

FBRにおけるCP問題と対策

ALPHABET計画 (PHASE II)

1989年9月

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)

1989年9月

FBRにおけるCP問題と対策 ALPHABET計画 (PHASE II)

前田幸基*¹ 飯沢克幸*² 鹿志村洋一*¹
池田論志*³ 砂押 博*¹

要 旨

FBRプラントにおいて生成される放射性腐食生成物(CP)は、1次冷却系機器配管に移行し付着・沈着するとともに、燃料交換及び1次系機器の分解検査・修理等に伴うナトリウム洗浄により燃料洗浄設備や液体廃棄物処理設備に移行する。これらCPは1次系内外の作業場での強い放射線源となるため、メンテナンス等における作業員の被ばくの主な要因となっている。このためCPによる被ばくの低減化技術開発を目的に、CPの挙動、抑制、除去、及び除染に係る研究開発を1984年より3ケ年の計画で体系的に実施し、所期の目的を達成することが出来た。

しかしながら、軽水炉においても水質管理を中心としたプラントの低クラッド化による被ばく低減化が進んでおり、FBRの優位性を示すためにも被ばく低減のための研究開発をさらに進める必要性が認識された。このため3ケ年の研究開発成果をベースとして、さらに研究開発を行う必要のある項目と発生廃棄物の低減という観点からも取り組むべき項目について、新たにフェーズIIとして活動を開始することとなった。

本報告書はアルファベット計画フェーズIIの全体計画をまとめたものである。

*¹ 大洗工学センター 実験炉部原子炉第2課
*² " 機器構造開発部材料開発室
*³ " 管理部環境技術課

September, 1989

RADIOACTIVE CORROSION PRODUCTS BEHAVIOR
AND CONTROL IN FAST BREEDER REACTOR
ALPHABET PROJECT (PHASE II)

Y. Maeda*¹ K. Iizawa*² Y. Kashimura*¹
S. Ikeda*³ and H. Sunaoshi*¹

Abstract

Radioactive corrosion products (CP) are transported to the primary circuite and deposited on the wall of the primary piping and components. Radioactive CPs are also transferred to the fuel cleaning system following refueling operations, and the liquid waste from the fuel cleaning facility transfer CPs to the liquid waste disposal system.

These deposited CPs and transferred CPs make radiation fields near the piping and components, and cause radiation burden to the plant personnel in maintenance of these systems. In order to establish the techniques of radiation dose reduction R & D program named "ALPHABET project" was conducted from 1984 to 1987 and the expected results were achieved by the activities.

Radiation dose reduction techniques are improved in LWR by reduction of radioactive CRUD. Therefore, R & D for radiation dose reduction of FBR plant is necessary to show the advantage of FBR. Based on this understanding, ALPHABET project has newly started as phase-II program to research and develop the reduction techniques of radioactive waste in addition to the remaining subjects to be improved.

This report describes the R & D programs of ALPHABET project phase II.

*¹ Joyo Maintenance Section, Experimental Reactor Division, OEC

*² Materials Development Section, Systems and Components Division, OEC

*³ Waste Management Section, Administration Division, OEC

目 次

1. 緒 言	1
2. フェーズⅠの成果	3
3. フェーズⅡの展開	5
4. アルファベット計画フェーズⅡの体制	6
5. 開発スケジュール	8
6. 各ワーキンググループ実施計画	10
6.1 CP挙動・抑制技術開発計画	10
6.2 CP除去・除染技術開発計画	18
6.3 CP処理・処分技術開発計画	23
7. 結 言	28

表 図 リ ス ト

表-1	開発スケジュール概要	8
図-1	「常陽」におけるCP問題と対策	2
図-2	アルファベット計画推進体制(フェーズⅡ)	7
図-3	アルファベット計画によるR&D成果の反映	9
図-4	ナトリウム1次冷却系におけるステンレス鋼成分、 放射性核種の質量移行模式図	16
図-5	ナトリウム中における放射性物質の挙動と抑制	17
図-6	洗浄廃液処理フロー図	21
図-7	中空糸膜フィルターによるCP除去	22
図-8	燃料洗浄廃液処理の基本構想	26
図-9	ガラス状固化体の放射能減衰曲線	27

1. 緒 言

高速炉において作業員の被ばくの要因となるのは、放射性腐食生成物 (Radioactive Corrosion Product : CP) と燃料被損時に系統に放出される核分裂生成物 (Fission Product : FP) である。この内、CPについては原子炉の運転に伴って蓄積傾向を示し、燃料被損の有無に係わらず高速炉の共通した問題となっている。放射性腐食生成物は炉心構成材料や構造物構成材料が中性子照射により放射化された後冷却材ナトリウム中に放出されるもの、及び1次冷却系機器配管等のナトリウム腐食により1次冷却系内に溶出されたものが放射化するものの2通りがある。

これら放射化されたCPは冷却材によって1次冷却系内へ輸送され、系統の機器配管内壁に沈着する。また、燃料集合体や1次冷却系機器に沈着・付着したCPは、燃料集合体の洗浄や機器洗浄等のメンテナンスにより洗浄廃液中に移り、液体廃棄物として廃液タンク等に移行する。

このようにして1次系内、1次系外のCPは作業場での強い放射線源となり、メンテナンス等における作業員の被ばくの大きな要因となっている。図-1に「常陽」におけるCP問題とその対策の概要を示す。

これらの問題に対処し、高速炉における被ばく低減を図るために、CPの挙動、抑制、除去、及び除染等にかかわる研究開発を1984年より3ヶ年の計画で体系的に実施した。この間実施された研究開発活動は順調な進展をみせて着実な成果を挙げ、本計画に係る所期の目的を達成することができた。

しかしながら、軽水炉においても水質管理を中心としたプラントの低クラッド化による被ばく低減化が進んでおり、高速炉の優位性を示すためにも被ばく低減のためのR&Dをさらに進める必要がある。この認識に立ち3ヶ年の研究開発成果をフェーズIとしてまとめ今後の展望を検討した結果、さらにR&Dを進める必要のある項目、新たに発生廃棄物の低減という観点からも取り組むべき項目についてフェーズIIとして新たに活動を開始することが確認された。

本計画はアルファベット計画フェーズIIの全体計画をまとめたものである。

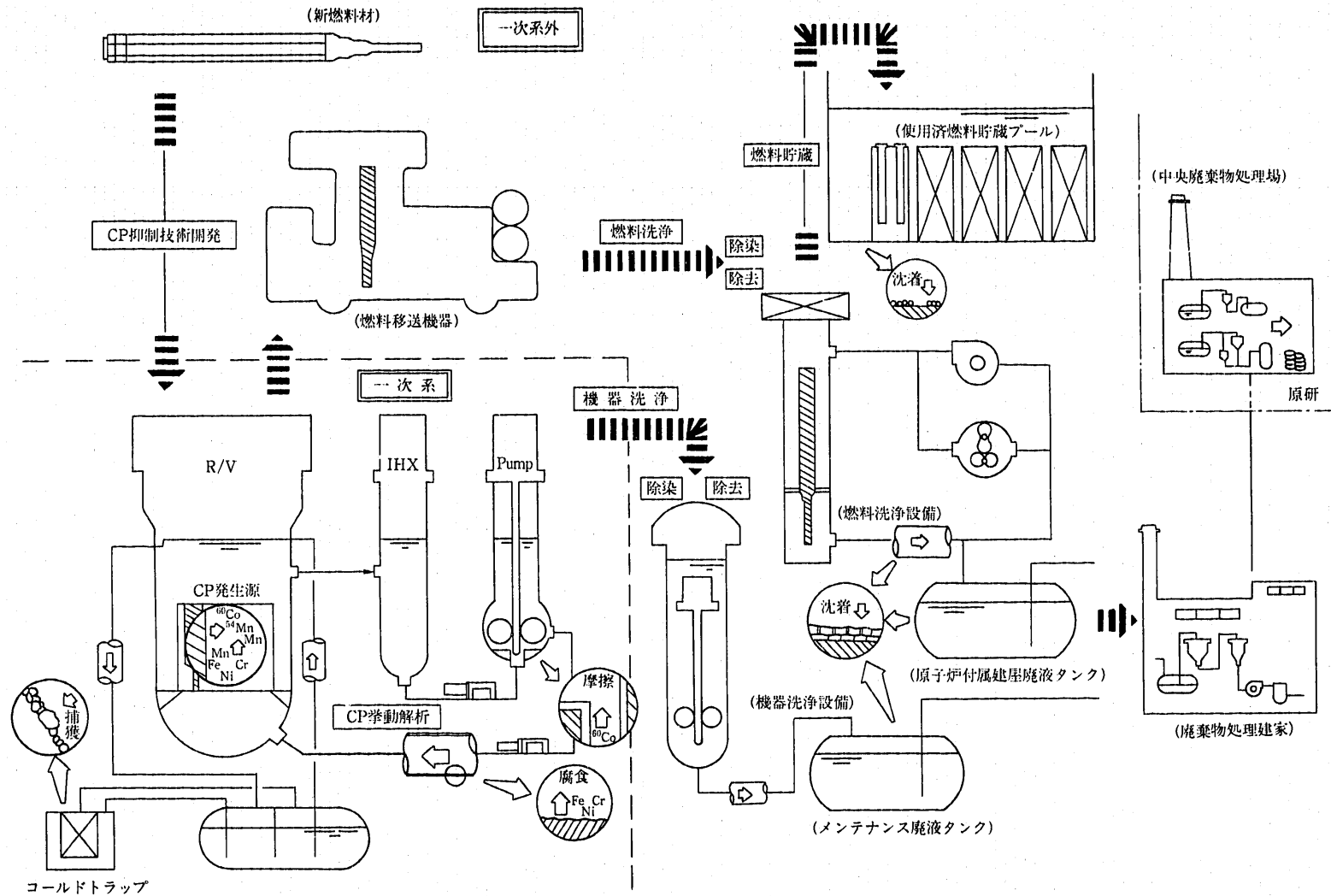


図-1 「常陽」におけるCP問題と対策

2. フェーズ I の成果

アルファベット計画は、「常陽」のMK-II移行時における作業員の被ばく増加に端を発し、「常陽」及び同様の設備を有するFMF、廃棄物処理建家での作業員の被ばく低減を目的に研究開発を実施してきた。この1984年からR&Dを実施した3ケ年をフェーズIと呼ぶ。

フェーズIでは、(1)CP挙動解析技術、(2)CP抑制技術開発、(3)CP除染技術開発、(4)CP除去技術開発の4つのワーキンググループを設立し、全体をとりまとめる「アルファベット推進会議」を中心に緊密な協力関係の下に推進してきた。得られた成果は「常陽」「もんじゅ」はもちろんのこと実証炉の設計にも反映されつつある。

フェーズI（59～61年度）の主な成果は以下の通りである。

① CP挙動解析技術（B-WG）

高速炉1次冷却系統内のCP挙動と冷却系配管及び主要機器の放射線量率の評価法を確立するため、実験炉における実データを用いてCP挙動解析コードの開発・検証を実施した。

その結果ファクター2（±100%以内）の精度で1次冷却系機器・配管表面の放射線量率の予測が可能となった。

② CP抑制技術開発（C-WG）

従来、接触・摺動部材として用いられているステライトは約60%のコバルトを含んでおり、これが系統へ移行してCPとなる。そこでステライトの代替材としてコバルトフリーのニッケル基表面硬化材の開発を実施し「もんじゅ」への適用を可能にした。

一方マンガン-54の除去はニッケル材を用いたトラップが有効であることを確認した。このCPトラップの性能を実機で確認するため、「常陽」において炉内試験を実施した。

③ CP除染技術開発（D-WG）

1次系外のメンテナンスで比較的被ばくの大きい燃料洗浄設備のCPの除去を行なうため化学除染を実施した。実施にあたっては供用中の設備ということから設備に与える影響を極力低減するよう考慮したが、配管・機器表面線量率を半減させることができた。

④ CP除去技術開発（E-WG）

燃料及びNa機器の洗浄廃液中のCPを効率的に回収し処理するため、ガラス固化方式

の廃液処理システムを設計施工した。この方式により従来のセメント固化に比べて最終保管形態で1 / 7 ~ 1 / 8 に発生固化体を低減することができた。

3. フェーズIIの展開

アルファベット計画フェーズIの成果を基に、今後のアルファベット計画の展望を検討した結果、以下の方向性が確認された。

FBRの被ばく低減には、ニッケルゲッターによる ^{54}Mn の1次系統内の蓄積を制限することが有効であり、フェーズIに引続きCPトラップの開発を行なう。1次系外においては、燃料洗浄に伴い燃料洗浄廃液中に移行したCPの除去手段を確立することが廃液処理系への負担の軽減にもなり、これらの施設の運転・保守に伴う被ばくの低減への寄与が大きい。

従って以下の項目にテーマを絞りR&Dの展開を図る。

- ① 挙動解析については、「常陽」の実測値による評価を継続するとともに、「もんじゅ」・実証炉の予測解析を進める。また、OECD/NEAからのコード公開に対応するため、コード及びマニュアルの整備を行なう。
- ② CPトラップについては実用化に主眼をおいたR&Dを引続き展開する。
- ③ 廃液中のCP除去を効果的に行うため、SFフィルタ（中空糸膜フィルタ）の性能評価試験ループを製作し、各種フィルタの性能を多角的に評価する。これによりフィルタのCP除去性能を実証するとともに、将来のFBR廃液処理システムの設計（燃料洗浄廃液再利用等）データとし、高速炉における液体廃棄物の低減を図る。
- ④ 洗浄廃液処理系におけるCPの機器・配管等への付着・沈着については、材料表面の仕上げ状態に依存するため、CPの付着・沈着が起こりにくい材料の表面粗さに関しその境界点をパラメトリックに評価し、将来の湿式洗浄設備や廃液処理設備の設計データとする。
- ⑤ ガラス固化体は数年後のCPの減衰状態によっては再使用の可能性があり、これによりFBRのCP廃棄物の総量を大幅に低減することができる。従って、従来よりCP含有率の高いガラス状固化体とリサイクルに関するR&Dを展開し、高速炉における固体廃棄物の低減を図る。

4. アルファベット計画フェーズⅡの体制

アルファベット計画フェーズⅠの成果を基に、アルファベット計画フェーズⅡの体制を検討した結果、フェーズⅡにおいてはCPの除染・除去技術開発が重要視されることから、これらの開発の主体となる実験炉部に事務局をおくこととした。また、フェーズⅠでは炉内のCP低減化技術を開発するB及びCワーキンググループと炉外のCP低減化技術を開発するD及びEワーキンググループの4つのワーキンググループが設けられていたが、R&Dのテーマを絞り実用化に向けてより活動しやすい体制とするため、フェーズⅡでは従来のBとCワーキンググループを統合し、3つのワーキンググループとした。

アルファベット計画フェーズⅡの実施体制を図-2に示す。

アルファベット計画フェーズⅡの全体計画の実施検討及び調整、R&D結果の評価検討、外部協力に関する検討等は、主査、事務局各W/Gリーダ、関係課室長等からなるアルファベット計画推進会議で行う。また、各R&Dの実施部隊として、

- (1) CP挙動・抑制技術開発W/G
- (2) CP除去・除染技術開発W/G
- (3) CP処理・処分技術開発W/G

の3つのワーキンググループを置き、以下に示すR&D項目について、各ワーキンググループのグループリーダを中心にR&Dの展開を図ることとする。

- (1) CP挙動・抑制技術開発W/G
 - ① CP挙動解析コードの実用化に関する整備と高度化
 - ② CPトラップ実用化に関する整備と高度化
 - ③ コバルトフリー表面硬化材実用化に関する整備
- (2) CP除去・除染技術開発W/G
 - ① 中空糸膜フィルタのCP除去性能の評価と、フィルタを使用したCP除去システムの実用化
 - ② 洗浄廃液の再利用による液体廃棄物低減化の検討
 - ③ 材料の表面粗さのパラメトリック評価による、将来の湿式洗浄設備への設計提言
- (3) CP処理・処分技術開発W/G
 - ① ガラス状固化体のリサイクル使用による固体廃棄物低減化の検討
 - ② 除染廃液の処理技術開発

アルファベット計画推進体制 (フェーズII)

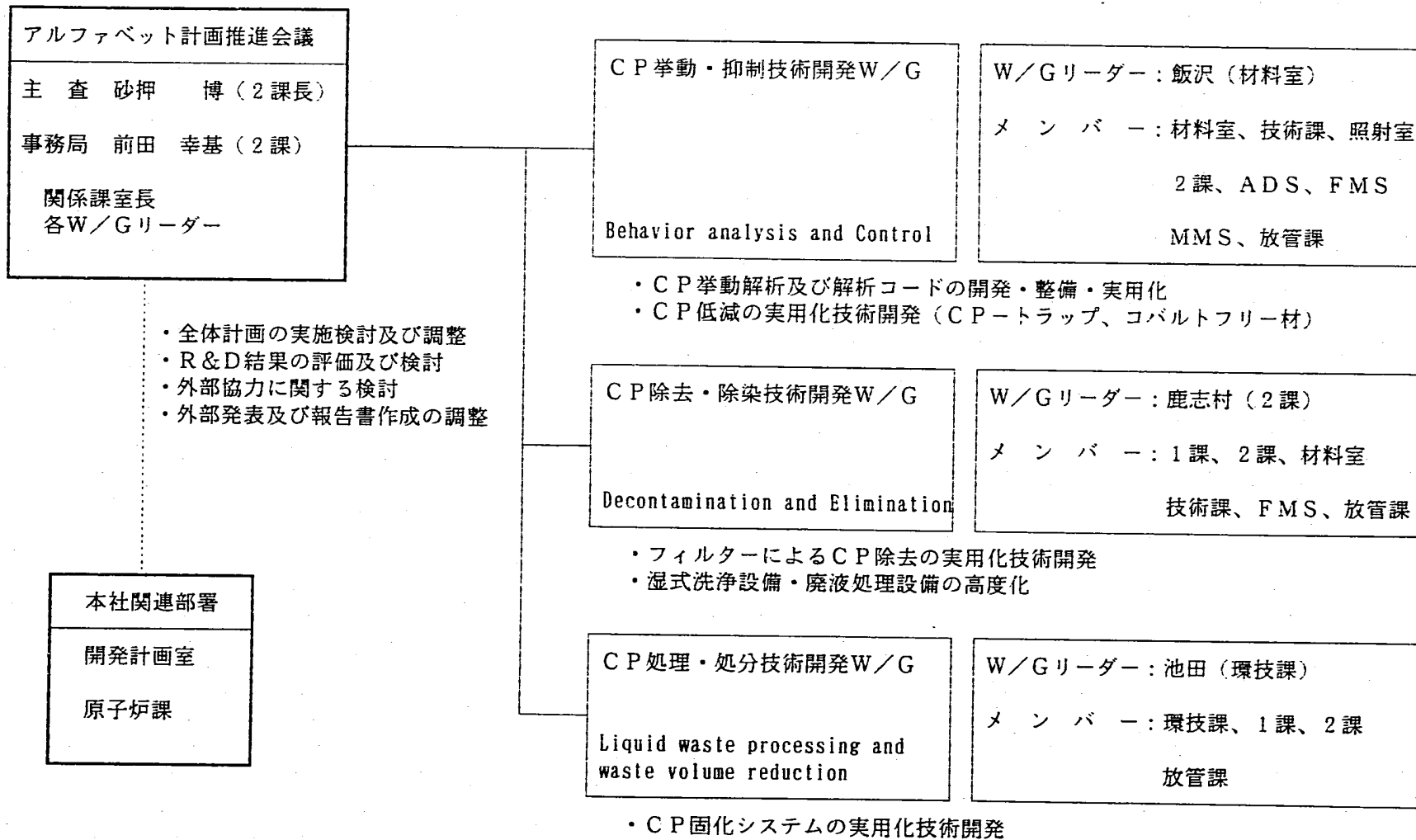


図-2 アルファベット計画推進体制 (フェーズII)

5. 開発スケジュール

各ワーキンググループの開発スケジュールの概略を表-1に示す。

表-1 開発スケジュール概要

実 施 項 目	平成元年(1989)	平成2年(1990)	平成3年(1991)
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C P 挙動・抑制技術開発W/G</div> <ul style="list-style-type: none"> ① C P 挙動解析コードの公開 ② 高線量部のC P 挙動調査 ③ C o フリー材の総合評価 ④ 高性能C P トラップ材の開発 			
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C P 除染・除去技術開発W/G</div> <ul style="list-style-type: none"> ① S F フィルタによるC P 除去技術開発 ② 脱イオン処理技術開発 ③ 材料表面粗さの影響調査 			
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C P 処理・処分技術開発W/G</div> <ul style="list-style-type: none"> ① ガラス状固化体のリサイクル使用技術開発 ② 除染廃液の処理技術開発 			

アルファベット計画によるR&D成果の反映

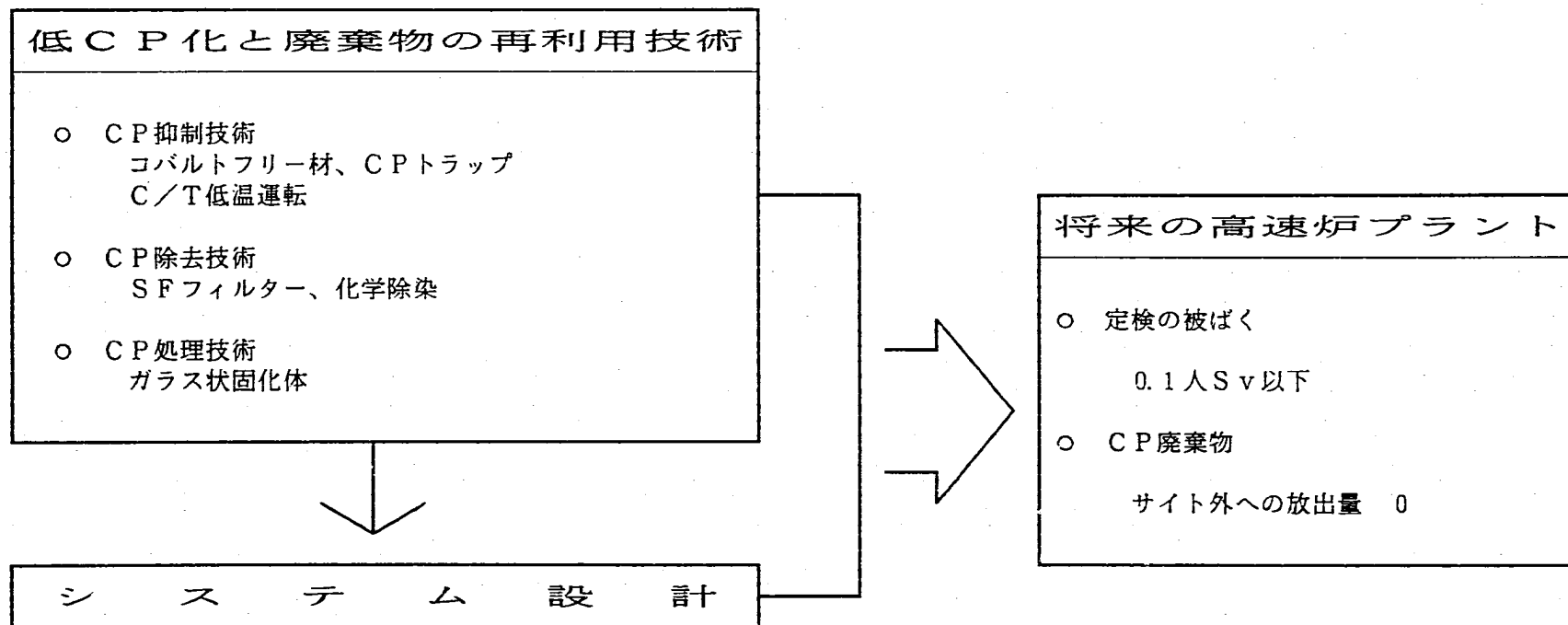


図-3 アルファベット計画によるR&D成果の反映

6. 各ワーキンググループ実施計画

6.1 CP挙動解析・抑制技術開発W/G

(1) 目的

CP挙動・抑制技術開発W/Gでは、これまでに得られた成果の高度化と実用化に力点を置き今後の展開をはかると共に、前フェーズから継続となっている研究開発課題の完結を目的として、次の項目について実施する。

- (1) CP挙動解析コードの実用性向上に関する整備と高度化
- (2) CPトラップ実用化に関する整備と高度化
- (3) コバルトフリー表面硬化材実用化に関する整備

(2) 経緯

① CP挙動解析技術開発

高速実験炉「常陽」の運転経験から、高速炉プラント保守時に作業員に対して被ばくをもたらしている主線源は、放射性腐食生成物（CP）である事は既に周知の通りである。床下1次ナトリウム系及び燃料洗浄設備系の保守、補修時の被ばくに関して合理的な見通しを得て、低減対策の効果的実施を推進するため、高速炉1次ナトリウム系に於けるCP挙動の解析コード（PSYCHE）開発を実施して来た。

フェーズIでは、まずアルファベット計画発足前にCP挙動炉外試験結果に基づき開発されていた、ナトリウム中に於けるCP挙動モデル、「溶解・沈着モデル」(Solution Precipitation Model)とこれを用いた実プラント対応の解析コードの作成が完了された。一方実験炉「常陽」では、MK-I期以来1次ナトリウムループ（Aループ）配管に沈着した核種測定と配管廻り線量率の測定が実施されて来ていた。これ等のデータに加えて、アルファベット計画発足の中でMK-II期のCPの実測が各定検時に行なわれ、実プラントに於けるCPの推移の知見が蓄積されると共に、これ等のデータを用いて解析コードの検証が行なわれた。ここで計算と実測結果が線源及び線量率ともファクター2以内で一致する結果が得られ、モデルとコードの妥当性が基本的に確認された。その後実プラントに於ける検証精度の更なる改善、核種生成と溶出に於ける多重中性子捕獲の影響を考慮したモデル改良、入出力フォーマットの整備等のため、コードの改良・整備を行なった。その結果配管の主要線源部の検証精度は

線源、線量率とも1.3程度に改善された。更にこの改良コードを用いて、「常陽」MK-II及び「もんじゅ」でのCP線源と線量率の将来予測が行なわれた。また、このコードを用いたシミュレーション計算により、CP低減対策として、コールドトラップ低温運転でのナトリウム中低酸素濃度条件による腐食抑制、コバルトフリー表面硬化材の採用、CPトラップ設置について、実機条件での方法の検討と効果の予測解析が実施され、床下線量率の低減に関し見通しが得られた。

② CP抑制技術開発

高速炉プラント1次ナトリウム冷却系内のCP絶対量を低減するため、発生源に於ける抑制と冷却材中に放出されたCP捕獲について研究開発が実施されて来た。フェーズIでは、発生源に於ける抑制法のうち、コールドトラップ低温運転によるナトリウム低酸素濃度条件での腐食抑制とSUS316炉心材料中の不純物コバルト規制は、既に達成されておりその維持が図られて来た。しかしこれのみでは不十分であり、プラント設計上あるいは運転上から更に積極的なCP低減対策を図るため、発生源低減対策となる機器の接触・摺動部に対するコバルトフリー表面硬化材の開発及びナトリウム中からのCPトラップ法の開発が実施されて来た。

従来、原子炉がプラントの炉心部及び冷却系内機器の接触・摺動部（制御棒集合体とその駆動機構及び機械式ナトリウムポンプの静圧軸受部等）には、耐自己融着及び耐磨耗・摩擦の観点から、表面硬化材としてコバルトを50%以上含むコバルト基合金であるステライトが多用されて来ていた。これをコバルトを含まない材料（コバルトフリー表面硬化材）に代替する事により、 ^{60}Co の発生とプラント汚染のリスクは大幅に低減される。フェーズIでは、まずアルファベット計画発足前に実施されていたコバルトフリー表面硬化材の調査とナトリウム中でのスクリーニング試験の結果に基づき、軽水炉等での使用実績や肉盛施工性の面でも優れている市販のニッケル基表面硬化材8種が選定された。これ等材料について、高速炉プラントへの適用性を明らかにするため、ナトリウム環境下での自己融着、摩擦、磨耗、腐食、熱衝撃の各試験が、炉外試験により実施され、トライボロジー特性の解明と評価及びデータ集のまとめが行われた。これ等の成果に基づき、コバルトフリー表面硬化材が、原型炉「もんじゅ」の制御棒集合体とその駆動機構及びポンプ静圧軸受部等の設計と製作に採用された。

「常陽」やFFTF等海外炉の経験から、高速炉プラント1次ナトリウム冷却系の機器・配管系内に沈着したCPの主要核種は ^{54}Mn と ^{60}Co で ^{54}Mn が相当に優勢であるという結果が得られている。「常陽」の場合は ^{54}Mn が ^{60}Co の約10倍で、線量率寄与で言うと4:1の比率になっている。そこで床下線量率低減に対して実効的な

^{54}Mn の低減を図るため、純ニッケル材をトラップ材として用いる炉心集合体組込式 CP トラップの開発が実施されて来た。フェーズ I では、アルファベット計画発足前に実施されていた純ニッケル材の選定とそのナトリウム中での捕獲特性試験結果も踏まえて、CP トラップの実機適用条件を解明するため、形状（炉心集合体組込捕獲器方式の選択と中性子遮蔽体兼用型と高性能型の選定）に係わるトラップ材開発が進められ、ナトリウム中での捕獲と使用条件（温度、浸漬時間等）特性の解明が、炉外試験により実施された。また圧損評価のため水流動試験が進められた。これ等の結果と (I) で述べた CP 挙動解析コードを用いて、実機条件下での CP トラップ設置効果解析評価法の作成と「常陽」、「もんじゅ」での予測解析が実施された。炉心部のコバルトフリー表面硬化材と CP トラップ材の照射環境下での挙動と耐照射性確認のため、「常陽」SMIR9 を用いて照射試験が実施された（MK-II 13～17 サイクル）。フェーズ II ではこの照射後試験とその評価が実施される。

(3) 研究開発計画

① CP 挙動解析コード PSYCHE の公開

国内及び国際関係機関への公開を実施し、国内外の協力の実をあげると共にライセンス等に応用し易い環境を整える。

- (i) 論文公表
- (ii) コード公開

② 高線量部の CP 挙動調査と試験研究

「常陽」プラントに於いては幾つかの高線量部位が発生している。1 次ナトリウム系では主ポンプオーバーフローライン、B ループ IHX 周り等がある。今一つは燃料洗浄設備である。燃料洗浄設備の汚染は粒状性 CP の機器壁への付着によるものであり、しかも 1 次ナトリウム系とは異なり、 ^{60}Co 、 ^{59}Co が ^{54}Mn を上回り優勢であるにも拘らず、コバルト (^{59}Co) 組成の高いステライト等の粒子が見い出されない事がこれまでに判明して来ている。これまでの調査結果と必要に応じて行うより精密な調査と炉外試験ループ等を用いた試験研究により、これ等の原因に関して解明し挙動評価法の検討（モデル構築と PSYCHE コードへの追加）を行う。

- (i) 「常陽」プラント CP 高蓄積部位の調査研究
- (ii) CP 高蓄積部位機構解明に関する試験研究
- (iii) CP 高蓄積部位挙動モデル構築と PSYCHE コードへの機能追加

③ コバルトフリー表面硬化材とCPトラップ材の照射後試験及び総合評価

アルファベット計画フェーズI内に「常陽」SMIR-9を用いて着手されたコバルトフリー表面硬化材とCPトラップ材の照射は、17サイクルで終了し、照射後試験を実施する。コバルトフリー表面硬化材としてはニッケル基の表面硬化材が対象となっており、中性子照射挙動を把握し、機械的特性と割れ・剝離性等の解析評価を実施する。CPトラップ材の場合は、実機適用型の候補形状の1つであるマルチホウル型（レンタン型とも言う）を用いて実施しており、照射環境下でのトラップの有効性、健全性について解析評価する。また、PSYCHEを用いたCPトラップ実機設置効果の解析評価手法の検証を行う。総合評価では、コバルトフリー表面硬化材、CPトラップ材の各々について、炉外試験と照射後試験の結果に基づき実機適用仕様の提言を行う。

- (i) SMIR-9照射コバルトフリー表面硬化材照射後試験
- (ii) 高速炉用コバルトフリー表面硬化材開発総合評価
- (iii) SMIR-9照射CPトラップ材照射後試験
- (iv) 高速炉用CPトラップ材開発総合評価

④ 高性能CPトラップ材の開発

CPトラップ材については、既にフェーズIより中性子遮蔽体兼用型（マルチホウル型）と高性能型（デミスター型、発泡金属型、ハニカム型）の開発に着手して来た。PSYCHEコードを用いた評価から、「常陽」、「もんじゅ」の反射体あるいはブランケット燃料域に高性能型を、ドライバー燃料域の外側に中性子遮蔽体兼用型を設置した場合、床下線量率を約1/3に低減出来る事が推定されている。高性能型をドライバー燃料域にまで広げた場合、低減率は更に改良され1/10程度も可能となるという結果が得られている。そのためには高性能型の材質・形状の健全性を確立し、「常陽」、「もんじゅ」炉心部条件に対応したデータ（ナトリウム中捕獲特性と健全性及び圧損）の拡充を図る必要がある。そこでフェーズIから継続して、材質及び製作法の改良を進め、強度（耐圧縮性等）と耐ナトリウム性の改善を図り、圧損及びナトリウム中での捕獲特性と健全性の試験を実施し、炉心部での使用に対する信頼性を向上させる。また、トラップ材のメッキ法など設置方法を多角的に評価し、実用化に向けて実機適用方法の多様化を図る。

これ等の結果は、③(iv)の総合評価に適宜反映する。

- (i) 高性能型CPトラップ材の改良・試験・評価（強度、圧損）
- (ii) ナトリウム中特性データ拡充（捕獲特性、耐ナトリウム性、実機設置効果

評価)

(iii) 実用化方策の検討

(4) 開発スケジュール及び担当課室*

実 施 項 目	平成元(1989)	平成 2 (1990)	平成 3 (1991)	担 当 課 室
(1) CP挙動解析コードPSYCHEの公開				
① 論文公表				材料室**、技術課
② コード公開				材料室**
(2) 高線量部のCP挙動調査と試験研究				
① 「常陽」プラントCP高蓄積部位の調査研究				技術課**、1課、2課、放管課
② CP高蓄積部位機構解明に関する試験研究				材料室**、技術課
③ CP高蓄積部位挙動モデル構築と PSYCHEコードへの機能追加				材料室**、技術課
(3) コバルトフリー表面硬化材とCPトラップ材の照射後試験 及び総合評価				
① SMIR-9照射コバルトフリー表面硬化材照射後試験				MMS **、FMS、ADS、材料室
② 高速炉用コバルトフリー表面硬化材開発総合評価				材料室**、照射課、技術課
③ SMIR-9照射CPトラップ材照射後試験				MMS **、FMS、ADS、AGS、材料室
④ 高速炉用CPトラップ材開発総合評価				材料室**、照射課、技術課
(4) 高性能CPトラップ材の開発				
① 高性能CPトラップ材改良・試験・評価				材料室**
② ナトリウム中特性データ拡充				材料室**
③ 実用化方策の検討				材料室**

* W/Gの事務局は材料室に設置する。 ** とりまとめ担当課室

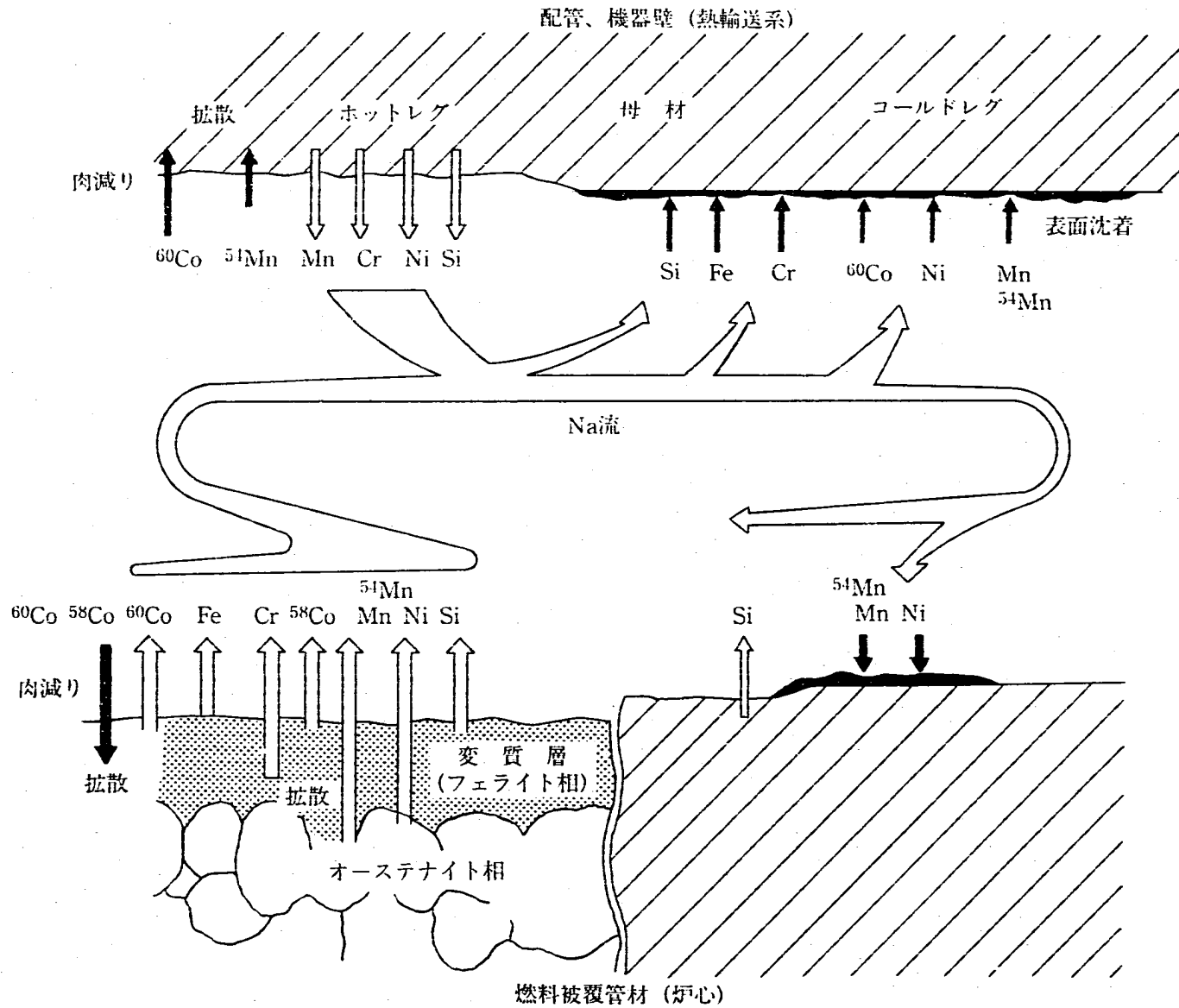
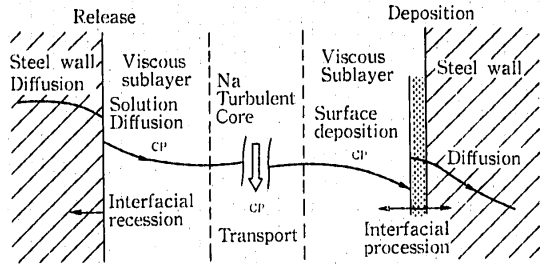
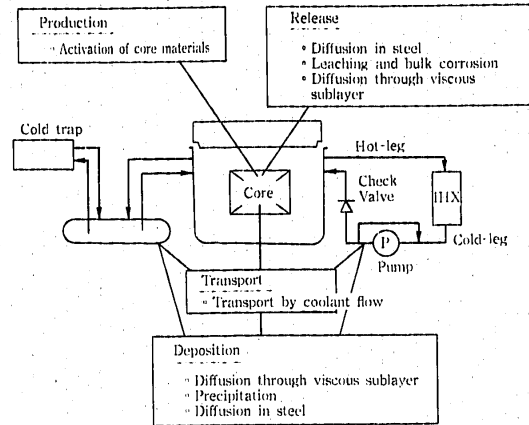


図-4 ナトリウム1次冷却系におけるステンレス鋼成分、
放射性核種の質量移行模式図

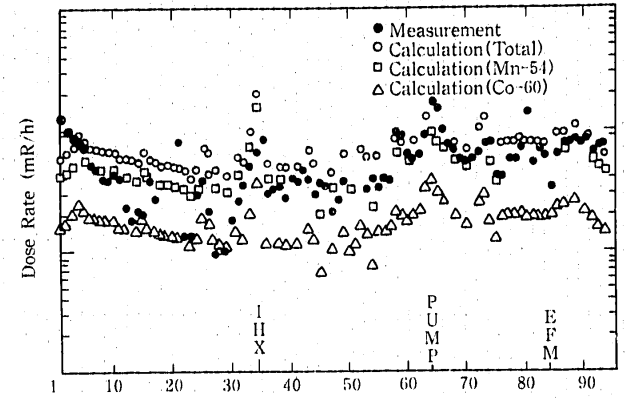
Development of Computer Code (PSYCHE) for CP Behavior Analysis



"Solution-Precipitation Model" for CP Behavior Analysis

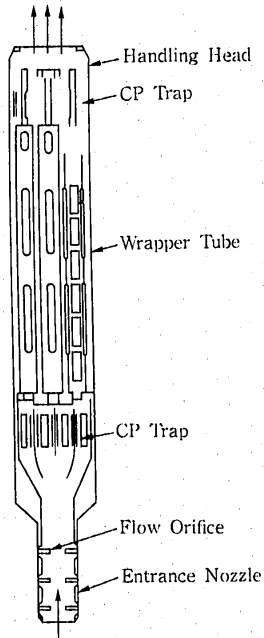


Simulation System of CP Behavior in FBR Plant



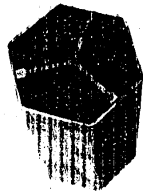
Comparison of Measured vs. Calculated Gamma Radiation Levels along JOYO Primary Main Circuit Piping (Cumulative Reactor Output, 8.4×10^4 MWd)

Development of CP Trap

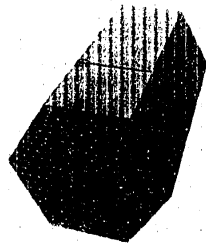


Core Subassembly and Reflector with CP Traps

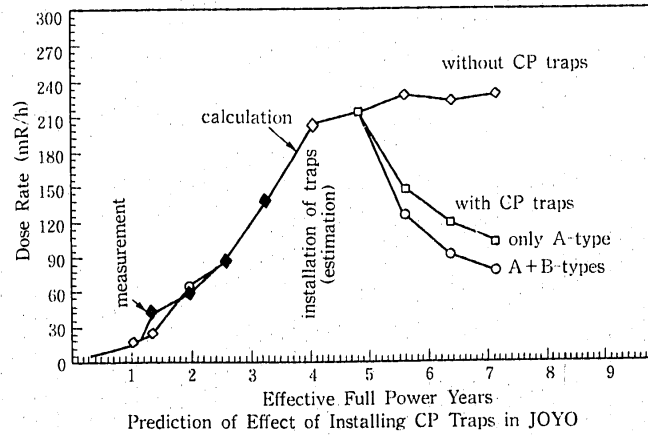
High Efficiency Trap Type (A)



Reflector and Trap Type (B)

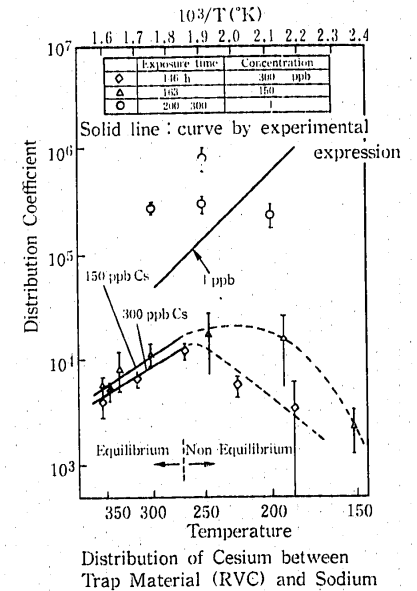


Core Region of Installing CP Traps
 A-types : Inner and outer reflectors
 B-types : 4th and 5th rows in core fuel assembly



Prediction of Effect of Installing CP Traps in JOYO

Development of Cesium Trap



Distribution of Cesium between Trap Material (RVC) and Sodium

図-5 ナトリウム中における放射性物質の挙動と抑制

6.2 CP除去・除染技術開発W/G

(1) 目的

CP除去・除染技術開発W/Gでは、燃料洗浄設備や液体廃棄物処理設備の運転・保守等における作業員の被曝低減のための廃液中のCPの効果的な回収手法の確率、発生廃液の低減化対策、CPの機器・配管等への付着・沈着の低減化対策などを目的として以下の項目について実施する。

- ① 中空糸膜フィルターによる廃液中のCP回収手法の確立
- ② イオン交換樹脂、逆浸透膜等による廃液の再利用の検討
- ③ CP沈着に及ぼす材料表面粗さの影響調査

(2) 経緯

アルファベット計画PHASE-Iでは燃料及び機器洗浄廃液の性状調査、「常陽」燃料洗浄廃液処理設備の計画・施行・運転評価及びメンテナンス廃液タンクのCP除去技術開発に取り組んだ。

また、高速炉燃料洗浄設備の化学的作用による除染技術の確立を目指し「常陽」燃料洗浄設備の化学除染を実施した。

燃料及び機器洗浄廃液の性状調査では、基本的な廃液及び廃液中の放射性物質の性状及びCPを含む廃液の最適処理技術を明らかにし、「常陽」燃料洗浄廃液処理設備の設計・施行・運転評価を通じて洗浄廃液のガラス固化システムの妥当性を実証した。さらに、メンテナンス廃液タンクのCP除去では、特に中空糸膜フィルタの有効性を確認した。

これらの成果に基づき洗浄槽近傍でのCP除去のため洗浄設備の循環ラインに中空糸膜フィルタを設置することを提案すると共に、合わせて各種固化方式の比較検討を行なうことによってガラス固化法の優位性を明らかにすることが出来た。

一方、燃料洗浄設備等の系統の機器、配管に付着、沈着したCPの除去・除染は、そのCPがクローズされた系統内に付着・沈着していることから物理除染が困難であり化学除染に頼らざるを得ない。これまで実施した化学除染では供用中の系統に対して実施したために構成材料へのインパクトを極力軽減させるなど全体的に保守的なアプローチであり除染係数も必ずしも満足できるものではなかった。しかしながら、化学除染については、材料へのインパクトをどの程度に抑えるかによって除染係数が変わるものであることは知られている。

これらのことを踏まえて、洗浄廃液の再利用による発生廃液量の低減、フィルタによ

る廃液中のCP除去、洗浄設備のメンテナンスフリー化等に重点を置き、これまでの成果を踏まえて将来炉を見越したR&Dを実施していく必要がある。

(3) 開発計画

① CP除去技術開発

(i) 中空糸膜フィルタによるCP除去

高速炉において使用済燃料及びNa機器を洗浄する際に発生する洗浄廃液中に含まれるCPは洗浄設備や液体廃棄物処理設備の機器、配管に付着・沈着し、強い放射線源となってこれらの設備の運転、保守における作業員の被曝の主要な要因となっている。これらの被曝低減のためには廃液中のCPの効果的な回収手法を確立する必要がある。

廃液中のCP回収にはフィルタを用いた方法が有効と考えられるが、その中でもフィルタの逆洗再利用が可能で2次廃棄物の発生量が少ない中空糸膜フィルタが有望である。従って、中空糸膜フィルタの性能を実廃液により多角的に評価する。

(ii) 脱イオン処理技術開発

発生廃液の低減化のためには、中空糸膜フィルタによってCPが除去された廃液（濾過水）を燃料洗浄水として再利用することが考えられる。これを行うには、通常、燃料洗浄水として使用している脱塩水とほぼ同等の水質にする必要がある。従って、フィルタにより粒子状成分を取り除かれた濾過水をイオン交換樹脂、逆浸透膜等を利用して脱イオン処理を行い、廃液のリサイクルを図り発生廃液を低減させるシステムを提言する。

② CP沈着に及ぼす材料表面粗さの影響調査

CPの機器、配管への付着・沈着については、これまでの経験から材料表面の仕上げ状態に依存することが知られており、設計段階からこれを考慮に入れることによりCPの付着・沈着が抑制されるものと考えられる。

従って、機器、配管等の材料の表面粗さに対するCPの付着・沈着の度合いとCPの付着・沈着後のCP除去（剝離）性をパラメトリックに評価し、これらの結果にコスト評価等を加えて今後の燃料洗浄設備の設計への提言を行う。

(4) 開発スケジュール及び担当課室

	平成元年度						平成2年度						平成3年度						担当課室
	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	
I. CP除去技術開発																			
(1) 中空糸膜フィルタによるCP除去																			
① 中空糸膜フィルタの調査、選択	=====																		原子炉第1課 原子炉第2課* 技術課 環境技術課 放射線管理課 FMS
② 試験装置の製作	=====																		
③ CP除去試験							=====												
④ 評価							=====												
(2) 脱イオン処理技術開発																			
① イオン交換樹脂 } の調査、選択 逆浸透膜 }	=====																		原子炉第1課* 原子炉第2課 技術課 環境技術課 放射線管理課 材料室 FMS
② 試験装置の製作							=====												
③ 通水試験							=====												
④ 評価													=====						
(3) 総合評価																			
II. 材料表面粗さの影響調査																			
① 試験片の製作	=====																		原子炉第1課* 原子炉第2課 技術課 環境技術課 放射線管理課 材料室 FMS
② 廃液への試験片の浸漬							=====												
③ 試験片のCP付着量測定及び除去													=====						
④ 評価													=====						

*印は主担当課室

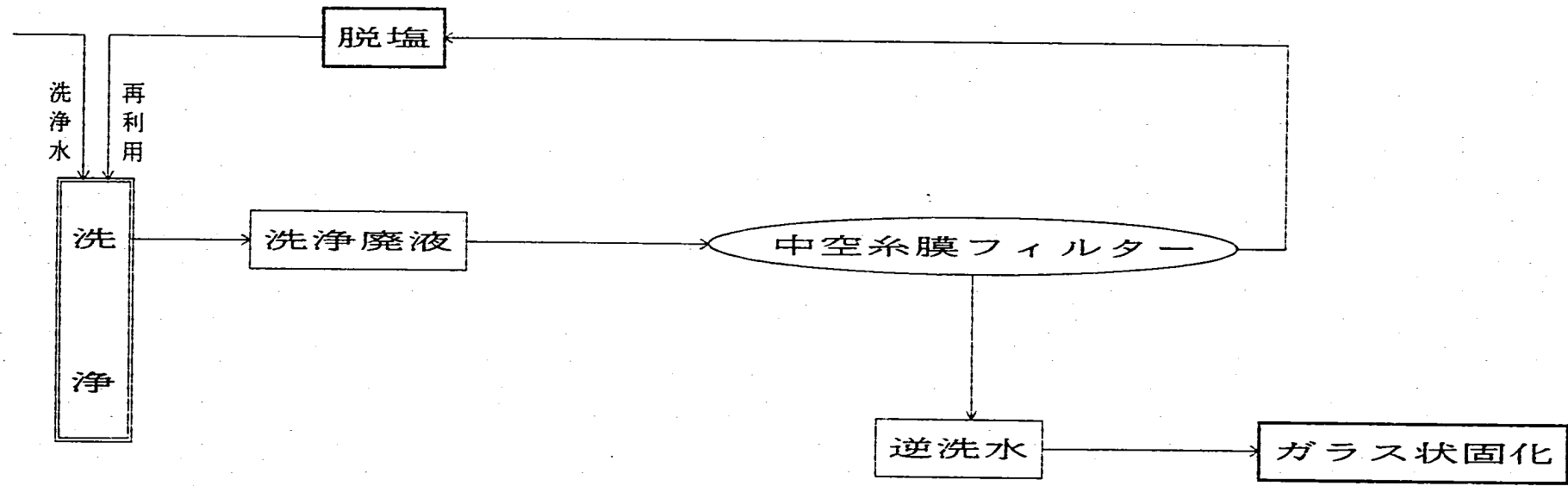
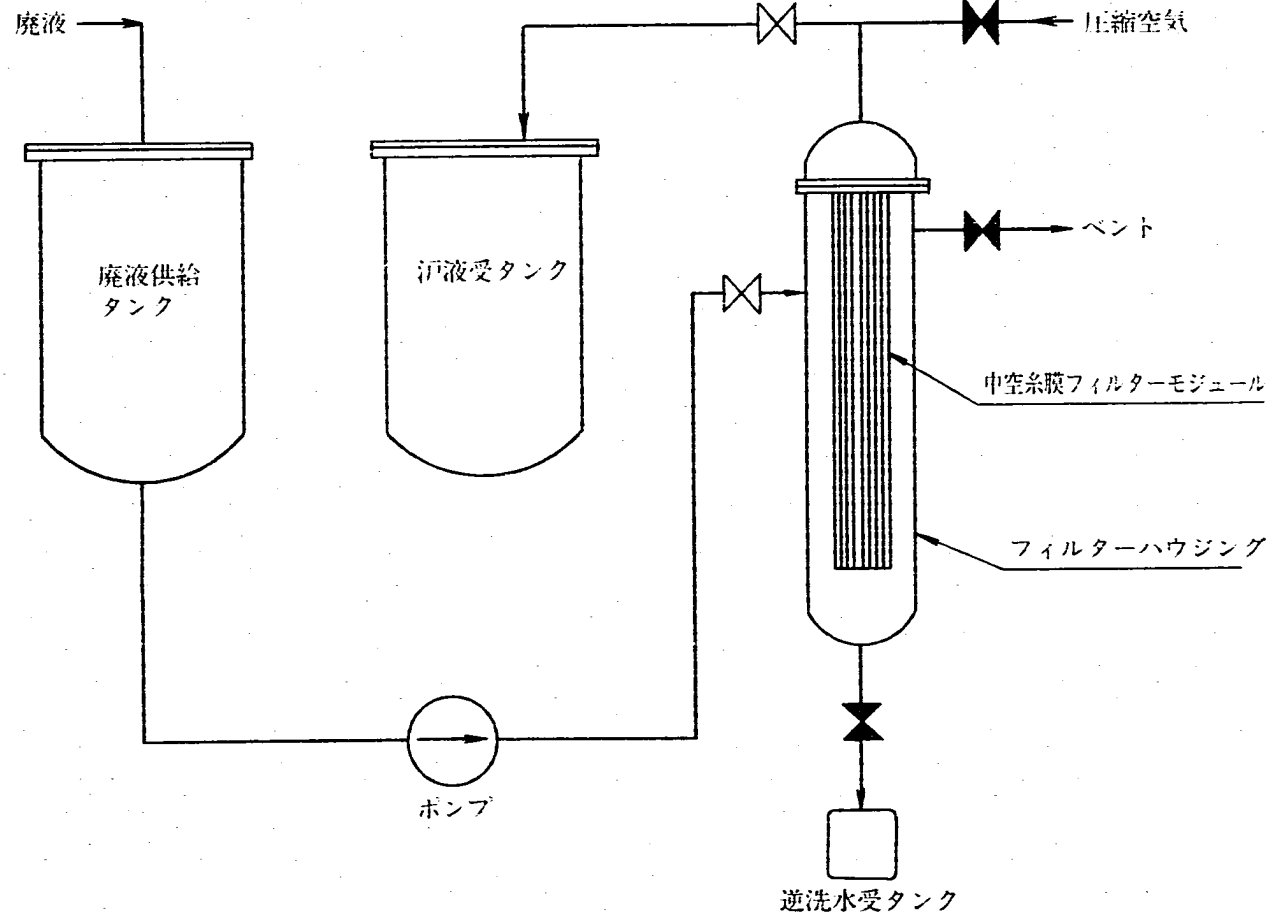
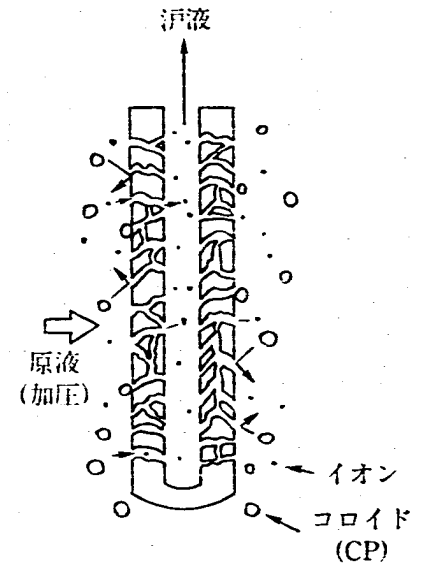


図-6 洗浄廃液処理フロー図



① 試験系統図



外径 0.8mmφ
 長さ 1000mm
 分離性能 0.04μm
 (穴径)
 1モジュール当りの
 中空系本数 3,000本

② フィルター概念図

図-7 中空系膜フィルターによるCP除去

6.3 CP処理・処分技術開発W/G

(1) 目的

CP処理・処分技術開発WGにおいては、「常陽」廃棄物処理建家で処理するCPを含む廃液等の合理的固化システムの実用化を目指し、新たに発生廃棄物の低減という観点から下記項目に取り組む。

- ① ガラス状固化体のリサイクル使用による廃棄物低減化の検討
- ② 除染廃液の処理技術開発

(2) 経緯

フェーズIにおけるCP除去技術開発(E-WG)では、燃料洗浄廃液及び1次主循環ポンプ、制御棒下部案内管などの1次系機器洗浄廃液中に含まれるCPの主な性状分析を行うと共に、イオン交換樹脂による吸着特性、廃液処理の適用技術など基本的な特性を明らかにした。

さらに、燃料洗浄廃液中のCPを効果的に回収し処理するため、ガラス状固化方式による廃液処理システムを設計施工し、実廃液で運転することにより洗浄廃液のガラス固化システムの妥当性を実証するとともに従来のセメント固化法に比べて減容率で1/90以上、最終保管形態で1/7～1/8に低減できることを確認した。

(3) 開発計画

廃液中のCPの除去、回収には2次廃棄物の発生量が少なく、フィルタの逆洗再利用が可能と言われる中空糸膜フィルタの使用が合理的と考えられており、図8に示すフローを想定した場合のガラス状固化体として従来よりCP含有率の高いガラス状固化体の実用化を目指す。

① ガラス状固化体のリサイクル使用による廃棄物低減化の検討

ガラス状固化体は数年後のCPの減衰状況によっては再利用が可能であり、これによるFBR廃棄物の総量を大幅に低減化することを目指し、このためのR&Dとして以下の点について検討を行う。

- (i) 現ガラス組成へのCP含有量限界と固化体の均質性
- (ii) ガラス固化体に再熔融特性
- (iii) 低温熔融可能なガラス組成の開発
- (iv) 放射能収支

実施に際しては、できる限りの多くのガラス組成について検討できるように小型るつぽを用いた基礎試験とする。次の段階として、(i)～(iii)を総合的に評価する場合には現処理建家での処理量と同程度の工学試験装置を製作することが必要となる。

② 除染廃液の処理技術開発

化学除染法については、フェーズ I において燃料洗浄設備に対して適用し、一定の成果をあげたが、除染後の廃液の処理方法については除染液に適した効果的な手法の開発が望まれている。

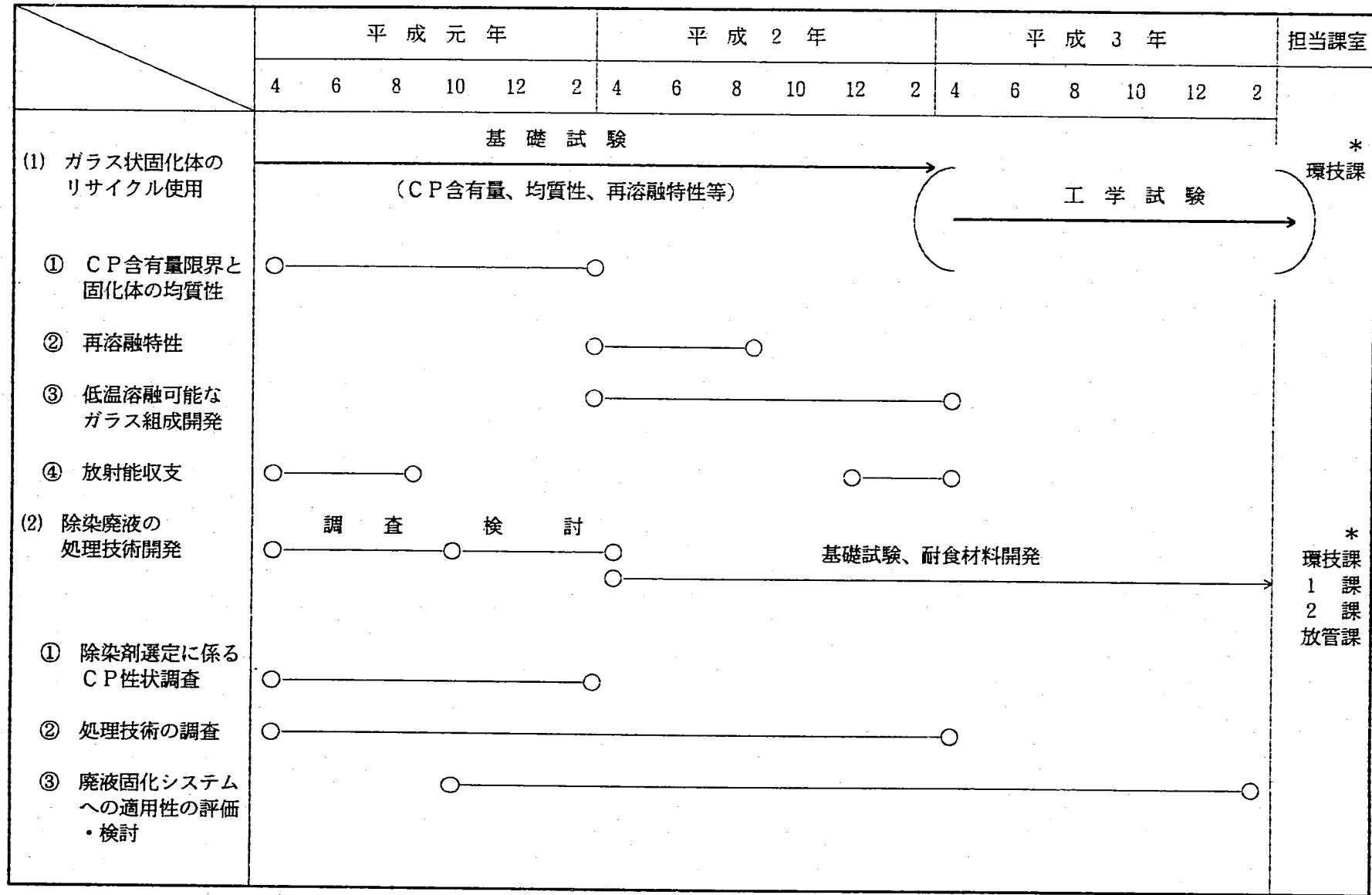
尚、化学除染に対しては、フェニックスの I H X の修理に見られるように、機器の酸洗いを行って表面線量率を下げることは作業員の被曝低減対策として効果的であり、M K - III 計画において 1 次主ポンプ、I H X 等の改造が計画されていることを考慮すると、より広い適用範囲を考える必要がある。従って、高速炉の Na 機器に対する化学除染や除染廃液の処理・処分の効果的な方法を探ることは重要である。

現在使用されている除染剤は膨大な数にのぼるものの、特に高速炉を意識したものは開発されていない。成分の不明な除染液等で溶融固化等の処理が適応できないものが見受けられる等、これら除染液の使用に当っては使用後の廃液の処理についても、その条件等明確にしておく必要がある。そこで現状開発されている除染剤について、その性状、用途等を調査し、使用条件、処理・処分方法等について整理しておくことは、今後高速炉において化学除染を適用する場合、協力的なツールになると考えられる。

そこで、これらの中で、今後廃液タンク内の C P 除去等に有望な除染剤について下記の点について検討を加える。

- (i) 除染剤選定に係る C P 性状調査
- (ii) 化学除染剤に対応する処理技術の調査
L W R、再処理、他施設での実績調査
- (iii) 廃液固化システムへの適用性の評価、検討

(4) 開発スケジュール及び担当課室



*印は主担当課室

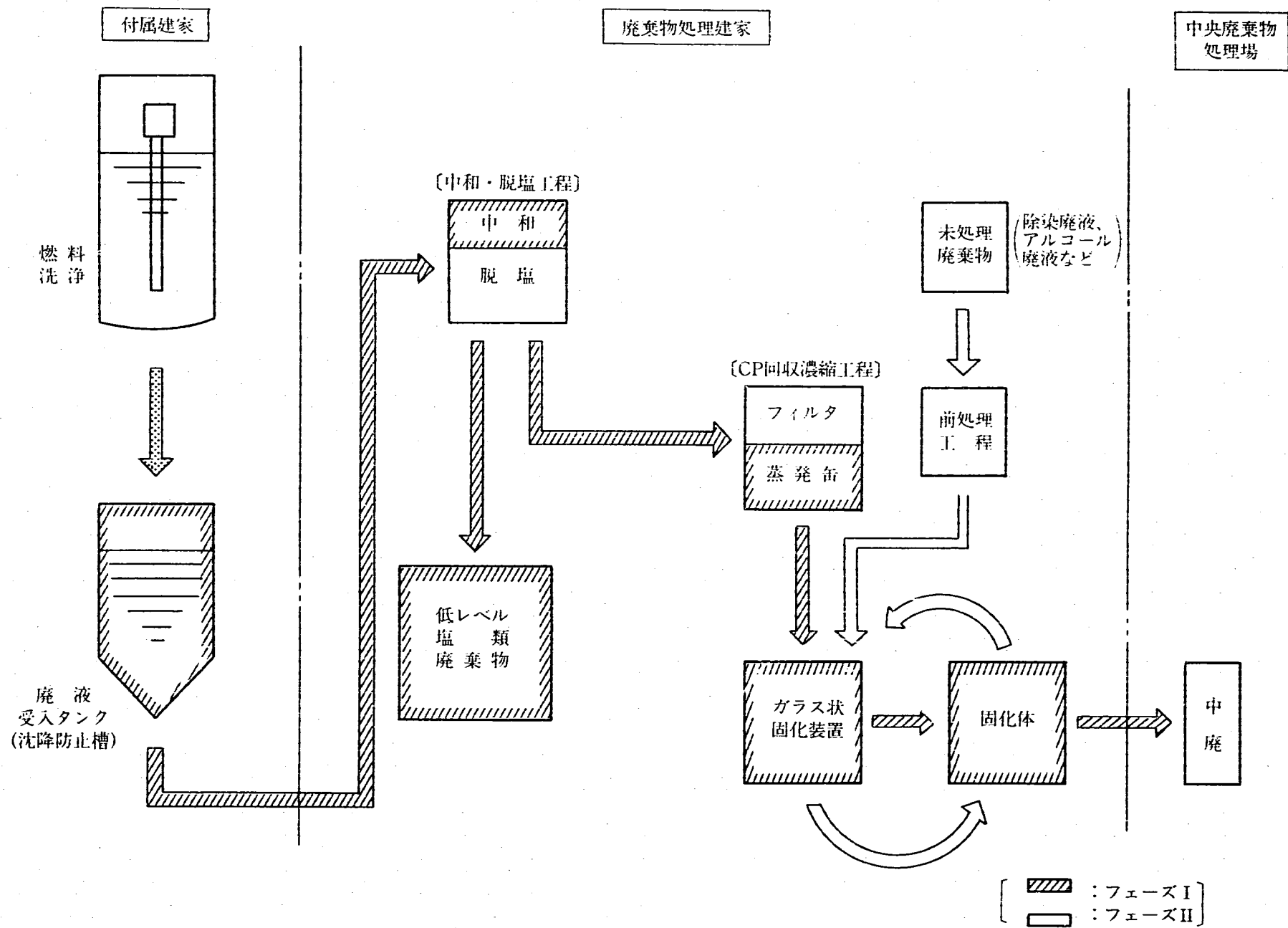


図 - 8 燃料洗浄廃液処理の基本構想

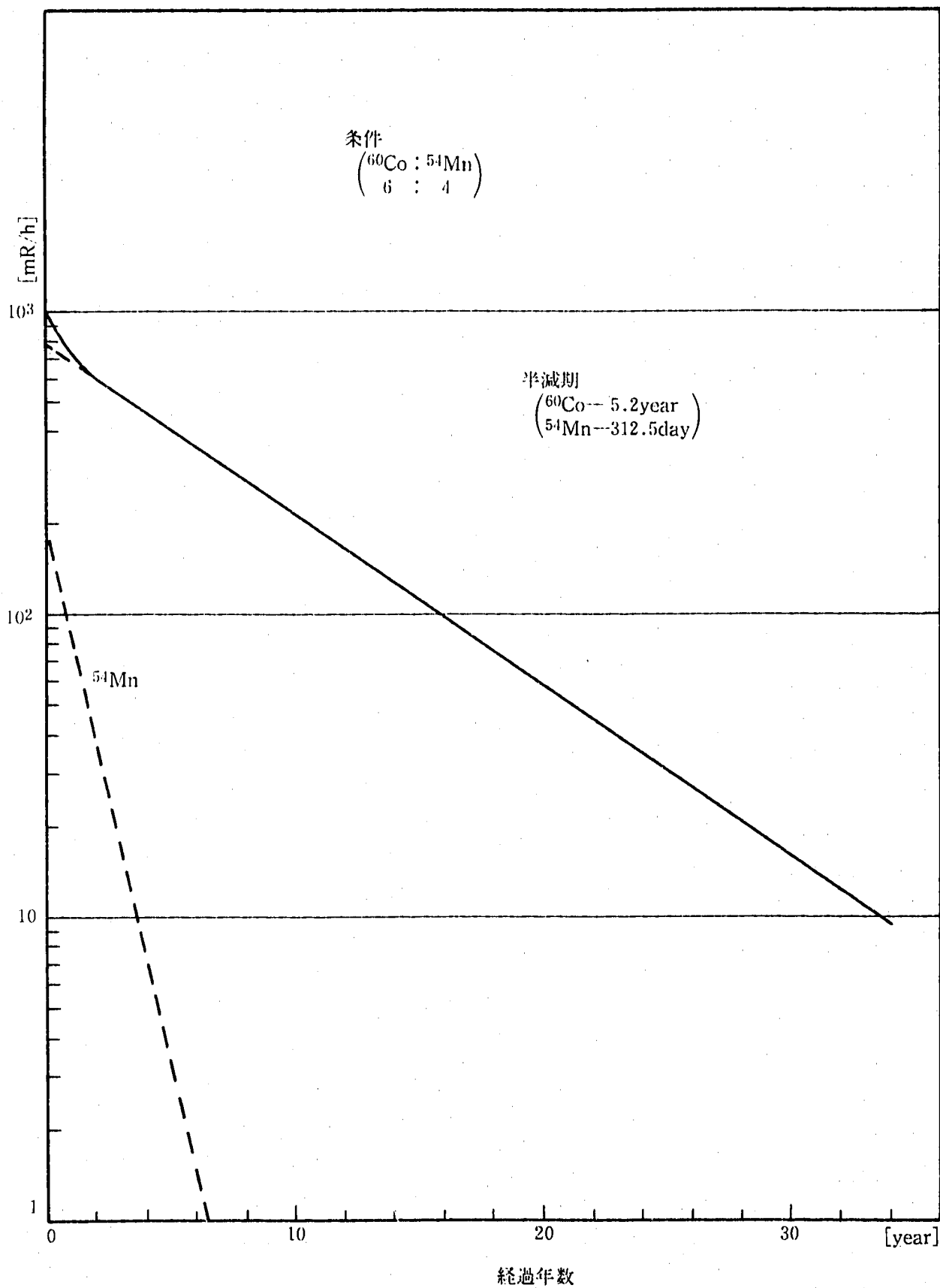


図-9 ガラス状固化体の放射能減衰曲線

7. 結 言

被ばく低減は炉型に係わらず各炉の共通した課題であるが、近年軽水炉においては水質管理を中心とした低クラッド化が進み、定検時における被ばく低減がかなり進んでいる。アルファベット計画においても高速炉において作業員の被ばく上最も問題となるCPの対策に関し、その発生から処分まで広範囲なR&Dを実施し多くの成果をあげてきた。今回これまでのアルファベット計画のR&D成果をまとめるとともに、よりクリーンな高速炉プラントをめざすために発生廃棄物の低減といった項目も追加し、新たにアルファベット計画フェーズⅡとして活動を開始することとなった。

CPの抑制と除去技術の高度化をめざすためには本社をはじめとして、実プラントである「常陽」及び大洗工学センターの各R&D課室が有機的な協力関係のもとで研究開発を進めていくことが重要である。従って、フェーズⅡにおいてもフェーズⅠ以上に関係各位の御協力をお願いします。