

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-05-0016_改0
提出年月日	2021年3月30日

VI-1-5-3 発電用原子炉の運転を管理するための制御装置に係る 制御方法に関する説明書

2021年3月
東北電力株式会社

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
3.	中央制御室に係る制御方法	2
3.1	発電用原子炉の通常運転時の出力制御	3
3.1.1	起動手順	3
3.1.2	停止手順	4
3.2	発電用原子炉の負荷急変時の出力制御	4
3.3	発電用原子炉の緊急停止	4
3.4	発電用原子炉の制御設備の構成等	5
3.4.1	原子炉出力制御	5
3.4.2	プロセス制御	6
3.4.3	安全保護系（原子炉保護系及び工学的安全施設作動回路）及びその他の工学的安全施設等の作動設備	7
3.4.4	その他の保護装置	9
4.	中央制御室外原子炉停止装置	28
4.1	制御機能	28
4.2	監視機能	28

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 38 条及び第 74 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。）に関わる制御方式である中央制御方式による常時監視並びに手動及び自動制御としての発電用原子炉の運転を管理するための制御装置に係る制御方法について説明するものである。併せて技術基準規則第 33 条，第 35 条～第 37 条，第 59 条及び第 61 条並びにそれらの解釈に関わる制御方式である発電用原子炉の出力制御（制御棒駆動制御系，原子炉再循環流量制御系），プロセス制御（タービン制御系，原子炉給水制御系），安全保護系（原子炉保護系及び工学的安全施設作動回路），その他の工学的安全施設等の作動設備，発電用原子炉の起動及び停止等の発電用原子炉の運転を管理するための制御装置に係る制御方法についても説明する。

なお，設計基準対象施設の機能に関しては，技術基準規則の要求事項に変更がないため，今回の申請において変更は行わない。

今回は，発電用原子炉の運転を管理するための制御装置に係る制御方法のうち，工学的安全施設等の起動信号を発信する設備（緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界に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）の制御方法について説明する。

2. 基本方針

女川原子力発電所第 2 号機は，原則として基底負荷用として高負荷運転を行う。発電用原子炉の出力変更は，中央給電指令所からの指令に基づく発電課長の指示により，運転員の原子炉再循環ポンプ速度設定操作又は運転員の負荷設定操作により発生する負荷要求偏差信号で原子炉出力を調整することにより行われる。

また，蒸気タービンの出力制御は，電気油圧式制御装置（速度制御，負荷制御，圧力制御，タービンバイパス弁制御及び流量制御）による出力の制御並びに発電用原子炉，蒸気タービン及び発電機の自動あるいは手動トリップによる制御を各制御設備により制御する。

また，発電用原子炉の起動及び停止においては適切な操作手順により制御するとともに，発電用原子炉の出力変更は原子炉再循環流量制御系の主制御器の自動あるいは手動による流量調整及び制御棒の位置調整によって行う。

中央制御室（発電用原子炉の運転を管理するための制御装置）は，運転員が発電用原子炉の制御，発電用原子炉の起動及び停止に必要な操作ができる機能を有し，通常運転時（起動及び停止を含む。），運転時の異常な過渡変化時，設計基準事故時及び重大事故等時に，中央制御室内に集中して中央制御方式による常時監視並びに手動及び自動制御に必要な機能として，操作，記録，表示及び警報機能等を有する表示装置及び操作器を設置した中央制御盤等を構成することで集中的に発電用原子炉を管理する。

万が一中央制御室が使用不能の場合には，中央制御室外からも発電用原子炉を冷温停止することができる。

また、通常運転時の熱的制限値の監視、プラント性能計算は、プロセス計算機により行われる。

なお、その他の中央制御室の機能（中央制御盤等、外部状況把握、居住性の確保、通信連絡）については、添付書類「VI-1-5-4 中央制御室の機能に関する説明書」に示す。

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設計とする。

また、ATWS 緩和設備（代替原子炉再循環ポンプトリップ機能）により、原子炉再循環ポンプを自動停止させ原子炉再循環流量の低下により原子炉出力を抑制する設計とする。

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、代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）により、主蒸気逃がし安全弁（自動減圧機能）を動作させることにより、原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧する設計とする。

ATWS が発生した場合において、自動減圧系又は代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）が動作すると、高圧炉心スプレイ系からの注水に加え、残留熱除去系（低压注水モード）及び低压炉心スプレイ系から大量の冷水が注水され、出力の急激な上昇につながることを防止するため、ATWS 緩和設備（自動減圧系作動阻止機能）は、自動減圧系及び代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）による自動減圧を阻止する設計とする。

3. 中央制御室に係る制御方法

計測制御系統施設のうちプラント全体に係る制御方法は、様々な制御方式によって制御され、プラントの運転状況に応じた制御方法で自動又は手動操作により発電用原子炉の運転を管理する。

このため、プラントの運転状況に応じた制御方法である通常運転時の出力制御、その他発電用原子炉の主要な起動手順及び停止手順を「3.1 発電用原子炉の通常運転時の出力制御」、負荷急変時の出力制御を「3.2 発電用原子炉の負荷急変時の出力制御」、発電用原子炉に異常状態が生じた場合の原子炉スクラム及び蒸気タービン並びに発電機のトリップによる制御を「3.3 発電用原子炉の緊急停止」に示す。

これらの発電用原子炉の運転を制御するための設備構成等として、発電用原子炉の出力制御（制御棒駆動制御系、原子炉再循環流量制御系）、プロセス制御（タービン制御系、原子炉給水制御系）、安全保護系（原子炉保護系及び工学的安全施設作動回路）並びにその他の工学的安全施設等の作動設備を「3.4 発電用原子炉の制御設備の構成等」に示す。また、発電用原子炉の出力制御設備を「図 3-1 発電用原子炉の出力制御設備」に示す。

なお、発電用原子炉の出力制御設備の制御能力については、平成 18 年 5 月 8 日付け平成 18・04・19 原第 29 号にて認可された工事計画の添付書類「IV-2-2 制御能力についての計算書」による。

3.1 発電用原子炉の通常運転時の出力制御

通常運転中の出力は、手動操作又は自動による原子炉再循環流量の調整あるいは手動操作による制御棒位置の調整により原子炉出力を変更することにより増減される。

また、発電用原子炉の主要な起動手順及び停止手順は以下に述べるとおりであり、初期条件、その他の要因により実際の運転操作に当たっては必ずしも以下の手順によらない場合がある。

3.1.1 起動手順

冷温停止の状態から所内電源の切替え（定格の約 20%出力状態）までの起動手順は以下のとおりである。

- (1) 起動手前準備として各系統設備は次のような状態にあること。
 - a. 原子炉水位が、通常運転水位に保持された状態にあり、原子炉再循環系、原子炉冷却材浄化系が運転中である。
 - b. 復水器の真空度が確立された状態にある。
 - c. 低圧復水ポンプが運転中であり、発電用原子炉への給水が可能な状態にある。
- (2) 原子炉モードスイッチを「起動手」位置にし、制御棒操作シーケンスに従って、制御棒の引抜きを開始する。
- (3) 発電用原子炉が臨界に達したら、発電用原子炉の温度、圧力上昇を開始する。
- (4) 発電用原子炉の圧力上昇に伴い、下記の操作を実施する。
 - a. タービン発電機の保護装置をリセットし、蒸気タービンの暖機を行う。
 - b. タービングラウンドシールに用いるグラウンド蒸気発生器の加熱蒸気源を所内蒸気系蒸気より、主蒸気側に切替える。
 - c. 起動手停止用蒸気式空気抽出器から蒸気式空気抽出器に切替える。
 - d. 電動機駆動原子炉給水ポンプを起動手する。
 - e. 電気油圧式制御装置圧力制御機能の圧力設定値を原子炉圧力の上昇に合わせて上昇させ、最終的に原子炉定格圧力に調整する。
- (5) 引続き制御棒操作シーケンスに従って制御棒を引抜き、原子炉出力を増加させ、主蒸気をタービンバイパス弁を通して復水器にバイパスする。
- (6) 原子炉出力上昇の過程で、平均出力領域モニタの監視範囲に入ったら原子炉モードスイッチを「運転」位置に切替える。
- (7) タービン発電機初期負荷に必要な主蒸気流量が得られるまで原子炉出力が増加したら、タービン発電機を起動手し同期速度まで上昇させる。
- (8) タービン発電機を外部電源系統に並入し、タービンバイパス弁が閉じるまで、タービン発電機の出力を増加させる。
- (9) さらに制御棒操作シーケンスに従って制御棒を引抜き原子炉出力、タービン発電機出力を増加させ、タービン発電機出力が所内負荷以上になったら、所内電源を起動手変圧器側から所内変圧器側に切替える。

3.1.2 停止手順

所内電源の切替え（定格の約 20%出力状態）から冷温停止状態までの停止要領は以下のとおりである。

- (1) 所内電源を所内変圧器側から起動変圧器側に切替える。
- (2) 制御棒操作シーケンスに従って制御棒を挿入し、原子炉出力、タービン発電機出力を減少させる。
- (3) さらに制御棒操作シーケンスに従って制御棒を挿入し、タービン発電機出力が最小となった時点で、タービン発電機を外部電源系統より解列する。
- (4) タービン発電機を停止する。
- (5) 原子炉出力減少の過程で起動領域モニタの監視範囲に入ったら、原子炉モードスイッチを「起動」位置に切替える。
- (6) 引続き制御棒操作シーケンスに従って制御棒を挿入し、全制御棒を全挿入状態にする。全挿入となったら原子炉モードスイッチを「燃料取替」又は「停止」位置に切替える。
- (7) タービンバイパス弁を使用し、原子炉圧力の減少及び発電用原子炉の冷却を開始する。
- (8) 発電用原子炉の圧力減少に伴い下記の操作を実施する。
 - a. 電動機駆動原子炉給水ポンプを停止する。
 - b. 蒸気式空気抽出器から起動停止用蒸気式空気抽出器に切替える。
 - c. タービングランドシールに用いるグランド蒸気発生器の加熱蒸気源を主蒸気側から所内蒸気系蒸気に切替える。
- (9) 引き続き原子炉圧力の減少及び発電用原子炉の冷却を行い、原子炉圧力が低下したらタービンバイパス弁を閉じ残留熱除去系を停止時冷却モードで運転し、発電用原子炉を冷温停止状態に移行させる。

3.2 発電用原子炉の負荷急変時の出力制御

発電機が定格出力の 40%以上で運転中、例えば系統事故などにより発電機負荷遮断が生じると、出力負荷アンバランス検出回路からの信号によって蒸気加減弁が急速に閉鎖し、発電用原子炉はスクラムする。

また、タービンバイパス弁が急開するとともに、原子炉圧力上昇に伴い主蒸気逃がし安全弁が開き、蒸気をそれぞれ復水器及びサプレッションプールの中に出し、主蒸気圧力の調整を行う。

3.3 発電用原子炉の緊急停止

保護装置は、異常状態又は故障が生じた場合に、発電用原子炉、蒸気タービン及びタービン発電機を緊急停止する。また、必要に応じて運転員の判断によって発電用原子炉、蒸気タービン及びタービン発電機を緊急停止させることも可能である。

なお、原子炉保護系、タービン保護装置又は発電機保護装置が作動した場合、「図 3.3-1 プ

ラントインターロック」に示すように発電所の緊急停止を行う。

3.4 発電用原子炉の制御設備の構成等

プラントの運転状況に応じた制御方式による制御設備である、制御棒の挿入位置を調節することによって反応度を制御する制御棒駆動制御系、原子炉再循環流量を調整することによって反応度を制御する原子炉再循環流量制御系、蒸気タービンの速度を制御するタービン制御系、原子炉水位を一定に保持するよう制御する原子炉給水制御系、発電用原子炉の停止等を制御する安全保護系（原子炉保護系及び工学的安全施設作動回路）及びその他の工学的安全施設等の作動設備について以下に示す。

3.4.1 原子炉出力制御

3.4.1.1 制御棒駆動制御系

制御棒位置の調整は、中央制御室から手動遠隔操作で行われる。すなわち、制御スイッチで制御棒駆動系の弁類を操作することによって行われ、通常の操作過程では制御スイッチの1回の操作ごとに、制御棒は1ノッチずつ動くようになっている。また、制御棒価値ミニマイザの許可範囲で専用スイッチにて連続引抜き・挿入が可能になるようになっている。

操作すべき制御棒は、選択スイッチで選択され、制御棒は同時に1本しか動かさないようなインターロックを有している。

なお、制御棒は次のような場合には制御棒引抜きが阻止される。

- (1) 原子炉モードスイッチ「停止」の位置にあるとき。
- (2) 原子炉モードスイッチ「燃料取替」の位置にある場合で、燃料取替機位置が原子炉上部にあり、荷重状態のとき。
- (3) 原子炉モードスイッチ「燃料取替」の位置にある場合で、引抜かれている制御棒本数が1本のとき。
- (4) 原子炉モードスイッチ「燃料取替」の位置にある場合で、スクラム排出容器水位高によるスクラム信号がバイパスされているとき。
- (5) スクラム排出容器水位高による制御棒引抜阻止信号のあるとき。
- (6) 原子炉モードスイッチ「起動」の位置にある場合で、起動領域モニタの指示低、指示高、原子炉周期（ペリオド）短又は動作不能のとき。
- (7) 原子炉モードスイッチ「運転」の位置にある場合で、出力領域モニタの中性子束指示低又は動作不能のとき。
- (8) 出力領域モニタの指示高のとき。（ただし、ブロックは、任意の出力運転状態からの制御棒の引抜きによって、MCPR（最小限界出力比）が過渡時の限界値以下に低下することを防止するために設けられており、設定点は原子炉再循環流量の変化に対して自動的に変わるようになっている。）

(9) 制御棒価値ミニマイザによるブロック信号のあるとき。

また、原子炉再循環ポンプが1台以上トリップし、発電用原子炉が低炉心流量高出力領域（炉心流量45%相当以下、原子炉出力35%以上）に至った場合、自動的に選択制御棒をアキュムレータによる蓄圧駆動で挿入するインターロックを有している。この選択制御棒は、自然循環状態で原子炉出力約35%になるように選択されている。

3.4.1.2 原子炉再循環流量制御系

原子炉再循環流量制御は、手動操作又は自動による原子炉再循環ポンプの速度調整によって行われるが、所要のポンプ速度は静止形原子炉再循環ポンプ電源装置を通し、原子炉再循環ポンプ駆動電動機の電源周波数及び電圧を変化させることにより調整される。また、原子炉高出力運転時（原子炉出力30%以上）におけるタービントリップ又は発電機負荷遮断時には、主蒸気止め弁閉又は蒸気加減弁急速閉の信号により原子炉再循環ポンプ2台を同時トリップし、タービントリップ又は発電機負荷遮断直後の原子炉出力の上昇を抑制する。

3.4.2 プロセス制御

3.4.2.1 タービン制御系

通常の出力行運転中において、原子炉圧力を一定に自動制御する系統であり、蒸気加減弁とタービンバイパス弁によって手動操作又は自動により制御する。

例えば、原子炉出力が上昇すると原子炉圧力がそれに伴って上昇する。この圧力上昇は、圧力検出器により、電気信号に変換されタービン電気油圧式制御装置の一部である圧力制御機能の出力信号増加となり、蒸気加減弁のサーボ弁に伝達され、この弁開度を調整し原子炉圧力を一定にするようタービン発電機出力を増加させる。したがって、通常運転時には、タービン発電機出力は原子炉出力に従属して制御されている。

3.4.2.2 原子炉給水制御系

原子炉出力に応じ、可変速のタービン駆動原子炉給水ポンプの速度又は、給水調節弁の開度を手動操作又は自動により、原子炉水位を一定に保持するように制御される。

原子炉給水制御系が自動の場合、タービン駆動原子炉給水ポンプあるいは給水調節弁は、三要素（原子炉水位、主蒸気流量、給水流量）あるいは単要素（原子炉水位）の制御が行われる。

例えば、原子炉出力が上昇すると主蒸気流量が増大し原子炉水位が低下する。この水位低下を水位検出器により検出し、原子炉水位低下分に相当する水位制御器の出力を増加させ、この信号は、タービン駆動原子炉給水ポンプ制御装置又は給水調節弁制御装置に伝達され、タービン駆動原子炉給水ポンプの回転数の増大又は給水調節弁の

開度増大となり給水流量が増大し水位を一定に保持する。また、三要素制御の場合には原子炉出力の上昇による主蒸気流量の増大を流量検出器により検出し、主蒸気流量の増大に伴う給水流量との偏差を水位低下分として水位信号に加えることにより、給水流量の制御を行う。

3.4.3 安全保護系（原子炉保護系及び工学的安全施設作動回路）及びその他の工学的安全施設等の作動設備

発電用原子炉の異常状態を検知した場合に発電用原子炉を停止させ、必要に応じて非常用炉心冷却設備を作動させることにより燃料要素の許容損傷限界を超える等のことがない設計とする原子炉保護系及び工学的安全施設等の作動設備、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 ATWS 緩和設備（代替制御棒挿入機能）及び ATWS 緩和設備（代替原子炉再循環ポンプトリップ機能）、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、原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧する代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）並びに ATWS が発生した場合において、自動減圧系又は代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）が動作すると、高圧炉心スプレイ系からの注水に加え、残留熱除去系（低压注水モード）及び低压炉心スプレイ系から大量の冷水が注水され、出力の急激な上昇につながることを防止するため、自動減圧系及び代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）による自動減圧を阻止する ATWS 緩和設備（自動減圧系作動阻止機能）について以下に示す。

(1) 原子炉保護系

原子炉保護系は、発電用原子炉の安全性を損なうおそれのある運転時の異常な過渡変化あるいは設計基準事故が発生した場合又は発生が予想される場合に、それを抑制あるいは防止するため、異常を検知し発電用原子炉をスクラムさせる。

原子炉保護系は、基本的に二重の「1 out of 2」方式のトリップチャンネルとし、チャンネル相互間を分離した構成とする。

チャンネル相互間の分離は、ケーブル等を適切な隔離距離をとって分離配置、障壁の設置、電気的に分離することによって独立性を確保する。

原子炉保護系は、2チャンネルで構成され各チャンネルには、1つの測定変数に対して少なくとも2つ以上の独立したトリップ接点があり、いずれかの接点の動作でそのチャンネルがトリップし、両チャンネルの同時のトリップに対して、原子炉がスクラムされるようになっている。

原子炉スクラム信号一覧表を「表 3.4.3-1 原子炉スクラム信号一覧表」に示すととも

に、安全評価の条件である応答時間及びその内訳を「表 3.4.3-2 解析に使用する原子炉スクラム信号の応答時間」に示す。

(2) 工学的安全施設作動回路

工学的安全施設作動回路は、原子炉冷却材喪失あるいは主蒸気管破断等に際して、事故の拡大の防止及び環境への放射性物質の放出を抑制するため、異常を検知し工学的安全施設を作動させる。

工学的安全施設として、原子炉格納容器隔離弁、主蒸気隔離弁、非常用ガス処理系、高圧炉心スプレイ系、低圧炉心スプレイ系、低圧注水系、自動減圧系、格納容器スプレイ冷却系の機器を作動させる回路を設ける。

工学的安全施設起動信号一覧表を「表3.4.3-3 工学的安全施設の起動信号一覧表」、安全評価の条件である応答時間及びその内訳を「表3.4.3-4 解析に使用する工学的安全施設の起動信号の応答時間」に示す。

(3) ATWS 緩和設備（代替制御棒挿入機能）

ATWS 緩和設備（代替制御棒挿入機能）は、ATWS 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 緩和設備用として原子炉保護系とは独立した原子炉圧力高又は原子炉水位低（レベル 2）の信号により作動させる。あるいは、操作スイッチを手動で操作することで作動させる。

ATWS 緩和設備（代替制御棒挿入機能）の起動信号を「表 3.4.3-5 工学的安全施設等（ATWS 緩和設備（代替制御棒挿入機能））」の起動信号一覧表」に示す。

(4) ATWS 緩和設備（代替原子炉再循環ポンプトリップ機能）

ATWS 緩和設備（代替原子炉再循環ポンプトリップ機能）は、ATWS 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、原子炉再循環ポンプを自動停止させ原子炉再循環流量の低下により原子炉出力を抑制するため、ATWS 緩和設備用として原子炉保護系とは独立した原子炉圧力高又は原子炉水位低（レベル 2）の信号により作動させる。あるいは、操作スイッチを手動で操作することで代替原子炉再循環ポンプトリップ遮断器を開放させ、原子炉再循環ポンプを停止させる。

ATWS 緩和設備（代替原子炉再循環ポンプトリップ機能）の起動信号を「表 3.4.3-6 工学的安全施設等（ATWS 緩和設備（代替原子炉再循環ポンプトリップ機能））」の起動信号一覧表」に示す。

(5) 代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）

代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）は、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、原子炉水位低（レベル

1) 及び残留熱除去系ポンプ（低圧注水モード）又は低圧炉心スプレイ系ポンプが運転している場合に、主蒸気逃がし安全弁（自動減圧機能）6個のうち2個を作動させ、原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧させる。代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）は、自動減圧系が不動作時に期待される機能であるため、自動減圧系本来の安全機能と干渉しないよう、自動減圧系の減圧信号より遅く動作する必要があることから、信号発信後に自動減圧系起動信号が成立する120秒（タイマ動作時間のバラツキ及びセット誤差を考慮し、セット値は□秒）に起動阻止の判断操作の時間的余裕を考慮し、10分の時間遅れを設ける。

ただし、ATWS緩和設備（自動減圧系作動阻止機能）が作動した場合には、代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）の起動信号は発信されない。

代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）の起動信号を「表 3.4.3-7 工学的安全施設等（代替自動減圧回路（代替自動減圧機能））の起動信号一覧表」に示す。

(6) ATWS緩和設備（自動減圧系作動阻止機能）

ATWS緩和設備（自動減圧系作動阻止機能）は、ATWSが発生した場合において、自動減圧系又は代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）が動作すると、高圧炉心スプレイ系からの注水に加え、残留熱除去系（低圧注水モード）及び低圧炉心スプレイ系から大量の冷水が注水され、出力の急激な上昇につながるため、原子炉水位低（レベル2）及び中性子束高の同時信号により、自動減圧系及び代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）の起動を阻止する。あるいは、操作スイッチを手動で操作することで自動減圧系及び代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）の起動を阻止させる。

ATWS緩和設備（自動減圧系作動阻止機能）の起動信号を「表 3.4.3-8 工学的安全施設等（ATWS緩和設備（自動減圧系作動阻止機能））の起動信号一覧表」に示す。

3.4.4 その他の保護装置

(1) タービン保護装置

タービン保護装置は、タービン設備が異常な状態へ接近することを検知して、マスタートリップ電磁弁又は機械式トリップソレノイドにより非常トリップ油をドレンし、主蒸気止め弁、中間蒸気止め弁、蒸気加減弁及びインタセプト弁を閉鎖することによりタービンをトリップさせる。

タービントリップ信号一覧表を「表 3.4.4-1 タービントリップ信号一覧表」に示す。
なお、原子炉水位高（レベル8）信号により、タービンをトリップする。

(2) 発電機保護装置

発電機保護装置は、発電機設備が異常な状態へ接近するのを検知して、発電機ロックアウトリレー86G1又は86G2により発電機用遮断器及び界磁遮断器を開くことにより、発電機を系統より自動遮断させる。

発電機トリップ信号一覧表を「表 3.4.4-2 発電機トリップ信号一覧表」に示す。

表3.4.3-1 原子炉スクラム信号一覧表 (1/2)

原子炉非常停止 信号の種類	検出器及び起動信号			設定値	原子炉非常停止信号 を発信させない条件
	検出器の 種類	個数	原子炉非常停止 に要する信号の 個数		
原子炉圧力高	原子炉圧力 検出器	4	2 ^{*1}	7.22MPa 以下	—
原子炉水位低 (レベル 3)	原子炉水位 検出器	4	2 ^{*1}	原子炉圧力容器 零レベル ^{*2} より 1344cm 以上	—
ドライウエル 圧力高	ドライウエル 圧力検出器	4	2 ^{*1}	13.7kPa 以下	—
中性子束高	出力領域 中性子束 検出器	6 ^{*3}	2 ^{*4}	原子炉モードスイ ッチ「運転」位置 で定格出力の 120%以下	—
				原子炉モードスイ ッチ「運転」位置 以外で定格出力の 15%以下	
				自動可変設定 (図 3.4.3-1 参照)	
原子炉周期 (ペリオド) 短	起動領域 中性子束 検出器	8	2 ^{*5}	10 秒以上	原子炉モードスイ ッチ「運転」位置
スクラム排出 容器水位高	スクラム 排出容器 レベル スイッチ	4	2 ^{*6}	68.5ℓ/個に相当 するレベル (合計 137ℓ)	原子炉モードスイ ッチ「燃料取替」又は 「停止」位置, かつ スクラム排出容器水 位高バイパススイ ッチ「バイパス」位置
	スクラム 排出容器 水位検出器	4			

表3.4.3-1 原子炉スクラム信号一覧表 (2/2)

原子炉非常停止信号の種類	検出器及び起動信号				原子炉非常停止信号を 発信させない条件
	検出器の 種類	個数	原子炉非常停止 に要する信号の 個数	設定値	
核計装装置 動作不能	出力領域 中性子束 検出器	6 ^{*3}	2 ^{*4}	—	—
	起動領域 中性子束 検出器	8	2 ^{*5}	—	原子炉モードスイッチ 「運転」位置
主蒸気管 放射能高	主蒸気管 放射能 検出器	4	2 ^{*1}	通常運転時の放 射能の10倍以下	—
主蒸気隔離弁 閉	主蒸気隔離弁 位置検出器	16	4 ^{*7}	開度90%以上	原子炉圧力4.14MPa以下, かつ原子炉モード スイッチ「運転」位置 以外
主蒸気止め弁 閉	主蒸気止め弁 位置検出器	8	4 ^{*8}	開度90%以上	原子炉出力30%以下
蒸気加減弁急速 閉	蒸気加減弁 制御油圧 検出器	4	2 ^{*6}	4.12MPa以上	原子炉出力30%以下
	蒸気加減弁 位置検出器	4		急速作動 電磁弁 励磁位置	
原子炉モード スイッチ 「停止」	原子炉モード スイッチ	1	1	—	—
手動	手動スイッチ	2	2	—	—
地震加速度大	地震加速度 検出器	4	2 ^{*9}	水平方向 (O.P. -8.10m) 200Gal以下	—
		4		水平方向 (O.P. 6.00m) 400Gal以下	—
		4		鉛直方向 (O.P. -8.10m) 100Gal以下	—

- 注記*1：スクラム回路は、2個の検出器からなるA、B2系統のチャンネルで構成され、A、B各々に属する最低1個の検出器が同時に動作すれば、発電用原子炉はスクラムされる。
- *2：原子炉压力容器零レベルは、セパレータスカート下端より1278cm下。
- *3：個数は平均出力領域モニタのチャンネル数を示す。
- *4：スクラム回路は、3個の検出器からなるA、B2系統のチャンネルで構成され、A、B各々に属する最低1個の検出器が同時に動作すれば、発電用原子炉はスクラムされる。
- *5：スクラム回路は、4個の検出器からなるA、B2系統のチャンネルで構成され、A、B各々に属する最低1個の検出器が同時に動作すれば、発電用原子炉はスクラムされる。
- *6：スクラム回路は、各検出器2個ずつからなるA、B2系統のチャンネルで構成され、A、B各々に属する最低1個の検出器が同時に動作すれば、発電用原子炉はスクラムされる。
- *7：スクラム回路は、8個の検出器からなるA、B2系統のチャンネルで構成され、A、B各々に属する最低2個の検出器が同時に動作すれば、発電用原子炉はスクラムされる。
- *8：スクラム回路は、4個の検出器からなるA、B2系統のチャンネルで構成され、A、B各々に属する最低2個の検出器が同時に動作すれば、発電用原子炉はスクラムされる。
- *9：スクラム回路は、水平方向4個、鉛直方向2個の検出器からなるA、B2系統のチャンネルで構成され、A、B各々に属する最低1個の検出器が同時に動作すれば、発電用原子炉はスクラムされる。

表 3.4.3-2 解析に使用する原子炉スクラム信号の応答時間

原子炉非常停止信号	応答時間 (秒)				
	T1*1	T2*2	合計 (T1+T2) *3	T3*4	合計 (T1+T2+T3)
原子炉圧力高			0.55	1.62	2.17
原子炉水位低			1.05	1.62	2.67
中性子束高			0.09	1.62	1.71
原子炉周期 (ペリオド) 短			0.20	1.62	1.82
主蒸気隔離弁閉			0.06	1.62	1.68
主蒸気止め弁閉			0.06	1.62	1.68
蒸気加減弁急速閉			0.08	1.62	1.70

注記*1：プロセス量が設定値に達してから検出器が検知し、アナログ回路の信号がスクラム論理回路に発信されるまでの検出遅れ時間

*2：スクラム論理回路及び原子炉スクラム用電磁接触器での信号処理遅れ時間

*3：設置許可添付資料十「運転時の異常な過渡変化の解析」における解析条件

*4：原子炉スクラム用電磁接触器の動作から制御棒が全ストロークの75%に至るまでの時間

表 3.4.3-3 工学的安全施設の起動信号一覧表 (1/3)

工学的安全施設等の起動信号の種類		検出器及び起動信号				工学的安全施設等の起動信号を発信させない条件
		検出器の種類	個数	工学的安全施設等の起動に要する信号の個数	設定値	
主蒸気隔離弁	原子炉水位低 (レベル2)	原子炉水位 検出器	4	2*1	原子炉圧力容器零レベル*2より 1216cm以上	—
	主蒸気管 圧力低	主蒸気管 圧力検出器	4	2*1	5.86MPa以上	原子炉モードスイッチ「運転」位置以外
	主蒸気管 放射能高	主蒸気管 放射能 検出器	4	2*1	通常運転時の 放射能の10倍 以下	—
	主蒸気管 トンネル 温度高	主蒸気管 トンネル 温度検出器	44	2*3	通常運転最高 温度の1.5倍 以下	—
	主蒸気管 流量大	主蒸気管 流量検出器	16	2*4	定格流量の 140%以下	—
	復水器 真空度低	復水器 真空度 検出器	4	2*1	-28.8kPa以下	主蒸気止め弁開度 90%以下、かつ原子 炉圧力4.14MPa以 下、かつ復水器真空 度低バイパススイッ チ「バイパス」位置 かつ原子炉モードス イッチ「運転」位置 以外

表 3.4.3-3 工学的安全施設の起動信号一覧表 (2/3)

工学的安全施設等の 起動信号の種類		検出器及び起動信号				工学的安全施設等 の起動信号を発信 させない条件	
		検出器の 種類	個数	工学的安全施設 等の起動に要す る信号の個数	設定値		
その他の原子炉格納容器隔離弁	*5 (1)	ドライウエル 圧力高	ドライウエル 圧力検出器	4	2*6	13.7kPa 以下	—
		原子炉水位低 (レベル3)	原子炉水位 検出器	4		原子炉圧力容器 零レベル*2より 1344cm 以上	—
	*7 (2)	原子炉水位低 (レベル3)	原子炉水位 検出器	4	2*8	原子炉圧力容器 零レベル*2より 1344cm 以上	—
		原子炉水位低 (レベル2)	原子炉水位 検出器	4		原子炉圧力容器 零レベル*2より 1216cm 以上	—
非常用ガス処理系		原子炉建屋 原子炉棟 放射能高	原子炉建屋 原子炉棟 放射能 検出器	8	2*10	通常運転時の 放射能の 10 倍以下	—
		ドライウエル 圧力高	ドライウエル 圧力検出器	4	2*11	13.7kPa 以下	—
		原子炉水位低 (レベル3)	原子炉水位 検出器	4		原子炉圧力容器 零レベル*2より 1344cm 以上	—
高圧炉心スプレイ系		ドライウエル 圧力高	ドライウエル 圧力検出器	4	2*12	13.7kPa 以下	—
		原子炉水位低 (レベル2)	原子炉水位 検出器	4	2*12	原子炉圧力容器 零レベル*2より 1216cm 以上	—

表 3.4.3-3 工学的安全施設の起動信号一覧表 (3/3)

工学的安全施設等の 起動信号の種類		検出器及び起動信号				工学的安全施設等 の起動信号を発信 させない条件	
		検出器の 種類	個数	工学的安全施設 等の起動に要す る信号の個数	設定値		
低圧炉心スプレ イ系	ドライウエル 圧力高	ドライウエル 圧力検出器	2	2*13	13.7kPa 以下	—	
	原子炉水位低 (レベル1)	原子炉水位 検出器	2		原子炉圧力容 器零レベル*2 より 947cm 以上	—	
残留熱除去系	低圧注水系	ドライウエル 圧力高	ドライウエル 圧力検出器	4	2*14	13.7kPa 以下	—
		原子炉水位低 (レベル1)	原子炉水位 検出器	4		原子炉圧力容 器零レベル*2 より 947cm 以上	—
	格納容器スプレ イ冷却系	手動	—	—	—	—	
自動減圧系	原子炉水位低 (レベル1) とドライウエ ル圧力高の同 時信号	ドライウエル 圧力検出器	4	2*15	13.7kPa 以下	ATWS 緩和設備 (自 動減圧系作動阻止 機能) が作動した 場合	
		原子炉水位 検出器	4	2*16	原子炉圧力容 器零レベル*2 より 947cm 以上		

注記*1: 主蒸気隔離弁の作動回路は、2 個の検出器からなる A, B2 系統のチャンネルで構成され、A, B 各々に属する最低 1 個の検出器が同時に動作すれば、主蒸気隔離弁は閉となる。

*2: 原子炉圧力容器零レベルは、セパレータスカート下端より 1278cm 下。

*3: 主蒸気隔離弁の作動回路は、22 個の検出器からなる A, B2 系統のチャンネルで構成され、A, B 各々に属する最低 1 個の検出器が同時に動作すれば、主蒸気隔離弁は閉となる。

*4: 主蒸気隔離弁の作動回路は、8 個の検出器からなる A, B2 系統のチャンネルで構成され、A, B 各々に属する最低 1 個の検出器が同時に動作すれば、主蒸気隔離弁は閉となる。

- *5: 本信号により、原子炉系、残留熱除去系、原子炉格納容器調気系、格納容器内雰囲気モニタ系、原子炉核計装系、非常用ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系、放射線ドレン移送系に属する格納容器隔離弁が作動する。
- *6: 内側及び外側隔離弁の各作動回路は、各検出器1個ずつからなるA、B2系統のチャンネルで構成され、A、B各々に属する最低1個の検出器が同時に動作すれば、隔離弁は閉となる。
- *7: 本信号により、残留熱除去系に属する格納容器隔離弁が作動する。
- *8: 内側及び外側隔離弁の各作動回路は、検出器1個からなるA、B2系統のチャンネルで構成され、A、B各々に属する1個の検出器が同時に動作すれば、隔離弁は閉となる。
- *9: 本信号により、原子炉冷却材浄化系、計装用圧縮空気系に属する格納容器隔離弁が作動する。
- *10: 非常用ガス処理系A、Bの各作動回路は、燃料取替エリア放射線モニタ及び原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタそれぞれ1個ずつの検出器からなるA、B2系統のチャンネルで構成され、A、B各々に属する最低1個の検出器が同時に動作すれば、非常用ガス処理系起動となる。
- *11: 非常用ガス処理系A、Bの各作動回路は、各検出器1個ずつからなるA、B2系統のチャンネルで構成され、A、B各々に属する最低1個の検出器が同時に動作すれば、非常用ガス処理系起動となる。
- *12: 高圧炉心スプレイ系の作動回路は、4個の検出器からなる並列の論理和回路で構成され、最低2個の検出器が同時に動作すれば、高圧炉心スプレイ系起動となる。
- *13: 低圧炉心スプレイ系の作動回路は、各検出器2個ずつの計4個の検出器からなる並列の論理和回路で構成され、最低2個の検出器が同時に動作すれば、低圧炉心スプレイ系起動となる。
- *14: 残留熱除去系低圧注水モードの作動回路は、各検出器2個ずつからなるA、B2系統のチャンネルで構成され、同じチャンネルに属する最低2個の検出器が同時に動作すれば、1系統以上の残留熱除去系低圧注水モード起動となる。
- *15: 自動減圧系の作動回路は、2個の検出器からなるA、B2系統のチャンネルで構成され、同じチャンネルに属する2個の検出器及び「原子炉水位低（レベル1）」が同時に動作すれば、自動減圧系起動となる。
- *16: 自動減圧系の作動回路は、2個の検出器からなるA、B2系統のチャンネルで構成され、同じチャンネルに属する2個の検出器及び「ドライウェル圧力高」が同時に動作すれば、自動減圧系起動となる。

表 3.4.3-4 解析に使用する工学的安全施設の起動信号の応答時間

工学的安全施設の起動信号		応答時間 (秒)		
		T1' *1	T2' *2	合計 (T1' + T2') *3
主蒸気隔離弁	主蒸気管流量大			0.50
	主蒸気管放射能高			0.50

注記*1：プロセス量が設定値に達してから検出器が検知し、アナログ回路の信号がロジック回路に発信されるまでの検出遅れ時間

*2：ロジック回路部での信号処理遅れ時間

*3：設置許可添付資料十「事故解析」における解析条件

表 3.4.3-5 工学的安全施設等 (ATWS 緩和設備 (代替制御棒挿入機能)) の起動信号一覧表

工学的安全施設等の起動信号の種類		検出器及び起動信号				工学的安全施設等の起動信号を発信させない条件
		検出器の種類	個数	工学的安全施設等の起動に要する信号の個数	設定値	
A T W S 緩和設備 (代替制御棒挿入機能)	原子炉圧力高	原子炉圧力検出器	4	2*1	7.35MPa 以下	—
	原子炉水位低 (レベル2)	原子炉水位検出器	4		原子炉圧力容器零レベル*2 より 1216cm 以上	

注記*1: ATWS 緩和設備 (代替制御棒挿入機能) の作動回路は、各検出器 2 個ずつからなる A, B2 系統のチャンネルで構成され、A, B 各々に属する最低 2 個の検出器が同時に動作すれば、ATWS 緩和設備 (代替制御棒挿入機能) 作動となる。

*2: 原子炉圧力容器零レベルは、セパレータスカート下端より 1278cm 下。

表 3.4.3-6 工学的安全施設等 (ATWS 緩和設備 (代替原子炉再循環ポンプトリップ機能))

の起動信号一覧表

工学的安全施設等の 起動信号の種類		検出器及び起動信号				工学的安全施設等の 起動信号を発信 させない条件
		検出器の 種類	個 数	工学的安全施設 等の起動に要す る信号の個数	設 定 値	
A T W S 緩 和 設 備 (代 替 原 子 炉 再 循 環 ポ ン プ ト リ ッ プ 機 能)	原子炉圧力高	原子炉圧力 検出器	4	2*1	7.35MPa 以下	—
	原子炉水位低 (レベル 2)	原子炉水位 検出器	4		原子炉圧力容 器零レベル*2 より 1216cm 以上	

注記*1: ATWS 緩和設備 (代替原子炉再循環ポンプトリップ機能) の作動回路は、各検出器 2 個ずつからなる A, B2 系統のチャンネルで構成され、A, B 各々に属する最低 2 個の検出器が同時に動作すれば、ATWS 緩和設備 (代替原子炉再循環ポンプトリップ機能) 作動となる。

*2: 原子炉圧力容器零レベルは、セパレータスカート下端より 1278cm 下。

表 3.4.3-7 工学的安全施設等（代替自動減圧回路（代替自動減圧機能））の起動信号一覧表

工学的安全施設等の 起動信号の種類	検出器及び起動信号				工学的安全施設等の 起動信号を発信 させない条件	
	検出器 の種類	個 数	工学的安全施設 等の起動に要す る信号の個数	設 定 値		
代替自動減圧回路 （代替自動減圧機能）	原子炉水位低 （レベル1）	原子炉水位 検出器	4	2*1	原子炉圧力容 器零レベル*2 より 947cm 以上	ATWS 緩和設備（自 動減圧系作動阻止 機能）が作動した 場合

注記*1：代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）の作動回路は、2個の検出器からなる A、B2 系統のチャンネルで構成され、同じチャンネルに属する2個の検出器が同時に動作すれば、1系統以上の代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）作動となる。

*2：原子炉圧力容器零レベルは、セパレータスカート下端より 1278cm 下。

表 3.4.3-8 工学的安全施設等 (ATWS 緩和設備 (自動減圧系作動阻止機能)) の起動信号一覧表

工学的安全施設等の 起動信号の種類		検出器及び起動信号				工学的安全施設等の 起動信号を発信 させない条件
		検出器の 種類	個 数	工学的安全施設 等の起動に要す る信号の個数	設 定 値	
A T W S 緩 和 設 備 (自 動 減 圧 系 作 動 阻 止 機 能)	原子炉水位低 (レベル2) と中性子束高 の同時信号	原子炉水位 検出器	6	4 ^{*1}	原子炉圧力容 器零レベル ^{*2} より 1216cm 以上	—
		出力領域 中性子束 検出器	6 ^{*3}	4 ^{*4}	10% ^{*5} 以下	

注記*1: ATWS 緩和設備 (自動減圧系作動阻止機能) の作動回路は、3 個の検出器からなる A, B2 系統のチャンネルで構成され、A, B 各々に属する最低 2 個の検出器及び「中性子束高」が同時に動作すれば、ATWS 緩和設備 (自動減圧系作動阻止機能) 作動となる。

*2: 原子炉圧力容器零レベルは、セパレータスカート下端より 1278cm 下。

*3: 個数は平均出力領域モニタのチャンネル数を示す。

*4: ATWS 緩和設備 (自動減圧系作動阻止機能) の作動回路は、3 個の検出器からなる A, B2 系統のチャンネルで構成され、A, B 各々に属する最低 2 個の検出器及び「原子炉水位低 (レベル 2)」が同時に動作すれば、ATWS 緩和設備 (自動減圧系作動阻止機能) 作動となる。

*5: 定格出力時の値に対する比率で示す。

表 3.4. 4-1 タービントリップ信号一覧表

タービントリップ信号	検出器
バックアップ過速度大	バックアップ過速度検出器
主復水器真空度低	主復水器圧力検出器
スラスト軸受摩耗	スラスト軸受摩耗検出装置
振動大	軸振動検出器
排気室温度高	排気室温度検出器
湿分分離加熱器水位高	湿分分離加熱器水位検出器
主油ポンプ出口圧力低	主油ポンプ出口圧力検出器
高圧制御油圧力低	高圧制御油圧力検出器
発電機トリップ	発電機ロックアウトリレー
原子炉水位高 (レベル 8)	原子炉水位検出器

表 3.4. 4-2 発電機トリップ信号一覧表

発電機トリップ信号	検出器
発電機比率差動	発電機比率差動継電器
発電機・主変圧器比率差動	発電機・主変圧器比率差動継電器
発電機逆電力	発電機逆電力継電器
発電機地絡	発電機地絡継電器
発電機界磁喪失	発電機界磁喪失継電器
発電機過励磁	発電機過励磁継電器
発電機逆相電流	発電機逆相電流継電器
発電機脱調	発電機脱調継電器
励磁変圧器比率差動	励磁電源変圧器比率差動継電器
励磁変圧器過電流	励磁電源変圧器過電流継電器
タービントリップ	主蒸気止め弁全閉位置検出器 中間止め弁全閉位置検出器 インタセプト弁全閉位置検出器

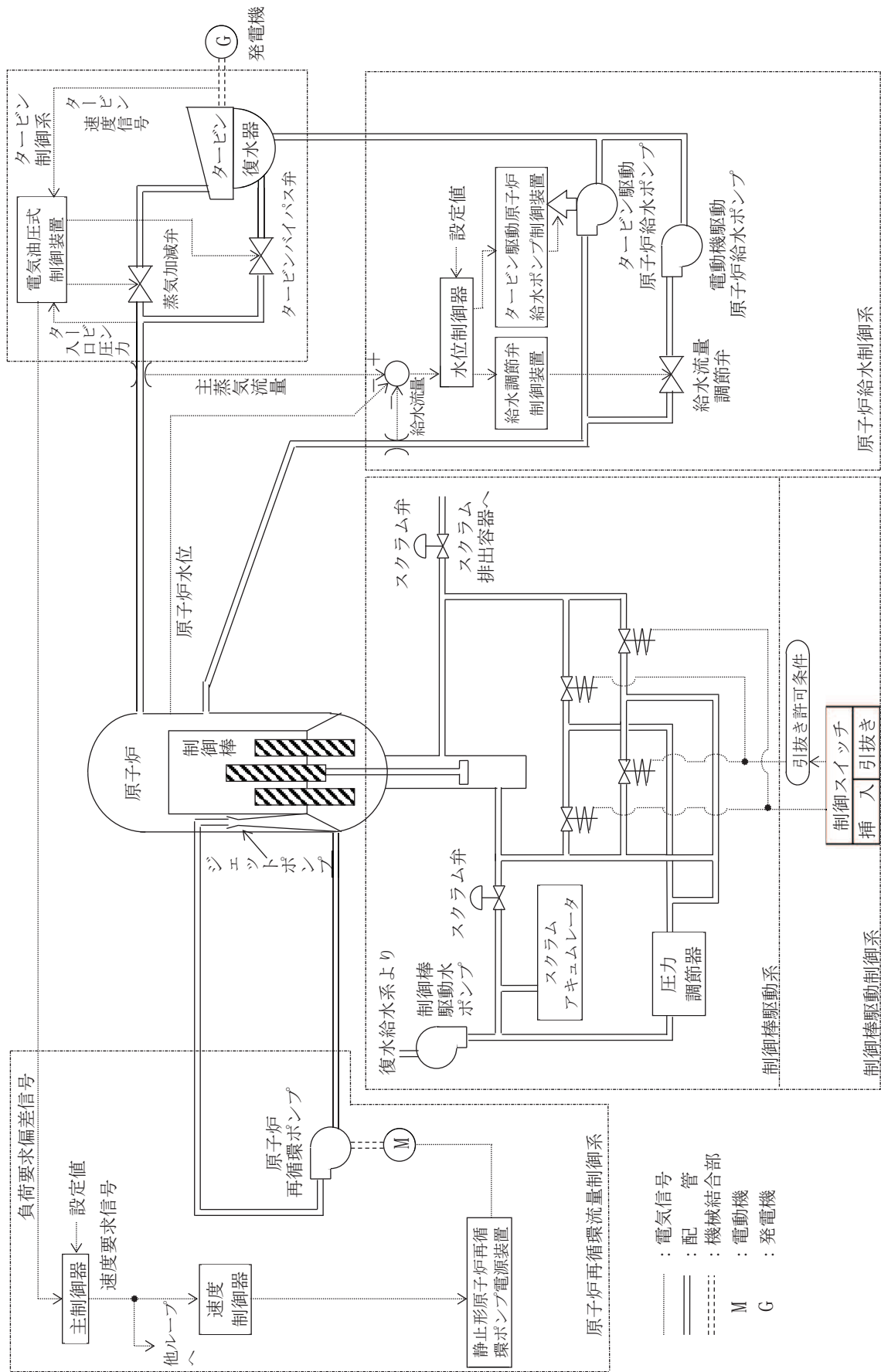


図 3-1 発電用原子炉の出力制御設備

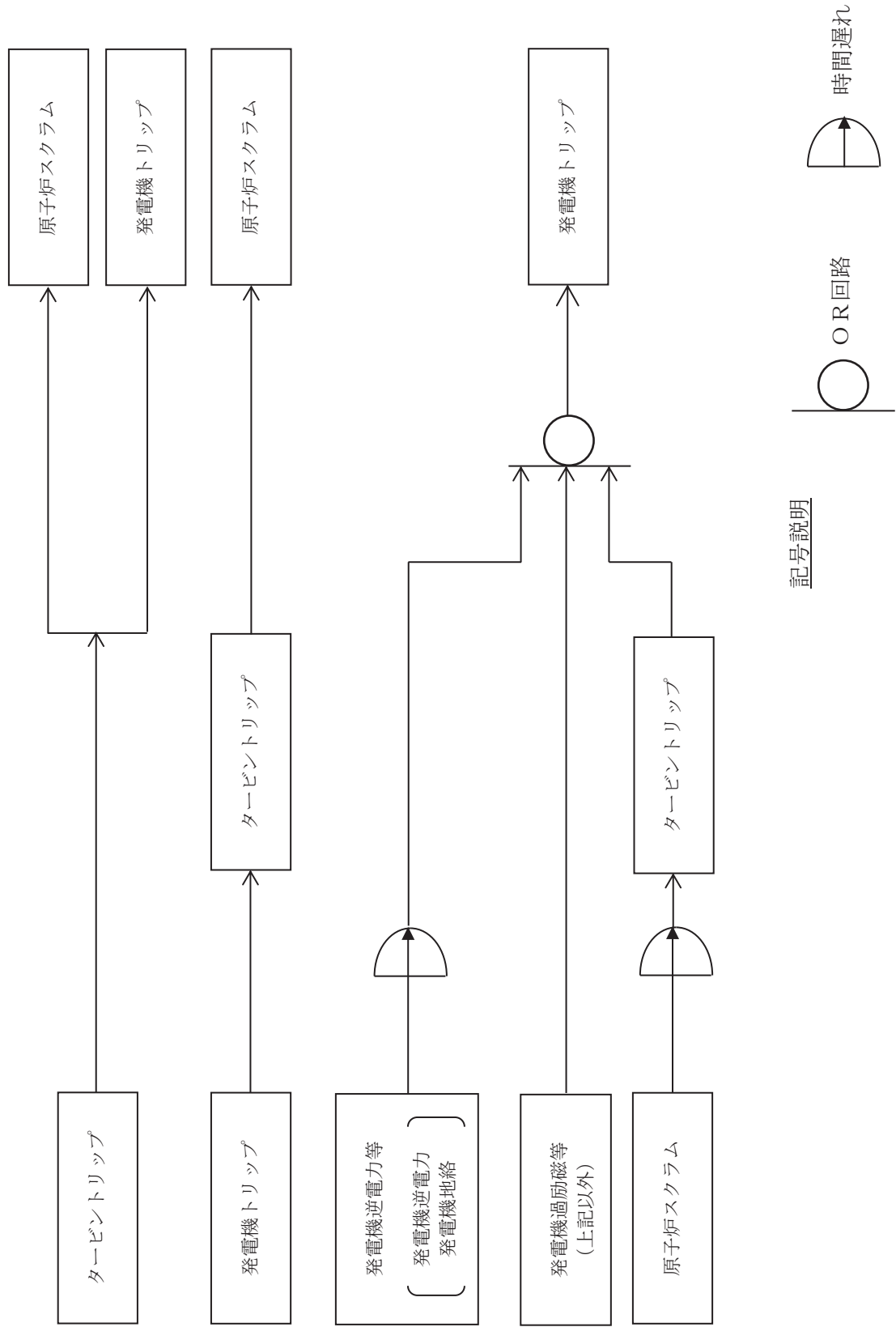


図 3.3-1 プラントインターロック

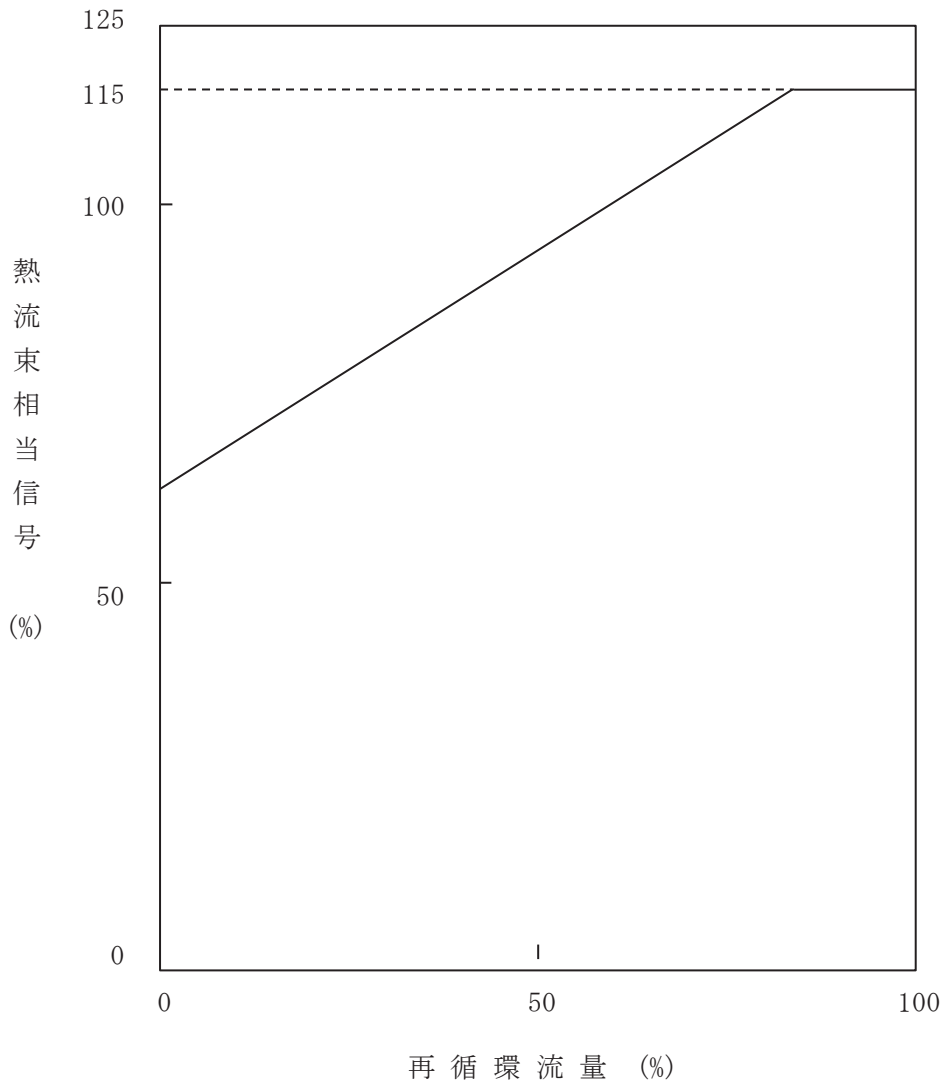


図 3.4.3-1 中性子束高—自動可変設定（熱流束相当）の原子炉非常停止信号の設定値

4. 中央制御室外原子炉停止装置

万が一中央制御室が使用不能の場合には、中央制御室外において原子炉保護系作動回路の電源を遮断すること等により発電用原子炉をスクラムさせる。

発電用原子炉を急速に停止した後、中央制御室外原子炉停止装置により発電用原子炉をスクラム後の高温状態からその後の低温状態に導く。

4.1 制御機能

発電用原子炉をスクラム後の高温状態から、その後の低温状態に導くため、原子炉冷却系統設備による残留熱除去、減圧、水位の保持を行うが、それらに必要な系統及び操作場所を表 4.1-1 に示す。

4.2 監視機能

発電用原子炉をスクラム後の高温状態から、その後の低温状態に導くために必要な計装及び指示場所を表 4.2-1 に示す。

表 4.1-1 中央制御室外原子炉停止装置系統一覧表

系 統	系統数	操 作 場 所	機 能
原子炉隔離時冷却系 主蒸気系逃がし安全弁 残留熱除去系	1 3 弁 1	中央制御室外原子炉停止装置盤	発電用原子炉をスクラム後の高温状態からその後の低温状態に導く
原子炉補機冷却水系 原子炉補機冷却海水系	2 2	中央制御室外原子炉停止装置盤	補機冷却
所内非常用電源系	2	中央制御室外原子炉停止装置盤, 現場制御盤	外部電源喪失時の非常用電源確保

表 4.2-1 中央制御室外原子炉停止装置計装一覧表

計 装	指示場所	機 能
原子炉圧力指示計	中央制御室外原子炉停止装置盤	発電用原子炉をスクラム後の高温状態から、その後の低温状態に導く場合の主要変数の監視
原子炉水位指示計		
サブプレッションプール水位指示計		
サブプレッションプール温度指示計		
ドライウエル圧力指示計		
ドライウエル温度指示計		
原子炉隔離時冷却系流量指示調節計		
原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用蒸気タービン速度指示計		
残留熱除去系流量指示計		
残留熱除去系熱交換器入口温度指示計		
復水貯蔵タンク水位指示計		
6.9kV 6-2C 非常用母線電圧計		
6.9kV 6-2D 非常用母線電圧計		