

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-137 改7
提出年月日	平成30年10月5日

V-1-5-3 工学的安全施設等の起動（作動）信号の設定値の根拠に関する説明書

## 目次

1. 概要 .....	1
2. 基本方針 .....	1
2.1 工学的安全施設 .....	1
2.2 その他の工学的安全施設 .....	2
3. 施設の詳細設計方針 .....	3
3.1 工学的安全施設 .....	3
3.2 その他の工学的安全施設 .....	5
4. 工学的安全施設等の起動（作動）信号の設定値の根拠.....	7
4.1 工学的安全施設 .....	7
4.2 その他の工学的安全施設 .....	10

## 1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第35条、第59条及び第61条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に関わる、工学的安全施設等の起動（作動）信号の設定値の根拠について説明する。

今回、設計基準対象施設である、工学的安全施設等の作動信号のうち、設定値を変更する、原子炉水位低、原子炉水位異常低下（レベル2）及び原子炉水位異常低下（レベル1）について説明する。なお、変更後の設定値は設置（変更）許可を受けた運転時の異常な過渡変化の解析及び事故の解析において燃料要素の許容損傷限界を超えないことを確認している。重大事故等対処設備に関しては、工学的安全施設等の自動作動信号を発信する設備として、緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界に移行するための設備及び原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備を設置したことから、本設備から発信される作動信号の設定値根拠について説明する。

## 2. 基本方針

### 2.1 工学的安全施設

運転時の異常な過渡変化が発生する場合又は地震の発生により発電用原子炉の運転に支障が生ずる場合においても、燃料要素の許容損傷限界を超えないようにできるものとするため、原子炉停止系統と併せて機能する以下の工学的安全施設の作動回路を設ける。各工学的安全施設の起動（作動）信号の考え方を以下に示す。

#### (1) 主蒸気隔離弁

原子炉水位異常低下（レベル2）、主蒸気管圧力低、主蒸気管放射能高、主蒸気管トンネル温度高、主蒸気管流量大、復水器真空度低のいずれかの信号により作動（閉）する。

#### (2) その他の原子炉格納容器隔離弁

ドライウエル圧力高、原子炉水位低、原子炉水位異常低下（レベル2）のいずれかの信号によりその他の原子炉格納容器隔離弁は作動（閉）する。

#### (3) 原子炉建屋ガス処理系

原子炉建屋放射能高、ドライウエル圧力高、原子炉水位低のいずれかの信号により原子炉建屋ガス処理系は起動する。

#### (4) 高圧炉心スプレイ系

ドライウエル圧力高、原子炉水位異常低下（レベル2）のいずれかの信号により高圧炉心スプレイ系は起動する。

#### (5) 低圧炉心スプレイ系

ドライウエル圧力高、原子炉水位異常低下（レベル1）のいずれかの信号により低圧炉心スプレイ系は起動する。

## (6) 残留熱除去系

ドライウエル圧力高，原子炉水位異常低下（レベル1）のいずれかの信号により残留熱除去系（**低圧注水系**）は起動する。

## (7) 自動減圧系

ドライウエル圧力高，原子炉水位異常低下（レベル1）の同時信号により自動減圧系は起動する。

## 2.2 その他の工学的安全施設

運転時の異常な過渡変化時において発電用原子炉の運転を緊急に停止することができない事象（以下「ATWS」という。）が発生するおそれがある場合又は当該事象が発生した場合においても，炉心の著しい損傷を防止するため，原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器の健全性を維持するとともに，発電用原子炉を未臨界に移行させるため，ATWS緩和設備（代替制御棒挿入機能）により，全制御棒を全挿入させて発電用原子炉を未臨界に移行させる。

また，ATWS緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）により，再循環系ポンプを自動停止させ再循環系流量の低下により原子炉出力を抑制する。

原子炉冷却材圧力バウンダリが高圧の状態であって，設計基準事故対処設備が有する発電用原子炉の減圧機能が喪失した場合においても炉心の著しい損傷及び**原子炉格納容器**の破損を防止するため，過渡時自動減圧機能により逃がし安全弁（自動減圧機能）を作動させることにより，原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧する。

これらのその他の工学的安全施設の作動信号を発信させるための起動（信号）の考え方を以下に示す。

## (1) ATWS緩和設備（代替制御棒挿入機能）

運転時の異常な過渡変化のうち，「主蒸気隔離弁の誤閉止」のような原子炉が隔離される事象においてATWSが発生した場合，原子炉圧力の上昇に伴い，ボイドの減少による正の反応度が印可され，中性子束の上昇により平均表面熱流束が上昇し，燃料棒表面で沸騰遷移が生じることで燃料被覆管温度が上昇する。このような事象に対処するため，従来の原子炉圧力高（スクラム）信号とは別に「原子炉圧力高（ATWS）」信号を新たに追加する。

また，原子炉水位が低下する過渡変化時においてATWSが発生する事象に対応するため，原子炉がスクラムする原子炉水位低以下の「原子炉水位異常低下（レベル2）」信号を選定する。

ATWS緩和設備（代替制御棒挿入機能）は，原子炉圧力高（ATWS），原子炉水位異常低下（レベル2）のいずれかの信号により起動（作動）する。

なお，ATWS緩和設備（代替制御棒挿入機能）は，原子炉緊急停止系とは別の電磁弁からスクラム弁の空気を排出することでスクラム弁を開操作させる。原子炉緊急停止系が動作後にATWS緩和設備（代替制御棒挿入機能）が動作した場合において，スクラム弁の空気はすでに原子炉緊急停止系のスクラム・パイロット弁より排出されていることから，ATWS緩和設備（代替制御棒挿入機能）の動作による悪影響はない。

(2) ATWS緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）

運転時の異常な過渡変化のうち、「主蒸気隔離弁の誤閉止」のような原子炉が隔離される事象においてATWSが発生した場合、原子炉圧力の上昇に伴い、ボイドの減少による正の反応度が印可され、中性子束の上昇により平均表面熱流束が上昇し、燃料棒表面で沸騰遷移が生じることで燃料被覆管温度が上昇する。このような事象に対処するため、「原子炉圧力高（ATWS）」信号を選定する。

また、原子炉水位が低下する過渡変化時においてATWSが発生する事象に対応するため、原子炉がスクラムする原子炉水位低以下の「原子炉水位異常低下（レベル2）」信号を選定する。

ATWS緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）は、原子炉圧力高（ATWS）、原子炉水位異常低下（レベル2）のいずれかの信号により起動（作動）する。

なお、ATWS緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）は、タービントリップ又は負荷遮断時の原子炉冷却材再循環ポンプトリップ機能とは別にトリップ信号を出力することにより再循環系ポンプの遮断器を動作させ、再循環系ポンプをトリップさせる。タービントリップ又は負荷遮断時の原子炉冷却材再循環ポンプトリップ機能が動作後にATWS緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）が動作した場合において、再循環系ポンプはすでにトリップしていることから、ATWS緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）の動作による悪影響はない。

(3) 過渡時自動減圧機能

原子炉減圧機能喪失の要因のひとつとして、高圧注水機能が喪失し、原子炉水位のみ低下し、ドライウェル圧力高が発生しない場合がある。このような事象に対処するため、低圧炉心スプレイ系ポンプ又は残留熱除去系ポンプの吐出圧力確立を条件に「原子炉水位異常低下（レベル1）」信号を選定する。

過渡時自動減圧機能は、低圧炉心スプレイ系ポンプ又は残留熱除去系ポンプの吐出圧力確立を条件に「原子炉水位異常低下（レベル1）」の信号により起動（作動）する。

3. 施設の詳細設計方針

以下の設定方法により、計装誤差を考慮して規定した設定範囲における各施設の作動が保証される。なお、設定値、セット値等の用語の説明は「表 3-1 設定値根拠の用語の説明」のとおりである。

3.1 工学的安全施設

(1) 主蒸気隔離弁

a. 原子炉水位異常低下（レベル2）

設定値を 1245 cm（原子炉圧力容器零レベルより上）から運転時の異常な過渡変化の解析及び事故の解析に使用している 1243 cm（原子炉圧力容器零レベルより上）に変更する。本設備の計装誤差を考慮して不要な作動を阻止し、かつ、確実に作動するように設定する。

## (2) その他の原子炉格納容器隔離弁

## a. 原子炉水位低

設定値を 1370 cm (原子炉圧力容器零レベルより上) から運転時の異常な過渡変化の解析及び事故の解析に使用している 1372 cm (原子炉圧力容器零レベルより上) に変更する。本設備の計装誤差を考慮して不要な作動を阻止し、かつ、確実に作動するように設定する。

## b. 原子炉水位異常低下 (レベル 2)

3.1(1)a. と同様。

4. 工学的安全施設等の起動 (作動) 信号の設定値の根拠についても同様の記載のため記載を省略する。

## (3) 原子炉建屋ガス処理系

## a. 原子炉水位低

3.1(2)a. と同様。

4. 工学的安全施設等の起動 (作動) 信号の設定値の根拠についても同様の記載のため記載を省略する。

## (4) 高圧炉心スプレイ系

## a. 原子炉水位異常低下 (レベル 2)

3.1(1)a. と同様。

4. 工学的安全施設等の起動 (作動) 信号の設定値の根拠についても同様の記載のため記載を省略する。

## (5) 低圧炉心スプレイ系

## a. 原子炉水位異常低下 (レベル 1)

設定値を 960 cm (原子炉圧力容器零レベルより上) から運転時の異常な過渡変化の解析及び事故の解析に使用している 961 cm (原子炉圧力容器零レベルより上) に変更する。本設備の計装誤差を考慮して不要な作動を阻止し、かつ、確実に作動するように設定する。

## (6) 残留熱除去系

## a. 原子炉水位異常低下 (レベル 1)

3.1(5)a. と同様。

4. 工学的安全施設等の起動 (作動) 信号の設定値の根拠についても同様の記載のため記載を省略する。

## (7) 自動減圧系

## a. 原子炉水位異常低下 (レベル 1)

3.1(5)a. と同様。

4. 工学的安全施設等の起動 (作動) 信号の設定値の根拠についても同様の記載のため

記載を省略する。

### 3.2 その他の工学的安全施設

#### (1) ATWS緩和設備（代替制御棒挿入機能）

##### a. 原子炉圧力高（ATWS）

原子炉圧力高（スクラム）7.25 MPa 以下を考慮し，本設備の計装誤差を考慮して不要な作動を阻止し，かつ，確実に作動するように設定する。

##### b. 原子炉水位異常低下（レベル2）

原子炉水位低による原子炉スクラムに失敗した場合に作動させることを考慮し，原子炉水位異常低下（レベル2）を設定値とし，本設備の計装誤差を考慮して不要な作動を阻止し，かつ，確実に作動するように設定する。

#### (2) ATWS緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）

##### a. 原子炉圧力高（ATWS）

3.2(1)a. と同様。

4. 工学的安全施設等の起動（作動）信号の設定値の根拠についても同様の記載のため記載を省略する。

##### b. 原子炉水位異常低下（レベル2）

3.2(1)b. と同様。

4. 工学的安全施設等の起動（作動）信号の設定値の根拠についても同様の記載のため記載を省略する。

#### (3) 過渡時自動減圧機能

##### a. 原子炉水位異常低下（レベル1）

自動減圧系の代替として原子炉を減圧させるため，残留熱除去系ポンプ又は低圧炉心スプレイ系ポンプの吐出圧力確立を条件として，自動減圧系と同様の原子炉水位異常低下（レベル1）を設定値とし，本設備の計装誤差を考慮して不要な作動を阻止し，かつ，確実に作動するように設定する。

表 3-1 設定値根拠の用語の説明

用語	説明
設定値	工学的安全施設等の起動（作動）信号の上限値又は下限値。
設定範囲	工学的安全施設等の起動（作動）信号の許容範囲。 セット値に対して計装誤差を差し引いた値から、セット値に対して計装誤差を加算した値までの範囲。
セット値	計装誤差を含めても設定値内で作動する値。 実機の計装設備にセットする値であり、設定値に計装誤差を加算あるいは差し引いたもの。
計装誤差	検出器の計器誤差に余裕を加算したもの。



4. 工学的安全施設等の起動（作動）信号の設定値の根拠

4.1 工学的安全施設

(1) 主蒸気隔離弁

a. 原子炉水位異常低下（レベル2）

名 称	原子炉水位異常低下（レベル2）
目 的 / 機 能	原子炉水位が低下した場合に、原子炉からの冷却材流出を防止するために主蒸気隔離弁を閉止し、原子炉冷却材喪失時の炉心冷却を目的として、高压炉心スプレイ系に起動信号を与える。
設 定 値	原子炉压力容器零レベル*より 1243 cm 以上
設 定 範 囲	原子炉压力容器零レベル*より 1243 cm 以上、かつ、1251 cm 以下

【設定根拠】

作動信号の設定値

設定値は、次の事項を考慮し原子炉压力容器零レベル\*より 1243 cm 以上に設定する。

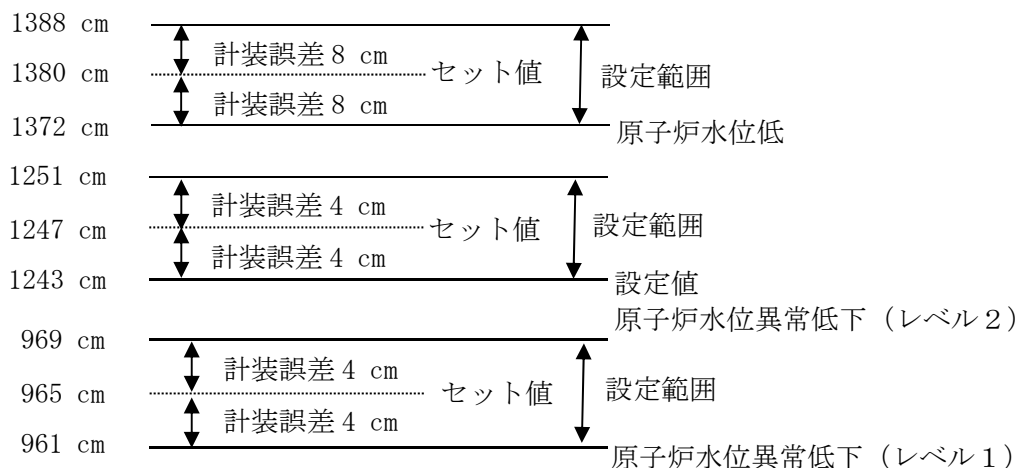
1. 原子炉水位低で原子炉スクラムし、水位が低下した場合においても、到達しない水位であること。
2. 給水が完全に喪失し、本水位に到達して主蒸気隔離弁が閉となった場合、原子炉隔離時冷却系の起動によって原子炉水位異常低下（レベル1）に到達しない水位であること。

設定値に対するセット値及び設定範囲については以下のように設定する。

セット値は本設備の設定値 1243 cm に計装誤差 4 cm を考慮した 1247 cm とする。

設定範囲はセット値 1247 cm に対して計装誤差 4 cm を差し引いた 1243 cm から、計装誤差 4 cm を加算した 1251 cm までの範囲とする。また、設定範囲は原子炉水位異常低下（レベル1）の信号及び原子炉水位低の信号に対して不要な作動を防止するため、原子炉水位異常低下（レベル1）の信号が最も早く発信される 969 cm より高く、かつ、原子炉水位低の信号が最も遅れて発信される 1372 cm より低く設定する。

\*：原子炉压力容器零レベルは、原子炉压力容器基準点を示す。



原子炉水位異常低下（レベル2）設定値の概要図

(2) その他の原子炉格納容器隔離弁

a. 原子炉水位低

名 称	原子炉水位低
目 的 / 機 能	原子炉水位が通常運転水位よりも低下した場合、原子炉スクラムと同時に、主蒸気隔離弁を除く隔離弁を閉止し原子炉水位の低下を防止する。また、万一の放射性物質の原子炉建屋からの放出に備え原子炉建屋ガス処理系を起動する。
設 定 値	原子炉压力容器零レベル*より 1372 cm 以上
設 定 範 囲	原子炉压力容器零レベル*より 1372 cm 以上、かつ、1388 cm 以下

【設定根拠】

作動信号の設定値

設定値は、次の事項を考慮し原子炉压力容器零レベル\*より 1372 cm 以上に設定する。

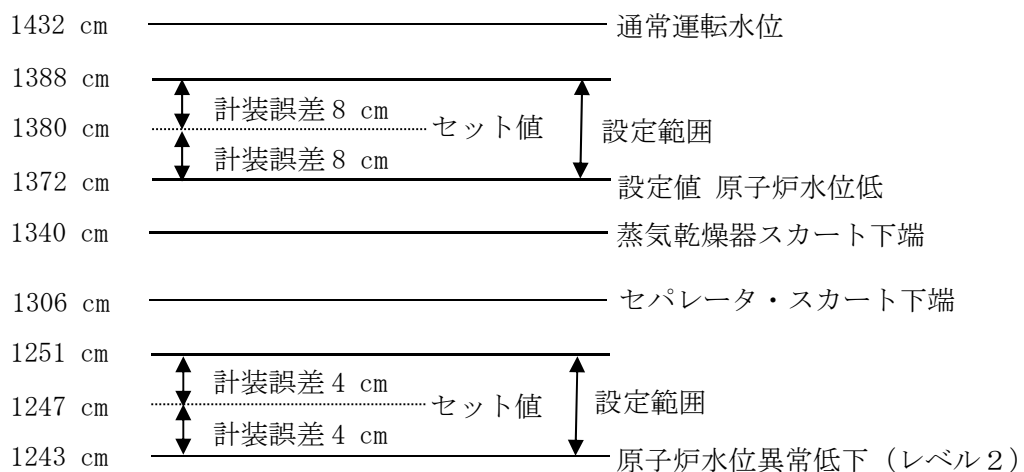
1. 通常運転水位よりも低い値であること。
2. 原子炉水位が蒸気乾燥器スカート及びセパレータ・スカート以下になると、水シールが不完全となり、湿分の多い蒸気がタービンへ流れ込む事になるため、設定値はこれらを考慮し、蒸気乾燥器スカート下端より上に余裕を加えた値とする。

設定値に対するセット値及び設定範囲については以下のように設定する。

セット値は本設備の設定値 1372 cm に計装誤差 8 cm を考慮した 1380 cm とする。

設定範囲はセット値 1380 cm に対して計装誤差 8 cm を差し引いた 1372 cm から、計装誤差 8 cm を加算した 1388 cm までの範囲とする。また、設定範囲は原子炉水位異常低下（レベル 2）の信号に対して不要な作動を防止するため、原子炉水位異常低下（レベル 2）の信号が最も早く発信される 1251 cm より高く設定する。

\*：原子炉压力容器零レベルは、原子炉压力容器基準点を示す。



原子炉水位低設定値の概要図

(3) 低圧炉心スプレイ系

a. 原子炉水位異常低下（レベル1）

名 称	原子炉水位異常低下（レベル1）
目 的 / 機 能	原子炉冷却材喪失状態であることを検知し，原子炉冷却材喪失時の炉心冷却を目的として，低圧炉心スプレイ系，残留熱除去系を起動し，自動減圧系に起動信号を与える。
設 定 値	原子炉圧力容器零レベル*より 961 cm 以上
設 定 範 囲	原子炉圧力容器零レベル*より 961 cm 以上，かつ，969 cm 以下

【設定根拠】

作動信号の設定値

設定値は，次の事項を考慮し原子炉圧力容器零レベル\*より 961 cm 以上に設定する。

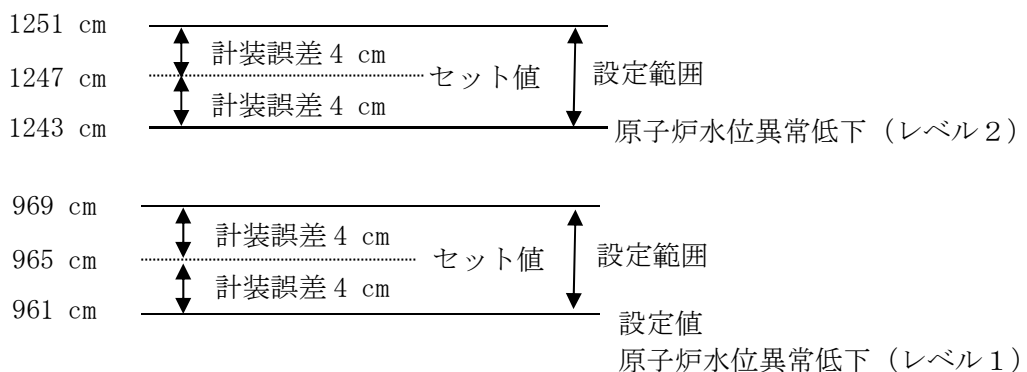
1. 原子炉水位異常低下（レベル2）より十分低い水位であること。

設定値に対するセット値及び設定範囲については以下のように設定する。

セット値は本設備の設定値 961 cm に計装誤差 4 cm を考慮した 965 cm とする。

設定範囲はセット値 965 cm に対して計装誤差 4 cm を差し引いた 961 cm から，計装誤差 4 cm を加算した 969 cm までの範囲とする。また，設定範囲は原子炉水位異常低下（レベル2）の信号に対して不要な作動を防止するため，原子炉水位異常低下（レベル2）の信号が最も遅れて発信される 1243 cm より低く設定する。

\*：原子炉圧力容器零レベルは，原子炉圧力容器基準点を示す。



原子炉水位異常低下（レベル1）設定値の概要図

4.2 その他の工学的安全施設

(1) ATWS緩和設備（代替制御棒挿入機能）

名 称	原子炉圧力高（ATWS）
目 的 / 機 能	原子炉圧力が上昇し、原子炉圧力高（スクラム）による原子炉スクラムに失敗した場合、ATWS緩和設備（代替制御棒挿入機能）により制御棒を挿入させる。また、ATWS緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）により再循環系ポンプをトリップさせる。
設 定 値	7.39 MPa 以下
設 定 範 囲	7.25 MPa 以上かつ、7.39 MPa 以下

【設定根拠】

作動信号の設定値

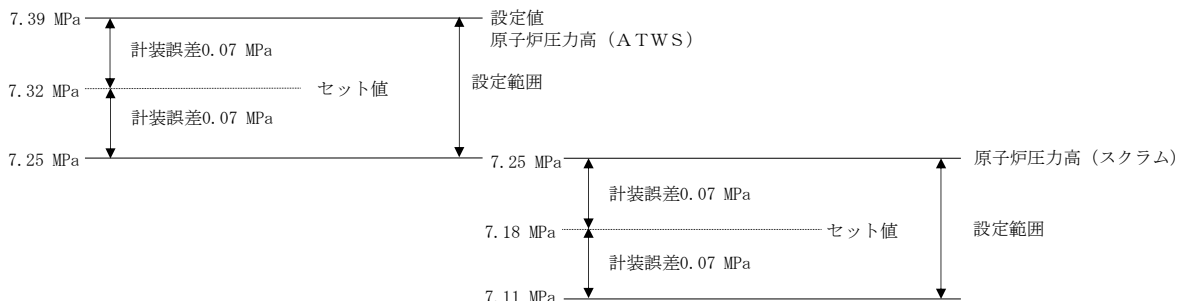
設定値は、次の事項を考慮し7.39 MPa 以下に設定する。

1. 原子炉圧力高（スクラム）より高い圧力であること。
2. 逃がし安全弁からの蒸気によるサプレッション・プールへの熱負荷を考慮し、可能な限り低い値とする。

設定値に対するセット値及び設定範囲については以下のように設定する。

セット値は本設備の設定値7.39 MPa に計装誤差0.07 MPa を考慮した7.32 MPa とする。

設定範囲はセット値7.32 MPa に対して計装誤差0.07 MPa を差し引いた7.25 MPa から、計装誤差0.07 MPa を加算した7.39 MPa までの範囲とする。また、設定範囲は原子炉圧力高（スクラム）の信号に対して不要な作動を防止するため、原子炉圧力高（スクラム）の信号が最も遅れて発信される7.25 MPa 以上、かつ、逃がし安全弁からの蒸気によるサプレッション・プールへの熱負荷を考慮し、可能な限り低い値とするため7.39 MPa 以下に設定する。



原子炉圧力高（ATWS）設定値の概要図

名 称	原子炉水位異常低下（レベル2）
目的 / 機能	原子炉水位が低下して、原子炉水位低による原子炉スクラムに失敗した場合、ATWS緩和設備（代替制御棒挿入機能）により制御棒を挿入させる。また、ATWS緩和設備（代替再循環系ポンプトリップ機能）により再循環系ポンプをトリップさせる。
設定値	原子炉压力容器零レベル*より 1243 cm 以上
設定範囲	原子炉压力容器零レベル*より 1243 cm 以上、かつ、1251 cm 以下

**【設定根拠】**

作動信号の設定値

設定値は、次の事項を考慮し原子炉压力容器零レベル\*より 1243 cm 以上に設定する。

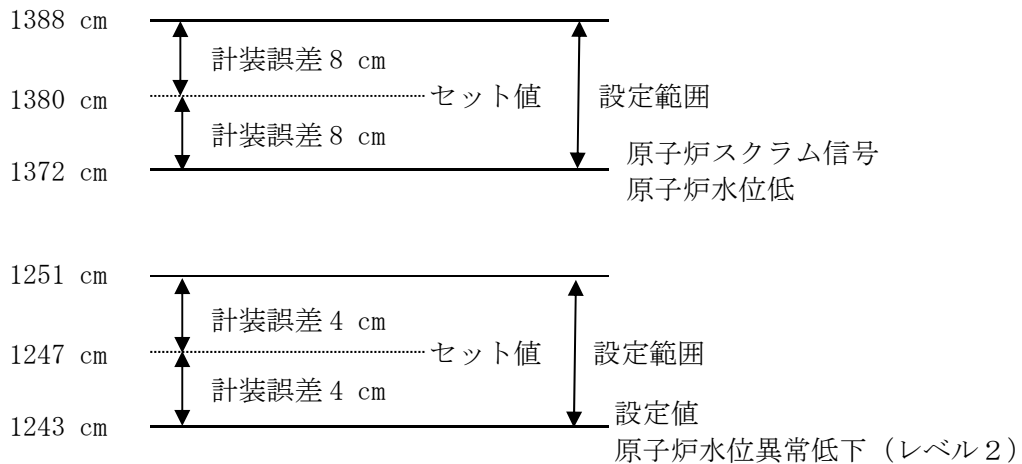
1. 原子炉水位低による原子炉スクラムに失敗した場合に作動させることを考慮し、原子炉水位低より低い水位であること。

設定値に対するセット値及び設定範囲については以下のように設定する。

セット値は本設備の設定値 1243 cm に計装誤差 4 cm を考慮した 1247 cm とする。

設定範囲はセット値 1247 cm に対して計装誤差 4 cm を差し引いた 1243 cm から、計装誤差 4 cm を加算した 1251 cm までの範囲とする。また、設定範囲は原子炉水位低の信号に対して不要な作動を防止するため、原子炉水位低の信号が最も遅れて発信される 1372 cm より低く設定する。

\*：原子炉压力容器零レベルは、原子炉压力容器基準点を示す。



原子炉水位異常低下（レベル2）設定値の概要図

(2) 過渡時自動減圧機能

名 称	原子炉水位異常低下 (レベル1)
目 的 / 機 能	原子炉冷却材圧力バウンダリが高圧の場合であって設計基準事故対処設備が有する原子炉の減圧機能が喪失した場合に過渡時自動減圧機能により主蒸気逃がし安全弁 (自動減圧機能) を作動させる。
設 定 値	原子炉圧力容器零レベル*より 961 cm 以上
設 定 範 囲	原子炉圧力容器零レベル*より 961 cm 以上, かつ, 969 cm 以下

【設定根拠】

作動信号の設定値

設定値は、次の事項を考慮し原子炉圧力容器零レベル\*より 961 cm 以上に設定する。

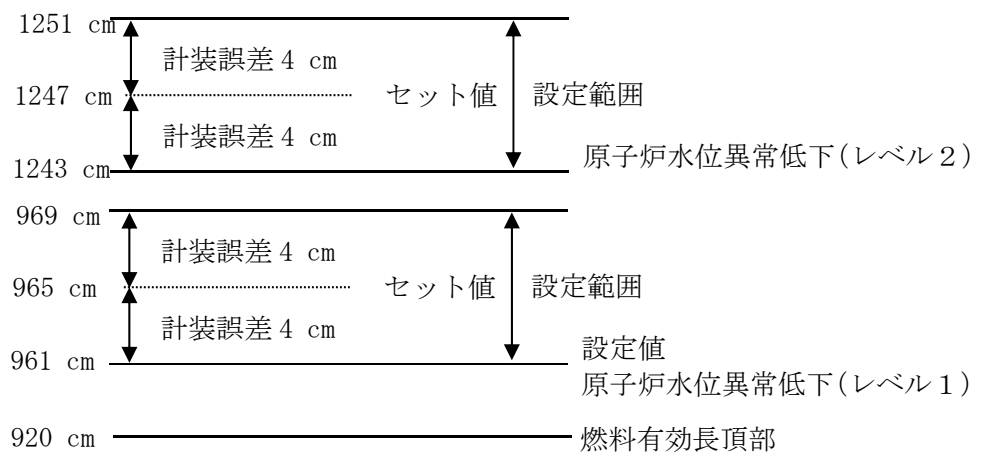
1. 原子炉減圧機能喪失の要因のひとつとして、高圧注水機能が喪失し、原子炉水位のみ低下し、ドライウェル圧力高が発生しない場合がある。このような事象に対処するため、低圧炉心スプレイ系ポンプ又は残留熱除去系ポンプの吐出圧力確立を条件に、自動減圧系と同様の原子炉水位異常低下 (レベル1) を設定する。
2. 炉心の著しい損傷を防止するためのシステムであることを考慮し、炉心が露出しないように燃料有効長頂部より高い水位とする。

設定値に対するセット値及び設定範囲については以下のように設定する。

セット値は本設備の設定値 961 cm に計装誤差 4 cm を考慮した 965 cm とする。

設定範囲はセット値 965 cm に対して計装誤差 4 cm を差し引いた 961 cm から、計装誤差 4 cm を加算した 969 cm までの範囲とする。また、設定範囲は原子炉水位異常低下 (レベル2) の信号に対して不要な作動を防止するため、原子炉水位異常低下 (レベル2) の信号が最も遅れて発信される 1243 cm より低く設定する。

\* : 原子炉圧力容器零レベルは、原子炉圧力容器基準点を示す。



原子炉水位異常低下 (レベル1) 設定値の概要図