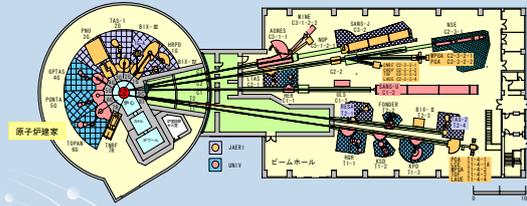


JRR-3冷中性子ビーム 高性能化の現状

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所
研究炉加速器管理部
新居 昌至
平成21年8月5日

JRR-3利用設備



炉室
水平実験孔: 1G~6G、7R
実験装置: 9台

ガイドホール
熱中性子導管: T1、T2
冷中性子導管: C1、C2、C3
実験装置: 22台

JRR-3ビーム実験実績



> JRR-3における中性子ビーム需要は年々増加
> 需要は供給可能量の150%

利用性能向上への取り組み

中性子ビーム強度の高強度化及び輸送効率の向上により測定時間の短縮化を進め、ビーム実験申し込み数に対して割り当てられるマシンタイムの慢性的な不足状況を緩和する。

- 1) 熱中性子ビーム
熱中性子導管のスーパーミラー化
ビーム強度6倍化達成 (H15年度)
- 2) 冷中性子ビーム
ベンダーシステムの開発
ビームポート2個増設 (H19年度上期)

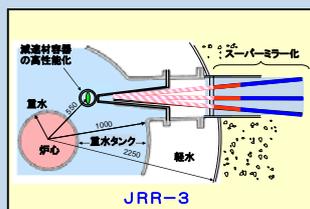


JRR-3冷中性子ビーム高性能化

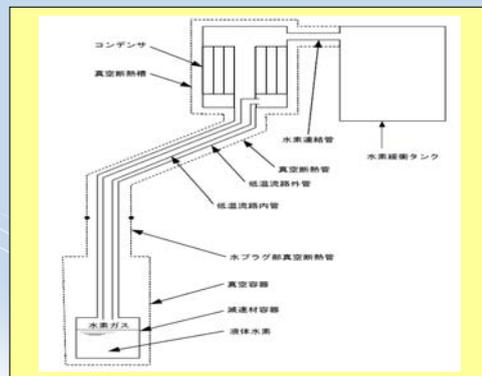
原子炉本体の大きな変更を要さない
安全設備等の主要な既存設備の変更を要さない

冷中性子ビームの高強度化

- ① 高性能減速材容器の開発
容器形状、材質等を変更して効果的に冷中性子を作り出す。
- ② スーパーミラー化
冷中性子導管をスーパーミラー化することにより、効率的に中性子を輸送する。

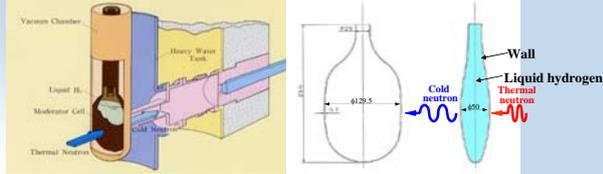


CNS概念図



現在の減速材容器

形状:水筒型
 材質:ステンレス鋼(A286)
 容器壁厚さ:0.8 mm
 減速材:液体水素
 水素厚さ:最大50 mm
 最高使用圧力:0.45 MPa
 最高使用温度:425 °C
 冷中性子束: 1.5×10^9 n/cm²/sec(導管始点)



高性能減速材容器開発のポイント

- 中性子利得
 - 核発熱量・温度
 - 冷却能力
 - 無冷却運転時の温度
 - ヘリウム冷却器トリップ時の温度
- 容器内の水素の循環・貯溜性
 - サーモサイフォンによる冷却条件
- 構造強度
 - 耐圧強度
 - 耐震設計
- 高速中性子による照射の影響
- 既設配管との接続

最適な形状及び材料の選定

高性能減速材容器の形状(1)

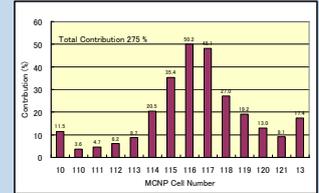
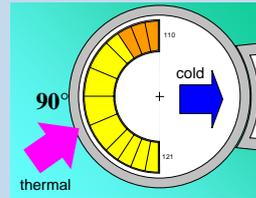
既存の水筒形容器
 •最適な水素厚さの領域が狭い
 •垂直方向に入射する熱中性子が無駄



船底形容器
 •最適な水素厚さの領域を広くする。
 •ビーム取出孔に対して凹面にして1方向への指向性を持たせる。
 •垂直方向から入射してくる熱中性子を冷中性子へ変換する。



高性能減速材容器の形状(2)



(10は容器上部、13は容器下部を示す。)

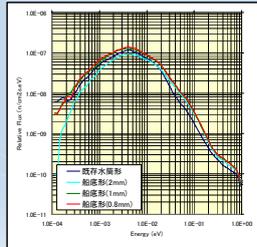
胴部を細かく分割し、各部位の寄与を定量的に検討
 ➢ 容器中央に比べ端部からの寄与は小さい
 ➢ 重水に面している下部の寄与は上部より大きい

容器端部を削ることで、冷中性子をあまり減少させることなく、発熱量を抑えることが可能

高性能減速材容器の形状(3)

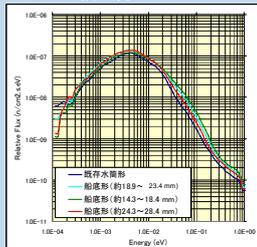
容器壁厚さの効果

➢ 容器壁の厚さを薄くすることで利得は大きくなる
 ➢ 同じ容器壁の厚さ(0.8mm)では、船底形のほうが利得は大きい



液体水素厚さの効果

➢ 液体水素の厚さを約20mmより厚くしてもあまり変化はみられない
 ➢ 液体水素のポイドの影響を考慮すると最適な厚さは20mm~25mmの領域である



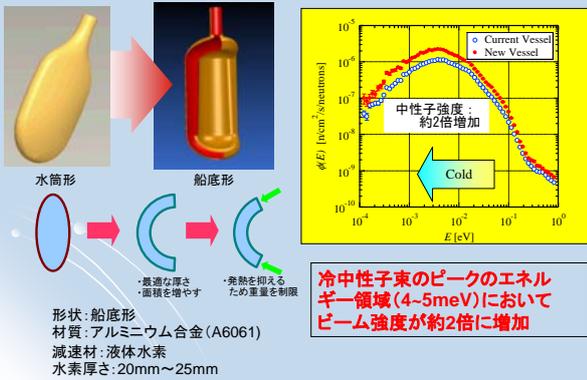
* 相対利得は冷中性子束のピーク(4~5meV)の比較とする

高性能減速材容器の材料

	ステンレス鋼	アルミニウム合金	備考
中性子利得	×	○	Alのほうが吸収断面積が小さい
発熱量	×	○	0.43 W/g (SUS) 0.25 W/g (Al)
輻射条件	保温	×	輻射率: 0.62 (SUS)
	冷却	○	0.055 (Al)
無冷却運転	○	×	Alでは無冷却運転は困難
サーモサイフォン条件	×	○	
配管との接続	○	×	既設配管はステンレス鋼

ステンレス鋼 → アルミニウム合金

高性能減速材容器の中性子利得



高性能減速材容器の構造強度

強度評価方法

評価基準は「試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準」(平成15年)を準用し、評価するものとする。

最高使用条件で評価
最高使用温度：100℃
最高使用圧力：0.45MPa

力 (MPa)	温度 (℃)	-269~40	75	100
設計引張強さ (Su)		294	267	269
設計降伏点 (Sy)		245	237	232
設計応力強さ (Sm)		98	98	96
許容引張応力 (S)		74	73	72

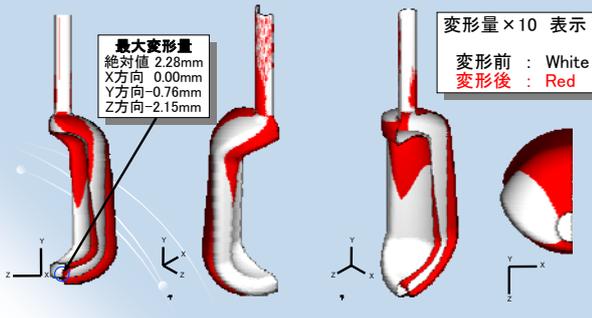
第3種機器の基準 (1/4体系 解析による方法)

- 1) 一次局部膜応力 $\leq 1.5S = 108\text{MPa}$
- 2) 一次+二次応力 $\leq 3Sm = 294\text{MPa}$

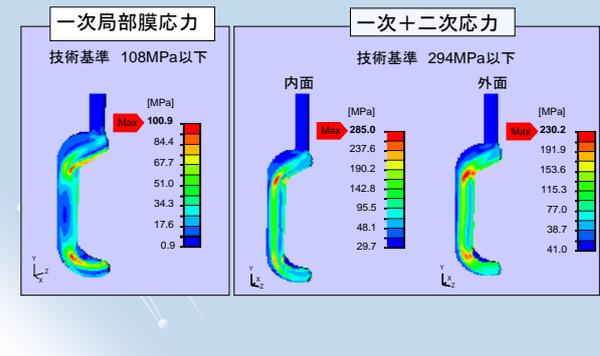
※ただし、同基準では軸対称性のある形状を基本としており、本容器のような複雑な形状に適用できない。

内圧荷重時の変形量

最大内圧荷重 0.45MPa



内圧荷重時発生応力分布



耐圧試験

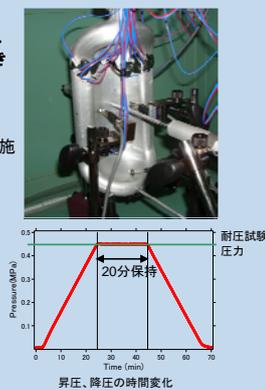
技術基準では軸対称性のある形状を基本としており、本容器のような複雑な形状に適用できない。

実機と同様の試験体を作製し、耐圧試験を実施

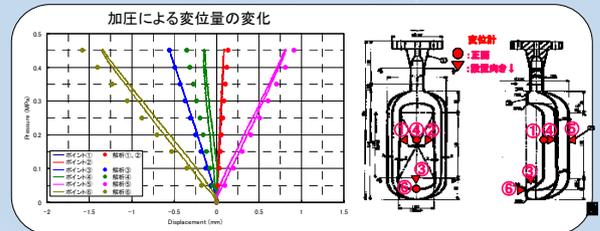
試験条件
加圧量：内圧0.45 MPa(水圧)
測定量：変位量(6点)
歪み量(7点)

試験手順

1. 昇圧は20分かけて0.45MPaへ。
2. 20分0.45MPaを保持する。
3. 20分かけて0.0MPaへ。



耐圧試験の結果



強度評価の結果

容器の変形挙動は、容器下部が後方に移動し、上側部が内側に変形した。これは、内圧0.45MPa条件下で解析した結果と一致している。
変位は圧力開放後、初期値に戻っており、弾性変形であった。解析においても弾性範囲内の変化であった。

原子炉構造の技術基準上問題ない事が確認された。

まとめ及び今後の課題

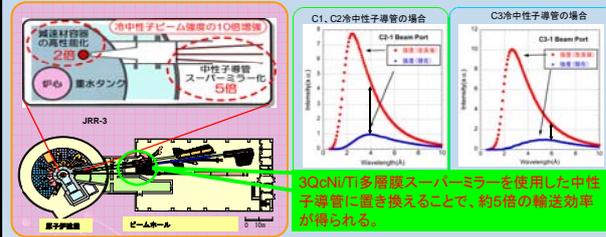
- ▶減速材容器の形状を船底形、材質をアルミニウム合金に変更することで、主要な既存設備の変更することなく約2倍の冷中性子束が得られる。
- ▶船底形容器の構造強度を研究炉技術基準を準用して評価した結果、十分な強度が保たれることを確認した。



設工認申請に必要なデータの収集

- ▶耐久試験を実施し、繰返し応力について評価する。
- ▶破壊試験を実施し、座屈及び破壊圧力を確認する。
- ▶ヘリウム冷凍機トリップ時の容器の健全性を評価する。
- ▶可視化流動試験を実施し、サーモサイフォンによる液体水素の循環及び貯溜性を確認する。

今後の展望



SiC/SiC多層膜スーパーミラーを使用した中性子導管に置き換えることで、約5倍の輸送効率が得られる。

減速材容器及び中性子導管の高性能化により冷中性子ビーム強度を約10倍増強



測定時間の短縮化を進め、ビーム実験申し込み数に対して割り当てられるマシンタイムの慢性的な不足状況を緩和する。