

# 原子炉格納容器耐圧強化ベント及び SGTSライン熱流動解析 — 1号機及び2号機の結果 —

2020年10月16日

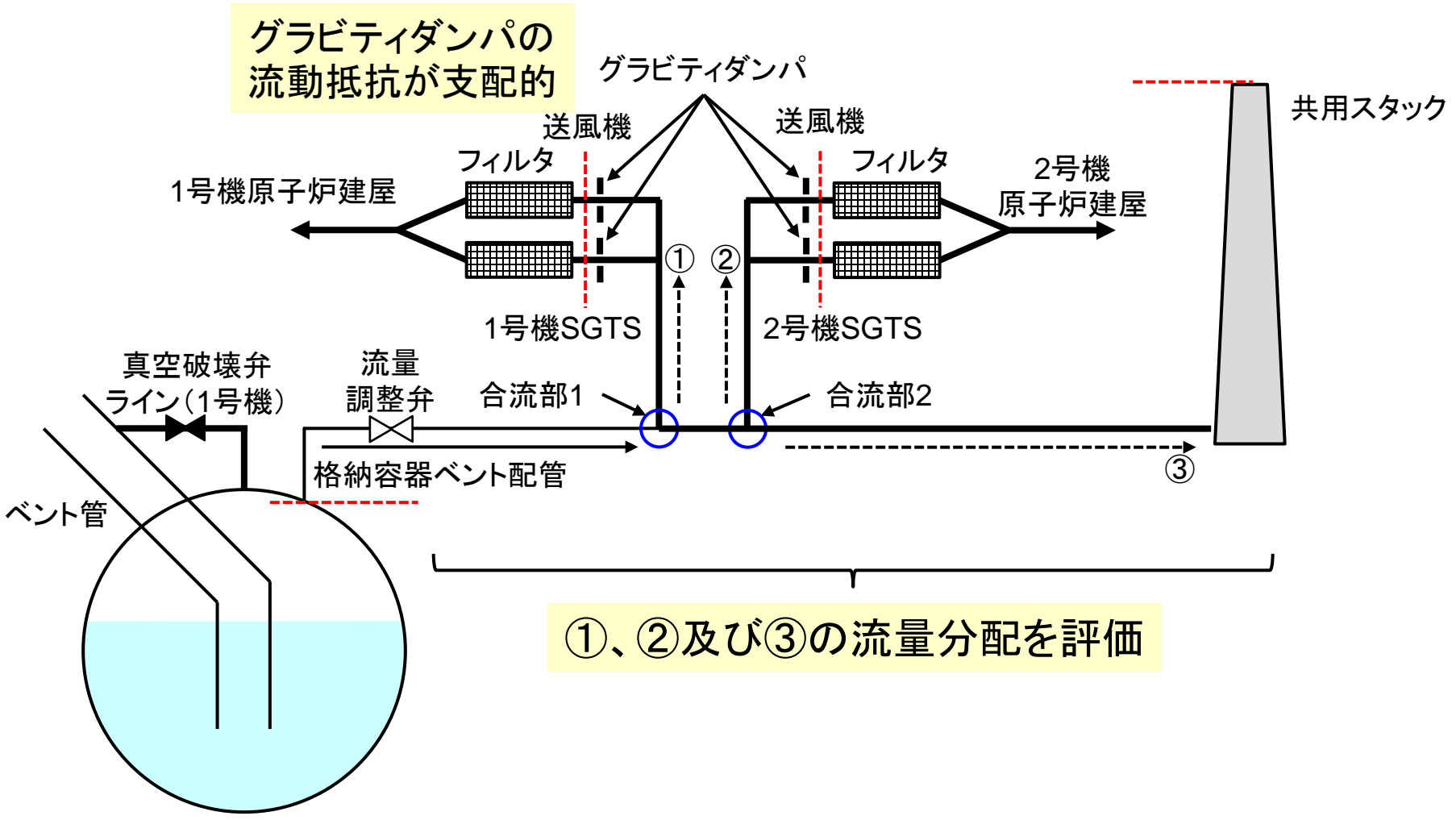
竹田武司、与能本泰介、丸山結  
日本原子力研究開発機構  
安全研究センター

# 解析の目的及び手法

- 格納容器ベント実施時におけるベント気体の流動状況を評価し、1号機及び2号機の格納容器ベント及びSGTSラインの汚染要因を検討
  - ◆ 自号機のSGTS
  - ◆ 隣接号機のSGTS
  - ◆ 共用スタック
- 1次元2流体熱水力挙動解析コードRELAP5/MOD3.3を使用
- 配管の敷設状況、内径、肉厚等について、可能な限り実機条件を模擬(東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会第12回会合資料5-2及びOECD/NEAにおける福島第一原子力発電所事故ベンチマーク解析(BSAF)プロジェクトの情報等を参考に設定)
- シビアアクシデント総合解析解析コードTHALES2の結果に基づいて格納容器ベントライン入口における気体の流入条件を設定
  - ◆ 気相温度
  - ◆ 各気相成分の流量
  - ◆ 気相圧力

# 解析体系の概要

-----: 解析対象範囲

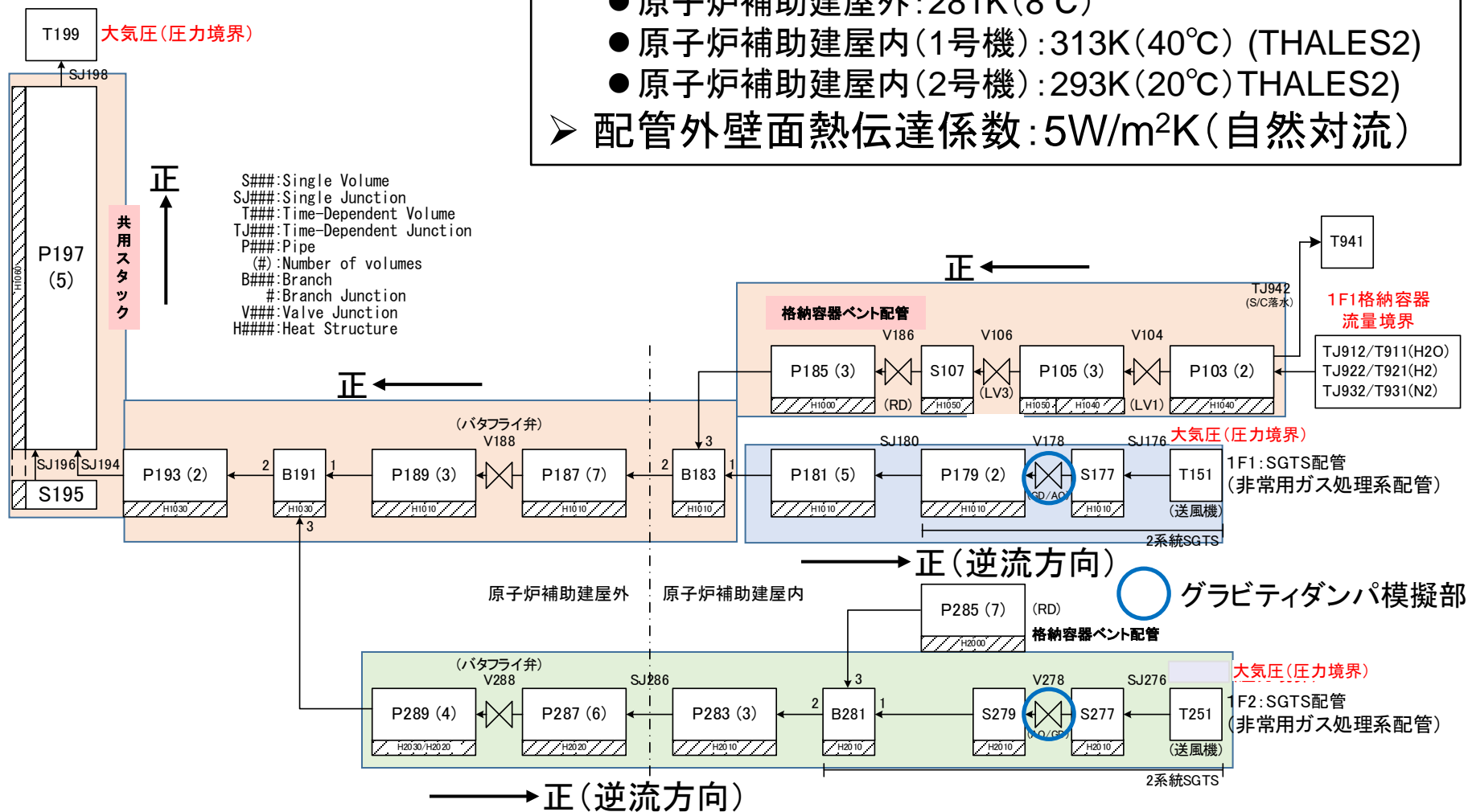


# RELAP5コードのノード分割及び境界条件

## ➤ 外気温

- 原子炉補助建屋外: 281K (8°C)
- 原子炉補助建屋内 (1号機): 313K (40°C) (THALES2)
- 原子炉補助建屋内 (2号機): 293K (20°C) THALES2

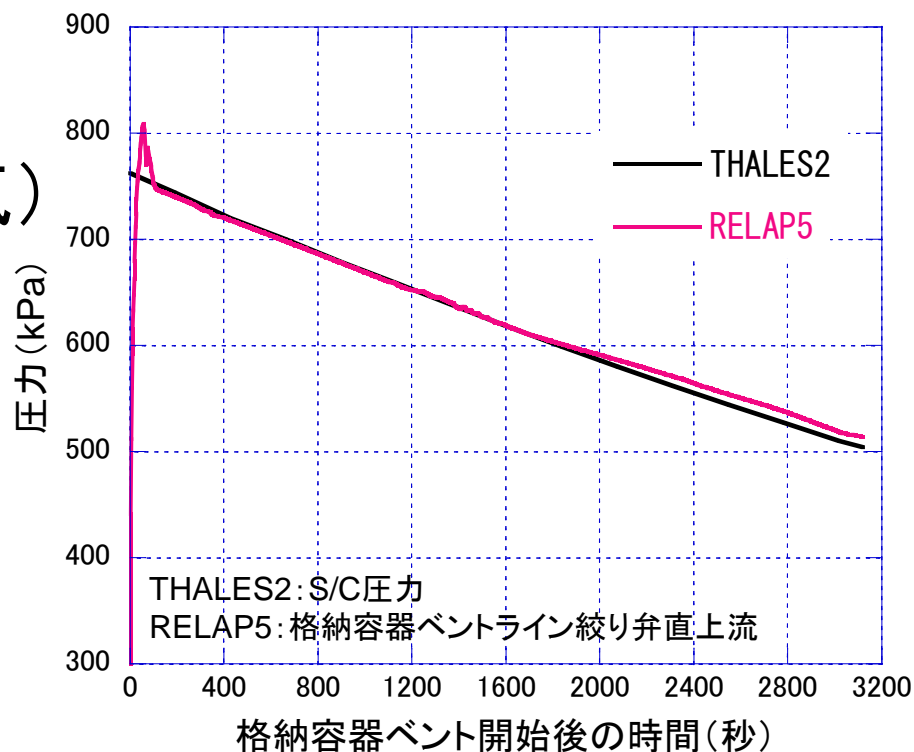
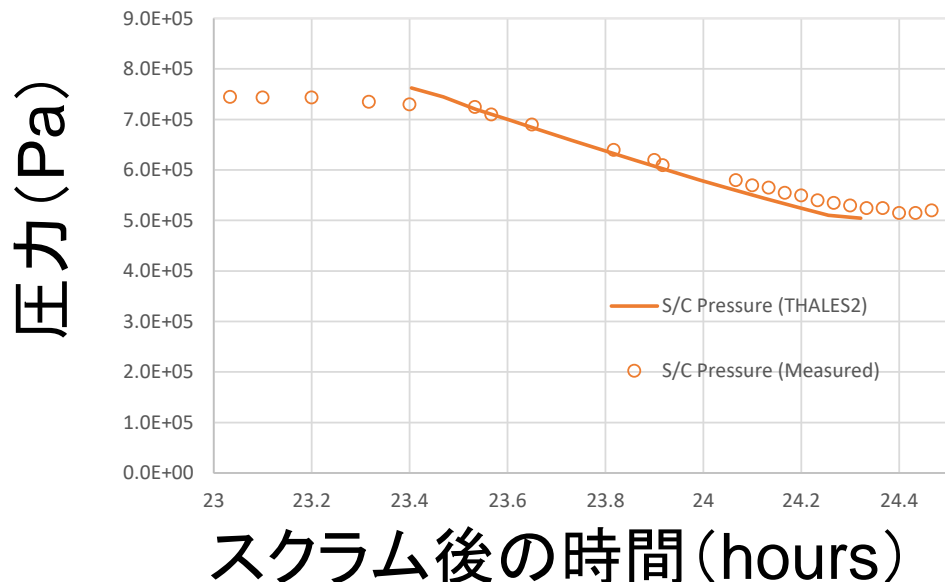
## ➤ 配管外壁面熱伝達係数: 5W/m<sup>2</sup>K (自然対流)



# THALES2コードによる解析結果の利用

## 境界条件

- 格納容器内圧力履歴
- 流量(窒素、水素、水蒸気)
- 原子炉補助建屋内温度



両コードで臨界流モデルが異なることから圧力が一致するように絞り弁面積を調整

## 参考情報

格納容器ベント期間中にS/Cから流出するCs-137の量: 約150TBq

格納容器ベント閉時点でスタックに存在するCs-137の量: 約30TBq 等

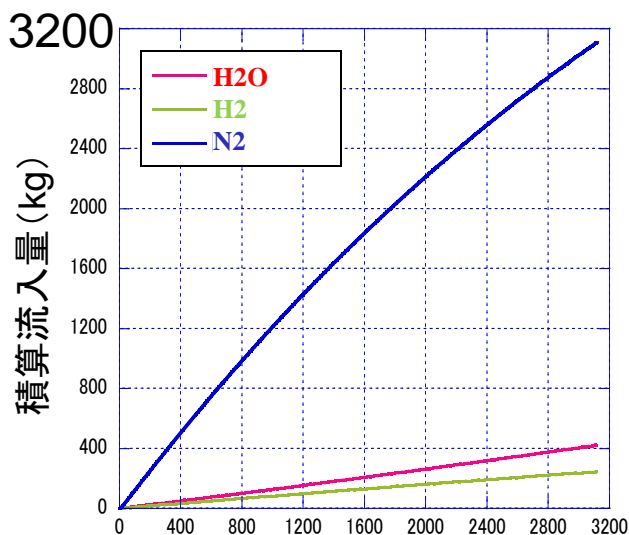
# 基本解析ケースの結果

- グラビティダンパの逆流時流動特性として設計条件を使用
- 格納容器ベント配管への流入量に対する割合

	1号機SGTS (Cs-137積算流入量概略値)	2号機SGTS (Cs-137積算流入量概略値)
基本解析ケース	0.6%(0.9TBq)	0.3%(0.4TBq)

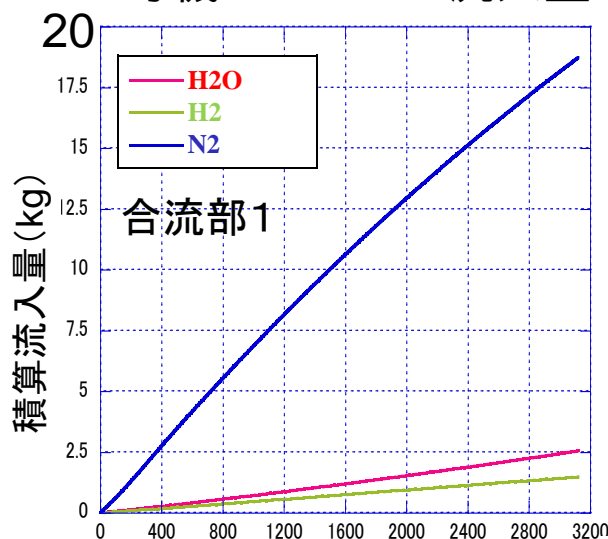
## 汚染状況と不整合

共用スタックへの流入流量



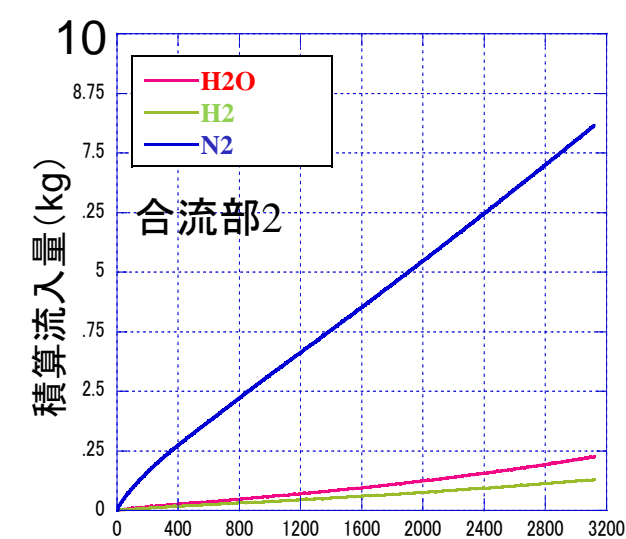
格納容器ベント開始後の時間(秒)

1号機SGTSへの流入量



格納容器ベント開始後の時間(秒)

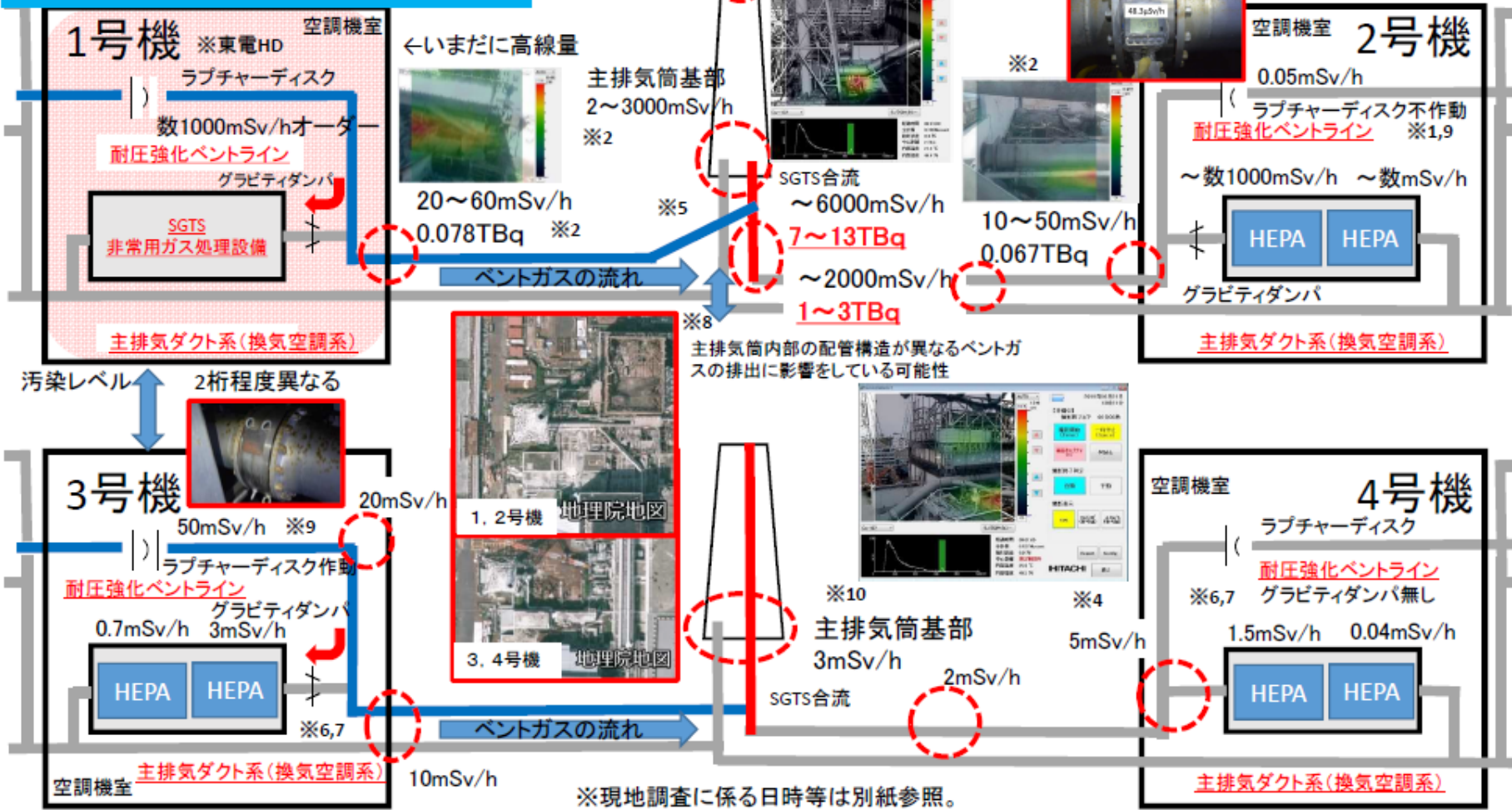
2号機SGTSへの流入量



格納容器ベント開始後の時間(秒)

# 第8回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2: 耐圧強化ベントラインにおける汚染状況

## 耐圧強化ベントラインにおける汚染状況



# 感度解析

---

---

## 基本ケース

- 重カダンパが設計どおり機能

## 感度ケース1

- 2号機側の逆流時流動抵抗: 流路(隙間)面積1.3%相当
- 1号機側の流動抵抗は、2号機と同様に設計条件から増大

## 感度ケース2

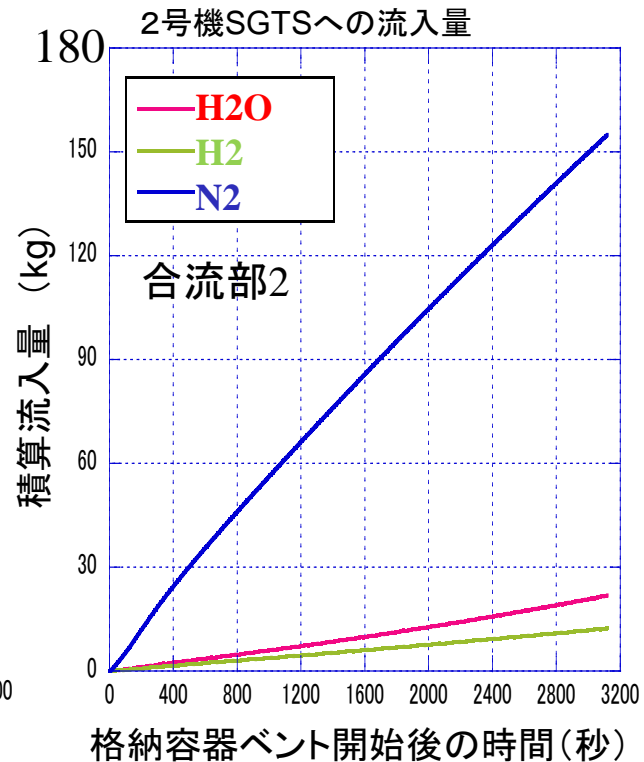
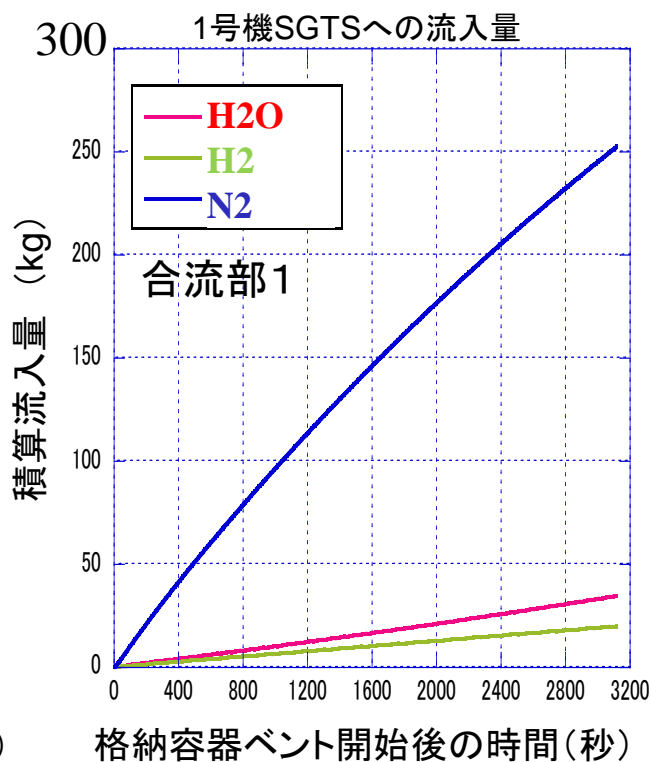
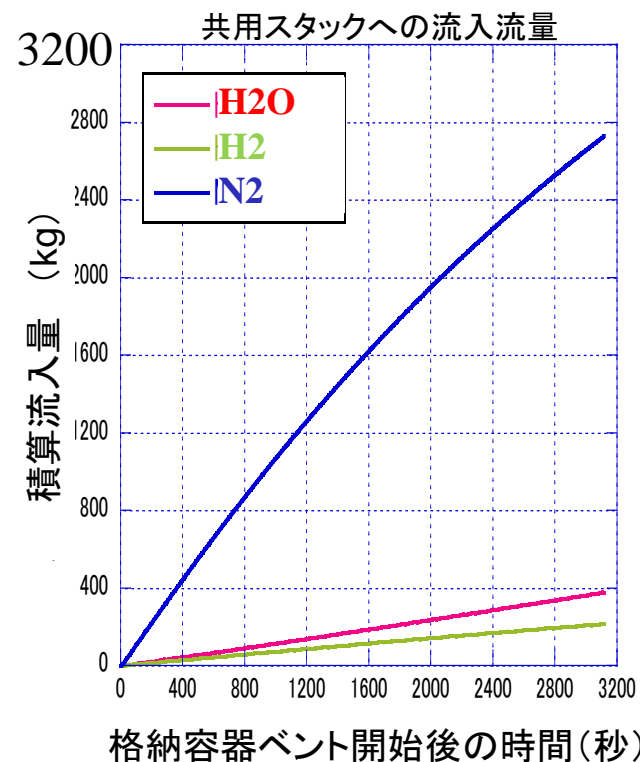
- 1号機側の流路(隙間)面積を3%
- 2号機側の流路(隙間)面積を1.3%



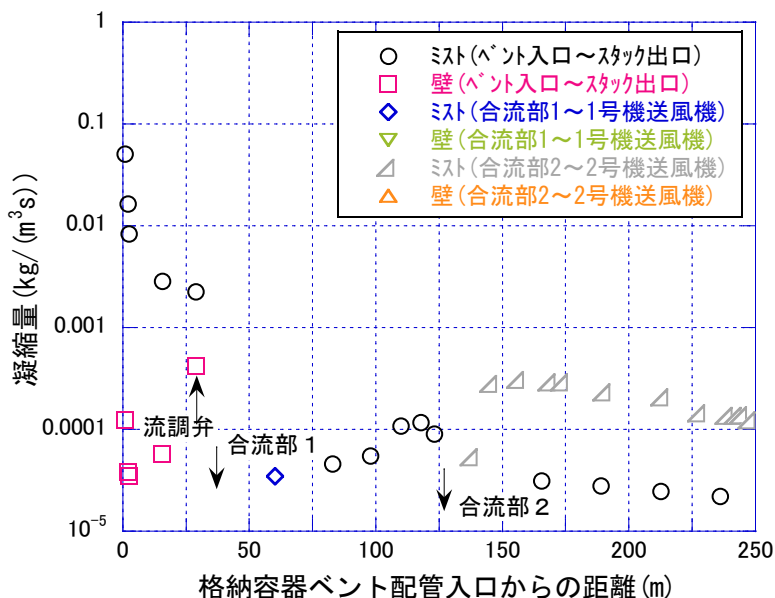
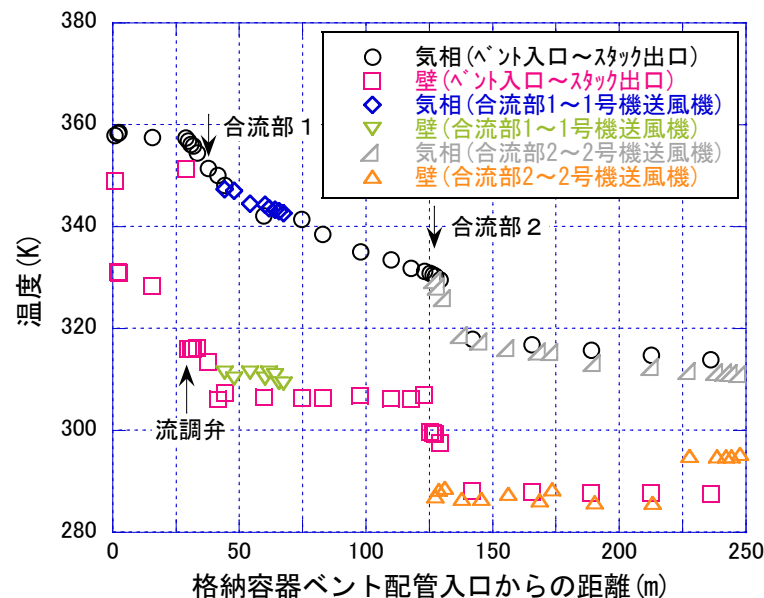
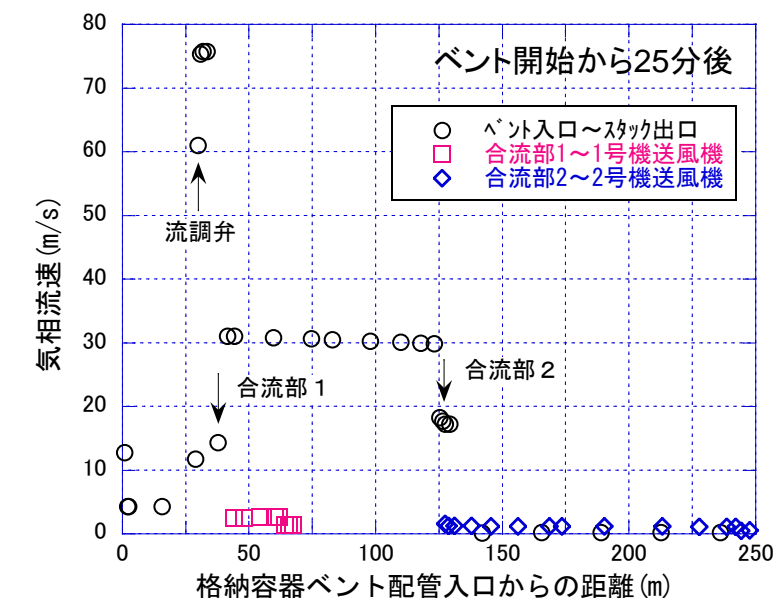
# 感度解析ケース1の結果(1/3)

## 格納容器ベント配管への流入量に対する割合

	1号機SGTS (Cs-137積算流入量概略値)	2号機SGTS (Cs-137積算流入量概略値)
基本解析ケース	0.6% (0.9TBq)	0.3% (0.4TBq)
感度解析ケース1	8% (12TBq)	5% (8TBq)



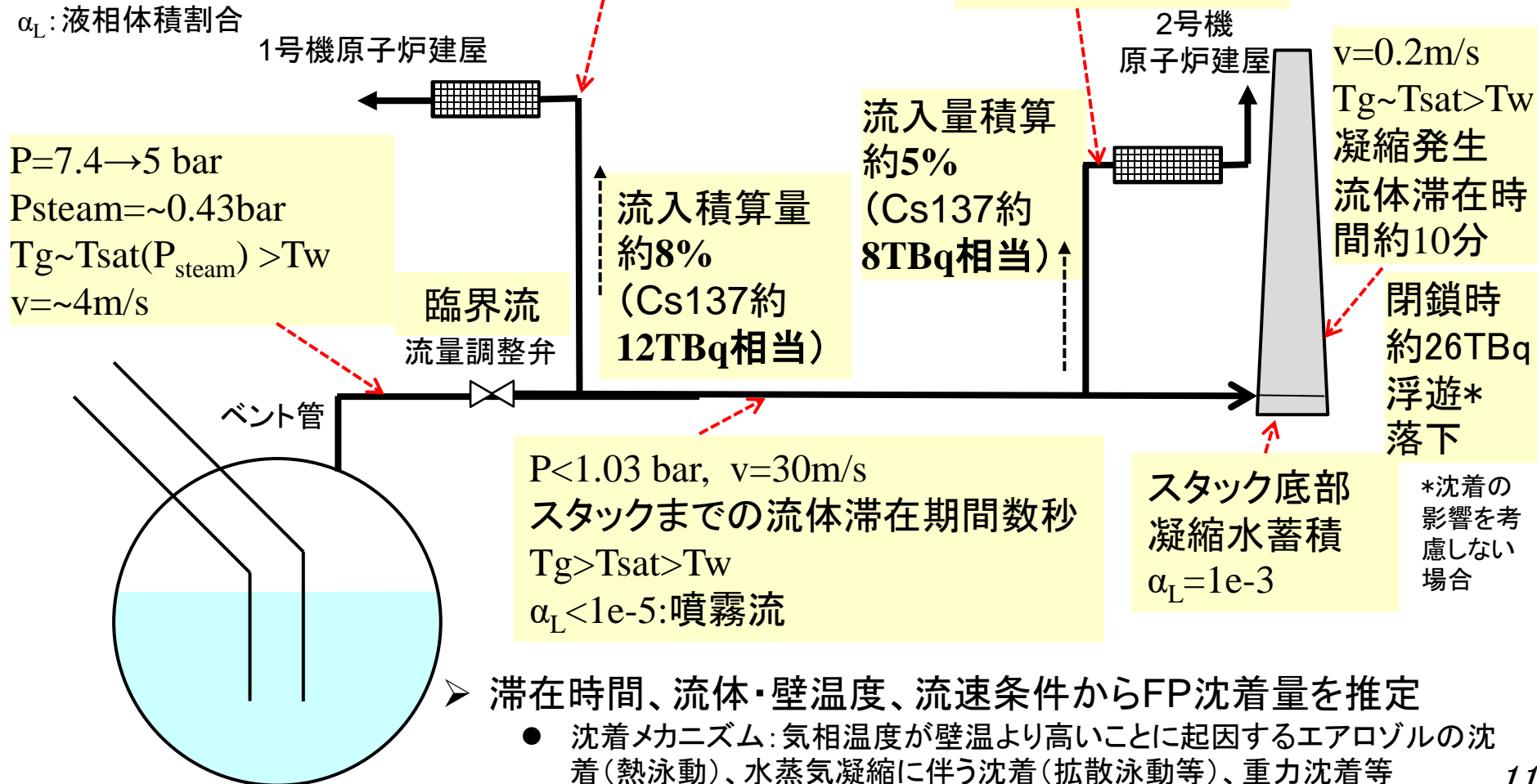
# 感度解析ケース1の結果(2/3)



- 格納容器ベントラインの流調弁から共用スタックの入口までは、配管内の流速が速いため(滞留時間数秒)配管壁へのFP沈着は少ないと推定
- 合流部からSGTS送風機に向けた流れは低速(長い滞留時間)のためFPの沈着が相対的に大と推定
  - 気相温度が壁温より高いことに起因するエアロゾルの沈着(熱泳動)、水蒸気凝縮に伴う沈着(拡散泳動等)、重力による沈着等

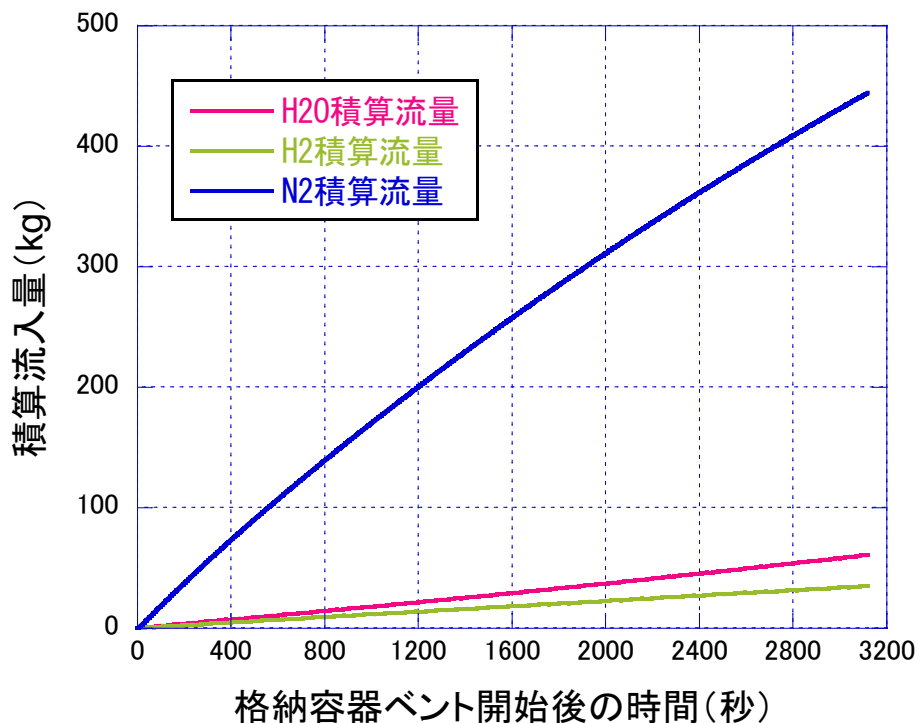
# 感度解析ケース1の結果 (3/3) : 典型的状況

P: 圧力  
 v: 流体速度  
 Tg: 気体温度  
 Tsat: 飽和温度  
 Tw: 壁温度  
 $\alpha_L$ : 液相体積割合

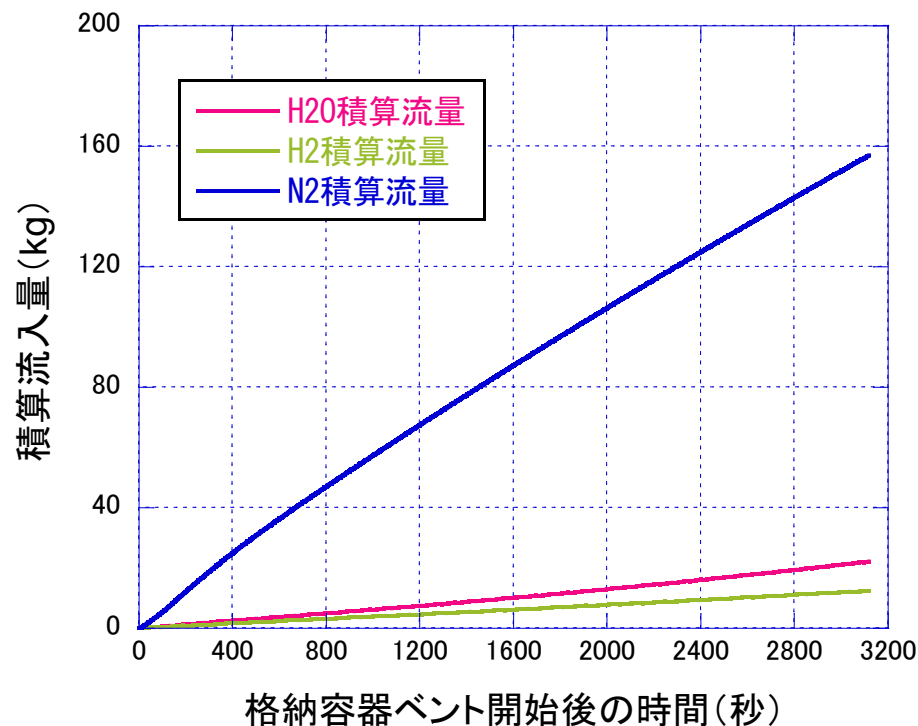


# 感度解析ケース2の結果

## 1号機SGTSへの流入量



## 2号機SGTSへの流入量



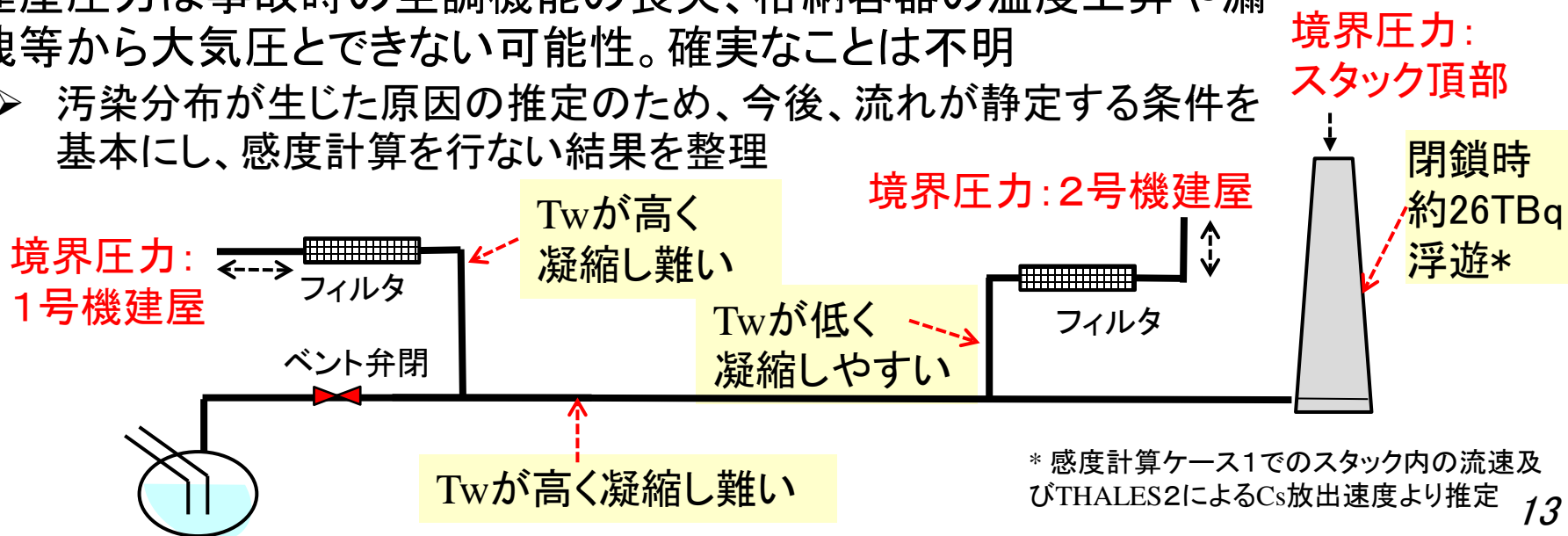
- 1号機SGTSへの流量分配は約14% (約21TBqに相当)
- グラビティダンパ逆流防止機能の劣化がSGTSラインの汚染に大きく寄与

# ベント弁閉鎖後の挙動と汚染分布

- ベント閉鎖後の配管系統の減圧により、  
浮遊エアロゾルがスタック等からベント配管系統に流入する可能性
- ベント時の解析より、  
スタック底部、2号機側配管は凝縮により汚染しやすい傾向

## 挙動解析の困難さ: 圧力境界条件の設定

- 僅かな違いが流入積算流量の結果に大きく影響
  - 同じ圧力 ( $1.013 \times 10^5$ ) の場合、スタック頂部からの空気流入が継続
  - 同じ空気密度を用いて高さを補正: 2号機建屋から顕著な流入
    - ◆ スタック頂部圧力は  $1.0 \times 10^5$  (1% 減)
- 建屋圧力は事故時の空調機能の喪失、格納容器の温度上昇や漏洩等から大気圧とできない可能性。確実なことは不明
  - 汚染分布が生じた原因の推定のため、今後、流れが静定する条件を基本にし、感度計算を行ない結果を整理



# まとめ(1/2)

- グラビティダンパが設計どおりに機能する場合、測定された汚染分布を説明できない。
- グラビティダンパが有する逆流防止機能の劣化が流量分配に大きく影響し、この劣化を考慮することにより汚染分布との大まかな整合が可能。

## ベント弁閉時点における流量分配

	1号機SGTS (Cs-137積算流入量概略値)	2号機SGTS (Cs-137積算流入量概略値)
基本解析ケース	0.6%(0.9TBq)	0.3%(0.4TBq)
感度解析ケース1	8%(12TBq)	5%(8TBq)
感度解析ケース2	14%(21TBq)	5%(8TBq)

- ベント弁閉鎖時にスタック雰囲気中には、約26TBq(感度計算ケース 1)のCs-137が存在すると推定可能\*。ベント弁閉鎖直後よりスタック中のCsはベント配管系統に再流入する可能性。

\* SGTS配管壁等への付着を考慮しない場合

## まとめ (2/2)

---

3. 1号機側と2号機側SGTS配管での**非対称な挙動**。**汚染分布と関連する可能性**。
  - ベント作動中、ベント弁からスタックに至る流路(1号機SGTS配管)では、**凝縮**による蓄水はほとんど見られない
  - 2号機側への配管やスタックでは、**凝縮**による蓄積が見られた。
  
4. 今後、圧力境界条件を変えてベント閉鎖後の挙動を検討するとともに、本解析で得られた速度や温度を用いて、エアロゾルの管壁への付着挙動を評価する。