

<概要>

新型転換炉（ATR）「ふげん」は沸騰軽水冷却型であり、[軽水炉](#)の安全研究の成果が広範囲に活用できる炉型である。したがって、その安全研究は、ATR特有の炉心構造、燃料および特有の特性に関連したものを中心に行われている。すなわち通常運転時から事故時までの、原子炉[冷却材](#)の熱流動挙動、[圧力管](#)、機器および燃料などの健全性ないし機能の評価のための研究が進められ、その成果はATRの[安全設計](#)および[安全評価](#)に反映されている。

<更新年月>

1998年05月

（本データは原則として更新対象外とします。）

<本文>

新型転換炉（ATR）「ふげん」は沸騰軽水冷却型であるため、軽水炉の研究開発で得られた知識・経験が広範囲に活用できる。しかし[圧力管型原子炉](#)としての構造上の相違から、原子炉性能の基本となる炉心核・熱水力特性、原子炉冷却系の熱流動挙動、およびキー・コンポーネントとしての圧力管・燃料の健全性などについての安全研究が、実規模試験装置や[照射](#)試験を利用し進められてきた。それらの成果は「ふげん」の安全設計および安全評価に反映しており、また原型炉の信頼性向上にも寄与している。[表1](#)に通常運転時から事故時にわたる安全研究項目を示す。

1. 冷却材の熱流動挙動

「ふげん」の原子炉冷却系は[図1](#)に示すように、炉心構造、冷却系構成機器、配管など軽水炉のそれと大きく相違する。

原子炉性能に直接関係し、安全評価上の基本データともなる炉心特性の解明には、重水臨界実験装置（DCA）に[燃料集合体](#)を装荷した核特性試験、および大型熱ループ（HTL）を使用した実尺模擬燃料集合体によるバーンアウト試験が行われ、炉心設計、解析評価手法の開発がすすめられてきた。

通常運転時から事故時までの冷却材の熱流動挙動の解明は、「ふげん」の原子炉冷却系を模擬したループと[ECCS](#)のモックアップその他から構成される実規模の安全性試験装置を使用して進められた。

冷却系を構成する圧力管部、[蒸気ドラム](#)、配管などの個別体系で、実機条件を模擬または包絡する条件での熱流動試験を行い、解析モデルや相関式を作成したものを、プラント全体のシステム解析コードに組み込み、冷却系全体に亘る異常な過渡現象まで解析できるようにする。最後に、出来上がった解析コードは大型試験装置や原型炉を用いたシステム試験により検証された。

事故時の最も苛酷な事象は冷却材喪失事故（[LOCA](#)）である。入口管、下降管、主蒸気管部について模擬破断試験を行い、冷却材のブローダウンによる放出現象を解明、破断個所や破断の大小による放出パターンの差を考慮した解析コードが開発された。またLOCA時の低流量ないしドライアウト時の燃料冷却効果、ECCS水の炉心への注入挙動、冷却効果について実験的にあきらかにして、解析手法が開発された。さらに、破断事故を対象とし、炉心スクラム、ECCSの作動を模擬した総合試験が行われた。蒸気ドラム圧力、水位の変化、[燃料被覆管](#)の挙動など、計算コードによる予測は試験結果とほぼ一致し、計算コードは目標とする精度を達成し、信頼性の高い事故解析、安全評価が可能となっている。

2. 冷却材圧力バウンダリ

原子炉冷却系および関連補助系などは通常運転の異常な過渡変化時にも、冷却材圧力バウンダリの健全性を確保できることが要求される。

圧力バウンダリを構成する機器の中で最も重要なものは軽水炉の圧力容器に相当する[圧力管集](#)

合体である。圧力管材料にはジルカロイ-ニオブ合金が使用されるが、これまで使用経験がなく然も炉内で強い放射線を受けるので、材料の機械的特性試験のほか、照射による材料特性変化の把握に多くの努力が払われた。また同材料は熱膨張率が大きく異なることが、冷却系配管のステンレス鋼とは溶接できず、その間に用いる中間材の開発とロールジョイントの開発が行われた。一連の研究開発の結果、「ふげん」の使用条件下で十分使用できる見通しが得られたので、実尺の圧力管集合体モデルが製作され、使用条件を模擬した炉外耐久試験によりその健全性が確認された。

冷却材圧力バウンダリの健全性を確認するため、運転開始後も定期的に**供用期間中検査**（ISI）を行うことが義務づけられている。ATR特有のISI装置が開発され、検査が行われている。とくに圧力管ISI装置の研究開発には長期間を要し、初期試作の大型検査装置に代わり、燃料交換装置により圧力管内に挿入、遠隔自動操作可能な小型検査装置が開発され、集合体各部の内面肉眼検査、寸法測定、超音波探傷が可能となっている。また「ふげん」運転後の圧力管材料の照射挙動を評価するため、特殊燃料集合体に組み込まれた監視試験片を逐次取り出し**照射後試験**を実施している。 **図2** は照射後の引張試験結果を示す。照射による材料特性は設計範囲内にあり、圧力管の健全性が確認されている。**シールプラグ**は圧力管集合体の下端部に取り付けられ、冷却材圧力バウンダリを構成する。原子炉運転中漏洩がなく、燃料交換装置により確実に着脱できなければならない。シールエレメントにはシール着脱両機能に優れたチタン合金を採用、開発が進められ、最終的に設計仕様のシールプラグは長時間の炉外耐久試験により、その健全性が確認された。冷却材圧力バウンダリに万一漏洩が起った場合、早期に検出、対処する必要がある。圧力管部は微小漏洩でも外側の炭酸ガス層の湿分で検出できる。入口管、出口管群に対しては漏洩検出法の開発が行われている。

3. 燃料集合体

「ふげん」の燃料集合体は3層クラスタ構造であり、**MOX燃料**を使用することから、試作開発、核・熱水力特性試験、炉外試験を重ね、また内外炉での先行照射試験を行い、その健全性を十分確認した上で炉心に装荷されたので良好な使用実績を得ている。

「ふげん」に装荷したMOX燃料集合体2体の照射後試験が行われ、試験結果は設計で予測された照射挙動を示しており、異常な変形・破損の発生はなく、またUO₂燃料集合体との照射挙動の差は認められていない。

「ふげん」改良燃料の研究開発もすすめられている。ジルコニウムライナー被覆管、中空ペレットを使用した短尺燃料棒を海外炉で照射し、負荷変動条件下でのオンライン計測により、燃料挙動を追跡し改良効果を確認している。一方「ふげん」でも同様の短尺燃料棒を実証炉燃料とほぼ同一仕様の36本クラスタ構造に組み込んだ照射用**セグメント燃料**集合体2体を装荷し、ベース照射中である。照射後試験後再び材料試験炉で出力急上昇試験を行い、耐**PCI**特性を確認する計画である。

またLOCA時燃料被覆管が管内ガス圧により膨張し燃料冷却効果に影響を与える、いわゆる被覆管バルーニング試験も行われている。

<関連タイトル>

[新型転換炉の工学的安全防護システム \(03-02-03-02\)](#)

[新型転換炉の異常時および事故時の現象解明および評価 \(06-01-03-03\)](#)

[冷却材圧力バウンダリに関する研究 \(06-01-03-05\)](#)

<参考文献>

(1) 動燃技報 No.69 1989.3

(2) 動燃技報 No.73 1990.3

(3) 新型転換炉原型炉「ふげん」技術成果の概要 1991.8 動力炉・核燃料開発事業団

(4) 動燃技報 No.80 1991.12

(5) 新型転換炉技術成果報告会予稿集 1991.12 動力炉・核燃料開発事業団

表1 「ふげん」の安全研究項目

項目 原子炉の状態	冷却材の熱流動 挙動	機器・ システム	圧力管・配管 ・格納容器	マン・マシン インターフェ イス	燃料 (健全性・挙動)	FP挙動
通常運転時	ATR燃料の限 界熱出力特性	シールプラグ の開発と機能 ・耐久性実証	圧力管の耐照 射特性試験 圧力管のISI 装置の開発		ふげんMOX燃 料照射後試験	
運転時の異常 な過渡変化時	自然循環伝熱特 性 流量急変時の伝 熱特性	地震時の制御 棒挿入性試験	配管漏洩検出 器の開発	異常検知 進展予測 回避操作	MOX模擬照射 試験 セグメント燃料 出力急昇試験	
事故時	LOCA時炉心 伝熱流動特性 統計的手法適用	ほうさん急速 注入系の特性	出入口管配管 破断	事故時に対す る研究	被覆管バルーニ ング試験	破損燃料検出 系の開発
安全性向上		一次系除染法 重水中のトリ チウム除去法	ISI装置の自 動化			
シビアアクシ デント時 格納容器内挙	一次系熱水力挙 動 重水による燃料 冷却性	一次系構造機器の挙動評価 (圧力管、カランドリア管、 カランドリアタンク)		緩和操作手順 に関する研究	燃料熔融挙動の 解析手法の開発	燃料からの放 出挙動 一次系内挙動

(出典) 動力炉・核燃料開発事業団：平成3年度新型転換炉技術成果報告会予稿集。

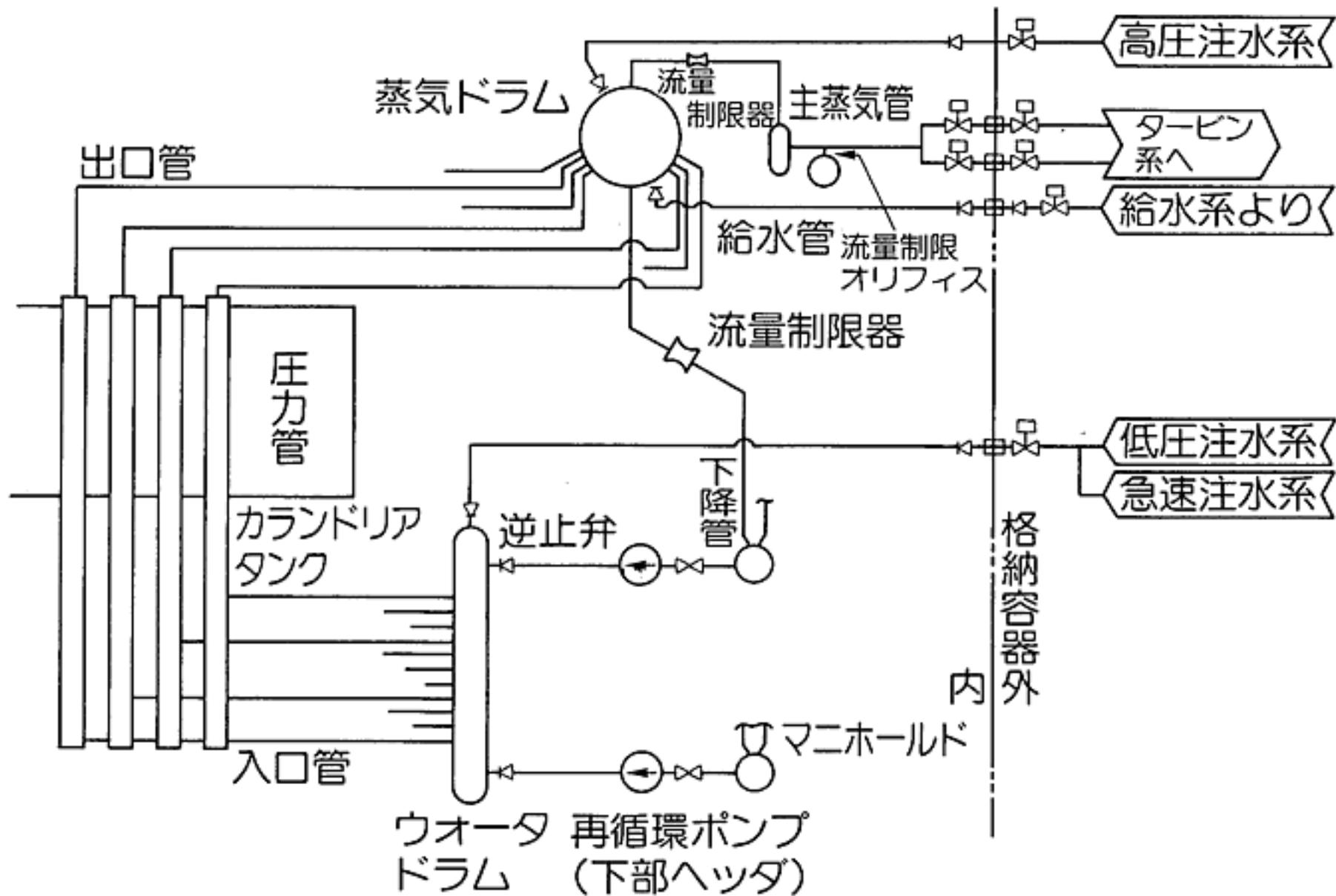


図1 「ふげん」原子炉冷却系系統図 (1/2ループ)

(出典) 動力炉・核燃料開発事業団：平成3年度新型転換炉技術成果報告会予稿集。

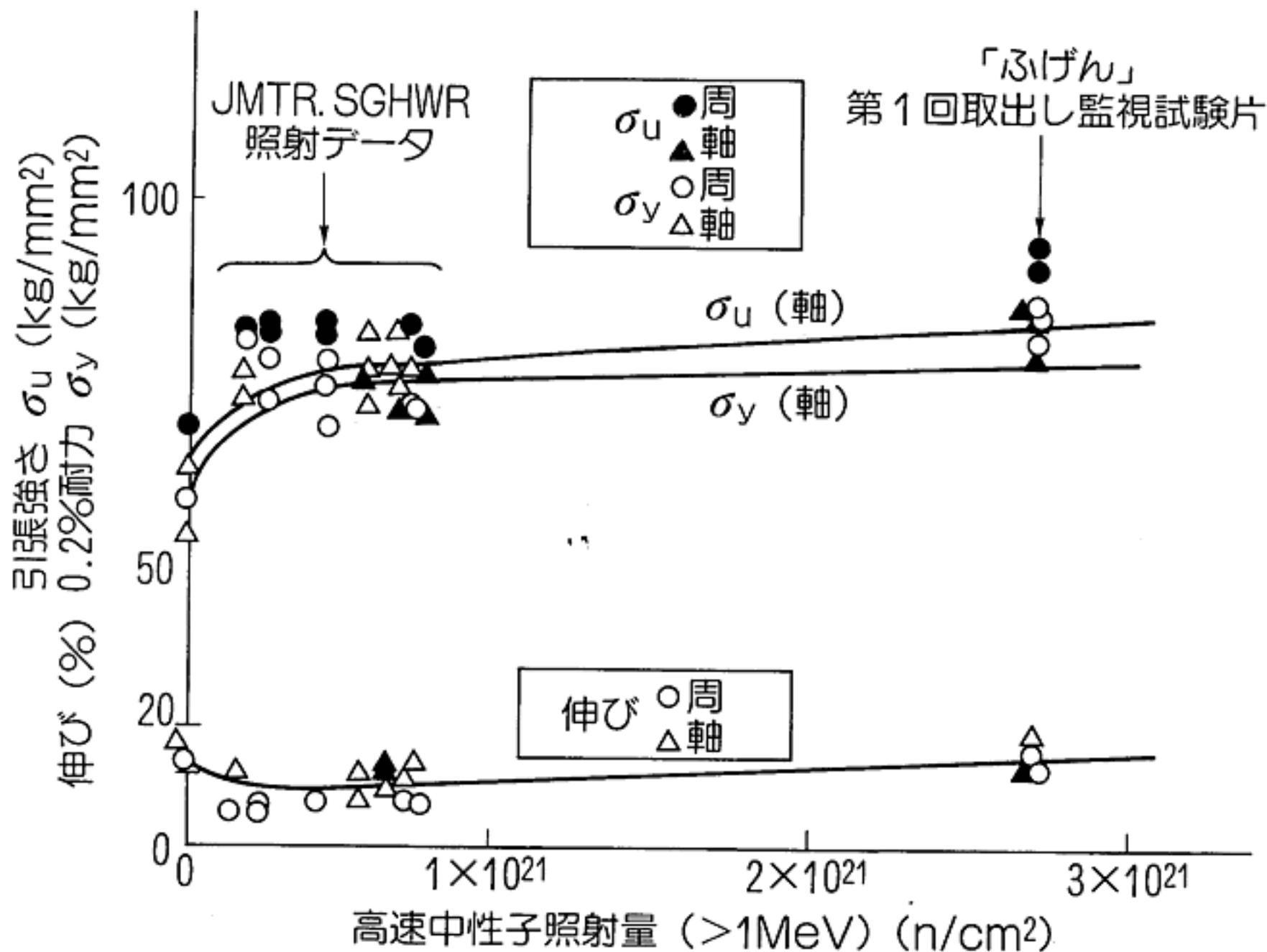


図2 「ふげん」圧力管材の引張試験結果 (300°C)

(出典) 動力炉・核燃料開発事業団：動燃技報 No.69 「ふげん」特集 (1989.3)。