

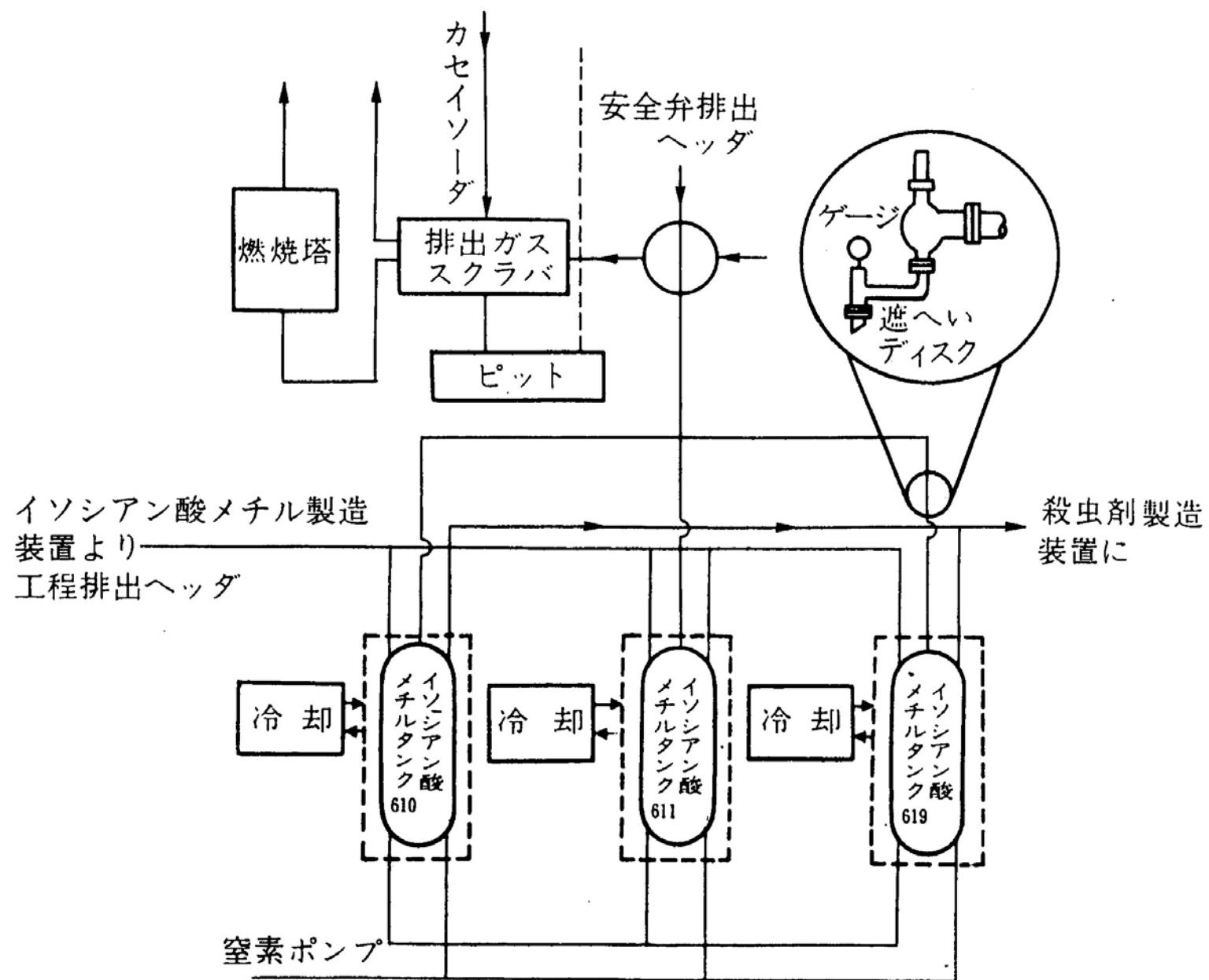
プロセス安全工学

第 8 回化学プラントと原子力プラント

ボパールとチェルノブイリ

ボパール事故（１９８４）

- Union Carbide社：インド・ボパール
 - ２５００人死亡、被災者２０万人
 - イソシアン酸メチル流出事故
 - 殺虫剤合成の中間物であるイソシアン酸メチルの貯蔵に失敗。
 - 中間体は通常高反応性



イソシアン酸メチル（M I C）

反応性、毒性、揮発性、可燃性
特に毒性が強い。

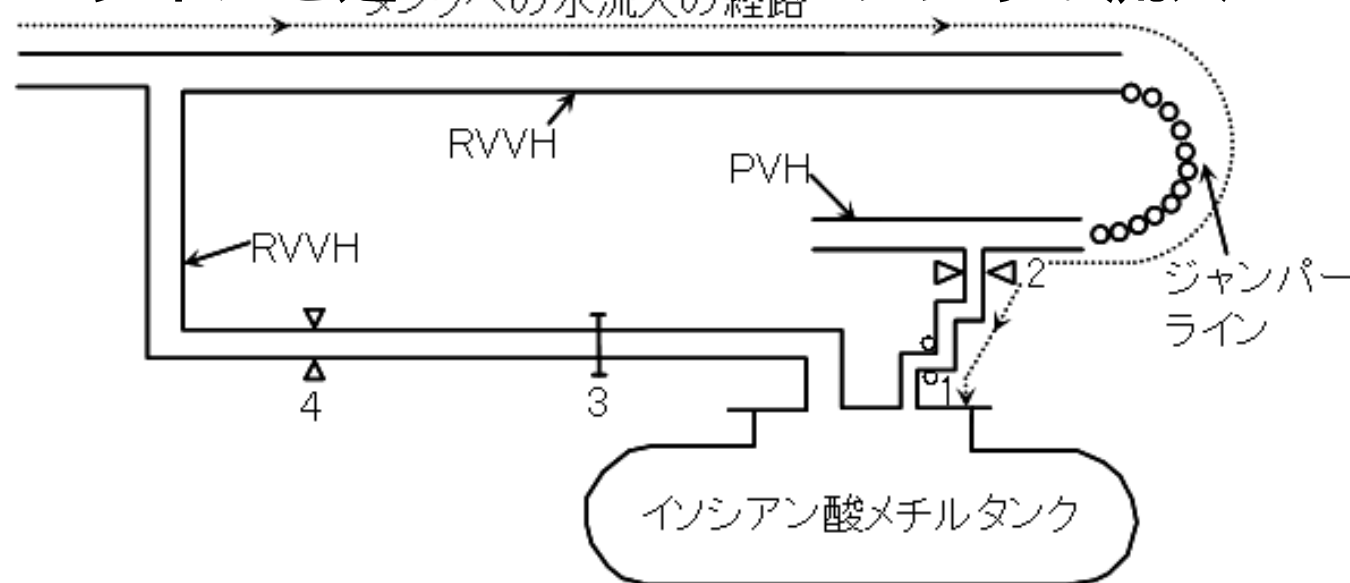
MICタンクに圧がかからなかった。

プラント監督者はパイプラインの洗浄を指示

パイプライン洗浄を実施

洗浄によりパイプラインに溜まっていた水が安全排出ヘッダへ流れた。

ジャンパーラインを通してMICタンクに水が流入



1:窒素排出バルブ, 2:PVH閉鎖バルブ, 3:破裂板,
4:安全弁, PVH:プロセスベントヘッダ, RVVH:安全弁排出ヘッダ

MICタンクへの水の流入経路

微量混入した水を除去するためにMICに添加しているホスゲンと水との反応で発生したHClが発生。

本来ステンレス製であるべきパイプが鉄製であったためにこの鉄パイプと反応しFeCl₃が発生。

これを触媒としてMICの重合反応を引き起こし、タンク内の圧力が上昇。

40 psiにセットされた安全弁が破損、排出ガスバルブを通して33 mの高さの煙突から大量のMICガスが放出された。

オペレータはガス漏洩の発見と同時に排出ガススクラバの運転を試みたが、スクラバには中和用アルカリが入っていなかった。

タンク内には55 tのMICがあったが、このほとんどすべてが12月3～4日にかけて漏出した。

ボパール工場は駅やバスターミナルに近接していたこともあり、多数の不法居住者が工場近くで生活していた。

非常を知らせるサイレンも午前 1 時までならず、工場周辺で眠っていた人々に被害が出始めた。

異常を察知した州政府当局が 1 時 1 5 分に工場に問い合わせたが、工場側は何も起こっていないと回答した。

1 2 月 4 日には死者は 1100 名を超え、約 12000 人が病院に押しかけパニックになった。

UC は漏洩ガスの性質、暴露した場合の処置について、いっさいの情報を与えなかった。

UC の発表は漏出物質は MIC だけであったが、実際は医師からの指摘でシアン化水素も漏洩していた。

(1)MICプラントからのガスの漏洩で被害が出始めたとき、警察に適切な情報を提供できなかった。

(2)ガス漏洩が始まっていたにもかかわらず、警報サイレンを鳴らさなかった。鳴らされたサイレンはすぐに止められてしまった。ほとんどすべてのガスが漏洩し、安全バルブがリセットされた後になって再びサイレンは鳴らされた。

(3)オペレーターはMICタンクの圧力上昇が異常事態の発生の為に起こっているとは考えなかった。

(4)圧力上昇時に圧力を降下させる目的で一つの空のタンクが設置されていたが、オペレーターはこのタンクのバルブを開放しなかった。

(5)ガスが漏洩した際、オペレーターはこれを重大視しなかった。

(6)プラントで働いていた人々は漏洩が始まったとき、ただちに責任者に知らせなかった。漏洩の重大さを理解できる者は誰もいなかった。

(7)MICの大量貯蔵は旧西ドイツおよびオランダ等で許可されていない。他国の状況を的確に判断していなかった。

代替法

α -ナフトール

ホスゲン

メチルアミン

MIC経由せず

Bhopal

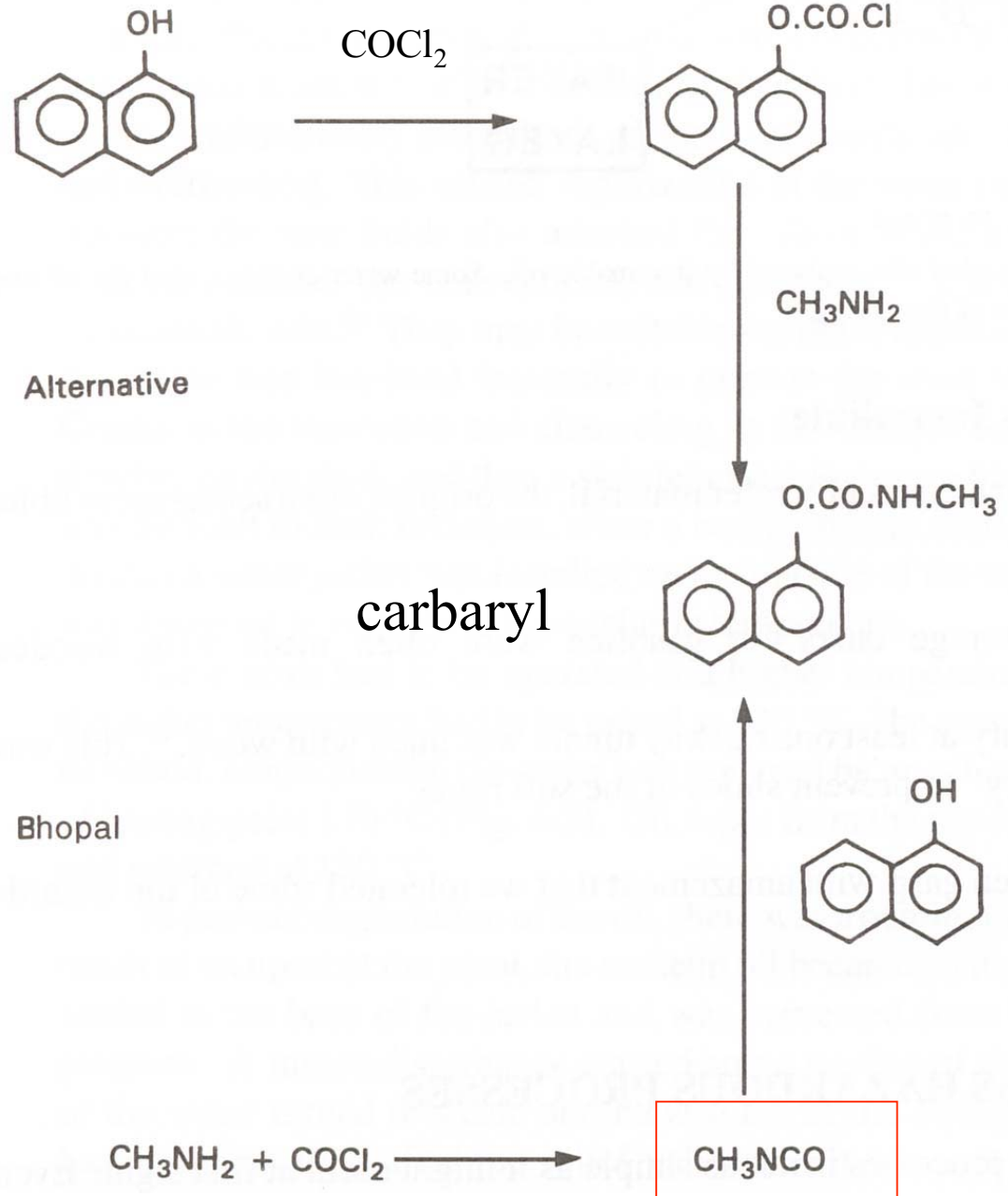
メチルアミン

ホスゲン

α -ナフトール

ル

MIC経由



殺虫剤合成の中間物であるイソシアン酸
メチルの貯蔵に失敗。

中間体は通常高反応性

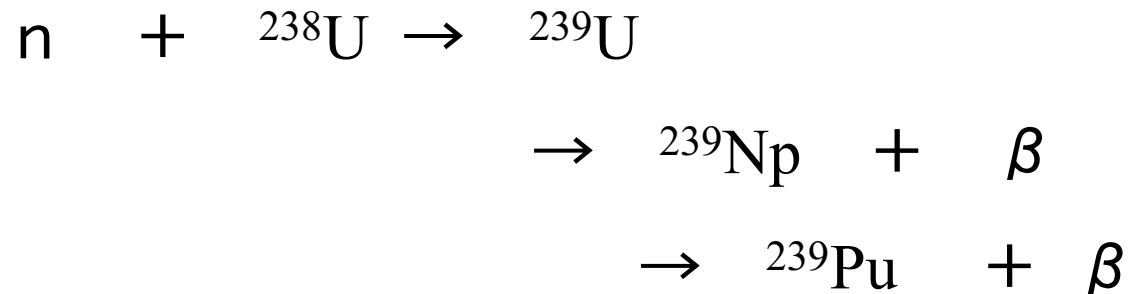
(教訓)

原子炉の中で起こる反応

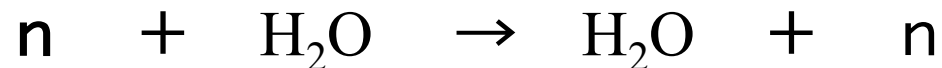
核分裂反応(エネルギーの生成)



中性子の吸収(プルトニウムの生成)

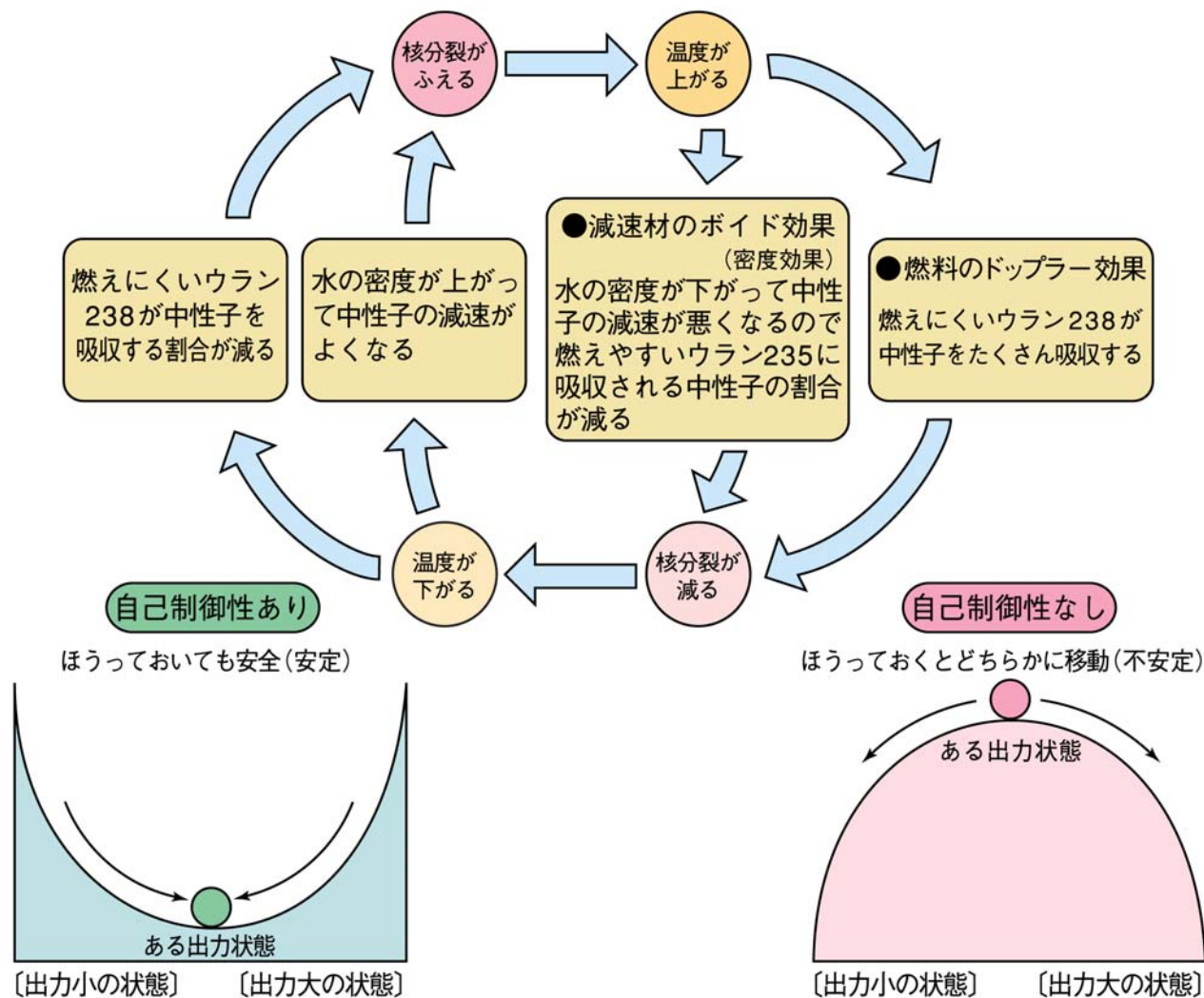


中性子の減速 (高速中性子から熱中性子へ)

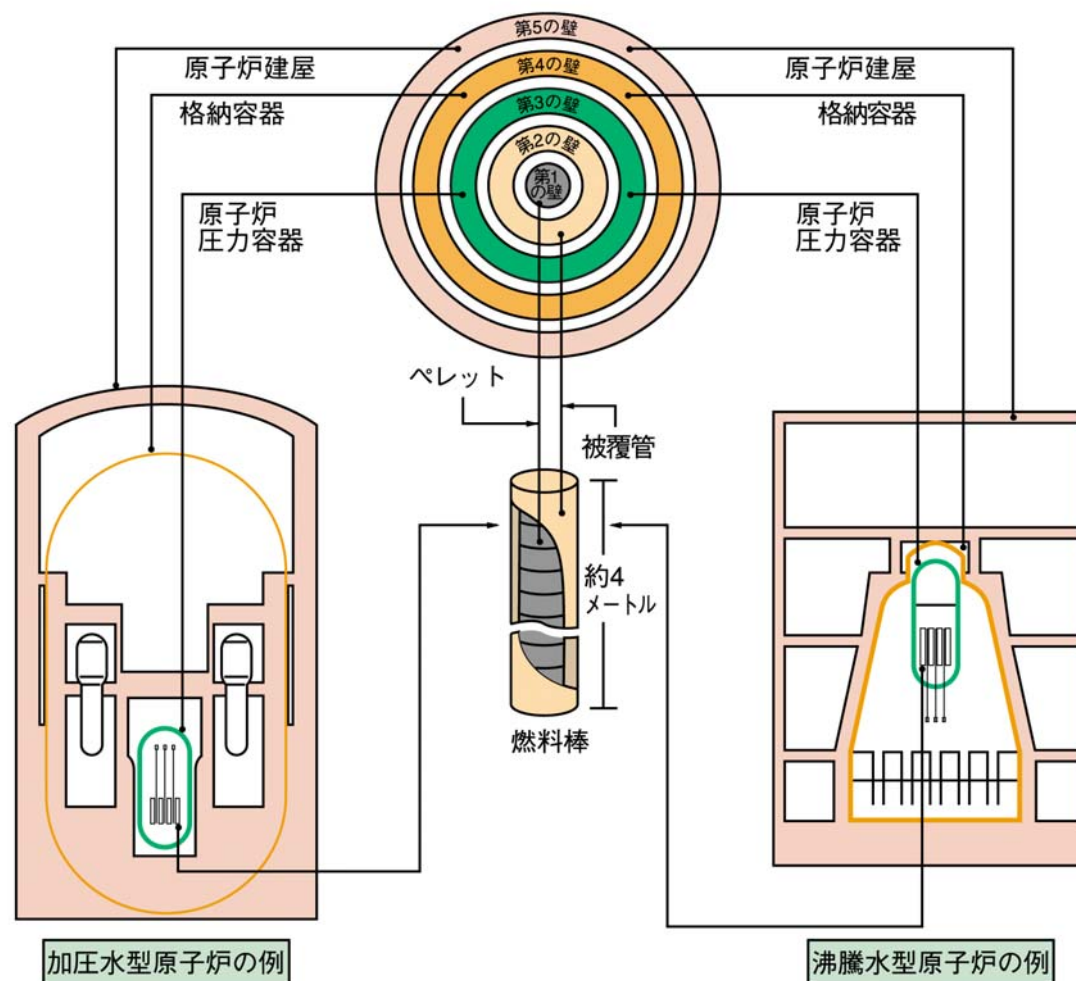


制御パラメータ：nの密度と温度(反応速度)

原子炉の固有の安全性(自己制御性)



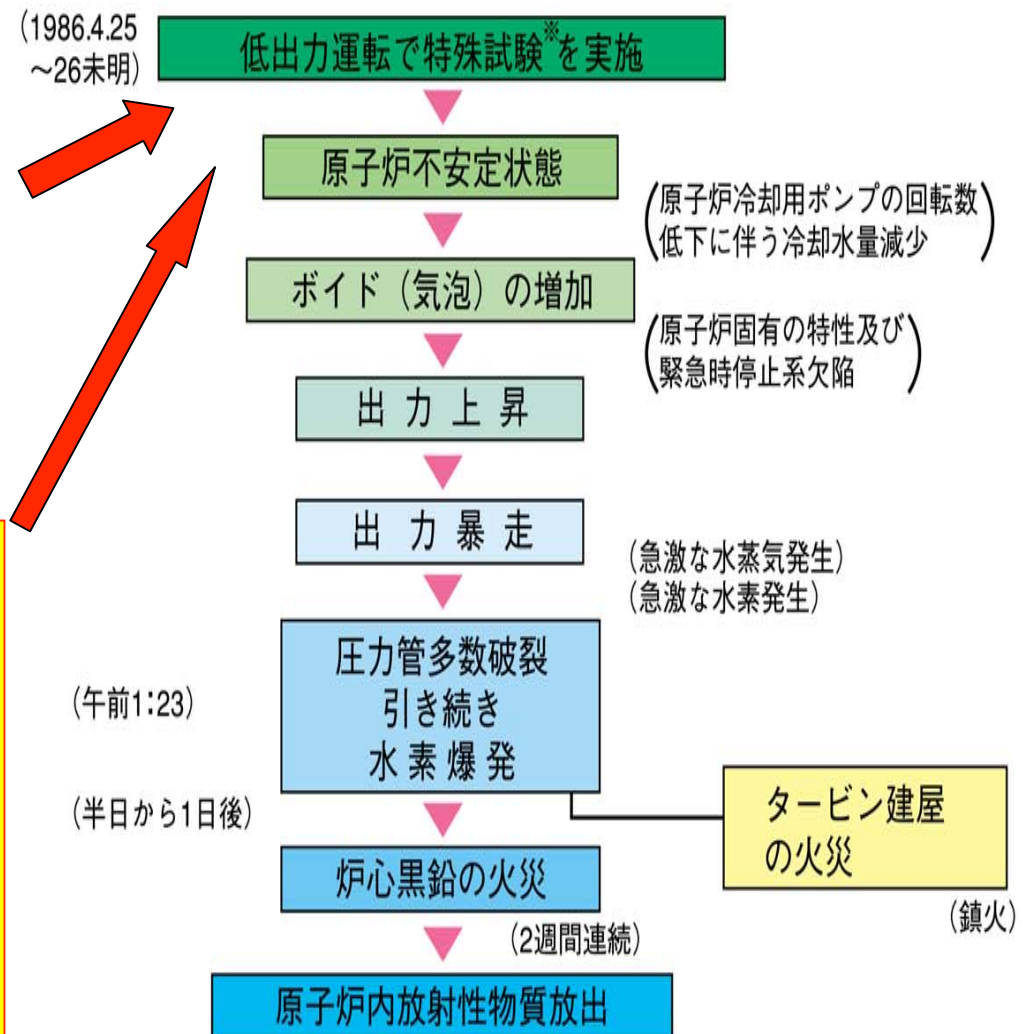
放射能を閉じ込める5重の壁



1. 熱出力320万→160万 kW
2. タービン1基を解列
3. ECCS待機状態を解除
4. 電力供給指令で9時間運転
5. 試験開始(3万に出力低下)
6. 手動で制御棒引き抜き
7. 20万まで上昇
8. 各ループに循環ポンプ起動

9. 気水分離機圧力低下
10. 低温水が炉心流入
11. 出力低下
12. 制御棒引き抜き
13. 気水分離機水位上昇
14. 給水流量を急速に絞る。
15. 20万kWで試験開始

チェルノブイリ原子力発電所事故の経過



※外部からの電力の供給を停止した時に、タービン発電機の慣性回転エネルギーを電気出力としてどこまで利用できるか確認するための特殊な試験

チェルノブイリ事故の原因

セーフティーカルチャーの欠如

設計上の問題点

- 格納容器がない
- 安全装置が簡単に切れる設計
- 低出力時に、冷却水中のボイド（気泡）が増えると出力が上昇するという特性（正のボイド係数）など

運転員の規則違反

- 制御棒の規定以上の引き抜き
 - 非常用炉心冷却装置 (ECSS) を切って運転を実施
 - 計画を下回る低出力での特殊試験
- 〔低出力領域（全出力の20%以下）では不安定なため連続運転は禁止されていた〕など

運転管理上の問題

- 原子炉の専門家でないものが指揮
- 正規の手続や発電所全体の合意なしに特殊試験を実施
- 安全対策の検討が不十分など

美浜発電所2号機(関西電力)事故の概要

○事故の主な経緯

蒸気発生器の伝熱管1本が破断したことにより、1次冷却水が2次系に漏出したため、原子炉が自動停止し、引き続き非常用炉心冷却装置が自動的に作動した。

1991年2月9日

13時40分：復水器抽出器ガスモニタの警報発信

13時47分：原子炉を停止すべく出力降下を開始

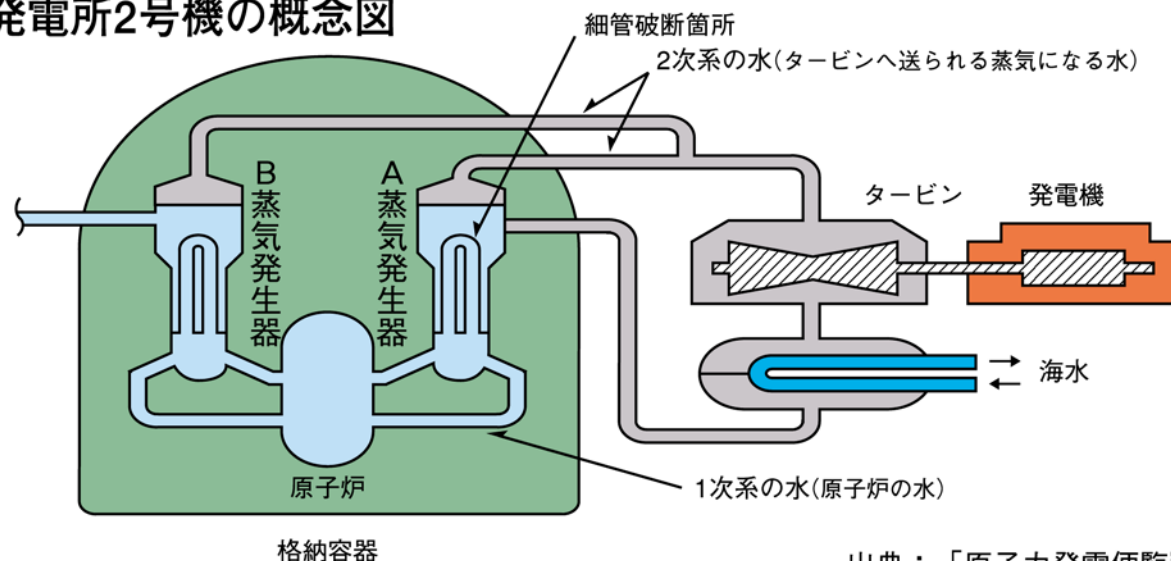
13時50分：原子炉自動停止。(7秒後) 非常用炉心冷却装置 (E C C S) 自動作動

14時48分：一次冷却系の減圧操作完了。二次側への漏洩停止

○環境への影響

外部に放出された放射能の量のごくわずかで、環境への影響はなかった。

○美浜発電所2号機の概念図



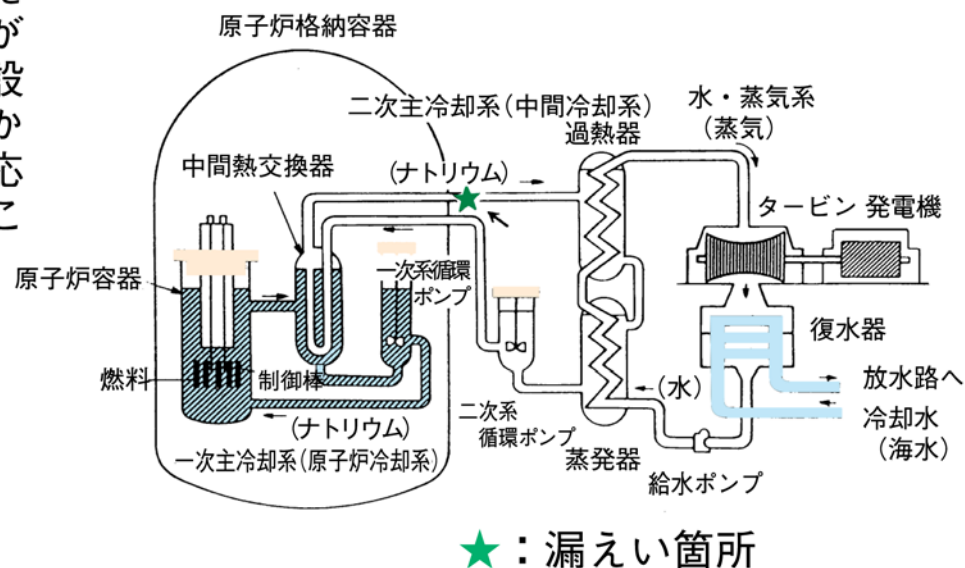
出典：「原子力発電便覧'97年版」他

高速増殖原型炉もんじゅのナトリウム漏えい事故

○事故の主な経緯

1995年12月8日、試運転中に、原子炉出力の上昇操作をしていたところ、ナトリウム漏えい事故が発生した。調査の結果、配管に設置してあったナトリウム温度計から漏えいし、空気中の酸素と反応してナトリウム火災を起こしたことが分かった。

高速増殖原形炉「もんじゅ」の概略図

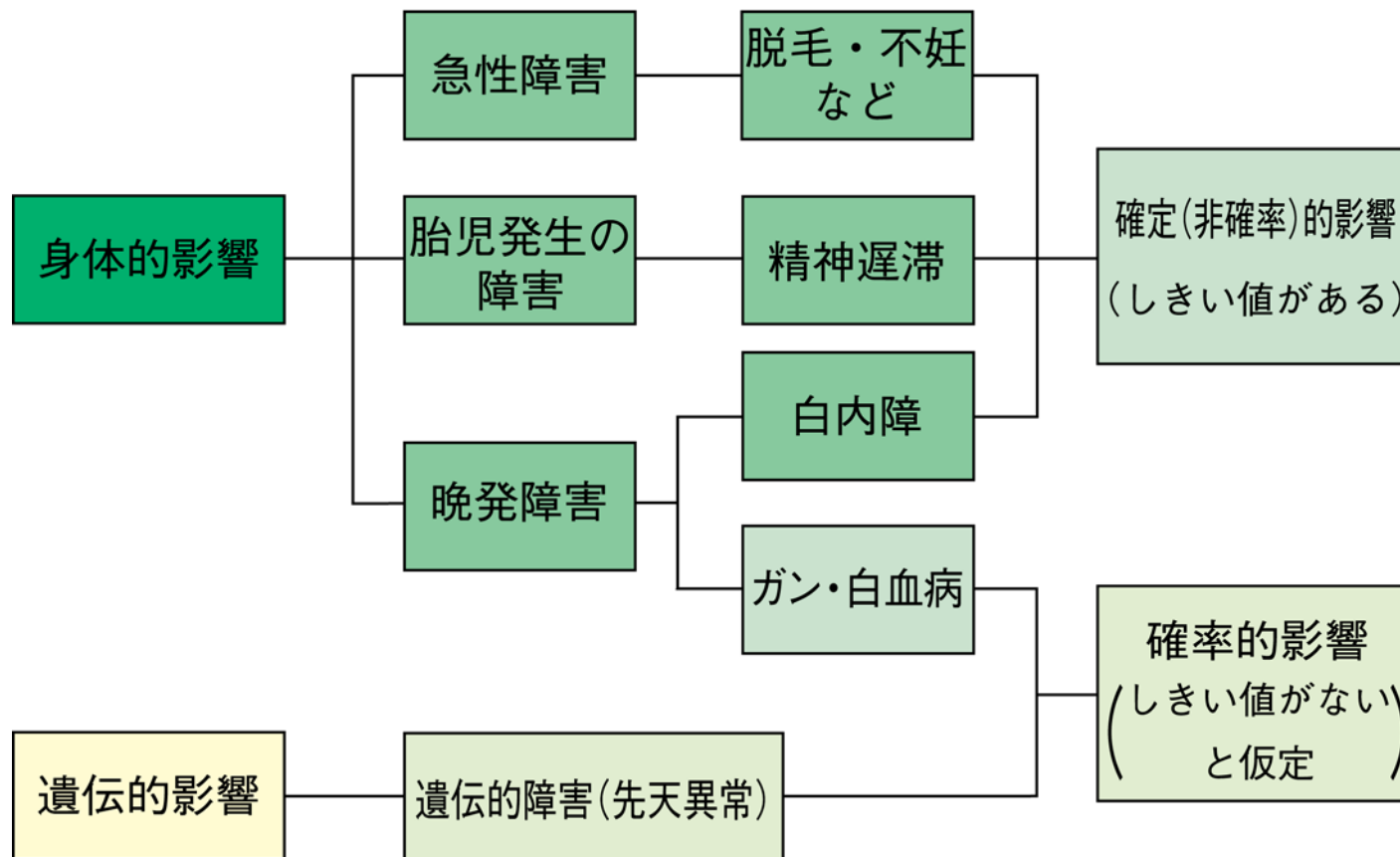


○事故の影響

2次主冷却系の事故であり、周辺公衆及び従事者への放射性物質による影響はなかった。また、原子炉は安全に停止し、炉心への影響もなかった。

しかし、現実にはナトリウム漏えいが生じ、ナトリウム火災の影響を拡大させ、また、旧動燃の情報公開等情報流通に問題があったことも明らかとなり、地元の住民をはじめ多くの国民に不安感及び不信感を与える結果となった。

放射線の人体への影響



(注) しきい値…ある作用が反応を引き起こすか起こさないかの境の値のこと

東電問題の概要

- 不適切な点が認められたもの

- 全16件

- (例) 福島第一

- 平成5、7、8年の自主点検で、ひびなどを発見したが、報告書にはこれについての記載がない。

- その他

- ドライヤ、ジェットポンプ等におけるひび、及びその徴候を確認したにもかかわらず、報告書に記載しなかった

原子力発電所の定期検査等の概要

- 定期検査と自主検査

	検査実施者	検査要領書	安全重要度
定期検査	国(立会い)	国制定	高い
	国(記録確認)	国制定	高い
	国(事業者の 点検結果確認)	事業者制定	低い
自主検査	事業者	事業者制定	低い

自主検査におけるトラブル報告

- 自主検査(点検を含む)中にトラブルが確認された場合、以下に基づく報告対象事象に該当するか否かの判断を行う。
 - 炉規制法に基づく報告
 - 原子炉運転に支障を及ぼす故障があった時
 - 電気事業法に基づく報告
 - 機能を著しく低下、喪失する損傷、破壊があった時
 - 大臣通達に基づく報告（法律に加えて）
 - 運転上その他工事、維持及び運用に係る軽微な故障
- 判断基準

原子力発電所の技術基準

- ・ 要求される基準

- (1) 原子力発電所建設時の合格基準

- (2) 運転開始後に維持すべき基準

- ・ 現在の法令上の仕組み

- (1)、(2) が同じ基準

⇒原子炉の運転を継続するためには、当初の運転開始に満足していた技術基準を運転中もずっと維持する必要がある。

課題

（１）化学プラントと原子力プラントの安全確保について、類似点と相違点などについて考えなさい。

（２）事故原因の究明が必要な理由について考えなさい。