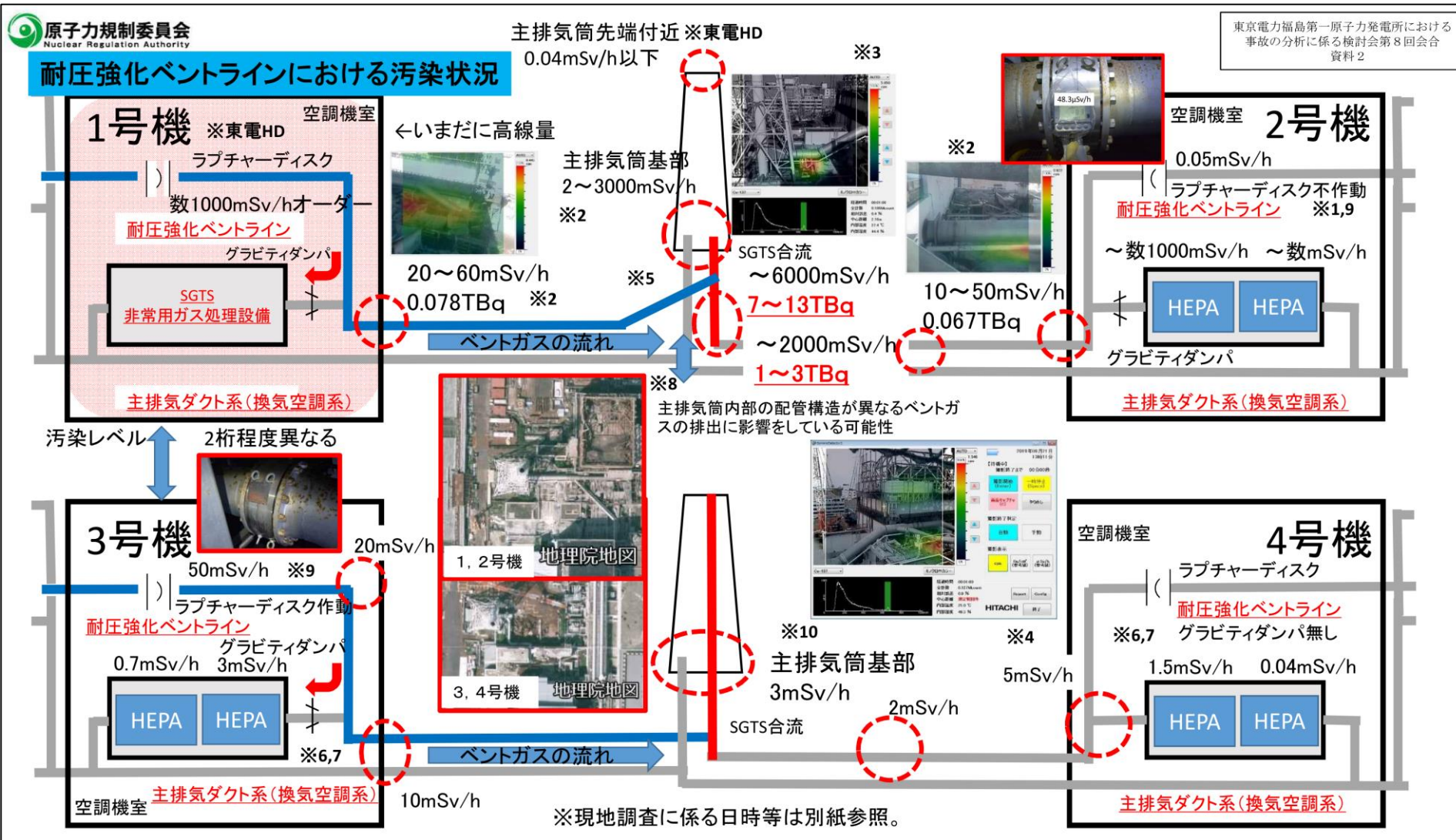


1,2号機及び3,4号機ベント配管の汚染に 関する解析等について

東京電力福島第一原子力発電所事故対策室
星 陽崇

耐圧強化ベントラインにおける汚染状況

1号機のベントラインは3号機のベントラインより線量が高い

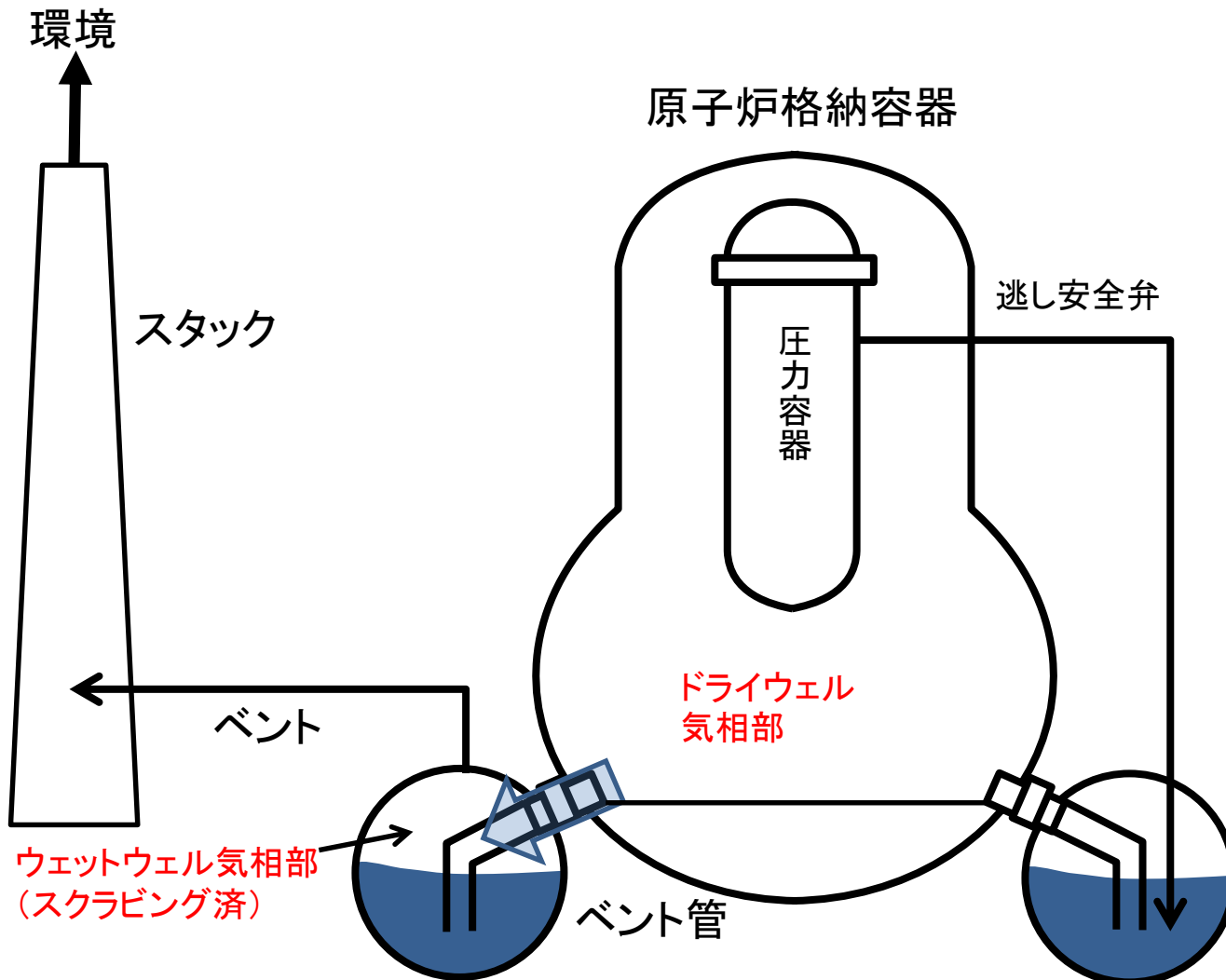


※第8回会合資料からの抜粋

1号機と3号機のベントガスの線量の違いについて

- 1号機と3号機のベントガスに含まれたセシウム量に相違が生じた主たる要因
 - 1号機の真空破壊弁でのバイパスの可能性
 - ベント直前におけるドライウエルの汚染状況の比較

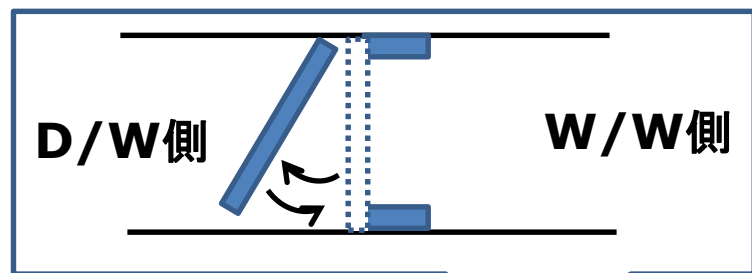
ベントによる環境への放射性物質の放出



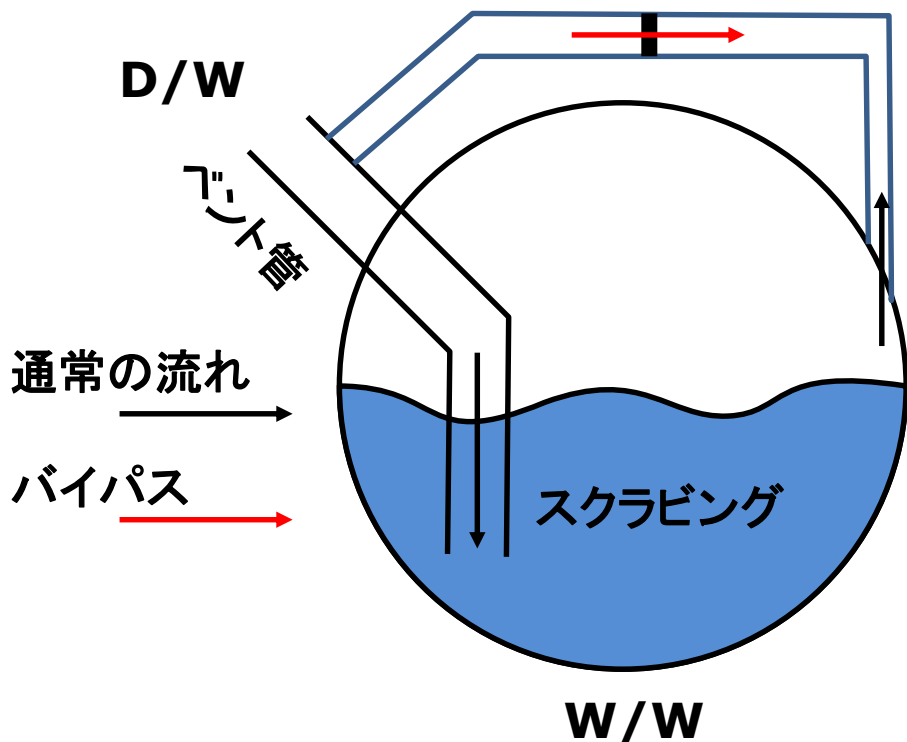
- ウェットウェル気相部に含まれるFP→直接放出
- ドライウエル気相部に含まれるFP→プールでスクラビングされてから放出
 - 第8回検討会では、真空破壊弁でのバイパスによるD/W気相部→W/W気相部への直接放出の可能性が指摘された

真空破壊弁でのバイパスに関する確認項目

1号機



真空破壊弁



放射能

- 環境(スタック)への放射性物質放出量が妥当か
- バイパス部分に痕跡はないか

圧力

- 圧力挙動が実測値と整合するか
- 実測値では、D/W圧力とW/W圧力には圧力差が生じている

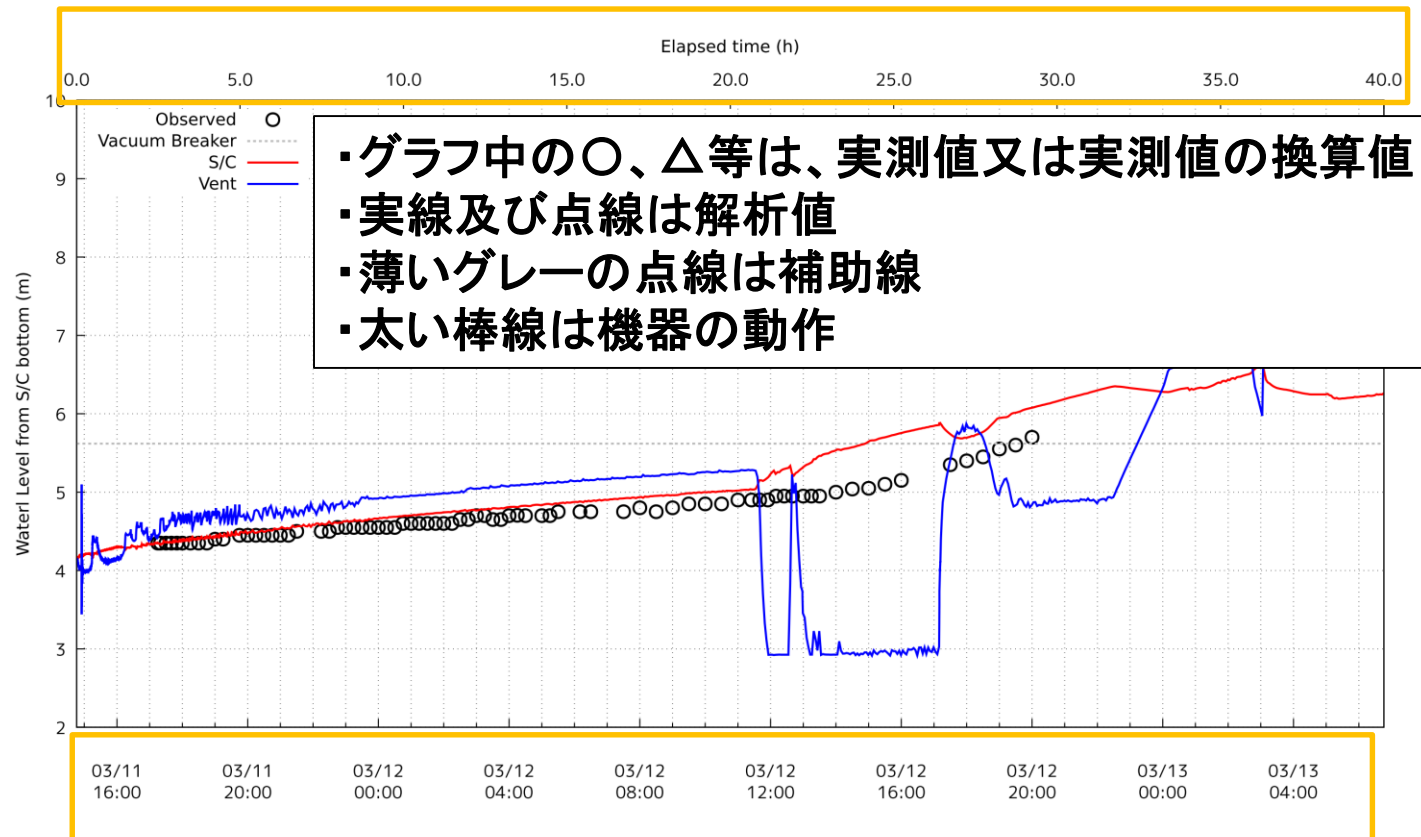
本資料での表記方法

赤色の枠は運転実績等

青色の枠は、解析及び検討に用いた仮定

緑色の枠は、検討の結果導かれた考察

グラフ上側の横軸は地震発生からの経過時間



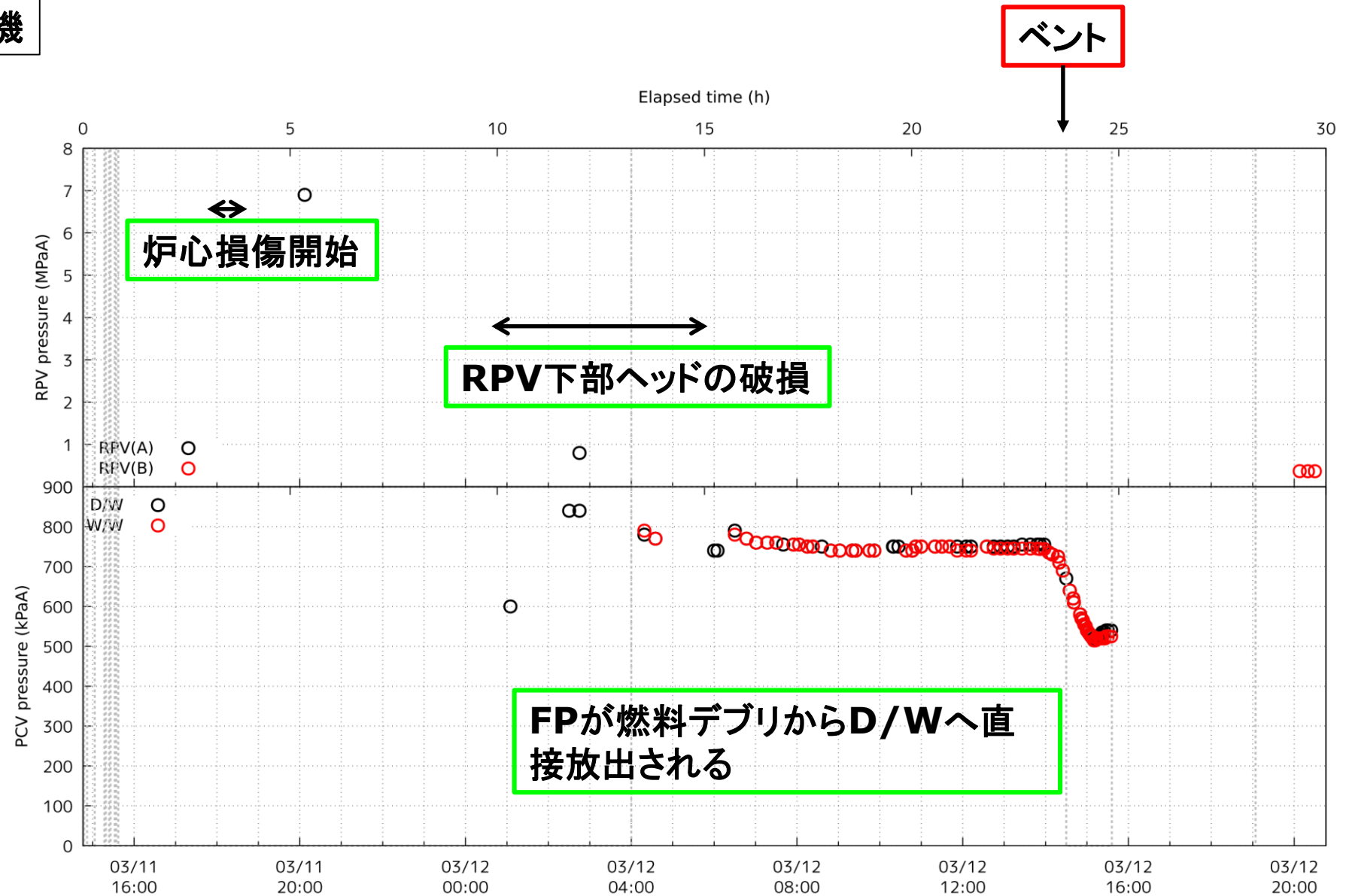
グラフ下側の横軸は日時

1号機の原子炉圧力及び格納容器圧力

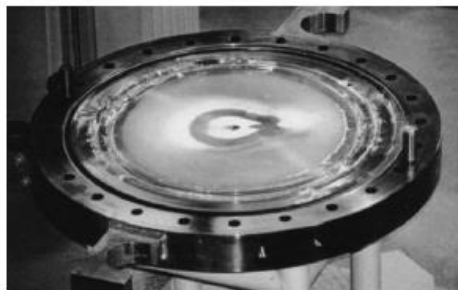
1号機

原子炉圧力

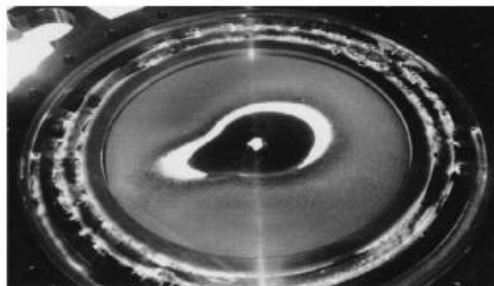
格納容器圧力



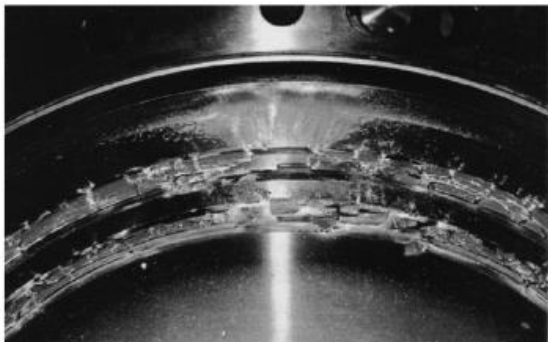
ガスケットでの微小バイパスによるエアロゾルの捕集



Inlet of test piece
(White powder is CsI aerosol)



Outlet of test piece
(White powder is CsI aerosol)



A part of gasket
(White powder is CsI aerosol)

Fig. 10 Photograph of test piece after the FP trapping test
(Flange gasket; Semi-round gasket)

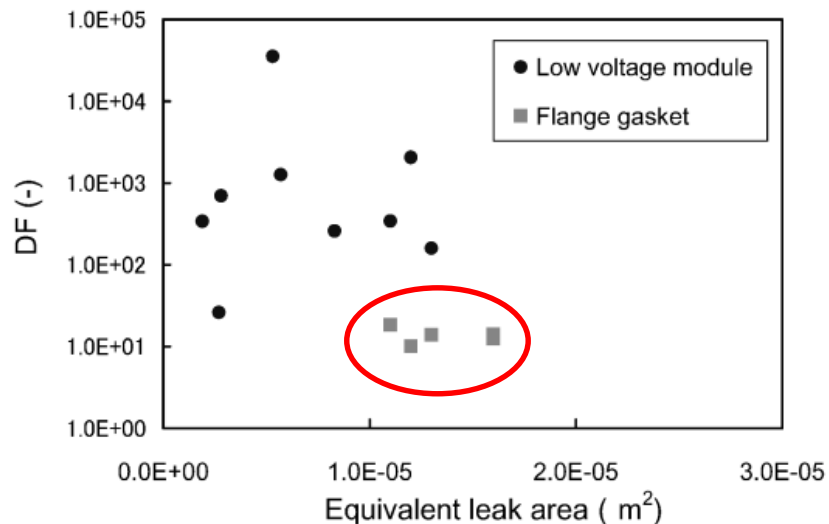
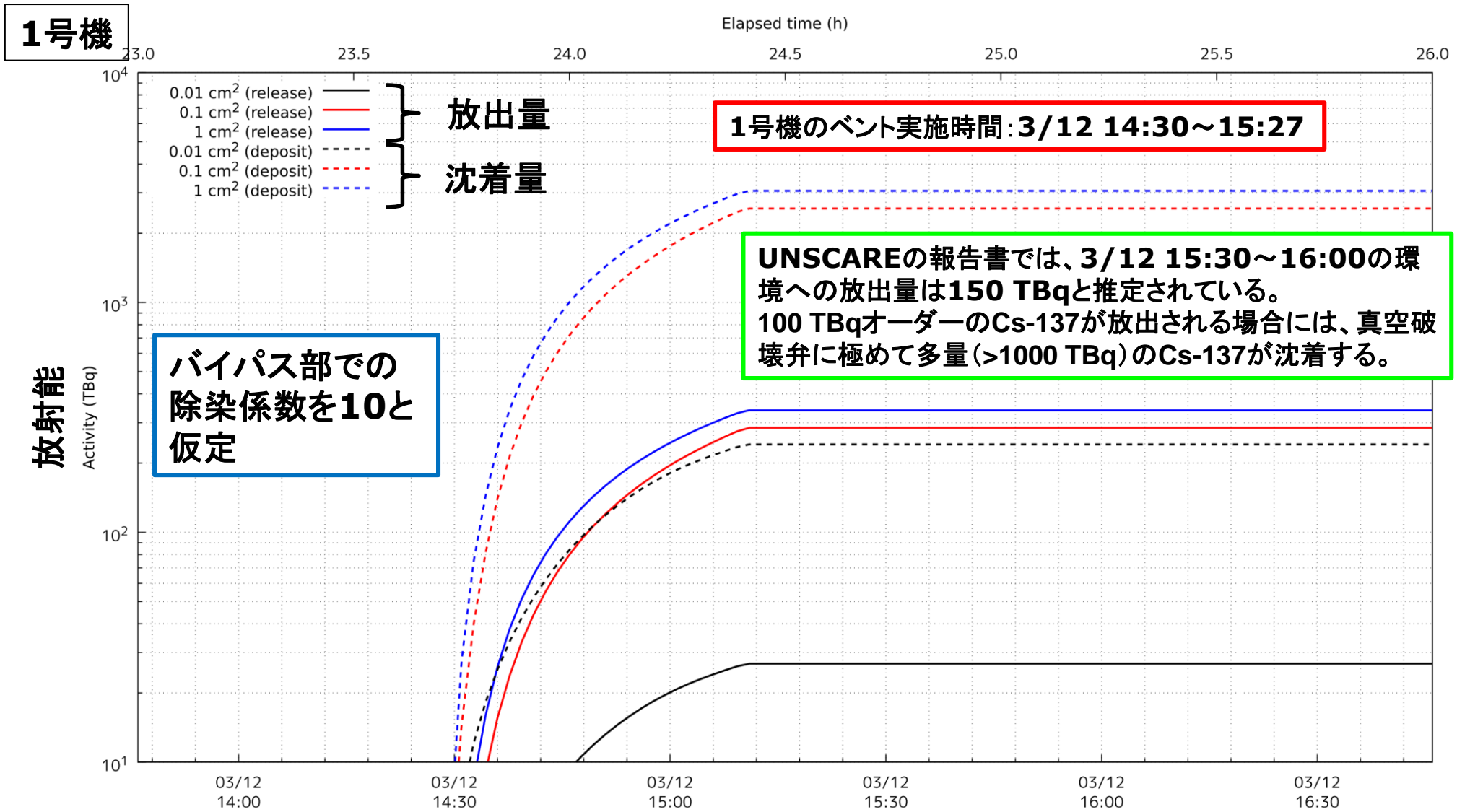


Fig. 15 Relationship between Overall DF and equivalent leak area

- 既往の研究では微小なバイパス部ではエアロゾルが捕集される
- フランジガスケット部では、0.1 cm²程度のバイパス面積の場合、約10の除染係数
- 真空破壊弁においても同様に、微小なバイパスが発生した場合には、エアロゾルが捕集され、ホットスポットになると推定される

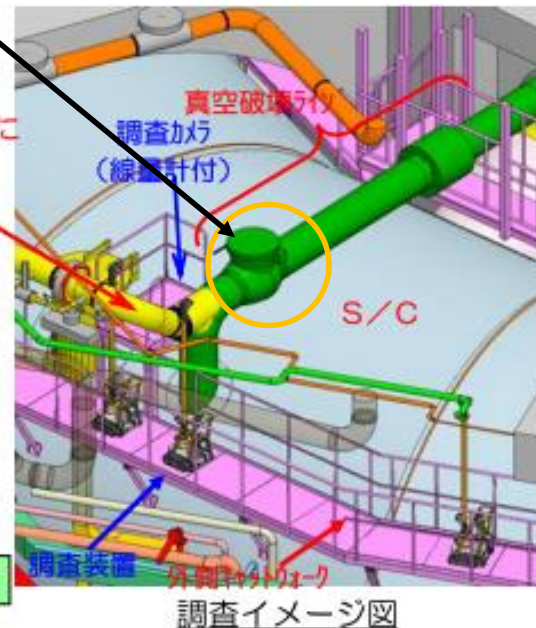
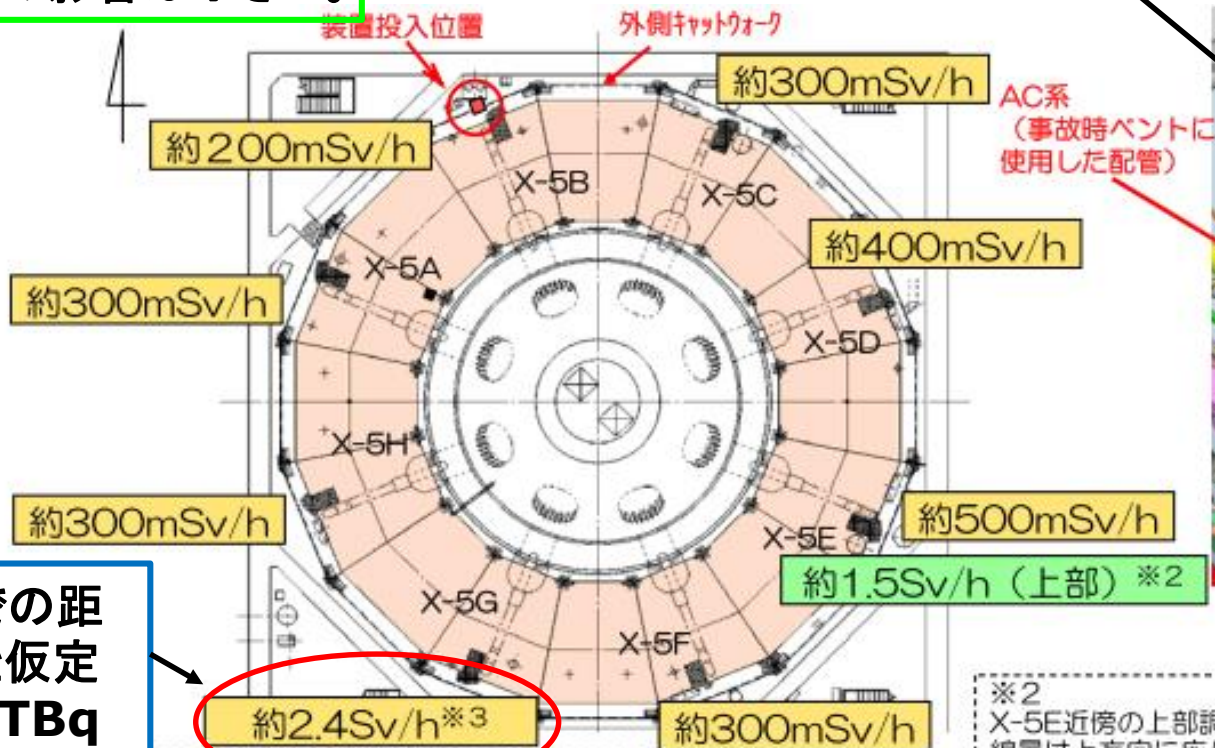
バイパス発生時のCs-137の放出量



S/C上部の線量調査結果

前項の捕集効果を仮定すると、バイパスにより数TBqのCs-137が放出される。総放出量への影響は小さい。

真空破壊弁にバイパスが生じれば、エアロゾルが捕集された痕跡を確認できるのではないか



点線源までの距離を1 mと仮定すると数十TBqのCs-137に相当

※3 調査カメラ (線量計) を上方向 (約1 m) に延伸しても線量の増加傾向は確認されなかった。

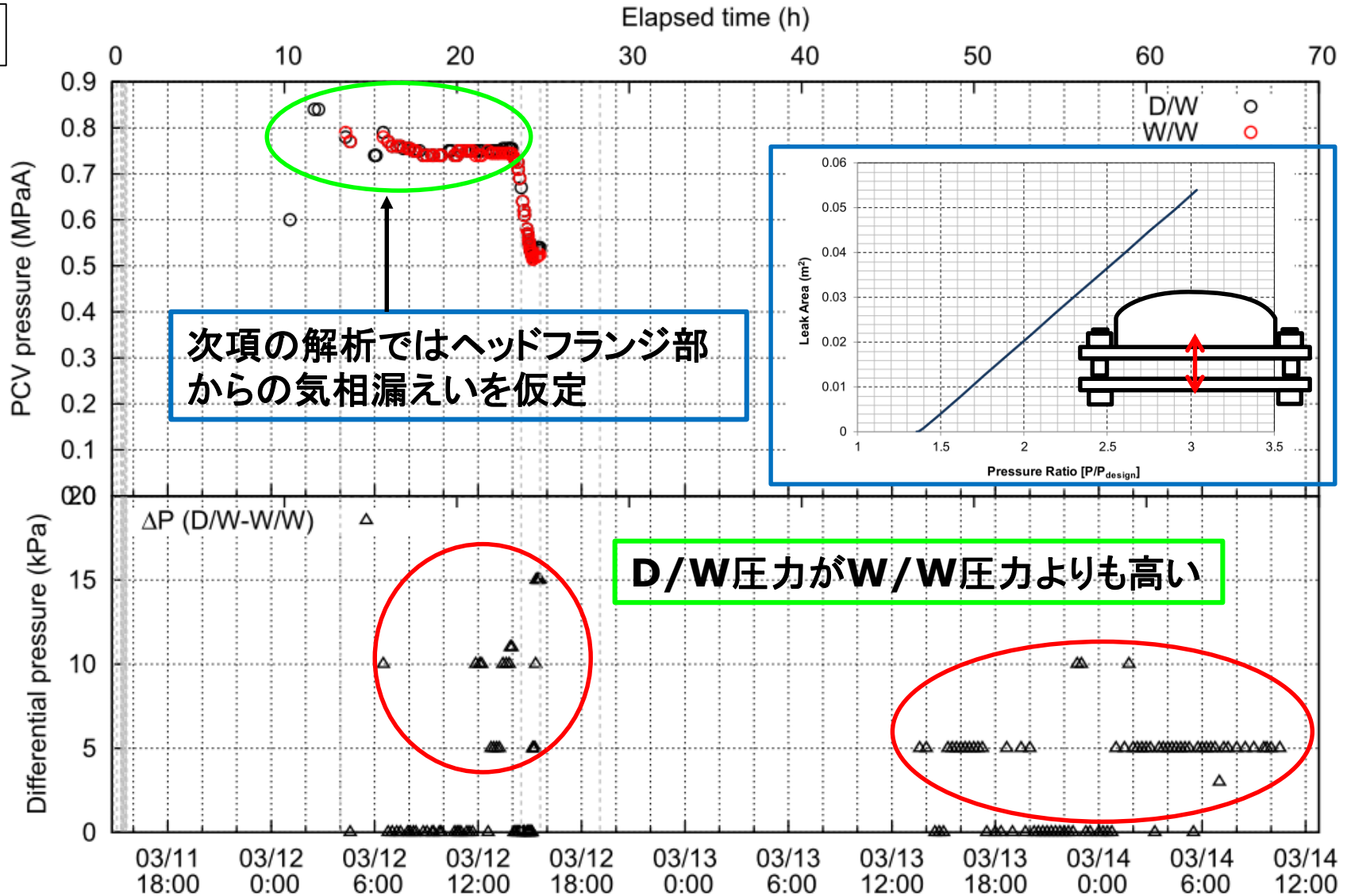
※2 X-5E近傍の上部調査時に線量を測定。線量は上方向に応じて増加する傾向であった。(調査カメラを上方向に延伸) 測定位置: キャットウォーク上から約1400mm高さ

1号機の格納容器圧力

1号機

格納容器圧力

D/WとW/W
の圧力差



D/WとW/Wの圧力差(バイパス無し)

1号機

RPV下部ヘッド破損(解析)

解析ではD/Wヘッドフランジからの漏洩が発生

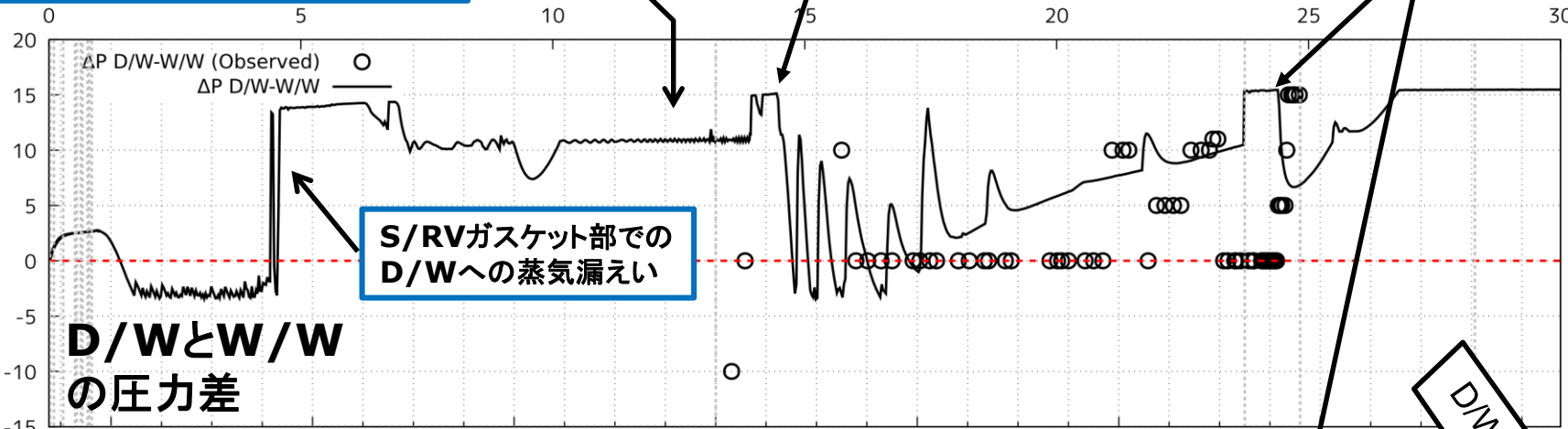
ベントの減圧により、ベント管(ダウンカメラ)内の水が全て押し出された状態

真空破壊弁のバイパス無し

Elapsed time (h)

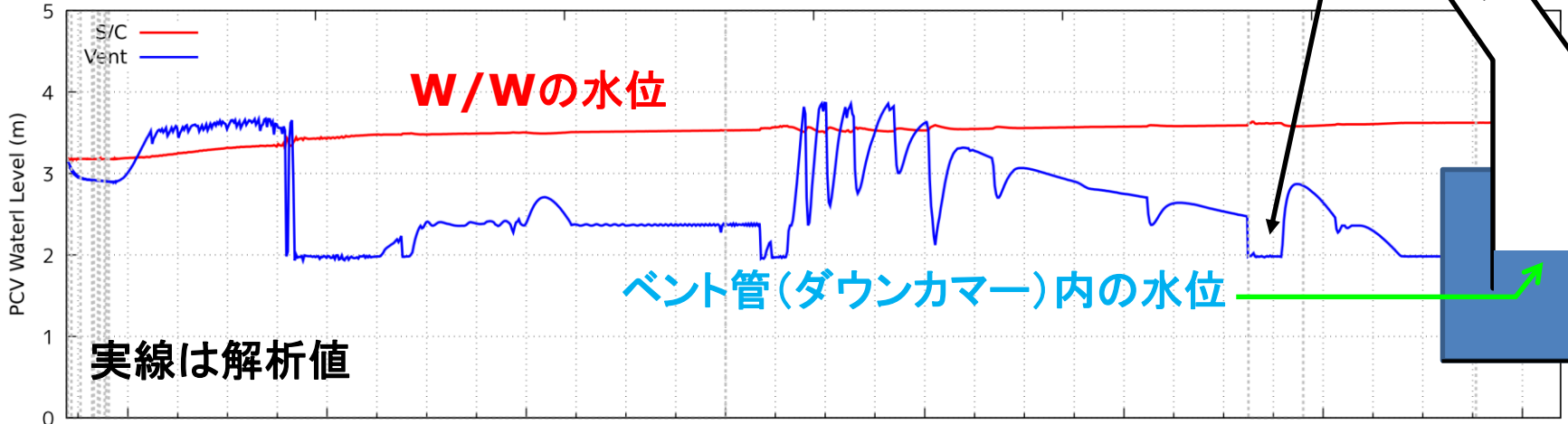
D/WとW/Wの圧力差

Differential pressure (kPa)



W/Wの水位

PCV Water Level (m)



03/11 16:00 03/11 20:00 03/12 0:00 03/12 4:00 03/12 8:00 03/12 12:00 03/12 16:00 03/12 20:00

D/WとW/Wの圧力差(バイパスあり)

1号機

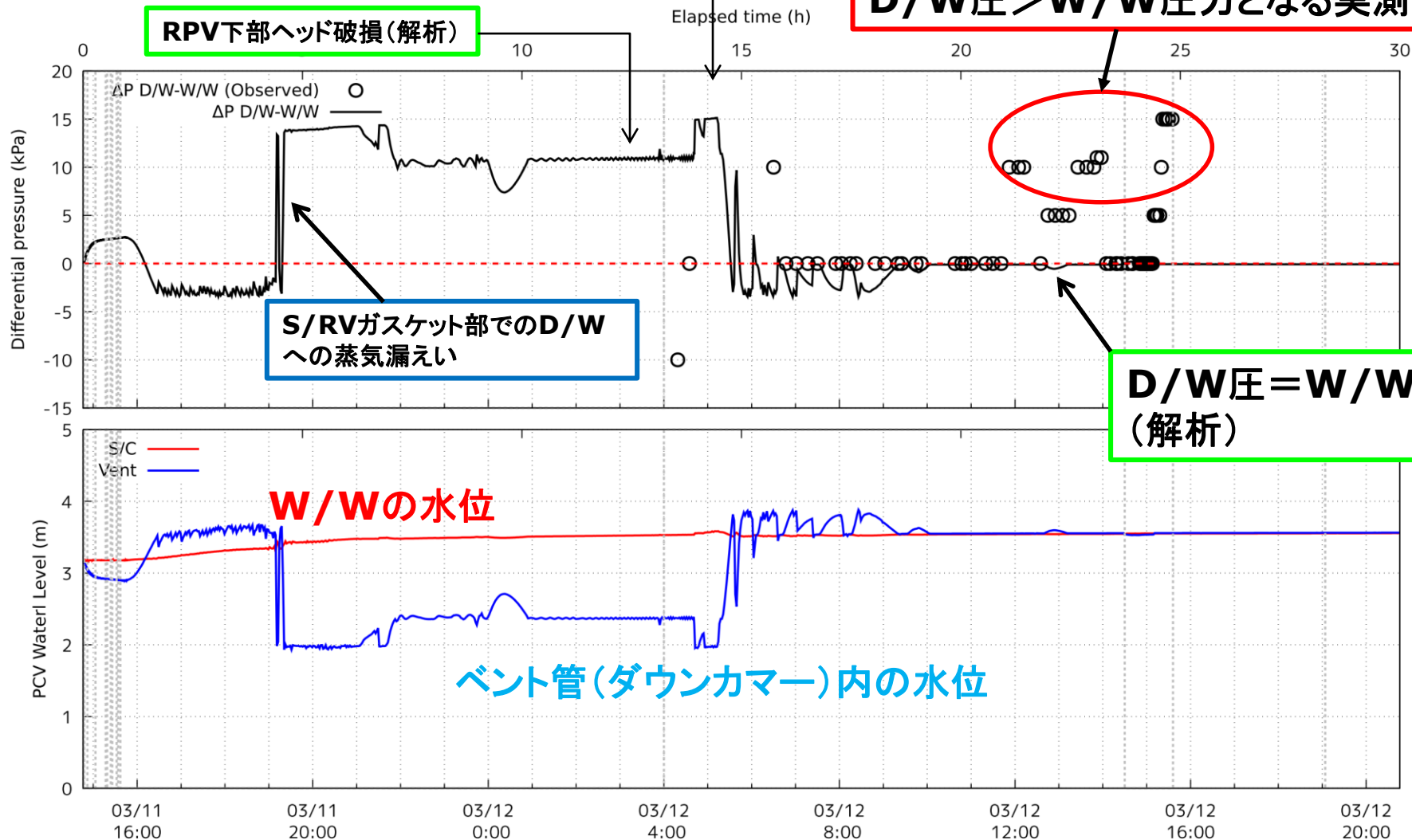
真空破壊弁にバイパス(1 cm²)を仮定

解析ではD/Wヘッドフランジからの漏洩が発生

D/W圧 > W/W圧力となる実測値

D/WとW/Wの圧力差

W/Wの水位



他号機との比較

- 福島第二原子力発電所1号機(2F1)では、真空破壊弁のシートガスケット外れが確認されている¹。
- 東京電力は、2号機では「真空破壊弁のうち一つ以上の破損がある可能性がある」²としている。
- 解析では、2号機はRPVの急速減圧までに約3000回真空破壊弁が作動しているのに対し、1号機ではベントまでの動作が約300回と少ない。
 - 2号機及び2F1では、S/Cを冷却できない状況で長時間RCIC及びS/RVにより水蒸気がS/Cに放出されており、真空破壊弁が動作する期間が長かった。
 - 2号機では約70時間、2F1では約60時間、繰り返し動作したと推定される。
 - 一方、1号機では、ベントまでに真空破壊弁が作動した期間は2時間程度と推定される。
- また、2号機及び2F1ではS/RVによるRPVの急速な減圧が実施されているが、1号機では実施されていない。
- したがって、2号機及び2F1と比較すると、1号機では真空破壊弁への負荷は低かったと考えられる。

1. 東京電力株式会社、福島第二原子力発電所 原子炉格納容器内の目視点検結果、平成24年3月2日、http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_120302_04-j.pdf#page=3

2. 東京電力ホールディングス株式会社、福島第一原子力発電所1～3号機の炉心・格納容器の状態の推定と未説明問題に関する検討 第5回進捗報告、平成29年12月25日

まとめ(真空破壊弁でのバイパスの可能性)

- 真空破壊弁に小さな面積のバイパスを仮定した場合、環境での測定結果を参考にすると、多量のFPが真空破壊弁に沈着すると推定されるが、付近の線量測定値とは整合しない。
- また、実測された1号機のD/W圧力及びW/W圧力の挙動から、真空破壊弁でD/WとW/Wを均圧させるほどのバイパスが生じた可能性は低い。
- したがって、真空破壊弁でのバイパスを、1号機のベントガスの線量が高かった主たる要因とは考え難い。
- ただし、極めて微小なバイパス発生を完全には否定できない。
 - 現場周辺での線量調査等が必要

1号機と3号機のベント時のプラント状態(推定)

	1号機	3号機※
炉心損傷からベントまでの時間	約20時間	約5時間(1回目)～約9時間(2回目)
ベント時の炉心損傷割合	ほぼ全量	約30%(1回目)～90%(2回目)
RPV下部ヘッド	破損	健全
燃料からのCs放出割合	約90%	約30%(1回目)～80%(2回目)
Csの分布(RPV沈着)	約30%	約20%(1回目)～約30%(2回目)
〃 (D/W)	約20%	<1%(1回目)～<1%(2回目)
〃 (W/W気相部)	<1%	<1%(1回目)～<1%(2回目)

原子炉スクラム時に燃料に含まれるCs総量に対する割合

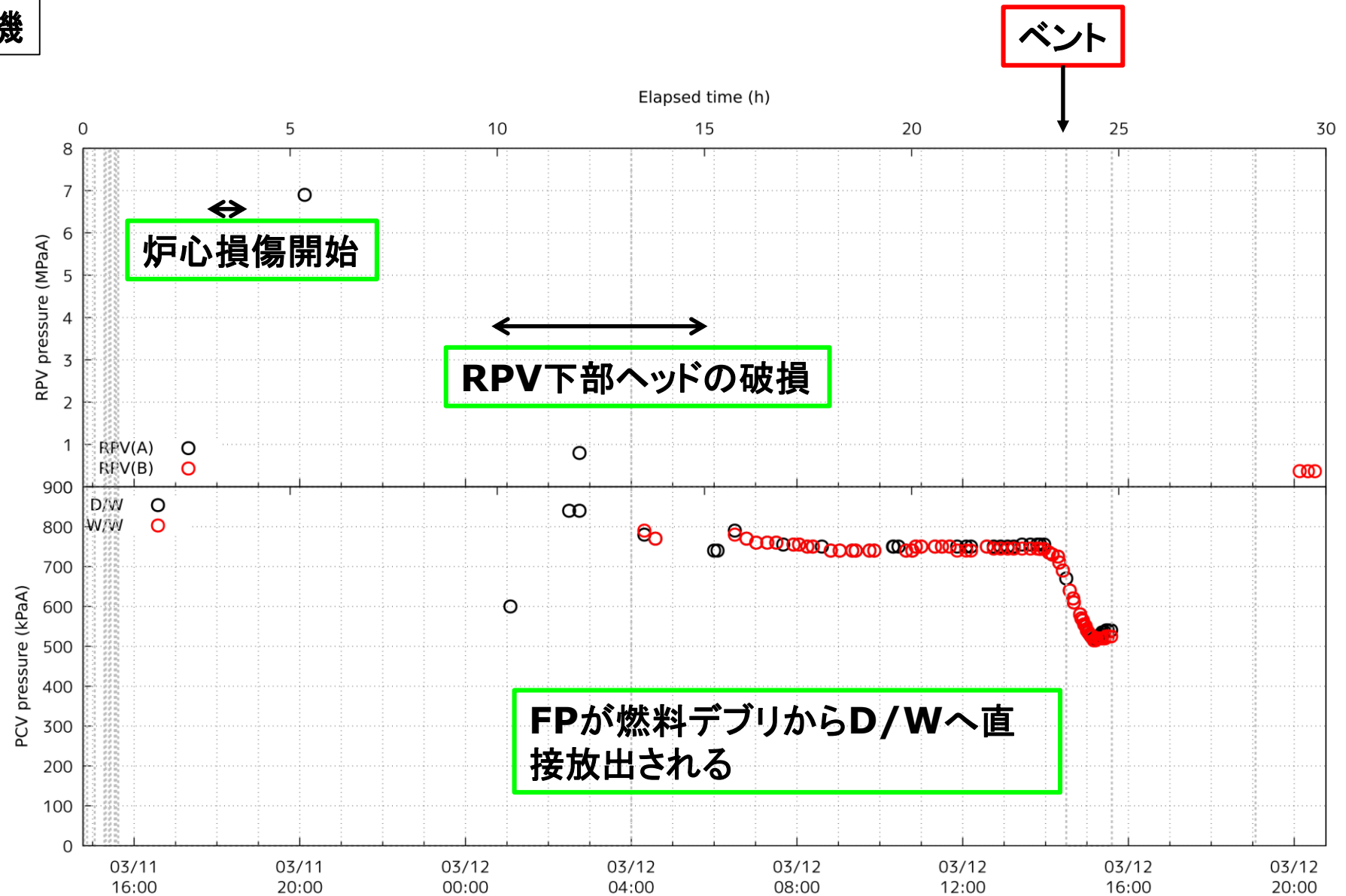
※前提条件: 3号機のベントは1回目(3月13日9:20)と2回目(3月13日12:30)のみ成功

1号機の原子炉圧力及び格納容器圧力

1号機

原子炉圧力

格納容器圧力

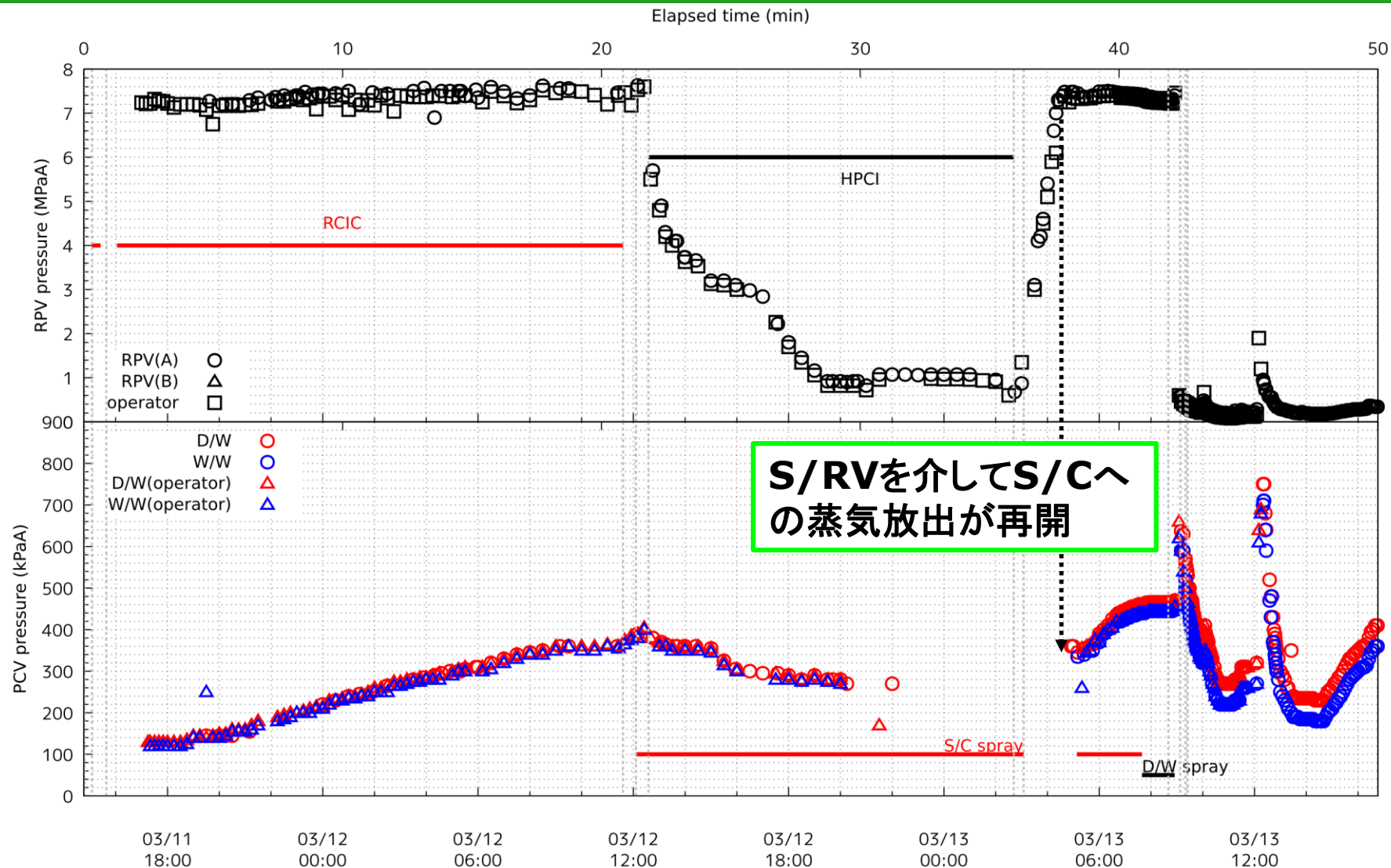


3号機の原子炉圧力及び格納容器圧力

3号機

原子炉圧力

格納容器圧力

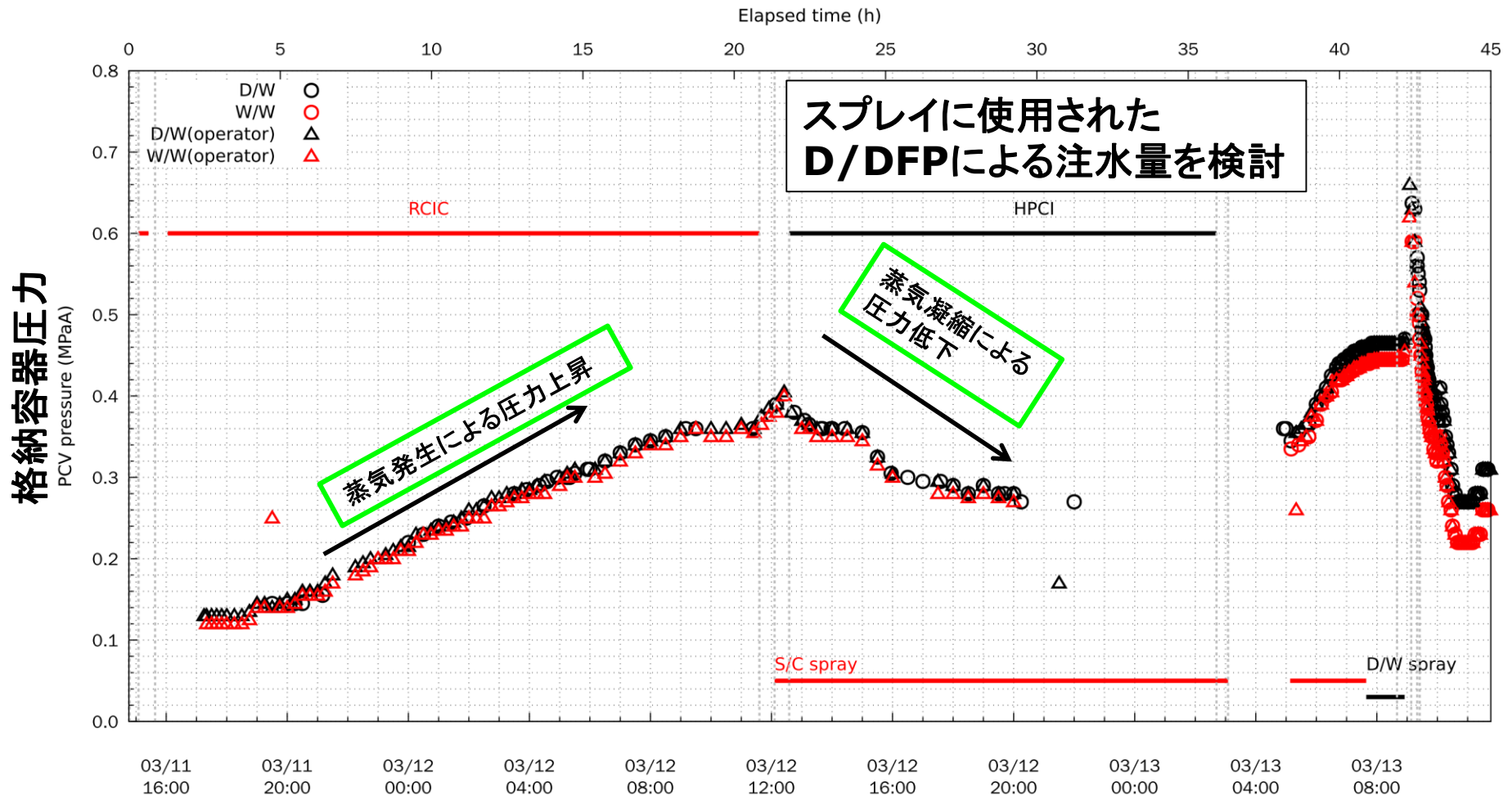


3号機の炉心損傷開始時間について

- 3号機のベントによって4号機へ水素が流入し、水素爆発を生じた
- 3号機のベントは1回目(3月13日9:20)と2回目(3月13日12:30)のみ成功と仮定
 - 炉心損傷開始時刻は3月13日12:30以前
 - 4号機建屋爆発に相当する量以上の水素発生
 - 発生した非凝縮性ガスの水素によってPCV圧力が上昇する(金属-水反応の速度は速いため、短時間で)
- 炉心損傷開始時間は、HPCIによる炉心への注水量に依存する

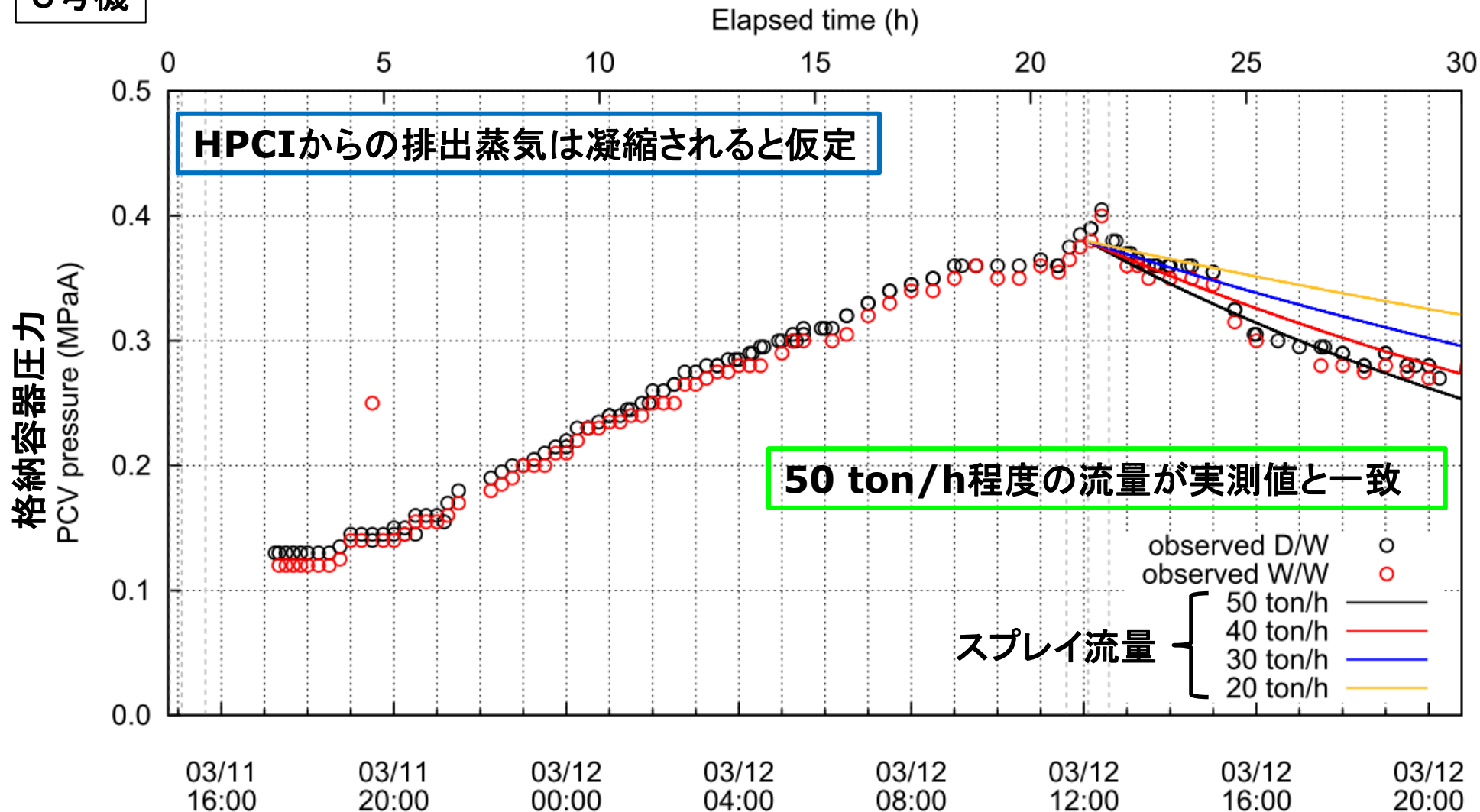
PCV圧力とスプレイの関係

3号機



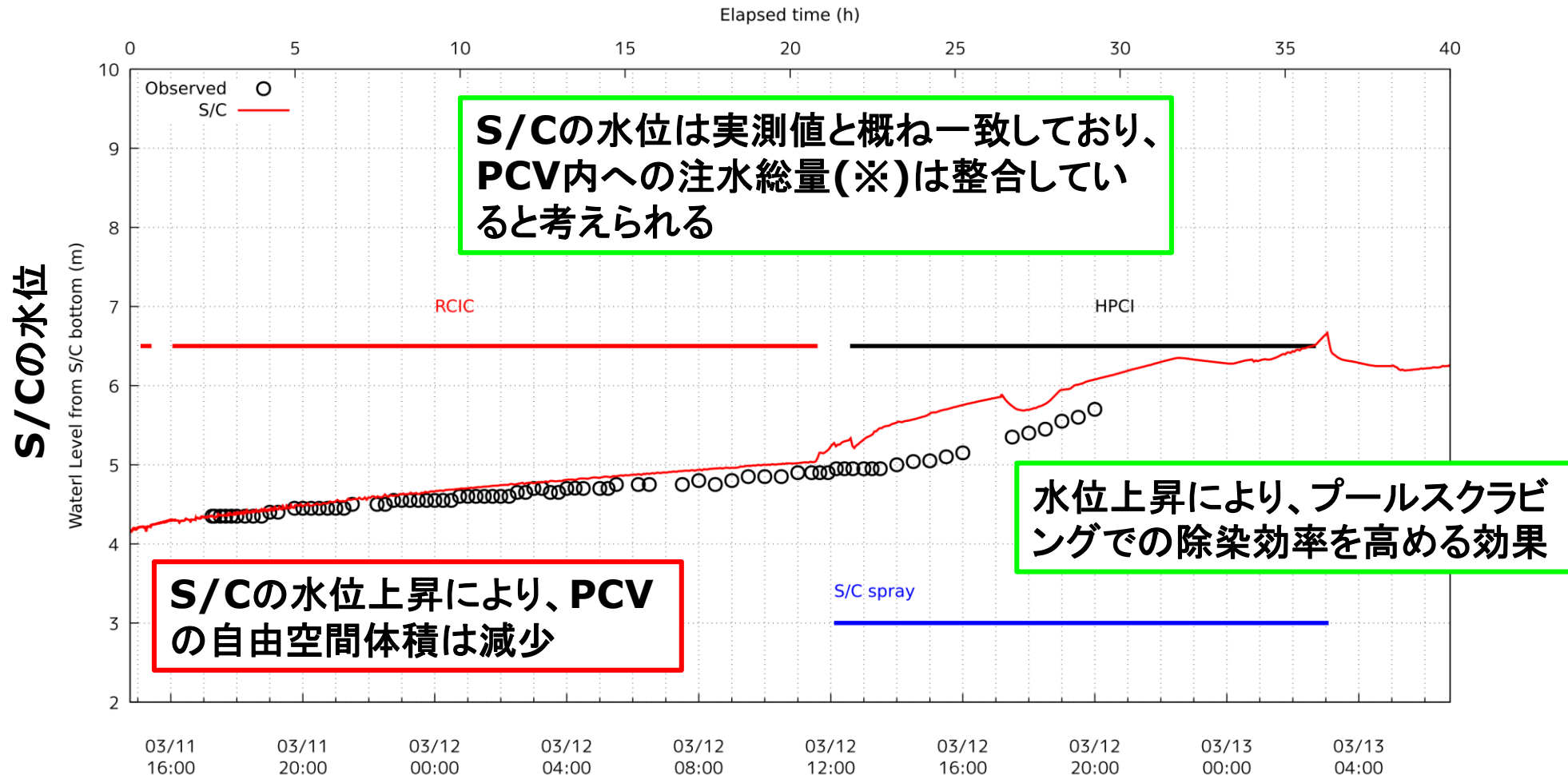
単純な系でのスプレイ効果の確認

3号機



S/Cの水位

3号機



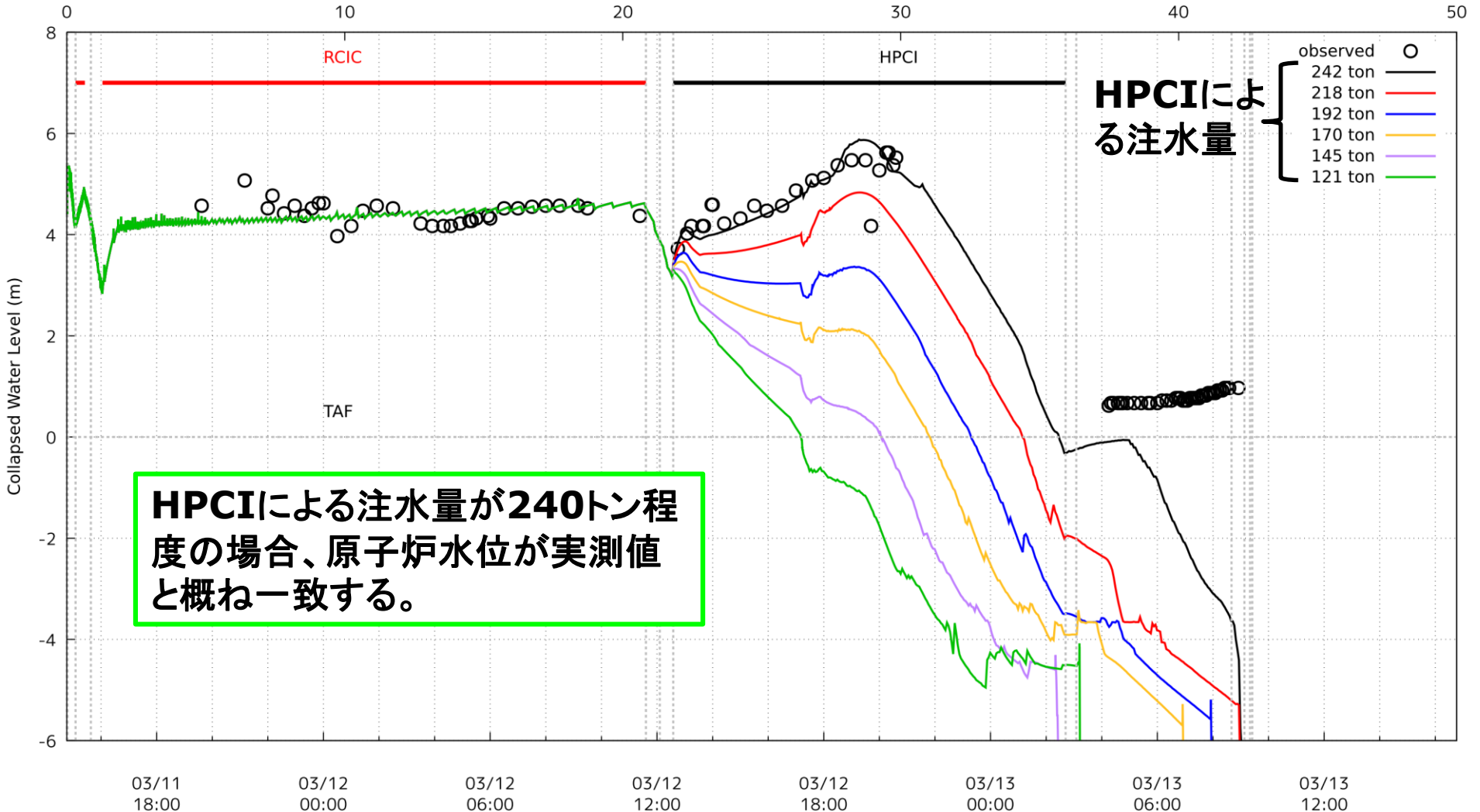
※RCIC、HPCI及びスプレイによる注水量の合計

HPCI注水による原子炉水位の変化

3号機

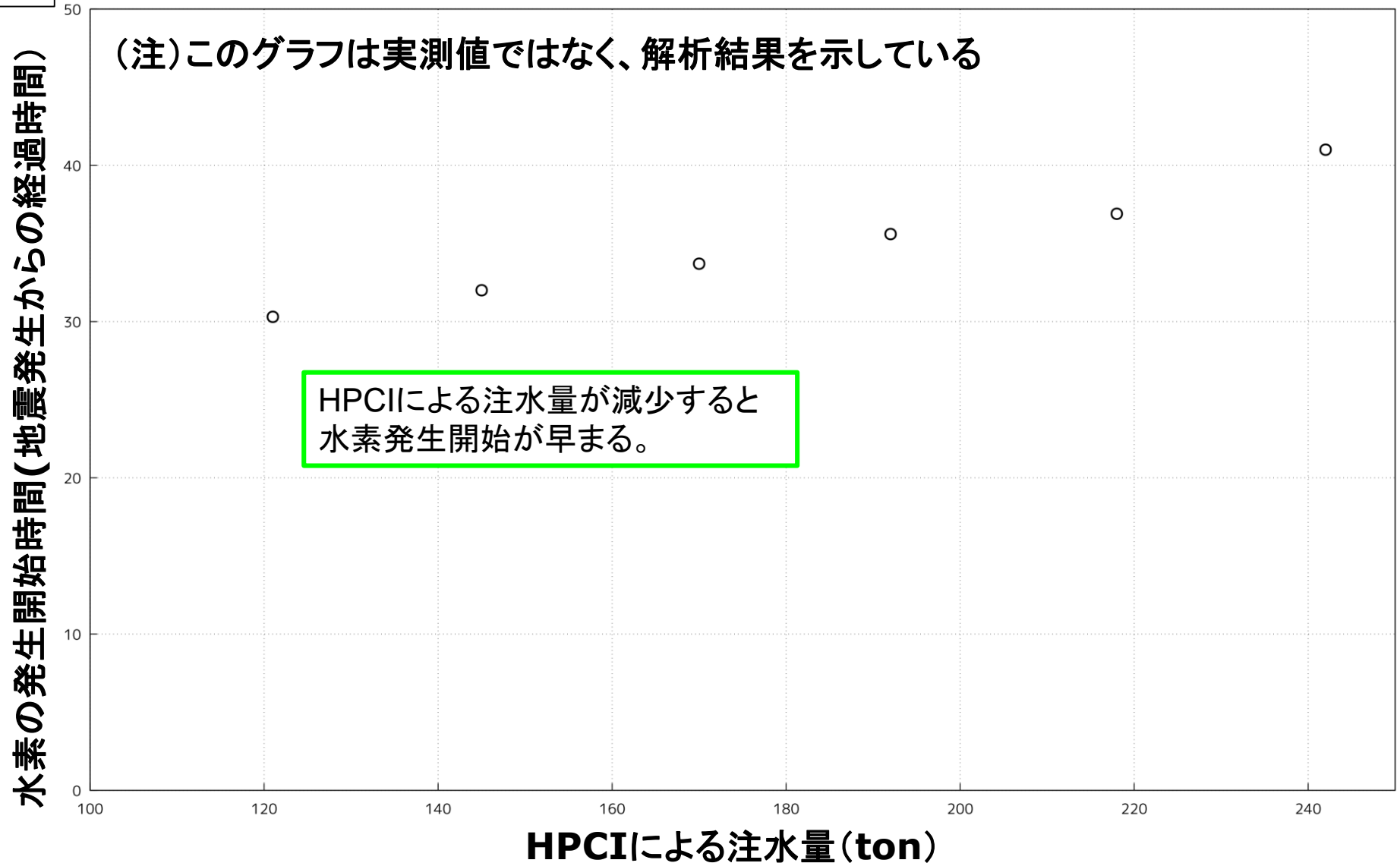
Elapsed time (h)

原子炉水位



金属-水反応による水素発生開始時間

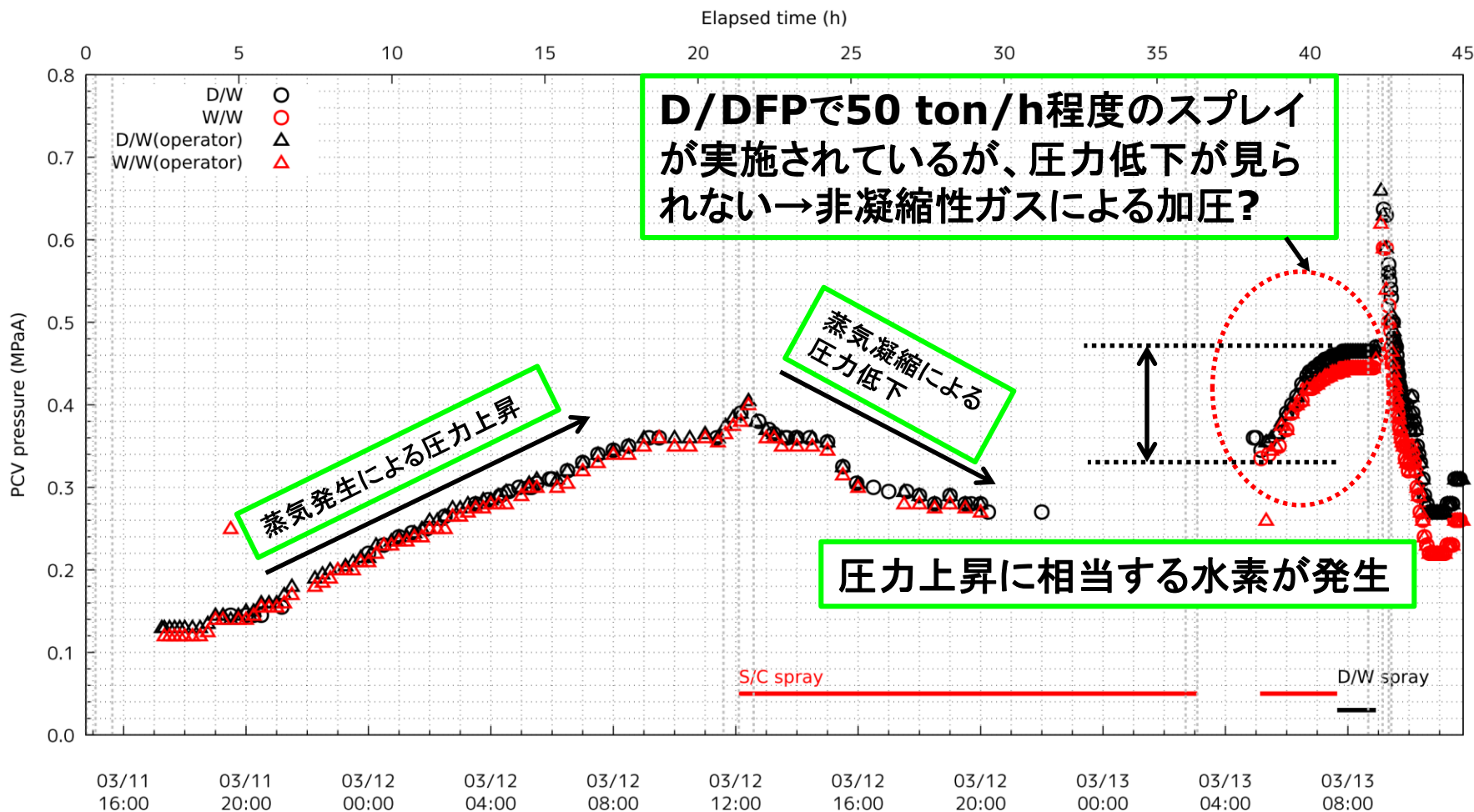
3号機



PCV圧力とスプレイの関係

3号機

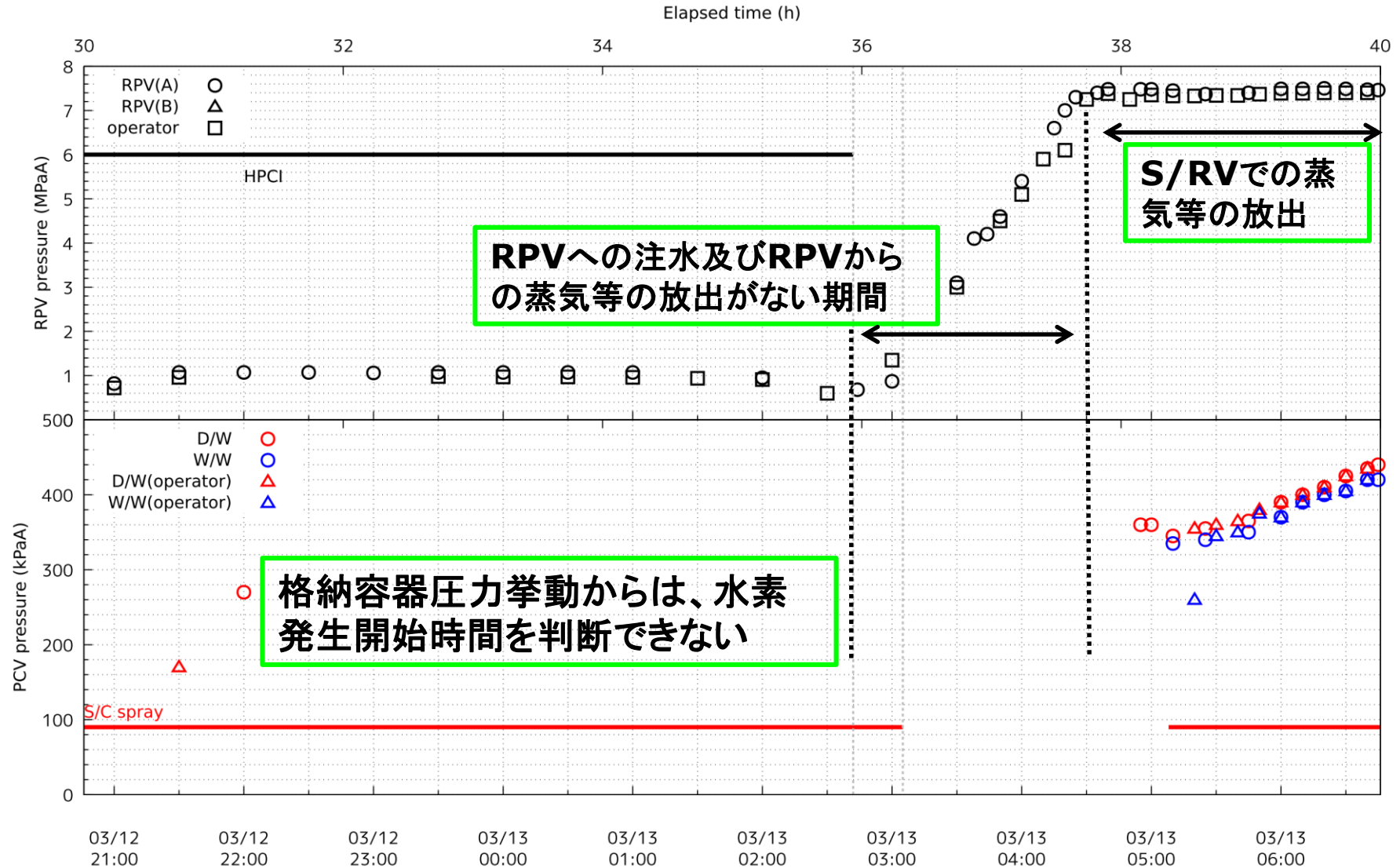
格納容器圧力



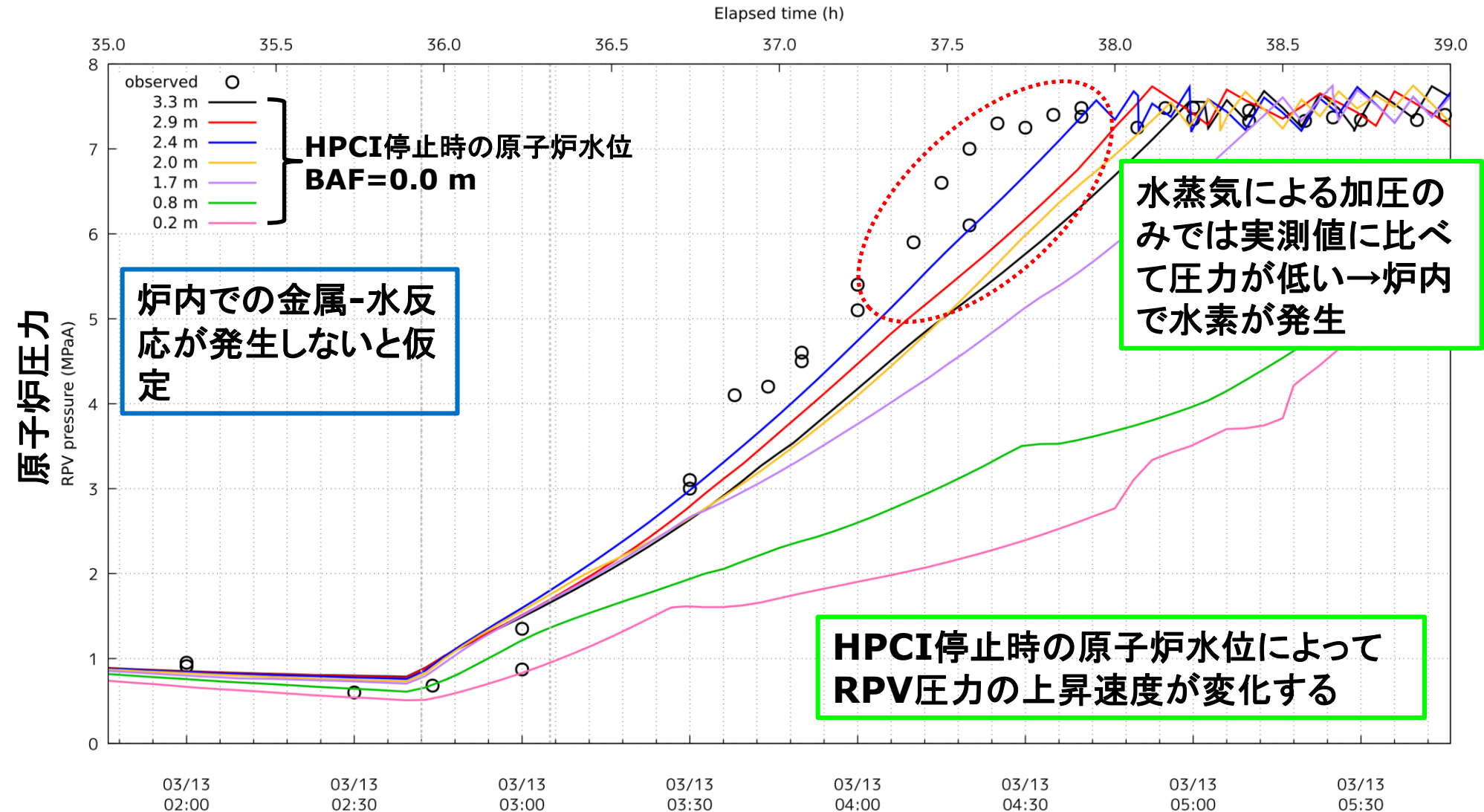
HPCI停止後の圧力挙動

原子炉圧力

格納容器圧力



HPCI停止後のRPV圧力

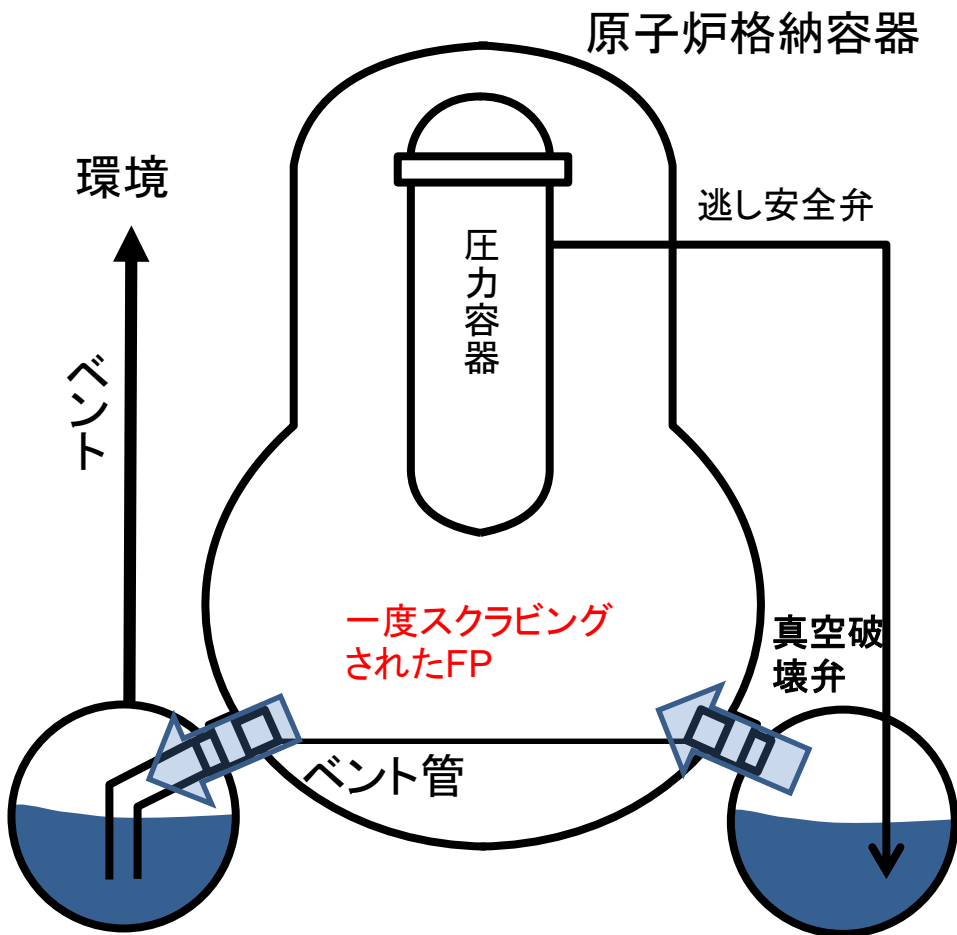


3号機での炉心損傷開始

- 3月13日4時頃に炉心損傷したと考えられる
- 3月13日9時頃までに炉心で発生した水素量は500 kg程度と推定される
 - 初回のベントまでの炉心損傷割合は3割程度

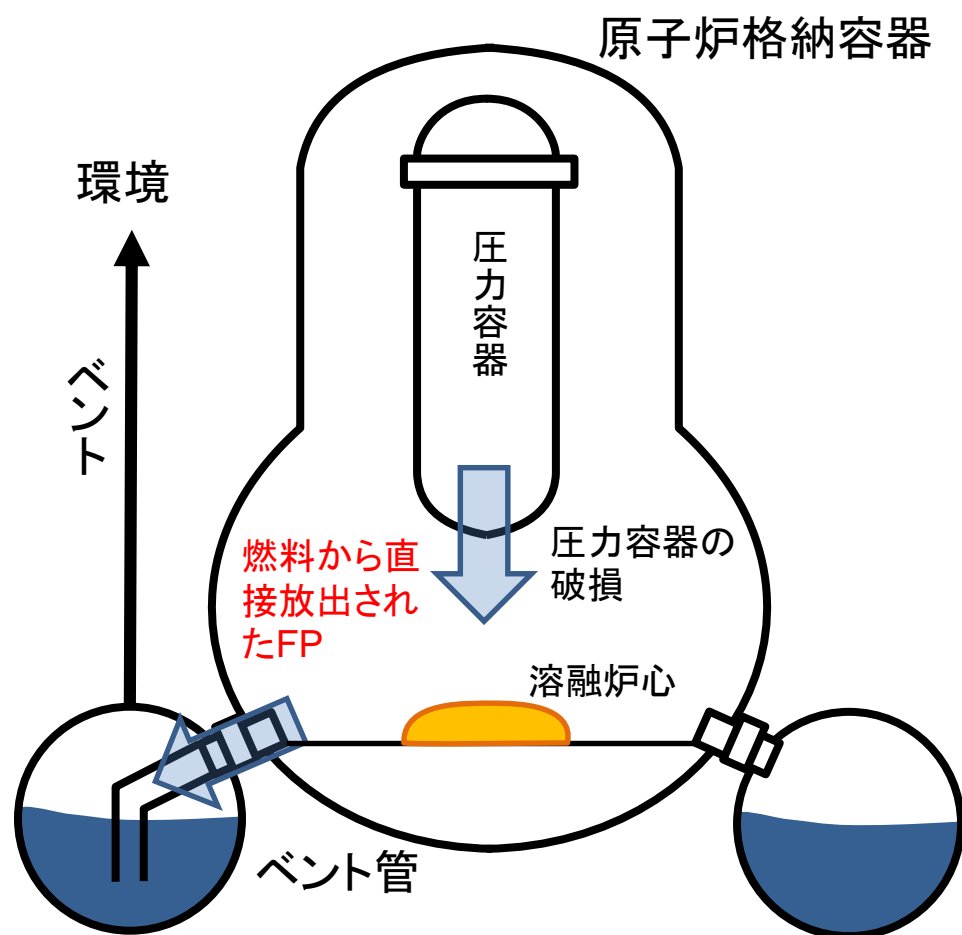
ベントによる主要なFP移行経路の比較

メルトスルー前



1. W/W気相部→環境
2. D/W→W/W(スクラビング)→環境
3. RPV→W/W(スクラビング)→環境

メルトスルー後



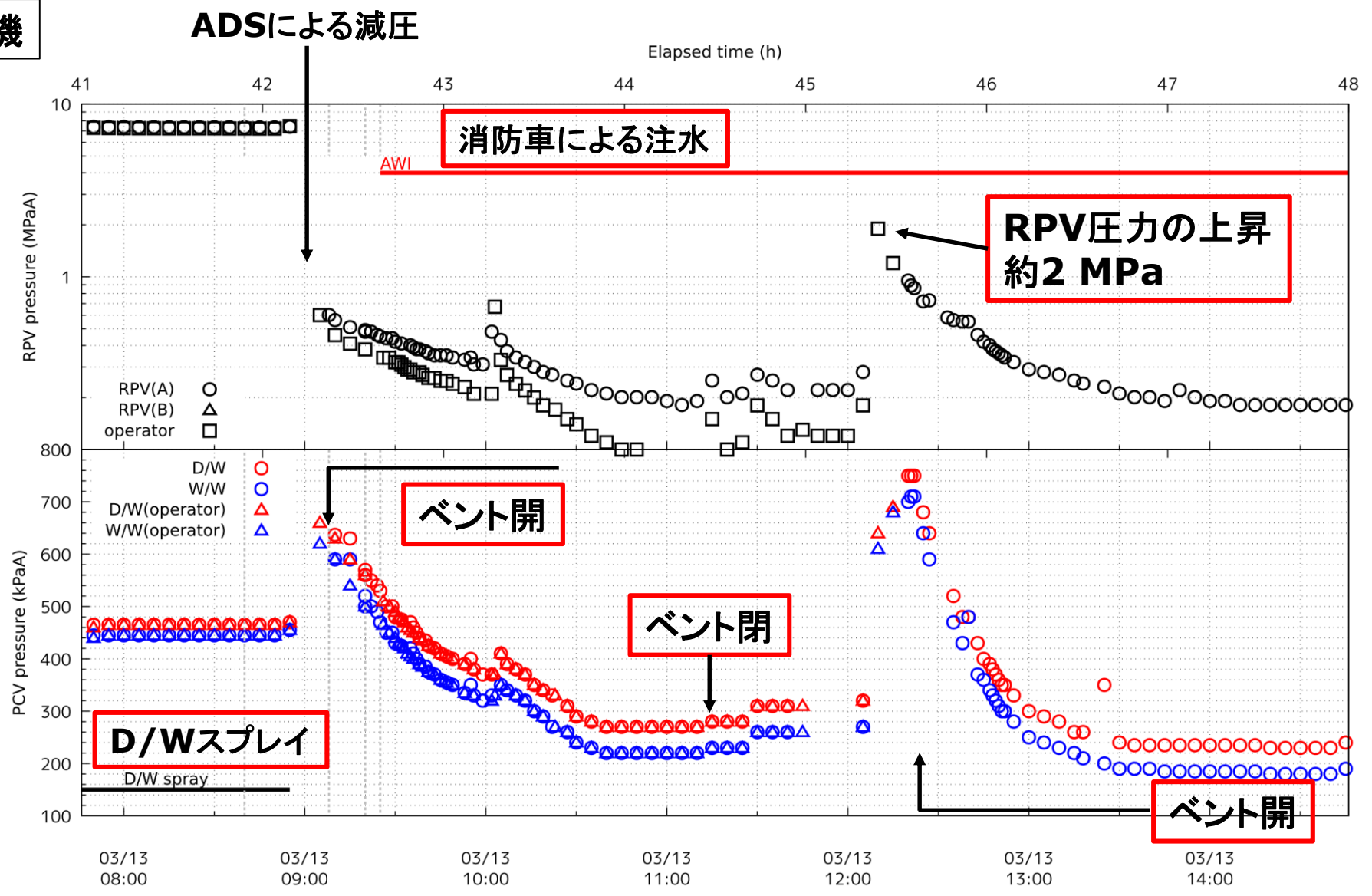
1. W/W気相部→環境
2. **D/W**→W/W(スクラビング)→環境

3号機の1回目と2回目のベント間の圧力挙動

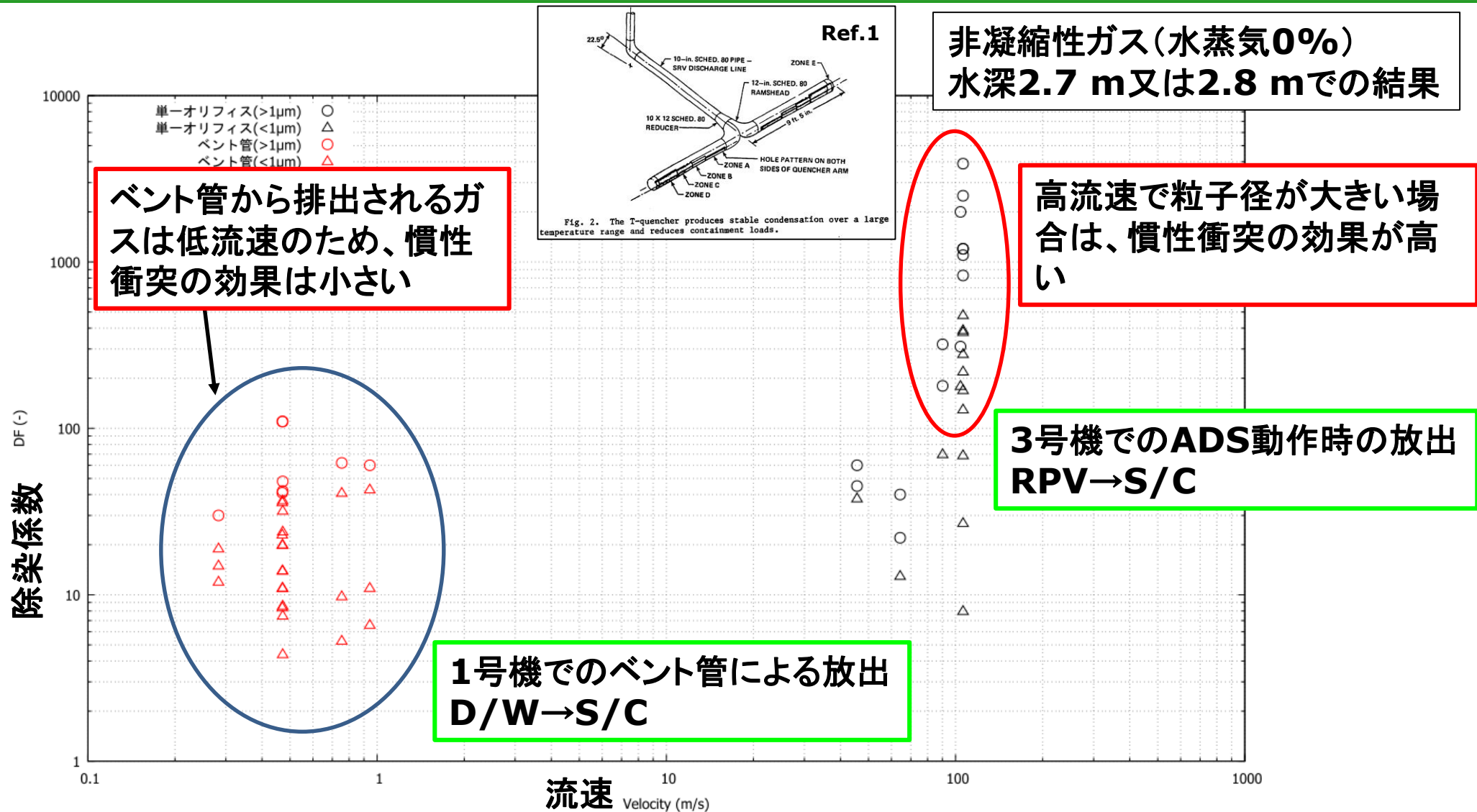
3号機

原子炉圧力

格納容器圧力



スクラビング効果の比較



まとめ

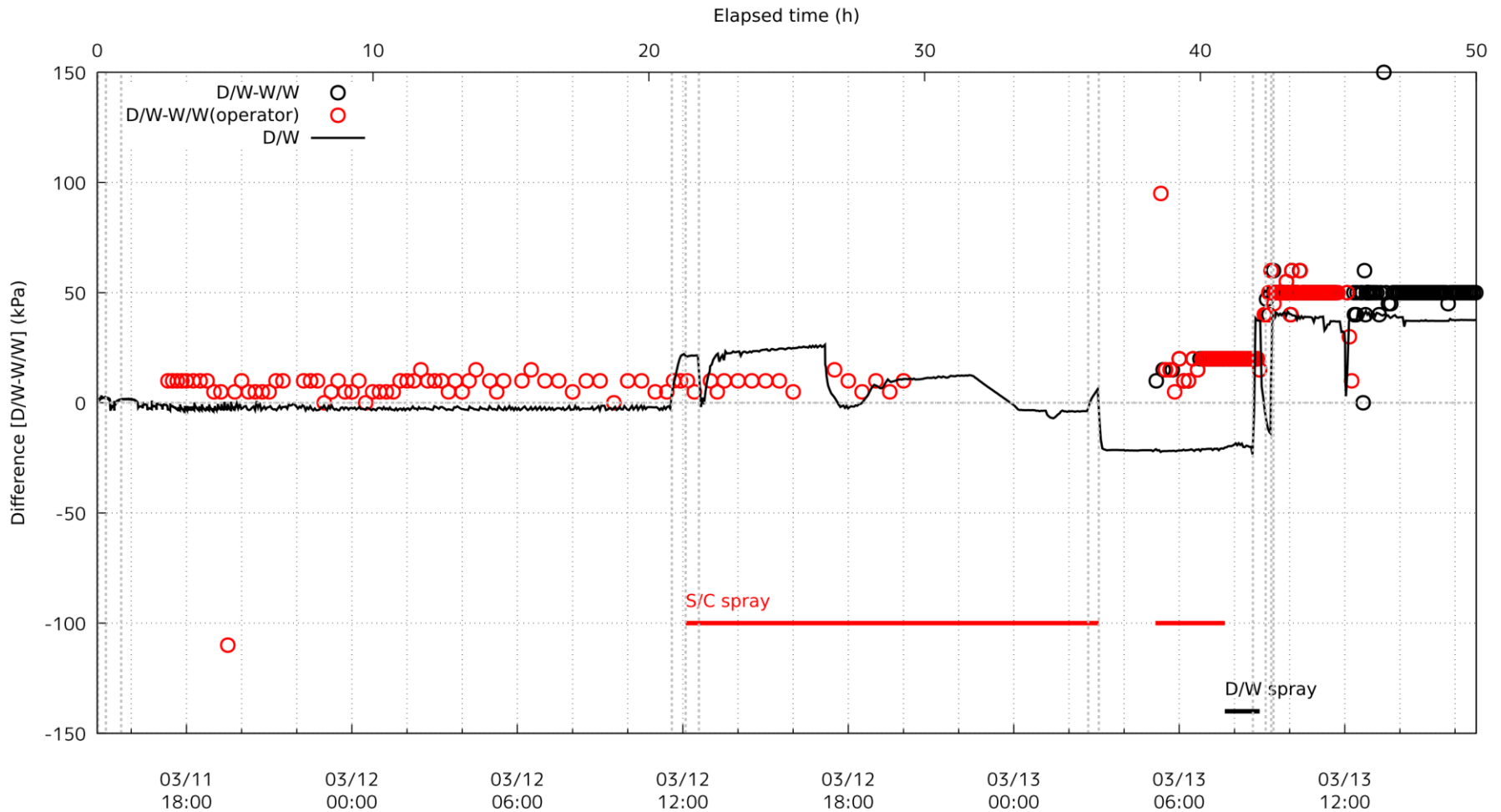
- 炉心損傷度
 - 1号機は、ベント開始時点までに炉心損傷の度合いが高い。
 - 3号機は1回目のベント開始時点では、炉心損傷の度合いが低いですが、2回目のベント開始までには炉心の損傷がかなり進む。
- D/Wに存在するFP量
 - 1号機は、ベント開始までにRPV下部ヘッドが破損しており、D/Wに存在するFP量が極めて多い。
 - 3号機は、一度スクラビングされるため存在するFP量は少ない。
- ベント時のスクラビング効果
 - RPV下部ヘッド破損後はベント管出口での除染となる。
 - RPV下部ヘッド破損前は主としてクエンチャー出口でプールスクラビングされており、除染効果が高い。

以下、参考

格納容器圧力の測定値

3号機

D/WとW/Wの圧力差

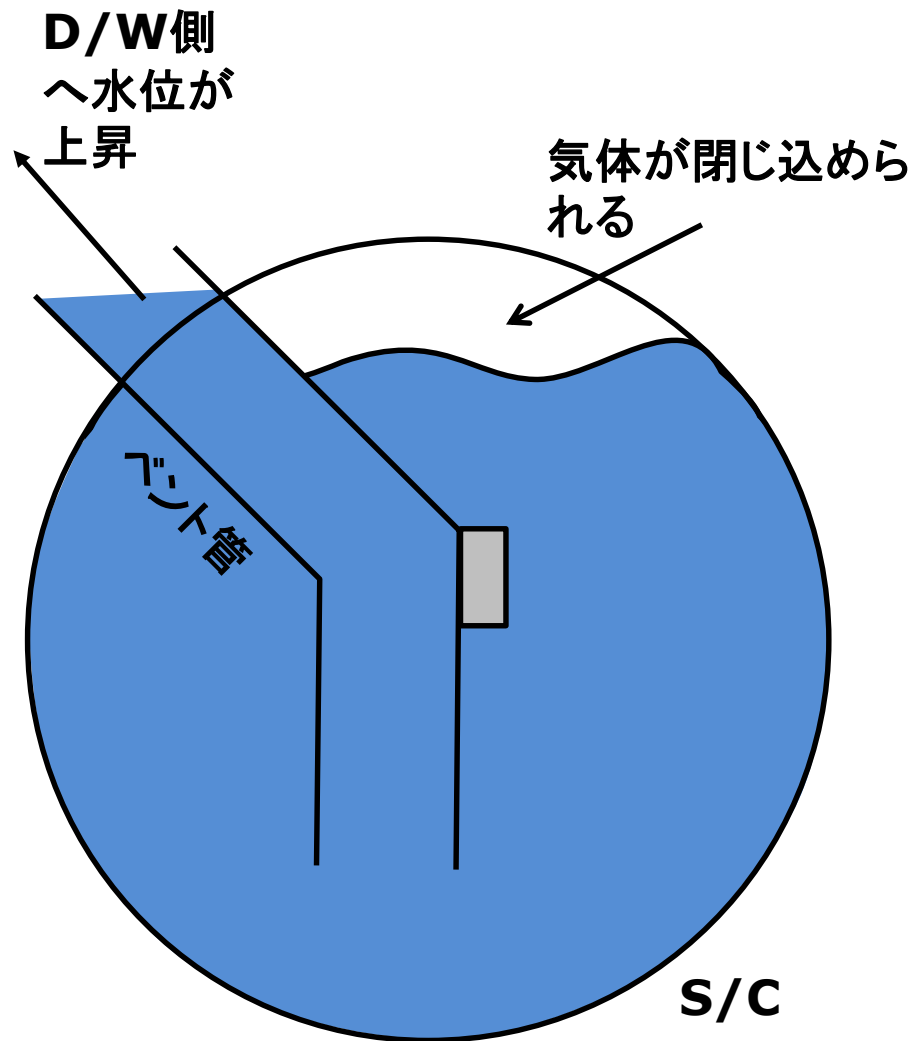
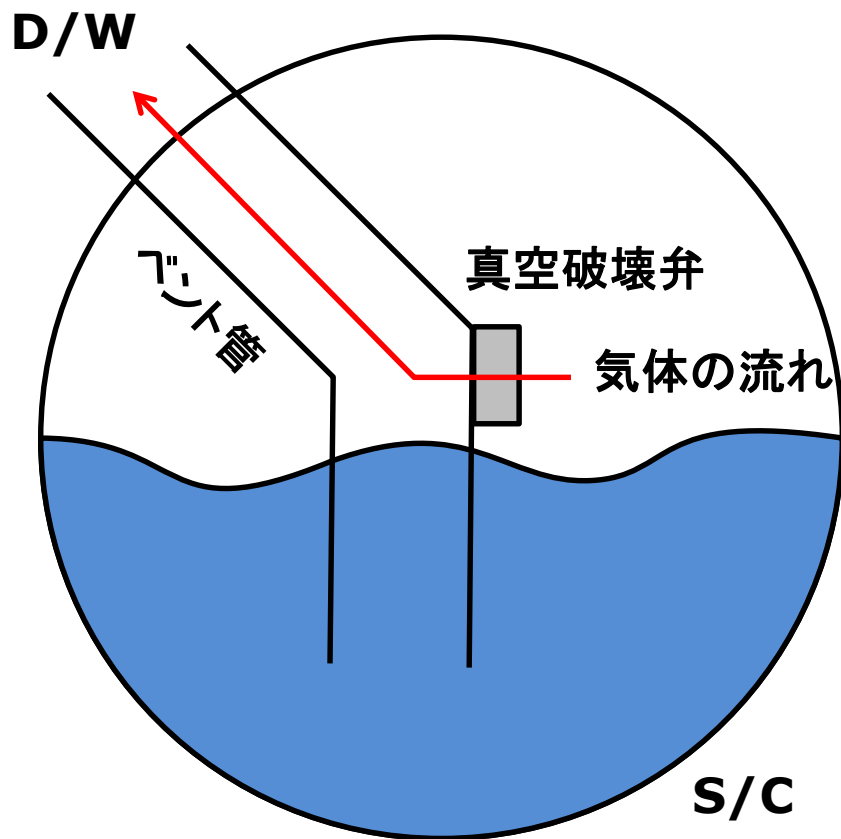


スプレイによる水位上昇の影響

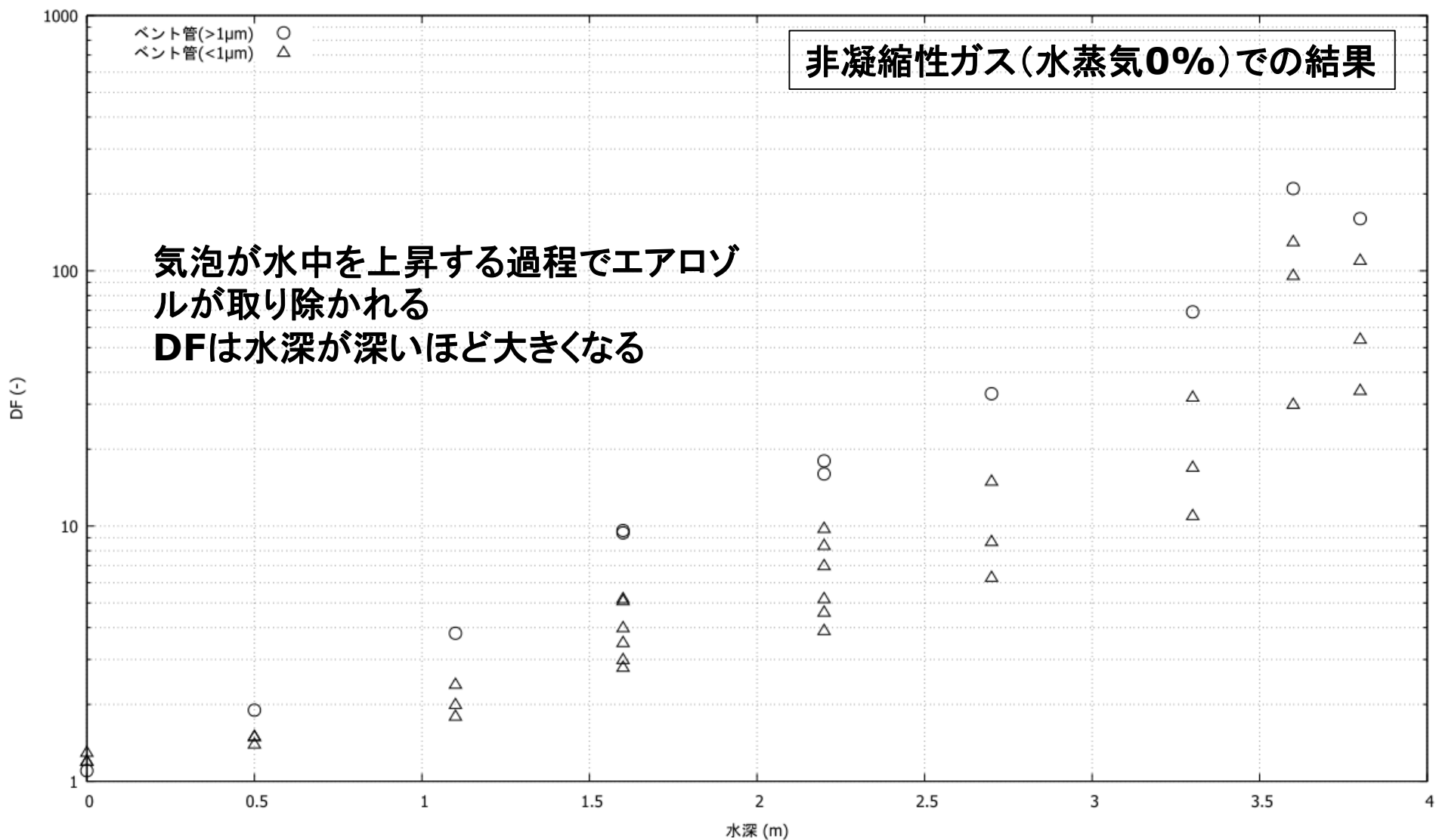
3号機

通常時

水位上昇時



スクラビングへの水深の影響



2F1での操作実績(一部抜粋)

日付	時間	操作
3月11日	15:36	RCIC起動
	21:53	RCICの水源切り替え(CST→S/C)
3月12日	4:56	RPVの減圧終了及びMUWCによる注水への切り替え
	4:58	RCIC停止
	7:10	D/Wスプレイ開始
	7:37	S/Cスプレイ開始
3月14日	1:24	RHR-B系を起動させ、S/C冷却モードによる運転を開始