

2/4審査会合におけるコメント

コメント①：ABWR水平ベント試験の範囲を超える高蒸気流束下においても、発生する凝縮振動（CO）荷重は設計基準事故時に設定した荷重に包絡されることを示すこと。

コメント②：ABWRのベント管の吹き出し口が3本であることの影響について示すこと。

【コメント①に関する議論】

- ABWR水平ベント確認試験の範囲を超える高蒸気流束下での荷重について、実機と体系の異なる試験の結果を参照して、高蒸気流束では蒸気流束の増加に伴い荷重は横ばい又は低下することをお示した。
例) SRVストレートパイプの試験において、高蒸気流束では流束の増加に伴い横ばい又は低下する（下図）。
- 以下の2つの理由により、水平ベント確認試験の蒸気流束の上限～FCI時に想定される蒸気流束の最大値（約595kg/s/m²）の全ての範囲において、荷重が増えないことの説明が必要とのコメントを受けたもの。
 - ✓ 水平ベントのトピカルレポートでは、蒸気流束の低い範囲に対する記載であると推測されるものの、蒸気流束の増加に伴い荷重は増加するとしていること
 - ✓ 蒸気流束の増加に伴い荷重が横ばい又は低下する傾向を示す蒸気流束の値は体系に依存すると考えられること



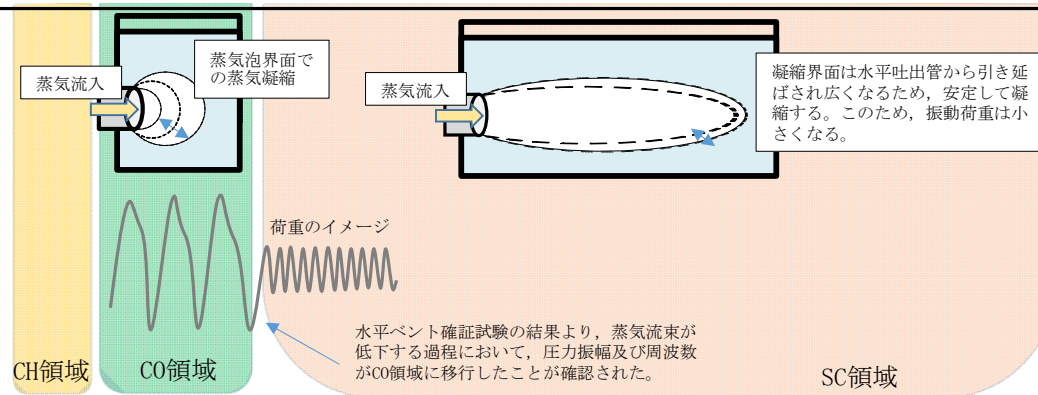
コメント①：ABWR水平ベント試験の範囲を超える高蒸気流束下においても、発生する凝縮振動（CO）荷重は設計基準事故時に設定した荷重に包絡されることを示すこと。

【回答の流れ】

- 一般的な傾向として、凝縮モードが凝縮振動（CO）モードの時に蒸気流束が増加すると凝縮モードは凝縮振動（CO）から安定凝縮（SC）に遷移し、水力的動荷重は小さくなることを示す（1.～3.）。
- ABWR水平ベント試験を参照し、蒸気流束の試験条件の上限付近で凝縮振動の振幅（荷重）が弱まる傾向が確認されていることを示す（4.）。
- 以上により、蒸気流束が試験条件の上限より増加しても荷重は増大しないこと、従ってFCI時の荷重はDBA条件に包絡されることを説明する。
- 上記に加え、DBA荷重そのものも十分な保守性を有していることを述べる（5.）。



今回の回答内容の概念図を右に示す。



コメント①：ABWR水平ベント試験の範囲を超える高蒸気流束下においても、発生する凝縮振動（CO）荷重は設計基準事故時に設定した荷重に包絡されることを示すこと。

【回答】

1. 蒸気凝縮モードと水力学的荷重の関係

プール水中での蒸気の凝縮モードは蒸気流束の増加に伴い、凝縮振動（CO; Condensation oscillation）から安定凝縮（SC; Stable condensation）に遷移し、安定凝縮（SC）モードでは発生する水力学的荷重は凝縮振動（CO）モードに比べ小さくなる。

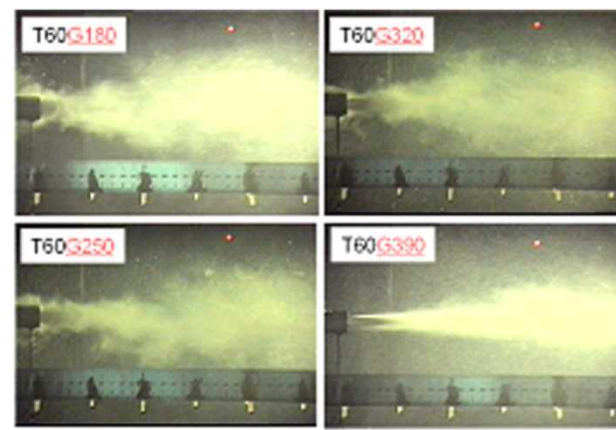
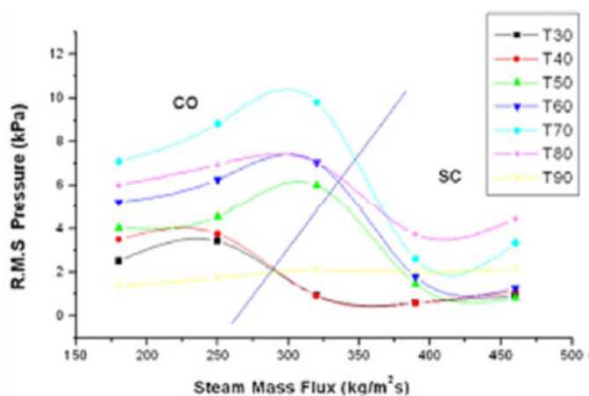


図 1 圧力振幅の蒸気流束依存性 (Songらの実験^[1])

[1] Song et al, “Steam Jet Condensation in a Pool: From Fundamental Understanding to Engineering Scale Analysis,” Journal of Heat Transfer, 2012.

2. 凝縮振動の荷重について

ストレートパイプ型SRV試験結果（左図）^[2]のうち、FCI時にS/Pサブクール度を取る範囲を抜き出し、蒸気流束と荷重値をプール水温毎にプロットすると、高蒸気流束において、蒸気流束の増大に伴い荷重が横ばいに推移又は低下する傾向が認められる（右図）。

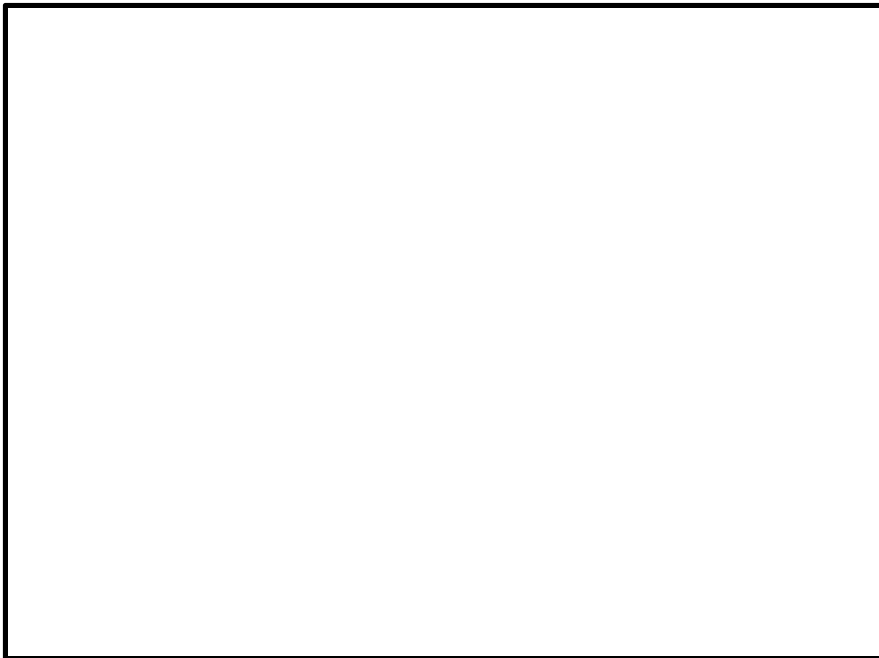


図2 ストレートパイプ型SRV作動時の圧力振動
（横軸：プール水温，縦軸：圧力振幅）

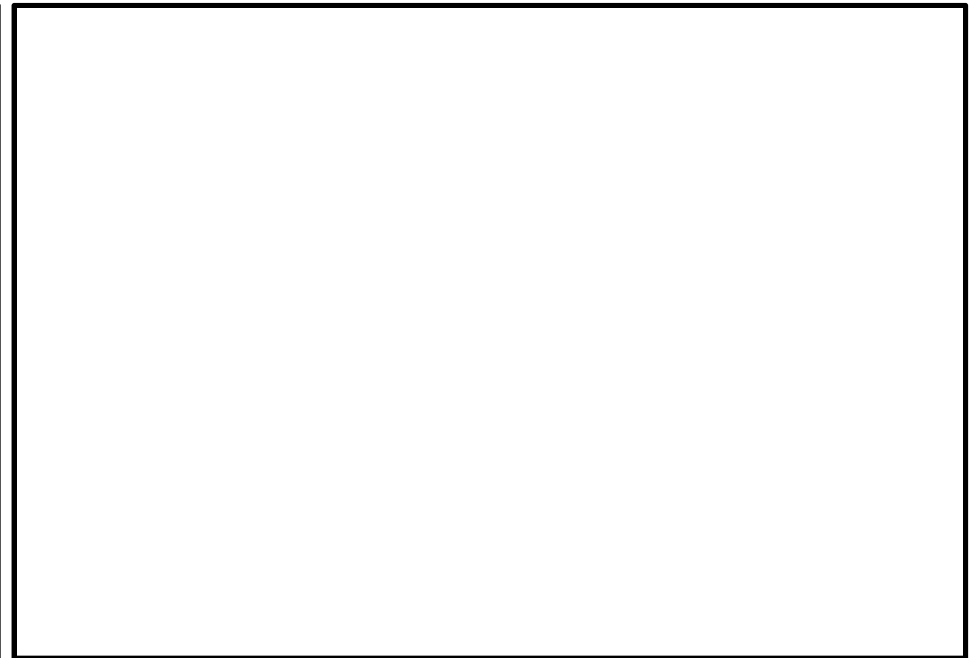


図3 プール水温毎の蒸気流束と圧力振幅の関係
（横軸：蒸気流束，縦軸：圧力振幅）

[2] NEDO-21061, “MARK II CONTAINMENT DYNAMIC FORCING FUNCTIONS INFORMATION REPORT” (proprietary), General Electric Company and Sargent & Lundy Engineers, June 1978

3. 実機で想定される凝縮モードについて

小規模試験^[3]で高蒸気流束における凝縮振動 (CO) と安定凝縮 (SC) の遷移点を確認されており (図4) , 以下の傾向がある。

- 蒸気流束が大きい領域では安定凝縮 (SC) モードをとる。
- 管径の大きい体系ではSC領域が拡大する傾向。

従って, 実機 (ベント管径700mm) でも蒸気凝縮モードは安定凝縮モードとなり, 高蒸気流束で荷重が大きくなることはないと考えられる。

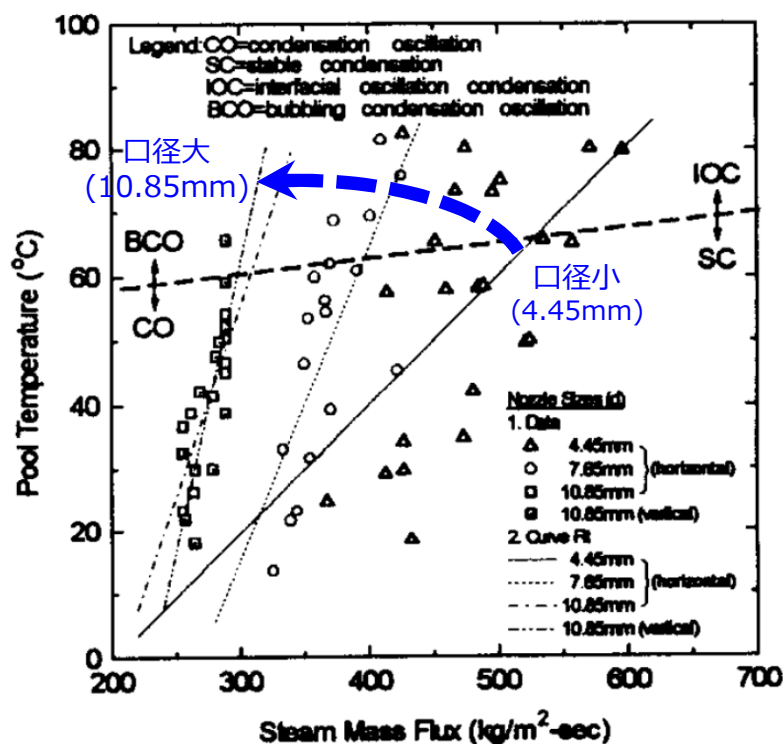


図4 CO/SC遷移領域

[3] Chun, M. H. et al., An Investigation of Direct Condensation of Steam Jet in Subcooled Water, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol.23 (1996)

4. ABWR水平ベント確認試験

- ABWR水平ベント確認試験^[4]では試験開始後、ベント管蒸気流束は単調減少（図5）。
 - プール床面圧力（荷重）は、ベント管蒸気流束が最も高い初期ではなく、若干低下した^[4]秒後程度でCO振巾が増大を開始（図6）。
- ⇒ 蒸気流束の試験範囲上限近くでは、すでに蒸気流束の増加に伴い荷重が弱まる傾向が確認されており、蒸気流束がこれより大きい領域においても荷重は増大することはない。したがってFCI時の荷重も既往のDBA条件に包絡される。

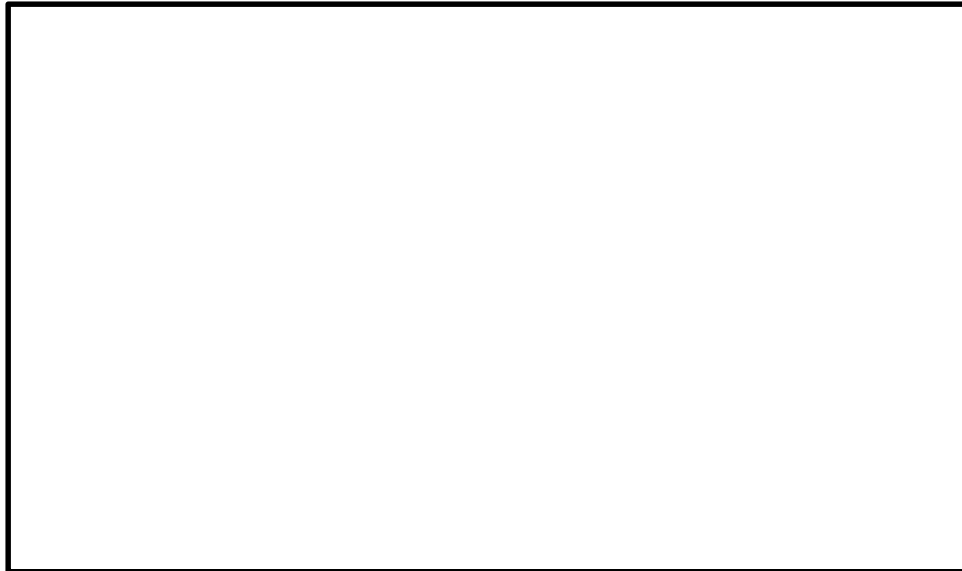


図5 SST-4の蒸気流束の変化

[4] NEDC-31393, “CONTAINMENT HORIZONTAL VENT CONFIRMATORY TEST, PART I FINAL REPORT”, GENERAL ELECTRIC COMPANY, March, 1987 共同研究報告書



図6 SST-4の圧力変化

5. ABWRのDBA荷重の保守性

- ABWR水平ベント試験の実規模試験と1/2.5サブスケール試験の比較から蒸气流束が同程度であれば荷重の大きさは同程度となる。
 - しかしながら、ABWRのDBA荷重の設定では、1/2.5サブスケール試験で得られたソース荷重の大きさに保守的に2.5倍を乗じている。
 - 結果として、ABWRのCO荷重は、フルスケール試験に基づき設定されたMark II 型格納容器の荷重値に比べ相対的に厳しい荷重値。
- ⇒ 4.までにFCI時の荷重がDBA荷重に包絡されることを示したが、これに加えDBA荷重そのものも十分な保守性を有している。

表1 DBAの水力学的荷重の比較

型式	試験及びスケール	荷重値
Mark II 改	旧原研CRT(フルスケール)	
ABWR	水平ベント確認試験(サブスケール) (フルスケール)	

コメント②：ABWRのベント管の吹き出し口が3本であることの影響について示すこと。

【回答】

Mark-III型格納容器のための水平ベント管試験（Pressure Suppression Test Facility : PSTF）では図7のような3列（各列3段）のベント管を有する体系でプール内に隔壁を設けた時（1セル+2セル），2セルの荷重は1セル領域を概ね下回った^[5]。

⇒ 複数のベント管の振動が非同期性により打ち消しあうことが原因であり，実機においても発生する荷重は1本相当以下となる。

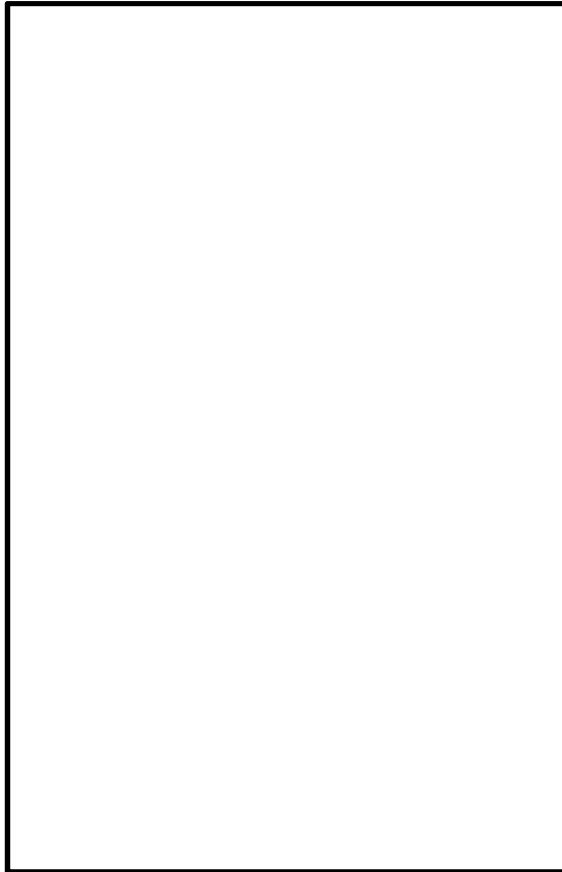


図7 PSTF試験体系

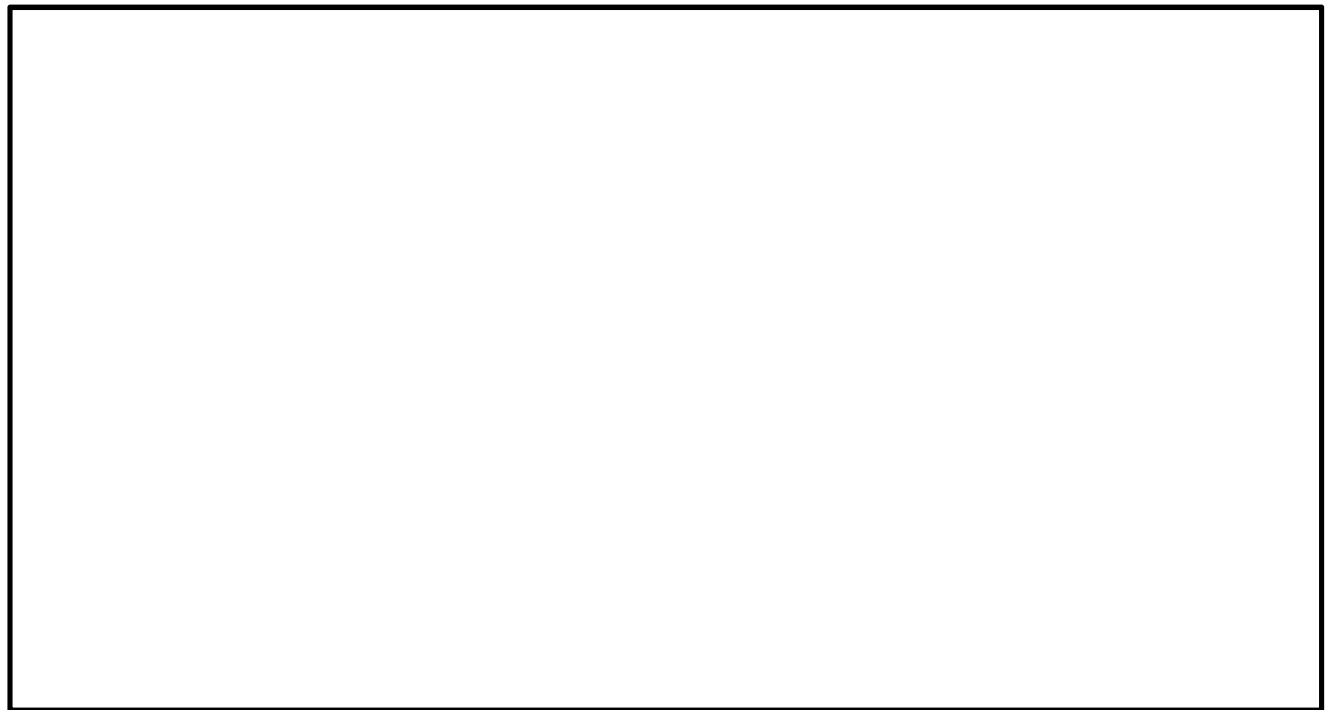


図8 単一ベント管と他ベント管の荷重の比較

[5] 1/9 Area Scale Multicell Condensation and Stratification, General Electric, 1980.

コメント①回答の補足（1/2）

補足. SST-4の初期の圧力振動について

- SST-4では、試験開始 sの間で比較的大きな圧力振動が観察されている。
- このような試験初期の振動はプリパーシケースのみで観察されており、特有の振動と考える。
- MarkII体系の試験である旧原研のCRTにおいても、同様にプリパーシケースのみで試験初期の振動が観察されている。
- BWRの格納容器は窒素置換により不活性化されており、プリパーシケースのような状態にはならないことから実機で生じるものではない。



図6 SST-4の圧力変化（再掲）



補足図 SST-1の圧力変化

コメント①回答の補足 (2/2)



表 SSTの試験ケース

試験ケース	破断の種類	ベンチュリ径 (インチ)	プリパージ *	PCV圧力 (psig)	プール温度 (F°)	目的	
SST-1	液相	2.5	なし	0	120	CO荷重の設定	
SST-2					70	プール水温の影響確認	
SST-3			あり		20	120	背圧の影響確認
SST-4					33		
SST-5		1.75	あり	20	120	スケール則の確認	
SST-6							
SST-7							
SST-8		気相	2.125	なし	0	130	気相破断
SST-9	液相	2.5	0		120	下部D/Wなしの影響確認	
SST-10		1.75	0			中規模破断	
SST-11	気相	2.125	あり		0	70	プール水温の影響確認
SST-12					20	130	空気の影響確認
SST-13							
SST-14							

* :試験開始前にPCV内を蒸気置換すること