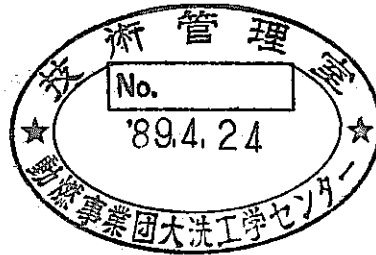


区分変更	
変更後資料番号	PNC
決裁年月日	平成13年7月31日

## フロンティア材料研究に関する将来構想(案)



1989年4月

<b>技術資料コード</b>	
開示区分	レポートNo.
S	N9080 89-005
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

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

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

記

1



配 布 限 定  
PNC T 9080 89-005  
1 9 8 9 年 4 月

## フロンティア材料研究に関する将来構想 (第1ドラフト)

加納 茂機\* , 小山真弘\*\* , 野村 茂雄\* ,  
森川 智\* , 上野 文義\*

### 要 旨

昭和63年7月1日付で発足した「フロンティア材料研究グループ」では平成元年1月から3月にかけて、フロンティア材料研究に関する将来構想について議論した。関係者からの建設的提案、コメント等を収集するための議論のタタキ台とするため、今回将来構想(案)として報告書にまとめ印刷、配布することとした。

報告書は「新素材開発の動向」、「動燃が果たす役割」、「フロンティア材料研究グループが果たす役割」、「実施すべき研究課題」、「導入すべき装置類」、「新たに建設すべき施設」、「他機関との研究交流」、「他機関の大型施設の共同利用」、「人材の確保」、「予算のあり方」及び「関連組織のあり方」で構成されている。今後、本報をもとに、関係者からの提案・コメント等をもりこみつつ平成元年9月末及び平成2年3月末に将来構想(改訂版)を作成する予定であるので、関係諸兄からの積極的な御意見、御鞭撻をお願いする。

---

\*大洗工学センター, 技術開発部, フロンティア材料研究グループ

\*\*現本社, 保障措置室

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 新素材開発の動向 .....	4
3. 動燃が果たす役割 .....	6
4. フロンティア材料研究グループが果たす役割 .....	8
5. 実施すべき研究課題 .....	10
(1) FBR構造材料の寿命・余寿命診断法開発 (FNM, 材料室及び技術課) .....	10
(2) 原子力極限環境材料に関する研究 (FNM, 材料室, ADS及びMMS) .....	10
(3) トリチウム・水素捕獲・貯蔵及び非透過性材料開発 (FNM及び材料室) .....	11
(4) 原子炉計装材料の開発 (FNM, 照射課及び技術課) .....	12
(5) 超耐熱構造材料の開発 (FNM) .....	14
(6) 新素材試作施設, 超高温材料強度試験施設並びに, リチウム/カリウム試験施設等の建設に関する調査 (FNM) .....	14
(7) 中性子高度利用技術の開発 (FNM) .....	15
(8) 高効率照射損傷解析システムの開発 (FNM, ADS及びMMS) .....	16
(9) 新素材データベース構築 (FNM, 材料室及びADS) .....	16
(10) 基盤材料データベース開発 (ネットワーク方式データフリーウェイの構築) (FNM) .....	16
(11) 研究交流 (FNM, 材料室, ADS, MMS, 照射課及び技術課) .....	17
6. 関連装置 .....	19
7. 新たに建設すべき施設 .....	20
(1) 新素材開発施設 (コールド) .....	20
(2) 超高強度中性子束照射装置 .....	23
(3) 高効率照射損傷解析システムの開発 .....	25
8. 他機関との研究交流 .....	27
(1) 他機関との研究交流方法 .....	27
(2) 研究交流先として考えられる機関 (海外も含む) .....	28
9. 他機関の大型施設の共同利用 .....	29
10. 人材の確保 .....	31
11. 予算のあり方 .....	31
12. 関連組織・体制のあり方 .....	31

13. あとがき .....	32
14. 引用文献 .....	33
Tables .....	35
Figures .....	53
Appendix A	
FBR構造材料の寿命・余寿命評価法の比較・分類 .....	83

## 1. ま え が き

昭和63年7月1日付で発足した「フロンティア材料研究グループ」\*では、昭和63年度に以下の業務を遂行した。

### I. 研究開発業務

- (1) 昭和63年度業務実施計画書 (PNC I 9530 88-010)<sup>(1)</sup> の作成, 関係課室との調整, 印刷, 配布
- (2) 昭和63年度に実施が認められた7件の研究課題に関する中長期的基本計画書 (PNC SN 9080 88-007)<sup>(2)</sup> 作成, 関係課室との調整, 印刷, 配布
- (3) 昭和63年度に実施が認められた7件の研究課題に関する最長3ヶ年の実施計画書 (PNC SN9080 89-001)<sup>(3)</sup> の作成, 関係課室との調整, 印刷, 配布
- (4) 関係課室への研究開発依頼書起案
- (5) 新規テーマの発掘, 選定, 平成元年度実施への反映作業
- (6) 10/19, 1/23フロンティア研究推進委員会への報告
- (7) ニューセラミックス, 複合材, 水素吸蔵合金, 形状記憶合金, 耐熱合金等の新素材についての調査を実施した。
- (8) 部分安定化ジルコニア製管, 超高温熱電対用部材 (W-Re合金, 絶縁材HfO, ThO), 形状記憶合金 (Fe-Ni系, Ti-Pd-Pt-Ni系, Cu-Zn-Al系), オフライン荷重センサー材 (超塑性SUS316焼結体) 及びHe集積型中性子ドジメータ材 (B, Be, Al入りVキャプセル) の試作を行った。
- (9) 高性能遮蔽材 (金属水素化物) の試作及び炉外評価試験を行った。

### II. 予算業務

- (1) 平成元年度概算要求作業 新たに以下の2テーマが認可された
  - ① FBR構造材料の寿命, 余寿命診断法の開発
  - ② 原子力極限環境材料に関する研究
- (2) 平成元年度実施作業  
新たに5件の研究課題を追加した。

---

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

### Ⅲ. 外部発表

- (1) 原子力工業Vol. 34, No.10, 1988「高速炉における新素材」投稿
- (2) 溶接協会シンポジウム講演 「FBRにおける新素材」
- (3) 原産セミナー講演 「高速炉における新素材開発」平成元年3月
- (4) First International SAMPE Symposium of Exhibition (元年11月) 投稿予定  
“Base Technology Development Programs of New Materials for FBR Performance Innovation” と題し、アブストラクトを提出済み。論文提出期限は元年5月1日

Ⅳ. 基盤材料データベース(ネットワーク方式データフリーウェイ)の構築について、テクノバ(委託)での委員会で原研、金材研等と協議。  
平成2年度よりデータベースシステム(ソフト及びハード)の整備が予定されている。

Ⅴ. 他機関との研究交流のあり方について科技厅技振課と協議

新規研究テーマ「原子力極限環境材料に関する研究」について平成元年度より原研、金材研、無機材研、化学技研等との研究 交流が予定されている。

Ⅵ. 原研、原子力材料研究委員会に参加

エネルギー選択型強力中性子源及びモジュラー型ホットラボの技術仕様及び共同利用体制についての審議に参画。

Ⅶ. 新素材について東北大、名大、豊橋技科大、北大、大阪府立工業試験所、素材メーカー等と交流。

Ⅷ. 海外調査

西独、仏に出張、調査(野村茂雄)

Ⅸ. 将来構想の立案・イメージ化作業

本報告書は最後に記述したフロンティア材料研究に関する将来構想について、フロンティア材料研究グループが平成元年1月から3月にかけて議論した内容をとりまとめたものである。報告書は「新素材開発の動向」、「動燃が果たす役割」、「フロンティア材料研究グループが果たす役割」、「実施すべき研究課題」、「導入すべき装置類」、「新たに建設すべき施設」、「他機関との研究交流」、「他機関の大型施設の共同利用」、「人材の確保」、「予算のあり方」及び「関連組織のあり方」で構成されている。

なお、関係者からの建設的提案、コメント等を収集するための議論のタタキ台とするため、今回将来構想（案）として印刷・配布した。今後、本報をもとに、関係者からの提案・コメント等をもりこみつつ平成元年9月末及び、平成2年3月末に将来構想（改訂版）を作成する予定であるので、関係諸兄からの積極的な御意見、御鞭撻をお願いする。



## 2. 新素材開発の動向

近年の技術革新は、電子材料＝半導体の技術によって支えられており、情報化社会へと急速な変革が進んでいる。原子力・エネルギー、情報・エレクトロニクス、バイオテクノロジー、航空・宇宙などの先端産業の発展のためには、システム開発と並行して要素技術さらには材料の開発が極めて重要である。これらの先端産業では、耐熱性、耐食性、耐放射線性などにおいて既存材料では使用不可能なより厳しい環境条件に耐える構造材料や化学的機能、光学的機能、電磁的機能など種々の機能を有した機能材料が要請されている。

このような背景には、これまでプラントコンポーネント及びシステム分野に関心が集まりすぎていたことが挙げられる。これは、コンポーネントやシステム開発が第1で、その性能及び機能を満足させる材料はどこからも入手できる時代が続いてきたためである。しかし、21世紀を前に再び材料を見直す気運が盛り上がって来たのは、現在のプラントコンポーネント及びシステムが性能及び機能上頂点をきわめ、材料のブレークスルーがなくては、一步も前に進めなくなった状況がある。このようなことは原子力分野においてもあてはまる。即ち、原子力技術が高度化する中で、従来隠れた存在であった材料が、実は、重要な役割を果たしており、プラントの設計及び運転等の合理化や問題解決のための律速因子となっていることが、認識されてきている。

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」<sup>(4)</sup>（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、技術の芽の探索及び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の1つとして、原子力用材料技術を取上げ、この技術開発を産学官の連携の下の研究交流により、効率的・計画的に推進することとしている。Fig. 1～Fig. 3にそれぞれ原子力開発利用長期計画で示されている基盤技術開発に関する指針、材料技術についての重要研究課題及び概念図を示す。

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の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）<sup>(5)</sup> <sup>(6)</sup> されている。ここでは、短期間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。

### 3. 動燃が果たす役割

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燃にとって、前述の第11号答申及び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、材料シーズの開発及び材料ニーズの発掘並びに材料解析評価技術の高度化及び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）の抽出が行われ、報告書－創造型研究開発への転換を目指して－（PNC SN 5420 88-001）<sup>(1)</sup> がまとめられた。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。抽出された重要研究課題の内、7件が昭和63年度より実施が認められている。

さらに、昭和63年度7月1日付で発足したフロンティア材料研究グループが中心となり、上記7件の研究課題についての中長期的な基本計画書（PNC SN9080 88-007）<sup>(2)</sup> 及び最長3ヶ年の実施計画書（PNC SN9080 89-001）<sup>(3)</sup> をまとめるとともに、平成元年度より開始すべき新たな研究課題の検討・選定を行った。これらの研究課題の概要については第5章に記述する。

基盤材料研究として動燃が実施すべき項目としては以下のものが考えられる。

- 実施項目の例：①材料設計 ②試作 ③製造・加工 ④評価試験  
 ⑤試験結果の評価 ⑥プラントへの適用性解析・評価技術の開発  
 ⑦新材料の創製 ⑧特許等の技術的権利の取得  
 ⑨他機関との研究交流 ⑩基盤材料データベースの構築  
 ⑪新規施設類の導入

これらの項目の内、動燃が今後実施していくべき研究内容として以下のことが考えられる。

- (1) 当然実施すべき事及びできる事として現状プロジェクトと同様に、④評価試験、⑤試験結果の評価及び、⑥プラントへの適用性解析・評価技術の開発がある。但し、基盤材料技術の開発との位置づけから、今までの主流であったマクロ的評価に加え、原子・分子レベルのミクロ的な見地から材料の変質・損傷メカニズムを明らかにする必要がある。このようなアプローチを通して真の材料開発／⑦新材料の創製が可能となる。
- (2) ④評価試験及び、⑤試験結果の評価より得られる成果は、①新材料の材料設計を行う場合の重要な情報（動燃のノウハウ）となるので、①材料設計に動燃は積極的に参画すべきである。
- (3) このような、①材料設計への参画により、⑥新材料の創製が可能となる。
- (4) ③製造・加工については素材メーカーには対抗できないので、メーカーにまかせるべきで

ある。

- (5) 従って、①材料設計を素材メーカーと共同で実施する場合が生ずるが、この場合、動燃のノウハウがベースとなるので、①材料設計の結果生ずる、⑦特許等の技術的権利についての動燃の権利をあらかじめ明確にしておく必要がある。
- (6) 一方、②試作部門は 100%メーカーに依存するのではなく簡単な、試作装置類は今後動燃にも導入すべきである。

これにより、これまでのメーカー依存の材料開発体制からの脱却が可能となるし、材料設計→試作→試験→評価の一環した材料開発サイクルの確立が可能となる。さらに、研究者のポテンシャル向上にもつながる。

試作装置類の例 (いずれも小型のもの)

粉砕機

ミキサー

成形機

焼成炉, HIP等

- (7) 原子力基盤材料技術の効率的推進及び成果の幅広い普及のため、⑨他機関との研究交流は不可欠である。研究交流の促進の必要性については科学技術会議の答申及び原子力長計でも強調されている。又、これをうけて科学技術庁より研究交流推進の指示がでているとともに必要経費が新たに予算化されている。
- (8) 国の研究機関等で得られる研究成果を新材料設計等の基盤材料技術の効率的推進に役立てるとともに、成果の幅広い普及のためには、種々の研究機関にまたがり、おたがいに利活用できる、⑩基盤材料データベース (ネットワーク方式データフリーウェイ) の構築が不可欠である。
- (9) 上記(1)~(8)に記述した研究内容を実施するため必然的に必要となる新規施設類を導入する。

上記(1)~(9)に記述した基盤材料研究として今後動燃が実施していくべき研究内容の流れを6つのケースに分類した資料をFig. 4に示す。

#### 4. フロンティア材料研究グループが果たす役割

3章に記述した「動燃が果たす役割」の推進に加えて、組織としてのフロンティア材料研究グループが既設の材料開発関連課室との連携の上果たす役割として以下の項目が考えられる。

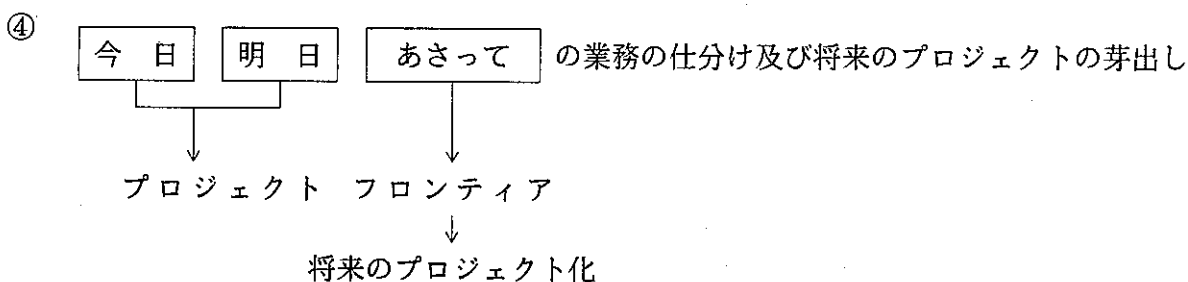
- ① 基盤材料研究の推進 新規性，独創性，ブレークスルー性のある研究の発掘・選定・推進

基礎研究とプロジェクト研究をつなぐ研究の発掘・選定・推進  
 微視的なレベルまで掘り下げた材料損傷，劣化メカニズムの解明の推進



材料設計／新素材の創製

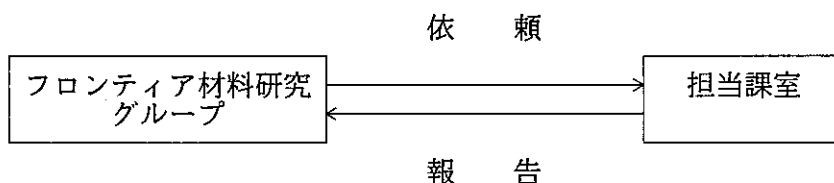
- ② 基盤材料研究の実施 発掘・選定した研究課題に関する調査・解析・評価業務の実施  
 ③ プロジェクト研究実施組織内で埋没しがちな「あさって」のテーマの発掘，具体的実施方策の検討。



- ⑤ 基盤材料研究テーマの中長期的基本計 作成  
 ⑥ 基盤材料研究の成果について，研究管理を行うとともに，2，3年毎にチェックアンドレビューを行い，その後の研究の実施内容の方向づけを行う。  
 ⑦ 基盤材料研究に関する将来構想の立案・イメージ作りを行う。  
 (イ) 平成2年度以降の新テーマの発掘及び選定  
 (ロ) 将来的な組織・体制の検討  
 (ハ) 新規施設計画の検討  
 (ニ) 要員計画の検討  
 (ホ) 予算要求計画の検討  
 (ヘ) スケジュールの検討  
 (ト) 役割分担の検討  
 ⑧ 外部機関との共同研究，調査業務及び委託業務を主体的に行う。  
 ⑨ 外部機関（主に原研・金材研）との協力のもとに，データ及び知識を体系化し，新素材

の材料設計に指針を与えるる，ネットワーク方式材料データベースを構築し，基盤材料研究の効率的・計画的な遂行に役立てる。

- ⑩ 外部機関との研究交流及びパイプ作りを主体的に行い，効率的な研究方策・体制を構築する。
- ⑪ 客員研究員及びフェローシップ研究員の受入れ体制を関係課室の合意のもとに作成し，研究の効率化及び底上げを図る。
- ⑫ 関係課室との役割分担を以下のとおりとし，研究の効率的推進を達成する。



- |   |  |
|---|--|
| <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> |
|---|--|

## 5. 実施すべき研究課題

昭和63年度から着手した研究課題及び平成元年度から新たに着手する研究課題についての研究概要（目的，必要性，開発課題及び期待される成果）を以下に記述する。

### (1) FBR構造材料の寿命・余寿命診断法開発（FNM，材料室及び技術課）

**研究概要：**FBR 実験炉「常陽」（設計寿命15年）においては設計寿命を迎える時期に運転継続是非を判断するため，寿命・余寿命診断法の開発を行う必要がある。また，FBR 原型炉「もんじゅ」は昭和67年度に臨界を達成し，その後発電運転される予定であるが，運転効率の向上を図る上で，合理的な運転及び保守管理計画の作成が必要となる。

本研究は，FBR 使用環境における構造材料（主にSUS304）の非破壊モニタリング寿命・余寿命診断法に関する技術基盤の確率を図るとともに，FBR の合理的な運転及び保守管理計画に反映することを目的とする。Fig. 5 に開発全体フロー図を，Fig. 6 に開発概念図を示す。また，Appendix Aに寿命・余寿命評価法の比較分類を示す。

### (2) 原子力極限環境材料に関する研究（FNM，材料室，ADS，及びMMS）

#### ① 耐ナトリウム性・耐放射線性新素材開発（FNM及び材料室）

**研究概要：**FBRの性能を根本から改善し，飛躍的な向上を図るためには，FBR使用環境に最適な新素材を創製することが，重要な解決法の一つである。また，将来の原子力開発のための新素材を創製するだけでなく，新素材開発を通して試験方法の標準化等の技術基盤を確立する必要がある。

本研究は，相安定性，高温強度，耐ナトリウム性，耐放射性に優れた新素材開発の技術基盤の確率も図るとともに，FBR 使用環境に最適な構造材料及び機能材料としての新素材の創製を目的とする。これらの対象材料としてセラミックス（ $\text{Si}_3\text{N}_4$ ， $\text{SiC}$ ， $\text{ZrO}_2$ 及びサイアロン等）等がある。Fig. 7 に開発概念図を示す。

#### ② 高性能遮蔽材開発——金属水素化物等開発（FNM及びADS）

**研究概要：**FBR 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，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（開発目標：板厚1/2以下）を開発する。中性子減速効果にすぐれた材料としては，金属水素化物がある。その中でとく

---

（注）所掌個所をカッコ書きする。なお，フロンティア材料研究グループを本資料ではFNM と略記する。

に $ZrH_{1.7}$ は吸収断面積は $B_4C$ より劣るが、中性子散乱断面積は $B_4C$ より大きい。従って、炉心領域に近接した場合の中性子減速効果は、金属水素化物が格段に優れているとする解析結果が得られている。また、各施設等への適用を幅広く考えると全エネルギーの中性子のみならずガンマ線に対しても遮蔽性能にすぐれた万能タイプの新しい遮蔽材の開発が必要である。

そこで本研究では、高温で安定な革新的金属水素化物及びそれらを包むバリアー材並びに万能タイプの遮蔽材を創製し、大型炉や各種新型原子炉並びに放射性物質取扱施設の遮蔽体に適用することを目的とする。Fig. 8に開発概念図を示す。

### ③ 超長寿命炉心材の開発 (FNM及びADS)

研究概要：高速炉を含めた高性能新型炉の成立性を決定する最もクリティカルな要素が炉心燃料被覆管である。熱効率を高め安全性、経済性を飛躍的に向上させるためには寿命10年以上、耐熱温度  $700^{\circ}C$ 以上、耐中性子照射量  $6 \times 10^{23} n/cm^2$  (高速中性子フルーエンス) 以上の新素材が中長期的には必要とされる。こうした材料は従来のステンレス鋼及びフェライト鋼の延長線上で開発するには限界があり、革新的材料としてセラミックス含有傾斜組成新素材を創製する。Fig. 9に開発概念図を示す。

本材料の開発は広く基盤技術開発の一環として実施するものであり、開発成果は高速炉等の構造材のみならずエネルギー産業に広く適用できるものである。

### ④ 高性能制御材開発 (FNM, ADS及びMMS)

研究概要：高速増殖炉の制御棒の寿命は、 $B_4C$  制御材 (吸収材) のスウェリング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。そこで制御棒の大幅な寿命延長 (開発目標：寿命5年) 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、従来の $B_4C$  制御材をサーメット化する改良を行うとともに、希土類元素及びその化合物 (Eu合金等)、さらには複合制御材等の全く新しい高性能制御材の開発を行う。Fig. 10に開発概念図を示す。

### (3) トリチウム・水素捕獲・貯蔵及び非透過性材料開発 (FNM及び材料室)

研究概要：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き起こす可能性がある。

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 (水素吸蔵合金)、及び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、又は長期間貯蔵用の廃棄物容器壁を、現在発展しつつある新材料及び高度複合技術を駆使して開発を進める必要がある。これらはシステム及びバ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。これらの研究開発により、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。Fig. 11に開発概念図を示す。

なお、本研究は核融合炉におけるトリチウム制御及び汚染防止にも役立つ基盤技術としての波及効果が期待できる。

#### (4) 原子炉計装材料の開発 (FNM, 照射課及び技術課)

##### ① 歪測定作動トランスの開発 (FNM及び照射課)

研究概要：照射リグ内における試験材の炉内クリープ歪を測定するため作動トランスの開発を行う。既存の歪測定作動トランスの内、高速炉内で使用の可能性のあるものを調査、選定し炉外評価試験を行う。その結果、使用可能と考えられるものの照射試験を行い、炉内で使用可能かどうか判断する。さらに、得られた試験結果に基づき、損傷メカニズム等を解明し、作動トランスの改良を行う。

##### ② 超高温用熱電対の開発 (FNM及び照射課)

研究概要：FBRの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は燃料の照射挙動を知り燃料設計を合理的なものとする上で非常に重要なことである。高速実験炉「常陽」において前記のための照射を実施して来ているが、これまでに使用した熱電対は、約2100℃が限界である。これは、熱電対自体の耐熱性等に主な原因があるためである。

そこで、現状の熱電対に換えてさらに高温域での計測が可能な超高温熱電対（芯線、シース：W-Re合金、絶縁材：HfO<sub>2</sub>, ThO<sub>2</sub>）（開発目標：max2700℃）の開発を行う。

##### ③ 形状記憶合金温度モニタの開発 (FNM及び照射課)

研究概要：高速実験炉「常陽」における各種照射集合体の照射温度計測手法として、従来TEDモニタ、SiCモニタ等のオフライン温度モニタがあるが、これらの温度モニタは計測精度についての信頼性、照射後試験時の取り扱い性及び経済性の点で問題となっている。そこで温度変化に敏感な形状記憶合金を応用した温度モニタを開発し、「常陽」の照射技術を革新的に高度化する。高温用形状記録合金には下記の3種類がある。

##### (イ) Ti-Pd-Pt-Ni系合金

Tiを主成分として、構成元素濃度を変化させることにより変態温度（形状回復温

度)が制御でき、最高到達温度での合金形状を降温してもそのまま保持する一方向性の記憶特性を有する。

(ロ) Cu-Zn-Al系合金

最高到達温度から降温過程での形状変化が最高温度に依存し、さらに加熱・冷却を繰り返すたびに合金形状が変化する二方向性の記憶特性を有する。従って一定組成合金により温度のモニタリングが可能である。

(ハ) Fe-Ni系合金

変態温度間 ( $A_s - A_f$ 間)で、温度によって合金形状が変化する特性を有し、降温してもそのまま保持する一方向性の記憶特性を有する。従って一定組成の合金により温度のモニタリングが可能である。

④ オフライン荷重センサの開発 (FNM及び技術課)

研究概要：高速炉の炉心構成要素、構造物及び配管等の健全性及び運転状態におけるこれらの変形挙動にもとづく荷重の測定技術は設計の合理化及びプラントの監視、原子炉施設の安全確保において重要である。

オフライン荷重センサ材は高速炉等の高中性子束、高々線、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である。荷重測定の原理は、弾性域がほとんど存在せず、かつ荷重と塑性変形量が比例関係にあるオーステナイト系ステンレス鋼焼結体の超塑性特性を応用したものである。これを実用化する為、次の課題に取り込む。

(イ) 超塑性変形特性の把握

(ロ) 加工性、成形性の改善

(ハ) ナトリウム中、中性子照射下での材料特性変化の把握

⑤ He集積型中性子ドジメータの開発 (FNM及び技術課)

研究概要：照射ベットとしての「常陽」では燃料材料の長寿命化をめざした照射試験を進めているが、中性子照射量を測定する現状のドジメトリーシステムは長期間の照射試験に対する照射量測定精度が充分でない。このため、新型のドジメトリーシステムを開発して長期間の照射試験に備える必要がある。

新型ドジメトリーシステムとしては照射中に  $(n, \alpha)$  反応で生成するHe原子を測定して照射量に換算する方法が有望である。本手法を確立するには中性子ドジメータ材料 ( $(n, \alpha)$  反応断面積が既知、放射化量が少、加工性が良好な材料) の選定、ドジメータ材料中に生成した原子を漏れなく閉じ込めるためのキャプセル材料 (照射中に健全でHe透過量が少、放射化量が少、溶接・加工性が良好な材料) と照射場に適した形状寸法

の最適化，さらにキャプセル内のHe原子を高精度に分析するための装置の開発が不可欠である。

そこで，各種材料を用いて中性子ドジメータ（例えば，B，Be，Al入りVキャプセル）を試作し，実際に炉内で照射後，生成したHe原子を分析して中性子照射量との対応を図り最適なドジメトリシステムを開発する。本研究開発で達成される手法を応用して照射材料中に生成するHe量を精度良く測定でき，高速炉や核融合材料で問題となっている照射脆化やスエリングの実測値に基づいた定量的な評価を可能にする。

Fig. 12に原子力計装材料の開発概念図を示す。

#### (5) 超耐熱構造材料の開発 (FNM)

研究概要：将来的な新原子動力として超高温小型可搬型FBR（リチウム冷却FBR）及びカリウムタービンの開発・検討がはじめられている。そのため，冷却材の温度を超高温（max. 1200°C）にする必要があり，構造材料には超耐熱性が要求される。また1次系冷却材を液体状態で使用する観点からナトリウムにかわり，沸点の高いリチウムが冷却材として使用されるので，リチウムとの共存性に優れた構造材料が必要となる。カリウムタービン用構造材料にはカリウムとの共存性が優れていることが要求される。カリウム蒸気発生器伝熱管材にはリチウムとカリウム双方に優れた共存性が要求される。さらに，可搬型FBRとしての宿命から軽量化が重要課題となり比強度の高い材料開発が必要となる。Fig. 13にリチウム，ナトリウム及びカリウムの物理的性質を示す。

しかしながら，このような超高温で十分な耐熱強度及び比強度を有するとともに，リチウム及びカリウムとの共存性に優れた材料開発の例は国内では全くなく，実用化までには10年以上を有するとともに，材料開発は可搬型FBRの開発を律速するクリティカルな課題となる。なお，可搬型FBRの開発は数年前から米国及びフランスではじめられているが，まだ初歩的な段階である。

材料開発に当たっては，従来一般的に行われてきた経験とカン及び膨大な施行錯誤実験による錬金術的研究開発法とは異なるd電子合金理論に基づく合金設計法を採用することにより研究開発のコストパフォーマンスをあげる。長期的には平成4年度に最適化鋼の選定を行うことをめざす。

なお，本研究で得られるリチウム技術は核融合炉にも役立つ基盤技術としての波及効果が期待できる。

#### (6) 新素材試作施設，超高温材料強度試験施設並びに，リチウム／カリウム試験施設等の建設に関する調査 (FNM)

研究概要：上記(1)～(4)の研究課題に関する新素材の創製には試作施設，超高温の材料強

度試験施設及び材料解析評価施設が不可欠である。また、上記(5)の可搬型FBR(リチウム冷却FBR)及びカリウムタービン用の超耐熱性構造材料の開発には1200°Cを超える超高温の材料強度試験施設(引張, クリープ, 疲労, クリープ疲労, リラクゼーション, 破壊力学試験)及び使用環境を模擬できる試験施設(高温時効, 高真空雰囲気, リチウムとの共存性, カリウムとの共存性試験)が必要不可欠である。しかしながら, 国内には現在, これらに相当する施設はない。

上記のような厳しい環境における材料開発は新素材の創製並びに可搬型FBR及びカリウムタービンの開発を律速するクリティカルな課題であるとともに材料の実用化には技術的困難性から10年以上必要と考えられる。従って21世紀初頭での新素材並びに可搬型FBR及びカリウムタービンの実用化を念頭におくと早期に材料開発に着手する必要があるとともに, 研究開発を効率的に行うことが重要となる。

そのためには, 素材の試作, 評価試験(超高温材料強度試験及び各種環境下での材料試験), 材料のミクロ解析による損傷メカニズムの解明及びその材料改良への反映, 材料データベース構築及びその新素材創製への応用並びに計算機データ処理による新素材並びに超耐熱性構造材料の材料強度基準(設計許容応力)の策定等が, システムチックに行える総合的研究開発施設(仮称: 原子力極限環境材料開発センタ)の建設が必要不可欠である。そのため, 必要となる調査を行う。Fig. 14に原子力極限環境材料開発センタの概念図を示す。

#### (7) 中性子高度利用技術の開発(FNM)

研究概要: 「原子力長計 第4章先導的プロジェクト等の推進」において放射線利用の一環として 1)新しいビームの利用技術の研究開発 2)新しいビームの発生技術の開発, を重点的に実施する旨の記述がなされている。こうした利用技術の開発は, 新材料の創製, 極限材料の評価, 高度の分析等に有用であり, 今後の原子力開発利用の一つの重要な方向として注目される。

以上の背景から動燃でも既存の施設の利活用等を含めて, 中性子高度利用技術の開発を重点的に推進し, シーズ指向の基盤研究に役立たせることが必要である。

国内では理研, 原研等によって放射線の高度利用技術の開発と関連施設(SOR 光施設: 関西, 強力中性子源: 大洗, イオンビーム施設: 高崎)が進められている。動燃においては, TRU 消滅処理技術開発の一環として加速器等が考えられているが, 既存の設備体系とくに「常陽」等を用いた高度で創造的な中性子利用技術の検討は未着手である。そこで平成元年度より超高中性子束( $10^{17} \sim 10^{18} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ )照射施設を実現させるための基本構想の検討を行う。Fig. 15に開発概念図を示す。

(8) 高効率照射損傷解析システムの開発 (FNM, ADS及びMMS)

研究概要：「原子力長計 第5章基礎研究と基盤技術開発」において、今後の原子力材料の開発は最新の材料設計等の手法を取り入れつつ、耐放射線性新構造材料の開発、放射線を低減するための材料の開発、材料の解析・分析技術、材料の信頼性・安全性評価技術の高度化等の開発を積極的に推進することになっている。

本装置（高性能透過電顕）は加速照射装置等による耐放射性新材料の迅速・効率的な照射と高分解能の画像定量評価システムによる正確な評価を行うもので、とくに長寿命高性能炉心材料の開発に必要である。そのためのシステム設計を行う。なお、本装置のシステム設計は中性子高度利用技術の開発に関する基本構想の検討と合わせて実施し、基盤研究体系の確立を図るものとする。Fig. 16に開発概念図を示す。

(9) 新素材データベース構築 (FNM, 材料室及びADS)

研究概要：近年セラミックス、複合材料、機能材料などと呼ばれる新素材の開発、改良が目覚ましく、その一部は既に原子力材料としても使用されているが、これらの新素材の応用、改良は原子力開発においてもブレークスルーをもたらすものとして、益々大きな期待が寄せられている。原子力材料は、放射線、ナトリウム、高温などの特殊な環境に長期間耐えることが要求され、さらに、これらの特殊環境の中で期待される性能・機能を維持する必要がある。新素材を原子力材料として体系的に、効率よく開発、適用していくためには、個々のニーズの範囲で独立、断片的に研究を進めるのではなく、新素材の物理、化学的な諸特性をデータベースとして整理し、研究成果の幅広い普及を図ることが不可欠である。特に、セラミックス、複合材料については、耐熱性、耐食性に優れ、素材の持つ特殊な機能が原子力施設の広範な分野に適用される可能性があり、各分野の研究者が数多くこれらの導入を計画しているため、データベースの構築が強く望まれている。そのため、データベースを構築する。

(10) 基盤材料データベース開発 (ネットワーク方式データフリーウェイの構築) (FNM)

研究概要：「原子力開発利用長期計画」において、基盤研究とプロジェクト開発を結び付ける基盤技術を推進するとの方針が提示された。この方針の効率的・計画的な実行にあたっては、原子力用材料に関する広範な研究の成果を中心に、データ及び知識を体系化して新材料の開発に指針を与え得る基盤技術原子力用材料に関するデータベースの構築・整備の必要性が指摘された。この指摘を受けて原子力用材料データベースに関する調査（テクノバ委託）を行い、各機関でデータベースを構築し、それをネットワーク化し、相互利用を計る“データフリーウェイ”システムが有効であるとの結論に達した。この具体化には、原子力基盤研究成果を収録したデータベースの構築とそれらのネットワーク化に際し

て、データベース、計算コード、ハード機能の標準化、通信回線網の確立、ゲートウェイの確立、オペレーションシステム、データベース、マネージメントシステム、通信手順の統一化が不可欠である。

これらを遂行するため、関連機関（動燃、原研、金材研等）の連携により、ネットワーク方式による原子力用基盤材料データフリーウェイ構築に関する調査研究及びシステム設計を通して、システム構築を行う。Fig. 17にネットワーク方式基盤材料データベースの開発概念図を、Fig. 18にデータフリーウェイ概念図を、Fig. 19に研究成果のデータベース化と相互利用の流れを示す。Table 1にデータフリーウェイと従来のデータベースの比較を示す。

#### (11) 研究交流（FNM, 材料室, ADS, MMS, 照射課及び技術課）

研究概要：原子力開発利用長期計画を受け、昭和63年度より国研、国の研究開発法人等の各研究機関において、各々のポテンシャルを発揮しながら原子力基盤技術研究開発が開始されている。

本研究交流は、大型の研究施設を必要とする研究や複雑多岐にわたる技術領域から構成される研究のうち、個々の研究機関単独では十分な成果を得ることが望めない研究について、これを研究機関が共通に取り組むべき課題として設定し、原子力関係の国の研究機関の共同研究等による連携を中心として、広く非原子力も含めた産学官のポテンシャルを活用し、創造的原子力技術の創出を図ろうとするものである。

##### ① 原子力基盤技術重点戦略課題

「原子力極限材料の開発に関する研究」、Fig. 20に研究の流れを示す。

##### ② 重点課題の推進母体及び機能（原子力材料推進幹事機関：動燃、原研）

(イ) 研究推進委員会（重点戦略課題実施機関を中心に産・学・官の有識者から構成－研究計画重点戦略課題達成のためのコーディネート）

(ロ) 研究交流推進委員会（重点戦略課題実施機関で構成－研究会、シンポジウムの開催、その他研究交流の促進方策の検討、産・学・官のポテンシャル、ニーズ等の発掘）

##### ③ 原子力基盤技術推進費について

- ・重点戦略課題の推進母体の事務的経費
- ・産・学・官の研究ポテンシャル、研究交流ニーズの発掘、調査の経費
- ・研究会、シンポジウムの開催経費

等重点戦略課題に必要な研究交流の推進を支援するための経費である。

##### 動燃研究テーマ

(イ) 耐ナトリウム性、耐放射線性新素材の開発

(ロ) 高性能遮蔽材の開発－金属水素化物等の開発

(ハ) 超長寿命炉心材の開発

(ニ) 高性能制御材の開発

Fig. 21及びFig. 22に原子力基盤クロスオーバー研究の展開及び研究体制を示す。

Table 2に研究課題の概要表を、Table. 3に概略研究スケジュール表を、Fig. 23に大洗工学センターにおけるフロンティア材料研究の組織体系を示す。Fig. 24にフロンティア材料研究の全体流れ図を示す。また、Fig. 25に原子力開発利用長期計画で示されている重要研究課題と大洗工学センターで実施するフロンティア材料研究課題との対応を示す。

平成2年度以降新たに実施すべき研究課題の選定・発掘はフロンティア研究推進委員会、材料技術検討作業部会がまとめた材料ニーズ調査資料集 (PNC SN9420 88-002)<sup>(8)</sup> 及び材料シーズ調査資料集 (PNC ZN8420 88-004)<sup>(9)</sup> をもとに今後適宜行う。

## 6. 関 連 装 置

フロンティア材料研究を進めるにあたり、今後導入する必要性がある材料の試作、評価、解析などに関連する装置を調査した。その結果を試作・加工装置と評価・解析装置に分け、Table 4 に示す。これらの装置の導入順序および仕様は、研究課題の内容、装置の必要性、既設の装置類の有無及び技術的仕様との関連、予算、工程などを考慮して総合的に判断すべきであり、本年度に詳細な検討を行う。Table. 4 には現時点における装置の必要性を○、△、×に分け示した。なお、大型施設については第7章に述べる。



## 7. 新たに建設すべき施設

5章に記述した基盤材料研究課題の遂行のため、及び、それらの発展の過程で新たに建設すべき施設について以下に記述する。なお、施設建設の検討に当たっては、それらの必要性、目的、機能・内容を今後詳細に検討するとともに、既設の組織・体制、現有施設及び従来プロジェクト研究との関係を明確にしていく必要がある。また導入する装置類についても6章に記述した装置類について今後プライオリティ付けを行い、しばっていく予定である。

### (1) 新素材開発施設（コールド）——「原子力極限環境材料開発センター」（仮称）

Severely Environmental Materials Development Center (SEMAT:セマツト)

#### ① 目的

新素材の試作・創製、キャラクタリゼーション、極限環境下での材料強度特性評価、材料物性解析評価の実施、計算機を利用した基盤材料データベースの構築及びそれによる材料設計並びに材料応用工学的各種解析・評価法の開発を目的とする。

#### ② 機能

(イ) 新素材の試作・創製・キャラクタリゼーション

(ロ) 極限環境下（超高温—max. 1500°C—大気中／真空中／不活性ガス中／リチウム中／カリウム中）での材料強度特性評価（衝撃，引張，クリープ，疲労，クリープ疲労，リラクセーション，破壊力学試験等のマクロ的評価）

(ハ) 材料物性解析評価（原子・分子レベルの材料劣化・損傷メカニズム解明等のミクロ的評価）

(ニ) 計算機を利用した基盤材料データベース

他機関とのネットワーク方式データフリーウェイの構築

(ホ) 新素材の材料設計

(ヘ) 材料応用工学的各種解析・評価法の開発

新素材の試験方法の標準化，プラントへの適用の際に必要な寿命評価等の各種材料強度評価法並びに材料強度基準等の開発

(ト) 大洗工学センター内の共同利用施設として機能

(チ) 他機関との研究交流及び研究員の受入れによる基盤材料研究の促進・底上げ

#### ③ 施設規模 (Fig. 14に原子力極限環境材料開発センター，概念図を示す)

50m×50m，2階建て，危険物取扱施設

装置用免振床付き

装置用高精度空調付き

内 訳 : 居室, 会議室, ユーティリティ, データ解析処理室 (計算機類)  
中央制御室 (材料強度試験装置及びリチウム/カリウム施設の集中管  
理)

新素材試作エリア

超高温大気中/真空中/不活性ガス中材料強度試験エリア,

リチウム/カリウム試験エリア

材料物性解析評価試験エリア 等

#### ④ 設置する装置類

(イ) 計算機類・ネットワーク方式データフリーウェイ用ワークステーション

- ・データ解析処理用 (汎用大型計算機・端末等)
- ・材料強度試験装置の制御・データ計測処理用
- ・リチウム/カリウム施設の計測・制御用

(ロ) 新素材試作装置類及び加工装置類

- ・焼結炉, 真空熱処理炉, 圧延機, 精密切断機, 成形装置, HIP, CIP, 真空蒸着,  
CVD, PVD, プラズマCVD 等

(ハ) 材料強度特性評価装置類

- ・計装化シャルピー試験機 (低温～超高温)
- ・超高温引張試験機 (max. 1500°C)
- ・超高温クリープ試験機 (max. 1500°C)
- ・超高温疲労試験機 (max. 1500°C)
- ・超高温曲げ疲労試験機 (max. 1500°C)
- ・超高温リラクセーション試験機 (max. 1500°C)
- ・超高温破壊力学試験機 (max. 1500°C)
- ・超高温熱サイクル・熱衝撃試験機等

(ニ) リチウム/カリウム試験施設類

- ・リチウム/カリウムポット (グローブボックス付)
- ・流動リチウム/カリウムループ

純度管理試験, 計測装置試験, 質量移行試験, 材料強度試験 等

(ホ) 材料物性解析・評価装置類

- ・各種画像処理装置 (材料物性の定量化)
- ・超音波顕微鏡
- ・走査型トンネル顕微鏡
- ・レーザー顕微鏡
- ・X線顕微鏡

- ・超高压透過型電顕
- ・粉粒体物性測定装置（粒度，密度，比重等）
- ・全自動波長分散型EPMA
- ・オージェ
- ・ESCA
- ・レーザ超音波装置
- ・非破壊モニタリング余寿命診断装置
- ・結晶状態分析装置
- ・熱的特性分析装置
- ・表面性状分析装置 等

⑤ 施設建設・導入時期（Table. 5 にスケジュールを示す）

平成4年度～平成7年度（4ケ年）

平成元年度	基礎調査
平成2年度	概念設計
平成3年度	詳細設計
平成4年度	建屋建設
平成5～7年度	新素材試作及び加工装置類，材料強度特性評価試験装置類，リチウム／カリウム試験施設類，材料物性解析評価装置類，及び計算機データ処理装置類の導入

⑥ 施設の検討体制

建設・導入する施設の検討は動燃内外・有識者の意見を収集しつつ，フロンティア材料研究グループが主体となって行う。必要に応じ外部機関への委託研究・調査を行う。検討に要する予算はフロンティア材料研究グループより充当する。

⑦ 施設の予算規模

総額約40億円程度（平成4年度～7年度）  
（内建屋約10億円，その他装置類約30億円）

⑧ 要員規模

エンジニアクラス	15名程度（内，客員研究員5名）
テクニシャンクラス	5名程度
役 務	20名程度（内，運転直員8名）

## (2) 超高強度中性子束照射装置

### ① 目的

中性子重照射に耐えうる原子力用極限材料の開発、中性子照射による新機能付加材料の創製、TRU 核種の消滅処理研究等の先導的プロジェクトを短期的に効率良く推進するとともに、広く、新エネルギー利用分野の技術開発、核融合材料開発、核燃料サイクルの高度化を行うために、世界一の超高中性子フラックスを持つ照射装置を開発する。

### ② 基本性能

基本構想段階において、革新的中性子照射装置が具備すべき基本性能を以下に示す。

- 1) 超高強度中性子束 ( $10^{17} \sim 10^{18} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{S}$ ) の達成
- 2) 積算照射量約  $5 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) の早期達成のための稼働率重視
- 3) 照射体積  $1 \text{ cm}^3$  目標 (最小照射面積  $3 \text{ mm} \phi$ )
- 4) 照射雰囲気 (不活性ガス, 液体Na等), 照射温度 (Max.  $800^\circ\text{C}$ ) 任意設定可能
- 5) 高速中性子領域カバー

以上1)~5)の性能達成は液体金属冷却高速炉体系又は関連技術・施設の利活用を前提とする。検討段階における優先順位は1)~5)に至るほど低くなるものとする。

### ③ 施設規模

粒子ビーム高度利用施設として、その他の新素材創製装置 (レーザービーム装置, クラスタイオンビーム装置) を設置する。

建家の規模は今後詳細設計段階で検討するものとするが、「常陽」照射後試験施設等既存の施設の利活用が図れる位置に建設する。オペレーターは粒子ビーム高度利用施設全体で最大約50名となる。

### ④ 設置する装置類

超高強度中性子束照射装置に必要な主な周辺機器は次のとおりである。開発概念図を Fig. 15に示す。

#### (イ) プロトン加速器

高速中性子束領域へ陽子粒子束を導入し (P, n) 反応による高フラックス化のために必要な主要装置である。

#### (ロ) 小型液体金属原子炉

$10^{15} \sim 10^{16} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{S}$  レベルの高速中性子フラックス場をもつ、ベース照射場として必要である。

#### (ハ) 付属ビーム処理装置

プロトン加速器と小型液体金属原子炉との結合に必要であり、加速器から出たプロトンを原子炉炉心部に投入できる装置とする。

#### (ニ) 超高強度中性子束場発生リグ

フロント照射により (P, n) 反応を発生させる領域であり、原子炉炉心部に装荷できる構造体で各種計測計を装荷したリグとする。

(ホ) 試料ハンドリング装置

超高速中性子束場発生リグへの試料の装荷を行い、保意雰囲気中で任意時間の照射が行えるような構造とする。

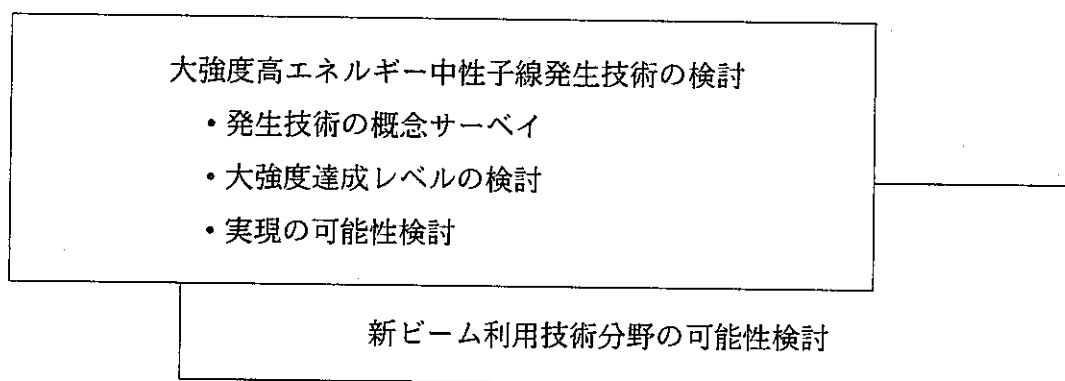
(ヘ) 計算機制御センター

ビーム発生条件と炉心中性子束管理、さらには温度、照射雰囲気、炉運転等の管理を実施できる計算機システムを設置する。

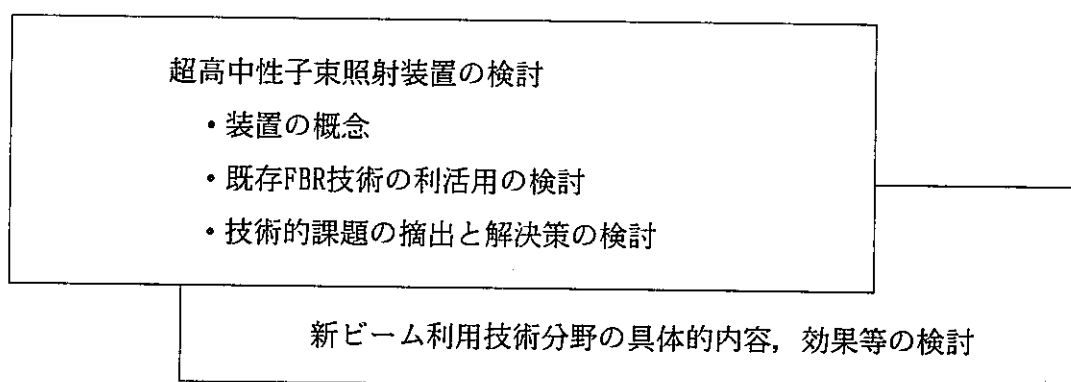
⑤ 検討の進め方

基本構想の検討は、次のプロセスで実施するものとする。(Table. 6 にスケジュールを示す)

[平成元年度]



[平成2年度]



[平成3年度以降]

- チェック&レビュー, 今後の進め方等の検討
- 国際的開発テーマとしての提言
- 開発マイルストーンの設定 (1998~2000年建設を目標とし, 概念設計, 詳細設計等の時期を設定する。

## ⑥ 体制及び予算

本基本構想の検討はPNC内外の有識者を集め、フロンティアGrが主体となって実施する。必要に応じ外部機関への委託研究、調査を行う。検討に要する予算は、当面フロンティア材料Grより充当する。本装置の予算等については開発マイルストーン検討段階において検討する。

## (3) 高効率照射損傷解析システムの開発

## ① 目的

中性子照射下での金属およびセラミック材料の挙動を解明し、新材料開発および材料の中性子重照射における材料挙動の予測評価を行う。中性子照射を受けた材料を用いて、その照射損傷組織発達の過程\*を温度、応力、粒子線照射下にて観察し、転位組織、析出物、元素の偏析、ボイド等の変化を解析する。期待される成果としては、耐中性子照射新素材の開発、中性子重照射でのスエリング、照射クリープ挙動の定量予測及び照射下における材料の変形・破壊機構の解明がある。

## ② 基本性能

## 1) 高性能電頭本体

{	加速電圧	400KeV	}	高角度X線分析装置及びSEM装置付
	分解能	~1 Å		

## 2) リアルタイム画像処理装置

テレビカメラシステムと連動させることにより、微細組織の変化を定量的にオンライン解析し、統計処理結果を表示できる機能とする。

## 3) 照射装置

簡易な重イオン及び軽イオン加速装置並びにSOR光装置を設け、照射、未照射の電頭試料に照射し、In-SiTu解析を行うとともにX線トポグラフィ（組織のCT像）を行う。

## ③ 施設規模

既存の燃材部施設を有効利用する。照射装置としての加速器は、電頭オペレーターが容易にメンテナンスできる操作性を有するものとする。Fig. 16に装置の全体構成図を示す。

## ④ 予算

1) 400KeV電頭本体	200百万円
2) イオン照射装置	200
3) リアルタイム画像処理装置	50
4) 試料応力制御装置	
5) 試料温度制御装置	

⑤ 導入スケジュール (Table. 7 に導入スケジュールを示す)

平成元年	システム設計
平成2年	電顕本体導入
平成3年	イオン加速装置設置
平成4年	リアルタイム画像処理設置

## 8. 他機関との研究交流

### (1) 他機関との研究交流方法

#### ① 情報収集及び情報交換

(イ) 国研、大学及び素材メーカーの研究所等を訪問し、新素材の原子・分子構造、設計法、製造法、加工法等に関する情報を収集または交換する。

(ロ) 講演会、展示会、学会等に参加し、新素材に関する上記情報を収集または交換する。

(ハ) フロンティア材料研究グループが主体となり、講演会、展示会、討論会等を開き、他機関の研究者に参加してもらい、上記のような情報交換の場とする。

#### ② 研究施設の共同利用

放射線照射装置、イオン照射装置等の大洗工学センターまたは動燃事業団にない大型研究施設を利用し、極限環境にも耐えうる新素材開発の手がかりを得る。共同利用が考えられる施設は以下の通り。(各施設の詳細については9章に記述する。)

a. ベビーサイクロトロン

b. 加速器

c. JRR-3

d. JMTR

e. 重イオン照射装置

f. 海外の照射施設

#### ③ 客員研究員及びフェローシップ研究員の招へいまたは派遣

1) 新素材開発の専門家を客員研究員または、フェローシップ研究員として招き、研究開発をより効率的に促進させると同時に、客員研究員が有するノウハウを吸収し、大洗工学センターに蓄積することにより質的向上を図る。

2) 大洗工学センターの研究者を必要に応じて客員研究員として専門家のいる他機関に派遣し、研究開発の効率的推進を図る。

#### ④ 共同研究、委託研究の実施

(イ) 科技庁の原子力極限材料クロスオーバー研究の実施にあたり、原研、金材研、無機材研及び化学技研等との連携を密にし、研究推進委員会、研究交流推進委員会、研究会並びにシンポジウム等の場での研究項目の分担、施設の共同利用、成果報告、情報交換等を通して、基盤材料研究の効率的・計画的展開を図る。

(ロ) ネットワーク方式基盤材料データベースフリーウェイの開発にあたり、データベ



スの基本概念設計の検討およびネットワークシステムの検討を基盤材料データベース委員会（テクノバへの委託研究）での審議を通して推進し、動燃と原研，国研，大学，メーカ等とのデータベースフリーウェイを構築する。これにより，新素材の材料設計についての指針を得るとともに，基盤材料研究の効率的推進を図る。

(ハ) 必要な応じて他機関との共同研究または委託研究を実施し，R & Dの効率的な推進を図る。

⑤ 海外との研究交流

海外の各種研究機関とも上記①～④を通じ研究交流し，基盤材料研究の効率的推進及び質的向上を図る。

(2) 研究交流先として考えられる機関（海外も含む）

① 大学

② 材料関係機関（金材研，無機材研，JFCC，JFCA，材料メーカー，等）

③ 原子力関係機関（原研，電中研，CEA，EPRI，等）

④ 電気・電子・機械関係機関（電総研，工技院関係機関（化学技研，大工試，名工試等））

⑤ 航空宇宙関係機関（NASDA，NASA，等）

⑥ その他

## 9. 他機関の大型施設の共同利用

動燃の所有している大型施設でフロンティア材料研究に有効と思われるものとしては、高速実験炉「常陽」及び新型転換炉「ふげん」である。ここで照射された材料は、照射後試験施設であるFMF, MMF, AGF にて照射後試験が行われている。しかしながら、基盤材料技術の効率的推進及び底上げのためには、積極的に、以下に示すような国内外の他研究機関の大型施設を利用する必要がある。

### 1.1 試験炉

#### (1) FFTF

アメリカの高速試験炉であり、材料照射で最も重要な照射温度の測定及び照射温度コントロールを行うことができるMOTAという照射装置を有している。

#### (2) EBR-II

アメリカの高速炉であり、現在のところ「常陽」では不可能な燃料の過渡出力試験、破損燃料継続試験等を行うことができる。

#### (3) JMTR

原研の材料試験炉（JMTR）は最大熱中性子束 $\sim 4 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ ，高速中性子束 $\sim 4 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec} (> 1 \text{ MeV})$ の軽水熱中性子炉である。水冷却のため計測線付照射リグの装荷が容易であり、熱中性子照射挙動を調べるのに有効である。

#### (4) ハルデン炉

ノリウェーにあるハルデン炉は国際共同で運営されている軽水熱中性子試験炉であり、計測技術が優れており、燃料および燃料要素の照射挙動をオンラインで調べることができる。

#### (5) HFIR

HFIR (High-Flux Isotope Reactor)はオークリッジにあり、軽水冷却のBe反射体を有する100MWのアイソトープ生産炉である。世界最大の熱中性子束 $2.4 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ である。高速中性子束 ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) は $1.2 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ で、1年間の照射により25dpa(ステンレス鋼)となり、主に核融合炉材料の照射に使用されている。

### 1.2 照射用加速器

原子力の分野では、加速器は、主に基礎研究に多く使われている。重イオン核物理の研究、超ウラン元素の放射化学、中性子核データの生産、核融合プラズマ診断のための原子分子デー

タの生産，材料の照射損傷研究，中性子工学等である。この内，国内で材料の照射用加速器として用いられているものをTable 8に示す。

この中で，はじき出し損傷と核変換損傷が同時に起こさせる為に必要である数MeV以上のイオン・エネルギーで二重イオン・ビーム同時照射の行える装置となると東京大学・重照射研究設備以外にはない。

加速粒子による照射損傷研究において，損傷の連続観察による解明は最も重要な位置を占める。そのため電子顕微鏡内にイオンビームを導入し，その場観察を行う装置の開発が進められている。我が国は，電子顕微鏡による照射欠陥の研究が盛んである事もあり，Table 9に示すように6ヶ所に装置が据えつけられ，稼働している。大別して本装置には2種類あり，1つは通常型の電子顕微鏡に加速器を連結し，イオンによる損傷過程を観察する装置，もう1つは超高压電子顕微鏡にイオンビームを導入して損傷過程を検討するものである。

### 1.3 SOR(シンクロトロン放射光) 加速器

最近では，従来の加速粒子による直接的な照射効果の研究以外にも，シンクロトロン放射光による材料表面付近の原子配列等を調べる加速器が注目されている。

高速で走る電子が磁場の力を受けて，急激に方向を変えられるとエネルギーを一部失って光を放射する。電子の失ったエネルギーはすべて光に変換されるので，きわめて強力な光源となる。これがシンクロトロン放射光と呼ばれる連続光である。この放射光から有効な波長領域の光を選択し（オングストロームの原子単位で観察するのは $10^{-10}$ mの光の波長），同時にこの光を集光鏡によって細く絞って試料に照射すると，この時，試料を少しずつ移動しながら蛍光X線の検出を行えば，試料内の元素の分布の様子を精密に知ることができる。利用の一例としては，超電導物質の原子と電子の結び方を分析することによる高温超電導物質の発見の手掛かりとしている。

以下に放射光利用についてのいくつかの例を示す。

- ① 固体材料の原子レベルの研究
- ② 非晶質固体，溶液内分子の原子・電子レベルの研究
- ③ 微量分析（ppm以下のオーダー）
- ④ ミクロン以下の微細加工
- ⑤ 放射光CVDによる機能材料の創製

Fig. 26に，高エネルギー物理学研究所に設置されているシンクロトロン放射光実験施設を示す。また，Table. 10に世界各国の放射光施設を示す。

## 10. 人材の確保

フロンティア材料研究に従事する新しい人材の確保，客員研究員あるいはフェローシップ研究員の確保並びに役務等の必要性，方策，受入体制，処遇等について検討する必要がある。特に，新素材の研究についてポテンシャルの高い研究者の確保及び新しい制度である客員研究員あるいはフェローシップ研究員の受入体制，処遇について関連課室を含めた検討が不可欠である。

本報告書をまとめるに際し，上記の事項を検討する十分な時間がなかったため，平成元年度上半期に議論することとした。

## 11. 予算のあり方

動燃の長期的対応としてフロンティア材料研究に関する予算を増加させる必要がある。そのための予算戦略をどうするかについて，関連課室及びフロンティア新原子動力グループ等との連携が不可欠であるとともに，他機関との研究交流を通じた役割分担の明確化等が重要である。これらの点について平成元年度上半期に議論し，フロンティア材料研究の予算戦略を明らかにしていきたい。

## 12. 関連組織・体制のあり方

フロンティア材料研究についての将来的な組織・体制について，その目的，必要性，機能並びに既存の関係課室との役割分担等も明確にしていく必要がある。これらの点について平成元年度上半期に関係課室の意見をとりいれつつ，議論することとした。

### 13. あ と が き

平成元年1月から3月にかけて、フロンティア材料研究グループで検討したフロンティア材料研究の将来構想について（案）としてとりまとめた。本報告書は関係者からの建設的提案・コメント等を収集するための議論のタタキ台とするため印刷・配布した。

今後、本報をもとに、関係者からの提案・コメント等をもりこみつつ、平成元年9月末及び平成2年3月末に将来構想（改訂版）を作成する予定であるので関係諸兄からの積極的な御意見・御鞭撻をお願いします。

最後に、本報告書作成にあたり、福田達，前フロンティア研究グループ主幹，動力炉技術開発部土屋每雄次長，フロンティアAIグループ吉川信治研究員，企画部佐久間主査及び研究管理室白土清一研究員より適切な御指導をいただいたことに深謝する。

## 14. 引用文献

- (1) PNC I 9530 88-10, フロンティア材料研究グループ; 昭和63年度フロンティア研究グループ業務実施計画, 昭和63年9月。
- (2) PNC SN9080 88-007, フロンティア材料研究グループ; フロンティア材料研究基本計画書, 昭和63年11月。
- (3) PNC SN9080 89-001, フロンティア材料研究グループ; フロンティア材料研究実施計画書, 平成元年1月。
- (4) 原子力委員会; 原子力開発利用長期計画, 昭和62年6月。
- (5) 原子力委員会, 基盤技術推進専門部会; 原子力基盤技術の推進について——21世紀の原子力技術ブレークスルーをめざして——, 昭和63年7月。
- (6) 科学技術庁, 基盤技術推進専門部会, 原子力用材料分科会; 原子力用材料技術開発計画——21世紀の原子力技術ブレークスルーをめざして——, 昭和63年7月。
- (7) PNC SN5420 88-001, 材料技術検討作業部会; 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書(要約) ——創造型研究開発への転換を目指して——, 昭和63年2月。
- (8) PNC SN9420 88-002, 材料技術検討作業部会; 材料ニーズ調査資料集, 昭和63年11月。
- (9) PNC ZN8420 88-004, 材料技術検討作業部会; 材料シーズ調査資料集, 昭和63年7月。

Table 一覧表

- Table. 1 基盤原子力用材料データフリーウェイと従来の材料データベースとの比較
- Table. 2 フロンティア材料研究課題概要表
- Table. 3 フロンティア材料研究スケジュール表
- Table. 4 関連装置 (1/3) —試作・加工装置—
- Table. 4 関連装置 (2/3) —評価・解析装置 (1/2)—
- Table. 4 関連装置 (3/3) —評価・解析装置 (2/2)—
- Table. 5 原子力極限環境材料開発センター建設スケジュール
- Table. 6 超高強度中性子束照射装置の開発スケジュール
- Table. 7 高効率照射損傷解析システムの開発スケジュール
- Table. 8 国内の主な照射用加速器の一覧表 (1)
- Table. 8 国内の主な照射用加速器の一覧表 (2)
- Table. 8 国内の主な照射用加速器の一覧表 (3)
- Table. 9 国内における観察装置の現状 (1)
- Table. 9 国内における観察装置の現状 (2)
- Table. 10 世界における主な放射光施設

Table. 1 基盤原子力用材料データフリーウェイと従来の材料データベースとの比較

計画中のものあるいは特定の材料のもの等と対比し、フリーウェイの特徴を示す。

比較項目	基盤原子力用材料データフリーウェイ	従来の材料データベース
システム	① フリーウェイ・システム 各機関のデータベースのネットワーク化。 知的資産の自由な相互利用が可能。 ② マルチデータベース。 横断的データ評価が容易。 各ユニットが小型であるため、データベース管理が容易	① 中央集中方式  ② 単一データベース 横断的データ評価が困難。 大型であるため、専門家による管理が必要。
データ内容	① 広範な基盤技術分野の材料専門家によるデータベース化 汎用性、専門性が高い ② 最新の先端的データであるので、価値が高い。	① 限定された分野のデータの収録。
メンテナンス	① トラブルが少ない。 他の機関でのカバーが容易。	① トラブル時の被害が大きい。 中央集中方式であるため、他でカバー出来ない。

上記特徴を発揮させるためのシステム構築課題

データベース構築の標準化

計算コード構築の標準化

ハード機能の標準化

通信回線網の確立

ゲートウェイの確立

OS, DDマネジメントシステム, 通信手順の統一化

管理, 運営について

管理, 運営委員会の設立

データ評価委員会の設立

ニュース(電子メール)の発行



Table. 2 フロンティア材料研究課題概要表

No.	研究課題	研究概要	対象材料	期待される成果	関連機関
(1)	FBR構造材料の寿命・余寿命診断法の開発	材料劣化度/余寿命材料データベース構築及び非破壊モニタリング寿命診断法の開発	SUS 304	寿命延長, 運転・保守管理計画の合理化	
(2)	原子力極限環境材料の開発に関する研究 ①耐ナトリウム性・耐放射線性新素材	高性能な構造材料及び機能材料の開発	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , SiC, サイアロン等のニューセラミックス	プラントの高性能化及び多機能化	
	②高性能遮蔽材	高性能遮蔽材及び万能遮蔽材の開発	金属水素化物等	炉心廻り遮蔽板厚の半減, 被爆低減, プラントのコンパクト化	
	③超長寿命炉心材	炉内滞在期間10年以上, 耐熱性 700℃以上の超長寿命炉心材の開発	セラミックス含有傾斜材料	燃料交換の合理化 燃料利用効率の向上	
	④高性能制御材の開発	寿命5年以上の高性能制御材の開発	サーメット系B <sub>4</sub> C, 微細化B <sub>4</sub> C, Eu合金	制御棒の長寿命化	
(3)	トリチウム水素捕獲・貯蔵並びに非透過性材料の開発	高効率・大容量トリチウム・水素捕獲・貯蔵材及び高効率非透過材料の開発	水素吸蔵合金	環境汚染の防止, 被爆低減	
(4)	原子炉計装材料の開発 ①歪計測差動トランス	耐熱・耐放射線性差動トランスの開発	差動トランス	炉内変形挙動の把握	
	②超高温用熱電対	max 2700℃測定可能な超高温用熱電対の開発	W-Re, HfO, ThO	炉内燃料温度の把握	
	③形状記憶合金温度モニタの開発	高精度照射温度測定用形状記憶合金温度モニタの開発	Fe-Ni系, Ti-Pd-Pt-Ni系, Cu-Zn-Al系	照射温度計測の精度向上	東北大, 大阪府立総合試験所
	④オフライン荷重センサーの開発	炉内集合体の変形により生ずる集合体間の荷重を測定するオフライン荷重センサーの開発	超塑性SUS316焼結体	変形による集合体間の荷重測定	
	⑤He集積型中性子ドジメータ	飽和特性がなく高精度なHe集積型中性子ドジメータの開発	B, Be, Al 入りVキャプセル	広範囲なエネルギー領域での高精度な中性子束の測定	
(5)	超耐熱構造材料の開発	リチウム冷却超小型可搬型FBR用及びカリウムタービン用超耐熱構造材料の開発 (d電子合金理論による材料設計)	Nb合金, Mo合金, 複合材料等	リチウム冷却FBR, カリウムタービン用構造材料	豊橋技科大
(6)	新素材試作施設, 超高温材料強度試験施設, Li/K試験施設等の建設 (原子力極限環境材料開発センター)	施設の基礎調査, 概念設計, 詳細設計, 建設		基盤材料研究の促進・効率化	
(7)	中性子高度利用技術	超高強度中性子束照射施設の調査, システム設計, 建設		基盤材料研究の促進・効率化	北大, 東海大
(8)	高効率照射損傷解析システムの開発	照射装置付画像処理透過電顕のシステム設計, 導入		照射損傷の迅速・正確な評価と損傷機構の解明	
(9)	新素材データベース構築	新素材データベースの構築		開発・適用の効率化	
(10)	基盤材料データベース開発	他機関とのネットワーク方式基盤材料データフリーウェイの開発		材料設計及び基盤材料研究の促進・効率化	テクノバ, 原研, 金材研等
(11)	研究交流	研究推進委員会, 研究会, シンポジウム等を通じた他機関との研究交流の促進		基盤材料研究の促進・効率化	原研, 金材研, 無機材研, 化学技術研等

Table. 3 フロンティア材料研究スケジュール表

年度 研究テーマ	63	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	(1) FBR構造材料の寿命 ・余寿命診断法の開発	長時間使用機器・材料の劣化度データ整備（データベース化） ← 診断対象部位・劣化機構の検討      定量的非破壊モニタリング法の開発      診断法の確立 →										
(2) 原子力極限環境材料に関する研究	新素材開発状況に関する情報収集											
① 耐ナトリウム性・耐放射線性新素材の開発	← ニューセラミックス構造材・機能材の開発      実用化検討 →											
② 高性能遮蔽材の開発 — 金属水素化物等開発	試作・炉外評価      炉内試験・総合評価 ←      →											
③ 超長寿命炉心材の開発	← ニューセラミックス材試作・評価      実用化検討 →											
④ 高性能制御材の開発	改良B,Cペレットの開発      照射試験・実用化検討 ←      → Eu系等代替材料の開発      ←      → ←      →											
(3) 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・貯蔵材料の試作・評価      分離貯蔵システム・解析コードの開発      システムの総合評価 →											
(4) 原子炉計装材料の開発												
① 歪測定差動トランスの開発	← 試作・炉外評価      照射試験      実用化検討 →											
② 超高用熱電対の開発	← 試作・炉外評価      照射試験      実用化検討 →											
③ 形状記憶合金温度モニタの開発	← 調査・試作      照射試験      実用化検討 →											
④ オフライン荷重センサの開発	← 予備調査      照射試験      実用化検討      炉内評価 →											
⑤ He集積型中性子ドシメータの開発	← 設計      試作・炉内評価      実用化検討 → ←      フトリシステム試作      実用化検討      →											
(5) 超耐熱構造材料の開発	← d電子理論による合金試作      最適合金選定      機械的特性等評価, 実用化検討 →											
(6) 試験施設の建設	← 調査      設計・建設      (原子力極限材料開発センター) →											
(7) 中性子高度利用技術の開発	← 基本構想検討      概念設計      詳細設計, 建設 →											
(8) 高効率照射損傷解析システムの開発	← システム設計      電頭本体設置      照射装置設置, 画像処理装置 →											
(9) 基盤材料データベース構築（ネットワーク方式データフリーウェイ）	← 概念設計      ネットワーク構築, データ整備 →											

Table. 4 関連装置 (1/3) —試作・加工装置—

番号	名称	機能 (方法)	用途	必要性
1	粉碎機(ボールミル)	固形原料を硬いボールと共にドラム内で攪拌し粉碎する	セラミックスや焼結金属などの微粉末原料の製造, 混合	○
2	混合装置	原料などを液体状態で混合する。共沈法, ソルゲル法	原料, 添加物の均質な混合 (成形用の原料の製造)	△
3	成形装置	加圧, 泥しょう鑄込み, 振動などにより原料を成形する	焼結前の成形体の製造	○
4	焼結炉 雰囲気調整炉	(調整した雰囲気ガスの中で) 成形体を高温で焼結する	成形した原料の焼結 (所定の微細構造の形成)	○
5	熱間等方加圧装置, HIP	被処理物を加圧, 加熱処理して成形する	異方性, 内部欠陥, 寸法誤差の少ない成形体の製造	○
6	冷間等方加圧装置, CIP	ゴム型に入れた粉末を容器中で液体を媒体に等方加圧する	寸法の制約が少なく, 高密度で均質な成形体の製造	○
7	真空熱処理炉	材料を真空中で輻射熱によって緩やかに熱処理する	均質性の高い焼鈍, 冷却ガス循環による焼入れ	△
8	薄膜製造装置	物理蒸着法, 化学蒸着法, 化学輸送法, 基板反応法	基板上に異種材料の薄膜を密着させる	—
8-(1)	物理蒸着法, PVD	真空蒸着法, インプレーティング法, スパッタリング法	基板上に異種材料の粒子を凝縮させ, 薄膜を密着させる	△
8-(2)	化学蒸着法, CVD プラズマCVD	原料気体を基板上で反応させ, 反応生成物膜を作成する	酸化物, 窒化物, 炭化物などの薄膜を基板に密着させる	△
8-(3)	基板反応法	基板と基板に到達した化学種の反応により薄膜を作成する		△
8-(4)	クラスターイオンビーム法	原子の集合体をイオンビーム技術により照射し薄膜を作成	固体表面への原子層のコーティング	△
9	圧延装置	熱間圧延, 冷間圧延, 粉末圧延	金属, 合金等の板材加工	×
10	精密切断機	ダイヤモンド砥石などの回転によって材料を切断する	セラミックス, 超硬合金等の切断	○
11	表面研削盤	ストリートホイールなどの回転によって表面を研削する	材料の表面研削	○
12	表面研磨盤	材料の表面を鏡面に研磨する	材料の表面研磨	○
13	切断・穴空け加工装置	放電, ビーム, プラズマジェット, レーザ, エッチング	超硬材料の加工, 材料の高速切断, 精密加工	△

Table. 4 関連装置 (2/3) —評価・解析装置 (1/2)—

番号	名 称	機 能 (方 法)	用 途	必要性
1	粒度分布測定装置	沈降速度, 電磁波干渉などにより粒度分布を測定する	粉体の粒径や粒度分布の測定	○
2	比表面積測定装置	不活性ガスの吸着量などから比表面積を測定する	粉体や多孔体の比表面積の測定	○
3	ガス成分分析装置	ガスクロマトグラフ, 酸素計, 湿度計	試作装置, 評価装置の雰囲気ガスの濃度等の測定	○
4	示差熱分析装置	試料の加熱, 冷却過程での熱量を測定する	セラミックスの焼結過程, バインダの研究	○
5	熱重量分析装置	加熱した試料の重量変化を連続的に測定する	材料の酸化, セラミックス原料の化学分解の研究	○
6	X線応力測定装置	X線照射により試料の微小応力を測定する	放電加工中の応力測定	×
7	原子吸光分析装置	光が測定対象の原子によって吸収される量を測定する	微量元素の分析, 定量化	△
8	プラズマ分光分析装置	高周波プラズマを発生させ, 微量元素を分光分析する	微量元素, 高純度金属の不純物の分析	△
9	蛍光X線分析装置	X線を照射して試料の微量元素を分析する	微量元素, 高純度金属の不純物の分析	△
10	密度測定装置	材料の真密度またはかさ密度を測定する	粉体, セラミックスの密度測定	△
11	細孔分布測定装置	水銀を圧入し細孔の分布を測定する	粉体や多孔体の細孔分布の測定	△
12	硬度測定装置	微小硬度計, 高温硬度計	極薄膜の硬度, 温度をパラメータとした硬度の測定	△
13	機械強度測定装置	超高温, 不活性雰囲気での引張, 圧縮, 曲げ, 振り等の測定	温度をパラメータとした強度評価	○
14	クリープ特性試験装置	超高温, 不活性雰囲気でのクリープ特性の測定	温度・荷重をパラメータとしたクリープ特性の評価	○
15	破壊靱性測定装置	ノッチを入れた試験片を加圧し, 亀裂を進展させる	脆性材料の破壊靱性の評価	△
16	疲労試験装置	超高温での引張, 曲げ, 振り等の疲労, 熱疲労, 腐食疲労	温度をパラメータとした各種疲労特性の評価	△
17	電気抵抗率測定装置	雰囲気ガスの温度, 種類を変えて導電率を測定する	温度をパラメータとした導電性評価	△
18	超伝導効果試験装置	マイスナー効果, 永久電流などの試験装置		×
19	磁気抵抗率測定装置	試料の温度を変え, 磁界の強さを測定する	材料の磁気特性の評価	×
20	摩擦・摩耗試験装置			△

Table. 4 関連装置 (3/3) —評価・解析装置 (2/2)—

番号	名称	機能 (方法)	用途	必要性
21	超塑性試験装置			△
22	熱特性測定装置	比熱, 熱膨張率, 熱伝導率の測定	材料の熱特性の評価	○
23	熱衝撃試験装置	試料を急速に冷却または加熱し, 試料に熱衝撃を与える	セラミックス, コーティング 材料等の耐熱衝撃性の評価	○
24	耐食性試験装置	温度制御できる腐食雰囲気での環境試験装置	酸, アルカリ, 高温金属等に対する耐食性評価	○
25	X線回折分析装置	X線を照射し, 回折現象を利用して結晶相を同定する	材料の結晶構造の分析	○
26	電子線分析装置 (EPMA)	電子線を照射して発生するX線を分光し波長, 強度を測定	材料の局所的な形状, 組織, 元素結合の解析	△
27	X線光電子分析装置 (ESCA)	軟X線を照射して発生する光電子の運動エネルギーを測定	材料の表面, 界面の組成元素の分析 化学結合状態の分析	○
28	高温顕微鏡	真空または不活性雰囲気中で加熱材料を光学的に観察する	高温での材料のマイクロ組織観察	○
29	走査電子顕微鏡 (SEM)	電子線を走査し反射または2次電子の拡大画像を得る	材料表面のマイクロ組織解析	○
30	透過電子顕微鏡 (TEM)	電子線を透過させ拡大画像を得る	材料表面や薄い材料の内部のマイクロ組織解析	○
31	超音波探傷装置	超音波を照射し反射波を電気信号に変える	材料内部の微小欠陥の非破壊検査	△
32	反射型超音波顕微鏡	超音波を音響レンズで絞って走査し反射波を画像処理する	材料内部の微小欠陥の非破壊検査	△
33	X線テレビジョン	X線を透過してTV画像を得る	材料内部の微小欠陥の非破壊検査	△
34	各種画像処理装置	観察画像をコンピューター処理し, 記録, 整理する	データの記録, 保存, データベースの作成	○
35	計装化シャルペー試験装置	吸収エネルギー, $K_{IC}$ , $J_{IC}$ , $T_{mat}$ の測定	材料の破壊靱性の評価	○
36	走査型トンネル顕微鏡	表面の原子レベルの結合状態及び結晶構造の観察	材料表面のマイクロ形態解析	○
37	レーザ走査型超音波顕微鏡 (SLAM)	試料の反対側より平面超音波を入射することにより生ずる試料表面の微細振動を収束レーザ光線走査解析し, 試料内部欠陥を知る。	材料内部のボイド, 異物について, 位置, 大きさを定量的データとして得る。	○
38	オージェ	固体表面に電子線を照射し, 表面より放出されるオージェ電子を検出し, 表面層(1~数100nm)の元素分析, AES像等を得る。	固体表面, 表面皮膜の解析, Arイオンスパッタリングによる深さ方向の分析。	○

Table. 5 原子力極限環境材料開発センター建設スケジュール

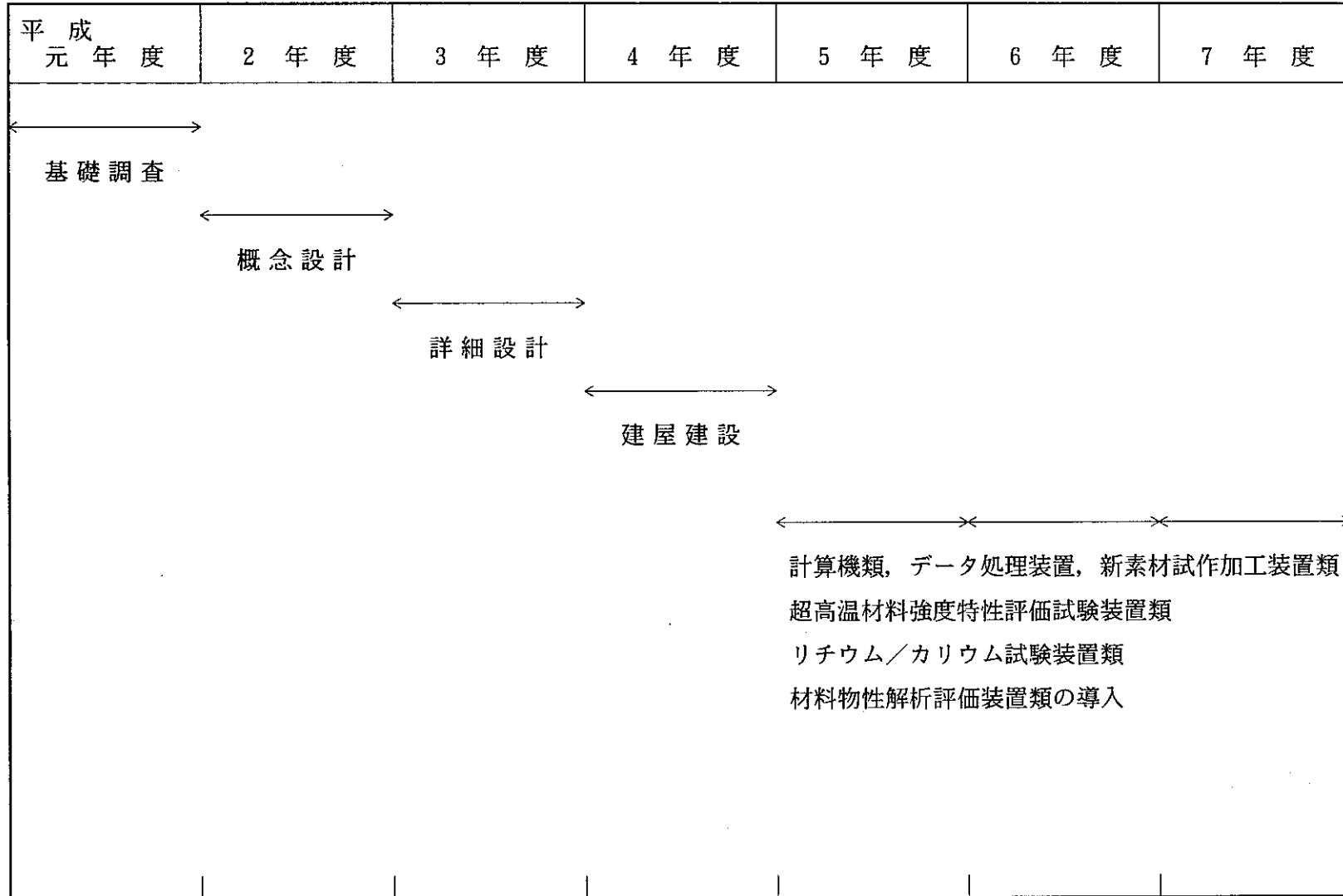


Table. 6 高効率照射損傷解析システムの開発スケジュール

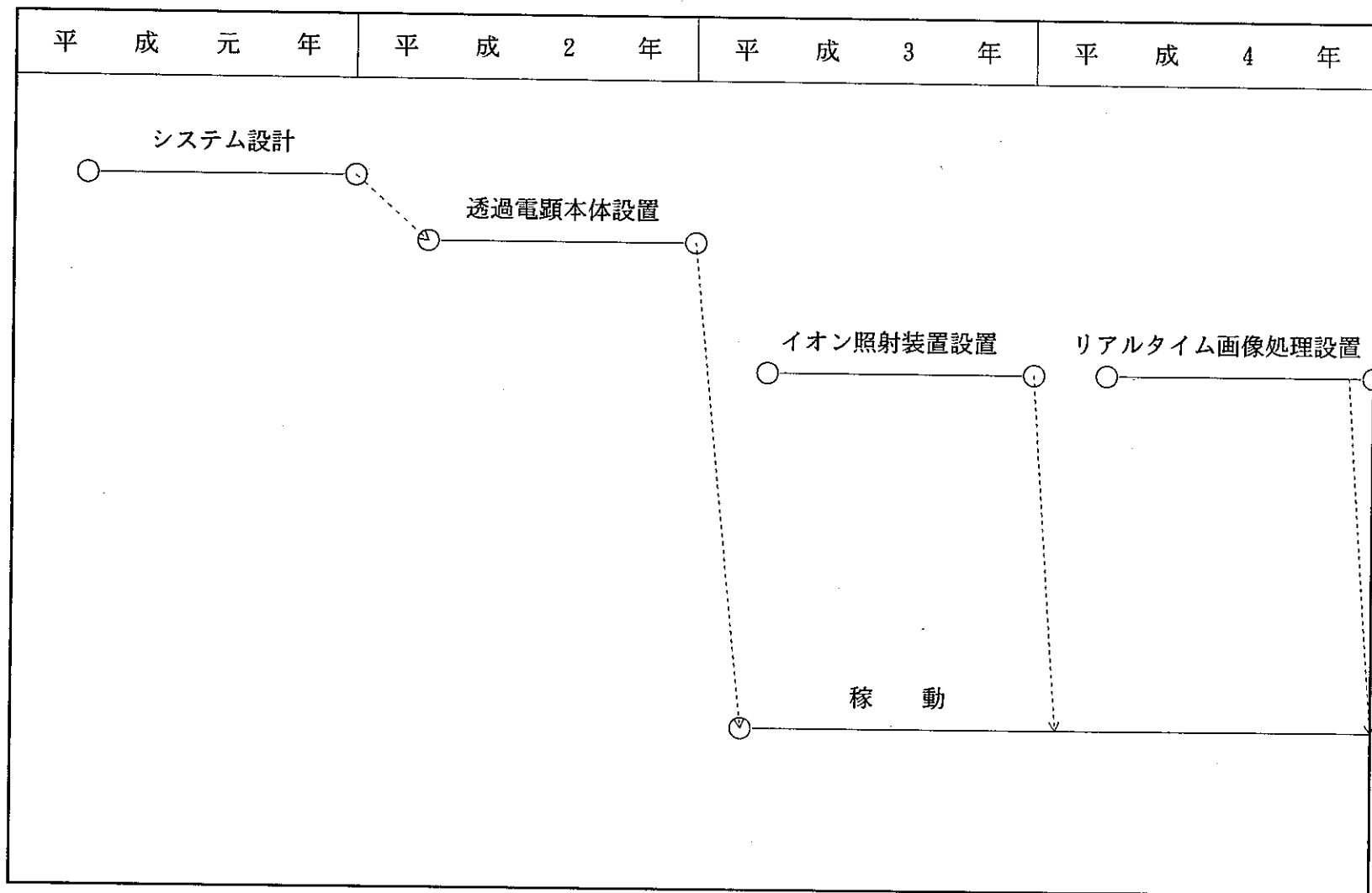


Table. 7 超高強度中性子束照射装置の開発スケジュール

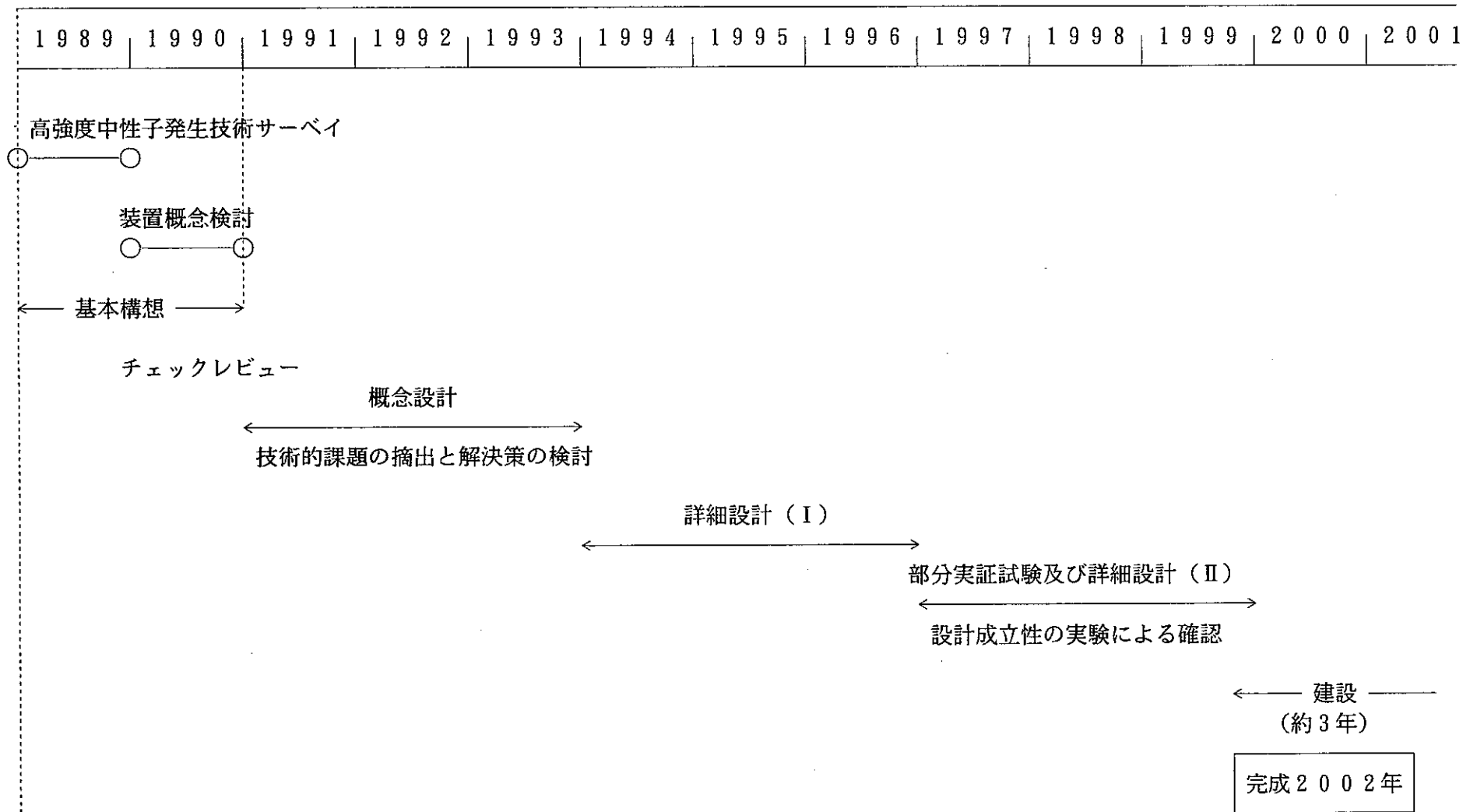




Table. 8 国内の主な照射用加速器の一覧表(1)

A. 設置研究機関 (所在地)	B. 加速器の種類 (加速方式)	C. 加速電圧 (ビーム・エネルギー)	D. イオン源	E. 加速粒子 (ビーム電流)	F. 特徴
北大・工 (札幌市)	コッククロフト(CW)	30- 300KV	PIG イオン源	H <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> , O <sup>+</sup> , N <sup>+</sup> , Ar <sup>+</sup> (H <sup>+</sup> で50 μA)	電子線・イオン同時照射 電顕内同時観察
室蘭工大 (室蘭市)	サイクロトロン (小型AVF サイクロトロン)	H <sup>+</sup> で10MeV D <sup>+</sup> で5 MeV <sup>4</sup> He <sup>+</sup> で10MeV <sup>3</sup> He <sup>+</sup> で13MeV	PIG イオン源	H <sup>+</sup> , D <sup>+</sup> , <sup>3</sup> He <sup>+</sup> , <sup>4</sup> He <sup>+</sup>	
東北大 (仙台市)	サイクロトロン (AVF サイクロトロン)	(H <sup>+</sup> で40MeV)		H, D, He, O	照射下クリープ
	ダイナミトロン	4.5 MV		H <sup>+</sup> , D <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> (H <sup>+</sup> で3 mA)	
日立 (日立市)	コッククロフト	400 KV		H <sup>+</sup> , D <sup>+</sup> , He <sup>+</sup>	二重ビーム同時照射 電顕内同時観察
東大・工 (東海村)	コッククロフト	30- 400KV	Danfistik911A	He <sup>+</sup> , Xe <sup>+</sup> , Al <sup>+</sup> , Ar <sup>+</sup> Ni <sup>+</sup> , Au <sup>+</sup> (Ar <sup>+</sup> で100 μA)	二重ビーム同時照射 電顕内同時観察
東大・原総セ (東海村)	バンデグラーフ	0.4-3.75MV (N <sup>2+</sup> で7.5MeV)	RFイオン源 (PIG)	H <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> <sup>+</sup> , D <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> , O <sup>+</sup> , N <sup>+</sup> , N <sup>2+</sup> (H <sup>+</sup> で300 μA)	二重ビーム同時照射 照射下クリープ ナノ秒パルスラジオリシ ス, 中性子発生
東大・原総セ (東海村)	タンデトロン	0.3-1 MV (Ni <sup>4+</sup> で4 MeV)	スパッターイオン源	Ni <sup>3+</sup> , Ni <sup>4+</sup> , Fe <sup>+</sup> (Ni <sup>4+</sup> で6 μA)	二重ビーム同時照射

Table. 8 国内の主な照射用加速器の一覧表(2)

A. 設置研究機関 (所在地)	B. 加速器の種類 (加速方式)	C. 加速電圧 (ビーム・エネルギー)	D. イオン源	E. 加速粒子 (ビーム電流)	F. 特徴
東大・原総セ (本郷)	タンデム	4 MV		H <sup>+</sup> , N <sup>+</sup> , HI	
原研 (東海村)	バンデグラーフ	0.3 - 2 MV	RFイオン源 PIG イオン源	H <sup>+</sup> , D <sup>+</sup> , <sup>3</sup> He <sup>+</sup> , <sup>4</sup> He <sup>+</sup> C <sup>+</sup> , N <sup>+</sup> , O <sup>+</sup> , Ne <sup>+</sup> <sup>4</sup> Ar (H <sup>+</sup> で10 μA)	
	タンデム (ペレトロン)	2.5 - 18MV		C, Cl, Br, I, Au (Cで1 μA)	
筑波大 (筑波)	タンデム (ペレトロン)	11MV	デュオプラズマトロン	H, D, He, HI (H <sup>+</sup> で1 μA)	照射下疲労試験
金材研 (筑波)	サイクロトロン (小型AVF サイクロトロン)	H <sup>+</sup> で17MeV と 4.25MeV D <sup>+</sup> で10MeV <sup>4</sup> He <sup>+</sup> で20MeV <sup>3</sup> He <sup>+</sup> で26MeV	熱陰極方式	H, D, <sup>3</sup> He, <sup>4</sup> He (H <sup>+</sup> で50 μA)	照射下クリープ
	コッククロフト	10 - 300KV	RFイオン源	H <sup>+</sup> , He <sup>2+</sup> (H <sup>+</sup> で80 μA)	
電総研 (筑波)	バンデグラーフ (ペレトロン)	4 MV		H <sup>+</sup> , D <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> , HI (H <sup>+</sup> で10 μA)	
東芝 (川崎市)	コッククロフト	10 - 200KV	PIG イオン源 デュオプラズマトロン	H <sup>+</sup> , D <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> , C <sup>+</sup> Ar <sup>+</sup> (H <sup>+</sup> で5 μA)	二重ビーム同時照射

Table. 8 国内の主な照射用加速器の一覧表(3)

A. 設置研究機関 (所在地)	B. 加速器の種類 (加速方式)	C. 加速電圧 (ビーム・エネルギー)	D. イオン源	E. 加速粒子 (ビーム電流)	F. 特 徴
理研 (和光市)	タンデトロン	1 MV		He, HI, N, Si, Au, C (He <sup>+</sup> で 0.1 μA) (Siで 5 μA)	電顕内その場観察
東工大・理 (東京)	バンデグラーフ	4.75MV	HICONEX834型 デュオプラズマトロン	H <sup>+</sup> , D <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> , Ne <sup>+</sup>	照射下クリープ
東工大・原子炉 (東京)	バンデグラーフ (ペレトロン)	3 MV		H <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> , HI, N <sup>+</sup> , Ne <sup>+</sup> , Kr <sup>+</sup> (H <sup>+</sup> で 10 μA)	
法政大・工	バンデグラーフ	2.5 MV		H <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> (H <sup>+</sup> で 150 μA)	
日本原子力事業	バンデグラーフ	4 MV		H <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> , N <sup>+</sup> (H <sup>+</sup> で 1 μA)	
名大・工 (名古屋)	バンデグラーフ	3.7 MV		H <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> , HI	
		2.5 MV		H <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> , HI	
トヨタ中研	バンデグラーフ	3 MV		H <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> , Ar <sup>+</sup>	
京大・工	バンデグラーフ	4 MV		H <sup>+</sup> , He <sup>+</sup> , Ar <sup>+</sup>	
九大・理	バンデグラーフ	5 MV		H <sup>+</sup> , D <sup>+</sup>	
	タンデム (ペレトロン)	10MV	スパッターイオン源 HICONEX834型 H, D, He, HI, C, Ni (Ni <sup>10+</sup> で 0.1 μA)		

Table. 9 国内における観察装置の現状 (1)

	加速器及びイオン源	トランスポート及びインターフェイス	電子顕微鏡
東京大学 重イオン照射損傷 観察装置	加速方式: CW 電圧: 10, 20, 30~ 400keV 電流: Ar 100 $\mu$ A Ni 30 $\mu$ A Au 30 $\mu$ A イオン源: hollow cathode型 固体, 液体, 気体 可能 マグネット: 0~+-30度	四極静電レンズ 静電デフレクター: 45度 曲率半径: 500 mm 電極間距離: 20 mm 焦点距離: 120 mm 静電ダブレットレンズ: 入射ビーム径 調整用 接合方式: 固定式 X-Yデフレクター: ビームシャッター, ビュワー 排気系: 油拡散ポンプ 最終コリメータ: ~4 mm	JEOL 200 B 電圧: 200 kV サイドエントリー 真空度: イオンビーム径: 数mm イオンフラックス: 3 $\times$ 10 <sup>13</sup> Ar/cm <sup>2</sup> s 6 $\times$ 10 <sup>11</sup> Al/cm <sup>2</sup> s アクセサリー: 加熱可能 ビデオシステム
北海道大学 電子線/イオン 同時照射装置	加速方式: CW 電圧: 20~ 300keV 電流: H50 $\mu$ A at 200keV He50 $\mu$ A O20 $\mu$ A N20 $\mu$ A Ar30 $\mu$ A Sn20 $\mu$ A イオン源: cold PIG 型 気体, 液体, 固体 可能 マグネット: 30度 ターゲットチャンバー: - 100C~+ 500C 5 $\times$ 10 <sup>-7</sup> torr	四極マグネット 四極静電レンズ 静電デフレクター: 60度 曲率半径: 500 mm 四極静電レンズ X-Yデフレクター 接合方式: ベロー (×2) 方式 ビームシャッター: ファラデー兼用 最終コリメータ: ~4 mm電流測定 兼用 排気系: 油拡散ポンプ (×1) ターボ分子ポンプ (×2) 5 $\times$ 10 <sup>-7</sup> torr	Hitachi H-1300 電圧: 200 ~1300kV サイドエントリー 排気系: ターボ分子ポンプ (×2) イオンポンプ (×4) 5 $\times$ 10 <sup>-8</sup> torr 試料室 分解能 (一般仕様): 0.14 nm top entry 0.21 nm side entry イオンビーム径: 3 mm イオンフラックス: 3 $\times$ 10 <sup>12</sup> H/cm <sup>2</sup> s 1 $\times$ 10 <sup>13</sup> He/cm <sup>2</sup> s マイクロファラデーカップ: 試料位置 (1 mm $\phi$ ) アクセサリー: 一軸加熱 二軸加熱 冷却 引っ張り加熱 ビデオシステム

Table. 9 国内における観察装置の現状(2)

	加速器及びイオン源	トランスポート及びインターフェイス	電子顕微鏡
理化学研究所	加速方式：タンデム 電圧：1 MeV~4 MeV イオン種：Ni C Si等重イオン	入射角：57度	Hitachi H-800 電圧：200KV イオンビーム径：1 mmφ イオンフラックス： 5 × 10 <sup>13</sup> ion/cm <sup>2</sup> s
電力中央研究所	イオン源：folloe cathod型 電圧：~20KeV 電流：He	入射角度：水平（試料を傾斜させる）	JEOL 200 CX 電圧：200 KV イオンビーム径：1 mmφ イオンフラックス： 5 × 10 <sup>13</sup> ion/cm <sup>2</sup> s
日立製作所 日立研究所	加速方式：CW 電圧：10, 20, 30~400KeV 電流：H 50μA He 80μA Ar 100μA Fe 20μA Ni 20μA 電顕内で1/10	QPx 2, X-Y Defx 3 静電プリズム 57度偏向 スキャナー x 1 排気系：クラリオ x 2, イオン x 1 10 <sup>-7</sup> Torr	Hitachi H-800 電圧：200 KV ファラデーカップ付きホルダー (サプレッサー込み) ビデオ
日本原子力 研究所(東海)	加速電圧：0.5-10KV 電流：He 100μA デュオプラズマイオン源	イオン選別マグネットで30度偏向 排気系：DP x 2, 5 × 10 <sup>-8</sup> Torr 電顕内静電プリズムで72度偏向	JEOL 200 CX 電圧：200KV ビームモニター ビデオ

Table.10 世界における主な放射光施設

国名	機 関 名	施設の名称	完成年	電子エネルギー
米国	ウイスコンシン大学	ALADDIN	1985	1 GeV
	ブルックヘブン国立研究所	NSLS	1985	2.5 GeV
英国	ダルスベリ	SRS	1980	2 GeV
西独	BESSY	BESSY	1982	0.8 GeV
日本	高エネルギー物理学研究所	PF	1982	2.5 GeV
	分子科学研究所	UV-SOR	1984	0.6 GeV
	電子技術総合研究所	TERAS	1981	0.66 GeV
	東大物性研究所	SOR RING	1975	0.4 GeV

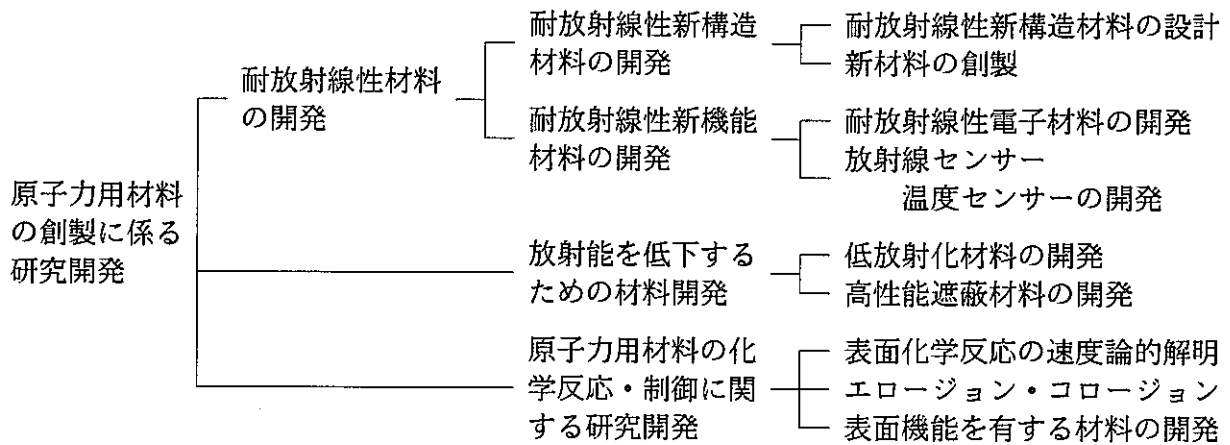
Fig. 一覧表

- Fig. 1 原子力開発利用長期計画で示されている基盤技術開発に関する指針
- Fig. 2 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
- Fig. 3 原子力基盤技術・原子力用材料開発の概念図
- Fig. 4 フロンティア材料研究の流れ
- Fig. 5 FBR構造材料の寿命・余寿命診断法の開発についての全体フロー図
- Fig. 6 FBR構造材料の寿命・余寿命診断法の開発についての概念図
- Fig. 7 耐ナトリウム・耐放射線性新素材の開発概念図
- Fig. 8 高性能遮蔽材の開発概念図
- Fig. 9 超長寿命炉心材の開発概念図
- Fig. 10 高性能制御材の開発概念図
- Fig. 11 トリチウム・水素捕獲貯蔵並びに非透過性材料の開発概念図
- Fig. 12 原子炉内計装材料の開発概念図
- Fig. 13 リチウム、ナトリウム及びカリウムの物性値
- Fig. 14 原子力極限環境材料開発センター概念図
- Fig. 15 超高強度中性子束照射装置開発概念図
- Fig. 16 高効率照射損傷解析システムの全体概念図
- Fig. 17 ネットワーク方式基盤材料データベースの開発概念図
- Fig. 18 基盤材料データフリーウェイ概念図
- Fig. 19 原子力用基盤材料研究成果のデータベース化と相互利用の流れ
- Fig. 20 原子力極限環境材料の開発に関する研究の流れ
- Fig. 21 原子力基盤クロスオーバー研究の展開
- Fig. 22 原子力基盤クロスオーバー研究の体制
- Fig. 23 フロンティア材料研究の組織体系
- Fig. 24 フロンティア材料研究の全体流れ
- Fig. 25 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  
研究課題と大洗工学センターで実施するフロンティア材料研究課題との対応
- Fig. 26 高エネルギー物理学研究所のシンクロトロン放射光実験室

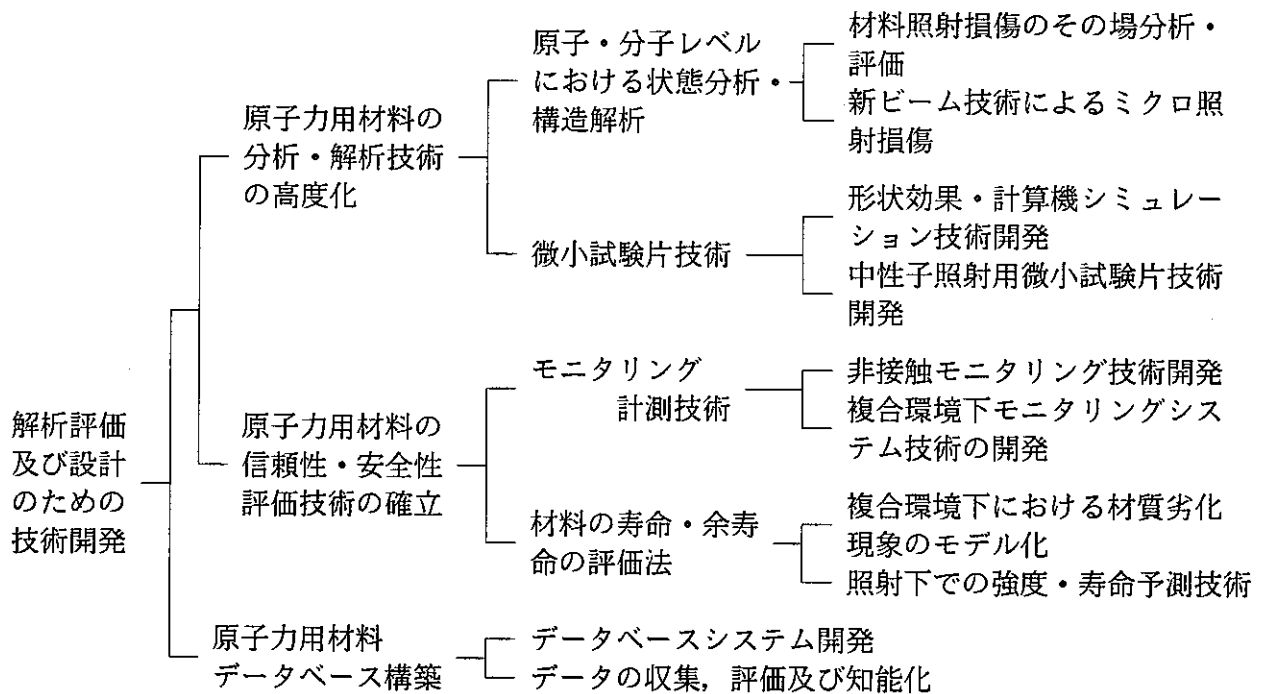
基 盤 技 術 開 発 の 推 進	重 点 的 に 推 進 す べ き 基 盤 技 術 開 発
<p>1. 原子力開発利用長期計画における位置づけ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 原子力開発利用の基本目標               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 基軸エネルギーとしての確立</li> <li>2. 創造的科学技术の育成</li> <li>3. 国際社会への貢献                   <ul style="list-style-type: none"> <li>• 「キャッチアップ型」から「創造型」へ                       <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 基礎研究の充実</li> <li>(2) 基盤技術開発の重点的推進</li> <li>(3) 先導的プロジェクト等の効率的推進</li> </ol> </li> </ul> </li> </ol> </li> <li>• 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、<u>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い難い状態。</u></li> <li>• 今後は、原子力の各分野にわたる<u>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。</u></li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 原子力用材料技術開発           <ul style="list-style-type: none"> <li>• 耐放射性材料の開発</li> <li>• 放射能を低減化するための材料開発</li> <li>• 原子力用材料の解析・評価、及び設計のための技術開発</li> </ul> </li> <li>② 原子力用人工知能技術開発           <ul style="list-style-type: none"> <li>• 知識ベース・システム技術開発</li> <li>• 情報収集・処理技術開発</li> <li>• ロボット技術開発</li> <li>• シミュレーション技術開発</li> <li>• マン・マシン・インターフェイス技術開発</li> </ul> </li> <li>③ 原子力用レーザー技術開発           <ul style="list-style-type: none"> <li>• 原子力用レーザー技術開発</li> <li>• 原子力に必要なレーザー技術開発</li> <li>• 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</li> </ul> </li> <li>④ 放射能リスク評価           <ul style="list-style-type: none"> <li>• 被ばく線量評価技術開発</li> <li>• 放射能リスク評価技術開発</li> <li>• 放射能リスク低減化技術開発</li> </ul> </li> </ol>

Fig. 1 原子力開発利用長期計画で示されている基盤技術開発に関する指針





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

Fig. 2 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

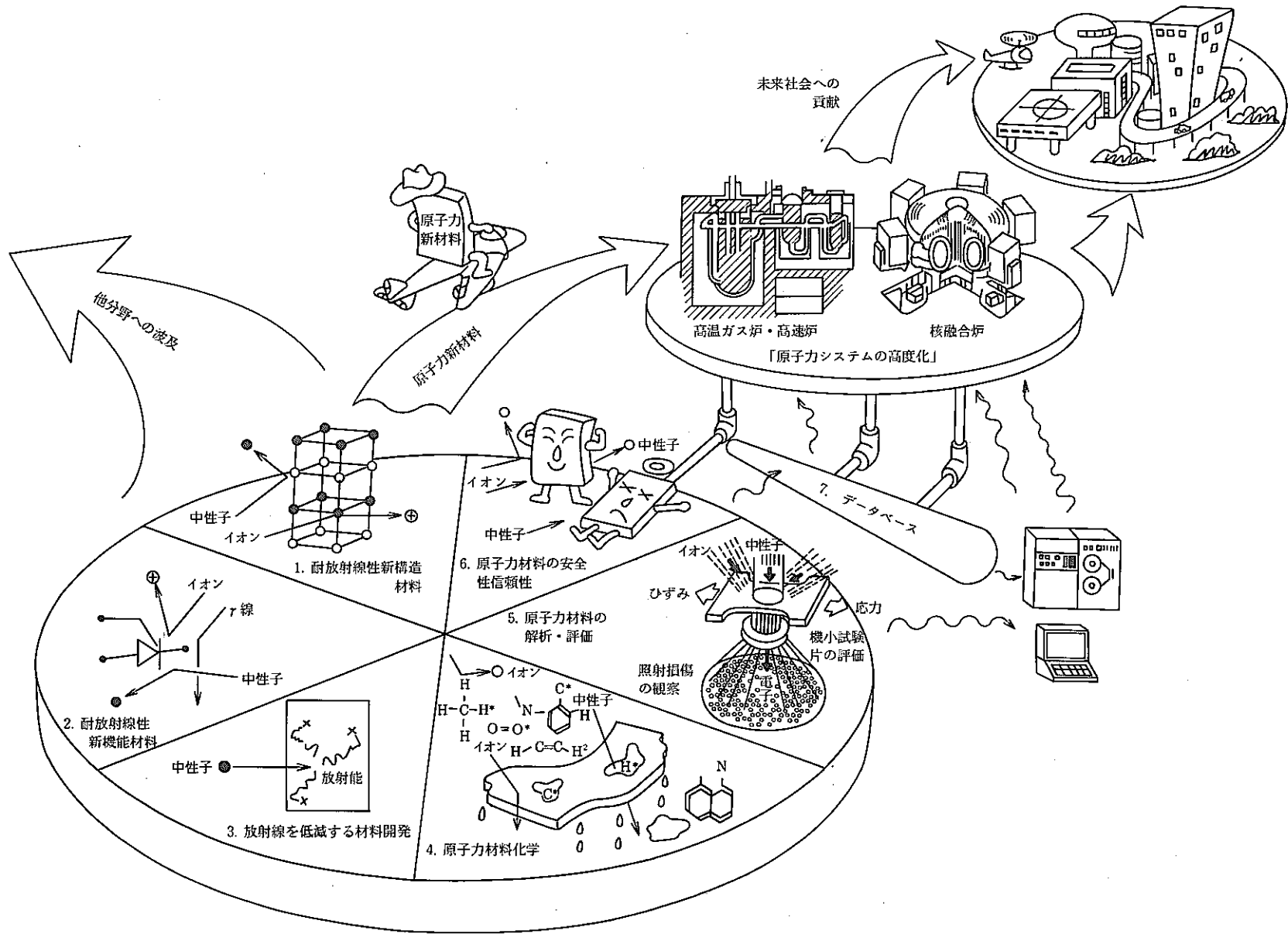
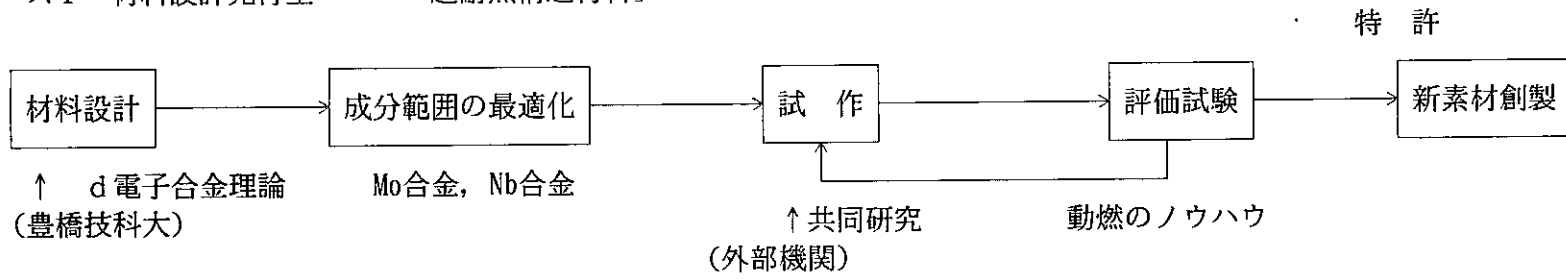
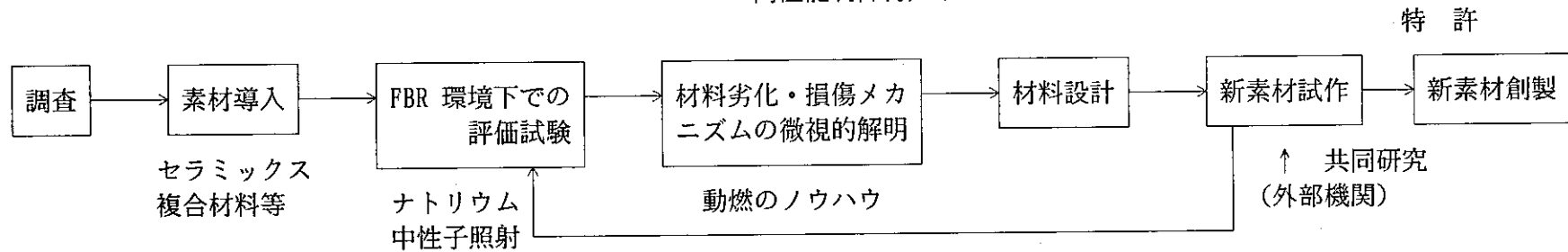


Fig. 3 原子力基盤技術・原子力用材料開発の概念図

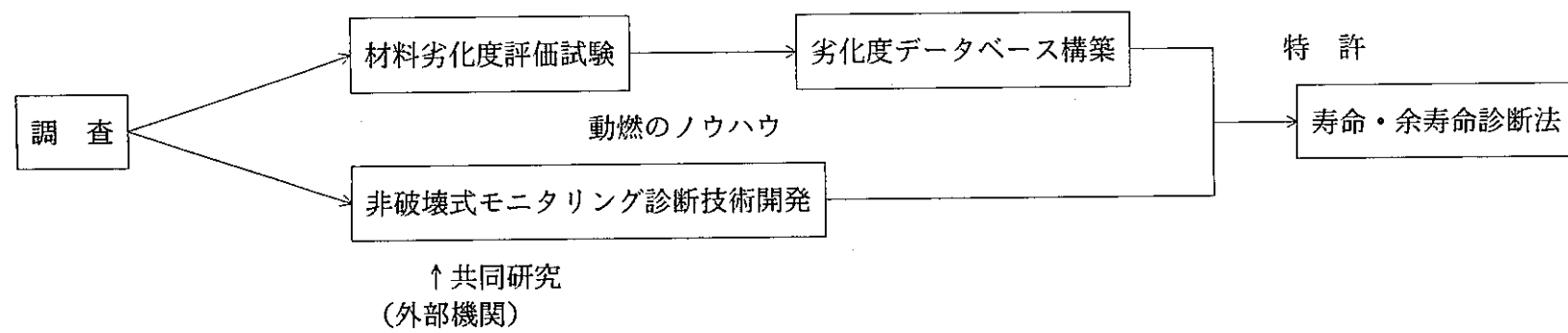
ケースⅠ 材料設計先行型……………「超耐熱構造材料」



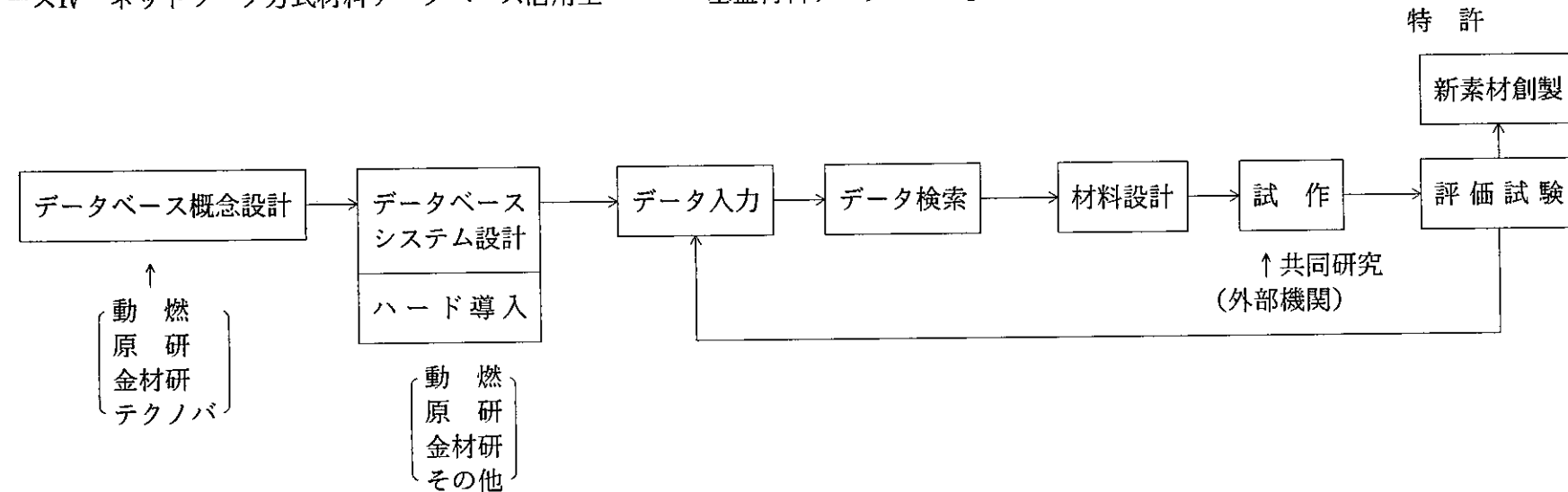
ケースⅡ 素材導入・改良型……………「超Na性・耐放射線性新素材, 高性能遮蔽材, 超長寿命炉心材, 高性能制御材, トリチウム・水素捕獲貯蔵材, 原子炉計装材料」



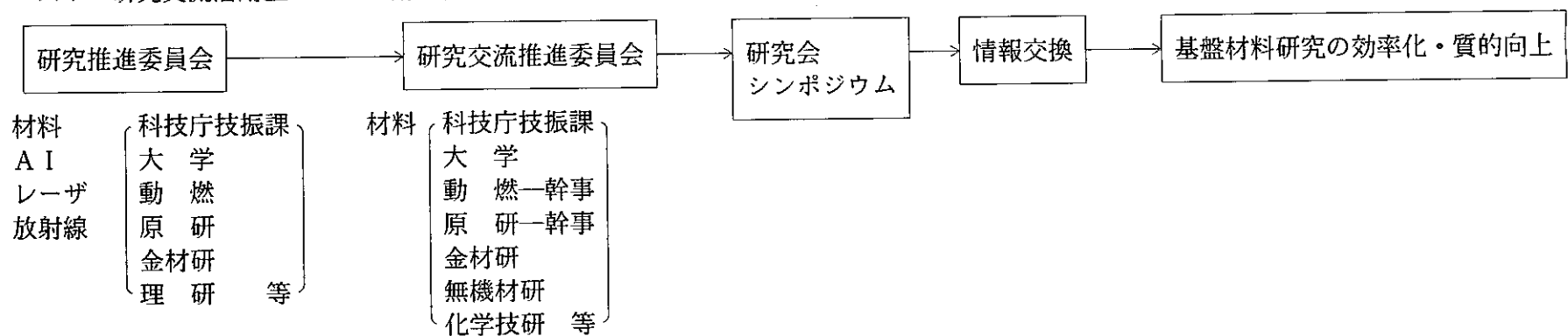
ケースⅢ 材料解析・評価法開発型……………「寿命・余寿命診断法」



ケースⅣ ネットワーク方式材料データベース活用型……………「基盤材料データベース」



ケースⅤ 研究交流活用型……………「耐Na性・耐放射線性新素材, 高性能遮蔽材, 超長寿命炉心材, 高性能制御材」



ケースⅥ 新規施設導入型……………「新素材試作施設, 超高温材料強度施設, Li/K施設, 超高強度中性子加速器, 高効率照射損傷解析システム等」

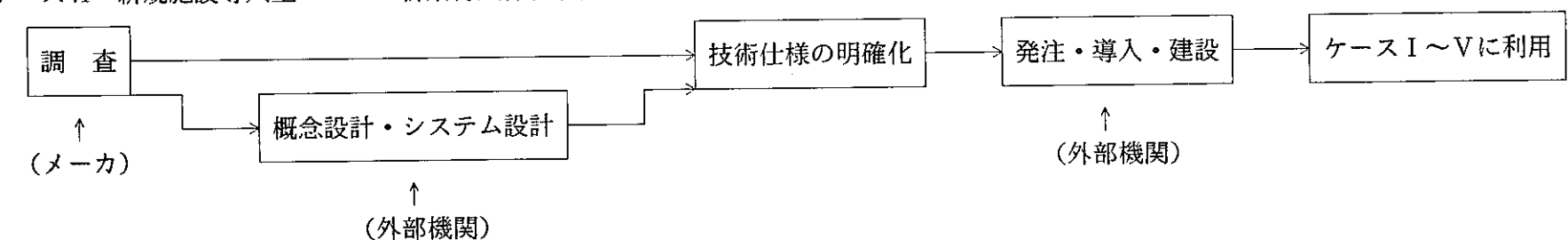


Fig. 4 フロンティア材料研究の流れ

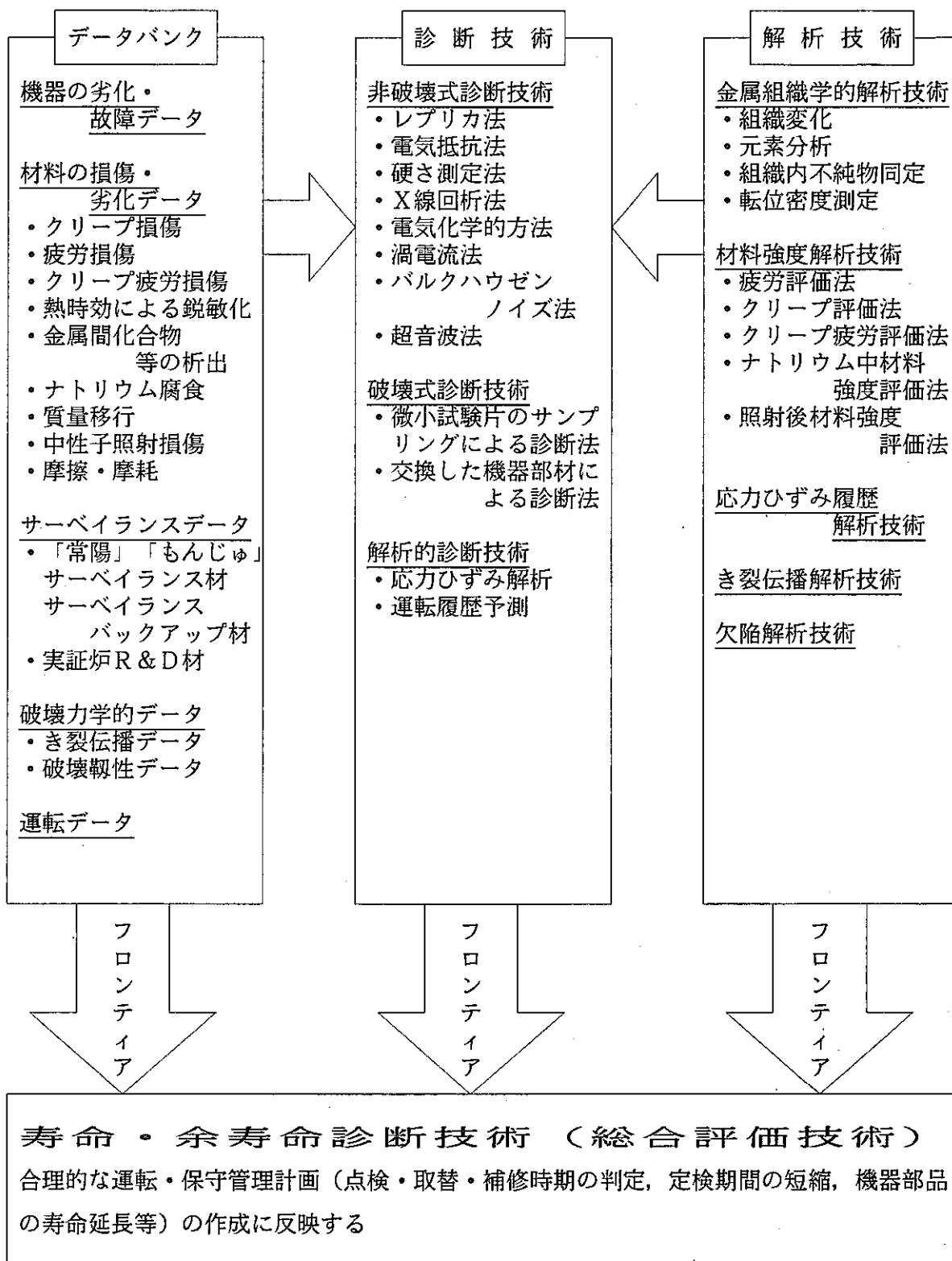


Fig. 5 FBR構造材料の寿命・余寿命診断法の開発についての全体フロー図

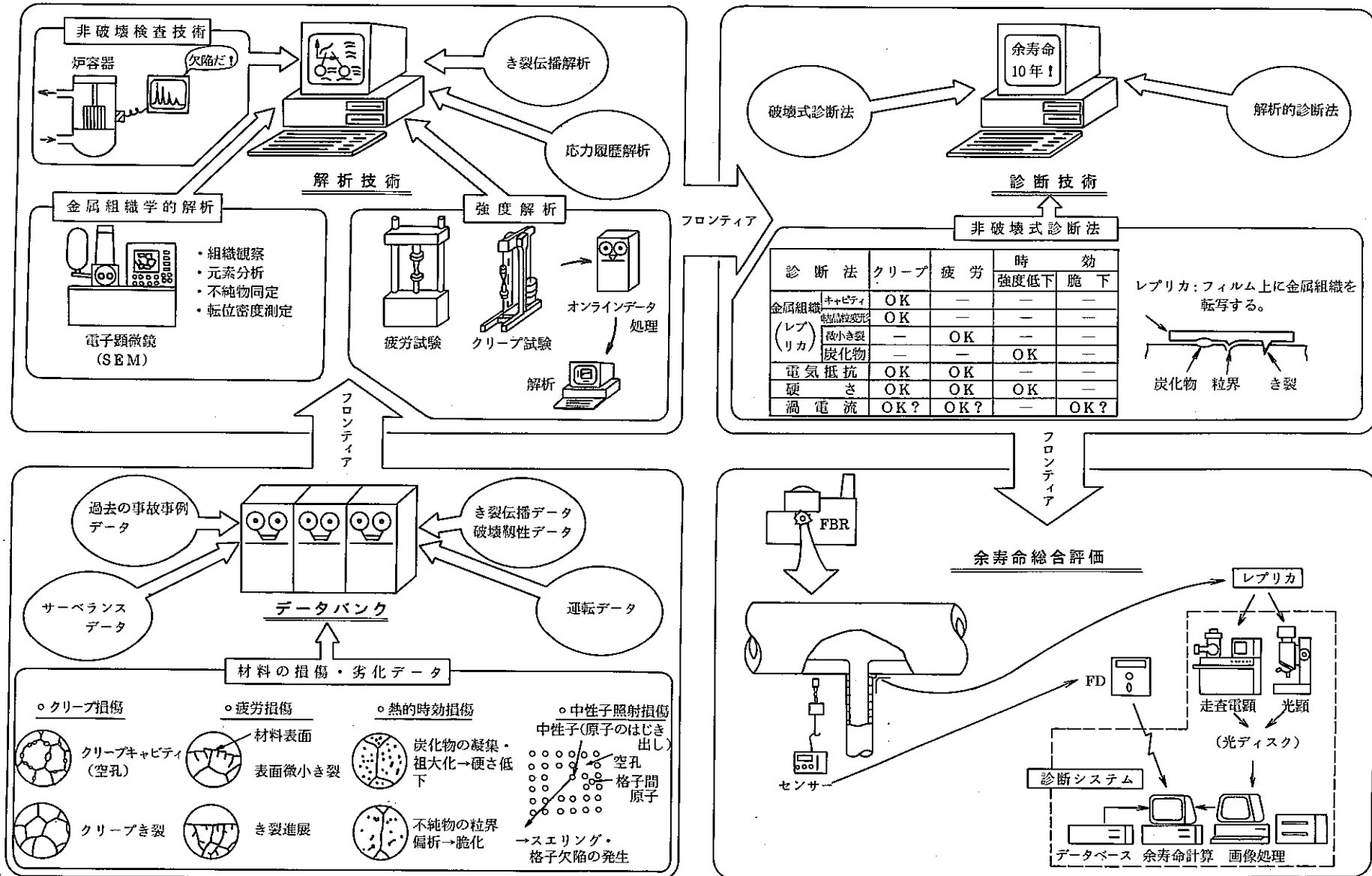


Fig. 6 FBR構造材料の寿命・余寿命診断法の開発についての概念図

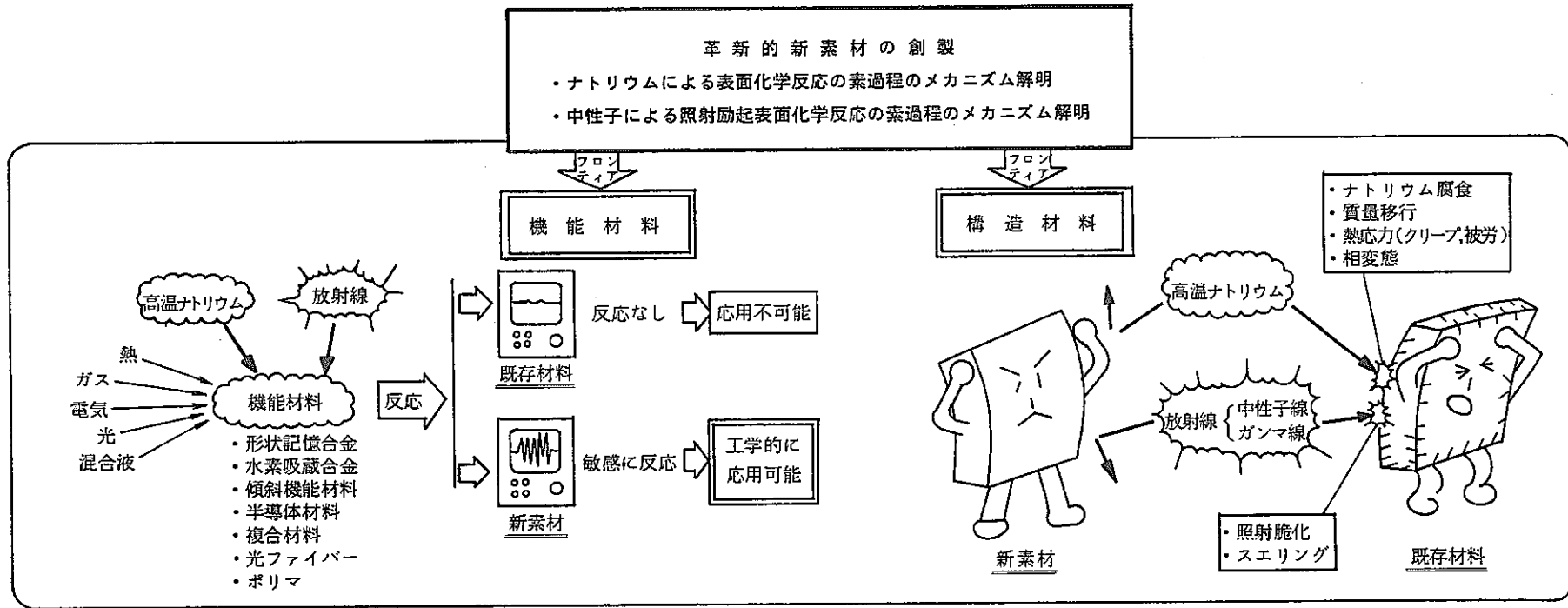


Fig. 7 耐ナトリウム・耐放射線性新素材の開発概念図

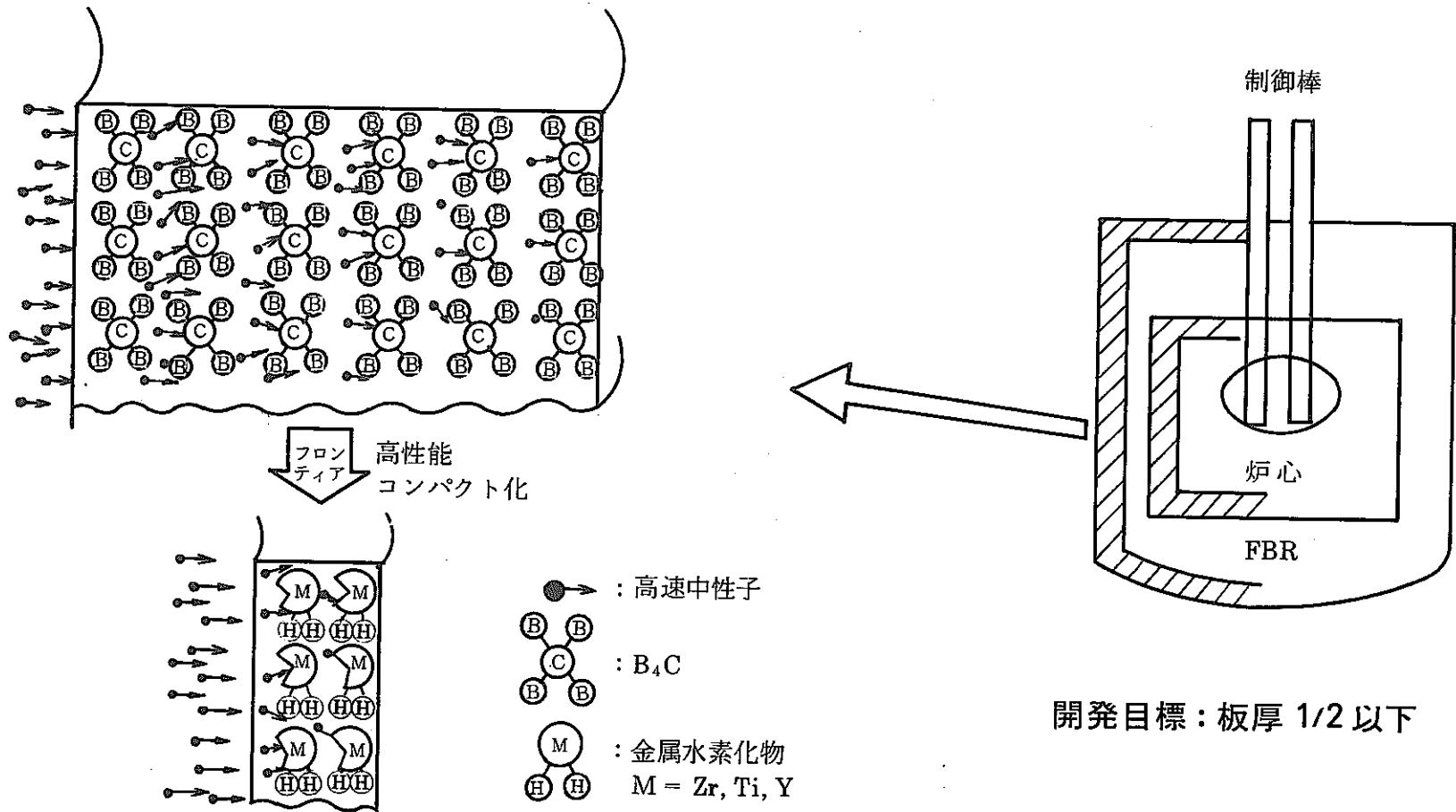
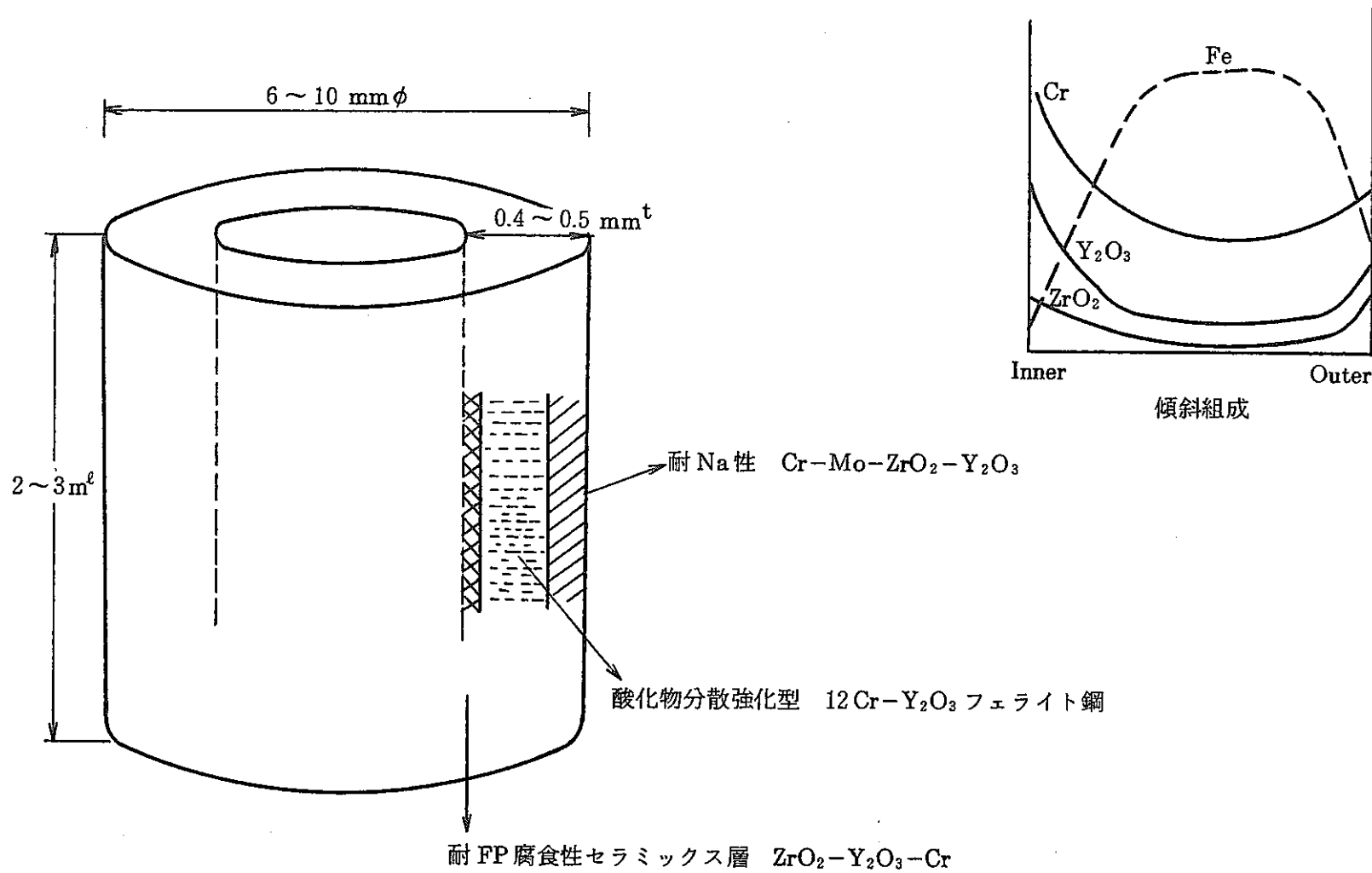


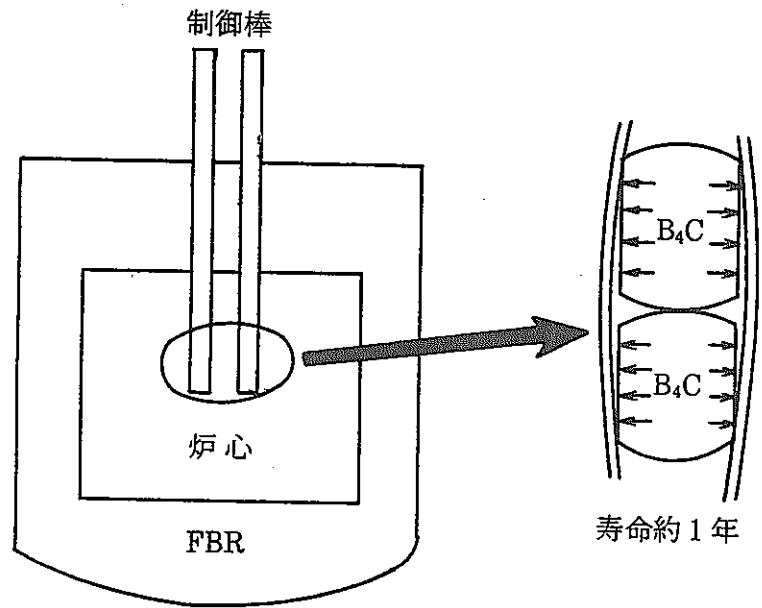
Fig. 8 高性能遮蔽材の開発概念図



開発目標：炉内滞在期間 10 年以上  
耐熱性  $700^\circ\text{C}$  以上

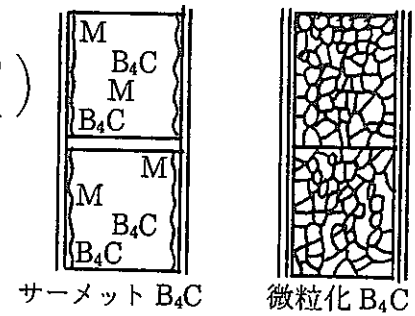
Fig. 9 超長寿命炉心材の開発概念図





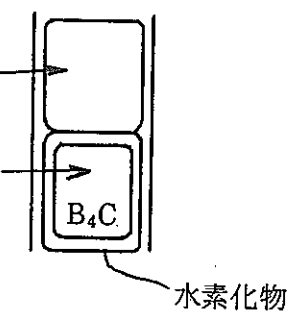
フロンティア

① B<sub>4</sub>Cペレットの改良  
 (超塑性現象やメタル基の導入によりふくれを防止)



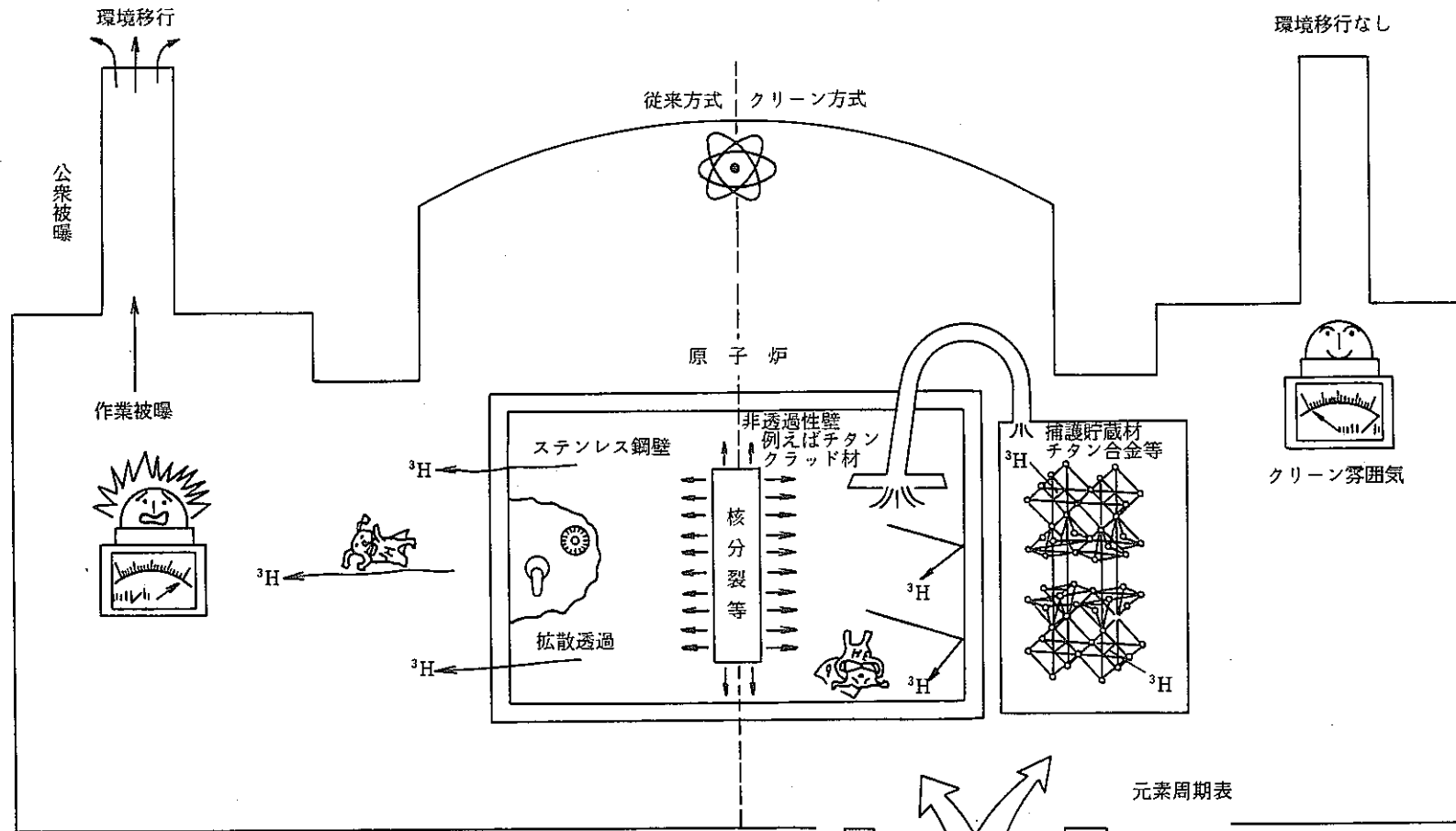
② 新型制御材の開発

- ・希土類型 (Eu, Hf, Ta)
- ・減速, 吸収効果をもつ複合体



開発目標 : 炉内滞在期間 5 年

Fig. 10 高性能制御材の開発概念図



開発目標：汚染防止，被曝低減

元素周期表

1																2		
																He		
2	3	4														10		
	Li	Be														Ne		
3	11	12														18		
	Na	Mg														Ar		
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Hf	Kr
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	Pb	Sr	Y	Zr	Nb	Mu	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Tl	Xe
6	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	
57~71	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			

Fig. 11 トリチウム・水素捕獲貯蔵並びに非透過性材料の開発概念図

開発目標：原子炉内計装手法の確立及び高精度化

- 炉内の状況を正確に把握
- \* 歪
  - \* 炉心温度及び照射温度
  - \* 荷 重
  - \* 中性子スペクトル

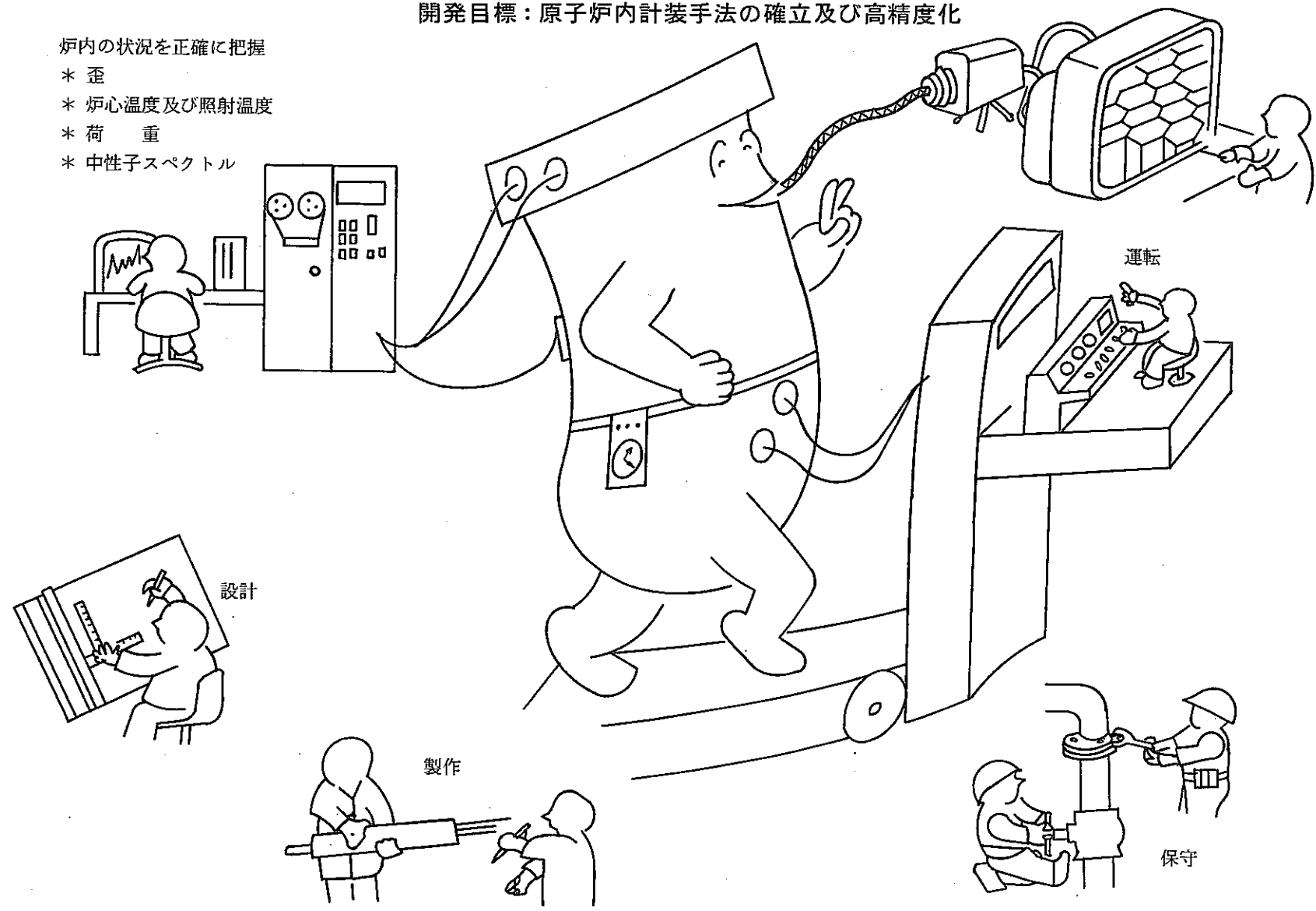


Fig. 12 原子炉内計装材料の開発概念図

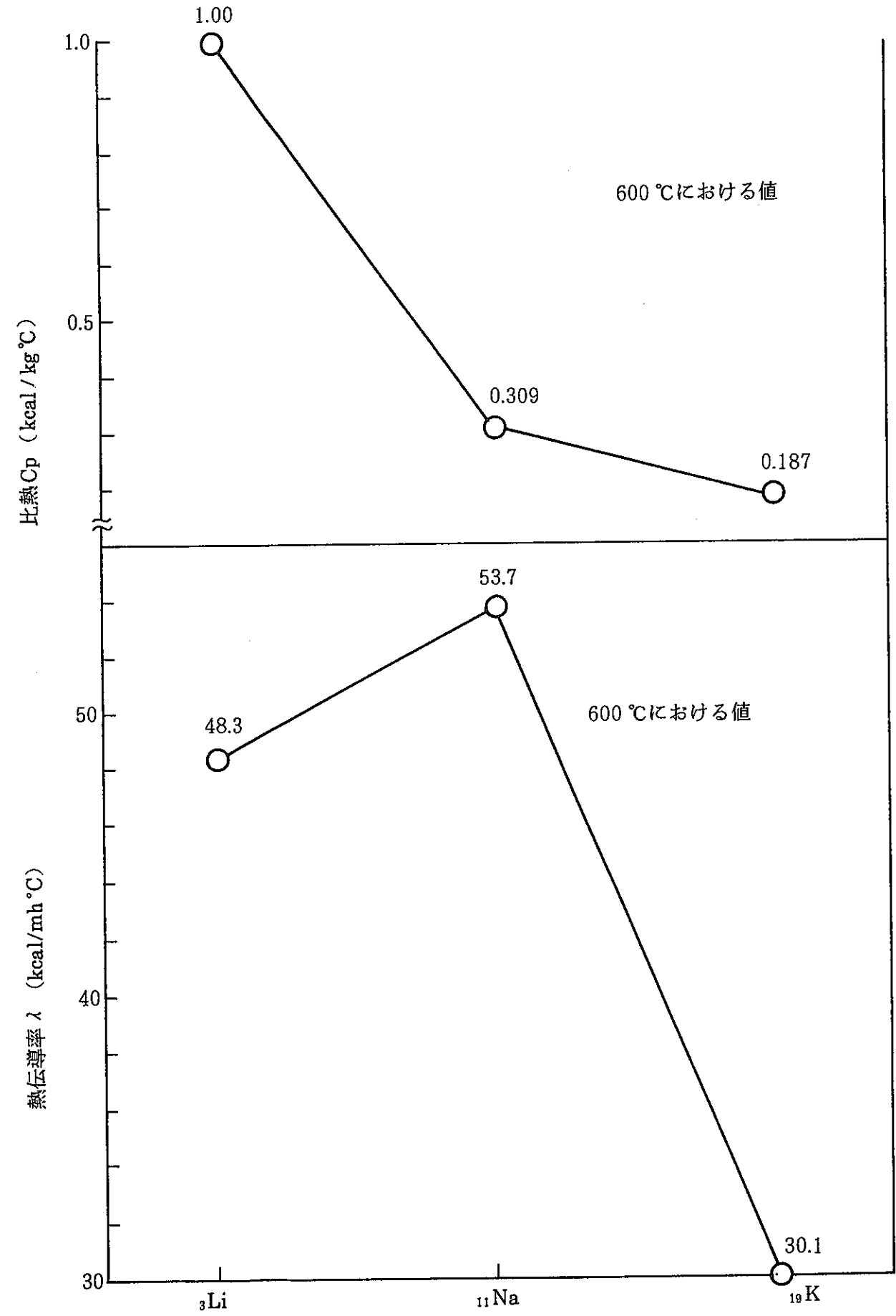
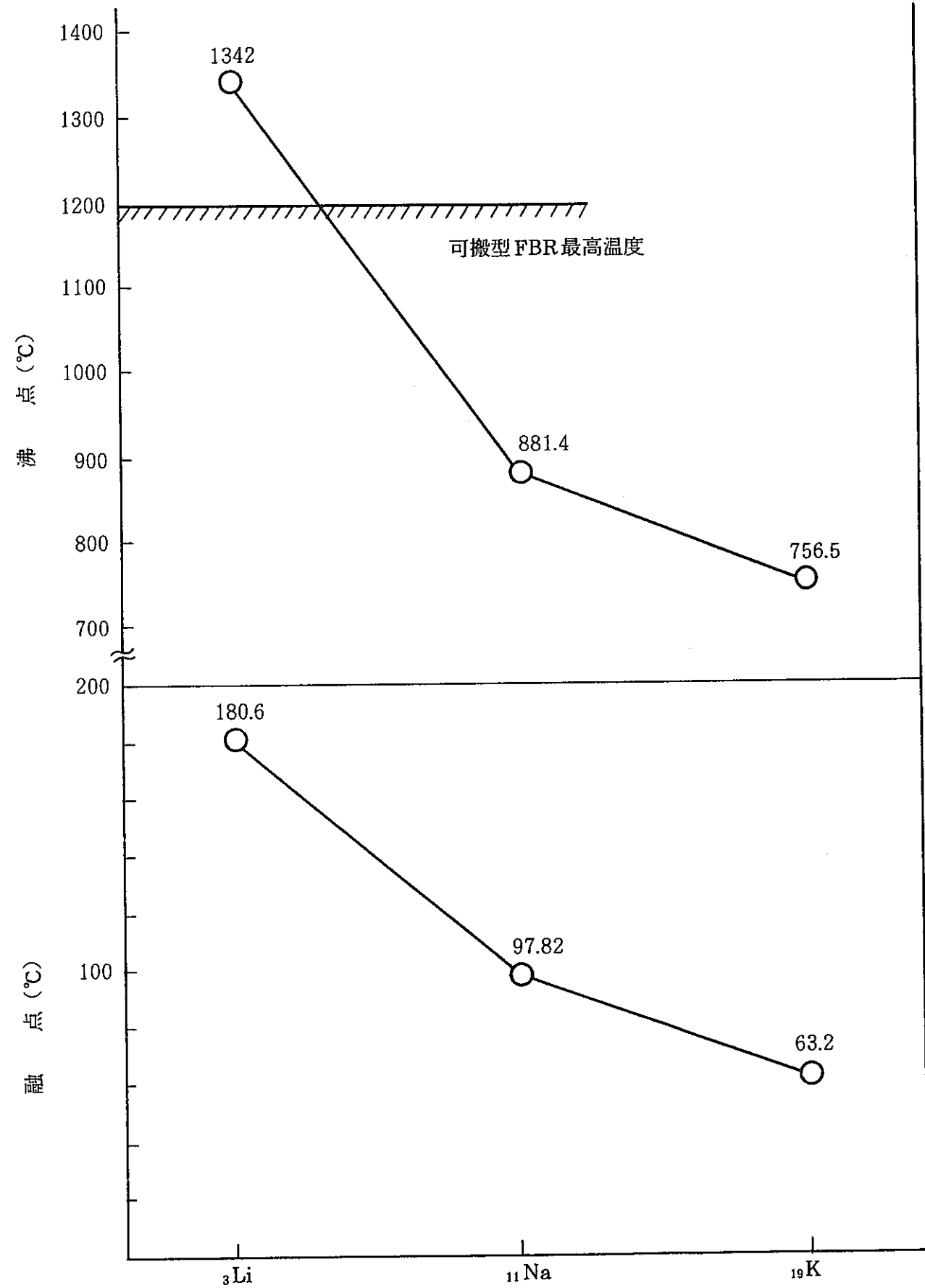


Fig. 13 リチウム、ナトリウム及びカリウムの物性値

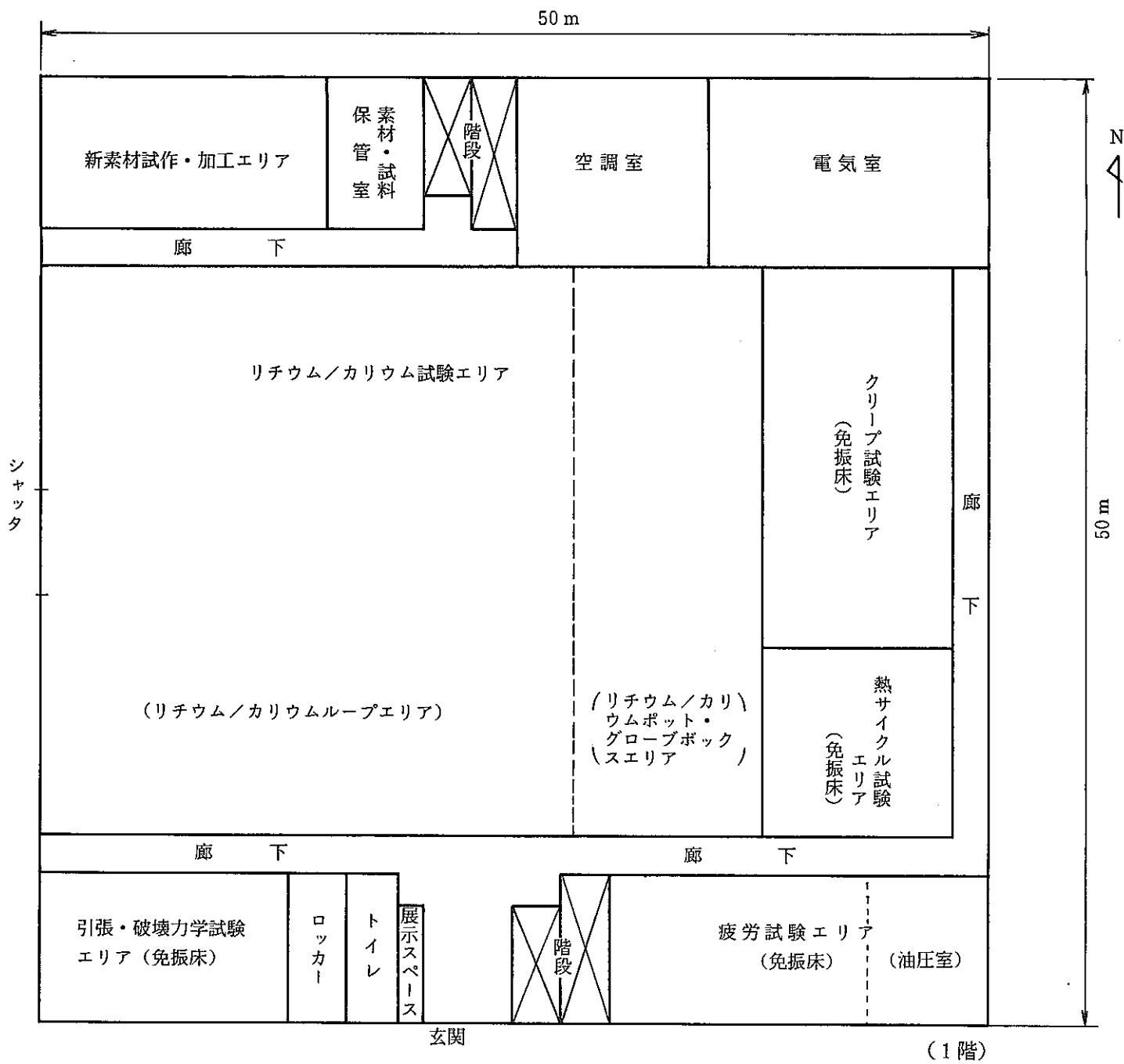
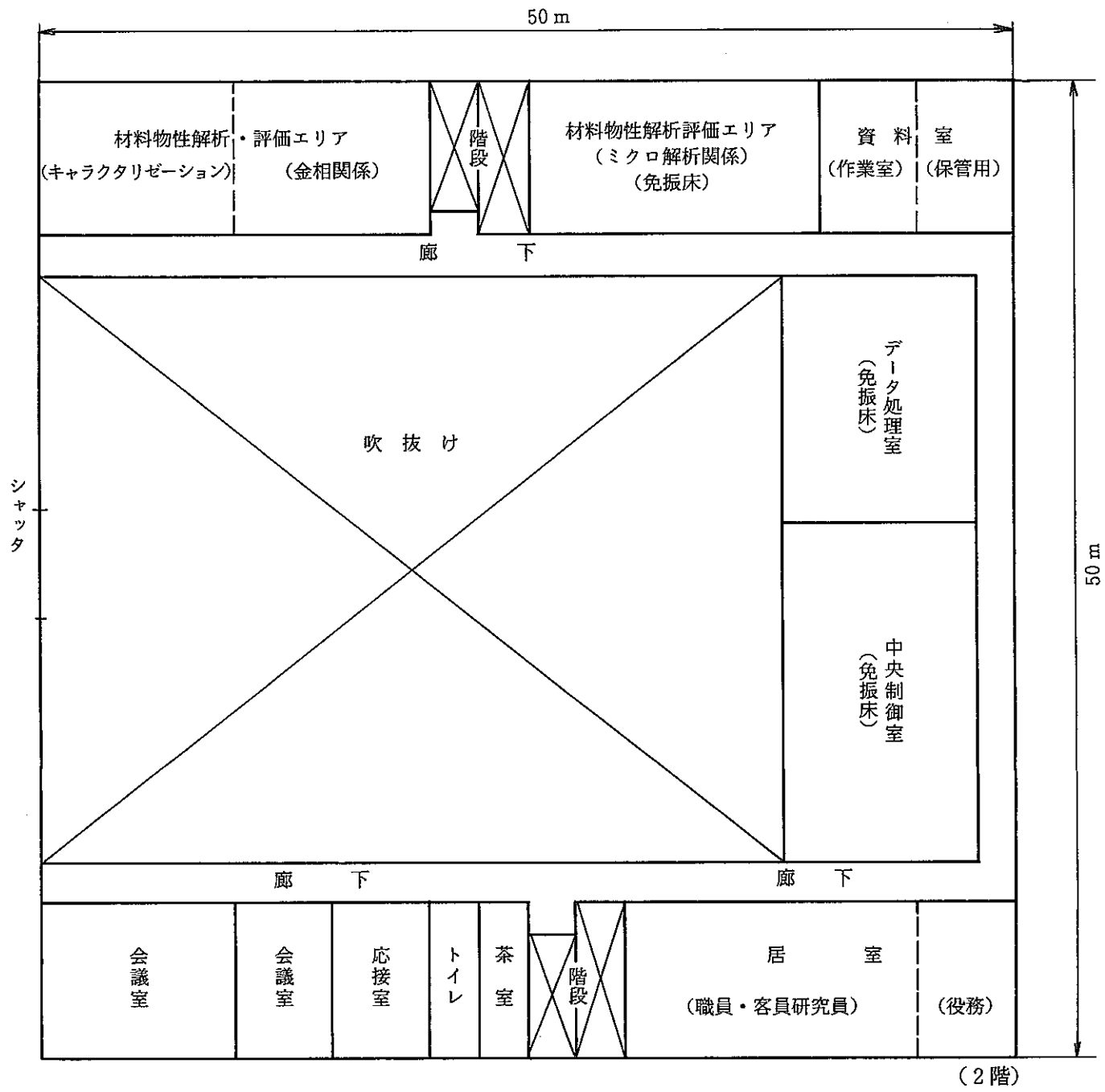


Fig. 14 原子力極限環境材料開発センター概念図

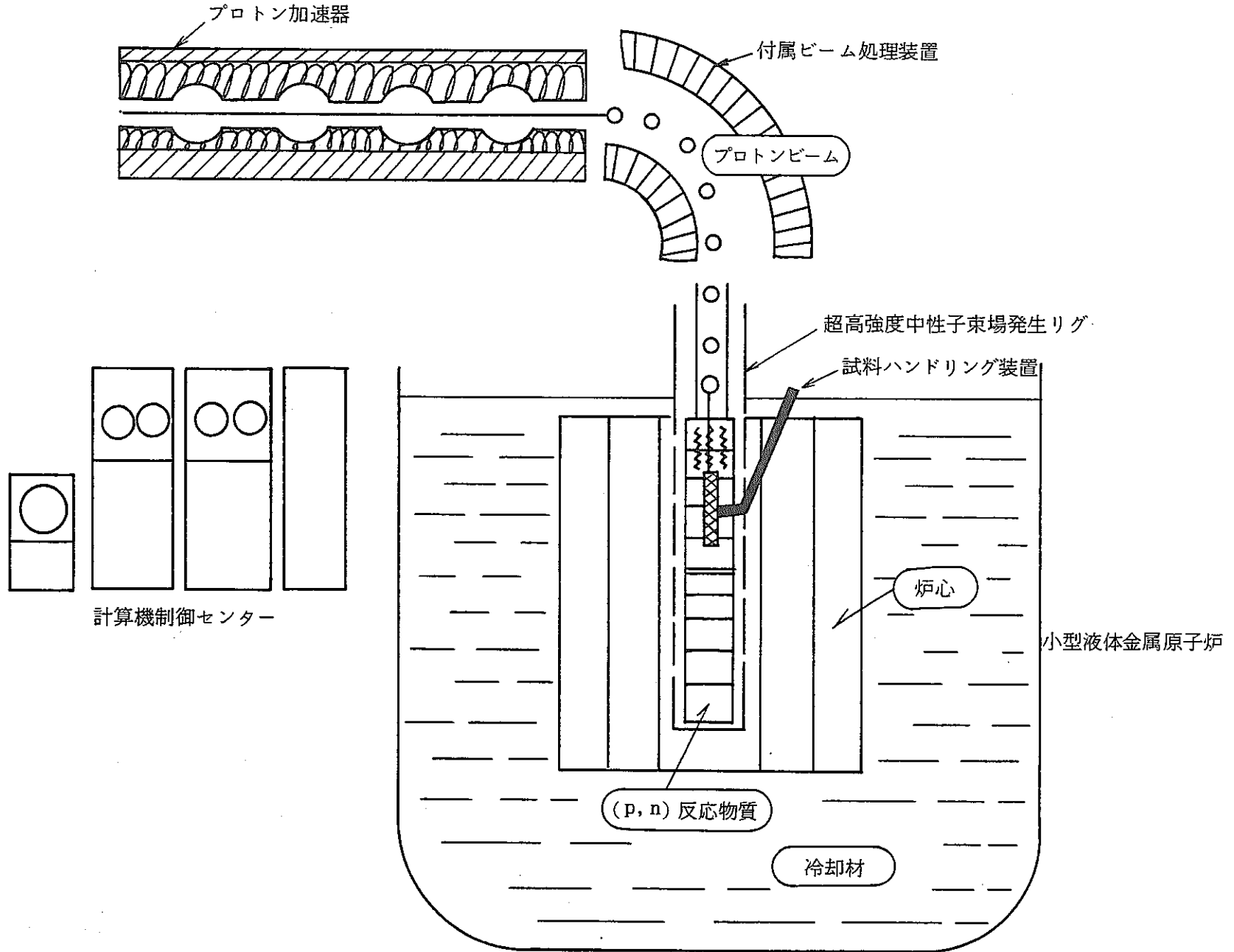


Fig.15 超高強度中性子束照射装置開発概念図

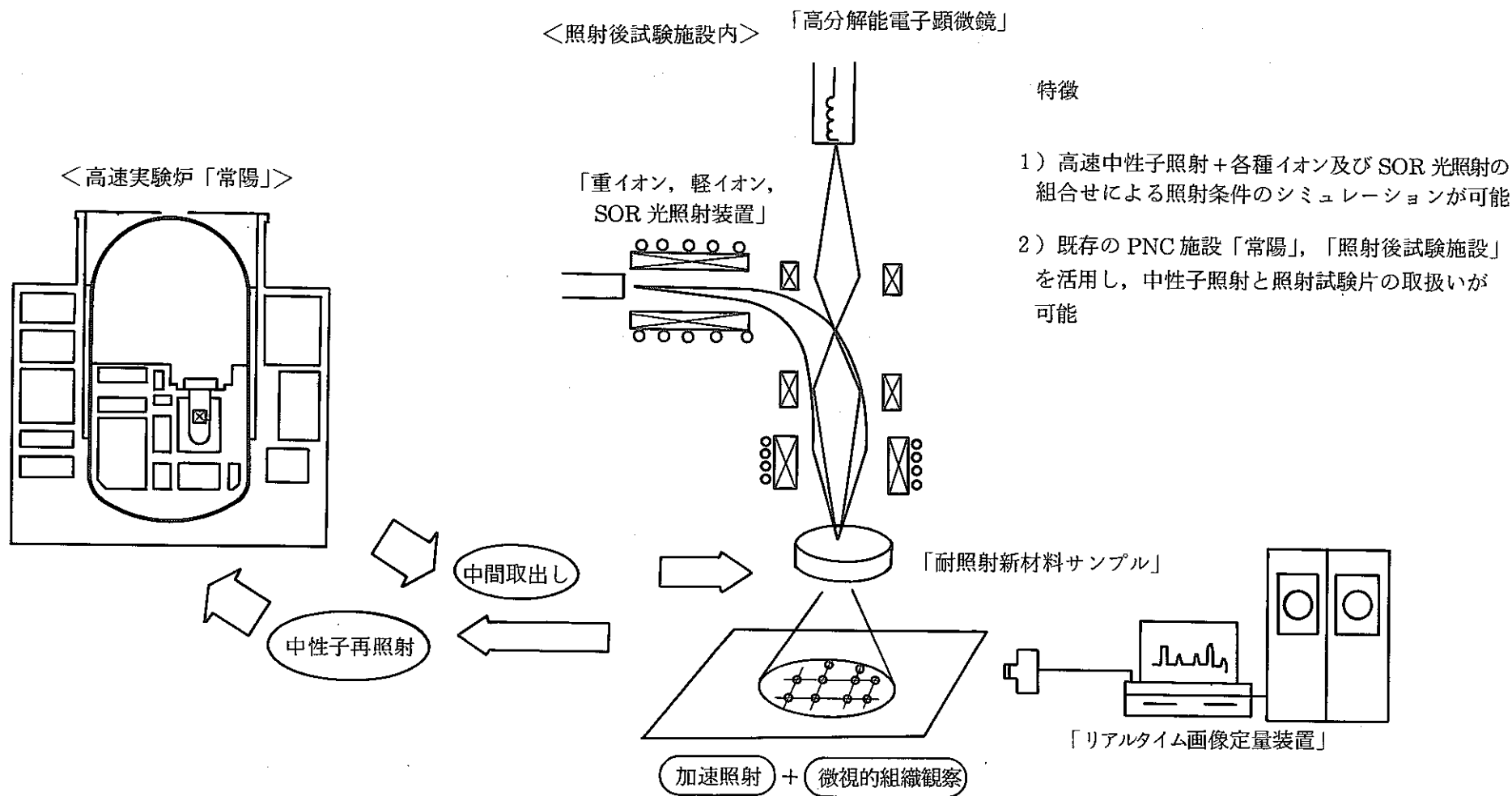


Fig.16 高効率照射損傷解析システムの全体構成図

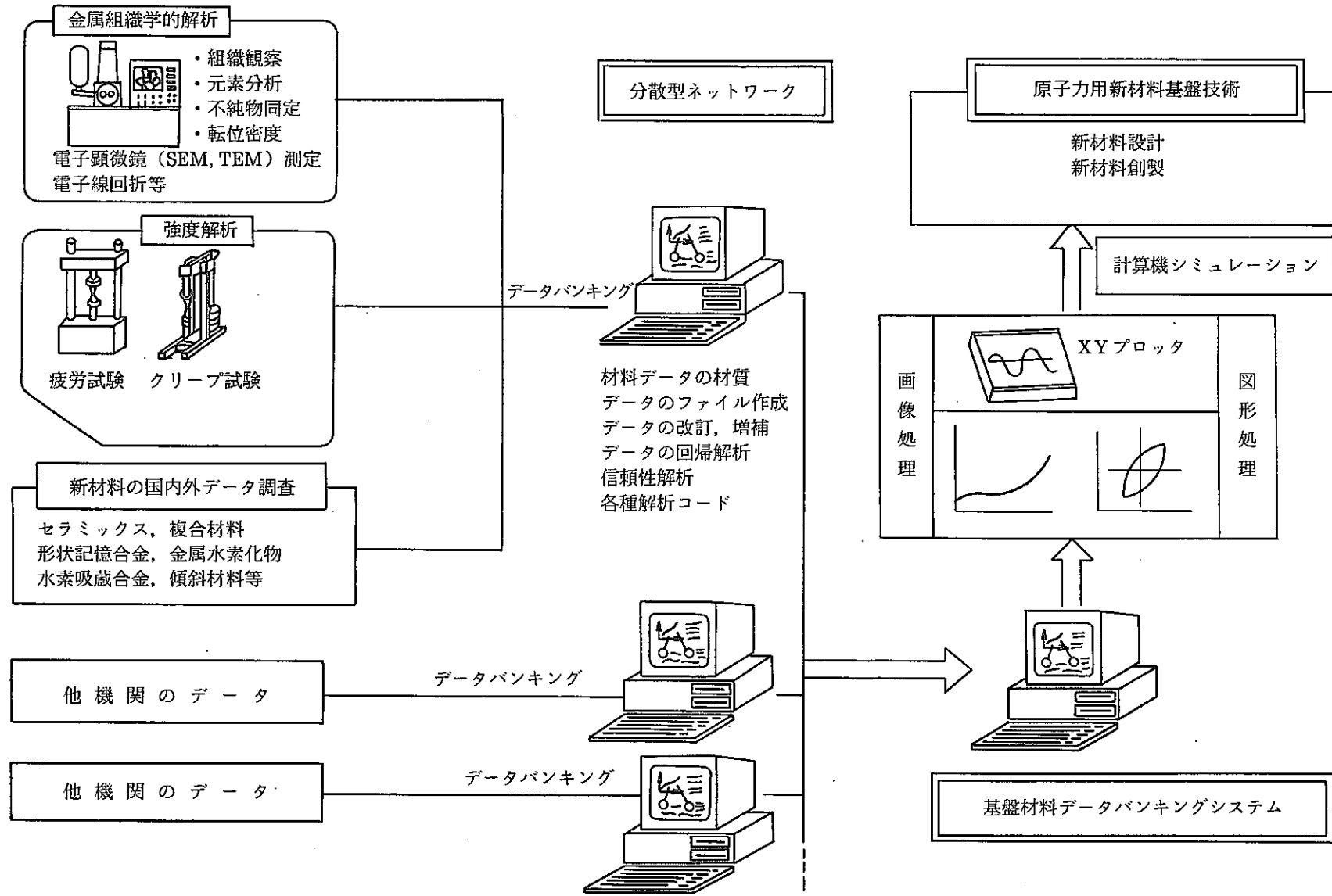


Fig. 17 ネットワーク方式基盤材料データベースの開発概念図



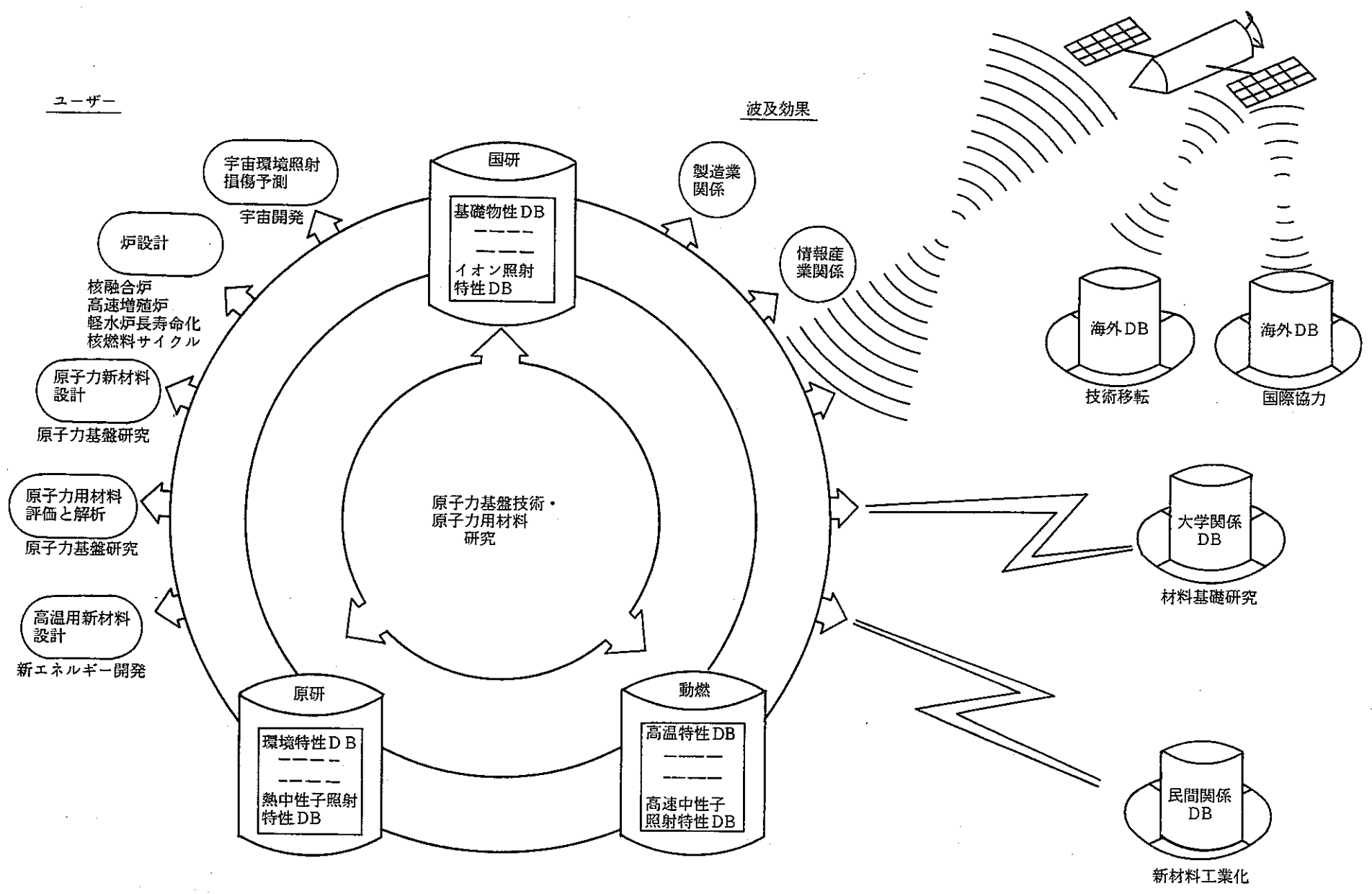


Fig. 18 基盤材料データフリーウェイ概念図 (マルチデータベースネットワーク)

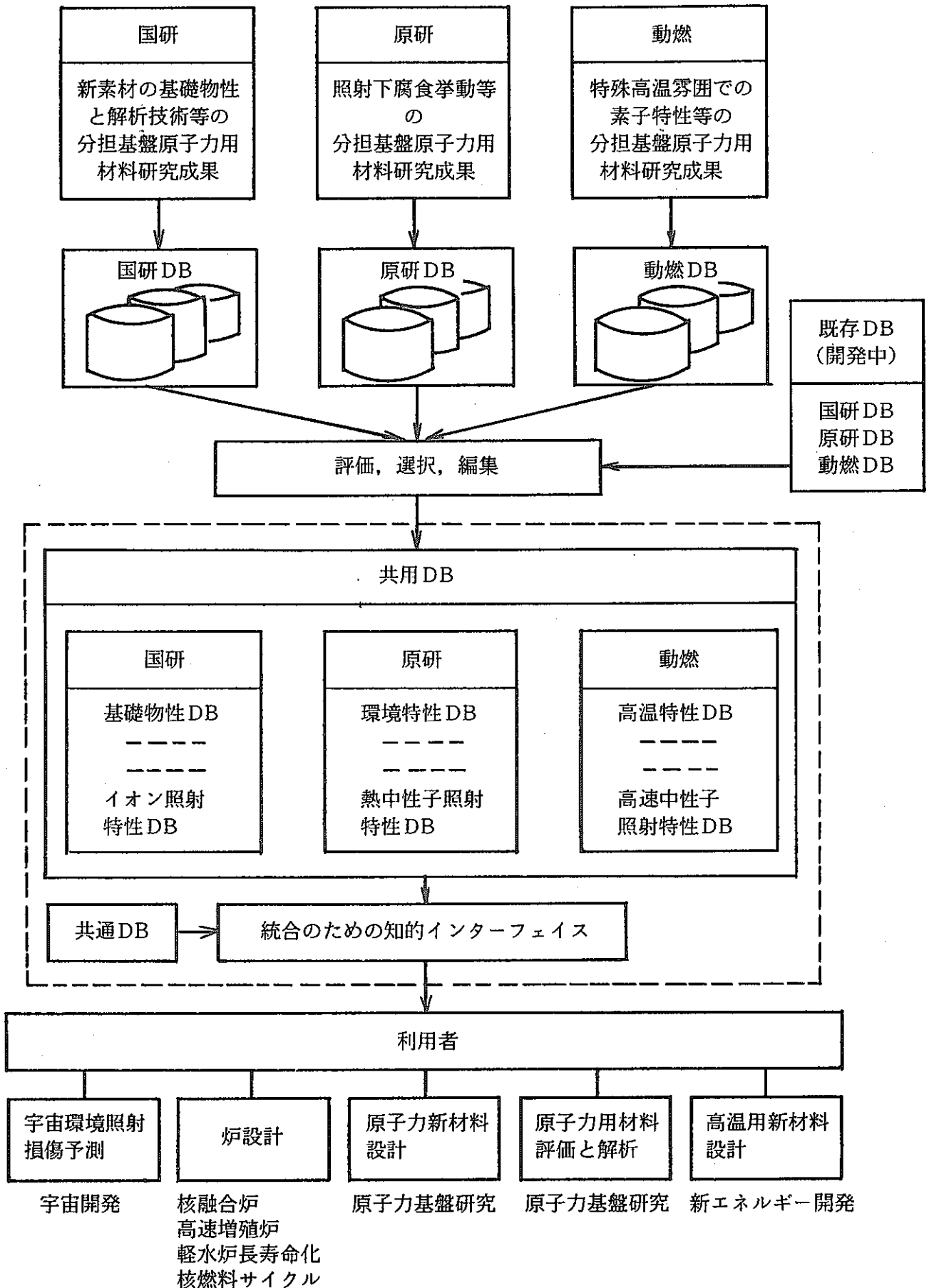
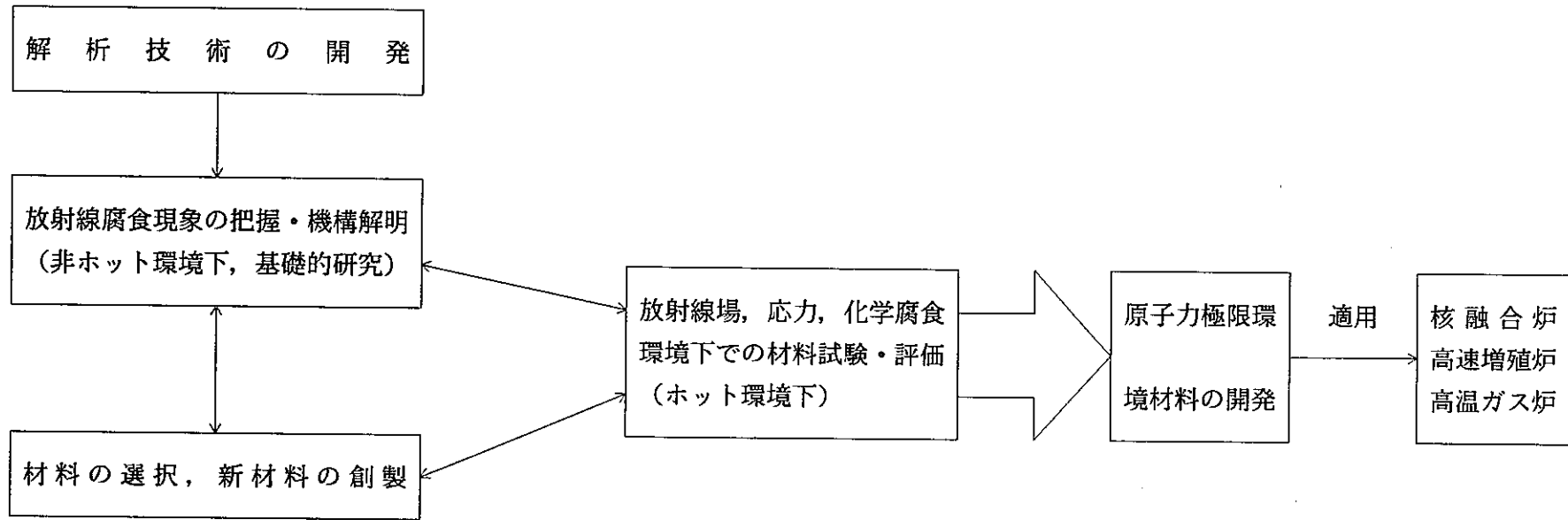


Fig. 19 原子力用基盤材料研究成果のデータベース化と相互利用の流れ



- 動燃研究テーマ {
- (1) 耐ナトリウム性, 耐放射線性新素材の開発
  - (2) 高性能遮蔽材の開発 - 金属水素化物等の開発
  - (3) 超長寿命炉心材の開発
  - (4) 高性能制御材の開発

Fig. 20 原子力極限環境材料の開発に関する研究の流れ

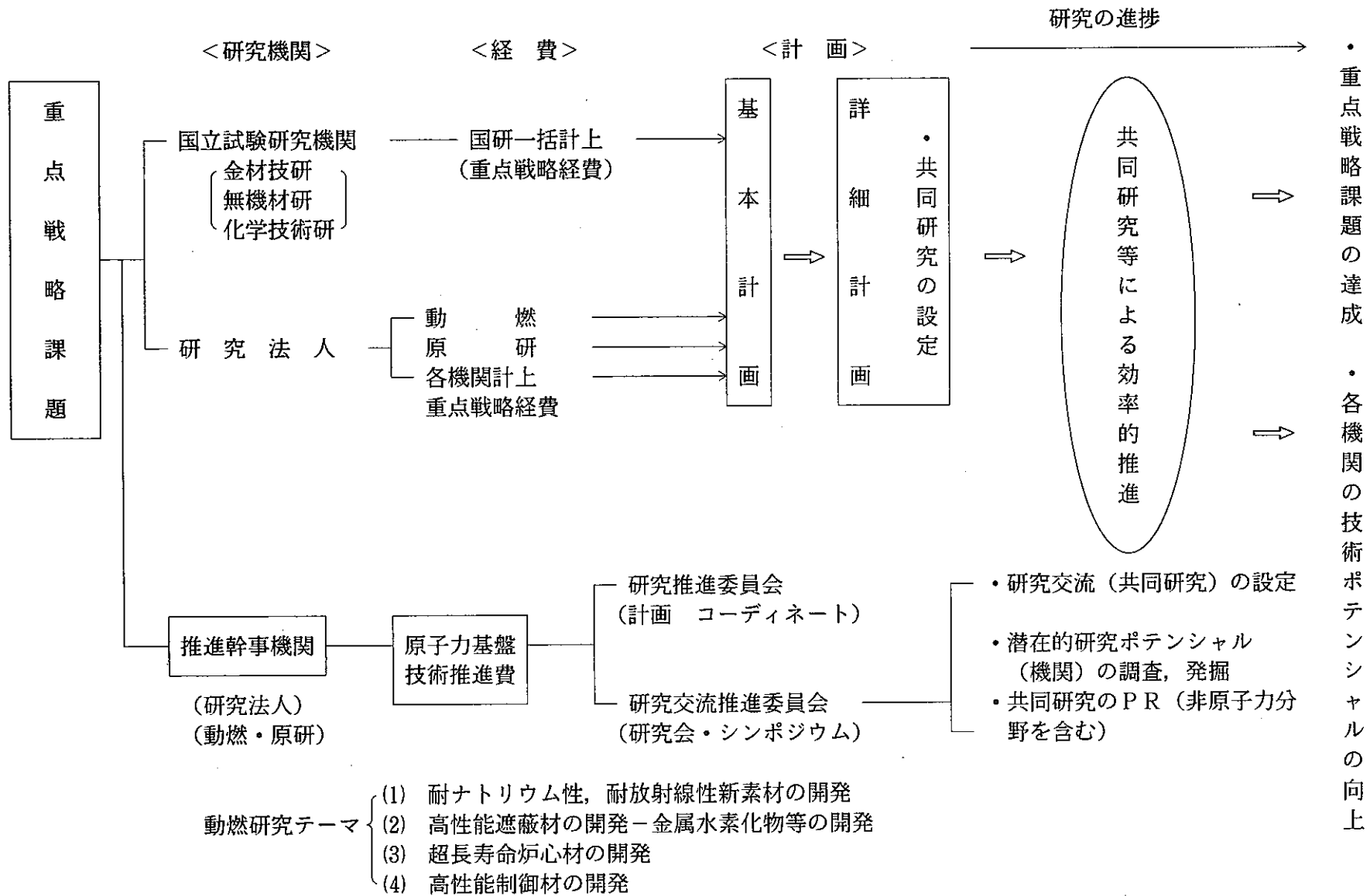
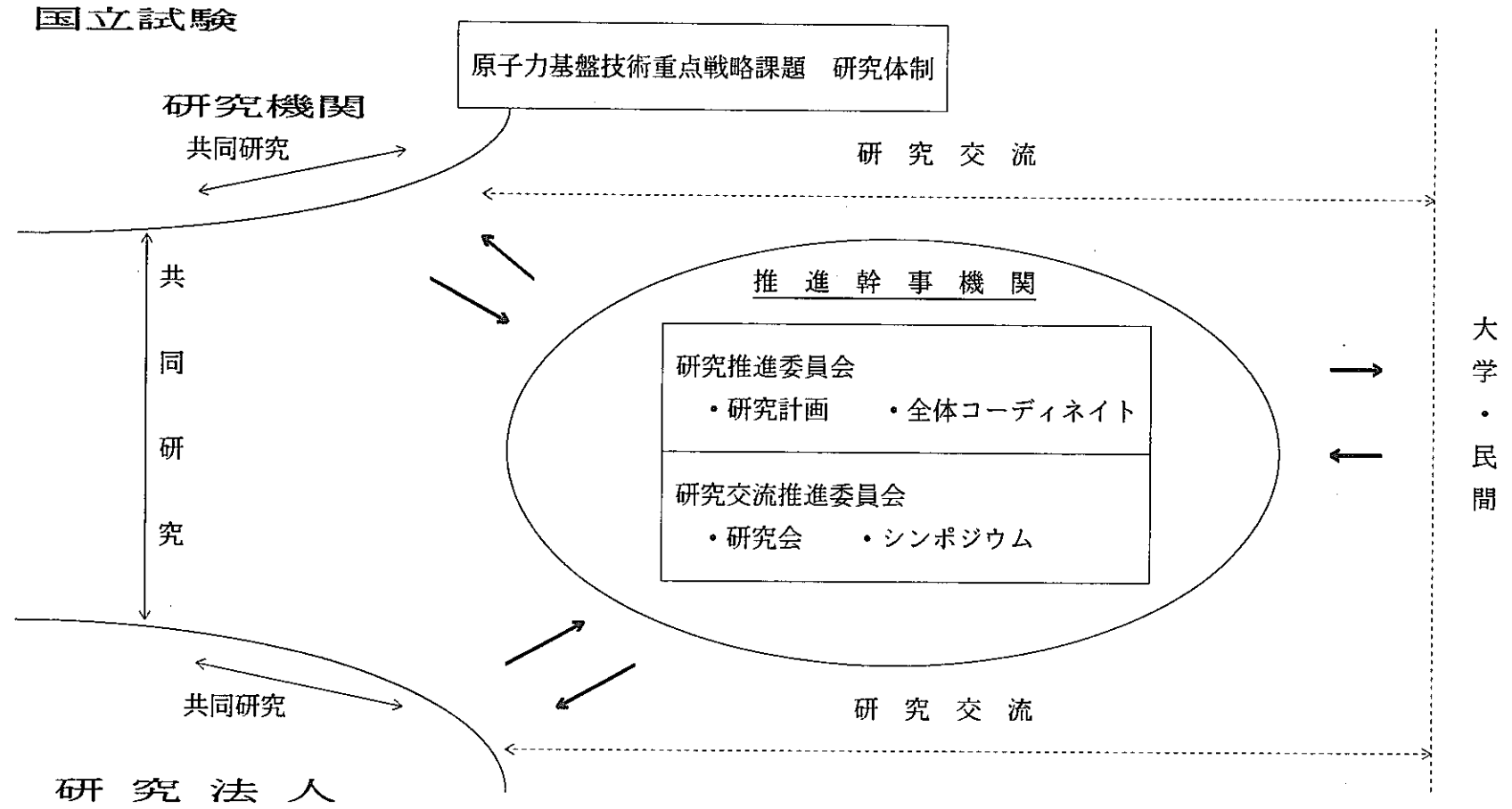
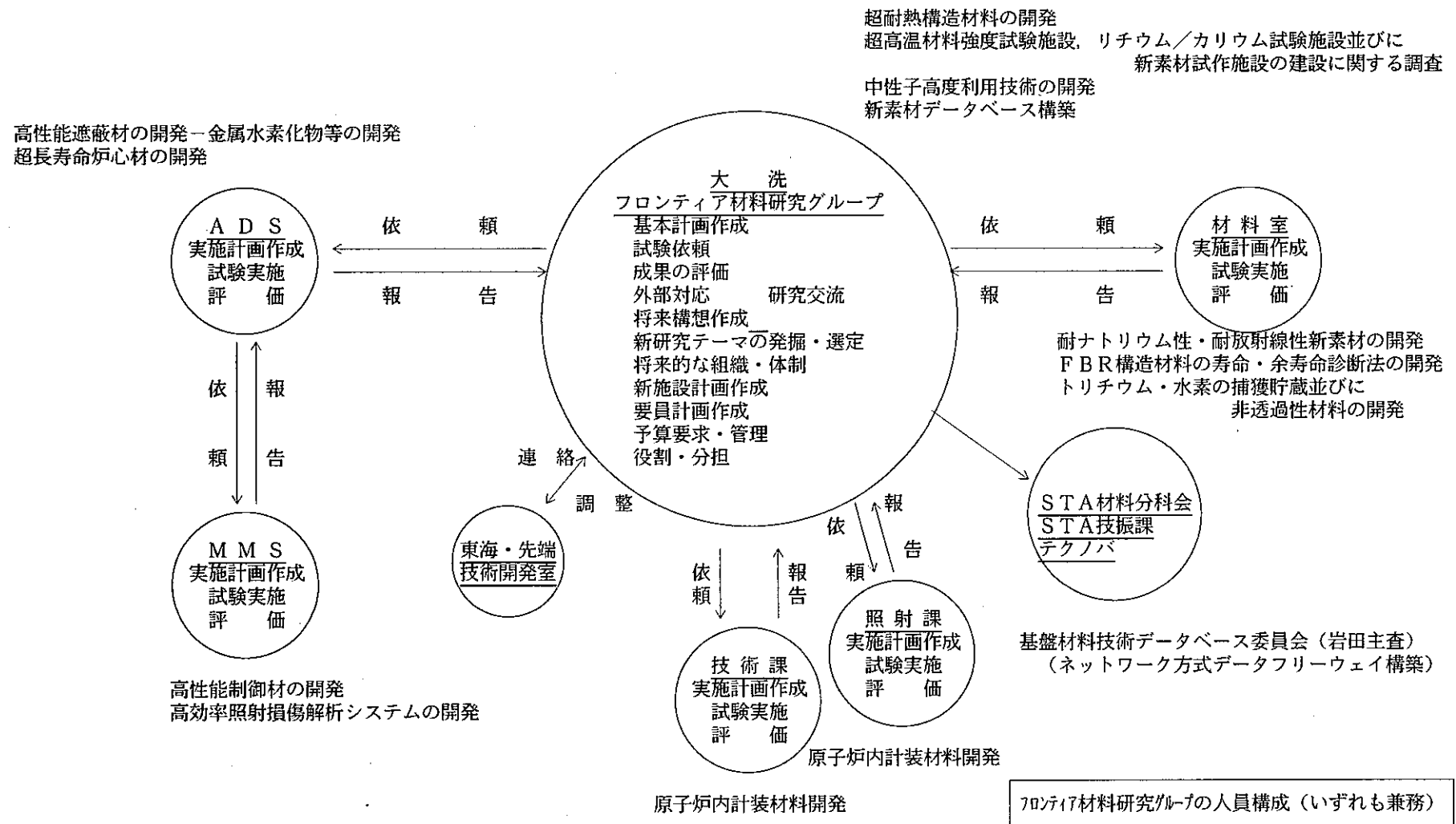


Fig. 21 原子力基盤クロスオーバー研究の展開



- 動燃研究テーマ {
- (1) 耐ナトリウム性, 耐放射線性新素材の開発
  - (2) 高性能遮蔽材の開発 - 金属水素化物等の開発
  - (3) 超長寿命炉心材の開発
  - (4) 高性能制御材の開発

Fig. 22 原子力基盤クロスオーバー研究の体制



フロンティア材料研究グループの人員構成 (いずれも兼務)

加納	茂機	(材料開発室主任研究員)
野村	茂雄	(燃料材料技術開発室室長代理)
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)

Fig. 23 フロンティア材料研究の組織体系

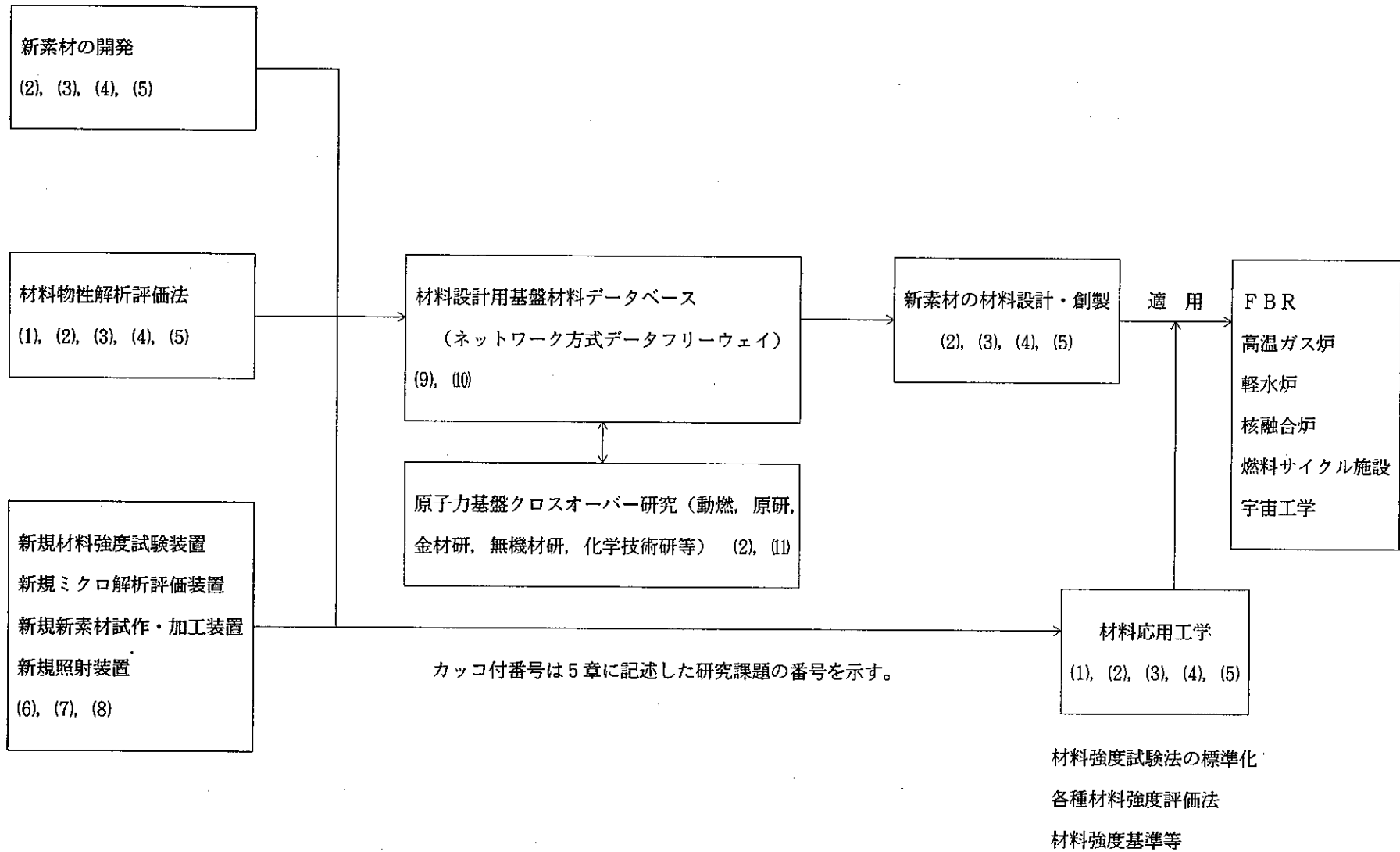
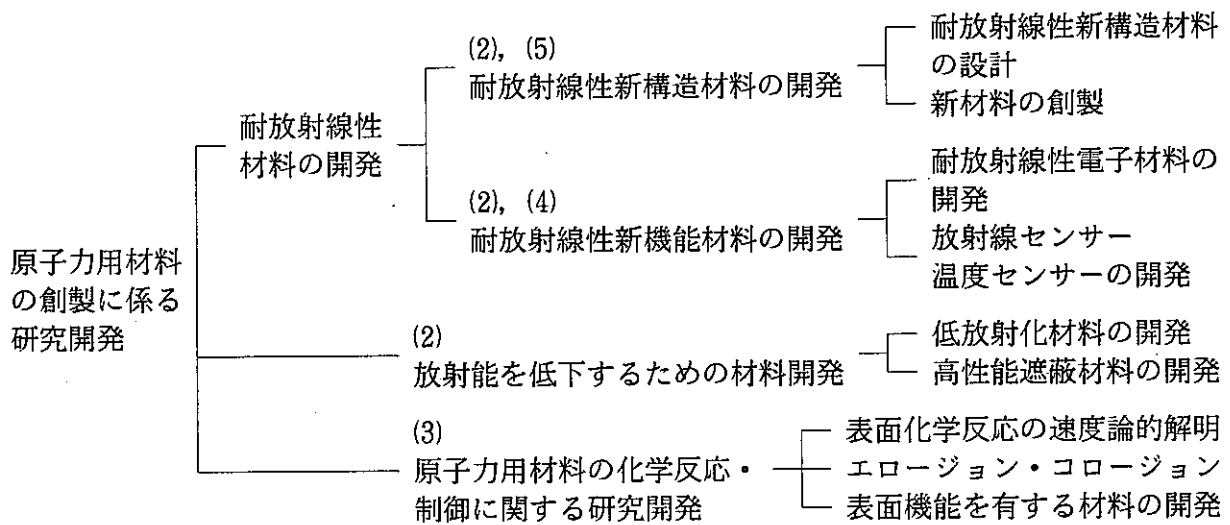
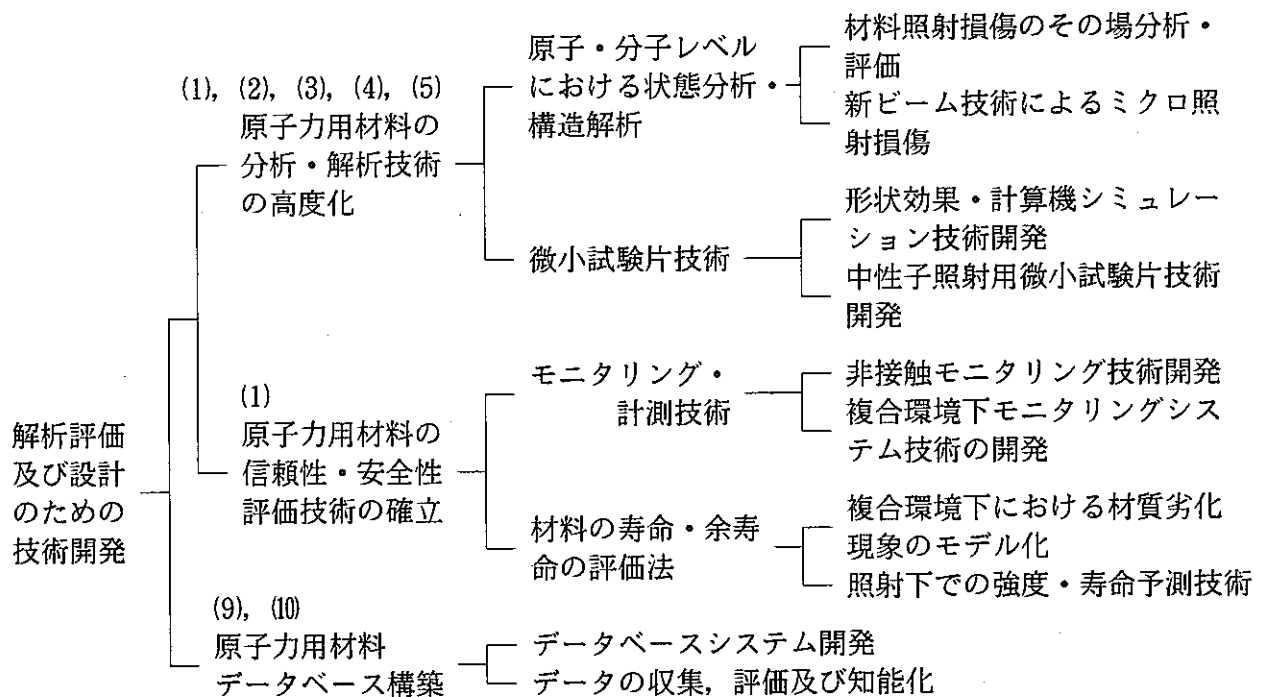


Fig. 24 フロンティア材料研究の全体流れ



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

- ・カッコ付番号は5章に記述した研究課題の番号を示す。
- (6), (7), (8)は新規導入施設に関する課題であり, 本図より除く。
- (11)は他機関との研究交流に関する課題であり, 本図より除く。

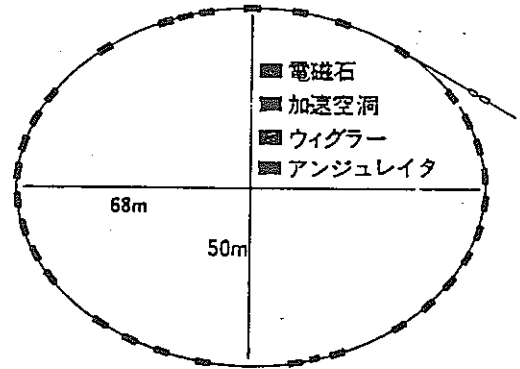
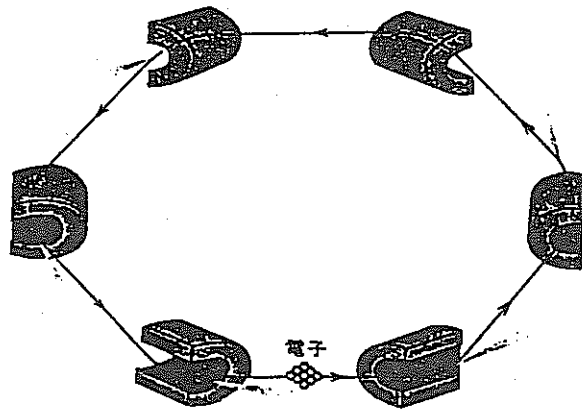
Fig. 25 原子力開発利用長期計画で示されている原子力用材料技術についての重要研究課題と大洗工学センターで実施するフロンティア材料研究課題との対応



▼光発生メカニズム

シンクロトロン放射光：電子の失ったエネルギーは、すべて放射光となる。

▼シンクロトロン放射光発生装置



電子・陽電子線形加速器（リニアック） 主要パラメーター		電子ストレージ・リング 主要パラメーター	
最大電子エネルギー	25億電子ボルト	最大貯蔵電子エネルギー	25億電子ボルト
電子線強度	50ミリアンペア	最大電子線強度	500ミリアンペア
陽電子線強度(トリスツ用)	15ミリアンペア	リングの平均直径	60メートル
くりかえし	50ヘルツ	磁場の強さ	1テスラ
長さ	400メートル	電子線の寿命	10時間以上

Fig. 26 高エネルギー物理学研究所のシンクロトロン放射光実験室

## Appendix A

### FBR構造材料の寿命・余寿命評価法の比較・分類

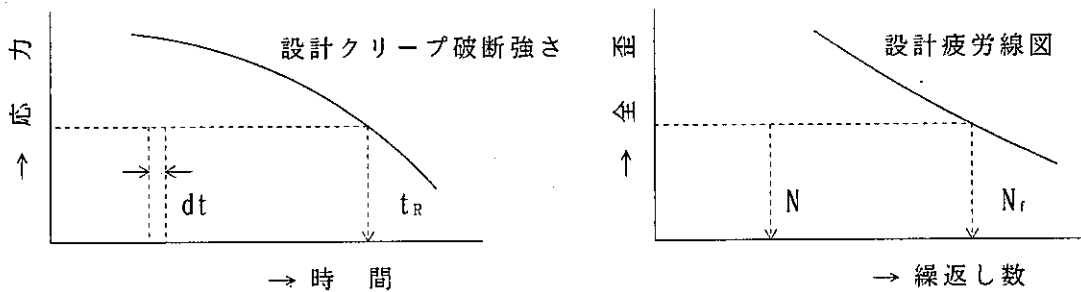
## FBR構造材料の寿命・余寿命評価法の比較・分類

### <寿命・余寿命評価法の分類及び内容>

- (1) クリープ疲労評価法（概念としては、無欠陥材料のき裂発生を解析評価するもの）

クリープと疲労の重畳効果によるクリープ疲労損傷をそれぞれの材料データベースを基にした線型和により求めるものである。損傷がDに達した時クリープ疲労破損が生ずる。

$$N \frac{dt}{t_R} + \frac{N}{N_f} \leq D$$



- (2) 破壊力学評価法

- ① き裂等の欠陥の進展速度に基づく寿命評価法であり、非線型破壊力学パラメータにより評価する。（概念としては、欠陥があることを前提としてその成長度を評価するもの）

・疲労き裂進展速度  $\frac{da}{dN} = C \cdot \Delta J^m$

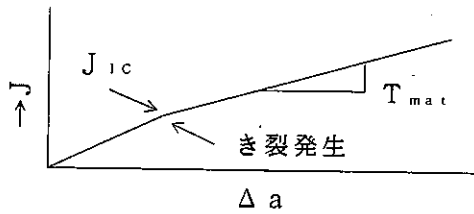
・クリープき裂進展速度  $\frac{da}{dt} = C \cdot J'^m$

- ・クリープ疲労き裂進展速度（上記2つのパラメータの線型和）

$$\left[ \frac{da}{dN} \right]_{cf} = \left[ \frac{da}{dN} \right]_f + \left[ \frac{da}{dN} \right]_c$$

これらの関係式は材料データベースにより求め、実構造物での欠陥のき裂進展は実構造物での $\Delta J$ あるいは $J'$ を解析で求め、上式にあてはめることにより行う。

② 破壊抵抗を示すパラメータである破壊靱性による寿命評価を行う。



$J_{Ic}$  : き裂発生抵抗を示すパラメータ

$T_{mat}$  : き裂進展抵抗を示すパラメータ

$$T_{mat} = \frac{J}{\Delta a}$$

使用中の材料劣化による  $J_{Ic}$ ,  $T_{mat}$  の変化に関する材料データベースから寿命評価する。

(3) 非破壊モニタリング寿命評価法 (概念としては、物理的欠陥よりも材質変化に伴う欠陥を評価しようとするもの)

実プラント構造材料の劣化度を非破壊式モニタリング法により in-situ 測定し、別途整備する材料劣化度に関する材料データベースから寿命評価する。Fig. 1 に概念図を示す。

<寿命・余寿命評価法の比較>

Table 1 参照

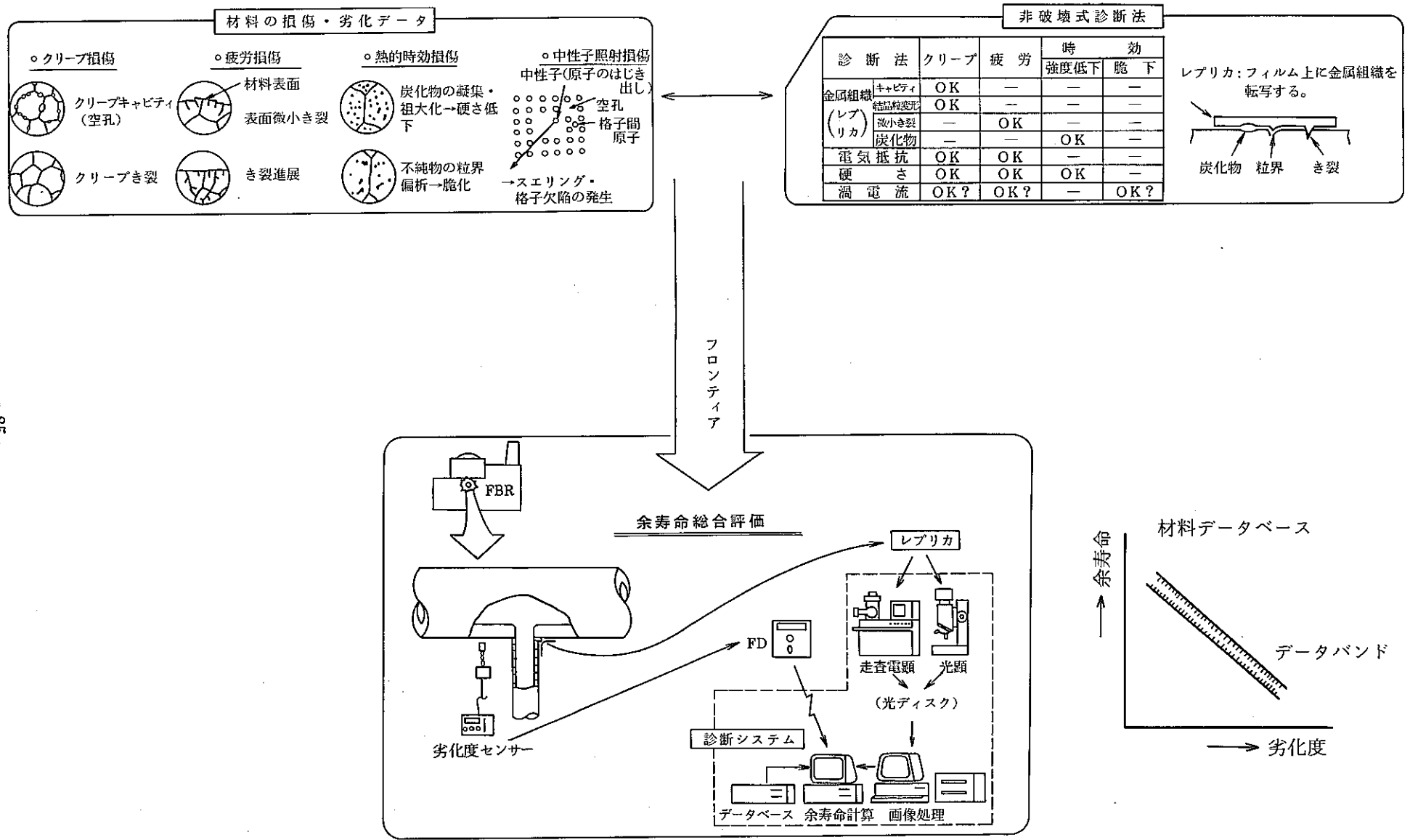


Fig. 1 非破壊モニタリング寿命評価法概念図

Table. 1 寿命・余寿命評価法の比較

	現状区分	研究課題	研究評価対象	研究課室	備考
クリープ疲労寿命 評価法	現状プロジェクトで 高度化対応中	評価法の合理化 長時間外挿性の高精度化 長時間データ取得による検証	運転条件に基づく解析評価 R & D試験片 サーベイランス試験片	材料室 構造室	破壊試験
破壊力学寿命評価法	現状プロジェクトで 開発中	評価法の確立 解析手法の開発 試験方法の標準化 長時間データ取得による検証	運転条件に基づく解析評価 R & D試験片 サーベイランス試験片 実機構造物	材料室 構造室	破壊試験 非破壊試験－ ISI手法の利用
非破壊モニタリング 寿命評価法	フロンティア研究と して着手	劣化度材料データベースの整備 非破壊モニタリング手法の開発 余寿命診断システムの構築	R & D試験片 サーベイランス試験片 実機構造物	フロンティア グループ 材料室	非破壊試験