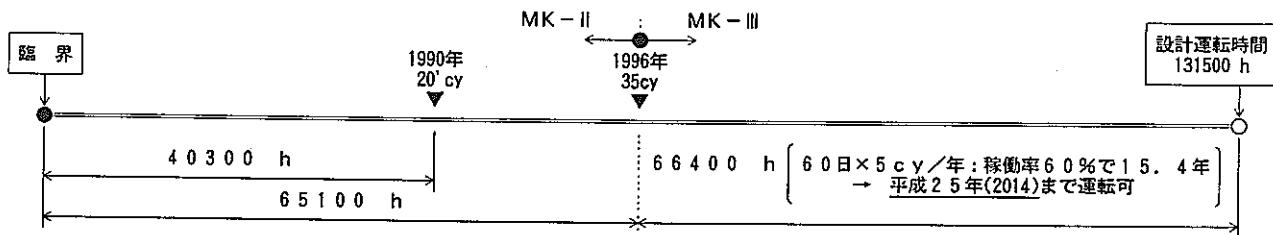
事象		MK-II	MK-III	原設計
電源喪失 (主ポンプリップ)	H/L	-0.26	-0.40	
C/L	-0.18	-0.26		
中性子束高 (主ポンプリップなし)	H/L	-2.86		
C/L	-0.52			
制御棒一齊挿入		削除	中性子束高と同じ	

単位: °C/s



原設計 (100 MW) と MK-II (140 MW) 電源喪失時の熱過渡条件の比較
(原子炉容器出口温度)

余寿命（構造設計上）の計算条件



熱過渡回数（実績および想定）

項目	時間	20'cyまで(実績)	21~35cy(想定)	36cy以降(想定)	合計
起動	99	28	350	477	
通常停止	48	15	187	250	
電源喪失(スクラム)	22 (15)	5	163	190	
その他のスクラム	22 (17)	4	—	26	
制御棒一齊挿入	7 (3)	4	—	11	

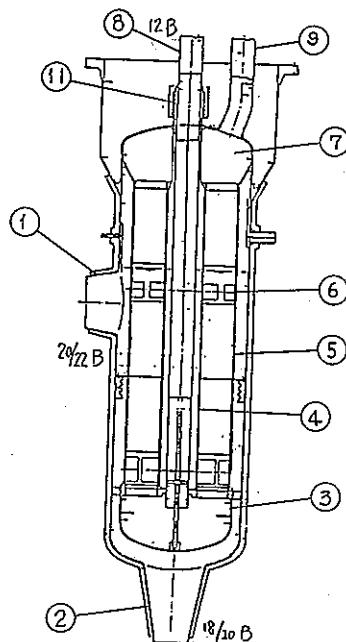
○内の数字は試験で発生した回数を示す。

主中間熱交換器主要目

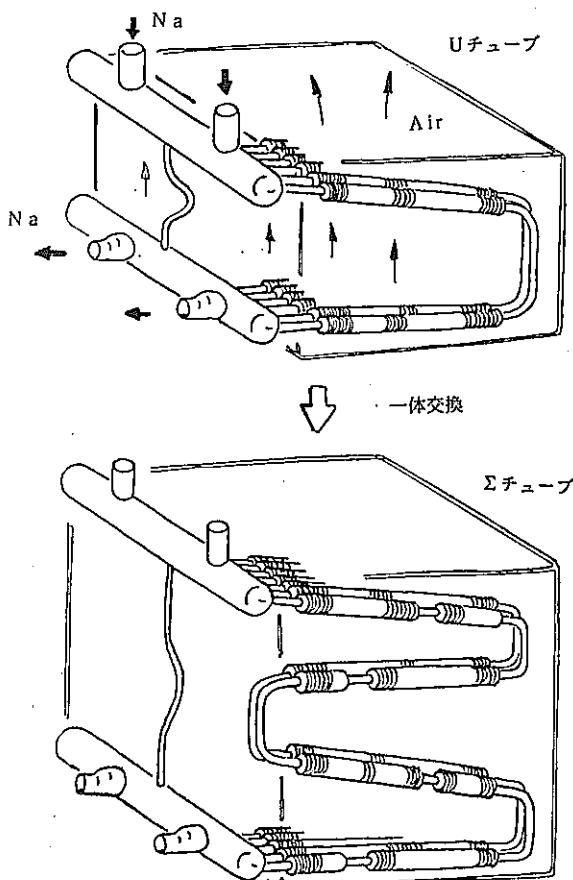
項目	単位	MK-III	MK-II
改造内容	—	一体交換	
型式	—	豎形自由液面式 シェルアンドチューブ形	豎形自由液面式 シェルアンドチューブ形
基数	基	2	2
交換熱量	MW/基	70	50
設計	胴部 圧力	kg/cm ²	1 5
管部	kg/cm ²		1 5
設計温度	°C	550	550
1 次側 入口温度	°C	約 1350	約 1100
出口温度	°C	約 350	約 370
2 次側 入口温度	°C	約 1200	約 1100
出口温度	°C	約 300	約 340
伝熱面積	m ²	360	354
対数平均温度差	°C	39.2	30
伝熱管外径	mm	15.9	15.9 / 22.2
肉厚	mm	1.0	1.0 / 1.2
本数	本	2880	2835 / 1812
配列	—	同心円	同心円 / 正三角形
層数	—	21	21 / —
ピッチ比	mm	1.40	1.38
圧力	1次側 損失	mmNa	505 2380
	2次側	mmNa	590 2340

注：喷射用炉心での主要目は(IHX (A) / IHX (B)) の値

新型主中間熱交換器(A)(B)



主中間熱交換器の構造



主冷却器主要目

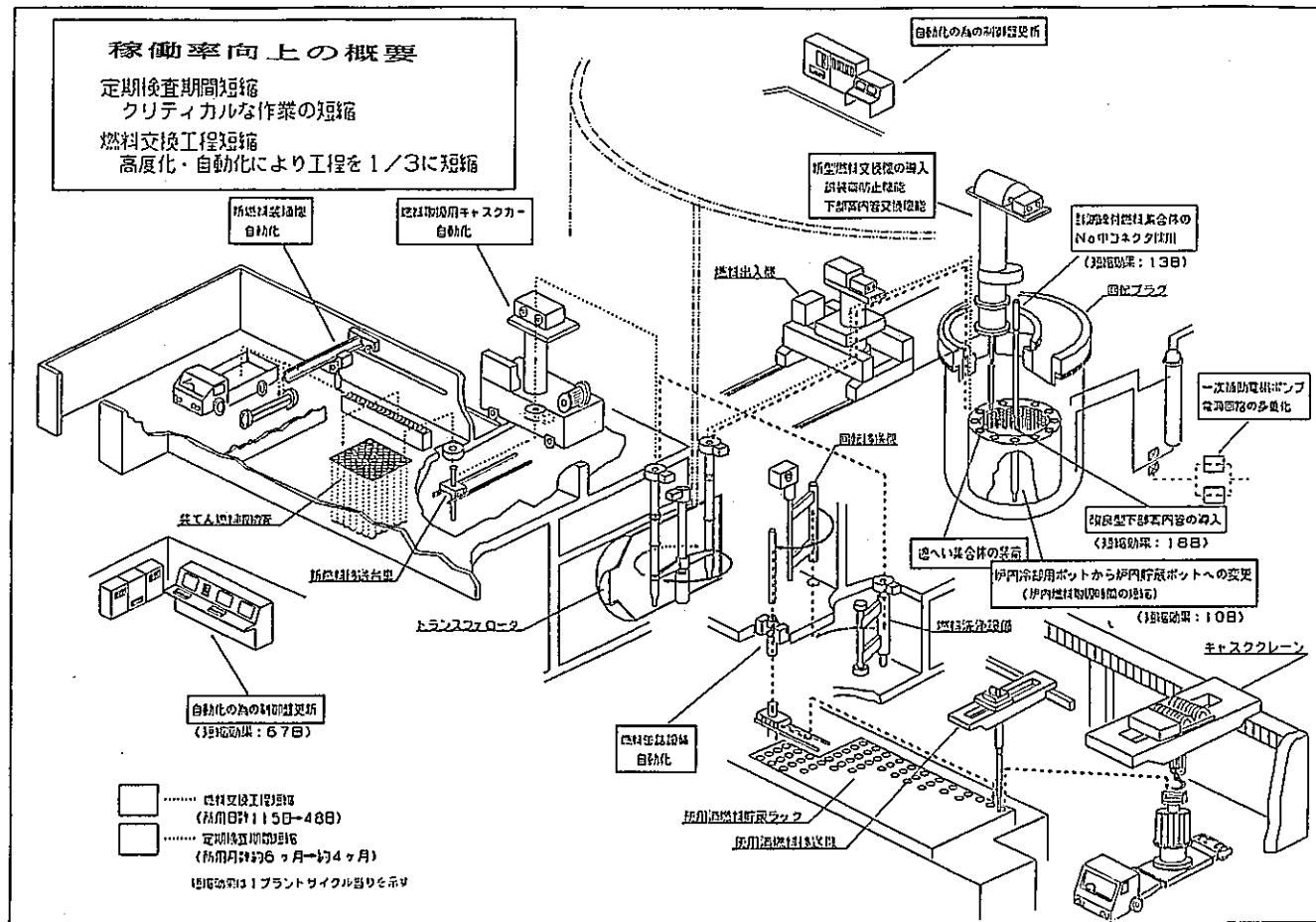
項目	単位	MK-III	MK-II
改造内容	—	一体交換	
型式	—	豎形フィンチューブ多管式	豎形フィンチューブ多管式
チューブ形状	—	Σ型 フィンチューブ	U型 フィンチューブ
基数	基	4	4
交換熱量	MW/基	35	25
伝熱面積	m ²	約 2450	約 1250
設計圧力	kg/cm ²	3	3
設計温度	°C	520	520
ナトリウム側	入口温度 出口温度 流量	°C °C t/h	約 470 約 300 約 600
空気側	入口温度 出口温度 最大流量	°C °C m ³ /min	約 35 約 250 約 8300
伝熱管仕様	外径 肉厚 本数 ピッチ フジ透	mm mm 本 mm mm	42.7 2.0 80 8.6 80.7
	肉厚 ピッチ	mm mm	1.6 5.08
	透風機モータ出力	kW	550 400

主冷却器の構造

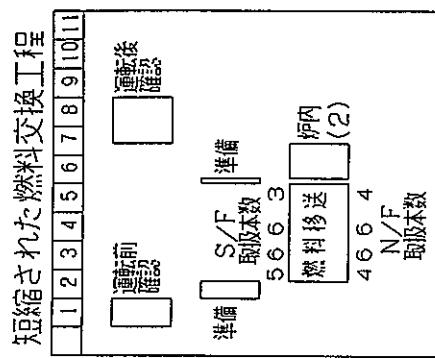
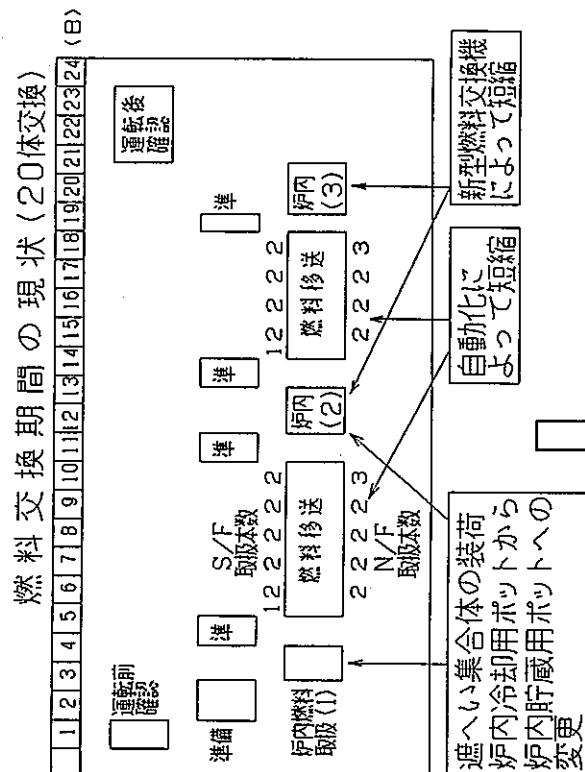
平成3年度の成果

稼働率の向上

添付図 稼働率向上の概要
燃料交換工程短縮
定期検査工程短縮

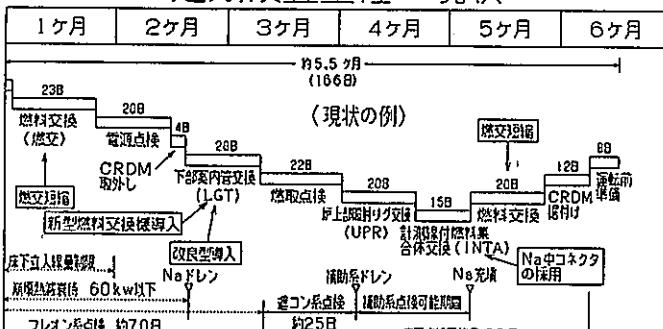


(燃料交換工程短縮)

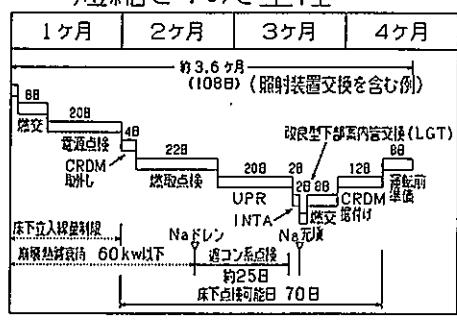


(定期検査工程短縮)

定期検査工程の現状



短縮された工程



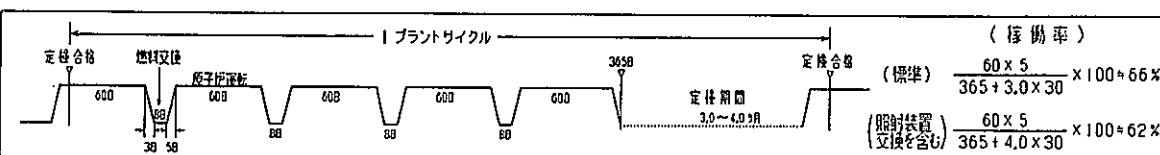
下部案内管交換を燃料
交換機で行うことによ
り交換期間を短縮

INTAのNa中コネ
クターの採用により交
換期間を短縮

補助系電磁ポンプ電源
回路多量化により補助
系ドレンを省略

フレオノ冷媒系多重化
により床下点検期間を
確保

稼働率を向上した場合のプラント工程

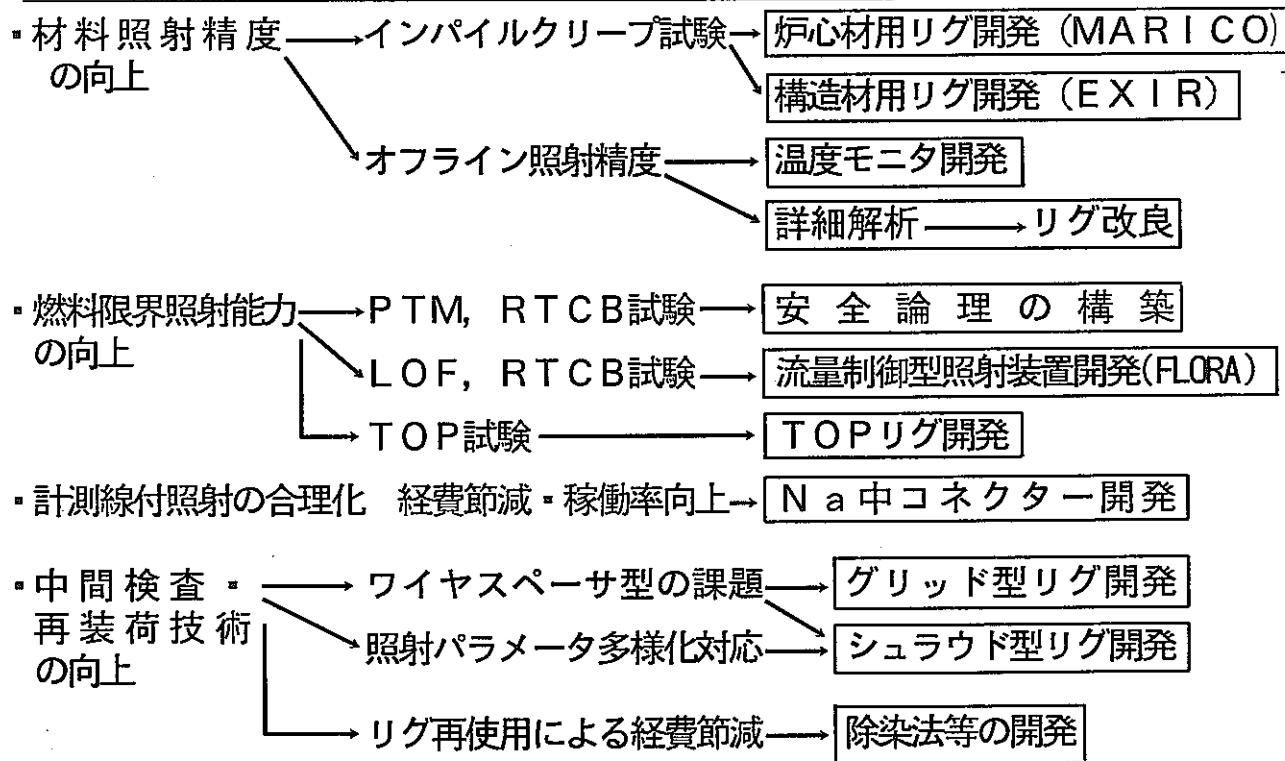


平成3年度の成果

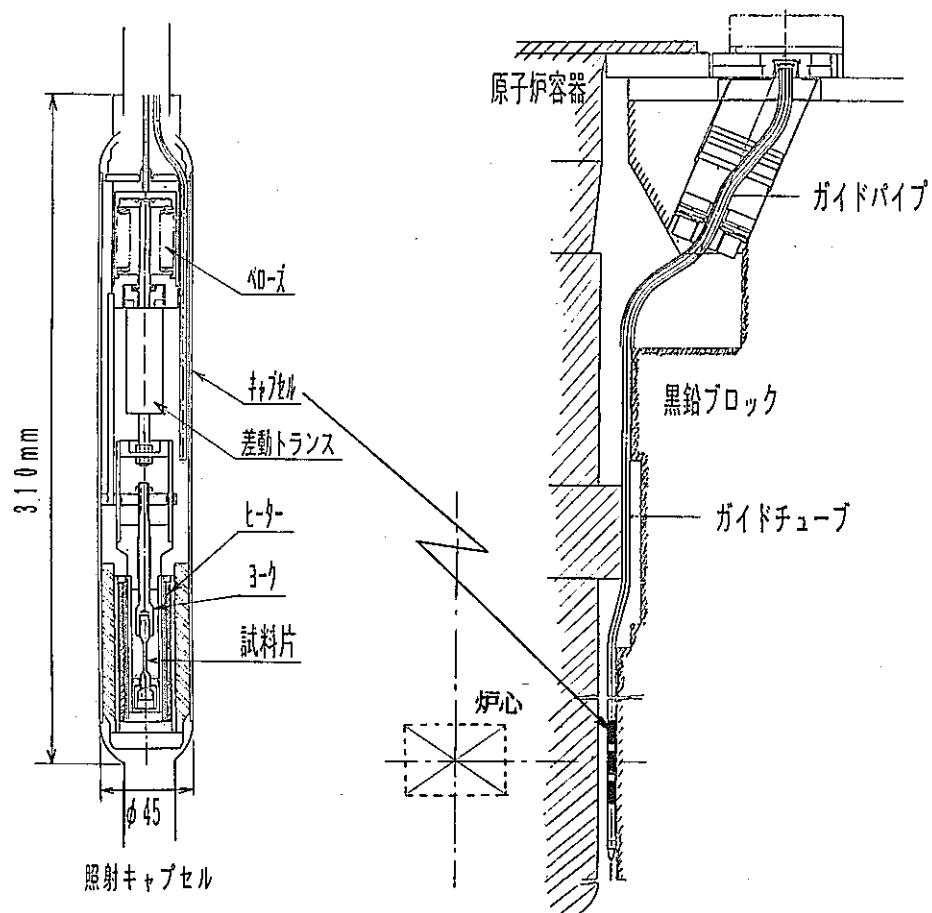
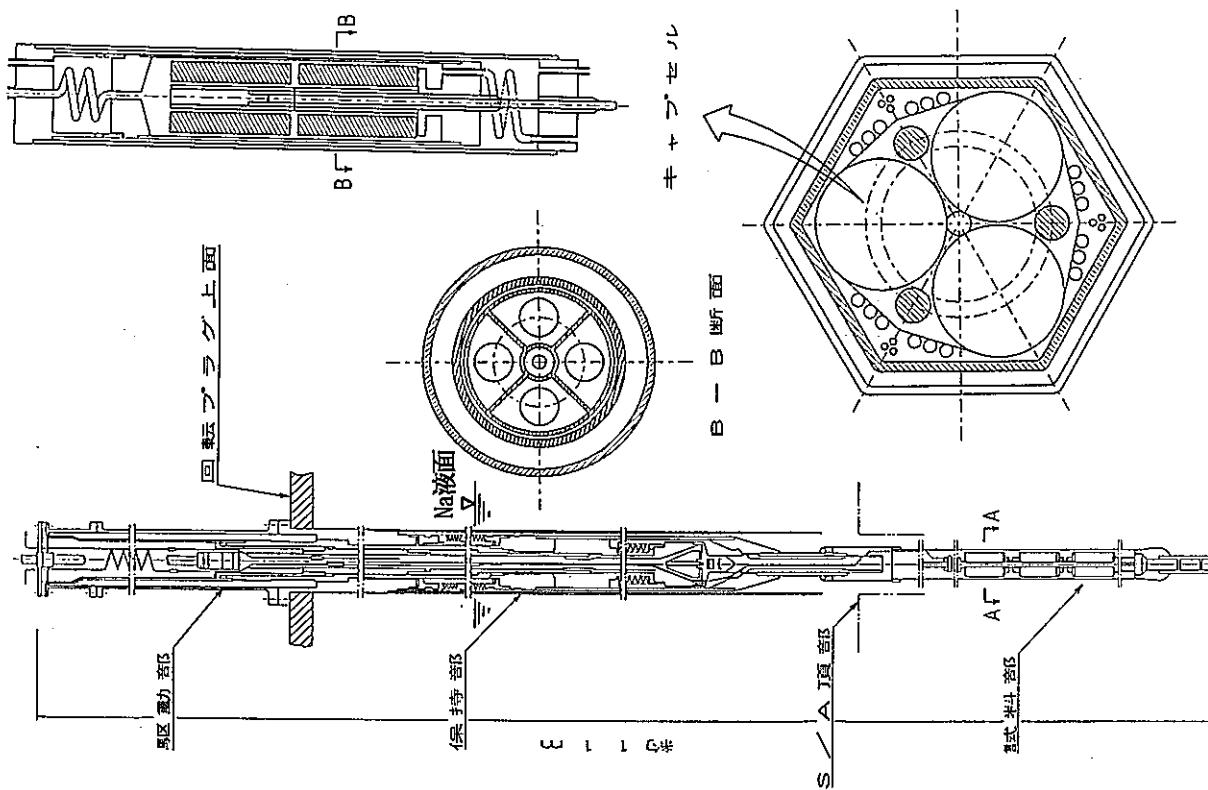
照射技術の高度化

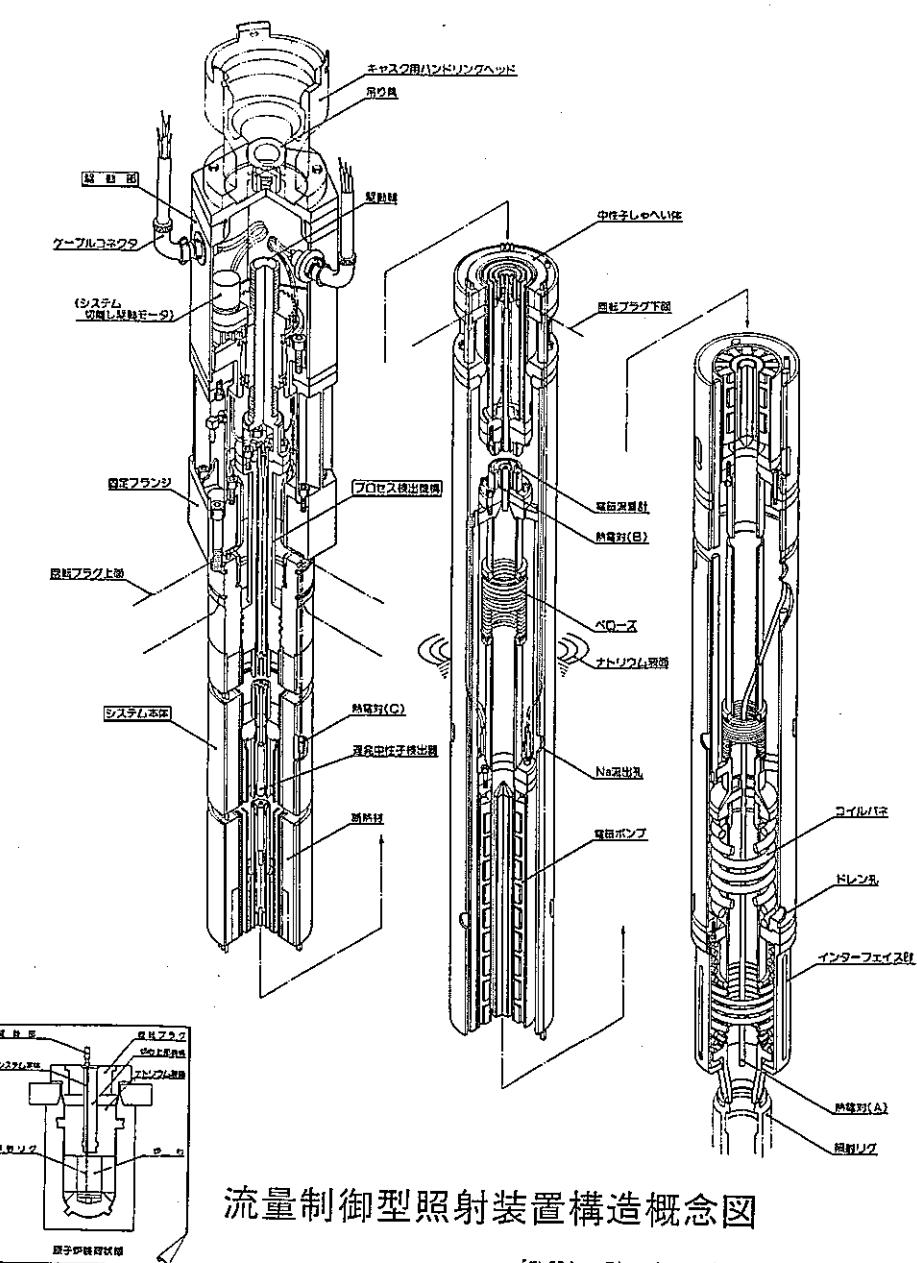
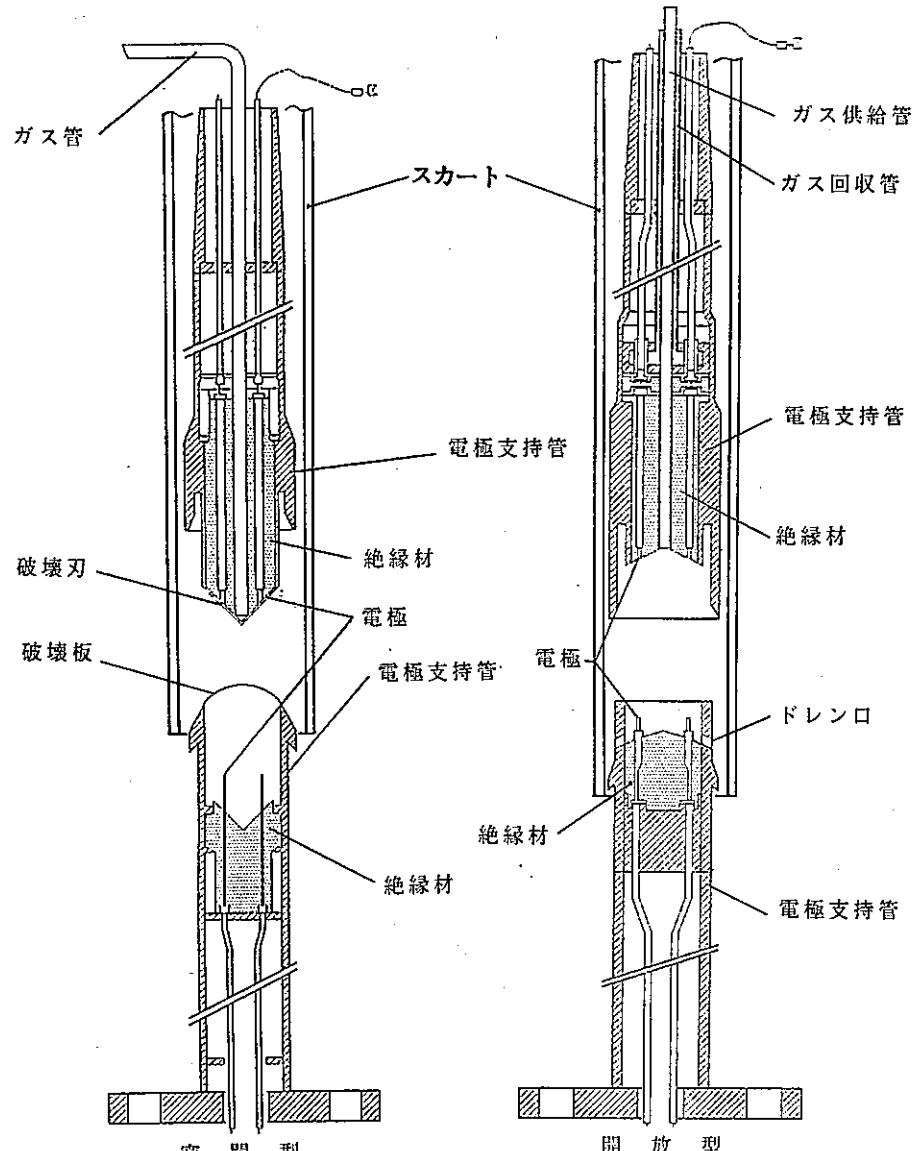
添付図 照射技術高度化に向けた開発等
 制御型材料照射装置
 炉外材料照射装置
 流量制御型照射装置構造概念図
 ナトリウム中コネクタ供試体構成図
 グリッド型リグ開発
 高線出力試験の概要

照射技術高度化に向けた開発等

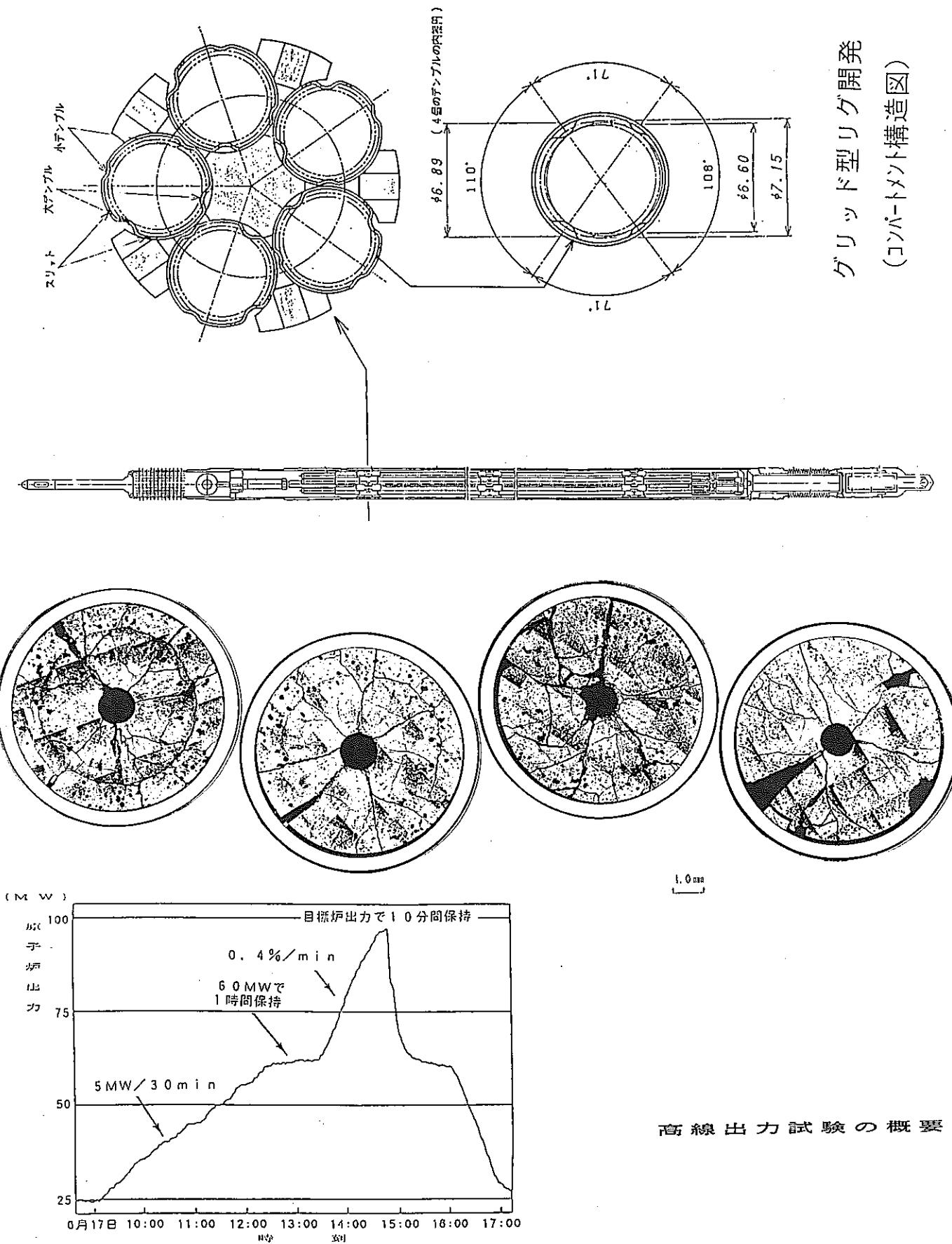


制御型材料照射装置(MARCO: Material Testing Rig with Temperature Control)





[FLORA : Flow Control Irradiation Facility]



平成3年度の評価と今後の展開

I . 設置変更許可申請の準備

1) 平成3年度の評価

MK-III計画に係る「炉心の高中性子束化検討委員会」での審議により、安全設計及び安全評価に関する設置変更許可申請に向けた見通しを確認

2) 今後の展開

- ・ 「炉心の高中性子束化検討委員会」の要望を踏まえた安全設計の精緻化と安全評価の実施（含む被曝評価等）
- ・ 設置変更許可申請書の整備

II . 設計研究等

1) 平成3年度の評価

(1) 高中性子束化

(a) 高性能炉心

炉心及び炉心構成要素に係る設計・試験及び炉心に係る安全解析により成立性の見通しを確認

(b) 冷却系の改造

冷却系の改造に係る設計により改造計画を確定し、既設設備を含む機器の構造健全性評価により見通しを確認

(2) 穢働率の向上

燃料交換期間の短縮

機械的改造及び制御系の改造に係る設計により、燃料交換機等の仕様を確定し、制御系のシステム構想を構築

定期検査期間の短縮

下部案内管の設計で燃料交換機での交換が可能なことを確認

(3) 照射技術の高度化

開発計画に沿って、着実に計画を遂行

2) 今後の展開

(1) 高中性子束化

(a) 高性能炉心

- ・ 設置変更許可申請に向けた核熱設計・安全評価
MK-III炉心及び移行炉心の核熱計算書を整備し、被曝評価を含む安全解析の実施と説明書の準備
- ・ 炉心構成要素の製作
移行炉心段階での使用に向け燃料集合体等の設計・製作

(b) 冷却系の改造

- ・ 改造対象機器の設計・製作・据え付け
設工認に向け設計を進め、製作を経て平成8年度に据え付け
- ・ 設備の健全性確認
安全審査に向け、余寿命評価、構造健全性評価等を実施

(2) 稼働率の向上

燃料交換期間の短縮

燃料取扱設備の自動化に係る設計・製作を行うと共に、遮へい集合体の水流動試験及び下部案内管の取扱試験を実施

定期検査期間の短縮

平成7年度の改造に向け、雰囲気調整系の設計・製作を実施

(3) 照射技術の高度化

材料照射精度

温度制御型材料照射装置及び安全容器内照射装置を製作し、平成5年度に照射開始

燃料限界照射能力

PTM試験及びRTC試験を実施すると共に、電磁ポンプの試験結果を評価し、流量制御型照射装置に反映

計測線付照射の合理化

Na中コネクタの試験結果を評価し、開発に反映

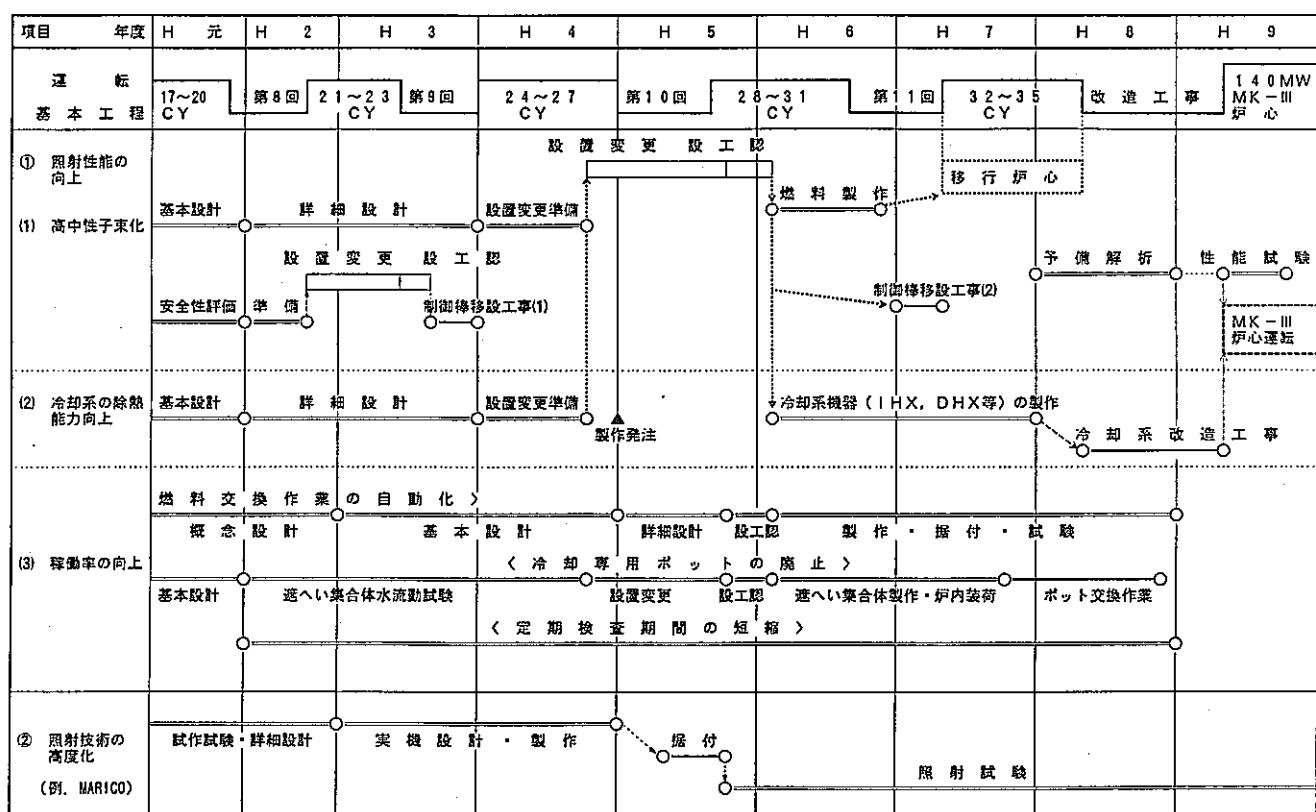
中間検査・再装荷技術

継続照射用照射リグ開発を継続

III. 今後のマイルストーン

安全審査開始	:	平成4年度
設工認開始	:	平成5年度
機器等製作開始	:	平成6年度
改造工事開始	:	平成8年度(冷却系の改造)
MK-III炉心運転	:	平成9年度

今後のマイルストーン



第1分科会の活動内容と今後の計画

1. はじめに

機器設備の合理化・高性能化による建設コストの低減化、運転保守性の向上、被爆の低減化や運転稼働率の向上及びプラントの大型化に対応した合理的な安全論理の構築のための革新技術の開発は、今後の実用化炉の設計を進めるうえで極めて意義のあるものと言える。

本分科会では、上述の主旨に基づき許認可を含めて「常陽」での実証試験が可能であり且つ意義の大きな研究開発項目を取り上げて検討を行った。図1に取り上げた研究開発項目を示す。また表1に開発、試験の意義を、表2に実施状況を示す。

なお、ここで取り上げた項目以外にも今後有望なテーマが生じた場合には、その開発の必要性を十分に見極めながら適宜追加して行くこととする。

2. 平成3年度の成果

【機器設備の合理化・高度化】

1) コンパクト高性能電磁ポンプの開発

コンパクト高性能電磁ポンプの開発に関しては、強磁場発生方法と無冷却化を目指したコイルシステムの耐熱化及びこれらの要素の最適配置等の課題がある。また主冷却系に適用するような大型電磁ポンプは今まで経験がなく、特性を評価するための汎用解析コードの確立も大きな課題である。今年度までは、主として前者の2課題について、基礎的な段階を行うべく研究開発を実施した。表3に開発目的、課題を、表4に方策を示す。

強磁場を発生する方法として、スリットが入った導体板を渦巻き状のコイルで鉄込みこの導体板の中心部に磁束を強める渦電流を集中させる方法、すなわち磁束収束型の原理確認試験と磁場の簡易解析を行った。本研究については大学との共同（委託）研究ベースで、気中におけるスラスト力を評価する原理確認試験により、磁束を強めるための導体板の効果が顕著にあることを実証した。図2に磁束収束方式の原理を、図3に本方式の電磁ポンプの構造概念を示す。また図4には磁場の簡易解析の結果を、図5には原理確認試験の一例を示す。

無冷却化の観点から必要となる耐熱コイルシステムの開発（650°C、数kV、50—60Aに耐え得る）については、各種のコイル素材の文献調査及び技術調査により、セラミックス材を絶縁材とする候補材の選定を行った。なお特種使用であるが、小規模な耐熱性電磁ポンプとして、FLORA用の電磁ポンプの開発を行った。今年度は1/4スケールモデルの試験体について、高温Na環境下で除熱試験を行い、所定の温度以下で安定し、温度スポットが生じることなく良好な分布を示すことを確認した。

2) 配管ベローズ継手の開発

配管ベローズ継手については、許認可を含めた「常陽」での実証試験を念頭において、ワーキンググループが発足し、従来の研究開発成果を踏まえて、(1) 設置位置、配管系解析、(2) 仕様選定 (3) 設計評価解析 (4) 今後の進め方 (工程) の検討が行われ、現在までに8回のワーキンググループが開催された。

本計画の意義は、「常陽」の実プラントでの許認可実績を得るとともに、プラントでの運転実績を積み、ユーザが使い易くすることとあり、2次主冷却系配管Aループに、内圧ジンバル型ベローズを垂直方向に取付けることで、今後の計画を進める事となった。表5に検討経緯と内容を、表6に今後の予定、表7に工程を示す。

【運転、保守設備の高度化】

3) 制御棒操作自動化システムの開発

高速炉のより一層の運転信頼性の向上の観点から、運転員のワークロードを減らす事が可能な、ファジィ制御を適用した非線形制御法を開発する。第1ステップとして、非線形制御法を組み込んだ運転員の運転支援システムを開発し、更にこれを高度化して全運転領域にわたる制御棒操作を自動で行うシステムを開発し(図6に概念を示す)、「常陽」を用いたプラント実証試験を経て、実用化炉へ反映させる。表8に入力信号を、図7に基本構成を示す。

基本プログラムをシミュレータにより検証した結果、熟練運転員と同等の制御性を有することを確認できた。(図8参照)引き続いて実プラントへの適用を考慮した基本プログラムを組み入れたプラント動特性解析コードを開発し、解析評価の準備を行いつつある。

次年度は予算がついていないが、平成3年度までの開発成果を集約すると共に、実プラントデータとプラント動特性解析コード結果との比較検討を行い、課題の抽出を行う。(表9参照)

4) 燃料破損診断システムの開発

実用化炉の燃料破損位置決めシステムはいくつかの方法が考えられるが、この中で候補の一つとしてシッピング法が考えられる。(表10参照)「常陽」では既に設置されているが、実用化炉で使用するためには、信頼性を向上させる必要がある。このため現在のNa中の半減期の短い希ガスを検出する方法に加え、長半減期の揮発性F P核種である¹³⁷Cs及び¹³¹Iを検出する方法を開発する。(図9参照)

平成3年度は、核種捕獲法、放射線検出器の選定、感度評価等の要素技術についての検討を行い、更にこれを基に装置の概念設計を行った。シミュレーション検討であるが、炉停止10日後の作動で検出できる可能性があることが明らかになった。

5) 異常診断技術の高度化

本件については、検討課室の担当者の転勤等により展開が困難な状況にあり当面検討を

保留する。（表11参照）

6) FBR遠隔保全技術の開発

FBRプラントは、軽水炉と比較して高温、高放射線環境下での点検、保守、補修等を行う可能性があり、人間が立ち入れない所は勿論のこと、被爆低減化の観点から人間が直接関与せずに遠隔方式で作業を行う必要性が高い。

実用化レベルの高速炉では、炉内構造物を初めとして高度な内容を必要とする保守、補修技術の必要性が議論されつつある。これには「もんじゅ」のISI技術やNa透視装置などの動燃で培われてきた技術を高度化することにより、対応可能なものが多い。従って当面は設計動向を見極めつつ、基盤技術の高度化を進める。（表12及び図10参照）

平成3年度は「もんじゅ」モックアップ装置を利用した各種ISI装置の実環境下を想定した機能試験を行った。更にこのうちのいくつかの装置は「もんじゅ」実機の機能確認試験を経て、PSI（供用前検査）に供された。PSIの結果は良好であったが、装置の改良ポイントがいくつか摘出された。表13にモックアップ試験の意義を、原子炉容器まわりISI装置の概要については表14及び図11～14に、1次主冷却系配管ISI装置の概要については図15～17に、蒸気発生器伝熱管ISI装置(ECT)の概要については、図18～19に示す。

平成4年度にはPSI以後の改良と残された原子炉容器周りISI装置の「もんじゅ」実機の総合機能試験、PSIを実施する。

【合理的な安全論理の構築】

7) 炉停止系の高度化

実用化炉のようにプラントが大型化するのに伴い、炉停止系の多用化、反応度緩和機能の向上が求められる。これを成し遂げるための有力な手段として、キュリーポイント電磁石を用いた自己作動型炉停止機構(SASS)がある。現在までに炉外でのNa中単体機能確認試験が終了し、これを踏まえて、「常陽」の実証試験のためのワーキンググループが発足し、検討を実施してきている。（表14～15参照）

平成3年度は、Na中での熱過渡応答性試験の結果、原電で進めている実証炉への適用が可能であることを評価した。また開発した汎用解析コードによる結果と比較して極めて良い一致を得た。（図20～21参照）またワーキンググループによる検討の結果、平成3年度より実証試験のための準備が必要であったが、適当な予算化がなされず、平成4年度に実施する方向で検討する。表17～18及び図22～23にその概要を示す。

3. 3年度の評価と今後の展開

第1分科会全般のまとめを表19に示す。以下各項目ごとの評価と今後の展開を詳述する。

1) コンパクト高性能電磁ポンプの開発

強磁場を発生させる方式として、磁束収束型が有望であることを原理確認試験で実証した。しかしながら予算の制約と関係者によるコンセンサスが得られず、ナトリウムを用いた試験は、大学が試験体を製作した段階で中止した。また予算の制約からコイル要素素材のスクリーニングのための高温中の長期絶縁特性、導体特性試験も先送りとなっている。今後はこれらの基礎試験と評価を進める。またこれらと平行して、大容量化した場合の電磁ポンプの解析手法の構築を図る。

特種使用の FLORA用の電磁ポンプについては、次年度に1/2スケールモデルの電磁ポンプを製作し、特性試験と評価を行い、実機の設計に反映させると共に、高温コイルシステムのデータベースとしての利用を図る。

2) 配管ベローズ継手の開発

「常陽」設置のための基本的な検討を終了した。今後はMK-III移行前の冷却系の改造に合わせて、基本設計、安全評価、設工認、詳細設計を経て、平成6年度後半から7年度にかけて製作を行い、2次系へ設置する。

3) 制御棒操作自動化システムの開発

ファジィ制御の基本プログラムを組み入れたプラント動特性解析コードの解析評価及び開発成果を集約する作業を次年度に実施する。また必要に応じて今後の展開を再検討し、推進会議にはかる事とする。

4) 燃料破損診断システムの開発

概念設計に基づいて、次年度は感度評価コードの整備を行う。また大型炉の設計動向を見極めつつ、その在り方を含めて今後の展開を再検討し、推進会議にはかる。

5) 異常診断技術の高度化

担当者の転勤に伴い、現在検討を保留しているが、既存プラントからのニーズや今後の大型炉の設計動向等を見極めつつ、今までにってきた「炉心異常診断」をベースに「プラント異常診断」技術開発へ発展して検討することも考えたい。なお本テーマについては、計画を作成し、推進会議にはかることとする。

6) FBR遠隔保全技術の開発

当面「もんじゅ」の ISI装置の PSIに向けた装置の開発と PSI後の改良を実施し、完成度を高める。また「常陽」の改造計画、大型炉の設計動向を見極めつつ、今まで開発を行ってきた基盤技術、要素技術の高度化を図る。

7) 炉停止系の高度化

平成3年度までに実施した各種の開発試験、W/Gによる試験計画及び概念設計に基づき、「常陽」の実証試験のための試験装置の詳細設計を実施する。また5年度以降は7年度の装置据付、炉内試験に向けて、設工認及び製作を実施する。

PROFIT計画推進会議資料

第1分科会

－新技術の開発、実証－

大洗工学センター

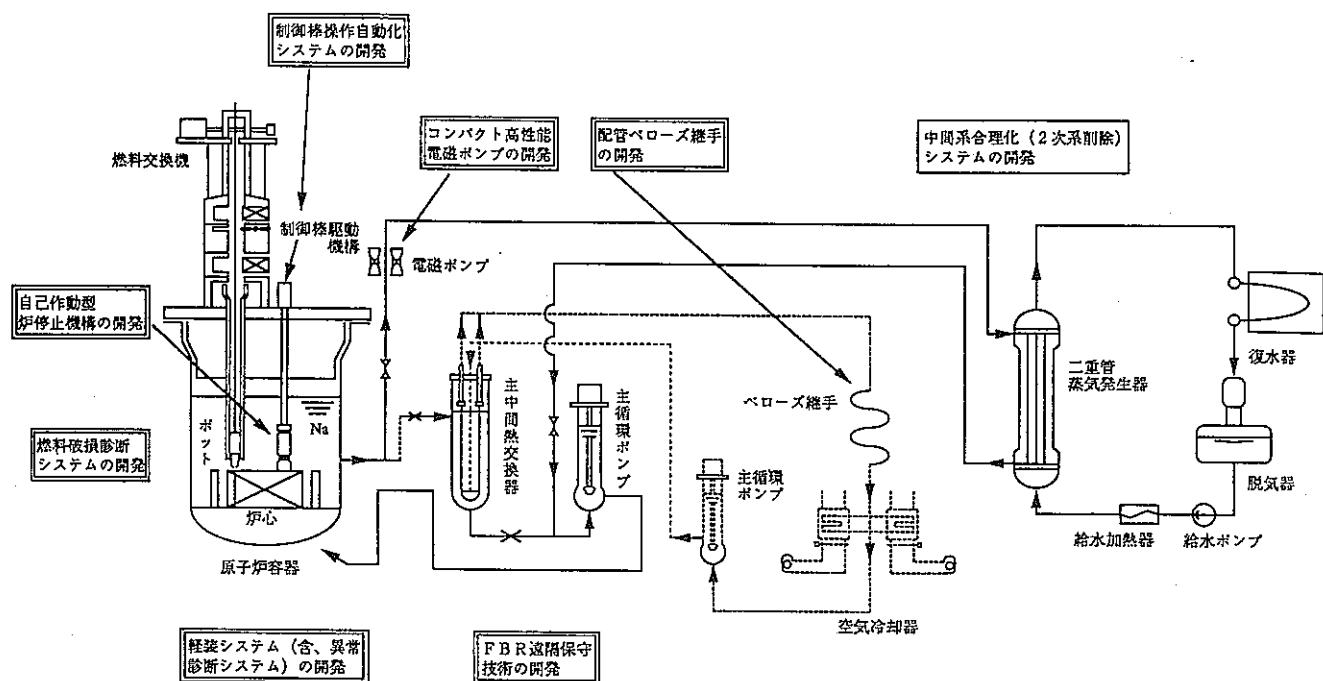


図1 PROFIT計画第1分科会R&D項目

表1 新技術の開発、実証の意義

大型炉の設計を推進する上で、選択の幅を広げる

- (1) 機器設備の合理化・高度化
.....建設コストの低減
- (2) 運転保守性の向上
.....プラント信頼性の向上、被爆の低減化、運転稼働率の向上
- (3) プラントの大型化
.....合理的な安全論理構築

「常陽」を用いた実証試験

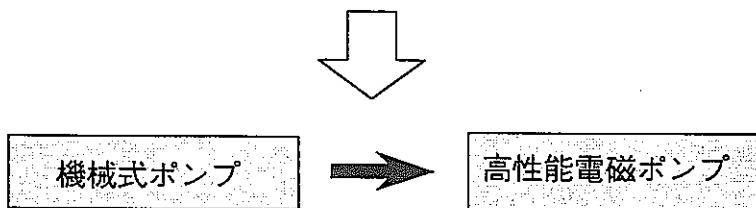
表2 平成3年度の実施状況

No	研究項目	実施内容	実施箇所
(1)	コンパクト高性能電磁ポンプの開発	強磁場を発生させる方式として磁束収束型の原理確認試験で有効性を実証、簡易解析実施。コイル素材の試験準備。 FLORA用EMP除熱特性試験	開発部 実験炉部
(2)	配管ベローズ継手の開発	ワーキンググループによる検討。 「常陽」2次系への設置を決定。	開発部 実験炉部
(3)	制御棒操作自動化システムの開発	基本プログラムをシュミュレータを使用して検証した。	実験炉部
(4)	燃料破損診断システムの開発	概念設計を実施。	実験炉部
(5)	異常診断技術の高度化	検討保留。	開発部 実験炉部
(6)	FBR遠隔保全技術の開発	「もんじゅ」ISI装置を中心に開発を実施。 実証炉の設計動向を調査	開発部
(7)	炉停止系の高度化(SASSの開発)	熱過渡応答試験のまとめ。 汎用解析法の開発 「常陽」実証試験の構想検討	開発部 実験炉部 プラ工室

表3 コンパクト高性能電磁ポンプの開発目的と課題

目的：主冷却系ポンプに対し

- (1) FBRプラントのコスト低減化
 - (2) 系統の合理化、機器配置設計の柔軟性
 - (3) 可動部の削除、制御の容易さ

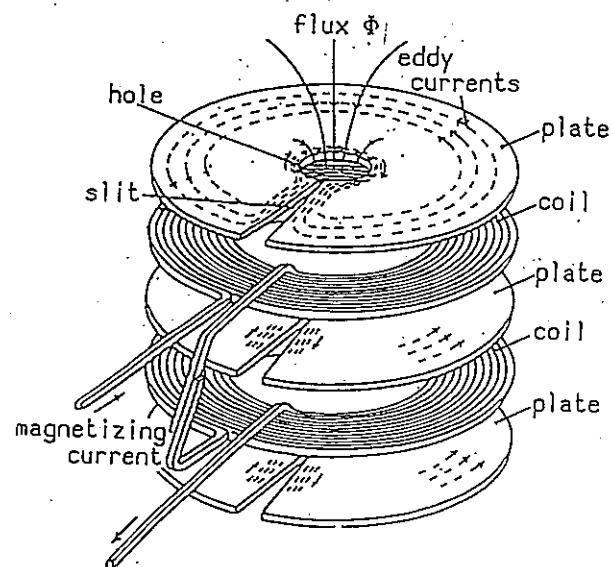


課題 : 電磁ポンプの高性能化に対し

- (1) 耐熱性向上 (1次系ホットトレグを目標)
 - (2) 磁場強度の向上 (新しい方式)
 - (3) ダクト、コイルシステム等の最適配置
 - (4) 効率の向上
 - (5) 解析技術の確立

表4 開発課題に対する方策

- (1) コイル素材の試験研究
長期絶縁性、導体抵抗特性評価
 - (2) 磁場強度の向上
磁束収束型方式の推進
 - (3) ダクト、コイルシステム等の最適配置
スリップ速度、ナトリウム流路幅、ポール数
ポールピッチ、すべり比、磁場浸透深さ
 - (4) 効率の向上
大型化、無冷却化
 - (5) 解析技術の確立
電磁場－流体連成解析手法の汎用化



成層渦電流型コイル
(磁束収束方式)

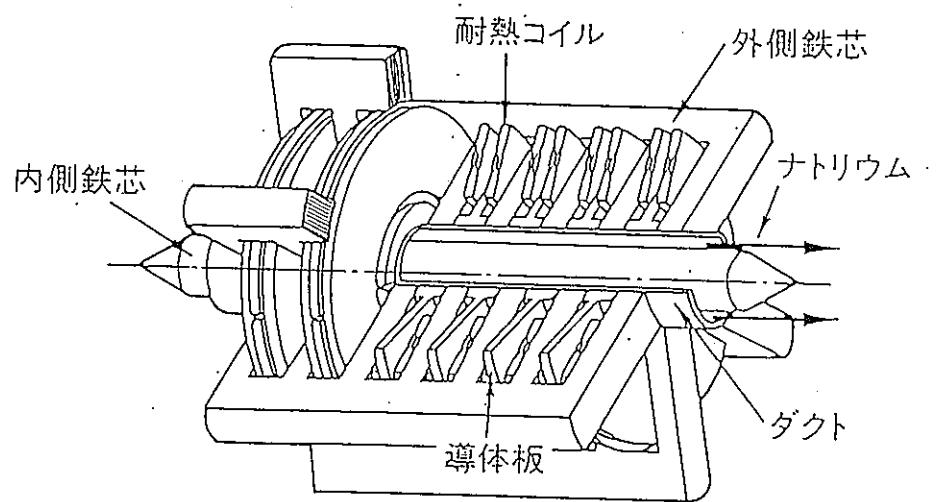


図3 磁束収束型電磁ポンプの構造概念

図2 強磁場発生法の原理

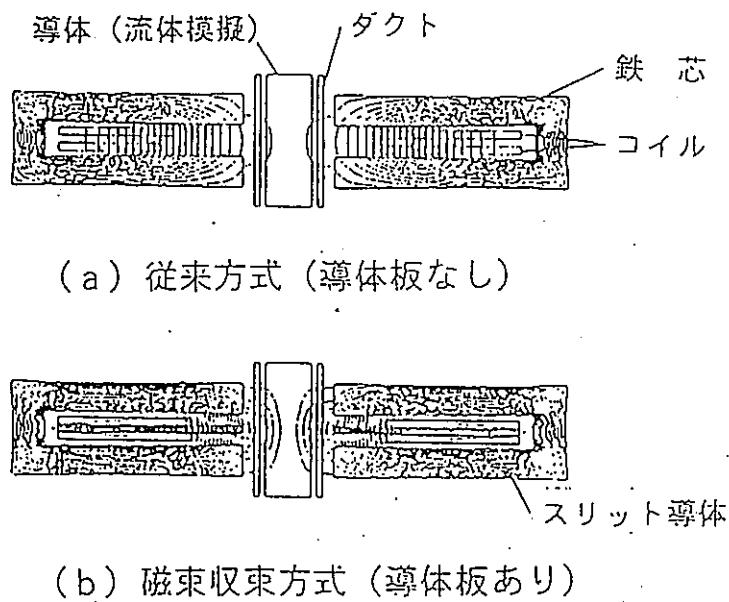


図4 簡易磁場解析結果の一例

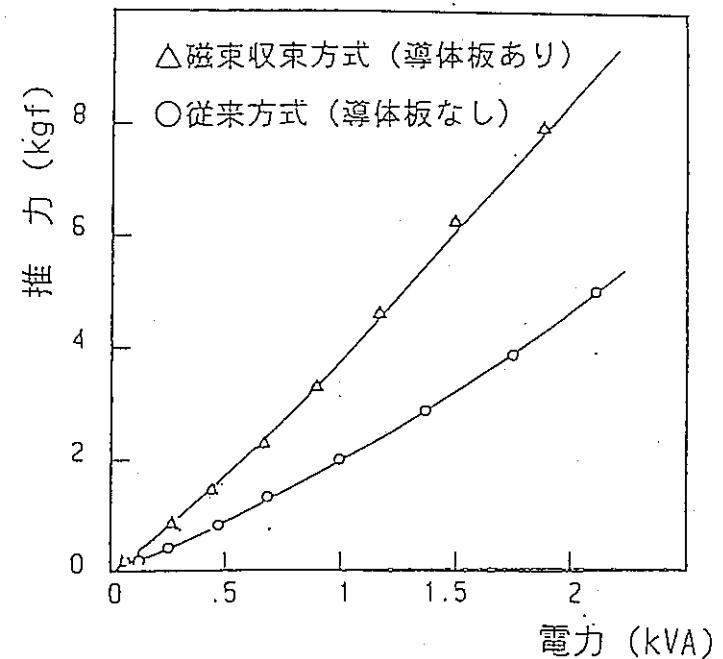


図5 原理確認試験結果の一例

表5 配管ベローズ継手開発の検討経緯

配 管 ベ ロ 一 ズ 継 手 の 開 発

1. 発足の経緯と活動状況

- (1) 発足(9月24日)の経緯 ⇒ 1991年9月のプロジェクト推進調整会議の決定による。
- (2) 構成員 ⇒ 渡士主査(構造室)、富田幹事(原子炉2課)、川崎幹事(材料室)ほか実験炉、開発部、技開部から参加
- (3) 活動状況
 - ・活動形態 ⇒ 参加できる人が不定期に集合して、検討。
 - ・これまで8回の会合。

2. W/G の目的

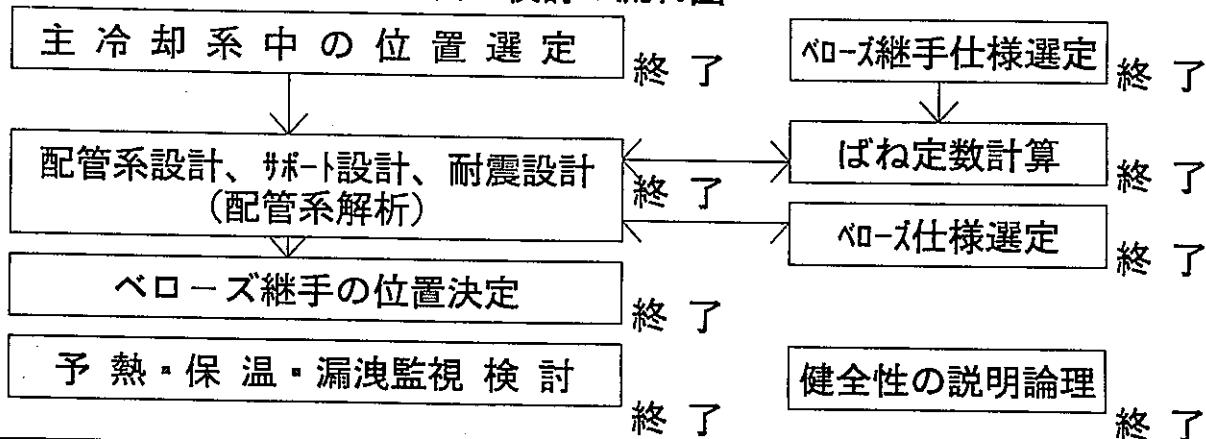
- (1) 第1分科会の開発課題「冷却系機器設備の合理化・高性能化」のうち、研究開発項目「配管ベローズ継手の開発」の工程・経費を明確化。
- (2) 基本仕様を定め、第1分科会へ答申。

3. 各部の担当 (基本仕様選定期階)

- | | |
|-----|---|
| 実験炉 | 配管系設計、安全審査対応検討 |
| 開発部 | 工事・計装の検討、など
これまでの開発内容の紹介、ベローズ仕様選定、
安全審査書類等の準備方針検討 |
| 技開部 | 大型炉のベローズ継手採用主冷却系設計。 |

4. 常陽2次主冷却配管系への配管ベローズ継手の設置

(1) 検討の流れ図



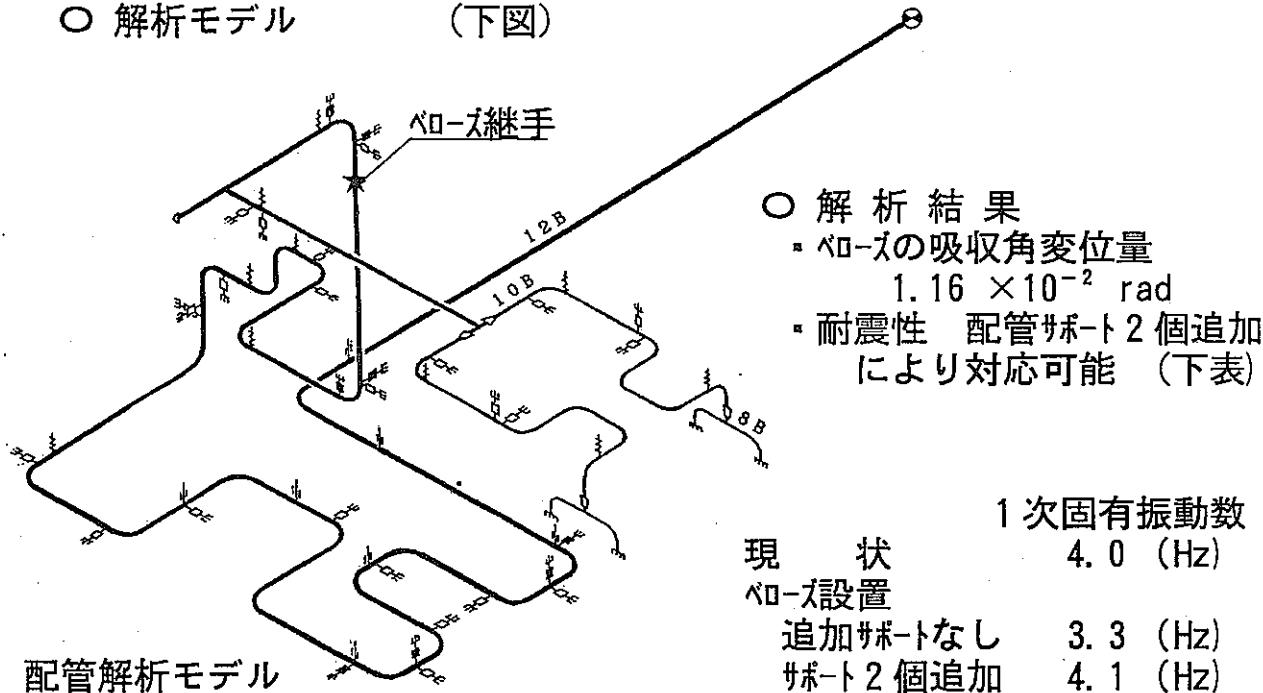
(2) 「常陽」配管系検討解析

○ 対象配管

2次主冷却系配管 格納容器壁～空気冷却器

○ 解析モデル

(下図)



○ 解 析 結 果

- ・ベローズの吸収角変位量
 $1.16 \times 10^{-2} \text{ rad}$
- ・耐震性 配管サポート2個追加により対応可能 (下表)

(3) ベローズ継手仕様選定およびベローズ設計計算

- ① 大型炉設計研究での2次系配管ベローズ38号口径の仕様 (下表) を参照
設置場所

仕様	ホットレグ	ミドルレグ	コールドレグ
山高	70 mm	80 mm	80 mm
ピッチ	70 mm	80 mm	60 mm
板厚	6 mm	6 mm	6 mm
山数	12	14	18
ベローズ長	840 mm	1120 mm	1080 mm
継手形式	外圧型	外圧型	内圧型

- ② 配管ベローズ継手設計条件 (12号口径)

設置方向	堅	曲げ変位	$11.6 \leftrightarrow 0.484 \times 10^{-3} \text{ rad}$
型式	内圧シバル型	累積使用時間	69,800 h
ベローズ材質	SUS316	熱サイクル数	350
層数	1	地震加速度	水平1.98g, 垂直0.36g
運転圧力	3.8kg/cm ²	最高温度	470 °C
設計圧力	4.5kg/cm ²	最低温度	20 °C
軸/軸直方向変位	0 mm	高温待機	200 °C

(4) ベローズの仕様と構造設計基準による評価結果

ベローズ仕様

谷径	:	320mm	板厚	:	2.1mm
山高	:	26mm	山数	:	12山
ピッチ	:	26mm			

ベローズ構造設計基準による評価結果

	評価値	許容値
1次膜+曲げ応力:	3.0kg/mm ²	(7.7kg/mm ²)
ラチェットひずみ:	0%	(2.0%)
クリープ疲労損傷:	0.3	(0.6)
圧力:	0.04 kg/mm ²	(座屈圧力は 0.125kg/mm ²)
軸方向固有振動数:	1次179.2Hz, 2次358.0Hz	
横方向固有振動数:	1次228.7Hz, 2次400.9Hz	
曲げばね定数:	3.304×10^6 kgmm/rad	

(5) 配管ベローズのナトリウム漏洩に関するシナリオ

- ① 荷重 引張圧縮および繰返し曲げ
- ② 運転中のき裂生成寿命
 ベローズの発生応力(470°C) 3S_m 24.88kgf/mm (0.151%):1000000 h
 26.44kgf/mm (0.161%):10000 h
 き裂は、百万 ($10^{10} / 10^9$ サイクル) 以上の荷重繰返し数で発生。
 設計想定荷重最大繰返し数は 350サイクル故、100 倍以上の安全率。
- ③ き裂進展寿命
 原子炉冷却材パウンダー用製作・検査基準によって製作・据付・検査。
 12インチ径は目視・外観検査を実施するのに十分大きい。
 また100 体を超えるナトリウム 配管用ベローズの製作・検査・使用実績。
 当該ベローズの初期欠陥は通常想定しがたい。
 仮想的な事態: 初期欠陥を想定。欠陥は10,000サイクルで貫通する。
 これは設計想定荷重最大繰返し数の30倍。
 き裂1個の貫通確率は、運転後1年で 10^{-7} 、20年で 2×10^{-7} 。
- ④ 安全設備対応
 バックアップベローズを設けた2重構造
 連続漏洩監視

表6 今後の計画と分担

5. 今後の業務

(1) 基本仕様選定段階 (～4年3月 炉内実証試験検討W/G)

配管系設計、安全審査対応検討、工事・計装の検討
 ベローズ仕様選定、安全審査書類等の準備方針検討
 工程、必要経費等検討

5年度概算要求書作成(未実施⇒4年4月作成予定)

予算上5年度新規立ち上げる。

5年度に4年度+5年度の内容を要求。

(2) 基本設計段階 (4年4月～ライン業務)

- ・実験炉部ライン 業務： 設計・製作・据付・運転など
- ・開発部ライン 業務： 安全審査時の対応（資料・説明）など
- ・両部間業務調整用機関： 炉内実証試験実施W/G 設置
(実証試験進捗管理組織)

表7 実証試験の工程表

6. 工程

	3年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度
常陽 ベローズ	基本仕様	詳細設計		製作			
	基本設計/ 安全評価	設置変更	設工認				
経費M円	10	10	←→ 40 →→	80			
大型炉	2次系試設計						
常陽 Mark III	基本設計 安全評価	設置変更 更準備	設置変更 設工認	冷却系機器配管製作 溶検／使用前検査	冷却系 改 造	性能 試 驗	
	詳細設計			燃料製作／炉心装荷			

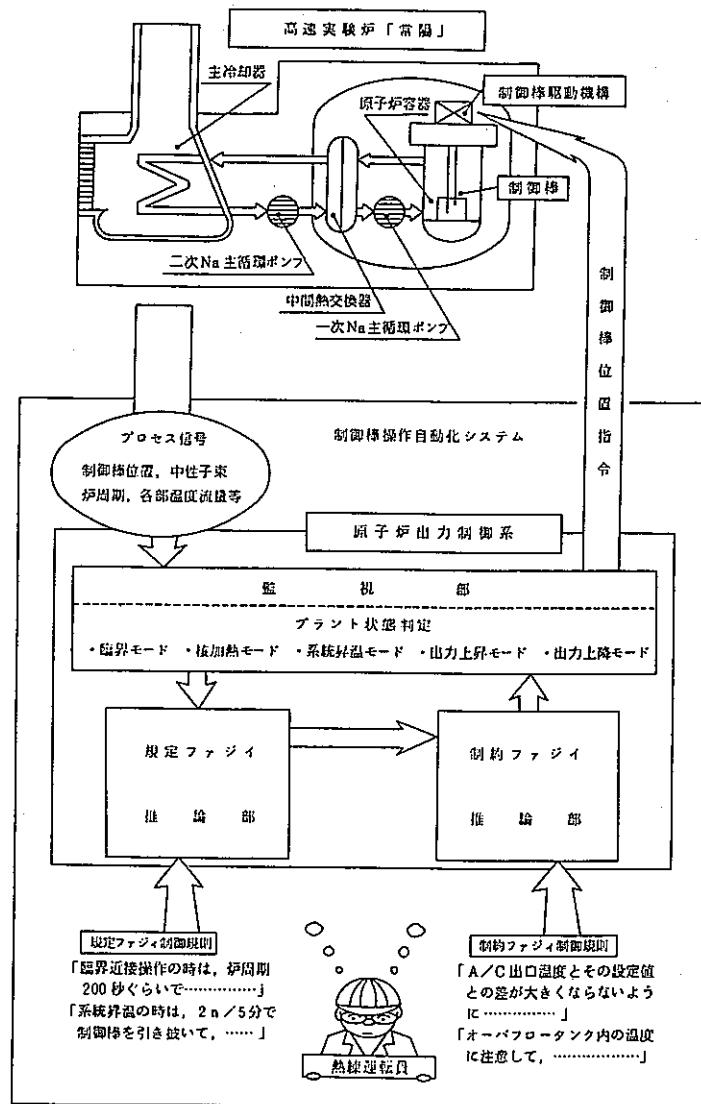


図6 制御棒操作自動化システムの概念図

表8 制約ファジィ推論部入力信号一覧

信号名称	型	区分	定義	単位	備考
中性子束(出力系) ^{*1}	Z	下限 上限	100 103	%	スクラム:106[%], 警報:103[%]
中性子束(起動系、中間系)		下限 上限	65 70	%	スクラム:95[%], 警報:70[%]
ペリオド(起動系、中間系) [*]		下限 上限	100 50	sec	スクラム:5[sec], 警報:25[sec]
原子炉入口温度(A、Bループ)		下限 上限	372 380	°C	制御棒一齊挿入:385[°C], 警報:380[°C]
1次冷却材流量(A、Bループ)	S	下限 上限	1071 1235	m³/H	スクラム:1008[m³/H], 警報:1071[m³/H]
2次冷却材流量(A、Bループ)		下限 上限	1071 1235	m³/H	制御棒一齊挿入:1008[m³/H], 警報:1071[m³/H]
炉内ナトリウム液面	H	下限 許容下限 許容上限 上限	-50 0 3 100	mm	スクラム:-100[mm] 制御棒一齊挿入:+200[mm] 警報:高+100[mm], 低-50[mm]低低-320[mm]
格納容器内床上温度	Z	下限 上限	38 40	°C	スクラム、アラート:60[°C], 警報:50[°C]
格納容器内圧力		下限 上限	10 50	㎫	スクラム、アラート:0.3 [kg/cm²], 警報:0.1 [kg/cm²]
A、Bループ間原子炉入口温度差		下限 上限	8 10	°C	運転制限:10[°C]以内
O/F/Tと原子炉出口間温度差		下限 上限	70 80	°C	運転制限:80[°C]以内
A/C出口温度と設定値間偏差		下限 上限	1 5	°C	絶対値

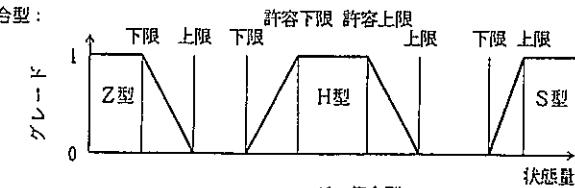
注記:

O/F/Tはオーバーフロー・タンク、A/Cは2次主冷却系の主冷却器を示す。

A、Bループは主冷却系AおよびBループを示す。

^{*1} 中性子束100%は、原子炉出力100MWに相当する。

ファジィ集合型:



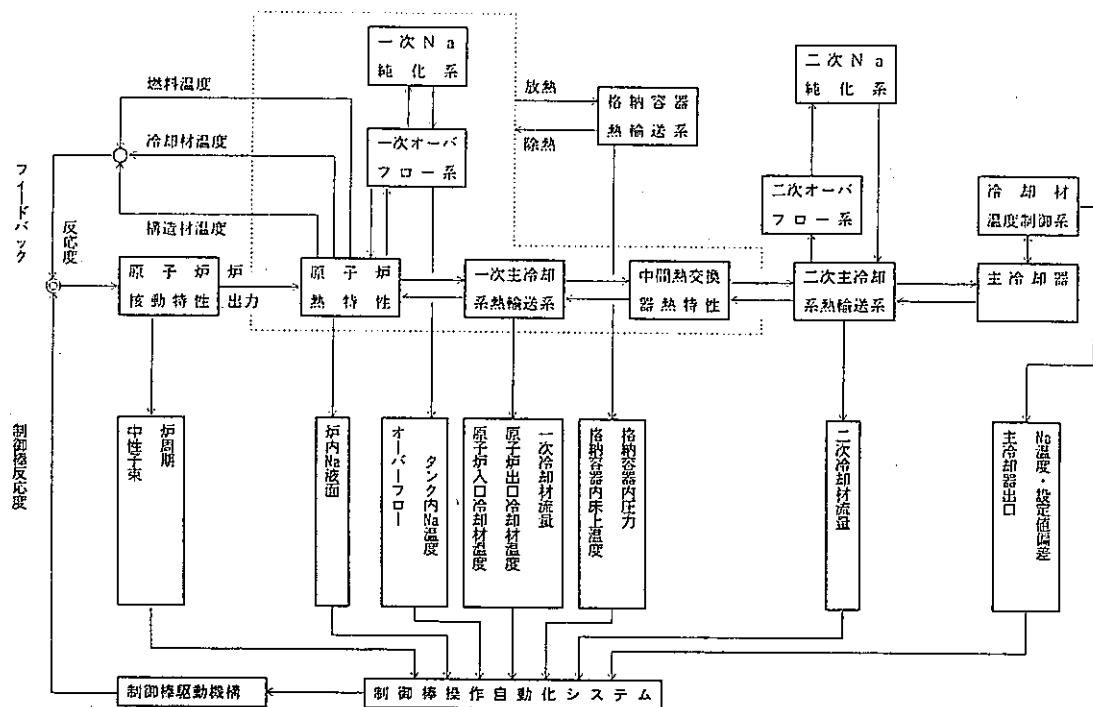


図7 制御棒操作自動化システムの基本構成

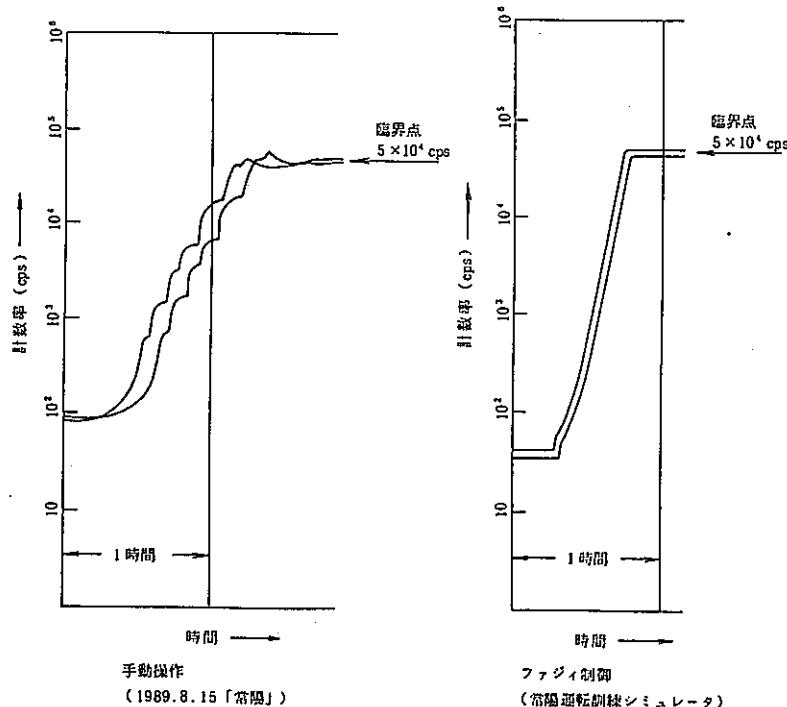


図8 臨海近接における手動操作とファジィ制御の比較

表9 今後の計画

今後の予定

- (1) ファジィ制御を適用した動特性解析コード完了
- (2) 上記コードとプラントデータとの比較
- (3) 開発成果の集約
- (4) 今後の展開の検討

表10 燃料破損診断システムの開発概要

大型炉の燃料破損位置決めシステムの候補

- (1) タギング法
- (2) セレクタバルブ法
- (3) シッピング法
- (4) その他

ここでは、(3)を考慮して「常陽」のシッピング法の高度化

- 概念設計を実施
- (1) FP捕獲法
 - (2) 検出系
 - (3) 遮蔽法と残留FP量
 - (4) 全体システム検討

- 今後の計画
- (1) 感度評価コードの整備
 - (2) 大型炉設計動向の見極め
 - (3) 展開の再検討

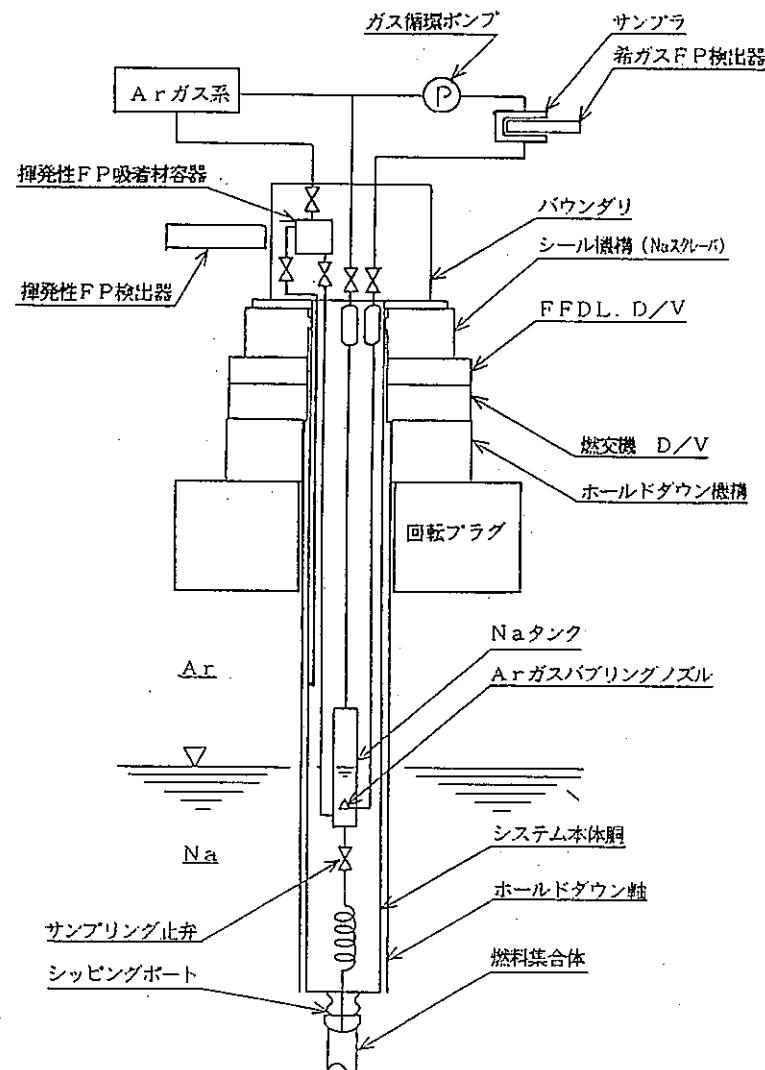
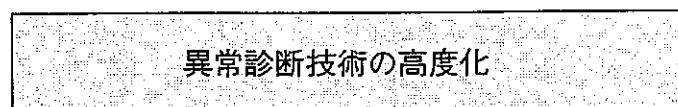


図9 「常陽」シッピング法FFDLの高度化システム基本構成

表11 異常診断技術の高度化についての検討の流れ



昨年度まで、主として炉心異常診断技術のソフト開発



現在、検討を保留



- (1) 既存プラントのニーズ
- (2) 大型炉の設計動向の見極め
- (3) プラント異常診断技術開発
- (4) 計画の作成

表1 2 FBR遠隔保全技術の開発の概要

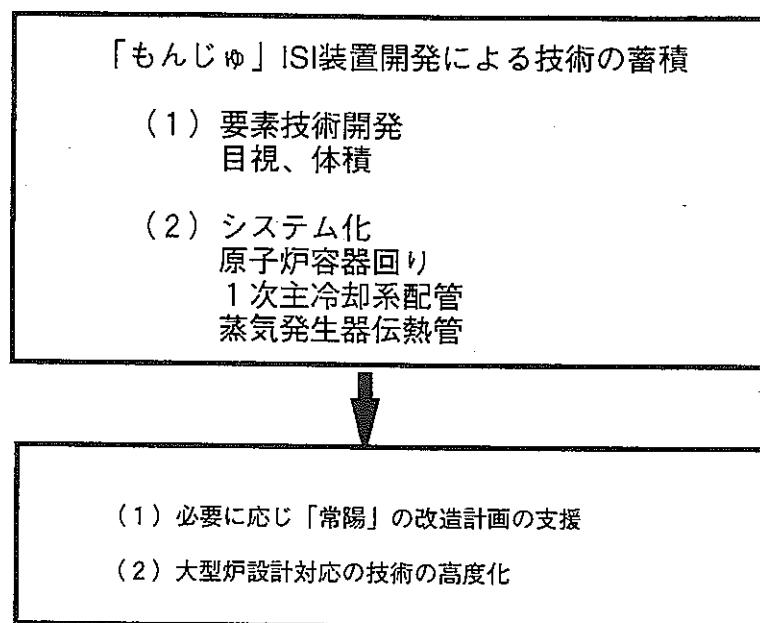


図1 0 「もんじゅ」供用期間中検査に関する事項の変遷

項目	年度	57	58	59	60	61	62	63	元	2	3	
安全審査、委員会検討		安全審査										
		○Na微量漏洩検出 検出量と時間		AVE委員会(安藤良夫主査)								
		○原子炉容器体積試験 基本計画は認容するも 試験検査の可能性を研究開発で追及すべき		○供用期間中の体積試験は、合理的な試験方法を策定すべき ○FBRのNa冷却材パウンダリに適する体積試験方法とその欠陥検出性について調査 ↓ ○欠陥検出率25-50%を目標に EMAT, ECTの非接触センサーが有望で開発を追及すべき								
大洗に於ける研究開発		技術調査	内眼試験センサーの開発 (ファイバースコープの開発)						伊藤義幸(ISI装置 研究開発(改良を含む))	PSI後の保守 ・点検、部品交換		
		技術検討	体積試験センサーの開発 (電磁超音波/EMATの開発)					ISI装置及び モックアップ装置 の製作	1次主冷却系配管 ISI装置研究開発	必要に応じ改良		
本社に於ける設計対応等		精道方式 (12穴)	無精道自走式 (3穴)					SG/ECT装置 研究開発	SG/UT装置 研究開発	PSI使用データ 作成		
				↑ 設計の変更				PSI ↓ 要素技術研究 ISI装置概念設計		PSI後の 改良		
										サイトに於ける PSI		

表13 モックアップ試験の意義

1、共通

開発した装置は、直接「もんじゅ」サイトのPSI及びISIで使用
…全体システムを研究開発で確認
ハード、ソフトともサイトと同等の条件で試験
…サイトで手直しをしない

2、原子炉容器まわりISI装置

温度条件(約200度)と障害物、変位を模擬
アクセス性、倣い性、制御性、信頼性をシステムレベルで検証
目視機器の検証、体積試験センサーの検証
スキャニング機構と信号伝送、検査装置の制御性の検証
様々な検査姿勢に対する押しつけ機構の検証
姿勢を考慮した駆動、旋回機構の妥当性
ファイルセーフの実証
ゴンドラと検査装置との同調性の確認(高温状態で)

3、1次主冷却系配管ISI装置

保温材着脱装置の成立性の実証
検査装置の走行再現性、精度の確認
温度の影響評価
作業性の検討
探触子の自動探傷時の性能確認

4、蒸気発生器伝熱管ISI装置の開発

位置決め装置の精度確保、バウンダリ保持の確認
挿入装置の条件の最適化、距離精度の確認
探傷プローブの耐久性、検出能(S/N比を含む)の向上
データ処理装置の信号自動分類、欠陥自動解析、信号検出位置同定

図12 体積試験データ処理の流れ図

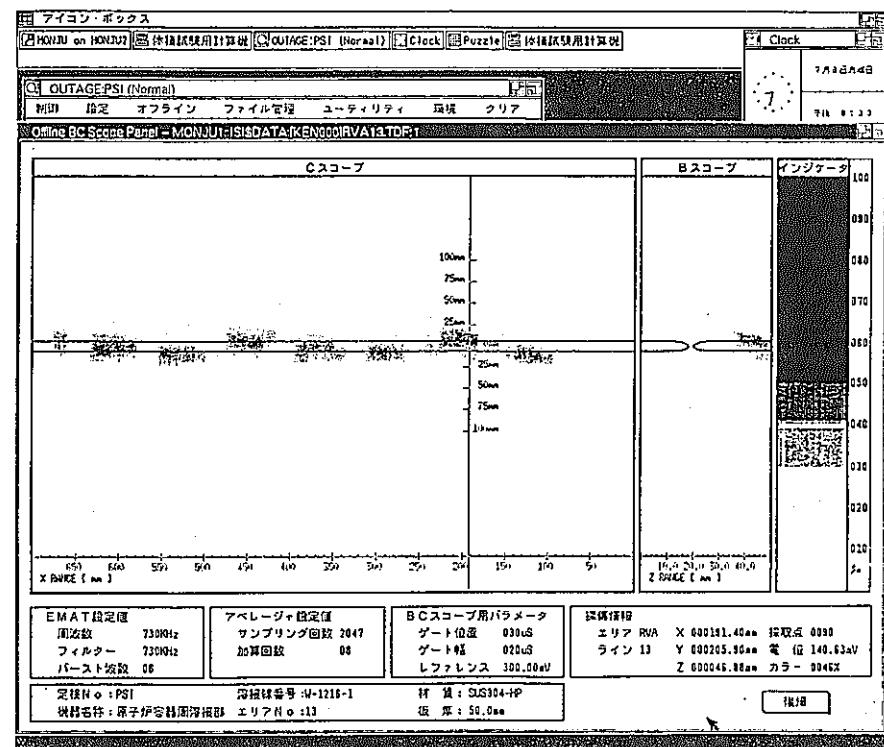
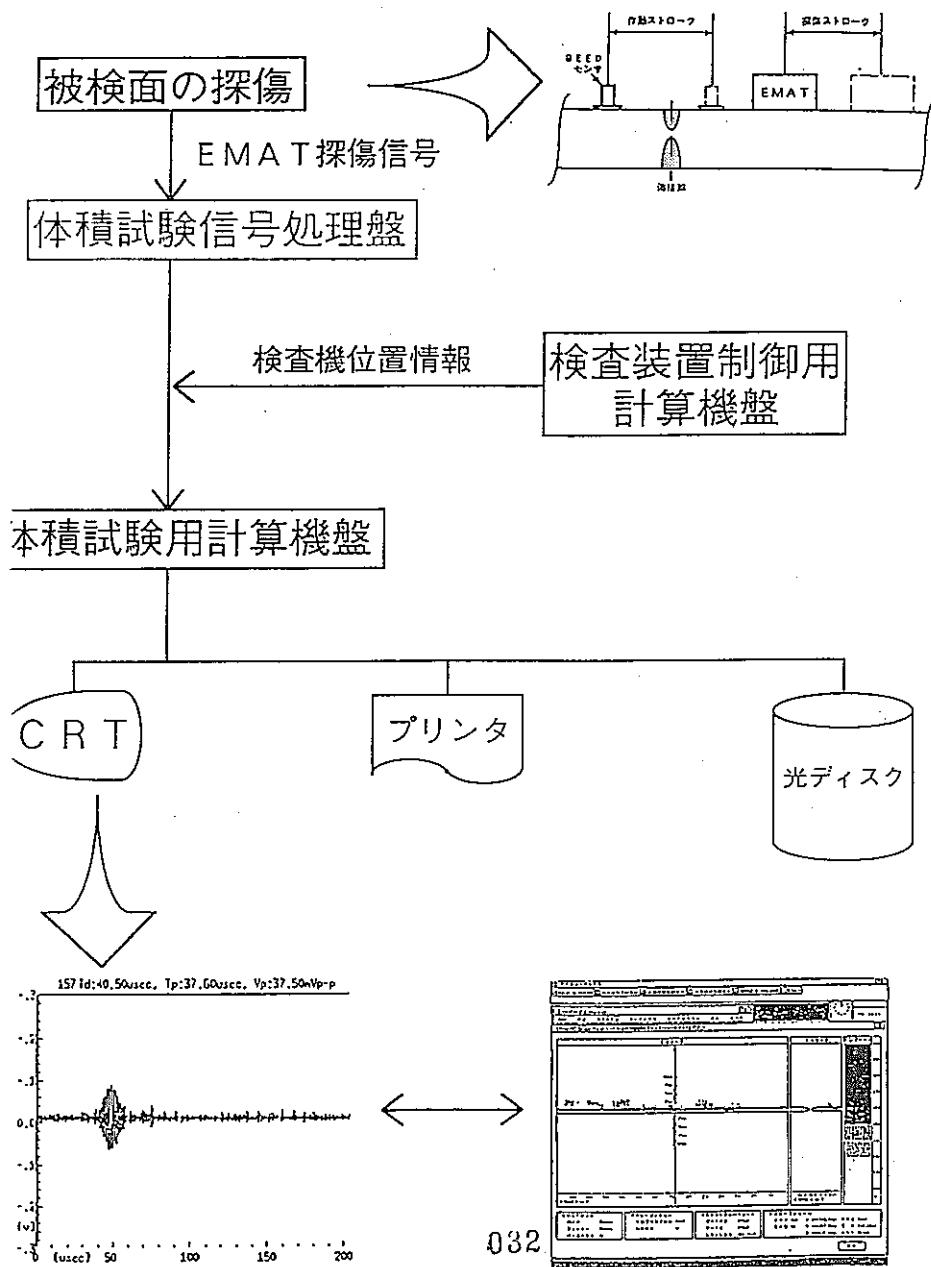


図13 体積試験検査データの一例

図11 肉眼試験のデータ処理の流れ図

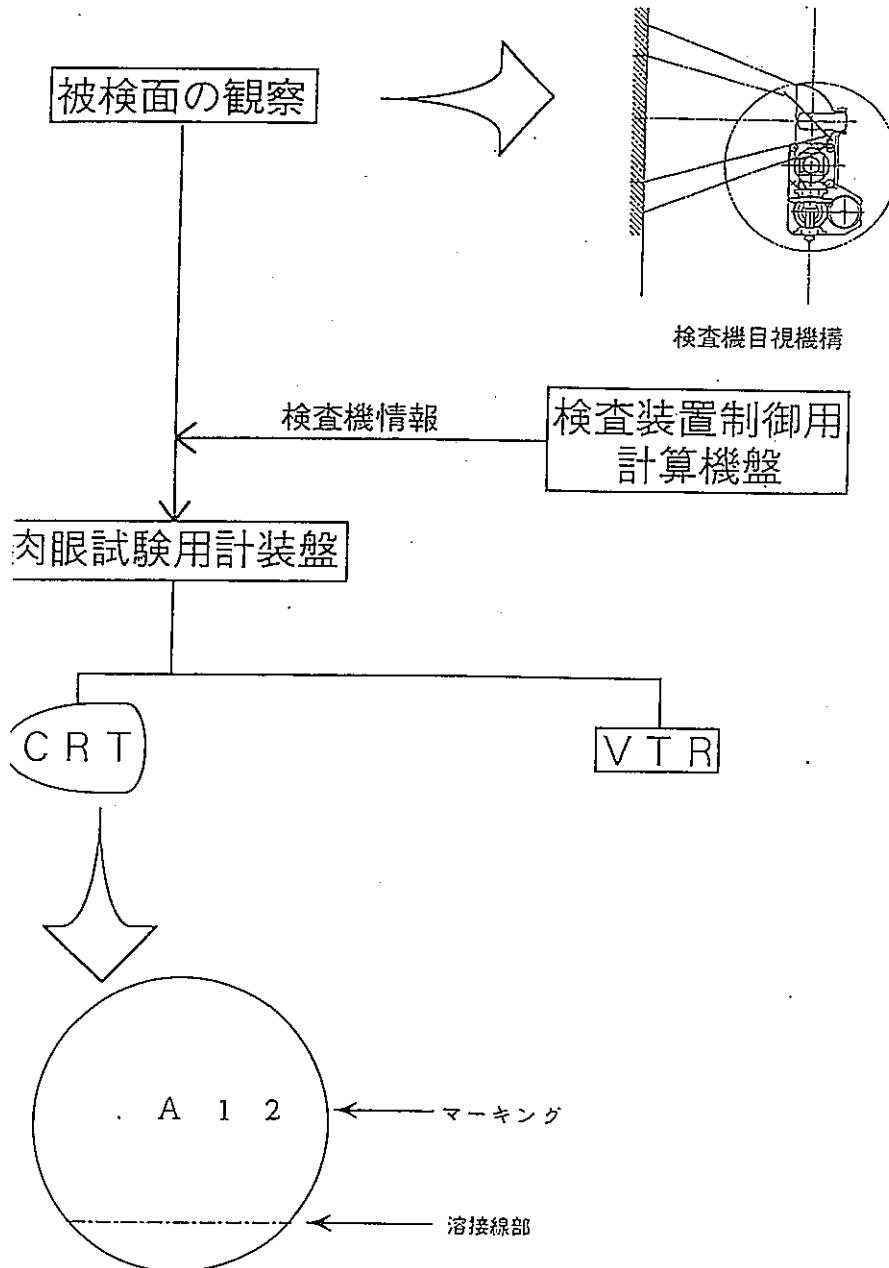


表14 検査装置の搭載センサの仕様

1. 目視用ファイバスコープ (目視検査用)

ファイバ種別	純粋石英コアイメージファイバ
画素数	30,000±3,000
画素間隔	10±1 μm
イメージサークル	1.8±0.2 mm
ファイバ外径	2.0±0.2 mm
全長	約4.4 m
対物レンズ材質	石英ガラス
視野角	28±4°
焦点位置	100 mm
最小曲げ半径	150 mm
使用温度範囲	240°C (MAX)
耐放射線性	1×10 ³ R/h×200h以上

2. 範磁超音波探触子 (EMAT) (非破壊検査用)

使用箇所	鏡部		
	50t用	100t用	14.3t用
屈折角	60°	45°	70°
周波数	高温 (240°C)	700 KHz	510 KHz
	常温	730 KHz	530 KHz
欠陥検出性能	20% tスリットを S/N=2以上		30% tスリットを S/N=2以上

3. BEDセンサ (溶接線検出用)

型式	電磁誘導方式
外形	φ12 mm×35 mm
位置検出精度	±1.5 mm
励磁周波数	10 KHz

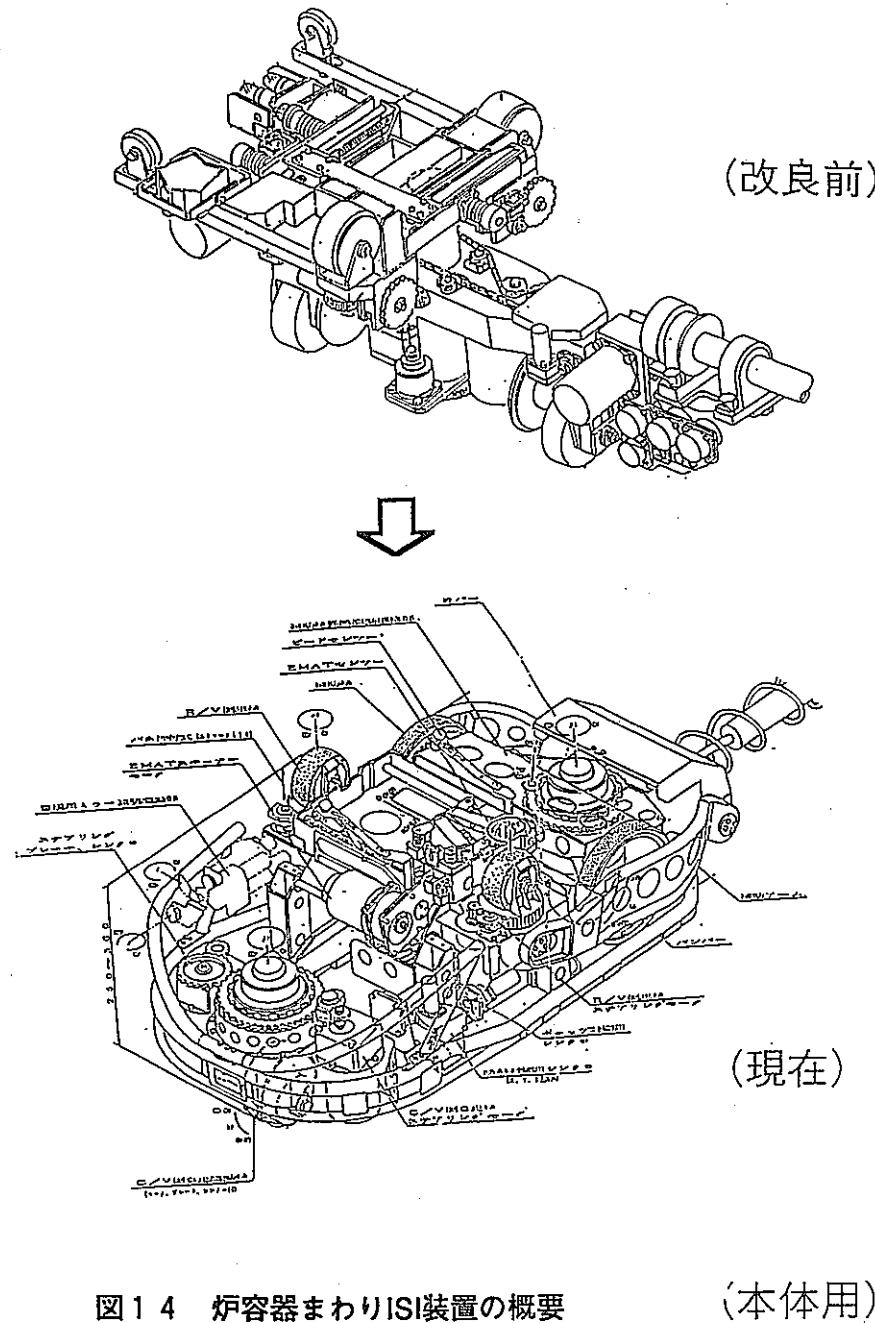
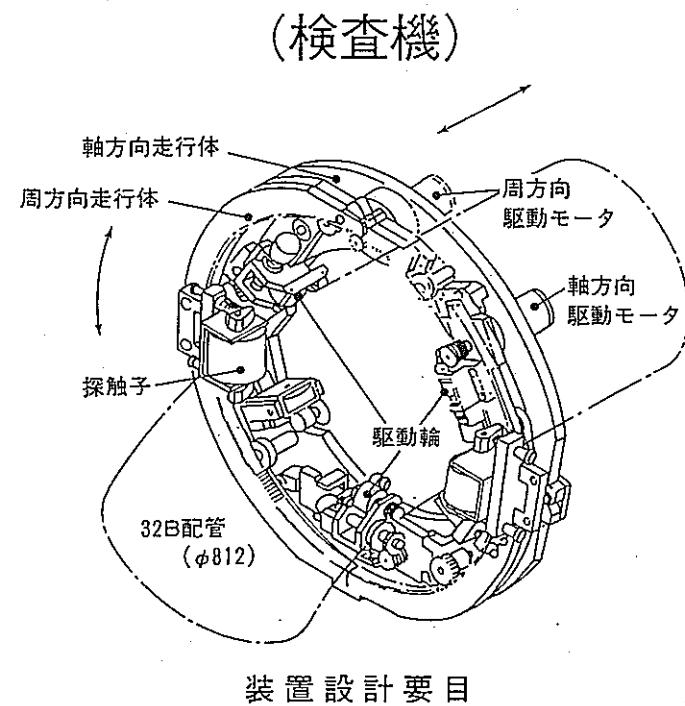
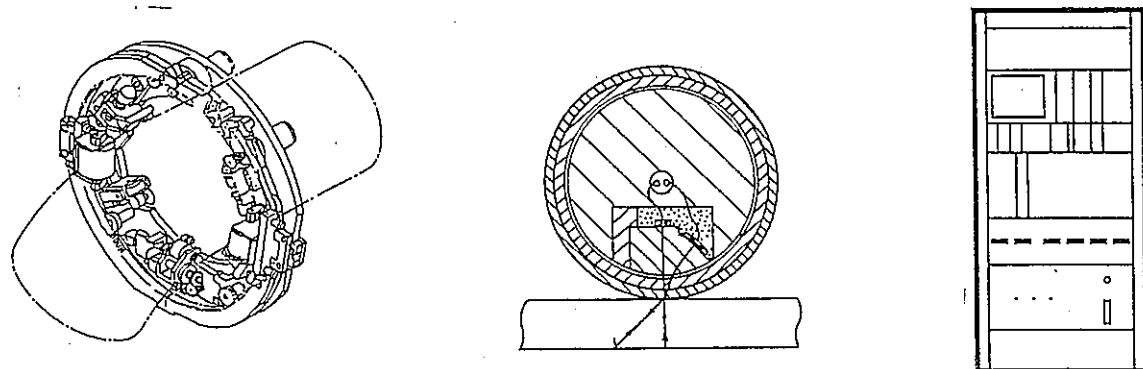


図15 1次主冷却系配管検査装置の概要



	超音波探触子	スキヤナ	超音波探傷装置
型式	ノンカプラント探触子	無軌道自走式	3チャンネルマルチ方式
仕様 主 項 目	(1) 屈折角度: 垂直、斜角(45°, 60°) (2) 周波数 垂直: 7 MHz 斜角: 3.5 MHz	(1) 探傷速度: 0 ~ 50 mm/sec (5段階切換) (2) 位置再現精度 周方向: ± 5 mm 長手方向: ± 5 mm (3) 重量: 38kg (探触子含む)	(1) チャンネル数 超音波探傷器: 3チャンネル ブリッジアンプ: 3チャンネル (2) 増幅度 超音波探傷器: 約80dB ブリッジアンプ: 約20dB
設計 条件	最高使用温度: 80°C	最高使用温度: 55°C	使用温度: 10 ~ 40°C



検査機

- ・走行精度の確保
- ・重量軽量化
- ・剛性の確保
- ・姿勢制御手法

ノンカフ ラント探触子

- ・探傷性能の確保
- ・内部構造の検討
- ・カップリング性能の確保

超音波探傷器

- ・遠距離感度の確保
- ・ノイズ低減対策

図16 装置開発上の課題

平面展開図

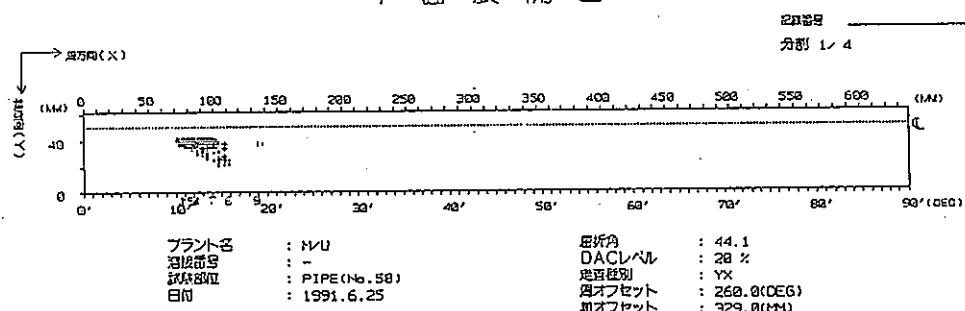


図17 検査の解析結果の一例

0 - 50%
50 - 100%
100%以上

蒸気発生器伝熱管（渦電流探傷装置） ISI 装置

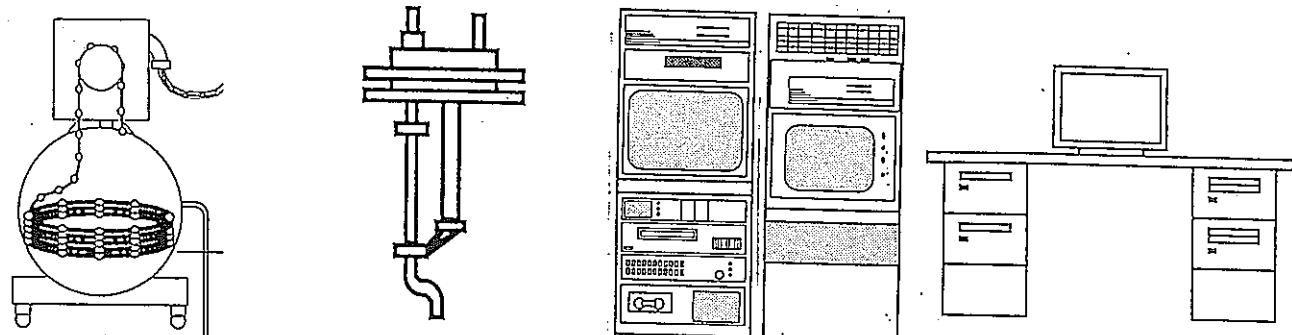
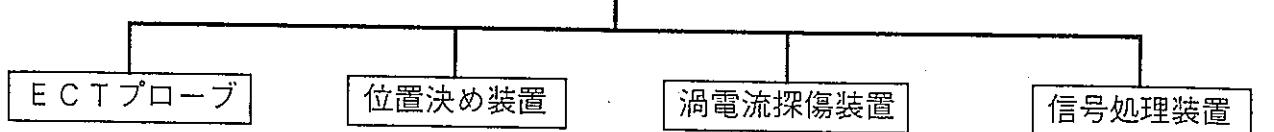
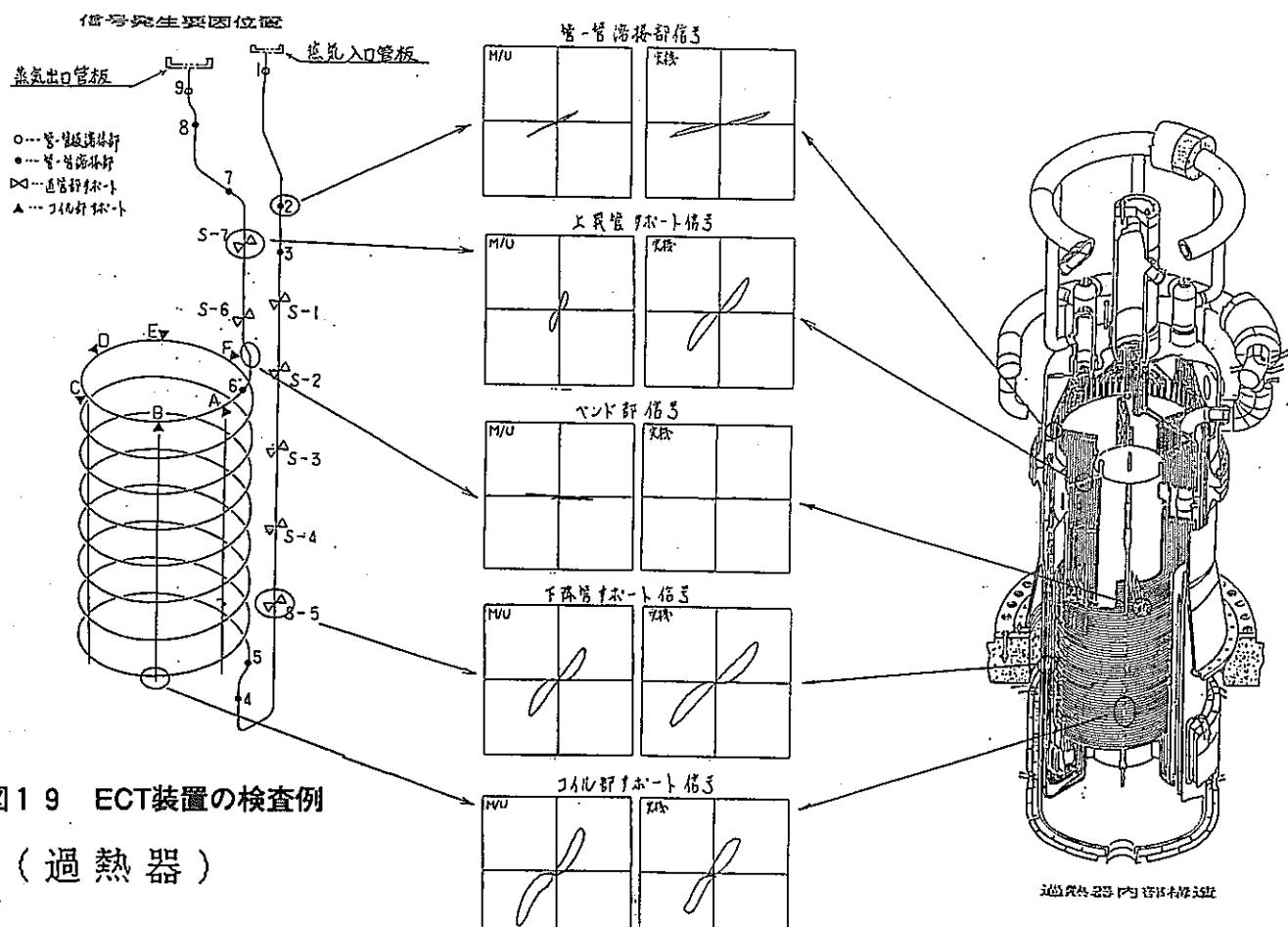


図18 蒸気発生器伝熱管（ECT）ISI装置の構成



キュリー点電磁石熱過渡応答性解析コードの開発

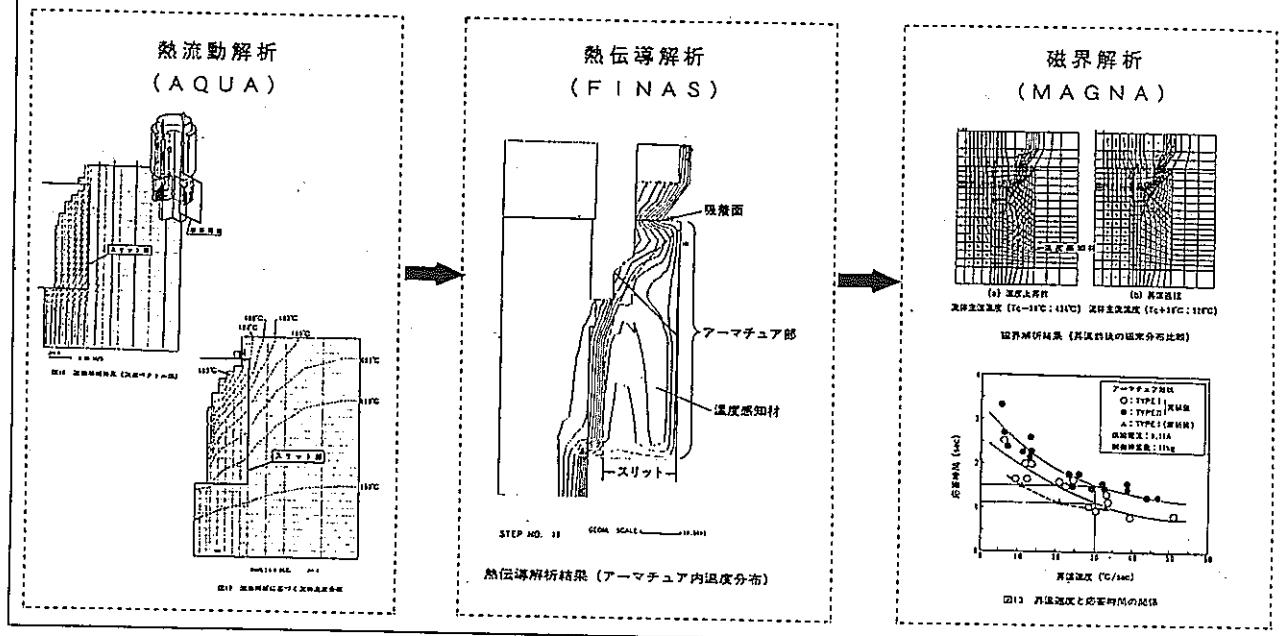
電磁石熱過渡応答性解析コード
(SASS-TAC)

図20 SASS解析コードの概念

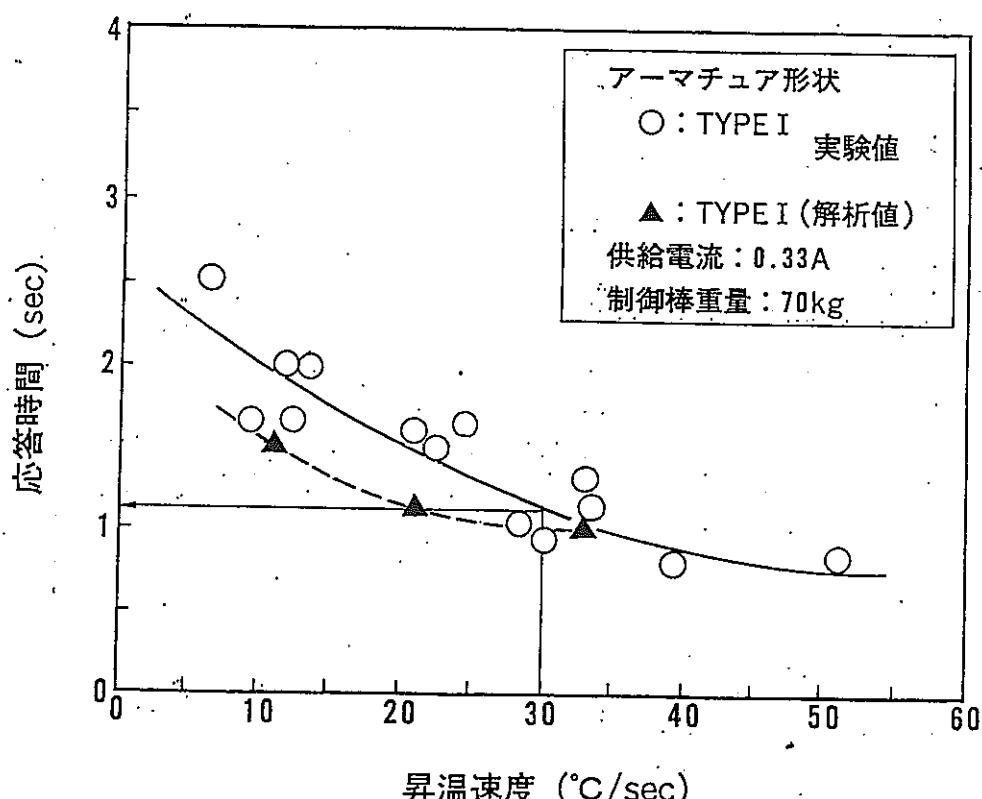


図21 热過渡応答特性の実験値と解析結果の比較

表15 「常陽」の実証試験の内容

(1) 第1ステップ

ダミー制御棒によるシステム試験

- 試験体システムの動作性、取扱性、リセット性の評価確認
- 誤作動を防ぐ観点からの適正起磁力(AT)の把握
- 核加熱の冷却材温度上昇による作動の確認
- 機能の健全性の確認
- 照射の影響評価

(2) 第2ステップ

吸収体を有する模擬制御棒を用いた、反応度抑制機能の実証

- 許認可性の実証
- 重力落下に伴う反応度影響の評価

(3) 第3ステップ

「常陽」の炉停止系への組み込み

- 許認可性の実証
- 耐久性と誤作動しないことの検証

表16 「常陽」の実証試験の意義

システム全体としての機能の確認を許認可性を見通した試験を行なうことにより実施する。

- (1) 機能の確認
- (2) 誤作動に対する裕度の確認
- (3) 炉内における機能の有効性の実証
- (4) キュリーポイント電磁石の耐放射線性の実証
- (5) システム全体の過渡応答性能
- (6) SASS作動時の反応度抑制効果の検証

新型炉停止機構 炉内機能確認試験工程

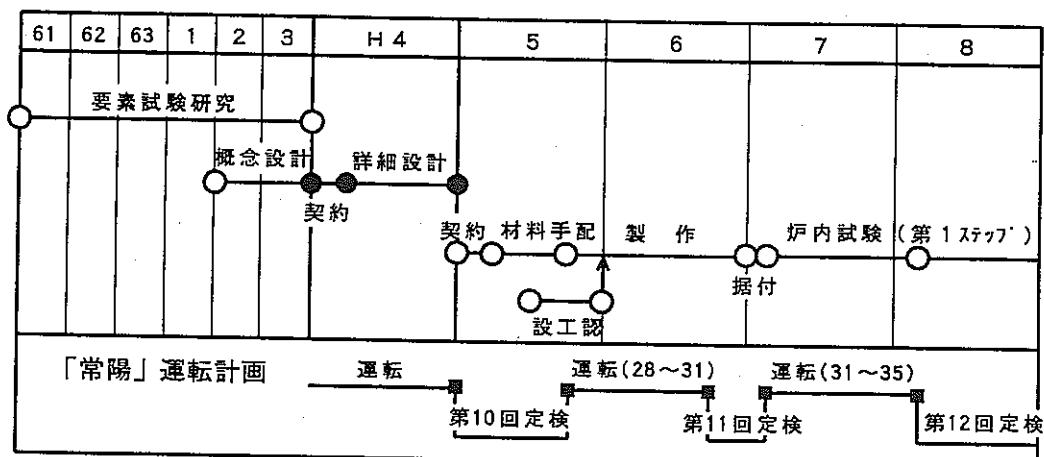
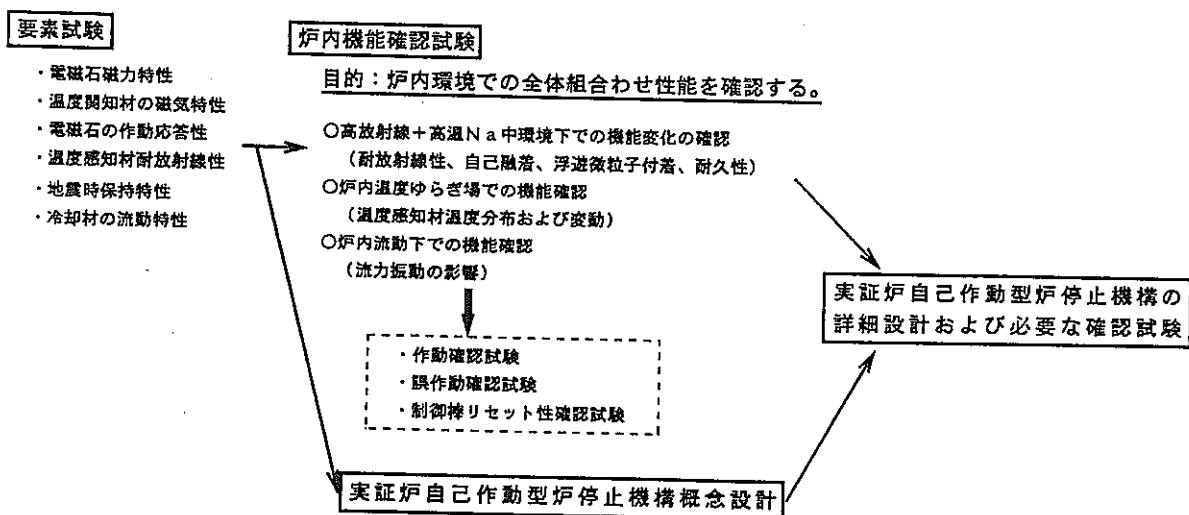


図22 SASSの実証試験実施工程

表17 開発手順と炉内機能確認試験の目的



炉内機能確認試験の試験項目および方法

作動性確認試験	誤作動確認試験	制御棒リセット性確認試験
<ul style="list-style-type: none"> 炉出力を上昇させ、制御棒落下および作動温度を確認 据付け直後および長期運転後確認 <p>A : 引抜状態</p>	<ul style="list-style-type: none"> 制御保持状態で制御棒が誤落しないことの確認 低出力時および定格運転時に確認 <p>A : 低出力運転時 B : 定格運転時</p>	<ul style="list-style-type: none"> 挿入状態の制御棒が正常に据み、引抜けることを確認 <p>A : 挿入状態 B : 保持状態 C : 引抜状態</p>
・高放射線性+高温 Na中での機能確認	○	○
・炉内温度ゆらぎ場 での機能確認	○	○
・炉内流動下での 機能確認	○	○

図23 炉内機能確認試験の試験項目および方法

表18 炉外、炉内試験における確認項目比較

炉外、炉内試験における確認項目比較

		炉外試験	炉内試験
材 料	<ul style="list-style-type: none"> 電磁石コイルの耐放射線性 電磁石コイルの耐熱性 温度感知材の耐放射線性 温度感知材の耐熱性 	×	○
コンポネント	<ul style="list-style-type: none"> 地震時保持特性 冷却材流動特性 電磁石の磁力特性 電磁石の熱過渡応答性 振動吸収機構の機能確認 温度感知材と鉄心材との溶接部健全性(放射線) 耐自己融着性(耐熱性) 高温保持力性能安定性 制御棒切り離し性能の安定性 	● ○ ● ● ● × ● ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
シス テム	<ul style="list-style-type: none"> 冷却材の流動特性 地震時保持安定性 冷却材中浮遊微粒子の付着による保持力変化の有無 振動吸収機構の機能 温度感知材と鉄心材との溶接部健全性(放射線) 制御棒保持特性の安定性(高温下) 制御棒保持特性の安定性(耐放射線性) 制御棒のリセット機能 耐自己融着性(耐熱、耐放射線) 制御棒切り離しの安定性(耐熱、耐放射線) 	○ ○ × ○ × ○ ○ ○ △ △	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

- 試験可能
(要素試験実施済 ただし短時間)
- 試験可能
- △ 一部試験可能
- ✗ 試験不可能

表19 平成3年度のまとめ

- (1) 全般的に予算の逼迫もあり進捗状況は芳しくない。(期限付きのISIを除く)
- (2) 特に次年度の予算がつかないテーマについては、一旦成果を集約し再構築
- (3) 今後の展開が確認されたテーマはさらに検討を深める。
- (4) 遠隔保全技術については、「もんじゅ」PSIと必要に応じた改良を継続し、合わせて大型炉用に技術の高度化を検討

第2分科会の活動内容と今後の計画

1. はじめに

第2分科会は、究極的には実用炉における2次主冷却システムの削除を目的として、また中期的には「常陽」での同システムの実証を目標としており、このため平成3年度も分科会の開催や推進会議での報告等を通して関係する研究開発の調整を行ってきた。今年度末はたまたま2次系削除システムの開発研究の第1回C&Rの時期に当たっていることから、現在までの研究開発の進捗を振り返って3年度を中心とした成果の評価を行うとともに、今後の展開への基本姿勢を明らかにする。

2. 平成3年度までの成果

9項目に分類した研究・開発テーマごとの主な成果は以下のとおり。

(1) 2次系削除システム安全論理の構築

「常陽」2次系削除システムを対象にしたナトリウムー水反応の影響についての予備評価を行い、反応生成物収納系を削除した状態でも圧力バウンダリの健全性が保持できること、炉内流路閉塞防止の観点からは初期リーク率約1000g/secが保守的な仮定の下での許容限界であるという結果を得た。

(2) プラント・システム設計

「常陽」において、『D B E=貫通リークなし、B D B E=微小リーク』なる安全論理を確立する上で不可欠と考えられるリーク検出系への要求条件の摘出を行い、中間系ガスとしてNeを選定するとともに、内管／外管リーク検出系、貫通りーク検出系（水素計、音響計）への具体的な要求条件を求めた。

(3) 高信頼性SGの開発

平成3年10月から小型モデル試験を開始し、熱流動試験を実施して基本伝熱流動特性を確認するとともに、DNB挙動、不安定流動等2重管SGの構造健全性を評価する上で重要なデータの蓄積を行っている。また同時に、SG評価コード類(BOST, POPAI, Super-COPD等)の2重管SGバージョンの整備が進展している。

(4) 技術基準類の整備

高温強度設計基準整備の一環として、Mod. 9Cr-1Mo鋼の材料強度基準値を充実を図っているが、特に設計疲労曲線については国内材疲労データが集積されて来て従来の暫定式の保守性が明らかとなってきたので適正裕度を有するものへの見直しを行った。また、材料強度基準値充実のための、水・蒸気中腐食疲労試験の準備を行っている。

(5) 構造信頼性評価手法の整備

確率論的構造信頼性評価法を用いた亀裂進展解析コードを開発し、1重管先行炉及び2重管SG伝熱管の信頼性評価を行い、DNB振動の影響並びに ISIの効果が大きいという結果を得た。また、ナトリウム加熱SGの破損経験データベースの構築を行い、ほぼ整備を完了した。

(6) 2重管LBB成立性の検討

決定論的亀裂評価手法に基づく内圧不安定計算法の検証を行うため内圧不安定破壊試験

の準備を実施した。

(7) 2重管伝熱管リーク検出システムの開発

内管リーク検出システム要素試験を実施し、中間流体(He, Ne, Ar等)と通気特性の関係や酸化スケールの生成状況を求め、またスケールの生成量が水質調整と関係ないという結果を得た。さらに、検出系の多様化の観点から高温湿分計の基本特性を確認した。

(8) 2重伝熱管保守・補修技術の開発

2重管I S I手法について、文献サーベイ等調査を行っている。

(9) 安全評価手法整備と影響緩和技術開発

水素気泡溶解挙動解析コードHYBACを開発し、同コードと50MWSGデータを用いたナトリウム中水素拡散係数の推定値に基づき、実用炉体系での予備解析を実施した。また、片側リーク検出系の作動を無視した場合の安全裕度を確認するため、微小貫通リーク発生時のセーフティマップを作成した。

3. 平成3年度までの評価のまとめと今後の展開

3.1 評価のまとめ

全体としての研究進捗度を概観すると、以下のとおり。

- ① 第1次基本計画策定(平成2年3月)後の工程は、予算面での制約もある中で一定の進展を見せていているといえる。
- ② ただし、個々のR&Dテーマを見ると遅れ始めているものもあり、進捗に不整合が生じている。
- ③ ハード面では、小型モデルSG試験がほぼ順調に開始され、有用なデータの蓄積が期待できる。
- ④ ソフト面では、伝熱管構造健全性評価手法や安全評価手法の開発に着実な進展が見られる。

3.2 C & R対応

第1次基本計画においては、3年度末の第1回のC&Rでのチェック対象として次の4項目を挙げているが、それぞれに対して以下の評価を下すことができる。

① 伝熱管の基本特性確認

昭和62年～平成元年のフィーバリティ研究の中で、2重伝熱管の製作試験、要素試験を行い、2重管の熱的特性、機械的特性、通気特性等を定量的に明らかにすることことができた。各種2重管方式の中でも、特に密着型と組網線型の優位性が確認された。また、現在実施中の小型モデル試験により、さらに詳細な伝熱特性が得られることになる。

② 伝熱管破損検出系の基本特性確認

内管リーク検出システムに関しては、フィーバリティ研究、基礎試験、要素試験等を通して、湿分計による基本的な検出特性と内管破損検出の有効性の見通しを得るとともに、湿分特性評価コードALPHAの開発を行った。現在は、検出計多様化の観点から高温湿分計の開発に着手している。また、外管リーク検出システムについては、まだ概念検討の段階に止まっているが、平成4／5年度には要素試験により特性評価を実施する予定であり、全体の工程を引っ張るような遅れとはならない。

③ 内・外管の独立性に関する成立性の見通し

内外管の独立性を述べるために、貫通に至るような亀裂進展の無いこと及び内外管同時破損の無いことを明らかにする必要があるが、それぞれ構造信頼性評価手法の開発及びLBB 成立性の検討の中で実施している。前者については、評価手法の整備が進み、1重及び2重伝熱管への適用計算をとおして評価手法の妥当性の確認など具体的な成果も得られつつある。テーマが大きいだけに現時点での成立性を明言することはできないが、今後統計的破損率類推法を整備するためのデータベースの充実などにより、論理の補強が可能と期待される。後者については、④参照

④ LBB 論理の適用性の見通し

LBB 成立性の検討については、不安定破壊評価法の整備が行うなどR&Dを進めているが、まだ適用性の見通しを明らかにする状況はない。しかし、上記評価法の整備に加えて、リーグ検出システムの開発などの成果を入れた検討を行うことにより、見通しを明らかにできると考える。

3.3 今後の展開

以上の結果をまとめると、個々には研究開発の遅れなどいくつかの問題があるが、全体としては一定の進展を見せており、今後、個々のテーマの進捗の差や「常陽」工程の変化を考慮に入れて第1次基本計画の見直しを行った上で、研究の継続を行うことが望ましい。但し今後、予算の逼迫、研究者の不足という両面からの圧迫が予想されることから、従来以上に重点的な研究開発の推進を図る必要がある。具体的には、

- ① 2重伝熱管構造健全性の確認
- ② リーグ検出系の信頼性向上によるLBB の適用性確認
- ③ 安全論理の確立と安全評価手法の整備

を重点的に行う必要があると考える。また、2.で挙げた9テーマは有機的に深く絡んでおり、1つのテーマで得られる成果・知見が他の部所で実施中の他のテーマに不可欠であることがほとんどであり、これまで以上に横の連携を強め、情報・データの柔軟な移転を図る必要がある。さらに現状の体制で不足していると思われるシステム設計や安全評価の領域の専門家を巻き込んだ開発体制の整備が必要である。

PROFIT推進会議資料

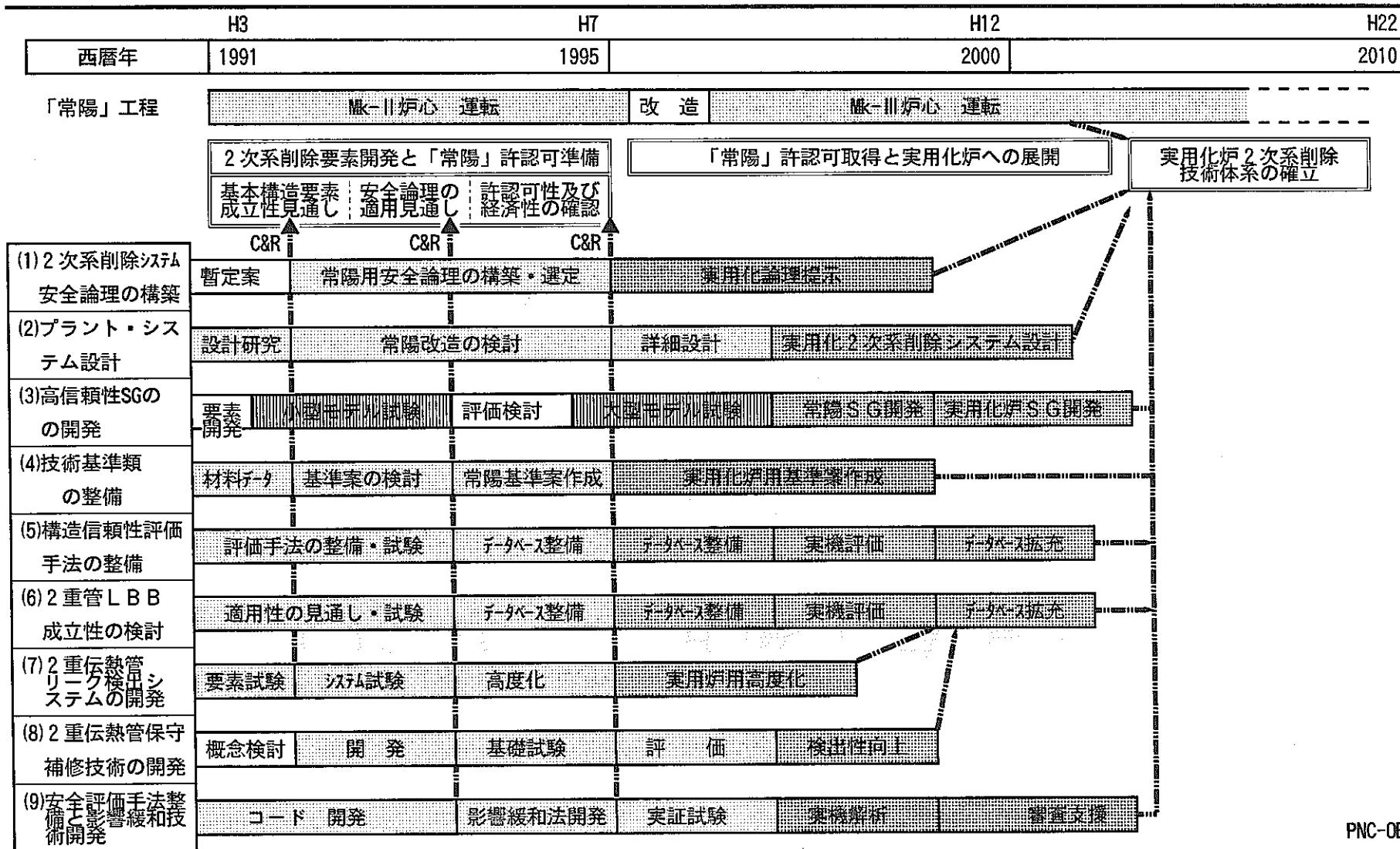
第2分科会

－2次系削除システムの開発・実証－

1992年3月11日

大洗工学センター

2次系削除システムの開発・実証－今後の展開－



関連 R & D の実施状況（平成 3 年度）

	研究項目	実施内容	実施箇所
(1)	2 次系削除システム 安全論理の構築	「常陽」での反応生成物影響評価	技術課
(2)	プラント・ システム設計	「常陽」リーク検出系の条件抽出	技術課
(3)	高信頼性SG の開発	小型モデル試験	機器室
(4)	技術基準類 の整備	材料強度基準の整備 Na - 水蒸気環境効果評価法の高度化	材料室
(5)	構造信頼性評価 手法の整備	構造信頼性評価法の開発	構造室
(6)	2 重管 LBB 成立性の検討	内圧破壊試験準備	構造室
(7)	2 重伝熱管リーク 検出システムの開発	内管リーク検出要素試験	機器室
(8)	2 重伝熱管保守・ 補修技術の開発	2 重管 I S I 技術の調査	機器室
(9)	安全評価手法整備と 影響緩和技術開発	水素気泡溶解挙動解析コード開発 セーフティマップの作成	機器室

(1) 2次系削除システム安全論理の構築

「常陽」での反応生成物の影響予備評価 (実験炉部・技術課)

[目的]

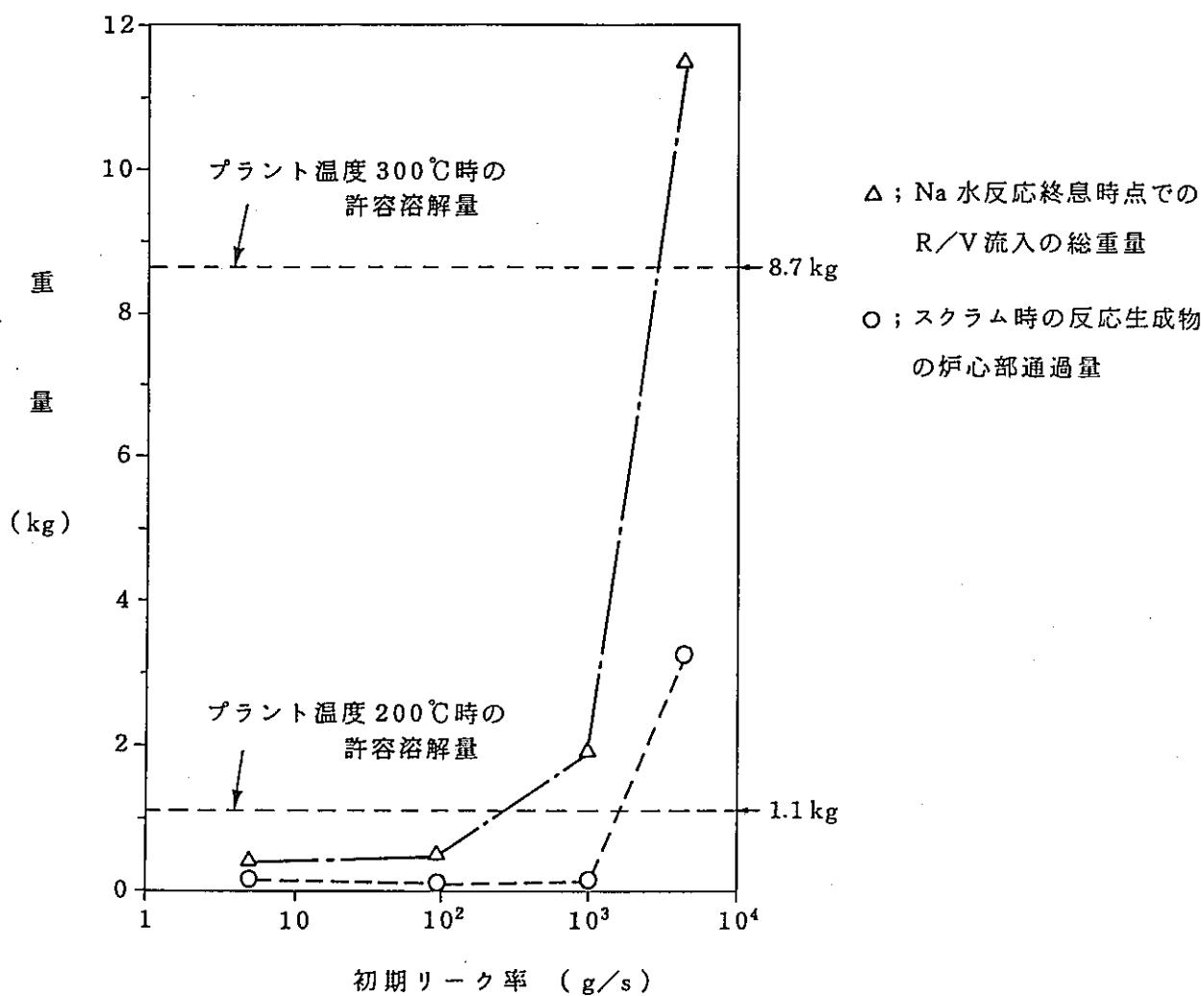
「常陽」 2次系削除システムにおいては、伝熱管破損規模として、「DBE = 貫通リークなし」、「BDBE = 微小リーク」を選定し、また更に 1DEGまでの破損を想定した場合でも、圧力開放系／反応生成物処理系の削除が可能と考えられることから、事故時のプラント影響評価を行った。

[評価結果]

発生圧力： 発生する最大ピーク圧力は許容圧力を充分下回り、
バウンダリが破損することはない。

炉心冷却： 反応生成ボイドの混入によっても、スクラム時、
スクラム後を含めて、充分な炉心冷却能力は確保
される。

反応生成物移行： 水リーク率 1000 g/sec 以下ならば、炉心内
での未溶解反応生成物による炉心内流路閉塞
は発生しない。



図

初期リーク率と反応生成物量

〔結論〕

- ① 「常陽」 2次系削除システムの特徴ともいえる、ナトリウムー水反応事故に対する安全裕度の大きさが確認された。
- ② 安全評価の過程では、いくつかの仮定や簡略モデルを用いており、今後一層評価手法の高度化を図る必要がある。

(2) プラント・システム設計

「常陽」でのリーク検出系への要求条件の抽出 (実験炉部・技術課)

[目的]

まず、「常陽」プラントでの伝熱管リーク検出システムへの要求条件を具体的に明らかにし、安全論理の構築に繋げていく。

リーク検出系への要求条件

第3流体： 「常陽」制御棒はベント型で、⁴He のバックグラウンドが高いことから、Neを第3流体として選定する。

内管リーク検出系：0.01mmφ相当の内管リークを3時間以内に検出

外管リーク検出系：0.01mmφ相当の外管リークを3時間以内に検出

Na中水素計： 微小～小規模貫通リークを破損伝播以前に検出

音響計： 中規模の貫通リークを対象として、水リーク量を1本ギロチン破断相当の75 kg 以下に押さえることを目標とする。

(3) 2重管SG小型モデル試験

[研究の目的]

2重管SG - 2次系削除システムの成立性、許認可性を見通す。

[研究の内容]

(1) 構造健全性の評価

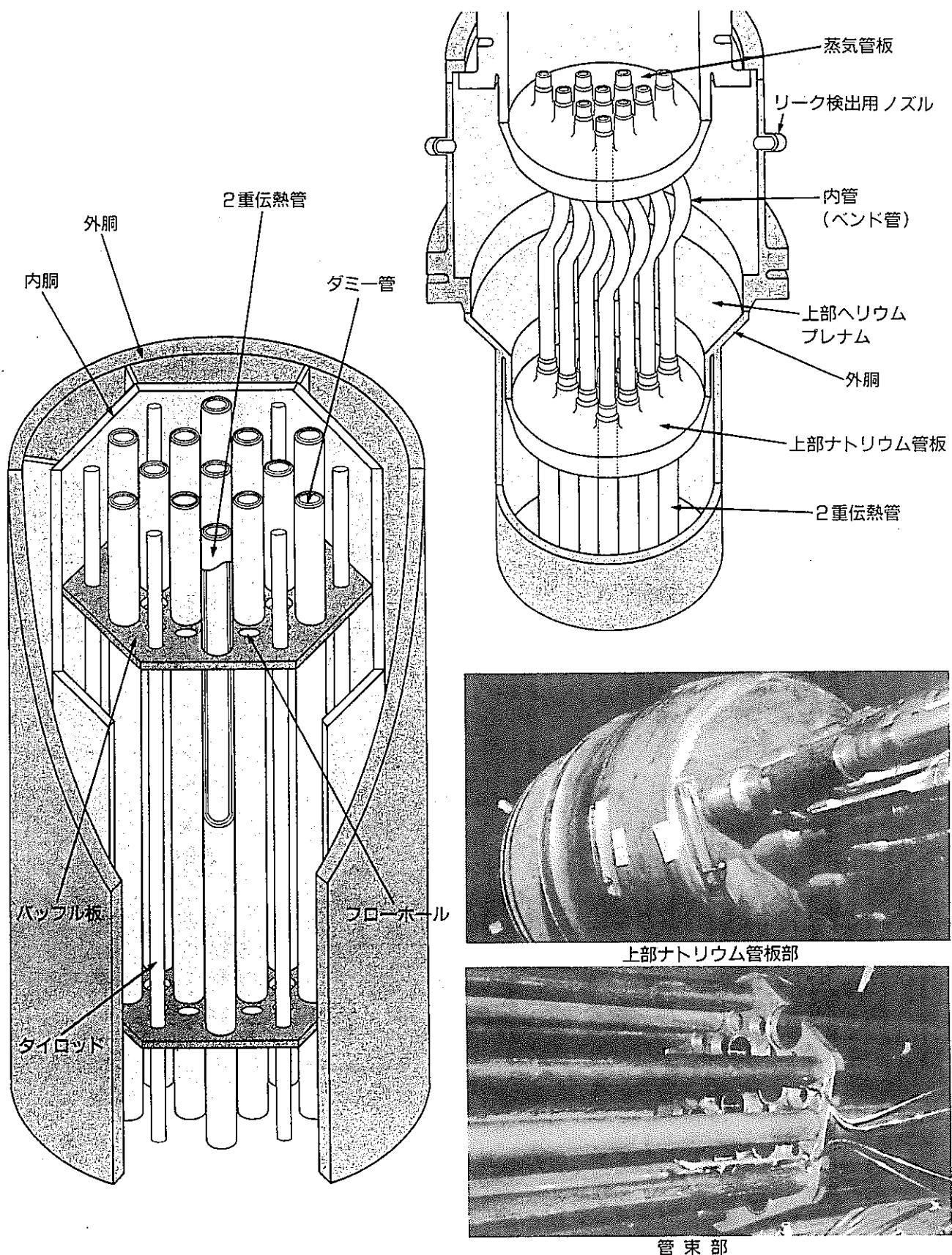
- ① DNB温度振動挙動
- ② 構造健全性評価の基礎となる伝熱流動特性
- ③ 水側流動不安定現象の発生限界
- ④ 熱過渡条件下での過渡応答データ

(2) リーク検出システムの開発

(平成4年度実施予定)

(3) その他、成立性評価の観点から必要なテーマ

- ① 2重管面圧緩和挙動
- ② 水素透過量



熱流動試験

[目的]

熱応力の評価の際に基礎となる伝熱流動の基本特性を明らかにする。

[結果]

- (1) 内外壁ギャップの熱抵抗として $3 \sim 5 \times 10^{-5}$ [$m^2 h^\circ C / kcal$] なる値を得た。
- (2) DNB 相関式としては、KHIの式が士10%以内の誤差で最も良く一致した。
- (3) 伝熱相関式としては、定格流量の場合は、現状ベースの相関式で比較的良い一致が得られるが、低流量の場合には新たな相関式の提示が必要である。

[POPAI-6 による試験解析結果]

解析条件

伝熱相関式

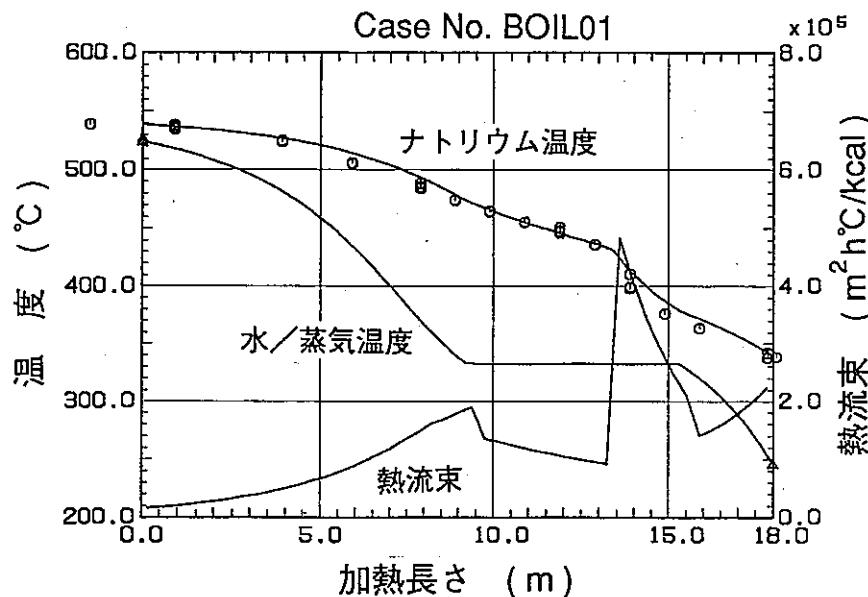
ナトリウム側 ; Graber-Rieger

水／蒸気側 ; 予熱域 ----- Dittus-Boelter, 核沸騰域 --- Mod.Thom
膜沸騰域 --- Mod.Bishop, 過熱域 ----- Mod.Bishop

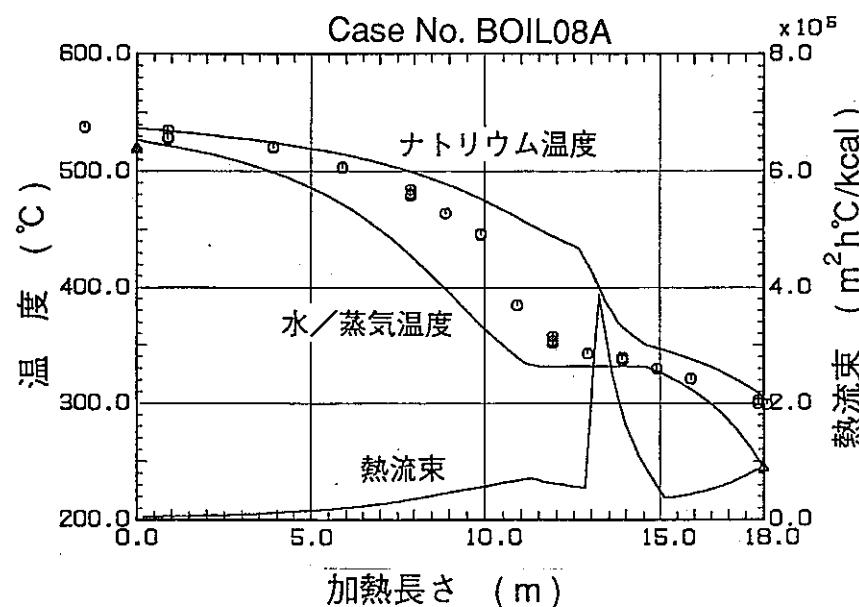
DNB相関式

; KHI

(1) 定格時

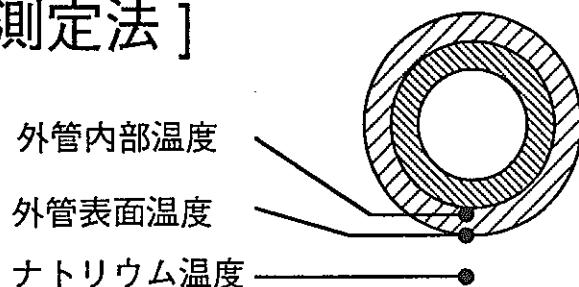


(2) 40%負荷時



DNB挙動予備試験

[測定法]

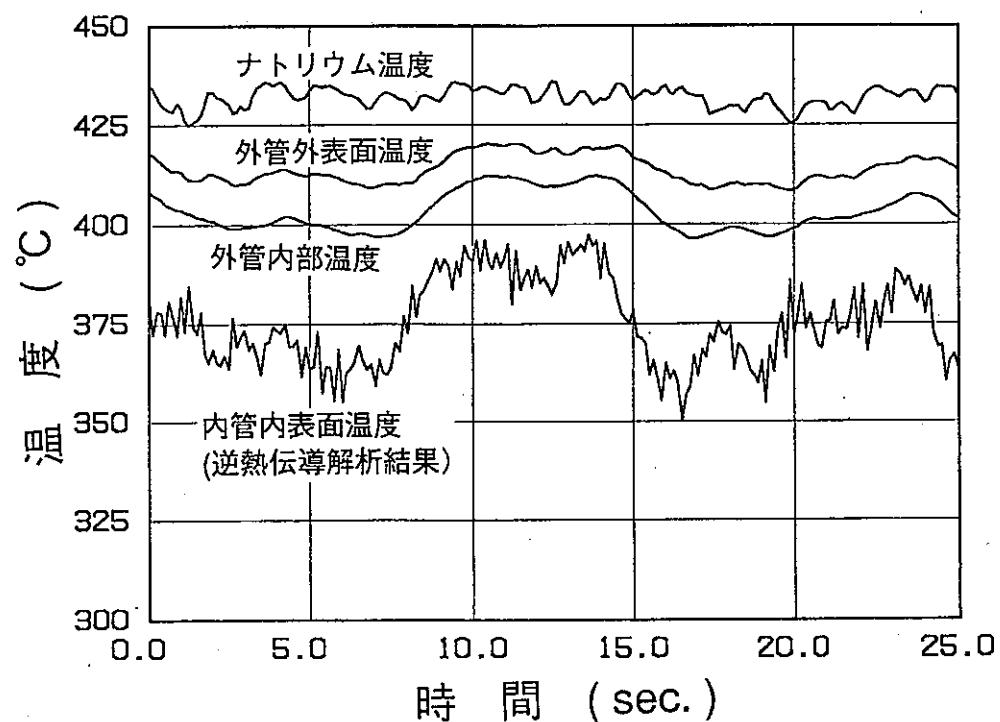


[逆熱伝導解析]

ナトリウム温度と外管内部温度
から、内管内表面温度を計算

[結果]

内管内壁温度;
振幅 ----- 約 10 °C
(川重より大)
振動数 --- 0.3 ~ 0.6 Hz
(川重と同程度)



不安定流動試験

【評価項目】

- 不安定流動による伝熱管の座屈限界
- 不安定発生時の伝熱管疲労損傷

【評価方法】

- 伝熱管の座屈限界

- 1) 試験結果から流量変動の周期、振幅をS-COPDに入力し、伝熱管平均温度、蒸気出口温度を求める。
- 2) 伝熱管平均温度と座屈限界温度を比較し、座屈評価を行い、蒸気出口温度と計測結果を比較する。

- 伝熱管疲労損傷

- 1) 伝熱管のDNB点における内外管温度をFINASに入力して伝熱管の応力解析を行い、疲労曲線から疲労損傷評価を行う。

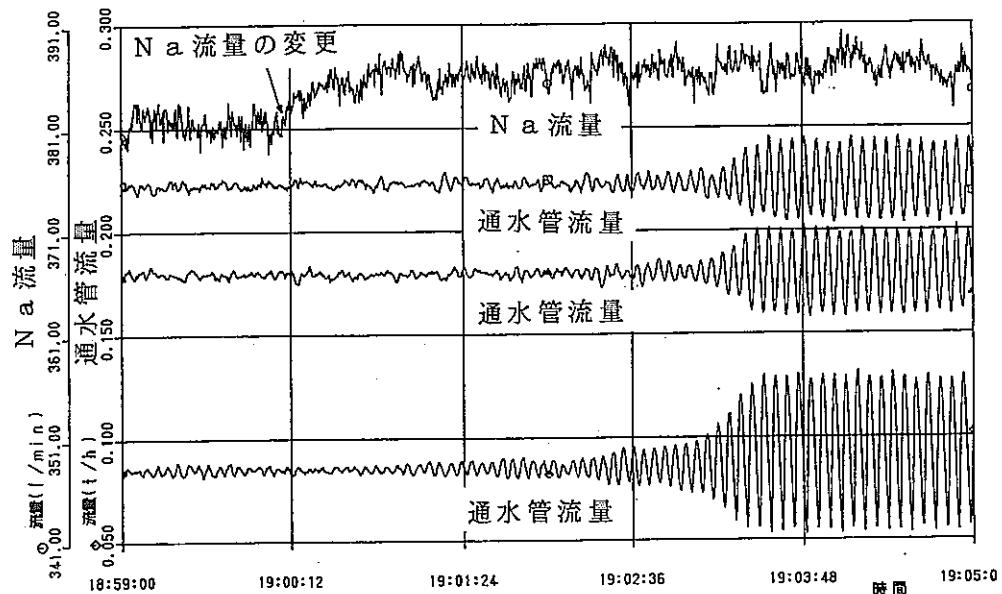
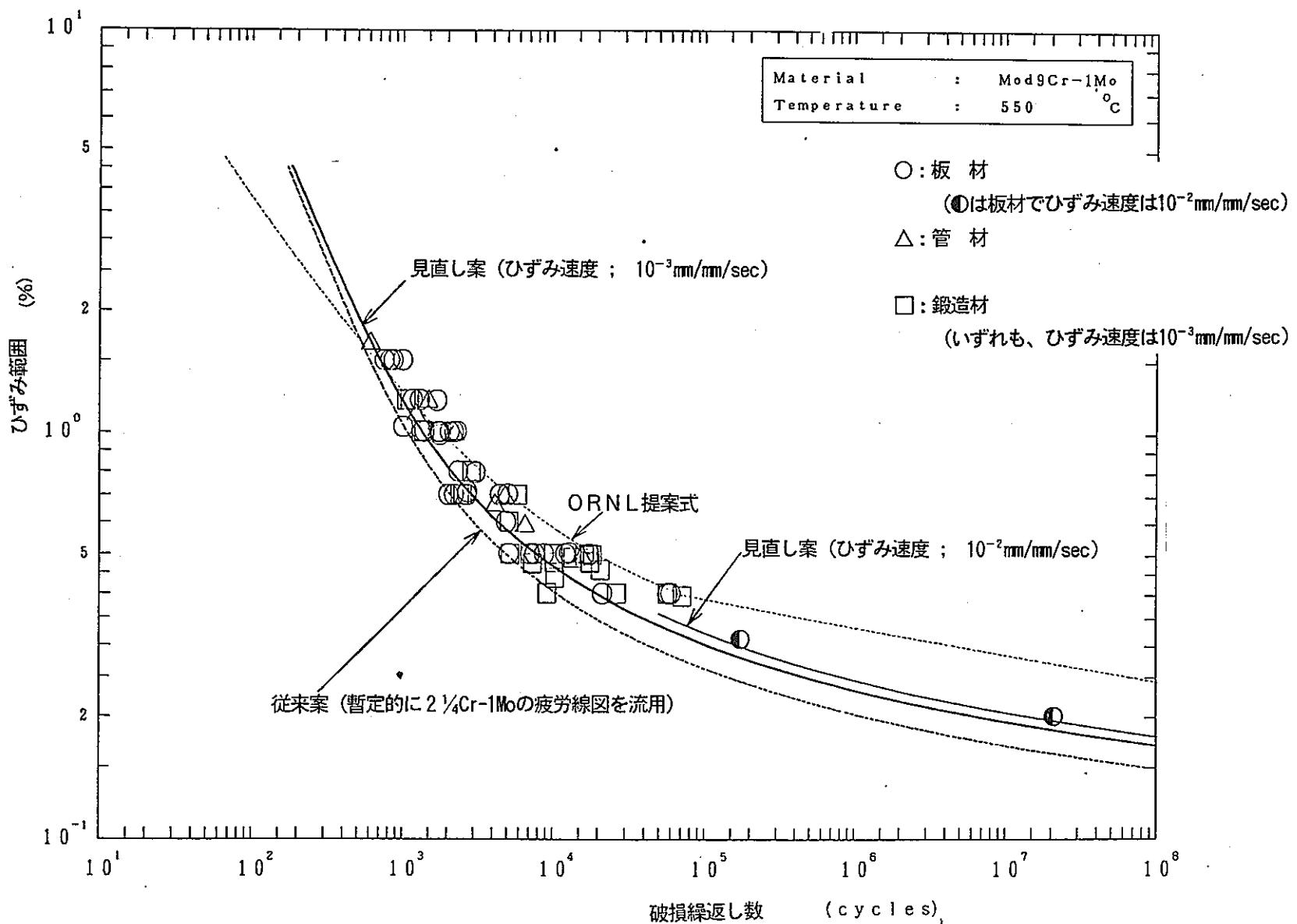


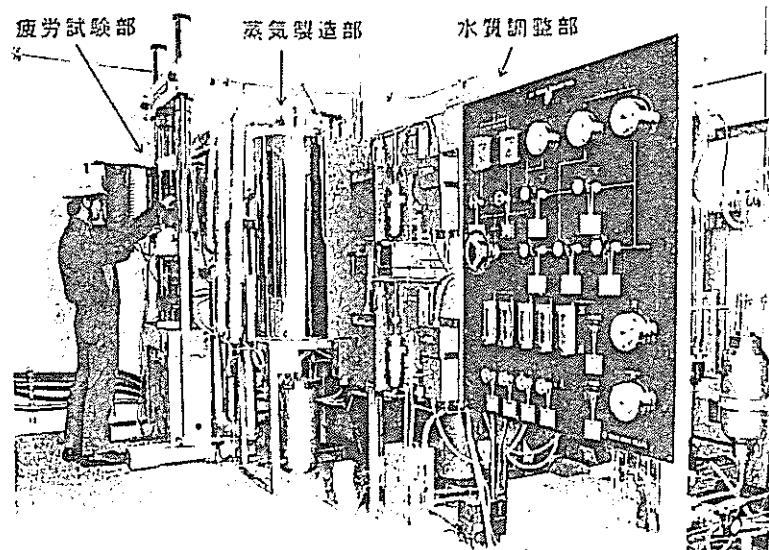
図 流動安定性試験結果

(4) 改良 9Cr-1Mo鋼の代表的な材料強度基準値の現状

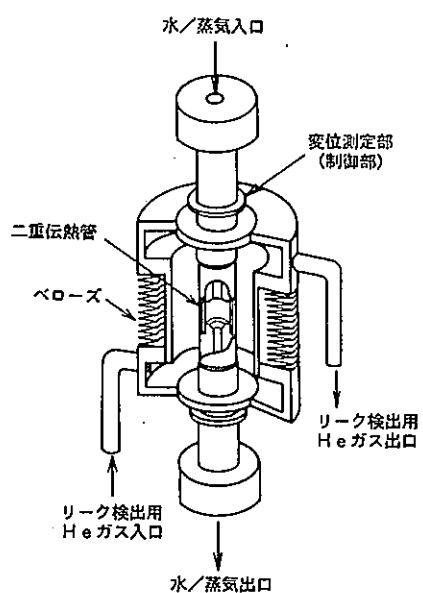
		改良 9Cr-1Mo鋼
設計応力強さ	S_m	
設計降伏点	S_y	
設計引張強さ	S_u	} 国産データの統計解析による。 (昭和61年10月)
設計クリープ破断 応力強さ	S_c	国産データの統計解析による。 (昭和61年10月)
設計疲労曲線 $\epsilon_t - N_d$		国産材疲労データが集積されたので見直し中。
設計緩和強さ クリープひずみ式	S_r	改良 9Cr-1Mo鋼データを用いて策定し検証。策定法は 2 1/4Cr-1Moとの類似についての考察に基づくもの。 (平成元年)
重力的応力-ひずみ式線図		疲労データの統計解析による。 (昭和62年)



改良 9Cr-1Mo鋼の疲労線図と関連する温度、ひずみ速度における疲労データ



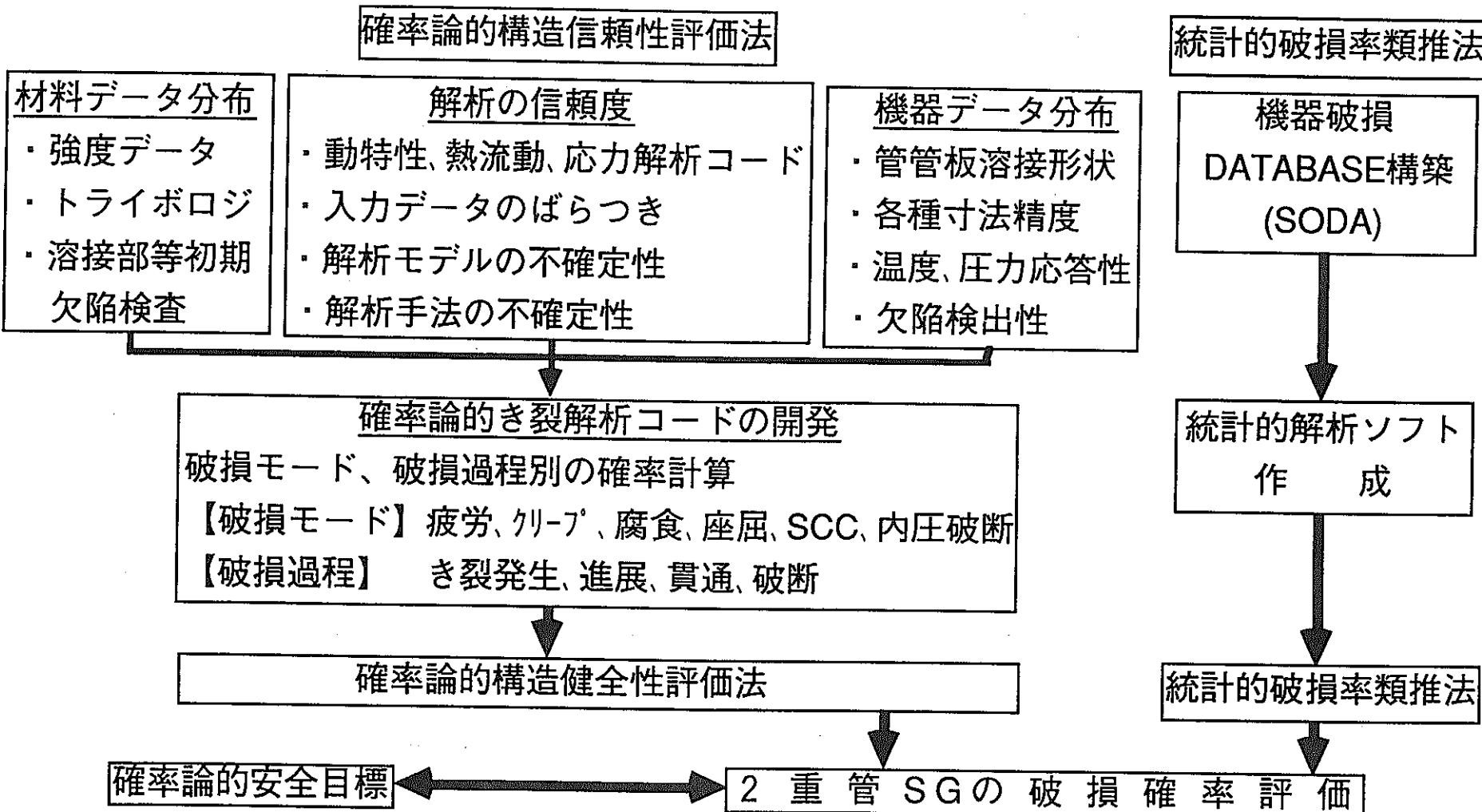
水／蒸気中腐食疲労試験装置



試験片詳細図

(5)

構造信頼性評価手法の開発



統計的破損率類推法の開発

データベースの構築

- (1) ナトリウム加熱型蒸気発生器総数17基について破損事例を調査⇒15施設で破損経験
- (2) 公開文献などの調査は最終段階にある
- (3) パソコン上のデータベース構築はほぼ最終段階にある

統計処理プログラムの作成

- (1) 統計的破損率計算プログラムの作成に着手
- (2) 改良度因子の設定法についての検討に着手

従来事故の分析

- (1) 破損事故の発見
 - (a) 破損事故の大部分はPSIまたは定検中に発見される
 - (b) 事故発生要因は製造時の欠陥やSCCによるものが圧倒的に多い
- (2) 運転開始後の破損事故

溶接部のスラグ巻き込み、ブローホールの見落としや残留応力の未処理による低サイクル疲労、製造および検査ミスによるもの、流力振動等による高サイクル疲労を要因とするものが多い

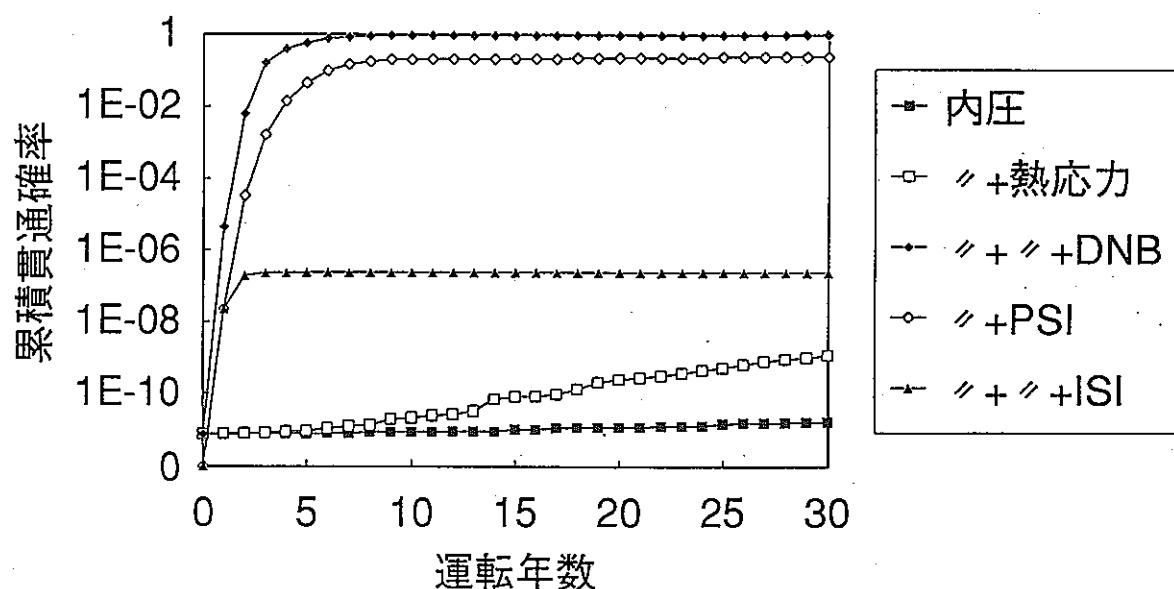
先行炉単管SG伝熱管の信頼性評価結果

- (1) 先行炉単管SG伝熱管のき裂貫通確率は 10^{-4} から 10^{-7} /30年
SG 1 基の伝熱管本数を150本とすると、信頼度は0.985～0.999985
- (2) 先行炉単管SG伝熱管の破断確率は 10^{-15} から 10^{-16} /30年
SG 1 基の伝熱管本数を150本とすると、信頼度は1.00
- (3) 貫通、破断確率に影響の大きい因子

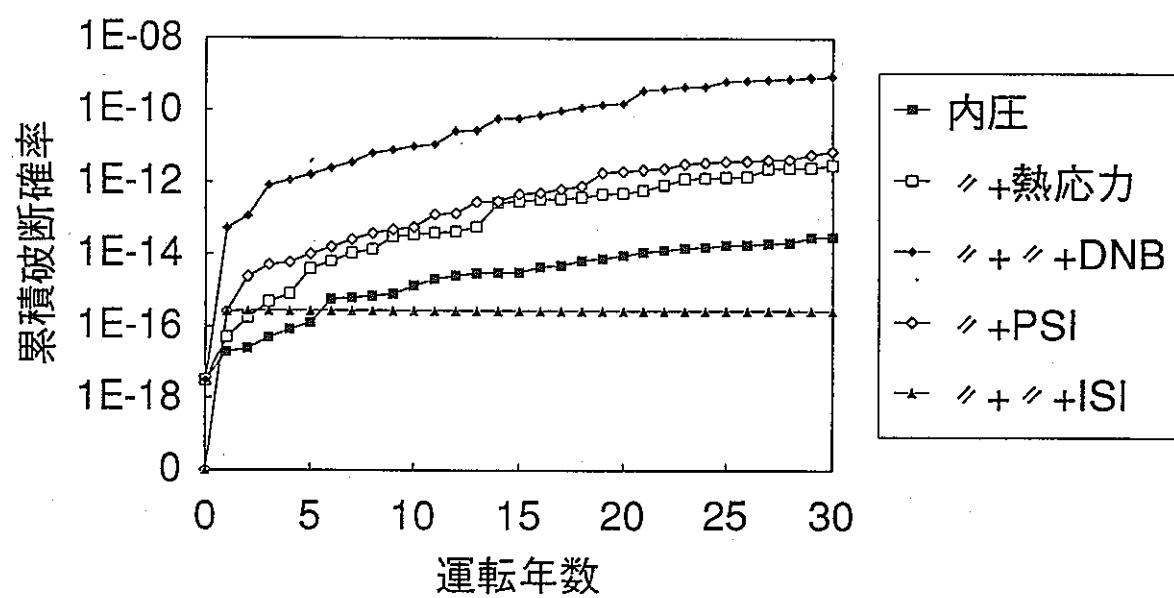
【荷重】板厚内温度勾配による熱応力に比べ、DNB振動による高サイクル疲労の影響が顕著である

【PSI】運転開始前に寸法の大きなき裂を取り除くため、寿命を通じて累積確率が低下するが、その効果は顕著でない

【ISI】検出限界寸法を上回るき裂を削除するため、運転開始から数年で累積貫通・破断確率はほぼ一定となり、その効果は顕著である。また、検出限界寸法を向上させることによって、更に累積貫通・破断確率は低下する



先行炉蒸気発生器伝熱管の累積貫通確率



先行炉蒸気発生器伝熱管の累積破断確率

2重伝熱管型SG伝熱管の信頼性評価結果

(1) 内管貫通確率は外管貫通確率に比べて10桁以上高い

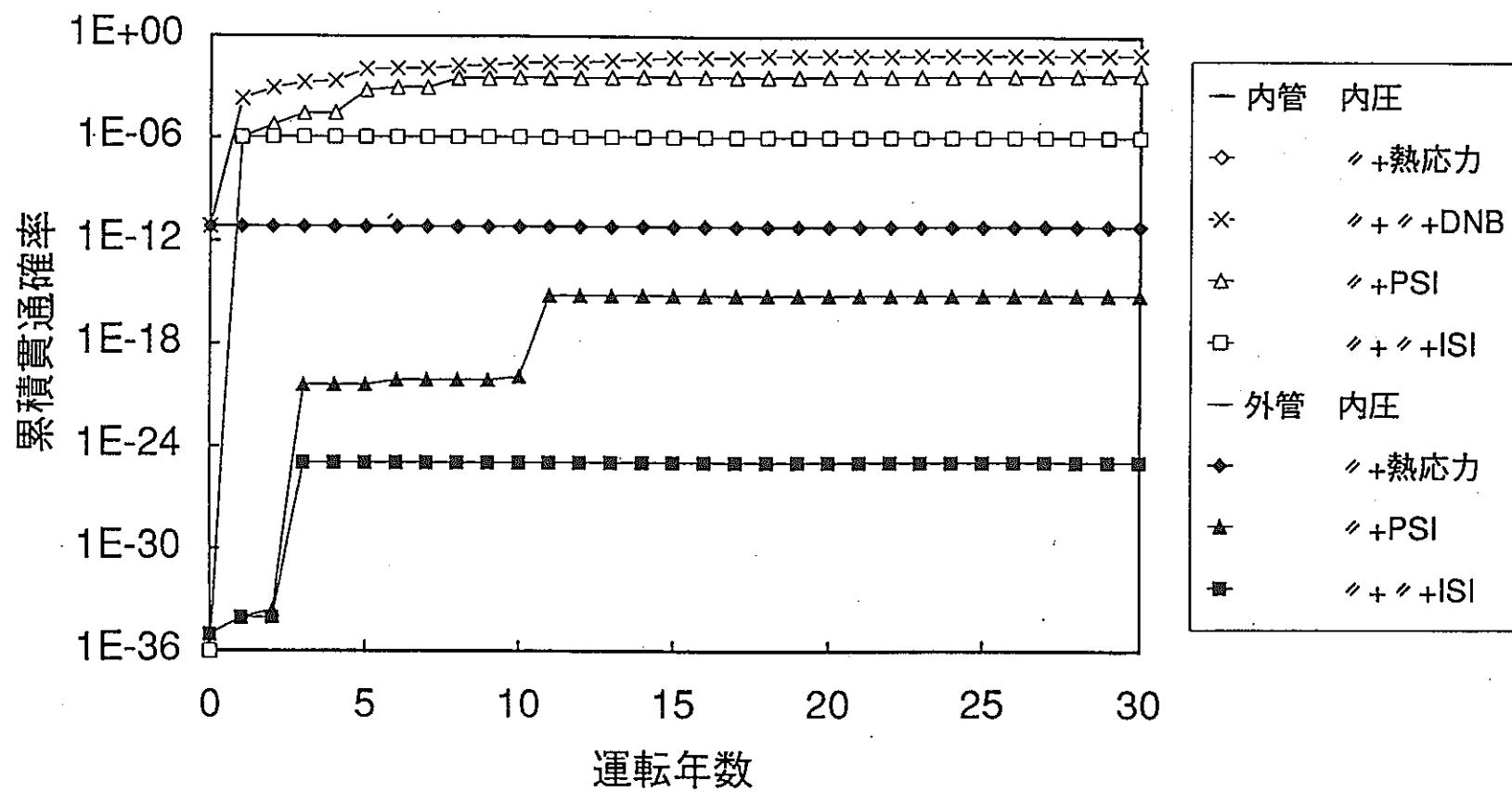
【原 因】

- 内管は外管に対して内外圧差が大きい
- DNB振動の周期は比較的短いため、本計算ではDNB振動による応力は内管のみに発生するとした

(2) PSI、ISIの効果は先行炉伝熱管（単管）の場合と同様である

(3) 2重伝熱管では内外管の荷重分担（特に、DN振動による応力）によって計算結果が大きく変化する ⇒ 荷重の明確化が肝要

(4) 内管貫通確率に対して外管貫通確率が10桁以上小さいことから、内外管同時貫通事故を防止する上で、内管リーク検出システムの検出精度の向上が肝要である



二重伝熱管の累積貫通確率の暫定評価結果

(6)

2重伝熱管LBB成立性の検討

目的

- 2重伝熱管LBB成立性を検討するために、決定論的破損評価および確率論的破損・破壊評価を行なう
- 基本的な評価手法の妥当性を、伝熱管の破壊試験によって検証する

-83-

手法および関連試験研究

- 決定論的き裂評価手法に基づく内圧不安定計算を実施する
- 内圧不安定破壊試験：基本的な評価手法の妥当性を検証する

(平成3年度：室温試験、平成4年度：高温試験)

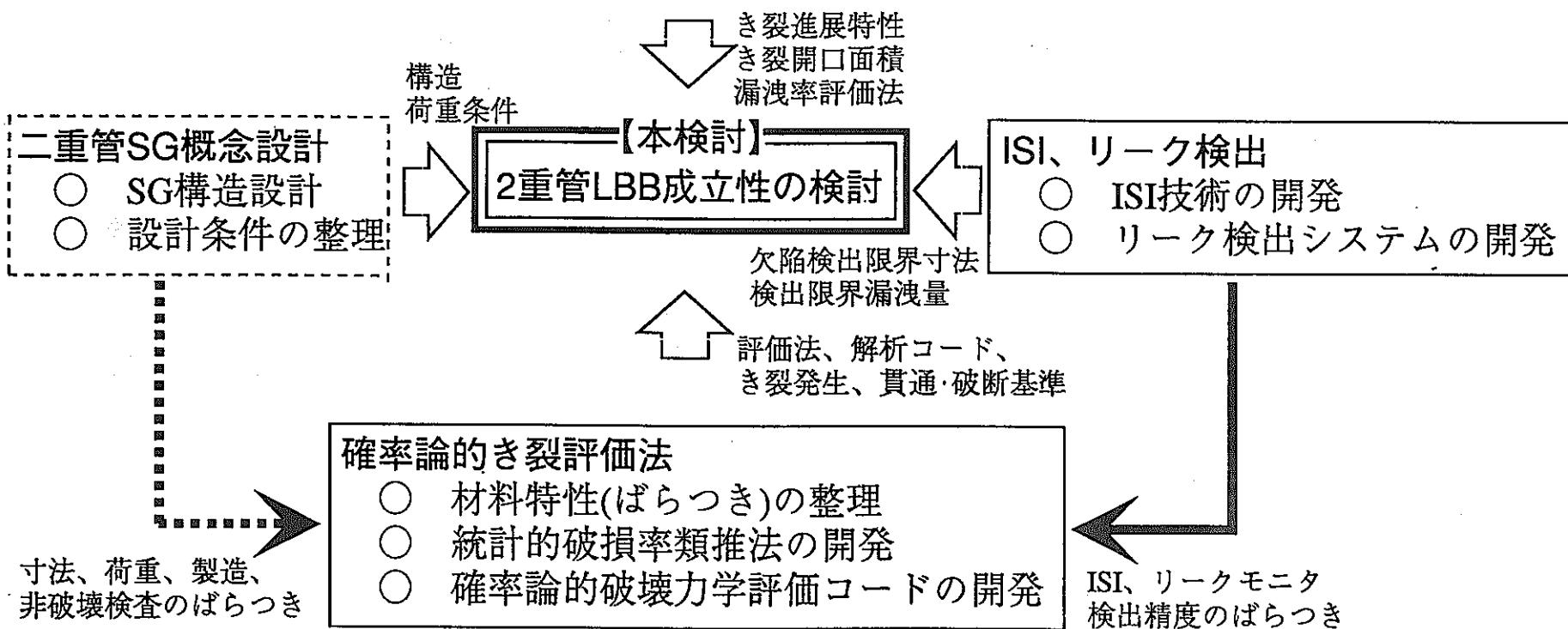
決定論的き裂進展評価法

(1) 安定き裂進展評価法

- 疲労・クリープき裂進展特性の把握
- き裂解析法、板厚貫通基準の開発

(2) 不安定破壊評価法の開発

- 破壊靭性特性の把握
- 不安定破壊解析法、不安定破壊基準の開発



(7) 2重伝熱管リーク検出システムの開発

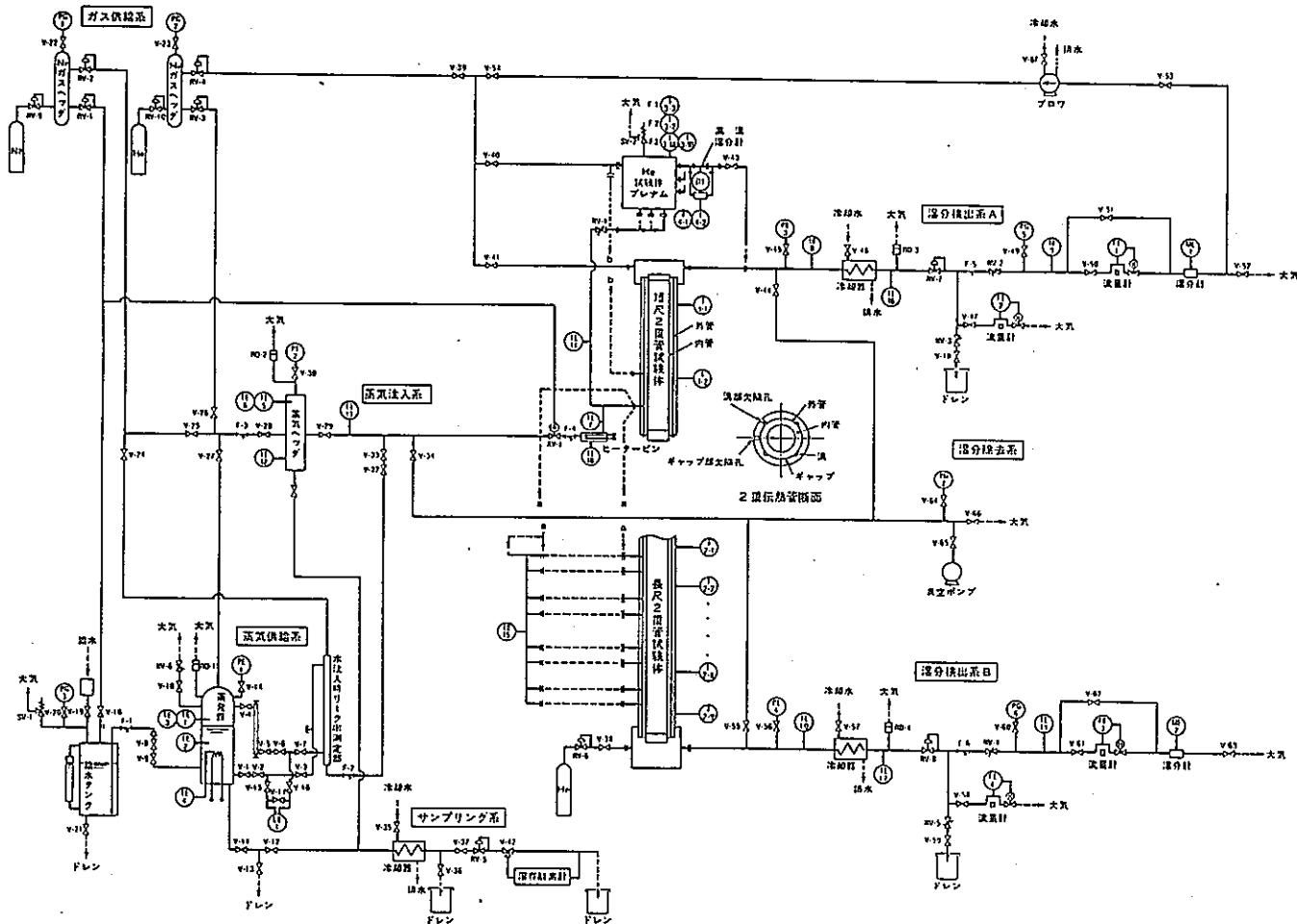
内管リーク検出システム要素試験

(開発部・機器室)

研究項目	期待される成果
<ul style="list-style-type: none">①ガス・蒸気の通気特性②湿分以降特性③酸化スケールの影響④検出系の多様化・応答性の向上⑤実SG条件の模擬	<p>⇒</p> <ul style="list-style-type: none">○検出特性の把握○信頼性の評価○ALPHA コードの高度化○1MWリーク検出試験 への反映

2. 実験手法

内管リーキ要素試験装置系統図



主要目

試験装置

最高使用圧力: 165 kg/cm²

最高使用温度: 550 °C

Heガス圧力: 30 / 9.9 kg/cm²

Heガス流量: 1 m³/h

短尺2重管試験体

外管: φ19.0 × t2.0 mm

内管: φ15.0 × t1.8 mm

全長: 1.0 m

パラメータ: ギャップ幅、溝高さ

欠陥孔径・位置

長尺2重管試験体

全長: 2.0 m

パラメータ: 欠陥孔位置・距離

温度分布模擬: 9ブロック

Heプレナム試験体

内径: φ500 mm

高さ: 3種類

パラメータ: 蒸気注入位置、湿分検出系

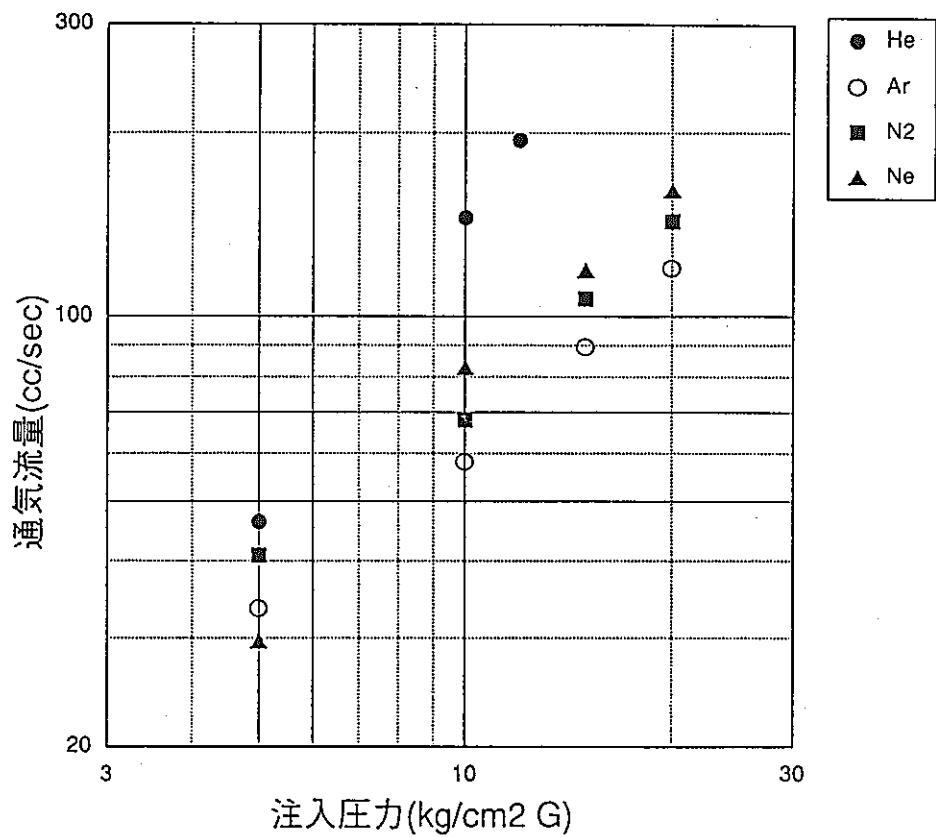
ノズル位置

高温湿分計

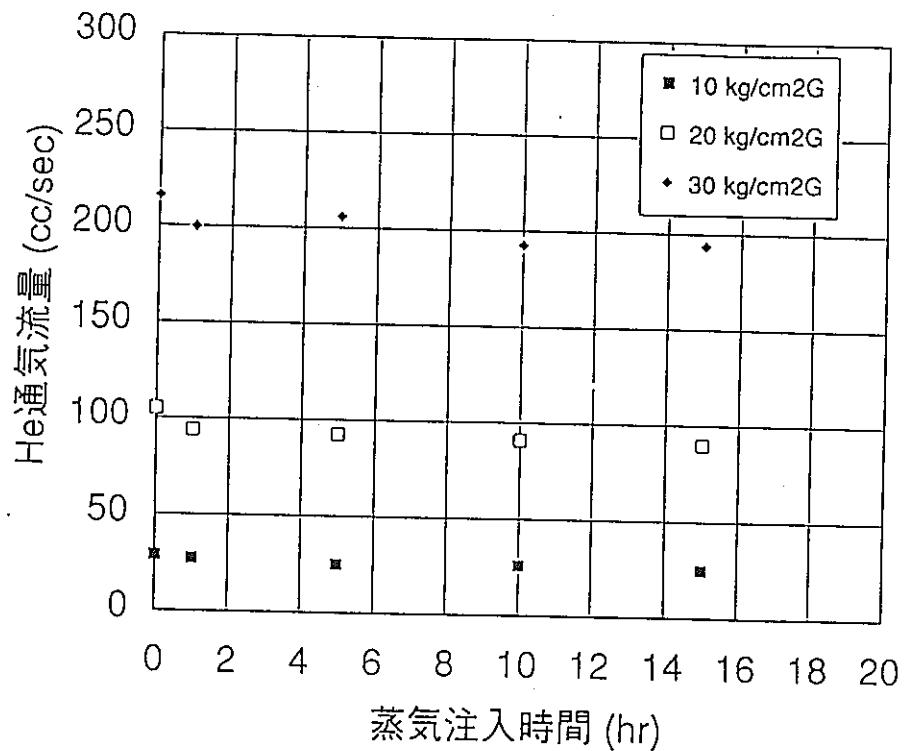
測定方式: 光吸收方式

3. 主な成果

① 溝部通気特性試験



② 酸化スケール生成確認試験



- 高温では比容積及び粘性が変化し通気量が低下する。
- $\text{Ar} < \text{N}_2 < \text{Ne} < \text{He}$ ガスの傾向
- 蒸気注入後溝部の通気量低下
- 水質調整しても酸化スケールは生成
- 酸化スケールの生成量: $2 \sim 4 \mu\text{m}$

現時点でのまとめ

- ① 溝部の常温通気特性は $\text{He} > \text{Ne} > \text{N}_2 > \text{Ar}$ の順に優れている。
温度を上げると通気量は減少する。
- ② 酸化スケール確認試験で、 500°C 、20hrの蒸気注入の結果、ギ
ャップ部で $0 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 、通気確認孔で $0 \sim 3.5 \mu\text{m}$ の酸化ス
ケールが認められた。
- ③ 高温湿分計は、酸化アルミを用いて常温における吸光度を測定
した結果、低湿分下で多少ノイズが出るが高湿分下では安定し
した指示値が得られた。

(9) 安全評価手法整備と影響緩和技術開発 (開発部・機器室)

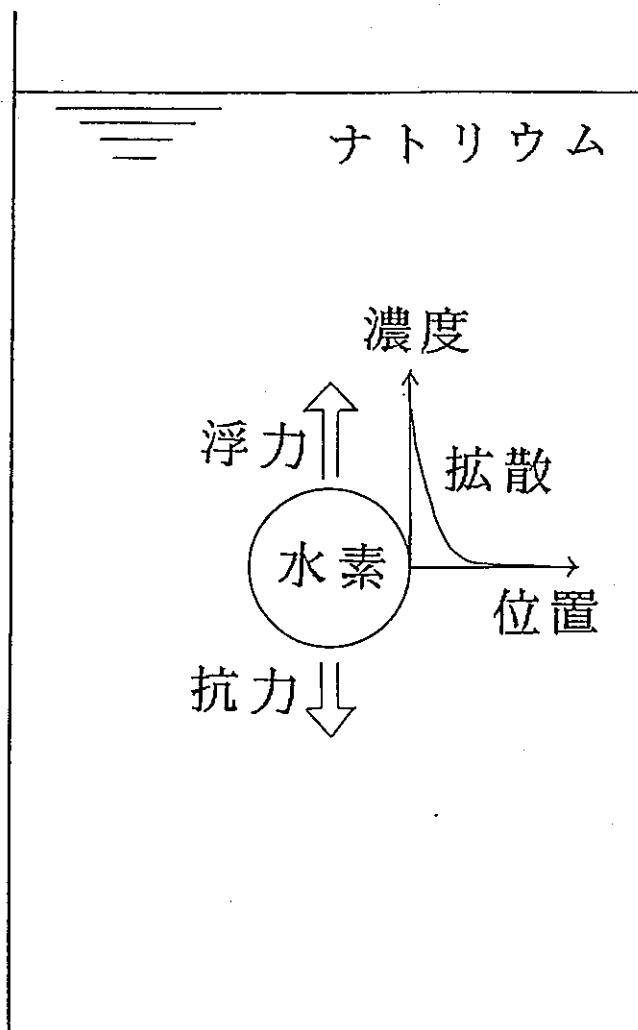
[目的]

- 1次冷却系内でのNaー水反応生成物 (H_2 , NaOH, Na₂O) の溶解・析出
 - ・ 移行挙動を定量的に評価する。(平成3年度は特に水素)
- 微小～小リーク発生時の水リーク検出機能を評価して、内外管リーク検出系を無視した場合の設計裕度を確認する。

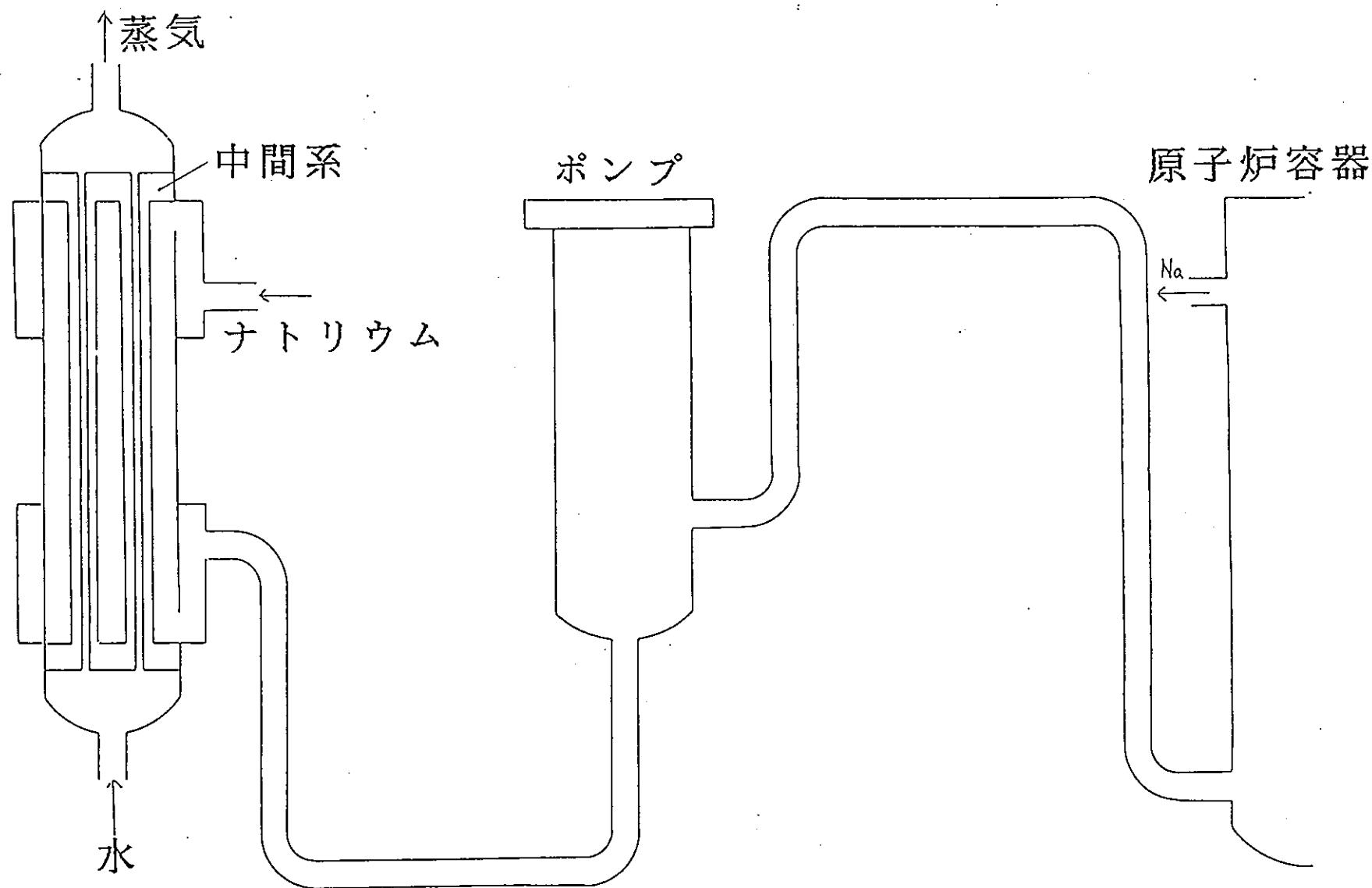
-68-

[実施内容]

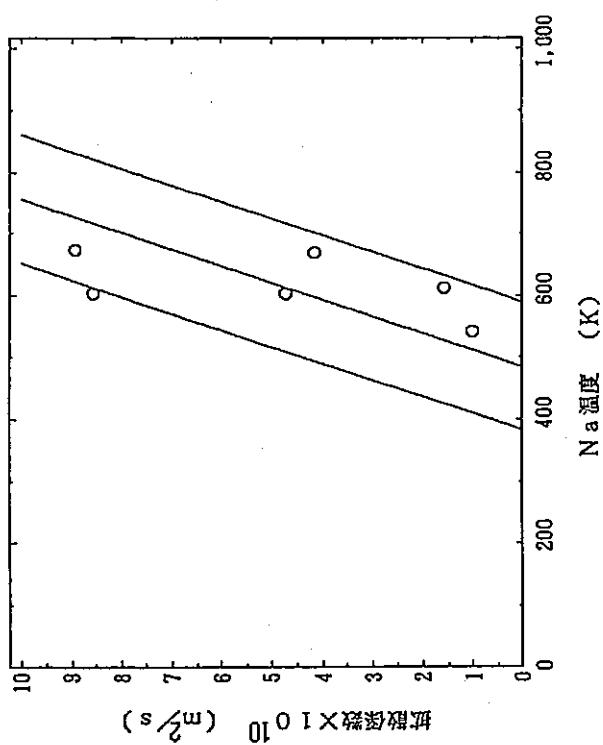
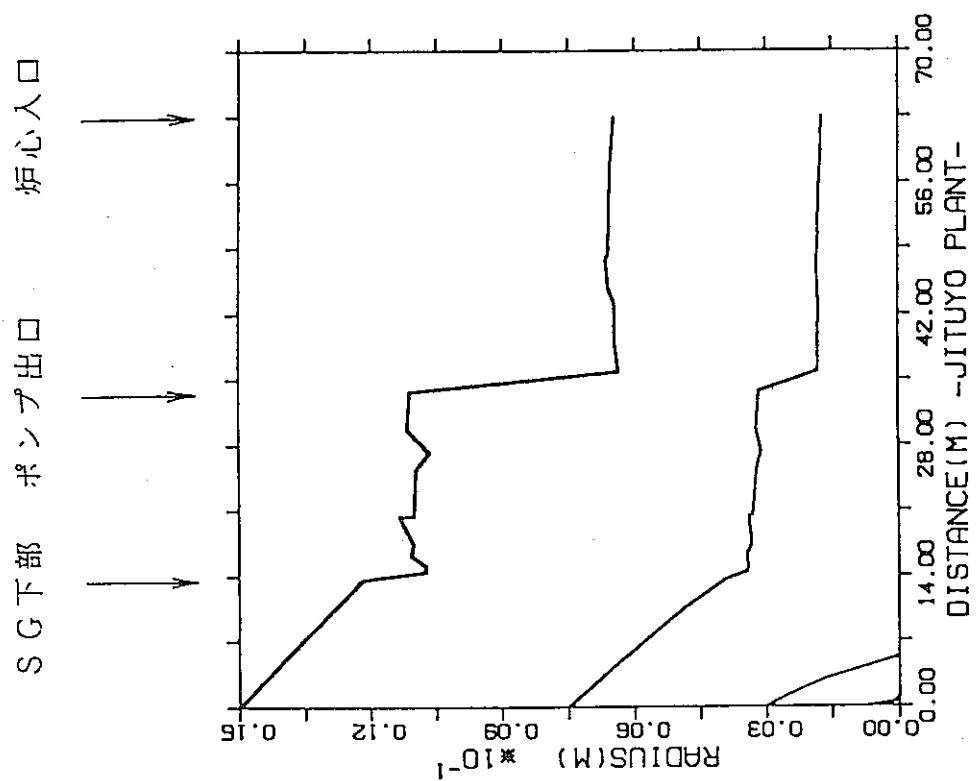
- 水素気泡の溶解・移行挙動解析コードの開発
- セーフティマップの作成

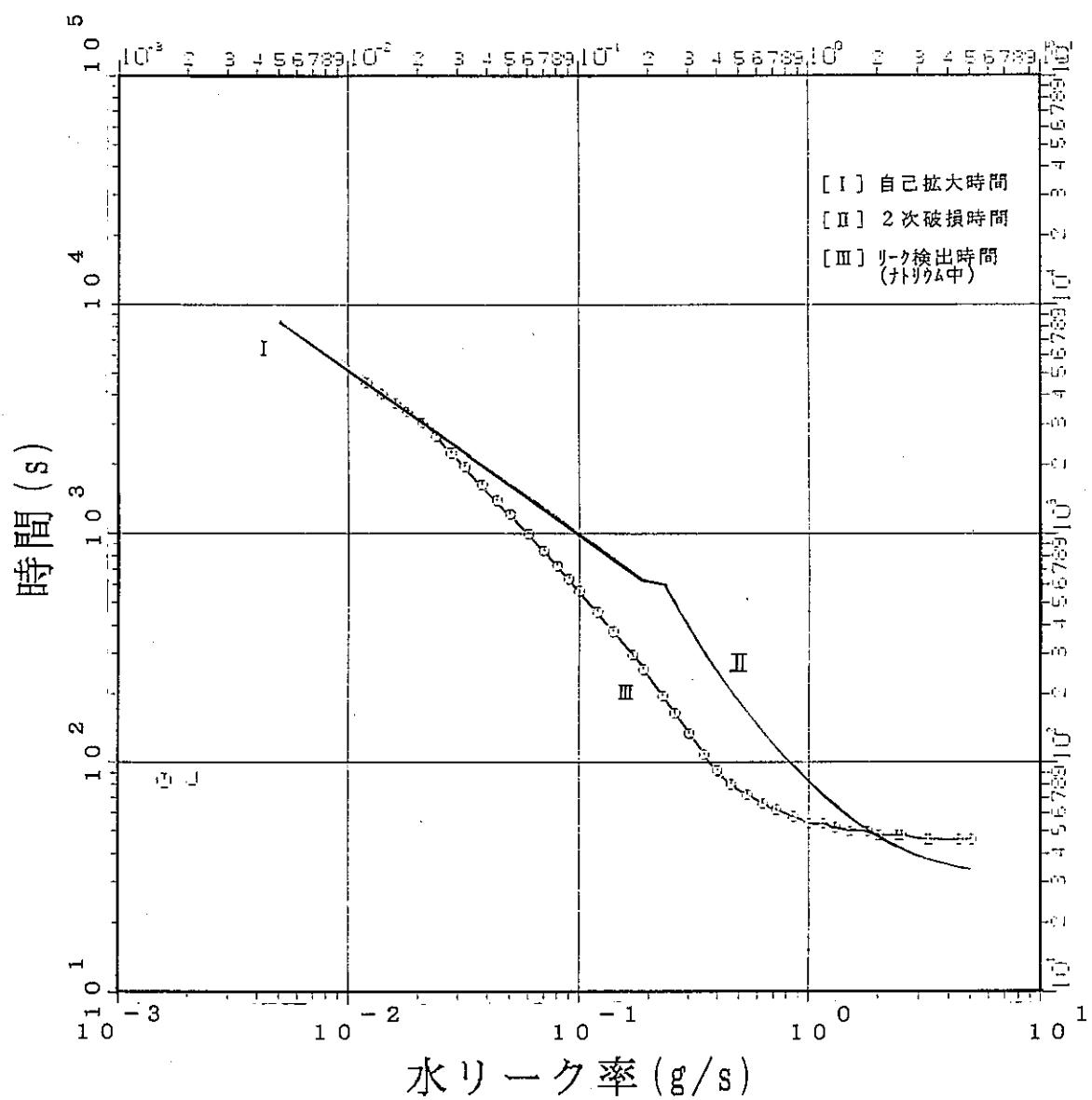


水素気泡の溶解モデル図



2次系削除プラント概念図





結論

- 水素気泡の溶解・移行挙動を評価する解析コード: HYBAC2を開発し、水素のナトリウム中での拡散係数の推定と大型炉プラントを対象とした解析を行うことで、コードの適用性を確認し、今後の課題を検討した。
- 水素計の検出性能を評価するセーフティマップを作成し、2次系削除プラントを成立させるために必要となる要求条件及びR & D項目を摘出した。

平成3年度までの評価のまとめ

- (1) 第1次基本計画策定（平成2年3月改訂）後の工程は、予算面での制約もある中で一定の進展を見せている。
- (2) 但し、個々のR&Dテーマを見ると遅れ始めているものもあり、進捗に不整合が生じている。
- (3) ハード面では、小型モデルSG試験がほぼ順調に開始され、有用なデータの蓄積が期待できる。
- (4) ソフト面では、伝熱管構造健全性評価手法や安全評価手法の開発に着実な進展が見られる。

平成3年度末C & R項目

① 伝熱管の基本特性確認

フィービリティ研究の中で、2重管の製作性、熱的特性、機械的特性、通気特性を得た。小型モデル試験では詳細な伝熱特性が明らかに。

② 伝熱管破損検出系の基本特性確認

内管リーク検出系は湿分計による基本検出特性と有効性の見通しを得た。外管リーク検出系は今後実施予定のR & Dで明らかに。

③ 内外管の独立性に関する成立性の見通し

現状で成立性を明言はできないが、構造健全性評価手法の整備が進んでおり、データベースの充実により補強が可能。

④ LBB論理の適用性の見通し

まだ、適用性の見通しを明らかにする状況にないが、不安定破壊評価法の整備とリーク検出系の開発成果により、見通しを得る予定

今後の展開

- (1) 2次系削除システム開発研究の継続的実施
- (2) 重点指向
 - ① 2重伝熱管構造健全性の確認
 - ② リーク検出系の信頼性向上によるLBBの適用性確認
 - ③ 安全論理の確立と安全評価手法の整備
- (3) 研究成果の有機的活用の推進－分科会の活性化－
- (4) システム設計・安全評価の専門家も巻き込んだ、OEC全体としての取り組み

関連 R & D の実施状況（平成 4 年度）

	研究項目	実施内容	実施箇所
(1)	2 次系削除システム 安全論理の構築		
(2)	プラント・ システム設計		
(3)	高信頼性SG の開発	小型モデル試験	機器室
(4)	技術基準類 の整備	材料強度基準の整備 Na - 水蒸気環境効果評価法の高度化	材料室
(5)	構造信頼性評価 手法の整備	構造信頼性評価法の開発	構造室
(6)	2 重管 LBB 成立性の検討	内圧破壊試験	構造室
(7)	2 重伝熱管リーク 検出システムの開発	内管リーク検出試験	機器室
(8)	2 重伝熱管保守・ 補修技術の開発	2 重管 ISI	機器室
(9)	安全評価手法整備と 影響緩和技術開発	水素気泡溶解挙動試験 反応生成物移行挙動モデル開発	機器室

第3分科会の活動と今後の計画

1. はじめに

本分科会では、平成元年度末に、FBRの受動的安全特性（過渡事象発生後の事故終息及び影響緩和能力）に着目した研究開発を総合的に推進するため、「常陽」を用いた「FBR安全特性試験」というスコープで、安全設計、炉物理・核設計、熱過渡応答、炉心変形、燃料挙動、及び安全評価の6つの研究開発分野におけるニーズの集約を図り、それらを反映した研究開発基本計画を策定し、「PROFIT計画」推進会議でオーソライズすることにより、平成2年度より担当課室において研究開発を展開できるようにした。

平成2年度には、実験炉部・技術課において、安全特性試験を「常陽」で実施する場合の試験実施可能範囲を見通すための解析を行い、試験計画のターゲットをイメージできるようになるとともに、今後検討すべき課題を摘出した。また、安工部・炉工室では、大型炉の反応度抑制機能喪失事象（ATWS）時の炉心損傷に至る以前の過渡現象を解析し、プラントの熱過渡応答が原因となって生じる負の反応度効果の分析を行った。

その後、「FFF受動的安全性試験」へ参加しその解析・評価を行う計画が立案され、平成3年9月の「PROFIT計画」推進会議において審議された結果、「FFF受動的安全性試験」へ参加する活動の中で必要に応じて炉心変形挙動解析コード等の改修を進めることとし、「常陽」を用いた「FBR安全特性試験」は、上記の研究活動の成果を踏まえて数年後に再検討することとなった。

2. 平成3年度の成果

上記の経緯により、「FFF受動的安全性試験」の評価タスクチームが編成され、国内外の研究機関・研究者間でFFFプラントデータや実施済みの試験データ等のやり取り、解析・評価に必要な情報の交換等が進められ、熱過渡応答解析コードSSCや炉心変形解析コードBEACONなどを用いた解析作業を手がける段階に至っている。これらの具体的な成果が出る時期は、平成4年度以降になる。

3. 平成3年度の評価と今後の展開

安全特性試験に係わる研究開発の最重要ポイントは、設計基準外事象等の過渡時に生じる炉心熱変形に起因した負の反応度付加のメカニズムを実機試験により実証し、大型炉の設計に反映できる安全評価手法を確立することである。このような安全評価を可能にするには、過渡熱流動解析、炉心変形解析、炉物理解析の各専用・詳細コードを連続的に使用して行く方法と、これらの解析機能を簡略化して全てカバーする動特性解析コードを使用する方法があり、ユーザの目的に応じて両方とも必要となる。しかし、いずれの方法でも、炉心及び周辺構造の熱変形挙動の解析に関してはモデル開発・検証が立ち遅れしており、さらに、熱過渡、炉心変形及び炉物理の各解析コード間の連携については、一部未完成の状況にある。「FFF受動的安全性試験」の解析・評価作業では、これらの課題が徐々に解決されようとしており、その成果に期待するところは大きい。今後数年間は、このような形で研究開発活動を展開することを予定している。

将来、「F F T F 受動的安全性試験」の解析・評価作業で得られる研究成果を基に、「常陽」を用いた「F B R 安全特性試験」の計画の見直しを行う予定である。そこでは、「常陽」を用いた試験の必要性を改めて議論することとなるが、熱過渡が加えられた条件下での炉心変形（集合体の湾曲、フラワリング、炉心支持板の膨張等）は、一般に、個々のプラントの設計に依存した現象であるので、炉心変形モデルが異なった形状条件に対しても適用できることを検討するために、モデルの検証に供する実プラントデータを「常陽」の条件でも取得するのが望ましい。

PROFIT推進会議資料

第3分科会

— 「常陽」を用いたFBR安全特性試験 —

(参考)

「FFF受動的安全性試験」の解析・評価の現状

1992年3月11日

大洗工学センター

第3分科会の活動の経緯

(1) 平成元年度：

「常陽」を用いた安全特性試験を中心に安全設計、炉物理、熱過渡応答、炉心変形、燃料挙動、安全評価等の各分野の研究を連携させてFBR固有の安全特性を解明できるようにする研究計画を策定した。

(2) 平成2年度：

- 大型炉の負の反応度効果の評価（炉工室）：
反応度抑制機能喪失事象（ATWS）時の過渡事象における事象推移の支配因子について分析・整理した。
- 「常陽」で実施可能な試験の範囲の評価（技術課）：
「常陽」で実施可能な最大限の過渡試験の範囲を概略的に求める評価研究を実施した。

(3) 平成3年度：

「常陽」を用いた安全特性試験は、「FFF受動的安全性試験」へ参加しその解析・評価を行う活動の成果を踏まえて数年後に再検討することとした。

「常陽」を用いた「FBR安全特性試験」の目的

(1) FBRの合理的な安全論理の構築：

過渡熱流動解析、炉心変形解析、炉物理解析の連携した総合的な安全評価手法を確立し、受動的安全特性を最大限活用できるようにするFBRの合理的な安全論理の構築に資する。

(2) 受動的安全特性の実証：

ATWS（異常な過渡変化時のスクラム失敗）で代表されるFBRの設計基準外事象時の炉心の受動的な安全特性を実証する。

「FFT受動的安全性試験」への参加の目的

- ・スコープは上記と同じ。

- ・重点課題：

ATWS等の熱過渡条件下での炉心変形（炉心軸・径方向膨張、フランギング等）による負の反応度フィードバック効果の評価モデルを開発・検証する。

「FFT受動的安全性試験」への参加の意義

MOX-大型FBRの受動的安全特性の実証に好都合：

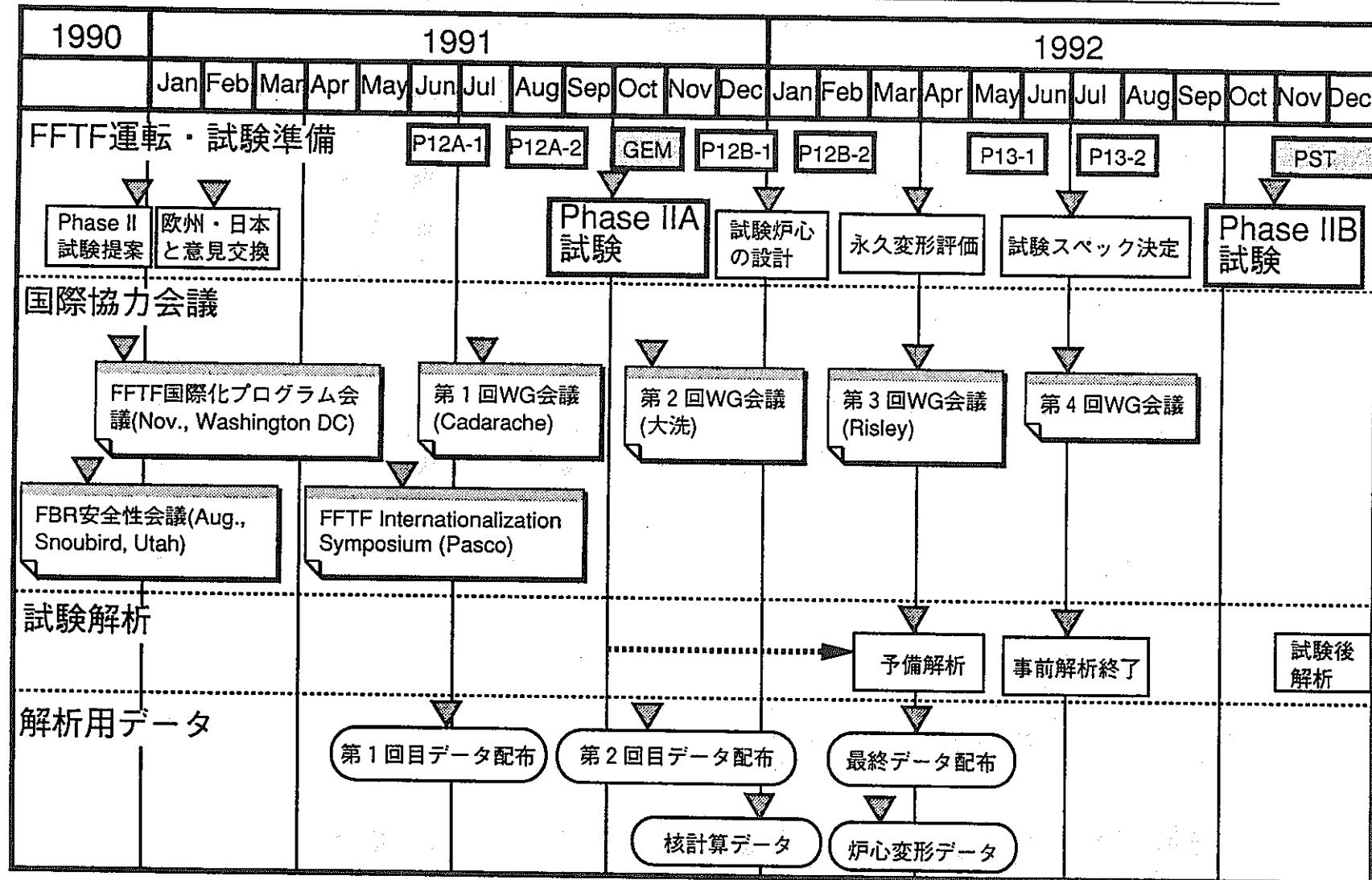
項目	Rapsodie	EBR-II	FFT
定格熱出力	42 MW	62.5 MW	400 MW
・初期条件	50%	100%	20%?
炉心体積	42リットル	73リットル	1040リットル
・炉心高さ	32 cm	36 cm	91 cm
・炉心直徑	41 cm	51 cm	121 cm
特殊事項	流量半減時間 = 40秒	燃料 = 金属燃料	
実施時期	1982年	1986年	1992年予定

- ・ FFTは、流量半減時間 = 6秒、燃料 = 酸化物燃料であり、我が国の大炉の設計条件との整合性が良い。
- ・ FFTの熱出力と炉心体積は、「常陽」の4~5倍、「もんじゅ」の約1/2であり、大炉への外挿には貴重なデータとなる。

「FFTF受動的安全性試験」への参加の経緯

- (1) 1990年8月 — Snowbird・FBR安全性国際会議時の準備会合：
 - ・米、欧(仏、独、伊)、日、ソでISPRAの国際協力化提案を検討
- (2) 1990年11月 — ANS年会時のFFTF国際プログラム会議：
 - ・動燃、CEA、GE、ANLで試験計画、人的協力計画について相互打診
- (3) 1990年12月 — WHCの試験計画提案の送付：
1991年1~2月 - WHCとソ、独、仏、日との意見交換：
- (4) 1991年5月 — FFFT国際化シンポジウム：
 - ・科技庁、原産会議、動燃、原研、原電、大学から十数名参加
 - ・国際協力を合意し、米、日、欧、ソのコーディネータを選出
 - ・必要データ、解析スケジュール・方法を検討
- (5) 1991年6月 — 解析用データセットの送付：
1991年7月 — 第一回WG会議(Cadarache)：
1991年10月 — 第二回WG会議(大洗)：
 - ・データに関する質疑、予備解析結果の検討、追加データの配布等

「FFTTF受動的安全性試験」全体スケジュール



「FFT受動的安全性試験」の解析・評価の体制

リーダ（日本のコーディネータ）：相澤主研、サブリーダ：二ノ方室長

タスク	入力データ	作業項目・範囲	アウトプット	コード及びその特徴	実施担当
(1) 炉心計算	炉心形状、組成	炉内熱流動解析用データの作成	出力分布、反応度係数	出力分布燃焼コード	プラント室
(2) 炉内定常熱流動解析	出力分布流量配分	炉心熱変形を解析するため原子炉容器内の温度分布を計算する	ダクトの温度分布（軸方向、周方向）	TETRAS SSC: 全炉心並列チャンネルコード ASFRE: サブチャンネルコード	技術課
(3) 照射による炉心永久変形解析	照射履歴	照射による炉心の永久変形を予測する	炉心初期形状	BEACON:3Dはりモデル	技術課 ADS構造室
(4) 炉心熱変形解析	炉内構造の温度分布 炉心初期形状	出力／流量比と炉心入口温度をパラメータとして炉心の熱変形状態を計算する	炉心の熱変形状態	FINAS:3D有限要素法（シェル要素、六角はり要素、ギャップ要素） BEACON:3Dはりモデル	技術課 構造室
(5) 炉心変形反応度解析	炉心熱変形状態	出力／流量比と炉心入口温度をパラメータとして各炉心変形状態について反応度変化を計算する	反応度マップ	3D拡散コード 摂動コード	プラント室
(6) システム及び炉心動特性解析	(1)と(5)の結果 プラントシステムデータ	炉心及びプラント動特性を計算する	出力、反応度、温度、その他	SSC: プラント動特性動特性解析 SAS4A: 炉心動特性解析	炉工室 炉安室

「FFTF受動的安全性試験」の解析・評価への メーカーの参加

(1) 参加社：

- ・東芝、三菱、日立

(2) 参加内容：

- ・炉心熱変形解析、炉心変形反応度解析、システム及び炉心動特性解析（タスク(4)～(6)）をそれぞれ各社の所有コードで実施する。

「FFTF受動的安全性試験」の解析・評価の 主なマイルストーン

(1) 各国共通 :

- 1991年12月 — 試験炉心の核計算のデータ入手（遅れている）。
- 1992年 3月 — 第三回WG会議（Risley）。
- 春 — 解析用データの配布完了。
- 1992年 7月 — 第四回WG会議。
解析結果を持ち寄り、試験の初期条件を決定する。
- 1992年11月頃 — 「FFTF受動的安全性試験」の実施。

(2) 動燃 :

- 1991年10月 — タスクフォースを組織し、予備解析に着手。
- 1992年 3月 — 予備解析結果のとりまとめ。
- 1992年 6月 — 試験条件選定用の解析結果のとりまとめ。
- 試験前 — 「FFTF受動的安全性試験」の事前解析
- 試験後 — 「FFTF受動的安全性試験」の解析・評価
- 隨時 — 解析手法の改良・整備は、隨時実施する。

第3分科会の活動の今後の展開

(1) 「FFF受動的安全性試験」の解析・評価作業の優先：

当面は、「FFF受動的安全性試験」の解析・評価タスクフォースの活動によって、炉心及び周辺構造の熱変形挙動等の解析モデルの開発・検証の立ち遅れがリカバーされて行くのを待つ。

-110-

(2) 「常陽」を用いた「FBR安全特性試験」の推進：

- 「FFF受動的安全性試験」の解析・評価作業で得られる研究成果を基に、「常陽」を用いた「FBR安全特性試験」の計画の見直しを行う。
- 基本的スタンスは、熱過渡条件下での炉心変形は個々のプラントの設計に依存したデリケートな現象なので「常陽」の条件でもデータを取得するのが望ましい、というものである。

付録 1

PROFIT計画 平成3年度 活動報告

年月日	記事	備考
3. 5. 10	部長会 (1)PROFIT計画推進体制について審議 これまでのPROFIT計画の4つの分科会を、 MK-III計画および新第1～3分科会に再編 (旧) 第1分科会 ⇔ (新) MK-III計画 第2分科会 ⇔ 第1分科会 第3分科会 ⇔ 第2分科会 第4分科会 ⇔ 第3分科会	(1)特に異議なし
3. 7. 26	部長会 (1)PROFIT計画の推進体制について審議 MK-III計画、第1～3分科会を含めた PROFIT計画推進体制とメンバーの審議	(1)特に異議なし
3. 8. 1	PROFIT計画事務局会議 (1)これまでのレビュー (2)今後の進め方	・PROFIT計画事務局会議開 務準備のための キックオフ
3. 8. 21	PROFIT計画事務局会議 (1)MK-III計画、第1～3分科会の成果検討 (2)次回PROFIT計画推進会議に向けた打合せ	
3. 9. 5	PROFIT計画事務局会議 (1)次回PROFIT計画推進会議用ドラフト検討	
3. 9. 11	PROFIT計画推進会議(第6回) (1)PROFIT計画の目的、所掌事項、推進体制、基本的考え方、10課題との関係、平成3年度活動計画、WBS、等について説明 (2)MK-III計画、第1～3分科会の成果概要報告及び今後の進め方について審議 (3)炉心の高中性子束化検討委員会の発足	(1)プロジェクトとして推進 (2)原案了承。但し配管ペローズ継手実証試験は別途WGで検討。
3. 9. 26	配管ペローズ継手実証試験検討WG発足 (以後、通算8回開催)	・第1回会合

年月日	記事	備考
3. 10. 22	炉心の高中性子束化検討委員会（第1回） (1)委員会の進め方（提案） (2)炉心の高中性子束化の概要について説明	(1)一部修正し了承
3. 11. 11	PROFIT計画事務局会議 (1)前回推進会議(9/11)以後の動き紹介 (2)第2分科会副主査（新任）案の検討 (3)「常陽」技術評価専門委員会(12/9)準備打合せ	
3. 11. 21	PROFIT計画事務局会議 (1)「常陽」技術評価専門委員会(12/9)ドロットの検討 (2)PROFIT計画重点課題と全体工程の検討	
3. 11. 26	PROFIT計画推進会議（第7回） (1)経過報告 (2)「常陽」技術評価専門委員会向け事前検討 — MK-III計画及び新技術開発・実証— (3)配管部への継手実証試験検討WG中間報告 (4)MK-III計画関連廃棄物処理及びLED計画 に係わる調整	(2)了承（コメント付） (3)追加検討し、再度審議 (4)原案了承
3. 12. 9	「常陽」技術評価専門委員会（第3回） (1)MK-III計画の紹介 ・計画の概要 ・照射性能の向上 ・照射技術の高度化 (2)新技術の開発・実証計画の紹介	於、本社
3. 12. 24	炉心の高中性子束化検討委員会（第2回） (1)炉心設計についての説明と審議 (2)炉心燃料集合体設計についての説明と審議 (3)冷却系設備設計についての説明と審議 (4)その他、燃料取扱系設計、安全解析の説明	
4. 1. 10	PROFIT計画事務局会議 (1)経過報告 ・「常陽」技術評価専門委員会 ・高中性子束化検討委員会 (2)今後に向けての検討 ・PROFIT計画推進会議(2/5)の議題の検討 ・年度末報告について検討	

年月日	記事	備考
4. 1. 28	炉心の高中性子束化検討委員会（第3回） (1)MK-III炉心における安全解析について審議 (2)その他	
4. 2. 3	PROFIT計画事務局会議 (1)次回PROFIT計画推進会議(2/5)の準備打合せ	
4. 2. 5	PROFIT計画推進会議（第8回） (1)関連委員会等の報告（報告事項） ・「常陽」技術評価専門委員会 ・高中性子束化検討委員会 (2)配管ペローズ継手実証試験（審議事項）	(2)「常陽」での実証試験は決定。設置箇所等は別途技術会議にて決定
4. 2. 20	炉心の高中性子束化検討委員会（第4回） (1)前回未了事項の審議 ・炉心設計関連 ・冷却系の改造関連 ・安全解析関連 (2)炉心の高中性子束化に係わる設置変更の許認可性検討書（案）の審議	・最終回 (2)大筋了承 (コメント対応有)
4. 2. 21	PROFIT計画事務局会議 (1)次回PROFIT計画推進会議(3/11)準備打合せ	
4. 2. 28	技術会議 (1)配管ペローズ継手実証試験について審議	(1)「常陽」での実証試験方策決定
4. 3. 4	PROFIT計画事務局会議 (1)次回PROFIT計画推進会議(3/11)用ドラフト検討	
4. 3.	PROFIT計画事務局会議 (1)次回PROFIT計画推進会議(3/11)最終調整	
4. 3. 11	PROFIT計画推進会議（第9回） (1)MK-III計画：炉心の高中性子束化に対する技術評価結果の答申（報告事項） (2)PROFIT計画平成3年度成果報告と次年度以降の計画について	