

<概要>

原子力発電所では、運転中に発生する可能性のある異常な過渡変化や機器の故障が生じた場合などに直ちにその異常状態を検知し、燃料の損傷を防止するとともに原子炉施設からの多量の放射性物質の放散を防止し、発電所周辺の一般公衆や発電所従業員の安全を確保するための安全保護設備として、原子炉保護設備および工学的安全施設を設けている。このうち、原子炉保護設備は、炉心の反応度や高温高圧の一次冷却材の状態が過度に変化し、これらが燃料や一次冷却材系機器の健全性を損うおそれがある場合に原子炉トリップ信号（原子炉スクラム信号）を発し、全制御棒を一斉に挿入することによって原子炉を停止する設備である。

<更新年月>

2009年01月

<本文>

原子力発電所では、炉心の反応度およびプロセス量の制御によるタービン発電機の負荷に見合った高温高圧の蒸気を供給する設備はもとより、運転中に発生する可能性のある異常な過渡変化事象、一次冷却材喪失事故事象などに対処するための安全保護設備として「原子炉保護設備」および「工学的安全施設」を備えている。原子炉系統はタービン系統の主蒸気系、主給水系およびタービンの運転状態とも関係しており、これらの状態が変化すると原子炉の反応度もプロセス量も変化する。これらの系統に異常な過渡変化が発生した場合には、原子炉計測制御設備は警報を発し、運転員がこれに対処する。さらに異常な過渡状態の継続や機器故障等の事象が生じた場合には、燃料および原子炉冷却材バウンダリの健全性が損なわれないように、原子炉保護設備は原子炉トリップ信号を発信し、制御棒は自重により炉心に挿入（落下）して原子炉を停止する（原子炉トリップ；PWRではこう呼んでいるが、一般には原子炉スクラムと呼んでいる）。

原子炉保護設備説明図を図1に、制御棒クラスタ配置図を図2に、および制御棒クラスタ構造図および制御棒駆動装置構造図を図3に示す。制御棒駆動装置は駆動軸アセンブリを3箇のコイルアセンブリと2箇のラッチアセンブリで制御棒（スパイダ）を保持する構造となっている。

原子炉保護設備は4チャンネル（あるいは3チャンネルなど）からなるアナログ回路部と、2トレイン（あるいは4トレイン）からなるロジック回路部、および原子炉トリップしゃ断器からなる二重構成となっている。それぞれのトレインは電氣的及び物理的に分離してあるので、単一のトレインの故障で原子炉保護機能を失うことはない（独立性の原則）。また、ロジックリレーや原子炉トリップしゃ断器のコイルは常時通電状態（励磁状態）であるため、駆動電源の喪失に対して原子炉の保護動作をとる方向に作動する（フェイルセーフの原則）。

アナログ回路部は各種検出器からの信号を受け、演算処理を行い、定められた設定値に達すると原子炉トリップ信号を発信する（原子炉トリップ信号とその働きについては表1および表2を参照）。ロジック回路はアナログチャンネル部からの信号を受け2 out of 4（あるいは2 out of 3など）の論理演算を行い、2チャンネル以上が原子炉トリップ信号を発信すると、原子炉トリップしゃ断器へ原子炉トリップ信号を送る。

制御棒駆動装置用M-Gセットの発生電力は、2トレインの場合には、2台の直列に接続している原子炉トリップしゃ断器A（RTA）および原子炉トリップしゃ断器B（RTB）を介して制御棒駆動装置に接続されている。通常時この原子炉トリップしゃ断器は閉じており、制御棒駆動装置を励磁して制御棒クラスタを炉心内の適切な位置に保持している。ロジック回路からの原子炉トリップ信号は原子炉トリップしゃ断器の不足電圧コイルへの直流回路を開く。不足電圧コイルの

直流電源が喪失すると、原子炉トリップしゃ断器が開放され制御棒駆動装置への電源が開放されるので、ラッチアセンブリーが駆動軸から離れ、駆動軸とこれに連結している制御棒クラスタが自重で炉心に挿入され（落下し）原子炉が停止する。

たとえば、中性子束が設定値を超えた場合には燃料の健全性を確保するため「出力領域中性子束高」、一次冷却材の流量低下は炉心熱除去能力を低下させるので、燃料損傷を防止するため「一次冷却材流量低」、タービンのトリップ（急速停止）に伴う一次冷却系の温度と圧力の過度の上昇を避けるため「タービントリップ」、蒸気発生器への給水流量の喪失による一次冷却系の除熱能力低下を防止するため「蒸気発生器給水流量低（最近では蒸気発生器水位低）」などの原子炉トリップ信号を発する。これらの原子炉トリップ信号の発信を受けて、原子炉トリップしゃ断器が開放され、全制御棒が自重で炉心に挿入される。

＜関連タイトル＞

[原子炉機器（PWR）の原理と構造 \(02-04-01-02\)](#)

[PWR原子炉容器 \(02-04-03-01\)](#)

[PWRの工学的安全施設 \(02-04-04-01\)](#)

[原子力発電プラント（PWR）の制御 \(02-04-06-01\)](#)

[PWRの蒸気発生器 \(02-08-01-03\)](#)

＜参考文献＞

（１）原子力安全研究協会実務テキスト編集委員会（編）：軽水炉発電所のあらまし（改訂第３版）、原子力安全研究協会（平成20年9月）

（２）火力原子力発電技術協会（編）：原子力発電所-全体計画と設備-（改定版）、火力原子力発電技術協会（平成14年6月）

表1 原子炉トリップ信号とそのはたらきー(1)

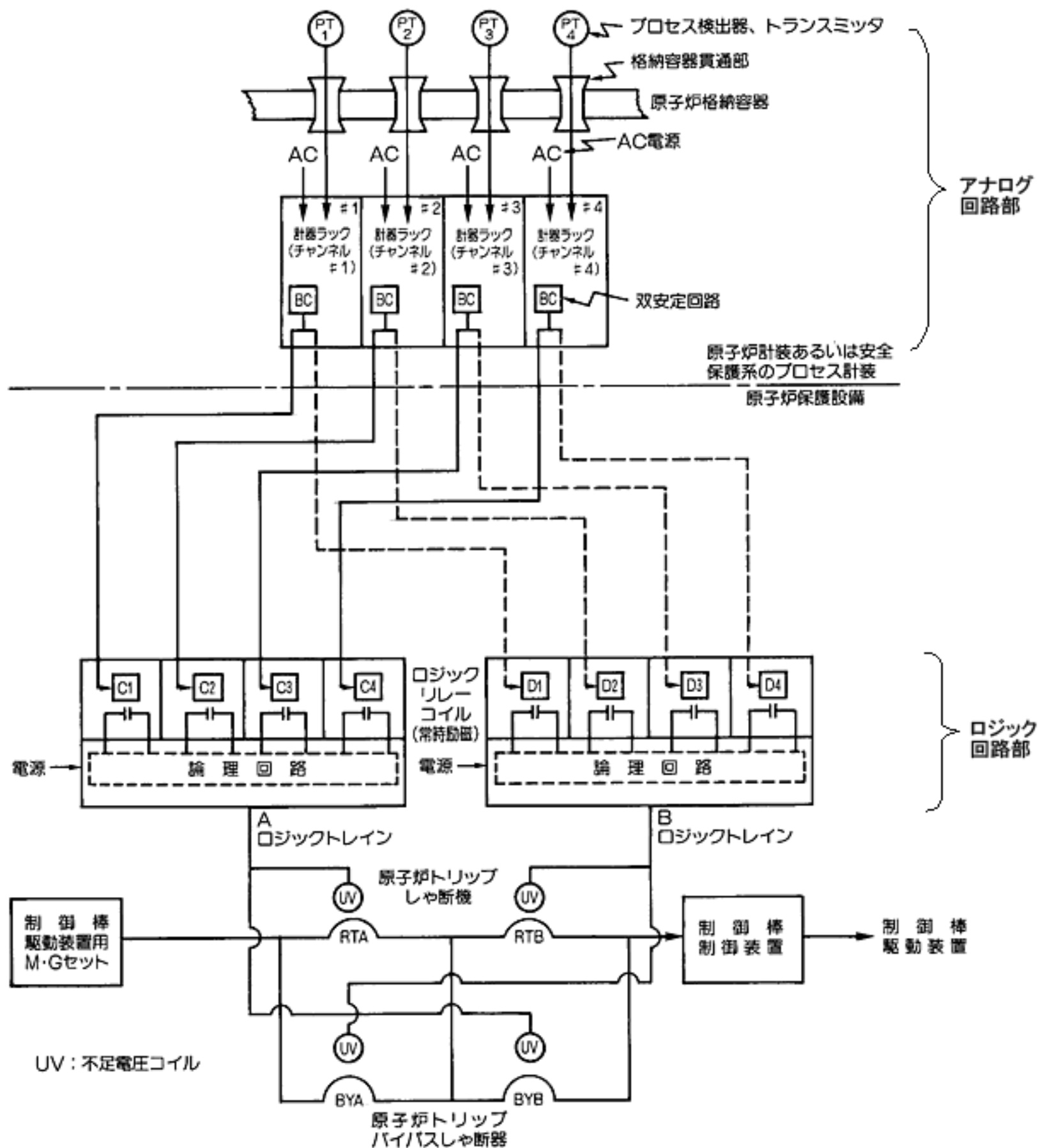
原子炉トリップ信号	機 能
(1) 中性子源領域中性子束高	原子炉起動および停止時に、中性子レベルが急速に上昇することに対する保護機能を持つ。原子炉容器の周囲に設置した炉外中性子源領域比例係数管の測定値が設定値を超えると原子炉トリップさせる。
(2) 中間領域中性子束高	原子炉起動および停止時の保護のため、炉外に設置した中間領域γ線電離箱の測定値が設定値を超えると原子炉トリップさせる。
(3) 出力領域中性子束高	出力領域中性子高には、高設定と低設定とがあり、通常の出力運転状態では高設定値により、起動時等の低出力運転状態では低設定値により、原子炉トリップさせ、燃料の健全性を確保する。
(4) 出力領域中性子束変化率高	制御棒クラスタの飛び出し、および制御棒クラスタ落下時に炉心内の出力分布が設計値を超えて歪みを起こす可能性がある。本事象時の中性子束の急変信号を出力領域検出器で検知し、この変化率信号が設定値を超えた時に原子炉がトリップし燃料の損傷を保護する。
(5) 過大温度 ΔT 高	このトリップ信号は燃料被覆管の焼損(DNB)を防止するより直接的な保護信号である。燃料の健全性を確保するための指標である炉心内最小DNBRが設計最低値に接近した場合に原子炉トリップさせる。 <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 10px; margin: 10px 0;"> DNBRは直接に測定することはできないが、平均温度(T_{avg})、差温度(ΔT)および一時冷却材圧力(P)を用いることで、最小DNBRを確保する演算が可能となる。 </div>
(6) 過大出力 ΔT 高	このトリップ信号は燃料の最大線出力を保護するもので、炉心の全出力と対応する ΔT 測定値が許容する測定値を超えると原子炉トリップさせる。 <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 10px; margin: 10px 0;"> 出力と対応するΔTは一次冷却材温度によって冷却材物性値が変わるためT_{avg}信号を用いて補正する。 </div>
(7) 原子炉圧力低	過大温度 ΔT 高のDNB保護範囲を限定し、かつ一次冷却材の過度の沸騰を防止するため、加圧器圧力が設計圧力以下に低下したら原子炉トリップさせる。
(8) 原子炉圧力高	過大温度 ΔT 高のDNB保護限界を限定し、かつ加圧器安全弁の作動を抑制して系の加圧を予防するために、加圧器圧力が設定点を超えて上昇した場合に原子炉トリップさせる。

[出典](財)原子力安全研究協会(編):軽水炉発電所のあらまし(改訂第3版)、p.180、(平成20年9月)

表2 原子炉トリップ信号とそのはたらきー(2)

原子炉トリップ信号	機 能
(9) 加圧器水位高	加圧器水位上昇による直接的損傷はないが、加圧器が満水となり、安全弁あるいは逃し弁から液相水が放出されることを予防する。
(10) 一次冷却材流量低	一次冷却材流量の低下は、炉心熱除去能力を低下させ、DNBRの現象を起こすので、高出力運転時に原子炉トリップさせ燃料の損傷を防止する。
(11) 一次冷却材ポンプ電源電圧低	一次冷却材ポンプの電源電圧が低下した場合、(10)で述べた一次冷却材流量の低下と同様の現象となる。運転中ポンプの同時喪失時の炉心保護として機能する。
(12) 一次冷却材ポンプ電源周波数低	一次冷却材ポンプの電源周波数が低下した場合、一次冷却材ポンプ回転数の低下により(10)と同様の流量低下時の炉心保護として機能する。
(13) 非常用炉心冷却設備作動	後述する非常用炉心冷却設備作動信号の発生により原子炉トリップさせる。
(14) 蒸気発生器水位異常低*	後述する蒸気発生器給水流量低とともに、蒸気発生器水位が低下した場合に一次冷却系からの除熱能力が阻害されることが予想されるため、原子炉トリップさせる。
(15) 蒸気発生器給水流量低*	蒸気流量に比べ給水流量が設定値以上に減り、かつ水位が設定値以下になった場合、一次冷却系からの除熱能力が損なわれることが予想されるため原子炉トリップさせる。
(16) タービントリップ	タービントリップに伴い、一次冷却材の温度、圧力の過度の上昇を避けるため、原子炉トリップさせる。
(17) 地震加速度大	水平または垂直方向の地震加速度が設定値以上の時、原子炉トリップさせる。
(18) 手動	運転員が原子炉を緊急停止する必要があると判断した時に、中央制御盤よりの手動操作によって原子炉トリップさせる。

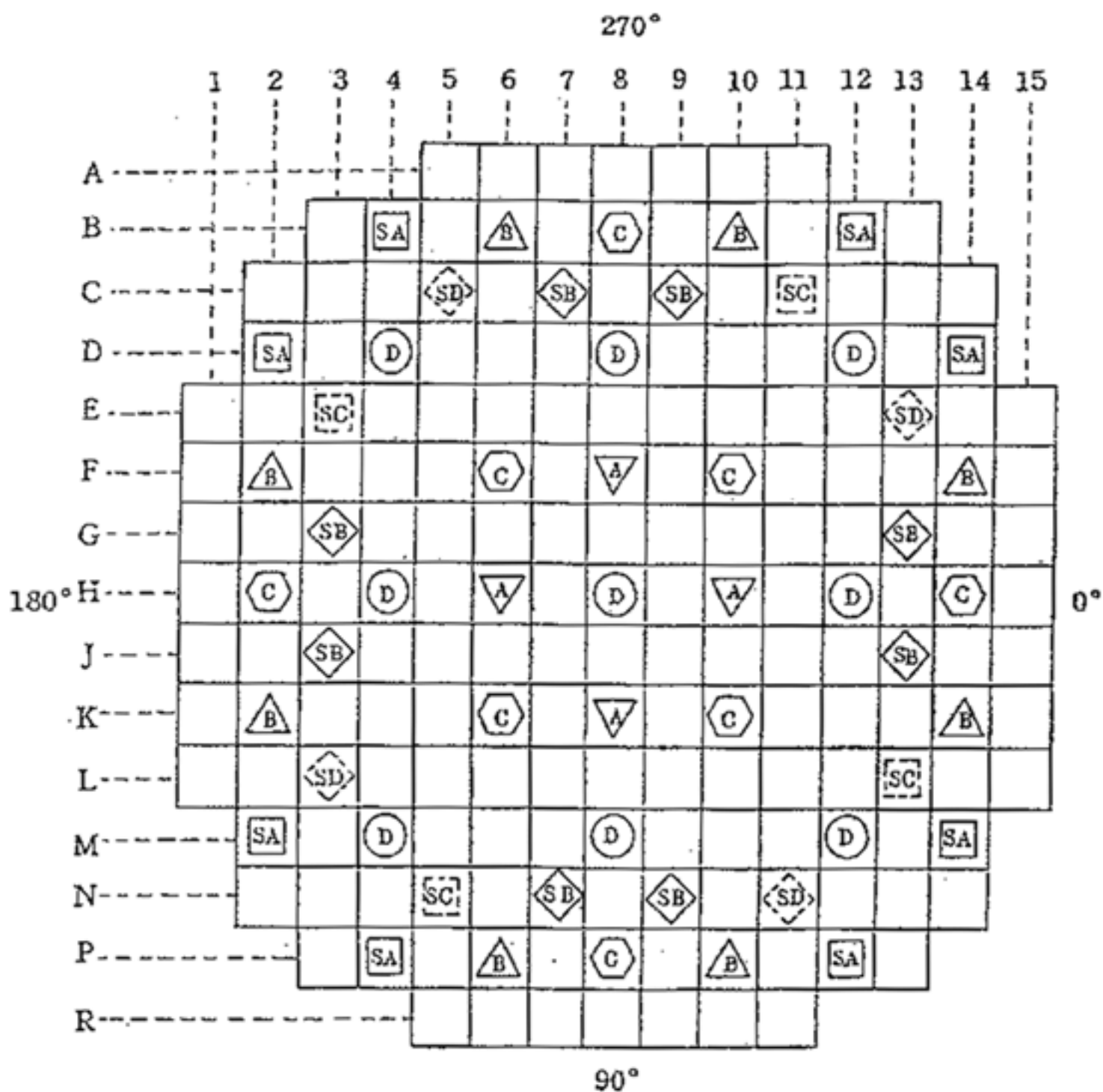
* 最近のプラントでは蒸気発生器水位低に統一



下記出典に追記作成した

図1 PRWの原子炉保護設備説明図(2トレイン構成の場合)

[出典](財)原子力安全研究協会(編):軽水炉発電所のあらまし(改訂第3版)、
p.178、(平成20年9月)

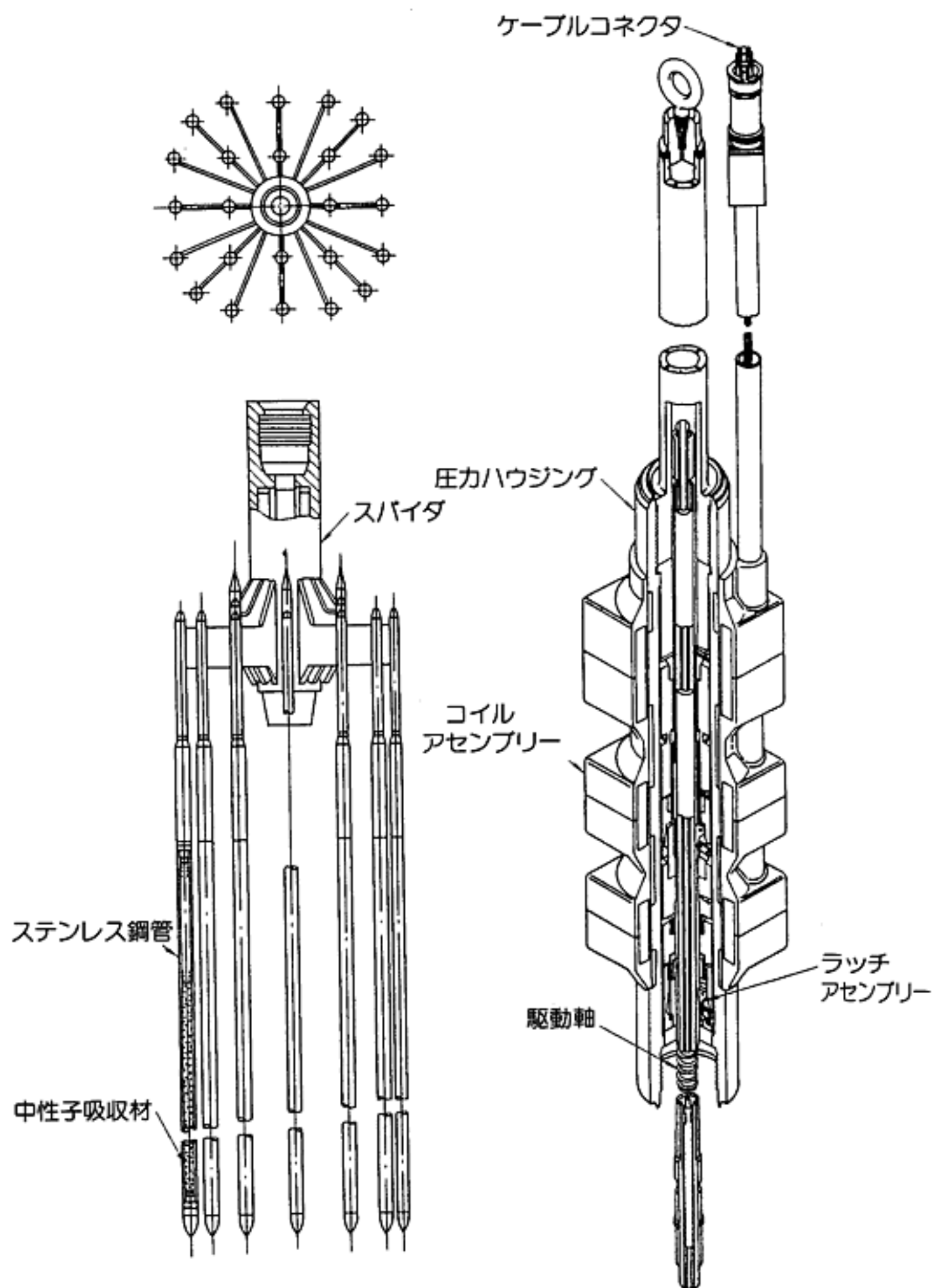


制御棒クラスタ本数

A	: 制御グループ・バンク A	4
B	: 制御グループ・バンク B	8
C	: 制御グループ・バンク C	8
D	: 制御グループ・バンク D	9
SA	: 停止グループ・バンク SA	8
SB	: 停止グループ・バンク SB	8
SC	: 停止グループ・バンク SC	4
SD	: 停止グループ・バンク SD	4

図2 PWRの制御棒クラスタ配置図

[出典](財)原子力安全研究協会(編):軽水炉発電所のあらまし(改訂第3版)、
p.150、(平成20年9月)



下記出典に追記作成した

図3 PWRの制御棒クラスタ構造図および
制御棒駆動装置構造図

[出典](財)原子力安全研究協会(編):軽水炉発電所のあらまし(改訂第3版)、
p.148,149(平成20年9月)