

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-補-E-05-0340-3_改0
提出年月日	2021年3月30日

補足-340-3 発電用原子炉の運転を管理するための制御装置に係る
制御方法に関する補足説明資料

2021年3月
東北電力株式会社

目次

1. 安全保護系及びその他の工学的安全施設等の応答時間.....	1
1.1 安全保護系及びその他の工学的安全施設等の応答時間の概要について.....	1
1.2 安全保護系及びその他の工学的安全施設等の応答時間の内訳について.....	2
1.3 安全保護系及びその他の工学的安全施設等の応答時間の根拠について.....	6
1.4 安全保護系及びその他の工学的安全施設等の応答時間の確認について.....	11
2. 原子炉再循環ポンプのトリップ機能について.....	12
3. 選択制御棒挿入機能及び原子炉再循環ポンプトリップ機能のインターロックにおける原子炉出力の設定について	17
3.1 選択制御棒挿入機能の設定について.....	17
3.2 原子炉再循環ポンプトリップ機能の設定について.....	17

1. 安全保護系及びその他の工学的安全施設等の応答時間

1.1 安全保護系及びその他の工学的安全施設等の応答時間の概要について

安全保護系のうち原子炉保護系は、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、設計基準事故、運転中の発電用原子炉における重大事故に至るおそれがある事故あるいは運転中の発電用原子炉における重大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自動的に停止させる。

また、安全保護系のうち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。

その他の工学的安全施設等の作動回路は、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するために、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）を作動させる。また、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ために、代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）を作動させる。

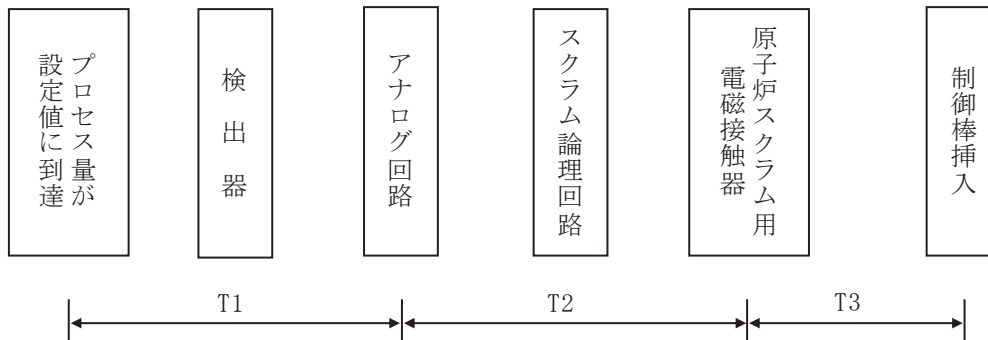
ATWS が発生した場合において、自動減圧系又は代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）が動作すると、高圧炉心スプレイ系からの注水に加え、残留熱除去系（低圧注水モード）及び低圧炉心スプレイ系から大量の冷水が注水され、出力の急激な上昇につながることを防止するため、自動減圧系及び代替自動減圧回路（代替自動減圧機能）による自動減圧を阻止する ATWS 緩和設備（自動減圧系作動阻止機能）を作動させる。

これらのうち、設置（変更）許可の安全評価の条件として使用している安全保護系のうち原子炉保護系の応答時間、工学的安全施設として主蒸気隔離弁の応答時間及びその他の工学的安全施設等として ATWS 緩和設備（代替原子炉再循環ポンプトリップ機能）の応答時間について説明する。

1.2 安全保護系及びその他の工学的安全施設等の応答時間の内訳について

(1) 原子炉保護系

原子炉保護系の原子炉非常停止信号の応答時間の内訳を以下に示す。



T1：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

T2：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

T3：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 1.2-1 原子炉非常停止信号の応答時間

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

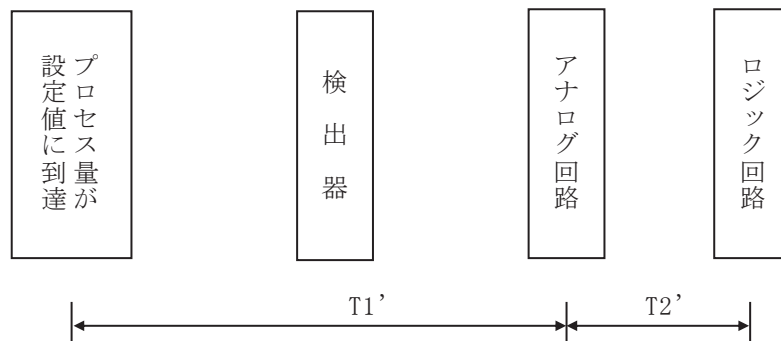
注記*1: プロセス量が設定値に達してから検出器が検知し, アナログ回路の信号がスクラム論理回路に発信されるまでの検出遅れ時間

*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

- (2) 工学的安全施設の作動回路及びその他の工学的安全施設等の作動回路
工学的安全施設の作動回路及びその他の工学的安全施設等の作動回路の起動信号の応答時間の内訳を以下に示す。



$T1'$: 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

$T2'$: ロジック回路部での信号処理遅れ時間

表 1.2-2 工学的安全施設及びその他の工学的安全施設等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

その他の工学的安全施設等の起動信号		応答時間 (秒)		
		T1' *1	T2' *2, *3	合計 (T1' + T2')
ATWS 緩和設備 (代替原子炉再循環ポンプ トリップ機能)	原子炉圧力高			0.80

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「重大事故に至るおそれがある事故及び重大事故に対する対策の有効
性評価」における解析条件

1.3 安全保護系及びその他の工学的安全施設等の応答時間の根拠について

(1) 原子炉保護系

設置 (変更) 許可を受けた安全評価の条件として考慮している応答時間 (原子炉非常停止信号の応答時間: T1+T2) をプロセス量ごとに設備の実現可能な範囲で割り当てた時間である。プラントの安全性確保の観点からは、T1~T3 の合計値が安全評価で考慮している応答時間以内であれば問題なく、それぞれの割り当て時間は、設備に対する要求値として設備の実力等を考慮して合理的な範囲で定めたものである。

原子炉非常停止信号	応答時間の根拠			T1 + T2 + T3
	T1	T2	T3	
原子炉圧力高			1.62 秒 原子炉スクラム用電磁接触器の動作から、制御棒がストロークの 75%に至るまでの時間を考慮して 1.62 秒とし、上記範囲内に収まることを定期事業者検査等で確認している。	2.17 秒
原子炉水位低			1.62 秒 同上	2.67 秒

原子炉非常停止信号	応答時間の根拠			T1+T2+T3
	T1	T2	T3	
中性子束高			1.62秒	1.71秒
原子炉周期 (ペリオド) 短			原子炉圧力高 (原子炉非常停止信号) に同じ。	1.82秒
			同上	
主蒸気隔離弁閉 主蒸気止め弁閉			1.62秒	1.68秒
			同上	

応答時間の根拠			
原子炉非常停止信号	T1	T2	T3
蒸気加減弁急速閉			1.62 秒
		原子炉圧力高（原子炉非常停止信号）に同じ。	
			T1+T2+T3
			1.70 秒

(2) 工学的安全施設の作動回路

設置（変更）許可を受けた安全評価の条件として考慮している応答時間（工学的安全施設の起動信号の応答時間： $T1' + T2'$ ）をプロセス量ごとに設備の実現可能な範囲で割り当てた時間である。プラントの安全性確保の観点からは、 $T1'$ 、 $T2'$ の合計値が安全評価で考慮している応答時間以内であれば問題なく、それぞれの割り当て時間は、設備の実力等を考慮して合理的な範囲で定めたものである。

工学的安全施設の起動信号	応答時間の根拠		
	$T1'$	$T2'$	$T1' + T2'$
主蒸気管流量大			0.50 秒
主蒸気隔離弁			0.50 秒

(3) その他の工学的安全施設等の作動回路

設置 (変更) 許可を受けた安全評価の条件として考慮している応答時間は $T2'$ のみである。プラントの安全性確保の観点から $T2'$ が安全評価で考慮している応答時間以内であれば問題なく、設備に対する要求値として設備の実力等を考慮し定めたものである。

その他の工学的安全施設等の起動信号	応答時間の根拠		
	$T1'$	$T2'$	$T1' + T2'$
ATWS 緩和設備 (代替原子炉再循環 ポンプトリップ 機能)			0.80 秒

1.4 安全保護系及びその他の工学的安全施設等の応答時間の確認について

設置（変更）許可を受けた安全評価の条件として使用している原子炉非常停止信号，工学的安全施設起動信号及びその他の工学的安全施設等の起動信号の各応答時間の確認について説明する。

(1) 原子炉保護系の応答時間

原子炉非常停止信号の各応答時間（T1～T3）の確認について以下に示す。

- ① T1 : 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
検出器は工場試験等によりプロセス量を変化させ，出力が所定の値に達するまでの応答時間を確認している。また，アナログ回路部は工場試験等により模擬信号を加えた時点から出力信号を発信するまでの応答時間を確認している。
- ② T2 : 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
アナログ回路部の原子炉スクラム原因接点動作から原子炉スクラム用電磁接触器が動作するまでの時間を計測することが可能である。
- ③ T3 : 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
原子炉スクラムテスト信号発信から制御棒が全ストロークの 75%に至るまでの時間を計測することが可能である。この応答時間は，定期事業者検査「制御棒駆動水圧系機能検査」として毎サイクル実施し確認している。

(2) 工学的安全施設の作動回路及びその他の工学的安全施設等の作動回路の応答時間

工学的安全施設の作動回路及びその他の工学的安全施設等の作動回路の応答時間（T1'，T2'）の確認について以下に示す。

- ① T1' : 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
検出器は工場試験等によりプロセス量を変化させ，出力が所定の値に達するまでの応答時間を確認している。また，アナログ回路部は工場試験等により模擬信号を加えた時点から出力信号を発信するまでの応答時間を確認している。
- ② T2' : ロジック回路部での信号処理遅れ時間
ロジック回路部の各継電器は工場試験等によりステップ状の模擬信号を加えた時点から継電器が動作するまでの応答時間を確認している。

2. 原子炉再循環ポンプのトリップ機能について

EOC-RPT, ATWS 緩和設備 (代替原子炉再循環ポンプトリップ機能), 常用電源喪失時の原子炉再循環ポンプのトリップ機能について, 「表 2-1 原子炉再循環ポンプのトリップ機能」に示す。

表 2-1 原子炉再循環ポンプのトリップ機能

	EOC-RPT	ATWS 緩和設備 (代替原子炉再循環ポンプトリップ機能)	常用電源喪失時
目的	<p>タービントリップ又は発電機負荷遮断時に, 原子炉再循環ポンプをトリップさせることにより, 炉心流量を急減させ, 原子炉出力の上昇を緩和させる。</p> <p>原子炉がスクラムすることでMCPRの低下は抑制されるが, 原子炉再循環ポンプ 2 台を同時にトリップさせることにより, 炉心部のボイドを増加させることで原子炉出力の上昇を抑えることが可能である。</p> <p>なお, 本機能は建設時から設置されている機能である。</p>	<p>原子炉緊急停止失敗時に原子炉再循環ポンプをトリップさせることにより, 原子炉再循環流量を低下させ, 急速に負の反応度を印加することにより, 原子炉圧力上昇を緩和させる。</p>	<p>常用電源の喪失により, 原子炉再循環ポンプが停止しても, 炉心冷却水量が急激に減少しないように原子炉再循環ポンプは十分な慣性をもつ設計とし, 炉心冷却水量の急激に減少に伴う, 燃料被覆管の沸騰遷移を回避するようにしている。</p>
概要 (動作の流れ)	<p>タービントリップ (主蒸気止め弁閉) 又は発電機負荷遮断 (蒸気加減弁急速閉) 時に原子炉再循環ポンプ 2 台を同時にトリップさせる。</p>	<p>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が発生するおそれがある場合は当該事象が発生した場合, 原子炉圧力高又は原子炉水位低 (レベル 2) で原子炉再循環ポンプ 2 台を同時にトリップさせる。</p>	<p>常用電源の喪失により, 原子炉再循環ポンプが停止しても, 炉心冷却水量が急激に減少しないように原子炉再循環ポンプは十分な慣性をもつ設計としている。</p>

	EOC-RPT	ATWS 緩和設備 (代替原子炉再循環ポンプトリップ機能)	常用電源喪失時
インターロック	<p>図 2-1 「原子炉再循環ポンプのトリップ回路 (EOC-RPT)」 参照</p>	<p>図 2-2 「原子炉再循環ポンプのトリップ回路 (ATWS 緩和設備 (代替原子炉再循環ポンプトリップ機能))」 参照</p>	<p>— (駆動電源喪失によるものであり, インターロックにより作動するものではない。)</p> <p>図 2-3 「原子炉再循環ポンプのトリップ回路 (常用電源喪失時)」 参照</p>
動作遮断器等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 静止形原子炉再循環ポンプ電源装置受電遮断器 (6.9kV メタルクラップ 1 台毎に 1 台設置) ・ 静止形原子炉再循環ポンプ電源装置 (静止形可変電圧可変周波数電源装置, 原子炉再循環ポンプ 1 台毎に 1 台設置) <p>単一故障で機能喪失しないよう静止形原子炉再循環ポンプ電源装置受電遮断器と静止形原子炉再循環ポンプ電源装置の両方へ遮断信号を送り, 原子炉再循環ポンプをトリップさせる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 代替原子炉再循環ポンプのトリップ遮断器 (原子炉再循環ポンプ 1 台に 1 台設置) 	—

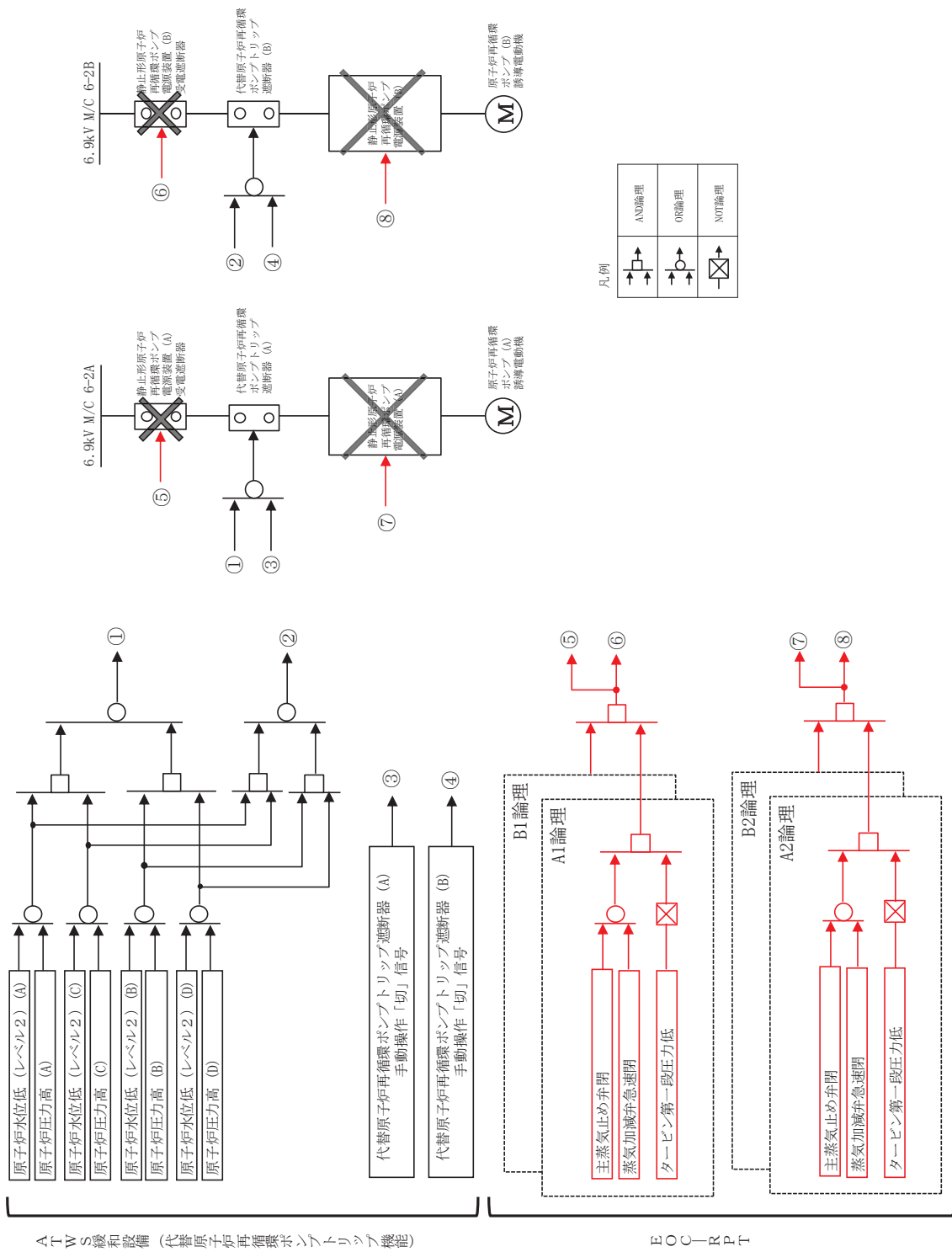


図 2-1 原子炉再循環ポンプのトリップ回路 (EOC-RPT)

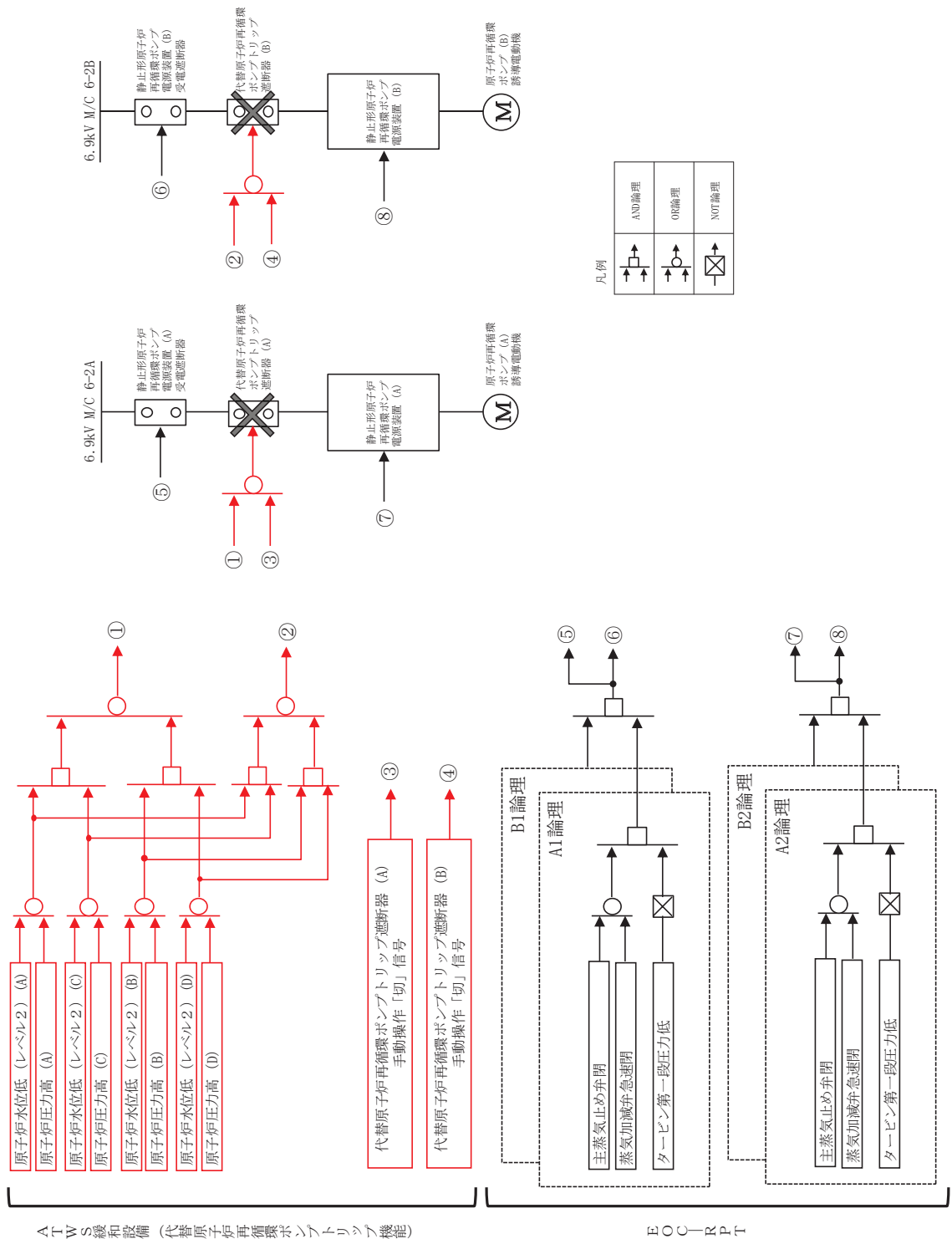


図 2-2 原子炉再循環ポンプのトリップ回路 (ATWS 緩和設備 (代替原子炉再循環ポンプトリップ機能))

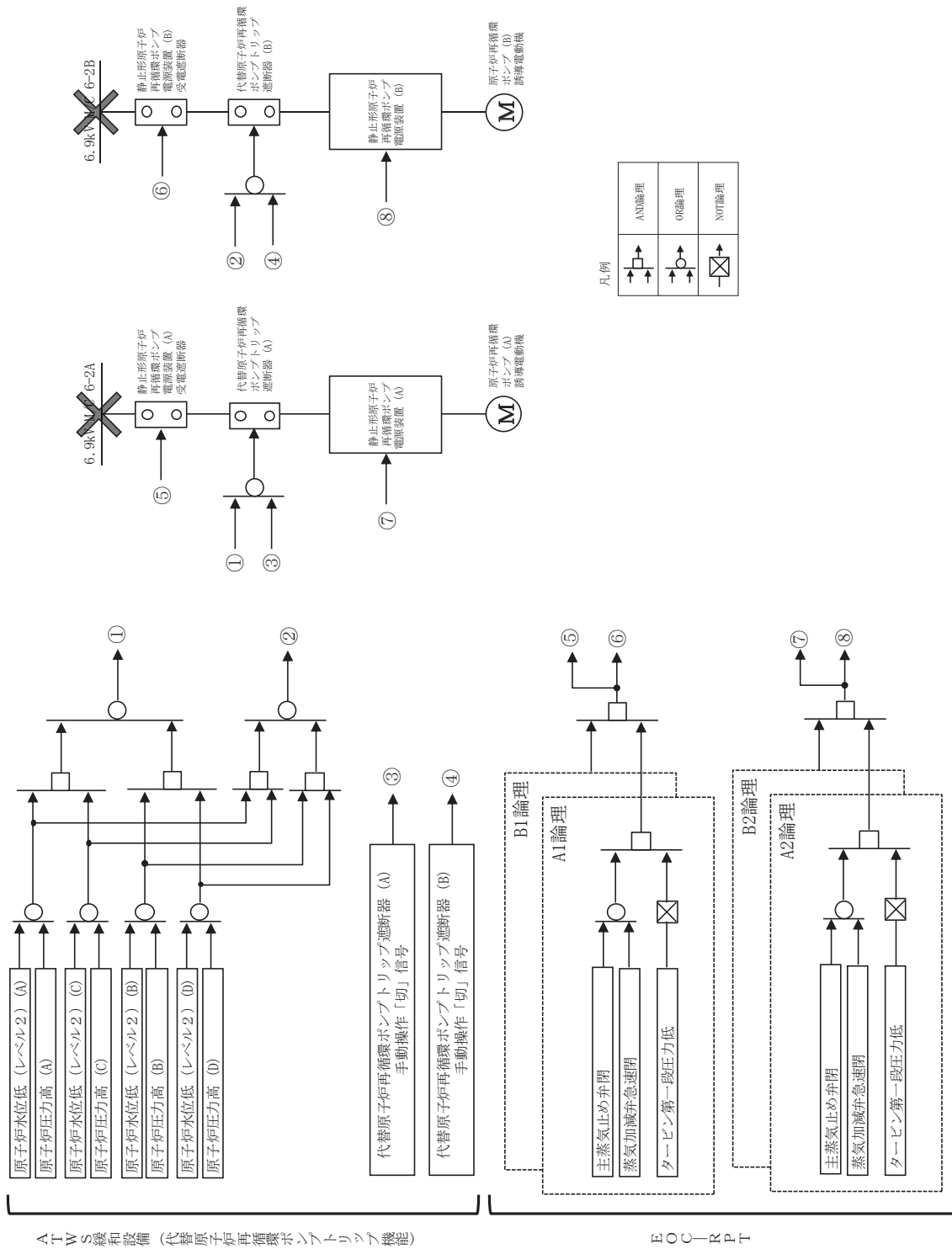


図 2-3 原子炉再循環ポンプのトリップ回路 (常用電源喪失時)

3. 選択制御棒挿入機能及び原子炉再循環ポンプトリップ機能のインターロックにおける原子炉出力の設定について

選択制御棒挿入機能における原子炉出力 35%以上と原子炉再循環ポンプトリップ機能における原子炉出力 30%以上の原子炉出力の設定について「3.1 選択制御棒挿入機能の設定について」及び「3.2 原子炉再循環ポンプトリップ機能の設定について」にて説明する。

3.1 選択制御棒挿入機能の設定について

選択制御棒挿入機能は、原子炉再循環ポンプの1台以上停止かつ、低炉心流量高出力領域（原子炉出力 35%以上、炉心流量 45%以下）の場合に原子炉出力を抑制し、安定性余裕を確保するため予め選択された制御棒を挿入することを目的としている。

以下に設定の根拠を説明する。

(1) 原子炉再循環ポンプの1台以上停止

原子炉再循環ポンプ1台以上トリップ時の不安定状態を想定していることから、原子炉再循環ポンプ1台以上停止を条件とする。

(2) 炉心流量 45%以下

冷却材流量及び中性子束の振動的な挙動を避けるため炉心流量 45%以下を条件とする。

(3) 原子炉出力 35%以上

冷却材流量及び中性子束の振動的な挙動を避けるため原子炉出力 35%以上を設定する。

3.2 原子炉再循環ポンプトリップ機能の設定について

原子炉再循環ポンプトリップ機能はスクラム機能と連動させることで原子炉圧力上昇による出力上昇を回避することを目的としているため、原子炉高出力運転時（原子炉出力 30%以上）をインターロックの一つの条件としている。

原子炉出力 は主蒸気流量 （タービンバイパス弁の容量）に相当し、蒸気加減弁等が全閉した場合でもタービンバイパス弁を介し蒸気を復水器へ放出し、原子炉出力の上昇を回避することができることから安全性を考慮し原子炉出力 30%以上を設定する。（図 3-1「原子炉出力ー主蒸気流量の関係」参照。）

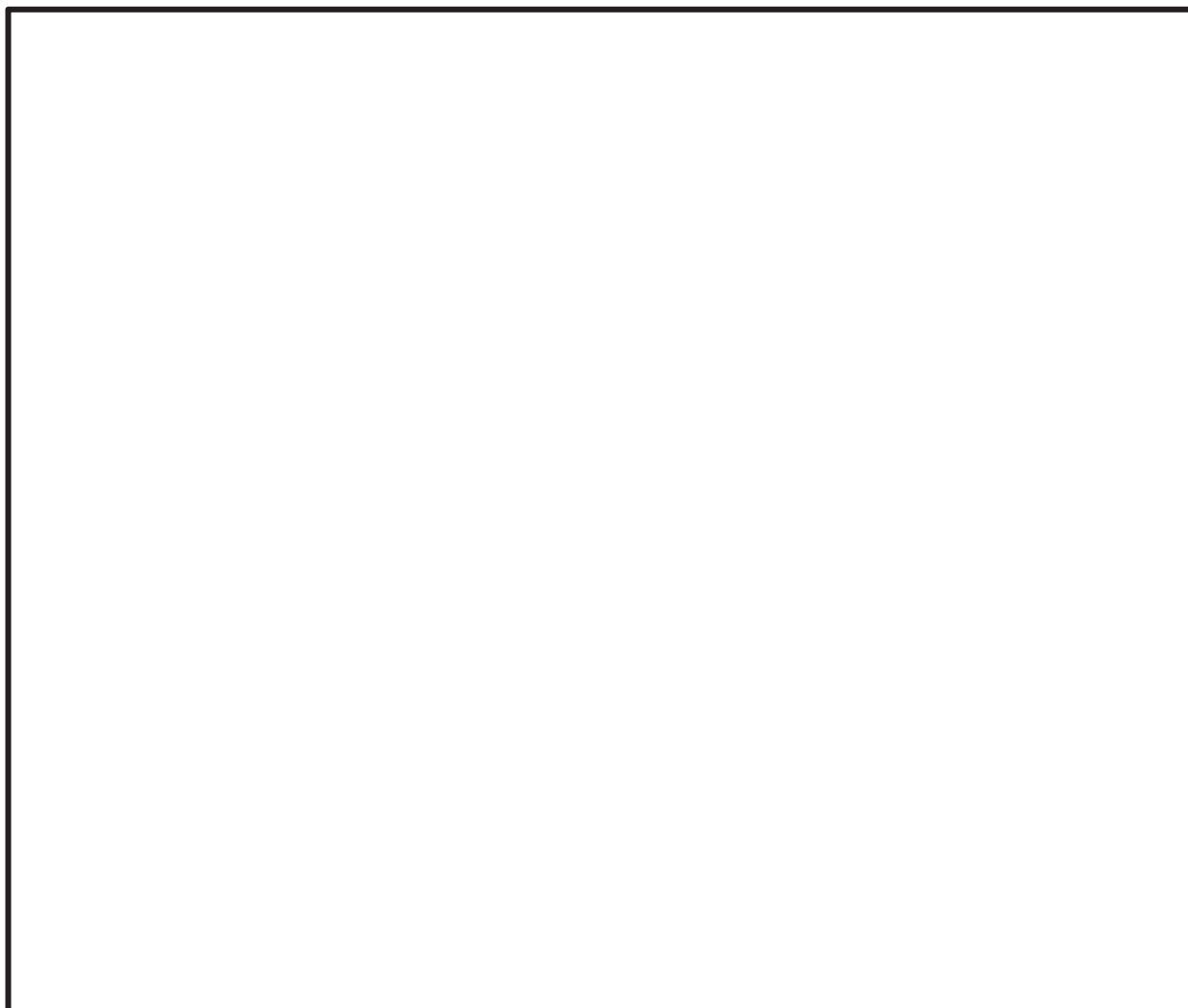


図 3-1 原子炉出力－主蒸気流量の関係