

サブプレッションチェンバのスクラビング 効果について

論点

①-4) S/CにおけるDF

②-1) ベントの成立性

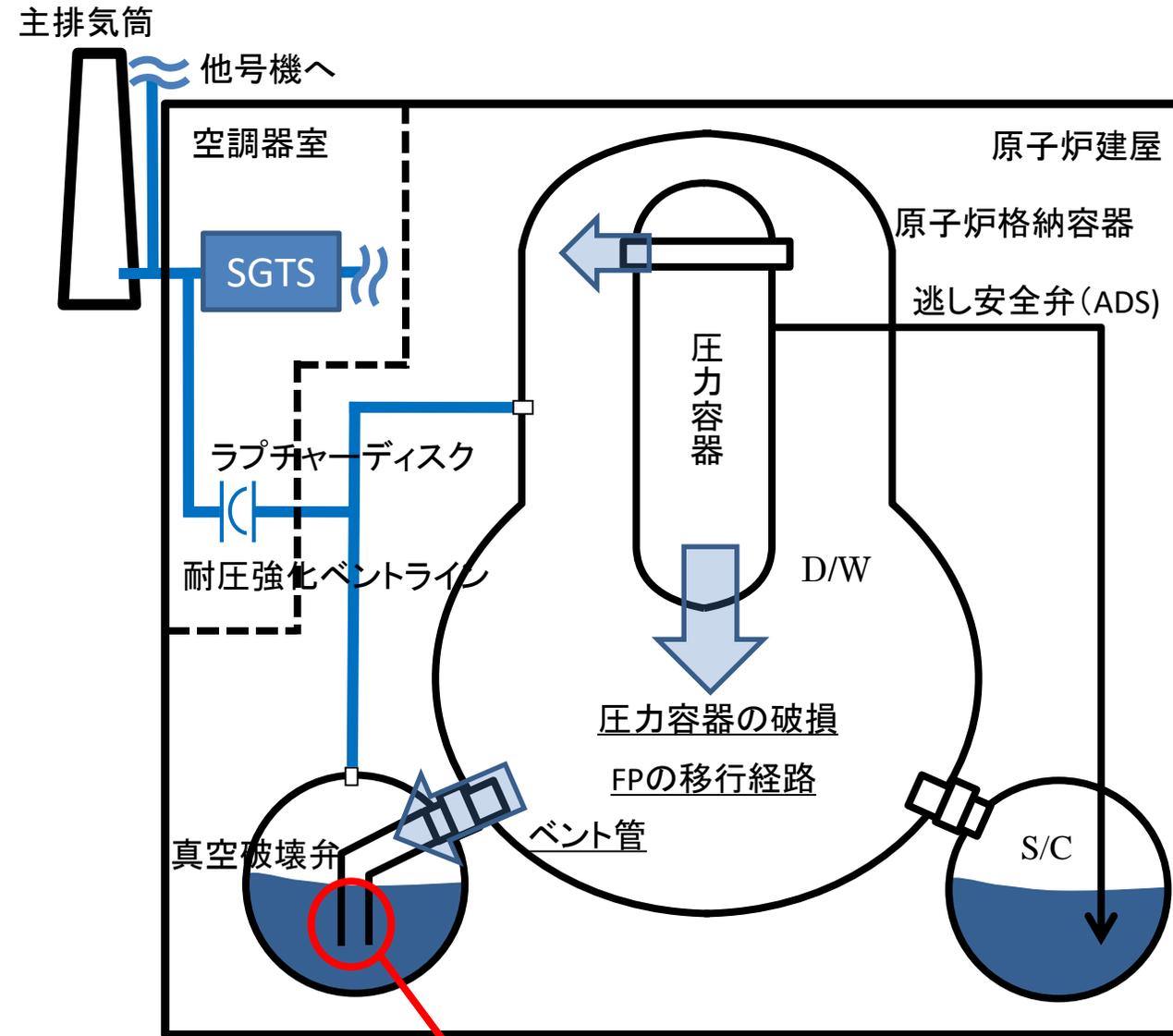
②-7) 有効ベント回数

2. サプレッションチェンバ(S/C)のDF効果

- S/C水のサブクール度や減圧沸騰の有無によるDF効果への影響はあるのか。

S/Cとベント管の位置関係をもとにしたスクラビングの実験結果[NRA基盤G研究成果(R1年)]によれば、S/CのDF効果は、大きな影響を受けない。

- スクラビングによるDF効果に関しては、いくつかの研究結果も存在する。
○H5年度の電力共同研究の結果
○ミラノ工科大での実験など



S/Cにおけるスクラビングによる影響

1, 2号機及び3, 4号機ベント配管の汚染状況

1, 2号機と3, 4号機の 汚染レベルの差

- 1, 2号機と3, 4号機は、体系的に「相似」の関係
- 格納容器内のCs濃度と排出総量の差に依存
- 1号機は、ドライで高温なベントガス。3号機は、ウェットで低温なベントガス。
- スクラビングは、サブクールや減圧沸騰の有無より水深がDF効果に影響する
- 1, 3号機の炉心損傷の経緯
- PCVからの漏えい箇所、時期
- 配管等における蒸気凝縮の影響
- 1号機ベントは1回成立
- 3号機ベントは2回成立

⇒ 検討会(次々回以降)

2, 3, 4号機のSGTSフィルタの汚染状況と逆流経路

- 2号機RDの汚染状況と作動の関係
- FP及び水素の逆流経路、汚染レベルの差
- GDのベント時の逆流防止機能

⇒ 検討会(今回、次回)

1号機S/C内の真空破壊弁 周辺に高い汚染

- 1号機ベントは真空破壊弁を通じてスクラビングなしの可能性
- 真空破壊弁の構造、機能
- 1, 2号機SGTS配管の高温履歴とベントの関連性

⇒ 検討会(次々回以降)

スタック下部に高線量箇所

- スタック内部の構造が影響
- スタックの構造、機能及び汚染状況

⇒ 検討会(次回)

■ 現地調査等により確認された事項
■ 主な論点

調査・分析項目等	第8回会合(R1.11.28)における論点整理(案)	
<p>1) 耐圧強化ベント(AM対策) 【4/4】</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 1,2号機ベント配管の汚染 ② 1～3号機耐圧強化ベント ③ SGTS逆流汚染 ④ RDの動作 <p>内容・論点</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 1,2号機ベント配管の高い汚染 ✓ S/CにおけるDFの効果、蒸気凝縮の影響、真空破壊装置の機能維持 ✓ 1～3号機のベント成立性 	<p>S/C水のサブクール度や減圧沸騰の有無によるDF効果への影響はあるのか。 →</p>	<p><u>スクラビングの効果は、サブクールや減圧沸騰の有無よりも水深がDFの効果に影響すると考えられる。(⇒ 次々回以降議論)</u></p> <p><u>スクラビングによるDF効果について幾つかの研究結果があり、議論が必要。(⇒ 次々回以降議論)</u></p>
	<p>1号機S/C内の真空破壊弁周辺に高い汚染が確認されている。 →</p>	<p><u>1号機ベントは、S/Cの真空破壊弁を通じたスクラビングされていないベントガス放出の可能性。更なる確認が必要。(⇒ 次々回以降議論)</u></p>

【参考資料】

- ・プールスクラビングによるエアロゾル除去効果実験(第8回会合 資料4)
- ・電力共同研究「放射能放出低減装置に関する研究(Phase-II)」のデータを元にしたスクラビング効果等について(第10回会合 資料2)

これまでの事故分析検討会の議論を踏まえたスクラビング効果について

○スクラビング効果の整理

各種事故シーケンスを模擬した実験条件範囲内では、

- DFは、水深による影響が大きい(一定程度の水深によりDFの効果が期待される)。
- 流入気体の非凝縮性ガス割合(50%以上の範囲)がDFへ及ぼす影響は小さい。
- プール水の減圧沸騰は、DFへ有意な影響を及ぼさない。
- プール水温の上昇に伴い、DFが若干増大する傾向が見られる。(流入気体が飽和温度以上の条件)



**Nuclear
Regulation
Authority, Japan**

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8回会合
資料4

プールスクラビングによる エアロゾル除去効果実験

第10回「研究報告会」

平成29年11月1日

技術基盤グループ シビアアクシデント研究部門
秋葉美幸



説明内容

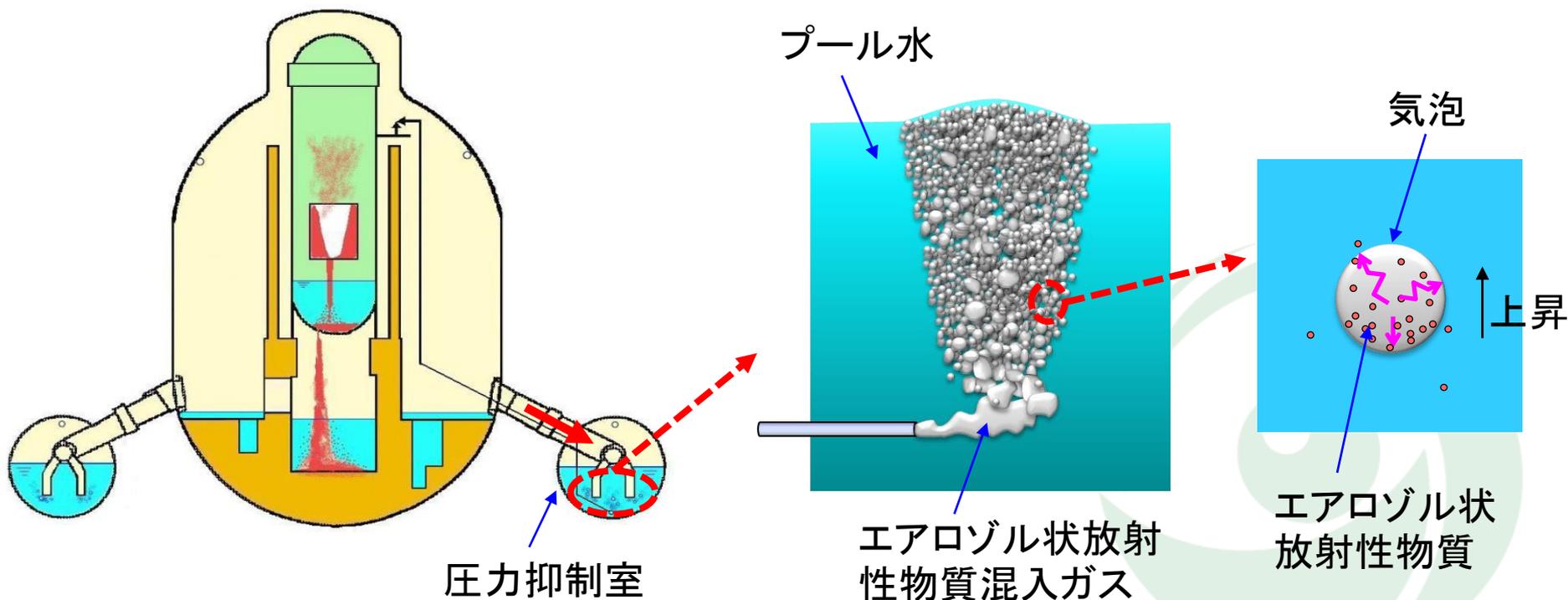
1. 本研究の背景と目的
2. 装置と実験条件
3. 実験結果と考察
4. まとめと今後の展開



1. 本研究の背景と目的

プールのスクラビング効果

事故時に、エアロゾル状放射性物質が混入したガスを圧力抑制室等のプール水中に流入させ、放射性物質をプール水で捕獲する効果



1. 本研究の背景と目的

既往研究

プロジェクト	目的	結果	規模
ACE (国際共同実験)	各種パラメータによる特性	エアロゾル種類によらず、水深とともに捕獲率向上	中規模 D1.5 x H6.1 m
LACE (EPRI)	各種パラメータによる特性	エアロゾル粒子径の増加とともに捕獲率向上	小規模 D2 x H2.6 m
GE	単一気泡に対する除去効果調査	気泡寸法と捕獲率には顕著ではないが依存性がある傾向	小規模 可視化可能な容器
EPSI (JAERI)	高温高圧条件	高温高圧下でもACEやLACEと同傾向は同様	中規模 D0.2 x H4.3 m
国内BWR電力 共同研究	各種パラメータによる特性	広範かつ詳細な実験がなされ、ACE、LACE及びEPSIと同様な傾向を確認。	大規模 D1.5 x H10 m

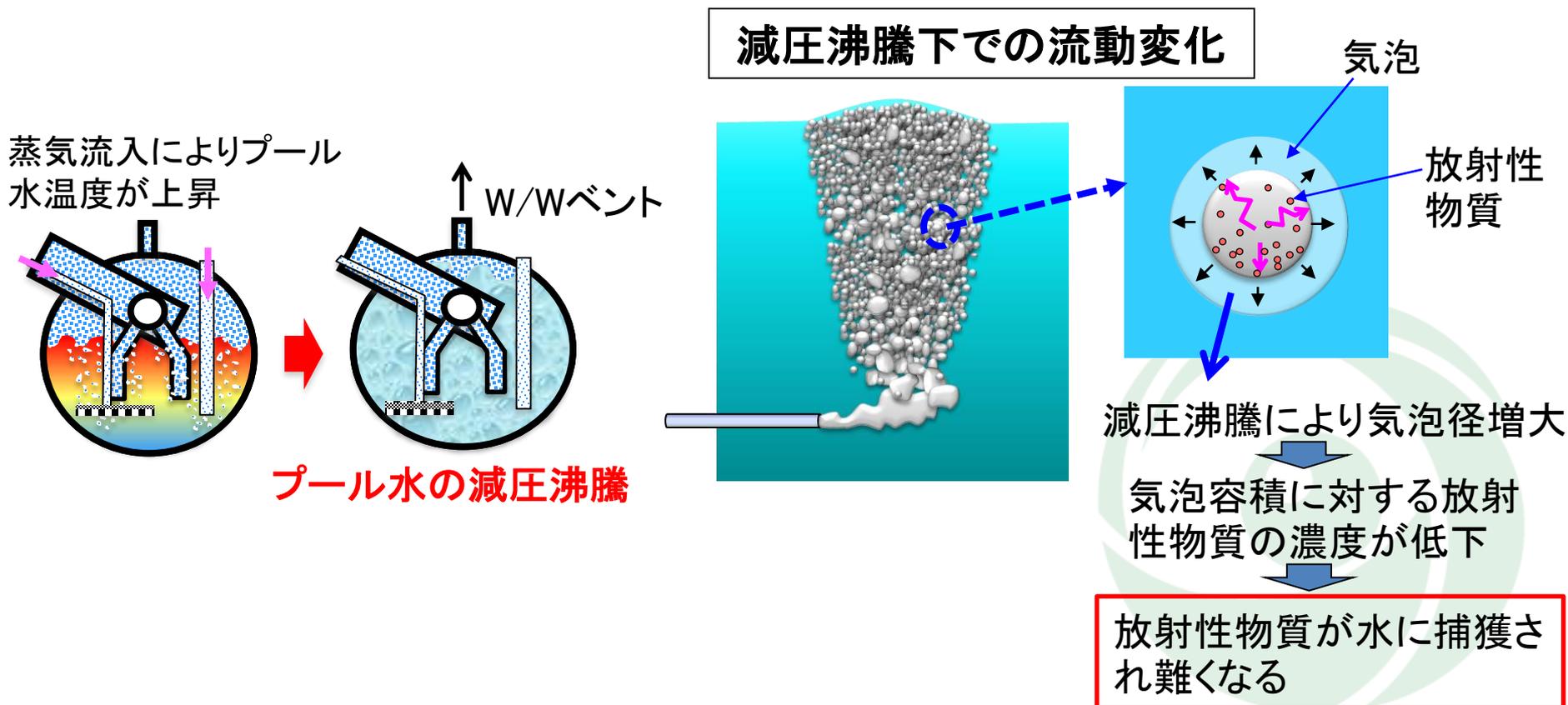
- ✓ 常温～高温まで様々な条件で実施。
- ✓ ただし、全て圧力、温度等が一定の条件であり、プールが減圧沸騰する条件は実施されていない。

1. 本研究の背景と目的

スクラビングに関する課題

東京電力福島第一原子力発電所事故時におけるW/Wベントのスクラビング効果への影響

圧力抑制室からのベントで、圧力抑制プールが減圧沸騰し、スクラビングによる放射性物質の除去効果の低減が懸念された。



1. 本研究の背景と目的

海外動向

IPRESCAプロジェクト* (2017年6月～)

* 第2第3世代原子炉を対象とした
欧州における共同体NUGENIA
傘下のプロジェクト

ターゲット:

BWRのS/PのみならずPWRのSGTR等にも適用可能な汎用スクラビング
解析モデルの構築

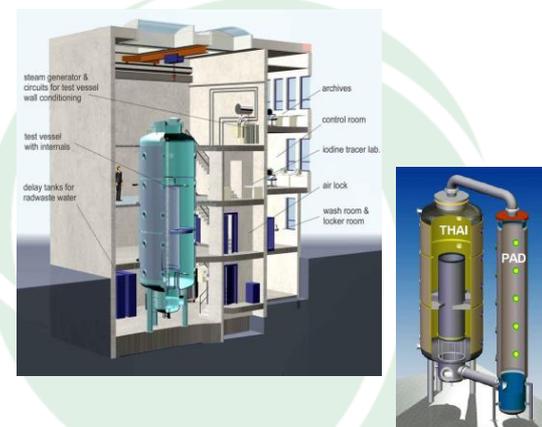
実施内容:

上記事象のスクラビング現象を模擬した条件での高精度なエアロゾル計
測実験し、解析モデルの高度化を図る。(担当を参加国で割り振り)

OECD/NEA THAI3プロジェクト (2016年2月～)

大規模装置でのスクラビング実験を実施
(溶解性エアロゾルCsI使用)

- ・プール水中気泡挙動の高速度カメラ計測
- ・減圧条件における要素実験実施
- ・プール水に溶解したヨウ素について、プール水の
pHや蒸気流入が及ぼす気相への移行挙動を調査



1. 本研究の背景と目的

規制庁のスクラビング研究全体概要

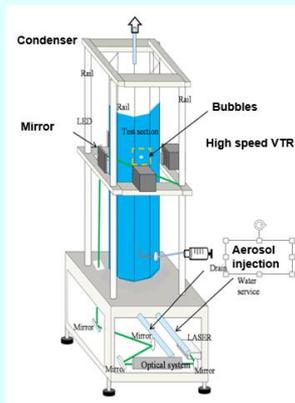
個別効果・可視化実験

小規模実験

筑波大

最新計測器による高速
高分解能データ取得

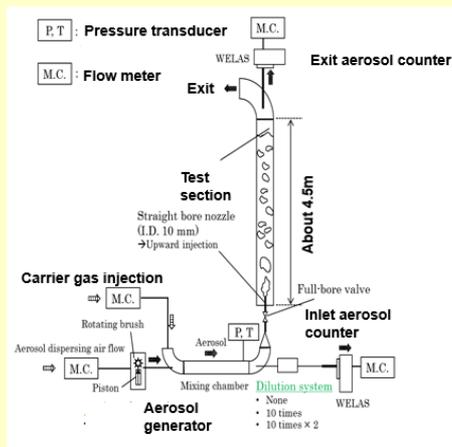
- ・単一気泡内エアロゾル挙動
- ・溶解性／難溶解性エアロゾル挙動



中規模実験

JAEA

パラメトリックな実験条件
での二相流動及びスクラ
ビングデータの取得



- ・減圧沸騰時の二相流動及びエアロゾル挙動の検討
- ・スケーリング効果の検討

大規模実験

東芝

実機相当条件での、減
圧沸騰がスクラビング
効果へ及ぼす影響評価



今回紹介

SPARC90*モデル改良

SPARC90改良モデルの
寸法影響効果確認

SPARC90改良モデルの
実機適用性の確認

*SPARC90 : 事故進展解析コードMELCORに組み込まれているスクラビング解析コード

1. 本研究の背景と目的

スクラビング大規模実験の目的

大規模実験装置により、減圧沸騰の除染係数*(DF)への影響を評価する。

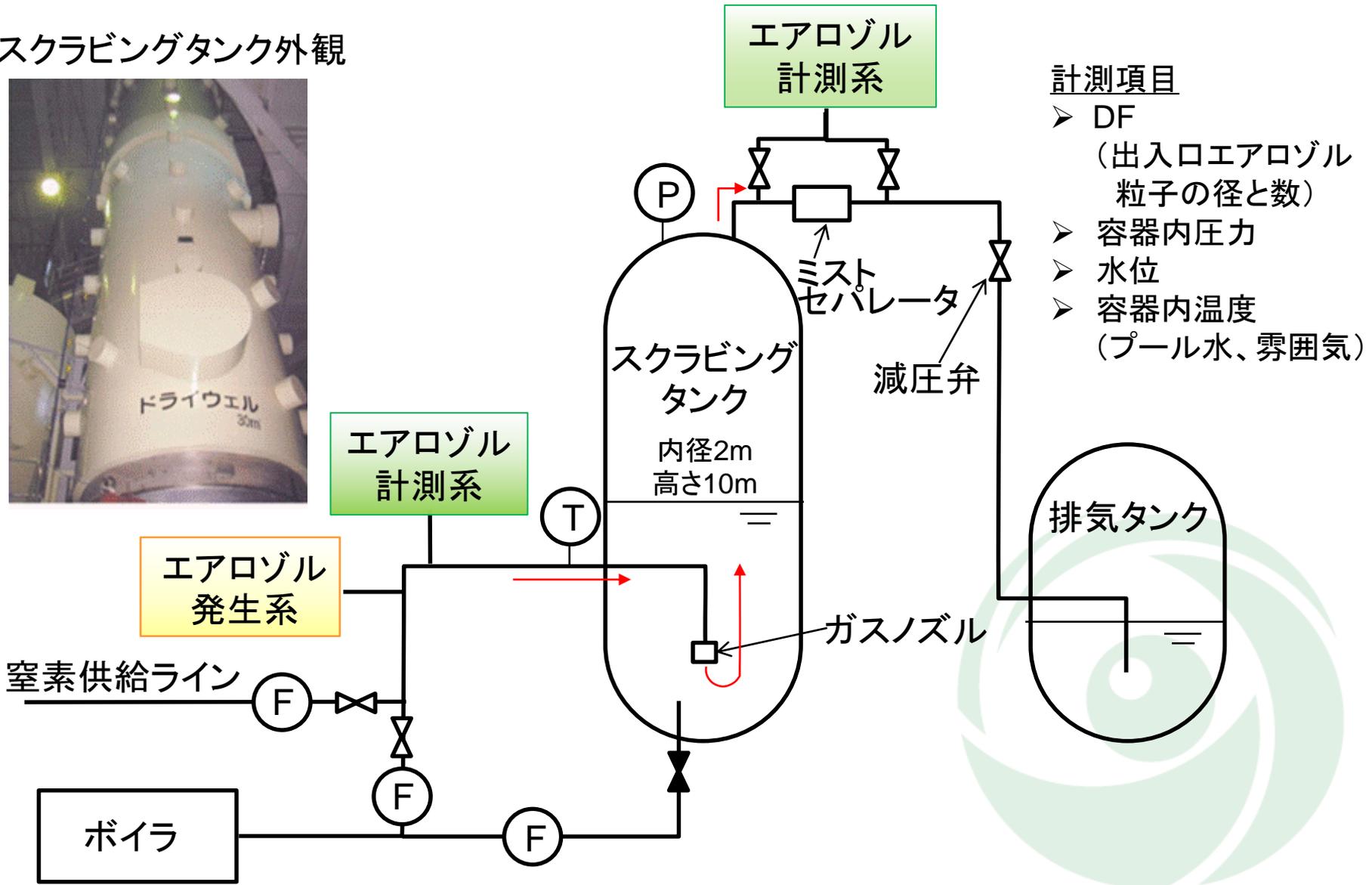
*除染係数(DF: Decontamination Factor)

$$= \frac{\text{入口エアロゾル質量}}{\text{出口エアロゾル質量}}$$

2. 装置と実験条件

実験装置

スクラビングタンク外観



2. 装置と実験条件

実験条件

パラメータ	設定値	実機との整合
ガス流量	150 kg/h	ノズル出口流速
ガス組成	①窒素50%蒸気50% ②窒素100%	実機条件範囲
ガス温度	プール飽和温度以上	
サブマージェンス (ノズルから水面までの距離)	1.4, 2.7, 3.8 m	
容器初期圧力	330 kPa	
プール温度	常温～飽和温度近傍	
減圧率	90, 1200 Pa/sec	

ベントタイプノズル、BaSO₄エアロゾル(難溶解性)

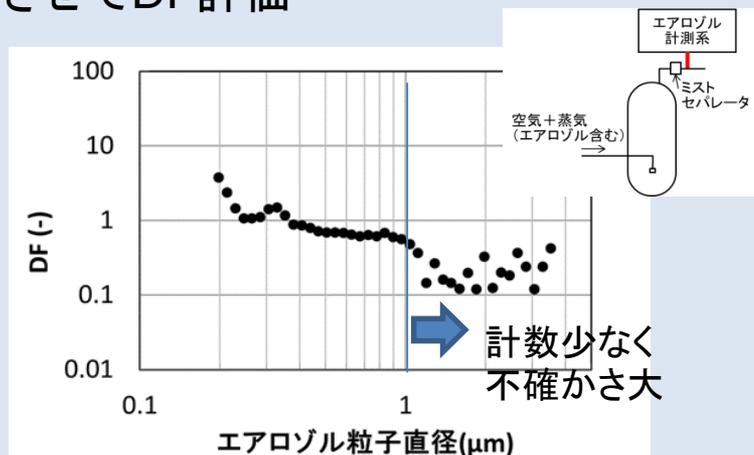
現状: 定常11ケース+減圧27ケース実施(再現性含む)

2. 装置と実験条件

装置の妥当性確認実験

バックグラウンド実験

ガス噴出ノズルをプール水から露出させてDF評価

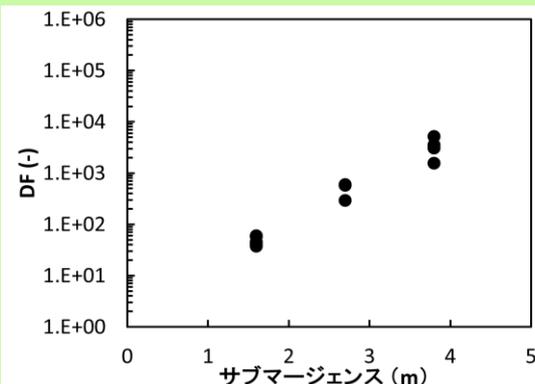


DFはほぼ1で、配管や容器壁面への付着等はほぼ影響なし

定常実験

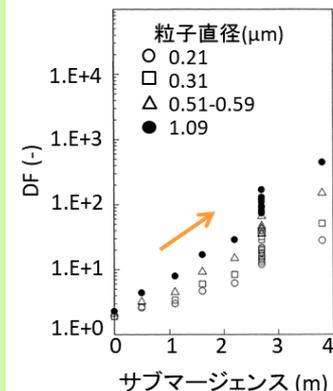
既往の定常実験と同じ条件(圧力、温度、流量一定)で、DF評価

本実験結果



- ・既往実験とほぼ同等なDF
- ・サブマージェンス(水深)とともにDF増加する傾向等も既往実験と同じ

既往実験結果*



装置の妥当性を確認

減圧実験実施

*「シビアアクシデント時の格納容器内の現実的ソースターム評価」特別専門委員会報告書, 原子力学会, 2010
(国内BWR電力共同研究試験結果)

減圧沸騰条件におけるデータの較正

① 減圧沸騰での発生蒸気による希釈較正

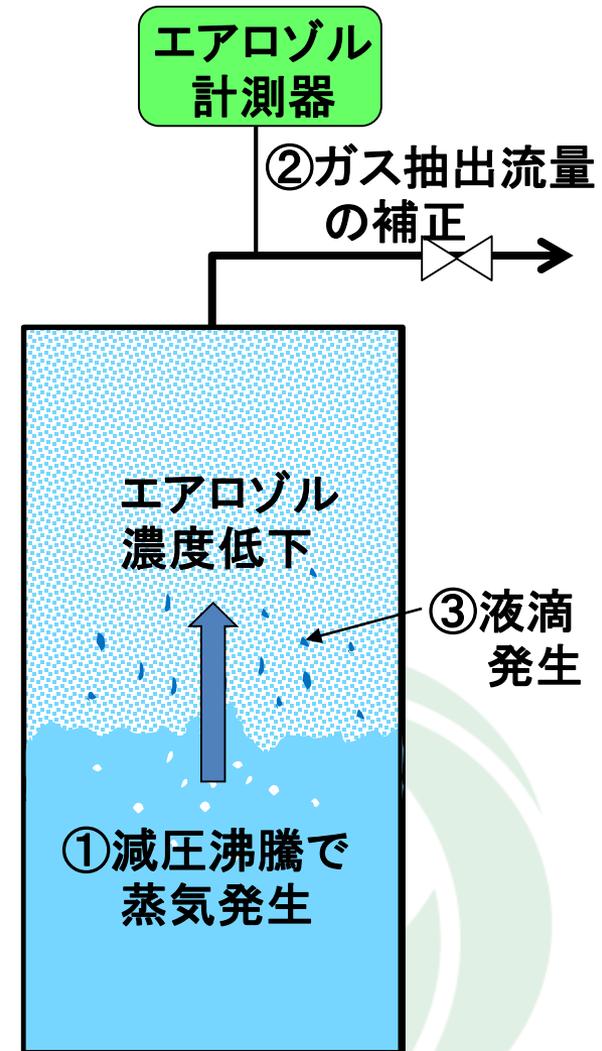
減圧沸騰で発生する蒸気により、出口側のエアロゾル濃度が低下。DF評価では、入口のエアロゾル量に対する出口量を評価するため、発生蒸気による希釈分を補正。発生蒸気量は気体の状態方程式を基に算出。

② 試験部出口側の抽出流量較正

エアロゾル計測は入口、出口配管から一部ガスを抽出し、計測。抽出部入口と出口の差圧を利用してガスを抽出しているが、減圧時には試験部出口側の圧力が低下し、抽出量も低下するため、その分を補正。

③ 液面からの飛散液滴の較正

液面から発生した液滴をエアロゾル粒子として計測する可能性があるため、その分を補正。液滴の発生率を評価するKataoka-Ishiiの式で算出したところ、発生率は 10^{-10} と非常に小さい評価となり、ほぼ影響は無いと考えられるため、補正せず。



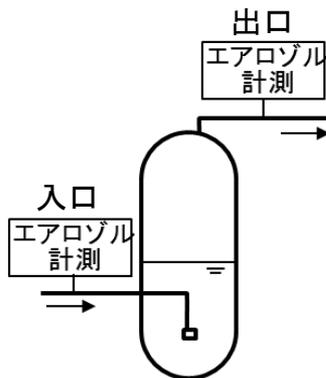
3. 実験結果と考察

代表的な実験結果

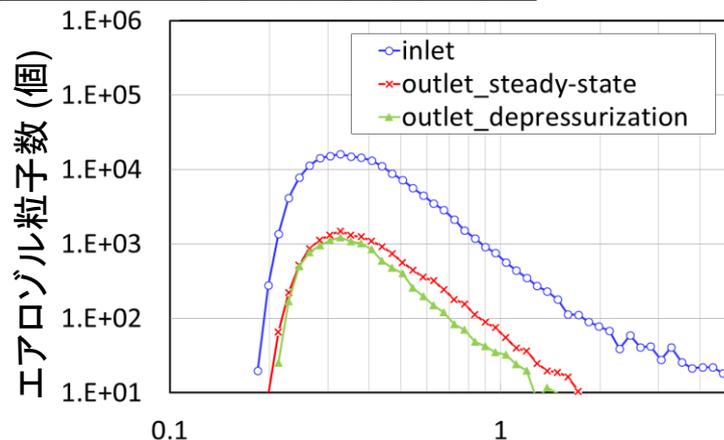
有意な計数値が得られた粒径 $0.3 \sim 1 \mu\text{m}$ では、減圧時のDFは減圧開始前の定常時とほぼ同等

条件

- 減圧率 90 Pa/sec
- サブマージェンス 1.4 m
- 初期プール温度 飽和近傍
- 流量 150 kg/h
- 窒素 50% 蒸気 50%
- ガス温度 140 °C

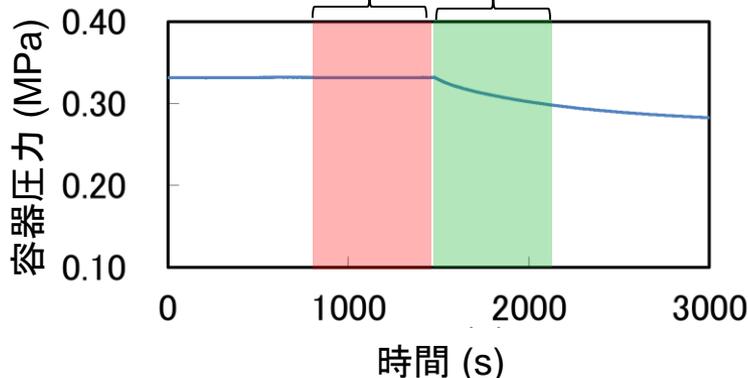


エアロゾル粒径分布(補正後)



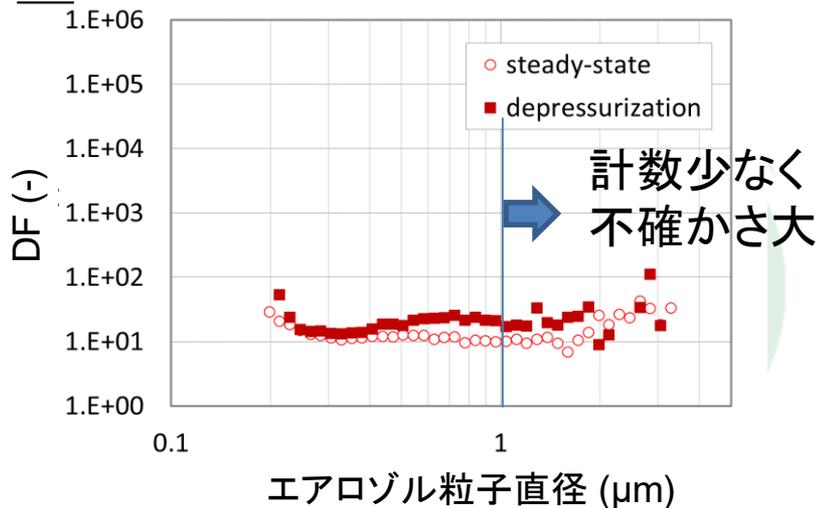
容器圧力変化

定常時 計測時間 減圧時 計測時間



DF

エアロゾル粒子直径 (μm)

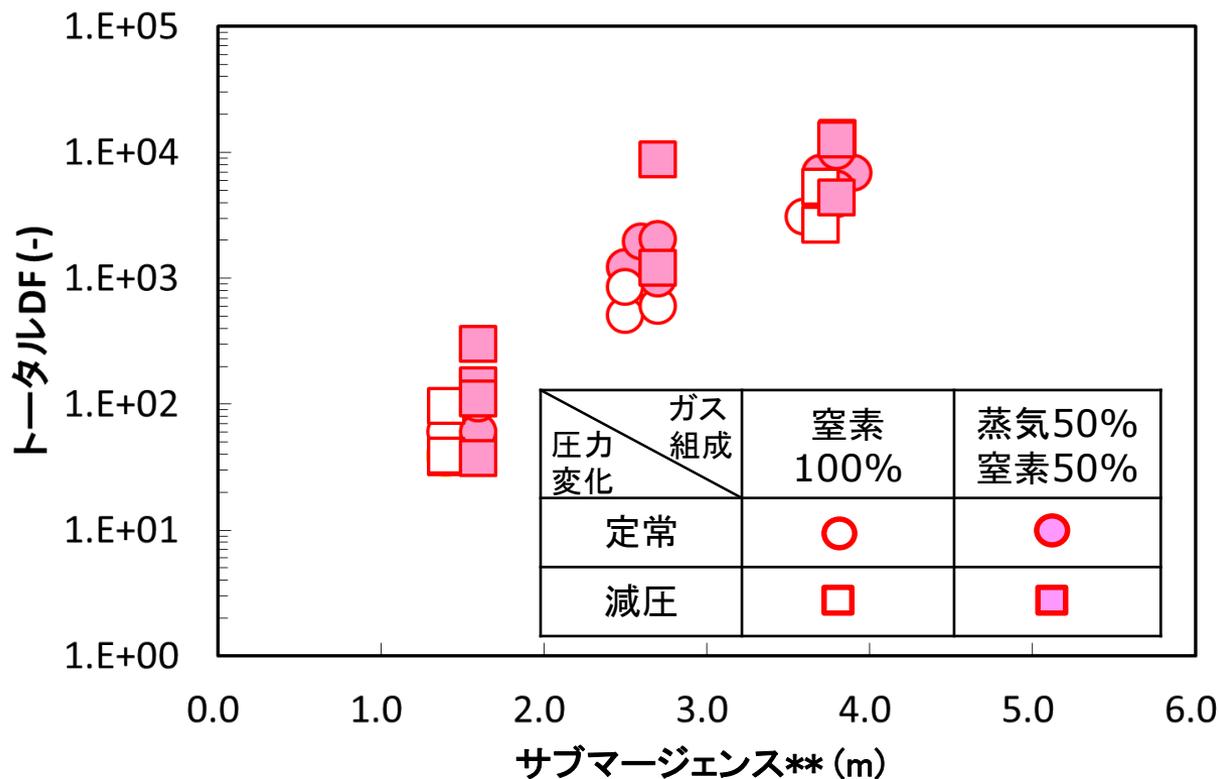


3. 実験結果と考察

トータルDF*の評価

- ・減圧時のDFは定常とほぼ同等。
- ・サブマージエンスの増加に伴ってDF増加。
- ・ガス組成の影響は小さい傾向。

※ただし、較正法等の検討を今後さらに行い、確実なデータとする予定。



* 計測エアロゾルの入口総質量／出口総質量

** ノズルから水面までの距離

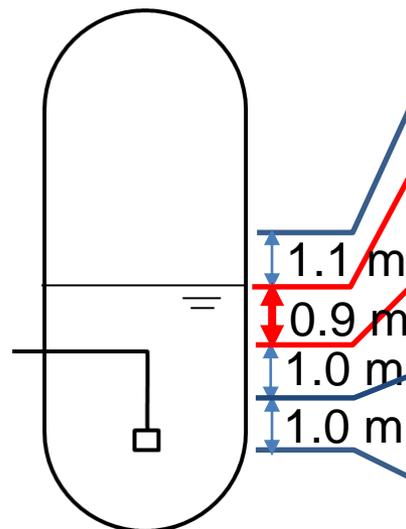
3. 実験結果と考察

減圧による沸騰が発生する水深範囲

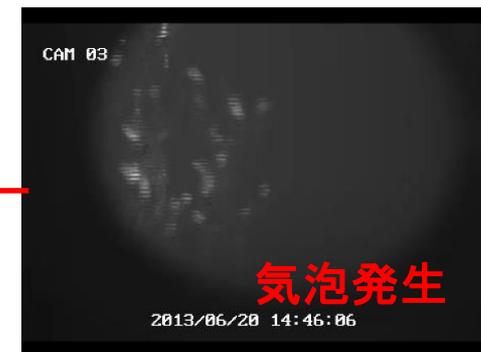
可視化によると水面～1m程度



本実験条件では二相
挙動への影響はある



※ガス流入無しの条件





4. まとめ

圧力抑制プールの減圧沸騰によるスクラビング効果への影響を大型実験装置により評価し、以下の知見を得た。

- ✓ ベントタイプノズルを用いた本実験範囲では、減圧時のスクラビング効果は定常時とほぼ同等な結果が得られており、減圧による影響は小さいと考えられる。





以上



電力共同研究「放射能放出低減装置に関する研究(Phase-II)」のデータを元にしたスクラビング効果等※について

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10回会合
資料2 1,2号機及び3,4号機ベント配管の汚染
に関する解析等について より抜粋

※原子力規制庁において、同報告書データを加工し、独自の解釈を行った。

スクラビング効果の比較

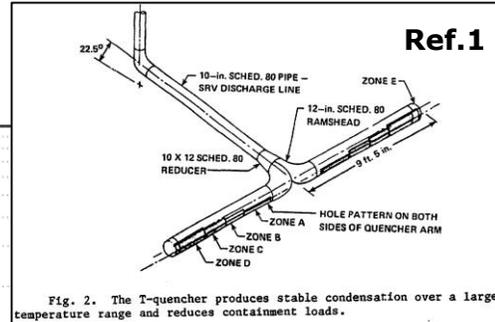


Fig. 2. The T-quencher produces stable condensation over a large temperature range and reduces containment loads.

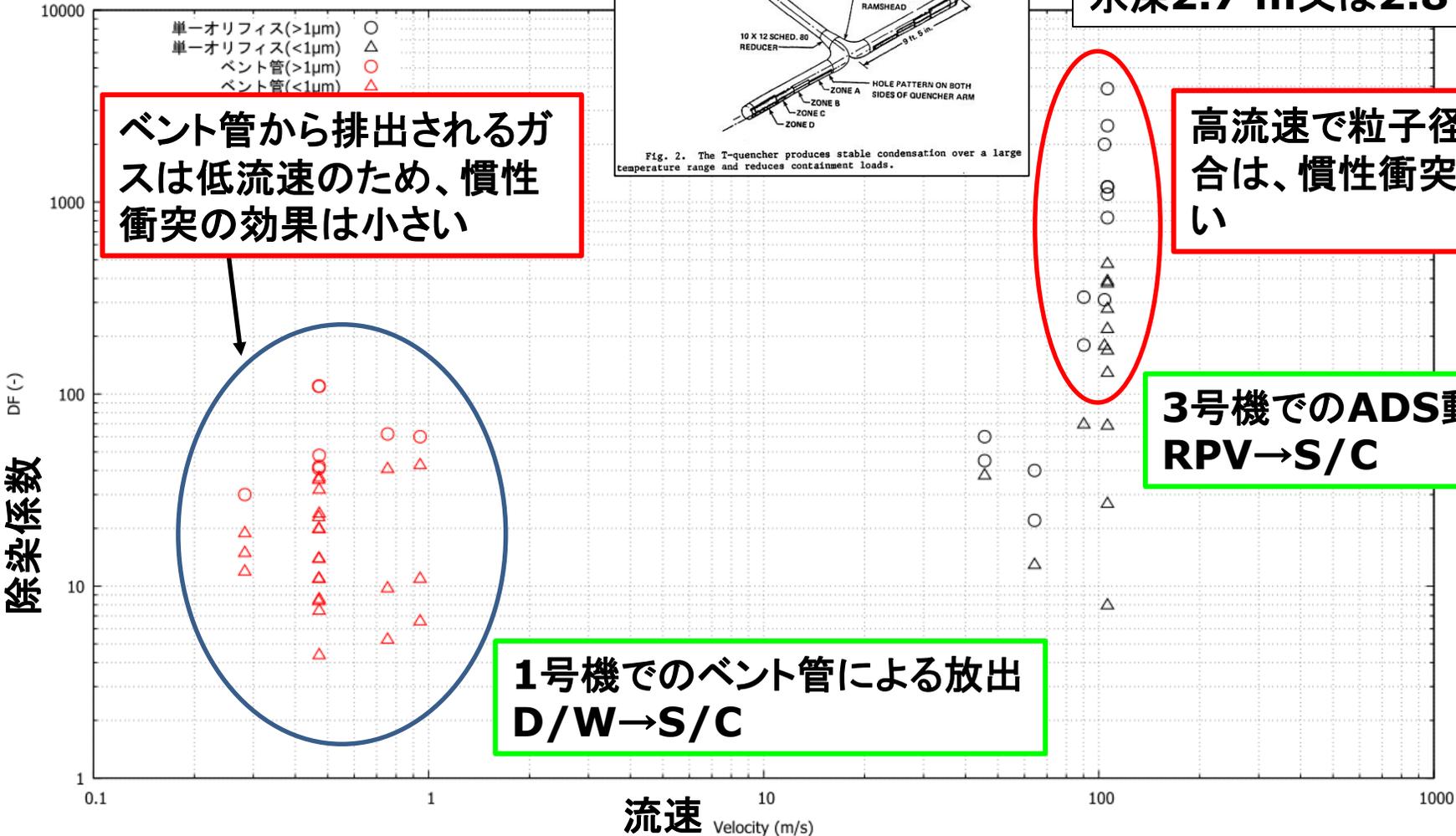
非凝縮性ガス(水蒸気0%)
水深2.7 m又は2.8 mでの結果

高流速で粒子径が大きい場合は、慣性衝突の効果が高い

3号機でのADS動作時の放出
RPV→S/C

1号機でのベント管による放出
D/W→S/C

ベント管から排出されるガスは低流速のため、慣性衝突の効果は小さい



スクラビングへの水深の影響

