

「常陽」MK-III計画 昭和62年度検討結果



1988年9月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	PNC TN9410 88-201
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒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 システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

「常陽」MK-Ⅲ計画 昭和62年度検討結果

「常陽」MK-Ⅲ計画検討ワーキング・グループ

主 査 山 本 研

要 旨

「常陽」の今後の利活用の方向について数年来関係箇所で行われてきたが昭和62年度に入り本格的検討の気運が盛り上がった。

Mark-Ⅲ計画（MK-Ⅲ計画）タスクフォースが研開本部、大洗工学センターを中心に結成され、その中の作業実施の組織としてMK-Ⅲ検討W/Gが設けられた。

このW/Gの目的は、FBR実証炉及び実用化へ反映させるため常陽の性能向上並びに機能向上に関する改造計画を予備的段階においてできるだけ具体的に検討し、その実現性の見通しを得ることにある。見通しが得られれば、昭和63年度の社内チェックアンドレビューを経て、本格的な計画遂行のプロジェクトに引継ぐ予定である。

このW/Gは、MK-Ⅲ計画検討総括Gr.の作成した基本計画を具体化することが任務であるが、昭和62年度はまず基本計画を固めるに要する予備検討を行った。

本報はその成果報告である。

目 次

第Ⅰ章 ま え が き	1
第Ⅱ章 昭和62年度 検討結果	5
1. 高中性子束炉心へのニーズの検討	5
2. 高中性子束炉心の達成	5
3. 新技術の実証	6
第Ⅲ章 昭和63年度の実施計画	9
1. 概 要	9
2. 実 施 内 容	9
3. 全体スケジュール	10
4. 実 施 体 制	11
5. 予 算	11
6. 63年度検討スケジュール	12
付録1 MK-Ⅲ計画62年度作業分担	付1-1
付録2 MK-Ⅲ計画62年度技術検討結果	付2-1

第 I 章 ま え が き

「常陽」は昭和52年4月の初臨界達成以来、MK-I、MK-IIを通じ、「もんじゅ」プロジェクトを中心に実証炉用燃料の性能実証のための照射試験、機器性能実証の各種試験等でFBR開発に寄与している。また、受託照射や燃料交換照射等外部の需要や国際協力にも寄与している。そして、安全、安定に運転を続けていること自体FBRの世界における我が国の地位を高めており、FBRのパブリック・アクセプタンスの醸成にも貢献している。

この実績と Potential をもつ常陽の役割についてももんじゅの運開等による状況変化とそれに伴う機能分担を考慮し、今後、さらに

- (1) 実証炉1号のためのR&Dのプラントとしての実証の場
- (2) 実証炉2号以降のための新技術の実証の場
- (3) 新分野技術の実証の場

として役立てていくため、これら「常陽」の今後の利活用の方向についてMK-III計画として、昭和62年度に入り本格的な検討を開始した。

このMK-III計画の検討を推進するための組織として、MK-III計画タスクフォースが本社研開本部、大洗工学センターを中心に結成され、その中の作業実施の組織としてMK-III計画検討ワーキング・グループ(W/G)が設けられた(表1参照)。このW/Gは、前述のタスクフォースの作成したFBR実証炉及び実用化へ反映させるため「常陽」の性能向上に関する改造計画(基本計画)を予備的段階においてできるだけ具体的に検討し、その実現性の見通しを得ることを目的としている。そして、昭和62年度には、基本計画を固めるために必要な予備検討を行った。

我が国のFBR開発における needs としては、

- 実1ではコストの低減化が命題であり、燃料について言えば高燃焼度(約20万MWd/t)化を図る必要がある。そして、この燃料の開発・実証試験を現在よりも短時間で行うため常陽を高中性子束化する必要がある。
- 実1の設計に必要な技術(新型炉停止機構、B₄C反射体等)の実証
- 実2以降の実用化促進のための革新技术の実証を安く、早く、精度よく行う必要がある。

次にFBR以外の原子力界、他産業に利用できる新技術の分野においても実験炉に対する needs がある。

世界のFBRの実験炉規模の炉に対する需要が、次の点で将来予測されるそれらの炉の capacity では満足できなければ、それを埋めることが国際協力の面での needs である。

- 他の炉ではできない(技術的に不可能)
- 他の炉では不経済(経済的に非現実的)

1994年頃EBR-IIが廃炉となる可能性がありその機能を肩替りすることが needs として追加されよう。

本年度は予備検討として、上記 needs に応ずべく、冷却系を含めた炉心の高性能化や2重管SGの設置等の大改造をして性能を向上させ新しい炉としての運転の可能性のサーベイを行った。

大きな枠として、改造については炉容器、炉内構造物に手を加えない限り現在のサイトでできる限りフリ

ーに考えること。needsについては実1の設計に必要な技術実証を top priority として前記記載順の priority を念頭におき、広くサーベイした。

本W/Gは昭和62年8月6日に第1回会合を開き、以来7回の会合を重ね、さらにサブW/Gの多くの会合も加え昭和63年2月2日の会合をもって昭和62年度の活動を完了した。

活動内容の経緯は次の通りである。

- (1) 常陽がどの程度まで性能向上できる可能性があるか炉心、冷却系について粗いアタリをつけた。稼働率向上についても検討した。
- (2) 並行して、常陽の冷却系に2重管SGを設置する検討を行った。
- (3) 常陽改造の可能性の程度を知った上で、常陽を利活用することが必要なテーマ、改造のために必要となるテーマ合計18項目につきその開発目標、必要性、実証炉等への反映時期をそれぞれ検討した。
- (4) これらの結果を整理し、チェック・アンド・レビューに耐えられるよう各テーマの検討に必要な予算、スケジュールを示し、さらに新しい課題の抽出、追加を行った。

これらの検討の結果、今後の検討課題と昭和63年度の実施内容の詳細は第Ⅱ、Ⅲ章に述べてあるが要約すれば次のとおりになる。

- 中性子束を現在の約1.4倍、中性子照射量で約1.6倍程度まで性能向上することは可能である。
- 燃料集合体内の冷却材流量の増加に伴うキャビテーションの抑制が課題である。
- 2重管SGは1次系、2次系のいずれについても、設置に関わる工事の実施可能性を確認した。licensability の実証を狙う1次系設置とするか、より実機に近いスケールで実証するための2次系設置とするかの決断をして目標をしぼる必要がある。
- 現在の常陽の余寿命について検討がなされていないがこれを確認しておく必要がある。
- SGを設置する場合は周辺環境（水量、電力量、地盤等）にかかわる成立性も確認する。これを受けて昭和63年度の検討は次の方向で進めることとしたい。

ー昭和62年度に可能性を検討し見直しを得た範囲の改造を前提として needs とのすり合わせをする。

ー昭和62年度に検討し見直しを得た needs についてさらに改造の精度を上げることによって目標レベル達成可能性を見極める。

ー昭和62年度に study したが選択に至らなかったものについては技術的レベル、所要経費など定量的判断材料を整える。

ー昭和62年度に十分検討しなかった needs（海外からの或いは海外への需要、FBR以外からの需要）についても判断材料を整える。

ー検討に当たっては他の炉、試験装置との効果の差を常に念頭におく。

即ち、炉外試験装置、MK-II、もんじゅ、FBSRR、国内外の実験炉、照射炉に比してMK-IIIは、これら needs を充たすために特に大きな効果があり、特に、PA上安全裕度の高い常陽での実証試験の意義は大きいと考えられる。

昭和62年度はMK-III構想計画の段階であったが昭和63年度はMK-III計画化する。前記(b)以外の選択も含めて結論を出す。

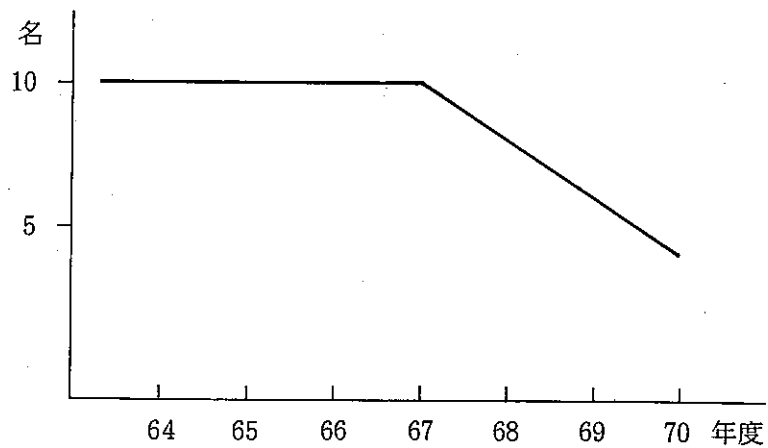
昭和63年度の活動内容は第Ⅲ章に記述する。

また、64年度以降の要員、組織についても昭和63年初頭からつめておく必要があるが現在の構想は以下の通りである。

MK-Ⅲ「計画」には要員増が必要。改造のための設計の時期に漸増して数名にする。

業務体制

- 63年度 現体制
- 64～65年度 タスクフォース
専従5名+兼務5名 =10名
- 66～67年度 専従10名 以下 漸減



昭和62年度、「常陽」MK-Ⅲ計画検討ワーキング・グループのメンバーは以下のとおりである。

主 査	山本 研	技術開発部長
メンバー	山下 芳興	実験炉部 原子炉第1課長
	砂押 博	実験炉部 原子炉第2課長
	溝尾 宣辰	実験炉部 技術課長
	吉野富士男	実験炉部 照射課長
	亀井 満	機器構造開発部 機器システム開発室長
	二瓶 勲	機器構造開発部 材料開発室長
	今津 彰	機器構造開発部 構造工学室長
	榎戸 裕二	燃料材料開発部 燃料材料技術開発室長
	浅賀 健男	燃料材料開発部 燃料材料技術開発室
	羽賀 一男	安全工学部 主任研究員
	谷山 洋	技術開発部 プラント工学室長
	白方 敬章	動力炉研究開発本部 炉技術開発グループ主任研究員
	永井 寛	動力炉研究開発本部 炉技術開発グループ
	舟田 敏雄	動力炉開発推進調整部 開発計画グループ
事務局	平尾 和則	技術開発部 サイクル室 (62.12まで)
	佐々木修一	技術開発部 研究管理室 (63.1より)
	有井 祥夫	実験炉部 技術課

また、サブ・ワーキング・グループのメンバー及び作業分担を付録1に示す。

第Ⅱ章 昭和62年度 検討結果

62年度は、実証炉及び実用炉へ向けて必要な研究開発の中で、「常陽」において如何なることが出来るかを広くサーベイし、それぞれの項目について、粗い技術的検討を行った。

その結果の概略は以下のとおりである。

1. 高中性子束炉心へのニーズの検討

燃料・材料開発上要求される「常陽」MK-Ⅲの主な性能は以下の通りである。

1) 炉心に要求される性能

- (1) 年間50日×5サイクル運転を想定した場合、75,000 MWd/t、 1×10^{23} nvtの燃焼度、照射量を1年で達成可能なこと。
- (2) 照射リグを同時に15～20体（B型：7体、C型：10体、材料照射リグ：3体）照射できること。うち8体程度は計測線付燃料及び材料照射。
- (3) 定常照射時は平坦な中性子束分布、非定常照射時はピーキングの大きい中性子束分布を実現できる炉心構成の柔軟性。

2) 照射装置に要求される性能

- (1) 計測線付照射リグはリグ内の温度、流量、寸法変化の情報をオンラインで計測でき、かつ、これらの制御が炉外から実施可能なこと。
- (2) 材料リグについてはインパイルクリーブ試験片の破断を許容できる設計であること。
また、破断時間の検知が可能であること。
- (3) ピン照射リグ及びバンドル照射リグいずれもピンの中間検査後、継続照射ができること。

2. 炉心の高性能化

現在のプラントマージンの範囲内では、DHXの性能の制限により、炉出力の向上を図ることは難しい。そこで、DHXを含む冷却系の主要機器の改造・交換を行い、どの程度炉心性能の向上が図れるかについて検討を行った。

その結果IHX（中間熱交換器）の交換の有無にかかわらず、以下のような性能の向上を図ることができる。

① 主要改造・変更内容

- (i) 主循環ポンプ改造
- (ii) DHX改造
- (iii) 燃料ピンの細径化（5.5 mm ϕ → 4.77 mm ϕ ）
- (iv) 燃料交換設備（トランスファーロータ等）の改造
- (v) B₄C反射体の採用
- (vi) 炉容器出入口温度差の増大（130℃ → 150℃程度）

② 達成可能なレベル

(i) 上記(i)～(iii)の改造で、中性子束は現行の約1.3倍(原子炉出力も約1.3倍)。これに(v)を実現させれば中性子束は約1.4倍まで増大させうる可能性がある。

(ii) また、さらに(iv)～(v)により稼働率を現行に比べ約2割程度*向上させうる可能性がある。

(* 現行のMK-II炉心において、70日運転を年間4サイクルかつ約6ヶ月の定検を行った場合)
に対し、本年度の試算でMK-III炉心では稼働率が約2割程度向上する。

但し、いずれの場合においても出力が増加し、それに伴い冷却材流量が増加するため、炉心圧損の低減化やキャビテーションの抑制等が、炉心の高性能化を実現するうえでのキーポイントとなっている。

2.2 照射技術の高度化

照射試験のニーズとしては、炉心に対しては高中性子束化、照射スペースの拡充のほか過渡試験などにも対応できる性能が期待される一方、照射技術の面でもより高度な計装技術の開発やニーズに応じた照射リグの開発等が期待されている。これに対し、照射技術の高度化として照射温度の測定精度の向上と炉外からの温度制御に関する検討や、インパイルクリープ試験装置等新しい計測器やリグの開発検討を行っている。

さらに、上記目的に加え、照射準備期間の短縮による稼働率の向上も目的としたナトリウム中コネクタ等の開発検討も進めている。

3. 新技術の実証

将来技術(新技術)の実証試験としては、13項目について検討を行った。この中で、特に大規模な改造・設置工事が必要となる2次系削除システムについては、1次系及び2次系のそれぞれに設置する場合について技術的成立性の見通し、必要経費、工程、R&D項目等設置案を選択する上で必要となる事項をクリアにした。このほか、炉運転自動化システム、炉内異常診断システム、新型炉停止機構等、改造工事を必要とする項目についても、それらの実証試験を行うためのR&D項目、必要経費等について検討を行い、その実施計画を作成した。

3.1 二次系削除システム

二次系削除システムのプラント概念を明確にし、二次系削除システムの特徴とその成立のための条件及び許認可のための課題の抽出とライセンスブルな二次系削除FBRシステムの開発目標を明らかにするため、「常陽」への二重管SGの設置に関する検討を行っている。本年度は一次系設置方式(50MWSG)及び二次系設置方式(2ループ合流150MWSG)について検討を行い、技術的成立性・必要経費・工程・必要なR&D項目等設置案を選択する上で必要となる事項を各案毎に検討した。

3.2 二重管SG(本体)の開発

50MWと150MWの場合について伝熱計算を行い、基本的構造仕様を決定し、これをもとに最適設置案を選定するための機器・配管設計・システム設計等を実施した。

3.3 配管短縮の実証

配管短縮技術（ここでは、ベローズに限定）の実証炉1号適用に対する技術的見通しは今までのR&D成果で基本的には言うことができると考えられる。

「常陽」に設置するとした場合、費用効果比から二次系配管に組み込むことが妥当と考えられる。また、「常陽」への設置の意義としては、プラント運転状態下での実証データが得られコンポーネントの信頼性が確認できる他、技術の信頼性がオーソライズされることにより実証炉での許認可性が容易になることなどがあげられる。

3.4 炉運転自動化システムの開発

臨界近接、系統昇温、出力上昇、下降及び出力調整等の各運転モードにおける制御棒操作の完全自動化を目標とし、まず、制御棒操作ガイダンスシステムを開発し（第一フェーズ）、これをベースに核的・熱的制限を逸脱した制御棒操作を阻止する機能の追加（第二フェーズ）、そして計算機システムと原子炉制御系を結んだ全自動制御システム（第三フェーズ）の開発という手順で進めていく。

現在、第一フェーズについては実証テストを行っており、第二フェーズの開発に着手している。

3.5 プラント異常診断システム

(1) 炉内異常診断システム

MK-Ⅲ用炉内異常診断システムを開発し、その性能を実証することにより高速炉の汎用炉内異常診断システムの実現を図るとともに、その経験を通して自律制御原子炉プラントなどの新システム概念を創出する。

開発するシステムは、次の4つのサブシステムからなっており、それぞれ、(イ)計測系には現状計測系に新規計装として炉内中性子束モニター、炉内音響計等を追加、(ロ)情報処理系は現状の信号処理系の高度化、(ハ)診断系は新規設備として異常兆候の発見・波及予測等を行えるものとし、(ニ)対応系は制御系の一部改造とマン・マシン・インタフェースの拡充等を図ったものとする。

(2) 燃料破損診断システム

高速F F Dとして小型の α 線補償型 β 線検出器、破損燃料状態診断システムとしてDN信号、CG信号等の情報から破損燃料の状態をオンラインで表示するシステム、オンライン・プラント汚染モニターとして一次ナトリウム中に溶解したFP核種の濃度を迅速に測定するシステムそして高性能F F D Lとしてセレクターバルブ方式等を開発し、その有効性を実証する。

3.6 新型炉停止機構

自己作動型電磁石、要素入りの分節型制御棒及び短尺型駆動機構の実証試験を行い、実プラントにおける使用実績を取得する。62年度はこのための、MK-Ⅲ以前から先行的に行う試験と移行後に行う試験等一連の計画を立案した。

3.7 使用済燃料の裸貯蔵

使用済燃料の裸貯蔵の実証試験として、貯蔵水中での燃料健全性評価、C.P.による水汚染評価及び燃料破損時の安全性評価等の技術的課題がある。そこで、S F Fや第3プール（増設予定）を利用して燃料や反射体等の貯蔵試験を行い、上記の評価のためのデータを取得する。

3.8 被曝低減化技術の実証

被曝低減化技術の実証として、C.P.やF.P.の除去技術の開発・実証とC.P.やF.P.の挙動解析コードの検証を行う。

3.9 TRU消滅処理技術の実証

TRU燃料の照射試験を行い、その照射挙動を把握し、TRUの高速炉体系での消滅処理技術の確立を図るため使用済燃料等からのTRUの分離・回収、燃料の成型加工、照射試験の実施とそれに必要な物性データ等の取得・整備・PIEによる照射挙動の把握と挙動解析コードの整備等一連の計画を立案した。

3.10 FBR安全特性試験

大型FBRの合理的な安全論理の構築の一助として、固有の安全性試験として、(a)スクラム失敗時事象の評価試験、(b)熱輸送系の過渡事象試験、(c)長期崩壊熱除去試験を実証し、その試験結果を実証炉の設計に反映させる。

3.11 機器・プラントの余寿命評価技術の開発

火力プラント等を中心に実施されているR&Dの調査とそれのFBRへの適用性、非破壊モニタリング・計測技術の開発、解析技術の高度化及び余寿命評価手法の開発等により、FBRの機器・プラントの余寿命評価技術の開発・実証を行うとともに「常陽」の運転継続性を判断する。

3.12 新材料

フロンティア推進委員会、材料技術検討作業部会場で検討中。

第三章 昭和63年度の実施計画

1. 概要

昭和62年度は、MK-Ⅲ計画検討総括Gr.の作成した基本計画*を具体化することが任務であるが、まず基本計画を固めるに要する予備検討を行った。

63年度においては、62年度に実施した幅広いサーベイ結果をもとに、成立性、投資効果、全体の整合性を検討評価し、MK-Ⅲを構想段階から、計画としての具体性を有したものにす。作業実施にあたっては、「高速増殖炉中長期研究計画」等を踏まえ、実証炉開発に向けて、さらに「常陽」の効率的な活用を図るための改造計画を主要な検討対象とする。それ以外の項目については、従来から検討を進めているそれぞれのR&Dの中で、「常陽」における技術の実証の意義、位置付けを明確にしつつ検討を進めていくこととする。

2. 実施内容

63年度は、前述のとおりMK-Ⅲを具体性を有した計画とし、年度末のC&Rを行うため、表1に示すような項目についての検討を行う。

以下に、主な検討項目の概要を示す。

(1) 計画全般

62年度までの検討結果を総括し、全体の成立性、投資効果、工程及び整合性等について検討・評価する。

(2) ニーズの検討

62年度に検討した照射計画からのニーズに関しては、開発のための中長期計画を踏まえて「常陽」で実施すべき照射試験、必要な機能のプライオリティーを明確にし、許認可のスケジュール、設備改造の内容、炉心への要求性能等を具体化する。検討に際しては「もんじゅ」や現在計画中のFBSRR、海外炉等との役割分担を長期的な戦略を考慮しつつ明確にする。

また、照射試験以外の利用に関するニーズについても調整を行う。

(3) 炉心の高性能化

① 炉心-冷却系

上記のニーズを考慮し、高性能炉心の選定を行うため、これまで検討を行ってきた炉心の計算ケースをベースに幾つかのケースに絞って詳細な検討を進め、これと冷却系とを組合せ、その各ケースについて照射能力（中性子照射量、照射スペース等）、改造に要する時間（炉停止期間）とその経費を評価し、各ケースの優劣を比較する。

このため、炉心の核熱設計、エントランスノズル-連結管部のキャピテーション試験及び冷却系システムの限界性能評価、構造健全性評価等を実施する。

* 高速実験炉「常陽」の将来計画 — Mark-Ⅲ計画を中心として—

昭和62年6月（尚、本資料は後日 PNC I2020 87-002として発行）

② 燃料取扱設備の合理化

燃料取扱設備を改造して燃料交換期間を短縮し、原子炉の稼働率の向上を図り、前述の炉心-冷却系の改造と合わせ、中性子照射量の増加を図る。

具体的にはトランスファロータへのバッファ機能の追加とB₄C反射体等の採用による貯蔵専用ポットの廃止に関する予備設計を行う。

(4) 2重管SGの設置

62年度の検討結果を基に、1次系設置方式と2次系設置方式とについて、その開発意義、成立性、工期、費用等を総合的に評価するとともに、各ケースについて安全論理の検討を行う。

(5) 炉運転自動化システムの開発

63年度は、制御棒操作のガイダンスシステムの開発（第1フェーズ）を運転自動化に発展させるためのハードウェアの変更の技術的、経済的成立性とシステムとしての許認可性の検討を行うとともに、ソフトウェアの信頼性のシミュレータによる検証と制御棒操作へのインタロック機能付与等半自動化（第2フェーズ）のためのソフトウェア開発を行う。

(6) 炉内異常診断システム

以下のa～eに関する概念及び成立性の検討を実施する。

- a. 新規計測系の開発
- b. 炉上部機構の改造による計測系増設の可能性の検討
- c. 現状の信号処理系の高度化
- d. 診断システムの成立性の検討
- e. 制御棒の一部改造に関する成立性の検討

(7) 新型炉停止機構（SASS）

63年度は、自己作動型電磁石の「常陽」炉上部機構内への設置に関する成立性の検討やMK-Ⅲ移行前に実施する部分試験用試験体の概念に関する検討を行う。

3. 全体スケジュール

MK-Ⅲの全体スケジュールを図1及び図2に示す。

ケース1は、62年度当初にMK-Ⅲ計画検討総括Gr.が作成した基本計画であり、“原子炉の停止は71年度の1年間”とした工程である。

ケース2は、62年度の検討結果を集約したもので、1年間の検討により、改造期間（炉停止期間）は4年に達することが判った。また、71年度に改造を終わらせることを前提として工程が検討されているため、ライセンス取得までの準備期間（炉外試験や炉内試験を含む）が短く、現実的にかなり厳しい工程となっている。また、実証炉1号の安全審査への成果のフィードバックも難しい。

ケース3はケース2の問題を考慮し、改造を一時期に行うのではなく、早期に実現が可能なものから段階的に実施していくケースである。

第1段階としては、燃取系の改造により稼働率を約1割向上させるほか、実証炉1号への採用が検討さ

れている新型炉停止機構等の新技術の実証試験等を行い、その結果を実証炉1号の安全審査等に反映させることを可能とする。

第2段階では、炉心の改造とそれに伴う冷却系の一部改造（主冷却器）を行い、中性子束を約1.3倍（第一段階の稼働率の向上と合わせて中性子照射量では約1.4倍）程度に向上させる。そして、72年度より実証炉1号の取替燃料の確性試験等の照射試験を開始する。ここで、実証炉1号の取替燃料の設計・製造にこの試験結果をフィードバックするためには、約4年間運転を行う必要がある*。

最終段階として、上記4年間の運転の後、76年度より中間熱交換器等の冷却系主要機器の改造と2重管SGの設置工事（ここでは1次系に設置とした場合を示す）を行い、79年度より最終目標である中性子束約1.5倍での運転を行う。

63年度は、ケース3をベースに検討を進めるとともに、改造期間（ケース3では10年間にわたり3段階の改造で達成）の短縮に関する検討も行う予定であり、それをケース4に示す。ケース4も段階的に改造を行っていくもので、第1段階は、ケース3と同様に燃取系の改造による稼働率の向上と新型炉停止機構等の新技術の実証試験を行うものである。

第2段階では、主冷却器（DHX）等の冷却系設備の一部改造を行う。そして、炉心の改造（新型燃料への交換）は、通常の燃料交換時等を利用して段階的に新型燃料炉心に移行していくものとし、72年度より、中性子束を約1.3倍程度に向上させて運転を行う。

最終段階としては、新型燃料炉心での約1年間の運転の後、73年度より中間熱交換器（IHX）等の冷却系主要機器の改造と2重管SGの設置工事を行い、75年度より最終目標である中性子束約1.5倍での運転を行う。つまり、ケース4はケース3で優先されていた実証炉1号の取替燃料等のための照射試験のかわりに、中性子束の最終目標での運転を早期に実現することを優先させることとして、改造期間の短縮を目指したものである。

4. 実施体制

63年度の実施体制は、基本的には62年度の体制を維持するものとするが、図3に示すように実験炉部が主体的にサポートしていくこととする。

また、サブ・ワーキング・グループ（SW/G）については、SW/G毎に表2の作業分担に応じてメンバーの見直しを行っていくこととする。

5. 予 算

63年度の作業は、表2に示すように原則的には内部実施で行うものとするが、一部、人員不足等により計画の基本的な成立性を確認するうえで必要な計算や装置の製作・試験を必要とする項目について表2の

* 現在、燃料開発上の目標最大燃焼度は200,000MWd/tである。燃料の経済性（燃料サイクル費）の観点からみて、これ以上燃焼度を上げて燃料サイクル費の低減に関するメリットは少ないという検討結果も示されている。（PNC N9440 87-006 高速増殖大型炉の設計主要目に関する研究）

とおりに予算を充当することとした。

6. 63年度検討スケジュール

63年度末のC & Rへ向けての検討スケジュールは以下のとおりである。但し、詳細については別途S W / G毎に検討し、作業を進めていくこととする。

63/4	63 年 度 検 討 作 業	} W / G (62年度の総括と63年度実施計画) (63年度の詳細な実施計画の検討)
5		
6		
7		
8		
9		△ W / G (中間報告)
10		△ 検討会議 (中間報告)
11		
12		△ W / G (最終報告)
64/1		△ 検討会議 (最終報告)
2		
3		チェック&レビュー

表1 Mark-III計画検討タスクフォース

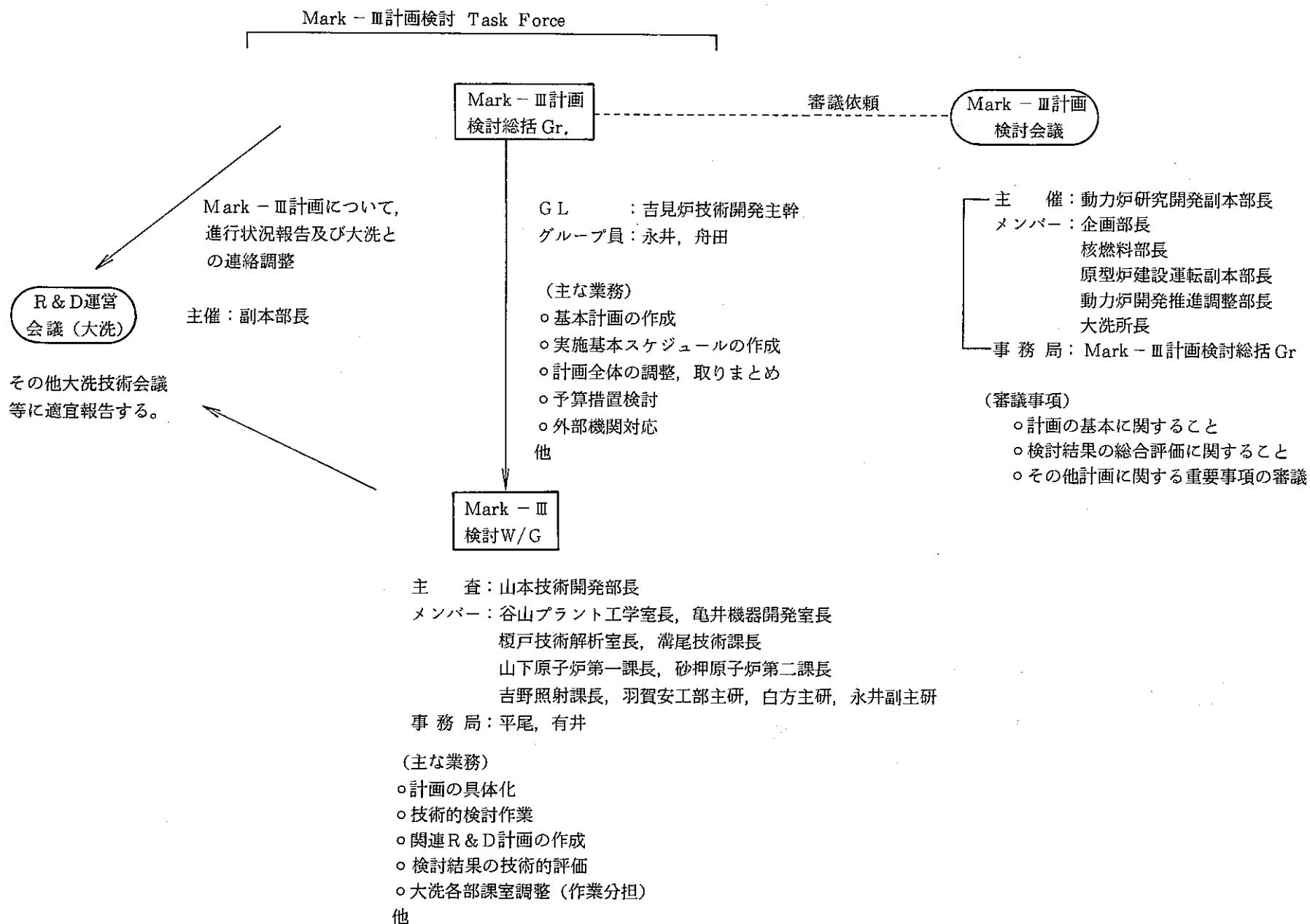


表2. MK-III C & Rのために検討を行う項目, 作業分担, 及び予算

				担 当	予算(百万円)	起 案			
MK-III計画 (実・八谷)	計画全般 (技・溝尾)	計画・概要 (技・有井)	概 要	事務局	内部実施				
			実施計画(工程)	"	"				
			体 制	"	"				
			資 金 等	"	"				
			ニ ー ズ (照・宮川)	照 射	燃料・材料開発計画	(調) - A D S	"		
					「もんじゅ」との機能分担	"	"		
					実証炉との関係	"	"		
					海外炉との関係	"	"		
					安全研究炉との関係	照 - 安 工 課	"		
			プラント全般 (技・沢田)	プラント利用	運転・保守	原 1 課	"		
R & D施設との機能分担(2重管SG等)	技 術 課	"							
プラント全体のシステム設計	"	"							
余寿命評価	"	"							
工 程	事 務 局	"							
炉心の高性能化 (技・溝尾)	炉 心 (技・有井)	高中性子束化方策	炉心核・熱特性, 基本仕様	技 術 課	15	6 月			
			燃料設計・製造	(調) - A D S	内部実施				
			燃料の出力に関する検討	照 - (P u 燃)	"				
		流配・キャビテーション	燃料ペレットの製造性に関する検討	技 術 課	"				
			燃料の製造コストに関する検討	技 術 課	"				
			集合体構造の検討(圧損低減化対策)	技 術 課	15	6 月			
		照射性能	キャビテーション試験	技 - 炉 工	"		下 期		
			炉内流量配分	照 射 課	内部実施				
		そ の 他	リク荷量に関する検討	照 射 課	"				
			過渡試験に関する検討	照 - A D S	"				
その他炉心構成要素の製造(含コスト)に関する検討	技 術 課		"						
炉心改造に要する期間と改造の手順	技 術 課		"						
冷却系 (2・富田)	除熱方策	R & D計画	技 術 課	"					
		センター全体のユーティリティ(除熱対策, 電力, 等)	"	"					
	システム健全性	除熱量とそれに対応する除熱方策の検討	原 2 課	10	6 月				
		プラント動特性	技 術 課						
	高性能機器の開発	熱過渡評価	"						
構造強度評価		"							
稼働率向上 (1・河井)	燃取系合理化	I H X	原 2 課		下 期				
		主ポンプ	"						
	貯蔵専用ポット廃止に関する検討	T/Rへのパルファ機能の追加	原 1 課	7 + ①	6~7月	(②を含む)			
		耐震性評価	技 術 課						
	*定検期間短縮	制御系予備設計	"						
照射準備期間短縮	核的成立性(出力)	"							
	熱的成立性(除熱)	"							
新技術の実証 (高信頼性プラント) の開発・実証 (技・溝尾)	照射技術の高度化 (照・宮川)	新型照射装置の開発	新制御棒下部案内管開発	照 射 課	内部実施				
			ナトリウム中コネクタ開発	照 - 機 器	"		(下期)		
			インパイル・ループ, JFTF等の開発	照 射 課	"				
			1次系設置	I H X 有	技 - 機 器 - P 安	20	7 月	内部実施	
				I H X 無	技 - 機 器 - P 安				
	2次系設置	安全論理に関する検討(単一故障 安全ロジック検討)	技 - 機 器						
		安全論理に関する検討(単一故障 安全ロジック検討)	技 - 機 器						
	2重管SG本体	概略仕様	"						
		*配管ベローズ	技 - (構 造)						
	炉運転自動化 (1・藤原)	制御棒操作自動化	各ケースについての設置期間, コストに関する検討	技 術 課					
ハードウェアの改造に関する検討			原 1 課						
許認可性の見直しに関する検討			"						
新型炉停止機構 (技・島田)	試験体の成立性	シミュレータによる検証試験	"						
		「常陽」の炉上部での自己作動型電磁石の成立性に関する検討	技 - 機 器	3	6 月				
プラント異常診断 (技・島田)	炉内異常診断システム	「常陽」へのシステムの導入に関する問題点の検討	"		内部実施				
		炉上部機構改造の成立性に関する検討	"						
そ の 他 (技・有井)	*燃料破損診断システム	情報処理系高度化改造の成立性に関する検討	"						
		実規模診断システム構成の成立性検討	"						
		制御系改造の成立性検討	"						
		62年度検討のまとめ・63年度検討結果との整合性等	"						
		62年度検討のまとめ・63年度検討結果との整合性等	照 射 課	"					
*TRU消滅処理実証試験	*FBR安全特性試験	62年度検討のまとめ・63年度検討結果との整合性等	技 術 課	"					
		62年度検討のまとめ・63年度検討結果との整合性等	原 2 課	"					
		62年度検討のまとめ・63年度検討結果との整合性等	"	"					
		62年度検討のまとめ・63年度検討結果との整合性等	照 射 課	"					
		62年度検討のまとめ・63年度検討結果との整合性等	照 射 課	"					
合計 70 + ①					実施予算措置28含む ①は大洗給出分				

()内は実務責任者

* 62年度に作業がほぼ終了

図1 MK-III実施スケジュール(案)(1/2)

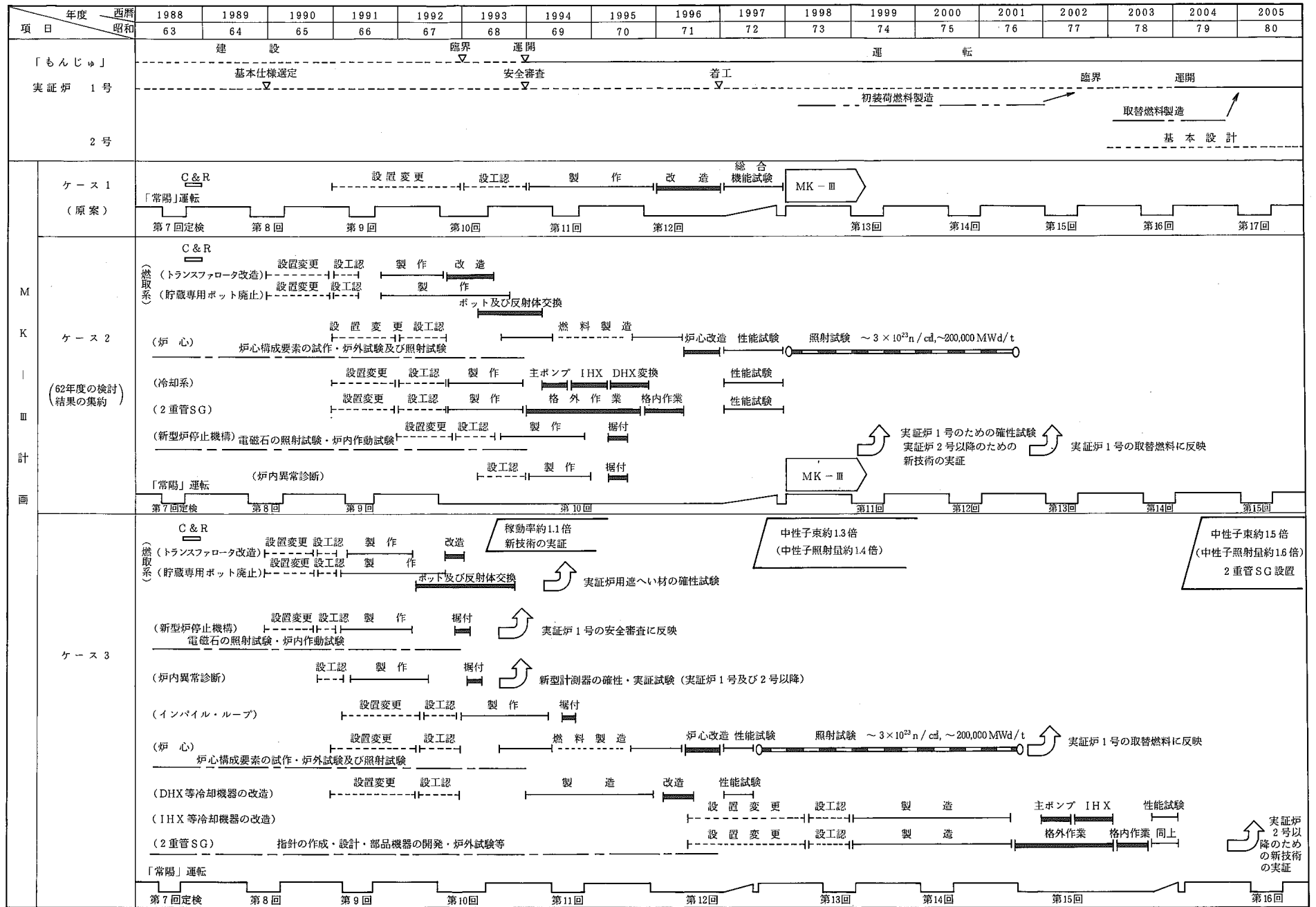
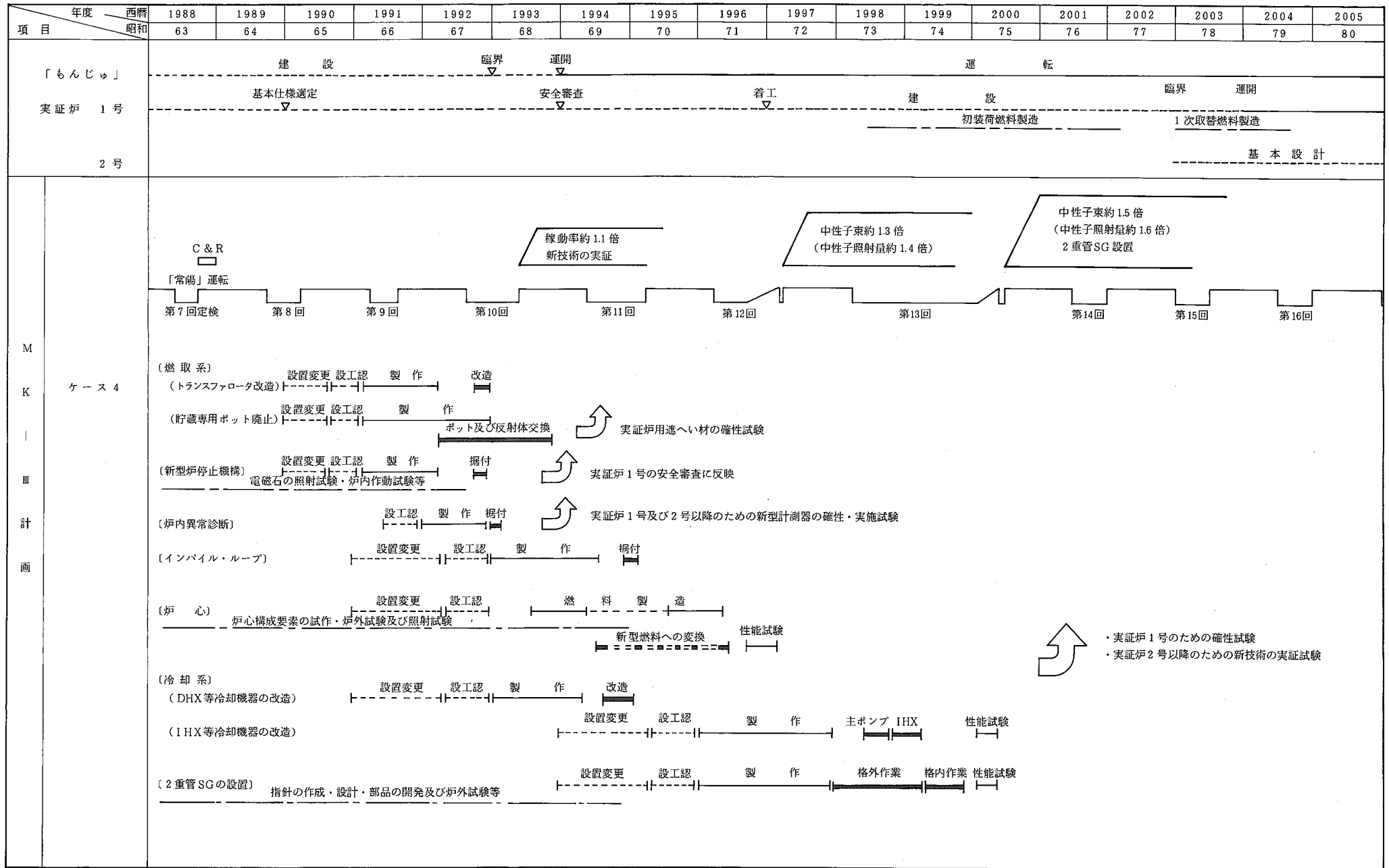
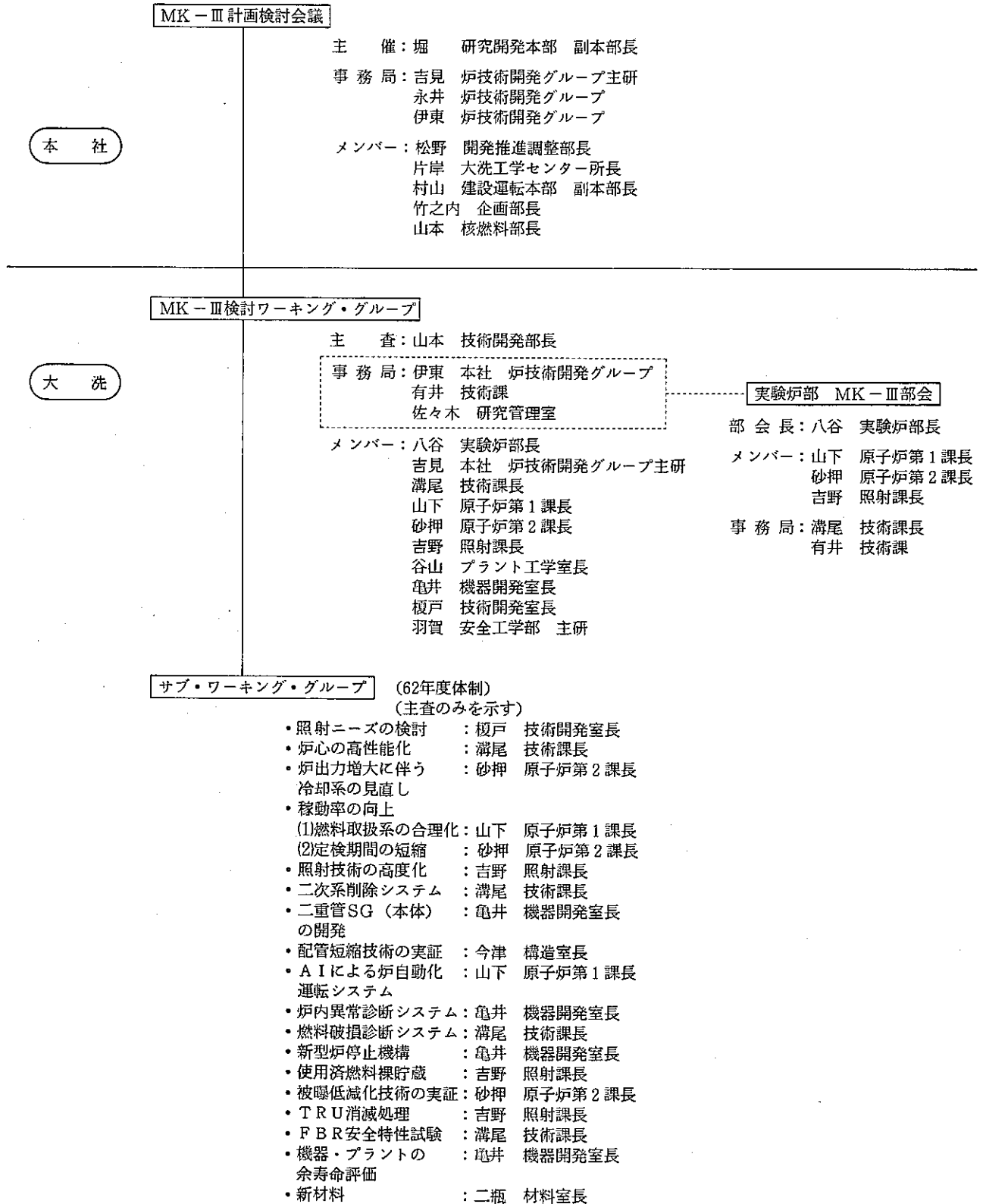


図2 MK-III実施スケジュール(案) (2/2)



- ・実証炉1号のための確性試験
- ・実証炉2号以降のための新技術の実証試験



(順不同・敬称略)

図3 63年度 実施体制(案)

付録1 MK-Ⅲ計画62年度作業分担(S63.3.31現在)

1. 高中性子束炉心へのニーズの検討

項 目	担 当	主 な 検 討 項 目
高中性子束炉心 へのニーズの検討	燃 材 部 (A D S 榎戸室長) " (" 浅 賀) 実 験 炉 部 (照 射 課 宮 川) " (技 術 課 池 田) 技 開 部 (プ ラ 工 室 原) P u 燃 部 (設 開 課 高 橋) " (" 伊 藤) " (" 小 野)	<ul style="list-style-type: none"> 燃料・材料の開発計画からみた高中性子束炉心へのニーズの調査・検討, 他

2. 高中性子束炉心の達成

項 目	担 当	主 な 検 討 項 目
1. 炉心の高性能化	実 験 炉 部 (技 術 課 溝 尾 課 長) " (" 有 井) " (照 射 課 有 江) 技 開 部 (プ ラ 工 室 鈴 木) 燃 材 部 (A D S 柴 原 室 代) 安 工 部 (炉 工 室 古 川)	<ul style="list-style-type: none"> 核熱設計 遮蔽設計 燃料設計 炉内熱流動設計 R&D計画の作成, 他
2. 炉出力増大に伴う 冷却系の見直し	実 験 炉 部 (原 2 課 砂 押 課 長) " (" 小 川) " (技 術 課 沢 田) 機 器 開 発 部 (機 器 室 天 田) 技 開 部 (プ ラ 工 室 田 村)	<ul style="list-style-type: none"> ポンプ, I H X, 空気冷却器の設計研究 一, 二次系流動設計・検討 R&D計画の作成, 他
3. 稼働率の向上 (1) 燃料取扱系の 合理化	実 験 炉 部 (原 1 課 山 下 課 長) " (" 河 井) 機 器 開 発 部 (機 器 室 片 岡)	<ul style="list-style-type: none"> 出入機による集合体の炉内装荷 ポットの全数Aポット化 トランスファロータへのバッフア機能追加 R&D計画の作成, 他
(2) 定検期間の短縮	実 験 炉 部 (原 2 課 砂 押 課 長) " (" 前 田) 機 器 開 発 部 (機 器 室 小 貫)	<ul style="list-style-type: none"> 炉停止後の崩壊熱除去法の検討 機器の改造に関する検討 R&D計画の作成, 他
4. 照射技術の高度化	実 験 炉 部 (照 射 課 吉 野 課 長) " (" 宮 川) 燃 材 部 (F M S 宇 留 鷲) 機 器 開 発 部 (機 器 室 軍 司)	<ul style="list-style-type: none"> INTAの合理化 UPRの合理化, M3ホールの利用 Na中コネクタの開発 新型制御棒下部案内管の開発 R&D計画の作成, 他

3. 新技術の実証

項 目	担 当	主 な 検 討 項 目
1. 二次系削除システム	実験炉部 (技術課 溝尾課長) " (" 沢 田) " (原 2 課 鹿志村) 機器開発部 (機器室 仲 井) " (材料室 鈴 木) 安工部 (P 安室 浜 田) 技開部 (プラ工室 神 戸)	<ul style="list-style-type: none"> ・「常陽」への設置検討 ・安全評価論理の検討 ・熱利用プラント設置検討 ・R&D計画の作成, 他
2. 二重管SG (本体)の開発	機器開発部 (機器室 亀井室長) " (" 酒 井) " (材料室 関) 実験炉部 (技術課 沢 田) 技開部 (プラ工室 米 川)	<ul style="list-style-type: none"> ・1 MWSG試験 ・50 WSG試験 ・R&D計画の作成, 他
3. 配管短縮技術の実証	機器開発部 (構造室 今津室長) " (" 月 森) " (機器室 谷本貢) " (材料室 飯 塚) 実験炉部 (技術課 沢 田) " (原 2 課 小 川) " (照射課 安 部) 技開部 (プラ工室 橋 本)	<ul style="list-style-type: none"> ・配管短縮技術 (ベローズ) の使用検討 ・R&D計画の作成, 他
4. AIによる炉自動 化運転システム	実験炉部 (原 1 課 山下課長) " (" 藤 原) " (技術課 玉 山) " (原 2 課 瀬戸口) 機器開発部 (機器室 林 田) 〔フロンティア (瀬戸口)〕	<ul style="list-style-type: none"> ・システム概念の確立 ・新型計装システム ・R&D計画の作成, 他
5. 炉内異常診断 システム	○機器開発部 (機器室 亀井室長) " (" 中 村) 実験炉部 (技術課 玉 山) " (原 2 課 井 上) 技開部 (プラ工室 森 山)	<ul style="list-style-type: none"> ・炉内中性子検出器 ・炉内温度計測器 ・音響, 流速計 等 ・ナトリウムリーク検出器 ・光ファイバーのペネトレーションに関する検討 ・R&D計画の作成, 他
6. 燃料破損診断 システム	○実験炉部 (技術課 溝尾課長) " (" 大 戸) 燃材部 (A D S 野 村) 機器開発部 (機器室 坂 場)	<ul style="list-style-type: none"> ・解析システム, コードの開発の検討 ・セレクトバルブ等ハードの開発の検討 ・R&D計画の作成, 他

項 目	担 当	主 な 検 討 項 目
7. 新型炉停止機構	機器開発部 (機器室 亀井室長) " (" 齊 藤) 実験炉部 (技術課 有 井) " (照射課 飛 田) 燃 材 部 (M M S 伊藤室代)	<ul style="list-style-type: none"> ・分節型制御棒 ・S A S S ・短尺型駆動機構 ・R & D計画の作成, 他
8. 使用済燃料裸貯蔵	実験炉部 (照射課 吉野課長) " (" 小山課代) 燃 材 部 (A D S 齊 藤) " (F M S 中 村) 機器開発部 (材料室 吉 田)	<ul style="list-style-type: none"> ・設計研究 ・R & D計画の作成, 他
9. 被曝低減化技術 の実証	実験炉部 (原 2 課 砂押課長) " (" 前 田) " (技術課 大 戸) 機器開発部 (材料室 飯 沢) 技 開 部 (プラ工室 竹 内) 燃 材 部 (F M S 平 沢) 安 管 部 (放 管 課 古 田)	<ul style="list-style-type: none"> ・C Pトラップ設置検討 ・F Pトラップ設置検討 ・R & D計画の作成, 他
10. T R U消滅処理	実験炉部 (照射課 吉野課長) " (" 宮 川) " (技術課 有 井) 燃 材 部 (A G S 立 花)	<ul style="list-style-type: none"> ・核・熱解析コードの開発 ・照射リグの開発 ・基礎試験に関する検討 ・取扱施設に関する検討 ・R & D計画の作成, 他
11. F B R安全 特性試験	実験炉部 (技術課 溝尾課長) " (" 奥 田) 安 工 部 (炉 工 室 大 島) " (炉 安 室 福 沢) " (P 安 室 宮 原)	<ul style="list-style-type: none"> ・A T W S等試験項目の抽出と検討 ・R & D計画の作成, 他
12. 機器・プラント の余寿命評価	機器開発部 (機器室 亀井室長) " (" 荒) " (構造室 梅 田) " (材料室 加納主研) 実験炉部 (技術課 沢 田)	<ul style="list-style-type: none"> ・高温構造設計方針の合理化 ・プラント (常陽) の余寿命評価 ・R & D計画の作成, 他
13. 新 材 料	機器開発部 (材料室 二瓶室長) " (" 和 田) 実験炉部 (照射課 安 部) 燃 材 部 (M M S 伊藤室代)	<ul style="list-style-type: none"> ・高C r 鋼の採用検討 ・その他新材料, 部材検討 ・R & D計画の作成, 他

付録 2 MK - III 計画62年度技術検討結果

1. 高中性子束炉心へのニーズの検討	A 1	付 2 - 2
2. 高中性子束炉心の達成		
1. 炉心の高性能化	A 2	付 2 - 21
2. 炉出力増大に伴う冷却系の見直し	A 3	付 2 - 25
3. 稼働率の向上		
(1) 燃料取扱系の合理化	A 4	付 2 - 32
(2) 定検期間の短縮	A 5	付 2 - 40
4. 照射技術の高度化	A 6	付 2 - 43
3. 新技術の実証		
1. 二次系削除システム	A 7	付 2 - 47
2. 二重管SG（本体）の開発	A 8	付 2 - 51
3. 配管短縮技術の実証	A 9	付 2 - 58
4. AIによる炉自動化運転システムの開発	A 10	付 2 - 62
5. 常陽MK - III炉内異常診断システム	A 11	付 2 - 68
6. 燃料破損診断システム	A 12	付 2 - 75
7. 新型炉停止機構	A 13	付 2 - 89
8. 使用済燃料裸貯蔵開発計画	A 14	付 2 - 100
9. 被曝低減化技術の実証	A 15	付 2 - 105
10. TRU消滅処理	A 16	付 2 - 107
11. FBR安全特性試験	A 17	付 2 - 112
12. 機器・プラントの余寿命評価技術の開発	A 18	付 2 - 116

A 1 高中性子束炉心へのニーズの検討

1. 概要

「常陽」の稼働率の向上を含む中性子束炉心の達成は、実証炉 2 号以降の燃料の長寿命化実証に不可欠である。稼働率 70% で、現在より 1.5 倍の中性子束炉心で燃料・材料を照射した場合開発のターンアラウンドが従来の半分の期間ですむといわれている。

燃料集合体に要求される使用条件

	「もんじゅ」 (高燃炉心)	実証炉*	実用炉*
集合体燃焼度 (MWd/t)	94,000	100,000~150,000	~200,000
中性子照射量 (n/cm ²)(0.1 MeV以上)	2.3×10^{23}	$2.5 \sim 4 \times 10^{23}$	$\sim 5 \times 10^{23}$
線出力 (W/cm)	360	430	~500

*一例

この場合、「常陽」の高中性子束炉心の達成は 5×10^{23} n/cm² あるいは、20万 MWd/t という実用炉燃料の照射目標を一早く達成できるということだけでなく、高燃焼度での燃料性能を短期間に見極め、性能改善へのフィードバックを逐次迅速に行なえるという観点からも必要である。限られた炉心スペースの中ですべての R&D 対象を 20万 MWd/t まで確性照射する必要はなく、その対象を絞り込むために 10万 MWd/t 程度までの挙動により高燃焼度での見通しを 2~3 年以内で把握できることが最も大きな利点となる。この観点に立てば高中性子束炉心の達成は実用炉における最適炉心構成要素の開発、新型燃料の開発、非定常照射による燃料信頼性の確認、その他材料開発等膨大な研究開発と採用良否の判断を素早く行うことを可能ならしめ、開発速度を飛躍的に早めるものと期待される。

なお、太径大型バンドルによる長寿命燃料としての確性照射は、海外炉の将来の運転状況予測の不確実性等の観点から原型炉「もんじゅ」の活用を前提に検討したが、「もんじゅ」についてもその利用計画につき早急に検討を開始する必要がある。

2. 検討方法

- (1) 成果の反映先として実証炉 1 号の取替用燃料の高性能化及び実証炉 2 号の基本仕様選定作業を想定し、そのために必要な燃料・材料の R&D 項目、照射計画を現在の中長期計画をベースに策定する。(実証炉 2 号については現状計画は明確でないが西暦 2003 年基本設計開始を仮定した。)
- (2) (1) で策定した R&D 項目及び照射計画を実現するために必要な「常陽」MK-III 炉心の性能を示す。要求性能と現状性能の差がニーズとなる。

3. 検討結果

燃料・材料開発上要求される「常陽」MK-Ⅲの性能は以下の通りである。

1) 炉心に要求される性能

- (1) 年間50日×5サイクル運転を想定した場合、75,000 MWd/t、 1×10^{23} n/cm²の燃焼度、照射量を一年で達成可能とする必要がある。
- (2) 照射リグを同時に15~20体（B型：7体、C型：10体、材料照射リグ：3体）照射できる。うち8体程度は計測線付燃料及び材料照射リグを装荷することが可能。
- (3) 定常照射時は平坦な径方向中性子束分布が好ましく、非定常照射（過出力）試験時は過出力レベルを大きくとるため径方向に勾配の大きな中性子束分布が必要である。照射試験の性格に応じた炉心構成を稼働率に影響を与えずに達成できることが必要。
- (4) 非定常照射対応として出力変化速度のレンジが大きな制御系であること。また、制御は計算機による自動制御。
- (5) RTCB, RBCB, PTM, TOP試験が実施でき、かつ、これらの試験による少数本の燃料破損を許容できる。（不可の場合はインパイルループを検討）
- (6) 破損燃料照射挙動測定装置を具備していること。
- (7) 実機制御棒を使っての試験用吸収ピンの照射試験が可能であること。
- (8) 炉心の一部をダクトレス集合体で構成できる。
- (9) 過渡事象模擬試験に、ドライバー燃料、1次冷却系が耐え得ること。

2) 照射装置に要求される性能

- (1) 計測線付照射リグの温度*、冷却材流量、寸法変化等の情報をオンラインで計測でき、かつ、これらの制御が炉外から実施可能なこと。

（* 温度についてはFFTF-MOTA並みの±5℃の精度）

- (2) 材料リグについてはインパイルクリーブ試験用試料の破断を許容できる設計であること。また、破断時間の検知が可能であること。
- (3) ピン照射リグ及びバンドル照射リグ相互間のピンの乗り換えができること。
- (4) ピン毎に流量調整可能なシュラウド管タイプC型リグが開発されること。また、シュラウド管についても再組立可能なこと。

表A 1.1 MK-Ⅲ炉心での燃料材料開発全体スケジュール（案）

表A 1.2 MK-Ⅲ炉心での燃料材料開発計画（案）

表 A 1.1 MK-III 炉心での燃料材料開発全体スケジュール(案) (1 / 2)

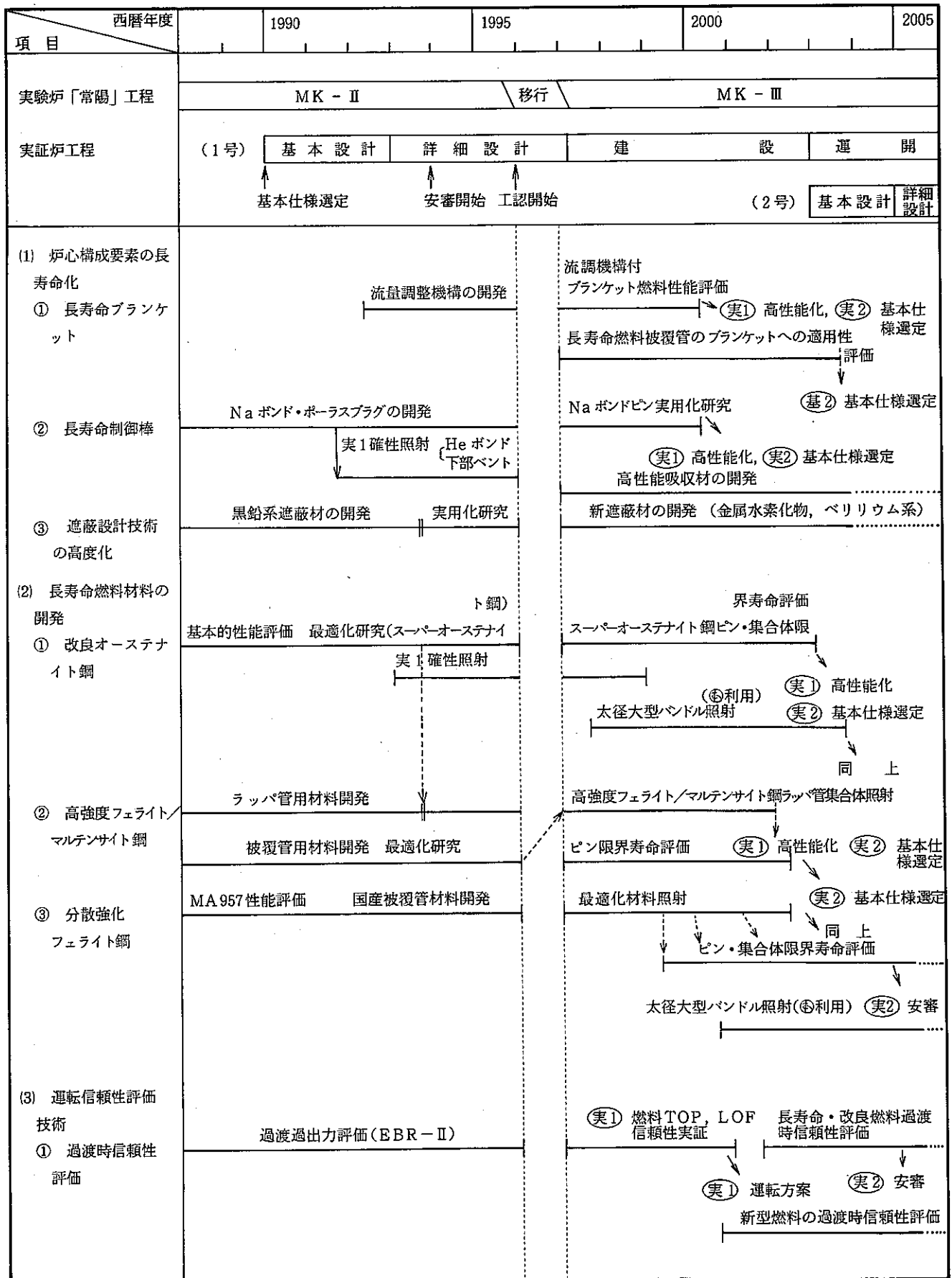


表 A 1.1 MK-III 炉心での燃料材料開発全体スケジュール(案)

(2 / 2)

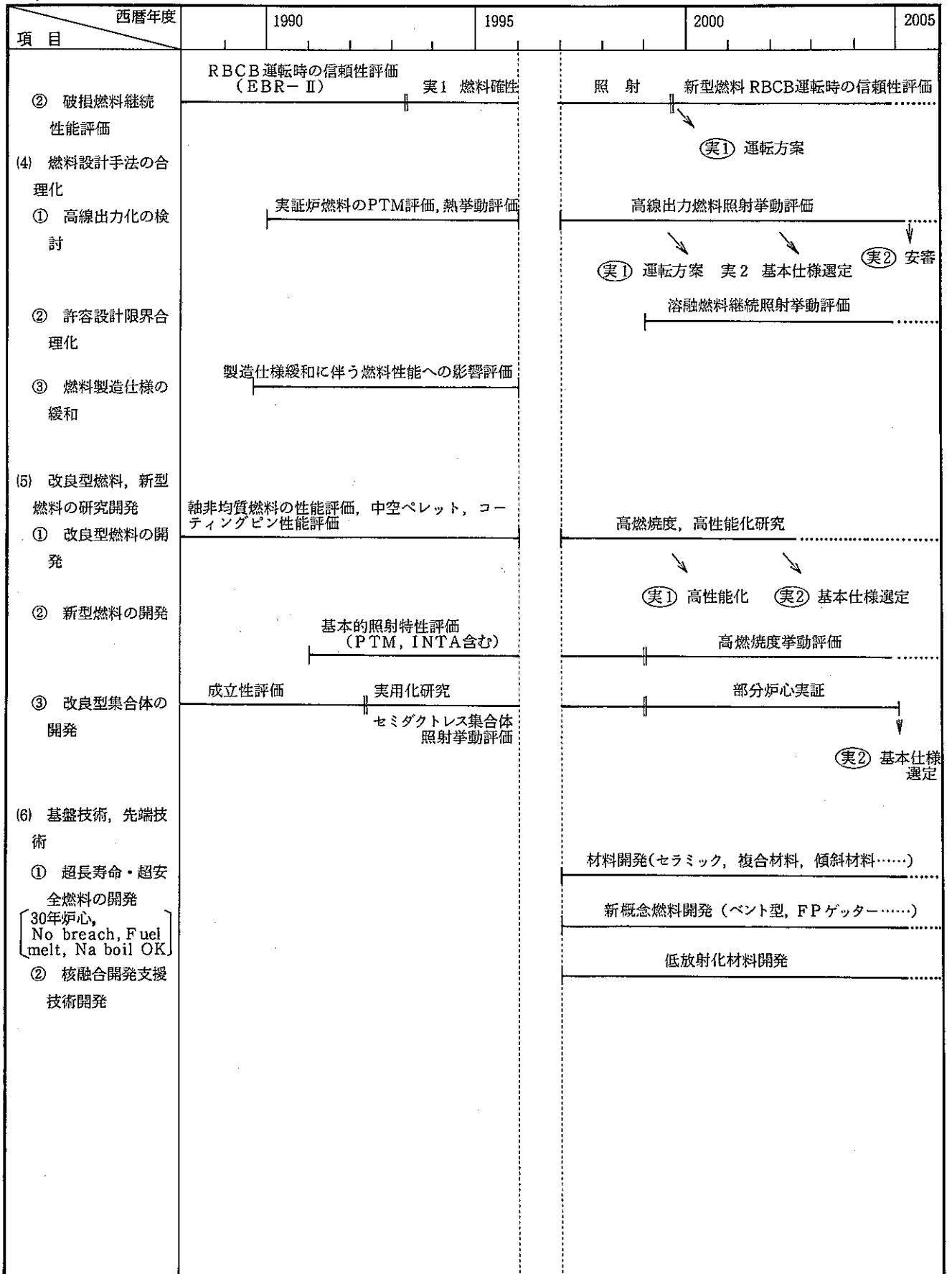


表 A 1.2 MK-III 炉心での燃料材料開発計画(案)

<p>(テーマ) (I) ① 長寿命ブランケット燃料の開発</p>				
<p>(開発目標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 365日×5サイクル ・ ピークフルエンス 2.5×10^{23} n/cm² ・ ピーク燃焼度 > 4.0 at % <p style="text-align: right;">(実1高性能化及び実2基本仕様選定に反映)</p>				
<p>(実施内容) 316相当鋼ブランケット燃料では、BDI及び被覆管温度の上昇の観点から365日×4サイクルが寿命限界</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 改良オーステナイト鋼、高強度フェライト鋼被覆管の適用性評価試験 <ul style="list-style-type: none"> ・ 低スエリング材被覆管によるBDI抑制評価 ・ 太径ブランケット燃料の高燃焼度挙動評価(線出力増加に伴うリッジングFCMI評価) ① 先行ピン照射(一部RTCB) ② バンドル確性照射(改良オーステナイト鋼照射ではグリッドスペーサ適用) ○ Pu富化ブランケット燃料の被覆管温度炉内計測試験 <ul style="list-style-type: none"> ・ EOL時Pu蓄積効果を評価 				
<p>(照射装置の種類, 体数, 機能要件)</p> <p>B型タイプピン照射リグ 1体</p> <p>C型タイプバンドル照射リグ 2体……(可能な場合可変流調機構付)</p> <p>INTA 1体</p>				
<p>(開発スケジュール) MK-III照射条件: Peak Bu ~ 75,000 MWd/t/年, Peak fast fluence ~ 1.0×10^{23} n/cm²/年</p>				
西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目				
実験炉「常陽」工程	MK-II		移行	MK-III
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設
		↑	↑	↑
		基本仕様選定	安審開始	工認開始
				(2号) 基本設計
				詳細設計
ピン先行照射			1×10^{23} 1×10^{23} (1×10^{23}) 	
バンドル照射			IE IE (AST) 2.5×10^{23} (ODS) $> 2.5 \times 10^{23}$	
被覆管温度計測			 2~3サイクル	

表 A 1.2 MK-III 炉心での燃料材料開発計画 (案)

(テーマ) (1) ②長寿命制御棒の開発 (開発目標) <ul style="list-style-type: none"> • 365 日×5 サイクル • ピークフルエンス $2.5 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$ • ピーク燃焼度 (B_4C) $> 3 \times 10^{22} \text{ captures/cm}^2$ <p style="text-align: right;">(実1 高性能化及び実2 基本仕様選定に反映)</p>				
(実施内容) 1) B_4C 制御棒 密封型 (もんじゅ) では 148 日×2 サイクル ($1.1 \times 10^{22} \text{ captures/cm}^2$) が寿命限界 <ul style="list-style-type: none"> ○ MK-II 基礎照射に基づく集合体照射による適用性評価 <ul style="list-style-type: none"> • Na ボンドピンの挙動評価 (FCCI, ACMI 等) • ベント機構の有効性評価 (ポーラスプラグ) ○ 改良オーステナイト鋼, 高強度フェライト鋼構造材制御棒の適用性評価試験 2) 代替材料制御棒 B_4C 制御棒の場合 $3 \times 10^{22} \text{ cap/cm}^2$ 程度が限界 (ZrH, C 等を減速材として使用した C/R) <ul style="list-style-type: none"> ○ 代替材料の照射基本特性評価 ○ 代替材料ピン照射 ○ 代替材料集合体照射 				
(照射装置の種類, 体数, 機能要件) AMIR 5 体 集合体照射 (実機制御棒 1 本を試験用制御棒として使う) 4 体				
(開発スケジュール) MK-III 照射条件: Peak Bu $\sim 75,000 \text{ MWd/t/年}$, Peak fast fluence $\sim 1.0 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2/\text{年}$				
西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目				
実験炉「常陽」工程	MK-II		移行	MK-III
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設
	↑	↑	↑	(2号)
	基本仕様選定	安審開始	工認開始	基本設計 詳細設計
Na ボンド制御棒照射	$1.5 \sim 2.0 \times 10^{22} \text{ cap/cm}^2$ 			
代替材料照射	材料照射 { <ul style="list-style-type: none"> 1×10^{22} (1990-1992) ↓ PIE 2.5×10^{23} (1992-1995) ↓ PIE 2.5×10^{23} (1995-2000) ↓ PIE 1×10^{23} (2000-2005) ↓ PIE } ピン { <ul style="list-style-type: none"> 2.5×10^{23} (1995-2000) 2.5×10^{23} (2000-2005) } 集合体 { <ul style="list-style-type: none"> (1995-2000) (2000-2005) }			

表 A 1.2 MK-III炉心での燃料材料開発計画 (案)

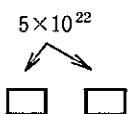
(テーマ) (1) ③ 遮蔽設計技術の高度化					
(開発目標) ・中性子照射量 $\sim 5 \times 10^{22}$ n/cm ² ・遮蔽性能がSUS系, 黒鉛系より大					
(実2基本仕様選定に反映)					
(実施内容) 新遮蔽材の開発 (金属水素化物, ベリリウム系 etc) ○炉内照射挙動評価試験 ・被覆管破損時の冷却材との共存性評価 ・形状変化 ・物性変化 ・被覆材との相互作用 ・発熱量, 最高中心温度					
(照射装置の種類, 体数, 機能要件) SHMIR 2体					
(開発スケジュール) MK-III照射条件: Peak Bu $\sim 75,000$ MWd/t/年, Peak fast fluence $\sim 1.0 \times 10^{23}$ n/cm ² /年					
	西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目					
実験炉「常陽」工程	MK-II		移行	MK-III	
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設	運開
	↑	↑	↑		
	基本仕様選定	安審開始	工認開始		
				(2号)	基本設計 詳細設計
照射試験	5×10^{22} 				

表 A 1.2 MK-III 炉心での燃料材料開発計画 (案)

(テーマ) (2) ①長寿命炉心材料 改良オーステナイト鋼の開発				
(開発目標) 改良オーステナイト鋼の最適化研究によって開発されたスーパーオーステナイト鋼の燃料ピン及び集合体について 1. 365日×3サイクル以上 2. ピークフルエンス $3 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$) 以上 3. ピーク燃焼度 約160,000 MWd/t以上 を達成できることを確認し、実証炉に反映させる。				
(実施内容) 実証炉仕様のスーパーオーステナイト鋼燃料ピン及び燃料集合体 (小型～中型バンドル) について ① ピン, 集合体限界寿命評価試験 (破損又は集合体変形の限界まで) ② 「もんじゅ」炉心を利用した太径大型バンドル照射を実施する。 未結果は実証炉1号取替炉心さらには実証炉2号の基本仕様選定に適用する。				
(照射装置の種類, 体数, 機能要件) ・ピン破損限界試験はB型使用 (中間検査実施) 1体 ただしRTCB用は要再組立 ・集合体限界寿命評価はOpen Coreで実施 1体				
(開発スケジュール) MK-III照射条件: Peak Bu $\sim 75,000 \text{ MWd/t/年}$, Peak fast fluence $\sim 1.0 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2/\text{年}$				
西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目				
実験炉「常陽」工程	MK-II		移行	MK-III
実証炉工程	(1号) 基本設計	詳細設計	建設	運開
	↑ 基本仕様選定	↑ 安審開始	↑ 工認開始	
(スーパーオーステナイト鋼部材)				
燃料ピン破損限界試験	RTCB $\sim 160,000 \text{ MWd/t}$, $\sim 3 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$ ↓ IE ↓ IE			
燃料集合体限界寿命試験	$\sim 160,000 \text{ MWd/t}$, $\sim 3 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$			
太径大型バンドル確性照射	[「もんじゅ」炉心利用 $\sim 160,000 \text{ MWd/t}$]			
(改良オーステナイト鋼部材)				
実1号燃料確性照射	RTCB			

表 A 1.2 MK-III 炉心での燃料材料開発計画 (案)

(テーマ) (2) ②長寿命炉心材料 高強度フェライト/マルテンサイト鋼の開発 (開発目標) 高強度フェライト/マルテンサイト鋼の被覆管及びラップ管を使用した燃料ピン照射及び集合体照射により 1. 365日×3~5サイクル 2. ピークフルエンス $3 \sim 5 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$) 3. ピーク燃焼度 約200,000 MWd/t を達成可能かどうか検討し、長寿命炉心設計に反映する。 (実施内容) 米国 HT9 をはるかに上回る国産の高強度フェライト/マルテンサイト鋼燃料ピン、ラップ管にて ① 長寿命集合体挙動評価試験 (フェライト系ラップ管の炉内挙動データを収集する。) ② 燃料ピン限界寿命評価試験 (破損まで照射する。) を実施する。 本結果は実証炉 1 号取替炉心、さらには実証炉 2 号の基本仕様選定に反映し長寿命炉心の実現をめざす。					
(照射装置の種類, 体数, 機能要件) ・集合体挙動評価試験 2 体 ・ピン破損限界試験 B 型 1 体 ただし RTCB 用は要再組立					
(開発スケジュール) MK-III 照射条件: Peak Bu $\sim 75,000 \text{ MWd/t/年}$, Peak fast fluence $\sim 1.0 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2/\text{年}$					
西暦年度	1990	1995	2000	2005	
項目					
実験炉「常陽」工程	MK-II		MK-III		
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設	運開
		↑ 基本仕様選定	↑ 安審開始 ↑ 工認開始		(2号) 基本設計 詳細設計
長寿命集合体挙動評価試験	スーパーオーステナイトピン, フェライトラップ管				
燃料ピン破損限界試験	フェライトピン, フェライトラップ管				

表 A 1.2 MK-III 炉心での燃料材料開発計画 (案)

<p>(テーマ) (2) ③長寿命炉心材料 分散強化フェライト鋼の開発</p>												
<p>(開発目標) 国産分散強化フェライト鋼燃料ピン及び高強度フェライト / マルテンサイト鋼ラッパ管を使用した照射試験によって</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 365日×5サイクル以上 2. ピークフルエンス 約 $5 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$) 3. ピーク燃焼度 約 300,000 MWd/t を達成し、長寿命炉心を実現させる。 												
<p>(実施内容) ① 分散強化フェライト鋼最適材の材料照射 材料照射データの取得と材料の最適化</p> <p>② 分散強化フェライト鋼燃料ピンの挙動把握 (最適燃料設計) と寿命評価試験 長寿命燃料設計の確立と使用限界の把握</p> <p>③ 分散強化フェライト鋼燃料ピン, 高強度フェライト / マルテンサイト鋼ラッパ管集合体の限界寿命評価試験 集合体の設計最適化と使用限界の把握</p> <p>④ フェライト系部材 (同上) の太径大型バンドル照射試験 集合体の設計妥当性確認と使用限界の把握</p>												
<p>(照射装置の種類, 体数, 機能要件)</p> <table border="0"> <tr> <td>CMIR (温度制御付, 内圧クリープ TP 破損許容 & 破損時間検知)</td> <td>1 体</td> </tr> <tr> <td>B 型 (RTCB 許容)</td> <td>2 体</td> </tr> <tr> <td>C 型</td> <td>2 体</td> </tr> <tr> <td>大型集合体</td> <td>2 体</td> </tr> </table>					CMIR (温度制御付, 内圧クリープ TP 破損許容 & 破損時間検知)	1 体	B 型 (RTCB 許容)	2 体	C 型	2 体	大型集合体	2 体
CMIR (温度制御付, 内圧クリープ TP 破損許容 & 破損時間検知)	1 体											
B 型 (RTCB 許容)	2 体											
C 型	2 体											
大型集合体	2 体											
<p>(開発スケジュール) MK-III 照射条件: Peak Bu ~ 75,000 MWd/t/年, Peak fast fluence ~ $1.0 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$/年</p>												
西暦年度	1990	1995	2000	2005								
項目												
実験炉「常陽」工程	MK-II		移行	MK-III								
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設 運開								
		↑ 基本仕様選定	↑ 安審開始	↑ 工認開始								
				(2号) 基本設計 詳細設計								
材料照射												
ピン挙動評価												
集合体挙動評価												
大型集合体挙動評価												

~300,000 MWd/t
RTCB

~300,000 MWd/t以上
IE IE IE

~200,000 MWd/t, ~ $3 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$

~300,000 MWd/t以上
~ $5 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$

もんじゅ炉心利用

表 A 1.2 MK-III 炉心での燃料材料開発計画 (案)

(テーマ) (3) ① 過渡時信頼性評価 (開発目標) ・過出力レベル 100%~150% ・過出力速度 ~10%/s 過渡時燃料信頼性を評価し、運転過渡時の健全性を実証するとともに商用運転時の燃料性能の flexibility 向上を図る。				
(実施内容) 1) Duty Cycle 試験 ・繰り返し過渡過出力試験 燃料溶融に至らない過出力 (15-50%) による寿命短縮効果評価 ・Power Rump 試験 炉内シャフリング等による出力変動による寿命短縮効果試験 2) 単一過渡過出力試験 ・実1燃料、長寿命燃料、ブランケット燃料、改良燃料等の破損限界把握 3) 流量減少過渡過熱試験 ・実1燃料等のNa沸とう温度以下までの流量減少による繰り返し過渡過熱による寿命短縮効果評価 尚、本試験実現のために必要な炉側の対応として ① 制御系改造…自動制御、上昇速度可変 ② ドライバー燃料を含む炉心全体の過渡時健全性確認 (全炉心規模の負荷追従試験) ③ 炉心構成変更を迅速に行える炉内燃交設備の改良				
(照射装置の種類、体数、機能要件) ・単一過出力試験用リグ：2~3体 (温度計測、流量計測可能) (INTA改) ・流量減少試験用リグ：1体 (温度計測、流量計測及び流量調整可能) (INTA改) ・C型 (シュラウド管タイプ)：2体 ・炉心5~6列→中心列の装荷で目標過出力レベルが達成されること。 ・定常照射ピンからの再組立が可能なこと				
(開発スケジュール) MK-III照射条件：Peak Bu~75,000 MWd/t/年, Peak fast fluence~1.0×10 ²³ n/cm ² /年				
西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目				
実験炉「常陽」工程	MK-II		移行	MK-III
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設 運開
	↑	↑	↑	
	基本仕様選定	安審開始	工認開始	(2号) 基本設計 詳細設計
・定常照射	(長寿命燃料、ブランケット燃料、改良型燃料、新型燃料の照射ピンを利用)			
・Duty Cycle 試験		[繰返し過渡]	実1確性 []	パラメータ照射 []
		[パワーランプ]	[]	
・単一過渡過出力試験			▽	▽
・流量減少過渡過熱試験			[]	▽
		MK-III 燃料設計 [.....]	全炉心負荷追従試験	
			制御系改造 [.....]	

表 A 1.2 MK-III 炉心での燃料材料開発計画 (案)

(テーマ) (3) ②破損燃料継続性能評価 (開発目標) (1) 実1燃料の確性照射による運転方案の策定 (2) 新型燃料の破損継続運転時の安全性, 信頼性評価				
(実施内容) (1) 実1燃料の詳細設計に基づく破損後挙動確性照射試験 ・ online による燃料中心温度評価 ・ 燃料放出量評価 ・ バンドル照射による破損伝播の確性 (2) 新型燃料の安全性, 信頼性評価 ・ 金属燃料, 炭化物, 窒化物燃料とナトリウムとの反応特性及び燃料ピン挙動評価 ・ 破損信号評価 ・ 燃料放出量評価				
(照射装置の種類, 体数, 機能要件) ・ B 型タイプピン照射リグ 2 体 (新型燃料) … (ピン毎にフィルター付照射) ・ C 型タイプバンドル照射リグ 1 体 (実1燃料確性) ・ 破損燃料照射挙動測定装置 2 体 (実1燃料確性, 新型燃料)				
(開発スケジュール) MK-III 照射条件: Peak Bu ~ 75,000 MWd/t/年, Peak fast fluence ~ 1.0×10^{23} n/cm ² /年				
西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目				
実験炉「常陽」工程	MK-II		移行	MK-III
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設 運 開
		↑ 基本仕様選定	↑ 安審開始	↑ 工認開始
			(2号)	基本設計 詳細設計
ピン予備照射 (1 体)				
B 型ピン照射 (2 体)				
破損燃料照射挙動測定装置 (2 体)				
C 型バンドル照射 (1 体)				

表 A 1.2 MK-III 炉心での燃料材料開発計画 (案)

(テーマ) (4) ① 高線出力化の検討 (開発目標) ・定格時最大線出力 > 430 W/cm → 最大線出力を上げることにより炉心のコンパクト化を図る。 { 実1 運転方案及び実2 基本仕様選定に反映 }				
(実施内容) ○ Power-to-Melt (Power to breach due to melting) 試験データの蓄積 ・ 溶融範囲の評価 ○ 燃料中心温度測定データの蓄積 ・ 高線出力時燃料中心温度の評価 上記データにより、高線出力時の燃料中心温度予測精度の向上を図る。 { ペレット密度, ペレット-被覆管ギャップ幅, 線出力等をパラメータとする。 }				
(照射装置の種類, 体数, 機能要件) ・ 燃料破損許容又はインパイルループリグ 3 体 ・ INTA 3 体				
(開発スケジュール) MK-III 照射条件: Peak Bu ~ 75,000 MWd/t/年, Peak fast fluence ~ 1.0 × 10 ²³ n/cm ² /年				
西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目				
実験炉「常陽」工程	MK-II		移行	MK-III
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設 運開
		↑ 基本仕様選定	↑ 安審開始 ↑ 工認開始	(2号) 基本設計 詳細設計
Power-to-Melt 試験	1 サイクル 			
燃料中心温度測定				

表 A 1.2 MK - III 炉心での燃料材料開発計画 (案)

(テーマ) (4) ② 許容設計限界の合理化 (開発目標) ・定格時最大線出力 $> 430 \text{ W/cm}$ → 最大線出力を上げることにより炉心のコンパクト化を図る。 (実 2 運転方案に反映)				
(実施内容) ○ 溶融燃料継続照射 ・ 溶融燃料の挙動評価 ・ PCMI 評価 ・ PCCI 評価 {ペレット密度, ペレット-被覆管ギャップ幅, 線出力等をパラメータとする。}				
(照射装置の種類, 体数, 機能要件) ・ 燃料破損許容又はインパイルループリグ 3 体				
(開発スケジュール) MK - III 照射条件: Peak Bu $\sim 75,000 \text{ MWd/t/年}$, Peak fast fluence $\sim 1.0 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2/\text{年}$				
西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目				
実験炉「常陽」工程	MK - II		移行	MK - III
実証炉工程	(1号) 基本設計	詳細設計	建設	運開
	↑ 基本仕様選定	↑ 安審開始	↑ 工認開始	(2号) 基本設計 詳細設計
溶融燃料継続照射 (15~20万MWd/t目標)				

表 A 1.2 MK-III 炉心での燃料材料開発計画 (案)

(11/15)

<p>(テーマ) (4) ③ 燃料製造仕様合理化に関する照射試験</p> <p>(開発目標) 高速炉燃料の製造におけるコスト低減化において最も有効である線密度の導入等の燃料製造仕様の緩和について、その技術的見通しを得る。 (「もんじゅ」取替, 高燃, 実1等に反映する。)</p> <p>(実施内容) 太径燃料ピンを用いた照射試験</p> <ol style="list-style-type: none"> 線密度の導入による仕様の緩和 線密度仕様の上・下限値に相当する燃料ペレット密度及び外径の組み合わせが燃料の健全性に影響を及ぼさないことを示す。 その他の燃料仕様の緩和 燃料ペレットのカケ, P u スポット径及び金属不純物, 蒸気性不純物, 蒸気性不純物元素の被覆管に及ぼす影響を定量的に把握し, 仕様緩和及び設計手法の改良に役立てる。 ホットスポットファクターの評価 上記, 線密度仕様の導入, 及びその他の燃料仕様の緩和による照射試験を通して, 得られた中心温度測定データにより H. S. F を評価する。 <p>(照射装置の種類, 体数, 機能要件)</p> <p>INTAタイプ (中心温度測定) … 1体 ピンパンクチャーによるガス分析 被覆管内面腐食の定量的観察</p> <p>(開発スケジュール) MK-III照射条件: Peak Bu ~ 75,000 MWd/t/年, Peak fast fluence ~ 1.0×10^{23} n/cm²/年</p>				
西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目				
実験炉「常陽」工程	MK-II		移行	MK-III
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設
	↑	↑	↑	↑
	基本仕様選定	安審開始	工認開始	運開
				(2号) 基本設計 詳細設計
C5J照射	<p style="text-align: center;">照射(1)</p> <p style="text-align: center;">PIE (MK-IIドライバー仕様に反映)</p> <p style="text-align: center;">(一部実証炉設計へ反映)</p>			
INTA照射	<p style="text-align: center;">照射(2)</p> <p style="text-align: center;">PIE</p> <p style="text-align: center;">「もんじゅ」取替, 高燃, 及び実証炉仕様へ反映</p>			

表A 1.2 MK-III炉心での燃料材料開発計画(案)

(12/15)

(テーマ) (5) ①改良型燃料の開発 (開発目標) 照 射: 365日×3サイクル 燃焼度: 100,000 MWd/t 中性子照射量: 2.5×10^{23} n/cm ²				
(実施内容) MK-II炉心において、第1次改良型燃料ピンの開発として各改良案を織り込んだピン照射試験を実施し、各々の改良案を個別に評価する。MK-III炉心においては、MK-II炉心にて評価された個々の改良案を組み合わせた高性能燃料ピンの開発を目指した照射試験を行なう。この照射試験の総合評価を行ない、実証炉2号機のピン基本仕様選定に反映させる。 (1) 被覆管材: 改良オーステナイト鋼, 高強度フェライト鋼, その他耐スエリング性被覆管材 (2) 改良パラメータ: 軸非均質, 内面コーティング, 中空ペレット, ソフトペレット, 下部プレナム構造 (3) 照射試験 (i)改良案組み合わせパラメータ試験: ピン照射試験(最適組み合わせ選定) (ii)最適組み合わせ改良型ピンバンドル試験: バンドル確性試験				
(照射装置の種類, 体数, 機能要件) B型タイプ ピン照射リグ 1体 C型タイプ バンドル照射リグ 1体				
(開発スケジュール) MK-III照射条件: Peak Bu ~ 75,000 MWd/t/年, Peak fast fluence ~ 1.0×10^{23} n/cm ² /年				
西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目				
実験炉「常陽」工程	MK-II		移行	MK-III
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設 運 開
		↑ 基本仕様選定	↑ 安審開始	↑ 工認開始
			(2号)	基本設計 詳細設計
(1) 軸非均質ピン照射試験				
(2) 下部プレナムピン照射試験				
(3) 内面コーティングピン照射試験				
(4) 中空ペレットピン照射試験				
(5) 改良ピンパラメータ試験				
(6) バンドル照射試験				
(改良オーステナイト鋼製被覆管使用)				
(B型) 100,000 MWd/t 2.5×10^{23} n/cm ² (C型) 100,000 MWd/t 2.5×10^{23} n/cm ²				

表 A 1.2 MK-III炉心での燃料材料開発計画 (案)

(13/15)

<p>(テーマ) (5) ②新型燃料 (金属、炭・窒化物) の開発</p> <p>(開発目標) 新型燃料の定常及び非定常運転時の照射挙動を把握し、実用化評価を行うに十分な燃料性能データベースを構築する。</p> <p>(実施内容) 1) リサイクル燃料挙動評価試験 再処理試験施設で再処理された新型燃料の照射挙動を調べることで新型燃料再処理技術の妥当性を評価するとともに、燃料寿命限界を把握する。 2) 高温試験 共晶合金生成温度以上の被覆管温度にて照射し、燃料寿命への影響を把握する。 3) 製造欠陥試験 製造欠陥によりボンドNaが失われた状態での燃料挙動、寿命への影響を把握する。 4) 過渡時燃料健全性評価試験 } (3) 運転信頼性評価試験で扱う 5) RBCB試験</p> <p>(照射装置の種類、体数、機能要件) B型: 1体 (RTCB) C型: 2体 (RTCB) (ジュラウド管タイプ)</p> <p>(開発スケジュール) MK-III照射条件: Peak Bu ~ 75,000 MWd/t/年, Peak fast fluence ~ 1.0 × 10²³ n/cm²/年</p>				
西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目				
実験炉「常陽」工程	MK-II		移行	MK-III
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設 運開
		↑ 基本仕様選定	↑ 安審開始 工認開始	(2号) 基本設計 詳細設計
1) リサイクル燃料挙動評価	(RTCB)			
2) 高温試験				
3) 製造欠陥試験				

表A 1.2 MK-III炉心での燃料材料開発計画 (案)

(14/15)

<p>(テーマ) (5) ③ラップ管削除型燃料集合体の開発</p>					
<p>(開発目標) 軽水炉とコスト的に競合し得る高速炉の実用化に向けて、燃料サイクルシステム全般に渡る大幅なコスト低減が可能な、ラップ管削除型集合体を開発する。</p>					
<p>(実施内容) 1. MK-IIにおけるミニダクトレス集合体照射試験 1-1. INTAによるミニダクトレス集合体熱流動確性試験 1-2. C型特燃によるミニダクトレス集合体確性試験 2. MK-II炉心におけるダクトレス集合体部分炉心実証試験 ・ドライバ燃料置換 (常陽をパイロット炉心として位置付ける。実証炉2号機用炉心)</p>					
<p>(照射装置の種類, 体数, 機能要件)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. INTA …… 2体 2. C型 …… 3体 3. MK-IIドライバ置換 (1~37体) 					
<p>(開発スケジュール) MK-III照射条件: Peak Bu ~ 75,000 MWd/t/年, Peak fast fluence ~ 1.0×10^{25} n/cm²/年</p>					
	西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目					
実験炉「常陽」工程		MK-II		移行	MK-III
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設	運開
		↑ 基本仕様選定	↑ 安審開始	↑ 工認開始	(2号) 基本設計 詳細設計
成立性評価研究		↑			
設計比較研究		実1 比較設計研究			
実用化研究		実用化研究 (合理化効果確認)			
照射		INTA	C型特燃	MK-II炉心設計	部分炉心実証

表 A 1.2 MK-III炉心での燃料材料開発計画 (案)

(テーマ) (6) ①②超長寿命, 超安全燃料の開発, その他				
(開発目標) 炉心のコンパクト化, 高性能化, 超寿命化を図るための革新的新素材の創成				
(実施内容) ・セラミックス, 複合材料, 傾斜材料等の炉内照射特性評価 被覆管, ダクトへの適用性評価 構造材料としての適用性評価 ・低放射化材料の特性評価 ・ピン内希ガス, FP, トリチウム吸着材の炉内特性評価 ・超耐熱材料の炉内特性評価				
(照射装置の種類, 体数, 機能要件) 材料照射リグ 3体 (オンライン歪測定, 温度測定±5°C) B型タイプピン照射リグ 1体				
(開発スケジュール) MK-III照射条件: Peak Bu~75,000 MWd/t/年, Peak fast fluence~1.0×10 ²³ n/cm ² /年				
西暦年度	1990	1995	2000	2005
項目				
実験炉「常陽」工程	MK-II		移行	MK-III
実証炉工程	(1号)	基本設計	詳細設計	建設 運開
	↑	↑	↑	
	基本仕様選定	安審開始	工認開始	(2号) 基本設計 詳細設計
材料照射リグ (3体)		1×10 ²³	1×10 ²³	2×10 ²³
B型ピン照射 (1体)				2.5×10 ²³

A 2 炉心の高性能化

1. 概 要

中性子束の増大及び照射試験のためのスペースの拡充等、炉心性能を現行炉心より向上させることに関する要求や期待は大きい。中性子束の増大は、長寿命燃料（燃焼度約200,000 MWd/t）等高性能燃料の開発に要する時間の大幅な短縮をはじめ、炉心燃料・制御棒材料及び新型燃料の開発期間の短縮につながる。また、照射試験のためのスペースを拡充させることで、FBR用材料の開発のみならず超ウラン元素（TRU元素）の消滅処理技術の実証試験等FBR以外の分野にも貢献することが可能である。

この炉心の高性能化を実現するため、炉心設計・遮蔽設計・炉内熱流動設計及び炉心構成要素の構造設計を行うとともに、必要に応じて試作・炉外試験・照射試験等を行い、炉心構成要素の構造・仕様等を決定する。

2. 開発目的

- (1) 高速中性子束を増大させ、効率的な照射を可能とする（照射期間の短縮）。
- (2) 照射試験のためのスペースを拡充する。
- (3) 過渡試験等多様な条件の照射試験も可能とする。

3. 必要性

燃料・材料の定常的な照射試験は、「もんじゅ」の運転開始以降は「もんじゅ」を利用して実施していくことも考えられるが、MK-Ⅲ計画の炉心の改造により炉心の高中性子束化を実現すれば、照射期間の短縮が可能となりFBR燃料・材料の開発計画にもたらす効果は大きく、定常的な照射試験における「常陽」の利用価値は高い。特に目標燃焼度200,000 MWd/tというような長寿命燃料の開発に要する時間の短縮効果は著しい。

また、過渡時の燃料挙動・破損限界の確認、安全余裕の評価や破損機構の解明等運転信頼性を把握するための試験をはじめ多様な試験（運転）への対応やFBR用構造材料、制御棒材料の開発、炭・窒化物燃料や金属燃料等の新型燃料の開発試験の他、FBR以外の分野（TRU元素の消滅処理技術の実証試験や核融合材料の開発等）からの要求にも対応することができるよう照射スペースの拡充を図るなど、炉心性能を向上する必要がある。

4. 検討結果

62年度、上記目的を達成するための炉心高性能化の可能性について予備検討を行った。検討は炉心に関する検討結果と冷却系（別途検討）について検討した結果とを総合し、

- ・原子炉出力：IHXを交換しない場合 最大 130 MW
 ：IHXを交換する場合 最大 150 MW
- ・炉心圧損：上限を6.0 kg/cm²とする。（炉心構造物の設計圧力7.2 kg/cm²にIHXを交換した場合の

圧損の増加等も考慮し余裕をみた値)

を制限条件として行った。検討結果を表 A 2.1 に示す。

この結果より、中性子束は I H X の交換の有無に関わらず細径ピンを用いた場合に、最大で現行炉心 (Reference) の約 1.4 倍まで増大させることが可能であることが判った。しかし、出力の増加に伴う冷却材流量の増加により炉心構成要素エントランスノズル部及び炉心構造物連結管部には、キャビテーションが発生する可能性があるため、炉心圧損の低減化が高性能炉心を実現するうえでの今後の重要な検討課題である。そして、炉心圧損 (流配) の観点からは、細径ピンよりも太径ピンを用いた方が中性子束は前者に比べて増大しないものの、成立性の点では有利だと言うことが判る。なお、いずれの場合においても、炉心圧損をより低減化できれば、原子炉出力はさらに上げることも可能であり、中性子束をさらに増大できる可能性も考えられる。

また、これを中性子照射量で見ると、稼働率 (別途検討) は現状より約 1.2 倍程度上がるため、中性子束の増大と合わせると 1 年程度照射されるリグにおいては、中性子照射量は現行炉心の場合と比べて約 1.6 倍程度まで増加することが判った。

なお、本年度は、この予備検討に引続き、予備検討の各ケースについてのより詳細な核・熱特性解析及び炉心圧損の低減化に関する調査・検討を行っており、63年度に予備設計を行う炉心のケースの絞り込み及びエントランスノズル部と連結管部の水流動試験用の試験体の製造仕様と試験条件等を決定する。

5. R & D 計画

炉心の高性能化に関する実施計画は、表 A 2.2 に示すとおりで、63年度には予備設計として燃料ピン径等をパラメータとしたいいくつかの炉心について設計を行うとともに、並行して炉心構成要素及び連結管部の流動特性試験用の試験体の製作とそれによる水流動試験を実施する。そして、これらの結果に基づき、チェック&レビューにおいて「高性能炉心」の概念を決定する。64年度～65年度にはチェック&レビューで選択された炉心について詳細な仕様を決定するとともに、炉心構成要素のナトリウム流動試験とキャビテーション試験を行い流配の成立性の確認及び中空ペレット等、従来と異なる燃料については燃料製造性・照射挙動の確認のための試作・炉外試験・照射試験等を実施し、設計や安全審査に必要なデータを取得する。また、並行して過渡試験にも対応できるよう、燃料及び制御棒の構造・駆動機構及び原子炉の運転方法等について必要に応じて照射試験等を行いながら、検討を進める。66年度～67年度は、安全審査と並行し、これまでの設計や試験の結果をもとに詳細 (調整) 設計を行う。そして、68年度以降炉心構成要素の設工認・製作と進めていく計画である。

表 A 2.1 高性能炉心の予備検討結果







冷却系

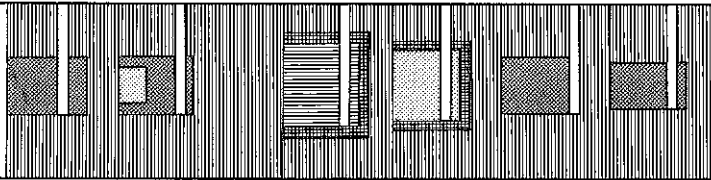
REFERENCE	REFERENCE	CASE1	CASE1'	CASE2	CASE2'	CASE3	CASE3'	CASE4	CASE4'	CASE5	CASE5'	
IHX交換せず	原子炉出力 (MW)	100	150	130	180	130	190	130	140	130	150	130
	中性子束 (Total)	ϕ^*	1.44 ϕ	1.25 ϕ	1.44 ϕ	1.04 ϕ	1.40 ϕ	1.02 ϕ	1.50 ϕ	1.39 ϕ	1.50 ϕ	1.31 ϕ
	圧損 (kg/cm ²)	~3.3	~7.0	~5.4	~5.6	~2.9	~8.2	~3.8	~7.0	~6.0	~6.4	~4.8
IHX交換	原子炉出力 (MW)	—	150	140	180	150	190	150	140	130	150	140
	中性子束 (Total)	—	1.44 ϕ	1.34 ϕ	1.44 ϕ	1.20 ϕ	1.40 ϕ	1.18 ϕ	1.50 ϕ	1.39 ϕ	1.50 ϕ	1.41 ϕ
	圧損 (kg/cm ²)	—	~7.0	~6.0	~5.6	~3.7	~8.2	~5.0	~7.0	~6.0	~6.4	~5.6

主IHX型式	1次主ポンプ (インナーポンプ) 交換	1次主ポンプ 主型	DHXの交換	DHXの型式	Na流量 (m ³ /h)	炉容器出入口温度差 (°C)	除熱可能な最大原子炉 (MW)
自由液面式	—	インペラ	—	U型	1260	130	100
同上	改良	改良インペラ	改良	Σ 型 (伝熱面積2倍)	1386	155	130
無液面式 (伝熱面積1.7倍)	同上	同上	同上	同上	1890	130	150

炉心

炉心燃料装荷本数本	64	64		88	82	58	70	
炉心高さ (cm)	55	同左		65	60	55	48	
炉心	ピン本数本	127	(inner) 91 (outer) 127	127	91	169	同左	
	ピン外径 (mm)	5.5	6.3	5.5	5.5	6.3	4.77	同左
燃料	ペレット形状	solid	annular	solid	solid	annular	solid	同左
	ペレット径 (mm)	4.63	5.4	4.63	4.63	5.4	4.0	同左
	スミア密度 (%)	87	71	87	87	71	87	同左
	²³⁵ U濃縮度 (w/o)	18.5	同左		2.7	18.5	同左	20.0
	Pu富化度** (w/o)	20.8	同左		同左	同左	同左	同左
制御棒	3列, 6本	5列, 4本		同左	同左	同左	同左	
反射体 (径・軸)	SUS	同左		Be+SUS	同左	SUS	同左	
最大線出力密度 (W/cm)***	390	625	480	410	650	440	450	
エントランスノズル部 キャビテーション	発生せず	要検討		同左	同左	同左	同左	
ハントローリッケホールドダウンカ	問題なし	同左		同左	同左	同左	同左	
1サイクルの運転日数	70	約45		同左	同左	約50	同左	

-  : 燃料
-  : 燃料(低濃縮)
-  : 燃料(中空ペレット)
-  : 制御棒
-  : SUS 反射体
-  : Be 反射体



* 今回の計算体系では $\phi = 4.62 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$

** 核分裂性プルトニウム

*** オリジナルケースの最大原子炉に対応する値

稼働率の向上

燃料交換時間の短縮	所要日数
定検期間の短縮	19日→8日
照射準備期間の短縮	~2ヶ月
	4日→2日
	(サイクル間のINTAの吊上・吊下のみ)

稼働率
約52%→約65%
定検期間も含めたある一定の期間でみたときの運転日数では現在の約1.2倍

上記の検討結果から、年間中性子照射量を現在と比較すると、約1.6倍程度増加させることが可能である。

表 A 2.2 炉心高性能の実施計画

(単位：百万円)

年 度	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
MK-III工程	チェック&レビュー ▽			安全審査				MK-III移行		MK-III	
(1) 炉心・遮蔽	予備検討(その1) 予備検討(その2) 予備設計 4	15	30	30	20	20					
(2) 炉心構成要素の構造設計	[燃料] 予備設計	20	20	20	20	20					
	燃料ペレットの 製造性に関する検討		20								
	試作・R&D・照射リグ製作	20	20								
	ピン照射&リグ照射										
	[制御棒・反射体] 予備設計	20	20	20	20	20					
(3) 流動特性	予備検討(その1) 予備検討(その2) 試作, 水流動試験 4	15	10	10	40						
	ナトリウム流動試験 キャビテーション試験										
(4) 炉心構成要素の製作							設工認	製 作	炉心装荷	運 転	
								初装荷分			
								炉心燃料	100 体		
								制御棒	10 体		
								反射体	SUS 150 体 B ₄ C 150 体		
予 算 (合 計)	8	30	100	120	60	60	8,200 (燃料費は含まず)		—	—	

A 3 炉出力増大に伴う冷却系の見直し

1. 計画の概要

MK-III計画の技術的な可能性の検討に係わる照射性能の向上に伴う「常陽」の冷却能力について

- ① IHXを交換しないケース
- ② IHXを交換するケース

についてプラント的な予備検討を行なった。

その結果、①では、ポンプ等の機器の改造、プラントの運転条件の変更により約130 MWの冷却能力を有し、②では、最大約170 MWの冷却能力が得られる見通しを得た。

今後は、これらの予備検討結果を踏まえ炉心構成の予備検討による現行の1.5倍程度の高中性子束の達成可能の見通しの下、63年度末を目途に、上述のケースの検討を詳細に進めると共に、冷却能力の増加に対応すべく高性能冷却系機器開発の検討及びそれに伴う設備側対応等の検討を進める。

2. 目的、必要性

MK-III炉心を成立させるためには、必然的に「常陽」の冷却能力を増大させなければならない。

本炉心出力増大に伴う冷却系の見直しでは、プラント改造のインパクトの大きさを考慮して、IHXを交換しないケースと交換するケースについて冷却能力の限界と改造に必要なR&Dを明確にする。

3. 検討結果（予備検討）

高中性子束化の達成するための冷却系の除熱能力に係わる予備検討を冷却材流量、及び原子炉出入口温度差をパラメータとして実施した。その結果、現行の冷却系では、プラント的なクリティカルパスとして冷却材流量に対してIHXの構造に起因する制限が挙げられた。このためIHX交換の有無を1つのポイントに既設のポンプインナーアセンブリの交換の前提として、① IHXを交換しない場合、② IHXを交換する場合の2ケースについて除熱能力の評価を行った。その結果、以下が得られた。

表A 3.1に検討結果を示す。

① IHXを交換しないケース

DHX, ポンプを改造したとしても、運転NaレベルをIHX流入窓レベル以上にする必要性から、最大流量は110%に抑えられる。

これより、130 MW以上の出力を得るには炉容器出入口温度差を $\Delta T = 155$ °C以上にする必要がある。

② IHXを交換するケース

110%の流量とするためには、無液面タイプのIHXを採用することが必要であるが、これに伴い、カバーガス圧力は1000 mm程度に高める必要がある。IHXとDHXは改造により伝熱面積をそれぞれ17%, 200%に増加できる。出力については、流量を

表A 3.1 除熱能力

	W (%)	ΔT (°C)	Q (MW)
① ケース	110	130	100
	110	150	130
② ケース	130	130	130
	150	150	170

150 %程度まで増加できる見通しから、 ΔT を最大150℃とした場合、170 MW程度まで出力をUPさせることができる。

4. R & D計画

炉心の高性能化（炉心構成）の検討結果を反映しつつ、先の予備検討結果に基づき、以下のR & D（チェックアンドレビュー）を行う。表A 3.2に高性能炉心（予備検討）から要求される冷却系能力を示す。スケジュールを表A 3.3に示す。

高性能機器開発のR & D計画、所要資金を表A 3.4に示す。

(1) システム評価

前述の2ケースについて、プラント動特性、熱過度、構造強度、ヒートバランス等の評価を行う。

各々のケースのOUTPUTは、「現実的な対応で達成可能な冷却系のシステム的な限界を探る」及び「最大炉出力を150 MW以下とし、最大中性子束を得るためのシステム条件を評価する」とする。

表A 3.5に評価、解析条件を示す。

(2) 冷却機器の性能評価、及び開発

冷却機器、及び対応する設備について限界性能評価を行う。またその高性能化に係わる検討、評価を行う。

表A 3.6に検討項目を示す。

表A 3.2 高性能炉心（予備検討）から要求される冷却系能力

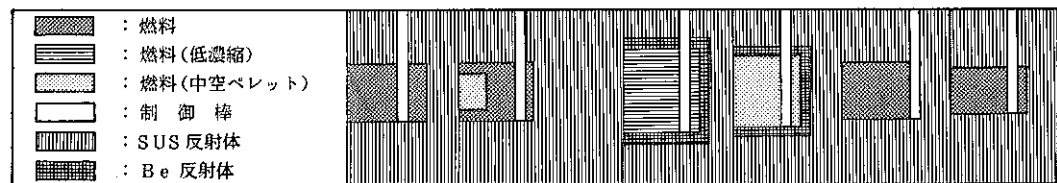
	REFERENCE	CASE1	CASE1'	CASE2	CASE2'	CASE3	CASE3'	CASE4	CASE4'	CASE5	CASE5'	
IHX交換せず	原子炉出力 (MW)	100	150	130	180	130	190	130	140	130	150	130
	中性子束 (Total)	φ*	1.44 φ	1.25 φ	1.44 φ	1.04 φ	1.40 φ	1.02 φ	1.50 φ	1.39 φ	1.54 φ	1.31 φ
	圧 損 (kg/cm ²)	~3.3	~7.0	~5.4	~5.6	~2.9	~8.2	~3.8	~7.0	~6.0	~6.4	~4.8
IHX交換	原子炉出力 (MW)	—	150	140	180	150	190	150	140	130	150	140
	中性子束 (Total)	—	1.44 φ	1.34 φ	1.44 φ	1.20 φ	1.40 φ	1.18 φ	1.50 φ	1.39 φ	1.54 φ	1.41 φ
	圧 損 (kg/cm ²)	—	~7.0	~6.0	~5.6	~3.7	~8.2	~5.0	~7.0	~6.0	~6.4	~5.6

冷却系

	主IHX型式	1次主ポンプ (シフトポンプ)交換	1次主ポンプ型	DHXの交換	DHXの型式	Na流量 (m ³ /h)	炉容器出入口温度差(C)	除熱可能な最大原子炉 (MW)
自由液面式	—	—	インベラ	—	U型	1260	130	100
同上	改良	改良	改良	改良	Σ型 (伝熱面積2倍)	1386	155	130
無液面式 (伝熱面積1.7倍)	同上	同上	同上	同上	同上	1890	130	150

炉心

炉心燃料装荷本数(本)	64	64	88	82	58	70		
炉心高さ (cm)	55	同左	65	60	55	48		
炉心燃料	ピン本数(本)	127	(inner) 91 (outer) 127	127	91	169	同左	
	ピン外径 (mm)	5.5	6.3	5.5	5.5	6.3	4.77	同左
	ペレット形状	solid	annular	solid	solid	annular	solid	同左
	ペレット径 (mm)	4.63	5.4	4.63	4.63	5.4	4.0	同左
	スミア密度 (g)	87	71	87	87	71	87	同左
	²³⁵ U濃縮度 (w/o)	18.5	同左	2.7	18.5	同左	20.0	
Pu富化度** (w/o)	20.8	同左	同左	同左	同左	同左		
制御棒	3列, 6本	5列, 4本	同左	同左	同左	同左		
反射体 (径・軸)	SUS	同左	Be+SUS	同左	SUS	同左		
最大線出力密度 (W/cm)***	390	625	480	410	650	440	450	
エントランスノズル部 キャピテーション	発生せず	要検討	同左	同左	同左	同左		
ハントローリッケホルドダウンカ	問題なし	同左	同左	同左	同左	同左		
1サイクルの運転日数	70	約45	同左	同左	約50	同左		



* 今回の計算体系では φ = 4.62 × 10¹⁵ n/cm²・sec

** 核分裂性プルトニウム

*** オリジナルケースの最大原子炉に対応する値

稼働率の向上

	所要日数
燃料交換時間の短縮	19日→8日
定検期間の短縮	~2ヶ月
照射準備期間の短縮	4日→2日 (サイクル間のINTAの吊上・吊下のみ)

稼働率
約52%→約65% 定検期間も含めたある一定の期間でみたときの運転日数では現在の約1.2倍

上記の検討結果から、年間の中性子照射量を現在と比較すると、約1.6倍程度増加させることが可能である。

表 A 3.3 開発スケジュール

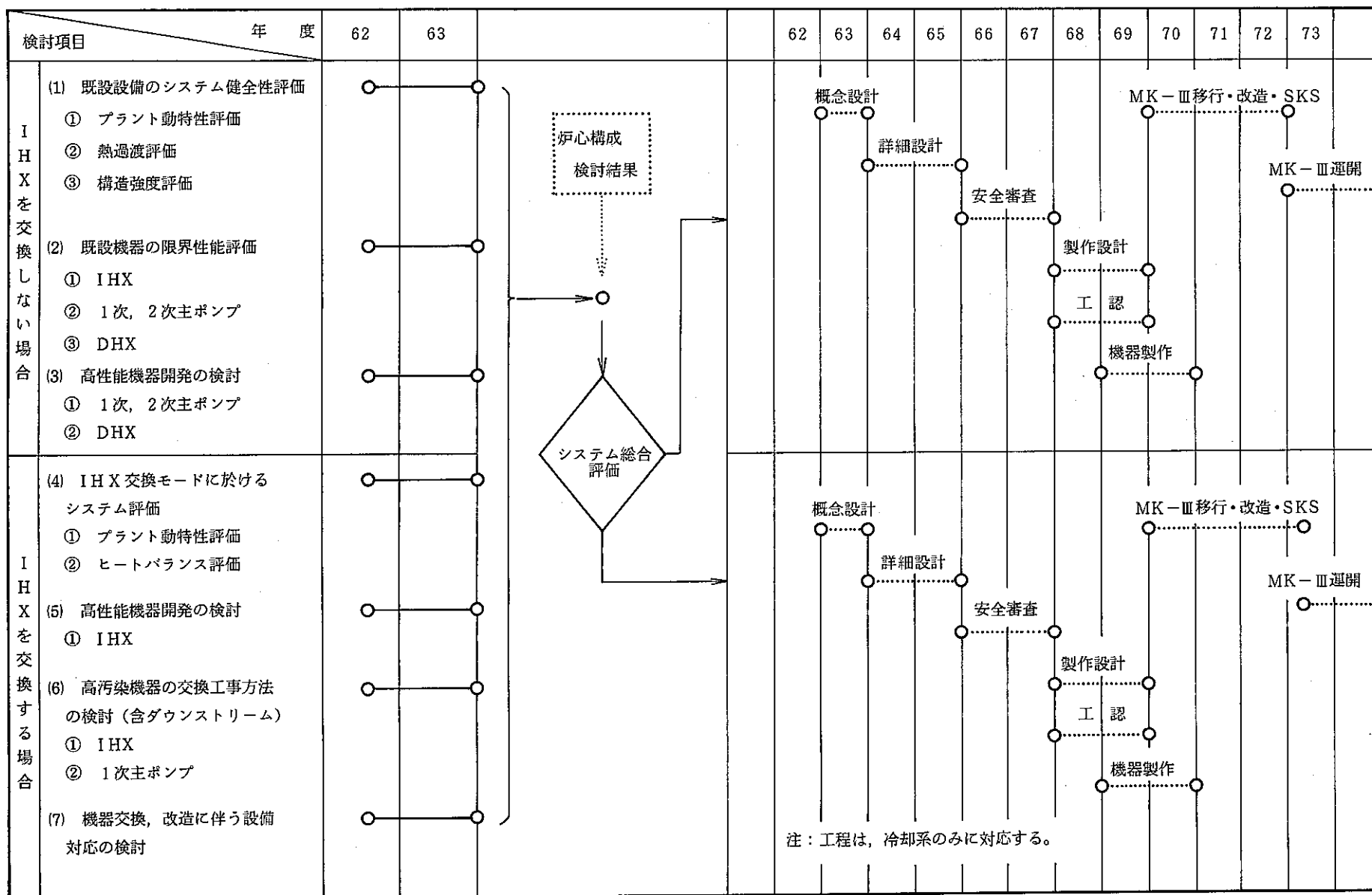


表 A 3.4 所要資金

項 目	内 容	資 金	備 考
冷却系システム評価	冷却系システム評価のために既存プログラム(MIMIR-N2)のソフト改造を行う	<u>¥ 18,000 (千円)</u> (1) 設 計 費 (2) ソフト改造費 (3) コード検証費 (4) そ の 他	別表-1の(1), (4)の内容に対応する。
既設機器の限界性能評価	現行冷却系機器の限界性能評価, 及び高性能化の可能性の検討(一部改造もしくは大幅改造かの見極め)	<u>¥ 5,000 (千円)</u>	別表-1の(2)に対応する。
高性能機器開発の検討	上記結果に基き決定する。	未 定	

表A 3.5 システム評価条件

○印：検討対象パラメータ

条 件 項 目		W (%)			ΔT (°C)		交換後の機器, 配 管 系	OUTPUT	
		110	130	150	130	150		ケース 1	ケース 2
流 動 評 価		○	—	○	○	○	—	現実的な対応で達成可能なシステムの限界を探る。	最大炉出力を150 MW以下とし、最大中性子束を得るためのシステム条件を評価する。
熱過度ヒートバランス評価		○	—	○	○	○	—		
規 格 レ ビ ュ 計 算	材 料 強 度	—	—	—	—	○	—		
	耐 震	—	—	—	—	—	○		

表A 3.6 冷却系機器の検討項目

対象機器	I H X交換せず		I H X交換	
	a. 機器側	b. 設備側	c. 機器側	d. 設備側
① I H X	<ul style="list-style-type: none"> ・限界性能の詳細検討 	—	<ul style="list-style-type: none"> ・高性能I H Xの設計, 検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・交換用キャスクの検討 ・工事方法の検討 ・洗浄, 保管に係わる設備対応の検討
② 1次, 2次系ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・既設ポンプの限界性能の詳細検討 ・高性能ポンプの設計, 検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・動力電源設備, 容量の検討 ・制御系の検討 ・駆動部の設置スペースの検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・高性能ポンプの設計, 検討 	<ul style="list-style-type: none"> ②-bと同様 *ポンプ交換のテクニックは確立されている。
③ D H X (含送風機)	<ul style="list-style-type: none"> ・限界性能の詳細検討 ・高性能D H Xの設計, 検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・②-bと同様 ・送風機停止系の制動時間の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・高性能D H Xの設計, 検討 	<ul style="list-style-type: none"> ③-bと同様

A 4 燃料取扱設備の合理化によるプラント稼働率の向上

1. 概 要

燃料取扱設備の合理化・高性能化によって燃料交換期間を短縮し、原子炉の稼働率を向上させることを目的として、その方策の概念を明らかにする。検討にあたっては、「常陽」の運転経験に根ざし、かつ新技術実証を狙ったものとし、単に「常陽」の稼働率向上にとどまらず、将来炉の合理化・高度化を図り得る技術を採用することとした。

燃交期間短縮への効果並びに技術的成立性の見通しの観点から以下の方策を設定した。

- 1) トランスファロータへのバッファ機能追加
- 2) 貯蔵専用ポットの廃止
- 3) 燃料出入機による直接炉心装荷（燃料交換機の廃止）
- 4) 設備の合理化、高性能化の前提となる基礎技術

以上について検討を行い、最適な方策の実現を図る上で必要な、改造の効果、検討事項及び結果、R & D項目、コスト、スケジュール等を明らかにした。

2. 開発目的

- 1) 燃料取扱設備の合理化、高性能化によって燃料交換期間を短縮し、原子炉稼働率を向上させる。
- 2) 蒸着ナトリウム等によるトラブルの発生を防止し、短期間燃料交換の実現を確実にする。
- 3) 1) 2) を達成するために、機器室等で開発された燃料取扱機器に関する技術を最大限に活用し、革新的技術の実証の場として「常陽」を有効利用する。

3. 「常陽」で開発実証することの必要性

- 1) MK-Ⅲ炉心の有効活用を図るために、稼働率向上は不可欠であり、現状燃取設備の合理化・高度化を図る。
- 2) 蒸着ナトリウム等によるトラブル発生を防止し、安定運転維持を図る。

4. 検討結果

稼働率向上に寄与する方策として、1) トランスファロータへのバッファ機能追加、2) 貯蔵専用ポットの廃止、3) 燃料出入機による直接炉心装荷、4) 設備の合理化、高性能化の前提となる基礎技術を設定した。これを図A 4.1に示す。1)～3)は、著しく効果が大きいもので、4)は1)～3)の効果をバックアップするものである。必要な予備概念設計の内容、実現に向けてのR & D項目、並びにコスト、スケジュール等を検討した。R & D項目を表A 4.1に、開発スケジュール等を表A 4.2に示す。

以下に各方策について記す。

1) トランスファロータへのバッファ機能追加

現在の燃料交換は、格内作業と格外作業がトランスファロータを介してシーケンシャルに行われてい

る。

本方策は、トランスファロータに1燃交分程度の燃料収納機能を持たせることによって、原子炉運転工程のクリティカルパスとなる格内作業を分離するもので、燃料取扱作業の分割実施が可能となり、現状の燃交期間19日を10日（クリティカルパス）に削減できるものである。また2）と組み合わせることにより、8日に削減できる。

主要検討結果及び必要な予備概念設計の内容は以下の通り。

- ・構造成立性（炉心構成要素収納数 16体）

機構的には一般の技術による改造で成立し、臨界ピッチも問題とならない。

- ・耐震性（格納容器と共存性）

トランスファロータ内部構造物の重量増加により格納容器への負荷荷重が増加する。設工認へのインパクトがあり、軽量化とコストのバランスをはかりつつ内部機構の仕様を定める必要がある。

- ・熱的性能（除熱・予熱）

既存設備の温度・圧力の最高使用限度以下で改造できる。但し、それぞれの挙動は現状とは大きく変化するので温度制御系や圧力制御系（特に廃ガス量）に関する詳細な検討及び関連設備の改良・更新を検討する必要がある。

- ・施工性（作業時の被曝の問題）

既存の内部構造物の撤去、新規製作物の分解搬入・組立方式の検討を行う必要がある。

2) 貯蔵専用ポットの廃止

現在、使用済燃料は貯蔵専用ポット（下部に冷却材流入孔を持つ孔あきポット）で1サイクル崩壊熱除去を行った後に、移送用ポット（孔なし）に燃料交換機を用いて移送し、その後、燃料出入機によって移送用ポットとともに炉外に取出されている。本方策は、炉心からの漏洩中性子を低減し、ポットを全数移送用ポットとすることによって、貯蔵専用ポットへの取扱工程を削減するもので、燃料取扱作業の流れの大幅な単純化・合理化を図れる可能性があり、現状の燃交期間19日を13日に削減できるものである。

主要検討結果及び必要な予備概念設計の内容は以下の通り。

- ・核設計上の成立性（出力分布計算）

炉心内の燃料と冷却ポット内燃料との間（反射体・ポット）に中性子吸収機能をもたせ、炉心からの漏洩中性子を必要な程度にまで低減する（1 / 5 程度）ことは、概略可能である。次項の中性子吸収方法のサーベイと詳細な出力分布計算を組み合わせ、基本仕様を決める必要がある。

- ・中性子吸収方式（ポット改造、反射体交換）

ポットに巻きつけ可能なB₄C等吸収材厚さは17mmであり、これのみでは必要条件を満足できず、中性子吸収反射体採用が必要である。

また交換のための使用済ポットの取出しは、移送用ポット（孔なし）に関しては残留放

射性ナトリウムの取扱い上非常に困難である。従って基本的には中性子吸収反射体のみの採用を前提として反射体交換本数、ボロン等吸収材仕様に関し総合的な評価を行う必要がある。

- ポット除熱性能（伝導及び対流による除熱能力）

孔なしポットの除熱性能の詳細評価を行い、炉心からの漏洩中性子の低減レベルに対する条件の緩和を図る。

- ポット交換方法（孔あきポット取出し及び孔なしポット装荷）

専用キャスクを製造すれば可能である。

3) 燃料出入機による直接炉心装荷

現在の燃料交換では、炉心ーポット、ポットーポットの炉内の取扱は、燃料交換機を用いて行っている。このため、通常3段階に分けて実施され、燃料交換機の据付、取外し、あるいは交換機使用のための準備等に多くの時間を費やしている。本方策は、燃料交換機を廃止し、燃料出入機で全ての取扱を行おうとするもので、格内作業の大幅な単純化・合理化を図れる可能性があり、現状の燃交期間19日を13日に削減できるものである。本方式の概要を図A 4.2に示す。主要検討結果は以下の通り。

- 回転プラグ回転との両立性（カバーガスシール構造の成立性）

走行・横行方式の燃料出入機と2重回転プラグを同期制御することによって接触を保ち、かつ移動時にねじれ摺動する接続部に対し、カバーガスバウンダリ又はそれに相当するシール機能を保証する（特に許認可上）ことは、最新の技術をもってしても当面は困難である。従って本項目が重要な構成要件となる「燃料出入機による直接炉心装荷」は、MK-III計画以降の新技術として位置づける。

4) 設備の合理化・高性能化の前提となる基礎技術

以下は、単体機器の一部改良など、改良内容、効果、費用、期間等が比較的軽微な改造を積み重ねることによって、全体としての機能向上及び合理化を図るもので、現状の燃交期間を19日から15日に削減できるものである。主な改造項目は次の通り。

- | | |
|---------------------|-------------|
| ① 燃料出入機ドアバルブの改造 | ⑤ 案内スリーブの削減 |
| ② 燃料出入機ドアバルブの高速化 | ⑥ 燃料洗浄時間の短縮 |
| ③ 燃料交換機グリッパの改良 | ⑦ 缶詰操作時間の短縮 |
| ④ 燃料交換機ホールドダウン機能の追加 | ⑧ ガス置換時間の交換 |

尚、本方式は、ライン業務の中で順次対応するものとする。

以下は、燃料取扱設備全体の余寿命を評価し、今後予想される事象又は寿命延長への恒久的対策を確立することによって、蒸着ナトリウムに起因するトラブル発生等を防止し、設備の信頼性維持を図るものである。

必要な主要検討事項は以下の通り。

- ① 回転プラグの余寿命評価
- ② 回転プラグの改造、交換の検討

- ③ ホールドダウン軸の余寿命評価
- ④ 不具合対応治具の改造・製作
- ⑤ 破損燃料取扱手法の確立

5. R & D 計画

設定した各方式について、必要なR & D項目、実施時期、費用、体制を表A 4.1に示す。

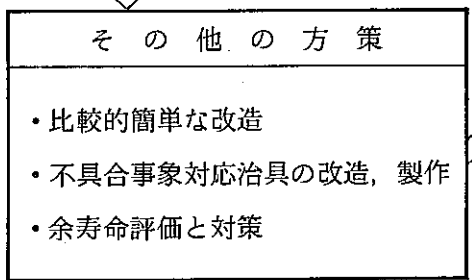
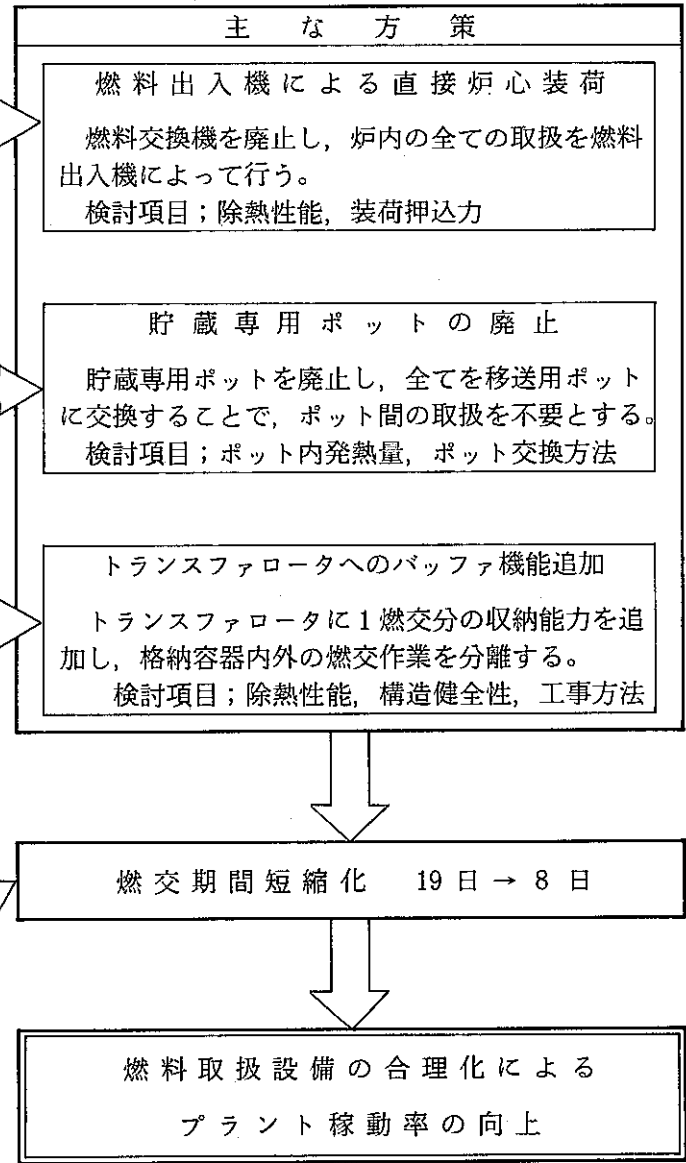
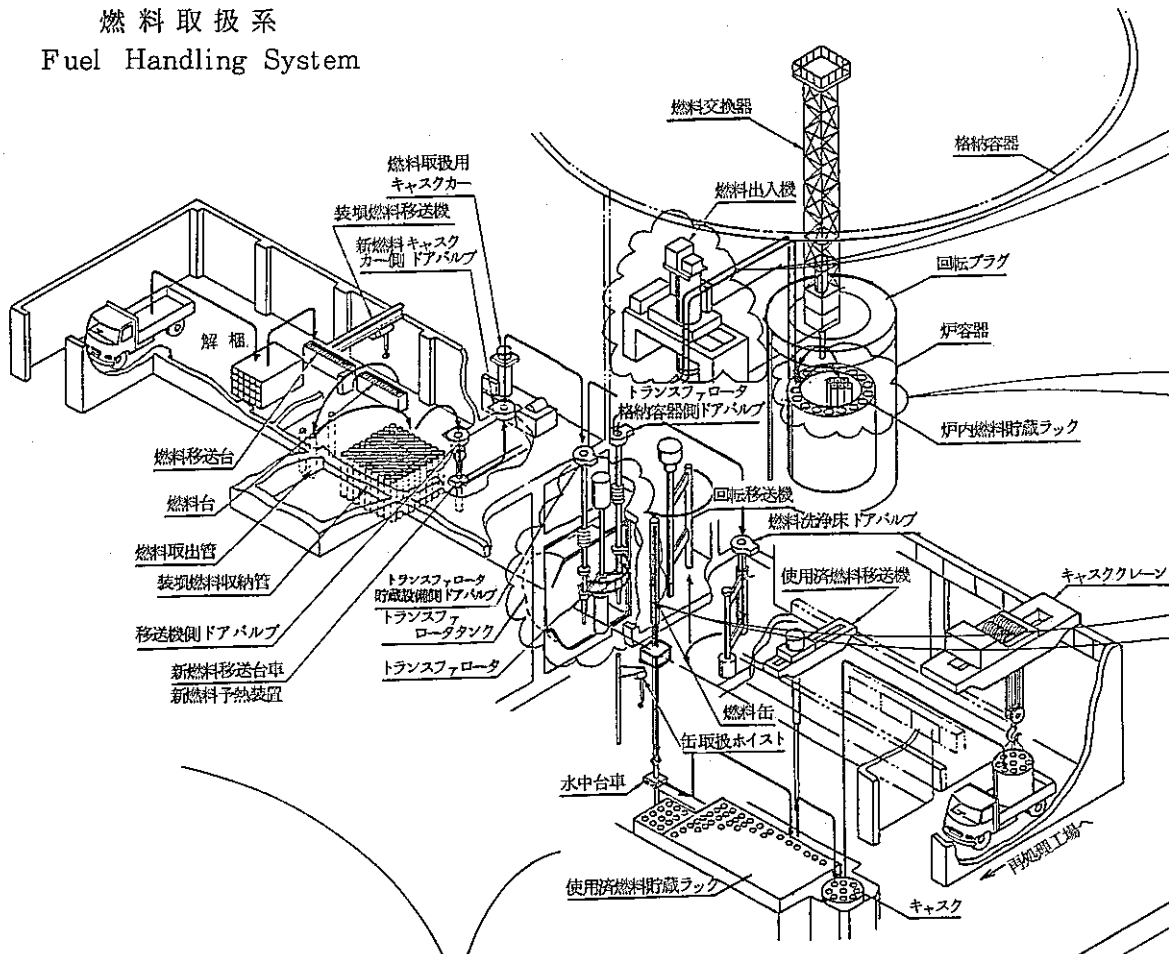
表 A 4.1 R & D 計画表

稼働率向上方策	R & D 項目	検討内容	実施時間	費用	実施体制
1. 燃料出入機による 直接炉心装荷	① 成立性の検討	装荷押込力, 位置精度, 除熱性能, グリッパ構造	(年度) 63	(万円) 500	1 課, 機器室 (メーカ) 機器室 1 課, 機器室 (メーカ) 機器室
	② 単体機器の試作, 試験	主要な機構部試作, 機能試験	64	?	
	③ システム設計	基本仕様選定, システム設計	65	1,000	
	④ モックアップ試験	新型出入機の試作, 機能試験	66~67	?	
2. 貯蔵専用ポットの 廃止 (全ポット移送 用ポット化)	① 成立性の検討	出力分布計算, ポット交換方法処分方法	62	500 (3-①を含む)	1 課, 技術課 (メーカ)
	② Aポット内集合体発熱量低減の検討	新型反射体, 新型ポットの基本仕様	63		1 課, 技術課, 照射課
	③ MK-Ⅲ炉心での発熱量評価	出力分布詳細計算, モックアップ試験	63~64	500+ ?	技術課
	④ 新型Aポットの除熱評価	除熱計算, モックアップ流動試験	63~64	200+ ?	技術課
	⑤ ポット交換, 処分方法の確立	ポット放射化量, キャスク設計	63~64	600	1 課, 技術課
3. トランスファロー タへのバッファ機能 追加	① 成立性の検討	許認可性, 除熱予熱性, 機構, 構造	62~63	500 (2-①を含む)	1 課 (メーカ)
	② 除熱能力の評価	詳細計算, モックアップ試験	63~64	500+ ?	1 課, 機器室
	③ 主要機構確認試験	主要機構試作, 機能試験	64~65		機器室
	④ 工事方法	工事方法の詳細検討	64	} 500	1 課 (メーカ)
	⑤ 廃棄物処分方法	除染, ナトリウム処理処分, 解体	64		
4. 軽微な改造	① 出入機ドアバルブの改造	ドリッパン交換頻度の低減	62	2,700	1 課 } ライン業務として 逐次実施
	② 出入機高速化	台車走行速度, グリッパ昇降速度	}	}	
	③ 交換機グリッパの改良	回転機能追加→シャフリング対応			
	④ 交換機ホールドダウン機能追加	ホールドダウン軸下降不良対策			
	⑤ 案内スリーブの削除	装荷引抜工程削除	?	?	
	⑥ 燃料洗浄時間の短縮	洗浄終了判定基準	}	}	
	⑦ 缶詰操作時間の短縮	自動化			
	⑧ ガス置換時間の短縮	ガス置換終了判定基準, ガス置換速度			
5. その他	① 回転プラグの余寿命評価	ジャッキダウン不良→不能, 回転不良→不能	62	} 200	1 課 (メーカ)
	② 回転プラグ改造, 交換の検討	ナトリウム蒸着防止策	62		
	③ ホールドダウン軸の余寿命評価	不降不良→不能	62	2-①, 3-①を含む	
	④ 不具合対応治具の改造, 製作	プラグ等保守装置, ホールドダウン軸下降装置等	63	500+ ?	
	⑤ 破損燃料取扱手法の確立	α汚染, FPガス	?	?	

表 A 4.2 要資金の年度別金額

稼働率向上方策	R & D 項目等	費用(万円)	S62年度	63	64	65	66	67	68	69	70
1. 燃料出入機による直接炉心装荷	① 成立性の検討	500									
	② 単体機器の試作, 試験	?									
	③ システム設計	1,000									
	④ 新型出入機モックアップ試験	?									
	⑤ 安全審査										
	⑥ 設工認, 製作										
2. 貯蔵専用ポットの廃止 (全ポット移送用ポット化)	① 成立性の検討	500 (3-①を含む)									
	② 詳細炉心設計	500									
	③ 新型ポットモックアップ試験	200+?									
	④ 据付, 工事, 廃棄物処分方法検討	600									
	⑤ 安全審査										
	⑥ 設工認, 製作										
	⑦ 現地工事, 反射体交換										
3. トランスファロータバッファ機能追加	① 成立性の検討	500 (2-①を含む)									
	② 詳細設計	500									
	③ モックアップ試験	?									
	④ 工事, 廃棄物処分方法検討	500									
	⑤ 安全審査										
	⑥ 設工認, 製作										
	⑦ 現地工事										
4. 軽微な改造		?									
5. その他	① 余寿命評価	?									
	② 対策検討	?									
費用合計											

燃料取扱系 Fuel Handling System



図A 4.1 計画の全体図

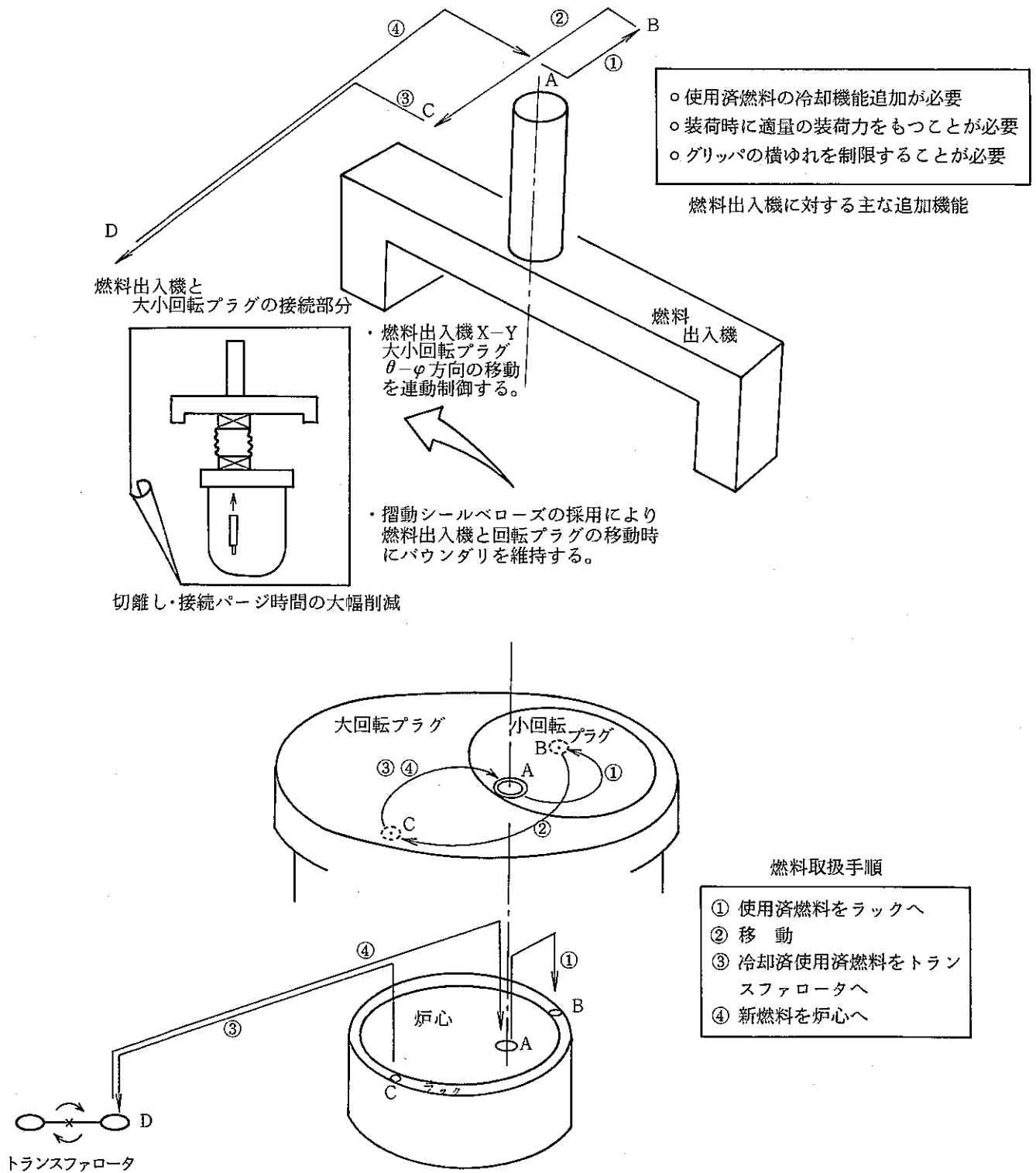


図 A 4.2 燃料出入機による直接炉心装荷（燃料取扱用グリッパ*装置）

* 現在はポット取扱用グリッパ

A 5 定検期間の短縮

1. 概 要

MK-Ⅲ計画の第一目標として掲げられているのは、高性能燃料を開発するための照射施設としての役割であり、そのためには炉心の高性能化をはかるとともに定期検査期間を短縮し、稼働率を向上させることが重要である。特に定期検査期間はその原子炉の保守性の一つの尺度と考えられるため、定期検査日数の短縮は稼働率の向上のみならず、高速炉の優位性を示す上でも重要な課題である。そのため最短の日数で定期検査を実施しようとした場合のプラント設備の問題点を摘出し、必要な設備対応施す。

2. 開発・目的

WOCA (World Outside Centrally Planned Economics Area) 各国における軽水炉の定期検査日数は、燃料交換も含めた炉停止期間として平均 110 日であり、西ドイツ、日本、アメリカでは 110 ～ 130 日である。しかしながら日本では最新のプラントについて 60 日程度まで定期検査日数を縮めようという動きがあり、定期検査の短縮は高速炉の優位性を示す上でも重要な課題である。従って MK-Ⅲにおいて定期検査による炉停止期間を 60 日以下とすることを目標に検討を行う。

3. 「常陽」で開発実証することの必要性

- (1) MK-Ⅲの有効作用を図るために稼働率向上は不可欠である。
- (2) 考察した手法・設備・機器に対して、実プラントで実証する必要がある。
- (3) 蓄積された保守経験を実証炉等へ反映できる。

4. 検討結果

目 標：稼働率向上のため定期検査期間を 60 日以下とする。

(1) 前提条件

定期検査の項目としては原子炉等規制法に基づいたものとし、工程上クティカルとなる照射準備・改造工事は実施しないこととする。また、次の 2 項目については、①検査期間そのものを短くする ②実施頻度を少なくすることの 2 点を今後の課題とし、本検討には加えない。

① 格納容器全体漏洩率試験 (3 回 / 10 年)

MK-Ⅱ以降 3 回 / 10 年に合理化された。多くの準備作業を要するが、工程上クティカルとなるのは約 3 週間である。

② 回転プラグ分解点検 (1 回 / 5 年)

炉上部占有となるため、工程上約 1.5 カ月のクリティカルパスとなる。

(2) 崩壊熱除去手段

定期検査を進めていくには、リダンダントな崩壊熱除去の手段を確保しながら点検を実施していく必要がある。現 MK-Ⅱ 炉心での定期検査では床下メンテナンス時に系統内の Na をドレンし、メンテナ

ンスを実施することを前提としているが、MK-Ⅲ炉心になり崩壊熱が大きくなると、崩壊熱の低下を待ってメンテナンスを進めていくと60日以内の定期検査実施は実現しない。従って、主系統及び補助冷却系統のNaドレンは実施しないこととする。

(3) 実施上の検討課題

MK-Ⅲでの短期定期検査実施は系統のNaを充填状態でおこなうことに特徴づけられる。従ってこれによるインパクトを解消することが1つのポイントとなる。

検 討 課 題	問 題 点	対 応 策
1. 1次主配管ISI	2重管の内管表面目視検査をNa充填状態で実施出来るよう設備対応が必要。	バウンダリを保ったままフランジを取外すことが出来、その装置を通して目視検査の出来るジグの開発
2. 1次主配管外観検査、配管サポート点検等	Na充填状態のため作業員の被曝上問題となる。	①遠隔にて点検の出来る装置又は、システムの開発 ②床下点検ロボットの開発
3. 遮蔽コンクリートプロワの改造	点検期間短縮のためモーター及びカップリングを改造する。	第7回定検時実施予定
4. 下部案内管交換	専用のLGT交換機を使用すると交換に日数を要する。	通常の燃料取扱装置で交換出来るよう改造する。
5. Naレベル計の校正	Naの充填・ドレンを実施しないため実液校正ができない。但し、次填ドレンが工程上クリティカルとなる場合。	自動校正装置付のレベル計に交換する。
6. 補助系EMPの2重化	補助系運転時にもEMPの点検が実証出来るようにする必要がある。安全上もリダンダントになり向上する。	メンテナンス中の崩壊熱除去という観点からは現有と同じ性能のものでなくてよい。
7. 2次主循環ポンプにボニーモータ設置	メインモータの制御系等の保守時に2次系流量を確保する必要がある。	—

5. R&D計画

項目 \ 年度	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
定 検 計 画	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回				MK-Ⅲ 移行	
1次主配管ISIジグ開発	概念設計	基本設計	製作設計	製作	設置					
床下点検システム開発	概念設計	基本設計	詳細設計	製作	改造					
遮蔽コンクリートフロア改造	製作	改造								
下部案内管交換装置開発	概念設計	基本設計	詳細設計	製作	改造					
補助系EMP2重化	基本設計	製作設計	製作	改造						
2次系ポニーモータ設置	基本設計	製作設計	製作	改造						

A 6 照射技術の高度化

1. 高度化の目標（高中性子束化は前提）

- (1) リグ装荷量：試験ニーズ件数をすべて吸収できること。
 - ←現状：設置許可制限，Pu燃製造能力，PIE能力，反応度制限，取扱ルート制限等により年間リグ（SMIR等含めて）10体程度。
- (2) 過渡試験：中性子束，流量，温度を任意の変化率で制御でき，かつ，燃料の破損が許容されること。
 - ←現状：中性子束（=温度）変化は38%/hr（50°C/hr）まで，流量変化可，また破損許容は昭和65年以降設置許可の予定。
- (3) 照射温度の精度・制御能力：熱電対なみの精度のオンラインデータが得られ，かつ，目標温度に炉外から制御できること。
 - ←現状：INTA，UPRは各1体のみ，炉外からの温度制御（=流量制御）不可。
- (4) 荷重歪測定精度・制御能力：ロードセルなみの精度のオンラインデータが得られ，かつ，荷重を炉外から制御できること。
 - ←現状：手段なし。インパイルクリープ技術としてはUPR対象で開発中。
- (5) 取り扱い性：通常燃交程度の作業量で装脱荷できること。
 - ←現状：INTA，UPRは定検時のみに限り，かつ，1ヶ月を要す。INTAについてはNa中コネクタで，UPRについてはM3照射孔開発で解決を図るべく開発中。

以上の究極の照射技術のイメージは，Naコネクタで接続されたリグ（INTA，UPR及びインパイルクリープ等）を含め，合計10～15体炉心に装荷でき，また，各リグには高精度の温度，流量，荷重（圧力，歪），中性子束等の各種センサーが装備され，かつ，各物理量を電磁力等により制御できる機能が具備されている状況と考えられる。

2. 課題

MK-IIにおいても照射技術の高度化追求してきたが，MK-IIIを機に，究極の照射技術を追求する場合の現状に基づく課題とこれまでの開発状況は次のとおり。

2.1 回転プラグ又は炉上部機構の改造を行わない場合（INTA，UPRは各1～2体のみ，但し，3列装荷前提＝CRD予備孔とCRD孔交換）

(1) リグ装荷量

- (a) 設置許可制限：現状のリグ各3体を計15体程度に変更する。←設置変更その10で計9体化に挑戦したが取下げ。
- (b) 反応度制限：計15体を可能とする炉心設計とすること。←設置変更その10でドライバー反応度強化するも高燃焼度化でキャンセル。

(c) 取扱ルート制限：燃取系の1燃交時の取扱容量を現状の16体から30体程度に増加させることが必要。

(2) 過渡試験

- (a) 出力変化率：ドライバー燃料及び主1次冷却系の熱過渡に対する余裕度を十分とった設計に変更し、制御棒駆動機構をEBR-IIのTOP用のものと同様な挿入・引抜速度変化レンジの大きいものに変更する。
- (b) 流量変化：Na中コネクタ式INTAに流量調整機構を設備する。
- (c) 試料破損許容：TOP, LOF時の破損を許容する設置許可を得る。

- ← {
 - ・インパイルループ基本設計（～S58年）で中断。
 - ・設置変更その10で挑戦し取下げ。
 - ・設置変更その13でRTCBに挑戦予定。

(3) 照射温度精度・制御

- (a) 精度：高温、高照射に耐えるセンサーを開発すること。←超音波温度計等調査中。
- (b) 制御：(2)(a)(b)に同じ。またヒーター、ヒートパイプ等の利用を検討すること。

(4) 荷重・制御・歪測定

- (a) 制御：高温、高照射に耐える機構を開発すること。←油圧，ガス圧方式設計検討中（UPRインパイルクリープ試験）。
- (b) 歪測定：高温、高照射に耐えるセンサーを開発すること。←差動トランスについて試験開始予定（UPRインパイルクリープ試験）。

(5) 取扱性

- (a) INTA：繰返し使用可能なNa中コネクタを早期に実現させること。←S61年開発着手。
- (b) UPR：①Na中コネクタ等を利用し、通常の燃取系ルートで装脱荷できる構造に変更すること。←S63年設計開始予定。
②M3照射孔等の代替リグを開発すること。←S60年開発着手。

2.2 回転プラグ又は炉上部機構の改造を行う場合（R/V，炉心支持板改造は含まず。→もし可能であればリグサイズの実証炉サイズ化が可能？）

- (1) INTA, UPRの装孔を10～15体分確保した回転プラグの改造設計を行うこと。
- (2) その他は2.1（改造を行わない場合）と同様。

3. R&D計画

現MK-III検討では、回転プラグ改造を含めないとしているので、上記課題の2.1のケースからR&D計画をまとめると次の主要3点となる。

- (1) 設置変更許可：リグの数量，形式，装荷位置の増加及び破損許容に係る設計・解析を行い，MK-III安全審査で許可を得る。
- (2) INTA, UPR高度化：Na中コネクタ，各種センサー及び流量等制御機構を開発し，それらを

リグとしてまとめ上げる。

- (3) インパイルループ：炉心安全上の厳しすぎる試験の要求に対応できるようにインパイルループの設計を固めておく。

また、FBR炉心安全性試験炉への反映、及び連携を考慮しつつ照射技術の高度化を展開する。

上記3点に基づく工程を表A 6.1に示す。

表A 6.1 工 程 表

	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97
	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
(1) 設置変更許可 〔技術課・炉工・ 炉安・ADS・ 照射課等〕											
	予 算 (百万円)	40	50	200	500	500	500	500	500	500	200
人 員 (職員：人年)	2	3	5	6	7	7	7	6	5	5	5

A 7 二次系削除システム

1. 概 要

FBRの実用化を促進させるためには建設コストの低減が必要であるが、その有効な方策として2次冷却系を削除し、炉心の1次冷却系に二重管型の蒸気発生器（SG）を結合するシステムが考えられている。この二次系削除FBRシステムは、建設コストを飛躍的に低減するとともに、運転、保守関係コストの低減も期待でき、プラント合理化上きわめて有効なものである。こうした点を鑑み、二次系削除システムのプラント概念を明確にした上で、二次系削除システムの特徴とその成立性のための条件及び許認可のための課題を抽出し、ライセンスナブルな二次系削除FBRシステムの開発目標を明らかにするため、MK-III計画の一環として「常陽」での二重管SG実証試験を検討（SG設置検討）する。

2. 開発・目的

「常陽」における実証試験にて、以下の成果が期待できる。

- 1) システムとしての新概念成立性の実証
- 2) ライセンスビリティのための実証データの蓄積
- 3) 実プラント運転による新安全論理の実証
- 4) 経済性評価のためのデータ提供

3. 「常陽」で開発実証することの必要性

新規技術を実炉に導入してゆく際の展開方法としては、モックアップ施設でのR&D成果をもとに許認可の見通しをたてて、目標とする将来炉に反映させてゆく方法が考えられるが、この場合は、先ず炉の設置許可を得ることが最優先されるため、確実に許認可が得られるという見通しが立っていない新規技術に対しては、導入に消極的になるという可能性が考えられる。このような点を鑑みると、新規技術の導入を促進させるには、予め許認可の見通しを得ておくことが肝要であると言え、「常陽」はこうした問題をクリアーするための実証試験を行える絶好の場である。二次系削除システムについても同様のことが言え、「常陽」における実証試験により、新概念システムの成立性はもとより、新概念システムに対する安全論理を構築できることから、二次系削除システムの実現化に向けて許認可の見通しを得ることができる。

4. これまでの検討と本年度の検討、及び63年度の検討

表A 7.1に、「常陽」への二重管SG設置に係るこれまでの検討と本年度の検討、及び今後の進め方について示す。

これまでの検討

昭和61年度より「常陽」への二重管SGの設置に対する検討を進めている。前年度は、フィージビリティ・スタディーの意味合から計5ケースの設置方式について予備的な検討を行い、1次系片ループ設置の2案（IHXを有する場合、IHXを有しない場合）と2次系片ループ設置1案（DHXを撤去する場合）

について概念的な機器配置，システム構成等の検討結果を得た。

本年度の検討

本年度は，前年度得られた各案の概念を更に具体化するための設計検討を進め，技術的な成立性の見通しはもとより，必要経費，工程（必要工期含む），必要R&D項目等，設置案を選択する上で必要となる事項を各案毎にクリアにする予定である。なお，2次系設置方式については，その意義付けを考慮し，1ループDHX撤去方式から，2ループ合流150MW SG設置方式（1次系設置方式は50MW SG）に変更して検討することとした。

63年度の進め方

昭和63年度では，本年度得られた検討結果を基に最適案を選定し，同案に対する基本設計の一環として次の検討を行う。

- ・プラントシステム基本設計（詳細システム構成，構成機器仕様の選定等）
- ・プラント動特性評価（添八関係事象の動特性評価）
- ・建屋建築設計（耐震性評価，床応答作成）

5. R&D計画

「常陽」での二重管SG実証試験を想定した場合の改造工程と，同工程に併せた形で計画した必要R&D計画を表A 7.2にまとめて示す。但し，同計画は61年度の予備検討の段階で考案したものであり，R&D側との工程調整を含めて適時見直しが必要である。

表 A 7.1 「常陽」への二重管SG設置検討

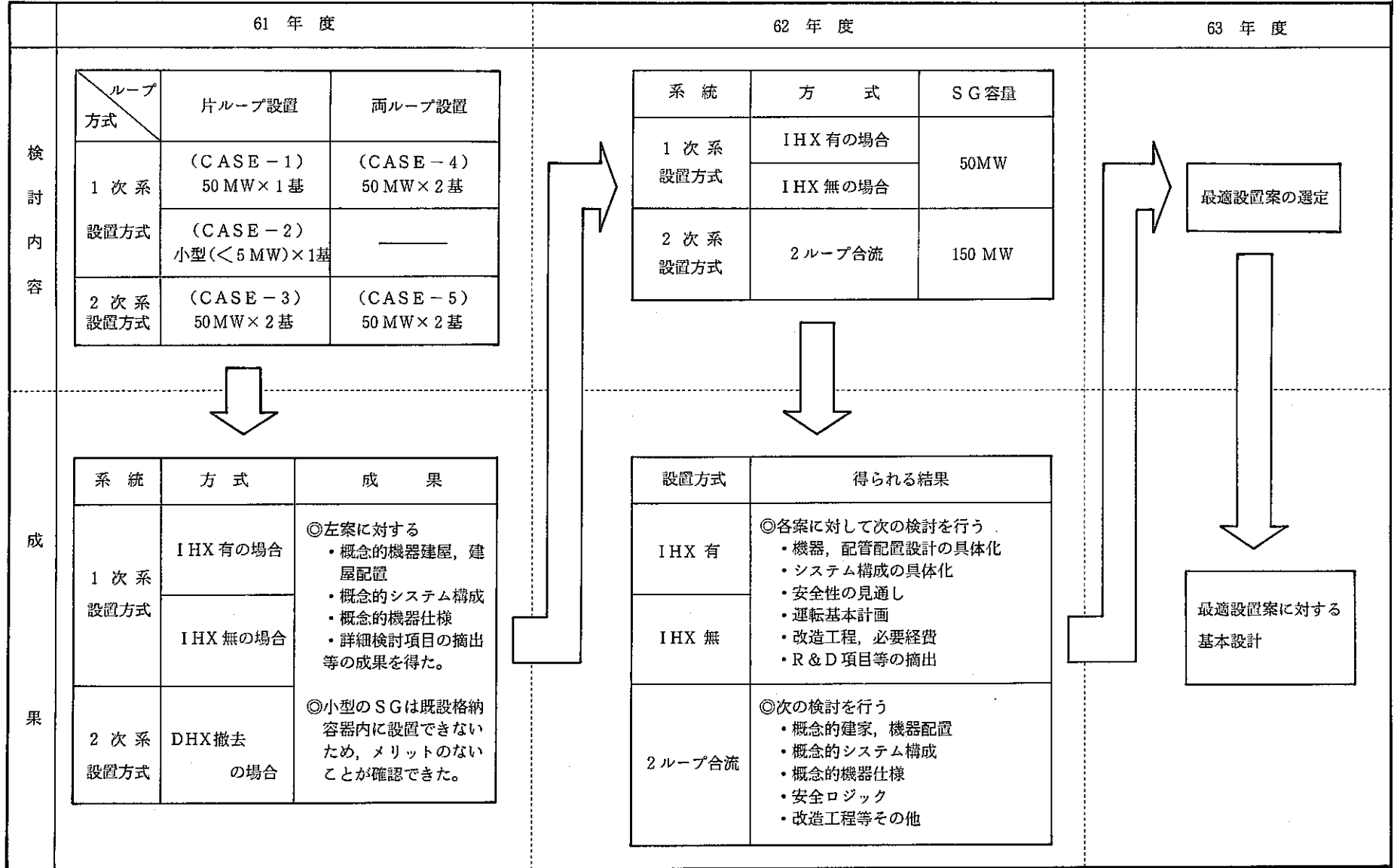


表 A 7.2 「常陽」改造工工程(案)を基にした必要R&D工工程(案)

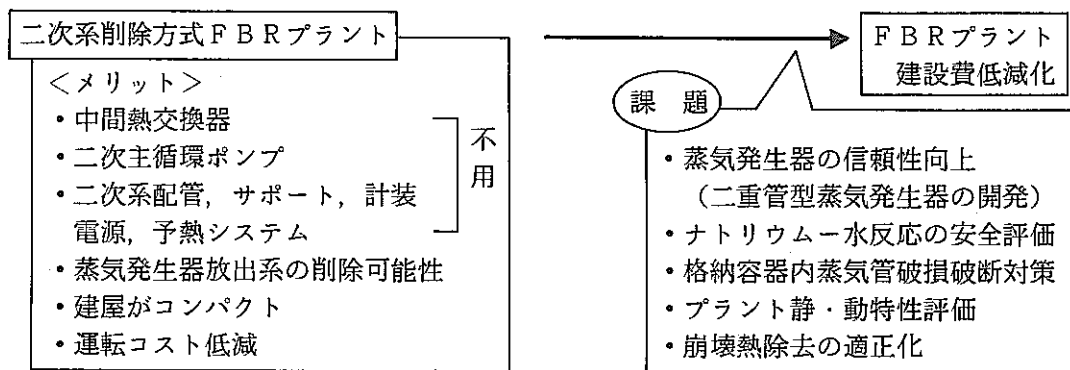
西暦 年度	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96							
項目	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71							
「常陽」改造工工程	概念設計	基本設計		安全評価	(製作設計) 詳細設計		改造工工程	総合機能 試験 運開									
					安全審査	設工認(分割申請)			(炉停止)								
必要なR&D工工程	P	プラント動特性解析コード(技)		概念	S	G	SG基本構造の確率(機)		確立	安全	二重伝熱管破損検出システムの開発(P)						
		SG	SG水側流動安定性解析コード(機)				SG伝熱流動特性評価(機)										
			SG水側ブローダウン解析コード(機)				二重伝熱管の仕様確立及びバックデータ整備(機)										
	安	全	二重管SGのDBL評価試験(P)				二重管間隙プラグ法の開発(材, 機)					二重管ISI装置の開発(機)		SG鋼種選定及びデータ整備(材)		注) 安全: 安全解析用R&D SG: 二重管SG本体用R&D P: プラント用R&D	
			反応生成物の冷却系統内移行特性解析法の確立(機)				純化系機器の開発(機)					9Cr等-SUS異材継手の開発(材)		9Cr等-SUSパイメタリックループの影響評価(材)			
			1次系内圧力波伝播解析手法の確立(P)				1次系SGの場合のF.P, C.P, トリチウム移行挙動の評価(技)					反応生物水素の分離処理技術の開発(機)		注) 関連各室(主担当)			
			反応生成物による炉心への影響評価(技)											機: 機器室			
			反応生成物による炉心・冷却系材料への影響評価(材)											材: 材料室			
			格納蒸気配管破断時の温度圧力の評価(P)											P: P安室			
			SG異常時の安全保護系の論理の確立(P)											技: 技術室			
緊急しゃ断弁の開発(機)						その他関連室として 構造室											
1次系用放出系の開発(機)																	

A 8 二重管SG（本体）の開発

1. 概要

高速増殖炉の実用化に向け実現可能かつ建設費低減の有効な方策として、二次系削除システムが考えられる。このシステムでは従来の二次冷却系が中間ループとして有していた安全上の役割を、ナトリウム-水バウンダリーを二重壁とする二重管型蒸気発生器を主とする機器及びシステム構成により分担することになる。

そこで、この二次削除システムを実現するために、上記役割に耐える二重管型蒸気発生器を開発する。



2. 開発目標

二次系削除システムに適用し得る二重管蒸気発生器として下記

- (1) 構造健全性, 製作性, 経済性の総合的な観点から最適な構造を有する蒸気発生器構造の選定と諸性能実証
- (2) とくに, 二重伝熱管の内, 外管同時破損を未然に防止し, ナトリウム-水反応事故を設計基準外事象としうる二重管型蒸気発生器の実現

3. 「常陽」で開発実証することの必要性

二次系削除システム成立性を左右する二重管型蒸気発生器の機器単体の開発は炉外での研究開発により達成しうるものと考えられる。

しかしながら実機プラントである「常陽」に二重管型蒸気発生器を導入することは, その導入過程において得られる安全審査用ロジックの組み立て経験, また設置後の機能試験, 運転, 保守経験等を通じて実機プラントにおける諸々の実績を蓄積し, 二次系削除システムの実現に当たっての強力な支援材料とすることができる。

4. 検討結果

二重管型蒸気発生器の開発については, これまで二次系削除システム開発のなかのキーコンポーネント

として次のステップで進めてきた。(PNC SN9080 87-003)

- (1) 設計検討
- (2) 二重管伝熱管の開発
- (3) 構造要素開発
- (4) 小型モデルによる開発
- (5) 大型モデルによる開発
- (6) 関連機器, 技術開発 (プラグ, I S I 等)
- (7) リーク検出システム開発

蒸気発生器諸構造を検討の結果, 基本概念を下表に, また 800 MW 級蒸気発生器 (プラント電気出力 130 万 KW, 4 ループ) 設計例を表 A 8.1 に示す。

流動形式	一体貫流型 (他の形式よりコスト, 配置の面で有利)
伝熱管材料	9 Cr 系 (高温強度にすぐれ, Na と水双方との共存性が良い)
伝熱管型式	直管型 (二重管溶接をさけるため)
Na 液面	無液面方式 (蒸気発生器全高を低くするため)
熱膨張吸収体	シェル側ベロー, あるいはバンド管方式 (伝熱管と胴の熱膨張吸収あるいは伝熱管相互の膨張吸収)
伝熱管結合方式	メカニカルボンド (リーク検出および Na と水間二重障壁とするため)
伝熱管破損検出	中間流体部で検出 (Na - 水反応発生以前に検出するため)

「常陽」に設置する二重管型蒸気発生器については, 交換熱量, 50 MW と 150 MW の場合について, 伝熱計算をおこない基本的構造仕様を決定した。仕様を表 A 8.2 に示す。これをもとに最適設置案の選定を目的として, 「常陽」に設置する場合の, 機器, 配管設置設計, システム設計等を62年度作業として実施中である。

尚, 次年度以降に, 「常陽」最適設置案の選定結果に基づき交換熱量, 温度, 蒸気条件等についてプラント例からの要求に対する整合性をとりつつ, 「常陽」用蒸気発生器の基本設計, 詳細設計を進めていく。

5. R & D 計画

二重管型蒸気発生器の開発は従来からの基本計画 (PNC SN9080 87-003) に基づいて推進し, 各種要素技術開発, 小型モデル試験, 大型モデル試験の成果を MK - III SG の検討, 設計, 製作に反映していく。

現在, 想定しているスケジュールは大略下記の通りであり, 表 A 8.3 に工程表を MK - III 工程と合わせて示す。

MK - III SG 対応として, 63年度には MK - III SG を明確にするために表 A 8.4 に示す設計検討を実施する。

〔従来の基本計画（PNC SN9080 87-003）との相違は、「常陽」用SG設計，製作に反映〕
〔するため，大型モデル試験の設計，製作，試験を1年早めた点にある。〕

60～ 上記4. で述べた実施項目(1)(2)(3)(6)(7)を実施 反映

63～64前半 小型モデル設計，製作

64後半～66年 小型モデル試験

65～67前半 大型モデル設計，製作

67後半以降 大型モデル試験

尚，蒸気発生器材料として使用する予定の Mod.9Cr-1Mo鋼については，実証炉蒸気発生器の材料選定関連研究として，

- 材料強度基準策定のための材料データが蓄積されつつあり，64年度中に基準案が策定されている予定であること。
- Mod.9Cr-1Mo鋼を使用した一体貫流型蒸気発生器伝熱管の溶接部健全性評価研究が進行中であること（63年度未完了予定）から，これらの成果を基に設計，製作に必要な情報が得られる予定である。

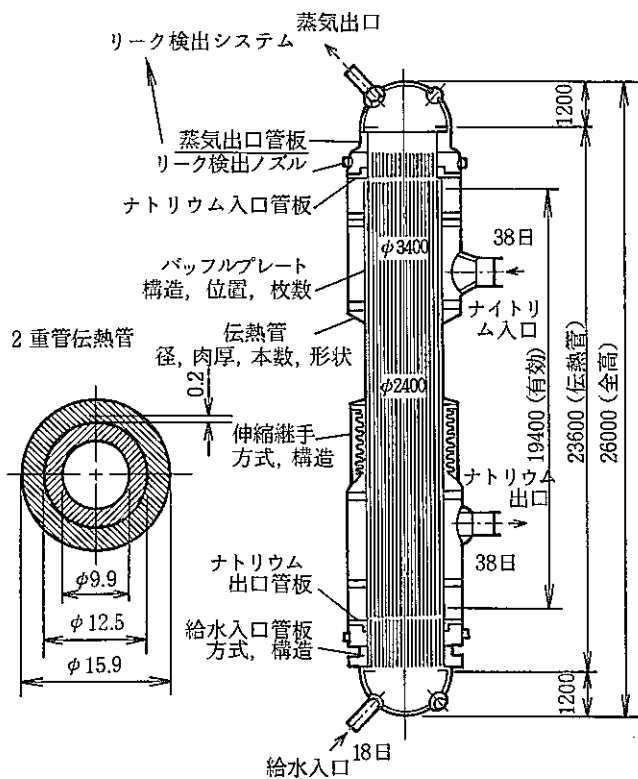
表 A 8.1 800 MW級蒸気発生器設計例

検討基本条件

交換熱量	805.8 MW (1300 MW電気出力, 4 ループプラント, SGI基/ループを想定)	
型式	一体貫流型	
伝熱管	機械結合型 2 重管, 外径 15.9 mm	
	ナトリウム	水・蒸気
入口/出口温度	505 / 360 °C	240 / 487 °C
入口/出口圧力	—	145 / 133 kg / cm ² a
流量	1.5756 × 10 ⁴ t/h	1.283 × 10 ³ t/h

2 重管 S G 主要目例

型式	一体貫流二重管型 (無液面, 直管)	
交換熱量	805.8 Mwt/基	
主要材質	Mod 9 Cr - 1 Mo	
伝熱管	外径	15.9 mm
	本数	4477 本
配列	ピッチ	33 mm
	型式	正三角形
管溝	溝数	メカニカルボンド
	溝深さ	4
管形式	形状	二重管板 (出入口共)
	形状	平型
板	中間流体	He
	伸縮継手	胴側ベローズ
伸縮継手	材質	Mod 9 Cr - 1Mo(SUS 304)
	構造	鍛造 (液圧)
バッフル板	形式	クロスフロー
	形状	全面バッフル
I S I	材質	SUS 304
	破損管	UT
	同定	E C T
		ガスバブル法



二重管蒸気発生器設計例

表 A 8.2 「常陽」用二重管型蒸気発生器主要仕様

	50 MW 設計	150 MW 設計
型 式	一体貫流型二重管型 (無液面, 直管)	
材 質	Mod. 9Cr - 1Mo 鋼	
熱膨張吸収体	胴側ベローズ	
伝熱管型式	メカニカルボンド	
外 径	15.9 mm	
配列, ピッチ	正三角形, 33 mm	
溝位置, 数	外管内面, 0.4 mm 深さ	
交換熱量 (MW)	50	149
Na 入口 / 出口温度 (°C)	500 / 370	479 / 350
水入口 / 出口温度 (°C)	240 / 487	210 / 450
Na 流量 (T / H)	1088.6	3265.8
給水流量 (T / H)	79.6	230
蒸気出口圧力 (kg / cm ² a)	133	109
伝熱管本数 (本)	367	751
S G 外 径 (m)	1.2	1.7
高 さ (m)	22	22.5

表 A 8.3 二重管蒸気発生器研究開発の展開及びスケジュール

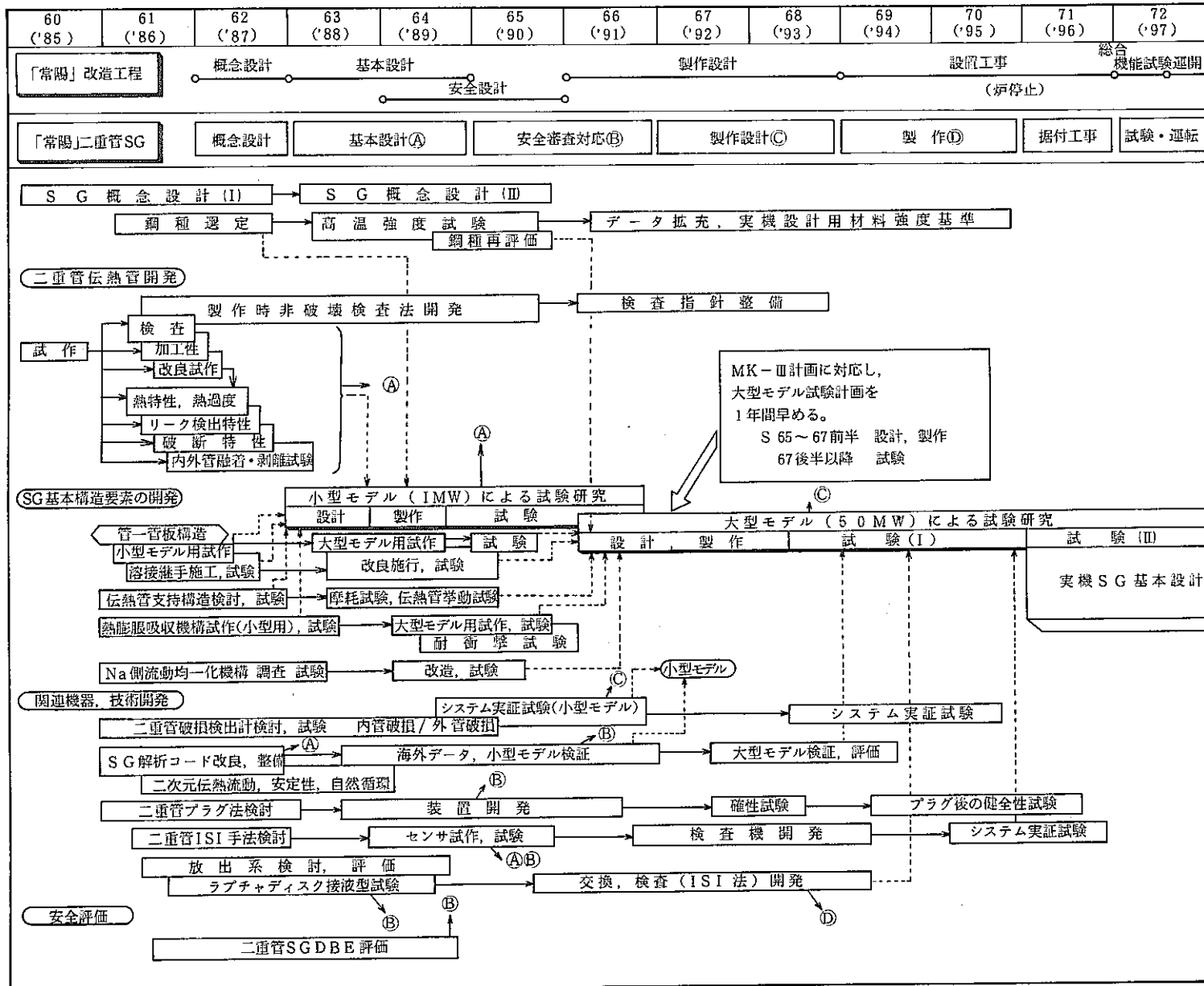


表 A 8.4 MK-III SG 設計検討計画 (63年度)

	62 年	63 年	64 年
検 討 内 容	<p>MK-III SG 構造仕様検討</p> <p>Case 1 : 50 MW Case 2 : 150 MW</p> <p>表 1</p> <p>計画による R&D 成果</p>	<p>MK-III SG 基本条件の設定</p> <p>交換熱量, 温度, 蒸気条件 (二次系削除システム W/G と調整)</p> <p>SG 構造基本設計</p> <ul style="list-style-type: none"> • 全体構造, 管-管板, 熱膨張吸収構造, 伝熱管支持構造, 流動均一化構造等について, 伝熱流動, 構造, 健全性, 耐震性 • 製作性の観点から検討 • リーク検出システム及び検出特性検討 • 製計, 製作上の問題点摘出と必要 R&D の見直し <p>MK-III SG 案創出</p> <p>MK-III 計画 チェック & レビュー</p>	<p>チェック & レビューの結果に基づき設計 詳細化</p>
費 用	—		

A 9 配管短縮技術の実証

1. 検討範囲

配管短縮技術としてはベローズに限定する。

2. 検討方法

図A 9.1 に示すフローに沿って検討を行う。

3. 検討結果

- (1) 今考えられるベローズは基本的には実証炉1号に適用すべき技術である（図A 9.1の⑥には行かない）。
- (2) 実証炉1号適用に対する技術的見通しは今までのR&D成果で基本的には言えると考えられる。ただしベローズ採用が決定された後、その仕様に即した追加R&Dは別途必要となろう。（これにより許認可対応可と考えられる）
- (3) 「常陽」に設置するとすると、費用効用比から二次系配管に組み込むことが妥当だと考えられる。この時の設計条件は以下の通り。

- ・寸法：12^B
- ・温度：470℃～480℃（ホットレグでの通常運転時）

設置に伴う直接的な費用は一億円程度と予想される。この他に許認可を通すためのR&Dが必要となろう。

- (4) 「常陽」に設置して技術の実証を行うことの意義は以下のように考えられる。
 - (a) 今までのR&Dで直接カバーされていない領域の検討課題についてプラント運転状態下での実証データが得られコンポーネントの信頼性が確認できる。
 - ・流力振動（ポンプによる振動も含む）
 - ・過渡的熱流動挙動……配管内温度成層化
 - (b) 設計、製作、据付、検査についてその妥当性を総合的に確認できる（注）
 - ・長時間の正常作動データ
 - ・耐震特性データ
 - ・製作、据付、検査技術の妥当性立証等
 - (c) 主冷却系配管への適用について許認可を得ることにより、技術の信頼性がオーソライズされることになる。これにより実証炉での許認可性が容易になる。
- (5) MK-Ⅲと実証炉1号の工程の対比を表A 9.1に示す。

MK-Ⅲ計画の実証炉への反映に関し、工程上から以下のことがいえる。

- (a) 実証炉1号の基本仕様選定への反映は無理

（ベローズを「常陽」に設置する計画があり、許認可をとっていくという影響力はあろう。）

以下実証炉1号の配管にベローズが使用されるとの前提に立って検討を進める。

(b) MK-ⅢのR&Dから機器据付までの成果は実証炉1号に反映できる。

- | | | |
|--------------------|-----|--------|
| (i) R&D……………表1のライン | ① | } 効果は？ |
| (ii) 許認可…………… | # ② | |
| (iii) 機器製作…………… | # ③ | |
| (iv) 機器据付…………… | # ④ | |

(c) 「常陽」の試験データの成果を実証炉に反映できるのは最終段階の詳細設計に間に合うかどうかと言う状況 → 効果は？

(注) ただし「常陽」での使用条件から、従来のTTS配管のベローズ(10^B×6個, T_{max} = 650℃, ΔT = 300℃, 回数2000～5000回?) およびポンプ・ループでの実寸ベローズ(42^B×2個)でのデータに加えてどれだけ有効なデータが付加されるか?

4. ま と め

- (1) ベローズに関する技術的判断はこれまでのR&Dによりほぼ可能と考えられる。
- (2) ベローズは10数年先の完成を目指す革新技术という位置づけのものではないので、実証炉1号の採用を前提としないとR&Dの意義がうすい。
- (3) 工程およびMK-Ⅲでの期待される成果を考えると「常陽」に設置する効果は限定されたものになる。
- (4) 二次系削除二重管SGでベローズを使わざるを得ないときはその位置づけで別途検討する。

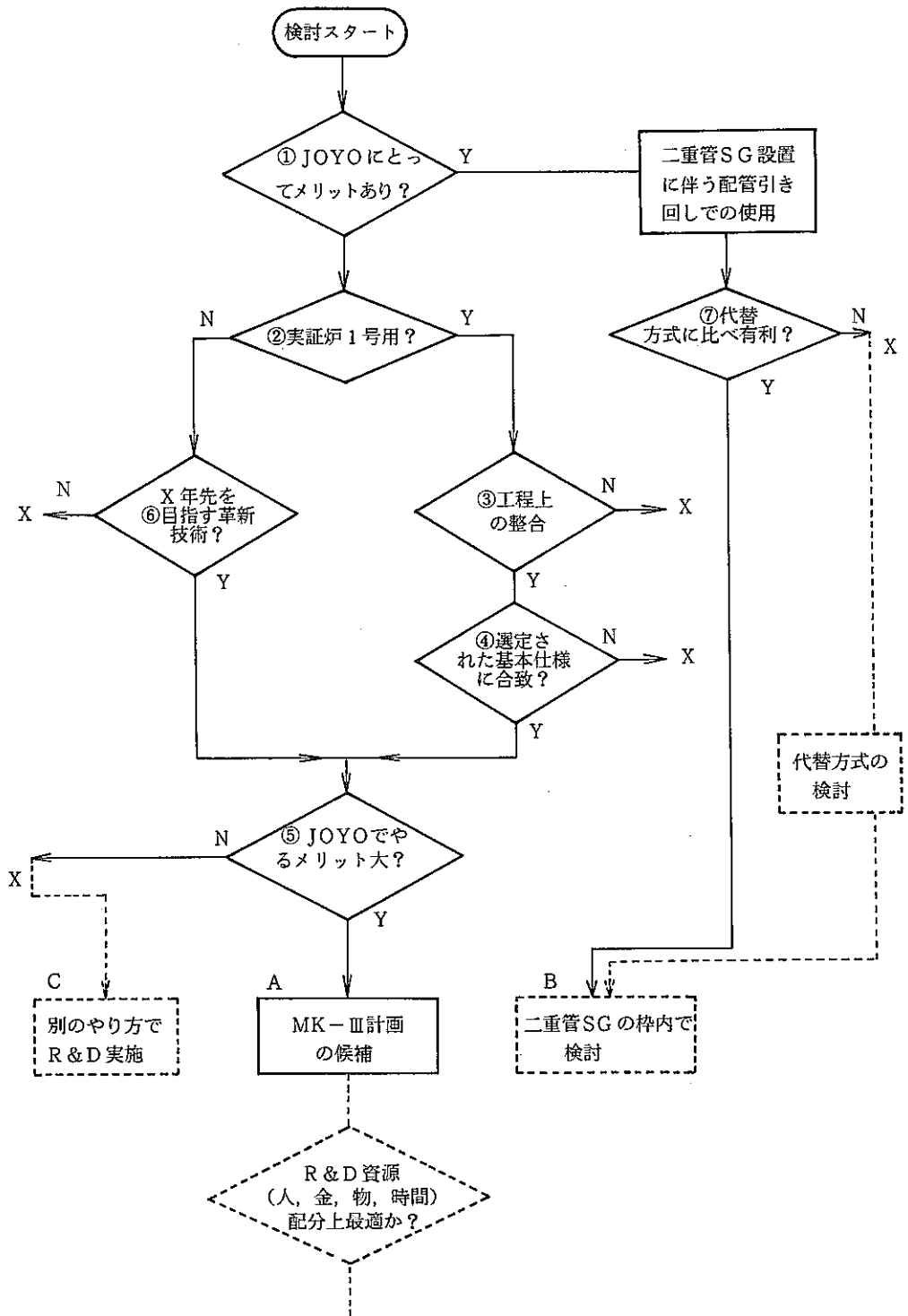


図 A 9.1 検査の流れ図

表 A 9.1 MK-III計画の工程と主な研究開発実施スケジュール

項目		昭和 西暦	63 88	64 89	65 90	66 91	67 92	68 93	69 94	70 95	71 96	72 97	73 98	74 99	75 2000	76 01	77 02	(78) 03
原型炉「もんじゅ」主工程			建設			臨界			運開		運転							
実証炉主工程				(基本仕様選定)		(基本設計)		(安審開始)		(詳細設計)	(着工)		建設					臨界
Mark-III計画工程	(1) 高中性子束の達成に必要な改造 (Mark-III炉心の改造)	設置検討		基本設計	安全審査	詳細設計	機器製作			Mark-III移行炉停止期間				運転				
	(2) 革新的技術の実証に必要な改造 (Mark-III機器システムの改造)	総合評価 (Check & Review) 基本設計		① (R & D)	安全審査	製作設計			設置工事			総合試験		データ試験				
「常陽」の主な研究開発実施スケジュール	(1) 高性能燃料の開発		燃焼度~15万MWd/t											燃焼度~20万MWd/t				
	(2) FBRの安全特性試験		改良316 SS	改良オーステナイトSS	照射	フェライト鋼	予備照射							フェライト鋼, 新材料, 新型燃料				
	(3) 革新的技術の開発実証				限界性能試験	炉内異常診断システム	長期崩壊熱除去	被爆低減化技術実証	RTCB, PTM	熱輸送系の過渡現象	スクラム失敗による反応度事故解析評価			二次系削除システム実証				
	(4) FBR運転経験の蓄積		使用済燃料裸貯蔵法	増設	反射体での実証									人工知能による原子炉自動運転制御システム実証 新型炉停止機構実証				

A10 AIによる炉運転自動化システムの開発

1. 概 要

人工知能技術（AI）すなわち知識工学を適応した計算機制御による炉運転自動化システムの開発を「常陽」プラントを利用して行う。

その開発は、二段階に分けて行うものとし、シミュレーター等を利用して段階的に技術の検証、実証を行いながら実機に採用していく。

第一段階は、すでに着手している制御棒操作自動化システムの開発である。本システムの開発は、三つのフェーズで構成されているが最終的には、原子炉臨界操作、系統昇温、出力上昇、下降、出力調整の各操作を、計算機システムと原子炉制御系とを結んで、制御棒操作を自動化するものである。

第二段階は、第一段階の技術を適応しながら、監視、ガイダンスシステムを取込んだ、異常時操作を含むプラント全体の自動化システムの開発、すなわちプラント運転自動化システムの開発を行うものである。

2. 開発目的

最新の軽水炉及び「もんじゅ」では、一定出力以上の領域での原子炉運転の自動化が行われているが、これはコントローラーによるもので、計算機制御ではない。計算機制御による原子炉の自動運転は実用化段階にないのが現状であり、これは、計算機制御のソフトウェア体系の信頼性の証明の困難さによるものである。しかし、今後FBRプラントの一層の安全性・信頼性・経済性の向上を図るためには、計算機による自動運転の実現が必要不可欠なものとなってくる。

本開発の目的は、上記の現状をふまえて、「常陽」を利用して制御棒操作自動化システムの開発、プラント運転自動化システムの開発を行い、システムの安全性、信頼性を実証し、将来炉へ反映させることである。

3. 「常陽」で開発実証することの必要性

軽水炉と異なった炉心及びプラント特性を持つ高速炉の自動化システムを開発するには、実プラントを使って実証し具体的問題点を解決していくことが重要である。そのためには、「常陽」を利用、活用するのが唯一の方法である。

4. 検討結果

本開発の最終目標は、プラント運転自動化であるが、MK-Ⅲ計画としては、第一段階の開発である、各運転モード（臨界近接、系統昇温、出力上昇、下降、出力調整）に於ける制御棒操作の完全自動化を実現する。

第一段階の開発は、下記の三つのフェーズに分けて実施する。

第一フェーズ：炉心及び冷却系の情報を計算機に取込み、各運転モード（臨界近接・系統昇温・出力（ロッドガイダー） 上昇・下降・出力調整）に於いて運転マニュアル及び運転制御限值と照合して、制御

棒操作量を運転員に提供する制御棒操作ガイダンスシステムの開発。

第二フェーズ：第一フェーズをベースに、一步進んで核的・熱的制限を逸脱した制御棒操作を阻止する機能を追加したシステムの開発。

第三フェーズ：計算機システムと原子炉制御系を結んだ全自動制御システムの開発。
(完全自動化)

現在、第一フェーズの開発は、ほぼ終了しており、実用化に向けて実証テストを行っている。又、同時に第二フェーズの開発に着手し、AI技術の適応について検討を進めているところである。

第一段階開発の概念図及びシステム構成の説明を図A 10.1 に示す。

63年度実施項目は以下のとおりである。

(1) 第一フェーズの実証テスト及び第二フェーズの開発及び検証。

(イ) 第二フェーズのプログラムの開発。

(ロ) シミュレーターを利用した第二フェーズのプログラムの検証。

(2) 制御棒操作自動化に伴う既設備の改造範囲の検討。

(イ) 制御棒駆動モーター交換の必要性の検討。

(ロ) 既設備の改造範囲の検討。

(3) 原子炉運転（SG設置の場合はSG系も含む）の自動化に伴う中制盤の改造（更新）の検討。

5. R & D 計画

本開発を実施するために必要なR & D計画を表A 10.1 に示す。

実施体制は下記のとおりとする。

1. 第一段階の開発の実施体制

原子炉第一課及び技術課がシステム設計及びプログラムの開発を担当する。改造工事を伴う場合は、原子炉第二課がこれを担当する。

2. 第二段階の開発の実施体制

技術課が主担当となり、これを原子炉第一課、二課、機器室が補佐するものとする。

開発のスケジュールを図A 10.2 に、所要資金の年度別金額を図A 10.3 に示す。

表A10.1 AIによる炉運転自動化システムのR&D計画表

R & D 項目	項 目 の 内 容	備 考
(1) AIによる制御棒操作 自動化プログラムの開発	<ul style="list-style-type: none"> • エキスパートシステムの設計。 • プログラムの作成。 	
(2) シミュレーターを用い てのプログラムの検証	<ul style="list-style-type: none"> • 制御棒操作自動化システムとシミュレーターとを結んでプログラムの検証を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> • シミュレーターによる原子炉の起動・停止を自動化しプログラムの検証, 実証を行う。
(3) CRDMモーターの交 換の検討	<ul style="list-style-type: none"> • 現状のモーターで自動運転が可能であるかの検討。(問題がある場合は自動運転に適した駆動モーターの検討, 開発。) 	
(4) 既設備の改造範囲の 検討	<ul style="list-style-type: none"> • 制御棒操作自動化に伴う制御系改造範囲の検討。 	
(5) 中制盤改造 (又は更新) の検討	<ul style="list-style-type: none"> • 原子炉運転 (SG設置の場合はSG系も含む) の自動化。 	

システム構成の説明

人工知能を応用した高速炉の自動制御システムの実用化を図るための第一歩として、各制御対象毎にコントローライメージの単機能のマイクロプロセッサを設け、メインの計算機システムからの指令を受けて局部的に制御を行う方式を採用する。

又、試験を目的とするシステムとして、計算機のバックアップは設けず、システムの故障又は異常に対してはシステムを切り離し、手動制御で従来通り運転を継続する。

図のメインルーチン、知識ベースは、前述の内容のエリアである。制限条件監視ルーチンは、システムより出力される操作量、ガイド情報を最終的にチェックするルーチンである。

例えば、運転制限を逸脱する操作量を出力していないか等をメインルーチンとは独立にチェックし、結果によっては出力を阻止する機能を持つルーチンである。

「常陽」の基本的な操作手順はほぼ確立されているため、操作の手順はシステムのメインルーチンに組み込み、一方、状態の判定、操作方法の選択等は、運転経験、高度な専門知識を必要とするものであり、これ等はデータベース（知識ベース）に記憶し、追加、改良を容易にする。知識ベースの充実に伴い、機能が成長するシステムとする。

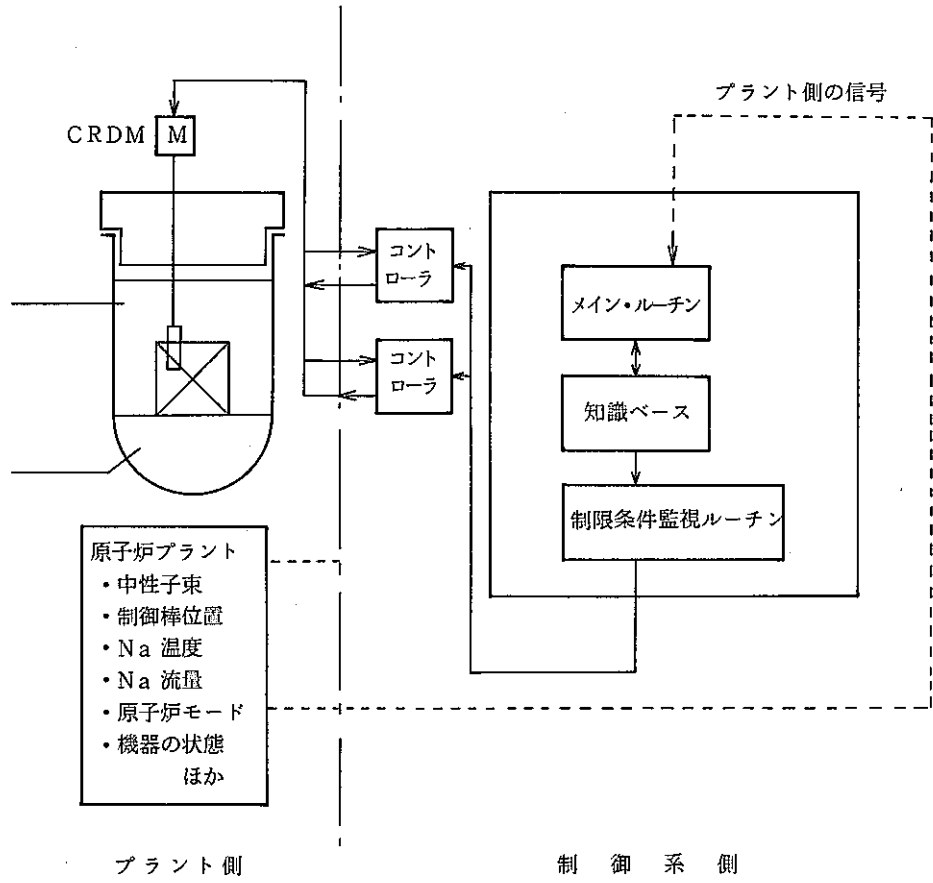
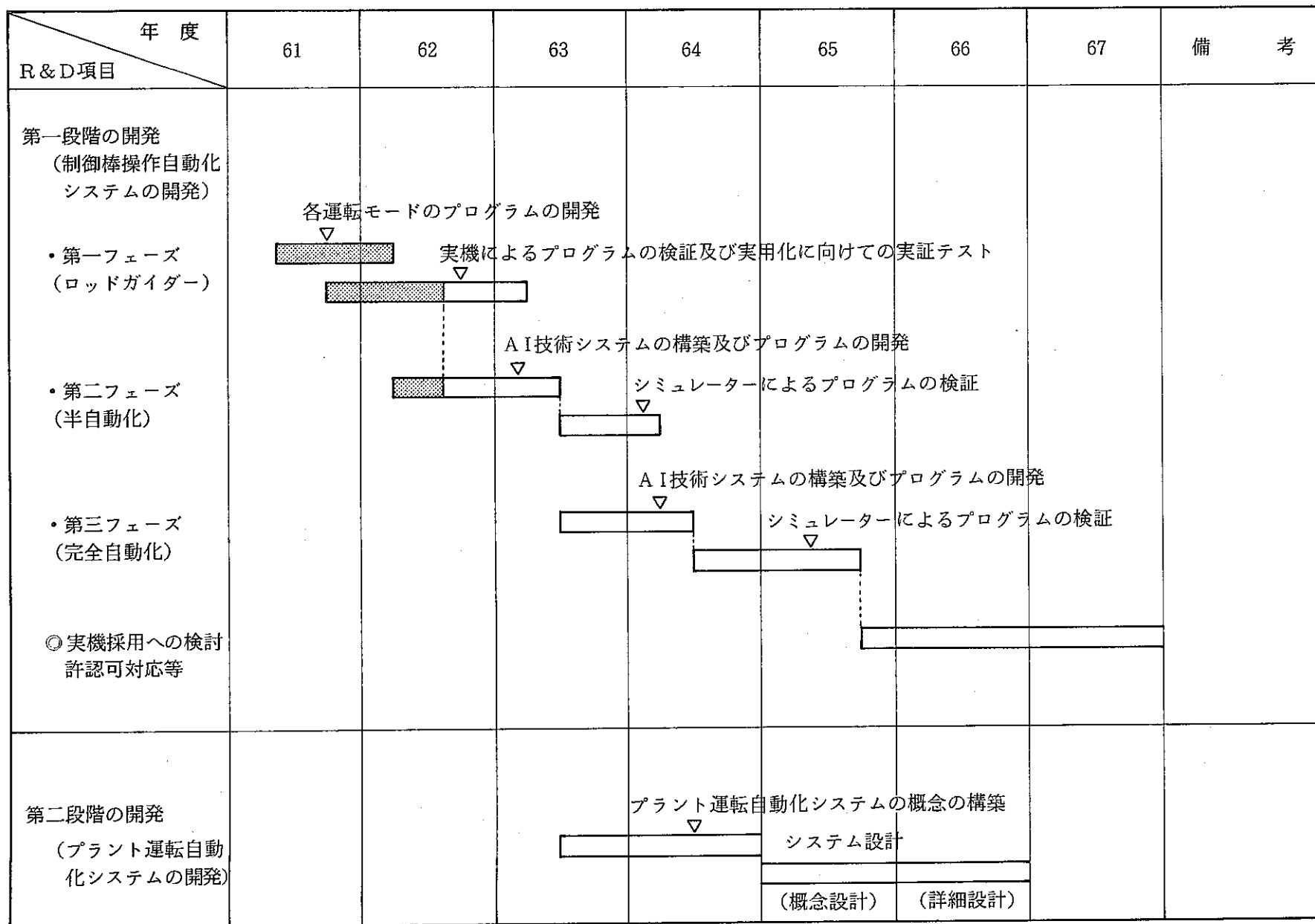


図 A 10.1 第一段階の開発の概念図(制御棒操作自動化システム)

図A10.2 AIによる炉運転自動化システムの開発スケジュール



図A10.3 AIによる炉運転自動化システム開発の所要資金年度別金額

(単位 百万円)

R&D項目	年 度							備 考
	63	64	65	66	67	68	69	
第一段階の開発 (制御棒操作自動化シ ステムの開発) ・第二フェーズ (半自動化) ・第三フェーズ (完全自動化)	*1 15	5	—	—	—	—	—	*1 シミュレーターからの信 号取り出し工事を含む *2 CRDMのモーター交換を 伴う場合
第二段階の開発 (プラント運転自動化 システムの開発)	—	10	15	40	?	?	?	システムの設計, 製作

A11 常陽MK-Ⅲ炉内異常診断システム

1. 概 要

常陽MK-Ⅲ炉心を対象とする異常診断システムを開発する。また、そのシステムを常陽運転制御システムに設置し、システム作動特性を試験する。更に、それらの経験を基にシステムの改良を図り実証炉から商用炉へかけて実用化する。常陽MK-Ⅲ炉心異常診断システムは次の4つのサブシステム、具体的には計測系、情報処理系、診断系、及び対応系からなる。

計測系では炉内において炉心出口温度、炉心流量、炉心内中性子束分布、炉内音響などが測定される。更に炉外では中性子束分布、またプロセス計測量として一次系流量、炉容器出入口温度が測定される。基本的には原子炉出力、炉停止、工学的安全施設対応などの計測量も参照される。

情報処理系では計測器からの信号を各々の系統で分散、階層化処理するローカルネットワーク方式とする。信号処理方式では高度な処理、例えば自己回帰、カルマンフィルタ同定などを応用するオンライン処理とする。

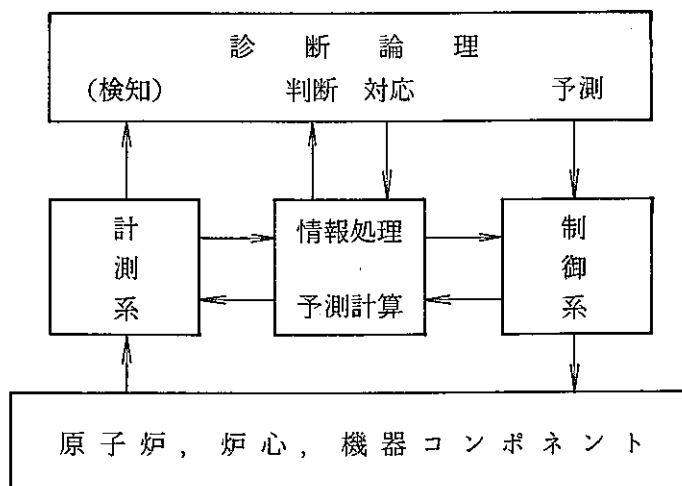
診断系では情報処理系の信号を受けて表層型因果律及び深層型モデル推論方式によって異常兆候の発見、異常原因の推論同定更に異常の波及予測がなされる。これらの一連の作業はAI応用コードシステムによってなされる。一方、計測系及び処理系の誤作動はセルフチェッカー機構によって検出される。この機構は診断系の中で独立している。

対応系においては診断系における異常進展予測に基づく結果をもとに、原子炉システムを異常状態から安全状態にいたらしむる最適な意志決定をおこなう制御方式で構成される。さらに効果的なマンマシンインタフェイスも付加される。

本異常診断システムの設置においては常陽炉上部機構更に計測制御系の改造が必要であり、システム全体構想のバランスが重要となる。

図A 11.1 に異常診断システムの概念を表す。

(注) 燃料破損検出システムについては別グループでの検討結果と整合しシステムに統合する。



図A 11.1

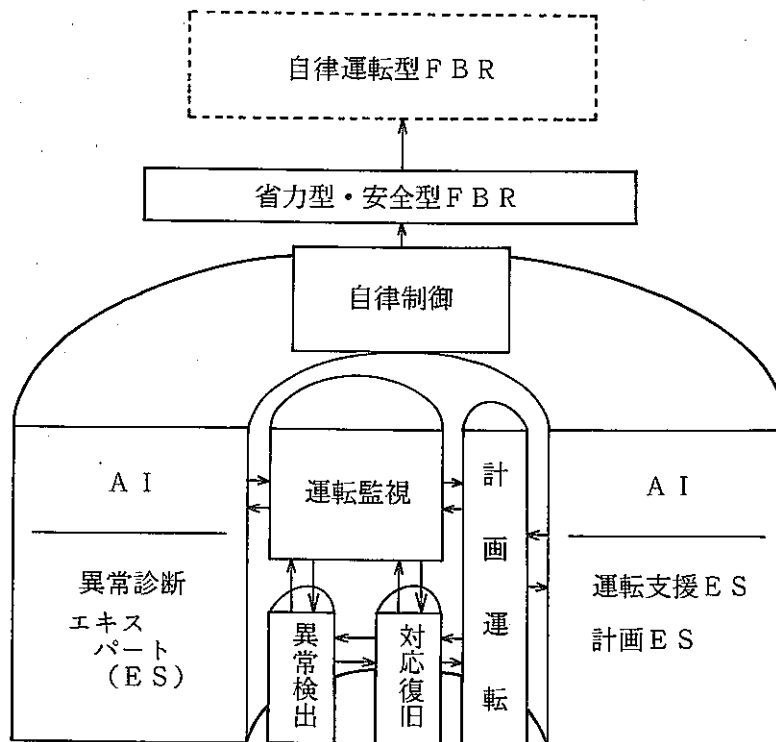
2. 目 的

- (1) 常陽MK-Ⅲ炉心の異常を早期に検知し管理する。また異常の拡大を防ぎ、さらに炉心の保全を図る。
これにより常陽MK-Ⅲ炉心の安全性および照射効率を向上させる。
- (2) 常陽MK-Ⅲ用炉心異常診断システムを開発し、更にその性能を実証することにより、高速炉の汎用炉心異常診断システムを実現させる。
- (3) 常陽MK-Ⅲ炉心異常診断システムを開発、実証化する経験を通して自律制御原子炉プラントなどの新システム概念を創出する。(図A11.2)

3. 必 要 性

炉心異常診断システムの総合機能試験さらに実証試験が高速炉システムにおいて実現できる。

- 計測系 放射線環境下での作動特性の実証が可能。
- 情報系 実プラントでのオンライン処理特性確認が可能。
- 診断系 実炉条件での複合事象による診断実現性の検証が可能。
- 対応系 高速炉制御条件下でのシステム特性の把握が可能。



図A11.2

4. 検討結果

(1) 対象とする異常事象

— 炉心局所異常

反応度異常, 局所流路閉塞, 燃料破損, 炉心要素振動, 炉心変形, など

— プラント過渡事象から波及する異常

設計基準事象など

(燃料破損については別途検討する。)

(2) システム構成の基本仕様と達成方策

— 計測系：基本的には現状計測系に下記の新規計装を付加する。

新規計装	新規設備対応	現 状	対象異常事象	検出物理量
炉心内中性子束 モニター	新型制御棒設置		反応度異常 炉心要素振動 炉心変形	中性子束
速応性熱電対 超音波温度流速計 炉内音響計 ボイド計	炉上部機構改造	炉上部計測 (熱電対, 渦電流速計)	局所流路閉塞 局所燃焼異常 流配異常	S / A 出口温度 流速, 音響, ボイド

達成方策：(a) 新規計測系の開発； 62年度から開発が先行している。

(b) 炉上部機構改造し計測系を増設する。； 新たに63年度から可能性の検討必要。

開発分担： 技術課, 照射課, 機器システム

— 情報処理系：現状の信号処理系を高度化する。

	基 本 仕 様	達 成 方 策	開 発 分 担
・信号伝送	光ケーブル (一部)	新規付設	技術課, 照射課,
・信号処理	高速多重, 並列処理 分散ワークステーション	新規高速信号処理 システム開発	62年度から開発中 機器システム
・処理方式	平均, 偏差, 周波数解析, 回帰分析, フィルタリング	システムソフト開発	62年度から開発中 機器システム

— 診断系：新規設備

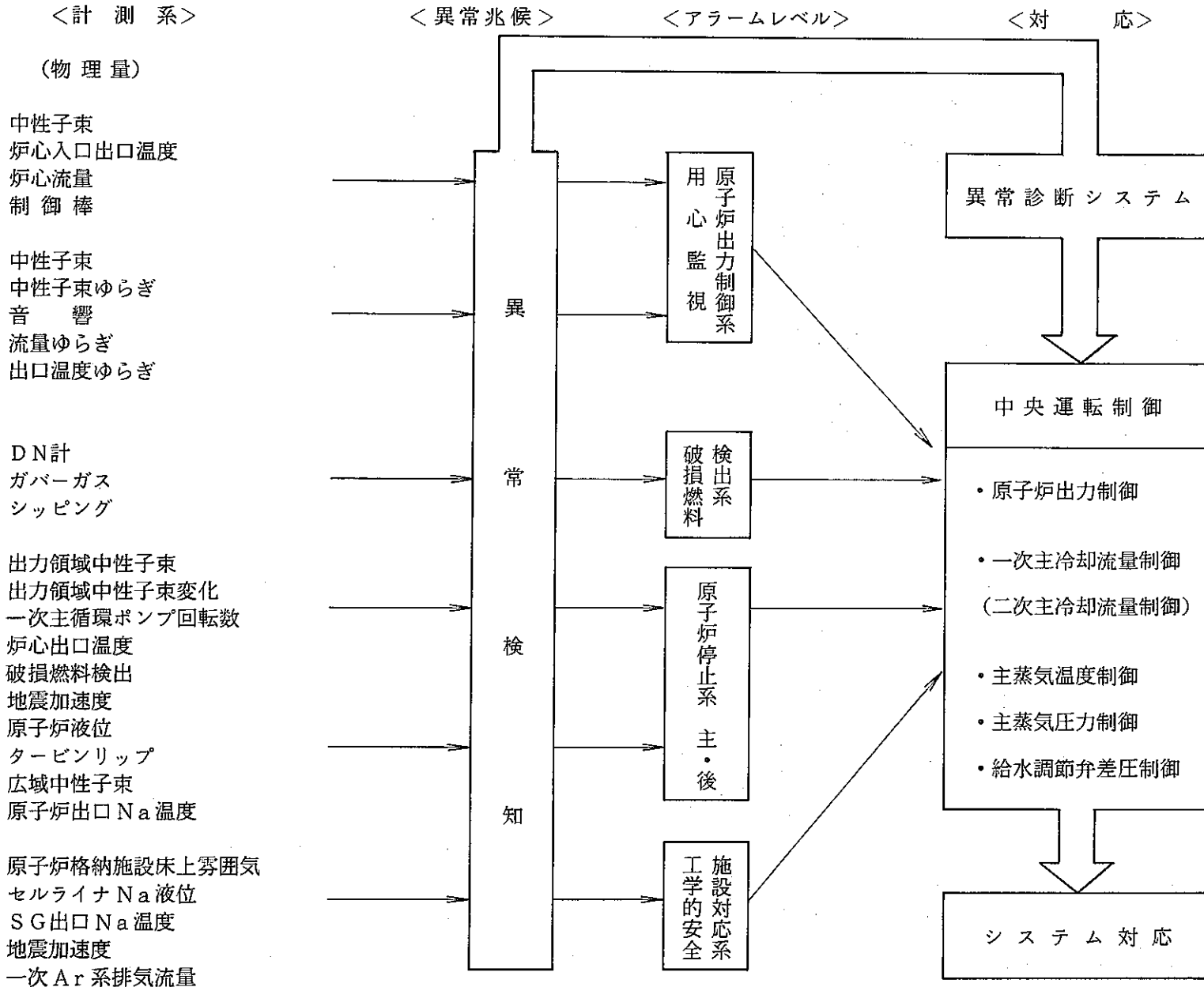
基本仕様		達成方策	開発分担
<ul style="list-style-type: none"> • 診断系の基本構成 基本モジュール 	AI応用推論機構 • 表層型推論 - ベースライン解析 - 因果律, 経験則解析	開発中 (AIツール導入必要)	技術課 機器システム
	• 深層型推論 - 物理則, 現象論 - 定性推論 - ハイブリッド高速推論	(安全論理と整合必要) (新推論機構の開発必要)	
	<ul style="list-style-type: none"> • セルフチェッカー AI応用故障解析	開発中	

— 対応系：制御系の一部改造

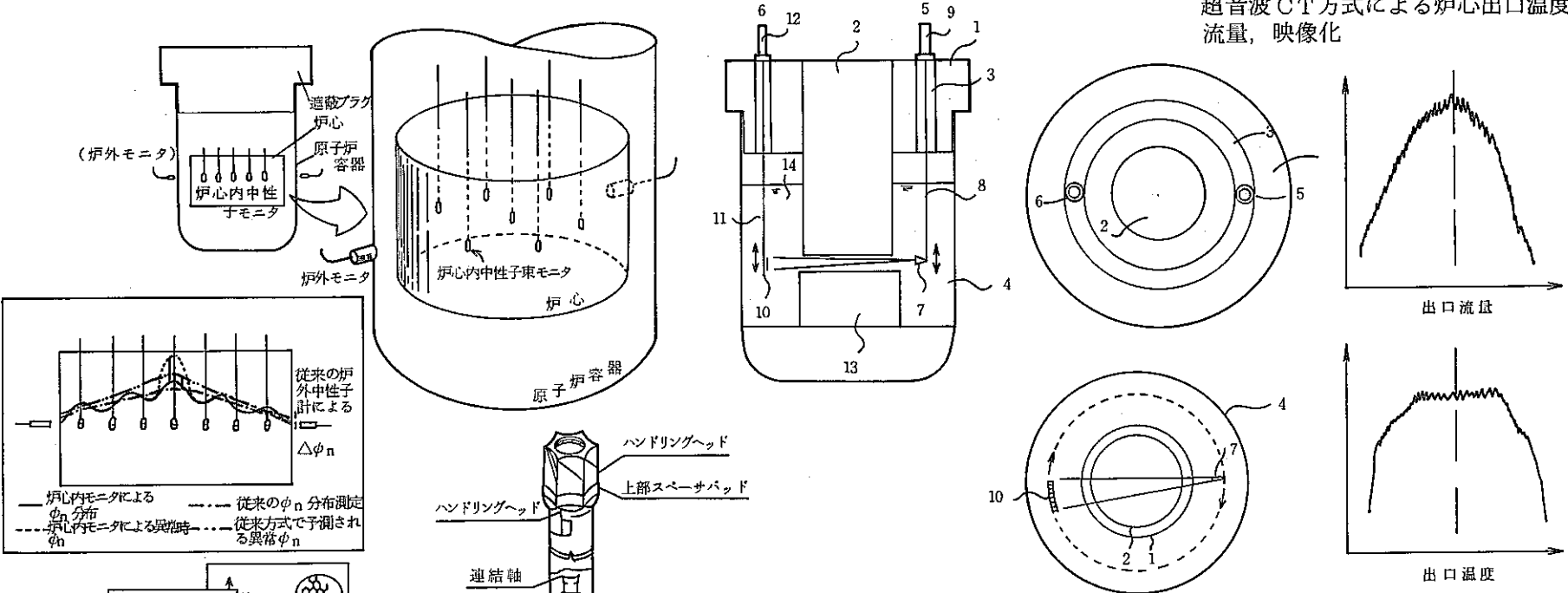
基本仕様		達成方策	開発分担
<ul style="list-style-type: none"> • 最適制御の構成 	自動化運転制御と同等 - 事象駆動型制御方式	制御系改造, 自動化対策 (SG自動化の経験応用)	機器システム 一課, 二課
	- 自律分散制御方式	新規R&D (新概念制御法の開発)	
<ul style="list-style-type: none"> • マンマシン インタフェースの拡充 	- 対応動作の優先度指示	新規開発 (AIツール導入)	

5. 開発工程

	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
新規計測器開発	炉外試験		炉内試験					改 造			
炉上部機構改造	基本設計	システム設計				製作設計					
情報系設備対応	基本設計	信号処理ソフト開発			実証試験						
診断系設備対応	基本設計	診断システム開発			実証試験						
対応系設備 (制御系改造)	基本設計	システム設計(I)	システム設計(II)			製作設計					
異常診断 システム実証										実証 & 改良試験	
開発予算額(億) (予測)	1.7	2.2	2.6	2.6	3.0	3.0	3.0		2.0	2.0	2.0

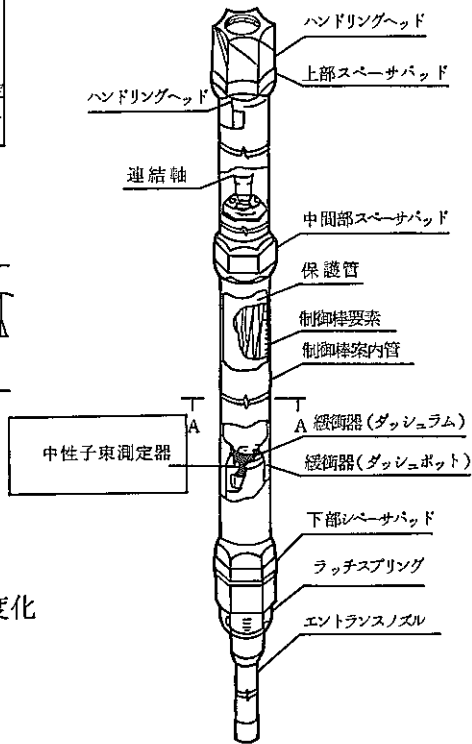
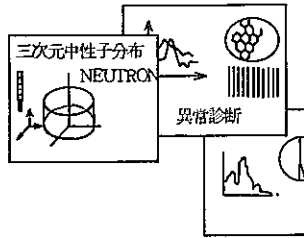
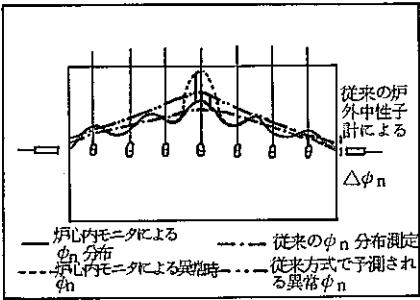


超音波CT方式による炉心出口温度、流量、映像化



炉心出口空間同時計測手法の開発

炉心中性子束計測の高度化



A12 燃料破損診断システム

1. 概 要

FBR実証炉段階で用いられる燃料破損診断システムを開発し、「常陽」MK-Ⅲで実証することにより、実証炉の経済性、安全性の向上に資する。

2000年以降の実証炉では、経済性を向上させるために、長寿命炉で、長期にわたる連続運転が要求される。これを達成させるためには、燃料破損が発生した場合にも軽水炉並に、次の計画炉停止まで運転を継続する(RBCB)ことが望ましい。また、万一、破損燃料の状態が炉の運転制限値に達した場合には炉停止後、速やかに燃料を取り出して再起動までの時間を切りつめる必要がある。

このため、RBCB運転中の燃料の状態及びプラントの運転制限になると予想される汚染の程度を正確にモニタするための診断システムが重要となる。更に、迅速で確実かつ経済的な破損燃料集合体位置検出装置が必要となる。

一方、実証炉の合理的な安全論理の構築の一助として、局所事故から燃料破損を検知して炉停止させるまでの時間を現状の数十秒から1秒前後に切りつめることが重要である。

MK-Ⅲ計画では、新技術を用いて、以上の要求を満たす下記項目からなる燃料破損診断システム(図A12.1参照)を開発してMK-Ⅲで実証し、実証炉で実用化する。

- (1) 高速燃料破損検出装置(FFD)の開発・実証
- (2) 破損燃料状態診断システムの開発・実証
- (3) オンライン・プラント汚染モニタの開発・実証
- (4) 高性能FFDLの開発・実証

2. 開発目的

FBR実証炉段階で用いられる燃料破損診断システムを開発・実証することにより、以下の成果が期待できる。

- (1) FFDを高度化し、実証炉の合理的な安全論理の構築を可能ならしめ、実証炉の経済性、安全性の向上に資する。
- (2) 破損燃料状態診断システム及びオンライン・プラント汚染モニタを使用することにより、RBCB運転を可能ならしめ、実証炉の経済性の向上に資する。
- (3) 高性能FFDLを採用し、破損燃料の取出しに要する炉停止時間を切りつめることにより、実証炉の経済性の向上に資する。

3. 「常陽」で開発実証することの必要性

燃料破損診断システムは、燃料からのFPの放出及びナトリウム中での移行挙動並びに測定する環境によって、その性能の良否が左右される極めて特殊なシステムであるため、実炉で実証することが不可欠である。新技術を取り入れた燃料破損診断システムを実証する段階において、実験を行うことのできる高速

炉は世界的にも「常陽」ただ1つとなる可能性が高く、ここで実証された本システムは、各国の炉で採用されることが期待される。

4. 検討結果

4.1 全体計画

MK-Ⅲで開発実証する各項目の内容は以下のとおりである。

(1) 高速FFDの開発・実証

小型の γ 線補償型 β 線検出器を集合体アドレス毎の整流格子レベルに設置し、短寿命の β 線放出FPを検知するFFD/FFDLを開発し、MK-Ⅲにおいて実証する。

(2) 破損燃料状態診断システムの開発・実証

DN信号、CG信号及びオンラインFFDLの情報から破損燃料状態をオンラインで表示するソフト及びハードのシステム(図A12.2参照)を開発し、MK-Ⅲ前後のRTCB、RBCB試験時に実証する。

(3) オンライン・プライト汚染モニタの開発・実証

1次主配管からバイパスさせてナトリウム配管を設け、ナトリウム中に混入または、溶解したFP核種の濃度を迅速に測定するシステムを開発し、MK-Ⅲにおいて実証する。本件の測定方法としては、非同時計測回路とGe半導体検出器を組み合わせたナトリウムの直接測定、ナトリウムから溶解しているFPを分離してGe半導体検出器で測定するバッチ方式が候補として上げられる。本システムの校正には、JFTF(図A12.3)による測定データを用いる。

また、オンライン汚染評価コードを開発し、(2)項とあわせて総合的な診断システムを開発する。

(4) 高性能FFDLの開発・実証

① セレクターバルブ方式

従来のセレクターバルブ法よりも破損位置の同定方法を改善したセレクターバルブ法FFDL(図A12.4参照)を開発、実証する。

② 固体タグ方式

DN信号を伴う破損燃料状態において安価に、確実に、原子炉運転中に位置決めを行う方法として、固体タグ方式のFFDLを開発実証する。本方式は、予め低融点金属をピン内に封入しておき、燃料カラム部破損時にナトリウム中に溶け出した金属を捕集し、質量分析器又は、放射線検出器で測定し、解析結果から位置決めを行うものである。PCMIの大きな場合でも、確実に検出できるということ、タグが安いということが希ガスタグよりも優れているところである。

③ シッピング方式

「常陽」で開発を進めている炉内シッピング法FFDLで希ガスに加えて ^{137}Cs 、 ^{131}I を検出する機能を備えさせる(図A12.5参照)ことにより、本装置の性能を、破損燃料状態によらず高い信頼性を持って検出できるレベルまで高める。

本装置の改良後、MK-Ⅲ前後のRTCB、RBCB試験で、その性能を実証する。

4.2 63年度実施計画

昭和63年度は予備設計を行い、燃料破損診断システムの概念を固める。各項目の実施内容及び要する経費（総額3,160万円）は以下のとおりである。

(1) 高速FFDの開発・実証； 高速FFD用検出器の試作（500万円）

高速FFDの検出器の候補である小型 γ 線補償型 β 線検出器を設計し、試作する。

(2) 破損燃料状態診断システムの開発・実証； 状態診断エキスパートシステム・プロトタイプ製作
（1,400万円）

破損診断エキスパートシステムのプロトタイプを製作し、次年度以降の開発に備える。

(3) オンライン・プラント汚染モニタの開発・実証； オンライン汚染モニタ測定系試作用部材の製作
（290万円）

オンライン・プラント汚染モニタの測定方式の候補である、非同時計測回路とGe検出器を組合せたナトリウムの直接測定装置の設計を行い、試作試験に必要な部材を製作する。

(4) 高性能FFDLの開発・実証

① セレクターバルブ方式； セレクターバルブ法FFDLシステム設計（570万円）

セレクターバルブ法FFDLのシステム設計を行うとともに、「常陽」に設置する場合の問題点を洗い出し検討する。

② 固体タグ方式； 固体タギング法調査・検討（230万円）

固体タギング法のタグ捕集及び分析方法について調査・検討を行う。

③ シッピング方式； シッピング法FFDL炉外試験装置改造の設計（170万円）

「常陽」炉内シッピング法の改良に必要な炉外試験用として、現有の炉外試験装置を改造するための設計を行う。

5. R & D計画

表A 12.2に全体計画の工程及び費用を示す。

尚、現在「常陽」で進行中の計画の実績及び予定については、表A 12.1にまとめて示した。

現行の計画で得られた成果は、全て、MK-Ⅲ燃料破損診断システム開発実証に利用でき、反映する予定であることから、個々についての説明は省略した。

表 A12.1 「常陽」における現行の破損燃料関係の開発工程

昭和年度	59	60	61	62	63	64	65	66
「常陽」工程								
	予備照射							RTCB
1. FFDの増強整備 (1) DN法追加 (2) カバーガスオンライン γ 線 モニタ設置								
2. セシウムトラップの設置								
3. 希ガス回収装置								
4. FPの炉内挙動確認試験 ・プレナム部人工欠陥付燃料要素 ・ウラン合金照射 ・燃料カラム部人工欠陥付燃料照射								
5. RTCB試験								

表 A12.2 燃料破損診断システムの開発計画 (スケジュール及び予算)

(1 / 5)

開発項目及び内容	年	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
1. 高速化FFDの 開発・実証												
調査・検討, 試作			○	○								
			(5.0)									
検出器製作・試験				○	○	○						
				(20)								
設置検討					○	○	○					
					(10)							
製作								○	○	○		
								(30)				
据付											○	○
											(10)	
費用 (百万円)				5	10	13	3	4	10	10	10	10

表 A 12.2 燃料破損診断システムの開発計画 (スケジュール及び予算)

(2 / 5)

開発項目及び内容	年	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
2. 破損燃料状態診断システムの開発・実証												
(1) 破損後挙動解析コード			○	—————	(25)	○						
(2) D A S 信号応用解析 オンライン化					○	—————	(10)	○				
(3) 状態診断エキスパート システム組込み			○	—————	(20)	○						
(4) F P S による校正					○	—————	(0)	○				
(5) 新技術(ハード)を取入れた 高度エキスパートシステムの 開発			○	—————		○					○	○
(6) Tag Gag 処理の オンライン化							○					
							高燃焼度試験 (RTCB)					
費用 (百万円)				23	28	19	5				20	

付 2 - 80

表 A 12.2 燃料破損診断システムの開発計画 (スケジュール及び予算)

(3 / 5)

開発項目及び内容	年	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
3. オンラインプラント汚染 モニタの開発・実証												
(1) 装置の開発・製作												
① 調査・検討, 試験			○	○								
			(3)									
② 試作・試験				○			○					
				(20)								
③ 設置検討						○		○				
						(5)						
④ 製 作								○			○	
								(30)				
⑤ 据 付											○	○
											(30)	
(2) 汚染評価コードの開発								○			○	
						(GBR-II Phase II データ)		(20)				
											2.(5) へ	
(3) JFTF (次頁参照)												
費 用 (百万円)					6	7	10	7	15	20	10	30

表 A 12.2 燃料破損診断システムの開発計画 (スケジュール及び予算)

(4 / 5)

年	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
開発項目及び内容											
(3) J F T F											
① 1次設計検討	○	○									
	(17.9)										
② 2次設計検討		○	○								
		(8.5)									
③ C & R			○	○							
			(0)								
④ 詳細設計			○	○							
			(12)								
⑤ 試作・モックアップ試験				○	○						
				(120)							
⑥ 調整設計					○	○					
					(10)						
⑦ 製作設計・製作						○	○				
						(130)					
⑧ 供 用								○			
								(30)			
費用 (百万円)	17.9	8.5	12	90	40	90	40	8	7	8	7

表 A 12.2 燃料破損診断システムの開発計画（スケジュール及び予算）

（ 5 / 5 ）

開発項目及び内容	年	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
4. 高性能 FFDL の開発												
(1) セレクターバルブ方式												
① システム検討			○	○								
			(6)									
② 構成要素開発 (電磁ポンプ, バルブ, その他)				○	○	○	○	○				
				(110)			(40)					
③ フルモックアップ試験							○	○	○			
							(40)					
④ 実機製作									○	○	○	○
									(300)	製作		「常陽 据付」 (20)
(2) 固体タグ方式												
① システム・タグ検討 概念設計			○	○	○	○						
				(30)								
② 試作・試験						○	○	○				
							(30)					
③ 製作								○	○	○	○	
									(30)			
④ 据付											○	○
											(10)	
(3) シッピング方式												
① 調査・検討		○	○	○								
			(2)									
② 試作・試験				○	○	○						
				30								
③ 改造						○	○					
						30						
費用 (百万円)					75	75	75	55	30	160	160	30

* 回転プラグは別件で交換されるものとする。

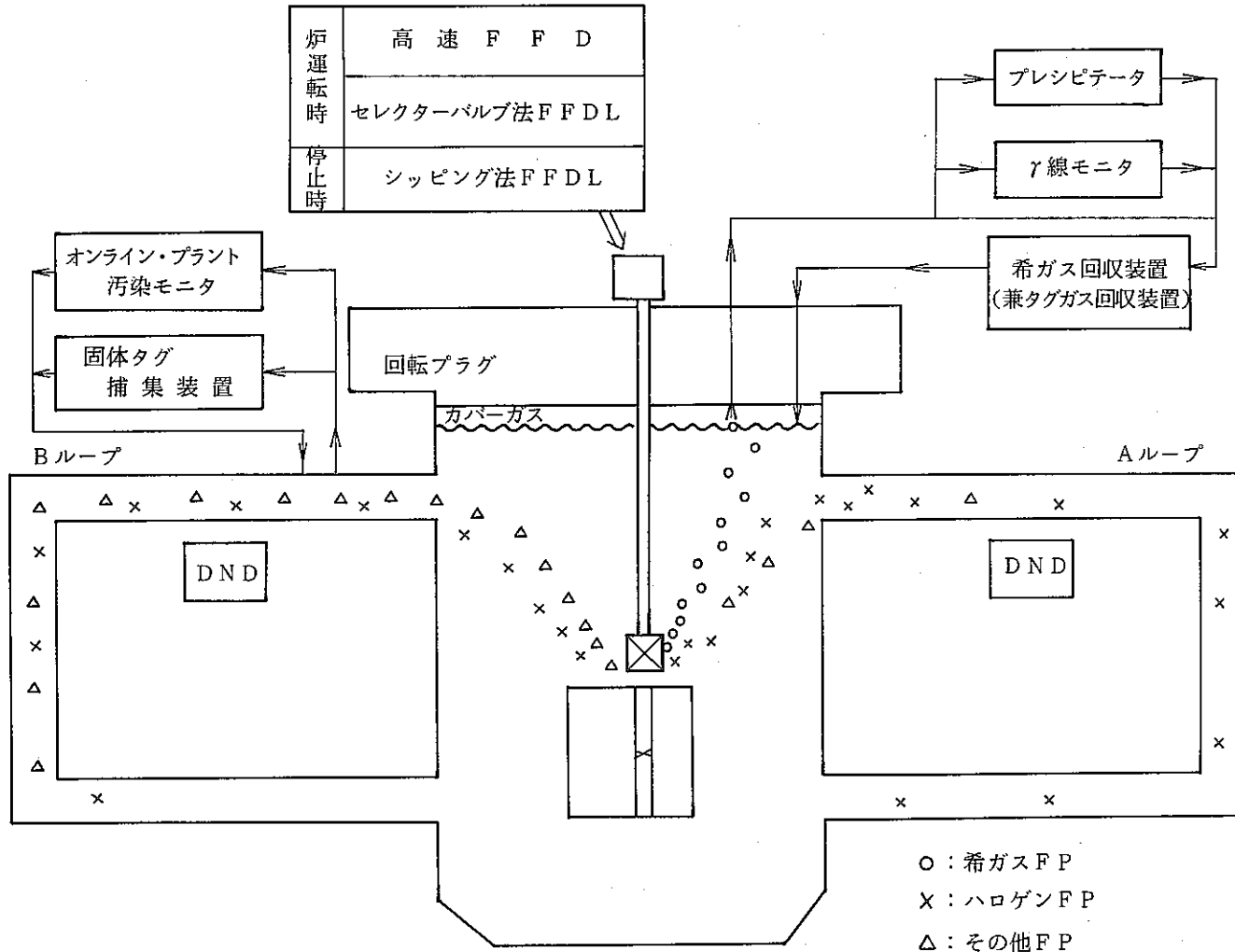


図 A12.1(a) 燃料破損診断システムハードウェア構成図

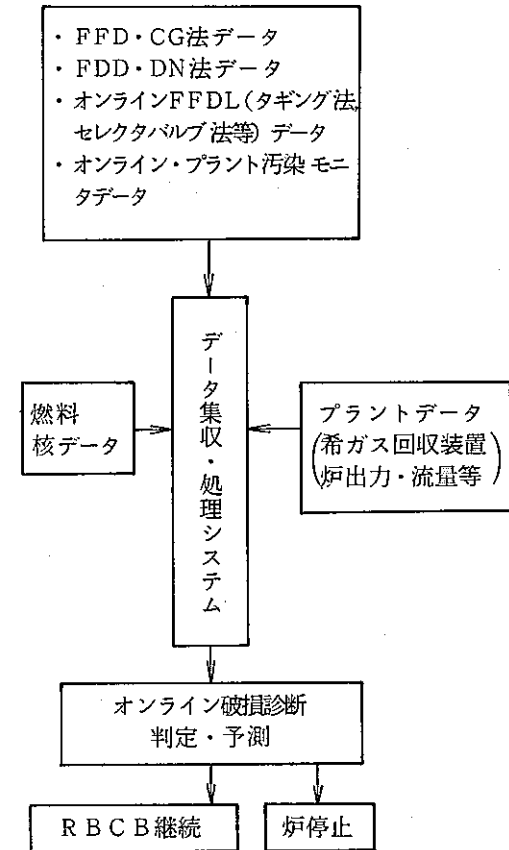


図 A12.1(b) 燃料破損診断システム
ソフトウェア構成図

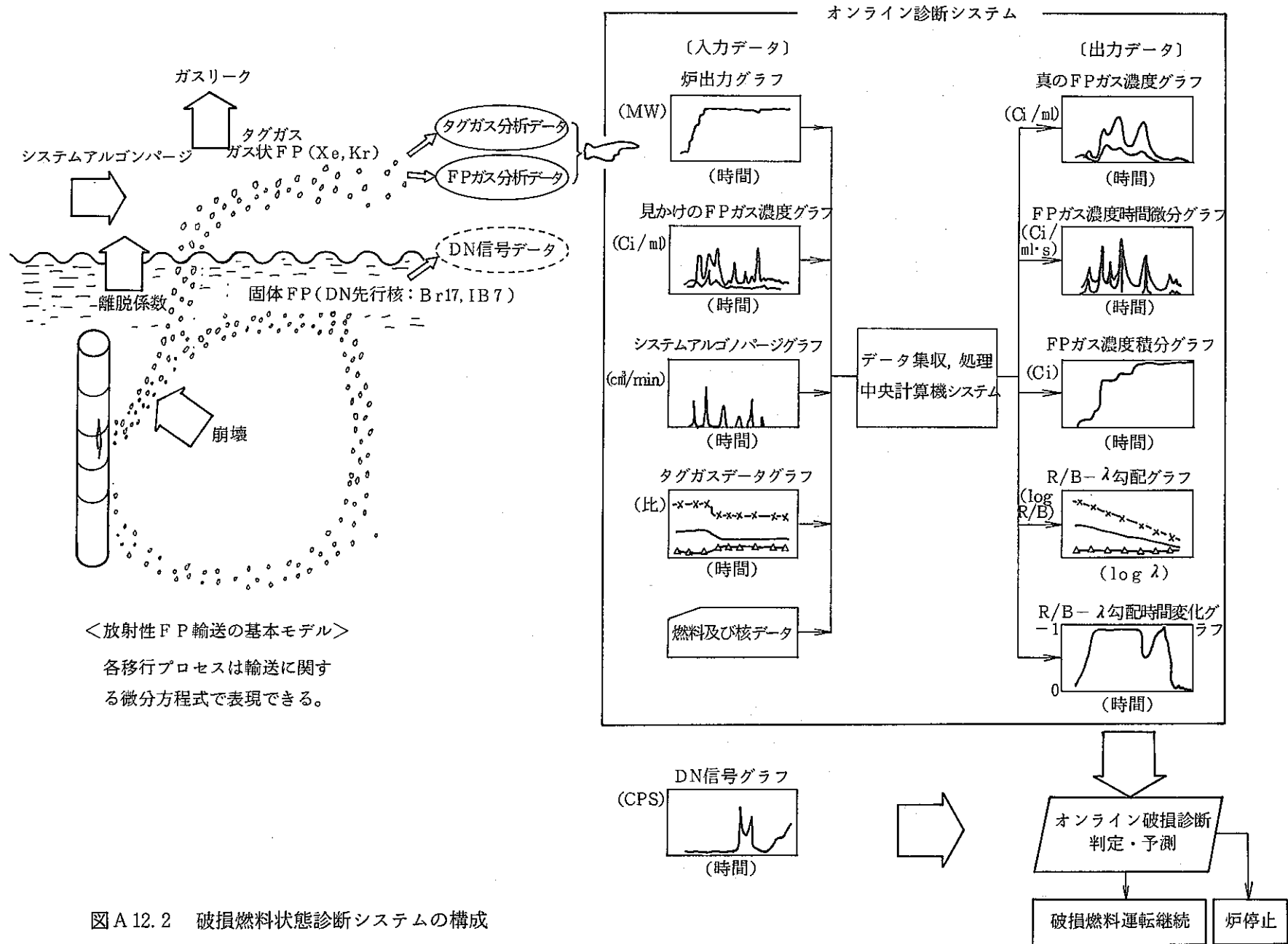
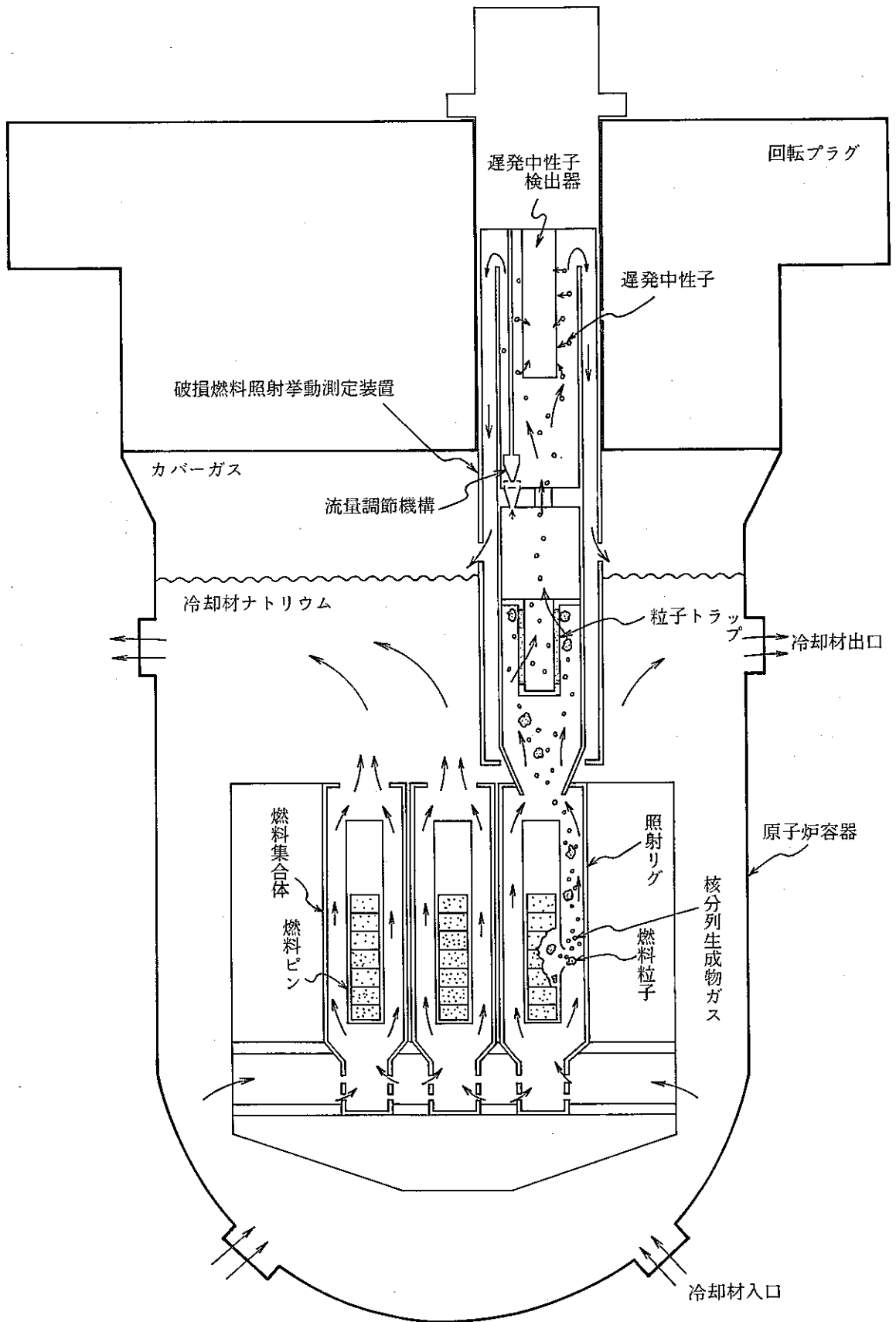
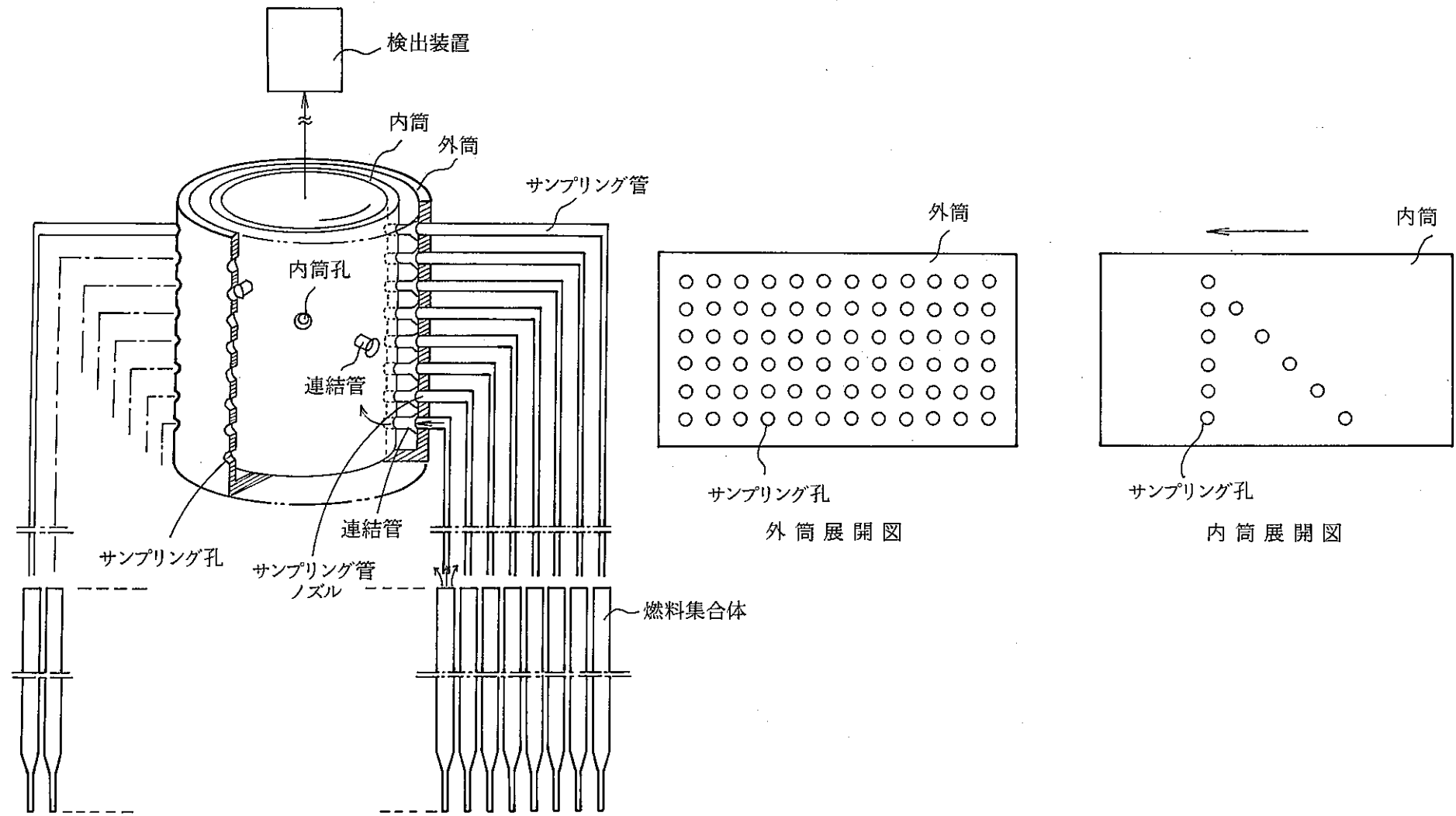


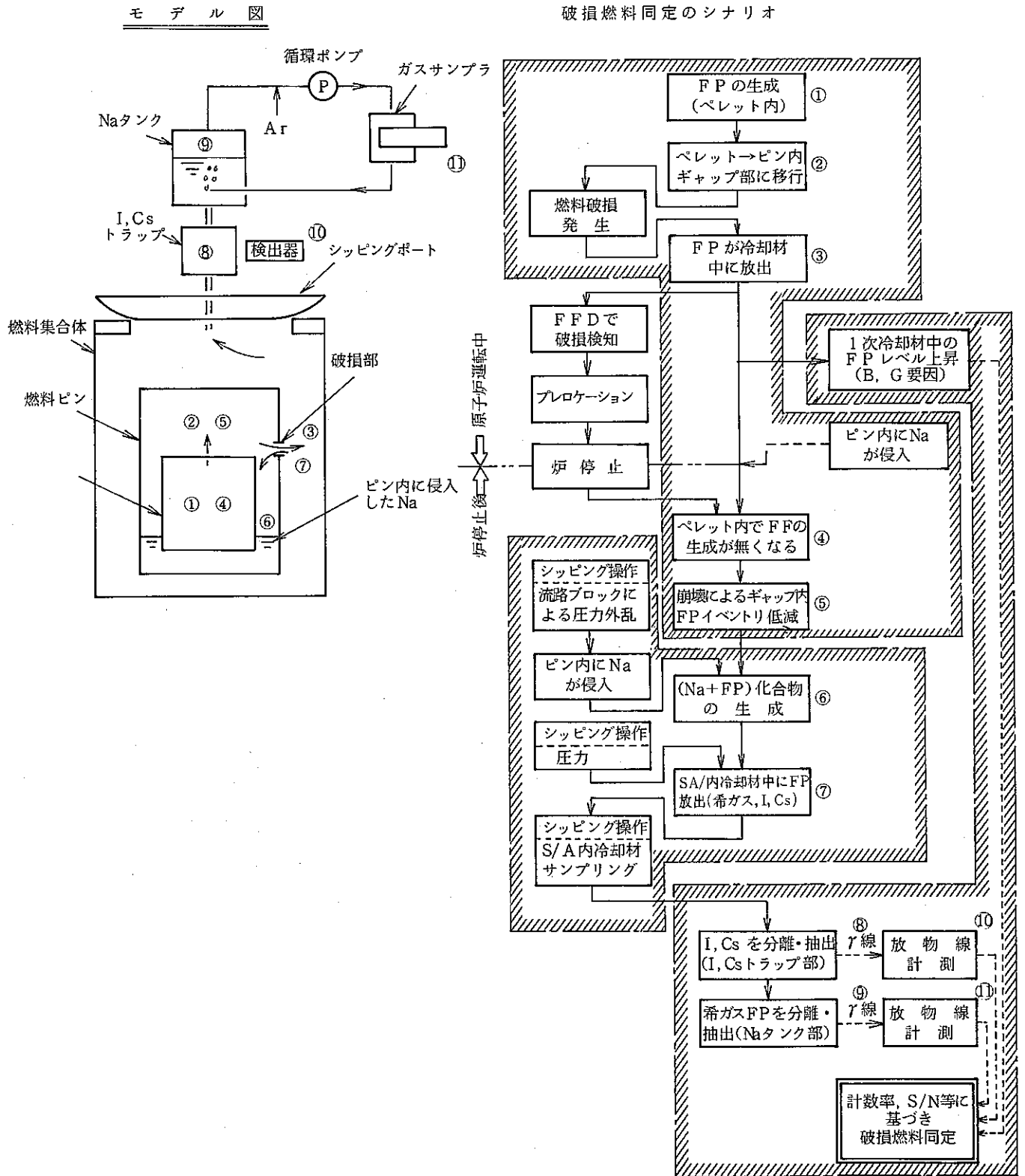
図 A 12. 2 破損燃料状態診断システムの構成



図A12.3 JFTFの概念



図A 12.4 改良型セレクターバルブ法の概念



図A12.5 シッピング法FFDLの概念

A13 新型炉停止機構

1. 概 要

原子炉の安全性を高める上で炉停止機構は最も重要度の高いものであり、その信頼性を高めるためには多様で独立性の高い停止機構を有することが必要となる。本件は緊急炉停止用の停止機構であり、自己作動型炉停止機構と分節型制御棒より成り、短尺型制御棒駆動機構が加えられる。(図A 13.1) 自己作動型炉停止機構とは、従来の炉停止機構が、炉の温度の感知、異常の判断、スクラムの作動指示という段階を経て実行されるのに対し、外部の判断および指令に依らずに炉心の温度異常により、直接制御棒を挿入する機構である。これには種々の方式が考案されているが、本件では事前調査の結果、キュリー点電磁石方式を採用している。これは一定温度を境にして吸着力が顕著に変化する電磁石を用いて、定常運転中は制御棒を吸着して吊り上げておき、温度が異常に上昇して一定温度を越えると吸着力が低下して制御棒が落下、挿入させる方式である。吸着力の顕著な変化は磁性材のキュリー点を利用している。即ち、磁気回路を構成する鉄芯の一部に一定温度以上で磁性を失うキュリー点材料を組み込んであり、これが炉心冷却材中に置かれているため、その温度がキュリー点を越えると外部からの指令なくとも直接電磁石の吸着力が低下することになる。この方式はキュリー点という磁性材の物理的特性の変化を利用しており、その再現性、普遍性が極めて高い点と、作動が可逆である点、即ち、温度が低下すると元の吸着力が回復できる点の特徴である。キュリー点は材料によって異なっているので、材料の選択により、作動点を自由に設定することができる。現在、その原理確認試験を行っており、基本的動作性は確認されている。(図A 13.5) また、同様の原理によって、電磁石に供給する電力を冷却材の温度によって直接ON-OFFする温度スイッチの検討も行っており、63年度上期には原理確認を完了する予定である。

一方、分節型制御棒は地震等により、案内管の湾曲や炉心との相対位置のずれが生じ、従来の一体型の制御棒では挿入が困難となる場合でも、制御棒自身が屈曲することにより、挿入スクラムを容易ならしめるものである。現在、試験体を製作中である。(図A 13.3)

短尺型駆動機構とは、制御棒を上下駆動、スクラムさせる駆動機構部の高さを5 m(「もんじゅ」の駆動機構)から2 m以下とし、耐震性に優れた駆動機構を提供するものである。(図A 13.4)

上記キュリー点電磁石と分節型制御棒および短尺型駆動機構を組み合わせることにより、信頼性の高い炉停止機構を確立する。

2. 開発の目的

信頼性の高い炉停止機構を開発することにより、HCDA(仮想的炉心崩壊事故)の排除を可能ならしめる。これにより、炉心事故対応設備基準を緩和し、FBR建設コストの大幅低減を達成する。

3. 「常陽」で実証することの必要性

上記開発項目は既に各項目ごとに開発を進めており、64年度末までに、機器の開発および試験装置での動作特性試験を完了する計画である。それ以降、電磁石材料(コイル、感温磁性材等)の中性子照射に対

する感受性等、実機運転条件下での特性を確認する必要がある。また、本炉停止機構の中心課題である自己作動型キュリー点電磁石はフランスでR&Dが先行して行われたが失敗した経過がある。これは炉心冷却材の流体振動等による定常運転中の誤動作（制御棒誤落下）が原因ではないかと考えられており、これに対する対策も本開発の中心課題である。このため、実機での運転実績が特に重要である。

4. 検討結果

制御棒挿入管の一本を用いて、電磁石およびその下に分節型制御棒を吊り下げ、以下の試験を実施する。同時に短尺型駆動機構の試験も実施する。

1) 試験項目

① キュリー点電磁石の作動試験

- 炉心冷却材の温度を計画的に上昇させ、実際の電磁石の作動温度、作動に要する時間等を測定する。
昇温は試験体を組み込むチャンネルを流れるNaをヒータにて加熱する方式とする。（温度上昇は定常運転から50℃～100℃）
- 中性子照射による磁石の特性の経時変化を調査するため、適当な期間の間隔で作動試験（落下試験）を実施する。

② 電磁石誤動作性試験

- 電磁石に流す最適電流値を求める。方法は磁石に流す電流を換え、制御棒が落下しない限度の電流（アンペアターン数）を把握する。
- 最適電流で運転し、長期間落下しないことを確認する。

③ 分節型制御棒の落下特性試験

- 上記作動試験を利用して、制御棒の落下特性（落下挿入に要する時間、炉停止機能等）を調査する。

④ 短尺型制御棒駆動機構

- 操作性の試験を実施する。

2) 試験計画

計画全体をMK-III移行を待たずに先行して行うものと、移行後に行うものに分けて実施する。

- MK-III移行前の試験としては、自己作動型電磁石とダミー制御棒を用いて、電磁石の上記①②の作動性を中心に試験する。実プラントにおける作動特性を把握することを目的とする。試験体数は未定であるが、電磁石については現在試験中のものから、2種類程度選択することを考えている。即ち、試験に使用する案内管は2本となる。試験結果によっては、別途検討中の自己作動型温度スイッチを試験用案内管の周辺に設置することもある。

分節型制御棒および駆動機構は1種類のみである。なお、キュリー点材の照射試験を平行して実施し、MK-III移行後の試験体に反映させる。

- MK-III移行後の試験としては、自己作動型電磁石、要素入りの分節型制御棒および短尺型駆動機構を組み込み、①-④の試験を行い、実証試験としての実績を得ることを主眼とする。規模としては案内管1本を使用することを考えている。試験に供する電磁石は移行前の試験結果から、優れたものを

選択する。なお、電磁石の熱過渡応答性を改善するため、試験用案内管の周りの燃料集合体上部について、感温磁性体の設置のため、若干の改造を行う可能性がある。当開発の全体計画を表A 13.1に、「常陽」での実機試験計画の詳細を表A 13.2に示す。

○63年度の作業としては、上期では、現在炉外試験中の電磁石の中からMK-Ⅲ移行前の試験体の基本仕様の選択を行い、下期から試験体の設計を開始する。分節型制御棒および駆動機構についても、下期より設計を開始する。また、上期では照射試験用試験体の製作を行う。

基本仕様の選択は機器室にて行う。試験体の設計はメーカー依頼とする。仕様の概要は次ページに示す。

3) 予算概算

63年度 照射試験用に0.2億円，MK-Ⅲ移行前試験体の設計に0.2億円

64年度 MK-Ⅲ移行前試験体製作に0.5億円

65-67年度 MK-Ⅲ移行後の試験体および「常陽」改造のための設計に各年度0.2億円

68, 69二年間でMK-Ⅲ移行後試験体および「常陽」改造に2.5億円

5. 仕様概略

自己作動型電磁石

- 1) 基本形状を図A 13.6に示す。感温磁性材の形状および設置位置は現在実施中の炉外試験の結果により、大幅に変わり得る。
- 2) 形状は「常陽」案内管内に設置し、リセット等の動作が可能なものとする。
- 3) 使用するコイルの耐熱性は530℃、3万時間とする。
- 4) 電磁石の吸着力は530℃で50kg以上、キュリー点以上で3kg以下とする。
- 5) 温度応答性能については、感温磁性材表面の冷却材温度がキュリー点に達してから3秒以内とする。
- 6) 吸着面では、鉄芯の金属同士が直接接解しない構造とする。
- 7) 電磁石の直上および直下にユニバーサルジョイント構造を設置する。
- 8) 感温磁性材はFe-62.5%Niを主とするが、別に2種類製作する。それらのキュリー点は530℃および550℃とする。

温度スイッチ

現在、原理確認試験中であるが、「常陽」にて試験を行うとすれば、以下のような仕様になると考えられる。

- 1) 基本形状を図A 13.7に示す。案内管自身を使用するか、また案内管の周辺に設置することを前提とする。
- 2) コイルは形状1の場合は常温コイルを、形状2の場合は高温用コイルとし、その耐熱性は530℃、3万時間とする。
- 3) 二次側発生電力は530℃以下では10V、2A(DC整流後)以上、キュリー点以上では0.1A以下とする。
- 4) 感温磁性材はFe-62.5%Niを主とするが、別に2種類製作する。それらのキュリー点は530℃お

よび 550 °C とする。

分節型制御棒および短尺型駆動機構

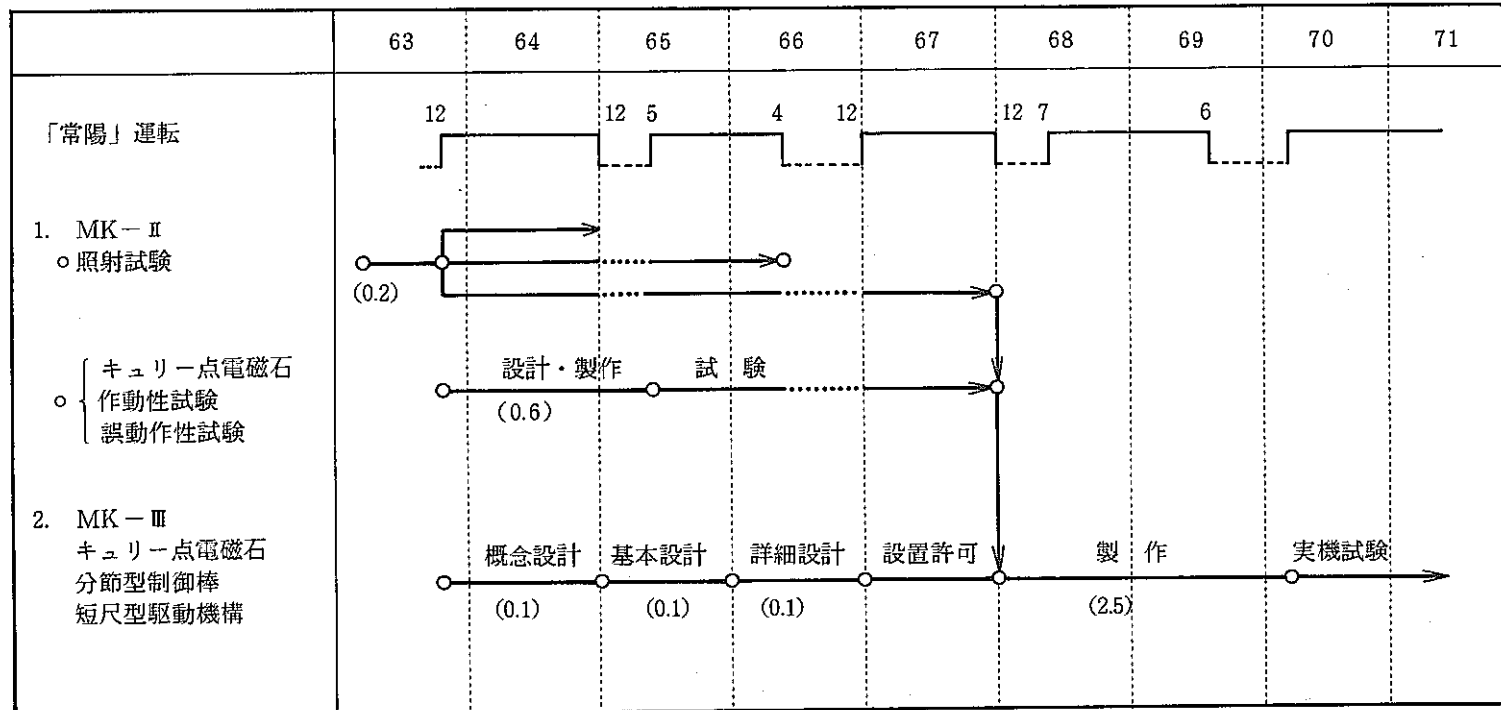
基本形状は図A 13.3 および図A 13.4 に示したものである。具体的な寸法は未検討であるが、「常陽」に設置されることを前提とした縮小したものになるろう。

表A13.1 全体工程

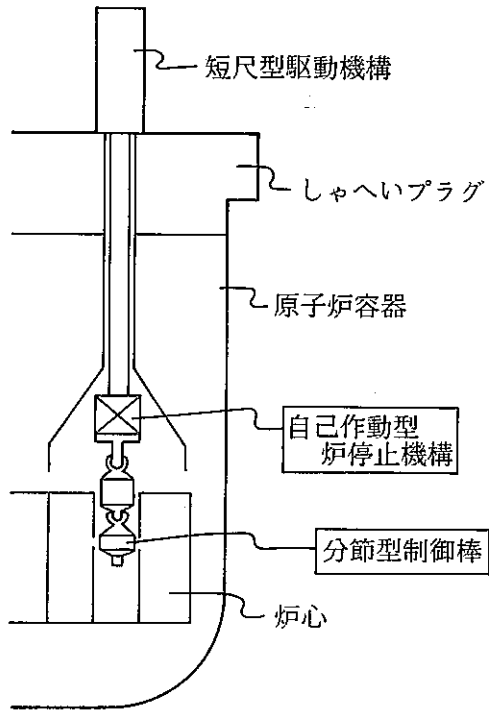
項目	62		63		64		65		66	
	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
1.分節型制御棒挿入性試験	試験体設計									
	試験体製作									
			試験							
			解析・評価							
2.自己作動型炉停止機構の開発		材料特性試験								
2.1 基礎試験	試験体設計・製作, 試験・評価									
2.2 水流動試験	試験体設計・製作, 試験・評価									
2.3 原理確認試験	試験体設計・製作, 試験・評価									
2.4 部分モデル試験			試験体設計・製作, 試験・評価							
3.「常陽」実機試験			設計・製作						「常陽」へ設置	

(詳細は次頁表2に示す。)

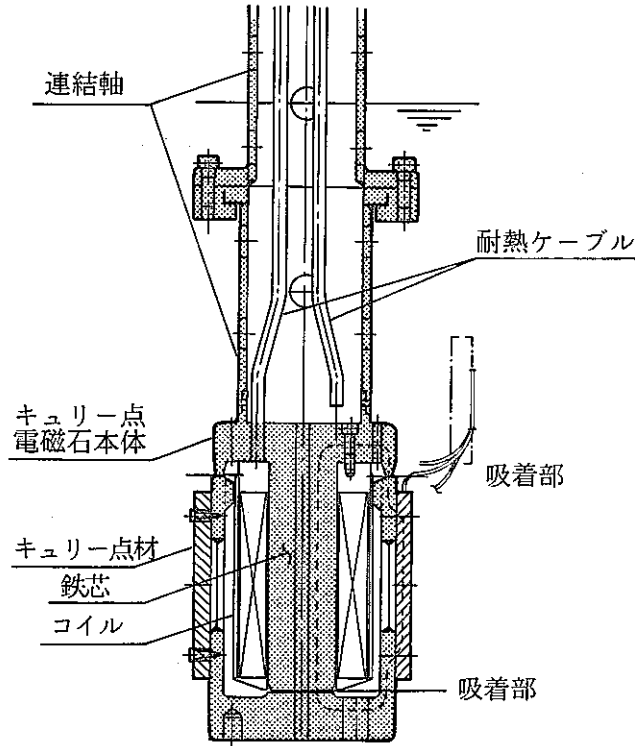
表 A 13.2 「常陽」における実機試験詳細計画



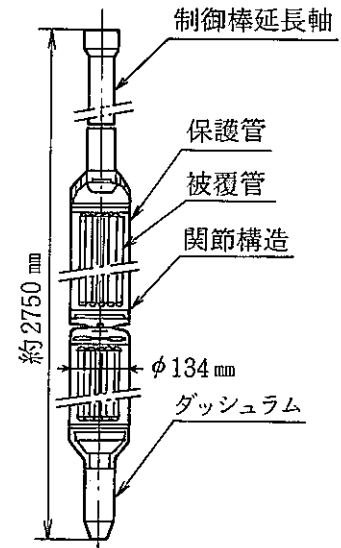
() 内は予算を示す。単位：億円



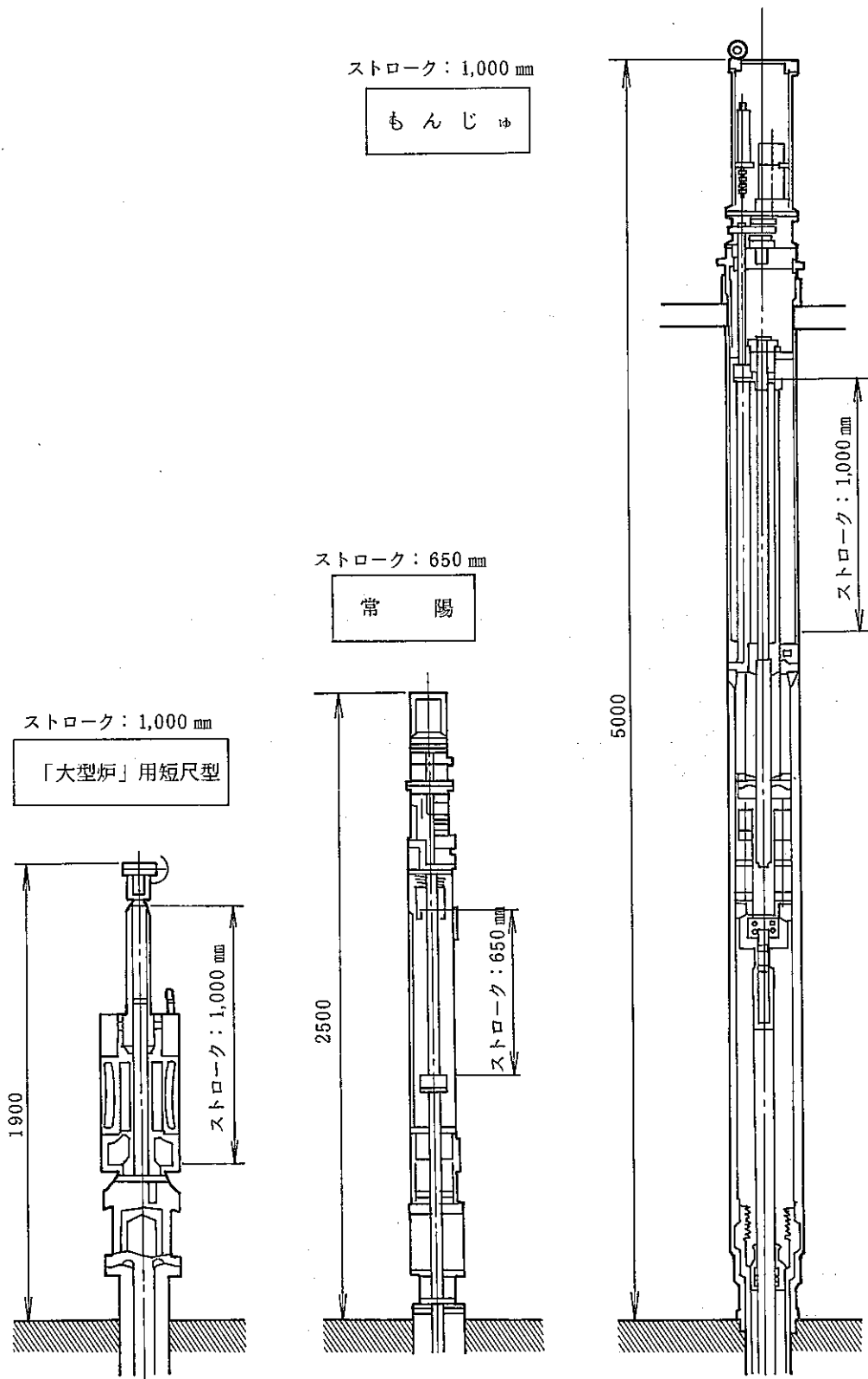
図A13.1 全体概念図



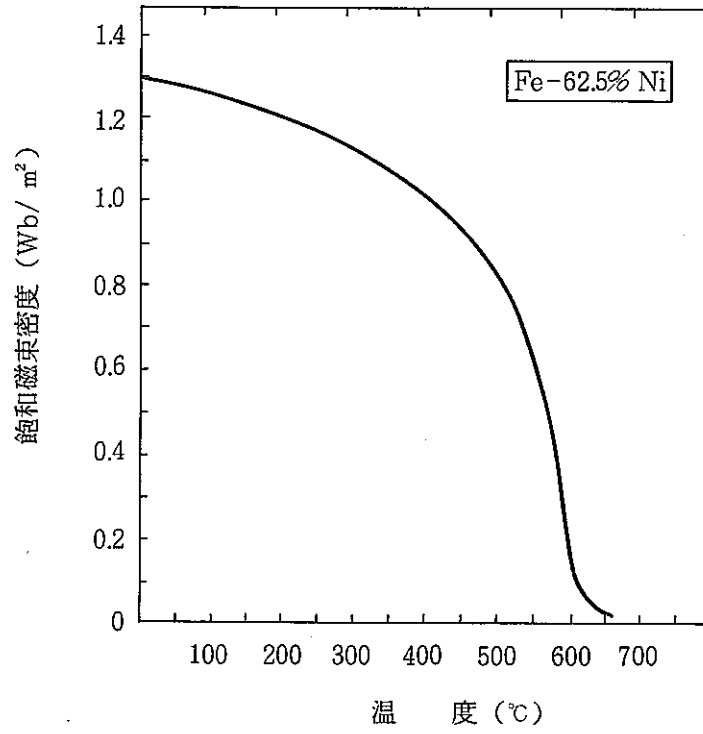
図A13.2 自己作動型キュリー点電磁石



図A13.3 分節型制御棒



図A13.4 従来のCRDMの駆動部機構と短尺型駆動機構の比較



Fe-Ni (62.5%)の飽和磁束密度

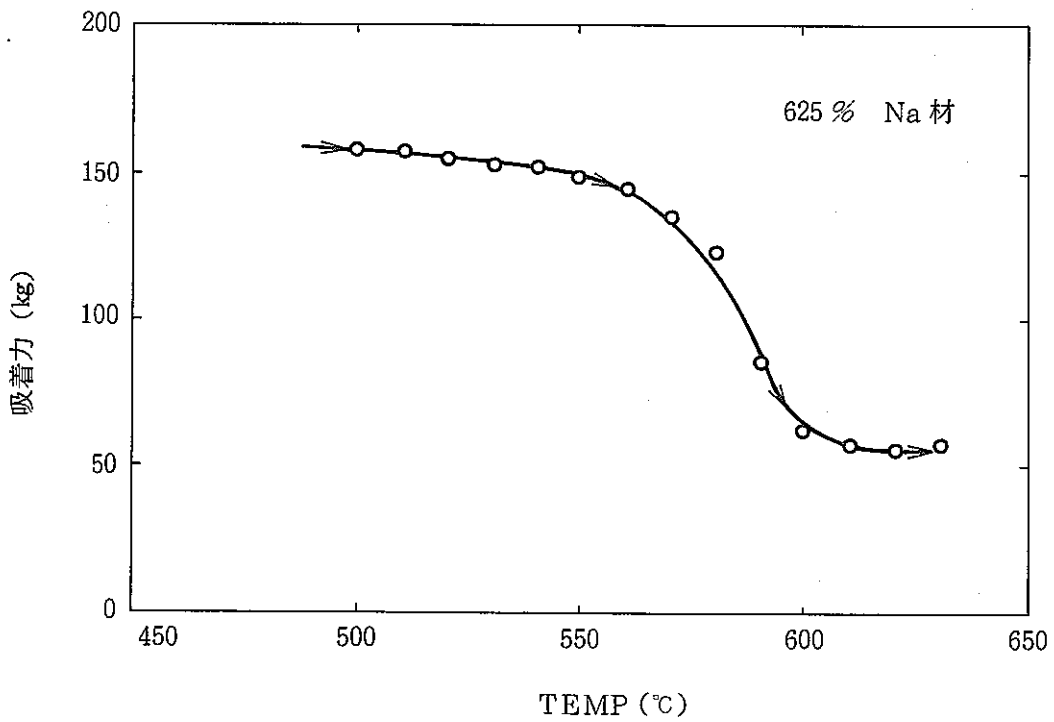
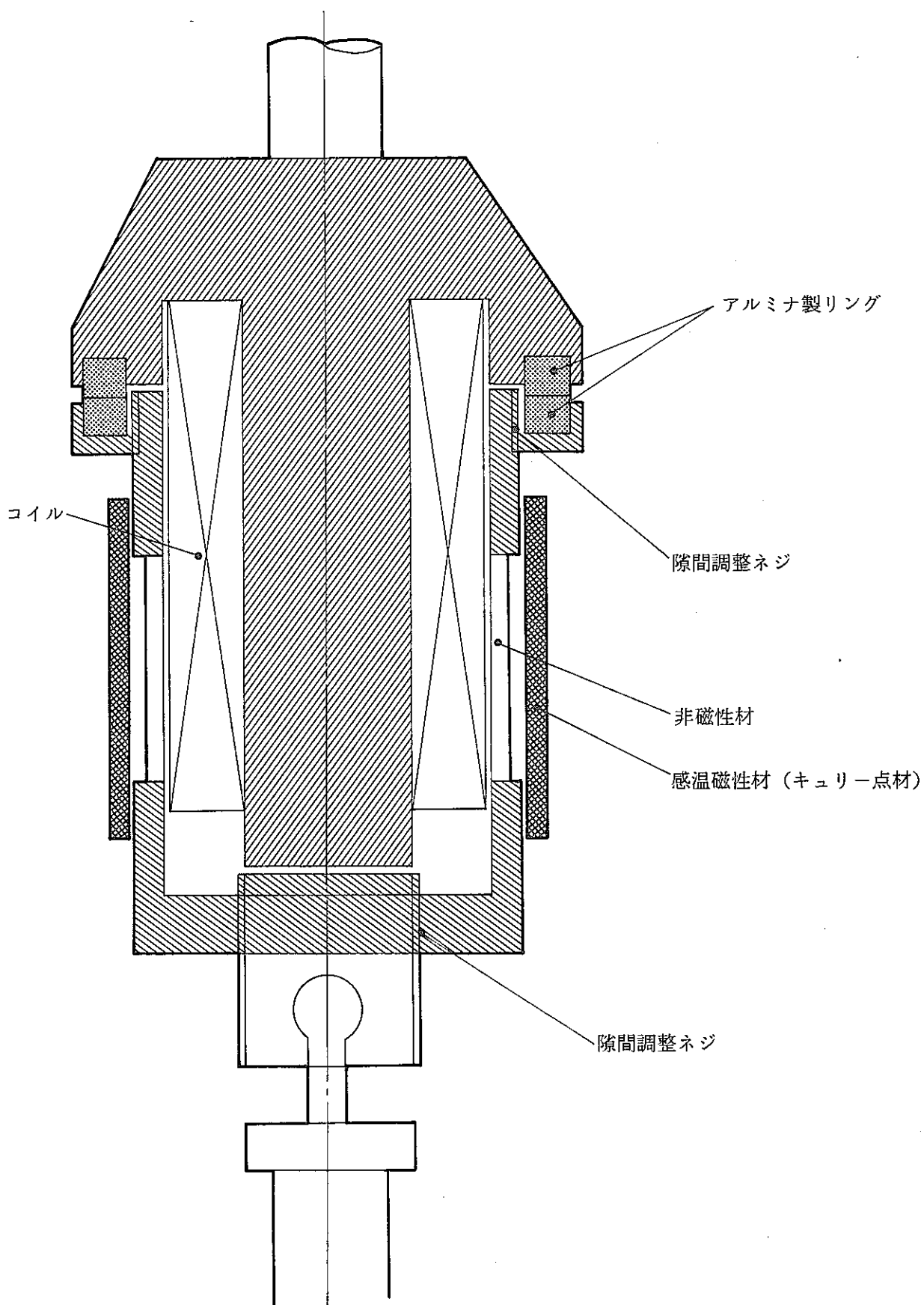


図 A 13.5 自己作動型キュリー点電磁石の原理確認試験結果の一例

上：キュリー点材の磁気特性と温度の関係。

下：電磁石の吸着力の温度に対する特性。

キュリー点付近の温度で電磁石の吸着力が顕著に低下している。



図A13.6 電磁石の基本構造

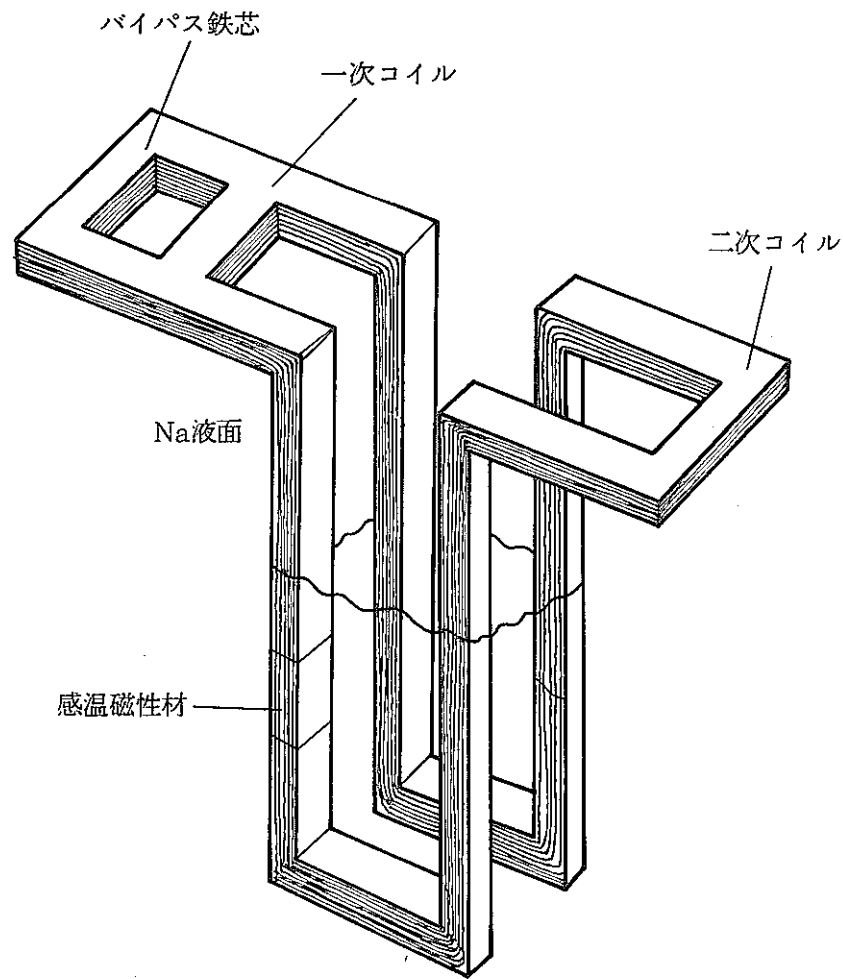


図 A13.7 温度スイッチの基本構造 1

コイル部分は冷却材 (Na) 液面より上に設置される。
感温磁性材は冷却材の中、特に燃料集合体の直上に設置される。

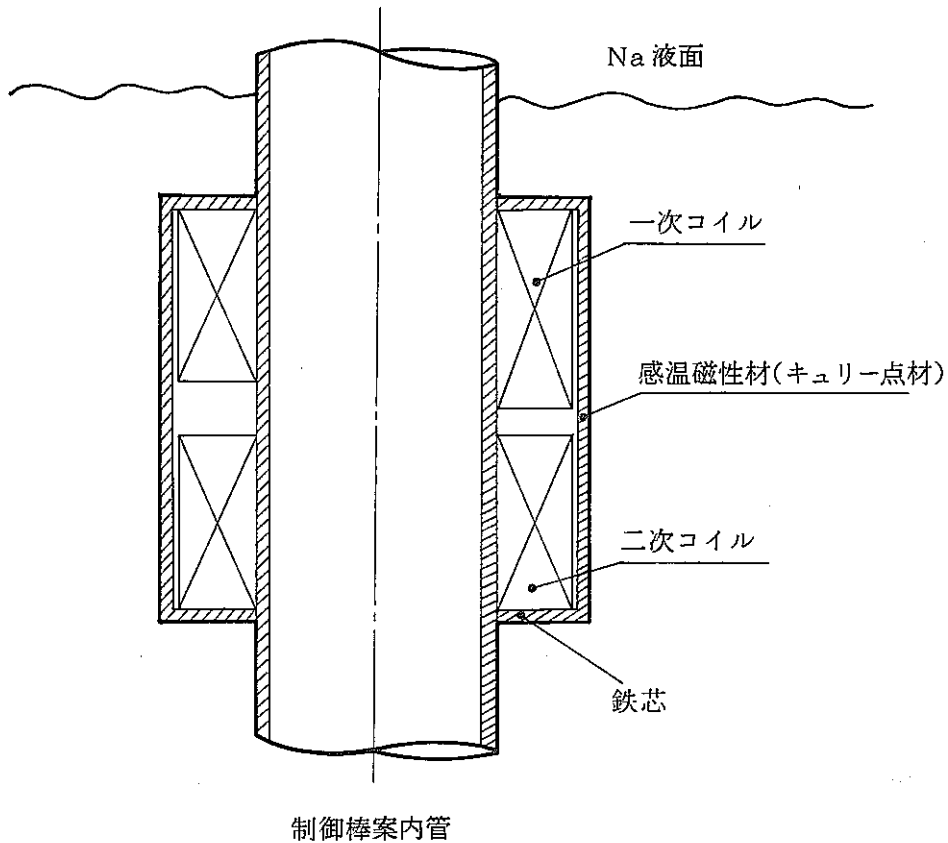


図 A13.7 温度スイッチの基本構造 2

コイル部分は感温磁性材の中に設置される。

A14 「常陽」使用済燃料裸貯蔵開発計画

1. 概 要

使用済燃料の貯蔵は冷却池に直接貯蔵する、いわゆる水中裸貯蔵方式によることが安全性及び経済性の面で最も合理的であると考えられている。高速炉燃料の場合は、被覆管にオーステナイト系ステンレス鋼を使用しており、水中での応力腐食割れによる破損、高温ナトリウム中で生じたフェライト層の腐食による強度の低下等の健全性確保の問題及びプルトニウム燃料に関する災害防止の配慮が軽水炉以上に要求される等のことから、水中裸貯蔵への実用化に至ってない。従って「常陽」の使用済燃料を活用し高速炉の経済性向上に向けた使用済燃料の貯蔵技術確立のための実証的データを蓄積していく必要がある。

大洗工学センターにおいては、高速炉燃料の水中裸貯蔵の実証に向けての一連の技術開発が実施されつつある。「常陽」ではプラント設備を有効利用しての貯蔵管理技術及び燃料健全性に関する試験を行うと共に、昭和66年度完成を予定している使用済燃料貯蔵増設施設（第3プール）で水中裸貯蔵方式を取入れ、プラント設計及び運転試験を含めた実証的データを蓄積していくこととする。

2. 開発・目的

- ① 実プラントの水管理条件の最適化と材料腐食データの提供
- ② C.P, F.P汚染対策の確立
- ③ 安全試験を含めた水中裸貯蔵技術の確立

3. 「常陽」で開発実証することの必要性

大洗工学センターにおける使用済燃料貯蔵技術開発は先ず炉外試験として材料劣化に至る要因と条件を分析し、使用済燃料の健全性評価のためのストーリーを構築し、最終的には実機において残留Naによる局所的腐食発生の可能性や溶接部、種々のモードを包括した貯蔵健全性評価を行う計画である。

そこで、「常陽」においては先ずS.F.Fを利用して高燃焼度ピン及び燃料集合体の貯蔵試験を実施し、使用済燃料の裸貯蔵実証の判断の根拠を取得する。さらに第3プールにて反射体、ブランケット燃料及び「もんじゅ」用燃料等の水中裸貯蔵実証試験を行い被覆管の健全性データを取得すると共に、C.P抑制対策、燃料破損時の災害防止に関する設備対応等を確立させる必要がある。

4. 検討結果

使用済燃料貯蔵技術開発の全体計画を図A14.1に示す。

使用済燃料水中裸貯蔵を実現させるには ①使用済燃料の貯蔵水中健全性評価 ②C.Pによる水汚染評価 ③燃料破損時の安全性評価等の技術的課題がある。

この内「常陽」における実証試験において①については燃料集合体の間隙に残留しているナトリウムによる局所的な腐食発生の可能性を実機条件に近い貯蔵実証試験から評価するとともに、被覆管の腐食に及ぼす環境因子（水温、水質、流速等）と被覆管腐食量との関係を明らかにする。また、被覆管残留応力及

び貯蔵条件下でのPCMI（発生する場合）を評価するのにも、燃料ピン実証試験にてその健全性を確認する必要がある。特に高燃焼度ピンでは被覆管とペレット間のギャップ中にF.P，燃料及び被覆管の反応生成物が放出されており貯蔵条件下においてもPCMI応力が発生する可能性がある。

②については使用済燃料を水中裸貯蔵する場合、燃料集合体に付着しているC.Pがプール水中に混入し汚染するといった問題があるため燃料集合体からプール水へのC.Pの移行量を把握する必要がある。③については万一、水プールで燃料破損が生じた場合、環境及び設備への波及効果が大きいことから、破損口からのF.P，燃料のプールへの移行を把握する必要がある。

5. R & D計画

実施内容及びスケジュール（表A 14.1 参照）

(1) 高燃焼度ピン及び燃料集合体の貯蔵健全性実証試験

特殊缶詰缶内の被覆管の耐腐食性を調べるとともに、定期的に水サンプリングすることにより燃料集合体の付着ナトリウム中のC.Pによる水汚染調査も実施する。

① 試験条件

腐食機構の環境側の因子としては流速，温度，pH，酸素濃度等があげられるため、これらをパラメータとして試験条件を設定する。

- ・水 質：pH 5～pH 12（プール水含む）
- ・水 温：常温～約70℃
- ・試験期間：約2年間
- ・流 量：プール内貯蔵を模擬（max 約2.1 m³/hr）

② 試験対象

燃料集合体：MK-II 燃料集合体

燃料ピン：B 2 M（62400 MWD/T， 9.0×10^{22} n/cm²）

フェニックスP-3（108000 MWD/T， 1.88×10^{23} n/cm²）

③ 循環水サンプリング：pH，溶存酸素，C.P濃度，F.P濃度，塩素濃度

④ 反映先及び期待される成果

- ・「常陽」及び「もんじゅ」使用済燃料の裸貯蔵実施の根拠取得
- ・燃料ピン及び集合体の貯蔵実績を取得
- ・C.P水汚染対策としての裸貯蔵設備計に反映

⑤ スケジュール

63年度に装置の製作を行い，64年度から約2年間試験を行った後，PIE試験を行う。

(2) 缶内被覆管水中腐食データ取得

長期プール貯蔵後の被覆管表面を観察及び分析し，局部腐食の有無を調べることにより，缶内被覆管水中腐食データを取得する。これより長期の貯蔵中健全性の技術的見通しを得る。

63年度～64年度にかけて約3体の集合体をPIEに供することとする。

(3) 燃料破損時影響評価

照射済健全ピンに人工欠陥を設け水浸透及びモニタリング試験を行うことにより、燃料ピン損傷状態の進展の程度、FP及び燃料の溶出と移行、水汚レベルについてのデータを取得する。これは、貯蔵施設の設備対応に反映させる。

試験期間は、評価を含めて63年度～65年度とする。

(4) 反射体の水中裸貯蔵

第3プールによる反射体の貯蔵方式は水中裸稠密貯蔵方式とする計画であるため、67年度から貯蔵開始する反射体について逐次取り出しPIEに供するものとする。

その結果、材料の腐食データを取得する。また、プール水質管理データを取得する。

(5) ブランケット燃料貯蔵試験

第3プールにて数年間裸貯蔵後のブランケット燃料の表面を観察及び分析し、局部腐食の有無等を調べることによりブランケット燃料の第3プールでの裸貯蔵の技術的見通しを得る。

試験期間は68年度～71年度とし72年度からブランケットの貯蔵を開始する。

(6) 「常陽」燃料及び「もんじゅ」燃料ピン裸貯蔵実証試験

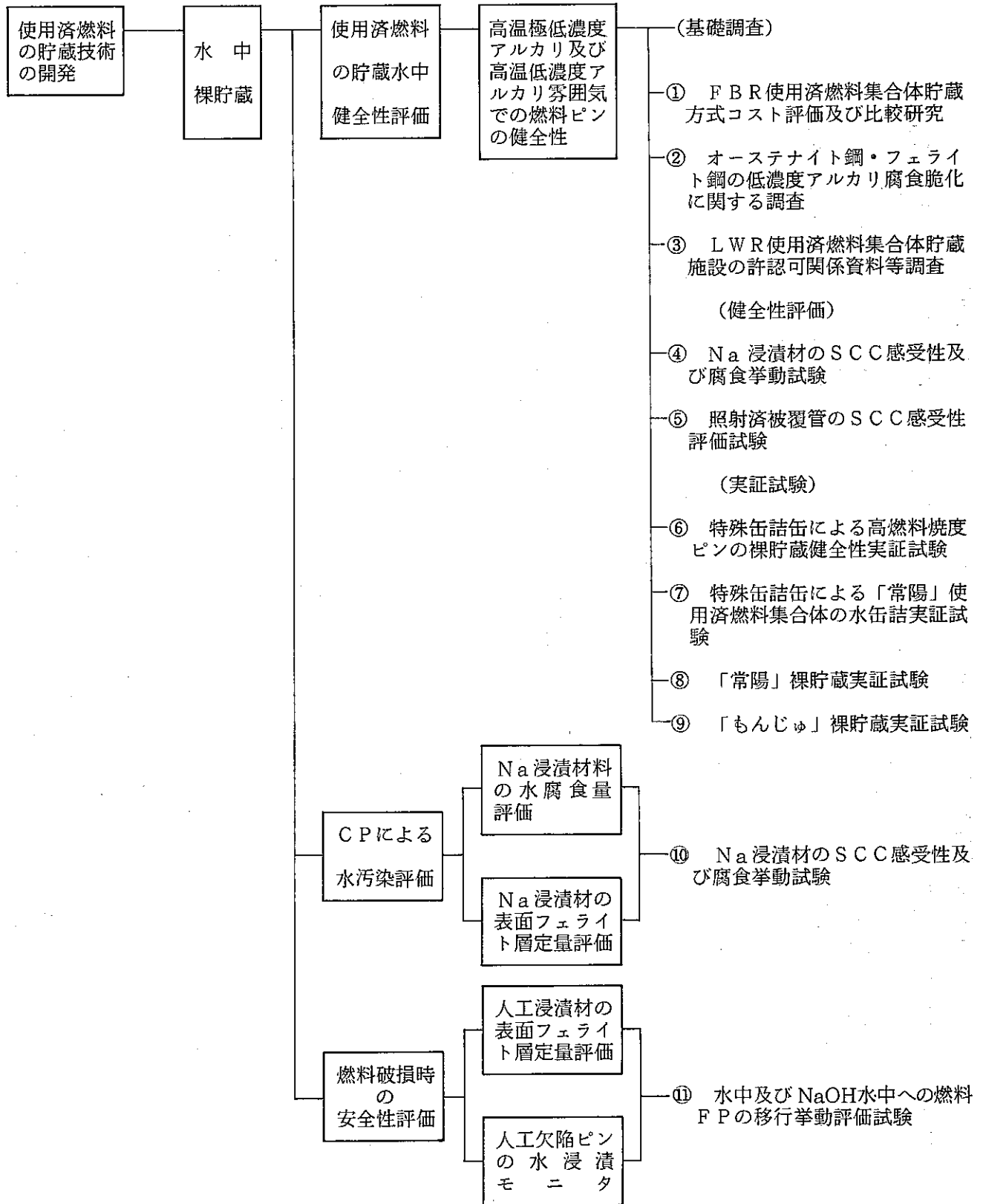
第3プールにて「常陽」及び「もんじゅ」で使用された燃料集合体の裸貯蔵の実証試験を行うことにより、実機における貯蔵健全性として残留Naによる局所的な腐食の可能性や溶接部、種々のモードを抱括した健全性を立証する。

この結果は、「もんじゅ」及び実証炉、裸貯蔵実施の判断根拠を取得する。

試験期間は68年度～71年度とする。

6. 資金計画

昭和63年度は装置の製作費として3.5千万円とする。その後はR&D試験費として0.5～1万円/年とする。



図A 14.1 使用済燃料貯蔵技術の開発計画

A15 被曝低減化技術の実証

1. 概要

被曝低減に関するR&Dは従来アルファベット計画で実施してきており、放射性腐食生成物(CP)に着目してその発生源の抑制から処理・処分にわたる高範囲な研究開発を推進してきた。一方、MK-Ⅲ計画においては、燃料の限界性能を把握するためにRTCB、RBCB試験等が計画されており、それに伴い発生するFPも問題になってくると考えられる。また、一次系に二重管SGを設置した場合はFP、CPの移行挙動に加えてトリチウムの問題が発生してくると考えられる。従って作業員の被曝低減を図るためには、CP対策に加えてFP対策を十分に行う必要があり、FP・CP両面から被曝低減技術を開発し実証する必要がある。

MK-Ⅲ計画では、以下の項目について技術開発を行い、プラントにて実証することにより大型炉へ反映させる。

- (1) MK-Ⅲ体系におけるCP挙動解析コードの検証
- (2) CPトラップ技術の実証
- (3) CP除去技術の検証
- (4) FP解析コードの開発
- (5) FP除去技術開発

2. 開発目的

FBRのメンテナビリティは、経済性の大きな要素の一つである。特に定期検査を軽水炉に比べて、低被曝で達成出来る見通しを得ることは重要な要素である。

また、FP対策を行うことにより燃料の限界性能試験によるメンテナンスへのインパクトを軽減するとともに、燃料破損時の継続運転に対する見通しを得ることが出来る。

3. 「常陽」で開発実証することの必要性

FP・CPに関する挙動解析コードは、実炉で検証することが重要であり、コードの精度向上のためには実プラントのデータとの比較・評価が不可欠である。また、被曝低減に関する新技術は、実プラントでしかその効果を実証することは出来ず、実験炉で評価しながらより高性能のものを開発していくことにより大型炉の被曝低減化に資することが出来る。

4. 検討結果

- (1) MK-Ⅲ体系におけるCP解析コードの検証

MK-Ⅲでは炉出力・プラントの体系・使用材料等が変更されるので、MK-Ⅲ体系用にコードの改定を行い、実測値との比較・評価を行うことにより解析精度を高める。

(2) CPトラップ技術の実証

CPトラップの炉内試験及びPIEを通して性能を評価し、より高性能のCPトラップの開発を行う。
また、MK-Ⅲの燃料集合体にCPトラップを設置し、トラップ技術の実証を図る。

(3) CP除去技術の検証

中空糸膜フィルターを用いたCP除去システムの性能評価を行い、Na洗浄廃液の再使用システムの成立性を検証し、発生廃棄物と被曝の低減を実証する。

(4) FP解析コードの開発

MK-Ⅲ体系におけるFP内及びトリチウム解析コード(SAFFIRE, TTT)を改良し、実プラントでのデータにより検証する。

(5) FP除去技術の開発

セシウムトラップ・カバーガスクリーンアップシステムの性能向上を図り、RTCB・RBCB試験でその性能を実証する。また、トリチウムトラップの開発を行い、実プラントで実証をおこなう。

5. R & D計画

項目 \ 年度	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
定 検 計 画	第7回	第8回	第9回	第10回	第12回				MK-III移行	
CP解析コードの検証	MK-II体系での検証		MK-III体系の検討		MK-III体系への改良・整備		MK-III体系での予備計算		MK-III体系での検証	
CPトラップ技術開発	炉内試験	PIE	評価・検討	製作設計		製 作		検 査	CPトラップ設置	
CP除去技術の実証	フィルター性能評価		システム性能評価	詳細設計	製作設計	製 作		改 造	実 証	
FP解析コードの開発	MK-II体系での検証		MK-III体系の検討		MK-III体系への改良・整備		MK-III体系での予測計算		MK-III体系での検証	
FP除去技術の開発	CGCS設置	システム性能評価	性能向上のための設計		改 良			実 証		
	セシウムトラップ性能評価		性能向上のための設計		改 良			実 証		
	トリチウムトラップ技術開発		システム詳細設計	製作設計	製 作	設 置			実 証	

A16. TRU消滅処理

1. 計画の概要

「常陽」においてTRU燃料の照射挙動を把握するための照射試験を行い、TRUの高速炉体系での消滅処理技術の確立を図る。ここで、TRU核種としては Np 及び Am 以上のTRU核種を対象とする。

(1) 反応度率の測定と解析

TRU各核種について少量をドシメータキャプセルに封入し、照射リグに装荷して反応率及び燃焼チェインの測定と解析を行い、これらの核種変換効率、核データの精度評価を行う。そのため、測定系の設備及び核データと解析コードを整備する。

(2) 照射挙動の解明

TRU燃料をピン単位で照射リグに装填し、「常陽」でパラメトリックな照射を行う。必要により、INTAを用いたオンライン照射を行う。

照射パラメータとしては下記の項目が考えられる。

- ・燃料組成, 寸法
- ・線出力
- ・燃焼度
- ・中性子エネルギースペクトル
- ・被覆管材, etc.

上記までの基礎的な研究開発の成果に基づき、TRU燃料の集合体規模での定常、非定常の照射試験を「常陽」で実施し、TRU専焼炉の設計への反映及び高速炉系でのTRU消滅処理の実現を図る。

「常陽」で照射したTRU燃料についてFMF等での照射試験を行う。測定項目としては次の項目が考えられる。

- ・組成変化
- ・組織変化
- ・融点等, 物性値の変化
- ・FCCI
- ・PCMI
- ・FPガス放出率
- ・燃焼率, etc.

2. 目的・必要性（「常陽」を利用する必然性）

使用燃料の再処理で発生する高レベル廃棄物（HLW）には、超ウラン元素（TRU）が含まれ、これらは生物的毒性が強く、また、半減期が10年以上に及ぶものがあるので、HLWの地層処分計画における問題点となっている。

これを解決するため、TRUを原子炉あるいは加速器で短寿命核種に変換することが提案され、HLW

からの有効核種の回収利用を含めた群分離・核種変換に関する研究開発計画が科学技術庁において検討されている。(フェニックス・プロジェクト推進WG, 昭和62年4月発足。)これは、高レベル廃棄物の処分という観点からの要請であるが、TRUのエネルギー有効利用という観点からも将来的に重要な課題である。

TRUの核種変換の方法としては、核分裂あるいは核破砕による消滅処理が効率的であり、早期実現性という観点からは中性子による核分裂、すなわち、原子炉での消滅処理が最も有望視されている。そのため、TRU専焼炉の概念も提案されているが、その多くの核種については燃料として材料物性が殆ど知られておらず、また、核データの精度も明らかでない。さらに、燃料としての照射挙動に関する実験データは皆無に近い現状である。

高速実験炉「常陽」は、高速中性子の照射ベッドとして高速炉用燃料材燃や核融合炉材燃の照射試験に重要な機能を果たしつつある。その炉心特性は、TRUの消滅処理に適しており、また、TRU燃料の照射試験に必要な機能を備えているので、TRUの反応率(核データ)及び照射挙動データの取得を「常陽」で行うことにより、TRU消滅処理の研究開発を大きく促進することが期待できる。

また、必要により日本原子力研究所で実施予定のTRUに関する基礎研究との提携を図り、効率的な研究開発を展開する。

3. 検討結果(実証される技術の内容)

- HLWあるいは使用済燃料からのTRUの分離・回収・精製(再処理部, 技術開発部)
- 燃料の成型加工(転換技術開発部, Pu燃料部)
- 照射試験の実施及び核熱計算用データの取得整備(実験炉部)
- 燃料物性の測定, 照射後試験及び燃料挙動解析コードの整備(燃料材料開発部)
- 高速炉体系におけるTRU消滅処理の総合的検討(ALL PNC)

4. R&D計画

表A16.1に示す工程が検討されており、当面は、東海(Pu燃部, 技開部, 転換技開部, 再処理部), 燃材部(AGS, ADS), 実験炉部(技術課, 照射課)が分担して作業を推進する必要がある。本工程では、昭和63年度は調査段階であり、予算規模は、500万円/件×4件=2,000万円程度と考えられる。

表A16.1 工 程 表

No	項 目	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97
		62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
	設置変更工程		その11 (第3プール)									
			その12(PTM, フェライト)	その13(RTCB)		その14(MK-Ⅲ)					MK-Ⅲ移行	
	Pu 燃工程	調査	設計・製作・据付				炭・チッ化物・メタル燃料製造試験					
	そ の 他					INTA-3 (Na中コネクター)			(TRU含む?) 燃料ピン供給?			
1	燃料形態 R & D (東海, AGS)											
2	物 性 測 定 (AGS, 東海)											
3	反 応 率 測 定 (JOYO)											
4	ピ ン 照 射 (JOYO)				基本設計	安全審査	工認 製作	照射	照射	照射	照射	照射
			概念 基本	詳細	試作	試験	調整設計					
	予 算 (百万円)		20	60	80	80	100	100	50	100	50	50
	人員(職員:人年)		1	3	4	4	5	5	4	4	4	4

< 参考資料 >

TRU燃料の基礎物性及び照射後試験

TRU燃料 形態	酸化物燃料	炭化物燃料	窒化物燃料	
格子定数	○	* 2		
熱伝導率	○	* 2		
熱膨脹率	× (*1)	× (*1)	同 左	
融 点	○	* 2		
クリープ特性	×	× (*1)		
組成変化	○	○	同 左	
組織変化	} (金相試験)	} FMF/ ADS		
F C C I				○
F C M I				○
FPガス放出率	○	○		
燃 焼 率	○	○		

○……可, ×……不可

* 1 : 現在設備なし

* 2 : 施設内雰囲気酸素 (AGF) → 不活性ガス化にすれば可 (不活性化費用約22億円)

A17. F B R 安全特性試験

1. 概 要

大型炉 F B R の合理的な安全論理の構築の一助として、実験炉「常陽」を固有の安全性試験炉に利用し、原子炉の核的停止機能喪失事象（A T W S）、及び、除熱機能喪失事象（P L O H S）の評価に必要なデータの取得を目的としたプラント試験を計画し、実施する。

本試験は、A T W S 等の起因事象、及びその推移過程に於けるフィードバック反応度モデル、事象推移モデル等の検証を行うことにより、安全評価解析コードが F B R 炉心の持つ固有の緩和効果を十分に予測できることを確認する。

更に、F B R は起因事象が起きたとしても機械的效果を期待することなく炉心、及びプラント固有の特性により、異常の拡大が防止されることを明らかにし、重大な影響を及ぼす事象に至る可能性が極めて小さいことを実証する。

2. 試験目的

- (1) 液体金属冷却型高速炉が有する固有の安全特性の評価と実証。
- (2) F B R 炉心の固有の安全性に寄与するキー・プラント・パラメータの把握。
- (3) 計算コードの検証の為のデータ・ベースの取得。

3. 「常陽」で実証することの必要性

F B R プラントの固有の安全特性を活用することにより、工学的安全施設への依存度を低減する。このため安全設計、安全評価法を確立するうえで、「常陽」が果たすべき役割は大きいものがある。

F B R プラントのリスクを支配していると考えられる原子炉の核的停止機能喪失事象（A T W S）、除熱機能喪失事象（P L O H S）等については、「常陽」による試験によって F B R 固有の安全試験に係わるインテグラルデータが入手でき、事故推移評価モデルの検証に活用することができる。

4. 検討結果

上記、目標を達成するため以下の試験項目について検討した。

(試験項目)

- (1) スクラム失敗事象の評価の為の特殊試験（原子炉の核的停止機能の喪失）
- (2) 熱輸送系の過渡事象試験（炉心冷却材流量の喪失）
- (3) 長期崩壊熱除去試験（除熱源の喪失）

(試験内容)

- (1) スクラム失敗事象の評価の為の特殊試験
スクラム失敗事象の評価のための特殊試験を実施し、原子炉の核的停止機能の喪失事象（A T W S）の起因事象、及び事象推移過程を把握する。

A T W S に分類されている事象の推移課程に於いて、炉心、及びプラントの持つ固有の特性により、異常の拡大が防止されることを明らかにし、重大な影響を及ぼす事象に至る可能性が極めて小さいことを実証する。

(2) 熱輸送系の過渡事象試験

自然循環力が除熱源喪失事象（P L O H S）条件でも形成されることを明らかにするため、自然循環時に於ける熱輸送試験を実施し、炉心冷却機能喪失事象（P L O H S（L O P I））の事象推移を把握する。

崩壊熱除去フェーズに於いて、ナトリウムの自然循環により、安定な炉心冷却流量が確保され、崩壊熱の除去が可能であることを明らかにし、P L O H S（L O P I）がF B R に於いて重大に影響をもたらさないことを実証する。

(3) 長期崩壊熱除去試験

自然循環時を中心とするプラント全体としての除熱性能を検討、評価する。

長期崩壊熱除去フェーズに於いて、プラント全体としての信頼性の高い受動的な除熱源が存在することを実証し、除熱源喪失事象（P L O H S）がF B R に於いて重大な影響をもたらさないことを実証する。

引続き今年度は、①安全特性試験の実施検討に向けて、具体的な試験データのニーズの検討。②E B R - II, F F T F 等、海外炉の安全特性試験（A T W S 関連）の調査、及び検討を行う。

5. R & D 計画

F B R 安全特性試験の全体計画を、表A 17.1 に示す。安全特性試験は、昭和64年度から着手し、その試験結果を実証炉の設計に反映させる。

試験を実施するために必要な R & D 項目は以下のとおりである。

(1) スクラム失敗事象の評価の為の特殊試験

- ・フィードバック反応度試験結果の検討。
- ・反応度フィードバック効果の評価方法の検証。
- ・特殊試験のプラント過渡応答の解析評価。
- ・試験条件の設定。
- ・実施計画の立案。
- ・安全審査対応。

(2) 熱輸送系の過渡事象試験

- ・P L O H S（L O P I）事象を評価するプラント試験に際して必要となる予備試験の検討。
- ・上記、予備試験項目に対するプラント過渡応答の解析評価。
- ・試験条件の設定。
- ・実施計画の立案。
- ・安全審査対応。

(3) 長期崩壊熱除去試験

- 系統からの放熱，予熱窒素ガス系，コンクリート遮蔽体冷却系による除熱性能評価。
- 系統からの自然放熱効果と空調系による除熱能力の評価。
- プラント全体としての総合的除熱能力の評価。
- プラントの熱流動応答の解析評価。
- 試験条件の設定。
- 実施計画立案。
- 安全審査対応。

表 A 17.1 F B R 安全特性試験 全体計画

項 目	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
① スクラム失敗事象の 評価のための特殊試験	試験基本計画								MK-III移行 炉停止期間	
	解析モデル検討									
	事前解析									
	実施計画			試験						
				(安全審査)	事後解析					
② 熱輸送系の 過渡事象試験	試験基本計画				評価					
	事前解析									
	実施計画			試験						
			(安全審査)	事後解析						
					評価					
③ 長期崩壊熱除去試験	試験基本計画									
	プラントの総合的除熱能力の検討									
	事前解析									
	実施計画			試験						
			(安全審査)	事後解析						
				評価						

A18 機器・プラントの余寿命評価技術の開発

1. 概 要

プラントの運転信頼性、安全性、運転効率の向上を図るためには、機器・プラントの余寿命を出来る限りの確に把握して安全かつ有効な運転及び合理的な保守管理を行うことが重要である。

このためには、機器、構造材料の余寿命評価の技術が必要であるが、近年、火力プラント等を中心に関心が高まりつつあるが未だ研究段階にあり、現状ではFBRに充分適用出来るだけの技術は無い。

本件では、これらの研究開発の動向を踏まえつつ、「常陽」を利活用し、FBRに適用できる機器・プラント余寿命診断・評価技術を開発、実用化する。

2. 開発の目的

- (1) FBRの機器・プラント余寿命診断評価技術を開発、実用化し、「常陽」、「もんじゅ」の運転保守管理計画、並びに大型炉の設計、運転に反映する。これにより、FBRの安全性、運転信頼性、経済性の向上に資する。
- (2) 上記(1)の余寿命評価技術を用いて、「常陽」の余寿命診断評価を行う。これにより、運転管理計画の策定及び運転継続性の判断に資する。

3. 「常陽」で実証することの必要性

本件技術開発については、炉外での研究開発のみならず、如何にプラントへ適用し、システムを成立させるかが重要な課題である。

このため、先行炉である「常陽」を利用し、これまで蓄積された経験やデータを有効に活用して、診断・評価手法の開発を行うとともに、得られたシステムを「常陽」に適用して、その機能の有効性、健全性を実証しなければならない。

さらに、MK-Ⅲ移行後の「常陽」の運転継続性を判断するためには、上記(1)の余寿命評価システムの適用が必要である。

4. 検討結果

- (1) 現状において予測されるFBRの構造材の余寿命診断技術の内容を示す。
 - ① 高温機器材料の余寿命評価技術に関しては、火力プラント等を中心に研究開発が進められつつある状況にあり、実用化されていない。
 - ② さらに、火力プラントや軽水炉は耐圧設計、耐クリープ設計であるのに対し、FBRは繰り返し熱疲労設計、耐クリープ疲労設計であり、また使用環境も異なる。このためFBRでは火力プラントや軽水炉とは異ったFBR特有の余寿命評価技術の開発が必要となる。
 - ③ 材料の余寿命診断技術は応力計算による間接評価法や破壊、非破壊試験による直接評価法があるが、診断精度及び診断効率の点で、非破壊法は有力な余寿命診断技術である。

- ④ F B Rにおける機器構造材料の損傷要因は、冷却材バウンダリでは、クリープ、疲労、クリープ疲労、時効及び腐食であり、原子炉容器及び炉内構造物では、この他に中性子照射損傷をうける。さらに、動的機器では摩耗による損傷をうける。

(2) 開発課題

- ① 火力プラント等を中心に実施されている研究開発の調査
- ② 上記①の調査結果のF B Rへの適用性の検討
- ③ 非破壊モニタリング、計測技術の開発
- ④ 解析技術の高度化
- ⑤ 寿命・余寿命評価手法の開発
- ⑥ 診断・評価システムの開発、実用化

(3) 開発スケジュール

開発項目及び開発スケジュールを表A 18.1に示す。

63年度は、火力発電プラント等の中心に実施されている機器材料の余寿命評価に関する研究開発の現状を、広く（大学、メーカー、研究機関等）調査する。

機器・プラントの余寿命評価技術の開発
63年度 20百万円

