

**島根原子力発電所 2 号炉
運転中の原子炉における炉心損傷防止対策及び
格納容器破損防止対策の有効性評価について
(コメント回答)**

**令和 2 年 2 月
中国電力株式会社**

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

1.1 炉心損傷防止対策

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
250	令和元年11月28日	炉心損傷に備え、炉心損傷前における外部水源を用いたCVスプレイを極力控えるとする考え方について、炉心損傷前と炉心損傷後に分けて、ベント戦略全体（実施及び停止の判断基準を含む。）とその妥当性を整理して説明すること。	2～10

1.2 格納容器破損防止対策

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
140	平成28年8月25日	安定状態後の長期的な状態維持において格納容器隔離（格納容器ベント停止）のタイミングや考え方について説明すること。	2～10

1. 審査会合での指摘事項に対する回答（No.140,250）（1/9）

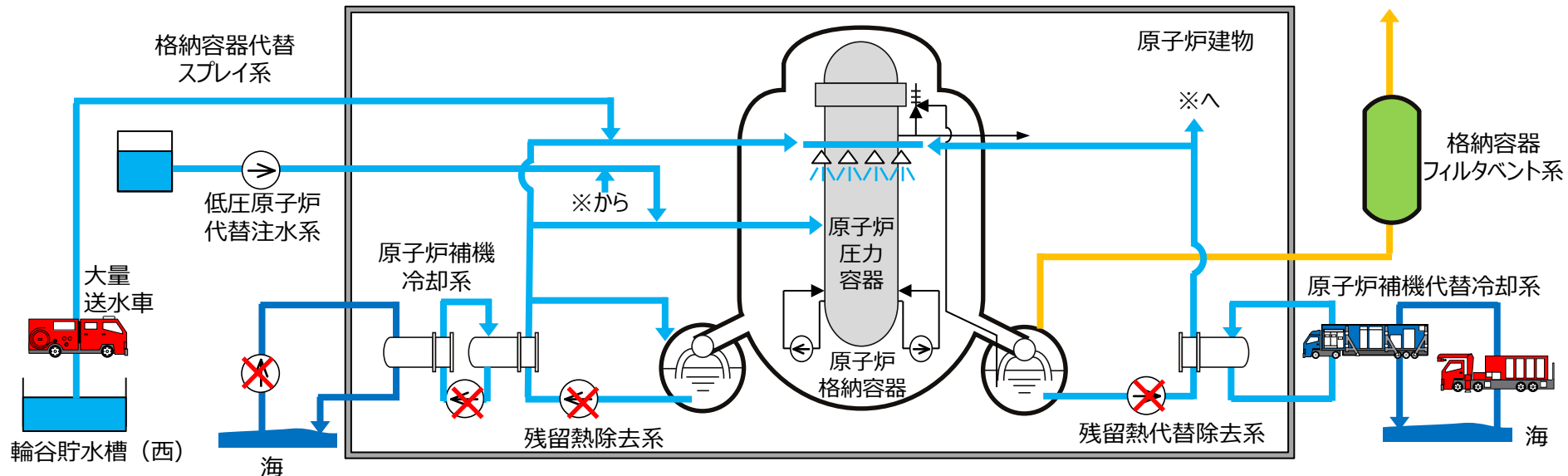
■ 指摘事項

- 第803回審査会合（令和元年11月28日）炉心損傷防止対策
炉心損傷に備え、炉心損傷前における外部水源を用いたCVスプレイを極力控えるとする考え方について、炉心損傷前と炉心損傷後に分けて、バント戦略全体（実施及び停止の判断基準を含む。）とその妥当性を整理して説明すること。
- 第393回審査会合（平成28年8月25日）格納容器破損防止
安定状態後の長期的な状態維持において格納容器隔離（格納容器バント停止）のタイミングや考え方について説明すること。

■ 回答

【格納容器除熱に関する基本的考え方】

- 炉心損傷の有無にかかわらず、格納容器バントの実施は格納容器バウンダリの喪失となり、環境への放射性物質の放出につながることから、残留熱除去系や残留熱代替除去系（RHR等）を用いて、最終ヒートシンク（海）へ熱を輸送することを第一の選択とする。
- 万一、RHR等が何らかの理由で機能喪失し、格納容器バントの実施が避けられない場合においても、RHR等の復旧に注力し、可能な限り格納容器バントを回避する。
- また、格納容器バントまでの時間をできるだけ延ばすという観点から格納容器代替スプレイ（外部水源）という手段は有効であり、特に炉心損傷後については、RHR等の復旧時間を確保するだけでなく、格納容器バントを遅延できることから、防災上の観点からも有利である。ただし、格納容器の耐震性確保の観点から、格納容器代替スプレイは永続的に実施することはできない（S/P水位 通常水位＋約1.3m到達で停止）。



1. 審査会合での指摘事項に対する回答（No.140,250）（2/9）

■ 回答（続き）

【格納容器除熱に関する戦略の変更】

- 環境中への放射性物質の放出による影響は、炉心損傷前よりも炉心損傷後に格納容器ベントを実施した場合の方が大きいことから、炉心損傷後の格納容器ベントを可能な限り遅延させることが重要であるとし、格納容器除熱に関する戦略を立てていた。このため、発生する可能性は極めて小さいシナリオではあるが、炉心損傷後の格納容器ベントを遅延できる可能性があることから、炉心損傷前に格納容器代替スプレイを極力控える（RHR等の早期復旧見込みがある場合に限り実施）こととしていた。
- しかしながら、格納容器除熱については、残留熱除去系の代替設備として残留熱代替除去系を追設し、格納容器ベントよりも優先して実施するとしたことから、格納容器ベントを実施する可能性は相対的に低下している状況となっている。
- このように、格納容器除熱に関する信頼性が向上している状況を踏まえると、発生する可能性が小さいシナリオを考慮して手順を複雑化させるよりも、炉心損傷“前”、“後”に係わらず、各フェーズにおいて最も有効な戦略とすることが望ましい。万一RHR等の機能が期待できない状況においては、炉心損傷“前”、“後”のいずれにおいても、まずは格納容器代替スプレイを実施することが、格納容器ベントを遅延させる観点から有効である。



- 以上を踏まえ、炉心損傷前において基準到達時（格納容器圧力384kPa[gage]）に格納容器代替スプレイを実施することに変更する。

1. 審査会合での指摘事項に対する回答（No.140,250）（3/9）

■ 回答（続き）

【格納容器代替スプレイ及び格納容器ベント実施基準】

- 表 1 に、炉心損傷前の格納容器代替スプレイ及び格納容器ベントの変更前後の実施基準を示す。
- 炉心損傷前の格納容器ベント実施基準について、PCV圧力が427kPa[gage]に到達する場合としていたが、格納容器代替スプレイの停止基準であるS/P水位が通常水位＋約1.3m到達以降、格納容器フィルタベント系以外に格納容器圧力・温度を制御する手段はなくなることから、この時点で格納容器ベントを実施する基準へ変更する。
- これらの変更により、維持する格納容器圧力は異なるものの、炉心損傷前後における格納容器代替スプレイ及び格納容器ベント実施の考え方は同じとなる。

表 1 炉心損傷前の格納容器代替スプレイ及び格納容器ベント実施基準 変更前後比較

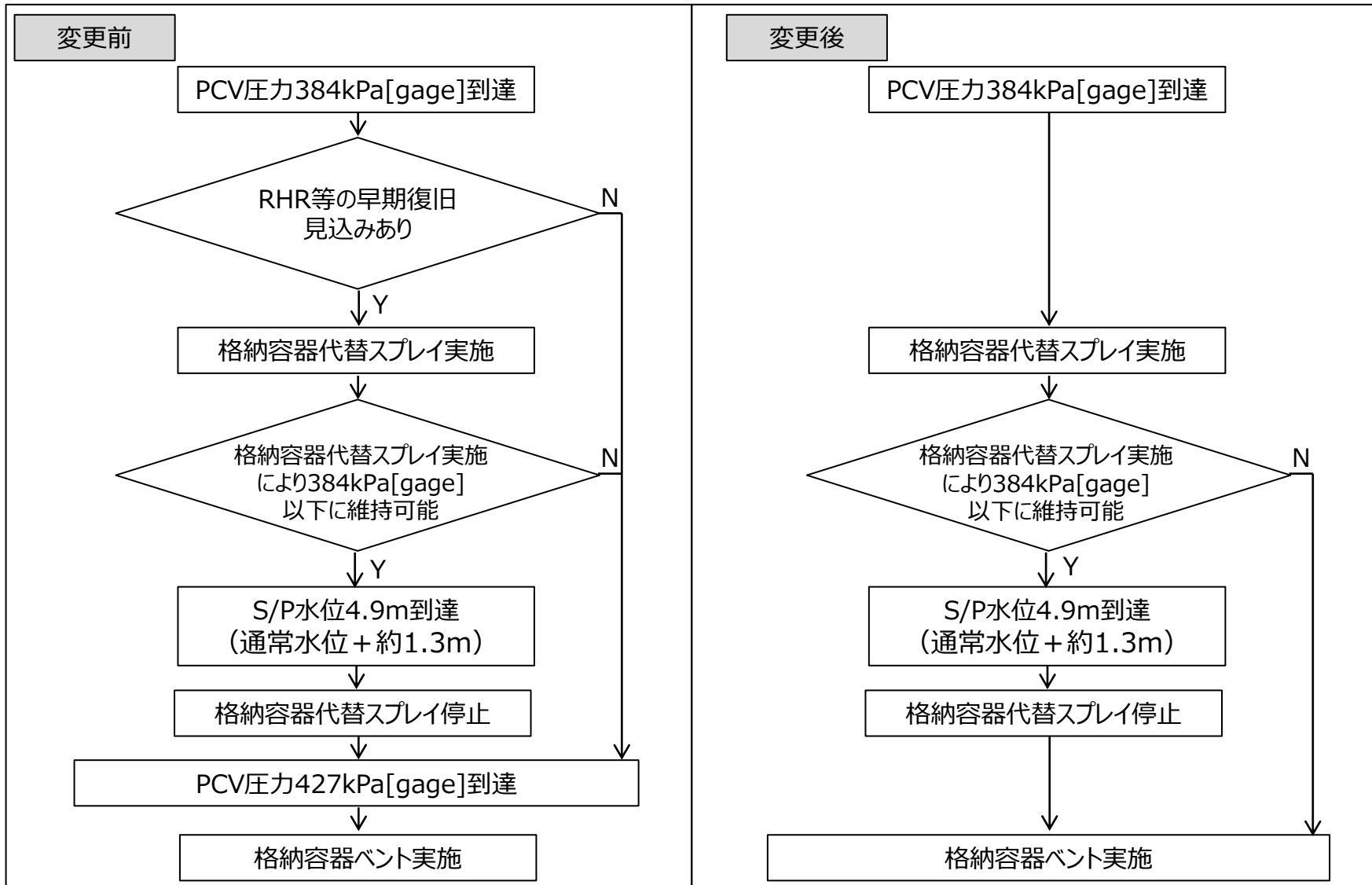
	炉心損傷前		(参考) 炉心損傷後
	変更前	変更後	
格納容器代替スプレイ	PCV圧力が384kPa[gage]に到達した時点で開始し、334kPa[gage]に低下した場合、又はS/P水位が通常水位＋約1.3mに到達した時点で停止	同左（変更なし）	PCV圧力が640kPa[gage]に到達した時点で開始し、588kPa[gage]に低下した場合、又はS/P水位が通常水位＋約1.3mに到達した時点で停止
	RHR等の復旧見込みがある場合に実施	（削除）	—
格納容器ベント	PCV圧力が427kPa[gage]に到達する場合に開始	S/P水位が通常水位＋約1.3mに到達する場合に開始	同左
		格納容器圧力が384kPa[gage]以下に維持できない場合※に開始	格納容器圧力が640kPa[gage]以下に維持できない場合※に開始

※ 重大事故等対処設備の機能喪失を仮定した場合

1. 審査会合での指摘事項に対する回答 (No.140,250) (4/9)

■ 回答 (続き)

【格納容器代替スプレイ及び格納容器ベント実施基準】



1. 審査会合での指摘事項に対する回答（No.140,250）（5/9）

■ 回答続き

【基準変更による有効性評価への影響】

- 表2に、基準変更による炉心損傷防止対策の有効性評価における変更有無を示す。
- TQUX, TW（取水機能喪失）, TC及びISLOCAについては、格納容器代替スプレイ実施基準（格納容器圧力：384kPa[gage]）に至らないことから、変更なし。
- 長期TB, TBU/TBD及びTBPについては、格納容器代替スプレイの実施により、格納容器ベント実施基準到達（S/P水位：通常水位＋約1.3m到達）が24時間以降となることから、格納容器除熱をRHRにより実施し、格納容器ベントは実施しないことへ変更する。

表2 炉心損傷防止対策の有効性評価における変更有無

事故シーケンスグループ	変更有無
TQUV	変更あり（格納容器代替スプレイ実施後に格納容器ベントを実施）
TQUX	変更なし
長期TB	変更あり（格納容器代替スプレイ実施後、事象発生24時間後に交流電源を復旧しRHRにより格納容器除熱）
TBU/TBD	
TBP	
TW（取水機能喪失）	変更なし
TW（RHR故障）	変更あり（格納容器代替スプレイ実施後に格納容器ベントを実施）
TC	変更なし
LOCA	変更あり（格納容器代替スプレイ実施後に格納容器ベントを実施）
ISLOCA	変更なし

1. 審査会合での指摘事項に対する回答 (No.140,250) (6/9)

■ 回答続き

【基準変更による有効性評価への影響】

- 表3に示す評価項目について、変更後においても解析結果が判断基準を満足することを確認した。なお、表3は一例としてTQUVの変更前後を示しているが、その他の事故シーケンスにおいても変更後の結果は同様の傾向であり、判断基準を満足することを確認している。
- 表4に示すとおり、長期TB等において格納容器ベントを実施しない結果に変更となったことから、敷地境界での実効線量を評価する事故シーケンスグループは、変更後において格納容器ベントが最も早期となるLOCAになり、変更後においても解析結果が判断基準を満足することを確認した。

表3 解析結果変更前後 (TQUVの場合)

評価項目	解析結果		判断基準
	変更前	変更後	
原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力の最大値	約427kPa[gage]	約384kPa[gage]	853kPa[gage] (格納容器限界圧力) 未満
原子炉格納容器バウンダリにかかる温度の最大値	約154℃	約153℃	200℃ (格納容器限界温度) 未満

表4 敷地境界での実効線量結果 変更前後

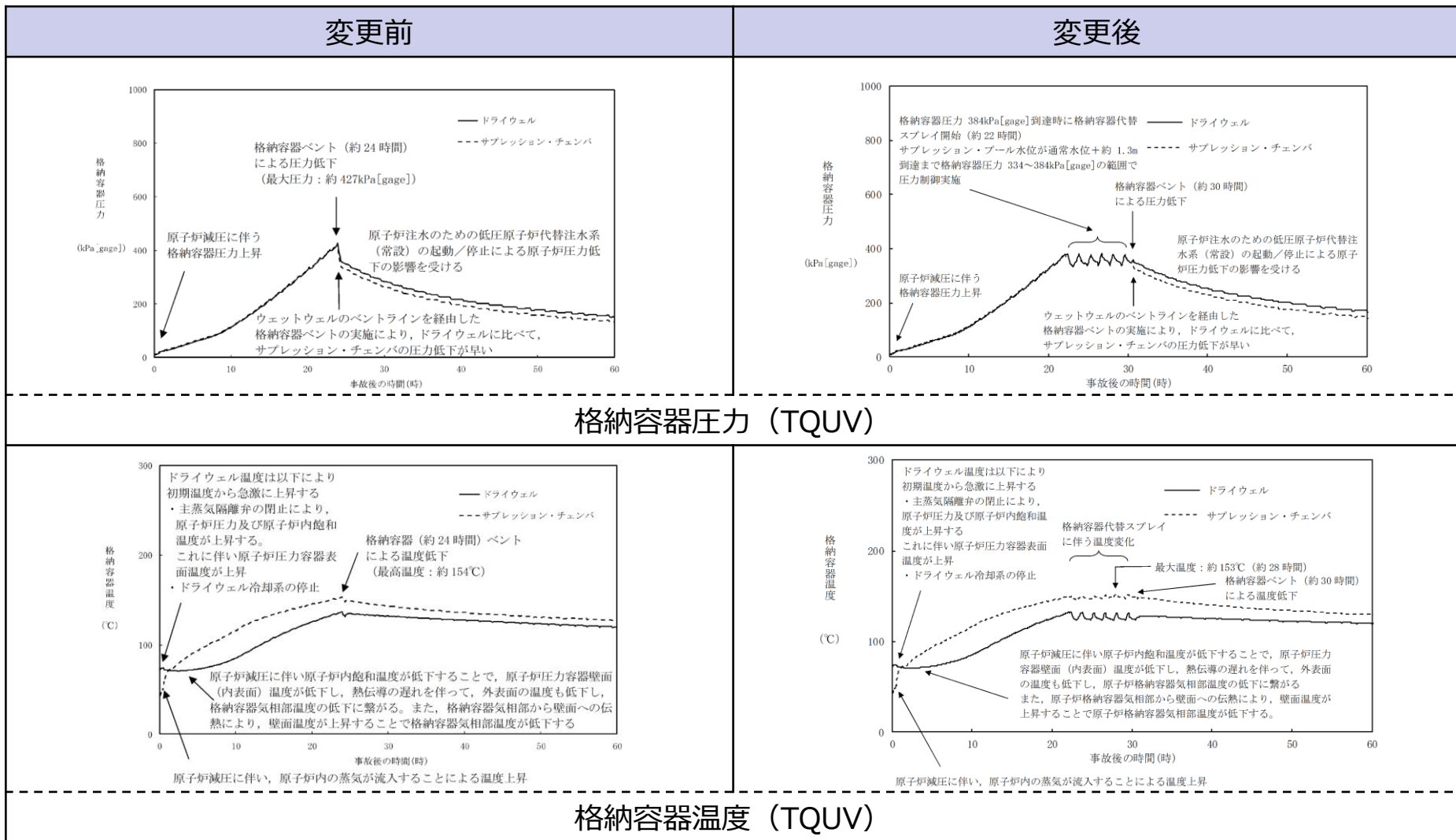
項目	解析結果		判断基準
	変更前	変更後	
事故シーケンスグループ	長期TB	LOCA	—
格納容器ベント時間	約20時間	約27時間	—
実効線量結果	約 2.2×10^{-2} mSv	約 1.7×10^{-2} mSv	5 mSv以下

1. 審査会合での指摘事項に対する回答 (No.140,250) (7/9)

■ 回答続き

【基準変更による有効性評価への影響】

➤ 基準変更前後におけるTQUVの格納容器圧力及び格納容器温度の推移を以下に示す。

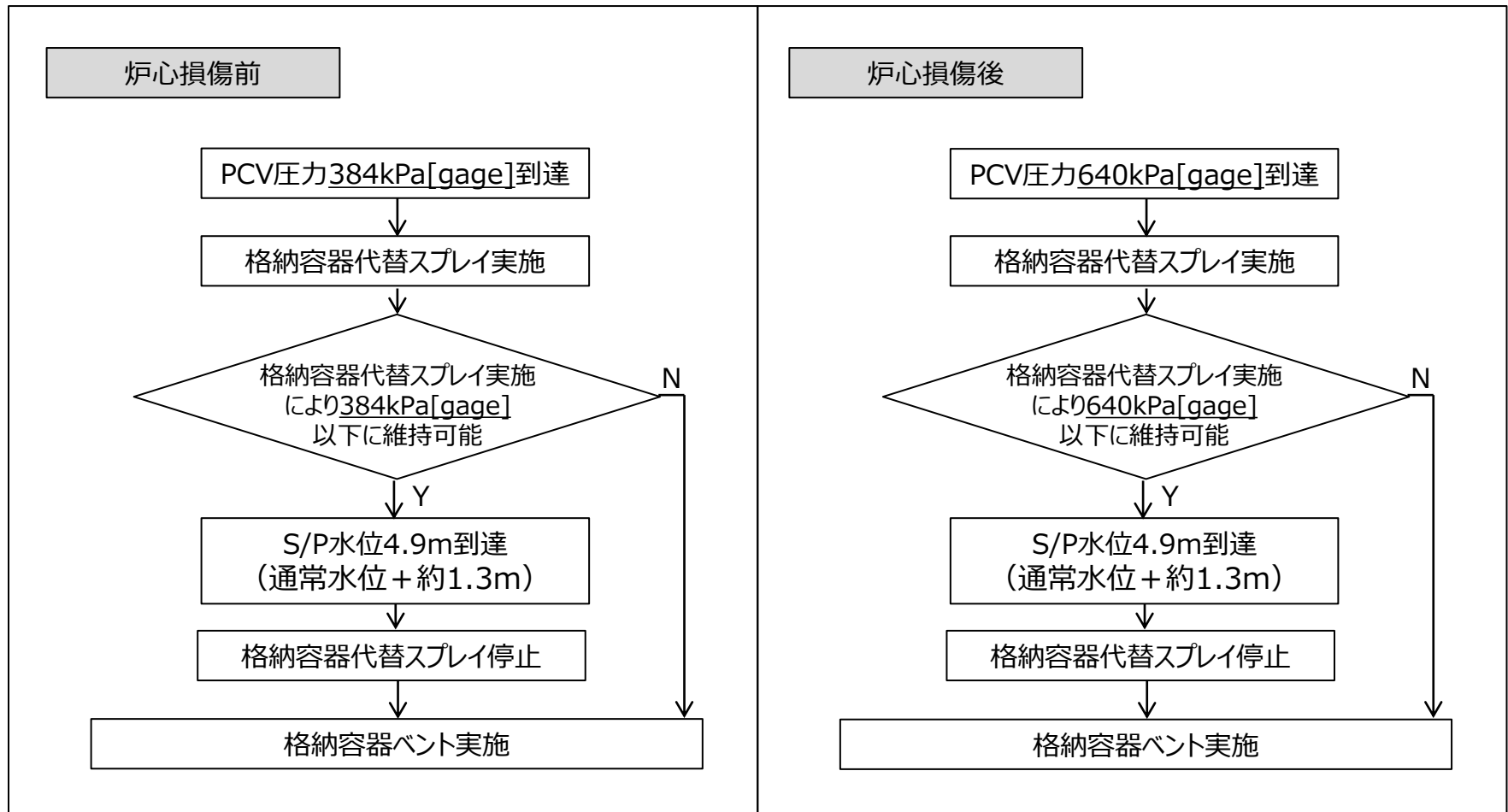


1. 審査会合での指摘事項に対する回答 (No.140,250) (8/9)

■ 回答 (続き)

【炉心損傷前後の格納容器代替スプレイ及び格納容器ベント実施基準】

- 維持する格納容器圧力は異なるものの、炉心損傷前後における格納容器代替スプレイ及び格納容器ベント実施の考え方は同じである。



1. 審査会合での指摘事項に対する回答（No.140,250）（9/9）

■ 回答続き

【格納容器バント停止の考え方について】

- 表5に示す機能が全て使用可能となり、格納容器圧力が427kPa[gage]未満、格納容器温度が171℃未満並びに格納容器内の水素濃度及び酸素濃度が可燃限界未満であることを確認した場合に、格納容器バントを停止可能であると判断する。
- なお、炉心損傷前の格納容器バント実施中に炉心損傷を判断した場合は、格納容器バントを継続する運用とする。これは、格納容器バント実施までには格納容器代替スプレイにより外部注水制限に到達していることが想定され、格納容器の過圧を抑制する手段が格納容器バントのみであるためである。
- 格納容器バントを継続した場合でも、一時的にバントを停止する場合と比較し、以下のとおり被ばくの観点で大きな差異はないと考えられる。

- ・格納容器バントを停止しても格納容器圧力の上昇により再度バントすることとなり、希ガス保持時間を大きく確保することはできないこと
- ・このような事態では、原子炉スクラムしてからある程度の時間が経過していることから、希ガスの減衰時間は十分に確保されており、バントを停止しない場合でも大きな放出量にならないと考えられること

表5 格納容器バント停止のために必要な機能及び設備

必要な機能	設備	設備概要
格納容器除熱	残留熱除去系又は残留熱代替除去系	格納容器内に残存する核分裂生成物から発生する崩壊熱を除去し、最終的な熱の逃がし場へ熱を輸送する
	原子炉補機代替冷却系	
窒素供給機能	可搬式窒素供給装置	<ul style="list-style-type: none"> ・格納容器内が負圧になることを防止する ・系統内のパージを実施する
格納容器内水素・酸素濃度制御機能	可燃性ガス濃度制御系	水の放射線分解によって発生する水素及び酸素の濃度が可燃限界濃度に到達することを防止する
	格納容器水素・酸素濃度	格納容器内の水素・酸素濃度を監視する

- 指摘事項（第724回審査会合（令和元年6月11日）高圧・低圧注水機能喪失）
炉心損傷に備え、炉心損傷前における外部水源を用いたCVスプレイを極力控えるとする考え方について、CVスプレイをした場合とCVスプレイをしない場合とで、格納容器圧力や温度等のプロセス値の推移、作業の成立性、判断基準等を含めメリット、デメリットを評価した上で、妥当性を説明すること。

- 回答
【炉心損傷前に格納容器代替スプレイを実施した場合の作業成立性】
 - 残留熱除去系等の早期復旧見込みがある場合は、格納容器代替スプレイを実施することから、実施した場合の作業の成立性への影響を確認した。
 - 炉心損傷前に格納容器ベントを実施するシナリオである「高圧・低圧注水機能喪失」を一例として格納容器代替スプレイを実施した場合の作業成立性を確認し、図194-1のとおり、その他作業に影響のないことを確認した。

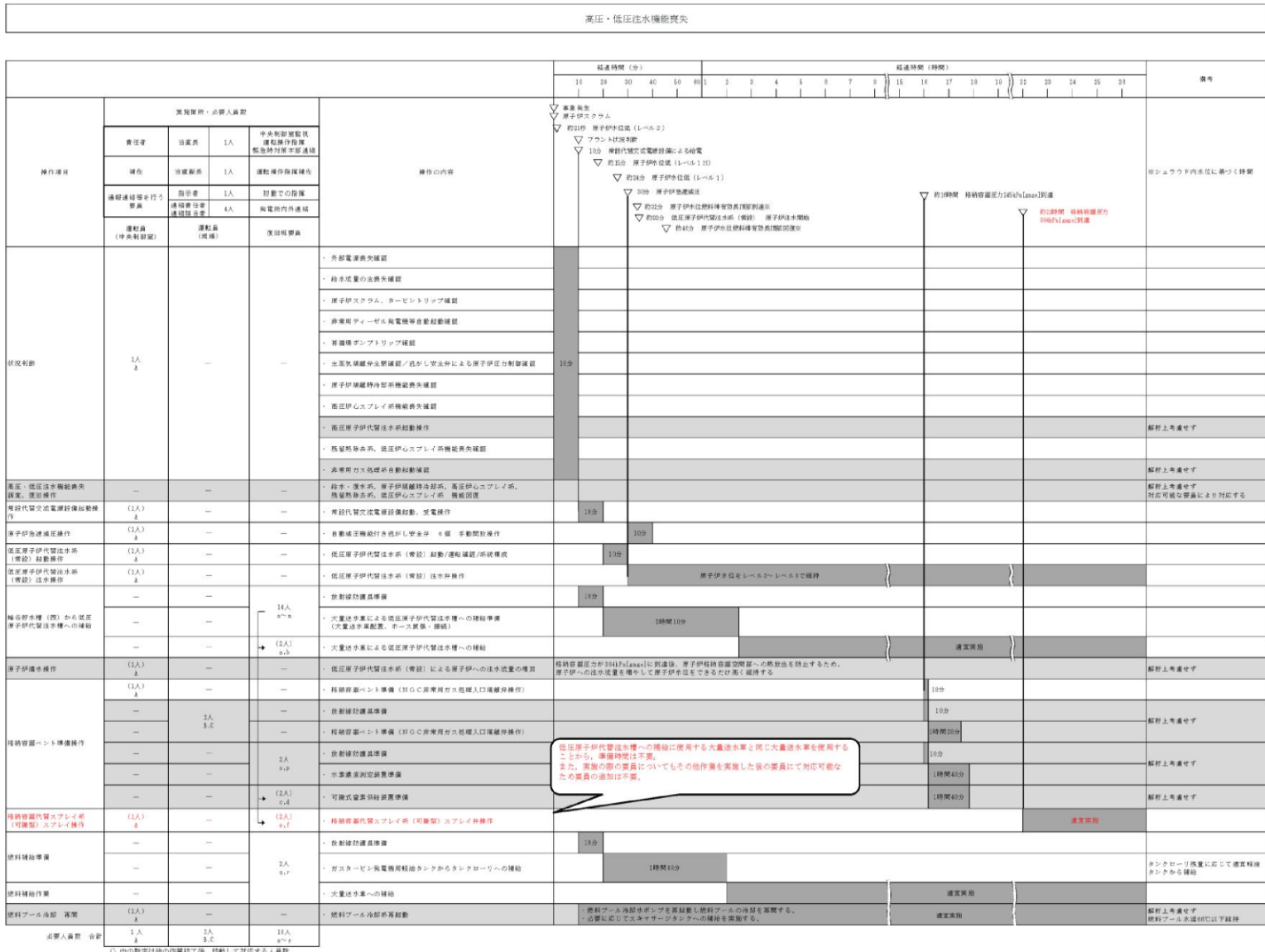


図194-1 高圧・低圧注水機能喪失における格納容器代替スプレイを実施する場合の成立性確認結果

■ 回答（続き）

【炉心損傷前に格納容器代替スプレイを実施しない場合の得失について】

- 炉心損傷前に格納容器代替スプレイを行った以降，炉心損傷が発生した場合には，炉心損傷後の格納容器ベントが早期になることが考えられる。
- 炉心損傷後の格納容器ベント時間への影響を確認することを目的に，炉心損傷前に格納容器代替スプレイを実施する場合及び実施しない場合のそれぞれについて解析を実施した。
- 表194-1のとおり，炉心損傷前に格納容器スプレイを実施しない場合は，実施する場合と比較して，炉心損傷後の格納容器ベント時間を26時間遅延することが可能であり，放射性物質の放出を極力遅らせることができる。
- 一方で，炉心損傷前に格納容器代替スプレイを実施しない場合，炉心損傷前の格納容器ベント実施が早期となる。しかしながら，「全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+HPCS失敗」に示すとおり，炉心損傷前に格納容器代替スプレイを実施しない場合においても，敷地境界の実効線量の評価結果は約 $2.2 \times 10^{-2} \text{m Sv}$ であり，5m Svを十分下回っている。
- 以上より，炉心損傷後の放射性物質の放出を極力遅らせることを優先し，残留熱除去系等の早期復旧が見込まれない場合は，炉心損傷前の格納容器代替スプレイは実施しないこととしている。

表194-1 炉心損傷後の格納容器ベント時間

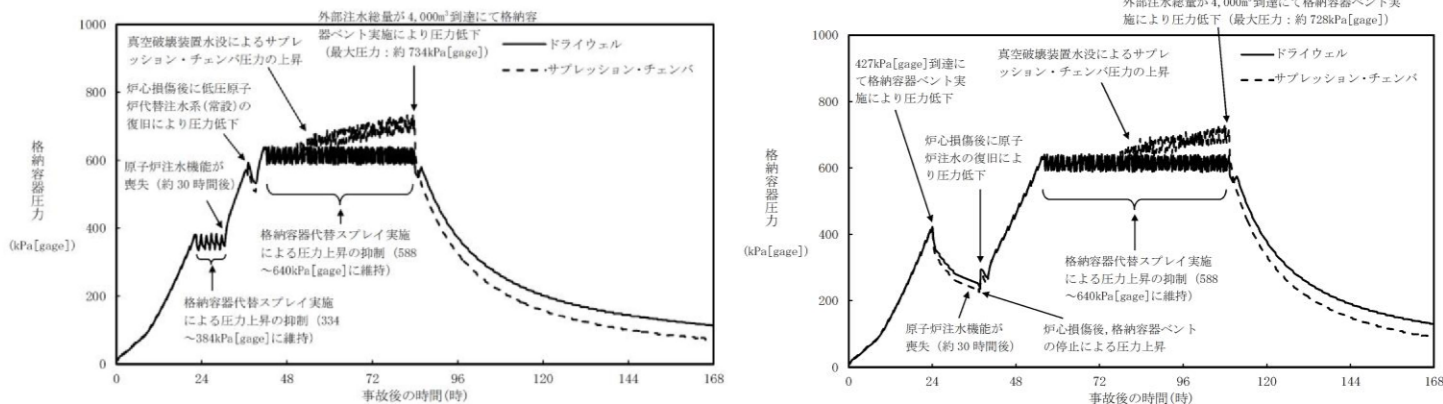
評価項目	炉心損傷前に格納容器代替スプレイを実施する場合	炉心損傷前に格納容器代替スプレイを実施しない場合
格納容器ベント時間 (炉心損傷後)	約83時間	約109時間

■ 回答（続き）

【解析条件及び安全機能の喪失に対する仮定】

解析ケース	解析条件及び安全機能の喪失に対する仮定
① 炉心損傷前の格納容器代替スプレイを実施する場合	<ul style="list-style-type: none"> ・格納容器圧力384kPa [gage]到達時に、格納容器代替スプレイを開始し、334～384 kPa [gage]で制御し、S/P 水位4.9m 到達時に格納容器代替スプレイを停止する。 ・格納容器代替スプレイ停止後、直ちに原子炉注水機能が喪失し、原子炉水位の低下により、炉心損傷に至る。 ・炉心損傷後、原子炉注水機能が復旧し、再度原子炉注水を開始する。 ・格納容器圧力640kPa [gage]到達時に、格納容器代替スプレイを開始し、588kPa～640 kPa [gage]で制御する。 ・外部注水量の総量が4,000m³到達時に格納容器ベントを実施し、格納容器代替スプレイを停止する。
② 炉心損傷前の格納容器代替スプレイを実施しない場合	<ul style="list-style-type: none"> ・格納容器圧力427kPa [gage]到達時に、格納容器ベントを実施する。 ・ケース①と同じ時間に、原子炉注水機能が喪失し、原子炉水位の低下により、炉心損傷に至る。炉心損傷後格納容器ベントを停止する*。 ・炉心損傷後、原子炉注水機能が復旧し、再度原子炉注水を開始する。 ・格納容器圧力640kPa [gage]到達時に、格納容器代替スプレイを開始し、588kPa～640 kPa [gage]で制御する。 ・外部注水量の総量が4,000m³到達時に格納容器ベントを実施し、格納容器代替スプレイを停止する。

※ ベント停止は総合的に判断する必要があるが、ここでは格納容器スプレイによる格納容器冷却が可能であることから、停止することとしている。



ケース①

ケース②

図194-2 格納容器圧力推移の比較

