



JY-95-5

# 機械的エネルギー発生に係る不確かさ

2021年11月9日

日本原子力研究開発機構 大洗研究所  
高速実験炉部

- 評価指標のどちらかに「H」又は「M」のある現象を重要現象として S I M M E R の検証と「常陽」解析への適用性を検討する対象とする。
- 評価の結果、(2) 燃料からスチールへの熱移行、(3) 炉心上部構造による熱及び圧力損失、(5) FCI、(6) 蒸気泡の成長が重要現象として抽出された。

物理現象	評価指標
	機械的エネルギー
(1) 炉心圧力の平坦化	L
(2) 燃料からスチールへの熱移行	H
(3) 炉心上部構造による熱及び圧力損失	H
(4) 炉心上部構造の溶融と炉心物質への混入	L
(5) FCI	H
(6) 蒸気泡の成長	H

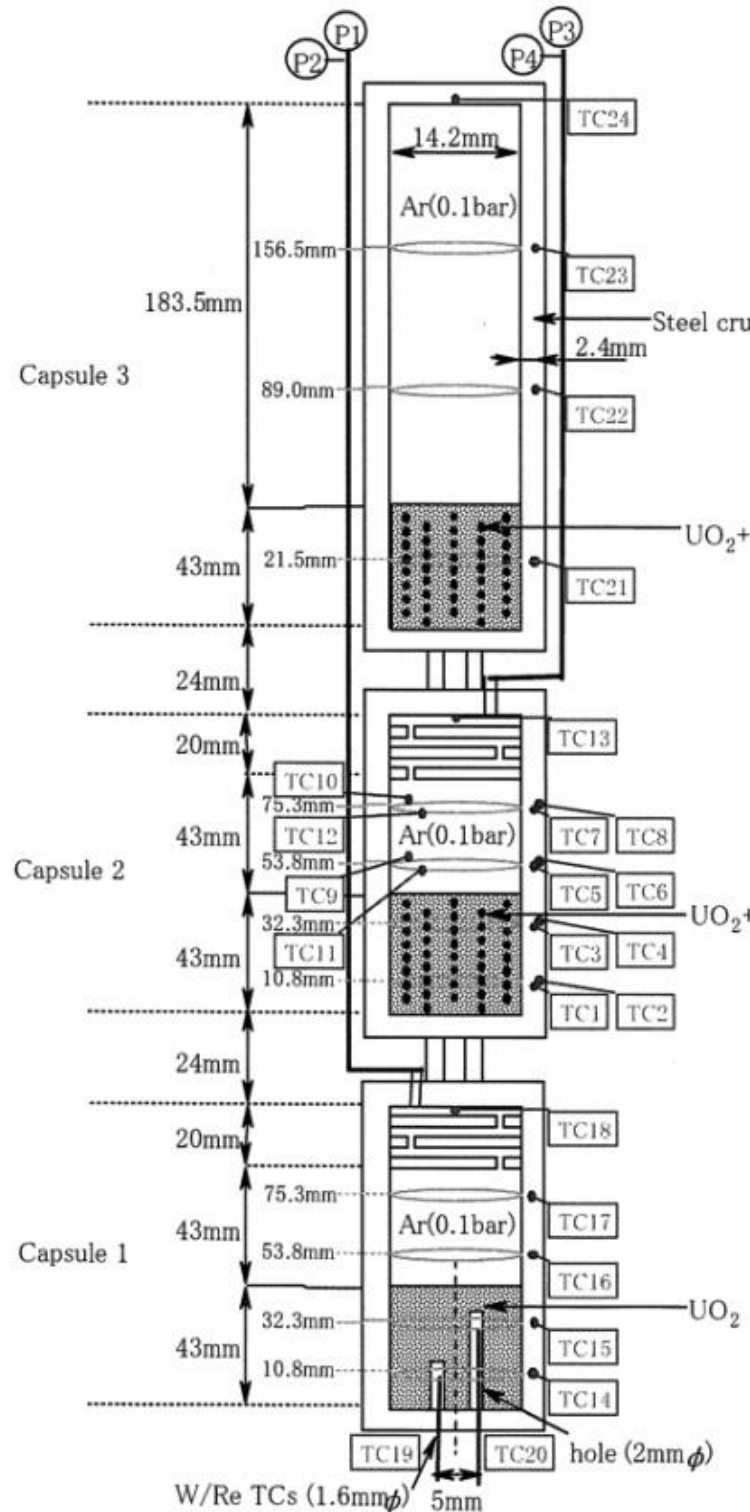
重要現象	検証解析	SIMMERの解析モデル					
		多成分流動	流動様式及び境界面積	運動量交換	熱及び質量移行	構造材	空間依存動特性
燃料からスチールへの熱移行	CABRI TP-A2試験解析		○		○		
炉心上部構造による熱及び圧力損失	VECTORS試験解析	○	○	○	○	○	
FCI	THINA拳動試験解析	○	○	○	○		
蒸気泡の成長	OMEGA試験解析	○	○	○	○		

# 機械的エネルギー発生挙動に関する検証解析 (1/3)

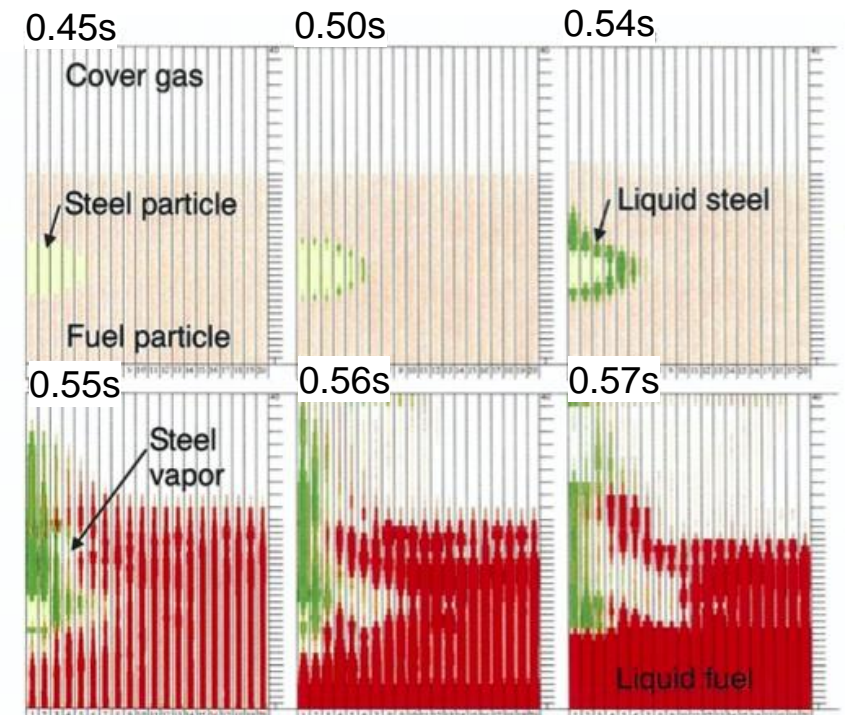
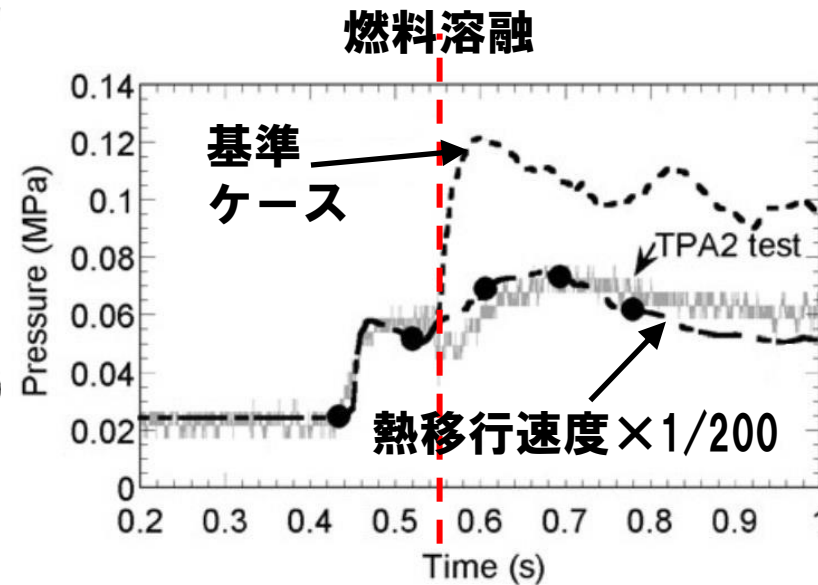
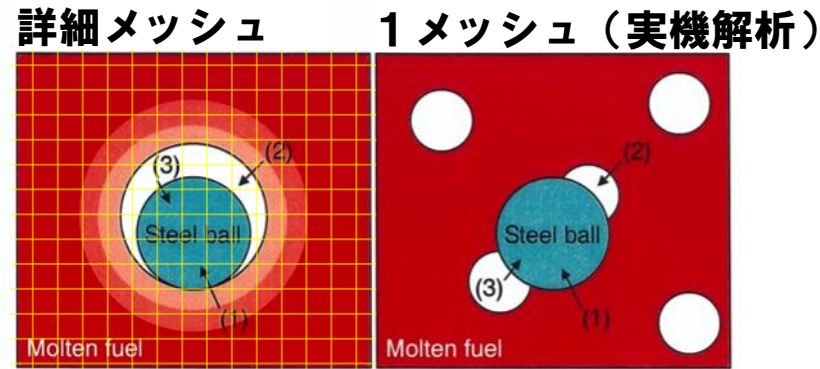
## —燃料からスチールへの熱移行：CABRI TP-A2試験解析—

### ■ 試験と解析結果の概要

ステンレス球を含む燃料ペレットを核加熱により溶融し、発生するスチール蒸気圧を測定した。



### SIMMER-IIIによる試験解析



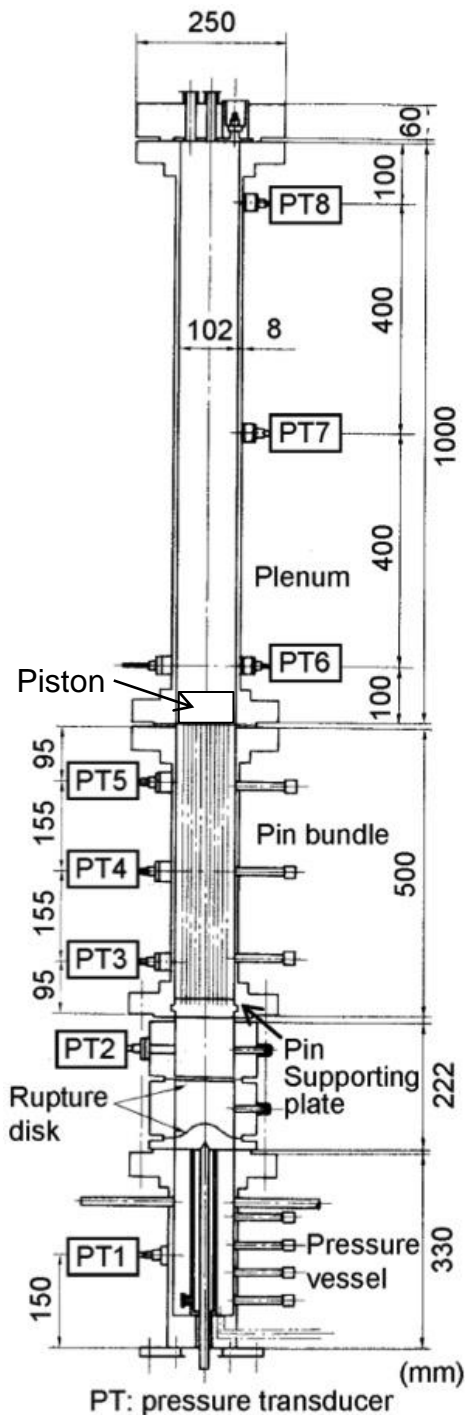
詳細メッシュを用いた単一スチール球のSIMMER-IIIによる解析結果

ステンレスの膜沸騰温度には達しないが、ステンレスの蒸気がステンレス液滴を覆うことで、溶融燃料からステンレスへの実効的な熱移行速度は約1/200程度に抑制される。

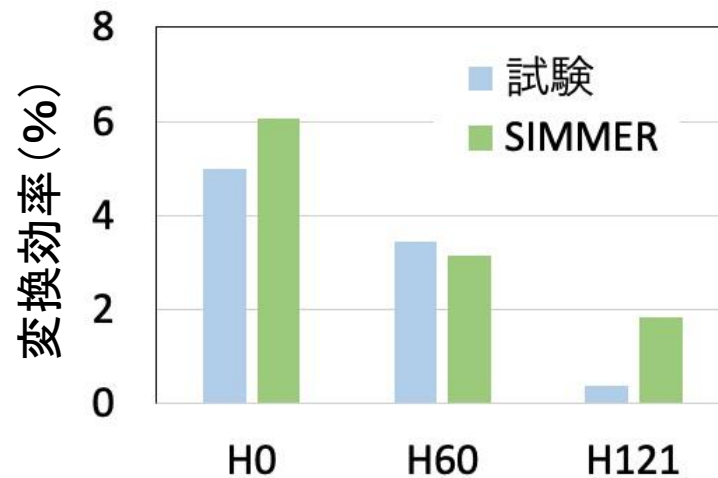
## —炉心上部構造による熱及び圧力損失：VECTORS試験解析—

### ■ 試験と解析結果の概要

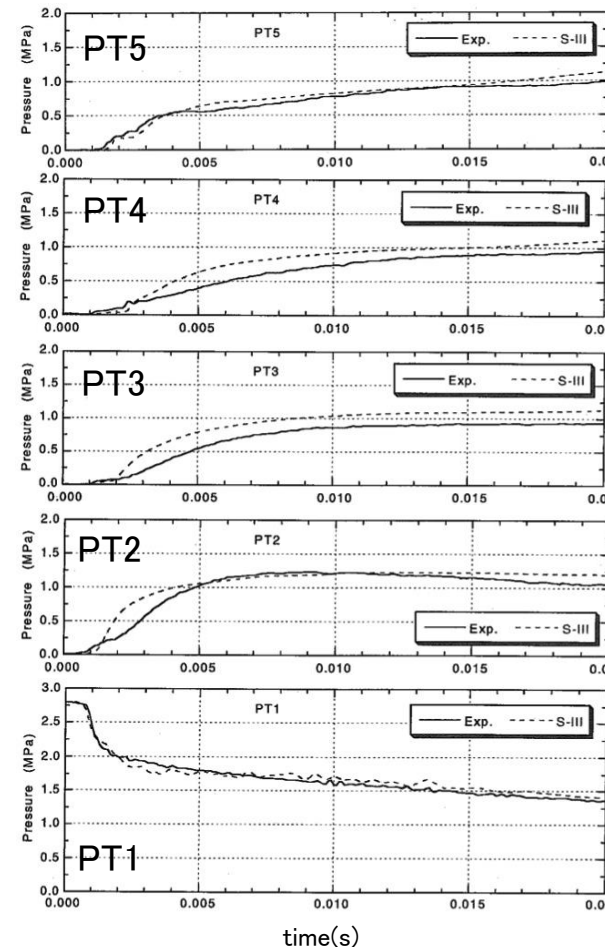
VECTORS試験は高温の水と水蒸気の混合物をピン束を模擬した流路の下部から放出し、ピン束の流動抵抗と熱損失による圧力損失、エネルギー損失を模擬した試験である。ピン束の出口に置かれた重さ約80gのピストンの運動エネルギーへの変換効率も測定された。



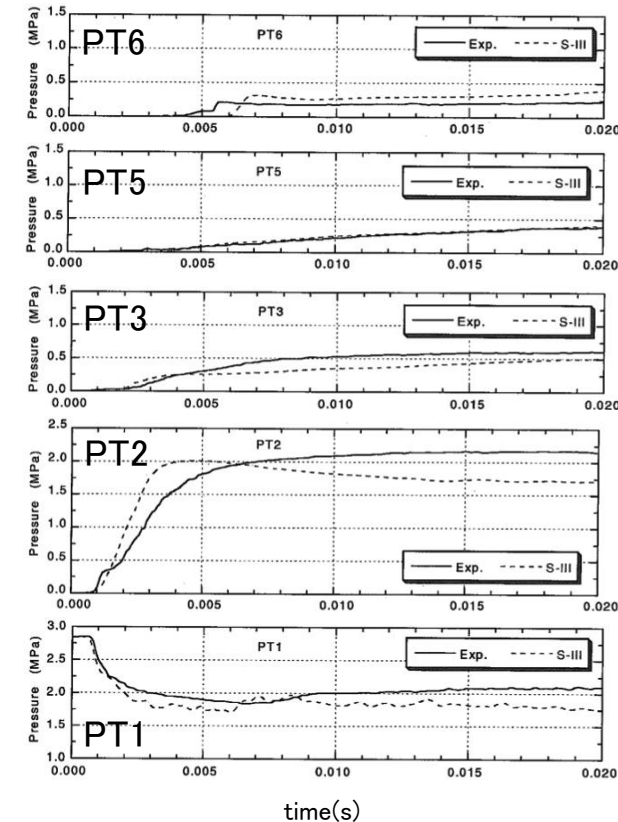
ケース	ピン本数	圧力 (MPa)	温度 (°C)
H0	0	2.994	234
H60	60	2.849	231
H121	121	2.849	231



大気圧までの等エントロピー膨張ポテンシャルに対する機械的エネルギー変換効率



H0ケース圧力変化



H60ケース圧力変化

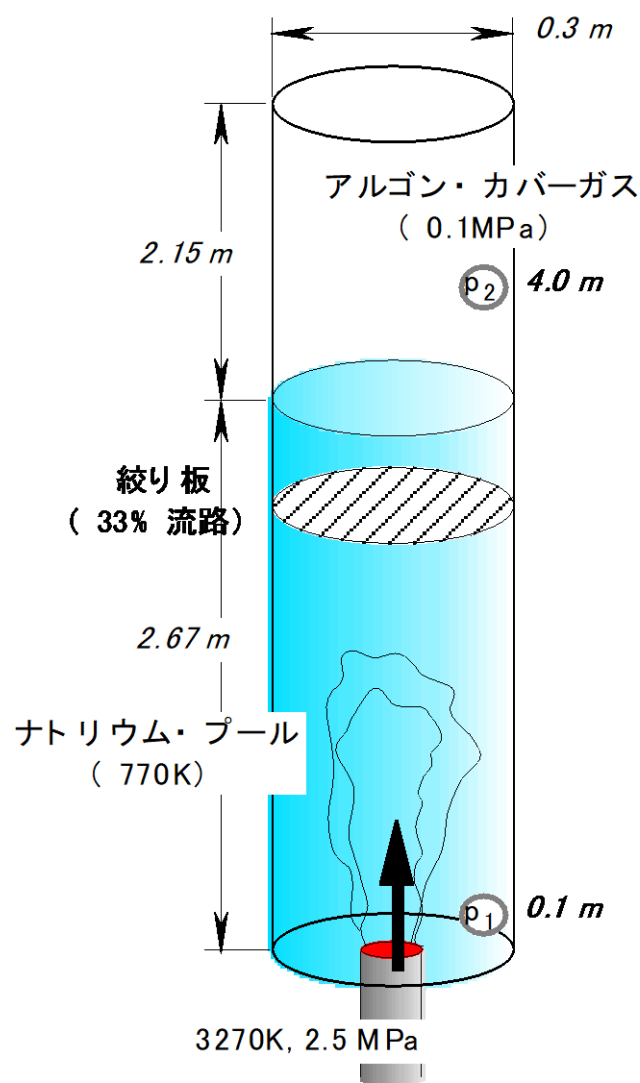
# 重要現象の検証解析 (3/8)

## —燃料—冷却材相互作用 (FCI) : THINA試験解析—

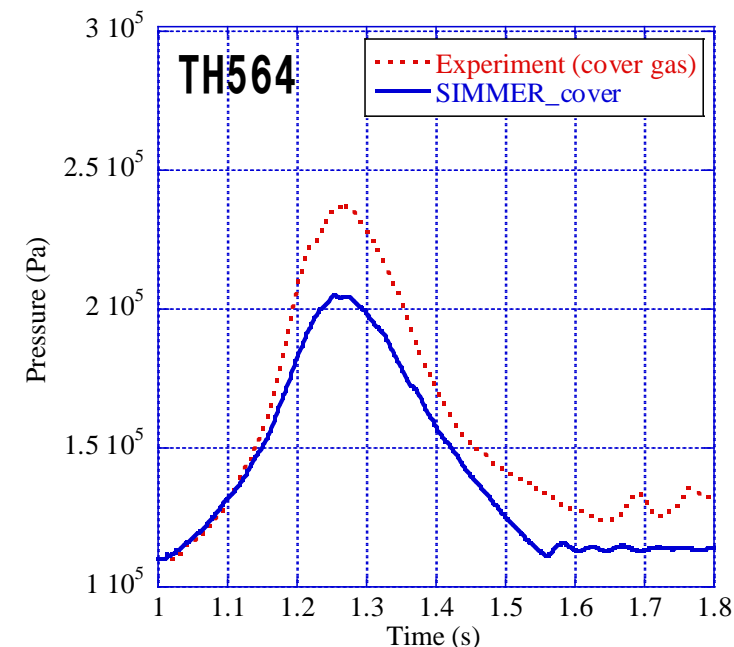
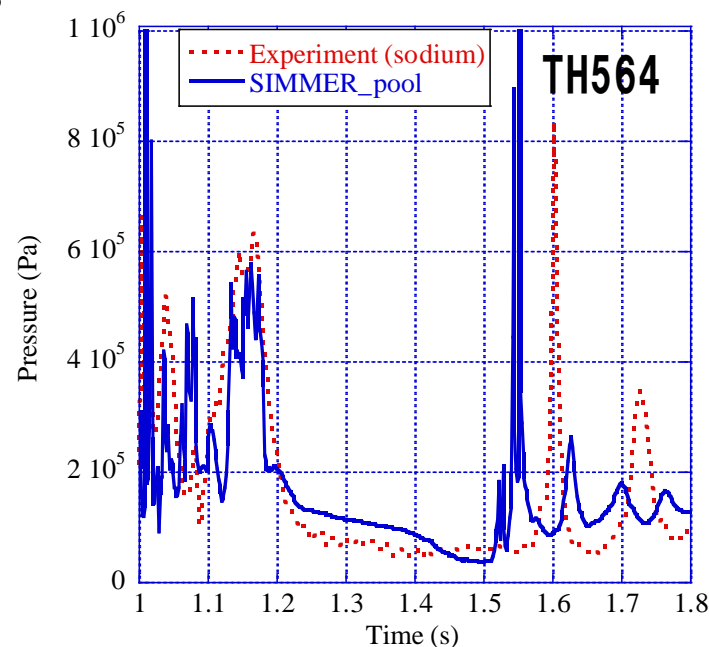
### ■ 試験と解析結果の概要

テルミット反応で生成した高温融体 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ とFeとの混合溶融物) をナトリウムプール中に下方から噴出させることでFCIを模擬した炉外試験である。

### THINA 試験解析



	溶融鉄	アルミナ
TH564	4.2kg	1.3kg
TH562	2.0kg	3.1kg



ナトリウムプールの圧力 (左) とカバーガス圧 (右) の時間変化

カバーガス圧が実験値の方が高くなっているのは、サーマイトと共に非凝縮性ガスが流入したことの影響であると推定

FCIに駆動されるスロッシング挙動が燃料凝集を引き起こして、評価指標である炉心平均燃料温度に影響を与える。

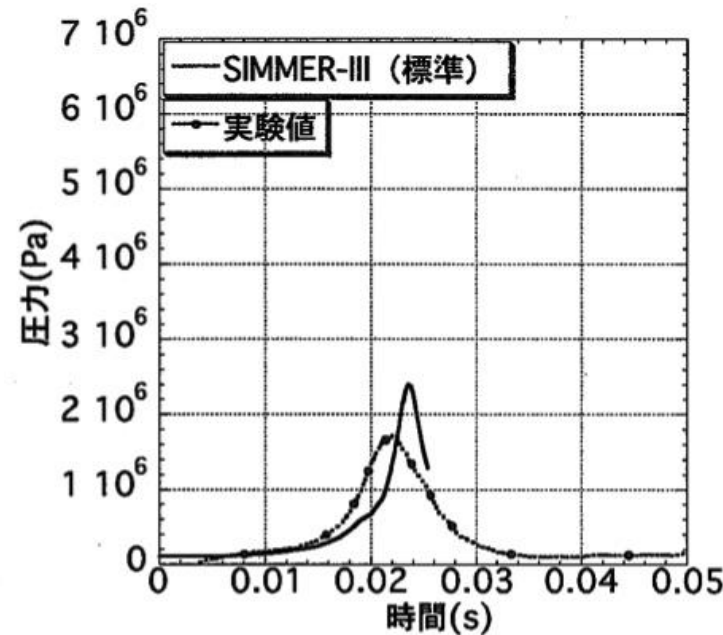
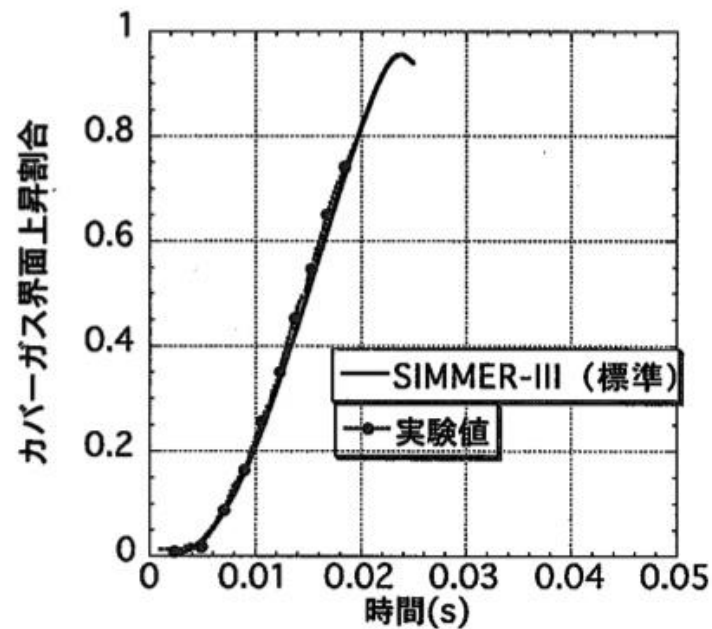
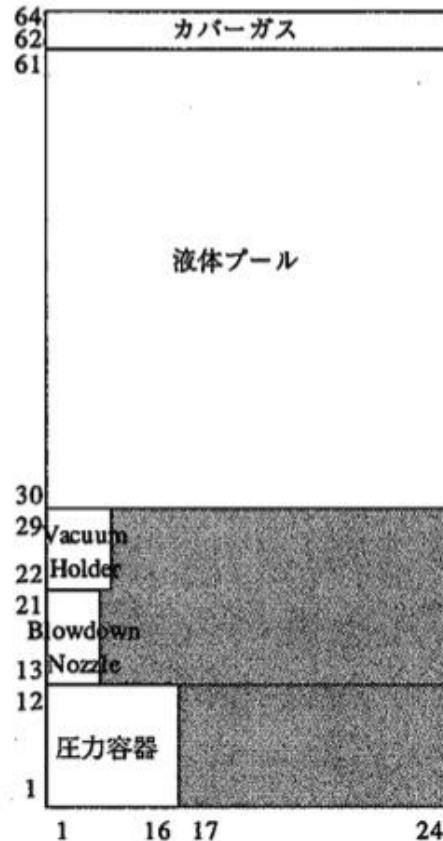
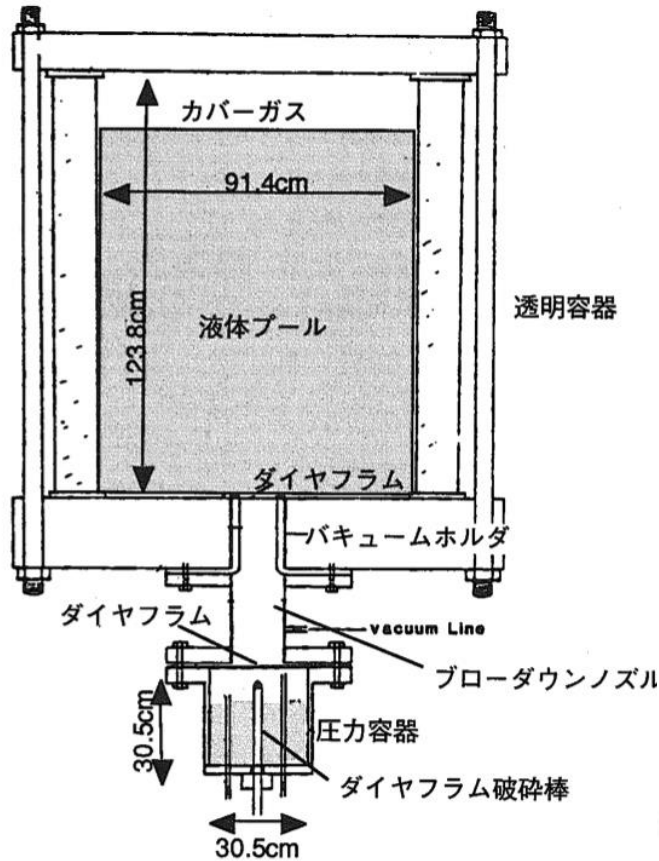
解析結果は圧力のピーク値と発生時刻をよく再現している。THINA試験は高速炉の炉心損傷事故で発生する温度条件と冷却材条件を模擬したものであり、圧力発生挙動を適切に解析できていることから、実機解析への適用性を有すると判断した。

THINA試験は、高温 (約3300K) の融体をナトリウムプールの底面から噴出させてFCIを発生させ、ナトリウム蒸気泡の成長によってカバーガスを圧縮するという、高速炉の機械的エネルギー発生過程の高い模擬性を有する試験である。SIMMERコードはこの試験結果を適切に再現することから、SIMMERコードを機械的エネルギー発生挙動に適用する際の、FCIに係る不確かさは小さいと判断出来る。

— 蒸気泡の成長：OMEGA試験解析 —

■ 試験と解析結果の概要

OMEGA試験は高温の水と水蒸気の混合物を水プールの下部から放出し、蒸気泡の成長とカバーガスの圧縮挙動を模擬した試験である。



IV-12試験 (2.136MPa, 215°C、蒸気体積率16.7%) 解析結果

OMEGA試験装置概略図 [1]

S I M M E R - I I I 解析体系

カバーガス界面の上昇挙動、即ち蒸気泡の成長挙動は実験と良く一致している。

カバーガス圧力の時間変化はS I M M E R - I I I が過大評価している。これはカバーガスのプール液面への熱損失の違いによるものであるが、圧力過渡のピーク値を大きく評価するため、機械的負荷の評価の観点からは保守側である。

[1] : D. Simpson, et al., PNE-81-151, Purdue Univ. 1980.

# ULOFの格納容器破損防止措置の有効性評価 機械的応答過程解析の解析条件

## 解析条件

- 本解析の基本ケースでは、遷移過程の基本ケースにおいて炉心平均燃料温度が最大となる時点の炉心の物質及び温度配位を用いる。
- ULOFの機械的エネルギー発生に至る事象推移において考慮すべき不確かさ
  - 遷移過程までの事象推移における再臨界による熱エネルギー発生の不確かさ
    - 遷移過程における不確かさ影響評価ケースの炉心状態を初期状態とする
  - 燃料からスチールへの熱移行
    - CABRI TP-A2試験解析でSIMMERは200倍過大評価することが示されているため、熱移行速度を1/200倍としてその影響を評価する。
  - 炉心上部構造（UCS）による熱及び圧力損失
  - 蒸気泡の成長
    - VECTORS、OMEGA試験解析においてモデルの基本的な妥当性を確認しているが、これらの試験は模擬物質として水を用いていることから、実機条件への外挿性の不確かさを考慮する。不確かさの考慮としては凝縮量を1/2倍とすれば十分と考えられるが、念のため1/5倍までパラメトリック解析として実施した。
    - 圧力損失（摩擦抵抗）は元から無視している。
- これらの不確かさの影響評価の結果、機械的応答過程に最も大きな影響を持つ不確かさは遷移過程までの事象推移における不確かさ、すなわち解析初期条件としての放出熱エネルギーの大きさである。

		炉心平均燃料温度 (°C)	機械的エネルギー (MJ)
ULOF (i)	基準	約3700	1.7
	UCS凝縮×1/2		2.0
	UCS凝縮×1/5		2.3
	上部プレナム凝縮×1/2		1.9
	上部プレナム凝縮×1/5		2.2
	炉心F-S熱伝達×1/200		1.7
	上部反射体削除		1.9
	不確かさ影響評価ケース		約5110
ULOF (iii)	基準	約4200	2.6
	UCS凝縮×1/2		3.1
	UCS凝縮×1/5		3.3
	上部プレナム凝縮×1/2		2.8
	上部プレナム凝縮×1/5		3.3
	炉心F-S熱伝達×1/200		2.1
	上部反射体削除		2.1
	不確かさ影響評価ケース		約5130