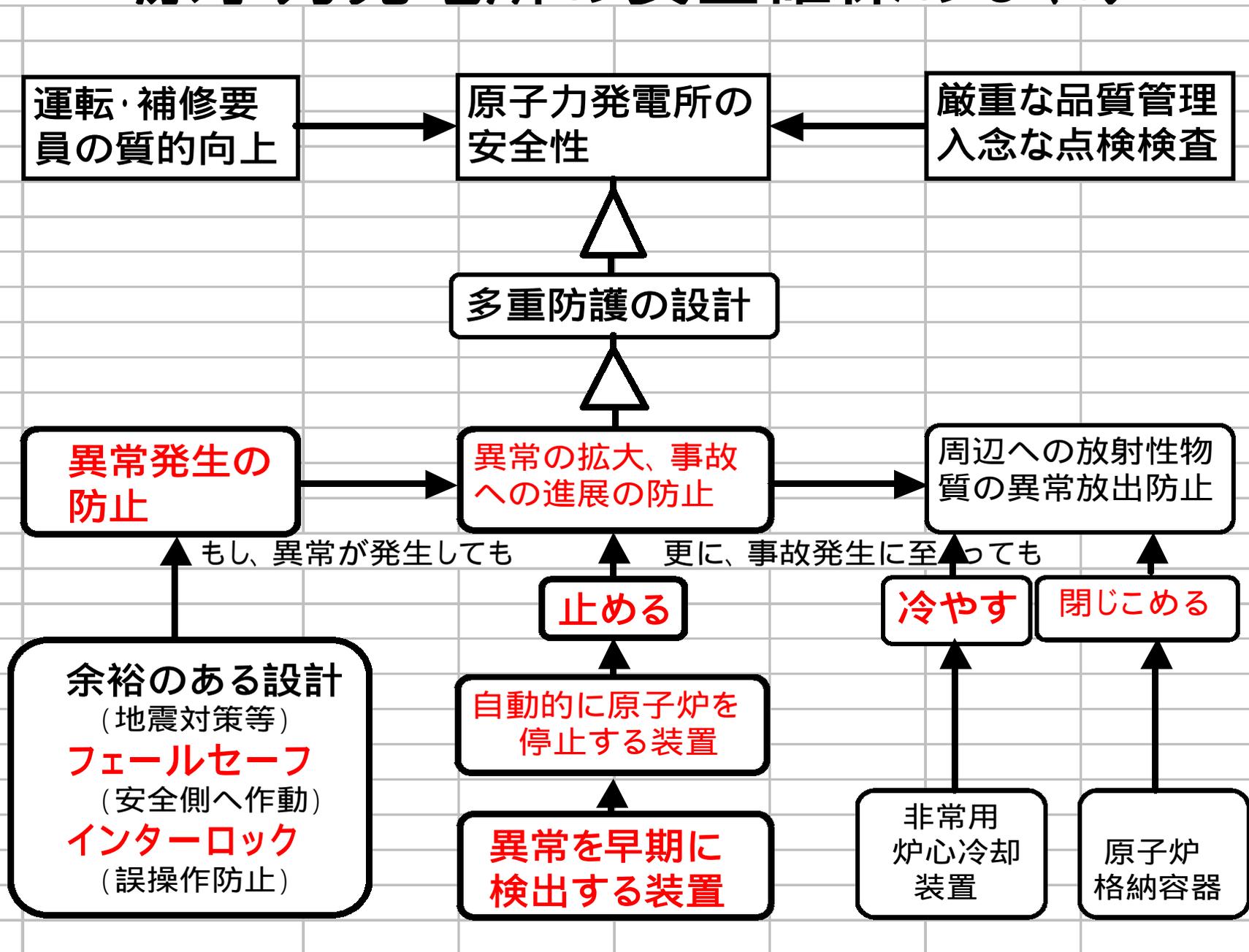


原子力発電所の安全確保のしくみ



安全のための設備・装置(設計)

1. 止める(原子炉停止:スクラムさせる)

原子炉固有の安全性による原子炉出力の減少

原子炉緊急停止(スクラム)系による原子炉停止

ほう酸水注入系(制御棒と同じ中性子吸収材を炉心に注入)

2. 冷やす(炉心の健全性維持)

非常用復水器(運転中タービン系と隔離した時の残熱除去)

非常用炉心冷却系(炉水位が一定以下に降下した時の冷却)

自動減圧系(炉心へ注水しやすくするため、炉圧を減圧する)

二回線以上の送電線への接続、非常用ディーゼル設備の設置

3. 閉じ込める(格納容器の健全性維持:過圧・過温防止)

非常用復水器(残留熱除去1F1)、残留熱除去系(1F2以降)、

格納容器スプレイ(注水)系、

用語の解説(1)

沸騰水型原子炉(BWR: Boiling Water Reactor)

原子炉建屋: 原子炉格納容器を含め、原子炉等を入れる建屋

原子炉格納容器: 異常時に原子炉及び付属装置から漏れる可能性のある放射性物質を外界に出さないために設けた気密性及び耐久性を持った容器

原子炉圧力容器: 原子炉の炉心及び一次冷却材等を入れる容器

原子炉・炉心: 核分裂を制御しつつ連続的に核反応を起させる装置

スクラム: 原子炉に負の反応度(核反応を減少させる)を加わえ、原子炉を急速に停止すること、具体的には、炉心に制御棒を緊急挿入し、原子核反応を停止させること。(タービントリップ(停止)、発電機トリップ(停止)等で原子炉の不安定を察知したら、原子炉も自動で止める)

インターロック: ある動作を実行中に他の動作(例: 電動機の正回転中に同時に逆回転命令による逆回転等)をさせないようにロックし機器・装置の保護を図る

原子力発電所の特徴(1:火力と比べて)

化学反応と原子核反応:火力発電所での重油の燃焼は核外電子の結合による化学反応であるが、原子力発電所では**原子核(陽子、中性子集合体)と中性子(n)の原子核反応である。**

データの桁数の差:**4桁程度(火力)と約11桁(原子力)**

放射線防護:放射線は計測器でのみ確認が可能

線:空気中で約10cm:紙(コピー用紙一枚)で遮蔽可能

線:アルミ板(約5mm($2\text{g}/\text{cm}^2$)一枚)で遮蔽可能

線:一般に透過力強:鉛(約10cm)やコンクリ(m)で遮蔽可能

n 線:核反応で発生する粒子、パラフィンや水(水素原子)での遮蔽が効果的(玉突きの玉の動きに類似)

安全側にこける:一旦ことあれば、**即停止(スクラム)**

その他:**飽和蒸気を使用($70\text{kg}/\text{cm}^2$)、蒸気ボリューム大**

原子炉(炉心:側面)

沸騰水型炉(BWR)

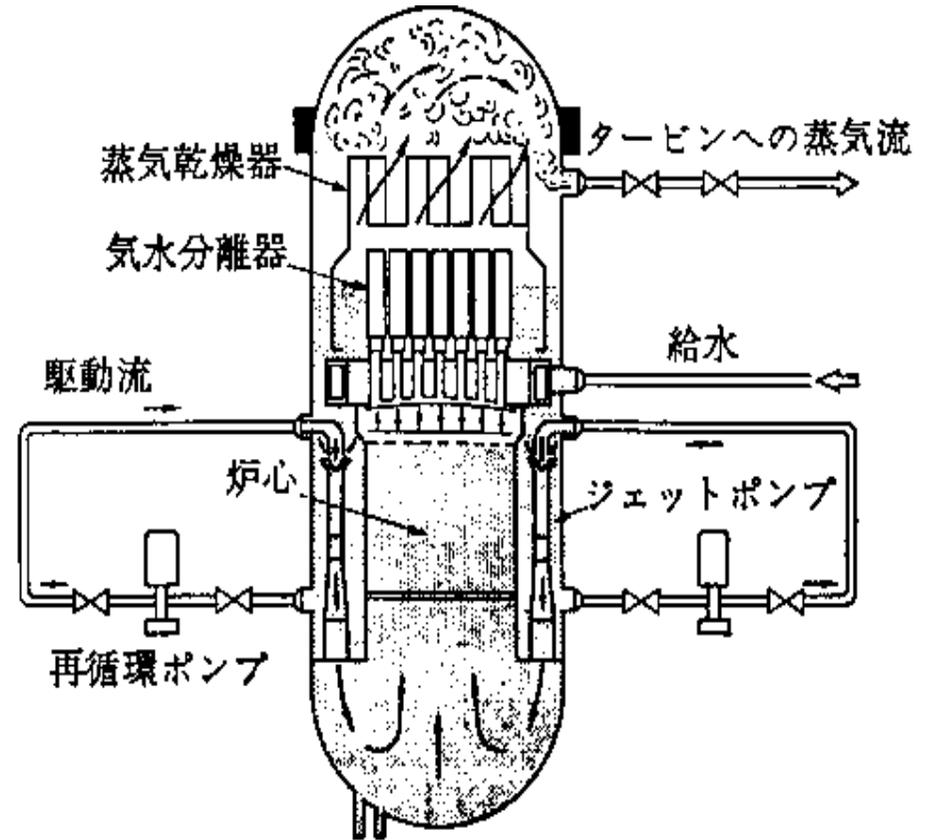
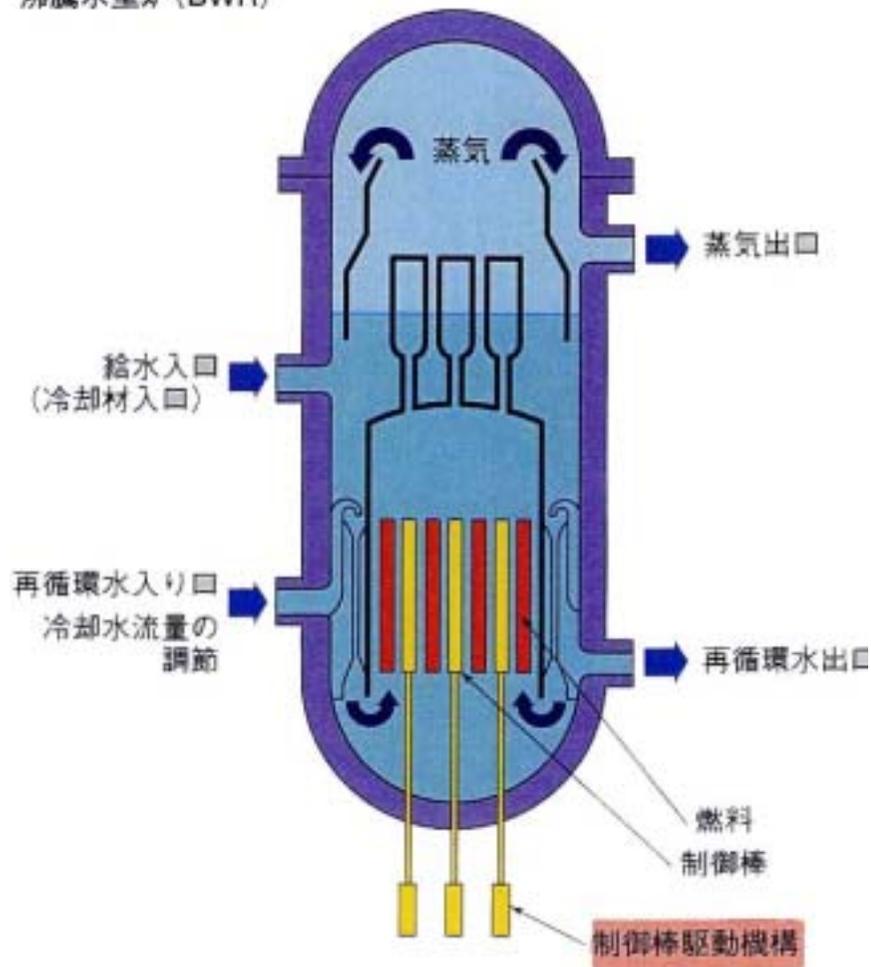
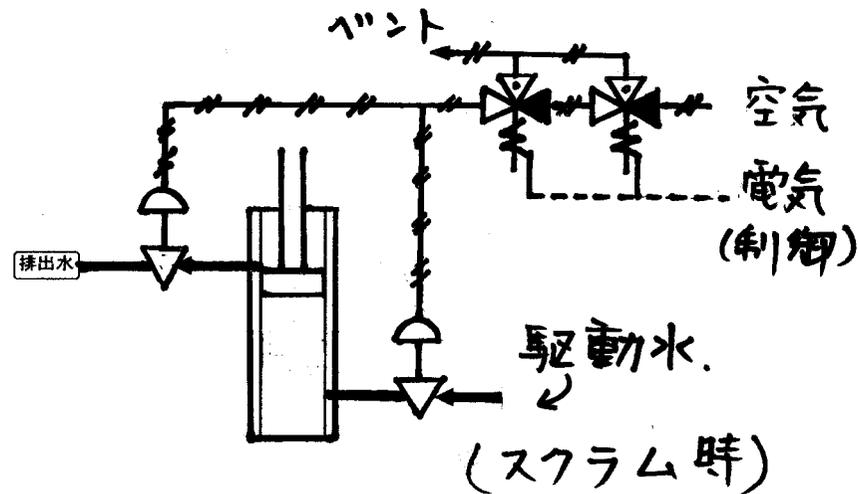
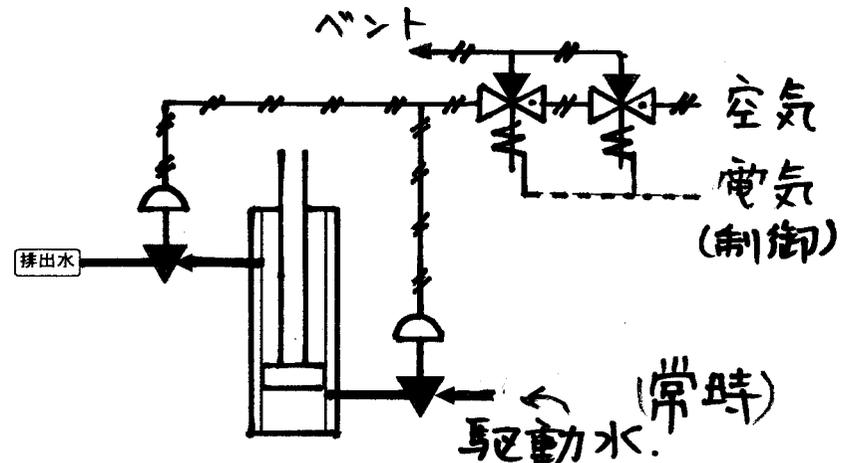


図 9・7 蒸気, 再循環水系統図

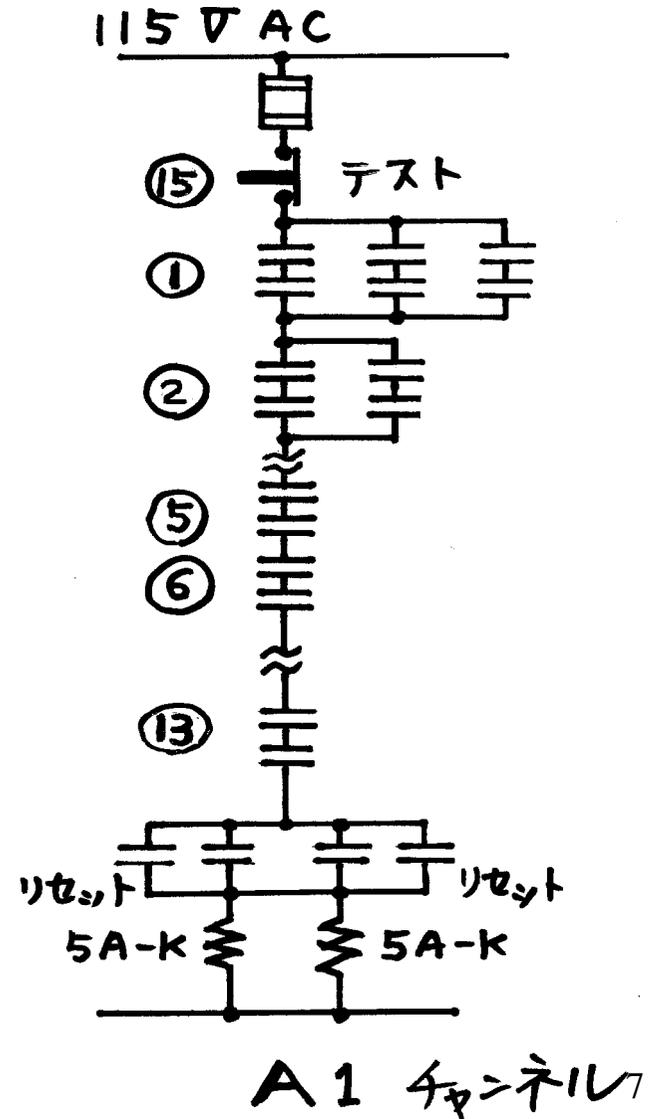
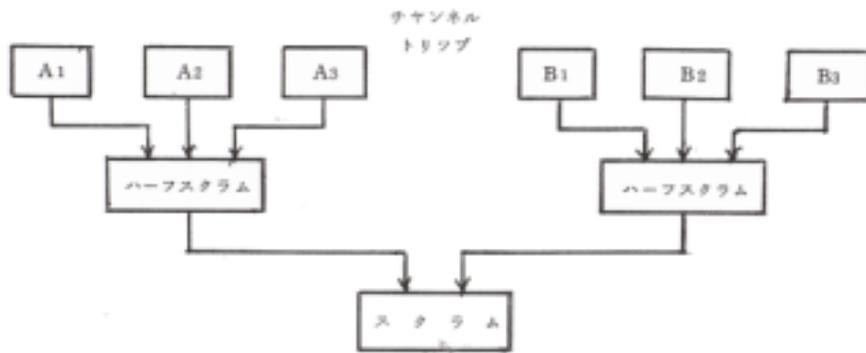
制御棒の電気系(2)

- 三方電磁弁、空気ライン、水圧ラインの組み合わせで、常にスクラムの待機態勢で互いに、せめぎ合いになっている。(待機中:上図)
- スクラム信号で電磁弁が切り替わる。(上・下図)
- このため制御用の圧縮空気が空気配管から外気に放出(ベント)され、待機中の高圧水が一気に制御棒を押し上げ、炉心に挿入する。(スクラム:下図)
- 原子炉の不安定に対し、「疑わしきは停止」とする。



原子炉スクラムシーケンス (基本思想1)

- 原子炉保護系は基本的に三重構造になっている。約17ヶのトリップリレーが直列に並ぶ直列回路が下図の如くA1、A2、A3となり、一つのスクラム信号(例:地震)が発生するとA1が働く(計器の故障の場合A1のみ動作)。A1、A2、A3の何れかの一列が動作するとハーフスクラムという。A系とB系が同時に動作してはじめて、フルスクラム(スクラム)になる。**
- 計測器は最低4ヶ(8接点)をもうけ、誤動作による不必要な炉の停止を防いでいる。また、接点溶着によりスクラムしない場合を避けるため、同一信号で2つの接点を直列に使用し、確実にスクラムさせている。**

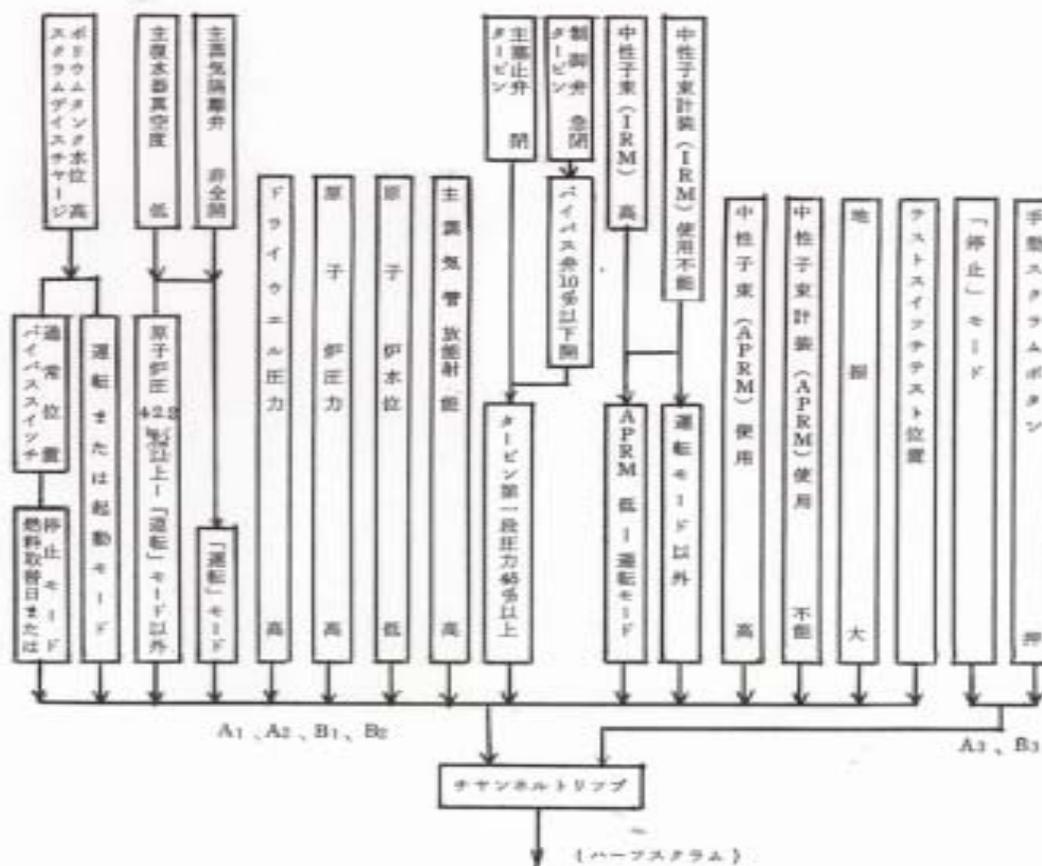


原子炉スクラムシーケンス (基本思想3)

- 原子炉スクラム用回路の接点は基本的にA接点で直列、一直線になっている。
常時励磁のため、接点のどの一つが開いてもスクラムコイルが無励磁になり、スクラム(炉を停止)する方向。

タービン主塞止弁閉 (90%以下)
タービン制御弁急速閉
ドライウエル圧力高 (2ポンド: 0.14k)
原子炉圧力高 (74.3k)
原子炉水位低 (+18cm)
主蒸気管放射能高 (BGの6倍)
主蒸気隔離弁閉 (90%以下)
主復水器真空低 (176mmHg)
中性子束高 (IRM: 各レンジの95%)
中性子束計装動作不能 (IRM)
中性子束高 (APRM: 120%)
中性子束計装動作不能
地震加速度大 (210Gal)
スクラムディスチャージVT水位高 (26gal)
テストスイッチ「テスト」位置
手動スクラム
モードスイッチ「停止」位置
駆動用水圧低 (制御棒の駆動用)
制御用空気圧低 (制御棒駆動水の制御)
制御用電源喪失 (信号伝達は電気)

図 9.8.1 スクラムブロッケータ回路図



フェールセーフ・安全側にこける(1)

1. 「機械は故障する、人間はミスをする」を前提に設計

装置の一部の故障等により、装置全体が正常に作動しない場合、必ず装置が安全側に作動するように配慮し、設計されている状態をいう。例えば、原子炉スクラム回路に電源喪失を含む何らかの故障が発生した場合、安全を確保するため、自動的に原子炉をスクラムすること。

2. フェールセーフ

機械(安全)設計の原則:

機器の故障が直接大きな事故や災害の原因になることを防ぐため、例えば圧力センサ - の故障は安全側(圧力が上昇しない側)に設計する。また、プレス機械は故障時にはスライドの下降が停止し、修理しないと運転が再開できないようにする。このように故障が原因で危険になることを防止しようとして機械の運転を停止させ、災害防止を図ることを Fail Safe という。

機械は故障することを前提に、故障で危険側障害とならないよう運転を停止させる。安全認識のためのセンサ - が故障したときは機械を安全側(停止)にするのが代表例である。

まとめ

起動試験 (T社1号原子炉・試運転初期) 時の感想

- ・ 原子炉は極めて止まり易い、営業になるか ！ ？

しかし、

営業運転になってみたら、止まらない・・・、しかし

その後、配管の応力腐食割れ等の多くの試練を経て

スクラム率「0.1回 / 炉年以下」で世界のトップレベル

近年(約7年)、日本の全ての原子力発電所平均で

80%以上(80~85%)の高稼働率

地球環境(地球温暖化物質の放出零)への配慮

エネルギー - セキュリティの問題(燃料再処理で準国産)

安全対策(止める、冷やす、閉じこめる)