

平成13年12月11日

核燃料サイクル開発機構
理事長 都甲 泰正 殿

原子力安全・保安院
新型炉等規制課長 渡辺 格
NISA-171d-01-3

高速増殖原型炉もんじゅの
蒸気発生器計装等の設置許可申請書への記載について

もんじゅについては、伝熱管破損による水漏えい対策を考慮し、蒸気発生器計装として、伝熱管破損を検出するために、カバーガス圧力計及び圧力開放板開放検出器を設け、これらの信号により、内部保有水・蒸気の急速なブロー等の自動操作が行われることとされており、当初の設置許可申請に際して、その旨が明らかにされていたところです。

しかしながら、下記の理由によりカバーガス圧力計等の位置付けを一層明確化することが適当と考えられることから、原子力安全・保安院(以下「当院」という。)は、設置許可申請書本文の「蒸気発生器計装」と記載されている部分を「カバーガス圧力計等の蒸気発生器計装」と明記するとともに、併せて、その他の蒸気発生器伝熱管破損時の影響緩和に関係する設備について当該申請書の添付書類に追記するよう貴機構に対して求めます。

記

平成7年に発生した2次系ナトリウム漏えい事故を受けて、平成8年から平成10年にかけて行われた旧科学技術庁の安全性総点検においては、伝熱管破損に伴う高温ラプチャの可能性についても検討が行われ、安全性総点検報告書(平成10年3月)において伝熱管が高温ラプチャによって破損伝播することはないとしているものの、今後とも検討する必要がある旨が示された。

これを踏まえ、貴機構において検討を行った結果が当院に報告され、当院として説明を聴取しその内容を検討したところ、カバーガス圧力計での初期水リークの検出による場合は、高温ラプチャが発生する判断基準を下まわる結果となっているものの、圧力開放板開放検出器での検出による場合は、判断基準を上まわる結果と評価された。

したがって、当院としては、もんじゅに当初から設置されている蒸気発生器計装のうちカバーガス圧力計による初期水リークの確実な検出が高温ラプチャ発生防止のうえで重要と判断するものであり、もんじゅの安全性総点検報告への対応の一環として、この点を念のため設置許可申請書において明確にすることが適当と判断した。

1. 蒸気発生器の伝熱管における高温ラプチャ

- (1) 蒸気発生器の伝熱管から水が漏えいした場合には、水とナトリウムが反応して水素や酸化ナトリウム等の反応生成物が生成するとともに、反応熱が発生する。
- (2) 化学的に活性な高温の反応生成物と水リークジェットによる化学的・機械的作用によって伝熱管の肉厚が減少し二次的な破損が生じることがあり、これを「ウェステージ型」破損*と呼んでいる。
- (3) これに対して、反応熱によって近接の伝熱管が高温域に包まれナトリウム側からの入熱量が上昇することによって、伝熱管の温度が急激に上昇し強度が低下して二次的な破損が生じることを「高温ラプチャ型」破損*と呼んでいる。

2. 原子力安全・保安院が「更に検討を加える必要がある事項」としてサイクル機構に伝えた内容等

平成13年7月に提出された報告書に関し、更に検討を加える必要があるとして原子力安全・保安院がサイクル機構に伝えた事項は、伝熱管肉厚の設定、伝熱管内水・蒸気による除熱（膜沸騰*の発生による伝熱管の温度上昇）。（参考図1 参照）

参考： 伝熱管肉厚：核燃料サイクル開発機構は既に「もんじゅ」に実装されている伝熱管肉厚の実測値を統計的に処理した値「4mm」を用いていたが、原子力安全・保安院としては、

- ・ 詳細設計段階では「最小肉厚 3.5mm」を基準としていたこと
 - ・ 現実に「3.6mm」の箇所があること
- から、3.5mm をもとにして検討するよう指示した。

伝熱管から水・蒸気への熱伝達率：核燃料サイクル開発機構の当初の解析では、膜沸騰発生時の熱伝達率の減少について十分反映されていなかったため、これを考慮し、検討するよう指示した。

3. 新たな解析の結果

サイクル機構は、当院からの指示に基づいて再検討を行った。この再検討においては、上記の2点につき見直すとともに、ナトリウムから伝熱管への熱の入り方に関して、これまで現実に比べて過大な余裕を持つような前提に立っていたものを見直した。(参考図2 参照)

その結果は、11月22日にサイクル機構から当院に対し説明がなされた。それによれば、カバ - ガス圧力計での初期水リークの検出による場合は、高温ラプチャが発生する判断基準を下まわる結果となっているものの、圧力開放板開放検出器での検出による場合は、判断基準を上まわる結果と評価された。

用語の解説

高温ラプチャ型破損

ナトリウム・水反応による高温の反応熱により周辺の伝熱管の機械的強度が低下し、かつ伝熱管内の水・蒸気の圧力が高い場合に、内圧によって急速に膨れて破裂する現象

ウェステージ型破損

蒸気発生器伝熱管からナトリウム中に噴出した水・蒸気がナトリウムと反応して高温で腐食性のある噴出流となり、周辺の健全な伝熱管を局部的に減肉させ破損させる現象

* なお、上記両破損とも伝播する可能性がある

膜沸騰

水と接する金属が急速に加熱されたときに起こる現象で、接している面付近で局所的に発生した蒸気が、水と金属の間に膜状に広がり、水と金属の接触を阻害して、熱伝達率が急激に小さくなるような沸騰状態

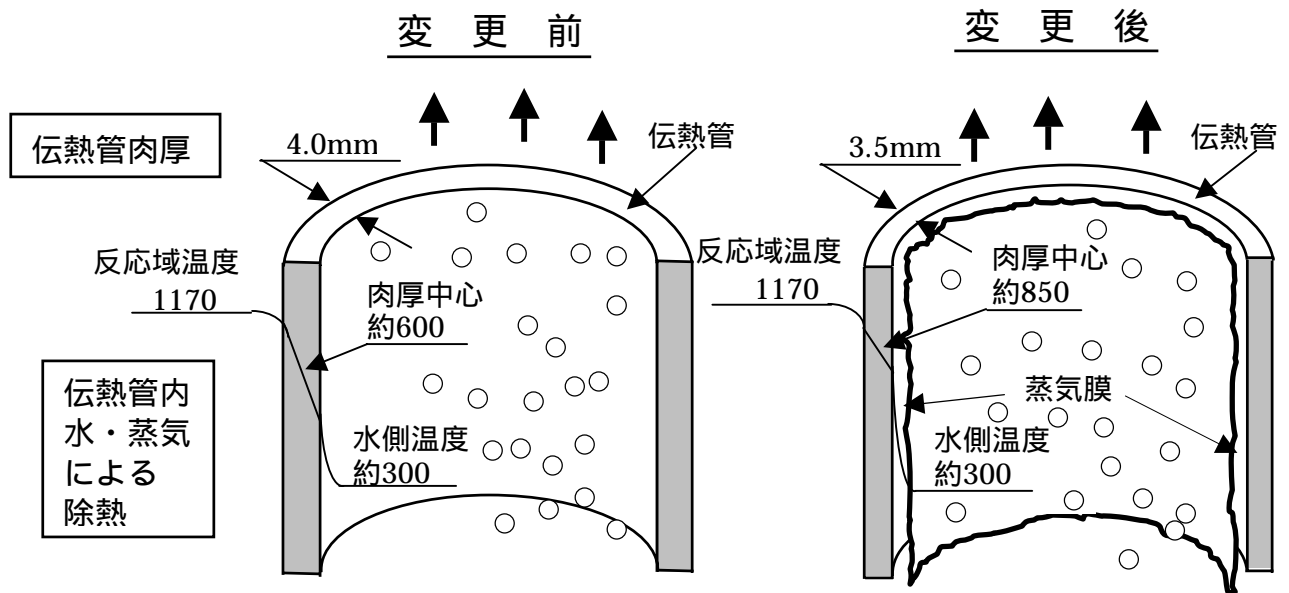
新旧評価手法による「もんじゅ」蒸発器高温ラプチャ解析結果のまとめ（平成13年12月時点）

| 評価手法 | | 旧評価手法 | | | 新評価手法 | | | | | | | | |
|---------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| (パラメータ) | - | 現状設備 | | | 現状設備 | | | | | | 改造設備 | | |
| 伝熱管肉厚 | mm | 4.0 | | | 4.0 | | | 3.5 | | | 3.5 | | |
| 検出器 | - | 圧力開放板 | | | 圧力開放板 | | | カバーガス圧力計 | | | カバーガス圧力計 | | |
| 運転状態 | - | 定格 | 40%給水 | 10%給水 | 定格 | 40%給水 | 10%給水 | 定格 | 40%給水 | 10%給水 | 定格 | 40%給水 | 10%給水 |
| 水リーク位置 [*] | - | 管束下部 | 管束下部 | 管束中部 | 管束中部 | 管束中部 | 管束中部 | 管束中部 | 管束中部 | 管束中部 | 管束中部 | 管束下部 | 管束上部 |
| 水ブロー開始時間 | 秒 | 43 | 43 | 54 | 43 | 43 | 54 | 15 | 15 | 18 | 11 | 11 | 14 |
| (Na側条件) | | | | | | | | | | | | | |
| 反応域最高温度 | | 1,170 | 1,170 | 1,110 | 1,170 | 1,170 | 1,110 | 1,170 | 1,170 | 1,110 | 1,170 | 1,170 | 1,110 |
| (解析結果) | | | | | | | | | | | | | |
| 応力/引張強さ | - | 0.83 | 0.77 | 0.82 | 0.81 | 0.93 | 0.88 | 0.88 | 0.97 | 0.81 | 0.86 | 0.77 | 0.77 |
| 累積損傷和 | - | 0.40 | 0.15 | 0.99 | >1 | >1 | >1 | 0.77 | 0.95 | 0.97 | 0.46 | 0.36 | 0.72 |

* : 水リーク位置は結果が最も厳しくなる位置

: 判断基準、この数値が1を超えると解析上、高温ラプチャが発生すると判断される。

参考図1 高温ラプチャ評価の変更概要 1



水側の熱伝達率（最も低い条件での値）

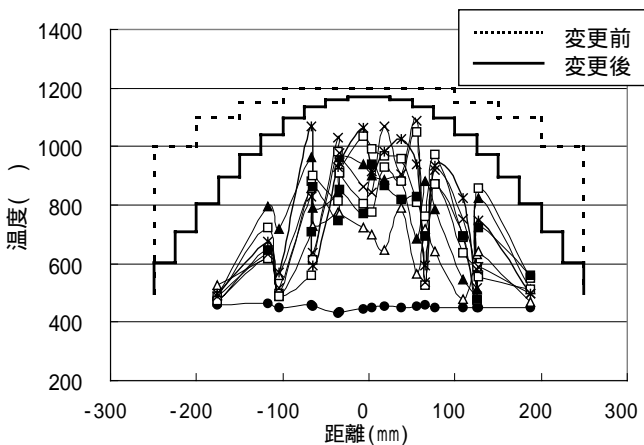
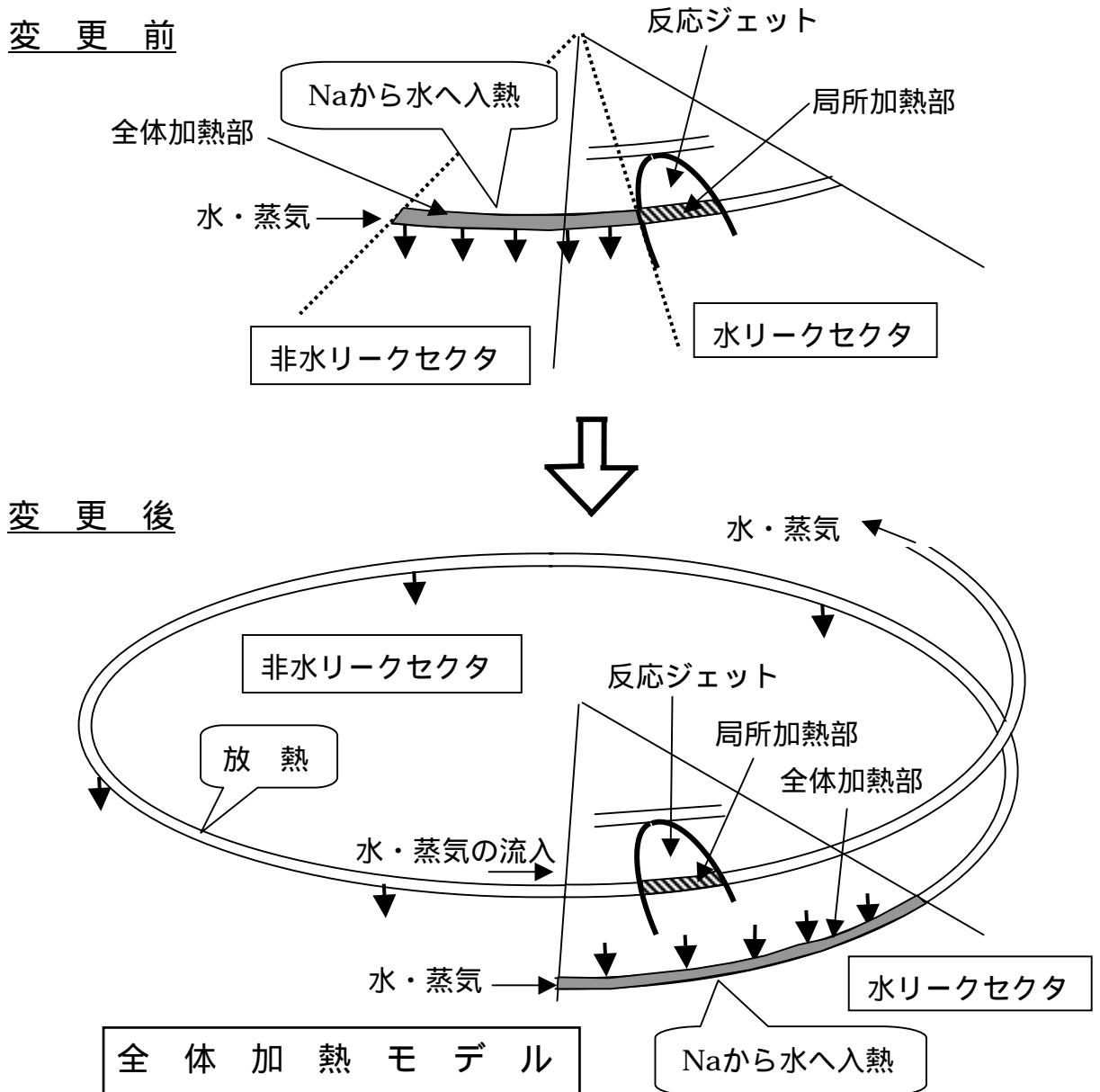
約2200W/m²・K
(通常の伝熱状態)

約600W/m²・K
(膜沸騰時)

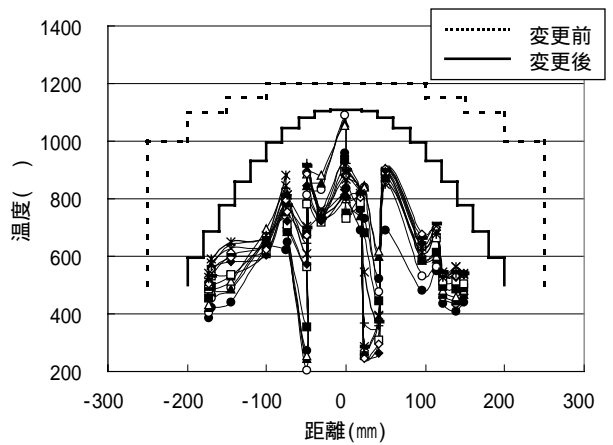
解説

1. 膜沸騰が起こらないという前提で解析すると、熱伝達率が大きく評価され、水・蒸気による伝熱管の冷却作用が大きく評価されるので、伝熱管の温度は低く評価される。
2. 伝熱管の温度上昇が小さいと、高温ラプチャ発生の直接要因となる伝熱管材料の強度が落ちないので、高温ラプチャが発生しにくい結果となる。
3. したがって、膜沸騰が起こるという前提で評価した方が、安全側の評価となる。

参考図2 高温ラプチャ評価の変更概要2



反応域モデルと実験温度分布の比較(定格及び40%給水条件)



反応域モデルと実験温度分布の比較(10%給水条件)

局所加熱モデル