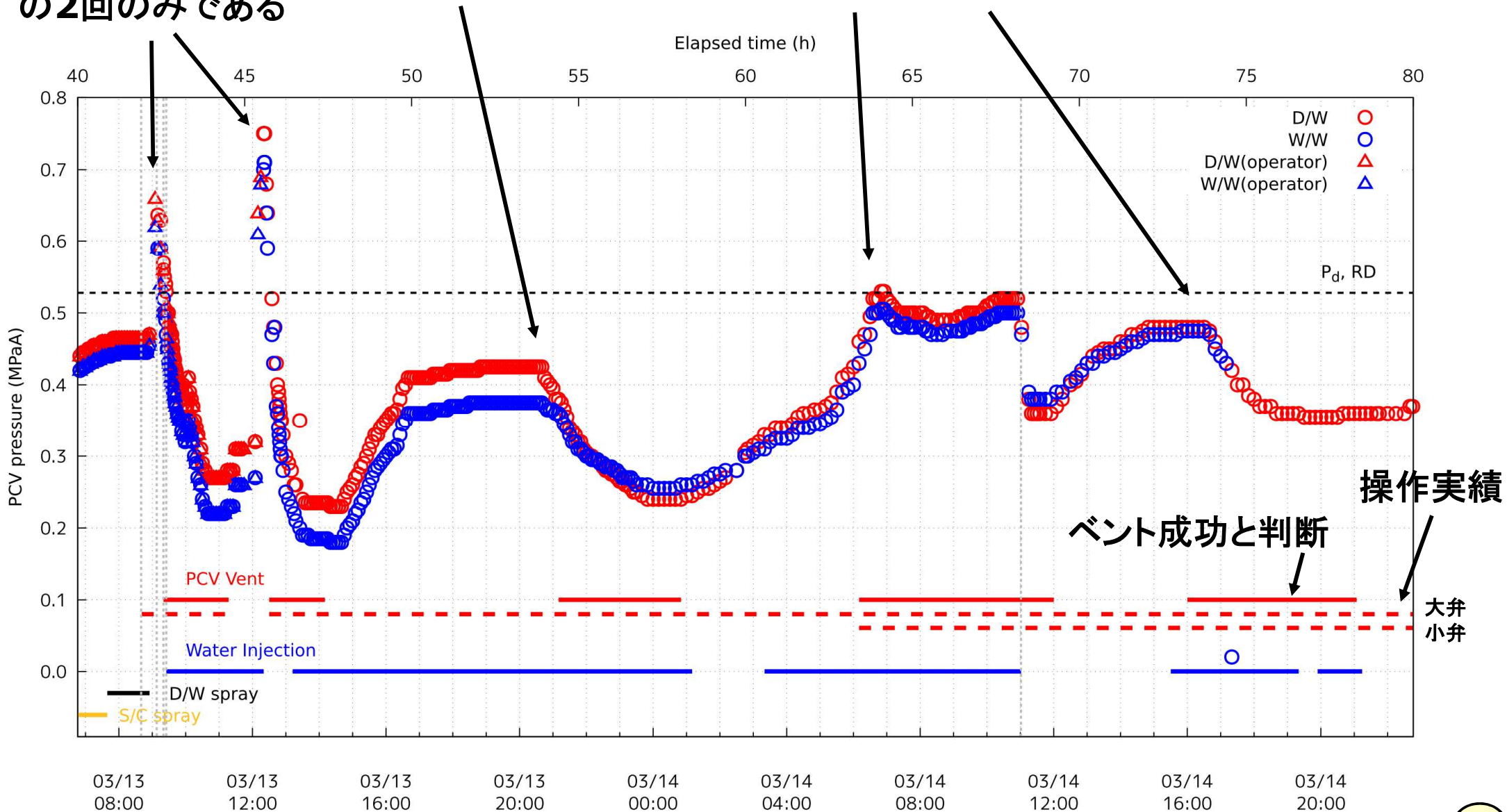


3号機の原子炉圧力及び格納容器圧力の 挙動について(3)

東京電力福島第一原子力発電所事故対策室
星 陽崇


3号機のPCV圧力

事故後は、PCVベントによってPCV圧力が低下したと判断されていたが、成功したのは最初の2回のみである



※3月13日 11:17 AO弁閉確認

建屋線量に関する情報

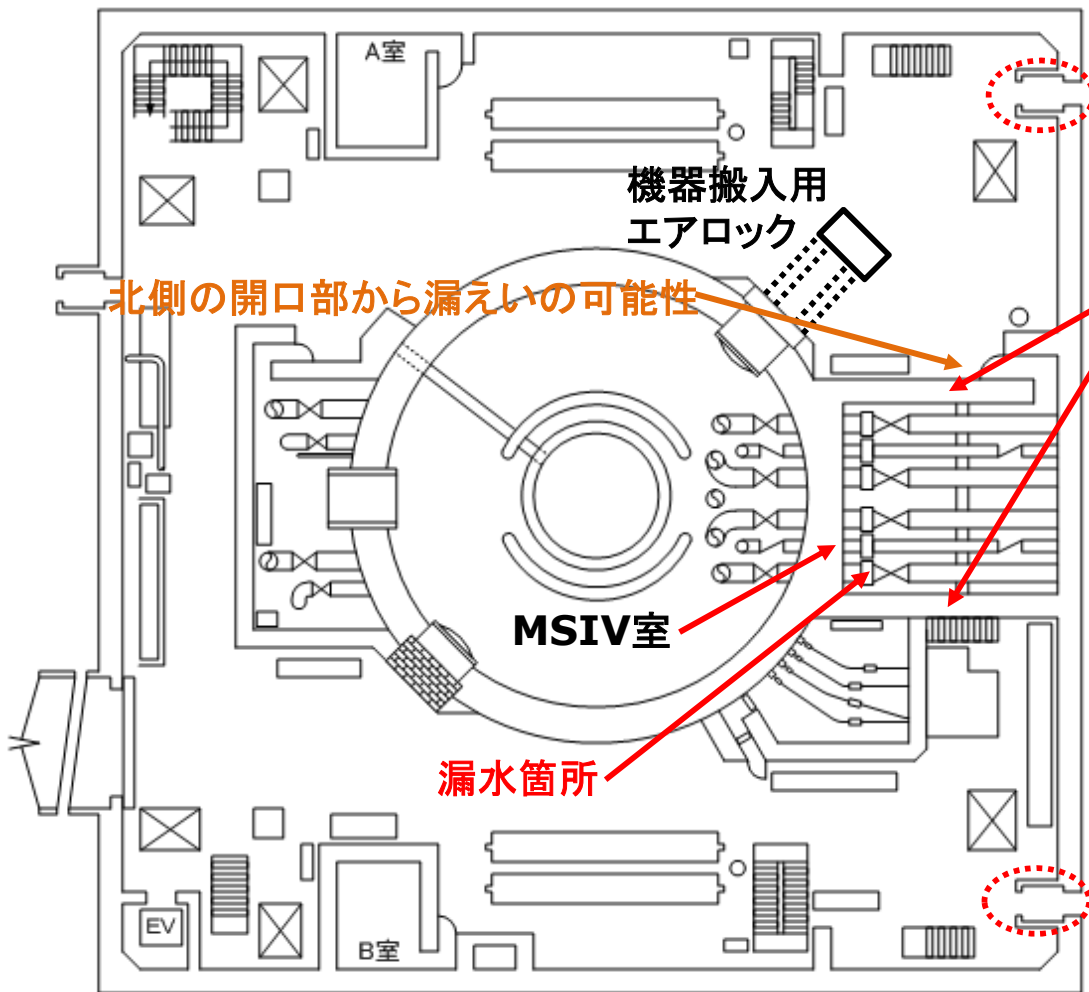
| 月日 | 時刻 | 3号機 | 4号機 |
|-------|-----------|---|---|
| 3月13日 | 8:40~9:10 | 運転員は RHR 注入弁を手動にて開操作し、D/Wスプレイの弁を手動にて閉操作して原子炉代替注水ラインへ切り替えた。 (ここまでは白いもやに関する記述無し) |  <p>線量(APD警報)に関する記載なし</p> |
| | 9:20 | PCVベント(1回目) | |
| | 9:28 | この頃、原子炉建屋1階は、霧が充満したようにモヤモヤと白くなり、線量計の数値が上昇して来たため、現場から退避。 ^{※1} | |
| | 12:30 | PCVベント(2回目) | |
| | 14:31 | 原子炉建屋二重扉北側で300 mSv/h 以上(中は白いモヤモヤ状態)、南側100 mSv/hとの測定結果が報告された。 ^{※1} | |
| 3月14日 | 4:08 | | 運転員は使用済燃料プール水温が84℃であることを確認した。 ^{※1} |
| | 10:30頃 | | 3月14日に発電所対策本部復旧班が4号機使用済燃料プールを確認するため原子炉建屋最上階にあるオペレーティングフロアへ向かったが、原子炉建屋内の線量が高い状態にあり、オペレーティングフロアへたどり着くことができなかった。 |
| | 11:01 | 原子炉建屋爆発 | 原子炉建屋入域後、10~15秒で4 mSvのアラーム(APD)が鳴り退避。その後、再入域しようとして原子炉建屋への扉を開けたところ手持ち線量計の最大レンジ(1000 mSv)を振り切ったため入域を断念。 ^{※1} |

※1 東京電力株式会社、福島原子力事故調査報告書、平成 24 年6月 20 日

※2 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会、最終報告、平成24年7月23日

3号機格納容器からの漏えい

二重扉(北側)
3月13日14:31頃 300 mSv/h以上*



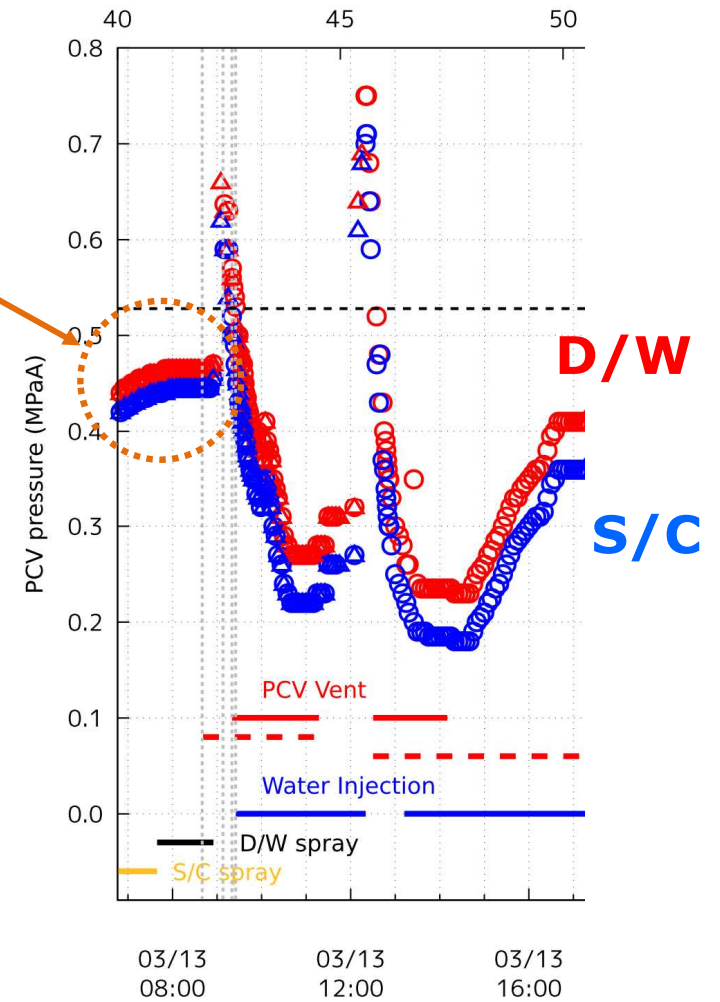
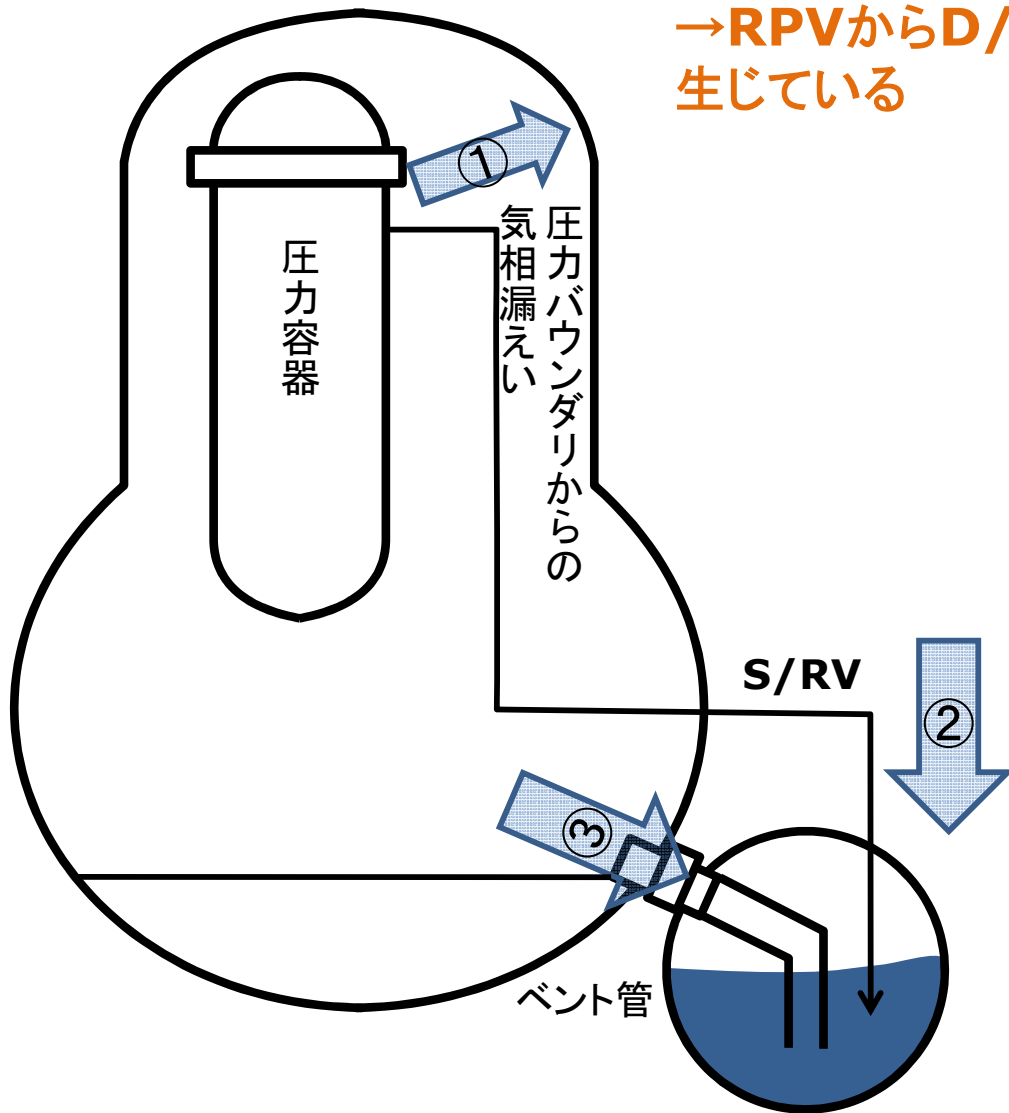
MSIV室の北側と南側上部にブローアウトパネルが設置されている

- 3号機で測定された建屋内線量は、1号機での測定結果と同程度であったが、他方、ベントガスが逆流した4号機での測定結果の数分の1程度でもあり、4号と同様にベントガスの逆流の可能性がある
- 当時の現場の状況からは、PCVからの漏えいが示唆されるが、ブローアウトパネルの状態確認等、3号機での追加調査が必要
- ただし、その後のPCV圧力の推移から、漏えいが発生したとしてもプラントの圧力挙動に影響を及ぼす規模ではなく、微小な漏えいと考えられる

東京電力資料及び政府事故調報告書より抜粋一部加工
二重扉(南側)
3月13日14:31頃 100 mSv/h*

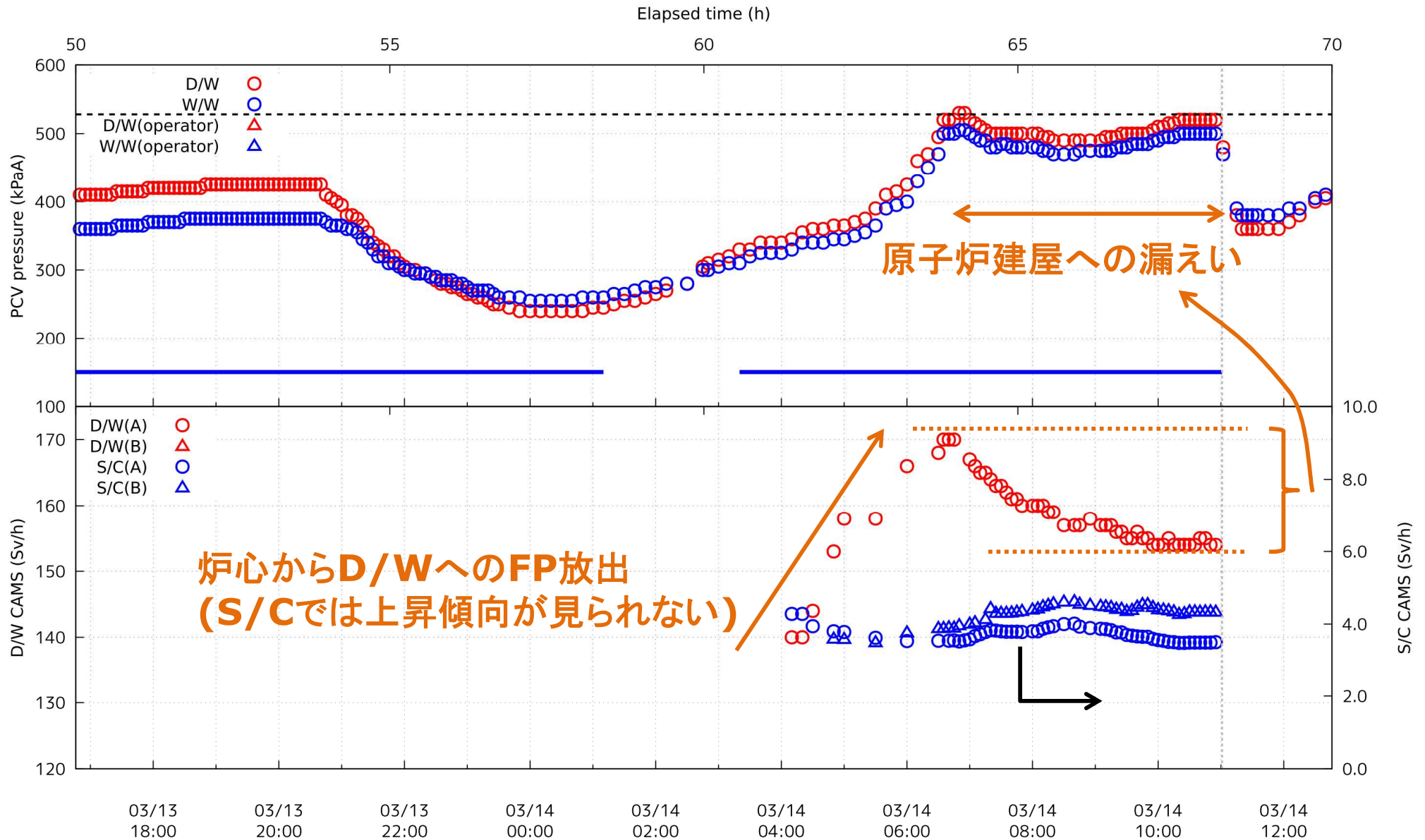
ベント前の崩壊熱、FP等の輸送

ベント実施前からD/W圧力が
S/C圧力よりも高い
→RPVからD/Wへの漏えいが
生じている



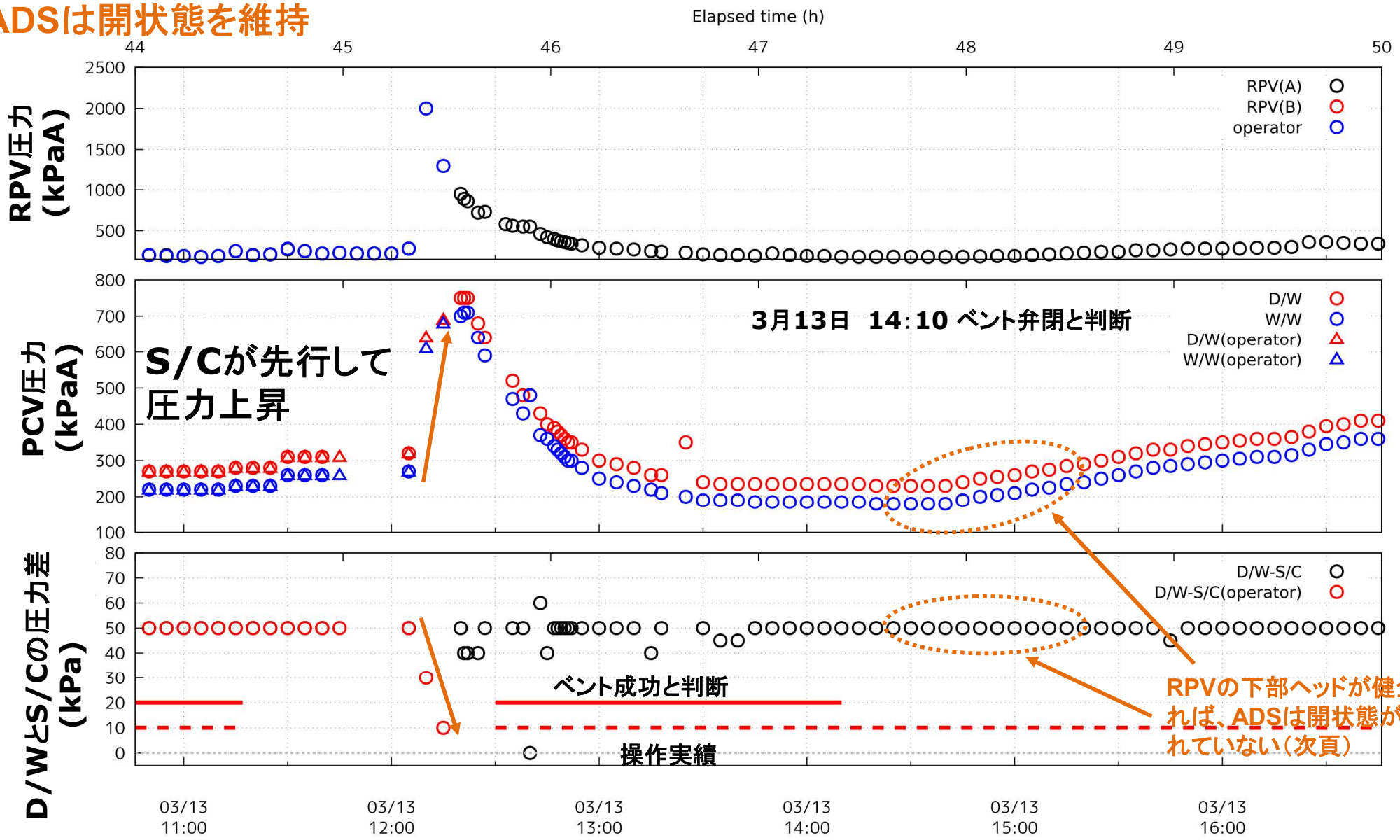
D/W側での線量上昇

3月14日4時頃には、前頁の②(RPV→S/C)は主たる輸送経路ではなくなっている



ADSの開状態について

ベント弁が閉じた後にS/C圧力が先行して上昇していることから、蒸気がS/Cへ輸送されている
→ADSは開状態を維持

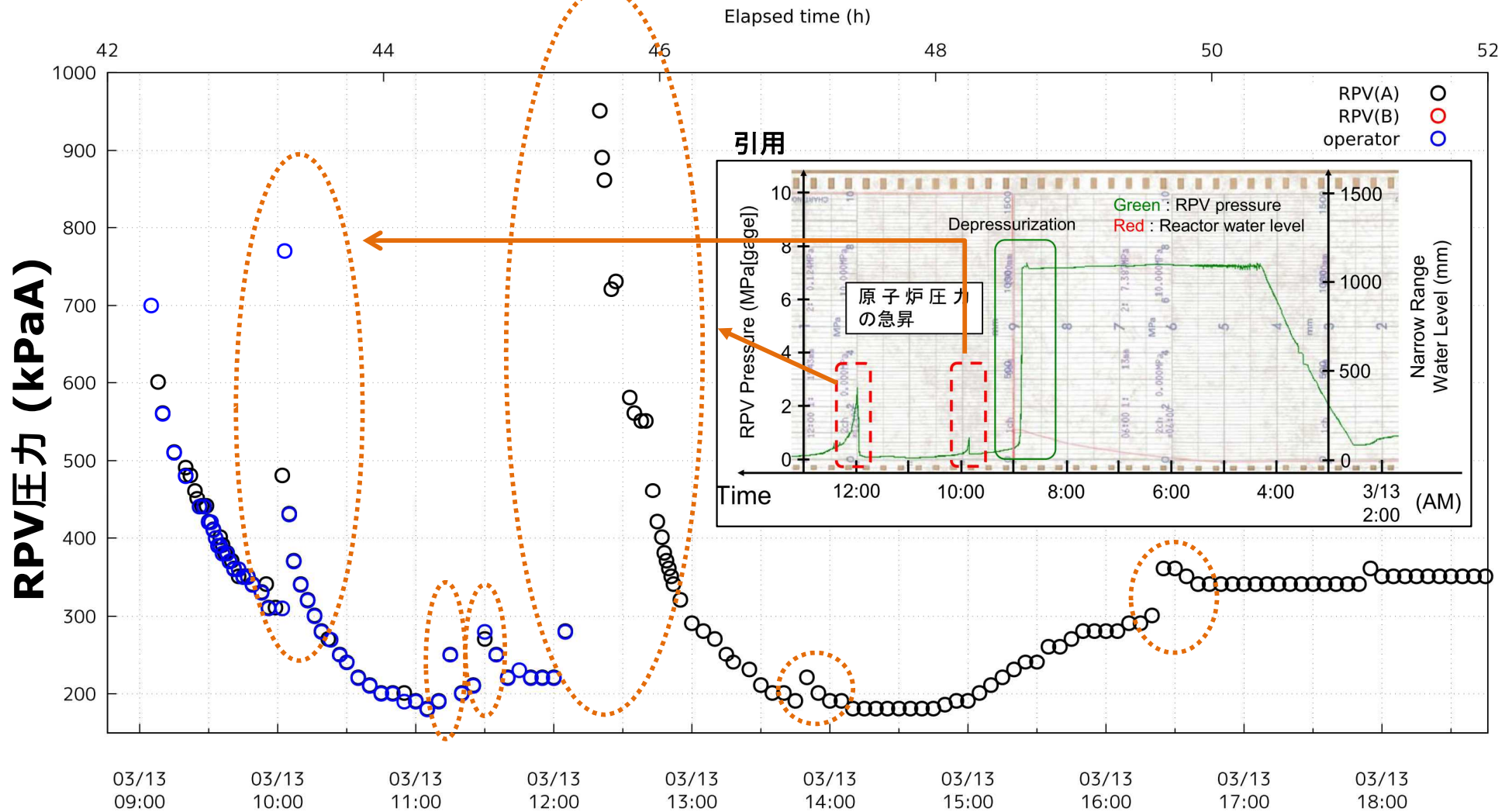


※3月13日 11:17 AO弁閉確認

RPVの下部ヘッドが健全であれば、ADSは開状態が維持されていない(次頁)

RPV圧力

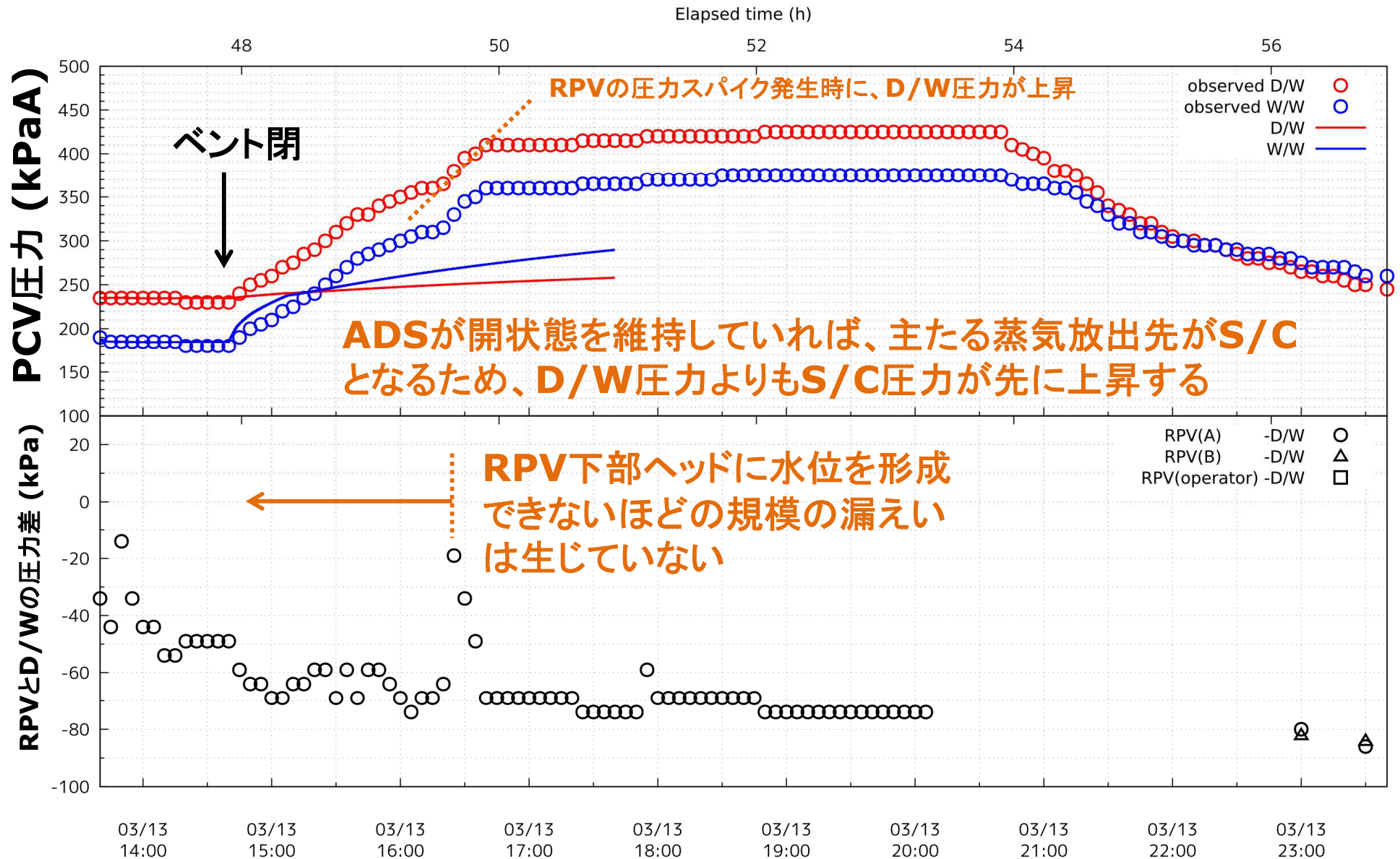
(注)ピーク高さは2 MPaAを超えている



大小の圧カスパイクが発生している

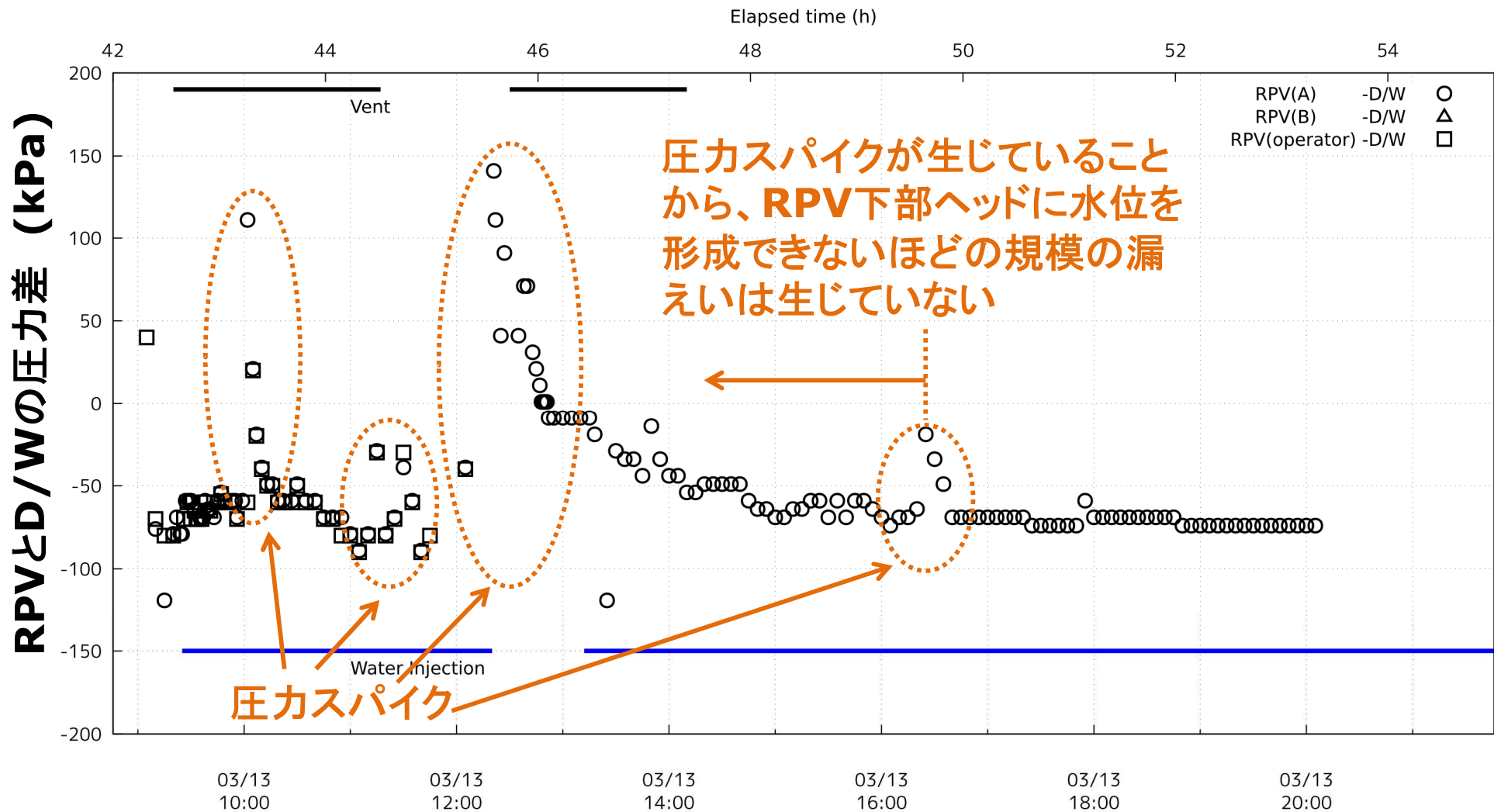
ADSの開状態維持について

2回目のベントが閉じた時点では、ADSは開状態を維持していない



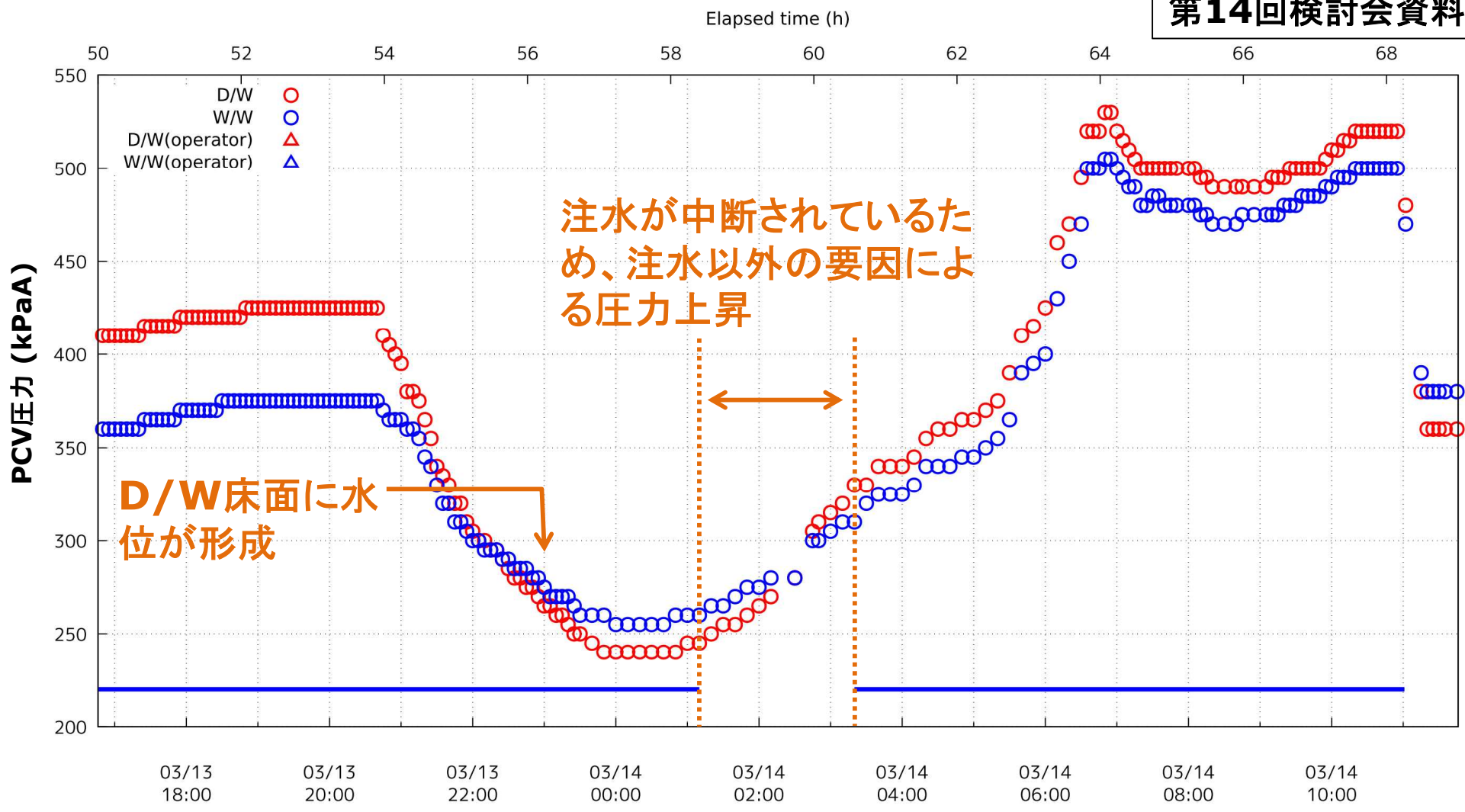
RPV下部ヘッドの損傷時期について

RPVでの突発的な圧力上昇は、溶融燃料が下部プレナムに落下することで生じていると考えられる
→ 下部プレナムに冷却材が存在



D/Wでの水位形成後の圧力上昇

第14回検討会資料より抜粋



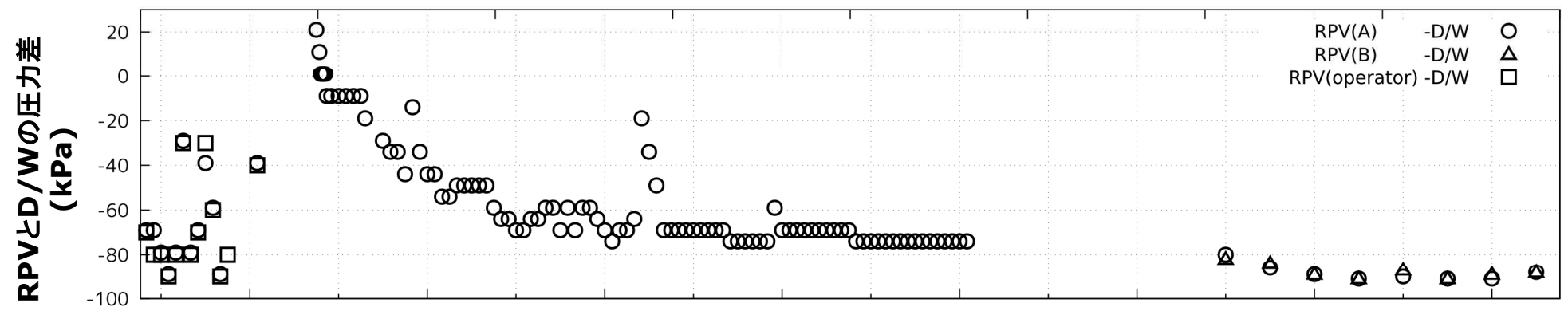
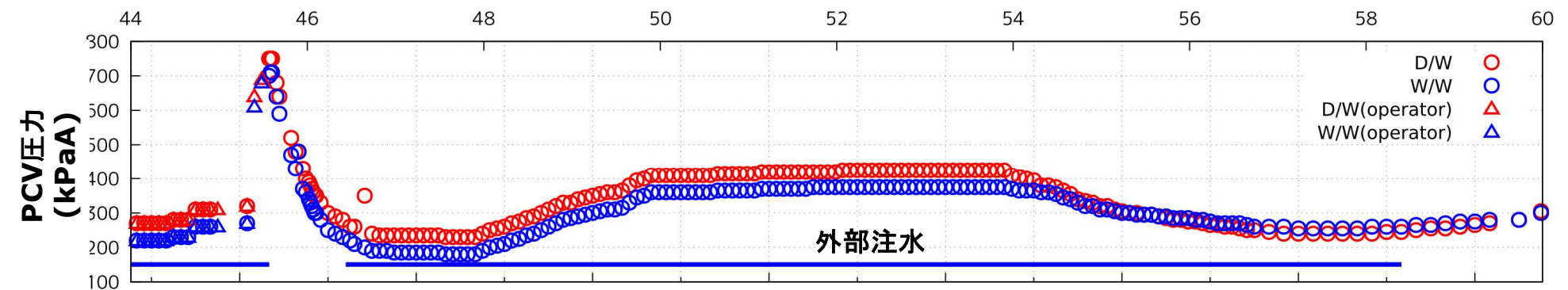
引用: 原子力災害対策本部、「国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書 -東京電力福島原子力発電所の事故について- (第2報)」、平成23年9月

14日1時10分に逆洗弁ピット内の海水が残りなくなったことから、一旦消防車を停止し、消防車を逆洗弁ピットに寄せてホースの吸い込み位置を深くするなど取水位置の調整を行ったところ、海水を引くことができ、14日3時20分に海水注入を再開した。

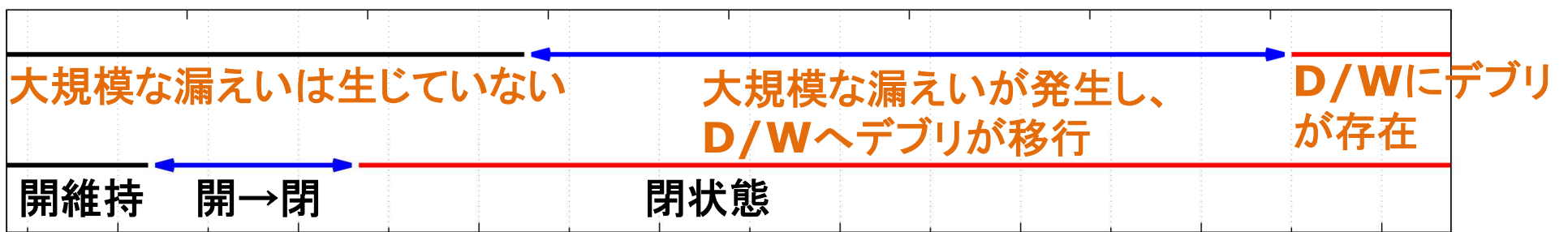
圧力バウンダリの状態

※ベント実施以前に、RPVからD/Wへの漏えいは生じている

Elapsed time (h)



RPV下部
ヘッド



03/13 12:00 03/13 14:00 03/13 16:00 03/13 18:00 03/13 20:00 03/13 22:00 03/14 00:00 03/14 02:00

今回のまとめ

- ベント実施前からRPVからD/Wへの漏えいが生じていたが、
 - 3月13日16時頃までは下部プレナムに冷却材が保持されていたと考えられる
 - 3月14日1時頃にはD/W床に溶融炉心が移行していたと考えられる
 - したがって、上記の間に下部ヘッドに大規模な損傷が生じたと推定される
- 3号機ではベントの準備終了とほぼ同時期にADSの起動によりラプチャディスクが破れ、ベントが成功したが、
 - 炉心損傷後の状況において、ADSは開状態が維持されず、閉止したと考えられる

これまでの議論から

- 全交流動力電源喪失時に、PCV外部からの窒素供給が途絶えた場合、S/RVは中間開の状態になると考えられる
- 炉心損傷後の高温環境下では、S/RVのバネの押し下げ力が低下し、安全弁として動作する圧力が低下することが確認された
- ベント実施以前に、RPVからD/Wへの漏えいが生じていた
- 3号機ではこれまではPCV圧力の低下をベント成功と解釈されてきたが、
 - 成功したベントは最初の2回のみ(その後は4号機への逆流が生じない)
 - S/Cの水位が高かったことから、D/WとS/Cの圧力差の変動によってS/CからD/Wへの逆流が生じ、D/W床面まで水位が形成された
 - 熔融炉心がD/Wへ移行したことで、D/Wが蒸気等の発生源になったと考えられる
 - 3月13日14時頃から3月14日21時頃までの圧力変動は、PCVからの漏えいが継続しており、PCV内での蒸気等の発生量の変動による

PCVベントの操作実績

| | 1 F 1 | 1 F 2 | 1 F 3 |
|---------------|--|---|---|
| ⑤格納容器ベントの開閉実績 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 3/12 10:17 中操にて圧力抑制室側 A0 弁操作 ・本操作に先だって、 <li style="padding-left: 20px;">3/12 09:15 現場にてベントライン M0 弁手動開 (25%) <li style="padding-left: 20px;">3/12 09:32 当該 A0 弁現場操作を試みるも高線量で断念 ・ A0 弁駆動用空気圧の問題等から開状態維持が難しく、開操作を複数回実施した様子。 ・また、3/12 14:00 頃 A0 弁駆動用仮設空気圧縮機を設置、その後 14:30 に格納容器圧力低下を確認。 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 3/13 11:00 圧力抑制室ベントライン構成終了 (3号機原子炉建屋水素爆発 (3/14 11:01) 後、弁が閉であること及び開不能を確認)。 ・その結果、以降もベントが試みられた模様。 <li style="padding-left: 20px;">3/14 21:00 頃 圧力抑制室側小弁操作 (3/14 23:35 同弁の閉を確認) ■ 3/15 0:01 ドライウェル側小弁開操作 (数分後に同弁が閉であることを確認) <p>上記2回のベント操作に対して、格納容器圧力の低下は確認されず、ベントされたかどうかは不明。 なお、原子炉圧力容器の減圧を円滑に進めるために、SRV 排気先の圧力抑制室の減圧・減温を図るために以下の操作も実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 3/14 16:00 頃 圧力抑制室側弁開操作 (同日 16:21 同弁の開を確認できず) | <ul style="list-style-type: none"> ■ 3/13 8:41 圧力抑制室側 A0 弁操作によってベントライン構成終了、本操作に関連して、以下の操作を実施 ・ 3/13 9:08 頃 逃がし安全弁による原子炉圧力容器減圧操作 (格納容器圧力の上昇) ・ 3/13 9:20 頃 格納容器圧力の低下を確認 ・ 3/13 11:17 駆動用空気圧抜けによるベントライン A0 弁閉確認 ・以降も A0 弁駆動用空気圧や空気供給ラインの電磁弁の励磁維持の問題から開状態維持が難しく、開操作が複数回実施される。 <ul style="list-style-type: none"> - 3/13 12:30 開操作 / 3/15 16:00 閉確認 - 3/15 16:05 開操作 / 3/17 21:00 閉確認 - 3/17 21:30 頃開操作 / 3/18 5:30 閉確認 - 3/18 5:30 頃開操作 / 3/19 11:30 閉確認 - 3/20 11:25 頃開操作 / 4/8 18:30 頃閉確認 ■ 3/14 5:20 圧力抑制室側 A0 弁操作、6:10 に同弁の開を確認するも、翌日 16:00 には閉であることを確認。A0 弁駆動用空気供給ラインの電磁弁の励磁維持等の問題から A0 弁の開状態維持が難しく、以降も開操作が実施された模様。 <ul style="list-style-type: none"> - 3/16 1:55 開操作 / 4/8 18:30 頃閉確認 |

3号機における関連作業記録

○「3/13 8:41 圧力抑制室ベント弁（AO 弁）大弁開により、ラブチャーディスクを除く、ベントライン構成完了。」以降の活動内容

【ベントラインの維持継続】

- ・ 13日 8:41 にベントラインの構成が完了したことが発電所対策本部に報告され、ラブチャーディスク破裂待ちとなった。
- ・ 13日 9:08 頃、SRV が開いて原子炉の急速減圧開始。D/W 圧力が、637kPa[abs] (9:10) に上昇後、540kPa[abs] (9:24) まで減圧されたことを確認、発電所対策本部は、9:20 頃にベントが実施されたと判断した。
- ・ 13日 9:28、D/W 圧力に一旦上昇傾向が認められた。中央制御室にいた復旧班は、原子炉建屋1階南側のAO弁駆動用空気ボンベラックにおいて、S/C ベント弁（AO 弁）大弁の駆動用空気ボンベの状況確認を行ったところ、**接続部からリークが確認された**ことから修理を実施。ボンベの残量があったことから、ボンベはそのままとし、次の交換用ボンベとして、2本目のD/W 酸素濃度計校正用ボンベを取り外し、近くに用意した。
- ・ この頃、原子炉建屋1階は、霧が充満したようにモヤモヤと白くなり、線量計の数値が上昇して来たため、現場から退避。退避後、交換用に用意したボンベの接続部が合わない可能性が考えられたことから、協力企業作業員とともに、協力企業倉庫で接続部を探し、準備した。
- ・ 13日 11:17、復旧班は、ボンベ圧力抜けによりS/C ベント弁（AO 弁）大弁が閉となったことから開操作を開始。原子炉建屋1階は温度、湿度とも高い可能性があったことから、セルフエアセットを着用（作業時間 15 分）し、2 班体制でボンベ交換作業を行うこととした。
- ・ 1 班が、原子炉建屋1階南側のAO弁駆動用空気ボンベラック付近に用意していた2本目のD/W 酸素濃度計校正用ボンベへ駆動用ボンベを交換、取り付け完了。2 班が漏えい確認、ボンベ圧力確認を行い、13日 12:30、S/C ベント弁（AO 弁）大弁の開を確認。その後、D/W 圧力が低下し始めた¹。
- ・ この頃、復旧班がS/C ベント弁（AO 弁）大弁の開ロックを試みたが、実施することが出来なかった。

引用：東京電力株式会社、福島原子力事故調査報告書、平成24年6月20日
着色は著者

4号機における主な時系列

平成23年3月12日（土）

- 0 : 3 0 国による避難住民の避難措置完了確認（双葉町及び大熊町の3km以内避難措置完了確認，1:45に再度確認）
- 1 : 2 0頃 当社の高圧電源車1台の到着を確認。
- 4 : 5 5 発電所構内における放射線量が上昇したことを確認，官庁等に連絡。
- 5 : 4 4 内閣総理大臣が福島第一原子力発電所から半径10km圏内の住民に避難指示。
- 7 : 1 1 内閣総理大臣が福島第一原子力発電所に到着。
- 8 : 0 4 内閣総理大臣が福島第一原子力発電所を出発。
- 1 0 : 1 5頃 当社及び東北電力が派遣した電源車72台が，福島に到着していることを確認（高圧電源車：福島第一12台，福島第二42台，低圧電源車：福島第一7台，福島第二11台）。
- 1 6 : 2 7 モニタリングポスト No.4 付近で 500 μ Sv/h を超える放射線量（1,015 μ Sv/h）を計測したことから，原災法第15条第1項の規定に基づく特定事象（敷地境界放射線量異常上昇）が発生したと判断，官庁等に通報。
- 1 8 : 2 5 内閣総理大臣が，福島第一原子力発電所から半径20km圏内の住民に対し避難指示。

平成23年3月13日（日）

- 8 : 5 6 モニタリングポスト No.4 付近で 500 μ Sv/h を超える放射線量（882 μ Sv/h）を計測したことから，原災法第15条第1項の規定に基づく特定事象（敷地境界放射線量異常上昇）が発生したと判断，9:01官庁等に通報。
- 1 4 : 1 5 モニタリングポスト No.4 付近で 500 μ Sv/h を超える放射線量（905 μ Sv/h）を計測したことから，原災法第15条第1項の規定に基づく特定事象（敷地境界放射線量異常上昇）が発生したと判断，14:23官庁等に通報。
- 1 4 : 2 0 高圧電源車から4号機P/Cへ送電を開始。

平成23年3月14日（月）

- 2 : 2 0 正門付近で 500 μ Sv/h を超える放射線量(751 μ Sv/h)を計測したことから，原災法第15条第1項の規定に基づく特定事象（敷地境界放射線量

- 異常上昇）が発生したと判断，4:24官庁等に通報。
- 2 : 4 0 モニタリングポスト No.2 付近で 500 μ Sv/h を超える放射線量（650 μ Sv/h）を計測したことから，原災法第15条第1項の規定に基づく特定事象（敷地境界放射線量異常上昇）が発生したと判断，5:37官庁等に通報。
- 4 : 0 0 モニタリングポスト No.2 付近で 500 μ Sv/h を超える放射線量（820 μ Sv/h）を計測したことから，原災法第15条第1項の規定に基づく特定事象（敷地境界放射線量異常上昇）が発生したと判断，8:00官庁等に通報。
- 4 : 0 8 4号機使用済燃料プール温度が84℃であることを確認。
- 9 : 1 2 モニタリングポストで 500 μ Sv/h を超える放射線量（518.7 μ Sv/h）を計測したことから，原災法第15条第1項の規定に基づく特定事象（敷地境界放射線量異常上昇）が発生したと判断，9:34官庁等に通報。
- 1 0 : 3 0頃 使用済燃料プールの状況確認に向かったが原子炉建屋内の放射線量が高く入域を断念。
- 2 1 : 3 5 正門付近で 500 μ Sv/h を超える放射線量（760 μ Sv/h）を計測したことから，原災法第15条第1項の規定に基づく特定事象（敷地境界放射線量異常上昇）が発生したと判断，22:35官庁等に通報。

平成23年3月15日（火）

- 5 : 3 5 福島原子力発電所事故対策統合本部設置。
- 6 : 1 4頃 大きな衝撃音と振動が発生。中央制御室では4号側の天井が揺れる。
- 6 : 5 0 正門付近で 500 μ Sv/h を超える放射線量（583.7 μ Sv/h）を計測したことから，原災法第15条第1項の規定に基づく特定事象（敷地境界放射線量異常上昇）が発生したと判断，7:00官庁等に通報。
- 6 : 5 5 4号機原子炉建屋5階屋根付近に損傷を確認。
- 7 : 5 5 4号機の原子炉建屋5階屋根付近にて損傷を発見したことを官庁等に連絡。
- 8 : 1 1 4号機の原子炉建屋に損傷を確認，正門付近で 500 μ Sv/h を超える放射線量（807 μ Sv/h）を計測したことから，原災法第15条第1項の規定に基づく特定事象（火災爆発等による放射性物質異常放出）が発生したと判断，8:36官庁等に通報。
- 9 : 3 8 4号機の原子炉建屋3階北西コーナー付近より火災が発生していることを確認，9:56官庁等に連絡。
- 1 0 : 3 0 経済産業大臣より法令に基づく命令（使用済燃料プールへの消火に努めること，併せて再臨界の防止に努めること）。その後，時間は不明で

引用：東京電力株式会社、福島原子力事故調査報告書、平成24年6月20日
着色は著者