



JAEA-Data/Code

2006-022



JP0650658

## HTTR運転データベース(1)

—全体概要及び作成方針—

HTTR Operation Data Base (1)

- Outline and Structure -

野尻 直喜 栃尾 大輔 濱本 真平 梅田 政幸  
藤本 望 伊与久 達夫 武田 哲明

Naoki NOJIRI, Daisuke TOCHIO, Shinpei HAMAMOTO, Masayuki UMEDA  
Nozomu FUJIMOTO, Tatsuo IYOKU and Tetsuaki TAKEDA

大洗研究開発センター

高温工学試験研究炉部

Department of HTTR  
Oarai Research and Development Center

October 2006

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JA  
E  
A  
-  
D  
a  
t  
a  
/  
C  
o  
d

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(<http://www.jaea.go.jp/index.shtml>)  
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター\*では実費による複写  
頒布を行っております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4  
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
電話029-282-6387, Fax 029-282-5920

\* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5901

©Japan Atomic Energy Agency, 2006

## HTTR 運転データベース（1）

### —全体概要及び作成方針—

日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター

高温工学試験研究炉部

野尻 直喜・柄尾 大輔・濱本 真平・梅田 政幸・藤本 望  
伊与久 達夫・武田 哲明<sup>+1</sup>

（2006年9月4日受理）

「HTTR 運転データベース」は将来型高温ガス炉の実用化開発や高温工学試験研究炉（HTTR）の運転管理に資することを目的に HTTR の運転データを蓄積・整理したデータベースである。対象データは基本的に HTTR の運転より得られた過剰反応度、炉心又はプラント内の各部温度、冷却材中不純物濃度等の測定値を整理・評価したデータである。データベースは重要度の高い運転データを長期的及び系統的に管理する目的で、将来型高温ガス炉の実用化開発や HTTR の運転管理に関する目的別のデータベースから成る構造とした。

本報では HTTR 運転データベースの全体概要及び作成方針について報告する。また、本データベースの内 HTTR 共通データベース、HTTR 核特性データベース及びヘリウム純度管理データベースの一部を例として示す。

---

大洗研究開発センター：〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

+1 原子力基礎工学研究部門 核熱応用工学ユニット

## HTTR Operation Data Base (1)

### - Outline and Structure -

Naoki NOJIRI, Daisuke TOCHIO, Shinpei HAMAMOTO, Masayuki UMEDA  
Nozomu FUJIMOTO, Tatsuo IYOKU and Tetsuaki TAKEDA<sup>+1</sup>

Department of HTTR  
Oarai Research and Development Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received September 4, 2006)

For the future HTGR development and the management of the High Temperature engineering Test Reactor (HTTR), the HTTR operation data base is constructed. The data base consists of the sorted or evaluated data based on the measured values from the HTTR's operation such as excess reactivity of the core, temperature at facilities of the core and the plant, impurity in coolant and so on. The data base also consists of some sub-databases which have objects related to the future HTGR development or the HTTR's operational management in order to manage the important operation data systematically on a long term.

This paper describes the outline and structure of the HTTR operation data base. Also, as an example, some part of the HTTR common data-base, the HTTR nuclear characteristics data-base and the Helium purity control data-base are described.

Keywords : HTTR, Data Base, Operation Data, Core Characteristics, Helium Impurity

---

<sup>+1</sup> Nuclear Applied Heat Technology Division,  
Nuclear Science and Engineering Directorate

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. HTTR 運転データベースの目的 .....	6
3. 高温ガス炉実用化開発に関するデータ .....	7
4. HTTR 運転管理に関するデータ .....	24
5. HTTR 運転データベースの構造 .....	30
6. 各データベース例 .....	44
7. おわりに .....	60
謝辞 .....	60
参考文献 .....	60

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Purpose of the HTTR Data base .....	6
3. HTTR Data for the future HTGR Development .....	7
4. HTTR Data for Operational Management .....	24
5. Structure of the HTTR Data base .....	30
6. Example of the data-base .....	44
7. Conclusion .....	60
Acknowledgements .....	60
References .....	60

## 図表目次

表 1.1 HTTR の基本仕様 .....	2
表 3.1 将来型高温ガス炉開発における開発目標と HTTR で取得することが望まれる データ .....	9
表 3.2 HTTR で取得することが望まれるデータに関する試験の実行可能性の評価 .....	16
表 4.1 出力上昇試験で実施された各種試験の評価 .....	26
表 4.2 今後も継続して監視する項目 .....	28
表 5.1 データベース項目及び目的 .....	35
表 5.2 1次データのデータソースの比較 .....	38
表 6.1 運転履歴 .....	45
表 6.2 HTTR 共通データベースの 1 次データフォーマット例 .....	46
表 6.3 HTTR 共通データベースの 1 次データ管理表例 .....	47
表 7.1 HTTR 核特性データベースの 1 次データフォーマット例 .....	50
表 7.2 HTTR 核特性データベースの 1 次データ管理表例 .....	51
表 8.1 ヘリウム純度管理データベースの 1 次データフォーマット例 .....	57
 図 1.1 HTTR 原子炉本体の構造 .....	3
図 1.2 HTTR 冷却設備の系統図 .....	4
図 1.3 HTTR の建設から現在までの経緯 .....	5
図 3.1 将来型高温ガス炉開発における開発目標 .....	22
図 3.2 将来型高温ガス炉開発に関する HTTR 運転データ取得計画の概念図 .....	23
図 5.1 HTTR 運転データベースの全体構成 .....	39
図 5.2 1次データベースと評価データベースの関係 .....	40
図 5.3 共通データベースとデータベースの関係 .....	41
図 5.4 評価データベースの構造 .....	42
図 5.5 1次データベースの構造 .....	43
図 6.1 共通データベースの概念 .....	48
図 7.1 HTTR 核特性データベース構造図 .....	52
図 7.2 過剰反応度の評価手順 .....	53
図 7.3 過剰反応度の燃焼日数に対する変化 .....	54
図 8.1 ヘリウム純度管理データベース構造図 .....	58
図 8.2 1次ヘリウム純化設備 M S T H <sub>2</sub> O 除去効率 .....	59

## 1. はじめに

高温工学試験研究炉（HTTR）は熱出力 30MW、原子炉出口冷却材温度 850/950°C（定格運転時／高温試験運転時）の高温ガス炉である<sup>1)</sup>。表 1.1 に HTTR の基本仕様を示す。

図 1.1 に HTTR 原子炉本体の構造を示す。燃料は六角柱状の黒鉛ブロックに被覆燃料粒子を内蔵した燃料棒を挿入したピンインブロック型を採用している。制御棒は炭化ホウ素と黒鉛の混合焼成体を中性子吸収材としている。反射体その他の炉心の主要構造物には黒鉛が用いられている。図 1.2 に HTTR 冷却設備の系統図を示す。冷却系統は通常運転時に原子炉を冷却する主冷却設備と原子炉スクラム時に働く補助冷却設備及び炉容器冷却設備から成る。主冷却設備は 1 次冷却設備、2 次ヘリウム冷却設備及び加圧水冷却設備から成り、原子炉で発生した熱を最終的には加圧水冷却設備の加圧水空気冷却器より大気中へ放散する。

HTTR は高温ガス炉技術の基盤の確立及び高度化のための試験研究並びに高温に関する先端的基礎研究のために、日本原子力研究所大洗研究所において日本初の高温ガス炉として 1991 年から建設が始められた。図 1.3 に HTTR の建設から現在までの経緯を示す。1998 年 11 月に臨界到達<sup>2)</sup>し、2001 年 12 月に原子炉出口温度 850°C<sup>3)</sup>、2004 年 4 月に原子炉出口温度 950°C<sup>4)</sup>に到達した。これまでに臨界試験、出力上昇試験及び安全性実証試験<sup>5)</sup>の試験運転並びに定格運転を重ね、高温ガス炉技術の基盤となる運転データの蓄積を行っている。今後、HTTR の核熱を用い水素を製造する水素製造施設との接続試験等が計画されており、水素製造施設との安定した接続運転のためにさらに多くの運転データを蓄積する必要がある。また同時に、実用型高温ガス炉の開発の観点からは高温ガス炉技術の高度化に資する高温ガス炉実機の運転データが必要であり、ブロック型高温ガス炉では現在世界で唯一運転中の HTTR の活用が重要である。

なお、日本原子力研究開発機構の中期計画（H17 年度下半期～H21 年度）<sup>6)</sup>では「高温ガス炉の技術基盤の確立を目指し、高温工学試験研究炉（HTTR）において、運転日数が 50 日以上の高温連続運転を行い、炉心の燃焼特性、ヘリウムの純度管理、高温機器の性能、炉内構造物等の健全性等に関するデータを取得・評価することにより、高温ガス炉実用化に必要なデータの蓄積を行う。」ことを計画し、HTTR 運転データ取得・評価を行うこととしている。

そこで、将来の高温ガス炉実用炉開発及び今後の HTTR の運転に役立てるために、HTTR の各種データの取得・評価を円滑にし、かつ、蓄積した運転データを総合的に活用するデータベースを「HTTR 運転データベース」として作成する。

本報では、HTTR 運転データベースの目的と作成方針及び構造を示すとともに、例として HTTR 共通データベース、HTTR 核特性データベース及びヘリウム純度管理データベースの一部について報告する。

表1.1 HTTRの基本仕様

原子炉熱出力	30MW
燃焼日数	660 日
冷却材	ヘリウムガス
原子炉入口冷却材温度	395°C
原子炉出口冷却材温度	850°C／950°C (定格／高温試験)
1次系冷却材圧力	4MPa
炉心構造材	黒鉛
炉心有効高さ	2. 9m
炉心等価直径	2. 3m
出力密度	2. 5MW/m <sup>3</sup>
燃料	二酸化ウラン・被覆粒子／黒鉛分散型
ウラン濃縮度	3～10% (平均 約6%)
燃料体平均最高燃焼度	33000 MWd/t
燃料体形式	ピン・イン・ブロック型
原子炉圧力容器	鋼製(2 1/4 Cr-1Mo鋼)
主冷却回路数	1ループ(中間熱交換器及び加圧水冷却器)

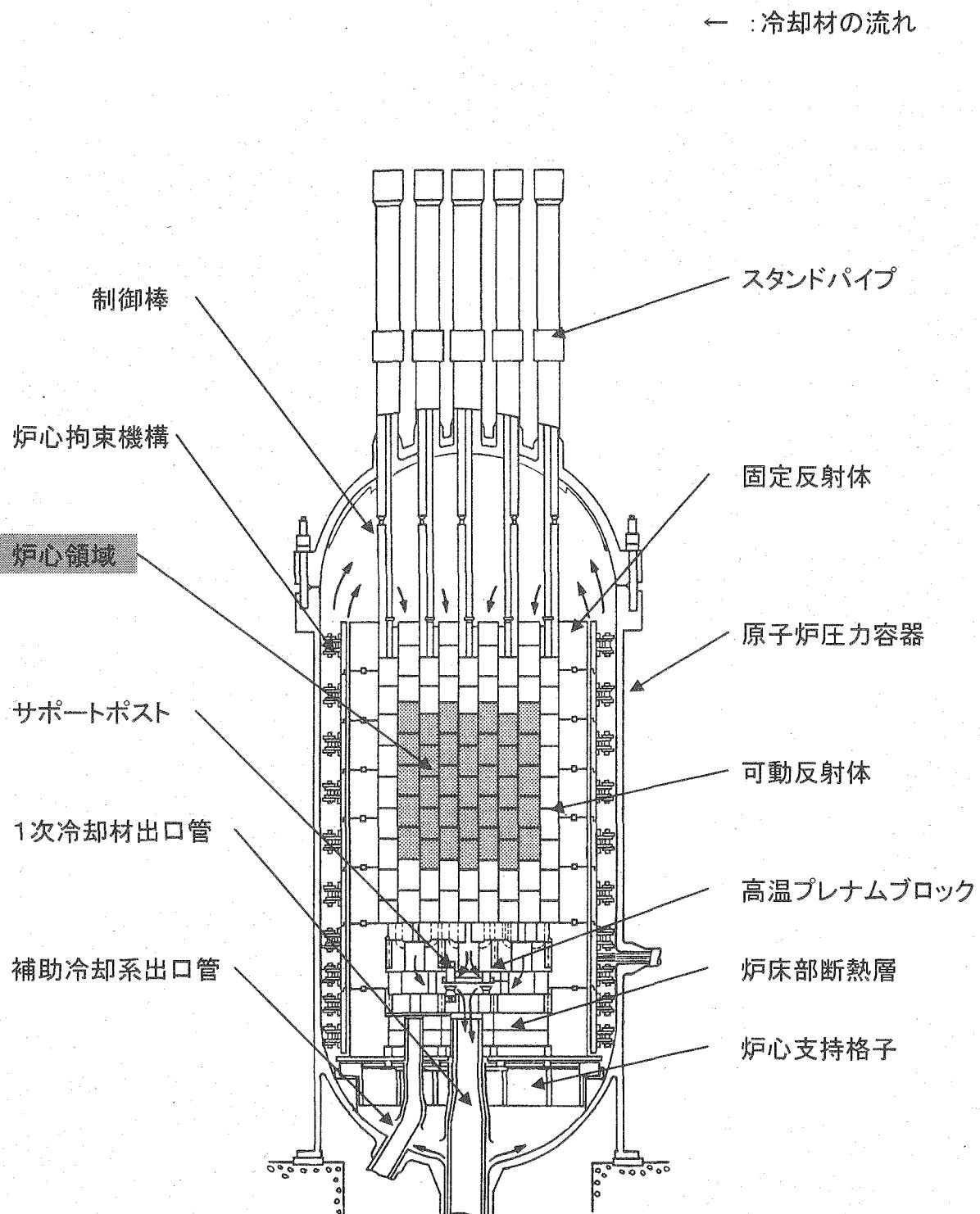


図 1.1 HTTR 原子炉本体の構造

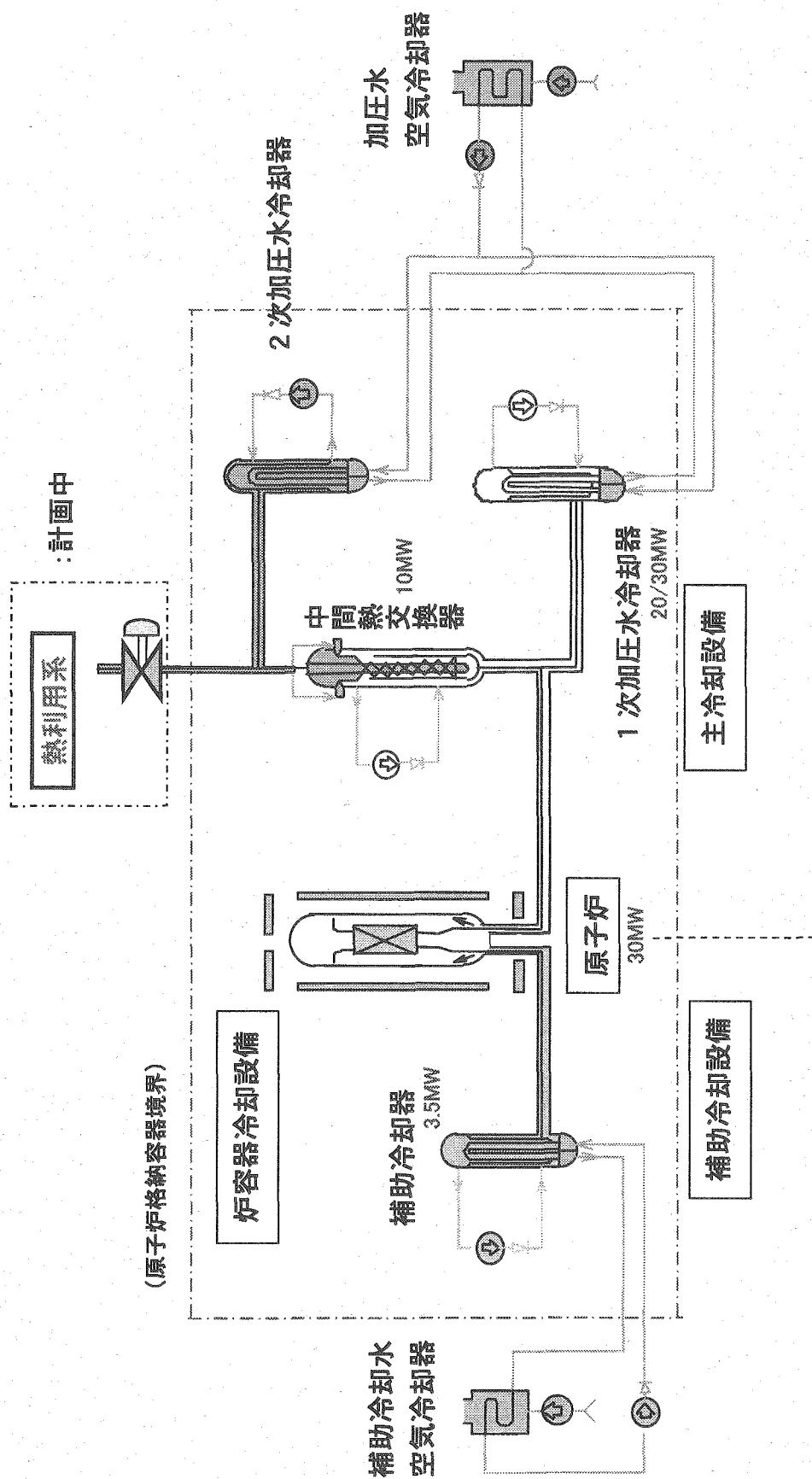


図 1.2 HTTR 冷却設備の系統図

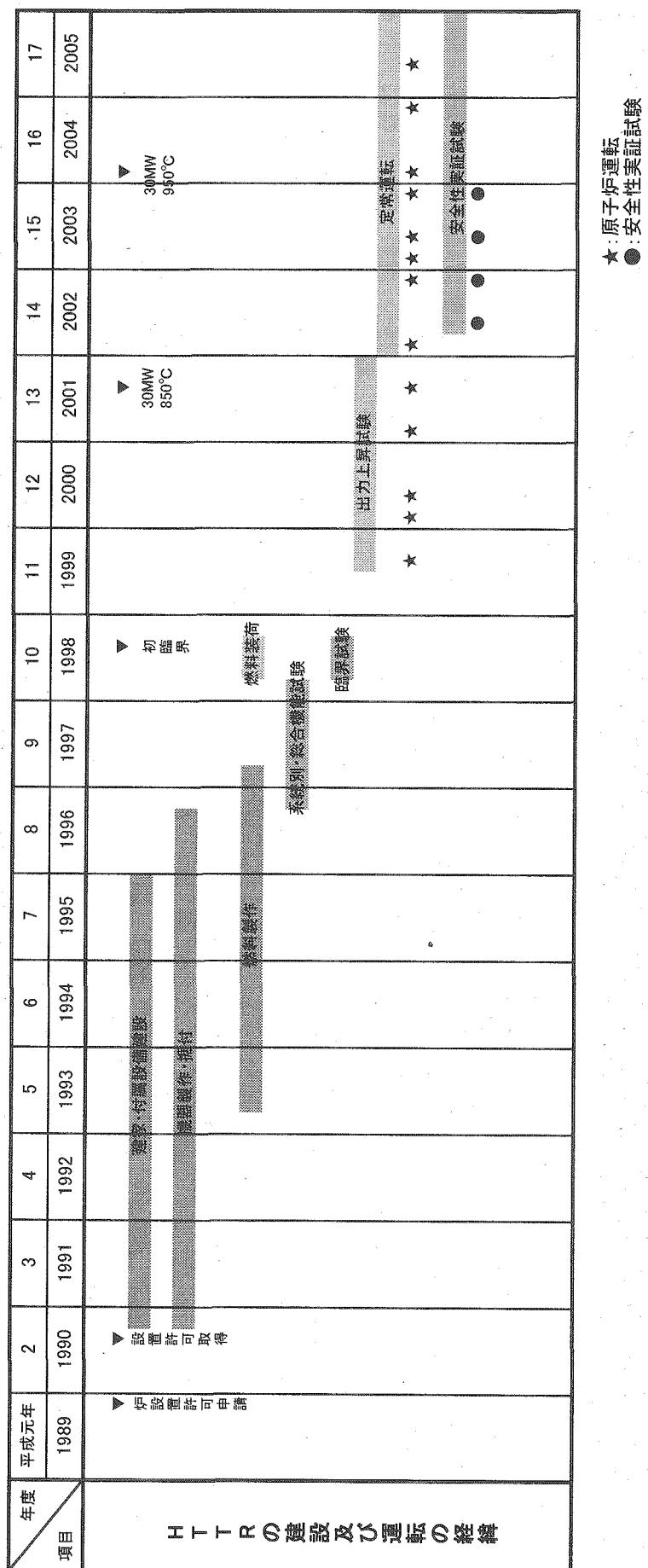


図1.3 HTTRの建設から現在までの経緯

## 2. HTTR 運転データベースの目的

HTTR 運転データベースは、(1)高温ガス炉の実用化開発及び(2)HTTR の運転管理に資することを目的に構築する。高温ガス炉の実用化開発においては、実用炉の設計に活用する等の目的を明確にした上で長期的かつ系統的な運転データを提供することを目標とする。さらに、HTTR の運転管理においては運転データの系統的な整理の枠組みを定め、運転管理を総合的に支援することを目標とする。

高温ガス炉の実用化開発に必要な HTTR の運転データをデータベース化するにあたり、そのデータ活用の目的を明確にするため、将来型高温ガス炉開発目標に関する HTTR 運転データを調査した。その結果、現在の HTTR 施設により取得可能な運転データについてはデータベース項目とし、現在の HTTR 施設の設備から開発目標の目的に合致するデータの取得が難しい項目については今後の HTTR 運転データベース作成計画において検討することとした。

HTTR の運転管理については、今までに行われた出力上昇試験等の運転経験から HTTR の運転管理上、長期間の系統的なデータ蓄積が望ましいと考える項目について選択し、データベース化することとした。

HTTR 運転データベースは上記の目的を満たすため以下の条件を設定した。

- 1) 高温ガス炉の実用化開発及び HTTR の運転管理の 2 つの目的で構築されるものであるため、予め定めたさまざまな目的毎にデータが整理されていること
- 2) 長期的かつ系統的なデータ収集のため、運転データの蓄積・利用を簡便にするとともにデータの散逸を防止すること
- 3) 目的毎に整理するため、データの重複等が考えられるが、データの統一性及びデータベースの効率性を考慮し、重要かつ他の項目と共に通するデータはデータベース内で共通に利用できる形とすること

これらの要求に対応するデータベースの作成方針については 5. HTTR 運転データベースの構造において示す。

### 3. 高温ガス炉実用化開発に関するデータ

高温ガス炉の実用化開発に必要な HTTR の運転データを取得するにあたり、現在における将来型高温ガス炉開発目標と関係する HTTR 運転データを調査し、本データベースの対象となるデータ選定のための検討を行った。

HTTR の建設目的のひとつは高温ガス炉技術の基盤の確立及び高度化であり、具体的には将来型高温ガス炉の実用化に資する技術基盤の確立と高度化である。将来型高温ガス炉としては GTHTR300<sup>7)</sup>、GT-MHR<sup>8)</sup>等の概念が提案されており、それらは出力密度の向上、燃料の高燃焼度化等の経済性を高めた設計がされており、さらに、高温ガス炉と水素製造設備を結合することによる原子力水素製造の実現を目指とした設計も進められている。これらの HTTR よりもさらに高性能化した高温ガス炉の実用化のためには、既存の高温ガス炉での運転管理技術の実証が必要であるとともに、実用化のためのさらなる技術の高度化が必要である。現在、世界で運転されているブロック型高温ガス炉は HTTR のみであり、高温ガス炉技術の実証には HTTR の運転データの提供が、また、高温ガス炉技術の高度化には HTTR を活用した試験研究が重要と言える。

#### 3.1 将来型高温ガス炉開発において必要となるデータの調査

将来型高温ガス炉開発に必要な HTTR 運転データをデータベースとして整理する前に、データベースの主なユーザーとなる将来型高温ガス炉の実用化開発研究を進めている原子力基礎工学研究部門核熱応用工学ユニットの各研究者に HTTR において取得を望む運転データに関するアンケートを取った。本アンケートは作成するデータベースを研究者に広く利用してもらうことを目的としたため、HTTR での試験の実現性にはこだわらず、各研究者が純粹に必要と考えているデータを自由に記載してもらう形式を取った。表 3.1 に将来型高温ガス炉開発における開発目標と HTTR で取得することが望まれる開発に必要なデータ・試験を示す。表 3.1 は核熱応用ユニット部の研究者からのアンケートを基に作成したものである。

アンケート結果である表 3.1 は将来型高温ガス炉開発における開発目標として、①核特性、②燃料温度、③ヒートバランス、④燃料健全性、⑤ヘリウム純度管理、⑥炉内構造物健全性、⑦熱交換器健全性、⑧その他のテーマに分類し、各テーマについてデータベースの目的としての開発目標をまとめたものである。アンケートの結果を基に各テーマの開発目標をイメージした図を図 3.1 に示す。

#### 3.2 データベース対象データの選定

表 3.1 にあるように将来型高温ガス炉開発に求められる HTTR 運転データについての要求は多岐にわたっており、現在の HTTR 施設で取得可能なデータもあれば、実現のために

は改造工事等が必要である等の対応が困難な項目もある。そこで、現在の HTTR 施設で取得可能なデータについては計画的に取得し、実現が難しい項目については今後の計画において、その実現性、費用対効果等を検討することとした。そのため、表 3.1 のデータ・試験を表 3.2 に整理し、それぞれの項目について現在の HTTR 施設における実行可能性について検討を行った。実行可能性の評価は（A）現在の施設で取得可能なもの又は軽微な変更で取得可能なもの、（B）施設の改造が必要又は特別な運転計画等が必要なもの（C）データの取得には新たな測定技術を要するものの 3 つに分類した。

本評価は現在の HTTR 施設において取得が容易なデータを評価したものであり、データの重要性を示すものではない。（現時点では困難であるが、試験計画が実行中でありデータ取得の可能性が高いものは A 評価としている。）検討の結果、データベース構築初年度の現時点としては、（A）現在の施設で取得可能又は軽微な設備の変更で取得可能な試験データを本データベースの対象データとすることとした。

### 3.3 今後のデータ取得計画

前節で（B）及び（C）に評価したデータについては今後の計画で検討していく必要があるが、計画の検討に資するため、データ取得に必要な測定試験を a) 運転中の連続測定、b) 運転中の特殊試験、c) 停止後の測定、d) 照射試験、e) 燃料の照射後試験の 5 つの測定手法で分類した。図 3.2 に測定手法により整理した HTTR での高温ガス炉開発に必要なデータ取得計画の概念を示す。

実行可能性の評価の中で、（B）施設の改造が必要又は特別な運転計画等が必要なもの及び（C）データの取得には新たな測定技術を要するものに分類された試験は a) 運転中の連続測定以外のものが多い。運転中の連続測定以外のこれらの試験は高温ガス炉開発に求められる新たな試験の実施であるため、HTTR の現状を踏まえた以下のような測定手法毎の検討が必要である。

- ・ b) 運転中の特殊試験及び c) 停止後の測定の実行には通常運転以外の試験を企画、実行する体制が必要であり、出力上昇試験、安全性実証試験等を経験した HTTR 部と研究部門である核熱応用工学ユニットの協力による試験計画の作成を進める必要がある。
- ・ d) 照射試験及び e) 燃料の照射後試験の実行には HTTR では今まで照射関係の設備を実際に使用した経験がないため、照射試験設備の充実、試験体制の確立を含めた長期的な計画を作成し、進めていくべきである。

表 3.1 将来型高温ガス炉開発における開発目標とHTTRで取得することが望まれるデータ(1/7)

開発目標	HTTRで取得することが望まれる開発に必要なデータ・試験
①核特性 VHTRでは従来型高温ガス炉よりも原子炉出口温度(1000°C以上)、使用燃焼度(200GWd/t)が高くなることから、より精度の高い核特性評価が要求される。そのため、核特性解析コードの検証及び高度化を行い、より精度の高い核特性評価を可能とする。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各燃焼時期(0日から660日まで110日刻み)における核特性値(実効遅発中性子割合、即発中性子寿命、添加反応度、温度係数(ドップラー、減速材)、出力分布、中性子束分布、<math>X_e</math>濃度)の測定値</li> <li>・等温温度係数、炉内中性子束分布、漏洩中性子束、制御棒価値、出力数、スペクトル分布、臨界制御棒位置を、燃焼度及び出力(温度)に対して測定(評価)、整理する。</li> <li>・炉心での位置依存性、燃料体での位置依存性を考慮したスペクトル分布測定</li> <li>・制御棒案内ブロックでのストーミング効果測定</li> <li>・炉停止時の炉心出力分布測定(50日以上連続高温運転終了後、全数の燃料体を測定)</li> <li>・BPの燃焼特性把握。連続運転で、CR位置等を監視する。1次燃料取り出後、BPの燃焼度合いをPIEで調べる。</li> <li>・運転中の出力密度、運転後の燃料組成、運転中の制御棒位置経年変化</li> <li>・低出力状態からの制御棒引き抜き試験(添加反応度を増加させる)</li> <li>・40nmを超える御棒引き抜き試験時の原子炉出力、反応度等の時間変化</li> <li>・循環機3台停止試験時の原子炉出力、反応度等の時間変化</li> <li>・反射体部の温度係数</li> <li>・2次炉心を環状炉心として、制御棒本数も減少することで核特性データを得得する。炉心全体が変わるので、臨界近接試験も必要。</li> </ul>

表 3.1 将来型高温ガス炉開発における開発目標とHTTRで取得することが望まれるデータ(2/7)

開発目標	HTTRで取得得することが望まれる開発に必要なデータ・試験
②燃料温度	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VHTRでは従来型高温ガス炉よりも原子炉出口温度(1000°C以上)が高くなることから、燃料の健全性を維持するためより精度の高い燃料温度評価が要求される。そのため、燃料温度解析コードの検証及び高度化を行い、より精度の高い燃料温度評価を可能とする。</li> <li>• 運転中の燃料温度及び経年変化</li> <li>• 温度モニターによる燃料(炉内)温度測定試験</li> <li>• 炉心燃料領域の温度分布(固定反射体内部温度より炉心中心側の温度データ)</li> <li>• 燃料限界照射試験試料(試験用燃料コンパクト)の温度</li> <li>• 炉内の代表的な燃料体を取り出し、燃料温度等の推測を試みる。</li> <li>• 照射試験装置等を用いて炉心内に計測器を挿入し、炉心内の温度を測定する。</li> <li>• 炉内の温度計測点を追加(計装付き照射キャプセル、炉心中心カラムの活用)</li> <li>• 炉内温度分布(燃料ブロック、反射体等の黒鉛部についても取得する)を、燃焼度及び出力に対して測定、整理する。</li> </ul>
③ヒートバランス	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 循環機3台停止試験中のVCS除熱量、RPV温度、VCS温度の時間変化(仮設機器(VEE)のデータを含む)</li> <li>• 各熱交換器、配管からの放熱量を、更に詳しく調べる(場合によつては計測器を追加設置する)</li> <li>• RPV表面、VCSパネル表面の輻射率を求める。</li> <li>• 循環機停止試験に続くVCS停止試験の際に系内で起動している全ての機器(純化系も含む)を停止させ、オールブラックアウト試験を行う。(オールブラックアウト試験はコンクリート温度と冷却する媒体の温度等の情報、すなわちコンクリートからの除熱量をどれだけ精度よく求められるかで試験の価値が決まる。)</li> </ul>

表 3.1 将来型高温ガス炉開発における開発目標とHTTRで取得することが望まれるデータ(3/7)

開発目標	HTTRで取得することが望まれる開発に必要なデータ・試験
④燃料健全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>FP 放出率、燃料破損率を、燃焼度及び出力に対して測定、整理する。</li> <li>運転中の手(手動)サンプリングの回数等を計画的に増やす、特に今後実施する連続高温試験運転時</li> <li>HTTR 初装荷燃料の照射後試験</li> <li>炉心内の代表的な燃料体を取り出し、燃焼による物性値変化の推測を試みる。</li> <li>将来的には、取り出した燃料の PIE、他炉での追加照射等、1次炉心の燃料をフル活用</li> <li>HTTR を用いた B 型燃料体の照射試験</li> <li>HTTR 炉内のヨウ素吸着量測定</li> <li>銀及びセシウムの放出量計測</li> <li>銀及びセシウムのプレートアウト量</li> <li>Cs、I 等 FP プレートアウトデータ、高燃焼度における Ag プレートアウトデータ</li> <li>ヨウ素並びにトリチウムに関する定量的な移行・沈着挙動を解明するため、原子炉の出力を急速に低下させ、かつ、連続的にFPを測定する。</li> </ul>
○将来型高温ガス炉の燃料設計の高度化(高燃焼度等)。	<ul style="list-style-type: none"> <li>将来的品質の国産高温ガス炉燃料の照射特性のデータベースにに基づく燃料挙動モデル及び FP 放出挙動評価手法の高度化。</li> <li>高温ガス炉燃料の高性能化及び経済性の向上のための将来型燃料高燃焼度化燃料の照射試験。</li> <li>○将来高温ガス炉の被ばく評価の観点からのヨウ素生成挙動、Cs、I 等 FP プレートアウト量、高燃焼度における Ag プレートアウト量の評価高精度化。</li> </ul>
⑤ヘリウム純度管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>○アクティブ制御法の開発*</li> <li>将来高温ガス炉の冷却材であるヘリウムガス中に含まれる化学的不純物は、中間熱交換器の伝熱管等に使用される高温材料の構造劣化、熱物性劣化等に影響し、高温材料の寿命に大きな影響を与えることから、冷却材中の化学的不純物を能動的にバランス制御し、構造劣化、熱物性劣化を管理する革新的なアクティブ制御法を開発することが必要である。</li> <li>1 次系及び 2 次系不純物濃度 <ul style="list-style-type: none"> <li>1 次系温度(原子炉出入口温度、IHX 各部温度等)</li> <li>2 次系温度(IHX2 次側出口温度等)</li> <li>1 次及び 2 次ヘリウム純化設備運転状態(各部温度、流量、系統等)</li> <li>酸化銅反応筒の運転温度を制御した試験(新規の試験)</li> <li>モレキュラーシーブトラップ、コールドチャコールトラップのバイパス試験(新規の試験)</li> <li>不純物注入設備(設備)等</li> </ul> </li> </ul>

表 3.1 将来型高温ガス炉開発における開発目標とHTTRで取得することが望まれるデータ(4/7)

開発目標	HTTRで取得することが望まれる開発に必要なデータ・試験
<p>○トリチウム移行量評価</p> <p>将来高温ガス炉で製造される水素は製品として市場に流通するため、製造水素に含まれるトリチウムを製造水素が放射性物質として管理されない量に抑える必要がある。そのため以下的研究開発が必要である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>炉心での生成量、IHX 伝熱管の水素、トリチウム透過速度の評価を行うトリチウム/水素移行量評価コードの検証<sup>*2, *3</sup></li> <li>HTTR-IS システム、高温ガス炉 IS プロセス(GTHTR-300C 又は GTHTR-300H)における製品水素中トリチウム濃度の事前評価及び HTTR-IS プロセスにおいて製品水素を燃焼処分した場合の周辺公衆被ばく量の事前評価</li> <li>HTTR-IS システムおよび高温ガス炉水素製造システムにおける水素製造設備を非原子力級化するための設計、安全設計方針の作成<sup>*4, *5</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>定常運転時の1次系、2次系内の水素、トリチウム濃度分布及び時間変化</li> <li>選択的水素回収設備を追加して水素同位体の回収データを取得する。</li> <li>水素同位体濃度、温度、流量等の各データ取得。</li> <li>吸着、吸収等の種々の回収方法を追加した設備の交換により試験を実施する。</li> </ul>

\*1 坂場成昭, 濱本真平, 竹田陽一, 日本原子力学会 2006 秋の大会, 予稿集 L56, (2006).

\*2 H. Ohashi, N. Sakaba, T. Nishihara, K. Kunitomi, "Numerical study of Tritium migration with isotope exchange reaction in IS process coupled with high-temperature gas-cooled reactor", *Nucl. Eng. Des.*, (Submit).

\*3 N. Sakaba, H. Ohashi, T. Takeda, "Hydrogen permeation through heat transfer pipes made of Hastelloy XR during the initial 950°C operation of the HTTR", *J. Nucl. Mater.*, 353, 42-51 (2006).

\*4 N. Sakaba, S. Kasahara, H. Ohashi, et al., "Hydrogen production by thermochemical water splitting IS process utilizing heat from

表 3.1 将来型高温ガス炉開発における開発目標とHTTRで取得することが望まれるデータ(5/7)

開発目標	HTTRで取得することが望まれる開発に必要なデータ・試験
high temperature gas-cooled reactor HTTR <sup>6</sup> , Proc. of 16th World Hydrogen Energy Conference WHEC 2006, S04-043, (2006). *5 大橋一孝, 西原哲夫, 国富一彦, “HTTR-IS 水素製造システムにおける安全設計の考え方”, 日本国原子力学会和文誌, 授稿中.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 黒鉛構造物の長寿命化           <ul style="list-style-type: none"> <li>従来型高温ガス炉よりも原子炉出口温度(1000°C以上)がより高温となる VHTR の過酷な炉内条件で使用される炉内黒鉛構造物の長寿命化は製造コストの低減、廃棄物量の低減等の経済性向上のために望まる。そのため、炉内黒鉛構造物を安全に長期間使用するために黒鉛構造物の機械的特性を非破壊的に評価し、健全性を確認する技術を開発する必要がある。</li> </ul> </li> <li>○ C/C複合材料の開発           <ul style="list-style-type: none"> <li>従来型高温ガス炉よりもさらに原子炉出口温度が高温化した VHTRでは従来の金属製の制御棒は繰り返し使用制限から使用することができない。VHTRの性能向上のためにより高温条件で制御棒要素として使用可能な材料が必要であり、高温強度に優れ韌性が期待できる C/C 複合材料などの纖維強化セラミック複合材料を用いた制御棒要素を開発する必要がある。</li> </ul> </li> <li>○ 破壊力学的な健全性評価           <ul style="list-style-type: none"> <li>現在、黒鉛構造設計に破壊力学的手法は取り入れられていないが、破壊力学的な健全性評価は構造物の信頼性評価に有効な手法であり、将来型高温ガス炉の適用を目指した開発</li> </ul> </li> </ul>
⑥炉内構造物健全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 黒鉛構造物における情報           <ul style="list-style-type: none"> <li>・任意の黒鉛構造物における温度分布、中性子照射量、中性子スペクトルの実測値、解析値、I-I型照射設備による照射場の特性データ実測)</li> <li>・燃料体ブロックの残留応力(特にF3,F4,F5領域ー3段目,5段目)、炉心内温度分布データ、炉心任意位置の照射量(サーベイランス試験片)</li> <li>・炉内の黒鉛材料の酸化量、冷却材不純物(水素、水、酸素等)の濃度及び分布、炉内の黒鉛ブロックの寸法変化、強度・熱特性の変化(サーベイランス試験片、実際の黒鉛ブロックの測定より)</li> <li>・黒鉛の照射変形量、熱変形量の計測。黒鉛の長寿命化データとして重要。</li> <li>・炉内の温度測定。特に、連続の高温試験運転時での炉内の温度計測定値(ブロック状炉心の温度計算手法の検証、炉内構造物の設計手法の検証で、即、対応可能)</li> <li>・出口温度制御等の外乱を入れた試験(商用電源喪失等も含む)の実施。燃焼の進んだ炉心でも実施(制御特性のみならず、外乱時の炉内の過渡温度変化挙動データを取得し、解析コードの検証に活用、黒鉛の照射による熱伝導率の変化も考慮)</li> <li>・炉内黒鉛構造物の酸化等による密度変化(炉心支持黒鉛構造物は照射量が小さい)</li> <li>・サーベイランス試験片の PIE、ISI</li> <li>・傷をつけた微粒、粗粒黒鉛ブロックの照射試験(照射カラム)</li> </ul> </li> </ul>

表 3.1 将来型高温ガス炉開発における開発目標とHTTRで取得することが望まれるデータ(6/7)

開発目標	HTTRで取得することが望まれる開発に必要なデータ・試験
が必要である。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・HTTRによる C/C 複合材料などの大型構造物の照射試験、照射後試験</li> <li>・黒鉛、C/C 複合材料に対する照射データ (<math>4.0 \times 10^{26}/\text{m}^2</math> 程度までの高速中性子 (<math>E &gt; 0.18\text{MeV}</math>) 照射相当)</li> <li>・燃料体ブロックの表面欠陥寸法(渦流探傷法で検出可能な表面欠陥(検査基準に規定する条件にて)の存在の確認。PIE としての装置が必要)</li> </ul>
⑦熱交換器健全性 高温機器の構造設計方針の最適化を行い経済性の向上を図る。それに対応した設計手法及び解析コードの高度化を行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・並列運転時の連続高温試験運転時の IHX 伝熱管、二重管、PPC 表面等の温度測定(即、対応可能)</li> <li>・並列運転で、IHX と PPWC への流量配分を変化させる等の試験の実施。特に、2次系の流量を変化させる等の負荷変動を模擬した試験の実施</li> <li>・高温連続運転実施後に、サーベイランス試験片を取り出して試験を行う。特に、PPWC の中のハステロイXRの試験片。</li> <li>・高温機器の熱変位特性試験。</li> <li>・IHX の運転中のひずみ計測及びクリープ損傷又は疲労損傷量の計測。機器長寿命化のデータとして重要</li> <li>・IHX2ヘリウム出口温度 <math>900^\circ\text{C}</math> 以上の運転における、1次冷却材の流量及び出入口温度、2次冷却材の流量及び出入口温度、並びに IHX 構造材温度</li> <li>・HTTR-IS システムにおける(交換熱量を減らした状態の)IHX の運転での、1次冷却材の流量及び出入口温度、2次冷却材の流量及び出入口温度、並びに IHX 構造材温度</li> <li>・余寿命評価</li> </ul>

表 3.1 将来型高温ガス炉開発における開発目標とHTTRで取得することが望まれるデータ(1/7)

開発目標	HTTRで取得することができるデータ・試験
⑧その他 将来型 HTGR の経済性向上のために高い稼働率が必要である。高い稼働率を維持するには保守管理技術の合理化が必要であり、保守及び補修に関するデータの蓄積が重要である。 将来型 HTGR の再処理技術及び廃炉時に発生する HTGR 特有の黒鉛廃棄物処理量の低減化に関するデータ蓄積が重要である。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1 次ヘリウム循環器フィルタへ蓄積する力ーボン除去試験</li> <li>・1 次冷却設備内の FP 沈着分布</li> <li>・定検の手法と期間</li> <li>・ヘリウムガスのリーク量（経年変化も含めて）及びリーク量の計測方法（保守、補修の観点から重要であり、長期連続運転によりデータを取得する。）</li> <li>・ISI 頻度（特に、HX と黒鉛）保守、補修の観点から重要な ISI 手法と ISI 評価</li> <li>・機器故障率データ PSA 評価として重要</li> <li>・黒鉛ブロック、黒鉛スリーブ、サーベイランス試験片の、C14 及び FP 測定</li> <li>・使用済燃料のウラン量、FP 量の評価（初装荷燃料 PIE）</li> <li>・燃料の組成（炉内及び燃料プロックで 3 次元的に）を燃焼度に対して測定、整理する。</li> <li>・制御棒位置指示値の確認</li> <li>・バイパス流量を出力に対して測定する。</li> <li>・上部及び下部プレナム内温度混合特性</li> </ul>

表3.2 HTTRで取得することが望まれるデータに関する試験の実行可能性の評価(1/6)

テーマ	No.	試験項目	上段: 試験内容／下段: 検討結果		
			A	B	C
①核設計	1-1	温度係数測定	炉心入口温度等を変化させることにより、炉心温度を変化させ、そのときの反応度変化により温度係数を測定する。	O	
	1-2	出力分布測定	出力上昇試験時に実施しており、運転中の特殊試験として計画すれば実行可能。	O	
	1-3	中性子束分布測定	運転停止中の燃料体を取り出し、燃料体から発生するガンマ線を測定することにより出力分布を測定する。	O	
	1-4	制御棒価値測定	出力上昇試験中に実施しており、停止後の試験としては計画すれば実行可能であるが、積算出力の測定となるので出力分布の測定としては改良が必要。	O	
	1-5	臨界制御棒位置計測	照射カラムに中性子束測定装置を装荷し、反射体領域の中性子束分布を測定する。	O	
	1-6	動特性パラメータ測定試験	臨界試験時の実施しており、運転中の特殊試験として実行可能であるが、反射体以外の領域には測定装置の新たな製作が必要。	O	
	1-7	ストリーミング効果測定	低出力運転時で逆動特性法により制御棒価値を測定する。	O	
	1-8	BD燃焼特性測定	施設定期自主検査の一部として実施している。	O	
	1-9	燃料組成測定	現在の設備により、測定可能な運転中の連続測定として実施する。	O	

(A)現在の施設で取得可能なものの又は軽微な変更で取得可能なもの (B)施設の改造が必要又は特別な運転計画等が必要なもの (C)新たな測定技術が必要なもの

表3.2 HTTRで取得することが望まれるデータに関する試験の実行可能性の評価(2/6)

テーマ	No.	試験項目	上段: 試験内容 / 下段: 検討結果			実行可能性 A      B      C
			A	B	C	
1-10	低出力時における制御棒引き抜き試験	低出力運転時に制御棒引き抜き試験を行い、低出力状態からの反応度投入による原子炉の挙動を試験する。		O		
1-11	制御棒引き抜き量40mmを超える制御棒引き抜き試験	安全性実証試験の制御棒引き抜き試験の条件を拡大することにより実行可能なが、設置許可変更、ソフト及びハード対応が必要。				
1-12	循環機3台停止試験	安全性実証試験の制御棒引き抜き試験の条件を拡大することにより実行可能なが、設置許可変更、ソフト及びハード対応が必要。		O		
1-13	環状炉心試験	運転中のヘリウム循環器の3台全て停止した場合の原子炉の挙動を試験する。(安全性実証試験の枠拡大)	O			
(2)燃料温度	2-1	温度モニタによる燃料温度測定試験	安全性実証試験の循環機2台停止試験の条件を拡大することにより実行可能なであり、平成19年の実施予定に準備作業中。			
	2-2	照射試験装置による炉内温度測定	2次炉心を環状炉心に構成し、併せて制御棒本数の削減を行う。臨界近接から試験を実施し、核特性データ等を取得する。	O		
(3)ヒートバランス	3-1	循環機3台停止試験	環状炉心による臨界試験はすでに実施しているが、制御棒本数の変更等の大きな変更については計画の再検討、設置許可変更等の対応が必要。			
			耐熱性の温度モニタを炉心内の燃料部に装荷し、運転後温度モニタを取り出し、ホットラボにて運転中の燃料温度を測定する。			
			照射試験として実行することが考えられるが、温度モニタの開発が必要。	O		
			照射カラムに装荷する照射試験装置に温度モニタを設置し、反射体領域の炉内温度を測定する。	O		
			照射試験装置の製作を含む照射計画の検討が必要。			
			燃料限界照射試験に使用される燃料限界照射試料に温度モニタを設置し、この試料の温度を測定する。			
			燃料限界照射試験は設置許可申請に記載されている試験であるが、設工認対応を含めた計画の検討が必要。	O		
			現在、反射体領域等に設置されている熱電対等の温度計装点を追加し、さらに詳細な炉内温度分布を測定する。			
			炉内の熱電対の追加の改造は困難であり、他の測定方法などの検討が必要。	O		
			運転中のヘリウム循環器の3台全て停止した場合の原子炉の挙動を試験する。(安全性実証試験の枠拡大)			
			安全性実証試験の制御棒引き抜き試験の条件を拡大することにより実行可能なであり、平成19年の実施予定に準備作業中。	O		

(A)現在の施設で取得可能なもの又は簡微な変更で取得可能なもの (B)施設の改修が必要又は特別な運転計画等が必要なもの (C)新たな測定技術が必要なもの

表3.2 HTTRで取得することが望まれるデータに関する試験の実行可能性の評価(3/6)

テーマ	No.	試験項目	上段: 試験内容／下段: 検討結果		
			A	B	C
3-3	各熱交換器の放熱量詳細測定		各熱交換器及び配管からの放熱量を詳細に調査する。(場合によつては現在よりも計測点数を増やす。)	O	
3-4	原子炉圧力容器及び炉容器冷却設備表面の輻射率測定		現在各熱交換器に設置している計測機器により放熱量の測定は可能であるが、より詳細な放熱量評価には測定方法の改良等の検討が必要。		
3-5	VCS停止試験での純化系等停止試験(オールブラックアウト試験)		原子炉圧力容器表面及び炉容器冷却設備表面から輻射率を測定する。運転中の連続測定又は特殊試験として実行可能であるが、試験方法の検討が必要。	O	
④燃料健全性	4-1	FP放出率及び燃料破損率測定	循環機3台停止試験に従くVCS停止試験時の純化系を含めた全ての設備を停止するオールブラックアウト試験を実施する。	O	
	4-2	HTTR初装荷燃料の照射後試験	安全性実証試験のVCS停止試験の条件を拡大することにより実行可能であるが、設置許可変更、ソフト及びハード対応が必要。		
	4-3	HTTR B型燃料の照射試験	1次冷却材放射能計装、FFD、1次ヘリウムサンプリング等により、燃料の破損率及びFPの放出率を測定する。	O	
	4-4	炉内ヨウ素吸着量測定	現在の設備により、測定可能。運転中の連続測定として実施する。		
	4-5	銀、セシウム等のFPブレートアウト量測定	示hetラボにおいてHTTR初装荷燃料の一部を用いて照射後試験を行い、照射拳動、破損率、燃焼度等に関するデータを測定する。	O	
	4-6	原子炉出力の急減によるFP移行・沈着挙動測定	燃料体の照射後試験については、ホットラボと協力した具体的な計画の作成が必要。		

(A)現在の施設で取得可能なもの又は僅微な変更で取得可能なもの (B)施設の改造が必要又は特別な運転計画等が必要なもの (C)新たな測定技術が必要なもの

表3.2 HTTRで取得することが望まれるデータに関する試験の実行可能性の評価(4/6)

テーマ	No.	試験項目	上段: 試験内容／下段: 検討結果			実行可能性
			A	B	C	
⑤ヘリウム純度管理	5-1	1次系及び2次系冷却材不純物濃度測定	冷却系統及び純化系統設備の温度等の運転状態及び冷却材中不純物濃度等を測定し、ハステロイXRの健全性評価、純化設備の除去能力等を評価する。 現在の設備により、測定可能。運転中の連続測定として実施する。	○		
	5-2	1次系及び2次系純化設備運転状態の測定	冷却系統及び純化系統設備の温度等の運転状態及び冷却材中不純物濃度等を測定し、ハステロイXRの健全性評価、純化設備の除去能力等を評価する。 現在の設備により、測定可能。運転中の連続測定として実施する。	○		
	5-3	酸化銅反応管の温度制御試験	アクティブ制御法開発のためのデータを取得する。	○		
	5-4	MST、CCTのバイパス試験	アクティブ制御法開発のためのデータを取得する。	○		
	5-5	不純物注入試験	アクティブ制御法開発のためのデータを取得する。	○		
	5-6	1次系及び2次系水素・トリチウム濃度分布測定	運転時の1次及び2次系内の水素及びトリチウムの濃度分布及びその時間変化を測定する。 現行のサンプリングラインの使用等により実行可能であるが、2次ヘリウム中のトリチウム測定のための設備改造、トリチウムの性状等を踏まえた具体的な計画の検討が必要。	○		
	5-7	水素同位体回収設備試験	水素同位体を選択的に回収できる設備を系統に設置し、冷却材からの水素同位体の回収試験を実施する。 回収設備の製作を含む計画の検討が必要。特に設備の追加が必要であれば、設置許可変更等の対応も必要となる。	○		
	6-1	運転中における炉内黒鉛構造物の照射環境状態の測定	照射設備等により、炉内黒鉛構造物の照射環境状態(温度分布、照射量、中性子スペクトル等)を測定する。	○		
	6-2	黒鉛サーベランス試験	炉内に設置されている黒鉛サーベランス試験片を取り出し、黒鉛の寸法変化、強度・熱特性の変化等を測定する。 供用期間中検査計画の一部として実行する。	○		

(A)現在の施設で取得可能な又は軽微な変更で取得可能なものの  
 (B)施設の改造が必要又は特別な運転計画等が必要なもの  
 (C)新たな測定技術が必要なもの

表3.2 HTTRで取得することが望まれるデータに関する試験の実行可能性の評価(5/6)

テーマ	No.	試験項目	上段: 試験内容／下段: 検討結果		
			A	B	C
6-3	外部投入試験	出口温度制御系の外乱投入試験を実施し、黒鉛の照射による熱伝導率の変化を考慮した炉内過渡温度変化について試験する。			○
6-4	C/C複合材料の大型構造物の照射試験	出口温度制御系の外乱投入は出力上昇試験時におけるが、炉内過渡温度変化のデータ取得方法については測定方法の検討が必要。 C/C複合材料できただ大型構造物を炉内で照射し、照射後試験を行う。	○		
6-5	燃料体ブロックの表面欠陥寸法測定試験	照射カラムを利用して実行可能であるが、照射設備、照射後試験装置等の検討を含めた全体的な検討が必要。	○		
6-6	傷を付けた微粒、粗粒黒鉛の照射試験	照射カラム等を用いて表面欠陥寸法を測定する。	○		
6-7	燃料体黒鉛ブロック・黒鉛スリーブの残留ひずみの測定	初期装荷燃料の照射後試験として実行可能であるが、照射後試験装置等の検討が必要。	○		
⑦熱交換器健全性	7-1	並列運転時の熱交換器温度測定	照射カラム等を用いて実行可能であるが、照射後試験装置等の検討が必要。	○	
	7-2	熱交換器負荷変動試験	並列運転時にIHXとPPWCへの流量配分を変化させる等の負荷変動試験の実施する。	○	
	7-3	サーベランス試験	出力上昇試験時における除熱装置評価を行つてあるが、より大きな負荷変動を想定するならばスクラム設定値の変更等の対策が必要。 PPWCなどに設置されているヒステロイドXRなどのサーベランス試験片を取り出し、照射後試験を行う。	○	
	7-4	高温機器の熱変位測定試験	運転中の高温機器の熱変位量を測定する。	○	
		出力上昇試験中に実施しており、連続測定として実施する。	○		

(A)現在の施設で取得可能なものの又は軽微な変更で取得可能なものの(B)施設の改造が必要又は特別な運転計画等が必要なもの(C)新たな測定技術が必要なもの

表3.2 HTTRで取得することが望まれるデータに関する試験の実行可能性の評価(6/6)

テーマ	No.	試験項目	上段・試験内容／下段・検討結果			実行可能性
			A	B	C	
	7-5	IHXのひずみ及びクリープ損傷又は疲労損傷量の計測	IHXの運転中のひずみを計測する。クリープ損傷又は疲労損傷量を計測する。			○
⑧その他	8-1	PPWCフィルタのカーボン除去試験	1次冷却材中に微量の不純物を混入させ、PPWCの金属フィルター上のカーボンを除去する試験を行う。 運転中の特殊試験又は停止後試験として実行可能な測定方法について検討が必要。		○	
	8-2	1次系冷却設備のFP沈着分布測定	1次系配管内に沈着する銀、セシウム等のFPのプレートアウト量を測定する。 停止後試験として実行可能性があるが、測定方法について検討が必要。		○	
	8-3	ヘリウムリーケ量測定	1次系及び2次系の冷却材ヘリウムのリーケ量を測定する。 運転中の連続測定として実行可能。		○	
	8-4	黒鉛のC14測定	黒鉛構造物中のC14量を測定する。 燃料体の照射後試験の一部として実施することが考えられる。燃料体の照射後試験を計画する際に検討が必要。		○	
	8-5	使用済燃料のウラン量及びFP量の評価	ホットラボにおいてHTTR初装荷燃料の一部を用いて照射後試験を行い、ウラン量、FP量等に関するデータを測定する。		○	
	8-6	上部及び下部ブレナム内温度混合特性の評価	炉心内の冷却材が集約される上部及び下部ブレナムでの冷却材の温度の混合特性について評価する。 上部ブレナム入口及び下部ブレナムには熱電対があるため、運転中の連続測定として冷却材温度についての測定が可能。		○	

(A)現在の施設で取得可能な又は軽微な変更で取得可能なもの (B)施設の改造が必要又は特別な運転計画等が必要なもの (C)新たな測定技術が必要なもの

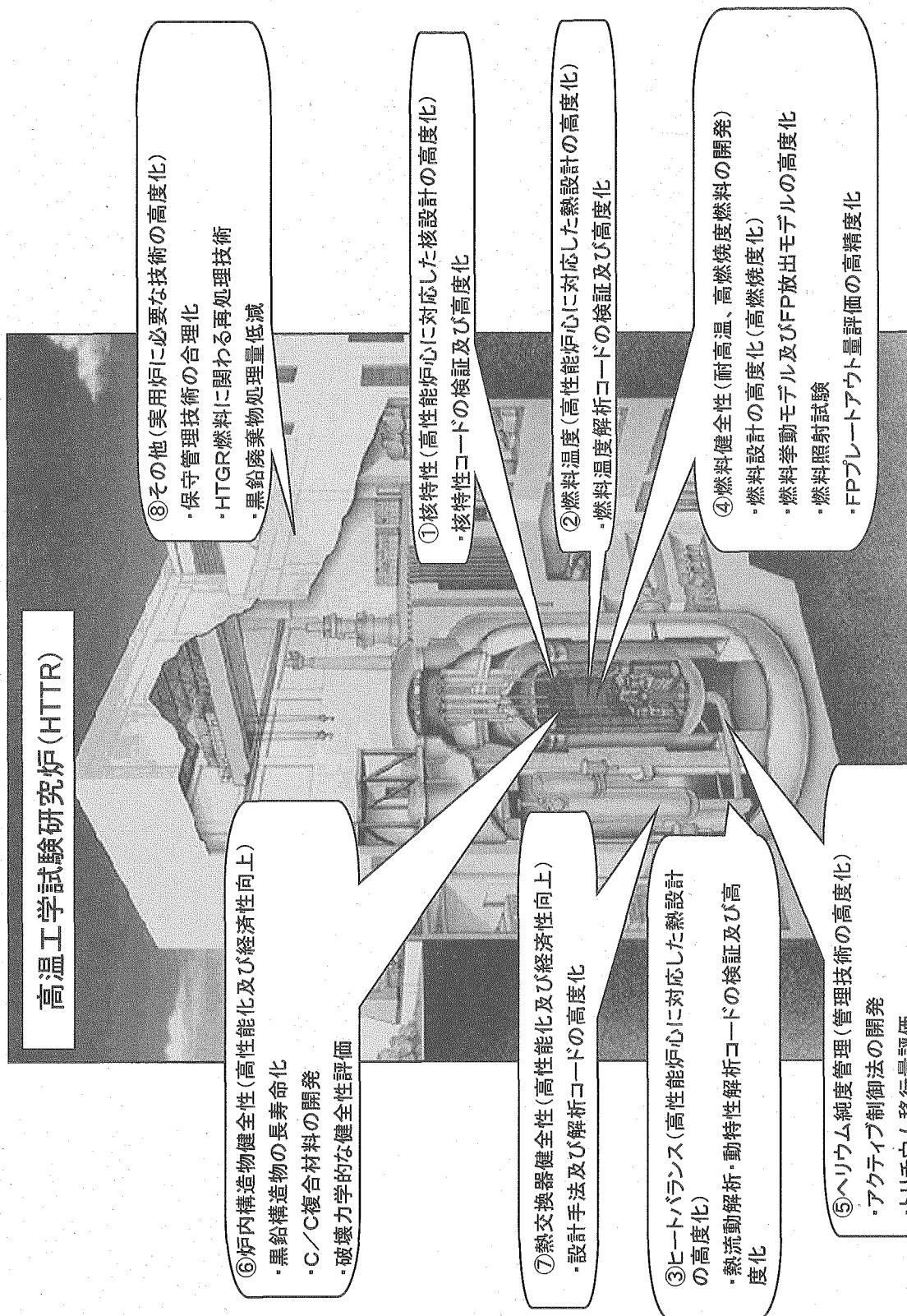


図3.1 将来型高温ガス炉開発における開発目標

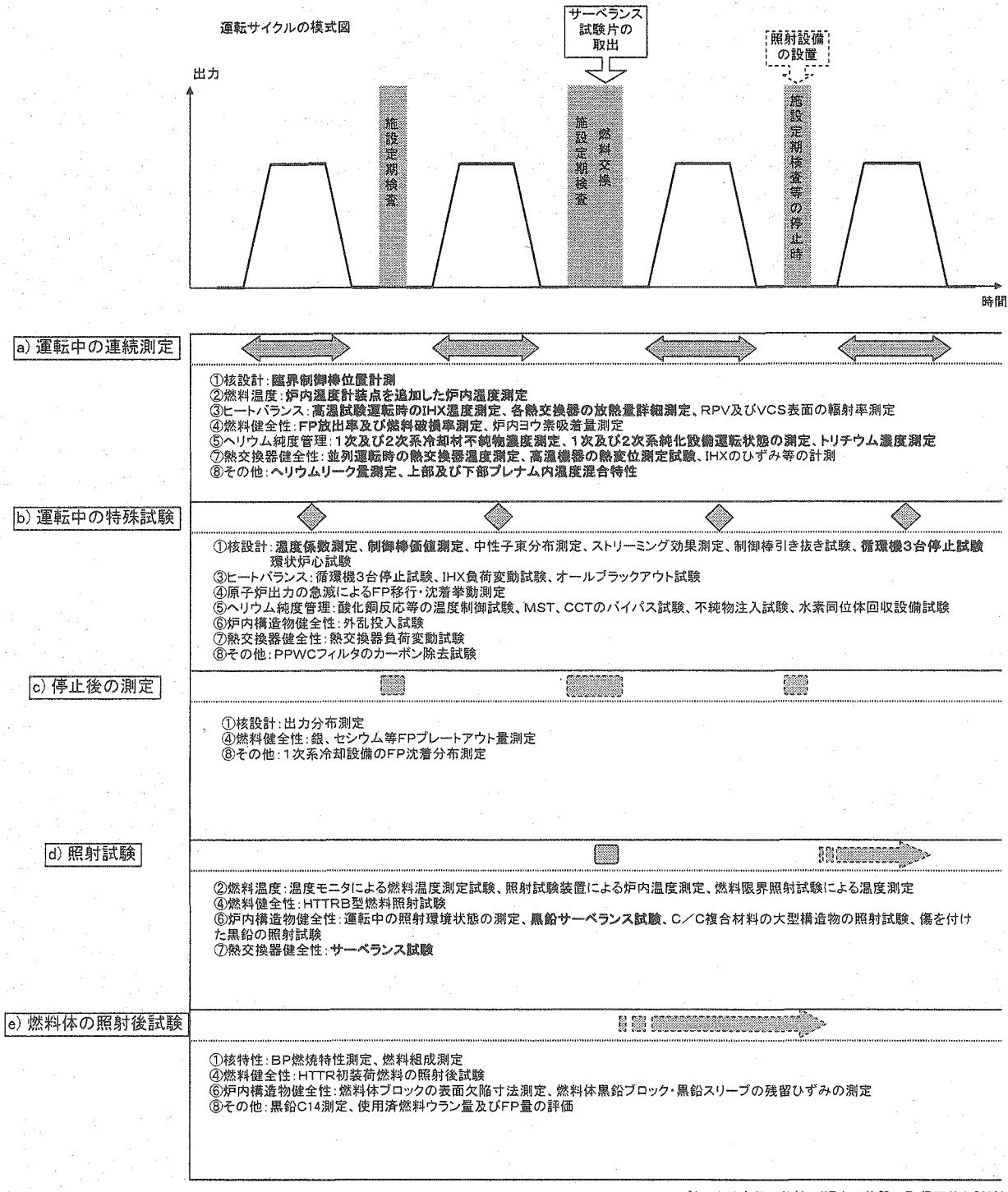


図3.2 将来型高温ガス炉開発に関するHTTR運転データ取得計画の概念図

#### 4. HTTR 運転管理に関するデータ

HTTR は 1998 年 11 月の臨界到達後、出力上昇試験などの HTTR の基本性能の確認を終了し、現在、初装荷燃料による運転は約 240EFPD (Effective Full Power Day) の状態である。HTTR は燃料交換時に全燃料を交換する方式をとっており、初装荷燃料の予定運転日数は 660EFPD である。これまで出力上昇試験などを通じ燃焼初期の基本性能の確認を行ってきたが、HTTR の初装荷燃料の燃焼性能を十分確認するためには予定運転日数までの燃焼が必要である。さらに、HTTR の運転管理方法の確立のためには、運転・検査・燃料交換等の実績を重ね、長期間の炉心・プラント特性を把握することが必要である。加えて、将来的な観点から原子炉解体までを視野に入れた長期間の炉心・プラント管理方法の確立が今後重要となってくる。

そこで、「3. 高温ガス炉実用化開発に関するデータ」で調査した高温ガス炉実用化開発の観点とは別に、HTTR の運転管理に関するデータが必要となってくる。具体的には、出力上昇試験等で確認した基本性能が 660EFPD の運転期間中満足していることを確認し、また同時に、将来型高温ガス炉開発のための各種試験において提供できる HTTR の照射環境等のデータが対象となる。なお、「3. 高温ガス炉実用化開発に関するデータ」において、将来型高温ガス炉開発において重要な分野 8 テーマに分類したが、HTTR の運転管理においても監視が必要な項目で重複する点が多くあった。よって、HTTR の運転管理に関するデータにおいても高温ガス炉実用化開発に関するデータで用いた分類に基づき整理することとした。

##### 4.1 過去の試験の評価

運転管理に関するデータベースに取り入れるデータの選定のために、過去行われた出力上昇試験で実施された各種試験を評価した。表 4.1 に出力上昇試験で実施された各種試験を 8 テーマの分類により整理し、評価した表を示す。評価は今後の HTTR 運転管理において長期に継続して監視する必要があるデータを選択する観点から行った。

##### 4.2 今後も継続して監視する項目

出力上昇試験の中で今後も継続して監視すべき項目として、今後の燃焼によりさらに変化が予想されるデータ及び監視の重要度が高いデータを選定した。表 4.2 に選択した今後も継続して監視する項目、目的について示す。

表4.1 出力上昇試験で実施された各種試験の評価(1/3)

テーマ	試験項目	試験内容	評価
①核設計	出力係数測定試験	各出力における反応度の出力係数の値を測定し、出力係数が負であることを確認する。	試験の結果、出力係数は負の値であることを確認した。出力係数は燃焼による変化が生じるため、今後も負の値であることを確認する必要がある。
	燃焼特性測定試験	燃焼に伴う制御棒位置の変化を測定し、燃焼日数・積算出力と反応度変化の関係を求める。	現在まで燃焼日数240日程度の過剰反応度一燃焼日数の関係が得られた。今後も継続してデータを取得し、燃料交換までの測定を続ける必要がある。
	温度係数測定試験	炉心温度を均一に保ちながら温度上昇させた場合の反応度効果を実験的に求め、反応度の温度係数が負であることを確認する。また、制御棒位置を一定に保ち、炉心温度を上昇させた場合の出力が低下することを観測し、負の温度係数による固有の安全性を実証するためのデータを取得する。	試験の結果、温度係数が負であることが確認された。温度係数は燃焼による変化が生じるため、今後も値を確認する必要がある。
	制御棒反応度価値測定検査	各制御棒の反応度価値を常設の広領域系で測定し、最大反応度添加率、反応度停止余裕及び過剰反応度を求める。	試験の結果、過剰反応度、反応度停止余裕及び最大反応度添査は基準値を満足するこことを確認した。本検査は施設定期検査のひとつであるため、今後も定期的に継続して行う。
	スクラム時の未臨界性確認試験	原子炉スクラム時には、まず、可動反射体領域へ制御棒を挿入することによって原子炉を未臨界にし、ついで、原子炉出口冷却材温度が所定の温度以下になるとこと、又は所定の時間が経過することによって燃料領域に制御棒を挿入する。1段階目の挿入から2段階目の挿入までの未臨界度を連続的に測定し未臨界性を確認し、測定方法の妥当性を評価する。	試験の結果、2段階スクラムにより未臨界を確実に除去され、補助冷却設備の起動確認し、残留熱が継続的に除去され、原子炉の安全停止と炉心の冷却が確保できることを確認した。
	異常時過渡応答検査	各出力におけるXeの崩壊・蓄積による反応度変化を測定する。	試験の結果、出力の変動に伴うXeの崩壊・蓄積による反応度変化を測定することができた。
	Xe崩壊蓄積測定試験		

表4.1 出力上昇試験で実施された各種試験の評価(2/3)

テーマ	試験項目	試験内容	評価
(2)燃料温度	冷却材飽和値確認検査	1次冷却材温度及び圧力の最大値が判定基準値以下であることを確認する。 300MW時の1次冷却材温度及び圧力が判定基準値以下であることを確認した。本検査は設定期検査のひとつであるため、今後も定期的に継続して行う。	
	炉内の熱流動特性試験	燃料温度及び炉内の冷却材流量配分について評価を行い、炉心熱流力設計の妥当性について確認する。	冷却材温度の測定結果から、炉心熱流力設計の妥当性について確認することができた。今後も継続的にデータを取得し、燃焼末期までの炉心熱流力設計の妥当性を確認する必要がある。
(3)ヒートバランス	熱出力校正試験	中性子検出器の応答確認試験で校正された中性子計装を、熱交換器の状態値等から求められる熱出力により再校正する。	試験により、原子炉熱出力と中性子計装の指示値が0.5%以内で一致することを確認した。燃焼等による変化が生じたため、今後も継続的に直を確認する必要がある。
	炉容器冷却設備の性能試験	炉容器冷却設備が、100%出力時に0.3MW以上の除熱量を確保できることと及び1次上部遮へい体温度を65°C以下に抑えることができる性能を有することを確認する。	試験の結果、0.3MW以上の除熱量を確保できることを確認し、1次上部遮へい体温度は制限温度65°Cを下回ることを確認した。今後も継続的にデータを取得し、長期的な性能変化を確認する必要がある。
(4)燃料健全性	燃料及びFPの評価に関する試験	核分裂生成物の放出量が運転上問題ないレベルであることを確認するとともに、燃料の挙動及び燃料からの核分裂生成物放出挙動を評価する。	核分裂生成物の放出量は運転上問題ないレベルであり、出力と放出率の関係については解析値とよい一致を示した。今後も継続してデータを取得し、燃料交換までの測定を続ける必要がある。
	不純物濃度測定試験	1次及び2次冷却材中の不純物濃度を測定し、サンプリング設備により所定のサンプリングが行えることを確認するとともに、不純物が管理値を超えないことを確認する。	試験を通して、不純物濃度は管理目標値を満足していることを確認した。今後も監視を継続し、管理目標値を満足することを確認すると共に不純物制御に関するデータの蓄積を行う。
(5)ヘリウム純度管理	原子炉圧力容器及び中間熱交換器の構造健全性、並びに格納容器再循環冷却装置の性能を確認する。	原子炉圧力容器及び中間熱交換器の構造健全性を確認するために、各部の温度計測を行い、原子炉圧力容器の温度は30MWにおいても最高使用温度以下であることを確認した。今後も継続的にデータを取得し、長期的な性能変化を確認する必要がある。	
(6)炉内構造物健全性	熱的パラメータの監視		

表4.1 出力上昇試験で実施された各種試験の評価(3/3)

テーマ	試験項目	試験内容	評価
(7)熱交換器健全性	主冷却系熱交換器の性能試験	各原子炉出力状態での1次加圧水冷却器、空気冷却器の伝熱性能について評価した結果、設計時の想定範囲内にあることを確認した。今後も継続的にデータを取得し、長期的な性能変化を確認する必要がある。	1次加圧水冷却器と空気冷却器の伝熱性能について評価した結果、設計時の想定範囲内にあることを確認した。今後も継続的にデータを取得し、長期的な性能変化を確認する必要がある。
	高温配管の熱変形測定試験	HTTRの1次及び2次ヘリウム系機器は、コンシントハンガ、リジットハンガ、オイルスナップ等による浮動支持方式を用いており、この浮動支持方式による配管の熱収縮特性を調べるため、1次及び2次ヘリウム系配管の熱変形挙動を確認する。	試験の結果、熱収縮量は原子炉出力に線形で変化しており、配管に異常な拘束は見られず、3次元浮動支持方式は有効に機能していることを確認した。今後も長期的なデータを取得する必要がある。
	遮へい性能検査	遮へい性能を確認するために線量当量率を測定する。	原子炉建室内の常時人が立ち入り部屋等の線量率はパックグランド相当であり、スタンドパイプ室の線量率も設計値以下との値であることを確認した。
(8)その他	放射性物質濃度等測定検査	運転中に原子炉建室内の人の常時立ち入る場所等の空気中放射性物質濃度及び線量当量率が判定基準以下であることを確認する。	原子炉建室内の運転中及び停止後ににおける常時人が立ちに入る部屋等の線量率、空気中の放射性物質濃度、管理区域及び周辺監視区域における線量当量率は基準値以下であることを確認した。
	コンクリート温度確認検査	1次上部遮へい体温度を確認する。	原子炉出力30MW時の1次上部遮へい体温度は約82°Cであり、設計値を満足することを確認した。今後も長期的なデータを取得する必要がある。
	連続安定運転試験	安全かつ安定な連続運転ができるることを確認する。	試験の結果、安定な連続運転ができることが確認した。また、今後さらなる長期運転を行い、原子炉の安全かつ安定運転が可能であることを確認する必要がある。
	制御特性試験	加圧水温度制御系が、定格出力の30%以上の出力状態で想定される外乱に対し安定に応答することを確認する。また、制御定数を最終化する。	原子炉出力制御系の試験の結果、外乱に対して自動制御により安定に応答することを確認した。また、原子炉出口温度制御系の試験の結果、一度発散傾向を示したが制御定数を最適化することにより安定に応答することを確認した。
	中性子検出器の応答確認試験	広領域中性子計装のパルス系とチャンベル系、チャンベル系と出力領域中性子計装が重なり合い、原子炉出力の監視が連続的でできることを確認する。	試験の結果、原子炉出力の監視が継続的にされることを確認した。

表 4.2 今後も継続して監視する項目(1/2)

テーマ	出力上昇試験における試験名	監視項目	目的
核特性	出力係数測定試験	出力係数	各出力における反応度の出力係数の値を測定し、出力係数が負であることを確認する。
	燃焼特性測定試験	過剰反応度の燃焼特性	燃焼に伴う制御棒位置の変化を測定し、燃焼日数(積算出力)と反応度変化の関係を求める。
	温度係数測定試験	温度係数	等温温度係数を実験により求め、反応度の温度係数が負であることを確認する。
	制御棒反応度価値測定検査	制御棒反応度価値曲線	制御棒全ストロークの制御棒価値曲線を測定により求める。また、得られた制御棒価値曲線を基に最大反応度添加率、炉停止余裕及び過剰反応度を求める。
燃料温度	冷却材飽和価値確認検査	1次冷却材温度、1次冷却材圧力	30MW次の1次冷却材温度及び圧力が判定基準以下であることを確認する。
	炉内の熱流動特性試験	炉内の冷却材温度	炉内冷却材温度の測定から、炉心熱流設計の妥当性を確認する。
ヒートバランス	熱出力校正試験	熱出力	熱交換器の状態値等から熱出力を求める。中性子計装の出力指示値は測定された熱出力により校正される。
	炉容器冷却設備の性能試験	炉容器冷却設備の除熱量	炉容器冷却設備が100%出力時に0.3MW以上の除熱量を有し、1次上部遮へい体温度を65°C以下に抑える性能を有することを確認する。

表 4.2 今後も継続して監視する項目(2/2)

テーク	出力上昇試験における試験名	監視項目	目的
燃料健全性	燃料及びFPの評価に関する試験	1次冷却材中のFP放出量	FPの放出量が運転上問題ないレベルであることを確認するとともに、燃料の挙動及び燃料からのFP放出挙動を評価する。
ヘリウム純度管理	不純物濃度測定試験	1次及び2次冷却材中不純物濃度	1次及び2次冷却材中の不純物濃度を測定し、不純物が管理値を超えないことを確認する。また、不純物制御に関するデータの蓄積を行う。
炉内構造物健全性	熱的パラメータの監視	原子炉圧力容器等の各部温度	高温での構造健全性を確認するために、100%出力時の各部温度が最高使用温度以下であることを確認する。
熱交換器健全性	主冷却系熱交換器の性能試験 高温配管の熱変形測定試験	主冷却系熱交換器の除熱性能 高温配管の熱変位特性	各原子炉出力状態での1次加圧水冷却器、空気冷却器の伝熱性能を確認する。 1次及び2次ヘリウム系機器の浮動支持方式による配管の熱変位特性を評価する。
その他	コンクリート温度確認検査	1次上部遮へい体コンクリート温度	100%出力時の1次上部遮へい体温度が設計値以下であることを確認する。

## 5. HTTR 運転データベースの構造

HTTR 運転データベースの作成方針は「2. HTTR 運転データベースの目的」のなかで述べられている 3 つの要求を満たすべく作成する。具体的な方針を以下に示す。

(1) 運転データベースは目的毎に作成されたデータベースの集合とする。

長期的かつ系統的な運転データの管理のために目的を明確にし、運転データベースは目的に応じたデータベースの集合とする。新たに別の目的で運転データの蓄積・評価が必要となる場合は新たなデータベースを追加することで対応する。

各データベースの目的の設定の際には、「3. 高温ガス炉実用化開発に関するデータ」及び「4. HTTR 運転管理に関するデータ」の検討結果を基にそれぞれのテーマについて目的を定めることとする。各目的別のデータベースについて必要な評価データを選定する。

(2) データ収集・記録用の 1 次データベースを設ける。

運転データの蓄積・利用を簡便にし、かつ、データの散逸を防止するために各データベースの下位に記録専用の 1 次データベースを設ける。1 次データベースは安全性を考え、独立性を保つ構造とする。

(3) 各データベースのデータは整理・評価されたものとする。

各データベースではデータ取得・記録用の 1 次データベースのデータを用いて、特定の目的に応じた方法で整理・評価する。この評価の際は、共通の炉心又はプラントモデルを活用すること等により各データベース間の相互利用が可能な形になるように努める。また、燃料最高温度等の HTTR の運転上重要なデータは共通データとしてデータベース内で統一する。

また、評価に必要であるが測定値として得ることができないデータについては解析値を評価データとしてデータベースに加えることとする。

### 5.1 全体構造

図 5.1 に HTTR 運転データベースの全体構成を示す。共通データベースをトップにして目的別の各データベース（評価データベース）が階層構造的に構成される。共通データベースは各データベースの情報を管理するために設ける。各データベースはデータ取得・記録用 1 次データベースを独立して持ち、各データベースの目的に応じた方法で 1 次データを整理・評価をする。1 次データは HTTR のプラント計算機、高速データ収集・解析システム（TETRIS）、仮設計測器等から取得する。なお、現在のところ 1 次データは既存のデータ収集システムからのみであるが、今後、照射試験等の既存のデ

ータ収集システム以外のデータも追加していく。

## 5.2 各データベースの設定

各データベースの目的の設定の際には、「3. 高温ガス炉実用化開発に関するデータ」及び「4. HTTR 運転管理に関するデータ」の検討結果を基に作成した。高温ガス炉実用化開発に関しては実現可能性の高い（A）評価の項目を採用し、運転管理に関しては今後も継続して監視する項目を採用することとしてデータベースを設定した。現在の各データベースの目的及び評価データを表 5.1 に示す。各データベースの概要を以下に示す。

### (1) HTTR 核特性データベース

HTTR の核特性値に関するデータを整理・評価する。将来型高温ガス炉開発のために必要な核特性解析コードの検証及び高度化に必要なデータを取得・整理する。また、HTTR で行う各種試験に必要な炉内環境データ、燃料温度計算などに必要な出力分布データを提供する。

### (2) HTTR 燃料温度データベース

HTTR の燃料温度に関するデータを整理・評価する。将来型高温ガス炉開発のために必要な燃料温度計算コードの検証及び高度化に必要なデータを取得・整理する。現在のところ HTTR の燃料温度を直接測定することはできないが、現在取得可能な燃料温度コードの検証に役立つデータを蓄積するとともに、燃料温度の直接測定の可能性について今後検討を進める。また、現時点において最も信頼性の高い燃料温度データを作成し、核特性計算又は燃料健全性評価に必要なデータを提供することとする。

### (3) HTTR ヒートバランスデータベース

中間熱交換器、1 次加圧水冷却器、炉容器冷却設備等の機器での授受熱量及び放熱量を整理・評価し、将来型高温ガス炉開発における熱流動解析コード、動特性解析コードの高度化に必要なデータを提供する。HTTR の各機器での授受熱量及び放熱量から各機器の健全性及び性能を評価することにより保守管理計画の作成等に係る HTTR のプラント管理を支援する。

### (4) HTTR 燃料健全性データベース

HTTR の燃料健全性に関するデータを整理・評価する。将来型高温ガス炉開発のための燃料の高性能化（耐高温化）、高燃焼度化に必要な初装荷燃料データ、照射燃焼データ、プレートアウト量データ等を取得・整理する。HTTR 運転管理においては、燃料健全性を示す 1 次冷却材中放射能濃度等が制限値を満足していることの確認する。

**(5) ヘリウム純度管理データベース**

1次及び2次冷却材のヘリウムの不純物量及び純化系の各トラップの除去能力等を整理・評価する。黒鉛構造物の酸化やハステロイ X R の腐食評価に必要なデータを提供し、今後、高温機器の長寿命化につながる冷却材中の不純物濃度組成の制御方法（アクティビティ制御法）の確立等に向けた研究開発に資するデータを提供する。また、プラント内の水素・トリチウム移行量に関するデータを整理・評価し、高温ガス炉水素製造システムの開発に必要なデータと提供する。

**(6) 炉内構造物健全性データベース**

炉心黒鉛構造物及び炉内鋼構造物の健全性に係るデータを整理・評価する。将来型高温ガス炉開発のための黒鉛構造物の長寿命化、C/Cコンポジット材料開発に必要なデータ等を取得・整理する。黒鉛構造物及び鋼構造物の温度、照射量等の炉内の照射環境データ、サーベイランス試験片での試験結果、燃料ブロックの照射後試験等のデータを提供する。

**(7) 熱交換器性能データベース**

中間熱交換器、1次加圧水冷却器の健全性及び除熱性能等を整理・評価する。将来型高温ガス炉開発に関しては高温機器の構造設計の最適化に資するデータ等を取得・整理する。

**5.3 1次データ源**

1次データとして取得されるデータは HTTR のプラント計算機、高速データ収集・解析システム (TETRIS)、仮設計測器等に記録されている HTTR の運転における数値データを基とする。これらデータソースの詳細について以下に示す。

**(1) プラント計算機**

プラント計算機は、HTTR の計測制御系統施設の中核となるシステムである。監視対象設備からのデータを集中監視分散方式により処理し、中央制御室でのプラント状態の集中監視、運転進行管理、異常時の運転支援を行う。プラント計算機は複数の中央処理装置、主記憶装置、補助記録装置、入出力装置及び周辺機器から構成されており、プラント監視機能、プラント制御機能、マンマシンコミュニケーション機能、記録作成機能、運転支援機能、プラント性能監視機能、システムメンテナンス機能を有する。

各設備からプラント計算機に入力されるデータはプラント計算機に接続されている運転データ保存管理システムに定周期で記録されており、運転データ保存管理システムに接続するデータ管理端末を通して、ネットワークを利用したデータ取得が可能となつ

ている。

### (2) 高速データ収集・解析システム (TETRIS)

高速データ収集・解析システム (TETRIS) は計測制御系統施設であるプラント計算機とは別の独立した HTTR 運転データ収集システムである。HTTR 運転データの時系列のリアルタイム表示及びヒストリー保存・表示のみ行うデータ収集専用のシステムである。TETRIS は、ホスト計算機であるサーバとデータ収集装置から構成されており、HTTR の各施設の端子盤や仮設測定器からの信号をデータ収集装置に収集し、データサーバからネットワークを通して各端末にデータを供給しリアルタイム表示を行う。また、サーバに保存されたデータの表示が可能である。

### (3) 仮設計測器

仮設計測器とは常設の検出器以外に出力上昇試験等のために設置された測定器、処理装置等のことである。出力上昇試験等のための仮設計測器から運転管理用機器（仮称）へ管理変更を行い、目的に応じたデータ記録装置として継続測定を行う。具体的な測定対象は、炉容器下部室温度（台座部コンクリート温度）、原子炉圧力容器室内温度（VCS 除熱量）、二重管表面温度、1 次系二重管ひずみ、加圧水空気冷却器空気温度、加圧水空気冷却器加圧水流量、1 次加圧水冷却器表面温度、1 次系高温配管の熱変位等である。これらの測定データは TETRIS で管理されているものや個別の専用 P.C. でデータ管理をするものなど、そのデータの記録・管理方法は測定対象によりさまざまである。

プラント計算機、高速データ収集・解析システム (TETRIS)、仮設計測器の比較を表 5.2 に示す。

## 5.4 1 次データベースと評価データベースの関係

図 5.2 に各データベース内の 1 次データベースと評価データベースの関係について示す。評価データベースのデータである評価データは記録保存用の 1 次データベースのデータを基に評価・処理を行ったものである。1 次データベースは数値データが基本であり、その形式、書式等は評価データベースの要求に従うものとする。評価データについては、共通データベースで定める燃焼日数、共通炉心・プラントモデルを参照する等ができるだけ共通化し、データベース間の相互利用が可能な形式にするように努める。

## 5.5 評価データベースの共通化

評価データベースのデータは相互利用が可能なように、以下に示す共通データベースを活用した共通化を図る。図 5.3 に共通データベースと各データベース間の関係を示す。

### (1) 共通データベースと各データベース間の関係

共通データベースに各データベースの細目（データベース名、データベースの目的、

データベースの項目（独自・共通データ）を登録し、データベース全体の記録状況を管理する。

また、共通データベースに各データベースと共に使える共通燃焼日数、共通炉心モデル、共通プラントモデルを設定する。共通燃焼日数は過剰反応度、燃料最高温度、F P ガス放出率等の燃焼日数が変数となる評価データに共通のパラメータとして用いることができる。共通炉心モデルでは、出力分布、中性子束分布、燃焼度分布、燃料温度分布、炉心温度分布等の炉心に関する位置情報を共有して用いることができる。共通プラントモデルでは、中間熱交換器、一次加圧水冷却器等の一次系冷却器の温度分布、高温配管の熱変位等のプラントに関する位置情報を共有して用いることができる。

## (2) 共通データ

評価データベースのデータには他の評価データに利用されるデータと基本的に利用されないデータを有する。例としては、核特性データベースの出力分布データは燃料温度データベース等に利用されるデータであり、過剰反応度データは基本的に他のデータベースに利用されることがない。他のデータベースに利用されるデータは共通データとして登録する。

## 5.6 各データベースの構造

### (1) 評価データベースの構造

図 5.4 に評価データベースの構造を示す。評価データベースは 1 次データ及び評価データ間の関係を評価データベース構造図として作成し、データ間の関係を明確にする。各評価データの算出方法は予め定めておき、データ管理の継続性の観点から算出手順を明確に文書化する。

### (2) 1 次データベースの構造

基本的に 1 次データベースはその上位の評価データベースの要求に従う形式、書式で構成される数値データである。基本的にデータ書式は自由であるが、データ取得の継続性の観点から、1 次データベースについては測定すべきデータのデータ属性（データ名、測定点、測定方法、単位、その他）及び測定したデータの記録（取得時期、取得サイクル等）を明確にすることが要求される。図 5.5 に 1 次データベースの構造例を示す。

表 5.1 データベース項目及び目的 (1/3)

データベース名	評価データ	「高温ガス炉実用化開発」及び「HTTR 運転管理」の検討結果	目的
共通データベース	各データベース項目 ・共通燃焼日数	【高温ガス炉実用化開発】 温度係数測定 (1-1)、制御棒価値測定 (1-4)、臨界制御棒位置計測 (1-5)、循環機 3 台停止試験 (1-11) ・動特性パラメータ ・温度係数 ・出力係数 ・過剰反応度 ・制御棒価値曲線 ・中性子束分布 ・燃焼度分布 ・炉停止余裕 ・最大反応度添加率 ・外乱投入時の原子炉挙動	HTTR 運転データベースの全体管理 HTTR の核特性値に関するデータを整理・評価する。将来型高温ガス炉開発のために必要な核特性解析コードの検証及び高度化に必要なデータを取得・整理する。また、HTTR で行う各種試験に必要な炉内環境データ、燃料温度計算などに必要な核特性データを提供する。
HTTR核特性データベース		【HTTR 運転管理】 出力係数測定、燃焼特性測定、温度係数測定、制御棒反応度価値測定 ・最大反応度添加率	HTTR の運転管理においては、燃焼による過剰反応度の変化等の炉心基本性能を評価することにより、運転計画、燃料交換計画の作成等に係る HTTR の炉心管理を支援する。
HTTR燃料温度データベース		【高温ガス炉実用化開発】 照射試験装置による炉内温度測定 (2-2)、炉内温度計装点を追加した炉内温度測定 (2-4) ・冷却材飽和確認、炉内の熱流動特性 ・燃料最高温度 ・燃料温度分布 ・炉心温度分布 ・原子炉出口温度 ・炉心冷却材温度分布	HTTR の燃料温度に関するデータを整理・評価する。将来型高温ガス炉開発のために必要な燃料温度計算コードの検証及び高度化に必要なデータを取得・整理する。現在のところ HTTR の燃料温度を直接測定することはできないが、現在取得可能な燃料温度コードの検証に役立つデータを蓄積するとともに、燃料温度の直接測定の可能性について今後検討を進める。また、現時点において最も信頼性の高い燃料温度データを作成し、核特性計算又は燃料健全性評価に必要なデータを提供する。

表 5.1 データベース項目及び目的 (2/3)

HTTRヒートバランステーベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉熱出力</li> <li>・除熱量</li> <li>・熱交換器等からの放熱量</li> <li>・除熱性能</li> <li>・熱交換器断熱材の断熱性能</li> <li>・経年特性</li> </ul>	<p><b>【高温ガス炉実用化開発】</b></p> <p>循環機 3 台停止試験 (3-1)、各熱交換器の放熱量詳細測定 (3-4)</p> <p><b>【HTTR 運転管理】</b></p> <p>熱出力校正試験、炉容器冷却設備の性能試験</p>	<p>中間熱交換器、1 次加圧水冷却器、炉容器冷却設備等の機器での授受熱量を整理・評価し、将来高温ガス炉開発における熱流動解析コード、動特性解析コードの高度化に必要なデータを提供する。</p> <p>HTTR の運転管理においては保守管理計画の作成等に係る HTTR のプラント管理を支援する。</p>
HTTR燃料健全性データベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1次冷却材中放射能濃度</li> <li>・領域毎FFD計数率</li> <li>・FPガス放出率(R/B)</li> </ul>	<p><b>【高温ガス炉実用化開発】</b></p> <p>FP放出率及び燃料破損率測定(4-1)</p> <p><b>【HTTR 運転管理】</b></p> <p>燃料及びFPの評価に関する試験、</p>	<p>HTTR の燃料健全性に関するデータを整理・評価する。将来型高温ガス炉開発ための燃料の高性能化(耐高温化)、高燃焼度化に必要な初装荷燃料データ、照射燃焼データ、プレートアウト量データ等を取得・整理する。HTTR 運転管理においては、燃料健全性を示す1次冷却材中放射能濃度、FPガス放出率(R/B)等が制限値を満足していることを確認する。</p>
ヘリウム純度管理データベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1次及び2次冷却材不純物濃度</li> <li>・各トラップの不純物除去量</li> <li>・1次側クロムスタビリティ</li> <li>・2次側クロムスタビリティ</li> <li>・水素・トリチウム濃度</li> <li>・トリチウム透過傾向</li> </ul>	<p><b>【高温ガス炉実用化開発】</b></p> <p>1次系及び2次系冷却材不純物濃度測定(5-1)、1次系及び2次系純化設備運転状態の測定(5-2)、1次系及び2次系水素・トリチウム濃度分布測定(5-6)</p> <p><b>【HTTR 運転管理】</b></p> <p>不純物濃度測定試験</p>	<p>1次及び2次冷却材のヘリウムの不純物量及び純化系の各トラップの除去得能力等を整理・評価する。黒鉛構造物の酸化やハストロイX-Rの腐食評価に必要なデータを提供し、今後、高温機器の長寿命化につながる冷却材中の不純物濃度組成の制御方法(アクティブ制御法)の確立等に向けた研究開発に資するデータを提供する。また、プラント内の水素・トリチウム移行量に関するデータを整理・評価し、高温ガス炉水素製造システムの開発に必要なデータと提供する。</p> <p>また、トラップの除去効率や除去量等を評価する</p>

表 5.1 データベース項目及び目的 (3/3)

			ことにより、HTTRの運転管理を支援する。
炉内構造物健全性データベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・固定反射体温度</li> <li>・炉心拘束機構部温度</li> <li>・黒鉛サーベランス試験結果</li> <li>・原子炉圧力容器器温度</li> </ul>	<p>【高温ガス炉実用化開発】 黒鉛サーベランス試験 (6-2)</p> <p>【HTTR 運転管理】 熱的パラメータの監視</p>	炉心黒鉛構造物及び炉内鋼構造物の健全性に係るデータを整理・評価する。将来型高温ガス炉開発のための黒鉛構造物の長寿命化、C/Cコンポジット材料開発に必要なデータ等を取得・整理する。 黒鉛構造物及び鋼構造物の温度、照射量等の炉内の照射環境データ、サーベランス試験片での試験結果、燃料プロックの照射後試験等のデータを提供する。
熱交換器の構造健全性データベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・IHX、PPWC等の熱交換器の伝熱管温度</li> <li>・IHX高温ヘッダ温度</li> <li>・熱交換器の除熱性能</li> <li>・サーベランス試験結果</li> <li>・高温配管熱変位</li> </ul>	<p>【高温ガス炉実用化開発】 並列運転時の熱交換器温度測定 (7-1)、 サーベランス試験 (7-3)、高温機器の熱変位測定試験 (7-4)</p> <p>【HTTR 運転管理】 主冷却系熱交換器の性能試験、高温配管の熱変位測定試験、熱的パラメータの監視</p>	中間熱交換器、1次加圧水冷却器の健全性及び除熱性能等を整理・評価する。将来型高温ガス炉開発に際しては高温機器の構造設計の最適化に資するデータ等を取得・整理する。 HTTR の運転管理においては熱交換器の除熱性能を把握することにより、保守管理計画の作成等に係る HTTR のプラント管理を支援する。
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ヘリウムリーク量</li> <li>・コンクリート温度</li> <li>・上部及び下部プレナム温度</li> </ul>	<p>【高温ガス炉実用化開発】 ヘリウムリーク量測定 (8-3)</p> <p>【HTTR 運転管理】 コンクリート温度確認検査</p>	将来型 HTGR の高い稼働率を維持する保守管理技術の合理化に必要な保守及び補修に関するデータを蓄積する。

表 5.2 1次データのデータソースの比較

データソース名	データ項目例	最小サンプリング周期	データ点数
プラント計算機	広領域中性子束 ch1 出力領域中性子束 ch1 C 制御棒位置 原子炉出口冷却材温度 ch1	1 分毎 (運転データ保存管理システムの記録データ)	1154
高速データ収集・解析システム (TETRIS)	広領域中性子束 ch1 出力領域中性子束 ch1 C 制御棒位置 原子炉出口冷却材温度 ch1 加圧水空気冷却器加圧水流量	100 ミリ秒毎	436
仮設計測器	炉容器下部室温度(合座部コンクリ ート温度)、原子炉圧力容器室内温 度(VCS 除熱量)、二重管表面温 度、1次系二重管ひずみ、加圧水 空気冷却器空気温度、加圧水空氣 冷却器加圧水流量、1次加圧水冷 却器表面温度、1次系高温配管の 熱変位等	測定対象により異なる。 (データ点数ではなく測定対象数)	21

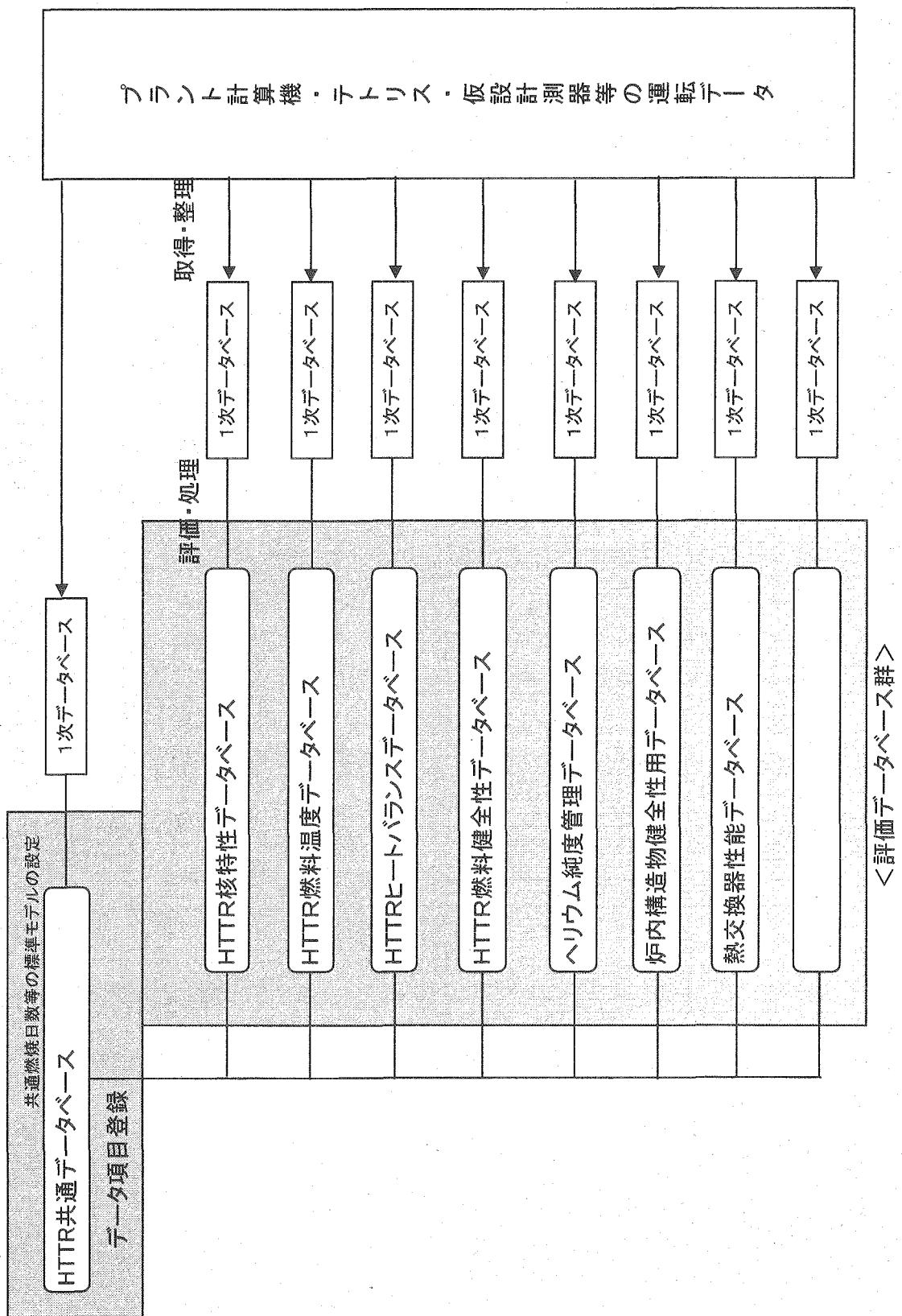


図5.1 HTTR運転データベースの全体構成

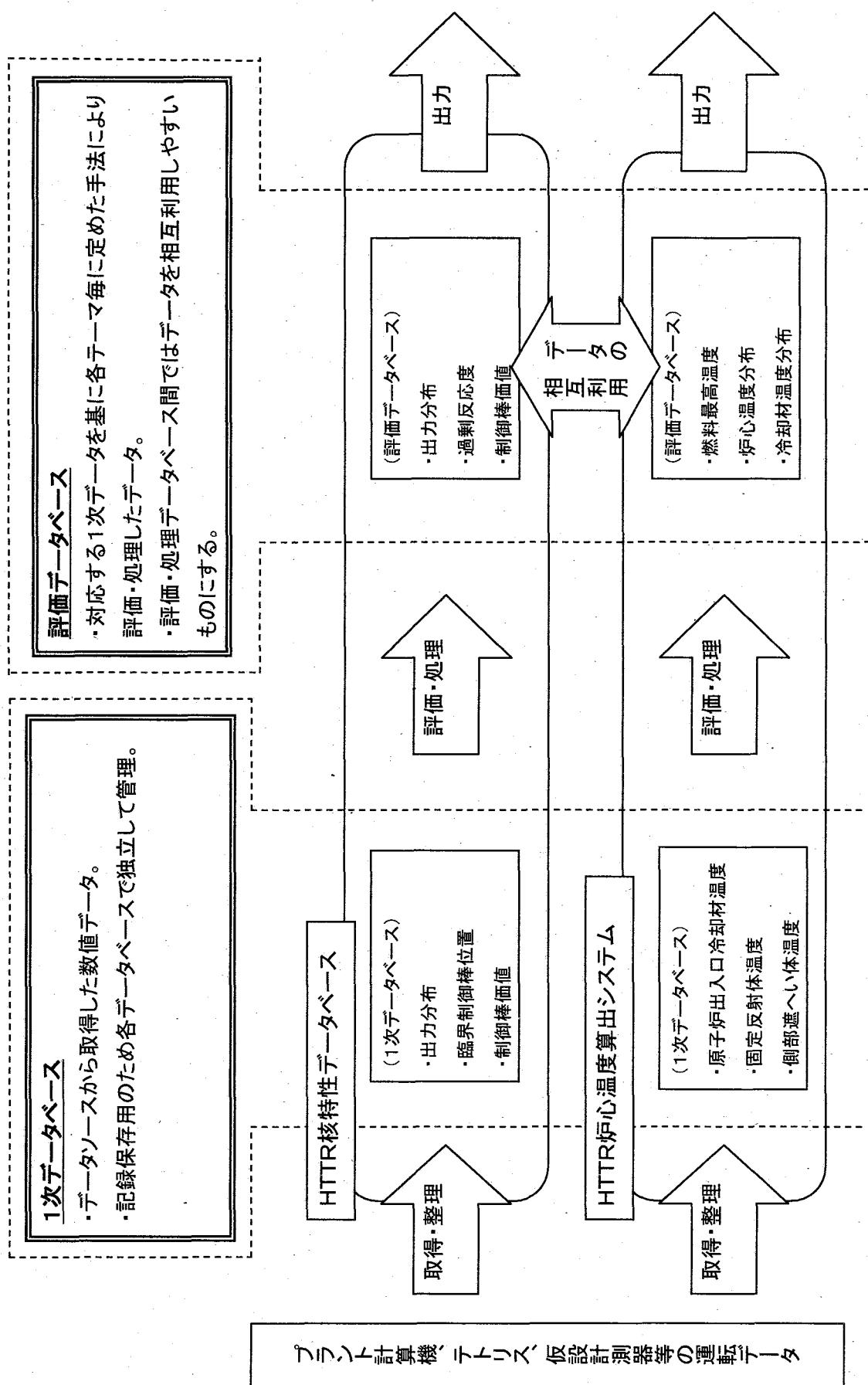


図 5.2 1次データベースと評価データベースの関係

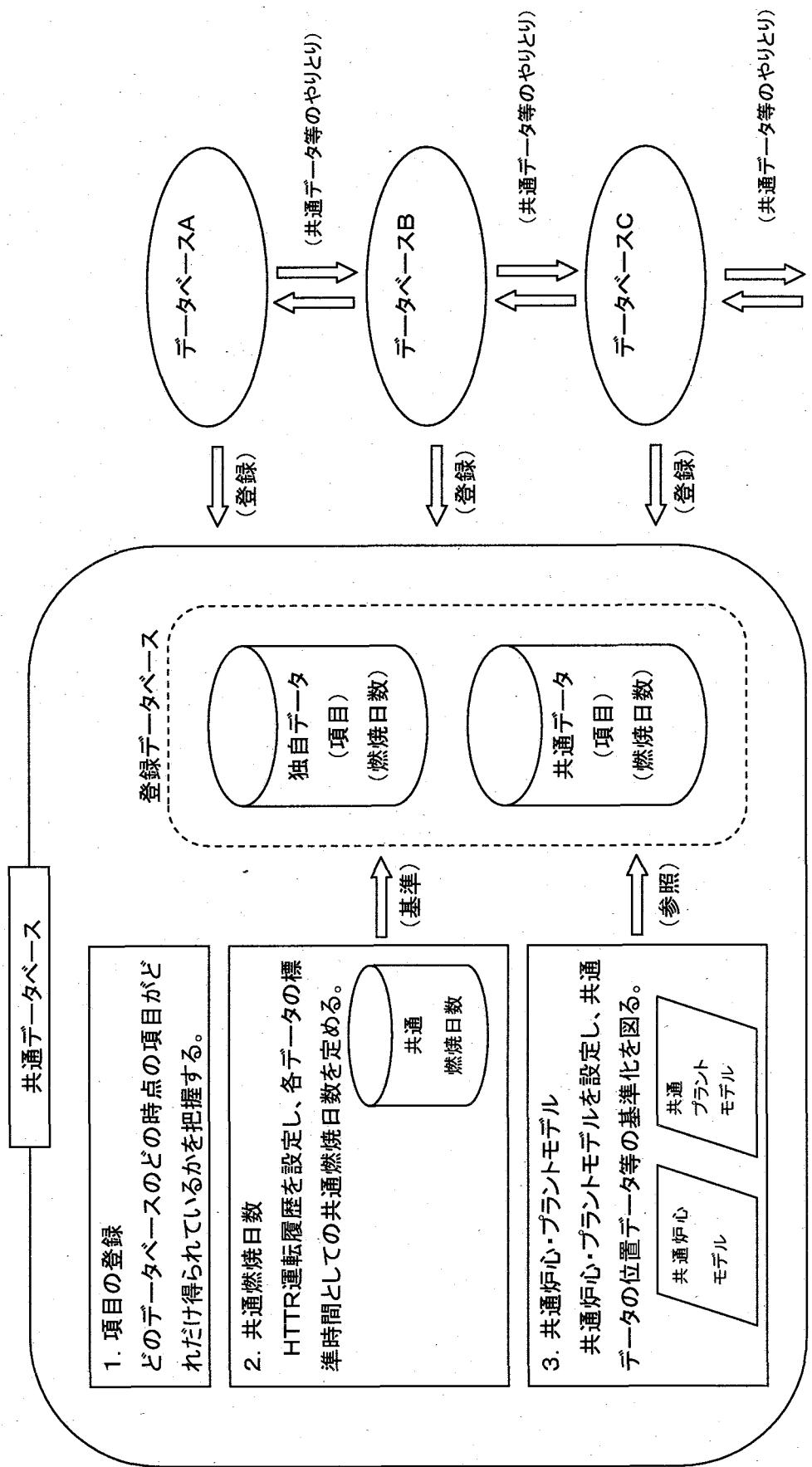


図 5.3 共通データベースとデータベースの関係

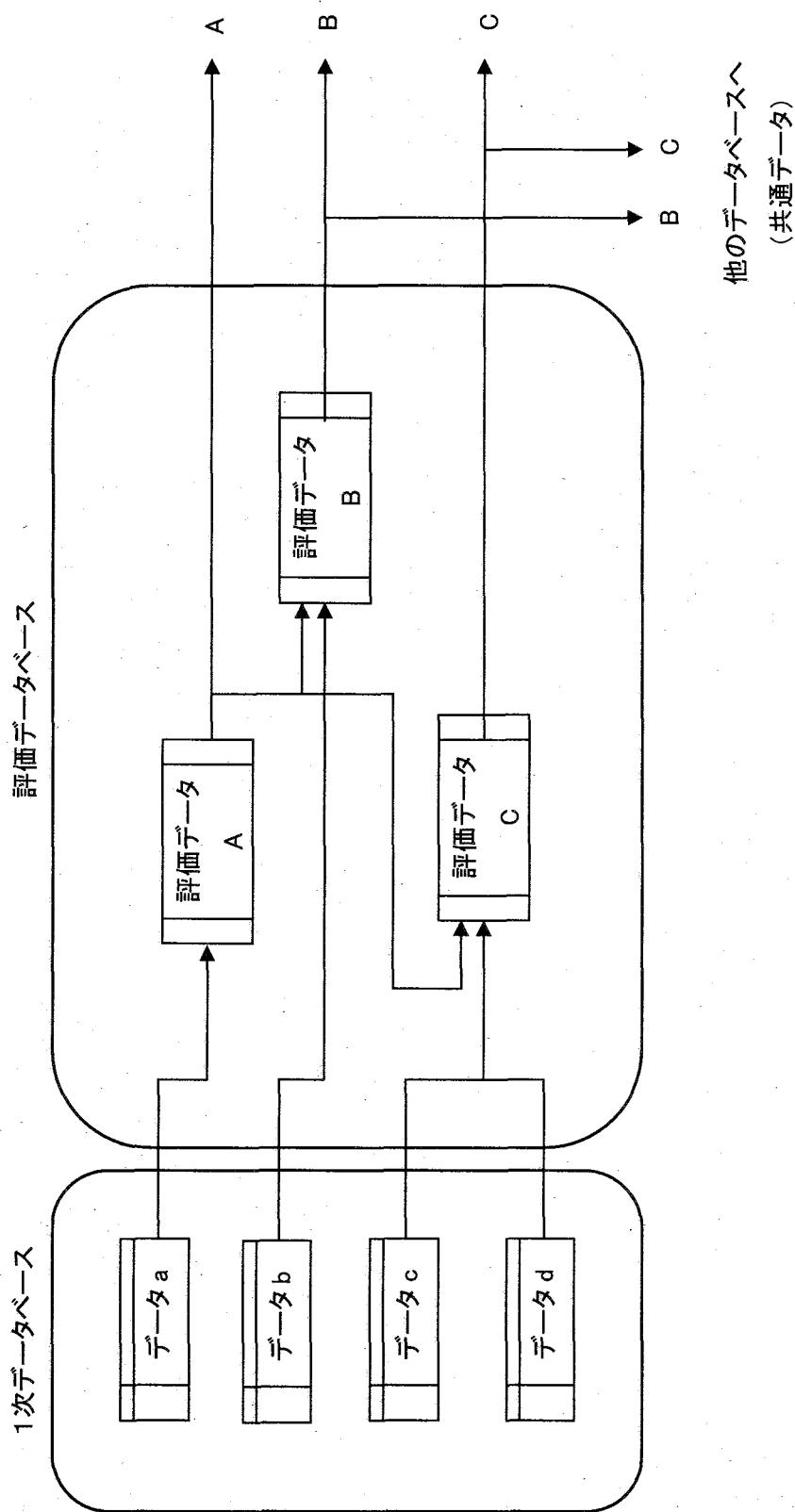


図 5.4 評価データベースの構造

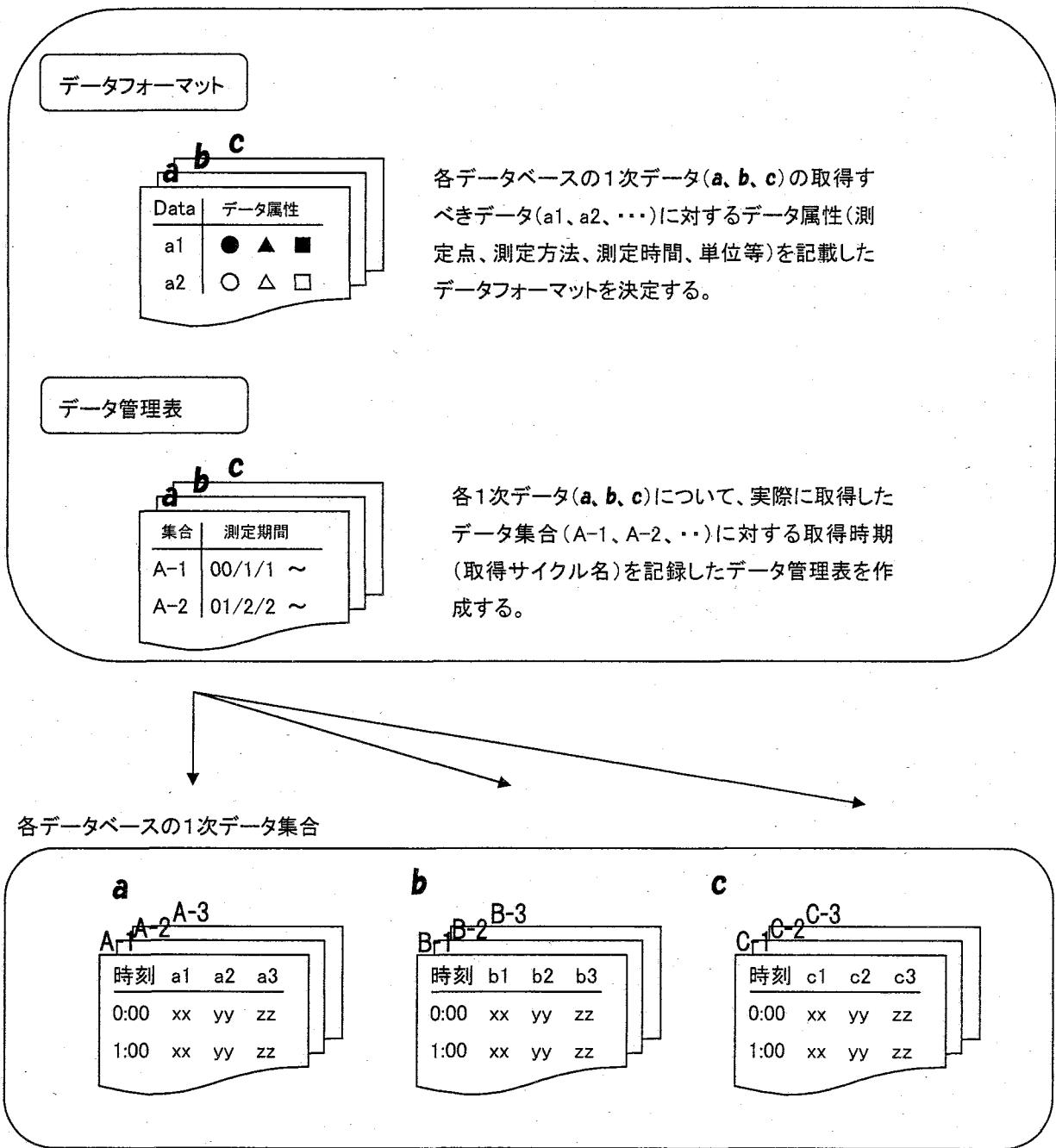


図 5.5 1次データベースの構造

## 6. 各データベース例

「3. HTTR 運転データベースの構造」で定めた構造に従い、HTTR 共通データベース、HTTR 核特性データベース、ヘリウム純度管理データベースを例としてその概要を以下に示す。

### 6.1 HTTR 共通データベース

#### 6.1.1 目的

HTTR 共通データベースの目的は、HTTR 運転データベースの全体を管理することとする。各データベースの目的と項目を登録し、記録状況を管理する。各評価データベースで共通に用いる共通燃焼日数、共通炉心モデル等を管理する。

#### 6.1.2 共通データベースの構造

共通データベースの項目は各データベースの細目（データベース名、データベースの目的、データベースの項目（独自・共通データ））として、各項目の記録状況を登録する。また、各データベース共通で使える燃焼日数、共通炉心モデル、共通プラントモデルを別に管理する。燃焼日数は原子炉出力データ等の 1 次データから作成し、各データベースの共通燃焼パラメータとして使用する。HTTR 共通データベースの概念図を図 6.1 に示す。

#### 6.1.3 評価手法

燃焼日数の評価手順を以下に示す。燃焼日数の評価に用いる測定値は出力領域中性子束検出器の 3 チャンネルの平均値とする。測定間隔は 10 分間隔のデータとし、出力 1% 以上のデータを有効とする。（1%以下の値は 0 とする。）

$$a(t) = \int dt' \bar{P}(t') \cdot \frac{10[m]}{24[hour/day] \times 60[m/hour]} \times \frac{30}{100} [MWD/\%]$$

ここで、

$t$  : 時刻

$a(t)$  : 燃焼日数 [EFPD(Effective Full Power Day)=30MWD]

$\bar{P}(t)$  : 平均出力領域中性子束 [%]

現在までの運転履歴を表 6.1 に示す。

#### 6.1.4 1 次データの項目

HTTR 共通データベースの 1 次データベースは出力領域中性子束から成る。HTTR 共通データベースの 1 次データベースのデータフォーマット例及びデータ管理表例を表 6.2 及び表 6.3 に示す。

表6.1 運転履歴

運転サイクル名称	運転コード	運転モード	起動日	停止日	最大到達出力 [MW]	積算熱出力 [MWh]	燃焼日数 [EFPD]	備考
臨界試験	CT	-	-	-	-	-	-	試験期間：1998.7.15～1998.12.22
核特性試験	CCT	-	-	-	-	-	-	試験期間：1999.1.11～1999.1.21
PT	PT(S1) PT(S2)	定格 定格	単独 単独	1999.9.16 1999.9.28	1999.9.16 1999.10.1	0 0	0.03 0.05	本設中性子源を用いた臨界位置確認 仮設検出器誤操作によりスクラム 検出器校正のため停止
PT-1	PT-1(S1) PT-1(S2) PT-1(P1)	定格 定格 定格	単独 並列 単独	2000.4.23 2000.5.11 2000.5.30	2000.5.8 2000.5.26 2000.6.6	3 9 9	193.05 256.17 256.17	6.44 8.54 G/C振動信号によりスクラム
PT-2	PT-2(S1) PT-2(S2) PT-2(P1)	定格 定格 定格	単独 並列 単独	2000.7.3 2001.1.29 2001.2.16	2000.7.8 2001.2.12 2001.3.1	16.5 20 20	6.44 8.54 G/C振動信号によりスクラム	6.44 8.54 G/C振動信号により停止
PT-3	PT-3(S1) PT-3(P1) PT-3(P2)	高溫 高溫 定格	単独 並列 並列	2001.4.14 2001.5.11 2001.5.21	2001.5.7 2001.5.16 2001.6.8	20 15 20	679.50 1368.19 1368.19	22.65 45.61 45.61
PT-4	PT-4(S1) PT-4(P1)	定格 定格	単独 並列	2001.10.23 2002.1.25	2001.12.14 2002.3.6	30 30	2661.12 3644.85	88.70 121.50
RP/RS-1	RP-1	定格	並列	2002.5.30	2002.6.17	30		850°C達成
RS-2	RS-1	定格	単独	2002.6.21	2002.7.1	9	4107.10	136.90
RS-3	RS-2	定格	単独	2003.2.5	2003.3.14	30	4765.55	158.85
RS-4	RS-3	定格	並列	2003.5.16	2003.5.21	20	4837.94	161.26
RS-5	RS-4	定格	単独	2003.8.8	2003.8.11	9	4862.80	G/Cのリレー故障によりスクラム 162.09
RS-6	RS-5(1)	定格	単独	2004.1.27	2004.2.25	30		安全性実証試験実施
RS-7	RS-5(2)	定格	単独	2004.2.29	2004.3.5	18	5411.32	180.38
PT-5	PT-5(S1) PT-5(P1)	高溫 高溫	単独 並列	2004.3.31 2004.6.2	2004.5.1 2004.7.2	30 30	6090.33 6716.53	203.01 223.88
RS-6	RS-6	定格	単独	2005.2.14	2005.2.19	9	6717.48	223.92
RS-7	RS-7	定格	単独	2005.8.30	2005.9.11	27.6	6923.52	230.78

表6.2 HTTR共通データベースの1次データフォーマット例

データベース名	共通データベース名	データ名	測定点名	測定方法	測定間隔	単位	備考_1	備考_2
評価・処理データ	1次データ名	燃焼中性子束 CH1	24A003	プラント計量機(データダウン)	10 min	%		
燃焼日数		燃焼中性子束 CH2	24A004	プラント計算機(データダウン)	10 min	%		
		燃焼中性子束 CH3	24A005	プラント計算機(データダウン)	10 min	%		

表6.3 HTTR共通データベースの1次データ管理表例

データベース名	評価・処理データ	共通データベース名	1次データベース名	サイクル名	測定日	測定開始日	測定終了日	測定間隔	備考
実験日数			PT		連続	1999.9.16	1999.9.16	10 min	
			PT-1		連続	1999.9.28	1999.10.1	10 min	
					連続	2000.4.23	2000.5.8	10 min	
			PT-2		連続	2000.5.11	2000.5.26	10 min	
					連続	2000.5.30	2000.6.6	10 min	
				PT-3	連続	2000.7.3	2000.7.8	10 min	
			PT-4		連続	2001.1.29	2001.2.12	10 min	
					連続	2001.2.16	2001.3.1	10 min	
			RP/RS-1		連続	2001.4.14	2001.5.7	10 min	
					連続	2001.5.11	2001.5.16	10 min	
			RS-2		連続	2001.5.21	2001.6.8	10 min	
			RP/RS-3		連続	2001.10.23	2001.12.14	10 min	
			RS-4		連続	2002.1.25	2002.3.6	10 min	
			RS-5		連続	2002.5.30	2002.6.17	10 min	
					連続	2002.6.21	2002.7.1	10 min	
			PT-5		連続	2003.2.5	2003.3.14	10 min	
			RS-6		連続	2003.5.16	2003.5.21	10 min	
			RS-7		連続	2003.8.8	2003.8.11	10 min	
					連続	2004.1.27	2004.2.25	10 min	
			PT-6		連続	2004.2.29	2004.3.5	10 min	
			RS-8		連続	2004.3.31	2004.5.1	10 min	
			RS-9		連続	2004.6.2	2004.7.2	10 min	
					連続	2005.2.14	2005.2.19	10 min	
			PT-7		連続	2005.8.30	2005.9.11	10 min	

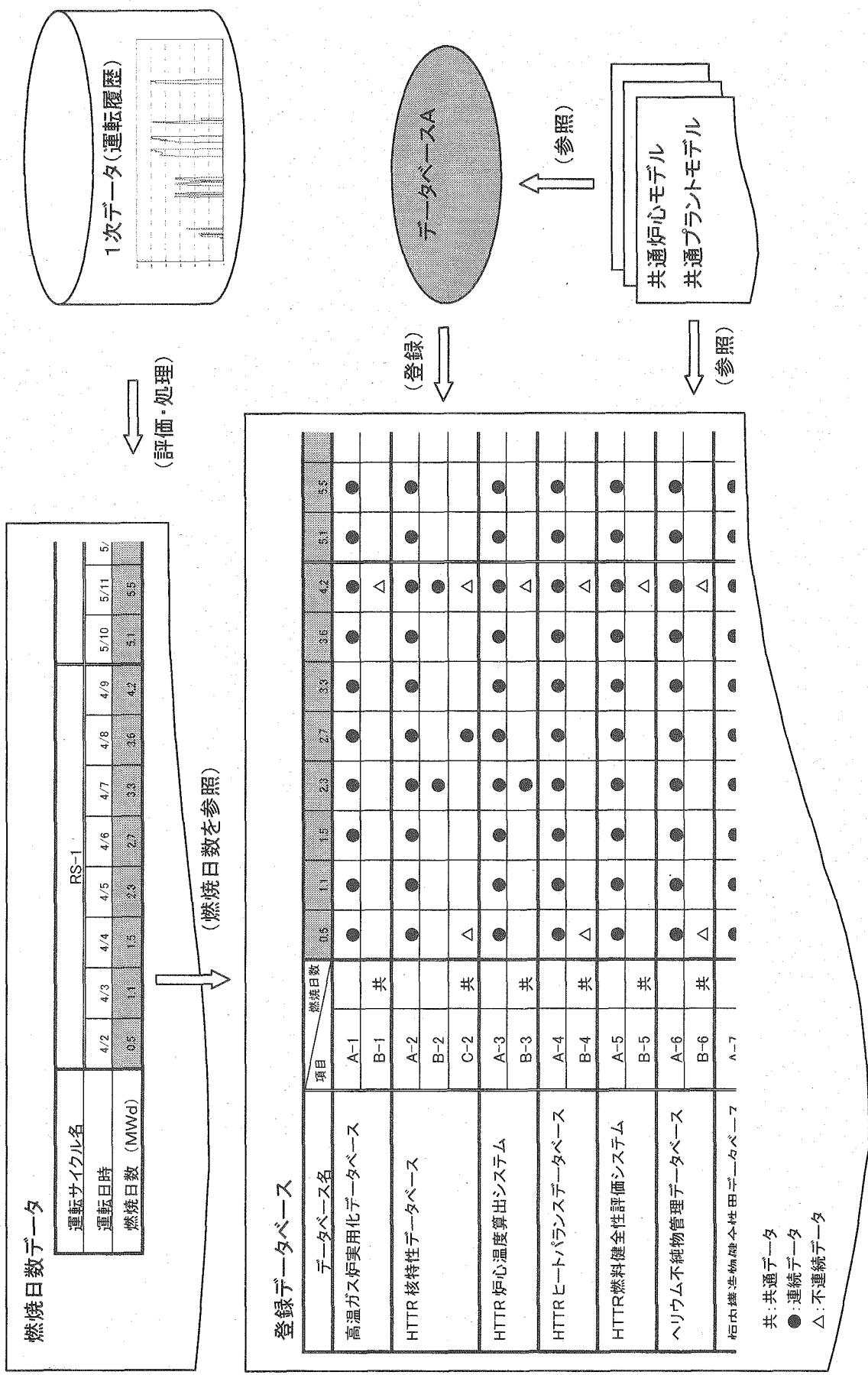


図 6.1 共通データベースの概念

## 6.2. HTTR 核特性データベース

### 6.2.1 目的

HTTR 核特性データベースの目的は、HTTR の核特性に関する運転データを長期間及び系統的に取得し、将来型高温ガス炉の核設計コードの検証等に活用可能な核特性データを提供することである。また、燃焼による過剰反応度の変化等の炉心の燃焼特性を評価することにより HTTR の炉心管理を支援すること及び燃料温度解析等の他の評価データベースに必要な核特性データを提供することである。

### 6.2.2 評価データベース構造

HTTR 核特性データベースの項目は、過剰反応度、出力分布、燃焼度分布、最大反応度添加率、炉停止余裕、制御棒価値曲線、温度係数、中性子束分布、動特性パラメータとする。HTTR 核特性データベースの評価データベースの項目の関係を示した構造図を図 7.1 に示す。

### 6.2.3 評価手法

例として、過剰反応度の評価手順を図 7.2 に示す。過剰反応度は炉心温度 300K における炉心において全制御棒を全引き抜きした場合に炉心の有する反応度である。過剰反応度は燃焼による燃料の組成変化により変化するため、燃焼日数の関数として整理する。

$$\rho_{ex}(a) = f(a, X) + \alpha(a, T)(T - 27)$$

ここで、

$\rho_{ex}$  : 過剰反応度 [Δ k/k]

$a$  : 燃焼日数 [EFPD]

$X = X(a)$  : 臨界制御棒位置 [mm] (R3 制御棒を除く全制御棒位置の平均値)

$T = T(a)$  : 炉心温度 [°C]

$f(a, X)$  : 臨界制御棒位置 (X) から全引き抜き位置までの全制御棒反応度

$\alpha(a, T)$  : 温度係数 [Δ k/k/°C]

過剰反応度の燃焼日数に対する変化を図 7.3 に示す。

### 6.2.4 1 次データの項目

HTTR 核特性データベースの 1 次データベースは臨界制御棒位置、制御棒価値、炉心温度、温度係数、出力分布、中性子束分布等から成る。

HTTR 核特性データベースの 1 次データベースのデータフォーマット例を表 7.1 に、データ管理表例を表 7.2 に示す。

表7.1 HTTR核特性データベースの1次データフォーマット例

データベース名	炉心特性データ名	Data ID	データ名	測定点名	測定方法	測定間隔	単位	備考
評価・処理データ	過熱反応度		C部制御棒位置	24A020	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
			R-1制御棒位置(低出力)	24A023	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
			R-2制御棒位置	24A026	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
			R-3制御棒位置	24A029	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
			R-4制御棒位置	24A032	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
			R-5制御棒位置	24A035	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
			R-6制御棒位置	24A038	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
			R2-1制御棒位置	24A041	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
			R2-2制御棒位置	24A044	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
			R2-3制御棒位置	24A047	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
			R2-4制御棒位置	24A050	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
			R2-5制御棒位置	24A053	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
			R2-6制御棒位置	24A056	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	mm	
	炉心温度(低出力)			24A366	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。
			炉心底部、外周温度1 燃焼部、外周温度2	24A367	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。
			炉心底部、外周温度3 燃焼部、外周温度4	24A368	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。
			炉心底部、外周温度5 燃焼部、外周温度6	24A375	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。
			炉心底部、外周温度7 燃焼部、外周温度8	24A376	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。
			高温フレナム部 温度1A	24A377	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。
			高温フレナム部 温度2A	24A220	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。
			高温フレナム部 温度3A	24A223	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。
			高温フレナム部 温度4A	24A226	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。
			高温フレナム部 温度5A	24A229	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。
			高温フレナム部 温度6A	24A232	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。
			高温フレナム部 温度7A	24A235	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。
				24A238	プラント計算機(データタウ)	出力安定区間の約1時間平均	°C	臨界制御棒位置(低出力)と同じ地点とする。

表7.2 HTTR核特性データベースの1次データ管理表例

データベース名	炉心特性データベース	1次データベース名	サイクル名	測定日	測定期間	測定間隔	備考
評価・処理データ	過剰反応度	臨界制御棒位置	PT	1999.9.16 1999.9.28	12:30 - 12:35 12:30 - 12:35	4:00 - 15:00	-
			PT-1	2000.4.23	12:30 - 12:35	6:30 - 16:50	-
				2000.5.11	12:30 - 13:00	-	-
				2000.5.30	12:30 - 13:30	-	-
			PT-2	2000.7.3	12:00 - 13:00	-	-
				2001.1.29	12:30 - 13:30	-	-
				2001.2.16	12:30 - 13:30	-	-
			PT-3	2001.4.14	12:30 - 13:30	3:0 - 13:30	-
				2001.5.11	12:30 - 13:30	-	-
				2001.5.21	12:30 - 13:30	-	-
			PT-4	2001.10.23	12:30 - 13:30	-	-
				2002.1.25	12:30 - 13:30	-	-
			RP/RS-1	2002.5.30	12:30 - 13:30	-	-
				2002.6.21	12:30 - 13:30	-	-
			RS-2	2003.2.5	12:30 - 13:30	-	-
			RP/RS-3	2003.5.16	12:30 - 13:30	-	-
			RS-4	2003.8.8	12:30 - 13:30	-	-
			RS-5	2004.1.27	12:30 - 13:30	3:00 - 13:50	-
				2004.2.29	12:30 - 13:30	-	-
				2004.3.31	12:30 - 13:30	-	-
			PT-5	2004.6.2	12:50 - 13:25	-	-
				2005.2.14	12:50 - 13:50	-	-
			RS-6	2005.8.30	12:30 - 13:30	-	-
			RS-7				-

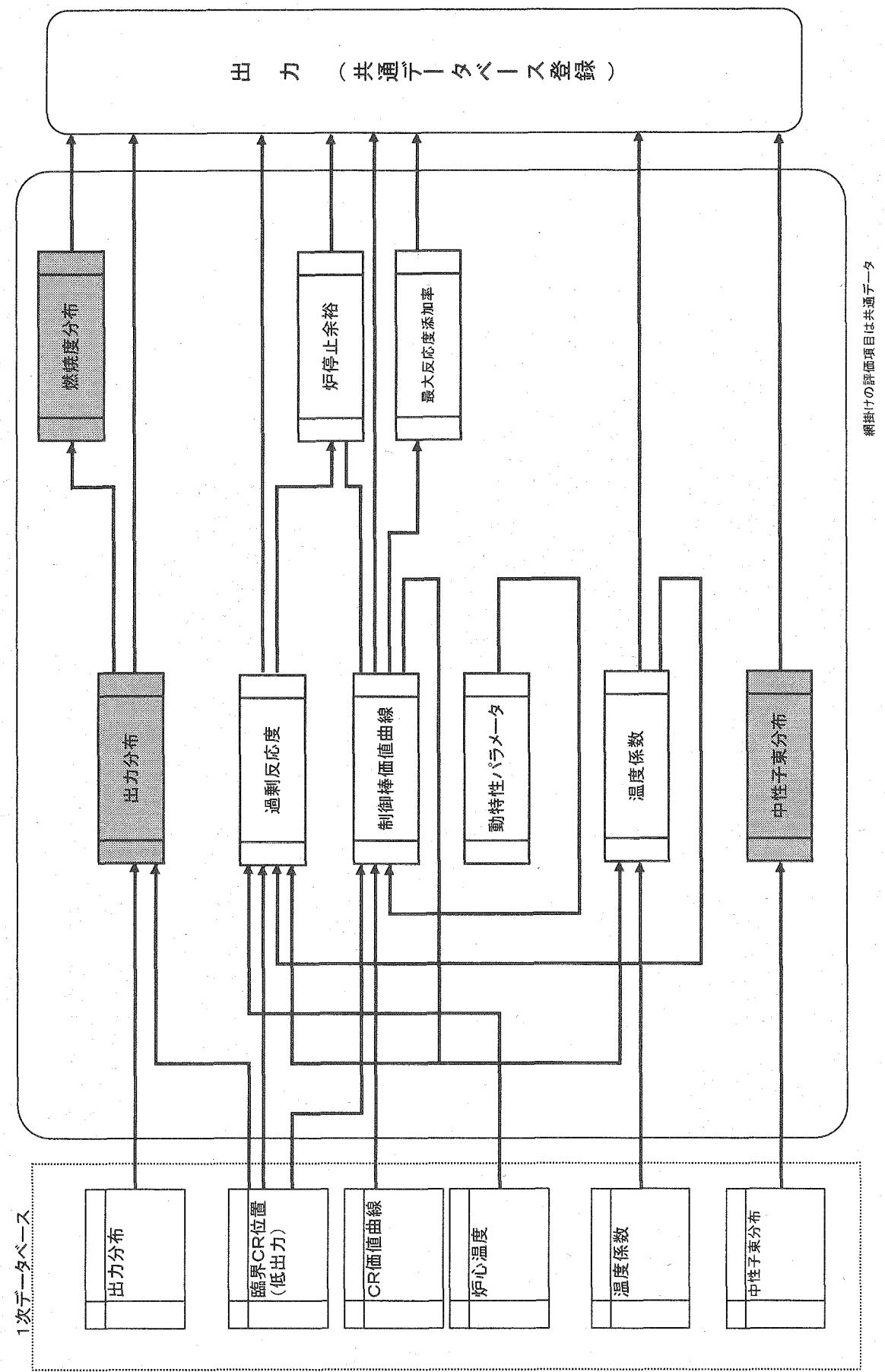


図7.1 HTTR核特性データベース構造図

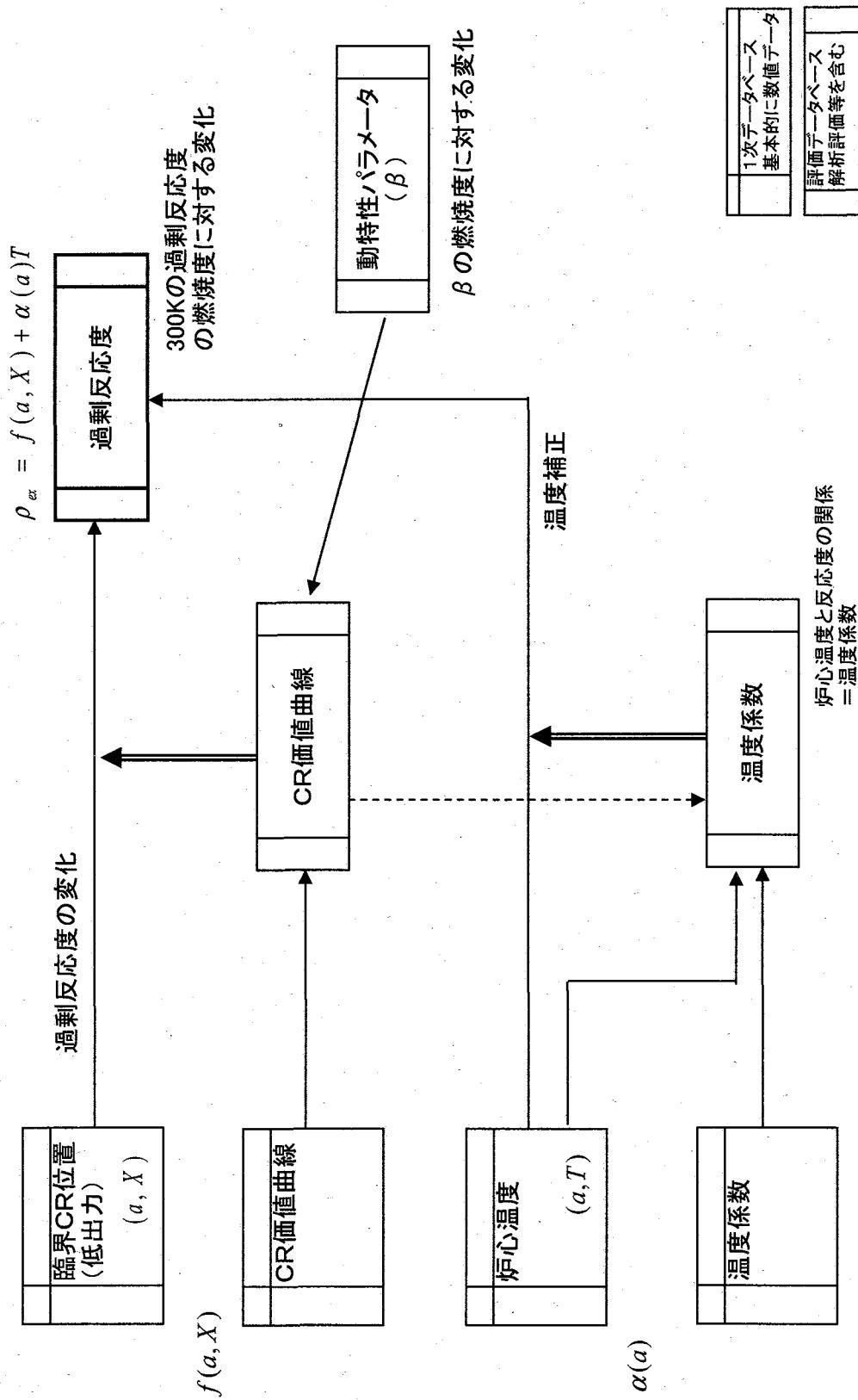


図7.2 過剰反応度の評価手順

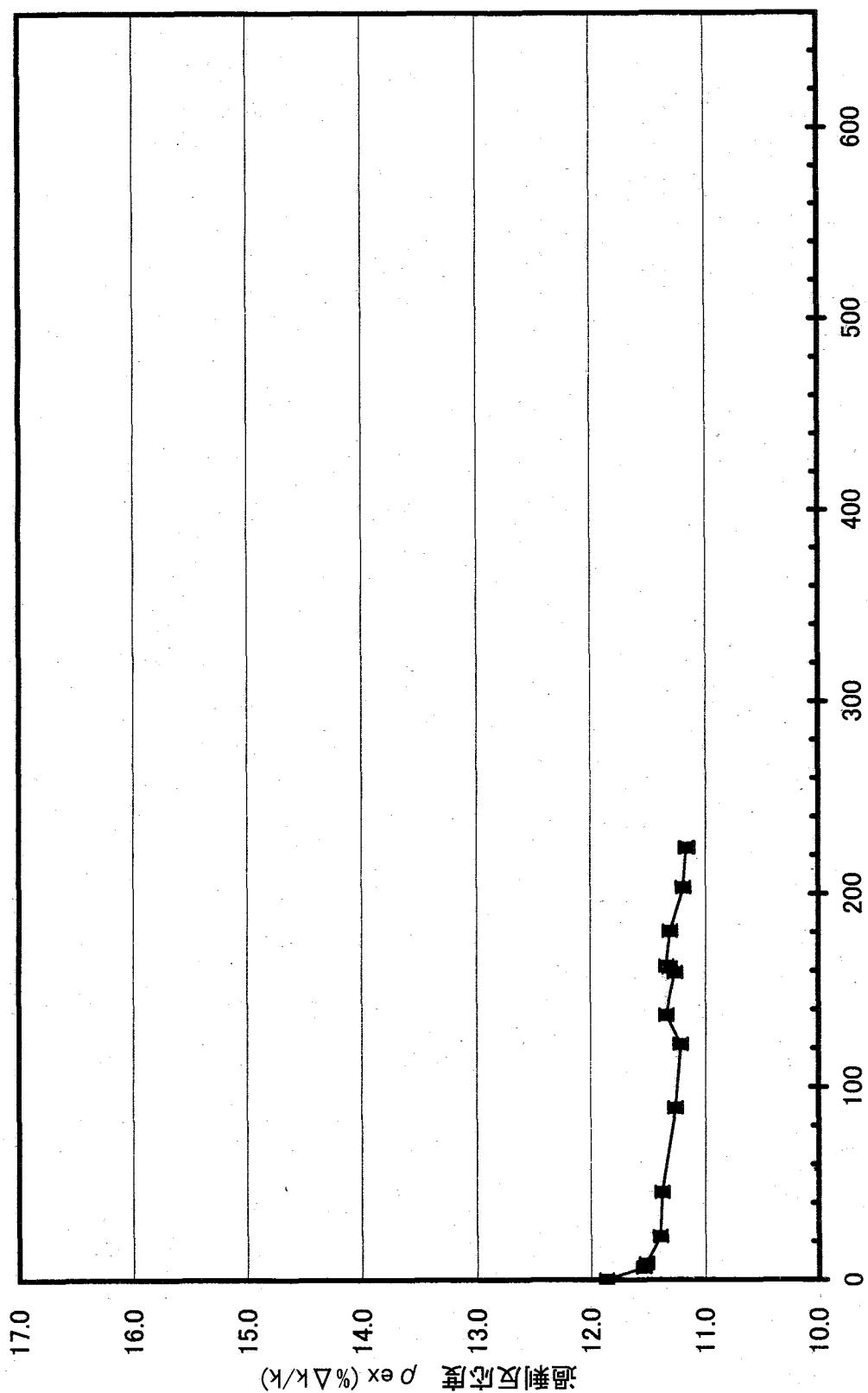


図7.3 過剰反応度(室温27°C)の燃焼日数に対する変化

### 6.3. ヘリウム純度管理データベース

#### 6.3.1 目的

ヘリウム純度管理データベースの目的は、HTTR の冷却材ヘリウム中の不純物に関する運転データを長期間及び系統的に取得しトラップの除去効率や除去量等を評価することにより、HTTR の運転管理を支援することに加え、各サンプリング個所の不純物バランスを評価することで、高温機器の腐食等を抑制する将来型高温ガス炉の冷却材純度管理方式の開発等に役立てるためである。

#### 6.3.2 ヘリウム純度管理データベースの構造

ヘリウム純度管理データベースの項目は、トラップの不純物除去量、不純物除去効率、1次・2次側クロムスタビリティとする。ヘリウム純度管理データベースの評価データベースの項目の関係を示した構造図を図 8.1 に示す。

#### 6.3.3 評価手法

不純物除去効率の評価手法を記す。不純物の除去効率  $\eta$  (%) は、以下の式で表すことができる。

$$\eta = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100 \quad (\%)$$

ここで、  
 $C_{in}$  トランプ入口不純物濃度 (vppm)  
 $C_{out}$  トランプ出口不純物濃度 (vppm)

除去効率は、1 次系 2 次系それぞれの酸化銅反応筒、MST (モレキュラーシープトラップ)、CCT (コールドキャプチャートラップ) について求められる。例として、1 次ヘリウム純化設備 MST の H<sub>2</sub>O 除去効率を評価した結果を図 8.2 に示す。

また、クロムスタビリティに基づく脱炭・浸炭の評価は、Cr、Cr<sub>n</sub>C<sub>m</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の各相安定領域の境界線を下記関係式及び熱力学データを用いて算出する<sup>9,10)</sup>。以下にクロムスタビリティ図の作成要領を示す。

$\Delta G = -RT \ln K$  の関係式と①～③中の式により、クロムスタビリティ図(log a<sub>c</sub>、log P<sub>O<sub>2</sub></sub>) を示す各相の境界を求める。

##### ① Cr と Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の境界

$$[Cr_2O_3] = 2 [Cr] + 3/2(O_2)$$

$$K_{①} = (a^2_{Cr} \cdot P^{3/2}_{O_2}) / a_{Cr_2O_3}$$

$$\Delta G 1^\circ = 267750 - 62.1T(\text{cal})$$

$$T = 850^\circ\text{C} = 1123.15\text{K}, a_{Cr} = a_{Cr_2O_3} = 1 \text{ とすると}$$

$$\log P_{O_2} = -25.64$$

②Cr と  $Cr_nC_m$  の境界

$$Cr_nC_m = Cr_{23}O_6 \text{ として}$$

$$1/6 [Cr_{23}O_6] = 23/6 [Cr] + [C]$$

$$K_{(2)} = (a^{(23/6)}_{Cr} \cdot a_C) / a^{(1/6)}_{Cr_{23}O_6}$$

$$\Delta G_2^\circ = 16380 - 1.54T(\text{cal})$$

$T = 850^\circ\text{C} = 1123.15\text{K}$ ,  $a_{Cr_{23}O_6} = 1$ ,  $a_C = 0.8$  とすると

$$\log a_C = -3.15$$

③ $Cr_nC_m$  と  $Cr_2O_3$  の境界

$$Cr_nC_m = Cr_{23}O_6 \text{ として } ①, ② \text{ 式より計算して}$$

$$2 [Cr_{23}O_6] + 69/2(O_2) = 23 [Cr_2O_3] + 12 [C] \text{ となる。}$$

$K_{(3)}$ ,  $\Delta G_3^\circ$  を導出する。

$$\log K_{(3)} = 12 \log a_C - (69/2) \log P_{O_2}$$

$T = 850^\circ\text{C} = 1123.15\text{K}$  の時,  $\log K_{(3)} = 1115.5$

ここで,  $P_a$  成分 a の分圧 (atm)

$a_x$  成分 x の活量

T 温度 (K)

K 平衡定数

④CO と C+1/2O<sub>2</sub> の境界

$$CO = C + 1/2O_2$$

$$K_{(4)} = P_{CO} / (a_C \cdot P^{1/2} O_2)$$

よって Cr,  $Cr_nC_m$  (ここでは  $Cr_{23}O_6$  としている),  $Cr_2O_3$  の 3 相の境界を通過する直線は、

臨界 CO 分圧を  $P_{CO}$  とすれば

$$\log a_C = \log K_{(4)} + \log P_{CO} - 1/2 \log P_{O_2}$$

と表される。この直線とクロムスタビリティ図上の運転データ ( $\log a_C$ ,  $\log P_{O_2}$ ) の位置関係より浸炭及び脱炭かの評価を実施する。

### 6.3.4 1 次データの項目

ヘリウム純度管理データベースの 1 次データベースは 1 次系 2 次系それぞれの酸化銅反応筒、MST 及び CCT 前後の不純物の濃度、また原子炉入口出口の水分濃度等からなる。

ヘリウム純度管理データベースの 1 次データベースのデータフォーマット例を表 8.1 に示す。

表8.1 ヘリウム純度管理データベースの1次データフォーマット例

データベース名	評価・処理データ	1次データベース名	Data ID	データ名	測定点名	測定方法	測定間隔	単位	備考
除去率	1次CuO/H2除去効率	純化入口H2濃度	16A243	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm	
	冷却器出口H2濃度	16A261	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm		
	純化入口CO濃度	16A247	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm		
	冷却器出口CO濃度	16A265	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm		
	純化入口H2O濃度	16A213	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm		
	冷却器出口H2O濃度	16A212	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm		
	純化入口CO2濃度	16A263	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm		
	冷却器出口CO2濃度	16A251	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm		
	純化入口CH4濃度	16A252	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm		
	冷却器出口CH4濃度	16A258	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm		
	純化入口N2濃度	16A250	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm		
	冷却器出口N2濃度	16A256	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm		
	純化入口O2濃度	16A248	プラント計算機	サンプリング設備起動後から1時間毎	サンプリング設備起動後から1時間毎	1時間毎	vppm		
	冷却器出口O2濃度	26A254	プラント計算機						

1次データ  
評価データ

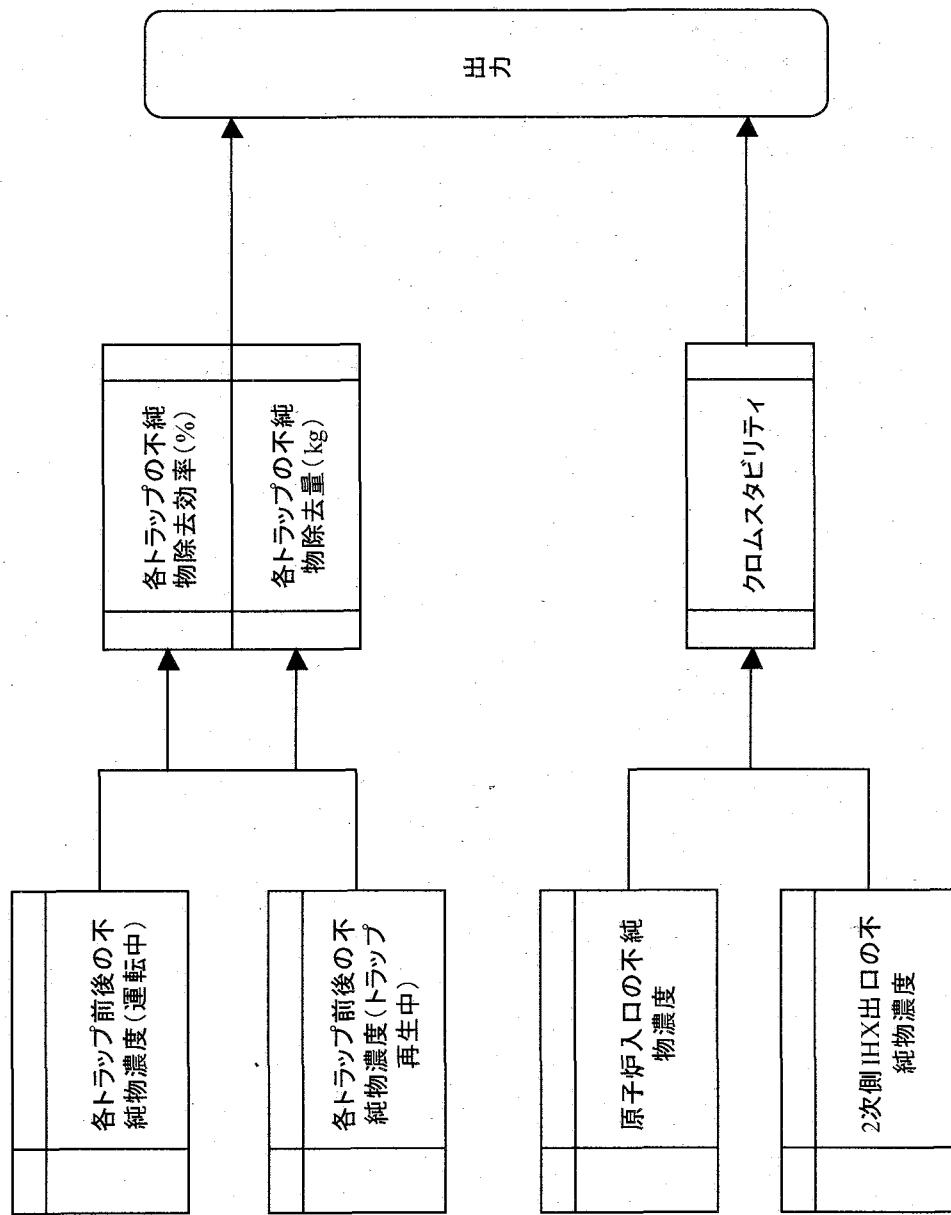
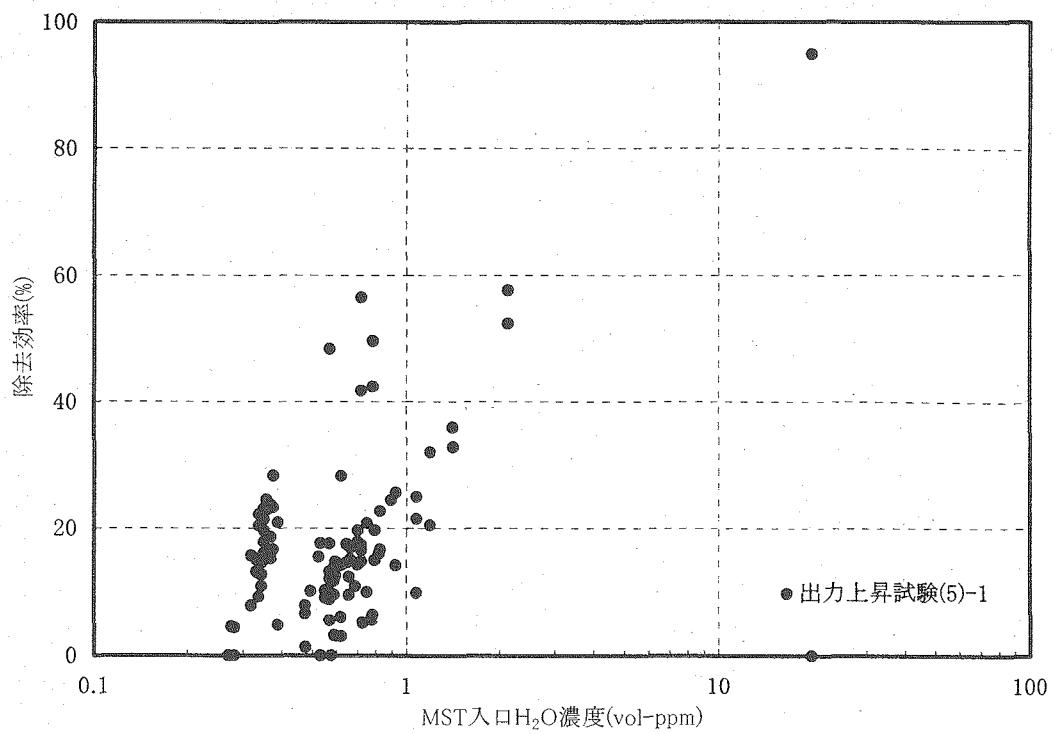


図 8.1 ヘリウム純度管理データベース構造図

図 8.2 1次ヘリウム純化設備 MST H<sub>2</sub>O 除去効率

## 7. おわりに

本報は HTTR 運転データベースを構築するにあたり、その全体概要及び作成方針について示したものである。今後は、今回定めた作成方針に従い現在までの HTTR 運転データを素にデータベースを作成し、HTTR の各種運転データの長期的かつ系統的な取得・評価の枠組みを確立する。さらに、今後の HTTR の運転から得られる運転データの取得を継続することによりデータベースの充実を目指す予定である。

また、データベースの全体の見直しを適宜行い、各データベース項目の追加等を行うことによりデータベースを拡張していき、将来の高温ガス炉実用炉開発及び今後の HTTR の運転に役立つデータベースの構築に努めていく。

### 謝 辞

本報告書をまとめるにあたり、高温工学試験研究炉部長小森芳廣氏、HTTR 運転管理課、HTTR 計画課にご指導いただきました。データベースの作成方針等に関しては原子力基礎工学研究部門塩沢周作特別研究員に貴重なご助言をいただきました。また、本報告書の作成全般に関しては核熱応用工学ユニット片西昌司氏から助言をいただきました。ここに記して感謝致します。

### 参考文献

- (1) S. Saito, T. Tanaka, Y. Sudo, et al., JAERI-Report 1332, (1994).
- (2) 山下清信 他：“高温工学試験研究炉（HTTR）の臨界試験、（I）－試験計画、燃焼装荷および核特性試験－”日本原子力学会誌、Vol.42, No.1, pp. 30～42 (2000).
- (3) 中川繁昭 他：JAERI-Tech 2002-069, “高温工学試験研究炉の出力上昇試験－試験経過及び結果の概要－”(2002).
- (4) 高松邦吉 他：JAERI-Tech 2004-063, “高温工学試験研究炉の出力上昇試験（高温試験運転）－試験方法及び結果の概要－”(2004).
- (5) 橋 幸男 他：JAERI-Tech 2002-059, “高温工学試験研究炉（HTTR）の安全性実証試験計画”(2002).
- (6) 独立行政法人日本原子力研究開発機構：“独立行政法人日本原子力研究開発機構の中期目標を達成するための計画（中期計画）（平成 17 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日）”(2005).
- (7) 国富一彦 他：“高温ガス炉ガスタービン発電システム（GTHTR300）の設計研究,” 原子力和文論文誌, 2[4], 478 (2003).
- (8) Kiyushin, A.I., et al., Project of the GT-MHR high-temperature helium reactor with gas turbine. Nucl. Eng. Design 173, 119-129 (1997).
- (9) 倉田有司 他：“高温ガス炉用 Ni 基耐熱合金のクリープ挙動に及ぼす脱炭性ヘリウム雰

囲気の影響” 鉄と鋼、第 74 年(1988)第 2 号 p.380-387.

- (10) N. Sakaba and Y. HIRAYAMA, Proceedings of GLOBAL 2005 Tsukuba, Japan, Oct 9-13, 2005 Paper No.263.

This is a blank page.

