

3号機サプレッションチェンバの耐震性及び PCV水位に関わる対応について

2019年10月21日



東京電力ホールディングス株式会社

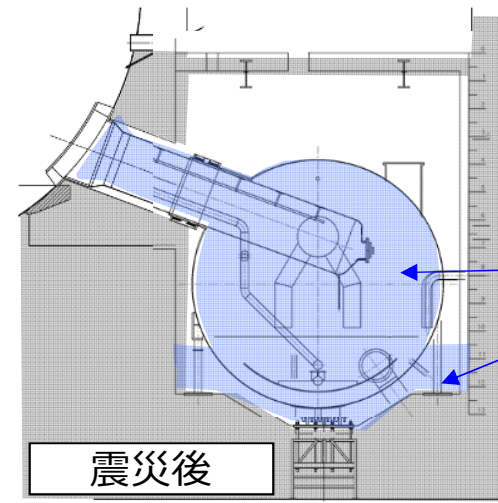
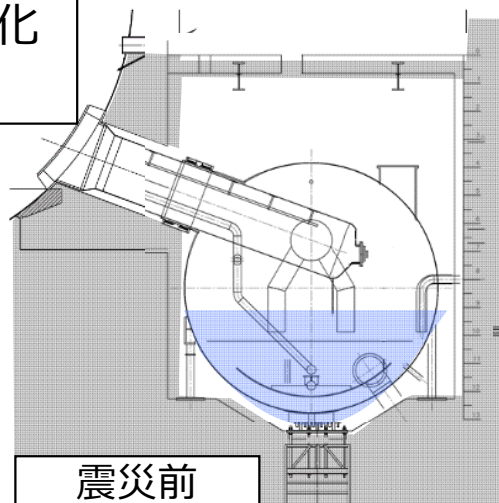
1. 3号機S/C耐震性に関わる対応について

- 震災前, S/Cを満水状態で維持することではなく, PCV水位が高い現状の3号機S/Cについて、震災後の**機器の劣化も考慮**して耐震性を評価することが必要。
- S/Cは汚染水を内包しており、また、周辺環境(原子炉建屋)は高線量であることから、耐震性を向上するに際し、慎重かつ計画的な対応が必要。



震災後20年(2031年まで)の劣化(腐食減肉)を考慮し、基準地震動Ss(600Gal)に対する耐震評価を実施

S/C内部の状態変化
(震災前/後)



S/C : 満水を想定
建屋滞留水

➡ S/Cシエル、サポート部等の劣化を考慮

2. 3号機PCV (S/C) の耐震評価条件及び方法

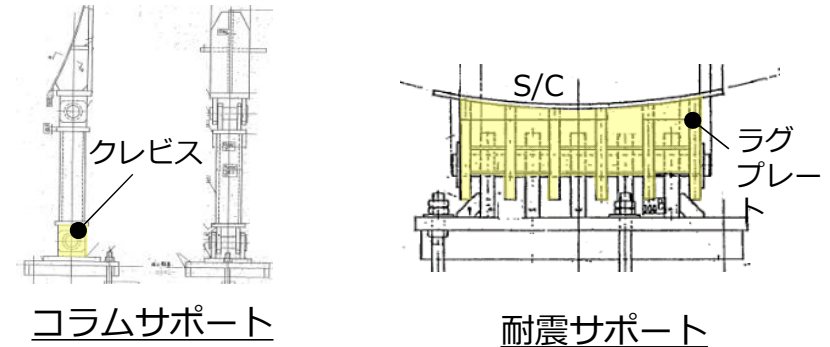
【評価条件】

- 基準地震動Ss(600Gal) に対する評価を実施。
- 震災後20年(2031年)の劣化(腐食減肉)を考慮。
- S/C周囲の建屋滞留水はないものとして評価。

【評価方法】

- 現状の実力を評価する観点で、規程や規格(注)に準拠しつつ、以下の手法で実施。
 - ①耐震評価が厳しい部位についてS/C支持機能の維持を確認するため、コラムサポート、耐震サポートのFEMモデルを構築し、弾塑性特性及び限界変位量を算定。
 - ②当該部の弾塑性特性を系全体のモデルに反映し、地震波を直接入力して時刻歴応答解析を実施し、最大変位量と限界変位量を比較して耐震性を評価。

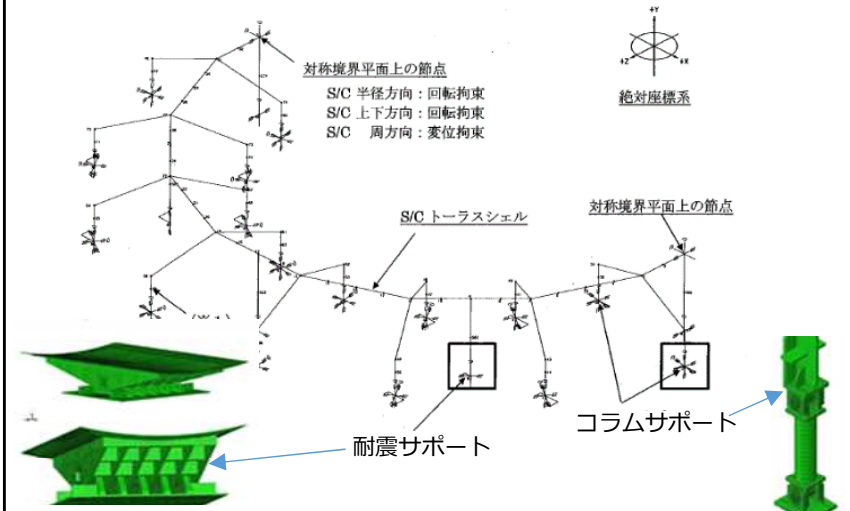
S/Cサポート部



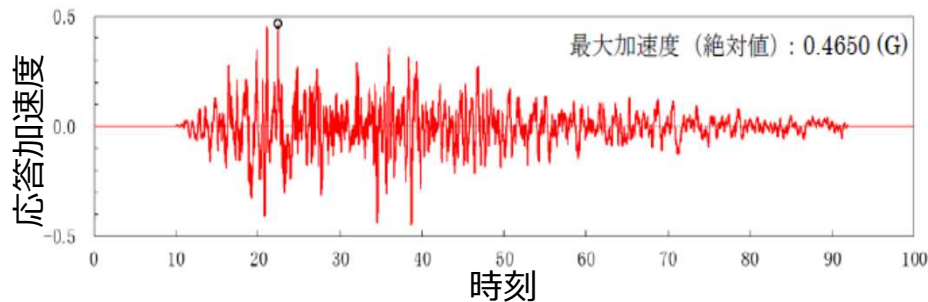
コラムサポート

耐震サポート

- サポート部に弾塑性特性を組み込み
- 腐食減肉量(20年)を部材剛性に反映



弾塑性解析モデル(局所FEMモデル)



基準地震動における床面の加速度時刻歴(上記は水平方向)

(注) 評価手法(弾塑性解析) は原子力発電所耐震設計技術規程に、許容値は発電用原子力設備 維持規格に準拠。

3. 3号機PCV (S/C) の耐震評価結果

- 最も厳しい対象部位の最大変位量が、限界変位量(許容量)を超えない (S/Cの支持機能が維持される) ことを確認。

対象部位	①限界変位量 (許容値)	②最大変位量	裕度 (①/②)
コラムサポート (クレビス)	2.06mm	1.94mm	1.06
耐震サポート (ラグプレート)	3.68mm	2.59mm	1.42

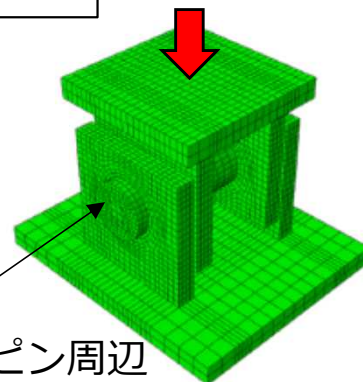
3号機PCV (S/C) 耐震評価結果



震災後20年(2031年) までに実施可能な耐震性向上を図る

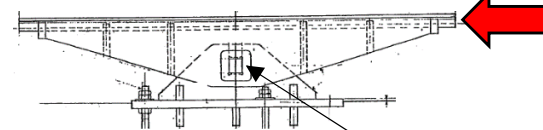
主要変形箇所拡大イメージ

クレビス
変位方向 (鉛直)

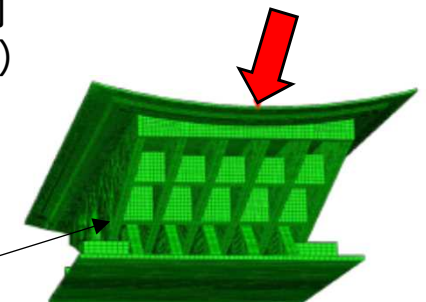


主要変形箇所：ピン周辺

ラグプレート変位方向
(水平 S/C円周方向)



主要変形箇所：シアピン周辺



4. 3号機PCV (S/C) の耐震性確保に向けた考え方

- 耐震性を向上させる対応として、PCV (S/C) 水位低下とS/C脚部補強があり、各対策の特徴を以下に整理。

	PCV (S/C) 水位低下	S/C脚部補強
概要	<ul style="list-style-type: none">原子炉建屋内に機器を設置し、S/Cから取水してPCV (S/C)水位を低下させ、S/C重量低減により耐震性を向上。	<ul style="list-style-type: none">原子炉建屋及び建屋周辺に機器を設置し、S/C周囲 (S/C脚部) に補強材 (モルタル) を充填し、耐震性を向上。
メリット	<ul style="list-style-type: none">将来的な水循環システム構築に適用可能PCV(S/C内) のインベントリ低減が可能。	<ul style="list-style-type: none">当該対応に関わる技術の開発実施済。現状のPCV水位を維持しつつ、耐震性を向上することが可能。
デメリット	<ul style="list-style-type: none">S/C内へのアクセスに用いるガイドパイプ設置等の技術開発を実施中。PCV水位を低下することの安全面の確認等が必要。	<ul style="list-style-type: none">建屋滞留水のバッファの減少補強材による廃棄物量の増大建屋周辺の設置機器の干渉を回避するため、他の廃炉作業との調整が必要。

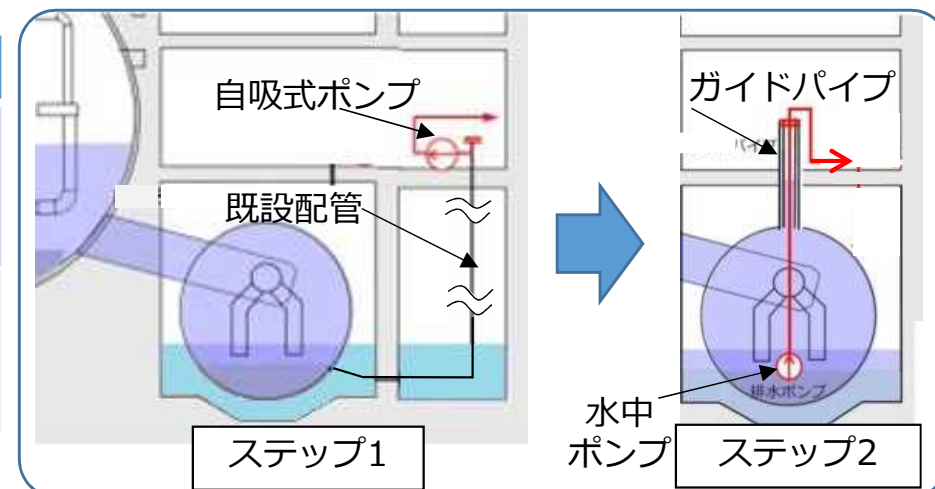


長期的なリスクを低減させる観点から、S/C水位低下の対応を計画
なお、S/C脚部補強はバックアッププランとして位置付け

5. 3号機PCV (S/C) 水位に関わる対応について

- 現状、耐震性向上策としてPCV(S/C)水位低下を行うため、以下の通り段階的に水位を低下することを計画。

	水位低下方法の概要	目標水位	実施時期
ステップ1	S/Cに接続する既設配管を活用し、自吸式ポンプによって排水する。	R/B1階床面下	2021年以降
ステップ2	ガイドパイプをS/Cに接続し、S/C内部に水中ポンプを設置することで排水する。	S/C下部	2024年以降

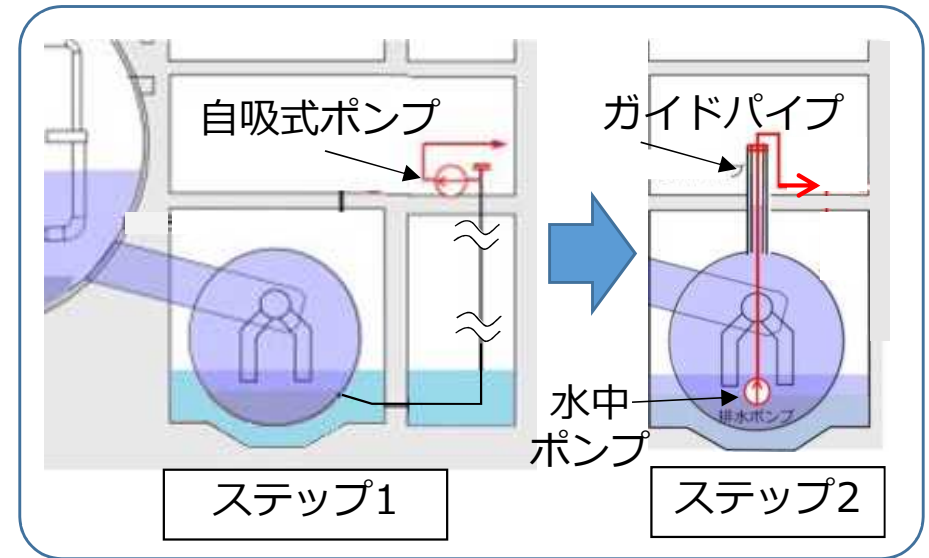


- S/C耐震性向上の早期実施のため、上記以外の対策について再検討・整理する旨の指摘（第71回監視評価検討会）を踏まえ、S/C水位低下に資する対策として、現行案に加えて以下の3案を抽出。
 - ① S/C内への気体封入
 - ② 炉注水停止
 - ③ ドレンライン施工によるS/C水抜き

上記対策案について、耐震性向上の有効性(S/C水位低下範囲)、技術成立性、実施可能時期、安全・運用上の懸念、想定被ばく量の観点で整理。

5-1. 3号機S/C水位低下策 <段階的な水位低下>

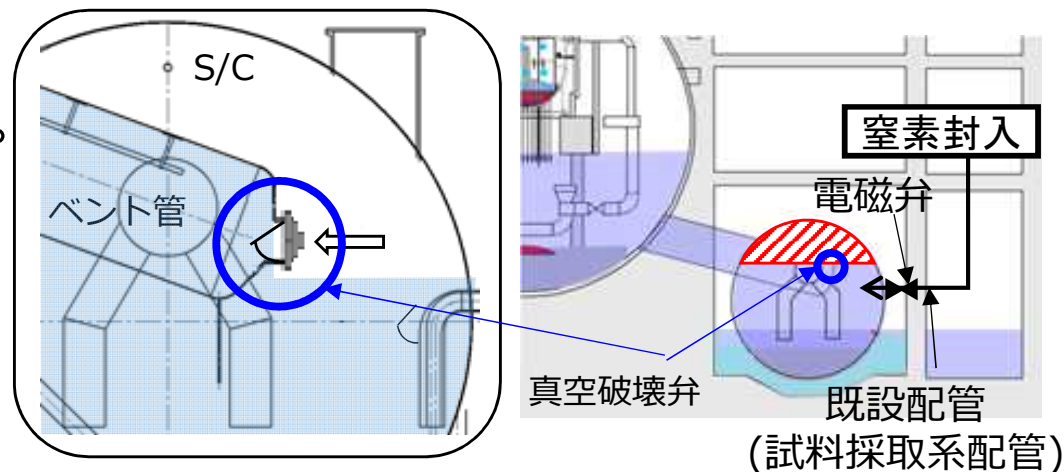
- ガイドパイプを用いてS/C内に水中ポンプを設置し、S/C水位を低下。
- ガイドパイプ設置等(ステップ2)に先立ち、現状水位をR/B1階床面以下に低下(ステップ1)し、ガイドパイプ(床上)を短くすることによる施工性の向上が必要。



耐震性向上の有効性 (S/C水位低下範囲)	<ul style="list-style-type: none"> ■ S/C下部付近 (水中ポンプによる排水を行うことで、水位制御が可能。) →S/C下部までの水位低下：○
技術成立性	<ul style="list-style-type: none"> ■ 雰囲気線量の高い地下階で施工するため、遠隔施工を想定した技術開発を実施中。 ■ S/Cのガイドパイプ設置は、技術的な成立性の確立に加え、メンテナンス性や設置可能場所、スペース等も踏まえた検討が必要。
実施可能時期 (2031年までの完了見込)	2024年以降：2019年に技術開発以降、詳細設計に2年、設備製作・設置・線量低減に2年程度を想定 (2031年までの完了見込み：○)。
安全・運用上の懸念	<ul style="list-style-type: none"> ■ ポンプによる水位制御を行うことで、プラント状態の変化を監視しつつ、水位制御を行うことが可能。
想定被ばく量	中～大 (1人・Sv以上 (6人・Sv程度を想定))

5-2. 3号機S/C水位低下策 <S/C内への気体封入>

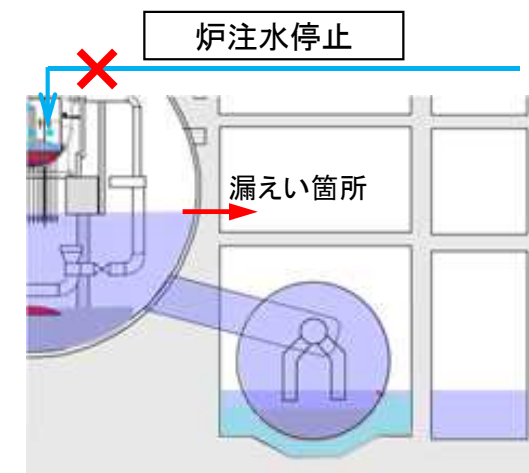
- S/Cに接続する既設配管を用いてS/Cに窒素を封入することで、S/C水位を低下。
- 耐震性向上に向けたS/C水位低下としては、**対策可能な範囲が限定的**。



耐震性向上の有効性 (S/C水位低下範囲)	<ul style="list-style-type: none"> ■ S/C頂部から約3m (ベント管先端に位置する真空破壊弁より上部に限定) →S/C下部までの水位低下：△
技術成立性	<ul style="list-style-type: none"> ■ トーラス室内の電磁弁の開操作による封入ラインを構築することで実施可能。 ■ 窒素封入の成否判断や真空破壊弁の作動防止に向けた、S/C内の水位監視に向けた技術開発が必要。
実施可能時期 (2031年までの完了見込)	2019年以降 (2031年までの完了見込み：○)
安全・運用上の懸念	<ul style="list-style-type: none"> ■ S/Cシェル上部や接続配管の気密性確保が必要。 ■ S/C封入した窒素が真空破壊弁を通してD/Wに排気されることで、D/W水位が急激に変動 (最大で3m程度) する可能性あり。
想定被ばく量	中 (1人・Sv未満 (0.2人・Sv程度を想定))

5-3. 3号機S/C水位低下策 <炉注水停止>

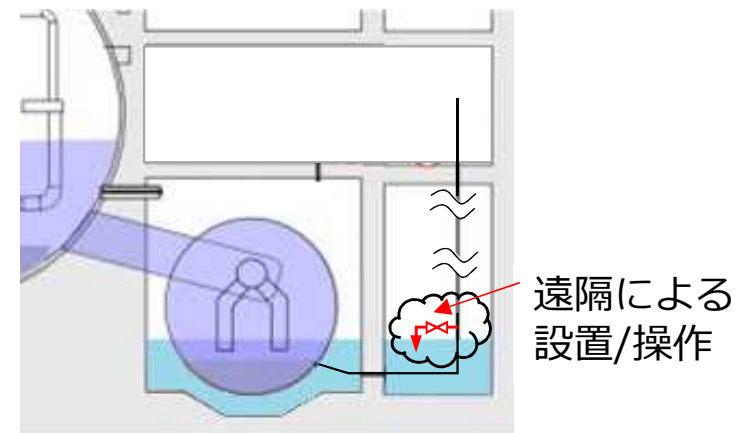
- 炉注水停止を継続し，PCVの漏えい箇所から流出によりPCV水位を低下。
- 耐震性向上に向けたS/C水位低下としては、**対策可能な範囲が限定的**。



耐震性向上の有効性 (S/C水位低下範囲)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地下階のPCV損傷箇所は確認されておらず、MSライン下端で水位低下が止まりS/C水位の低下はできない可能性あり。 →S/C下部までの水位低下：×
技術成立性	<ul style="list-style-type: none"> ■ 注水停止は可能であるが、長期間の炉注停止が必要（注水再開するとPCV水位は回復）。
実施可能時期 (2031年までの完了見込)	<p>未定：短期間の注水停止については、2号機の注水停止試験の実績をふまえ、準備等が整い次第、実施することを検討中（2031年までの完了見込み：○）。</p>
安全・運用上の懸念	<ul style="list-style-type: none"> ■ PCV内に存在する燃料デブリに対する冷却機能の低下 ■ PCV内の温度上昇に伴うダスト濃度の上昇（FPの再浮遊等）
想定被ばく量	<p>小(0.1人・Sv未満 (0.01人・Sv程度を想定))</p>

5-4. 3号機S/C水位低下策〈ドレンライン設置〉

- S/Cに接続する既設配管（地下階部）にドレンラインを設置し、当該箇所から水抜きを行うことで水位を低下。



耐震性向上の有効性 (S/C水位低下範囲)	<ul style="list-style-type: none"> ■ S/C下部（S/Cの水位低下可能範囲はドレンラインの施工高さに依る。） →S/C下部までの水位低下：○
技術成立性	<ul style="list-style-type: none"> ■ 既設配管のドレンラインは水没しており、弁の操作部等の固着等により排水量の調整が困難な可能性が高い。 ■ 既設配管にドレンラインを新設する場合、高線量下の作業に向けた遠隔装置が必要であり、実施に際し、今後開発することが必要。
実施可能時期 (2031年までの完了見込)	—
安全・運用上の懸念	<ul style="list-style-type: none"> ■ 雰囲気線量の高い地下階へのアクセス性が悪く、運用開始後の操作性（非常時の対応）やメンテナンス性等に課題あり
想定被ばく量	—

5-5. 3号機S/C水位低下策の比較

	ガイドパイプを用いた水位低下	①S/C内への窒素封入	②炉注水停止	③ドレン配管施工
イメージ図				
耐震性向上の有効性(水位低下範囲)	○ (S/C下部)	△ (S/C頂部から3m程度)	× (S/C水位は低下しない可能性あり)	○ (S/C下部)
技術成立性	△ (技術開発中)	△	○	未定 (新規技術開発要)
実施可能時期	2024年以降	2019年以降	長期間の炉注停止時期は未定	未定
安全・運用上の懸念	・ポンプによる水位制御により、プラント状態に応じた対応が可能	・真空破壊弁作動によるD/W水位が変動する可能性あり	・燃料デブリに対する冷却性低下 ・温度上昇に伴うダスト濃度の上昇	・アクセス性が悪く、操作性（非常時の対応）やメンテナンス性等に課題あり
想定被ばく量	中～大 (1人・Sv以上)	中 (1人・Sv未満)	小 (0.1人・Sv未満)	未定



技術開発が必要だが、S/C下部まで水位低下できる見込みがあり、将来的な水循環構成に資するガイドパイプを用いた水位低下(段階的な水位低下)を進めていく

6. まとめ

- 現状PCV水位の高い3号機について、減肉腐食による劣化を考慮しても、S/Cは2031年までは基準地震動(600Gal)に耐えうることを確認。
- S/Cの耐震性を向上させる対応として、S/C水位低下とS/C脚部補強を想定。
 - S/C水位低下には、S/C内へのアクセスに用いるガイドパイプ等の技術開発が必要であるが、2031年までにS/C水位を低下できる見込みがあり、耐震性向上も見据え、水位低下を進めて行く。
 - S/C脚部にモルタルを打設する耐震補強は、水位低下のバックアッププランとし、上記対策の状況等に応じて2027年を目途に切替要否を判断。

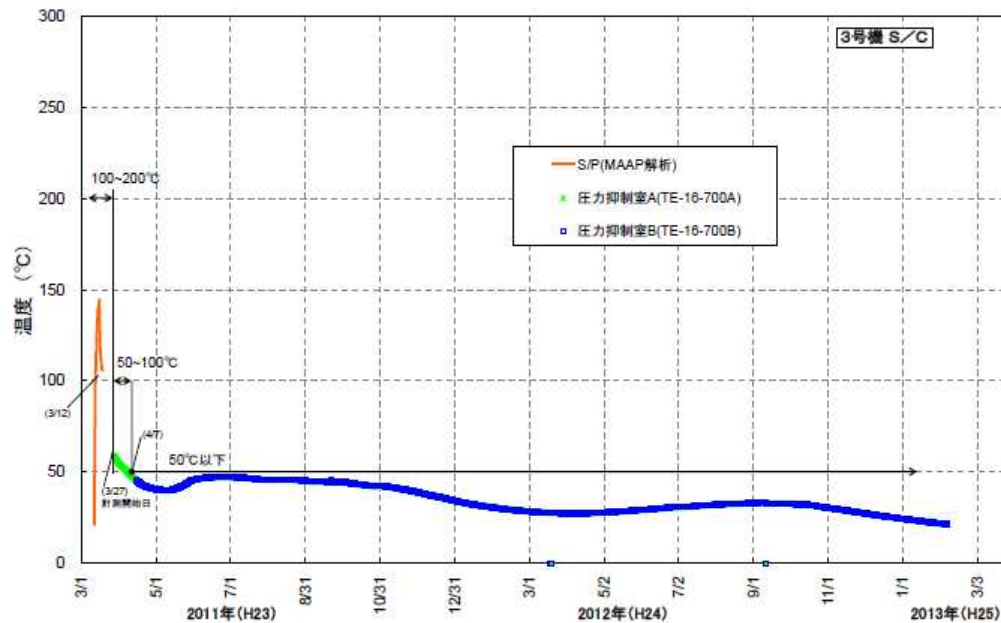


【参考】腐食減肉量の評価について

- S/C構造物の腐食減肉量は、事故後のS/C内の温度履歴等、環境条件を考慮した腐食試験を行い評価
- 温度範囲ごと※1に腐食速度を設定することで、経年腐食による減肉量を評価
- 耐震評価に際しては、評価対象であるサポート部その他、S/Cシェル等についても内外面の腐食減肉を考慮し、断面係数等の剛性データに反映※2

※1：①200-100℃,②100-50℃,③50℃以下の範囲で評価

※2：腐食減肉によるS/C重量の低下は考慮しない



事故後の温度履歴例 (3号機)

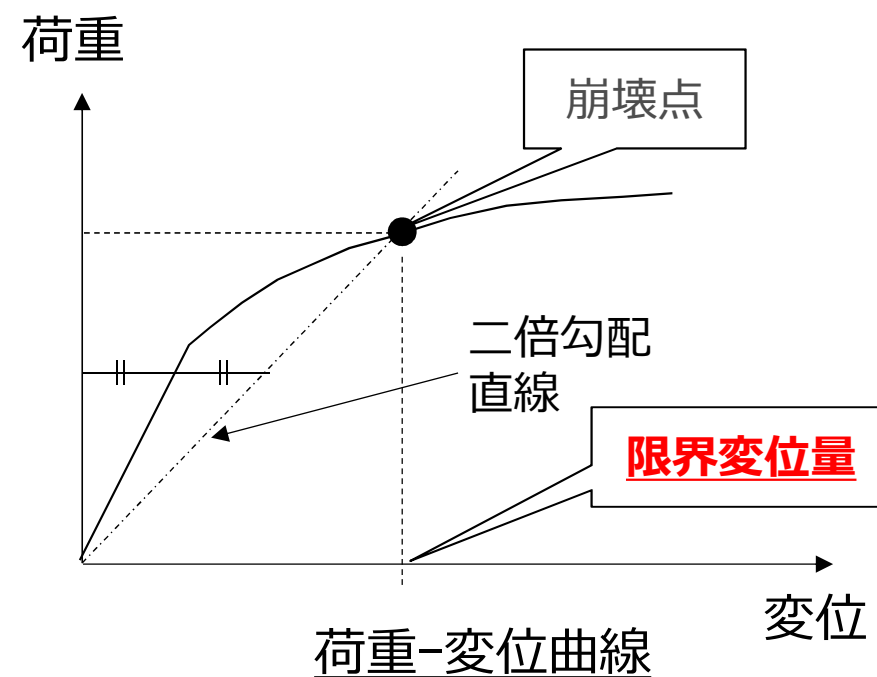
$$Y = (2kr_0^2t + k^2r_0^2)^{0.5} - kr_0$$

Y : 腐食量 [mm]
t : 時間 [year]
k : 速度定数 [year] (k=0.8)
r₀ : 初期速度

腐食進展速度式

■ 限界変位量は、以下の手順で算定（発電用原子力設備規格 維持規格に準拠）

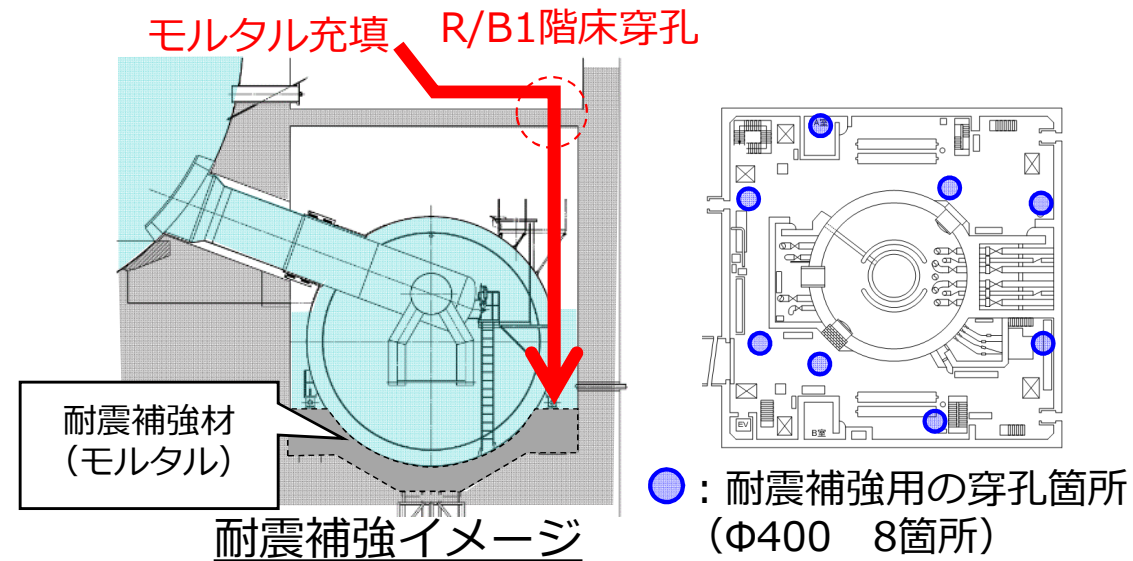
- ①評価対象部位の3次元FEMモデルを作成
- ②応力ひずみ関係はガイドライン*1に基づいて設定
- ③3次元FEMモデルに静荷重を負荷し，荷重と変位の関係曲線を作成
- ④荷重-変位曲線と，弾性域の二倍勾配直線の交点を図示（二倍勾配法）
- ⑤交点の変位を限界変位量として設定。



* 1:シビアアクシデント時の構造健全性評価ガイドライン (BWR鋼製格納容器編) JSME S NX2-2014

【参考】3号機S/C脚部補強について

- R/B 1階床面を穿孔し、地下階（トラス室）に補強材（高流動性の水中不分離モルタル）を充填することで、耐震性を担保。
- 耐震性向上対策としての見込みはあるが、他の廃炉作業、廃棄物処理、施工後の補修等に課題あり。



耐震性向上の有効性 (S/C水位低下範囲)	■ 補強材をトラス室床面に充填（約1～2m）することで、S/C脚部の支持力を考慮しなくとも、補強材のみで十分な強度を有する見込み。
技術成立性	<ul style="list-style-type: none"> ■ 建屋床面に複数箇所の穿孔して地下階へモルタルを同時打設する必要あり。 ■ 上記対応には、建屋周辺(隣接号機も含む)の広範な範囲に複数の補強材供給装置等を設置する必要があり、他の廃炉作業との干渉回避が必要。
実施可能時期 (2031年までの完了見込)	2027年以降：建屋周辺の他の廃炉作業との干渉回避を考慮（2031年までの完了見込み：△）
安全・運用上の懸念	<ul style="list-style-type: none"> ■ 補強材により建屋地下階の滞留水バッファが減少。 ■ S/C内に滞留している水のインベントリ低減は困難（水抜きは別途必要）。 ■ モルタル充填に伴う廃棄物量の増加。 ■ 補強材充填後の劣化検知、補修等に課題あり。
想定被ばく量	大（10人・Sv以上）