

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

重大事故等対策等に関する変更について

平成29年5月

東京電力ホールディングス株式会社

目次

1. 常設代替交流電源設備のタイラインの運用について
2. 重大事故等時の手順において判断基準として用いる計装設備の考え方について
3. 原子炉建屋放水設備を使用する際の監視設備について
4. ABWR PCV の FCI 発生時のエネルギー低減策について

1. 常設代替交流電源設備のタイラインの運用について

1.1 はじめに

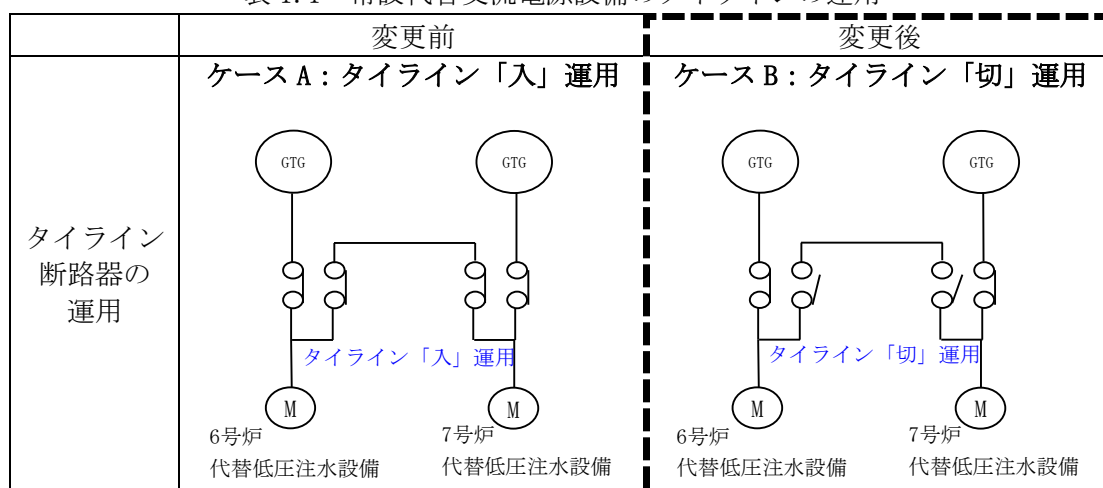
常設代替交流電源設備は、重大事故等時において6号及び7号炉を緊急用断路器のタイラインを「入」運用とし、連系して使用する方針であった。

今回、故障発生時に常設代替交流電源設備から6号又は7号炉のいずれかが給電できなくなる確率を、ケースA：タイライン「入」運用とケースB：タイライン「切」運用で比較した結果、ケースAのほうが、故障発生時に常設代替交流電源設備から6号又は7号炉のいずれかが給電できなくなる確率が小さいという結果に変更は無かった。しかしながら、

- ・ケースAとBで、上記の給電できなくなる確率の差は僅かであること
- ・6号及び7号炉が同時に給電できなくなることの影響が大きいことから、号炉間の独立の原則に則り、ケースBで使用する方針に変更する。

常設代替交流電源設備のタイラインの運用の比較を表1.1に示す。

表 1.1 常設代替交流電源設備のタイラインの運用



1.2 詳細検討

1.2.1 当初の設計

- ・GTG からプラントに給電する電路にはタイラインを設け、通常は断路器を「入」運用とし、GTG を使用する場合も「入」運用で使用する。
- ・断路器の操作により 6 号及び 7 号炉を独立な電源構成で運用することも可能としていた。

詳細は図 1.1 を参照。

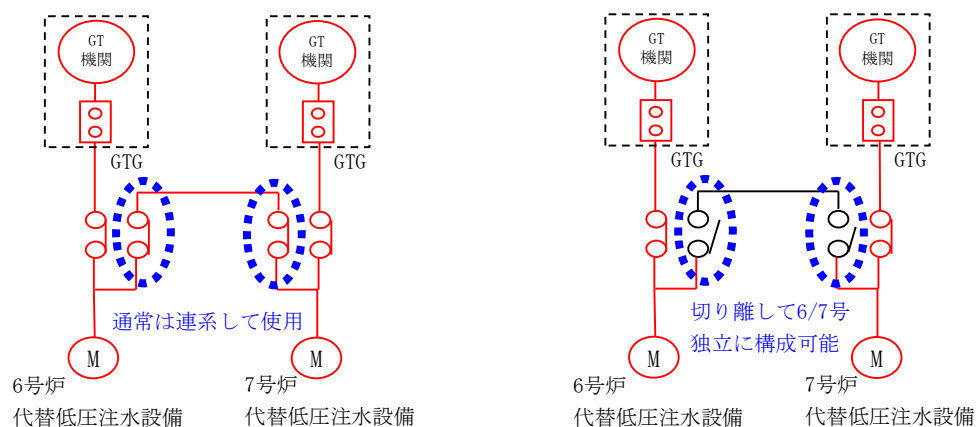


図 1.1 GTG タイライン連系に関する設計思想

1.2.2 従前のタイライン「入」「切」運用の比較

【GTG 待機状態】

- GTG の電路（タイラインを含む）が無電圧状態であるため、断路器を操作することで系統構成を変更可能である。よってタイラインが「入」「切」運用での差が無い。

【GTG 運転状態】

- GTG 運転状態での故障は重大事故と単一故障を重畳させているため、希頻度事象であるが、タイラインの運用によって GTG 故障時の影響に差が生じる。

- (1) タイライン「入」運用で運転中の GTG での故障を考慮した場合、故障を遮断器で隔離できる。さらに GTG が故障した号炉の電源供給を無停電で継続できる。(図 1.2 参照)

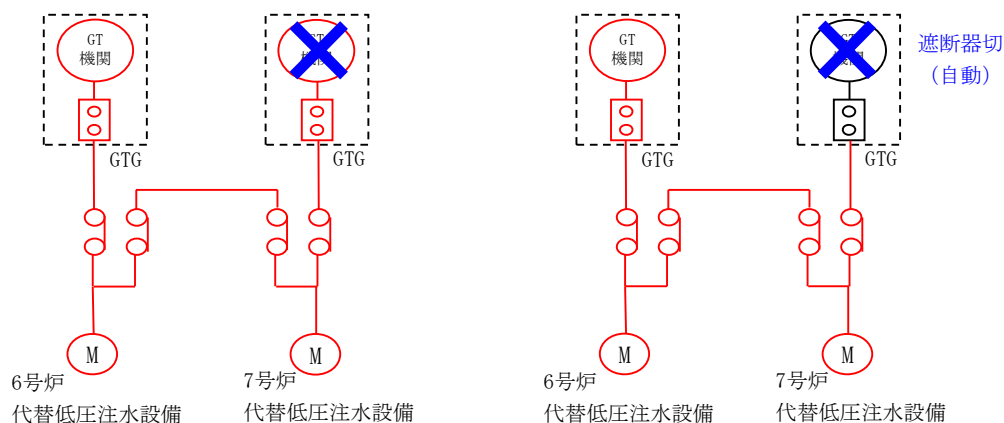


図 1.2 GTG 故障時の状態

- (2) タイライン「入」運用で運転中のタイラインでの故障を考慮した場合、6号及び7号炉の GTG 給電を同時に阻害する。(図 1.3 参照)

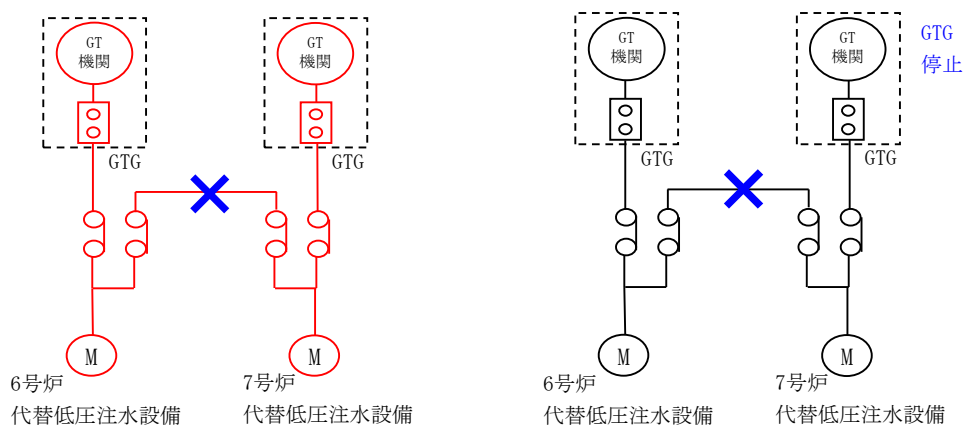


図 1.3 タイライン故障時の状態

- 以上の(1)及び(2)を比較した場合、(1)の GTG 故障率が(2)の電路故障率より多いため、タイライン「入」運用を選択した。

1.2.3 詳細検討にて判明したこと

GTGの発電機の内部故障に対して、遮断器隔離（下線部の箇所）が実現できないことが判明した。（図1.4及び図1.5参照）

- (1) 発電機内部故障時に遮断器を自動「切」する保護継電器（電流差動継電器（87））が存在しない*。
- (2) 既設発電機は中性点を引き出していないため、電流差動継電器を追設することは困難である。
- (3) GTGの発電機で内部故障は過電流継電器（51）で検知する。仮に7号炉のGTGの発電機で内部故障が発生すると、6号炉のGTGにも過電流が流れる。6号炉の過電流継電器が先に動作する可能性がある。
- (4) 6号炉と7号炉のGTGは保護協調を図るのは困難である。

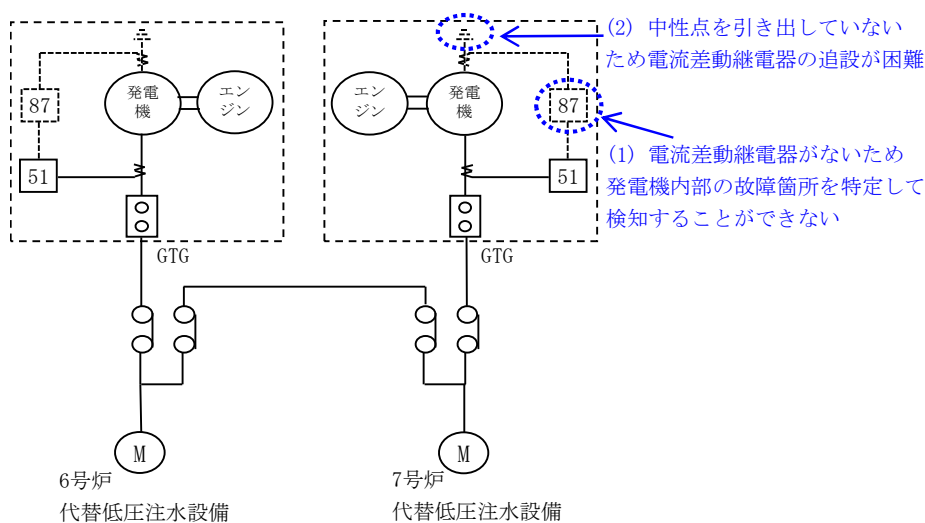


図 1.4 発電機内部故障の検知性

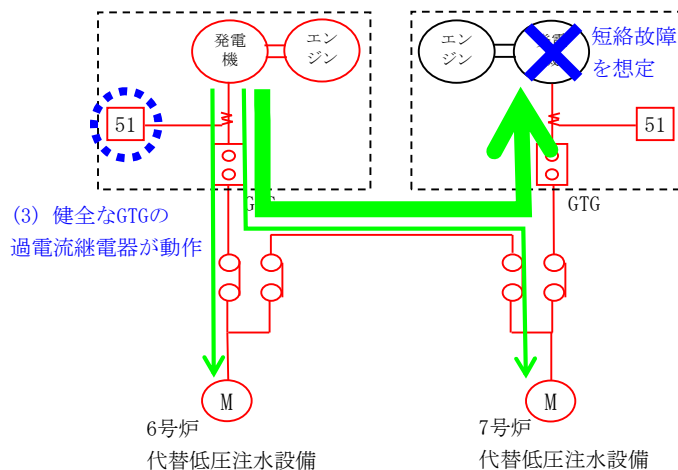


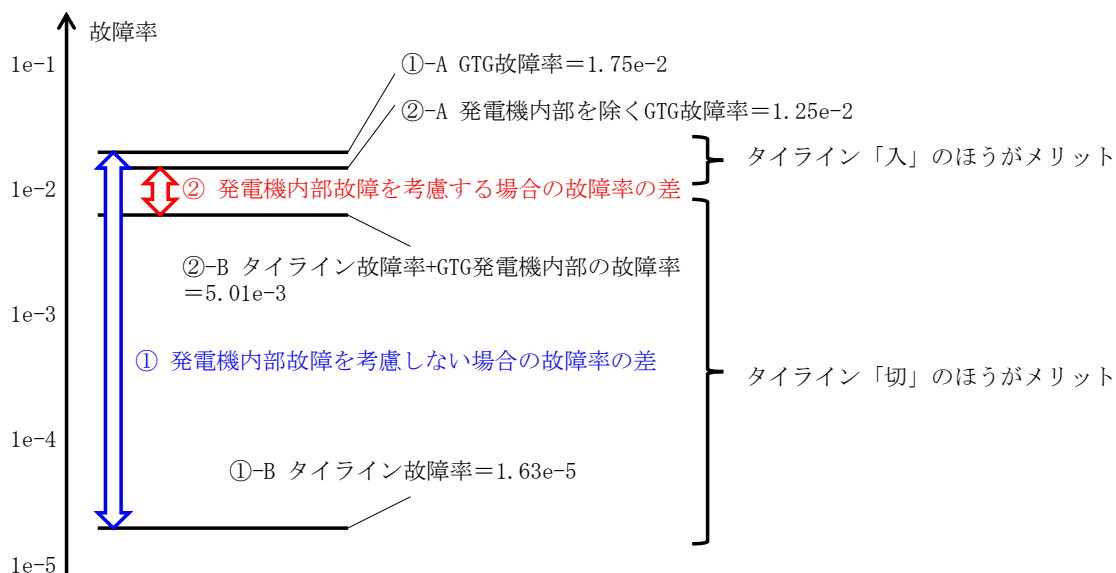
図 1.5 発電機内部故障発生時の隣接 GTG の動作

*原子力発電用工作物に係る電気設備の技術基準の解釈では、容量10,000kVA以上の発電機にて内部故障検知を要求しているため、容量4,500kVAの第一ガスタービン発電機にて内部故障検知ができないことは、同基準に違反しない。

1.2.4 詳細検討を受けた対応方針

GTGのタイラインを「切」運用とする。

- ・発電機内部故障の考慮有無を含めて、GTGの故障率、タイラインの故障率を示すと図1.6の通りとなる。発電機の内部故障を考慮してもタイライン「入」運用でメリットがある確率が依然として高いが、僅かしか変わらず、当初想定していた3桁程度よりも差が小さいことが判明した。



注) 機器の故障率は「故障件数の不確かさを考慮した国内一般機器故障率の推定」(日本原子力技術協会 2009年5月)を参照した。なお、GTG 発電機内部の故障率は原子力施設情報公開ライブラリーに公開された故障件数から推測した。

図 1.6 構成機器の故障率

- ・タイライン「入」運用での故障は6号及び7号炉の両方に影響するため、電源の復旧作業に要する人的リソースも2倍になり、影響が大きい。
- 以上の条件を考慮し、GTGのタイラインを常時「切」運用とするのが有効と判断した。

以上

2. 重大事故等時の手順において判断基準として用いる計装設備の考え方について

2.1 はじめに

技術的能力に係る審査基準 1.15（事故時の計装に関する手順等）の要求事項に基づき、重大事故等時に、炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策を成功させるために把握することが必要な発電用原子炉施設の状態を直接監視するパラメータ（重大事故等対処設備）を整備している。

一方、上記パラメータ以外は、発電用原子炉施設の状態を補助的に監視するパラメータ（補助パラメータ）として整理しているが、その中でも重大事故等対処設備を活用する手順等の着手の判断基準として用いるパラメータについては、重大事故等対処設備として整理することとする。

2.2 パラメータ分類の考え方

当該重大事故等に対処するために監視することが必要なパラメータの選定にあたっては、技術的能力の手順着手の判断基準及び操作手順並びに有効性評価の判断及び確認から抽出している。抽出したパラメータは、技術的能力に係る審査基準 1.15 の解釈に則り、以下の考え方で主要パラメータと補助パラメータに分類して整理している（パラメータの選定フローは添付資料（1）を参照）。

主要パラメータ：発電用原子炉施設の状態を直接監視

（当該重大事故等の炉心損傷防止対策，格納容器破損防止対策等を成功させるために把握することが必要な発電用原子炉施設の状態を直接監視するパラメータ。）

補助パラメータ：操作の確実性を確認することで、発電用原子炉施設の状態を補助的に監視

（発電用原子炉施設の状態を直接監視することができないが、重大事故等対処設備等を操作する上で、操作の確実性を確認するために必要なパラメータ。電源設備の受電状態，重大事故等対処設備の運転状態及びその他の設備の運転状態により発電用原子炉施設の状態を補助的に監視するパラメータ。）

（補足）補助パラメータには重大事故等対処設備となっているパラメータもある。

2.3 重大事故等対処設備を活用する手順等の着手の判断基準として用いるパラメータについて

重大事故等対処設備の動作状態又は機器状態を確認するパラメータは、重大事故等対処設備としての要件を満足しており、これまでは重大事故等対処設備の機能の一部として整理している。

重大事故等対処設備を活用する手順等の着手の判断基準として用いるパラメータについても、重大事故等対処設備としての要件を満足しているが、現状は重大事故等対処設備として示されていないものがある。

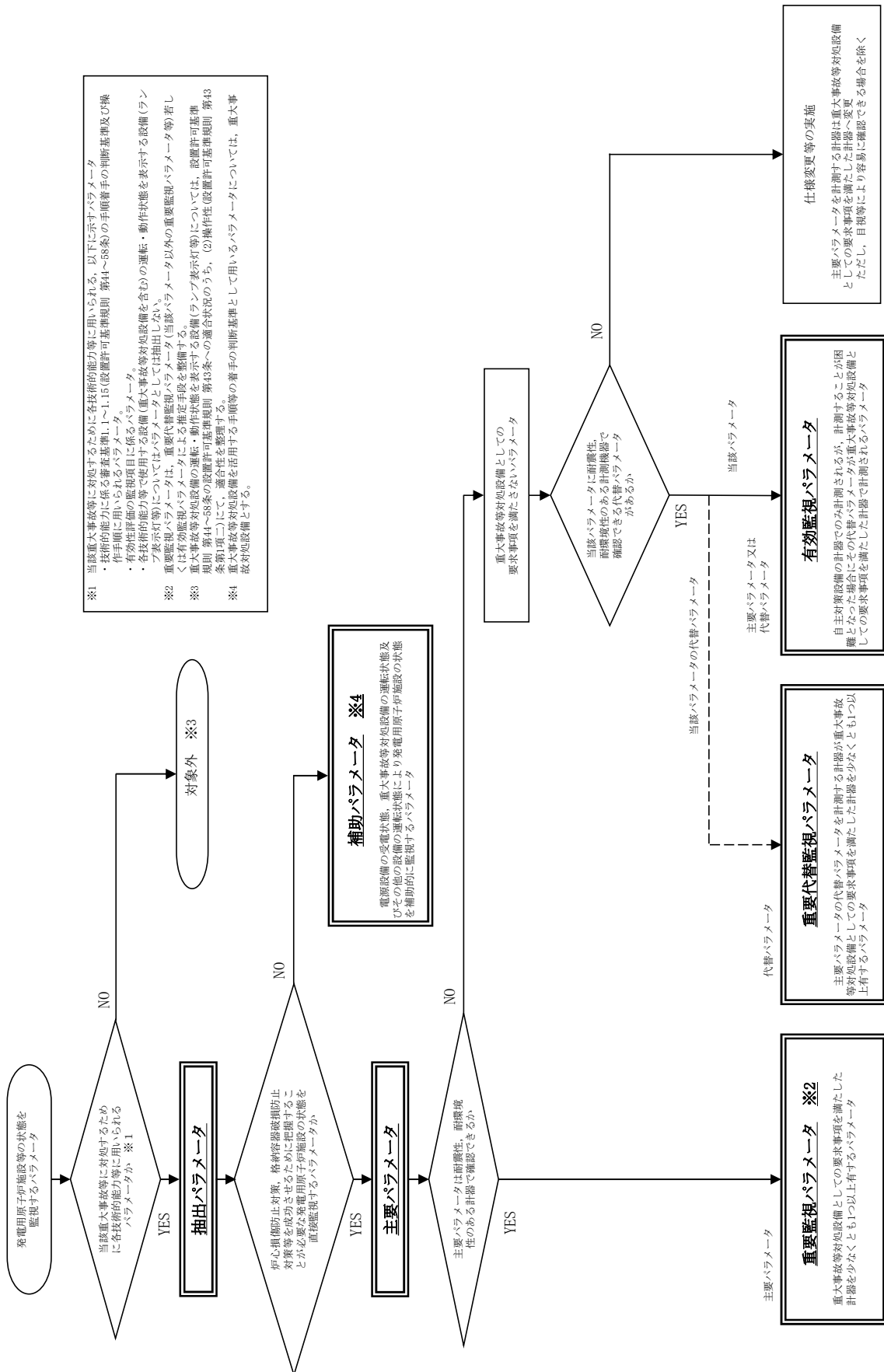
このため、重大事故等対処設備を活用する手順等の着手の判断基準として用いるパラメータについては、重大事故等対処設備として明確に位置づけることとする（例えば、代替電源設備の運転状態を確認するパラメータ：第一ガスタービン発電機の電圧や周波数等）。

なお、上記で新たに重大事故等対処設備として位置づけたパラメータについては、設置許可基準規則の条文毎に示すこととする（例：電源関係のパラメータであれば設置許可基準規則 第 57 条（電源設備））。

2.4 添付資料

(1) 重大事故等時に必要なパラメータの選定フロー

以 上



※1 当該重大事故等に対処するために各技術的能力等に用いられる、以下に示すパラメータ

- ・技術的能力に係る審査基準1.1~1.15(設置許可基準規則 第44~58条)の事業者の手順書の判断基準及び操作手順に用いられるパラメータ
- ・有効性評価の監視項目に係るパラメータ
- ・各技術的能力等で使用する設備(重大事故等対処設備を含む)の運転・動作状態を表示する設備(ランプ表示灯等)についてはパラメータとしては抽出しない

※2 重要監視パラメータは、重要代替監視パラメータ以外の重要監視パラメータ等若しくは有効監視パラメータによる推定手段を整備する。

※3 重大事故等対処設備の運転・動作状態を表示する設備(ランプ表示灯等)については、設置許可基準規則 第44~58条の設置許可基準規則 第43条への適合状況のうち、(2)操作性(設置許可基準規則 第43条第1項2)にて、適合性を整理する。

※4 重大事故等対処設備を活用する事業者の手順等の着手の判断基準として用いるパラメータについては、重大事故対処設備とする。

図1 重大事故等時に必要なパラメータの選定フロー

3. 原子炉建屋放水設備を使用する際の監視設備について

大気への放射性物質の拡散を抑制するため、原子炉建屋放水設備を用いて原子炉建屋に向けて放水する際に、放射性物質の原子炉建屋からの漏えい箇所をより効果的に検出するため、原子炉建屋から漏えいする放射性物質又は放射性物質とともに放出される水蒸気等の熱源を監視することを目的に、以下の設備を設置する。

なお、本設備については、事業者の自主的な取り組みとして、審査資料「重大事故等対処設備について（3.12）」、「重大事故等対処設備について（補足説明資料）（55条）」、「『実用発電用原子炉に係る発電用原子炉設置者の重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力に係る審査基準』への適合状況について（1.12）」に反映する。

・ガンマカメラ

ガンマカメラを用いて、原子炉建屋から漏えいする放射性物質から放出されるガンマ線を可視化することで、放射性物質の原子炉建屋からの漏えい箇所に効果的に放水することが期待できる。

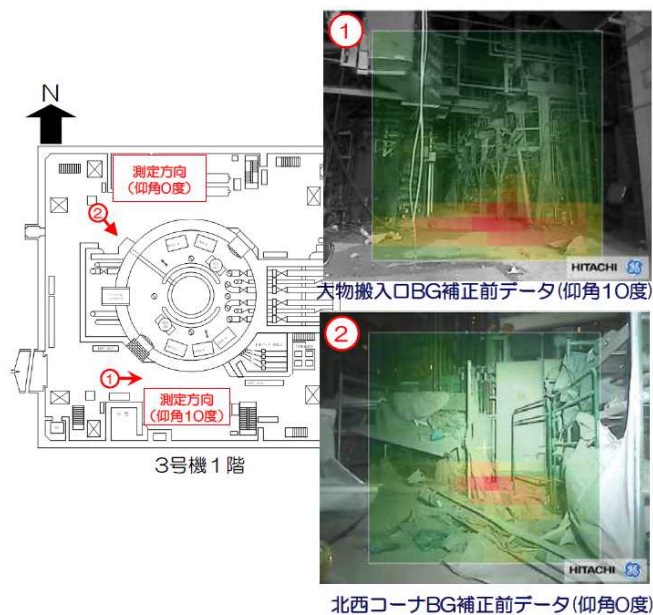


図1 ガンマカメラによる測定例（1F-3 R/B 上部（平成24年6月測定））

- ・サーモカメラ

赤外線サーモグラフィカメラを用いて、原子炉建屋から漏えいする放射性物質とともに放出される水蒸気等の熱源を可視化することで、放射性物質の原子炉建屋からの漏えい箇所に効果的に放水することが期待できる。

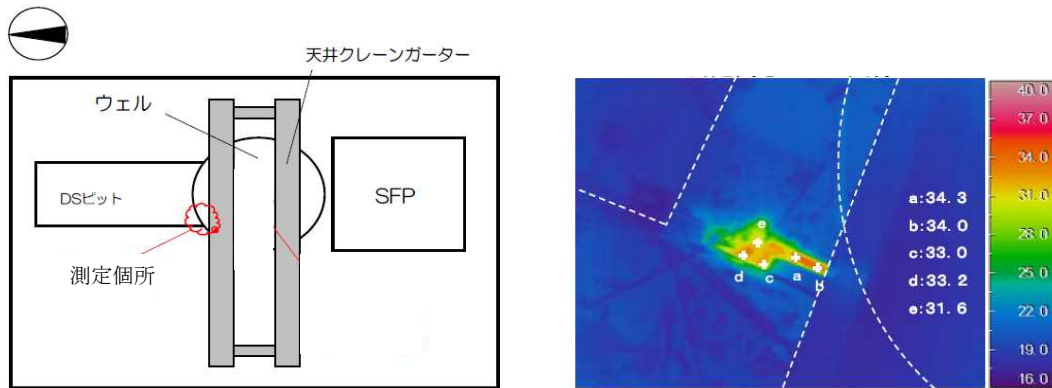


図2 サーモカメラによる測定例 (1F-3 R/B 上部 (平成 25 年 7 月測定))

なお、ガンマカメラは、原子炉建屋から漏えいする放射性物質を直接検出することができること、サーモカメラは、放射性物質とともに放出される水蒸気等の熱源を検出するため、大気中の線量によらずタイムリーに測定が可能であることを踏まえ、測定原理の異なる複数の設備を設けることにより多様性を確保し、放射性物質の原子炉建屋からの漏えい箇所に効果的に放水することが期待できる。

4. ABWR PCV の FCI 発生時のエネルギー低減策について

4.1 はじめに

ABWR における原子炉圧力容器外の熔融燃料-冷却材相互作用（以下、FCI という）に関して、これまでの柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉の審査では、

- ① これまでの代表的な FCI の実験で水蒸気爆発が観測された例は、いずれも外部トリガがある条件で実施されたものであり、実機条件ではこのようなトリガ装置で発生させているような圧力外乱となる要因は考えられず、実機において大規模な水蒸気爆発が発生する可能性は極めて小さいと考えられること
- ② 加えて、ABWR の RPV 下部は、FMCRD 等の様々な構造物が存在するとともに、下部ドライウェル床上約 5m 位置にグレーチング等の干渉物が存在し、発生可能性を更に低減する、又は、仮に発生した場合のエネルギーを小さくする要素となり得ること
- ③ 一方で、落下後の熔融炉心冷却の際の事前の水張りに際しては、MCCI による侵食を可能な限り低減しつつ、仮に発生した場合のエネルギーを増加させない措置として事前水張り水位は 2m にするなど、MCCI 対策と FCI 対策のバランスを踏まえた対策としていること
- ④ 仮に水位が上昇した場合（7m）に水蒸気爆発が起きたと仮定した場合の感度解析（参考解析）として、水蒸気爆発解析コード JASMINE、構造応答解析コード AUTODYN-2D により圧力伝播挙動等を求めた結果、原子炉圧力容器の支持に支障が生じるものではないこと
- ⑤ 更に、PCV スプレイ水の流入等による下部ドライウェル水位上昇抑制策として、S/P 側への排水ポンプを自主的に設置すること

について説明を実施してきた。

一方、シビアアクシデント対応の際には、格納容器破損を回避する観点で、代替格納容器スプレイなど、外部からの注水を継続して実施するため、事象が長期化した場合、サブプレッション・プールの水位は上昇し、リターンライン※1を通じて、下部ドライウェル側へ流入することで、下部ペDESTALにおける水位が高い状態となる可能性がある。

上述のとおり、BWR における水蒸気爆発の可能性は極めて低く、かつ、水位が高い状態で仮に発生した場合においても、原子炉圧力容器の支持に支障が生じるものではないことを確認しているが、更なる安全性向上を目的として、FCI 発生時のエネルギー低減策について検討することとした。

※1：リターンラインの設置目的等は〈参考1〉参照

4.2 FCI 発生時のエネルギー低減策の方向性について

対策の観点からは、以下の2つの対策に大別される^{※2}。

- a. サプレッション・プールの水位を上昇させないこと、または上昇した場合においても、リターンラインからの流入を防止することで、下部ドライウエルの水位上昇を抑制すること
- b. 下部ドライウエルの水位が上昇した場合に、水深が深い水中への溶融炉心の落下を回避すること

※2：とり得る対策のオプションと課題等の整理については〈参考2〉参照

○対策 a. について

- ・ ABWR の PCV の構造上（図 1 参照）、リターンラインより上部には、コネクティングベントがあり、これにより下部ドライウエル空間部とベント管を連通させる機能を担う。
- ・ SA 発生時には外部注水を継続せざるを得ない状況も考慮する必要があり、例えばリターンラインからの逆流を防止する策（閉止+逆止弁）を講じた場合でも、コネクティングベント高さまでサプレッション・プール水位が上昇すると、いずれ下部ドライウエルへ流入することとなる。
- ・ よって、下部ドライウエル水位上昇までの時間余裕は得られるものの、事象が長期化すると依然として、水深が深い水中への溶融炉心の落下可能性を排除することができず、根本的な解決策にはならないものとする。
- ・ また、サプレッション・プール水位の上昇を抑制する策は、多量の FP を含む冷却材を PCV 外へ移送する必要があり、さらに別の動的機器に期待する必要が生じるとともに、SA 時の作業環境の悪化などが懸念されるなど、別の課題が生じることとなり適切とは策とは言えない。

○対策 b. について

- ・ 事象が長期化し、サプレッション・プール水がリターンラインを通じて流入し、水深が深くなった場合でも、溶融炉心の水中落下距離を制限することで、仮に水蒸気爆発が発生した場合でも、水深が浅い状態（2m）と同様な状況（FCI 発生時の機械的エネルギーを低減）に近づけることができるとの思想に基づく。
- ・ 具体的な策としては、現行のグレーチング位置（約 5m 位置）にコリウムバッファを配置することで、RPV から溶融炉心が落下した際に、当該位置にて、落下を一旦停止させる機能を追加する。
- ・ 下部ドライウエルの空間部を完全に区分するものでなければ、PCV 基本設計の考え方を変更することなく対応が可能となると考えられ、また、下部ドライウエルの水位が低い

場合及び高い場合など多様な状況下においても低減効果を得ることができるものと考えられる。

- 一方、バッファーではなく、完全な保持機能を課した場合、下部ドライウェル水位が低く維持された状態で保持機能が喪失した場合の落下影響（一斉に水中へ落下）の懸念があることから、溶融炉心を保持させず、少量の溶融炉心落下となるような設計上の配慮を行う必要がある。
- RPV から溶融炉心が落下した以降は、格納容器下部注水系による溶融炉心冷却を開始するとともに、格納容器圧力制御を目的とした代替格納容器スプレイ冷却系によるサブレーション・プール水位上昇に伴う下部ドライウェルへの流入によって、溶融炉心の冷却は維持される。

以上を総合的に勘案し、ABWR PCV の FCI 発生時のエネルギー低減策としては、対策 b. 「下部ドライウェル約 5m 位置にコリウムバッファー設置」が適切と考え^{※3}、材料及び形状の選定含め実現可能性について引き続き検討を進めることとしたい。

※3：当対策の現時点での方針等については〈参考3〉参照

以 上

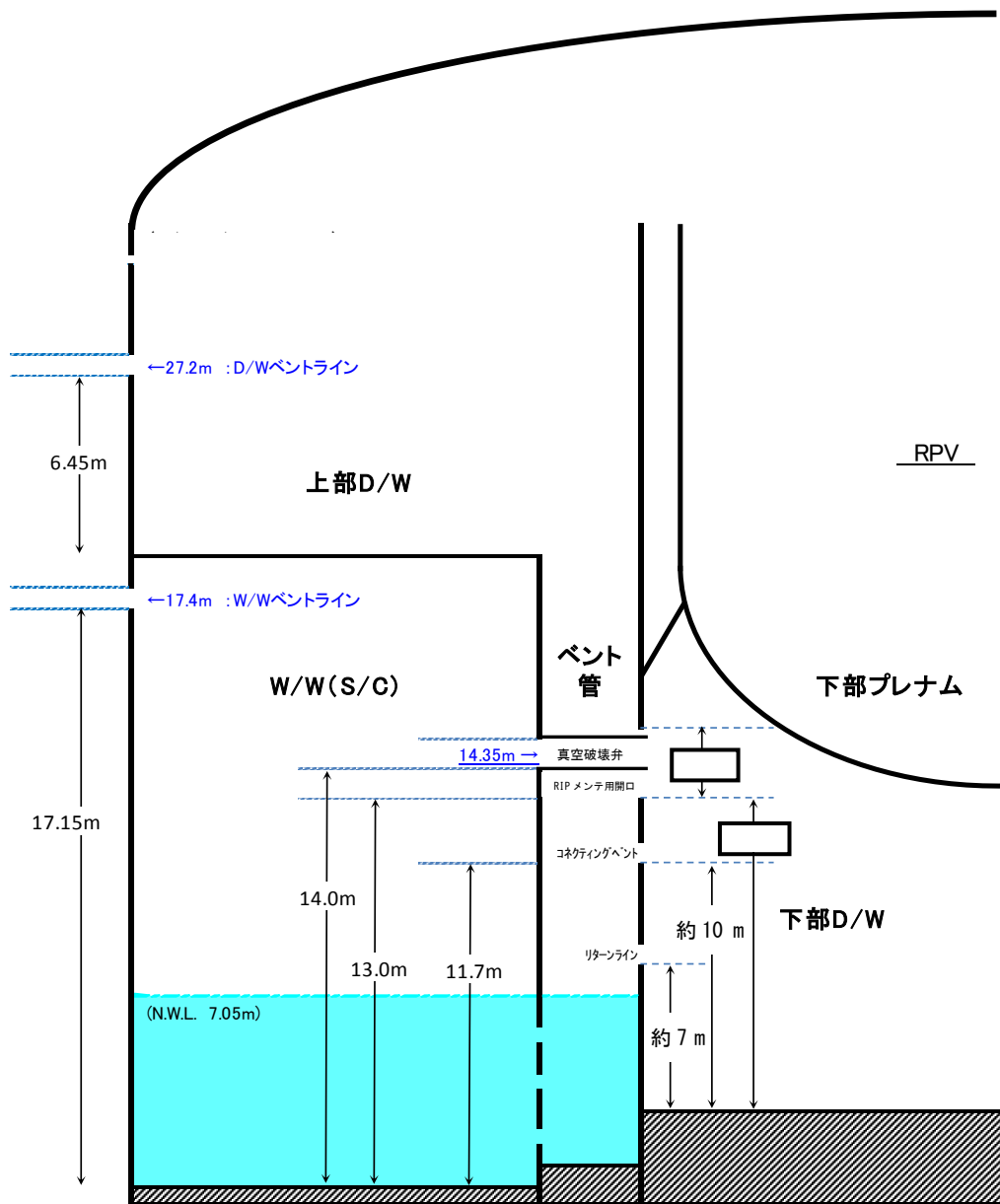
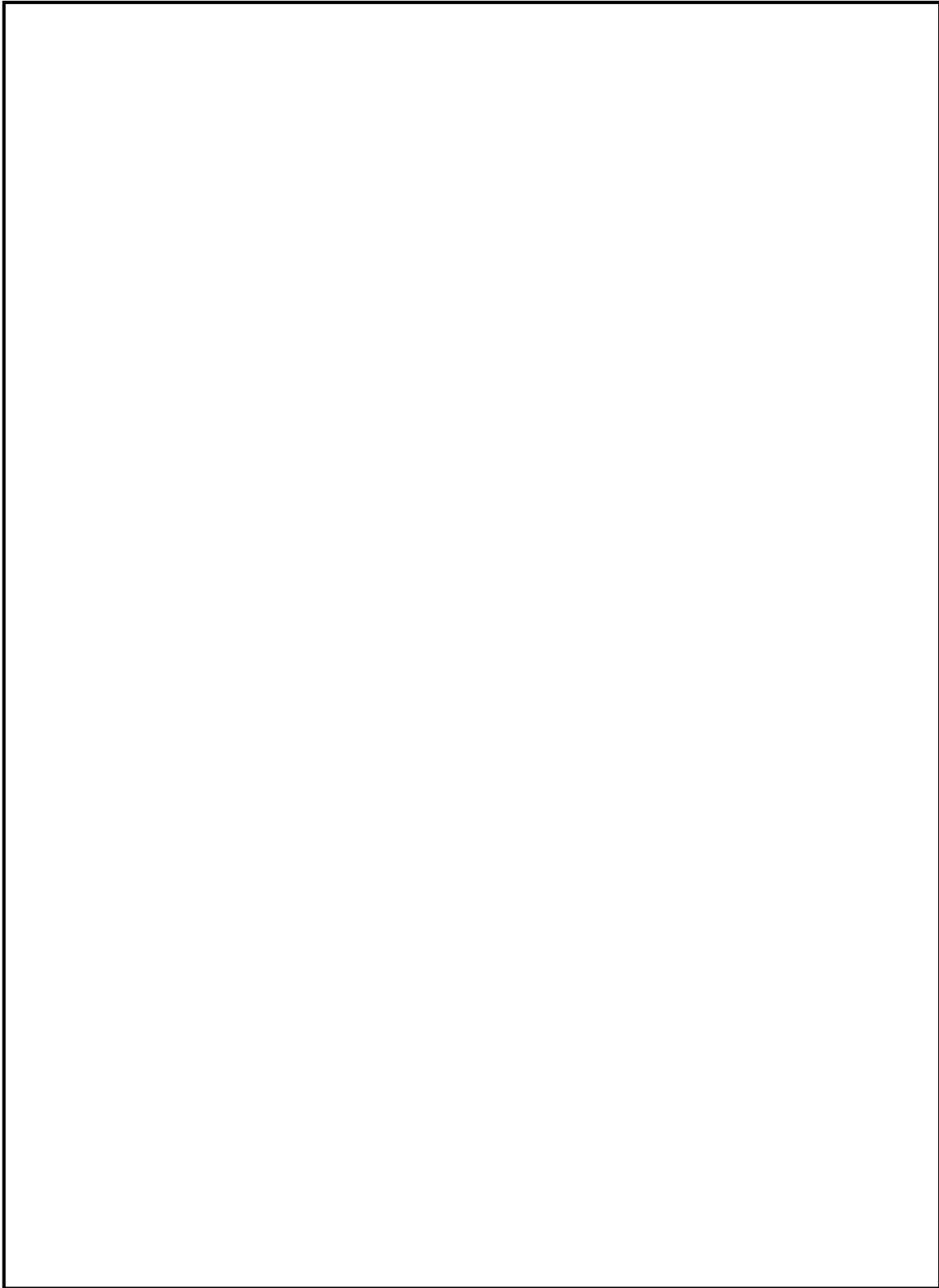


図1 ABWR PCVのリターンライン他高さ関係について

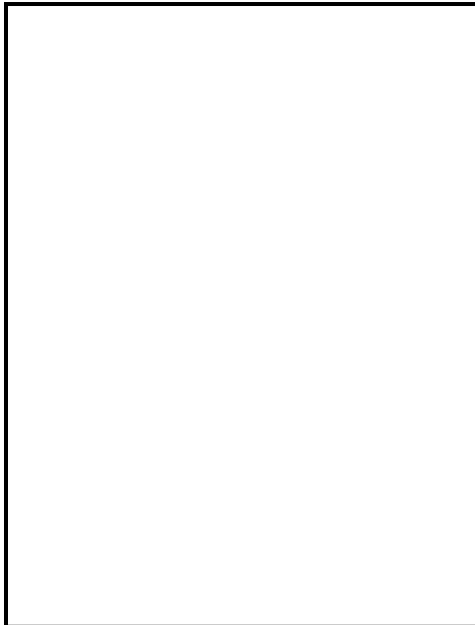
〈参考1〉リターンラインの設置目的等について

- PCVの基本設計としては、LOCA発生時における冷却材・PCVスプレイ水等は、事象初期では結果が厳しくなるよう上部ドライウェルから連通口及びベント管を通じて、サブプレッション・プールへ流入させるとの考え方を基本としており、リターンラインはDBの許認可解析等における事故時の安全機能として直接考慮している設備ではない。
- リターンラインは、コネクティングベント部からの一部流入、上部ドライウェルドレンラインからの流入可能性を踏まえ、仮に過剰に下部ドライウェルに水が流入した場合に備え（S/Pに戻らないことを仮定した残水を「ドローダウン水量」と呼ぶ）、LOCA時ブローダウンに必要な水深及びECCS吸込水頭を適切に維持する観点より、サブプレッション・プールへ水を戻すよう設置されているものである。
- なお、サブプレッション・プール水量（約3600m³）の根拠は、以下の2点の条件を満足するよう水量を設定しており、リターンライン及びその高さはプール水量を決定する上での根拠として使用している。
 - ー下記 a. 又は b. の水量を比較し、多い水量を基準に設定
 - a. LOCAブローダウン中のプール水温が170° F（77°C）を上回らない量：3400m³
 - b. ベント管幾何学的条件（PSTF実験等の水平ベント管蒸気凝縮実験に基づく条件）を満足する最少プール水量（水深）：2310m³+ドローダウン水量：1270m³≒3580m³以上ードローダウン水量は、保守的にRPV内、MSライン、下部DWに溜まる水量の合計を仮定しており、下部DWに溜まる水量は、リターンライン高さまでの水量を見込んでいる
- 事故の時系列を踏まえれば、ブローダウンとドローダウンが同時に発生することはないが、ABWRの基本設計においては、事故時の時系列によらない保守的な考え方に基づきプール水量を決定している。

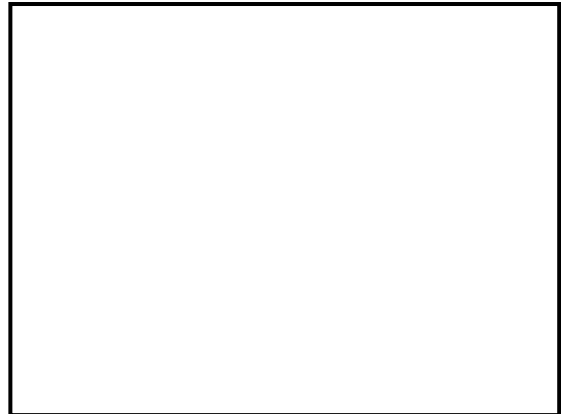
枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません



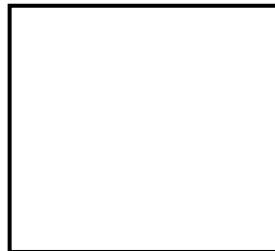
参考図 1-1 リターンライン現場写真



(a) 格納容器底部床面から上部を撮影



(b) グレーチングの端から中心部を撮影



(c) グレーチング中央から上部を撮影

参考図 1 - 2 格納容器下部の構造物

〈参考2〉 下部ドライウェル水位低下等を目的とした取り得る対策のオプションと課題等の整理について

取り得る対策のオプションのメリット・デメリットについて下表に纏める。

	①リターンライン閉止+S/P 水量増加	②リターンラインの逆止弁設置	③SPCU による S/P 水位上昇抑制	④下部ドライウェルを約 5m 位置まで埋める	⑤下部ドライウェル約 5m 位置にコリウムバッファ設置
【施工性】	△ ・施工という観点では他の対策と比較して規模は小さくなると予想されるが、閉止を施工する段階での干渉物撤去等比較的規模の大きい工事が必要となる	× ・逆止弁の設置スペースを確保するためには、干渉物撤去等比較的規模の大きい工事だけでなく CRD 配管・ケーブルトレイの撤去復旧もしくはリルート（現状物理的に不可能と考えられる）を含む大規模な解析、再設計・工事が必要になると推定される ・弁の追加に伴い、下部ドライウェル内側鋼板（RPV 支持機能を担う）へのサポート追加が必要となるが鋼板へのサポート追設は困難 ・基本設計に関わる設備であることから、DB 設備相当の信頼性を課す必要がある。「テストビリティ」「開閉状態監視」「信頼性（耐震クラス）」「多重性」の考慮要	× ・汚染水を PCV 外へ移送すること、かつ、貯留する必要がある、設備的な耐線量、配管・タンク等の遮蔽措置、系統全遠隔化、貯留槽の水素・酸素処理など技術的な課題は①及び②に比べて多い	× ・停止中の CRD 交換時の駆動範囲を埋めることとなり不可 （参考図 1-2）	△ ・材料・形状選定によるが、重量次第では、現行のグレーチング・ターンテーブル等のサポート強化は必要となる可能性
【安全設計上の懸念】	× ・初期 S/P 水量増加により S/C 空間部体積が減少するため、DBA 時圧力は若干増加する。 ・停止中の RPV 下部からの漏水など、仮に漏水が止められなかった場合に、FMCRD モーター部を水没させることとなる。リターンライン設置目的の一つでもある機器保護という観点で懸念があり ・FMCRD モーター部は常用系に位置づけられるも、スクラム後のフォローインなどのバックアップ機能を担う設備であり、リターンライン閉止は設計上好ましくない	○ ・①の懸念を排除することは可能	× ・汚染水を PCV 外の広範囲にわたり移送することは、SA 時の作業環境を著しく悪化させるものであり、特に事象初期の段階では、可能な限り回避した方が良く考える ・SPCU 故障時のリカバリーは非常に困難な作業となる可能性	○ ・下部ドライウェル空間部体積の変更（空間分離）を生じないように、設計上の配慮を行えば、懸念は特になし	
【設計・解析等】	× ・DBA 解析（〈参考 4〉参照）、SA 解析（〈参考 5〉参照）、工認（PCV 動荷重等）の一連の解析の見直しが発生	△ ・対象となる解析は SA 解析	△ ・対象となる解析は SA 解析	△ ・安全解析上の影響はない ・重量・サポート次第であるが、PCV 耐震評価への考慮の必要がある可能性	
【その他必要な対策】	△ ・NWL レベルを変更することとなるためインターロック・警報設定値変更が必要。 ・当対策を講じたうえでも、SA 時に外部水源による注水を継続する場合、S/P 水位がコネクティングベント高さ至る前まで（約 16 時間後）に循環冷却を開始する必要がある。なお、現状でも実力ベースでは、成立する見込み	△ ・①と同様、循環冷却開始（代替 Hx 設置）を速やかに実施する必要あり。なお、現状でも実力ベースでは、成立する見込み	△ ・作業環境を悪化させない措置として、配管ルートに応じて多数の遮蔽材設置が必要となる ・施工箇所・重量によっては、耐震強化等の措置が必要となる可能性	○ ・特になし	
【運用面】	× ・NWL 変更に伴い関連する各種手順の変更が必要	○ ・特にないが、テストビリティに対する運用の追加は必要	× ・上記の懸念と同様、作業環境の悪化に伴う影響が大きい	△ ・プラント起動・停止時の都度、バッファの据え付け・撤去が発生	

前表の検討結果に基づき、とり得る対策は①と②の組み合わせ（S/P 水量変更せず）、又は⑤となるが、対策の適切性及び実現性を考慮すると、⑤の対策が最も適切な対策であると考えられる。

○ ①及び②の組み合わせ：[リターンライン閉止+逆止弁]（S/P 水量変更せず）

- ・この場合、従来のリターンライン容量設定の考え方（保守的に PCV スプレイ×2 系列分の水が下部ドライウェルへ流入した場合に、水頭圧のみで S/P へ戻すことが可能な容量）を再度精査した上で、閉止箇所及び逆止弁設置箇所を決める必要がある（戻り必要量を PCV スプレイ 1 系列分との想定とした場合、逆止弁 3 弁は必要となる）。
- ・現在、干渉物撤去も含め、逆止弁設置可能箇所を模索しているところであるが、内側鋼板への弁サポート追設は困難を極めるなど課題は多い（現調査の段階で既に CRD 配管・ケーブルトレイ等移設不可能な干渉物がある）。
- ・当該部分は、PCV 基本設計に関連する部分でもあり、PCV としての本来の機能に影響を与えることとなる。また、DBA 時に加え SA 時は下部ペダスタルの環境は厳しくなることが想定され、弁に対する環境条件は厳しいものとなる。
- ・逆止弁設置に際しては、DB 設備相応（テストビリティ・多重性・耐震）の信頼性を課すなど、慎重な対応が必要であるが、設計として相反する条件が既に存在。
 - －強固な弁体を目的として重量が増加すると、水頭圧のみでの開状態維持は困難
 - －逆に戻りを優先させ、弁体を軽くした場合、衝撃等によりベント管側へ弁体等が流入し PCV としての機能を喪失させる懸念
 - －更に、これまで静的な流路に期待していたことに対し、他の弁体駆動源を設けることは当該部の信頼性の低下に懸念
- ・なお、当対策を講じた上でも、S/P 水位上昇が継続するとコネクティングベントからの流入が発生するため、循環冷却インサースビスまでの時間余裕は確保できるものの根本的な解決策にならない。

○ ⑤の対策：[下部ドライウェル約 5m 位置にコリウムバッファ設置]〈参考 3〉

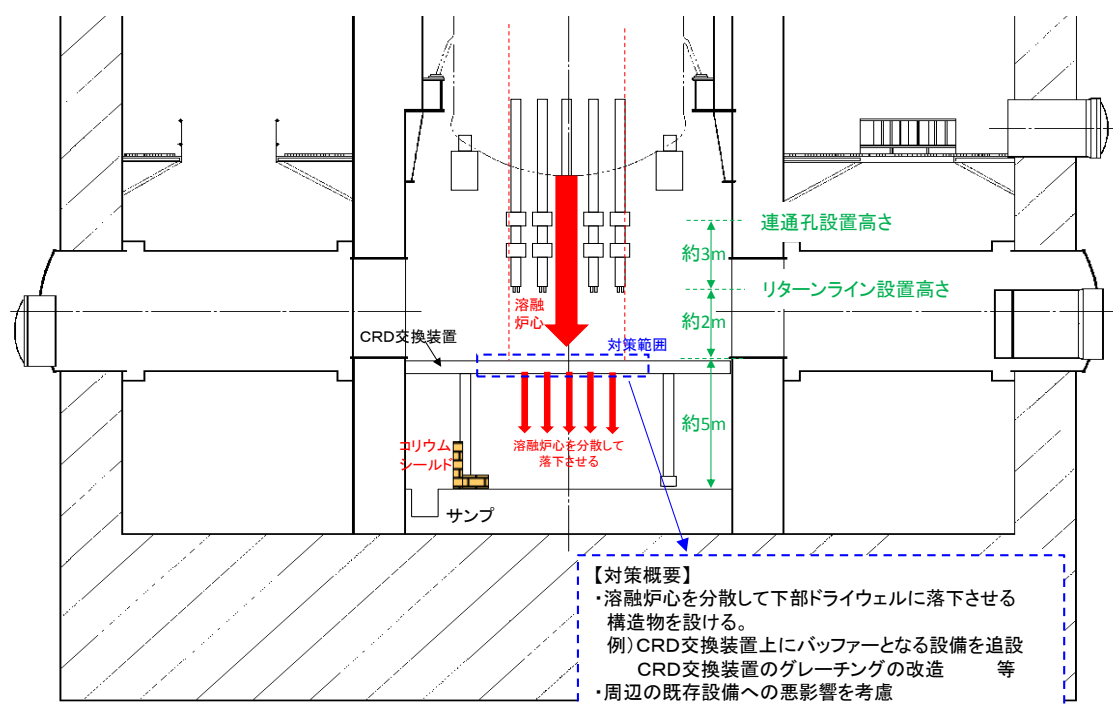
- ・熔融炉心を下部ドライウェル約 5m 位置にて一旦落下を停止させることが可能となれば、仮に FCI が発生した場合の発生エネルギーの低減（水深が浅い状態での発生エネルギー相当）に一定の効果があるものとする。
- ・完全な保持機能を課した場合、保持機能が喪失した場合の落下影響（一斉に下部ドライウェル水面へ落下）の懸念があることから、コリウムの完全保持ではなく少量の熔融炉心落下となる等の設計上の配慮を行う必要がある。
- ・現行の下部ドライウェルの空間部を完全に区分するものでなければ、PCV 基本設計の考え方を変更することなく対応が可能。
- ・重量によっては、サポートの追設・PCV 耐震評価への反映等が生じる可能性はあり、また、運用面でも起動及び停止の都度、据え付け及び撤去は必要。

〈参考3〉対策のイメージについて

1. 現時点における対策のイメージについて

更なる安全性向上を目的とした事業者の自主的な取り組みとして、大規模な水蒸気爆発の発生を防止するためのコリウムバッファを下部ドライウェル約5m位置に設置する。本設備により、RPVから落下した溶融炉心を分散して下部ドライウェルに落下させることで、FCIの影響を緩和する。

対策イメージを参考図3-1に示す。



参考図3-1 対策イメージ

2. 周辺の既存設備への悪影響について

本対策を実施するにあたり、周辺の既存設備への悪影響が無いことを確認する必要がある。現時点で考えられる悪影響は以下のとおり。

(1) サンプへの溶融炉心の流入

下部ドライウェルに落下した溶融炉心がサンプに流入することを防ぐため、下部ドライウェルにコリウムシールドを設置している。今後の設計においては、溶融炉心がコリウムバッファ上を水平に移動し、コリウムバッファ上からサンプに直接流入することがないように設計する。

(2) コリウムシールドへの影響

コリウムシールドの高さを決定するにあたっては、RPV下部に存在する構造物が全て溶融することは考えにくいものの、保守的にFMCRD及びCRD交換装置、核計装配管が全量溶融しても、ポロシティ0の溶融炉心がコリウムシールドを越流することがない設計としている。追設するコリウムバッファが溶融することにより、その重量分、溶融炉心の下部ドライウェルでの堆積高さが増大する可能性があるが、コリウムバッファの重量は約3t（厚さ3cmの高融点材を約20m²敷設した場合の概算値）と想定している。重大事故等時においてRPVが破損する場合には、CRDハウジング溶接部が破損し、破損した箇所及びその周辺部が溶融炉心の流出経路となると考えられるが、解析上、RPVの破損範囲に含まれるFMCRDは約6t（□本相当）であることから、コリウムバッファ設置に伴う溶融炉心堆積高さの増分は、FMCRD（約15t、205本（全数）相当）及びCRD交換装置（6号炉：約45t、7号炉：約30t）、核計装配管（約5t）が全て溶融するという保守性に包絡されると考えられる。

(3) 溶融炉心の輻射熱による影響

今後の設計においては、コリウムバッファ上に溶融炉心が残存しない形状となるように設計する。なお、一部の溶融炉心が固化しコリウムバッファ上に残存する場合であっても、大量の溶融炉心が残存することは考えづらく、かつ溶融炉心落下後も下部ドライウェルへの注水を実施し、下部ドライウェルは早期に水没することから、残存溶融炉心の輻射熱による影響は小さいと考えられる。

3. 今後の設計においてその他考慮すべき事項について

上述のとおり、周辺の既存設備に悪影響を及ぼさないよう考慮することに加え、今後の設計においては、地震荷重や重大事故等時の熱荷重、及び溶融炉心の落下経路等を考慮し、適切にコリウムバッファの形状、材質、対策範囲を設定することとする。

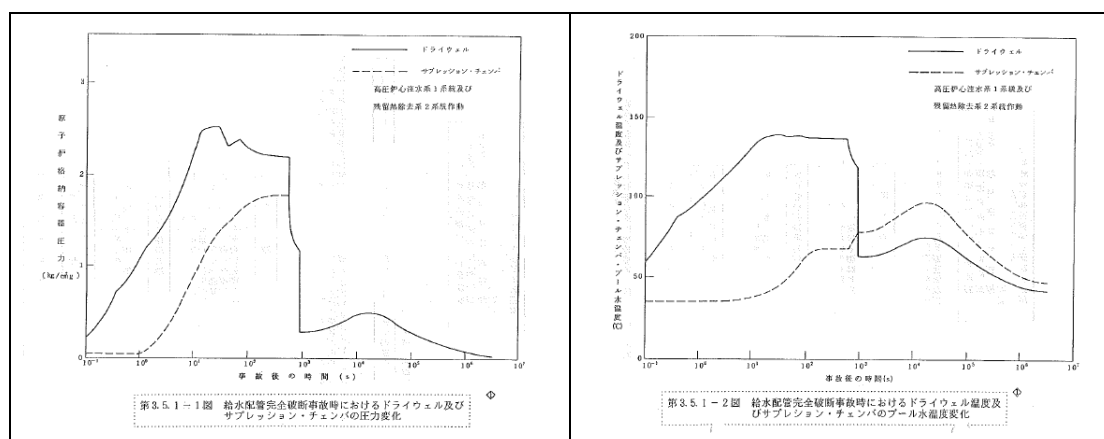
〈参考4〉仮にリターンラインを閉止した場合の基本設計及びDB許認可解析等に対する影響について

リターンラインはサプレッション・プール水量の決定の根拠として用いており、仮にリターンラインを閉止するという策を講じた場合、これまでの基本設計の考え方に従えば、ドローダウン水量を増加（約300m³の増加となりS/P水位約0.5mに相当）すること、すなわちサプレッション・プール水量（通常水位）を増加させる必要がある。

これによる影響範囲は以下の通り。

○許認可解析への影響

- DBA許認可解析「原子炉格納容器圧力、雰囲気等の異常な変化」（給水配管破断 LOCA）は、事象の前半と後半で初期条件を変更し解析を行っている（参考図4-1）。
 - 一事象初期：LOCA発生直後の圧力応答を主眼とし、S/P水量は約3600m³とした上で解析を実施
 - 一事象後期：事象の後半は、崩壊熱に伴う温度上昇に着眼し、サプレッション・プール冷却による除熱量評価として、保守的な前提条件として、S/P水量はドローダウン水量を除いた水量（約2310m³）にて評価を実施
- 初期のS/P水量を増加させることで、圧力・温度応答に影響を及ぼすこととなり、解析条件の変更が必要となる。
 - 最高圧力という観点では、S/C空間部体積が小さくなるため圧力は増加するが、影響の程度はさほど大きくないものと推定される
 - 最高温度という観点では、プール水量増加によるブローダウン期間中の水温上昇が若干緩和されることとなり、事象後期の温度は若干低下するものと推定される



参考図4-1 K-6,7 EP DBA LOCA（給水管破断）

○他の解析・設備的な影響

- ・初期の S/P 水量の増加により，格納容器動荷重（工事計画）の前提条件が変更となり，プールスウェル荷重，気泡振動荷重，水ジェット荷重，蒸気凝縮振動荷重等の一連の動荷重評価の再評価
- ・HPCF・RCIC の水源切替インターロック設定値の変更
- ・S/P 水位高／低警報値変更

○運用面における対応

- ・通常運転管理水位の変更（保安規定は± 5cm が LCO となっておりこの考え方を変えない限りは変更不要）
- ・運転手順の変更（サブプレッション・プール熱容量制限曲線等の見直し検討）

〈参考5〉仮にリターンラインを閉止した場合のSA有効性評価に対する影響について

- ・SA時は、初期注水は外部水源（CSP）を主としており、S/P水位は大幅に上昇する。
- ・S/Pからリターンラインを介した下部ドライウェルへの流入を想定しない場合、下部ドライウェル及びサプレッション・チェンバ・プール間の水位挙動が影響を受ける。
- ・よって、事象初期より ECCS を使用している TQUX・ATWS・ISLOCA を除く、すべての事故シーケンス等において影響を受ける（参考表5-1）

参考表5-1 各事故シーケンスのS/P水位まとめ

事故シーケンス	60時間後 S/P 水位	事故シーケンス	60時間後 S/P 水位
TQUV	約 9.0 m	TW (RHR)	約 11.3 m
TB (SBO)	約 9.1 m	中小 LOCA	約 9.5 m
TBU/TBD	約 9.1 m	大 LOCA (循環)	約 11.3 m
TBP	約 9.3 m	大 LOCA (ベント)	約 16.0 m
TW (取水)	約 13.0 m	物理化学現象	約 11.7 m

リターンライン : S/P 水位高さ m 位置

コネクティングベント : S/P 水位高さ m 位置

- ・主要シナリオに対する影響について

○TQUV (参考図5-1)

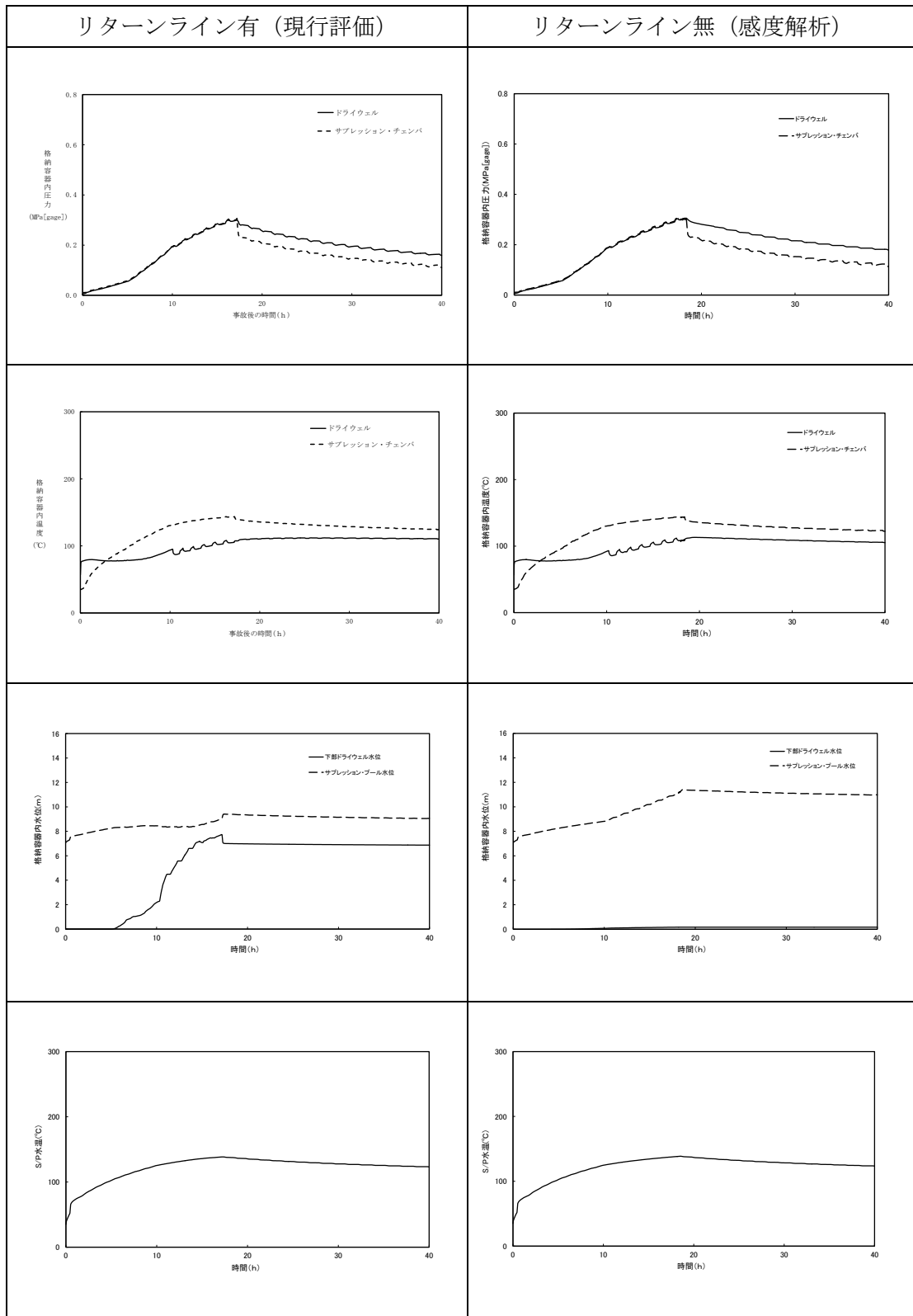
ーPCV 圧力・温度に対する影響は小さいが、リターンライン無のケースは圧力がわずかに低下。これは、事象初期のリターンラインを介した S/P から下部ドライウェルへの流入がなくなることで蒸気凝縮に寄与するプール水量が多くなることによる。

○大 LOCA+代替循環冷却

ー基本的な挙動の変化は TQUV と同様となり、大きな影響は受けないと考えられる。

○大 LOCA+ベント

ー温度・圧力という観点で他のシナリオ同様、大きな影響は受けず、さらにベントのタイミングは、S/P 水位（ベントライン-1m）に依存するが、コネクティングベント高さを超えた以降となるため、リターンライン閉止による影響は受けないものと考えられる。



参考図 5 - 1 TQUV 感度解析結果