

福島第一原子力発電所  
PCV閉じ込め機能強化に向けた取組状況について

2023年9月29日

**TEPCO**

---

東京電力ホールディングス株式会社

## PCV閉じ込め機能強化に向けた検討の経緯

- 1号機PCV内部調査で確認されたペDESTAL状況を踏まえて、PCV閉じ込め機能強化について検討を行ってきた。

- PCV閉じ込め強化の方策として、PCV負圧化、建屋（orカバー）追設、異常時窒素封入停止による放出抑制等を挙げ、対応方針を示した。 2/20、3/20監視・評価検討会

- 建屋（orカバー）追設、異常時窒素封入停止による放出抑制については検討を進める。
- PCV負圧化は以下の課題があることから、まずはPCV均圧化を実施し、閉じ込め強化を図る。

- ①「水素爆発⇒可燃限界を超えない管理が必要」
- ②「PCV腐食の加速：構造健全性（耐震強度等）への影響」
- ③「デブリ等の性状変化リスク：酸化による微粒子化」

- PCV負圧化の上記3つの課題は、「PCVの閉じ込め機能の維持に関する論点（3/20監視・評価検討会指摘）」として技術会合にて議論を行い、①、②についてはPCV給排気差流量管理の実現性を確認し、検討を進めることとした。（③については負圧化に対して大きな課題にはならないとの認識を共有。）

6/5技術会合

- また、1号機ペDESTALの状況を踏まえた今後の対応に関して、1号機ペDESTALの支持機能に期待できないとの前提の下、敷地境界におけるダスト飛散の影響評価と、評価結果によらず取り得る対策について議論を行った。その結果、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはないとの評価結果及び影響緩和策としての窒素封入停止策について、NRAより妥当との見解が示された。

6/5、7/11技術会合、7/24監視・評価検討会、7/26原子力規制委員会

## PCV閉じ込め機能強化に向けた取組状況

取り組みの進捗について、次の3つを報告する。

### <PCV負圧化に向けた検討>

- 1号機PCV閉じ込め機能強化に向けた試験の実施について（別紙参照）

### <異常時窒素封入停止>

- AL地震（震度6弱以上の地震）発生時の窒素封入停止運用の開始について

### <参考>

- 窒素ガス分離装置の設備運用の変更

## <異常時窒素封入停止>

AL地震（震度6弱以上の地震）発生時の窒素封入停止運用の開始について

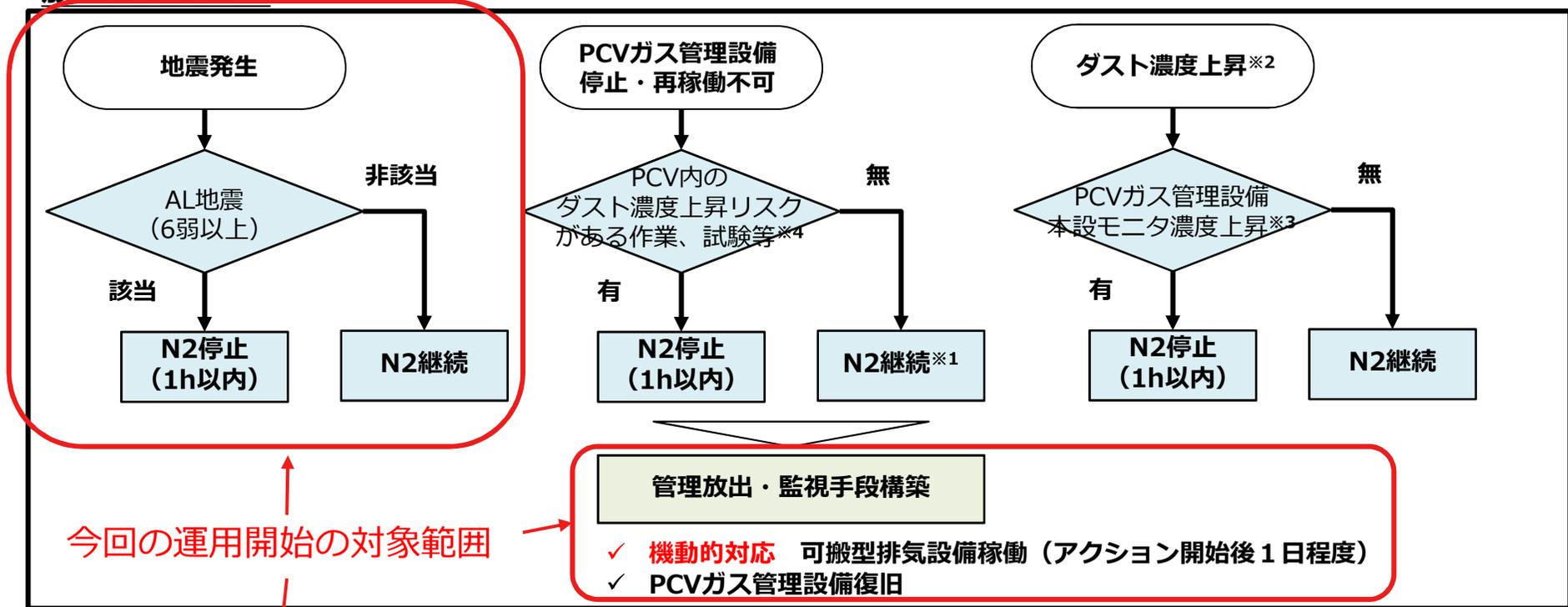
## AL地震（震度6弱以上の地震）発生時の窒素封入停止運用の開始について

---

- 2023年3月に実施した1号機PCV内部調査で確認したペDESTALの状況を踏まえて、ペDESTAL支持機能低下時のダスト被ばく評価及びダスト飛散抑制対策についてNRAと議論を進めてきた。
  - ダスト被ばく評価の結果、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはないと考えている。
  - 万が一地震等によりペDESTALが支持機能低下するなどして、PCV外へのダスト放出リスクが増加するような事象に備えて、放出抑制のために窒素封入停止策を検討してきた。
- 2023年7月24日の監視・評価検討会及び7月26日の原子力規制委員会にて、評価及び対策について妥当であるとの見解が示された。
  
- この度、準備が整ったことから、AL地震（震度6弱以上の地震）時に窒素封入を停止する運用を1～3号機にて開始。
  
- 今後、地震時以外の異常時に窒素封入を停止する運用についても整備していく予定。

## 2-2 窒素封入停止策の検討状況

### 放出抑制フロー



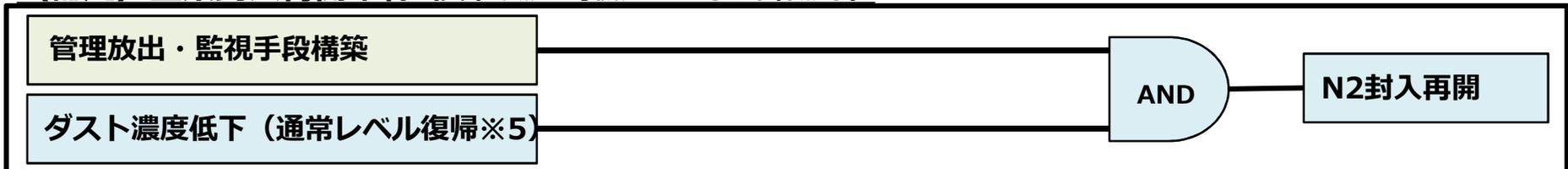
※1：長期のPCVガス管理設備の停止が見込まれる場合には、建屋ダストモニタ等の推移を確認し、万が一ダストの上昇が確認される場合にはN2封入量を低減する操作を検討する。

※2：廃炉を進めるための一時的なリスク上昇を伴う取り組み（PCV内作業や試験等）を実施している間は、この限りではない。

※3：明らかな異常が確認された場合（例：B.G.の10倍（実施計画3章2.2線量評価で想定した放出量と比べて桁違いに小さいレベル）等）

※4：※3相当のPCV内のダスト濃度上昇リスクがある作業や試験等

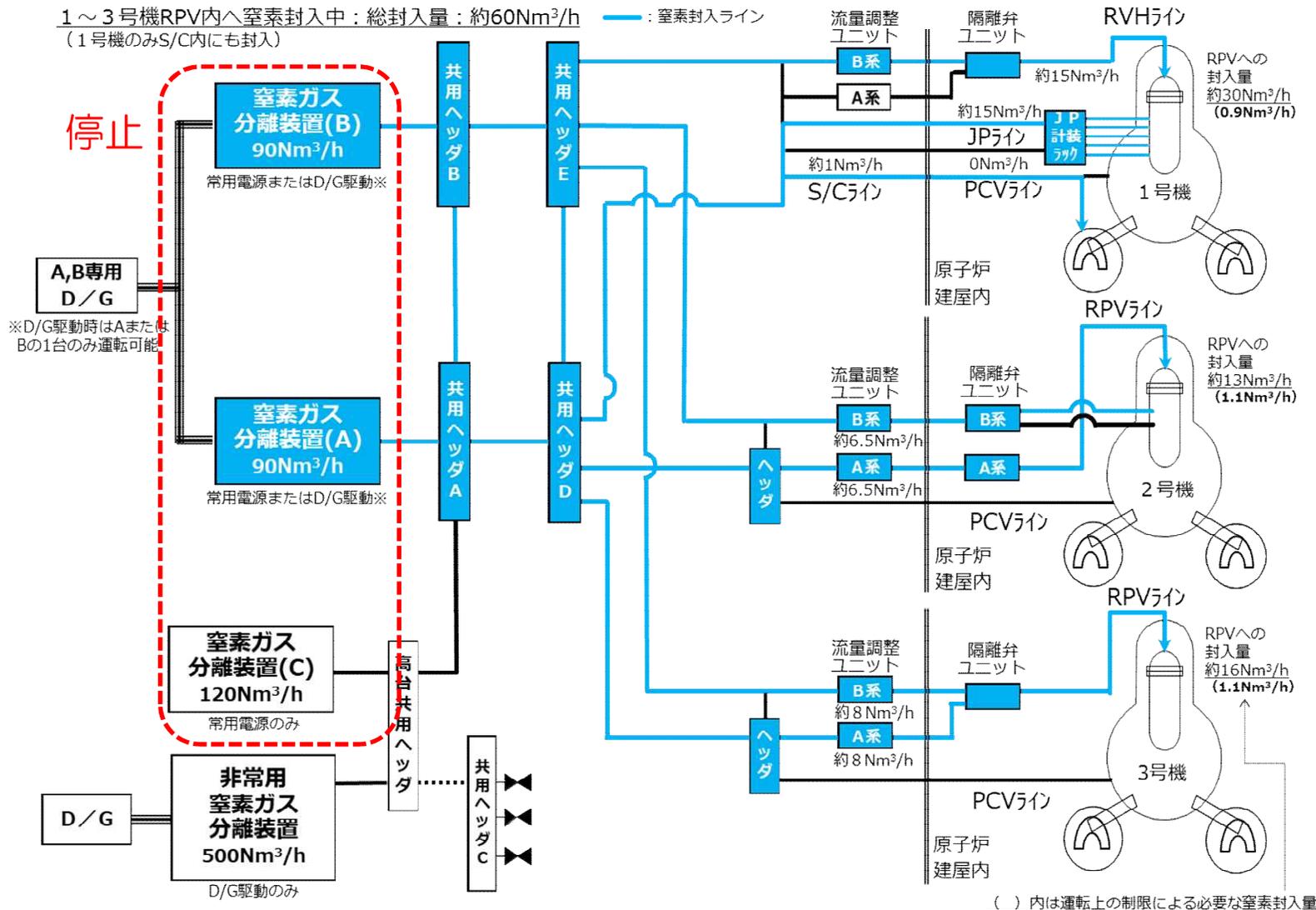
### （補足）窒素封入再開条件（異常の無い号機については条件無し）



※5：基本的には事象発生前と同等レベルに下がる状態を想定。1号機AWJ時の実績に基づけば、1日以内には復帰する見通し。

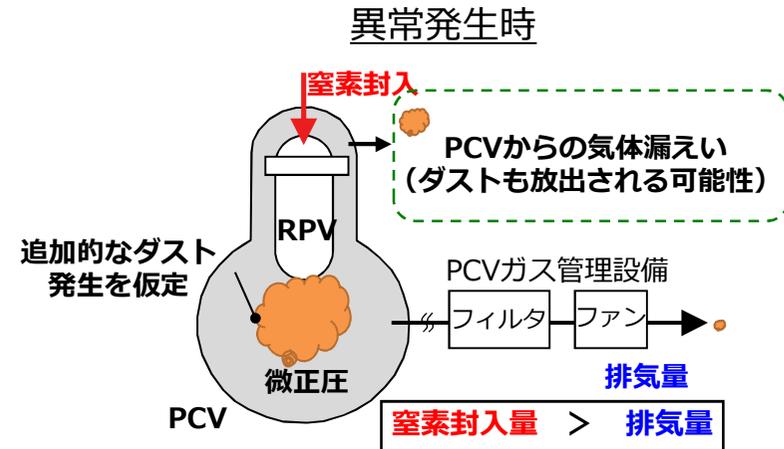
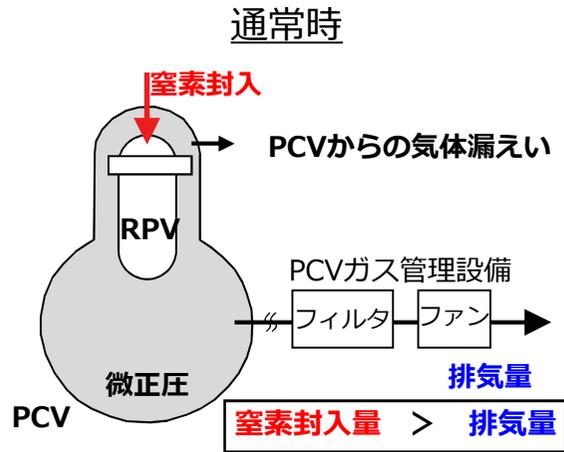
# 参考. AL地震発生時窒素封入停止のイメージ

地震時にPCV外へのダスト放出リスクが増加するような事象に備え、窒素封入量をPCVガス管理設備排気量より少ない状態へ移行し、ダスト放出を抑制するため、窒素封入を停止。



# 参考. 窒素封入とダスト放出の関係と放出抑制策について

現状



- PCV内の不活性化のために、排気量を上回る窒素封入量とすることで微正圧に維持している。
- PCVを微正圧としていることからPCVガス管理設備を経由しない気体漏えいが生じているが、建屋のダストモニタ等のモニタリングにより有意なダスト放出は生じていないことを確認している。

- 異常発生時、PCV内で追加的にダストが発生した場合、PCVを微正圧としていることからPCVガス管理設備を経由しない漏えい経路からダストが放出される可能性がある。  
→ **窒素封入量 > 排気量**により微正圧を継続するため生じるリスク。



新運用

### AL地震（震度6弱以上）時

（地震時以外の異常発生時の運用は今後整備）

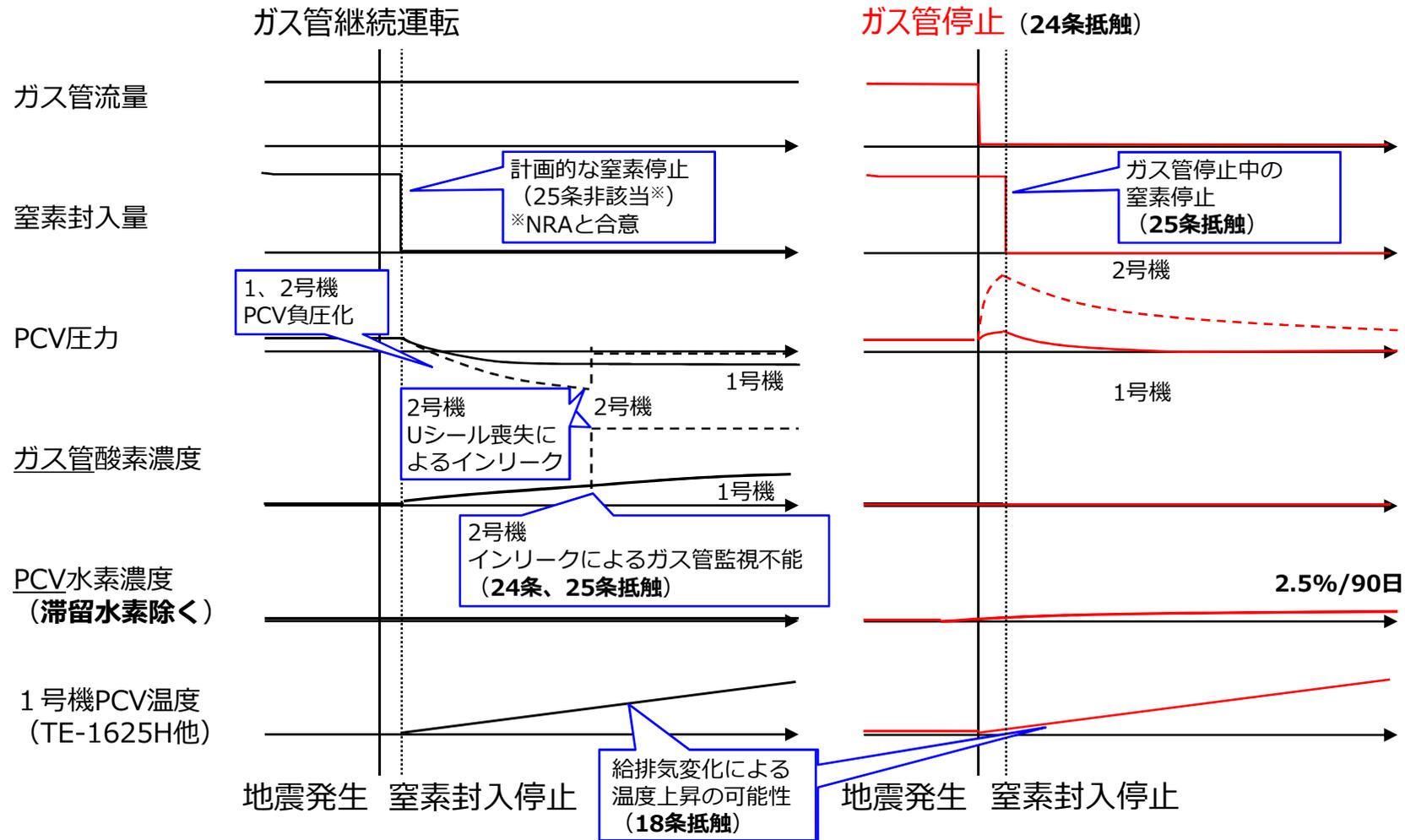
- **AL地震時には、PCV内で追加的にダストが発生するリスクが高まることから、放出抑制のために窒素封入停止を実施する。**
- 窒素封入停止によって生じるリスクが、**プラントの安全性に深刻な影響を与えないことを評価によって確認している。万が一影響が生じた場合の安全措置も用意している。**
- 実施計画69条「原子力災害対策特別措置法に基づく措置が必要な場合は、本規定にかかわらず当該措置を優先する」に従って対応する。
- LCO逸脱事象が発生した場合はLCO逸脱を判断し、AL地震の対応が落ちついた後、遑って、発話・通報する。

# 参考. AL地震後の窒素封入停止による影響について (1/3)



LCOに抵触するものの、AL地震後の対応であることから、実施計画69条「原子力災害対策特別措置法に基づく措置が必要な場合は、本規定にかかわらず当該措置を優先する」に従って対応する。

## 推定パラメータ推移 (窒素封入停止まで)



## 参考. AL地震後の窒素封入停止による影響について (2/3)

想定事象	リスク	影響の大きさ	安全措置 (影響緩和策)
2号機PCV負圧化による監視影響	窒素封入停止かつPCVガス管理設備運転継続によりPCVが負圧となる。PCVガス管理設備ドレンラインのUシールが喪失しドレンラインからのインリーク増により水素・酸素濃度監視に影響を与える	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、3号機は<b>Uシール喪失</b>する負圧には至らず、<b>2号機は至る可能性あり</b>。</li> <li><b>Uシール喪失で未臨界監視不能 (24条)、水素濃度監視不能 (25条) でLCO逸脱する可能性高い</b>。</li> <li>評価上は<b>水素燃焼条件は成立せず (下記)、96時間より前では酸素濃度10%を超えないため他の可燃性ガスによる火災リスクもない*</b>ものと推定。</li> <li><b>PCV負圧破損が懸念される圧力には至らない</b>。</li> </ul>	深刻な影響：なし <ul style="list-style-type: none"> <li><b>LCO逸脱 (24、25条) 時は宣言する</b>。</li> <li>96時間以前にPCVガス管理設備システムを正常化させる。ドレンラインインリークを止めるとPCVが過度に負圧になる可能性があることから、ドレンライン閉止前に排気流量を減らすか窒素封入を再開する。</li> <li>96時間以前に窒素封入を再開する。</li> </ul>
PCV酸素濃度上昇	窒素封入停止に伴い、PCV圧が負圧になった際、大気が流入し酸素濃度が上昇	<ul style="list-style-type: none"> <li>1号機については、負圧がほぼ一定値となるまでの間に<b>水素可燃限界酸素濃度の5%には到達しない</b>。2号機は圧力低下が止まる (Uシール喪失含む) 時点で、さらに酸素濃度は低い。</li> <li>他の可燃性ガス可燃限界酸素濃度10%へは96時間より前では到達しない。</li> </ul>	深刻な影響：なし <ul style="list-style-type: none"> <li>必要に応じて「窒素封入&lt;排気量」の範囲で窒素封入を一時再開する。</li> </ul>
PCV水素濃度上昇	負圧影響(滞留水素)および窒素封入停止によりPCV水素が上昇	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素濃度が実施計画第25条で定めている運転上の制限値2.5%を越えてしまいLCO逸脱する可能性 (水の放射線分解では2.5%到達に約90日要するため、<b>滞留水素のみの懸念</b>)</li> <li>滞留水素が漏れる場合は、負圧が一定値に至る又は負圧殿上昇が止まる前に生じるが、この期間では酸素濃度が可燃限界に至らないため、<b>水素燃焼は生じない</b>。</li> </ul>	深刻な影響：なし <ul style="list-style-type: none"> <li><b>LCO逸脱 (25条) 時は宣言する</b>。</li> <li>必要に応じて「窒素封入&lt;排気量」の範囲で窒素封入を一時再開する。</li> <li>90日以内に窒素封入を再開する。</li> </ul>

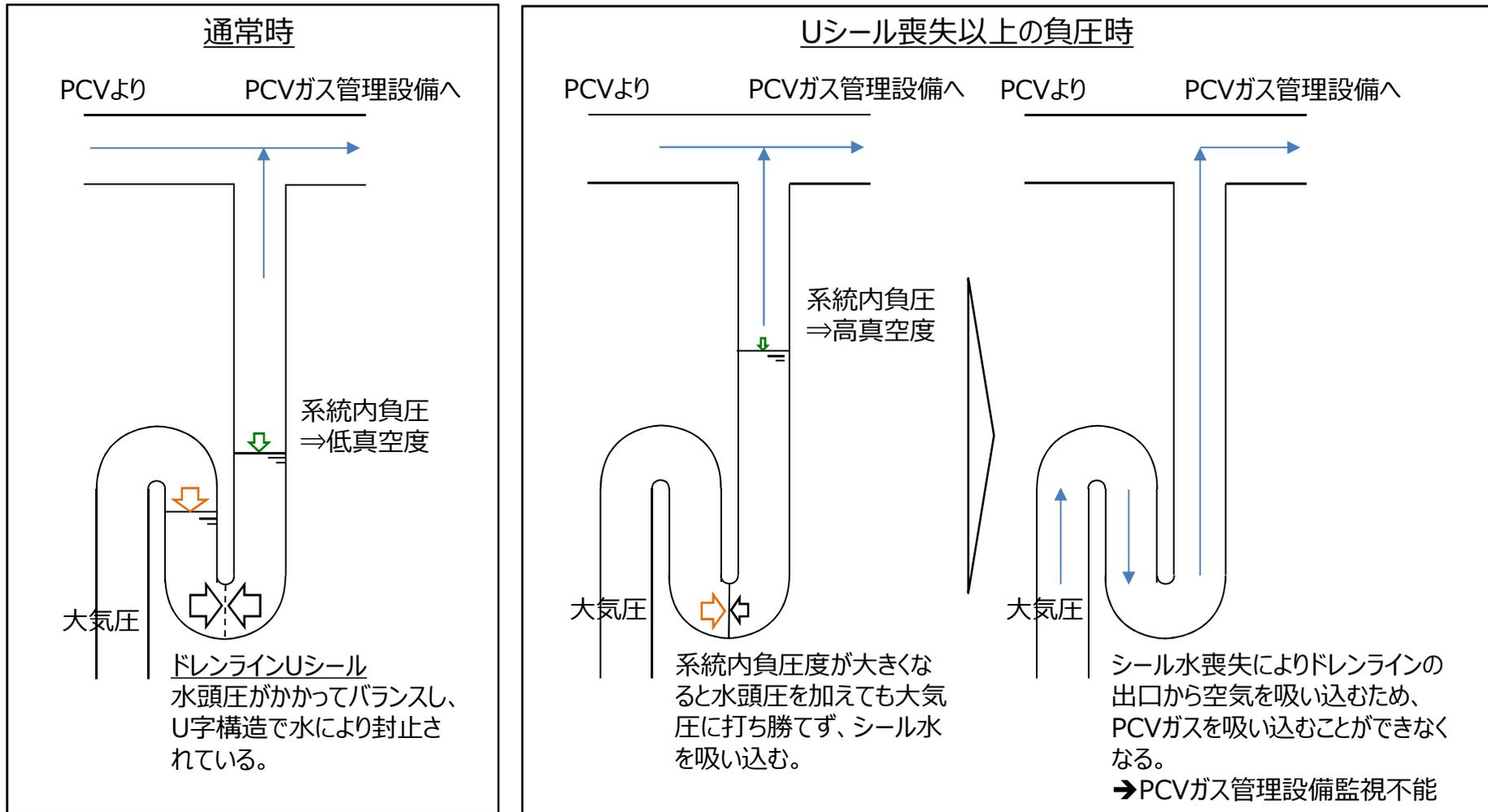
\*可燃性ガスが存在するわけではないが、窒素による不活性効果が切れるものとして酸素濃度10%超を目安とした。

## 参考. AL地震後の窒素封入停止による影響について (3/3)

想定事象	リスク	影響の大きさ	安全措置 (影響緩和策)
1号機PCV温度上昇 (TE-1625H 他)	窒素封入停止による給排気バランス変化に伴いPCV温度計の一部の指示が上昇	<ul style="list-style-type: none"> <li>PCV温度が実施計画第18条で定めている運転上の制限を越えてしまいLCO逸脱する可能性があり、PCV温度が上昇するとPCV内のダスト濃度も上昇する恐れがある。</li> <li>無注水状態となったとしてもPCV全体での温度上昇は1℃/5日 (1号機) であり、上記温度上昇影響は極めて限定された個所のみであると考えられることから、工学的には影響は小さいと考えられる。</li> </ul>	深刻な影響：なし <ul style="list-style-type: none"> <li><b>LCO逸脱 (18条) 時は宣言する。</b></li> <li>PCVダスト濃度監視を行う事とし、PCV温度上昇が起因となって警報設定値 (B.G.10倍) に至った場合には、「窒素封入&lt;排気量」の範囲で窒素封入を一時再開する。</li> </ul>
ダスト濃度上昇	PCV温度上昇等に伴いPCV内のダスト濃度が上昇	<ul style="list-style-type: none"> <li>窒素封入停止策によりPCVからのアウトリークが抑制されることから影響は軽微と考えられる。</li> </ul>	深刻な影響：なし <ul style="list-style-type: none"> <li>PCVダスト濃度監視を行う事とし、PCV温度上昇が起因となって警報設定値 (B.G.10倍) に至った場合には、「窒素封入&lt;排気量」の範囲で窒素封入を一時再開する。</li> </ul>

## 参考. Uシール喪失によってPCVガス管理設備監視不能に至る仕組み **TEPCO**

PCV内から抽気したガスの凝縮水を排水し、かつ、排気ファンが生み出す系統内負圧によって系統外からインリークすることを防止するため、Uシールを設けている。



- PCVガス管理設備継続運転中の窒素封入停止により、系統内圧力が負圧となることによりUシールを喪失する可能性（2号機のみ）。
- Uシール喪失後、ドレンラインから空気を吸い込むことによりPCVガスを吸い込むことができなくなることから、未臨界監視不能（24条）、水素濃度監視不能（25条）でLCO逸脱する可能性が高い。
- 監視はできなくなるものの、水素燃焼等の条件は成立しないことから、安全上深刻な影響をもたらすことはない。
- 復旧時に過度に負圧にならないよう留意しながら正常化させる。

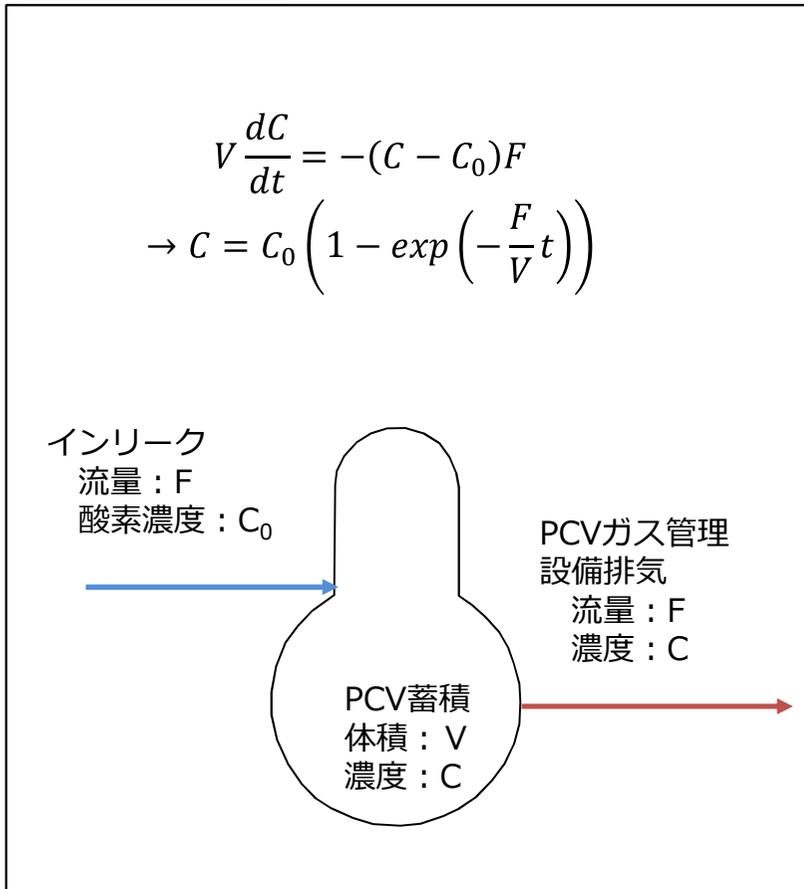
# 参考. PCVインリーク時の酸素濃度変化評価

- 窒素封入停止後、PCVガス管理設備継続運転によりPCVインリークが発生する状態を想定。
- PCV圧力変化、系統インリークを考慮せず、PCVガス管理設備排気流量と同量のPCVインリークが生じているものとして酸素濃度を概略評価。
- 保守的な条件設定において96時間で酸素濃度10%を超えないことを確認。  
(PCV圧力変化、系統インリークを考慮すると酸素濃度上昇は緩やかになる)

## 酸素濃度評価式

$$V \frac{dC}{dt} = -(C - C_0)F$$

$$\rightarrow C = C_0 \left( 1 - \exp\left(-\frac{F}{V}t\right) \right)$$

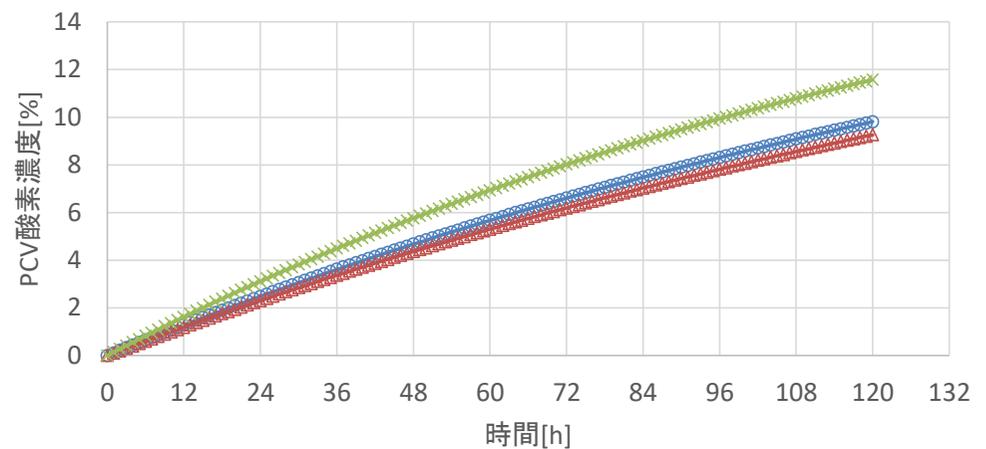


## PCVガス管理設備排気流量 (評価条件)

	PCVガス管理設備排気流量	備考
1号機	約18Nm <sup>3</sup> /h	-
2号機	約20Nm <sup>3</sup> /h	系統インリークを考慮せず全量PCVから排気されると設定
3号機	約25Nm <sup>3</sup> /h	

## 評価結果

窒素封入停止時PCVガス管理設備排気によるPCV酸素濃度変化  
(PCV圧力変化, 系統インリークを考慮しない概略評価)



○ O2\_1号機[%]    △ O2\_2号機[%]    × O2\_3号機[%]

<参考>

窒素ガス分離装置の設備運用の変更

# 窒素ガス分離装置の設備運用の変更について



## 【設備運用の状況】

- 窒素封入設備は、水素爆発を予防するために、1～3号機のRPV及びPCV内へ窒素を封入することで不活性雰囲気維持することを目的とした設備である。
- 窒素封入には、窒素ガス分離装置が用いられており、外部電源により起動する窒素ガス分離装置3台の内、2台運転・1台予備で運用している。

※RPV：原子炉圧力容器  
PCV：原子炉格納容器

## 【変更内容】

- 窒素ガス分離装置の運転台数を **2台運転から1台運転**に変更すること。

## 【変更の妥当性】

- 窒素ガス分離装置1台で1～3号機のRPV及びPCVを不活性雰囲気に維持するために必要な窒素を供給することが可能。
- 実施計画は運転中の窒素封入設備について、『窒素ガス分離装置1台が運転中であること』を要求しており、運用変更後も実施計画上の要求は満足する。
- 設置当時の窒素ガス分離装置においては、設置環境が悪かったことや保全の知見がなかったことで装置の自動停止が頻発したが、現在は、設備点検による知見の拡充や環境改善、リプレースを経て設備の信頼性が向上しており、これまで装置の自動停止はなく安定している。
- 窒素ガス分離装置が停止した場合は、速やかに待機号機を起動させることにより機能は維持される。

## 【異常時窒素封入停止に向けた対応】

- AL地震発生時は窒素ガス分離装置を速やかに停止する。なお、C号機については遠隔停止機能がないため、遠隔停止機能追設を計画。（2023年10月完了予定）

## 【参考】装置性能

	A号機	B号機	C号機
定格容量 (Nm <sup>3</sup> /h)	90	90	120

※1～3号機への窒素封入量（総量）：約60Nm<sup>3</sup>/h