

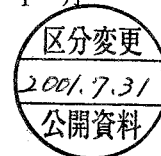
本資料は2001年7月31日付けで  
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

# フロンティア材料研究実施計画書

1989年1月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター  
フロンティア材料研究グループ

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱いには十分注意を払って下さい。  
なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。



## フロンティア材料研究実施計画書

フロンティア材料研究グループ\*

### 要 旨

本書は大洗工学センターにおいて昭和63年度に着手される全てのフロンティア材料研究の実施研究書を1冊にまとめたものである。

課題別に示す計画は、フロンティア材料研究グループが実施担当課室と協議の上でとりまとめた「研究開発基本計画書」(PNC SN9080 88-007)および「研究開発依頼書」に基づいて、実施担当課室・グループが作成した。

実施計画書に記述されている内容の主な項目は次の通りである。

1. 実施担当部課室および担当者
2. 依頼元および担当者
3. 研究目的
4. 研究目標
5. 研究課題
6. 研究内容および方法
7. 研究スケジュール

なお、本実施計画書は最長3ケ年の研究期間としており、この期間で得られた研究成果について、フロンティア材料研究グループが主体となってチェックアンドレビューを行ない、次フェーズの研究計画を検討・決定する予定である。

---

\* 大洗工学センター技術開発部

**This is a blank page.**



## 目 次

|   |    |
|---|----|
| フロンティア材料研究実施計画書 .....                       | I  |
| 1. まえがき .....                               | 1  |
| I 耐ナトリウム性、耐放射線性新素材の開発（材料開発室） .....          | 21 |
| -その1 耐ナトリウム性セラミックス機能材料の開発-                  |    |
| II FBR構造材料の寿命・余寿命診断法の開発（材料開発室） .....        | 25 |
| -その1 クリティカル機器・設備の選出・分類と金属組織学的損傷の検討-         |    |
| III トリチウム・水素捕獲貯蔵並びに非透過性材料の開発（材料開発室） .....   | 28 |
| -その1 基礎試験-成立性の検討-                           |    |
| IV 原子炉内計装材料の開発                              |    |
| IV-1 歪測定差動トランスの開発（照射課） .....                | 31 |
| IV-2 超高温熱電対の開発（照射課） .....                   | 34 |
| IV-3 オフライン温度モニターの開発（照射課） .....              | 37 |
| IV-4 中性子束測定用センサー材の開発（技術課） .....             | 40 |
| IV-5 オフライン荷重センサー材の開発（技術課） .....             | 43 |
| V 高性能遮蔽材の開発-金属水素化物等の開発-（燃料材料技術開発室） .....    | 47 |
| VI 高性能制御材の開発（照射材料試験室） .....                 | 60 |
| VII 基盤材料データベース開発に関する調査研究（フロンティア材料研究グループ） .. | 65 |

## 1. まえがき

科学技術会議第11号答申では、従来のプロジェクト指向（ニーズ指向）の材料開発に加えて、シーズ探索型及びシーズ育成型と呼ばれる材料開発により、材料開発の基盤を強化し、ブレークスルーや創造的技術を生み出しやすい研究開発への転換を図ることを基本方針として打ち出している。

さらに、先般策定された「原子力開発利用長期計画」（昭和62年6月原子力委員会）において、これからの研究開発は、技術の芽の探索、体系的な研究開発の積み重ね等により大きな技術革新を引き起こし、ひいては科学技術全般への波及効果が期待される原子力のフロンティア領域といわれる創造的・革新的領域を重視し、基礎研究と研究開発プロジェクトとを結びつける基盤技術を推進するとの方針が示されている。その中で、共通基盤性の強い技術領域として、原子力用材料技術、原子力用人工知能技術、原子力用レーザー技術、及び放射線リスク評価・低減化技術を取り上げ、これらの技術開発を産学官の連携の下で効率的・計画的に推進することとしている。

このような新たな情勢に対応するため、原子力委員会基盤推進専門部会、材料分科会において、基盤材料技術開発の基本的考え方、視点、概念、研究課題、目標時期、効率的推進法、研究環境の整備等について審議され、報告（昭和63年7月）されている。ここでは、短期的に実現できる技術課題よりも21世紀の原子力技術体系にインパクトを与え、ひいては他の分野の材料技術開発への波及効果も期待できるものが積極的に取り入れられている。

従来のプロジェクト型から研究開発型への脱皮を中長期的に目指す動機にとって、上述の第11号答申並びに新原子力開発利用長期計画に対する対応を図ることは緊急課題である。そこで、昭和62年8月に社内に材料技術検討作業部会が組織され、材料シーズの開発、材料ニーズの発掘、材料解析評価技術の高度化並びに基盤材料データベースの整備を柱に、重要研究課題（ニーズ/シーズ）の摘出が行なわれた。審議結果は社内のフロンティア研究推進委員会に答申され、昭和63年3月に了承された。

材料技術検討作業部会により摘出された重要研究課題の内、昭和63年度実施予算により実施が認められている研究課題7件について、昭和63年7月1日付で発足した大洗工学センターの「フロンティア材料研究グループ\*」が基本計画書（PNC SN 9080 88-007）を作成した。本実施計画書は、上記基本計画書に基づき研究実施担当課室・グループにより作成された計画書を「フロンティア材料研究グループ」が一冊に取りまとめたものである。

昭和63年度より実施される研究課題7件は以下のとおりである。

- I 耐ナトリウム性、耐放射線性新素材の開発
- II FBR構造材料の寿命・余寿命診断法の開発
- III トリチウム・水素捕獲貯蔵並びに非透過性材料の開発
- IV 原子炉内計装材料の開発
- V 高性能遮蔽材の開発 —— 金属水素化物等の開発
- VI 高性能制御材の開発
- VII 基盤材料データベース開発に関する調査研究

次項にはフロンティア材料研究グループ人員構成並びに研究の実施方策及び分担を示す。資料1には原子力長計における基盤技術開発の概要を、図1には、その中の重点分野である原子力材料技術開発についての重要研究課題の分類を示す。本図には大洗工学センターで着手する上記7件の研究課題が対応する分類個所を番号で示した。表1にはフロンティア材料研究の概要を、図2にはそれらのフロー図を示した。さらに表2には基本計画書（PNC SN9080 88-007）に基づく各研究課題の長期的概要を、図3に各研究課題の概略図を示す。

なお、本実施計画書は研究期間を最長3ヶ年としており、各年度における研究の進展及びフロンティア材料研究グループが主体となっていく2～3年単位のチェック&レビュー段階での研究の進展に伴って適宜見直すことが必要である。また、平成元年度以降新たに実施される研究課題については別途基本計画書及び実施計画書を作成する予定である。

\*「フロンティア研究グループ（新素材研究担当）」を運用上「フロンティア材料研究グループ」とする。

## フロンティア材料研究グループ人員構成

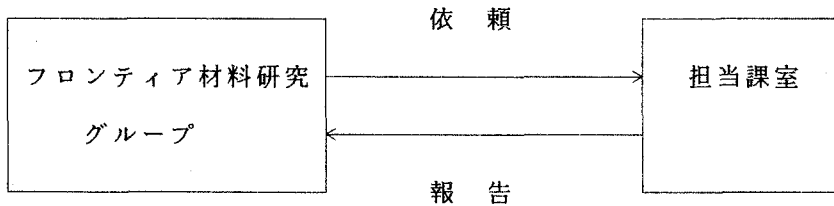
以下に昭和63年10月1日付の人員構成を示す。但し、いずれも兼務である。

( ) 内に本務としての所属を示す。

福田 達 主幹 (技術開発部部長代理)  
加納 茂機 GL (材料開発室主任研究員)  
小山 真弘 (照射課課長代理)  
野村 茂雄 (燃料材料技術開発室担当役)  
森川 智 (プラント安全工学室主査)  
上野 文義 (材料開発室研究員)

## 研究の実施方策及び分担

以下に研究の実施方策及び分担の概要を示す。



- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>・基本計画作成</li><li>・試験依頼</li><li>・研究管理・評価</li><li>・チェック&amp;レビュー</li><li>・外部対応 { 研究交流, 客員研究員受入れ<br/>                  共同研究, 委託, 調査業務等 }</li><li>・新研究テーマの発掘・選定</li><li>・将来構想作成</li><li>・新施設計画作成</li><li>・要員計画作成</li><li>・予算要求とりまとめ</li><li>・役割分担</li><li>・担当課室との調整</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>・実施計画作成</li><li>・試験実施</li><li>・成果の評価</li><li>・成果の報告</li><li>・新研究テーマの提案</li><li>・将来構想提案</li><li>・新施設提案</li><li>・要員計画提案</li><li>・予算要求提案</li></ul> |
|--|---|



## 基盤技術開発の推進

1. 原子力開発利用長期計画における位置づけ
- ・ 原子力開発利用の基本目標

1. 基軸エネルギーとしての確立

2. 創造的科学技术の育成

3. 国際社会への貢献

- ・ 「キャッチアップ型」から「創造型」へ

(1) 基礎研究の充実

(2) 基盤技術開発の重点的推進

(3) 先導的プロジェクト等の効率的推進

・ 我が国の原子力研究開発は、原子力発電の早期実現化を目指すことに重点をおいて進められてきたため、既存技術のブレークスルーや創造型技術の創出に必要な幅広い技術基盤が十分確立されているとは言えない状態。

・ 今後は、原子力の各分野にわたる長期的なニーズを踏まえ、これに弾力的に対応し、かつ新しい技術を創出し、ひいては、原子力技術体系のブレークスルーを引き起こす可能性のある基盤技術を産・学・官の連携の下で効率的・効果的に推進。

## 重点的に推進すべき基盤技術開発

### ①原子力用材料技術開発

- ・ 耐放射線材料の開発
- ・ 放射能を低減化するための材料開発
- ・ 原子力用材料の解析・評価、及び設計のための技術開発

### ②原子力用人工知能技術開発

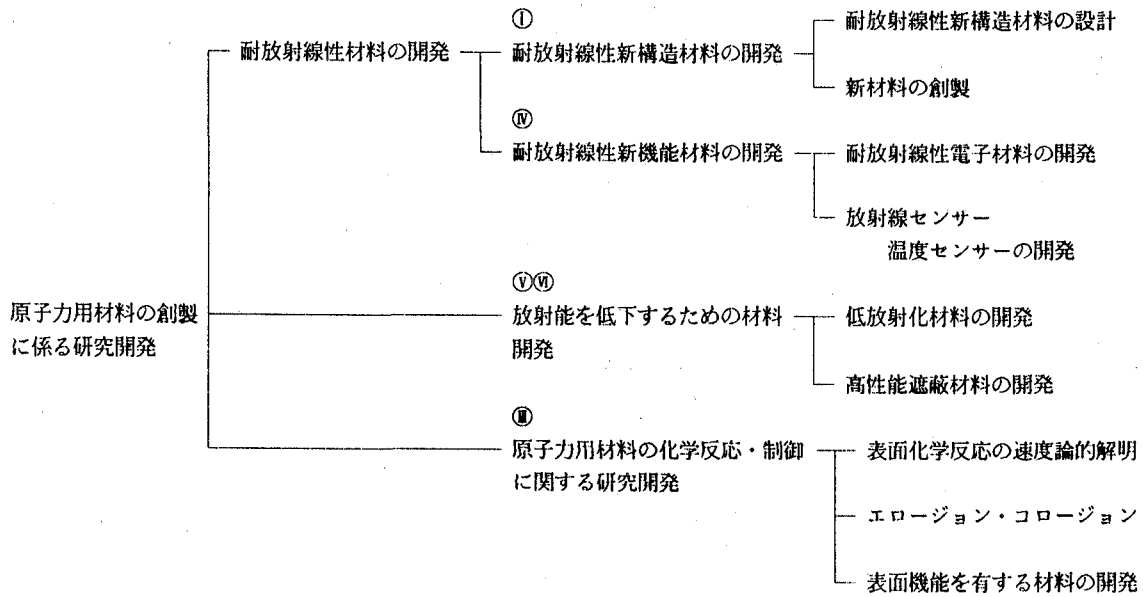
- ・ 知識ベース・システム技術開発
- ・ 情報収集・処理技術開発
- ・ ロボット技術開発
- ・ シミュレーション技術開発
- ・ マン・マシン・インターフェイス技術開発

### ③原子力用レーザー技術開発

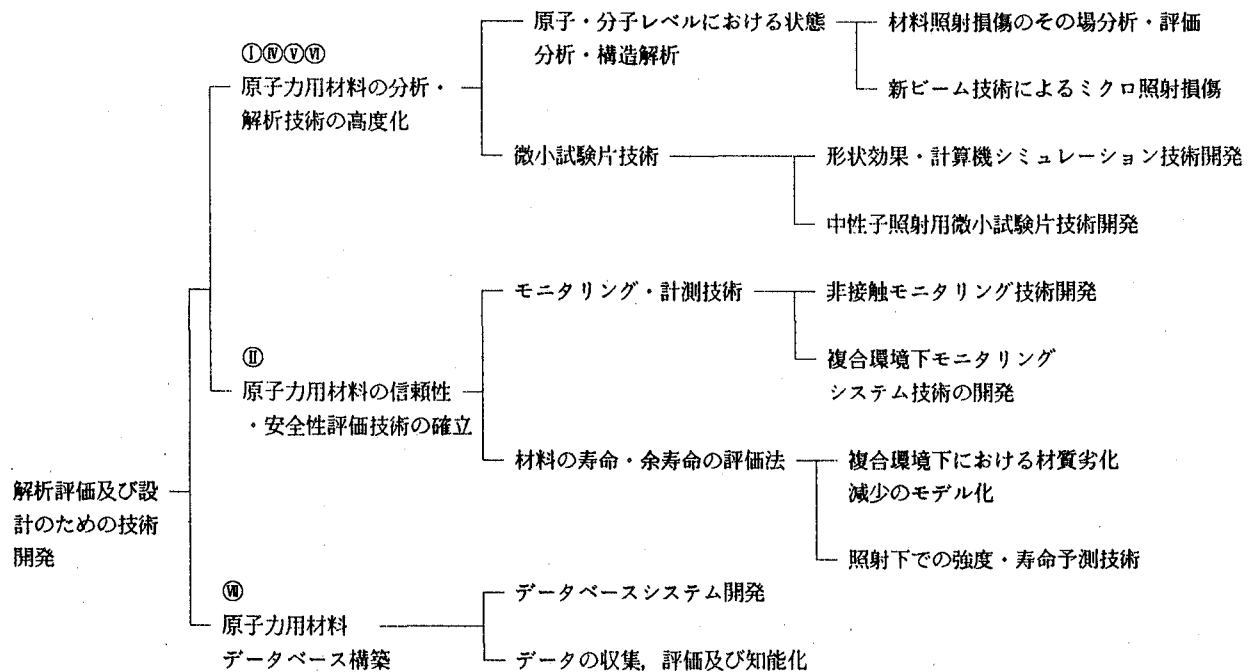
- ・ 原子力用レーザー技術開発
- ・ 原子力に必要なレーザー技術開発
- ・ 原子力に新たな利用の可能性を与えるレーザー技術開発

### ④放射能リスク評価

- ・ 被ばく線量評価技術開発
- ・ 放射能リスク評価技術開発
- ・ 放射能リスク低減化技術開発



原子力用材料開発の分類



新材料の開発を支える解析評価技術等

図1 原子力開発利用長期計画で示されている原子力用材料技術についての重要研究課題の分類

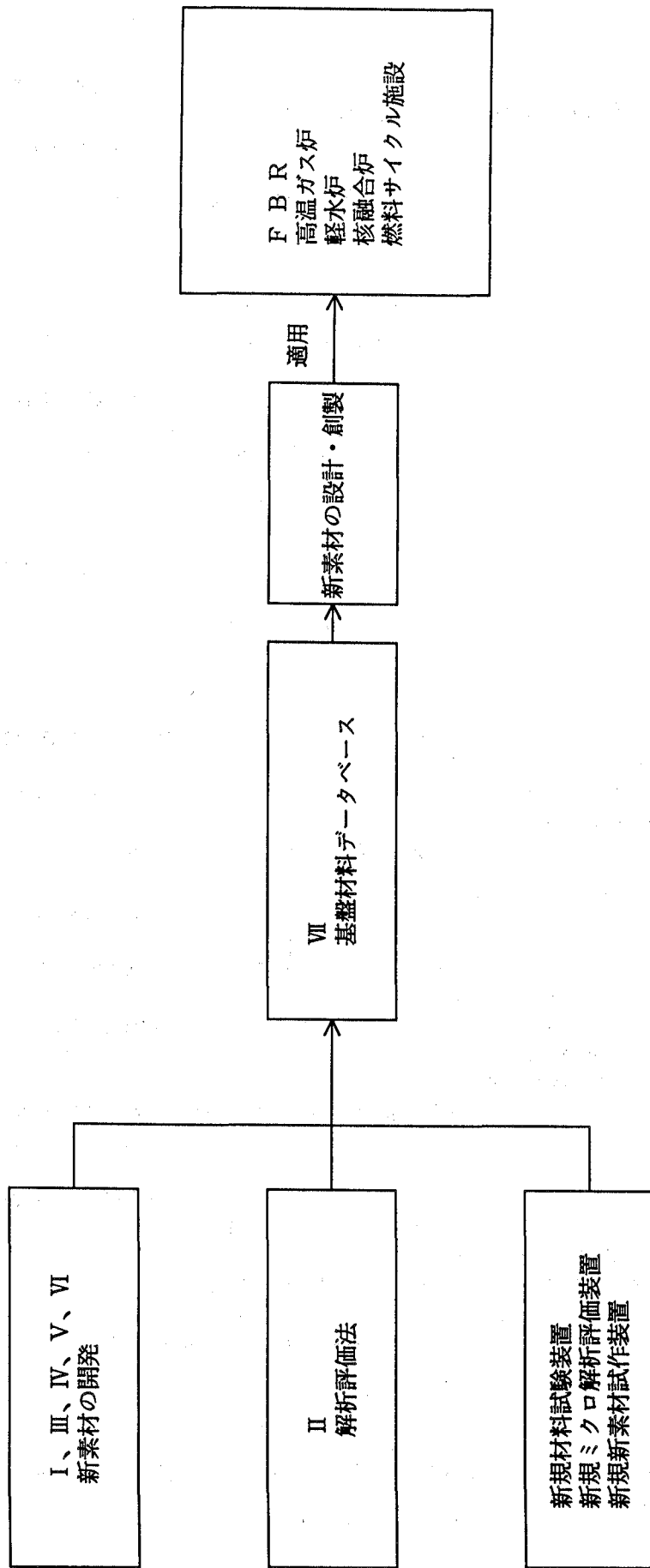
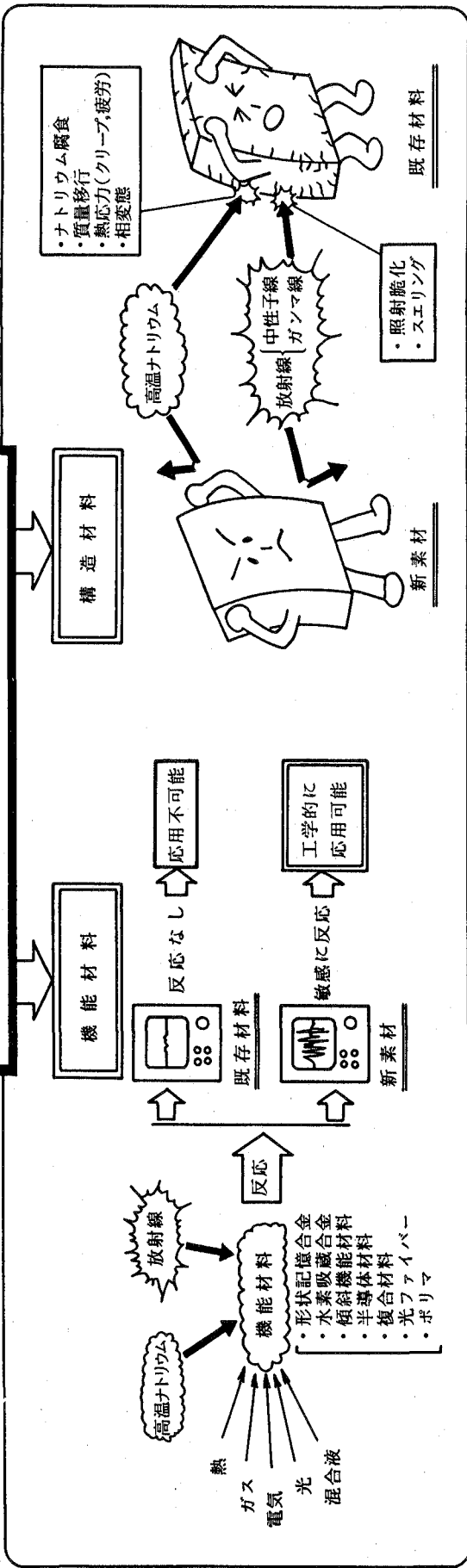


図2 フロンティア材料研究のフロー図

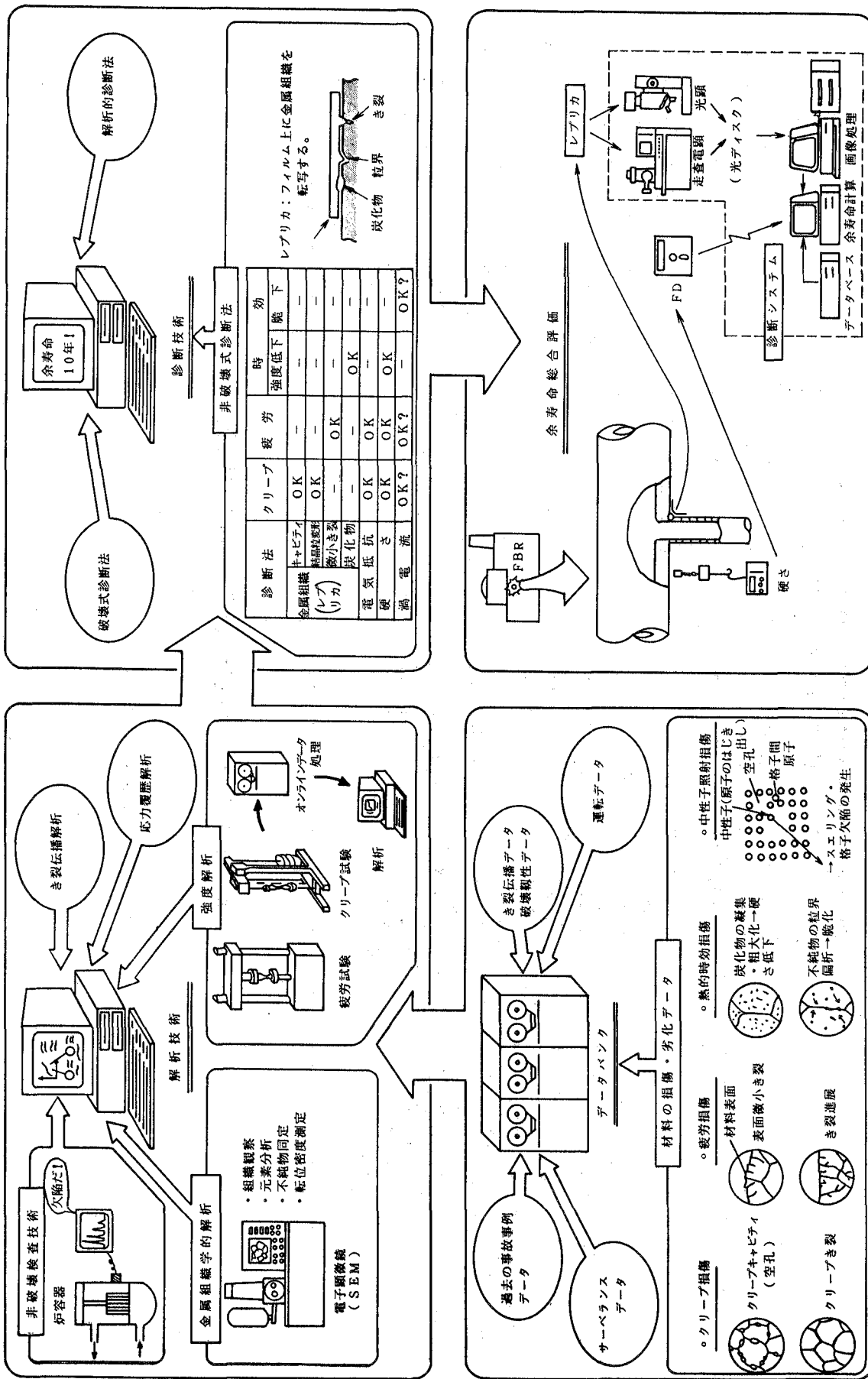
# 革新的新素材の創製

・ナトリウムによる表面化学反応の素過程のメカニズム解明  
 ・中性子による照射起表面化学反応の素過程のメカニズム解明



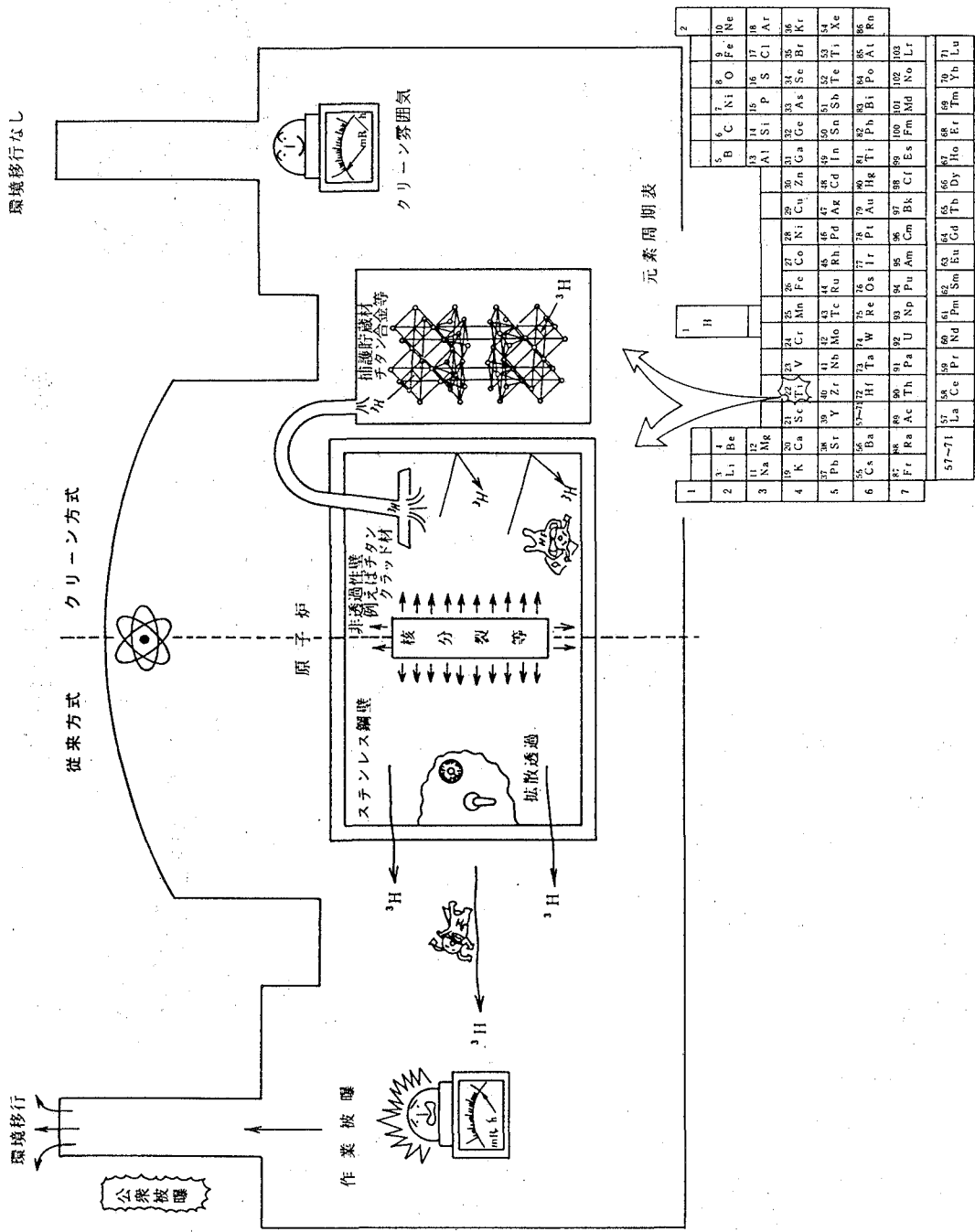
## I. 耐ナトリウム・耐放射線性新素材の開発

図3 フロンティア材料研究の概略図(1/7)



## II. FBR 構造材料の寿命・余寿命診断法の開発

図 3 フロンティア材料研究の概略図 (2/7)

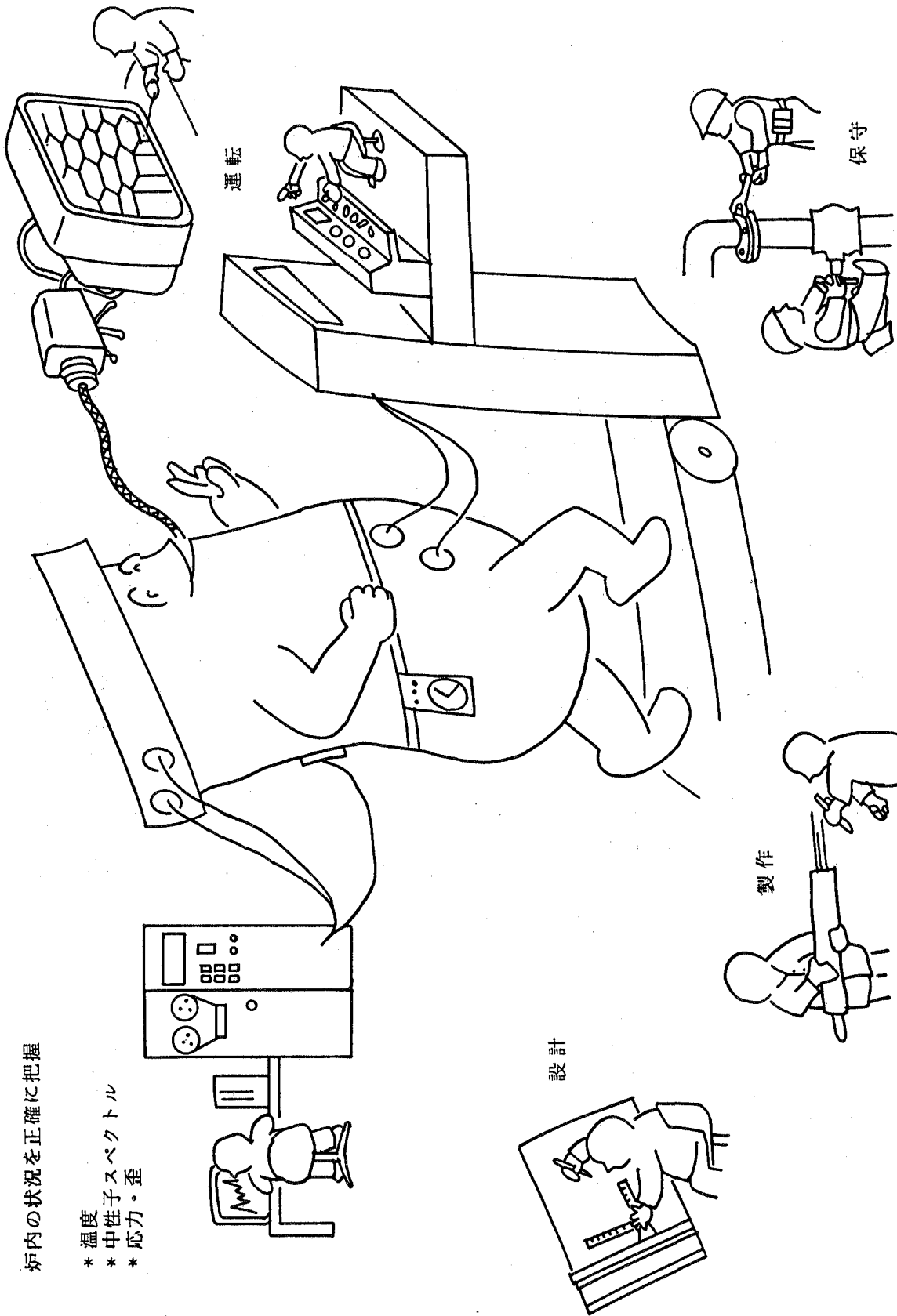


III. トリチウム・水素捕獲貯蔵並びに非透過性材料の開発

図3 フロンティア材料研究の概略図 ( 3 / 7 )

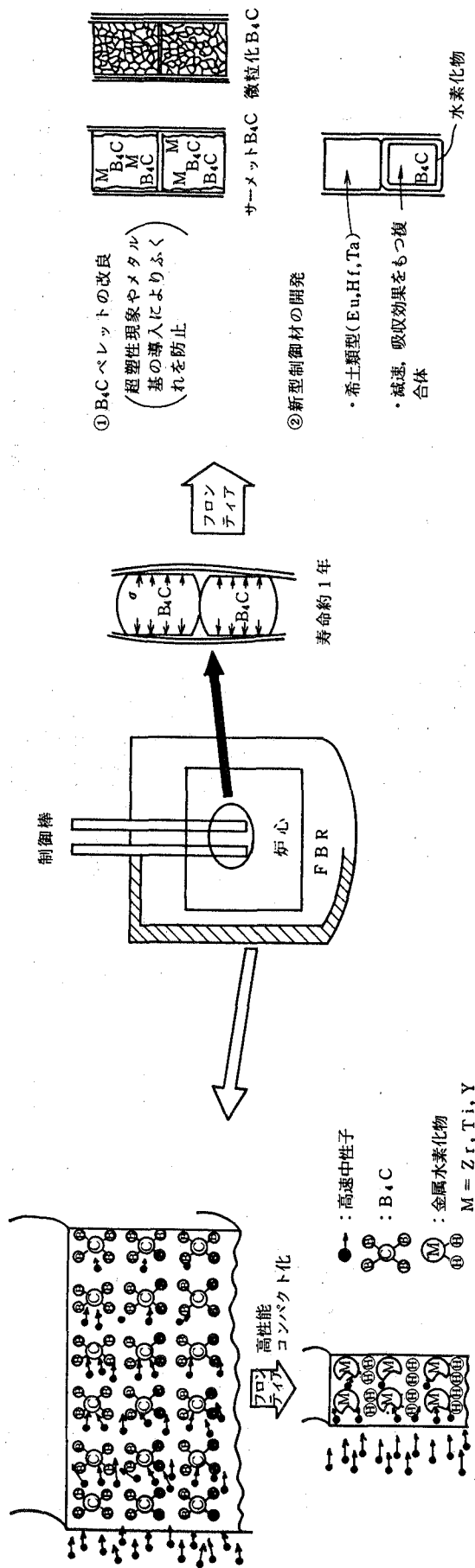
炉内の状況を正確に把握

- \* 温度
- \* 中性子スペクトル
- \* 応力・歪



#### IV. 原子炉内計装用材料の開発

図3 フロンティア材料研究の概略図(4/7)

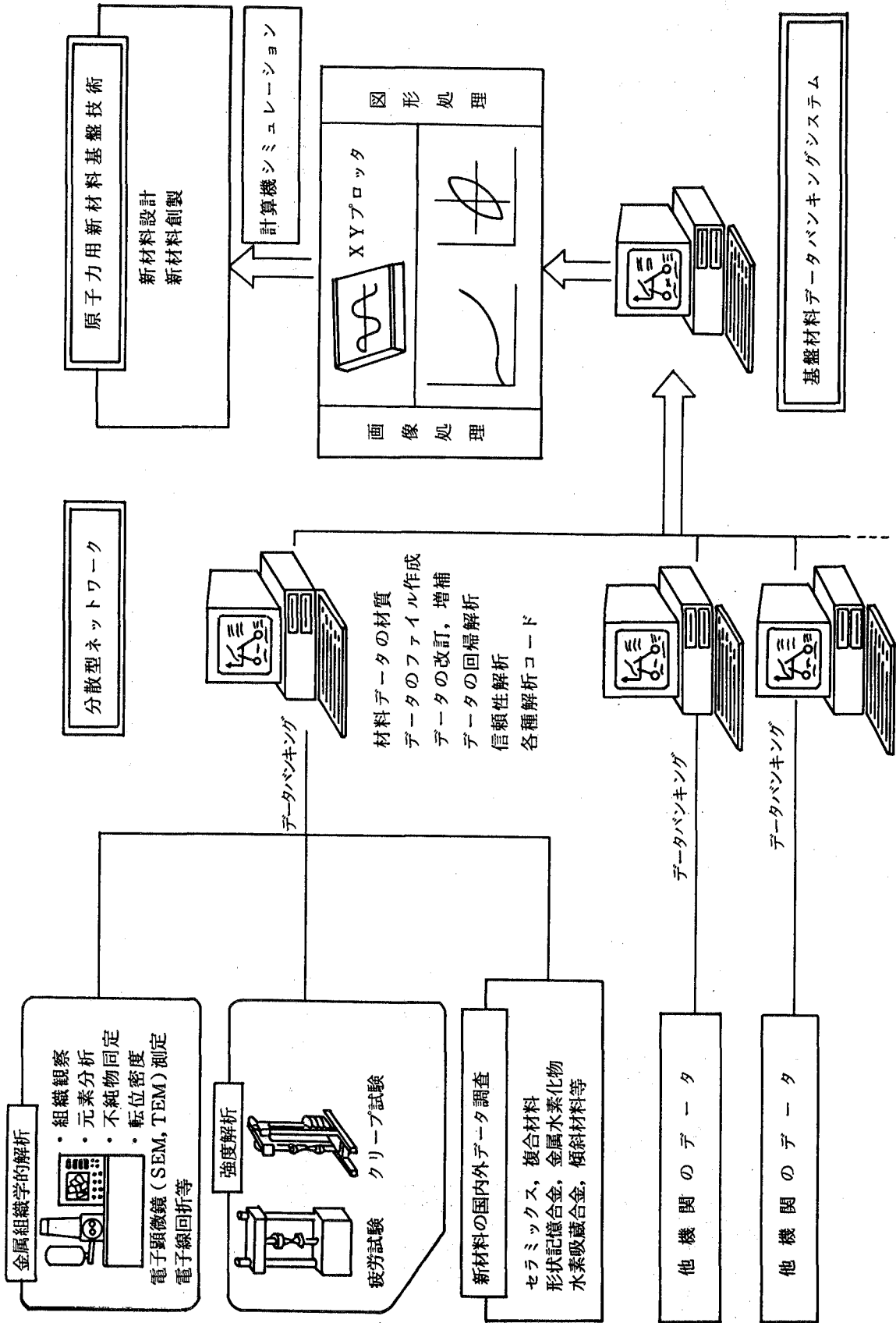


### V. 高性能遮蔽材の開発

### VI. 高性能制御材の開発

図3 フロンティア材料研究の概略図(5/7及び6/7)





Ⅶ. 基盤材料データベース開発に関する調査研究

図3 フロンティア材料研究の概略図(7/7)

表1 フロンティア材料研究の概要

| 研究テーマ                        | 開発目的      | 対象材料            | 担当課室                    |
|------------------------------|-----------|-----------------|-------------------------|
| I 耐ナトリウム性、耐放射線性新素材の開発        | 構造材料、機能材料 | セラミックス、複合材等     | ○材料室、照射課、ADS、MMS        |
| II FBR 構造材料の寿命・余寿命診断法の開発     | 寿命診断法     | 従来材             | ○材料室、技術課、ADS、MMS        |
| III トリチウム・水素捕獲貯蔵並びに非透過性材料の開発 | 捕獲材、非透過材  | 水素吸蔵合金等         | ○材料室                    |
| IV 原子炉内計装用材料の開発              | センサー材料    | 形状記憶合金等         | ○照射課、技術課、ADS、MMS<br>材料室 |
| V 高性能遮蔽材の開発 - 金属水素化物等の開発     | 遮蔽材       | 金属水素化物等         | ○ADS、MMS、材料室、照射課        |
| VI 高性能制御材の開発                 | 制御材       | ソフト化B,C,Eu 複合体等 | ○MMS、ADS、プラント室<br>照射課   |
| VII 基盤材料データベース開発に関する調査研究     | 材料データベース  | _____           | _____ (○印：主担当)          |

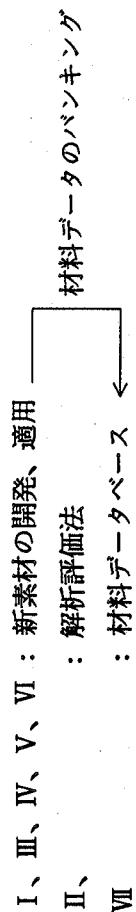


表2 フロンティア材料研究概要表(1/7)

|                       |  |  |               |
|-----------------------|--|--|---------------|
| 研究課題                  |  | I. 耐ナトリウム性、耐放射線性新素材の開発                 |               |
| 研究の目標領域<br>(科技庁による分類) | (1-1) (耐放射線性構造材料)<br>(4-1) 分析・解析技術   | (1-2) (耐放射線性機能材料)<br>(4-2) 信頼性・安全性評価技術 | (3) (原子力材料工学) |
| 研究分野                  | ① (金属系) ② (無機物質系) ③ (半導体系) ④ (有機・高分子系) ⑤ (その他、中性子照射試験、照射後試験)   |  |               |
| 研究希望課室                | 材料開発室, 燃料材料開発部, 実験炉部   |  |               |
| 研究目的(現状, 必要性)         | <p>FBRの性能を根本から改善し、飛躍的に向上させるためには、FBR使用環境に最適な新素材の創製が最も重要な解決方策の1つである。また、将来の原子力開発に資するため、新素材を創製するだけでなく、新素材開発の技術基盤を確立する必要がある。</p> <p>本研究は、相安定性、高温強度、耐ナトリウム性、耐放射線性に優れた新素材開発の技術基盤の確立を図るとともに、FBR使用環境に最適な構造材料及び機能材料として用いられる新素材を創製することを目的とする。</p>   |  |               |
| 研究目録                  | <p>(1) 最高600℃の流動ナトリウム中で腐食及び相変態等の化学的及び金属組織学的変化が生じないこと。<br/>                 (2) 最高<math>1 \times 10^{22}</math> n/cm<sup>2</sup>の中性子照射環境または、最高<math>1 \times 10^{16}</math> radのγ線照射環境に耐えること。<br/>                 (3) 最高600℃において、十分な機械的性質及び機能を有すること。<br/>                 (4) その他のFBR使用環境に耐えること。</p>   |  |               |
| 研究対象材料                | セラミックス、複合材料、形状記憶合金、水素吸蔵合金、アモルファス合金、7モル合金、磁性材料等   |  |               |
| 研究規模(予算)              | 昭和63年度 10,000千円  |  |               |
| 想定している研究方法            | <p>(1) 新素材に関する調査<br/>                 ① 新素材開発状況についての継続的情報収集<br/>                 ② 本研究への適用性についての検討<br/>                 (2) ナトリウム中及び放射線照射下材料スクリーニング試験並びに結果の評価<br/>                 ① 第1次スクリーニング試験並びに結果の評価<br/>                 ② 第2次スクリーニング試験及び新素材の創製<br/>                 (3) 材料設計及び新素材の創製<br/>                 (2)、(3)を繰り返し、素材をしぼり込む。<br/>                 (4) 実用化検討</p> |  |               |
| 研究スケジュール(年度)          | 63 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11   |  |               |
| 新素材に関する調査             | <p>新素材の開発状況に関する継続的情報収集<br/>                 適用性の検討<br/>                 第1次スクリーニング試験<br/>                 材料設計・創製<br/>                 スクリーニング試験<br/>                 材料設計・創製<br/>                 スクリーニング試験<br/>                 実用化検討</p>  |  |               |
| スクリーニング試験             | <p>スクリーニング試験<br/>                 スクリーニング試験<br/>                 スクリーニング試験<br/>                 スクリーニング試験</p>  |  |               |
| 実用化検討                 | <p>実用化検討<br/>                 実用化検討<br/>                 実用化検討</p>   |  |               |
|                       | <p>△: チェック&amp;レビュー</p>  |  |               |

表2 フロンティア材料研究概要表(2/7)

|                                      |   |   |
|--------------------------------------|---|---|
| <p>研究課題 II. FBR構造材料の寿命・余寿命診断法の開発</p> |   | <p>研究依頼担当者(○印:主担当) 加納茂機, 小山真弘, ○上野文義</p>  |
| <p>研究の目標領域<br/>(科技術による分類)</p>        | <p>(1-1) 耐放射線性構造材料 (1-2) 耐放射線性機能材料 (4-2) (信頼性・安全性評価技術)</p> <p>(2) 放射線低減化材料 (3) 原子力材料化学</p> <p>(4-1) (分析・解析技術)</p>   |   |
| <p>研究分野</p>                          | <p>① (金属系) ② 無機物質系 ③ 半導体系 ④ 有機・高分子系 ⑤ (その他, 中性子照射試験, 照射後試験)</p>   |   |
| <p>研究希望研究室<br/>材料開発室, 技術課</p>        | <p>研究規模(予算) 昭和63年度 10,000千円</p>   |   |
| <p>研究目的(現状, 必要性)</p>                 | <p>FBR実験炉「常陽」(設計寿命15年)が最初に設計寿命を迎えるため, この時期には運転継続の是非を判断するため, 寿命・余寿命診断を行う必要がある。また, FBR原型炉「もんじゅ」が1992年度に臨界達成後発電運転される予定であり, 運転効率の向上を図る上で, 合理的な運転・保守管理計画の作成が必要となる。</p> <p>本研究は, FBR使用環境における構造材料の寿命・余寿命診断法の技術基盤の確立を図るとともに, FBRの合理的な運転, 保守管理計画に反映することを目的とする。</p> |   |
| <p>研究目標</p>                          | <p>平成10年度までにFBR構造材料の寿命・余寿命診断技術を実用化し, 「常陽」及び「もんじゅ」の運転・保守管理計画に反映することを目標とする。研究対象となる材料は, FBR実機構造材, 及び「常陽」の実機材並びに「常陽」及び「もんじゅ」のサーベランス材とする。</p>  |   |
|                                      | <p>研究スケジュール(年度)</p>   | <p>63 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11</p>   |
| <p>材料劣化度データ整備<br/>診断法の調査</p>         | <p>現状技術調査<br/>適用性検討<br/>クリティカル機器・設備の選出・分類<br/>モニタリング・計測技術の開発<br/>信頼評価法の開発<br/>解析技術の高度化</p>  | <p>材料劣化度データ整備<br/>材料劣化度データ整備<br/>現状技術調査<br/>適用性検討<br/>クリティカル機器・設備の選出・分類<br/>モニタリング・計測技術の開発<br/>信頼評価法の開発<br/>解析技術の高度化<br/>寿命・余寿命診断法の確立</p> |
| <p>実用化研究</p>                         | <p>実用化研究</p>  | <p>△: チェック&amp;レビュー</p>   |
| <p>研究対象材料</p>                        | <p>FBR構造材料 (SUS304, SUS316, 2+Cr-1Mo, Mod.9Cr-1Mo等)</p>   |   |

表2 フロンティア材料研究概要表(3/7)

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 研究課題  |  | 研究依頼担当者(○印:主担当) ○加納茂機、上野文義  |  |
| 研究の目標領域<br>(科技庁による分類)   |  | (1-2) 耐放射線性機能材料<br>(4-2) 信頼性・安全性評価技術  |  |
| 研究分野  |  | ①(金属系) ②(無機物質系) ③半導体系 ④有機・高分子系 ⑤その他、中性子照射試験、照射後試験   |  |
| 研究希望課室  |  | 材料開発室   |  |
| 研究規模(予算)  |  | 63年度 1,069.5千円  |  |
| 研究目的(現状、必要性)  |  | 想定している研究方法  |  |
| <p>核分裂炉、核融合炉において発生するトリチウムは水素の同位体で、容易に鋼材中を拡散・透過するので、プラント全領域及び環境の汚染を引起す可能性がある。高速増殖発電炉の場合は、蒸気発生器の水側腐食で発生し、伝熱管壁を拡散してナトリウム冷却材中に移行する発生期の拡散性水素と密接に関連した挙動を示し、水素と共にコールドトラップに蓄積する。このためコールドトラップの運転寿命は水素化物の蓄積により決定される「もんじゃ」の場合、約3年で交換する必要があるとされている。しかもこれは長半減期の放射能であるトリチウムにより汚染されているので、大量の放射性廃棄物の発生をもたらすことになる。</p> <p>そこで、①水素、トリチウムの化学的特性を活用して、水素同位体を単独で分別できる捕獲貯蔵材、並びに②ナトリウム及び高温水・蒸気中で、水素の発生が少なく、高い耐食性を有し、水素・トリチウムに対し非透過性の構造材料、又は長期間の廃棄物容器壁を、現在発塵しつつある新材料、高度複合技術を駆使して開発を進める必要がある。これらはシステム並びにベリアでのトリチウム、水素挙動現象の解明に基づきながら進める必要がある。これ等の研究開発により、トリチウム汚染拡大防止とコールドトラップ寿命を飛躍的に延ばし、運転安全性の向上とコスト低減をもたらすことができる。</p> <p>なお、本研究は核融合炉等におけるトリチウム制御及び汚染防止にも役立つ基礎技術としての波及効果が期待できる。</p> |  | <p>外部機関との交流を含めた研究を行う。</p> <p>(1) トリチウム・水素捕獲貯蔵並びに非透過性新素材及び捕獲貯蔵法の調査<br/>(2) システムとベリアでのトリチウム・水素挙動の解明及び解析コードの開発<br/>(3) 低濃度トリチウムモニタリング測定システムの開発<br/>(4) ナトリウムと高温水・蒸気中材料スクリーニング試験<br/>(5) 新材料設計及び新素材の創製<br/>(6) 捕獲貯蔵並びに非透過性システムの設計検討<br/>(7) 実用化検討</p> |  |
| 研究目標  |  | 研究スケジュール(年度)  |  |
| <p>(1) 高温ナトリウム中及び高温水・蒸気中で腐食、水素発生及び相変態等が生じないこと。<br/>(2) 高温ナトリウム中から高効率、高容量でトリチウム、水素を捕獲貯蔵できること。<br/>(3) 高温ナトリウムと高温水・蒸気中で水素、トリチウムに対し優れた非透過性を有すること。<br/>(4) 放射性廃棄物を極力少なくできること。</p>   |  | <p>63 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11</p> <p>← 素材調査<br/>予備試験<br/>システム概念設計</p> <p>← 水素挙動の解明と解析コード<br/>整備トリチウムモニタリング測定システム開発<br/>新素材設計・創製<br/>捕獲貯蔵及び抑制システムの<br/>ファイブビリティスタディ</p> <p>← 長時間試験<br/>システムの総合<br/>評価<br/>(簡尺モデル)</p>                              |  |
| 研究対象材料  |  | 基本設計  |  |
| 水素酸化物合金等  |  | 素材スクリーニング試験   |  |
|   |  | 実用化検討   |  |
|   |  | △: チェックアンドレビュー  |  |

表2 フロンティア材料研究概要表(4/7)

| <b>研究課題</b> IV. 原子炉内計装用材料の開発<br>(1-1) 耐放射線性構造材料 (1-2) (耐放射線性機能材料)<br>(4-1) 分析・解析技術 (4-2) 信頼性・安全性評価技術<br>(4-3) データベース   |                | 研究依頼担当者(○印: 担当) ○小山真弘, 森川 智<br>(3) 原子力材料化学  |                           |                     |                      |             |   |   |   |   |           |       |               |             |              |              |      |         |      |    |               |             |              |      |            |        |               |             |              |              |      |             |                |      |                     |                     |                     |      |             |           |           |                           |              |                      |             |
|--|----------------|---|---------------------------|---------------------|----------------------|-------------|---|---|---|---|-----------|-------|---------------|-------------|--------------|--------------|------|---------|------|----|---------------|-------------|--------------|------|------------|--------|---------------|-------------|--------------|--------------|------|-------------|----------------|------|---------------------|---------------------|---------------------|------|-------------|-----------|-----------|---------------------------|--------------|----------------------|-------------|
| <b>研究分野</b> ① (金属系) ② (無機物質系) ③ 半導体系 ④ 有機・高分子系 ⑤ (その他, 中性子照射試験, 照射後試験)   |                |   |                           |                     |                      |             |   |   |   |   |           |       |               |             |              |              |      |         |      |    |               |             |              |      |            |        |               |             |              |              |      |             |                |      |                     |                     |                     |      |             |           |           |                           |              |                      |             |
| <b>研究希望課室</b> 実験炉部照射課, 技術課, 燃材部A.D.S, M.M.S, 開発部材料開発室  |                | 研究規模(予算) 63年度 25,000千円  |                           |                     |                      |             |   |   |   |   |           |       |               |             |              |              |      |         |      |    |               |             |              |      |            |        |               |             |              |              |      |             |                |      |                     |                     |                     |      |             |           |           |                           |              |                      |             |
| <b>研究目的(現状, 必要性)</b><br>炉内の状況を把握するには, 高性能の計装材料(センサー材料)の利用が必要であるが, 高速炉内は高速中性子束, 高温, ナトリウムという過酷な条件下となるため, その性状(測定精度, 感度, 耐久性, 機能等)を長期間保持する計装材料は現在のところ無い。<br>そこで, 高速炉内においても長期間, 計装材料としての性能を劣化させない(あるいはその性状が向上する)計装材料の開発を行う必要がある。<br>開発対象とする原子炉内計装材料としては以下のものが挙げられる。<br>(1) 歪測定材<br>(2) 超高温用熱電対<br>(3) オフライン温度モニター<br>(4) 中性子束測定用センサー<br>(5) オフライン荷重センサー |                | 想定している研究方法及びスケジュール<br><table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>63</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>歪測定差動トランス</td> <td>調査・選定</td> <td>炉外評価試験<br/>C&amp;R</td> <td>照射試験<br/>C&amp;R</td> <td>照射後試験<br/>C&amp;R</td> <td>照射後試験<br/>C&amp;R</td> <td>炉内使用</td> </tr> <tr> <td>超高温用熱電対</td> <td>材質調査</td> <td>試作</td> <td>炉外評価試験<br/>C&amp;R</td> <td>照射試験<br/>C&amp;R</td> <td>照射後試験<br/>C&amp;R</td> <td>炉内使用</td> </tr> <tr> <td>形状記憶合金モーター</td> <td>調査予備試験</td> <td>炉外評価試験<br/>C&amp;R</td> <td>照射試験<br/>C&amp;R</td> <td>照射後試験<br/>C&amp;R</td> <td>照射後試験<br/>C&amp;R</td> <td>炉内使用</td> </tr> <tr> <td>中性子束測定用センサー</td> <td>センサー・チップの選定・試作</td> <td>照射試験</td> <td>照射試験<br/>特性試験<br/>C&amp;R</td> <td>照射試験<br/>特性試験<br/>C&amp;R</td> <td>照射試験<br/>特性試験<br/>C&amp;R</td> <td>炉内使用</td> </tr> <tr> <td>オフライン荷重センサー</td> <td>調査, 選定の試作</td> <td>He分析装置の試作</td> <td>He分析装置の試作<br/>測定システム<br/>製作</td> <td>測定システム<br/>製作</td> <td>照射試験<br/>炉内試験<br/>炉内試験</td> <td>炉内試験の<br/>評価</td> </tr> </tbody> </table> |                           |                     | 63                   | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 | 歪測定差動トランス | 調査・選定 | 炉外評価試験<br>C&R | 照射試験<br>C&R | 照射後試験<br>C&R | 照射後試験<br>C&R | 炉内使用 | 超高温用熱電対 | 材質調査 | 試作 | 炉外評価試験<br>C&R | 照射試験<br>C&R | 照射後試験<br>C&R | 炉内使用 | 形状記憶合金モーター | 調査予備試験 | 炉外評価試験<br>C&R | 照射試験<br>C&R | 照射後試験<br>C&R | 照射後試験<br>C&R | 炉内使用 | 中性子束測定用センサー | センサー・チップの選定・試作 | 照射試験 | 照射試験<br>特性試験<br>C&R | 照射試験<br>特性試験<br>C&R | 照射試験<br>特性試験<br>C&R | 炉内使用 | オフライン荷重センサー | 調査, 選定の試作 | He分析装置の試作 | He分析装置の試作<br>測定システム<br>製作 | 測定システム<br>製作 | 照射試験<br>炉内試験<br>炉内試験 | 炉内試験の<br>評価 |
|  | 63             | 1   | 2                         | 3                   | 4                    | 5           |   |   |   |   |           |       |               |             |              |              |      |         |      |    |               |             |              |      |            |        |               |             |              |              |      |             |                |      |                     |                     |                     |      |             |           |           |                           |              |                      |             |
| 歪測定差動トランス  | 調査・選定          | 炉外評価試験<br>C&R   | 照射試験<br>C&R               | 照射後試験<br>C&R        | 照射後試験<br>C&R         | 炉内使用        |   |   |   |   |           |       |               |             |              |              |      |         |      |    |               |             |              |      |            |        |               |             |              |              |      |             |                |      |                     |                     |                     |      |             |           |           |                           |              |                      |             |
| 超高温用熱電対  | 材質調査           | 試作  | 炉外評価試験<br>C&R             | 照射試験<br>C&R         | 照射後試験<br>C&R         | 炉内使用        |   |   |   |   |           |       |               |             |              |              |      |         |      |    |               |             |              |      |            |        |               |             |              |              |      |             |                |      |                     |                     |                     |      |             |           |           |                           |              |                      |             |
| 形状記憶合金モーター   | 調査予備試験         | 炉外評価試験<br>C&R   | 照射試験<br>C&R               | 照射後試験<br>C&R        | 照射後試験<br>C&R         | 炉内使用        |   |   |   |   |           |       |               |             |              |              |      |         |      |    |               |             |              |      |            |        |               |             |              |              |      |             |                |      |                     |                     |                     |      |             |           |           |                           |              |                      |             |
| 中性子束測定用センサー  | センサー・チップの選定・試作 | 照射試験  | 照射試験<br>特性試験<br>C&R       | 照射試験<br>特性試験<br>C&R | 照射試験<br>特性試験<br>C&R  | 炉内使用        |   |   |   |   |           |       |               |             |              |              |      |         |      |    |               |             |              |      |            |        |               |             |              |              |      |             |                |      |                     |                     |                     |      |             |           |           |                           |              |                      |             |
| オフライン荷重センサー  | 調査, 選定の試作      | He分析装置の試作   | He分析装置の試作<br>測定システム<br>製作 | 測定システム<br>製作        | 照射試験<br>炉内試験<br>炉内試験 | 炉内試験の<br>評価 |   |   |   |   |           |       |               |             |              |              |      |         |      |    |               |             |              |      |            |        |               |             |              |              |      |             |                |      |                     |                     |                     |      |             |           |           |                           |              |                      |             |
| <b>研究目標</b><br>(1) 歪測定差動トランス: 炉内長時間使用上のドリフト5%以内, 直径10φ, 長さ100±mm以下の小型化<br>(2) 超高温用熱電対: 精度±1%以内, 2000~2700°C×200h以上使用可能<br>(3) 形状記憶合金温度モニター: 精度±5%以内, 370~700°C使用可能<br>(4) 中性子束測定用センサー: 中性子エネルギー10 <sup>4</sup> ~10 <sup>7</sup> MeV, 照射量3×10 <sup>23</sup> n/cm <sup>2</sup> 測定可能<br>(5) オフライン荷重センサー: 精度±10%以内, 370~700°C使用可能                        |                | 研究対象材料 改良W-Re系熱電対, 形状記憶合金, スチレン系系熱結体金属等   |                           |                     |                      |             |   |   |   |   |           |       |               |             |              |              |      |         |      |    |               |             |              |      |            |        |               |             |              |              |      |             |                |      |                     |                     |                     |      |             |           |           |                           |              |                      |             |

表2 フロンティア材料研究概要表(5/7)

|  |  |
|--|--|
| <p>研究課題 V. 高性能遮蔽材の開発 - 金属水素化物等の開発</p>  | <p>研究依頼担当者(○印:主担当) 小山貞弘, ○野村茂雄</p>   |
| <p>研究の目標領域<br/>(科技術による分類)</p>  | <p>(1-1) 耐放射線性構造材料 (2) 放射線低減化材料 (3) 原子力材料化学<br/>(4-1) 分析・解析技術 (4-2) 信頼性・安全性評価技術 (4-3) データベース</p>   |
| <p>研究分野 ①(金属系) ②(無機物質系) ③半導体系 ④有機・高分子系 ⑤その他, 中性子照射試験, 照射後試験</p>  |  |
| <p>研究希望課室 燃料部ADS, 燃料部プラント工学室, 開発部材料開発室, 実験炉部照射課</p>  |  |
| <p>研究目的(現状, 必要性)</p>   | <p>研究規模(予算) 63年度 10,000千円(照射リブ開発を含む)</p>   |
| <p>FRBR炉心のコンパクト化を図り経済性を飛躍的に向上させるために, 従来のステンレス系中性子遮蔽体に代わる高性能遮蔽体を開発する。中性子減速効果にすぐれた材料として, 金属水素化物がある。金属水素化物とくにZrH<sub>2</sub>の炉心領域に近接した場合の中性子の減速効果は, 金属水素化物が格段にすぐれているとする解析効果が得られている。<br/>そこで本研究は, 高温で安定な革新的金属水素化物等及びそれらを含むバリアー材を創製し, 大型炉や各種新型原子炉の遮蔽体に適用することを目的とする。</p> | <p>想定している研究方法</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 金属系水素化物の開発<br/>各種金属系水素化物Zr-H, Ti-H, 希土類-H系及びそれらの合金系について, 水素の解離圧を主体にサーベイし, 有望な水素化物についてはベレットを試作し, 炉外評価試験を実施する。</li> <li>2. バリアー材の開発<br/>解離水素の冷却材への放出を防止するため, 黒鉛, 金属, セラミックス系のバリアー材を調査すると共に, 候補材の水素透過試験等により, 高性能バリアー材を開発する。</li> <li>3. 革新的セラミックス複合系金属水素化物の開発<br/>水素の多層バリアー材を含むニューセラミックス複合系金属水素化物等の設計, 試作, 炉外評価を行い, 高温で超安定な高性能水素化物系遮蔽体を開発する。<br/>上記1~3にて試作開発された有望材料は, 「常備」にて性能を評価し, 実用化をめざす。</li> </ol> |
| <p>研究目標</p>  | <p>創製すべき金属水素化物等は, 次の条件で使用可能なものを目標とする。<br/>         ・最高使用温度 700℃<br/>         ・最大中性子照射量 10<sup>22</sup> n/cm<sup>2</sup>(全エネルギー)<br/>         ・最高使用期間 30年</p>   |
| <p>研究対象材料 各種金属系水素化物, セラミックス複合系水素化物</p>   | <p>研究スケジュール(年度) 63 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11</p>   |

表2 フロンティア材料研究概要表(6/7)

|                                 |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---------------------------------|--|--|--|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| <p>研究課題 Ⅴ. 高性能制御材の開発</p>        |  | <p>研究依頼担当者(○印:主担当) 小山真弘, 森川 智, ○野村茂雄</p>   |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| <p>研究の目標領域 (科知行による分類)</p>       | <p>(1-1) 耐放射線性構造材料 (4-1) 分析・解析技術</p>   | <p>(1-2) (耐放射線性機能材料) (4-2) 信頼性・安全性評価技術</p> | <p>(2) 放射線低減化材料 (3) 原子力材料化学 (4-3) テータベース</p> |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| <p>研究分野</p>                     | <p>① (金属系) ② (無機物質系) ③ 半導体系 ④ 有機・高分子系 ⑤ その他, 中性子照射試験, 照射後試験</p>  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| <p>研究希望課室</p>                   | <p>燃料部ADS, MMS, 技開部プラント工学室, 実験炉部照射課</p>  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| <p>研究目的 (現状, 必要性)</p>           | <p>高速増殖炉の制御材の寿命は, B<sub>4</sub>C制御材(吸収材)のエネリジック及び制御棒要素内圧の増加により制限され, 現状約1年と短い。制御材の大幅な寿命延長を図り, 高速炉の経済性を飛躍的に向上させるためには, 新しいタイプの制御材を創製する必要がある。そこで本研究では照射動起表面化学反応の素過程についてのメカニズムの解析を通じ, 従来のB<sub>4</sub>C制御材の改良を行うとともに, 吸収材として有望な希土類元素及び化合物, さらに複合制御材等の全く新しい高性能制御材の開発を実施する。</p>   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| <p>研究目標</p>                     | <p>中性子照射量: <math>2.3 \times 10^{23}</math> n/cm<sup>2</sup>, 被覆管温度: 約650°C, 使用期間: 約4年以上を想定し, とくに高速中性子吸収断面積が現用B<sub>4</sub>C程度に大きく,<br/>         ・反底度値の低下が少なく, 長寿命化が期待でき,<br/>         ・炉内条件下において寸法変動が少なく, 長期間安定(耐エネリジック性, 高性)な特性を持つ革新的制御材を創製することにより, 高速炉とくに制御棒の寿命を大幅に延長することをめざす。</p>                                       |  |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| <p>研究対象材料</p>                   | <p>改良型B<sub>4</sub>C, 希土類元素, その他複合型吸収材</p>   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| <p>研究規模 (予算)</p>                | <p>63年度 10,000千円(照射リグ開発を含む)</p>  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| <p>想定している研究方法</p>               | <p>1. B<sub>4</sub>Cペレットの改良(現用B<sub>4</sub>Cのソフト化を行い, ペレットのクリープ現象によりACMI応力が容易に緩和できるようにする)。<br/>         1) 微結晶化B<sub>4</sub>Cペレットの開発<br/>         2) サーマットB<sub>4</sub>Cペレットの開発<br/>         2. 新型制御材の開発(Eu, Hf, Taさらには各種複合体等の新型制御材を選定し, 試作, 炉外評価を行う) 上記1, 2で得られた有望試作材については, 「常機」における材料照射試験を実施し, 照射下での特性を確認し, 実用化をめざす。</p> |  |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| <p>研究スケジュール(年度)</p>             | 63   | 1  | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| <p>1. B<sub>4</sub>Cペレットの改良</p> | <p>設計・試作・炉外評価</p>  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| <p>2. 新型制御材の開発</p>              | <p>調査・設計・試作・炉外評価</p>   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| <p>3. 照射試験</p>                  | <p>実用化検討</p>   |  |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| <p>4. 総合評価</p>                  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |



表 2 フロンティア材料研究概要表 ( 7 / 7 )

|                       |  |  |
|-----------------------|--|--|
| 研究課題                  | Ⅴ. 基礎材料データベース開発に関する調査研究<br>研究依頼担当者 (○印: 主担当) ○加納茂徳, 森田 進 (技術管理室)   |  |
| 研究の目標領域<br>(科知行による分類) | (1-1) 耐放射線性構造材料<br>(4-1) 分析・解析技術   | (2) 耐放射線性機能材料<br>(3) 原子力材料化学<br>(4-3) (データベース) |
| 研究分野                  | ① 金属系<br>② 無機物質系<br>③ 半導体系<br>④ 有機・高分子系<br>⑤ その他, 中性子照射試験, 照射後試験   |  |
| 研究希望課室<br>(株)テクノバへの委託 | 研究規模 ( 予算 ) 6.3年度 3,000千円  |  |
| 研究目的 (現状, 必要性)        | 想定している研究方法<br>(株)テクノバへの委託(2年間)により委員会を構成し, データベースの基本概念を構築する。引続いて基本概念に基づきデータベースシステムを整備する。<br>委員会構成<br>主査 岩田東大助教授<br>メンバー 原研, 金材技研, 日本科学技術情報センター, 東大, 新日鉄, 動燃<br>オブザーバ 科知行技研課<br>事務局 (株)テクノバ<br>研究項目: 対象とするデータの調査<br>データベースのデータモデルの検討<br>データベースの活用による付加価値生成の検討<br>今後の開発上の課題の明確化 |  |
| 研究目標                  | フロンティア材料研究課題により得られた成果をデータベース化し, 新材料設計等材料基盤技術の効率的推進に役立てるため, データベースの基本概念を委員会で構築する。   |  |
| 研究対象材料                | 研究スケジュール (年度) 63 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11<br>基本概念の構築, 整備の方向<br>データベースシステムの整備  |  |

## 1. 耐ナトリウム性、耐放射線性新素材の開発

### その1 耐ナトリウム性セラミックス機能材料の開発

(材料開発室)

#### 1. 実施担当部課室および担当者

機器構造開発部 材料開発室 萩 茂樹、上野文義

#### 2. 依頼元および担当者 (○印：主担当者)

フロンティア材料研究グループ 加納茂機、森川 智、○上野文義

#### 3. 研究目的

本研究は、相安定性、高温強度、耐ナトリウム性および耐放射線性に優れた新素材開発の技術基盤の確立を図るとともに、FBRの使用環境に最適な構造材料および機能材料(炉心材料を除く)として用いられる新素材を創製することを目的とする。

その第1段階として、最初の3年間はセラミックス機能材料を対象として、耐熱性、耐熱衝撃性、ナトリウム共存性およびトライボロジ特性(耐摩耗、低摩擦、耐自己融着)に優れたセラミックスを開発することを目的とする。なお、耐放射線性については平成2年度以降に検討する。対象となるセラミックスは、窒化珪素、ジルコニア、炭化珪素、サイアロンおよびサーメット(セラミックス-金属複合材料)等とする。

また、炉容器および配管等を対象とするセラミックス構造材料を開発することを目的として、上記性質のほか、機械的性質も具備したセラミックスの開発にも着手する。

#### 4. 研究目標

セラミックス機能材料については、平成2年度までに、既存の入手可能なセラミックスを対象として、耐熱性、耐熱衝撃性、ナトリウム共存性およびトライボロジ特性について試験を実施し、その適用性を明らかにすることを目標とする。適用性の検討方法としては、上記試験によって生じるセラミックスの組織変化、ナトリウム腐食、寸法変化および亀裂発生等の材質変化および機能劣化の有無についての詳細な解析を行い、その結果を基に検討することとする。解析の結果から、適用可能と判断されるものについては、化学的組成および組織等について、改良の方向性を明らかにし、改良を施したセラミックスを新たに創製する。

一方、セラミックス構造材料については、平成2年度までに、既存の入手可能なセラミックスを対象とした大気中強度試験に基づくスクリーニング試験を実施し、構造材料として適用可能なものを選出することを目標とする。

## 5. 研究課題

昭和63～平成2年度の研究課題を以下に示す。

### ① セラミックス機能材料の開発

(1) 新素材（特にセラミックス）についての情報収集および整理

(2) ナトリウム中浸漬試験

a. 耐熱性およびナトリウム共存性試験

b. 耐熱衝撃性試験

(3) 材質変化機構の検討

(4) 材料設計および創製

### ② セラミックス構造材料の開発

(1) セラミックスの大気中強度試験方法の調査

(2) スクリーニング試験

(3) 破壊機構の検討

## 6. 研究内容および方法

### ① セラミックス機能材料の開発

(1) 新素材（特にセラミックス）についての情報収集および整理

現在開発されている新素材の性能および機能等のデータを収集、整理するとともに、開発または販売機関とその担当者を調査し、整理する。

(2) ナトリウム中浸漬試験

(1)の調査結果から、耐熱性および耐熱衝撃性の観点から熱遮蔽材等への適用が可能と判断されるセラミックス、例えば窒化珪素、炭化珪素、ジルコニア、サイアロンおよびサーメット等を対象に、ナトリウム中浸漬試験を実施する。これにより、耐熱性、耐熱衝撃性およびナトリウム共存性を検討する。

a. 耐熱性およびナトリウム共存性試験

浸漬ポットを用いて、下記の試験条件にてセラミックスをナトリウムに浸漬する。

浸漬温度：550、600、650℃

浸漬時間：1000、5000時間

## b. 耐熱衝撃性試験

浸漬ポットを用いて、下記の試験条件にてセラミックスを浸漬する。浸漬にあたっては、試験片に温度勾配が生じるようにする。詳細な試験方法は別途検討する。

浸漬温度：550、600、650℃

浸漬時間：10～100時間

### (3) 材質変化機構の検討

(2)の結果、セラミックスに生じた材質変化（熱時効、組織変化、ナトリウム腐食、表面性状の変化、析出物および介在物の生成、減肉および変形等の寸法変化、重量変化、硬さ変化、元素偏析、亀裂発生等）の有無を光学顕微鏡、SEM、EDSおよびSTEM等を用いて解析する。得られた結果から、上記の材質変化の発生機構、およびその結果生じるセラミックスの機能劣化の有無または機構を検討する。

またその結果から、試験対象のセラミックスが熱遮蔽材等に適用可能かどうかを判断し、化学的組成および組織等の改良によって適用できると判断された場合は、その具体的方策を明らかにする。また、現状のセラミックスのまま適用できると判断された場合は実用化検討を行う。

### (4) 材料設計および創製

(3)の結果を踏まえ、材料メーカー等への委託または共同研究により、改良を施した新たなセラミックスを設計および創製する。

## ② セラミックス構造材料の開発

### (1) セラミックスの大気中強度試験方法の調査

現在さまざまな研究機関において実施されているセラミックスの大気中での機械的性質の試験方法、特に強度試験方法について調査する。また、同時に試験片の加工方法についても調査する。

### (2) スクリーニング試験

(1)で調査された方法のうち、最適な試験方法を選定し、高温強度ならびにナトリウム共存性に優れているセラミックスを対象に大気中強度試験を実施し、セラミックス構造材料としての適用可能性をスクリーニングする。

試験項目：引張試験、衝撃試験および硬さ試験

試験条件：500～600℃の試験温度とし、他の試験条件は調査結果に基づいて、別途決定する。

(3) 破壊機構の検討

また、(2)の試験後、破断した試験片を採取し、破面、断面およびその近傍をSEM等により観察し、破壊に至る機構を検討する。

7. 研究スケジュール

| 項目                             | 昭和63年度 | 平成元年度 | 平成2年度 |
|--------------------------------|--------|-------|-------|
| <u>①セラミックス機能材料の開発</u>          |        |       |       |
| (1)新素材(特にセラミックス)についての情報収集および整理 | ○ — ○  |       |       |
| (2)ナトリウム中浸漬試験                  |        |       |       |
| a. 耐熱性およびナトリウム共存性試験            | ○ — ○  |       |       |
| b. 耐熱衝撃性試験                     |        | ○ — ○ |       |
| (3)材質変化機構の検討                   |        | ○ — ○ |       |
| (4)材料設計および創製                   |        |       | ○ — ○ |
| <u>②セラミックス構造材料の開発</u>          |        |       |       |
| (1)セラミックスの大気中強度試験方法の調査         | ○ — ○  |       |       |
| (2)スクリーニング試験                   |        | ○ — ○ |       |
| (3)破壊機構の検討                     |        |       | ○ — ○ |

## II. FBR 構造材料の寿命・余寿命診断法の開発

その1 クリティカル機器・設備の選出・分類と金属組織学的損傷の検討

(材料開発室)

### 1. 実施担当部課室および担当者

機器構造開発部 材料開発室 萩 茂樹、上野文義

実験炉部技術課 沢田 誠 (ただし、クリティカル機器・設備の選出・  
分類のみ)

### 2. 依頼元および担当者 (○印：主担当者)

フロンティア材料研究グループ 加納茂機、小山真弘、○上野文義

### 3. 研究目的

本研究は、FBRの使用環境における構造材料の寿命・余寿命診断法の技術基盤の確立を図るとともに、FBRの合理的運転・保守管理計画に反映することを目的とする。

その第1段階として、最初の3年間は、FBRの寿命・余寿命を診断する上で最も重要となるクリティカル機器・設備を選出・分類し、FBRの寿命・余寿命診断の対象となるプラントの重要部位を明らかにすることを目的とする。また、FBRプラントの運転中に構造材料中に生じるクリープおよびクリープ疲労損傷を金属組織学的かつ定量的に把握することにより、従来行われてきた力学的解析による損傷量と金属組織学的解析による損傷量とを相関づけることを目的とする。

### 4. 研究目標

平成2年度までに、「常陽」を対象に寿命・余寿命診断上最も重要となるクリティカル機器・設備を、その運転経験に基づき、選出・分類することを目標とする。また、FBRの運転条件に起因する構造材料のクリープおよびクリープ疲労損傷について、金属組織学的に検討を行い、損傷を定量化することを目標とする。

### 5. 研究課題

昭和63～平成2年度の研究課題を以下に示す。

- (1) 現状の診断技術の調査
- (2) クリティカル機器・設備の選出・分類
- (3) クリープおよびクリープ疲労損傷の金属組織学的検討

## 6. 研究内容および方法

### (1) 現状の診断技術の調査

火力および軽水炉プラント等で実施されている寿命・余寿命診断技術の研究開発の現状を調査する。その際、個々の診断方法（非破壊検査方法または計測方法）の特徴、実機への適用例または適用可能性、得られるデータおよび精度を明らかにする。

### (2) クリティカル機器・設備の選出・分類

高速実験炉「常陽」における機器・設備を対象に、構造強度上厳しいと想定されるクリティカル機器・設備の選出・分類を行い、非破壊モニタリング・計測技術の開発等に供する。クリティカル機器・設備を選出するにあたっては、構造上の特徴を踏まえるとともに、「常陽」のこれまでの運転経験から考えられる応力・ひずみ履歴効果、熱履歴効果、照射履歴効果およびナトリウム環境効果等について調査を行い、プラントの寿命・余寿命を支配する機器・設備の選定を行うものとする。

### (3) クリープおよびクリープ疲労損傷の金属組織学的検討

基本計画書中5.(4)項「長時間使用機器・材料の劣化度データの整備」の一環として、FBR構造材料の使用中に発生する材料の損傷機構を金属組織学的に解明することに着手する。まず、クリープおよびクリープ疲労試験（長時間クリープ疲労試験を含む）を実施し、破断に至る途中段階に材料中にどのような損傷が生じているかを詳細に解析する。解析を行う際には、光学顕微鏡、SEM、EDS、STEM等を用いて金属組織学的な損傷量（例えば、粒界変形量、析出物・介在物の生成量、ボイドの生成量等）を可能な限り定量化する。これを用いて、金属組織学的データと力学的データとの相関づけを行い、金属組織学的現象と力学的データとの因果関係を明らかにする。

対象材料：SUS304

試験条件：大気中、500～650℃

詳細な試験条件については別途決定する。

また、試験済みの試験片も利用する。

さらに、「常陽」サーベランス試験片による解析も行う。

7. 研究スケジュール

| 項 目                         | 昭和63年度  | 平成元年度   | 平成2年度 |
|-----------------------------|---------|---------|-------|
| (1)現状の診断技術の調査               | ○ ——— ○ |         |       |
| (2)クリティカル機器・設備の選出・分類        | ○ ———   | ————— ○ |       |
| a. 熱履歴効果調査                  | ○ ——— ○ |         |       |
| b. 照射履歴効果調査                 | ○       | ○ ——— ○ |       |
| c. ナトリウム環境効果等調査             | ○       | ○ ——— ○ |       |
| d. 総合評価                     |         | ○ ——— ○ |       |
| (3)クリープおよびクリープ疲労損傷の金属組織学的検討 | ○ ———   | —————   | ————— |



### Ⅲ. トリチウム・水素捕獲貯蔵並びに非透過性材料の開発

#### その1 基礎試験－成立性の検討－

(材料開発室)

#### 1. 実施担当部課室および担当者(○印:主担当者)

機器構造開発部 材料開発室 ○飯沢克幸, 木村重人

#### 2. 依頼元および担当者(○印:主担当者)

フロンティア材料研究グループ ○加納 茂機、上野 文義

#### 3. 概 要

本計画書は、トリチウム・水素捕獲貯蔵並びに非透過性材料の開発に関し、平成元年～平成3年度の3ケ年にわたる実施計画について述べたものである。ここでは基礎試験により成立性の検討を実施する。

#### 4. 研究目的

ナトリウム中の対象不純物である水素同位体(軽水素、トリチウム)の選択的捕獲・貯蔵、並びに蒸気発生器の水・蒸気側の腐食に伴う発生期水素の発生と伝熱管壁透過の抑制を目的として、その成立性に関し以下の項目について実施する。

- (1) ナトリウム中のトリチウム・水素捕獲貯蔵材料の調査、試作、特性評価及びナトリウム中基礎試験
- (2) 同上の捕獲貯蔵システムの概念検討
- (3) 蒸気発生器伝熱管材料に関し、水・蒸気側発生期水素の発生及び伝熱管壁透過を抑制可能な非透過性材料の調査、試作、特性評価

#### 5. 研究方法

- (1) ナトリウム中のトリチウム・水素捕獲貯蔵材料の調査、試作、特性評価及びナトリウム中基礎試験

##### ① 候補材料の調査

ナトリウム中のトリチウム・水素に対して、強い親和力と大きな吸蔵量を有すると予測される素材に関し、既存材料を中心にして調査、試作、特性評価及びナトリウム中予備試験を実施する。この場合、ナトリウム中での水素分圧とトリチウム濃度は低

く、各々  $10^{-4} \sim 10^{-2}$  Torr 及び 1 TU ( $10^6$  H 当り 1 T 原子) のオーダである事が重要な制約条件になると予想される。候補材料としては、金属ウラン、水素吸蔵合金としての Ti 合金、希土類合金、ある種のアモルファス合金及び無機化合物等が考えられる。

## ② 候補材料の試作と特性評価

候補材料の内から有力と思われるものを試作し、捕獲特性、貯蔵特性について必要な試験、測定、評価を行う。

候補材料の捕獲特性として重要となるのは次の事項と考えられる。

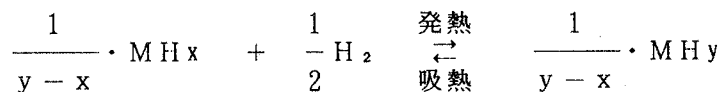
- ・ 金属水素化物の平衡 (解離) 水素圧の温度特性
- ・ 同上について (以下同様) 等温平衡濃度 (水素分圧) 特性
- ・ 反応速度及び反応熱特性
- ・ 活性化処理特性

候補材料の貯蔵特性として重要となるのは次の事項と考えられる。

- ・ 水素吸蔵量 (最大水素濃度  $(H/M)_{max}$ ) 温度特性
- ・ 吸蔵、放出の繰り返しサイクルに対するヒステリシス特性
- ・ 微粉化現象特性
- ・ 耐劣化特性

さらに、共通事項としてコスト評価がある。

なお、反応式は次の通りである。



## ③ 候補材料のナトリウム中基礎試験

候補材料を直接、あるいは拡散金属膜でキャニングして、ナトリウム中に浸漬し、捕獲貯蔵特性について比較評価する。装置は材料開発室のケミカルトラップ試験装置等の試験ループを用いる。方法は非放射性の手法とし、軽水素あるいは必要に応じ重水素を用い、注入量と捕獲貯蔵量の比較を行うなどにより実施する。

なお、①、②は必要に応じ外部機関 (国研、大学、素材メーカー等) との交流を含めて行うものとする。

## (2) ナトリウム中のトリチウム・水素捕獲貯蔵システムの概念検討

候補となる捕獲貯蔵システムとしては、トリチウム・水素の捕獲貯蔵材の単一系、あるいはナトリウム中からの分離隔壁を有する捕獲貯蔵材からなる複合系が考えられる。

分離隔壁としては、拡散分離金属膜、プロトン伝導材を用いた電気化学的ケミカルポンプとして働く隔壁等が考えられる。またこの分離隔壁を有する場合には、捕獲貯蔵トリチウムの軽水素からの分離濃縮-酸化によるトリチウム水としての最終貯蔵等も可能となると考えられる。これらについて調査と理論検討を行い、システムの概念を明確化する。

(3) トリチウム・水素の非透過性材料の調査、試作、特性評価

蒸気発生器伝熱管の表面処理、複合化等により、水・蒸気腐食による発生期水素の発生と伝熱管壁の拡散透過を抑制するための非透過性材料について調査検討する。こうした材料としては、軽水炉において試みられているチタンクラッド材の改良等が考えらる。

6. 研究スケジュール

| 実施項目       | 平成元年度 | 平成2年度 | 平成3年度 |
|------------|-------|-------|-------|
| 捕獲貯蔵材料の調査  | ○ — ○ |       |       |
| 同上試作、特性評価  | ○ — ○ |       |       |
| 同上Na中予備試験  | ○ — ○ |       |       |
| 同上システム概念検討 |       |       | ○ — ○ |
| 非透過性材料の調査  |       | ○ — ○ |       |
| 同上試作、特性評価  |       | ○ — ○ |       |
| 報告書作成      |       |       | ○ — ○ |

## IV-1 歪測定差動トランスの開発

(照射課)

### 1. 実施担当部課室および担当者

実験炉部 照射課 安部英昭

### 2. 依頼元および担当者 (○印：主担当者)

フロンティア材料研究グループ ○小山 真弘、 森川 智

### 3. 研究目的

高速実験炉「常陽」において炉内クリープ試験時のクリープ歪をオンラインで精度よく計測し、材料設計に反映することを目的とする。

### 4. 研究目標

長時間ドリフト：5%以内

小型化：直径10φ×長さ100mm

### 5. 研究課題

- (1) 中性子照射下での材料特性変化の把握及び耐中性子照射特性の改善
- (2) 使用温度の高温化(600℃)及び長寿命化(20,000時間)
- (3) 小型化

### 6. 研究内容および方法

原子炉内で使用可能な差動トランスを調査、選定し、炉外評価試験を行う。その後、照射試験を行って損傷度合等を明らかにし、差動トランスの改良を行う。

#### (1) 炉外評価試験

差動トランス部分試験装置は、高温用差動トランスを内蔵するArガス封入炉心管、電気炉、マイクロメータ付き校正器、変位伝達用ロッド、Arガス封入配管、電気炉温度制御盤、差動トランス増幅器、試験装置用定盤から構成される。

本装置は電気炉及び温度制御盤により一定温度に保持された状態で、Arガス封入炉心管内に設置された高温用差動トランスに、マイクロメータ付き校正器及び変位伝達用ロッドにより一定変位を負荷して、差動トランスの感度特性試験を行うものである。炉

心管内のArガスはArガス封入用配管により一定圧力を負荷し、炉心管内に設置された差動トランスの温度分布は、長手方向に取り付けた熱電対により監視される。電気炉及びマイクロメータ付き校正器は、振動等による変位変化を防止するため定盤上に固定される。

本装置の構成図を図1に示す。

#### 7. 研究スケジュール

| 年 度     | 昭和63年 | 平成元年   |
|---------|-------|--------|
| 歪差動トランス | 調査・選定 | 炉外評価試験 |

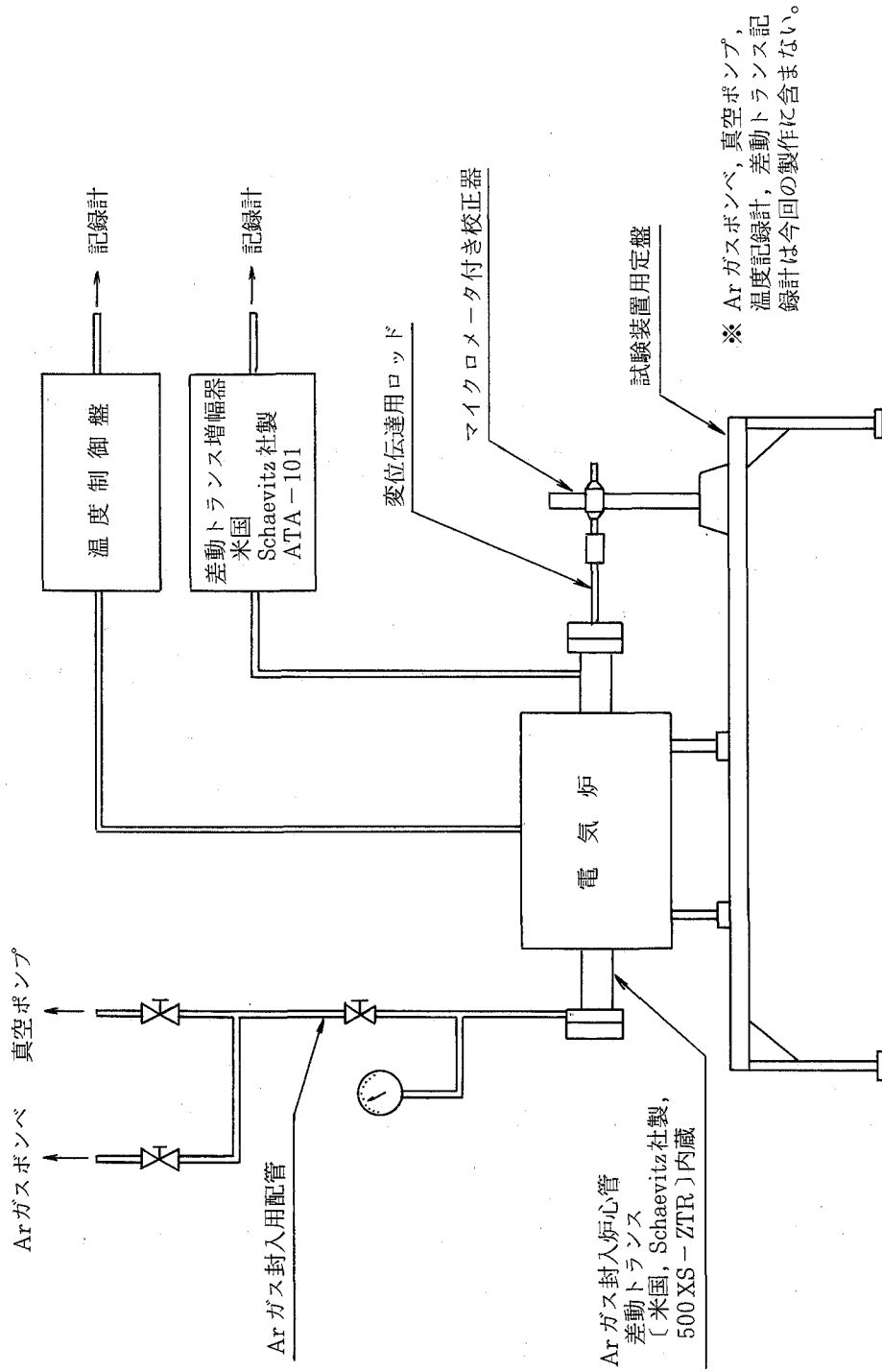


図 1. 差動トランス検定試験装置構成図

1. 実施担当部課室および担当者名

実験炉部 照射課 榎 政敏

2. 依頼元および担当者名 (○印：主担当者)

フロンティア材料研究グループ ○小山 真弘、 森川 智

3. 研究目的

燃料開発においては、照射中の燃料の中心温度を直接・連続的に計測することが燃料の照射挙動を知るうえで重要なことである。また、燃料中心温度を直接・連続的に計測することによって、燃料開発の他、原子炉運転時の種々の過渡現象等を知ることになり、原子炉の安全性を向上させることも期待できる。

燃料の中心温度を直接計測する温度計としては「常陽」の計測線付き集合体 (INTA) で使用したW-5%Re/W-26%Re熱電対があるが、現状では約2,100℃が限界とされている。一方、燃料の開発上からは、さらに高温域での照射挙動計測が望まれている。本件は、燃料の開発上からも望まれている約2,100℃を超える超高温域での燃料の中心温度の計測を可能とするため、従来のW/R e熱電対をベースにした超高温用熱電対を開発し、燃料の照射試験に供することを目的とする。

4. 研究目標

本件の研究目標は以下のとおり。

(1) 使用温度：2,000℃～2,700℃

- ・ 従来の熱電対の測定限界近傍から燃料融点近傍までの範囲とする。

(2) 使用期間 (寿命)：200時間以上

- ・ 当面、短期間の使用を想定し、200時間を超えることを目標とするが、最終目標としては、1年(70日×4サイクルで約7,000時間)以上とする。

(3) 検出精度：(未照射)→±1%以内目標

：(照射中)→±3%以内目標

- ・ 照射中の精度については、素材の照射による変化が明確でないことから、未照射より低めとした。

## 5. 研究課題

### (1) 充填材の高温における絶縁性の改善

充填材は熱電対の高温部の素線間の絶縁を確保し、計測誤差やシャントエラー等を防止するものである。従来のW/Re熱電対においては充填材として酸化ベリリウム(BeO)の焼結体が用いられているが、大気中 2,400℃・真空中 2,100℃程度からBeの蒸発が顕著になる。また、約2,100℃(真空中)でタングステン(W)と充填材(BeO)の反応が起こる。これらの現象は熱電対としては不利な方向へ働くため、BeOに代わる充填材が必要になってくる。

充填材としては、高温の絶縁性が良いこと・熱伝導性が良いこと・高温での物性変化が大きくないこと・熱電対の素線及び保護管と反応しにくい物であること等が要求され、その候補材としては、HfO<sub>2</sub>・ThO<sub>2</sub>などの酸化物系セラミックスの他、BN等窒化物系のセラミックスも考えられる。

### (2) 保護管の製管性、耐熱性の改善

測温範囲の高温化により従来の保護管(Mo-50%Re)に代えてさらに高温においても健全な保護管を開発する。

従来の保護管(Mo-50%Re)は融点が約2,500℃であり、~2,700℃の測温は不可となる。これに代わる材料としてW、Re、W/Re合金が挙げられるが、いずれも保護管としての製管性については国内では未知のものである。

### (3) 熱電対の製線性の改善

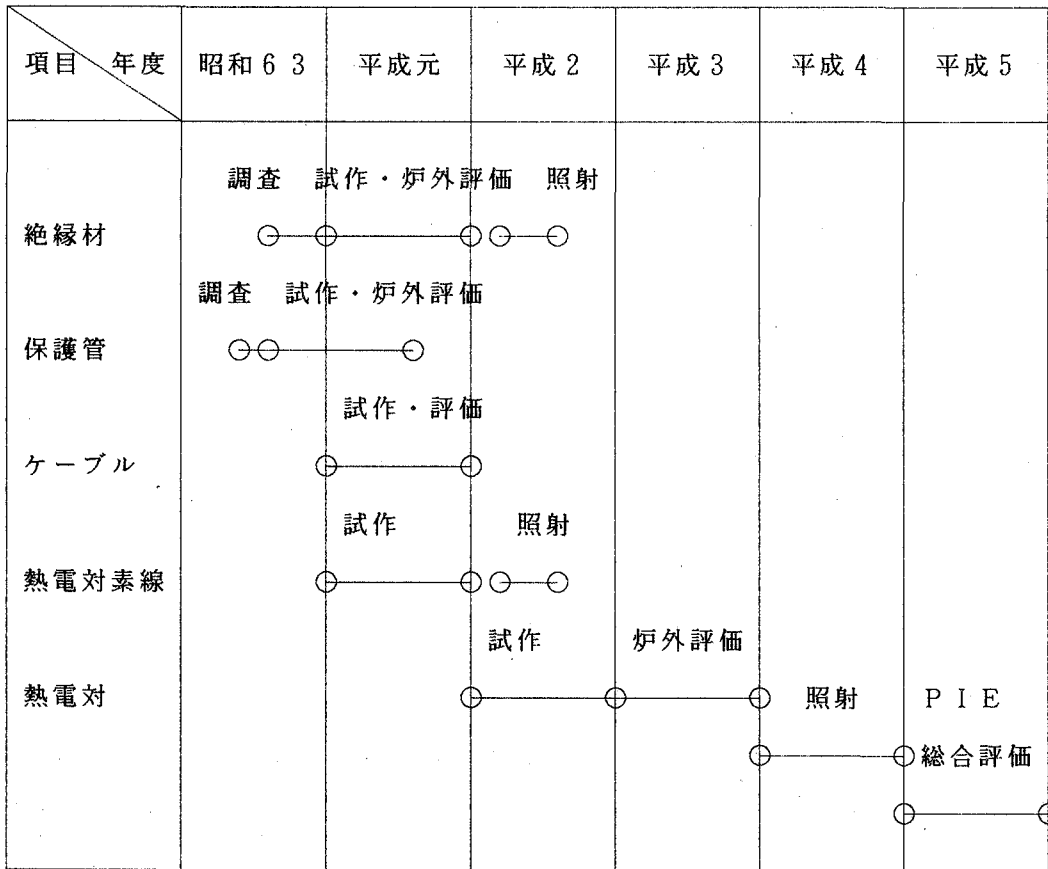
熱電対の計測誤差には熱電対素線の起電力と補償導線の起電力との差により発生するものがある。この誤差は規格化された熱電対・補償導線を規格内で使用する場合には問題にはならないが、W/Re熱電対のように規格化されていないものを使用する場合にはこの誤差に十分注意しなければならない。現在のW/Re熱電対では、熱電対素線が硬くMIケーブルとしての製線性が悪いことから、異種金属を素線とした補償導線(MIケーブル)を熱電対素線に接続して計測しているが、補償導線と熱電対素線の接続点温度が400℃~700℃の高温となり、起電力差による誤差が無視出来ない。この対策としては、補償導線の素線を熱電対素線と同一にしてMIケーブル化し、室温となる部分で従来の補償導線と接続する方法があるが、現状では約1mのMIケーブル化が限界とされている。しかし、このMIケーブルの延長が可能となれば起電力差による誤差はほとんど無視できることから、この改善を図り、約10mを目標に熱電対素線のMIケーブル化を進める。



## 6. 研究内容および方法

- (1) 材料調査によって候補材の選定を行い、各部材料の試作・炉外評価試験及び一部部材の照射試験による使用材料の選定を行う。
- (2) (1)により選定された材料による熱電対を試作し、炉外評価試験及び照射試験を行って最終的な総合評価を行う。

## 7. 研究スケジュール



△  
C & R

△  
C & R

#### IV-3. オフライン温度モニターの開発

(照射課)

##### 1. 実施担当部課室および担当者

実験炉部 照射課 安部英昭

##### 2. 依頼元および担当者 (○印：主担当者)

フロンティア材料研究グループ ○小山 真弘、 森川 智

##### 3. 研究目的

高速実験炉「常陽」の照射温度を形状記憶合金で測定するとともに、照射後試験 (PIE) の期間短縮化を計って、照射試験結果を合理的かつ効率的に照射用集合体の温度設計に生かすことを目的とする。

##### 4. 研究目標

計測温度範囲：370～700℃

計測精度：±5℃

##### 5. 研究課題

高温用形状記憶合金であるCu-Zn-Al系合金、Ti-Pd系合金及びFe-Ni系合金を原子炉内で温度モニターとして適用するため、下記の課題項目について研究する。

- (1) 中性子照射下での材料特性変化の把握及び耐中性子照射特性の改善
- (2) 加工・成形性の改善
- (3) 変態機構等金属組織学的解明

##### 6. 研究内容および方法

最近、新素材の研究分野の中で注目されている材料として形状記憶合金が挙げられる。この合金は温度変化によって形状が変化するもので、金属のマルテンサイト変態を利用したものである。ここで一方向性の形状記憶合金の形状回復のメカニズムを以下に示す。

合金はMs点 (マルテンサイト変態開始点) 以下に冷却するとマルテンサイト相が発生し、Mf点 (マルテンサイト変態終了時) において変態を終了する。ここで合金を変形すると見かけの降伏現象が起きる。この降伏は通常の金属で見られる変形でなく、個々の結晶が連携的に向きを変えて全体が変形する。このマルテンサイト相を加熱するとAs点

(逆変態開始点) 以上で逆変態を開始し、A f 点 (逆変態終了点) で変態を終了する。このとき結晶間のつながりを保ったまま母相にもどるので変形ひずみゼロの状態になる。二方向性の形状記憶合金は外力を必要とせず、温度によってのみ形状が変化する合金である。

温度モニターとして用いる場合の利点として、温度に敏感な原子レベルの変態を形状変化というマクロ的な変化で観察できるという点にある。

現状までに開発された 500℃ 以上の高温用形状記憶合金を表-1 に示す。

Cu-Zn-Al 系合金は、一定の温度以上では温度に依存して連続的に形状が変化するものであり、一定組織の合金よる温度モニターとして使用することが可能である。一方、Ti-Pd 系合金は添加元素を変化させることにより変態温度が上下するもので、連続的な複数の合金組成を用いて温度モニターとすることが可能である。特に Cu-Zn-Al 系合金は、最高温度 750℃ までの変態温度を有しているのが特徴である。

今後、温度モニターに応用するための研究内容として、Cu-Zn-Al 合金については高温中相安定化のための熱処理法等の改良、再現性・靱性向上のための結晶粒の微細化条件の評価、実験精度向上のための装置改良等を行う。

Ti-Pd 系合金については、Ti 不純物量の低減化、元素添加による変態温度範囲の高温化、曲げ変形量増大のための加工法の改良等を行う。さらに、Fe-Ni 系合金については、Co 量の低減化、高温中相安定化のための熱処理法等の改良等が今後の主な研究内容となる。

また、高速炉の炉内温度モニターとして用いる場合には、ナトリウム及び照射環境中における合金の挙動特性も把握する必要がある。

## 7. 研究スケジュール

高温用形状記憶合金である Cu-Zn-Al 系合金、Ti-Pd 合金及び Fe-Ni 系合金の炉外評価試験のスケジュールを次表に示す。

| 年 度          | 昭和 63             | 平成元                   | 平成 2 |
|--------------|-------------------|-----------------------|------|
| Cu-Zn-Al 系合金 | 熱処理法の改良・評価        | 石英封入装置による<br>試験・評価    | 照射試験 |
| Ti-Pd 系合金    | 新合金試作・評価          | 形状回復量測定装置<br>による試験・評価 | 照射試験 |
| Fe-Ni 系合金    | 長時間熱暴露特性<br>試験・評価 | 低 Co 合金の<br>試験・評価     | 照射試験 |

表1 高温用形状記憶合金

| 研究機関名           | 合金組成         | 変態温度範囲           | 特徴   | 課題  |
|-----------------|--------------|------------------|--|---|
| 大阪府立工業技術研究所     | Cu 68.6%     | 20℃<br>┆<br>750℃ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 二方向性</li> <li>• 高温中で形状変化</li> <li>• 冷却過程中の形状変化が最高到達温度に依存</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 高温中における相安定化</li> <li>• 結晶粒の微細化による再現性向上及び靱性</li> </ul>  |
|                 | Zn 27.6%     |                  |  |   |
| 東北大学<br>選鉱製錬研究所 | A1 3.8%      | 49℃<br>┆<br>587℃ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 一方向性</li> <li>• 形状回復温度をPd濃度を変化させて制御可能</li> <li>• As-Af温度範囲は微小</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ti不純物量の低減化</li> <li>• 加工方法改良による曲げ変形量の増大</li> <li>• 変態温度範囲の高温化</li> <li>• 温度測定精度策定</li> </ul> |
|                 | Ti 50%       |                  |  |   |
| 大阪大学工学部         | Ni 0~35%     | 10℃<br>┆<br>510℃ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 一方向性</li> <li>• 形状回復温度を合金元素変化により制御可能</li> <li>• 高温中で相安定</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 変態温度範囲の高温化</li> <li>• 温度測定精度策定</li> </ul>  |
|                 | Pd 15~50%    |                  |  |   |
|                 | Ti 50~54%    |                  |  |   |
|                 | Pd 38~50%    |                  |  |   |
| 大阪大学工学部         | Fe 0~8%      | 13℃<br>┆<br>274℃ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 一方向性</li> <li>• Ni, Co, Ti濃度を変化させて形状回復温度, 延性, ヒステリシスの制御可能</li> <li>• As-Af間で連続的に形状変化</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Co量低減化</li> <li>• 熱処理条件最適化による高温中相安定化</li> <li>• 温度測定精度策定</li> </ul>                          |
|                 | Ti 50%       |                  |  |   |
|                 | Pd 40~45%    |                  |  |   |
| 京都大学工学部         | Cr 5~10%     | 20℃<br>┆<br>700℃ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 一方向性</li> <li>• Ni, Co, Ti濃度を変化させて形状回復温度, 延性, ヒステリシスの制御可能</li> <li>• As-Af間で連続的に形状変化</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Co量低減化</li> <li>• 熱処理条件最適化による高温中相安定化</li> <li>• 温度測定精度策定</li> </ul>                          |
|                 | Fe-Ni-Co-Ti系 |                  |  |   |

#### IV-4. 中性子束測定用センサー材の開発

(技術課)

##### 1. 実施担当部課室および担当者

実験炉部 技術課 大戸 敏弘、高橋 和雄

##### 2. 依頼元および担当者 (○印：主担当者)

フロンティア材料研究グループ ○小山 真弘、森川 智

##### 3. 研究目的

高速炉の燃料や構造材料の照射挙動を明らかにするには中性子照射量を正確に評価しなければならない。

従来、高速実験炉「常陽」では、実測値に基づく照射量の評価に放射化箔法を採用してきた。放射化箔法は、既知の中性子反応断面積を有するモニター材を供試材と一緒に炉内へ装荷し、照射終了後に取り出して放射化量を測定した後、照射履歴等の補正を行なって放射化反応率を求め、中性子照射量に換算する方法である。しかし、長期間の照射に対しては放射化量が飽和に達して測定誤差が大きくなったり、 $\gamma$ 線の強度が高くなって取扱上の問題が生じつつある。そこで中性子照射による  $(n, \alpha)$  核反応物質に着目し、照射中に生成する He ガスを集積捕捉して定量分析した後、反応断面積だけを用いて照射量に換算する He 集積型中性子束測定法を確立する。具体的には  $(n, \alpha)$  反応に敏感な材料 (ドシメータ材) の開発と、照射試験に適したドシメータ材の形状を選定すると共に微量 He の分析装置を開発して照射試験の精度向上を図る。

##### 4. 研究目標

「常陽」の燃料が高寿命化されたこと、また「もんじゅ」への適用を考えた場合、中性子束測定器 (中性子ドシメータ) は、中性子エネルギーおよび照射量とも広範囲な測定を可能なものとしなければならない。これらの条件を考慮して研究目標を以下の様に定める。

- (1) 中性子エネルギー  $10^{-9} \sim 10^2$  MeV の範囲を測定対象とする。
- (2) 中性子照射量  $3 \times 10^{23}$  n/cm<sup>2</sup> を測定可能とする。

## 5. 研究課題

### (1) 中性子ドシメータおよび生成Heの集積捕捉手法の開発・選定

中性子ドシメータは、 $(n, \alpha)$  反応断面が既知でしかも大きい材料を開発・選定し、照射中に生成したHeガスを測定時まで集積捕捉しておく手法を確立する必要がある。

### (2) 集積捕捉Heガスの全量放出装置の開発

照射中に集積捕捉した微量Heガスを定量化するために、分析の前処理として、ドシメータ中のHeガスを瞬時に全量放出させる装置を開発する必要がある。

### (3) Heガスの絶対量分析装置の開発

分析の前処理でドシメータ材から放出させたHeガスの絶対量を高精度で測定するための装置を開発する必要がある。

## 6. 研究内容および方法

### (1) 中性子ドシメータおよび生成Heの集積捕捉手法

これまでの調査では、中性子ドシメータとして中性子エネルギー $10^{-9} \sim 10^2$  MeVの範囲をカバーするのに、Al、Be、B及びこれらの化合物の組合せが有力な候補材料である。しかし、照射中にドシメータ中に生成したHeガスは、温度や圧力等の条件で放出する可能性がある。そこで、生成したHeガスを分析時まで集積捕捉する必要があり、キャプセル封入型のドシメータを検討する。キャプセルの材料としては、Heの生成断面積、透過率および放射化量が小さく、かつ成形加工性や炉内照射場で健全な材料を開発・選定する。

以上、中性子ドシメータの材質を開発・選定後、炉内照射場に適したドシメータの重量およびキャプセルの形状寸法を決定し、その製作手法を確立して照射試験を行ない、特性を把握する。

### (2) 集積捕捉Heガスの全量放出装置の開発

炉内照射場で健全性を維持するキャプセルとなると、高融点の材料が予想される。キャプセル内のHeを定量分析するには、キャプセルと共にドシメータを溶融してHeガスを全量放出させる必要がある。抵抗加熱法あるいは誘導加熱法を検討し、ドシメータを溶融するのに最適な方法を選定する。

### (3) 微量Heガスの絶対量分析装置の開発

ドシメータ中に集積するHeガスは微量である。したがって、定量分析の前処理とし

でドシメータを溶融する装置をコンパクト化する。照射によって生成するHeは質量数4であり、同位体分離が可能な質量分析装置を採用し、前処理で放出させた微量なHeガスを高精度に測定できるシステムを開発する。

上記キャプセル封入型のドシメータおよびHeの測定システムを試作し、その機能を十分に見定め、最終的には炉内に装荷した供試材への中性子照射量の評価装置として実用化を図る。

## 7. 研究スケジュール

| 年 度    | 昭和63            | 平成元        | 平成2      | 平成3      | 平成4      | 平成5  |
|--------|-----------------|------------|----------|----------|----------|------|
| 中性子束測定 | センサー、キャプセル選定・試作 | 照射試験       | 照射試験特性試験 | 照射試験     | 照射試験特性試験 | 炉内使用 |
| 用センサー  | Heの分析装置の試作      | Heの分析装置の試作 | C&R▲     | 測定システム製作 | C&R▲     |      |

C & R : チェック&レビュー

## IV-5. オフライン荷重センサー材の開発

(技術課)

### 1. 実施担当部課室および担当者

実験炉部 技術課 奥田 英一

### 2. 依頼元および担当者 (○印：主担当者)

フロンティア材料研究グループ ○小山 真弘、 森山 智

### 3. 研究目的

高速増殖炉の炉心内等の高中性子束、高 $\gamma$ 線レベル、高温ナトリウムという環境で発生する荷重を測定できる炉内荷重センサーを開発することを目的とする。

荷重測定の原理は、弾性域がほとんど存在せず、且つ、荷重と塑性変形量が線型関係にある超塑性特性を利用するものである。すなわち、炉心から取り出した荷重測定素子の塑性変形量を測定し、素子に作用した最大荷重を素子の荷重-変形特性から得る。荷重測定素子の材料には、このような特性を有するといわれているオーステナイト系ステンレス鋼の焼結体を使用する。

### 4. 研究目標

開発しようとしている荷重測定素子が炉内荷重センサーとして使用されることを考慮し、研究目標を次のように定める。

- (1) 高速増殖炉の炉心内での環境条件で使用し、荷重測定精度 $\pm 10\%$ 以内
- (2) 使用可能温度 700℃以下 (当面は650℃以下)

### 5. 研究課題

#### (1) 超塑性変形特性の把握

炉内荷重センサーとしての成立性を確認するため、焼結体金属が持っている荷重-変位特性を測定し、超塑性変形特性を確認する必要がある。この試験にはナトリウム中への浸漬による影響の把握を含む。焼結体金属の材料は、当面SUS316の粉末とする。

#### (2) 加工、成形性の改善

焼結体金属はその超塑性変形特性のため、通常の金属材料の加工、成形技術は使用できない。そのため、荷重センサーの実用化の観点から焼結体に適用できる加工、成形技術を開発する必要がある。



(3) 中性子照射下での材料特性変化の把握

一般に金属材料は多量の中性子照射により材料特性が変化する。

焼結体金属についてもこのような材料特性変化を測定し、荷重センサーとしての性能への影響を把握する必要がある。

6. 研究内容および方法

(1) 超塑性変形特性の把握

① 熱膨張測定

常温から650℃までの範囲で荷重測定素子の熱膨張率を測定する。

測定は約6点とし、単純円柱素子を用いる。

試験装置は示差膨張方式とし、荷重測定素子を不活性雰囲気中に置く。

② 室温圧縮試験

荷重測定素子を室温で圧縮し、荷重と変位の関係を測定する。測定は約22点とし、単純円柱及び二段円柱の形状の荷重測定素子を用いる。

試験装置は島津製作所AG-10TB型試験機又は相当品を用い、変位測定はレーザーマイクロゲージ又は電気出力付きダイヤルゲージにて試験中連続して行う。

③ 高温圧縮試験

荷重測定素子を600℃及び530℃まで加熱した条件で圧縮し、荷重と変位の関係を測定する。測定は約27点とし、単純円柱及び二段円柱の形状の荷重測定素子を用いる。この中には実施するナトリウム浸漬試験後の荷重測定素子も含む。

試験装置は、②項で示したものに加熱用電気炉を付加したものとする。

④ 圧縮クリープ試験

荷重測定素子を530℃（又は600℃）まで加熱した条件で一定荷重で圧縮し、変位の時間変化を測定する。測定は約6点とし、単純円柱の形状の荷重測定素子を用いる。

試験装置は③項に示したもの又は垂直式定荷重クリープ試験装置を用いる。

保持時間は約240時間とする。

(2) 加工、成形性の改善

焼結体金属の材質、粒度、焼結条件など製法を工夫することにより、実用上の要求から生じるであろう色々な形状の荷重測定素子の成形を可能にするため、成形性の向上を図る。また、SUS316以外の材質の採用により、使用可能温度を650℃とする

検討も行う。

さらに成形、焼結後の焼結体金属の加工法を開発できれば、より複雑な形状の荷重測定素子の製作が可能となり、炉内荷重センサーとしての適用範囲を拡大できる。

検討するテーマ（案）としては次のものがある。

- ① 金属粉末の材質及び粒度
- ② 鑄型への金属粉末の充填法
- ③ 焼結時の加熱条件
- ④ 焼結体金属の成形法（切削、研磨、溶接等）

(3) 中性子照射下での材料特性変化の把握

焼結体金属の試験片を照射リグに装荷し、「常陽」で照射する。照射温度及び照射量は炉内荷重センサーとしての使用条件（要求条件）と焼結体金属の材料特性（許容条件）との関連で定めることとする。当面の目標としては、照射温度約650℃、照射量約 $3 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ 程度とする。

(4) 実用化研究

以上の開発研究の成果を反映し、炉内荷重センサーを実用化する観点から、スペーサパッド部に荷重センサーを取付けた炉心構成要素の設計を行う。装荷する対象は「常陽」を前提とし、炉内で発生する荷重を評価してその荷重に適合する荷重センサーを設計する。

7. 研究スケジュール

| 項目 \ 年度           | 昭和63 | 平成元 | 平成2 | 平成3 |
|-------------------|------|-----|-----|-----|
| 超塑性変形特性の把握        | ○    | ○   |     |     |
| 加工、成形性の改善         | ○    | ○   | ○   |     |
| 中性子照射下での材料特性変化の把握 |      | ○   | ○   | ○   |
| 実用化研究             |      |     | ○   | ○   |

△  
チェック&レビュー

これらの研究成果は次の実証試験に引継ぐ予定である。

- (1) 荷重センサーパッド付き炉心構成要素製作
- (2) 「常陽」での照射試験
- (3) 照射後試験
- (4) 総合評価

## V. 高性能遮蔽材の開発 — 金属水素化物等の開発 —

(燃料材料技術開発室)

### 1. 実施担当課室および担当者名

燃料材料開発部 燃料材料技術開発室 野村茂雄 立辺和明

### 2. 依頼元および担当者名 (○印：主担当者)

フロンティア材料研究グループ 小山真弘 ○野村茂雄

### 3. 研究目的

水素を多量に吸蔵した金属水素化物は、従来材である $B_4C$ 、黒鉛、ベリリウムよりも優れた遮蔽性能を有するため、中性子の遮蔽体として用いることにより、大幅な炉心のコンパクト化が可能となる。

本計画書は、高温で安定な金属水素化物を創製し、高速炉用遮蔽体に適用することを目的に、その材料技術開発の方策を定めたものである。本R&Dはこれまでのプロジェクト遂行に直結する開発テーマであるのみならず、高温・照射環境下における安定な金属水素化物の創製を通して、材料シーズの発掘にもつながるものと考えられる<sup>(1)</sup>。

### 4. 金属水素化物の核的特性 ( $ZrH_{1.7}$ の例)

金属水素化物である $ZrH_{1.7}$ のマクロ全断面積、マクロ吸収断面積及びマクロ散乱断面積を代表的な遮蔽材である天然 $B_4C$ と比較して図1に示す。吸収断面積は天然 $B_4C$ の方が大きいですが、散乱断面積は $ZrH_{1.7}$ の方が大きく、その結果、全断面積としては中性子エネルギーが約1 KeV以上では $ZrH_{1.7}$ の方が、それ以下のエネルギーでは天然 $B_4C$ の方が大きくなっている。これらのデータを用いて、 $ZrH_{1.7}$ と天然 $B_4C$ を遮蔽体として、それぞれ炉心領域に近接して配置した場合と離れた位置に配置した場合における中性子束の減衰率を計算した結果を図2、図3に示す<sup>(2)</sup>。炉心領域に近接して用いた場合の中性子の減衰率( $f$ )は、 $ZrH_{1.7}$ の方が天然 $B_4C$ よりおよそ20倍有効である。

$$ZrH_{1.7} : f = 3.3 \times 10^{-8} / 100 \text{ cm}$$

$$\text{天然} B_4C : f = 6 \times 10^{-7} / 100 \text{ cm}$$

一方、炉心より離れた位置に配置した場合には、 $ZrH_{1.7}$ の方が約2.5倍程度有効となる。

$$\text{ZrH}_{1.7} : f = 1.2 \times 10^{-6} / 100 \text{ cm}$$

$$\text{天然B}_4\text{C} : f = 3.2 \times 10^{-6} / 100 \text{ cm}$$

以上の評価より、 $\text{ZrH}_{1.7}$ の方が天然 $\text{B}_4\text{C}$ より遮蔽性能が優れていると予測される。更に、高速中性子遮蔽に有効な $\text{ZrH}_{1.7}$ 遮蔽体と低・中速中性子遮蔽に有効な $\text{B}_4\text{C}$ 遮蔽体を組み合わせることにより、より高遮蔽性能を有するコンパクトな遮蔽体の設計が可能となる。また、 $\text{ZrH}_{1.7}$ は散乱断面積が大きいいため、中性子の減速材としての優れた核特性を有している。

## 5. 開発の現状

### 5.1 新遮蔽材の開発

原子炉容器内炉心周り遮蔽体として、「常陽」、「もんじゅ」ではSUS系遮蔽体が用いられているが、実証炉1号においては設計の合理化を図るため、より遮蔽性能の優れた黒鉛系遮蔽体（グラファイト、 $\text{B}_4\text{C}$ ）を採用することが計画されている。そのため、グラファイト、 $\text{B}_4\text{C}$ の材料物性や照射挙動を把握するための炉外試験や「常陽」を用いた照射試験がSHMIR計画として進められている。更に、遮蔽性能の優れた金属水素化物の開発は、実証炉2号炉以降の実用炉、さらには核融合等の新型炉への適用をも目指したものである。

### 5.2 機能材料としての金属水素化物の開発

金属水素化物は、一般工業界においてはエネルギー貯蔵、エネルギー変換材料として既に実用化されている材料である。しかし、これら機能材料としての金属水素化物は、室温に近い温度で大きな水素の吸蔵・放出速度をもたせることを目的に開発されたものであり、ここで述べる原子炉材料としての金属水素化物の開発とは開発方針が異なるものである。各種合金の水素平衡分解圧-温度線図を図4に示す<sup>(3)</sup>。この図で、機能材料としての金属水素化物は右上の領域に位置し、これまでに開発された合金系としてはMg系合金、希土類系合金及びTi系合金がある<sup>(3)</sup>。

### 5.3 遮蔽材料としての金属水素化物の開発

金属水素化物を遮蔽体として用いるためには500℃以上の高温で安定な材料を開発する必要がある。図4に示す水素平衡分解圧-温度線図において、500℃以上の温度で水素平衡分解圧が1気圧に達しない金属は、左下の領域に位置するSr、La、Li、



## 6.2 バリヤー材の開発

金属水素化物は常に水素の解離圧と平衡しているため、水素を冷却材中に放出しないためのバリヤー材の開発が金属水素化物の開発とともに重要となる。実験室規模では、金属水素化物の解離圧測定のための容器としてインコネル材料が用いられているが、一般には、700℃程度の高温では長時間たつと、ほとんどの金属は水素を徐々に透過すると考えられる。水素の透過抵抗能力の高い材料の選択には、核融合炉においてトリチウム封じ込めのために開発されている材料開発の成果が参考になると思われる。

## 7. 実施内容と実施計画

### (1) 金属水素化物の開発

初年度は、Zr-H系、Ti-H系、希土類-H系（La-H系等）などの、高温において解離圧が低いとされており、遮蔽材として核的に有望とみられる12種の金属元素を候補材として、候補のしぼり込みを行う。そこで候補材の金属水素化物を試作すると共に、水素の解離圧測定及び熱伝導率測定、融点測定、組織観察、X線回折による構成相の同定といった炉外特性試験を実施する。と同時に、水素化物の核的側面からの比較検討を行い、700℃で安定な金属水素化物を開発する。

#### 候補材

Ti, Ca, La, Zr, Eu, Sr, Ba, Ce, Gd, Hf, Ta, Y

### (2) バリヤー材の開発

水素を透過しにくい黒鉛系、金属系等の材料の調査を行うとともに、候補材の炉外試験により水素の透過速度の測定、表面化学反応を含めた環境効果確認試験、及び強度データの取得等を実施し、改良試作を繰り返すことによって高性能バリヤー材を開発する。

### (3) 革新的セラミックス複合系金属水素化物の開発

金属水素化物中の水素を閉じ込め、より高性能化（熱的安定性、耐照射）をねらった方法としてニューセラミックス複合系金属水素化物ペレットが考えられている。これは従来の材料と技術を組み合わせるもので、最先端コーティング技術、成形加工技術（CIP, HIP）等を利用して試作する。

現在想定している創製法はつぎのとおりである。

イ) 10-100μmオーダーのマイクロキャプセル概念を導入し、水素の解離を分

子レベルで抑制できる構造とする。キャプセルの材質は水素非透過性のセラミクス系複合材とする。キャプセル内の材質は金属水素化物、高温ポリマー等が想定される。

ロ) マイクロキャプセルはペレット状に固めた後、最先端コーティング技術を利用して水素非透過性の膜を付け、多層バリアー構造とする。非透過性膜としては、金属系、黒鉛系、ニューセラミクス系材料が候補として考えられる。

#### (4) 照射試験

上記(1)-(3)にて開発された有望材料は照射確証試験を実施し、照射下における挙動、表面化学反応等を把握しつつ健全性を確認する。

#### (5) 総合評価と実用化検討

炉外特性試験から照射確証試験まで行った開発材は、次に実用化のための総合評価に入る。プラント側からの評価及び経済性評価等を通して実用化を検討する。

### 8. 実施体制とスケジュール

燃材部を開発の実施主体とし、遮蔽核特性の評価はプラント工学室が行うものとする。Naとの共存性試験は材料室が、照射試験は照射課が担当するものとする。開発スケジュールは表1に示すとおりである。



参 考 文 献

- (1) 材料フロンティア研究推進委員会 材料技術検討作業部会報告  
1988年2月 PNC SN5420 88-001
- (2) 鈴木、実証炉 大型炉技術資料  
LF-86-048 61年9月
- (3) 大角泰章著 金属水素化物—その物性と応用—  
化学工業社 1983年
- (4) W. M. Mueller, J. P. Blackledge and G. G. Libowitz  
Metal Hydrides, Academic Press, New York and London 1968
- (5) 「各国の高速炉制御棒の開発の現状、IAEA-IWGFR高速炉制御棒材料専門家会  
議提出論文全訳」  
PNC N951 83-01 1983年8月
- (6) J. A. Angelo et al., Space Nuclear Power
- (7) R. L. Beck, Research and Development of Metal Hydrides, USAEC  
Report LAR-10, Denver Research Institute, November, 1960
- (8) 長谷川、三島 監修 原子炉材料ハンドブック
- (9) フロンティア材料基本計画書  
昭和63年 8月 PNC大洗 フロンティア材料研究グループ

表1 実施内容、実施体制とスケジュール

|                           | 昭和63年 | 平成元年 | 平成2年 | 平成3年 | 平成4年 | 平成5年 |
|---------------------------|-------|------|------|------|------|------|
| <b>金属水素化物の開発</b>          |       |      |      |      |      |      |
| ① 遮蔽核特性評価<br>プラント室        | ○     | ○    |      |      |      |      |
| ② 合金設計、試作<br>メ-カ-    ADS  | ○     |      | ○    |      |      |      |
| ③ 炉外特性評価<br>メ-カ-          |       | ○    | ○    |      |      |      |
| <b>バリアー材の開発</b>           |       |      |      |      |      |      |
| ① 材料調査<br>ADS    メ-カ-     | ○     | ○    |      |      |      |      |
| ② 炉外特性評価<br>メ-カ-          |       | ○    | ○    |      |      |      |
| ③ Na共存性試験<br>材料室          |       | ○    | ○    |      |      |      |
| ④ 金属水素化物との共存性試験<br>メ-カ-   |       |      | ○    | ○    |      |      |
| <b>照射試験</b><br>照射課        |       |      | ○    | ○    |      |      |
| <b>照射挙動評価、総合評価</b><br>ADS |       |      |      |      | ○    | ○    |

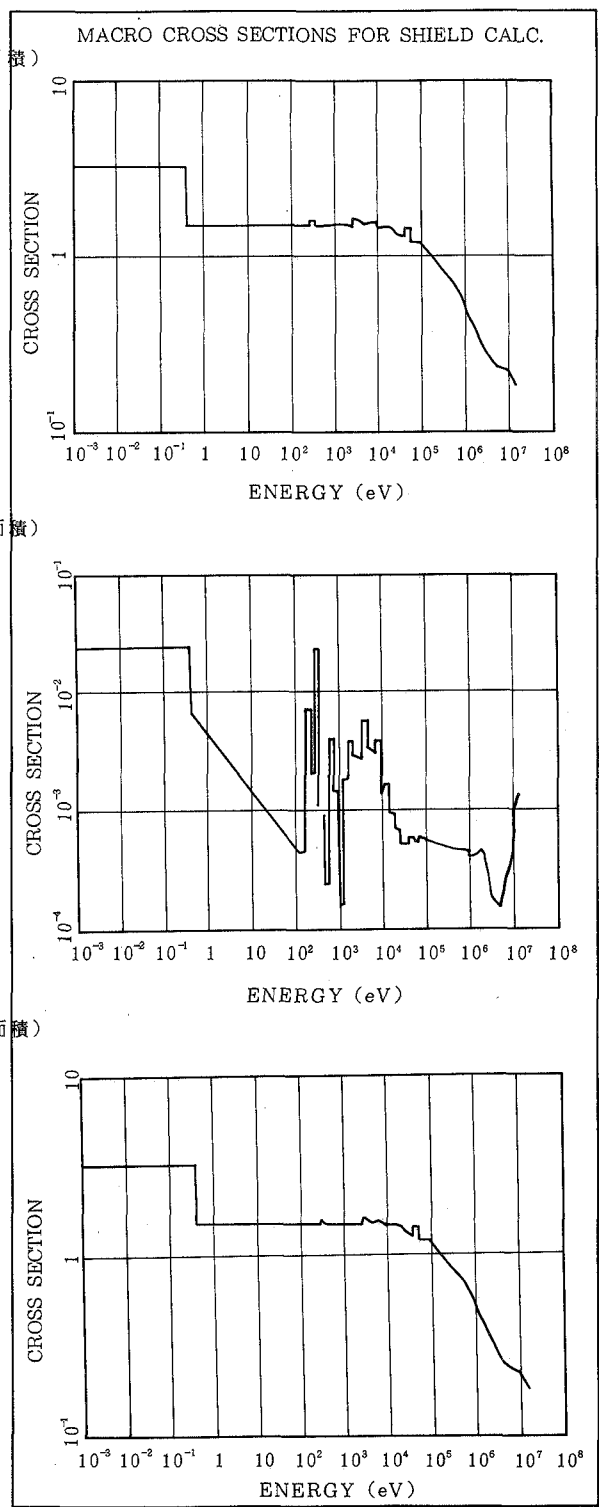
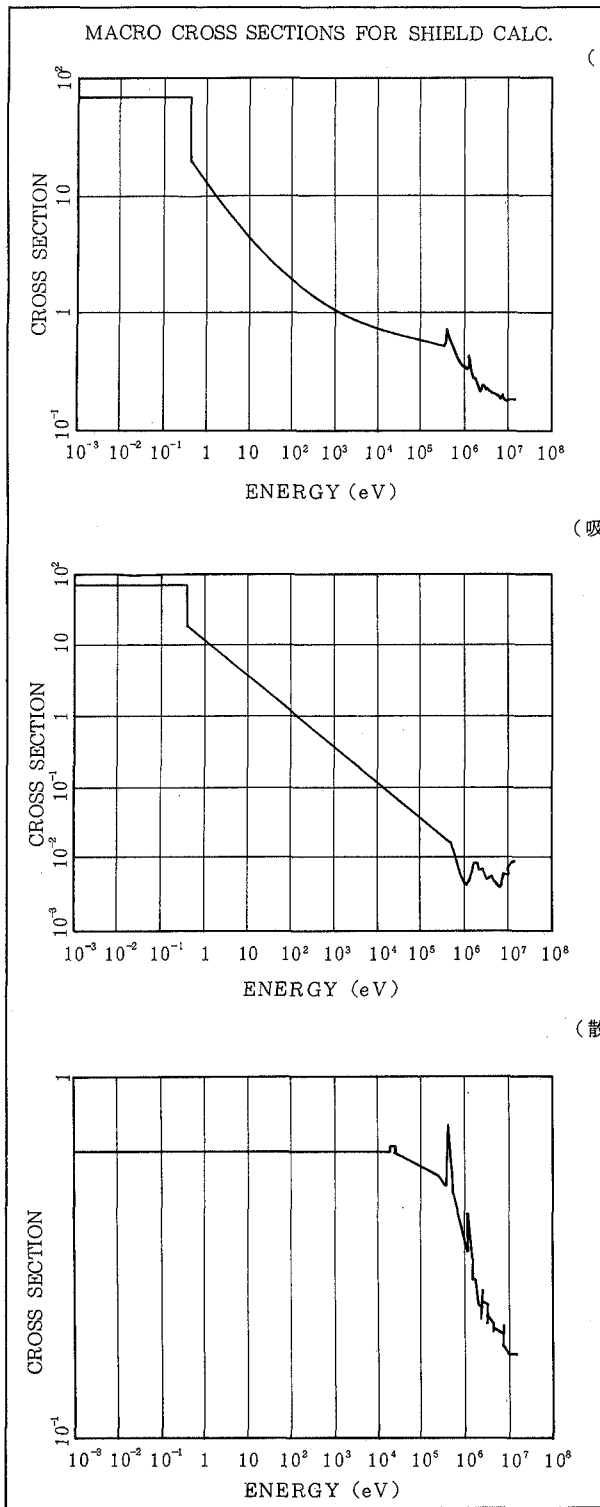
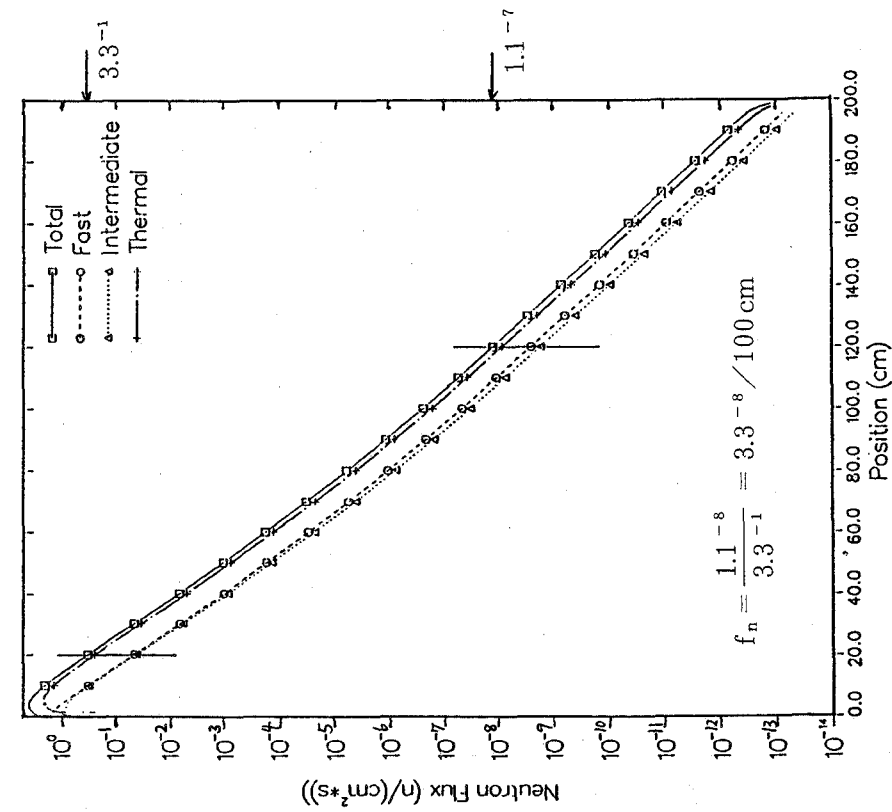


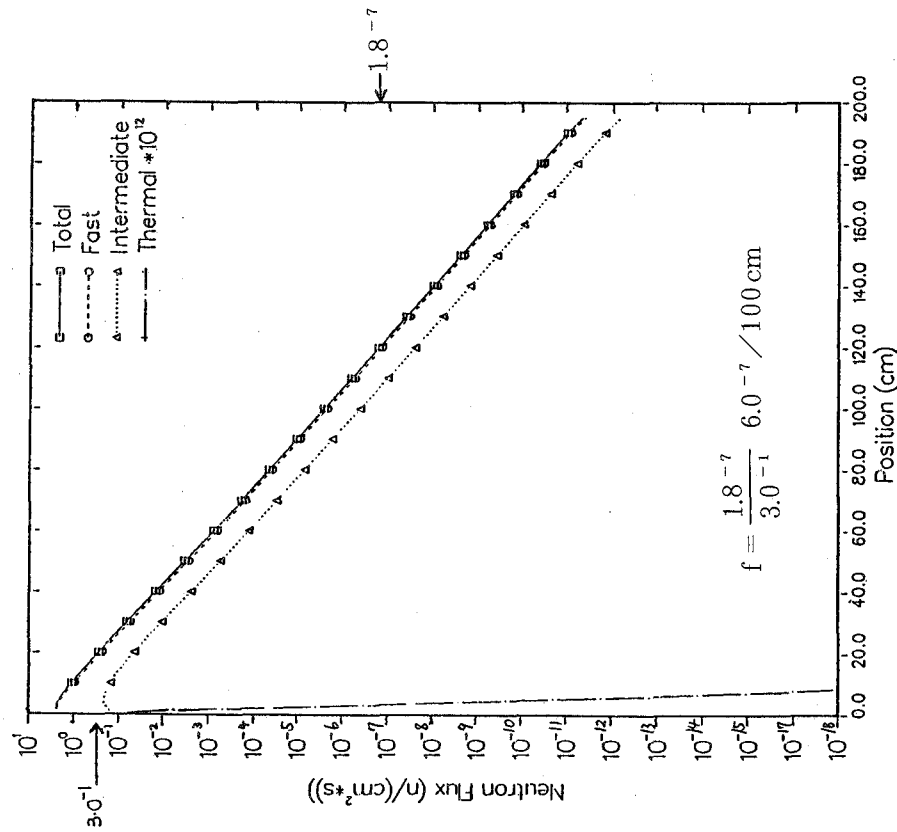
図1 ZrH<sub>1.7</sub>と天然B<sub>4</sub>Cのマクロ断面積の比較

JF220SL : ZRH JSD-120,FISS



(Zr H<sub>1.7</sub>)

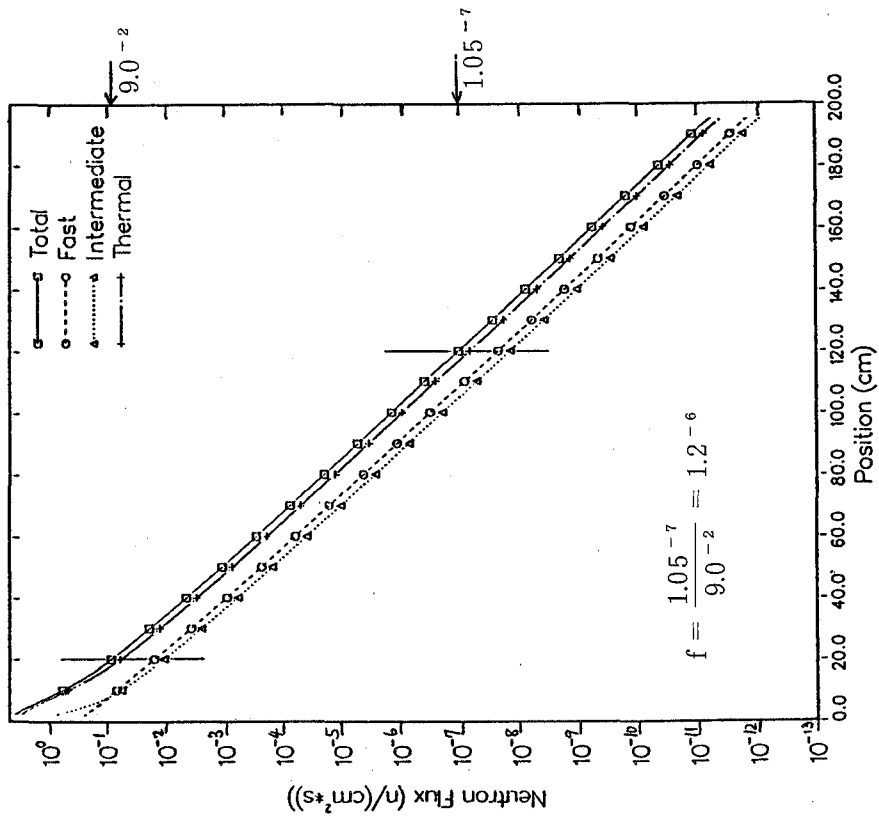
JF150SL : B4C JSD-120,FISS



(天然 B<sub>4</sub>C)

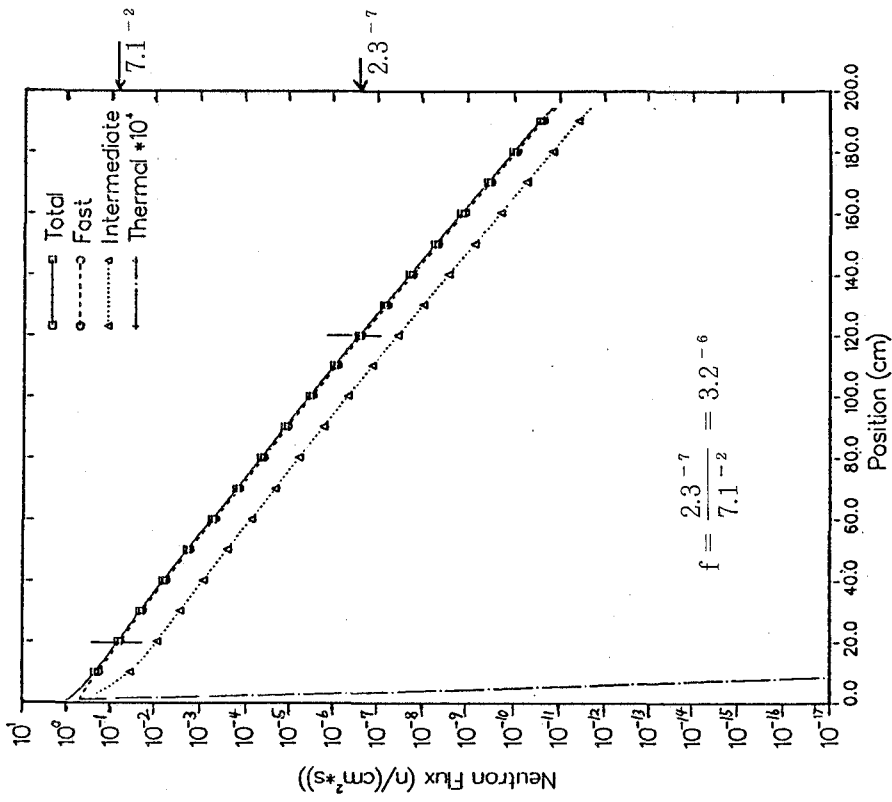
図2 炉心に近接して配置した場合の中性子の減衰

JE220SL : ZRH JSD-120,1/E



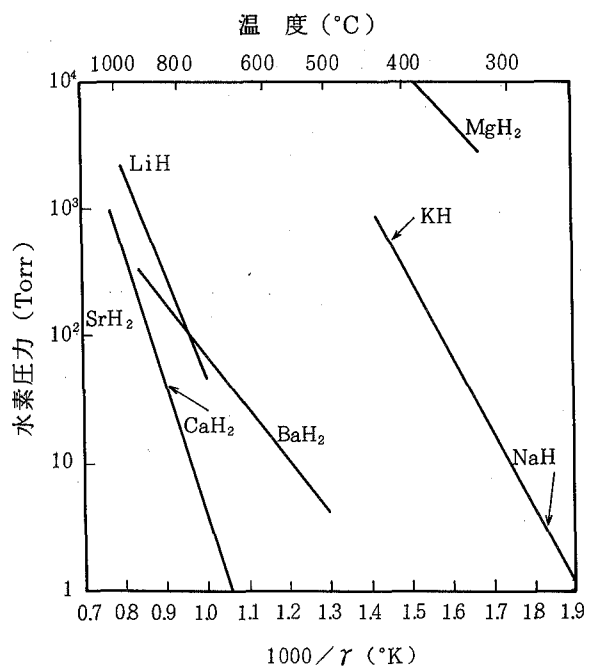
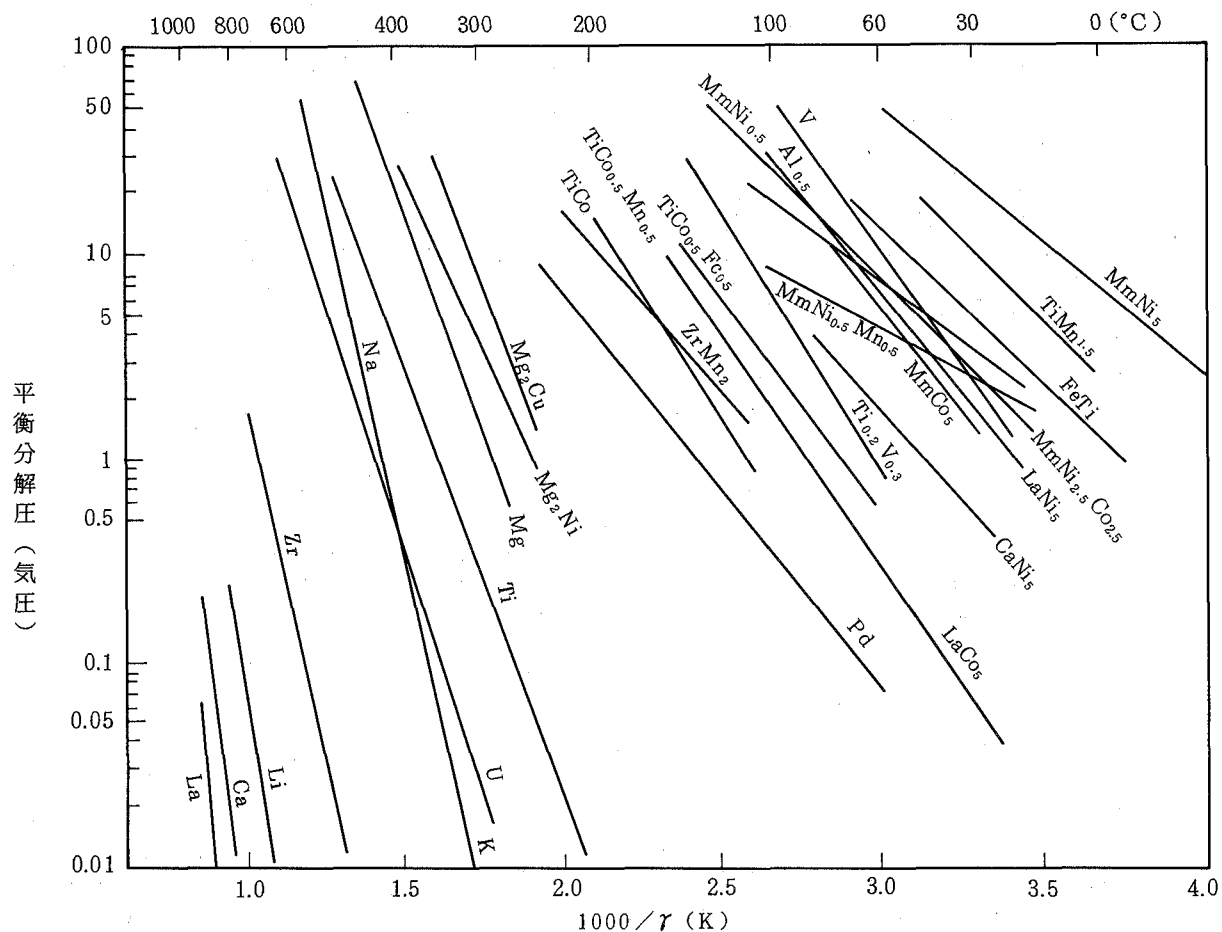
(Zr H<sub>1.7</sub>)

JE150SL : B4C JSD-120,1/E

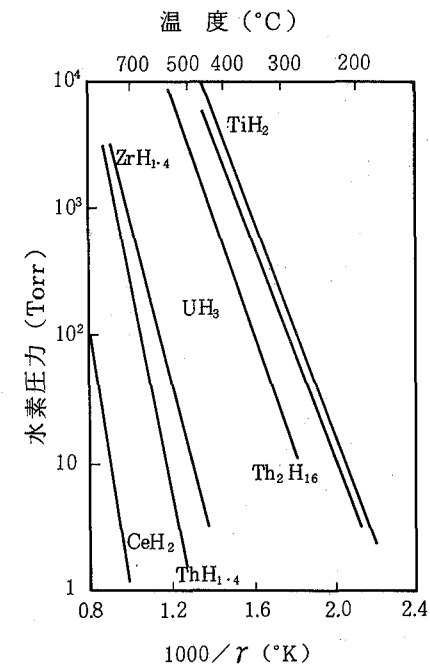


(天然 B<sub>4</sub>C)

図3 炉心から離れた位置に配置した場合の中性子束の減衰



アルカリおよびアルカリ土金属水素化物の解離水素圧力(二相共存領域)



Ce, Ti, Th, U, Zr 水素化合物の解離水素圧力

図4 各種合金の平衡分解圧 - 温度線図

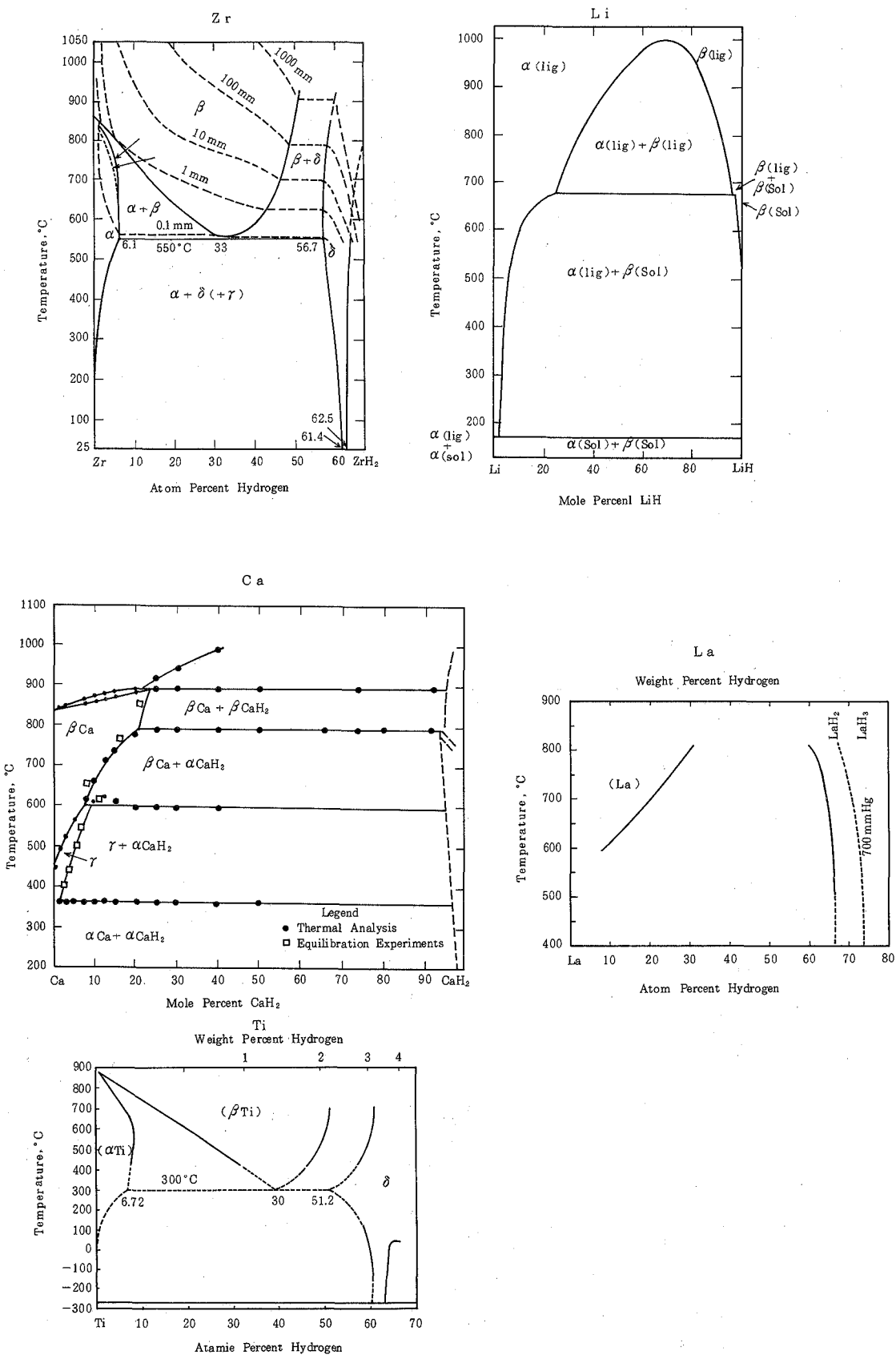


図5 Zr-H, Li-H, Ca-H, La-H 及び Ti-H の状態図

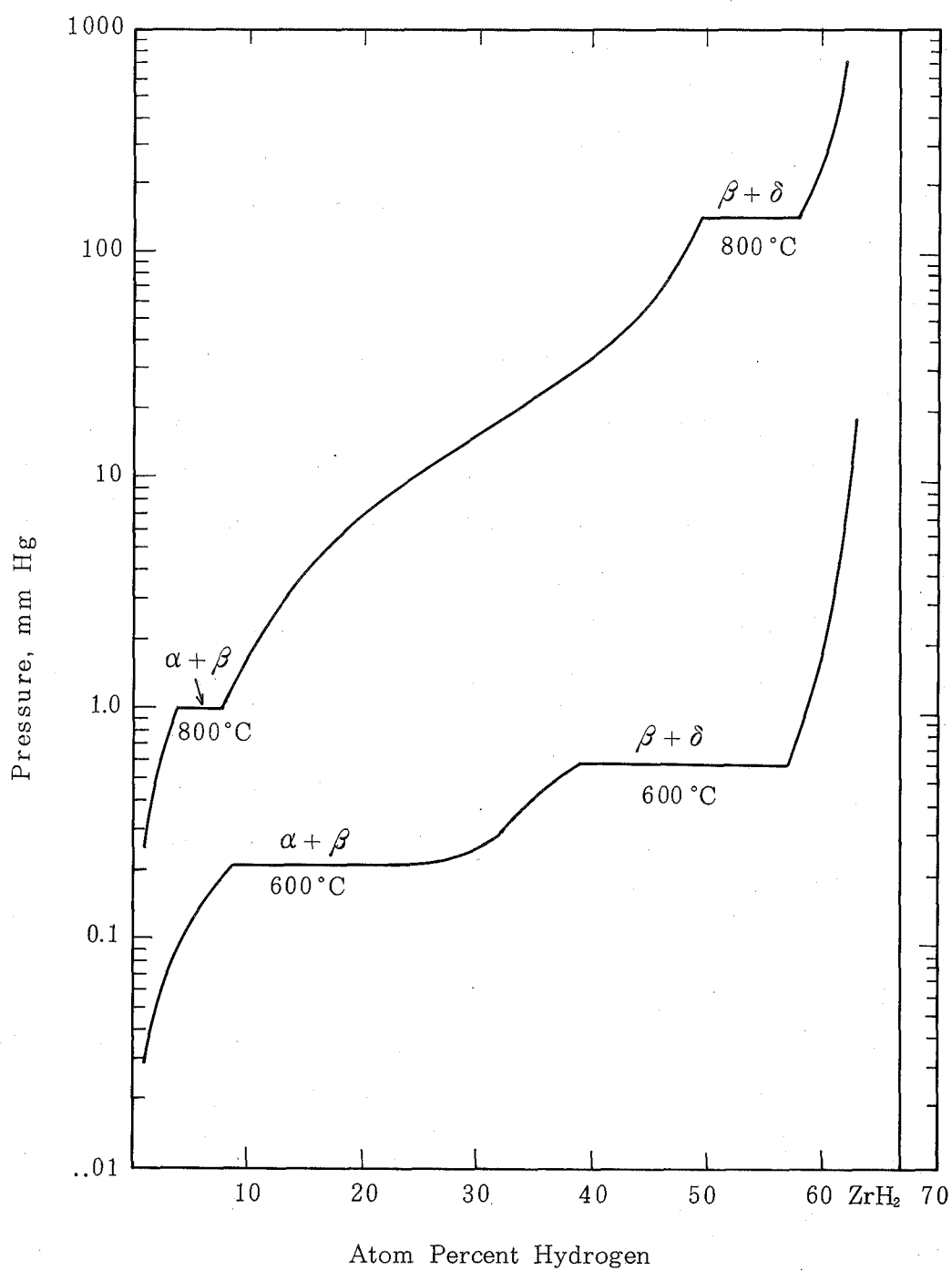


図6 Zr-H系合金の平衡水素圧力-組成等温図



## VI. 高性能制御材の開発

(照射材料試験室)

### 1. 実施担当部課室および担当者名

燃料材料開発部 照射材料試験室 黒田幸雄

### 2. 依頼元および担当者名 (○印：主担当者)

フロンティア材料研究グループ 小山真弘、森川智、○野村茂雄

### 3. 研究目的

高速増殖炉の制御棒要素である中性子制御材には、従来より炭化硼素 ( $B_4C$ ) が使用されてきた。 $B_4C$  は、吸収断面積が大きい、反応度値の調整が容易である、入手が容易である、等の優れた性質を持つ物質であると同時に照射データが豊富であることから多くの高速炉で使用されている。しかしその反面、核反応で生成する  $He$  によるスエリング、制御棒要素内圧の増加等により使用寿命が制限されてしまう欠点がある。

制御棒の寿命としては、その核的寿命まで使用することが最も経済的である。このため経済性の向上の観点から、可能な限り核的寿命に近づけるように制御棒寿命を延長することが要求されている。そこで、従来の  $B_4C$  制御材の改良を図り、核的寿命に近づけるとともに  $Eu$  をはじめとするレアアース金属等の新しい高性能制御材の開発を行い、長寿命制御棒の開発に資する。なお、本計画は  $B_4C$  制御材の改良 (高性能化) 及び新型制御材の調査・試作及び炉外試験について規定するものである。

### 4. 研究目標

制御材はその核的寿命まで使用するのが最も経済的である。現在、 $B_4C$  がもっとも優れた制御材であることは疑いのないところであるが、その寿命はせいぜい 1 年程度と短く、核的寿命まで使用するに到っていない。このため  $B_4C$  の改良を行い、寿命の延長を図るとともに長寿命炉心のための核的特性の優れた新しい制御材の創製を行う。

大型炉における制御棒 (調整棒) の使用条件はおよそ以下のとおりである。

中性子照射量： $2.3 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$

被覆管温度：約 650℃

使用期間：約 4 年

この条件を想定し、炉外及び照射試験を通じて  $B_4C$  の改良及び新しい制御材の創製を

行う。なお、制御棒の寿命は制御材の他にその構成部材によるところが大きいが、この開発は現在進められている炉心材料開発の成果を反映し効率的に進めるものとする。

## 5. 研究課題

### (1) B<sub>4</sub>Cペレットの改良

B<sub>4</sub>C制御棒の寿命は、B<sub>4</sub>Cペレットのスエリングに伴う被覆管とB<sub>4</sub>Cの機械的相互作用(ACMI)により決定づけられるが、このACMIは、B<sub>4</sub>Cの熱衝撃と照射の相互作用によるB<sub>4</sub>Cペレットの破壊に伴う破片の再配列によって助長されることもある。そこで、熱衝撃を抑えるため熱伝導率を向上させ、ACMIを緩和するためクリープ現象を有する改良型B<sub>4</sub>C制御材を創製する。

### (2) 代替制御材の開発

B<sub>4</sub>C以外で比較的大きな中性子吸収断面積を有する材料は、ユーロピウム(Eu)、ハフニウム(Hf)等幾つか知られている。これらの材料は、いずれも(n, γ)反応によって中性子を吸収するため、B<sub>4</sub>Cペレットのようにガススエリングがなく、また、中性子吸収によって生じた娘核種も比較的大きな中性子吸収断面積を持つものが多く、従って、全体としての反応度値の変化は少なく、長寿命炉心に適している。このため、長寿命炉心に適した新しい制御材の創製を行い、長寿命炉心用制御材として最適の材料を選定する。

## 6. 研究内容および方法

### (1) B<sub>4</sub>Cペレットの改良

B<sub>4</sub>Cペレットの熱伝導率の改良すなわち熱衝撃特性の改良は、金属とのサーメットとすることによって達成されると期待される。従来より熱中性子炉では、ステンレス鋼にBを数%分散した材料が制御材として使用されているが、高速炉の場合、これでは核的価値が低すぎる。このため金属に数10%程度の濃縮B<sub>4</sub>Cを混合し、焼結成形したペレットを製造する。この時、気孔は全て開気孔になるよう焼結し、(n, α)反応によって生成したHeガスをペレット外へ放出し易くする。これによって、ガススエリングの低減をはかる。また、金属成分を多くすることによってクリープ現象も有し、ACMIの緩和も期待できる。そこで、数10%の金属とB<sub>4</sub>C粉末の混合体の焼結性、最適金属の選定等の製造条件の検討・確立を図り、最適焼結体について熱特性、ガス透過性能等の炉外試験を行い、さらに、照射試験によって性能の確認評価を行い、長寿命制御材としての適用を検討する。

微粒化したセラミックスは特定の条件下では超塑性現象を示すことがある。B<sub>4</sub>Cペレットについても原料粉末を微粒化すれば、超塑性現象を起こすことも考えられるため、微粒化B<sub>4</sub>Cペレットの超塑性現象の有無を文献調査等によって検討するとともに、製造時の経済性を考慮し、制御材としての適用性を調べる。平成元年度末にチェック&レビューを行い、その後の進め方について検討する。

## (2) 代替制御材の開発

代替制御材の開発として、最有力候補のEu系制御材の開発と、その他の代替材料の開発に分けて検討する。

### 1) Eu系制御材の開発

#### ① 酸化ユーロピウム (Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は最も容易に得られる化学形態である。水と反応して粉化するので、軽水炉においてはステンレス鋼中に分散して用いられている。Eu系制御材の中で高速炉用としては最も有望視され、ソ連では実証試験が実施されている。一方、動燃事業団においては委託試験を通じて製造方法の確立と炉外特性の評価を実施し、核的性能は濃縮B<sub>4</sub>Cに劣るものの他の特性は良好なことが明らかとなった。ただこの材料はB<sub>4</sub>Cと異なり、約1,000℃に変態点を有するため、制御材として使用する際にはこの制御が必要である。変態点はGdの酸化物等の添加で無くすこともでき、従って、核的価値を損なわないよう添加物による無変態Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の製造法を確立する。なお、核的性能は濃縮B<sub>4</sub>Cに劣るため、中性子減速材と組み合わせ、核的価値の改良を図る等の検討を行う。

#### ② 硼化ユーロピウム (EuB<sub>6</sub>)

Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>よりもEu原子密度は小さいが、硼素を含有するため吸収断面積を大きくとることができる。相安定性、熱伝導率、ステンレス鋼との両立性等に優れているためにEu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>と同様に各国で研究が行われている。<sup>10</sup>B濃縮EuB<sub>6</sub>は濃縮B<sub>4</sub>Cに近い吸収断面積をもつが、He放出率が約9倍であるのでベント型制御棒を採用する必要がある。しかし、He放出率が大きいため、スエリングが小さくなる可能性がある。また、EuB<sub>6</sub>は照射によってEuが析出し、EuB<sub>6</sub>と被覆管との間の間隙を埋めるという報告もあり、照射挙動の評価が重要である。

このように制御材としては優れた面を有するため、製造法の確立、炉外試験による性能評価を行う。

これらの結果を総合評価(チェック&レビュー)する。

### ③ その他のEu化合物

酸化ユーロピウム及び硼化ユーロピウム以外の化合物について、核的価値、製造性、炉外性能等について調査し、平成元年度末にチェック&レビューを行う。

有望な化合物について製造試験を行い、製造法の確立を図るとともに炉外試験を実施する。さらに、実用化の期待されるものについては照射試験を実施し、照射特性の評価を行い、高性能制御材としての適用性を検討する。

### 2) その他の代替材料の調査

Eu以外のレアアースメタル、ハフニウム等の材料について文献調査・検討を行い、候補材を選定する（元年度末チェック&レビュー）。有望なものについては製造試験、炉外試験を通じて評価を行い、候補材を絞込む。さらに、実用化の期待される材料については照射試験を行い、高性能制御材としての適用性を検討する。

なお、検討に際し、制御材としての核的価値は低いが、 $\text{Eu}_2\text{O}_3$ と同様、中性子減速材と組み合わせることによって制御材として使用可能な材料も含めるものとする。

## 7. 今後の展開

B<sub>4</sub>Cペレットの改良及びEu化合物（ $\text{Eu}_2\text{O}_3$ 、 $\text{EuB}_6$ ）については平成3年度末にチェック&レビューを実施する。これによって有望と判断された場合は、照射試験を実施し、制御材としての適用を検討する。一方、その他のEu化合物、その他の代替制御材について、炉外試験の途中であるが、平成3年度末のチェック&レビューによって材料の選定等を行い、炉外試験の継続、照射試験の実施について検討する。

## 8. 研究スケジュール

燃料材料開発部を開発実施主体とし、炉内核特性の評価はプラント工学室が行うものとする。また、照射試験は照射課が担当するものとする。

開発スケジュールを表1に示す。

表1 実施内容、実施体制とスケジュール

| 年 度  | 昭和63年 | 平成元年 | 平成2年 | 平成3年 |
|--|-------|------|------|------|
| ▽  |       |      |      |      |
| <u>B<sub>4</sub>Cペレットの改良</u>                     |       |      |      |      |
| ① ペレット試作<br>(外部機関)                               | ○     | ○    |      |      |
| ② 炉外特性評価<br>(外部機関)                               |       | ○    |      | ○    |
| ③ 微粒化B <sub>4</sub> C<br>(MMS)                   |       | ○    | ○    |      |
| <u>代替材料の開発</u>                                   |       |      |      |      |
| Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、EuB <sub>6</sub> |       |      |      |      |
| ① 核特性評価<br>(プラント)<br>工学室                         |       | ○    | ○    |      |
| ② ペレット製作<br>(外部機関)                               |       | ○    | ○    |      |
| ③ 炉外特性評価<br>(外部機関)                               |       |      | ○    | ○    |
| その他のEu化合物、<br>その他代替材料の開発                         |       |      |      |      |
| ① 核特性評価<br>(プラント)<br>工学室                         |       | ○    | ○    |      |
| ① 文献調査等<br>(外部機関)                                | ○     |      | ○    |      |
| ② 炉外特性評価<br>(外部機関)                               |       |      | ○    |      |

▽：チェック&レビュー

## Ⅶ. 基盤材料データベース開発に関する調査研究

(フロンティア材料研究グループ)

### 1. 実施機関

㈱テクノバへの委託（調査研究委員会にて審議）

### 2. 依頼元および担当者（○印：主担当者）

フロンティア材料研究グループ ○加納 茂機  
技術管理室 森田 進

### 3. 研究目的

原子力用材料は広く原子力の各分野に使用され、原子力施設の性能向上にブレークスルーを起こすことが期待されるとともに、宇宙用等極限状況における利用への適用も期待される。

国の研究機関においては原子力分野における材料研究成果が幅広く蓄積されてきている。これら研究成果を新材料設計等材料基盤技術の効率的推進に役立てるとともに、成果を幅広く普及するためには、データベースの構築が不可欠である。このデータベースは検索を対象とするばかりでなく、検索後の付加価値生成を図り、外挿を中心にした推論に適用できることが望まれる。これらデータベースの基本概念を構築し、今後の整備の方向性を明らかにすることが本研究における目的である。

### 4. 研究項目

#### (1) 対象とするデータの調査

蓄積対象とするデータ及び知識の範囲をまず規定する。その中心対象としては、照射下特性、原子力用途の材料及び原子力基盤技術における新技术に関する材料データ等のように原子力材料として特色を強く有するものとする。ASTMなどの検討結果を参照し、ファクト・データを中心に、数値データ、パターン表現、画像及びシナリオを対象とする。

#### (2) データベースのデータモデルの検討

対象とするデータの範囲に対応して関連技術項目を抽出し、関連項目間の関係を定義し、データの階層化、体系化をはかるフレームワークを構築する。

データには実験データ、理論解析を含むもの、スーパーコンピュータを利用した成果

等々があり、これらのデータの意味的記述を中心として、知識と推論をインプリシットに含むデータの概念モデルとする。

これらのデータの体系化においては、材料の試験法、評価法、標準化を考慮したものにする必要がある。

(3) データベースの活用による付加価値生成の検討

データベースは、そのファクト・データを中心に新たな付加価値生成と論理構築に寄与し、更には新たな研究開発の方向性を指摘し得るものにする事が望まれる。

そこで、

- ・データベースの統合法 —— ネットワーク利用
- ・帰納と知識獲得
- ・モデル形成
- ・このためのワークステーション設計

等々が行い得るようなデータベースは何か、そして付加価値生成の方法は何かを検討する。

(4) 今後の開発上の課題の明確化

上記の基本概念形成に基づき、システムを構築し、データを収集、体系化し、システムを運用する上での基本課題を明らかにし、今後の開発の方向性を明らかにする。

5. 調査研究のスケジュール

|           | 昭和<br>63年<br>9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 平成<br>元年<br>1月 | 2月 | 3月 |
|-----------|-----------------|-----|-----|-----|----------------|----|----|
| 1. データの範囲 | ○               | ○   |     |     |                |    |    |
| 2. モデル検討  |                 | ○   |     |     | ○              |    |    |
| 3. 付加価値生成 |                 |     |     |     | ○              | ○  |    |
| 4. 今後の課題  |                 |     |     |     |                | ○  | ○  |
| 5. 報告書作成  |                 |     |     |     |                |    | ○  |

上記の概念設計を昭和63年度及び平成元年度の2ヶ年実施した後、平成2年度から3ヶ年をかけ、データベースシステム（ソフト及びハード）の構築・整備、テストランを行なう。平成5年度から本格運用及び必要に応じて保守管理を行なう。

## 6. 調査研究メンバー

|        |       |   |
|--------|-------|---|
| 主査     | 岩田 修一 | 東京大学工学部原子力工学科助教授                              |
| 委員     | 関村 直人 | 東京大学工学部総合試験所                                  |
|        | 菊池 俊一 | 日本科学技術情報センター技術管理室主管                           |
|        | 菊池 正夫 | 新日鉄㈱第二技研主任研究員                                 |
|        | 藤田 充苗 | 金属材料技術研究所力学特性研究部主任研究官                         |
|        | 永川 城正 | 金属材料技術研究所第二研究グループ                             |
|        | 大野 英雄 | 日本原子力研究所東海研究所燃料・材料工学部<br>材料設計研究室主任研究員         |
|        | 中島 甫  | 日本原子力研究所東海研究所燃料・材料工学部<br>材料応用工学研究室長           |
|        | 加納 茂機 | 動燃・大洗工学センター・技術開発部<br>フロンティア材料研究グループリーダー・主任研究員 |
|        | 森田 進  | 動燃・大洗工学センター・技術開発部<br>技術管理室主査                  |
| オブザーバー | 平岡 裕  | 科学技術庁原子力局技術振興課                                |
| 研究担当   | 竹下 寿英 | 株式会社テクノバ取締役第一調査研究部長                           |
|        | 成松 千秋 | 株式会社テクノバ第一調査研究部                               |

## 7. 調査研究報告書の作成

調査研究をまとめて報告書とする。

## 8. 特記事項

本資料には昭和63年度及び平成元年度の計画を示す。