

プロセス安全工学

第 6 回原子力の安全（１）

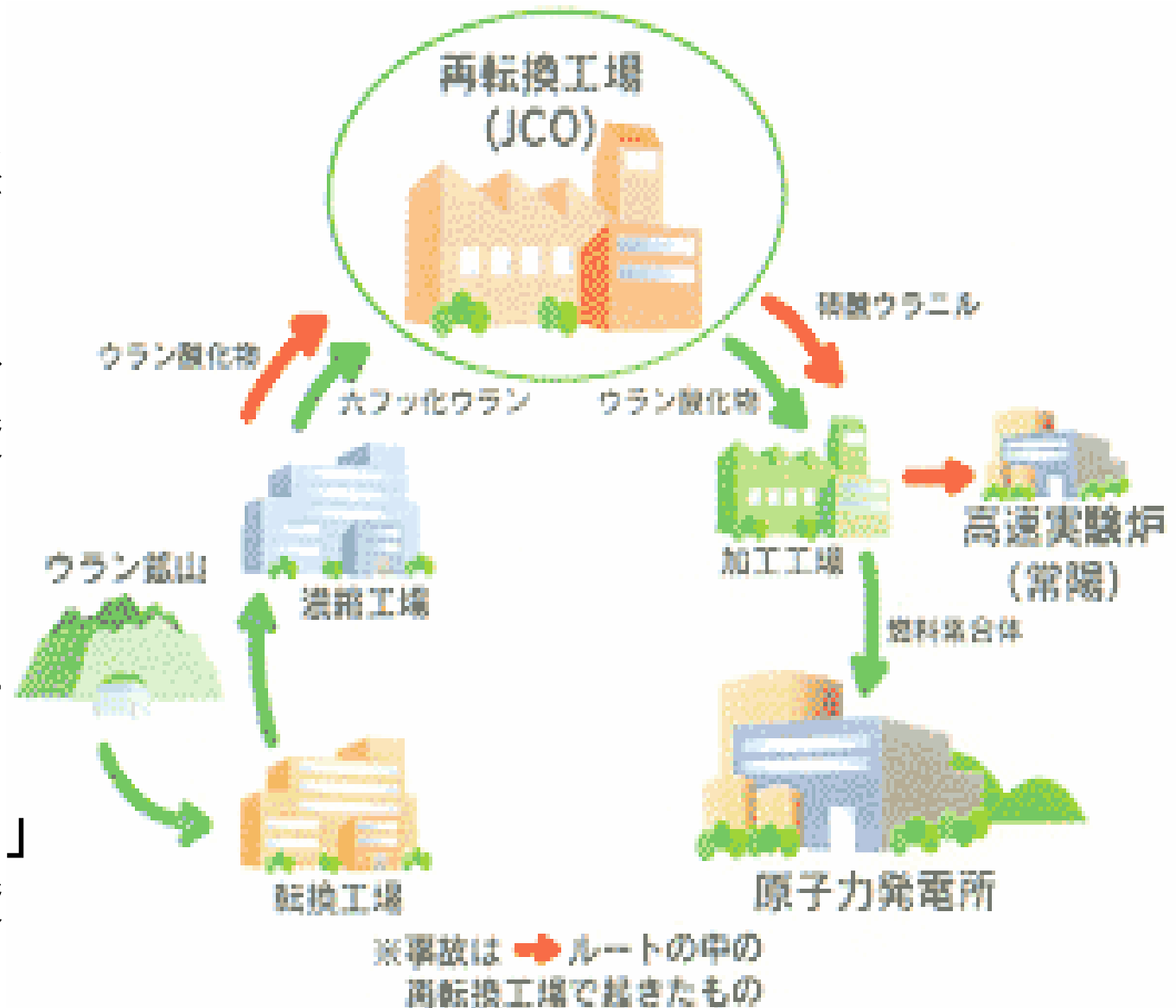
多重防護

フェイルセーフ

インターロック

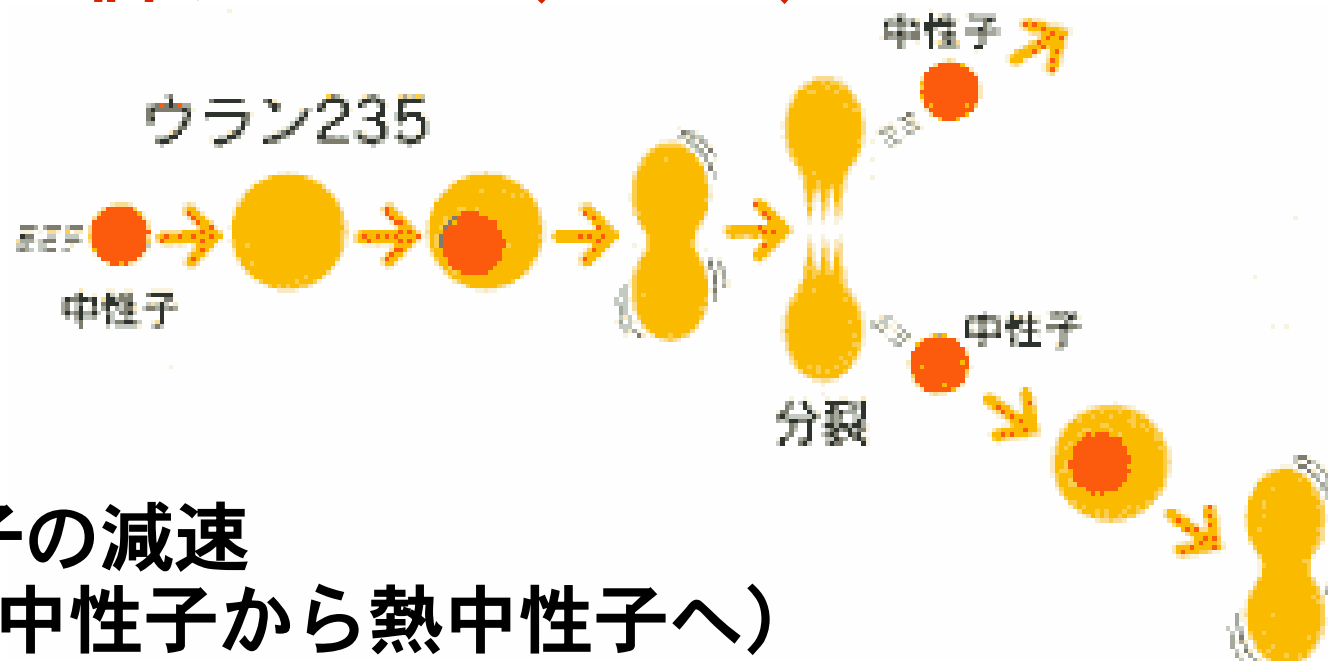
ＪＣＯウラン再転換工場の2つの作業が行われていた。

- (1) 原子力発電所
（軽水炉）の燃料を作るため、
気体の「六フッ化ウラン」を粉末の「ウラン酸化物」にする。
- (2) 高速実験炉「常陽」の燃料を作るため、粉末の「ウラン酸化物」を液体の「硝酸ウラニル」にする。

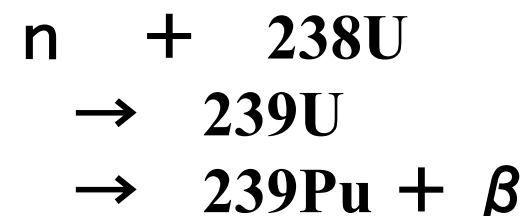


臨界 (1) 核分裂反応

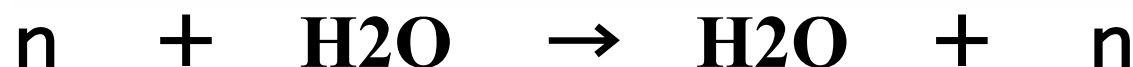
核分裂反応(エネルギーの生成)



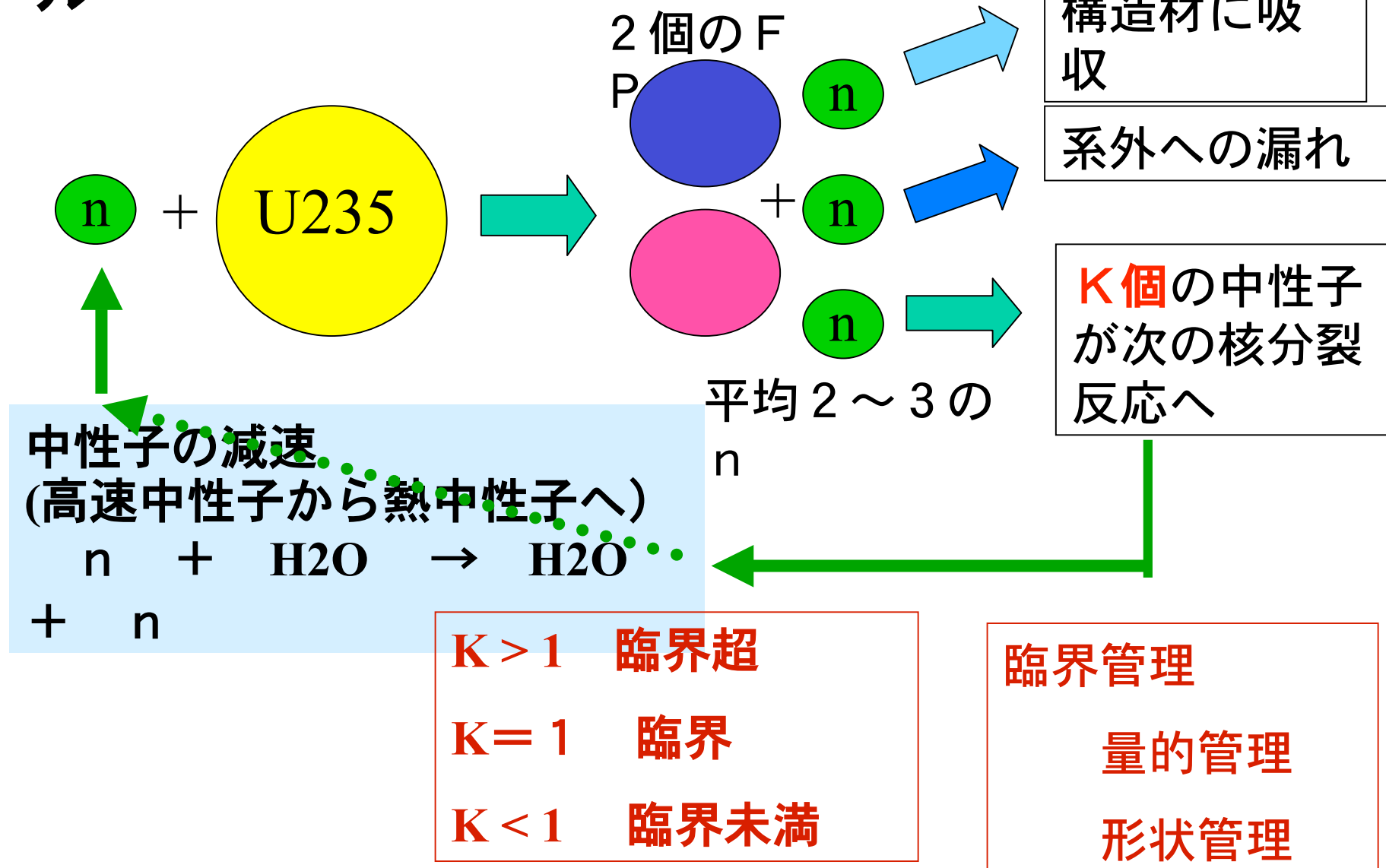
中性子の吸収
(プルトニウムの生成)



中性子の減速
(高速中性子から熱中性子へ)

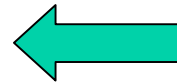


臨界 (2)核分裂と中性子サイクル

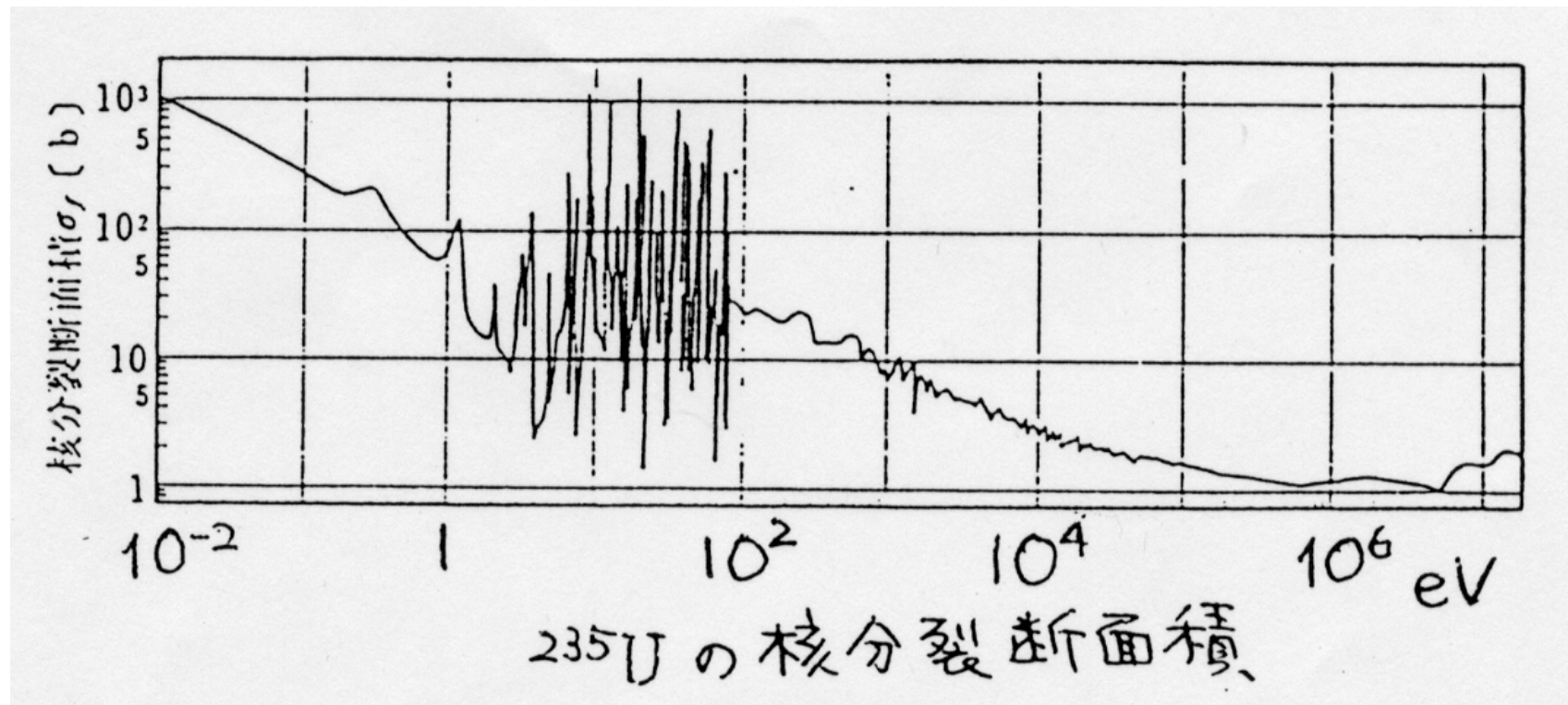


臨界 (3)減速材の効果

熱中性子 : 0.05 eV



高速中性子 : 200 MeV



減速材 : 軽水、重水、グラファイトなど

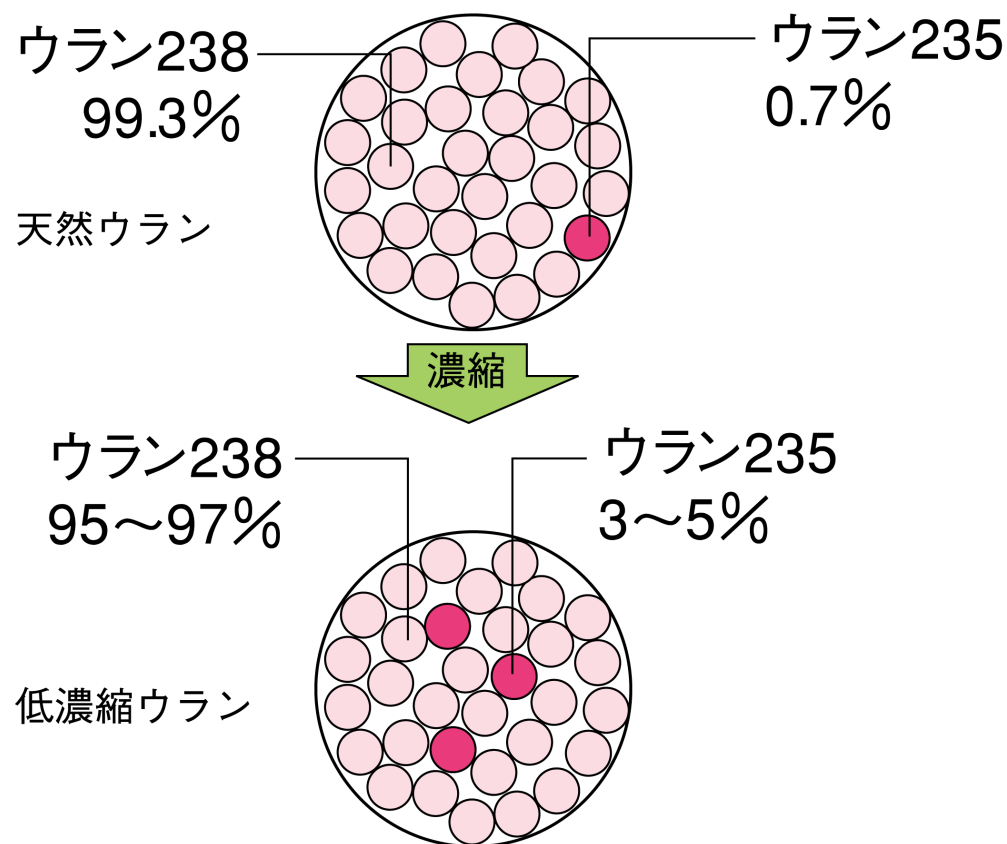
JCO「臨界事故」は，高速実験炉「常陽」の燃料を2年ぶりに作るため，濃縮度の高い「ウラン酸化物」の粉末を，液体の「硝酸ウラニル」にするという(2)の作業をしている時に起きた。

・ウラン燃料の濃縮度

原子力発電所
(軽水炉) :
約3～4%

高速実験炉
(常 陽) :
約20%

天然ウランと濃縮ウラン



許可を受けた作業工程



2. 事故の原因

(1) 許可を受けた作業工程に対する違反

国から許可を受けた作業工程では、右のような溶解塔に「ウラン酸化物粉末」と「硝酸」を入れて溶かし、貯塔から「硝酸ウラニル」を取り出す。

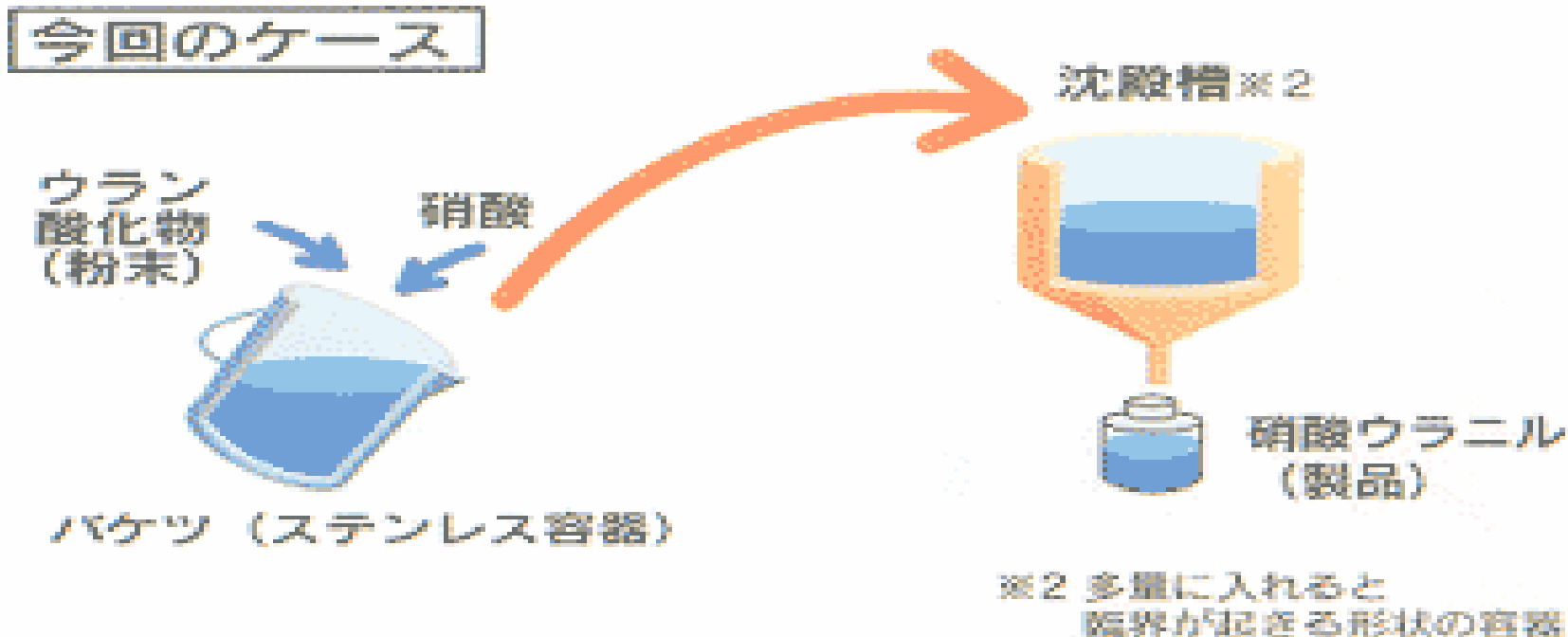
しかし、バケツ（ステンレス容器）に「ウラン酸化物粉末」と「硝酸」を入れて混ぜ、手作業で沈殿槽に数回にわたって投入していた。

(2) ウラン投入量の誤り

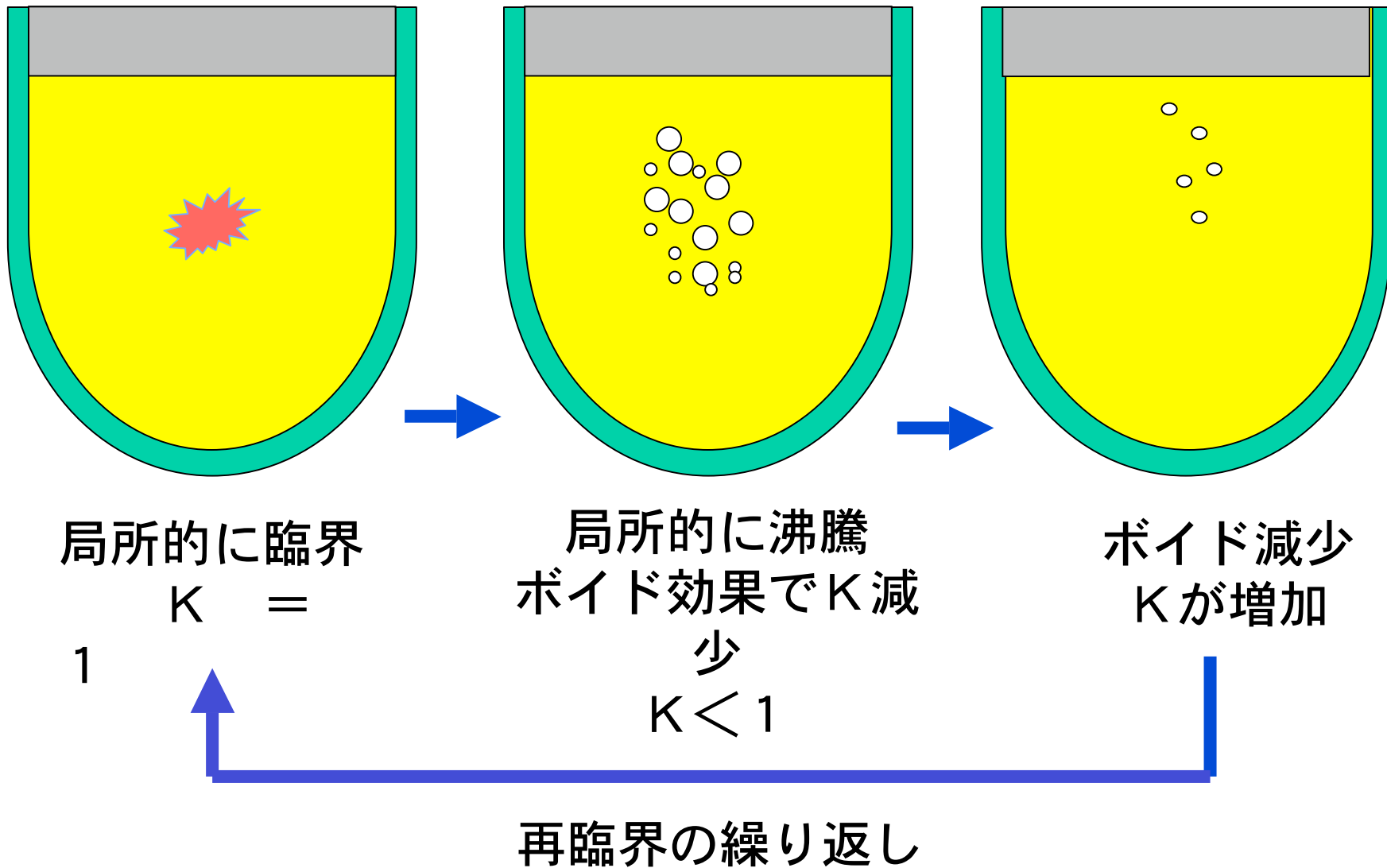
沈殿槽に投入するウランの量は、2.4kgの制限。
その制限量以上(約16kg)に投入してし、「臨界」に達した。

(3) 作業員の臨界防止策への理解の不足

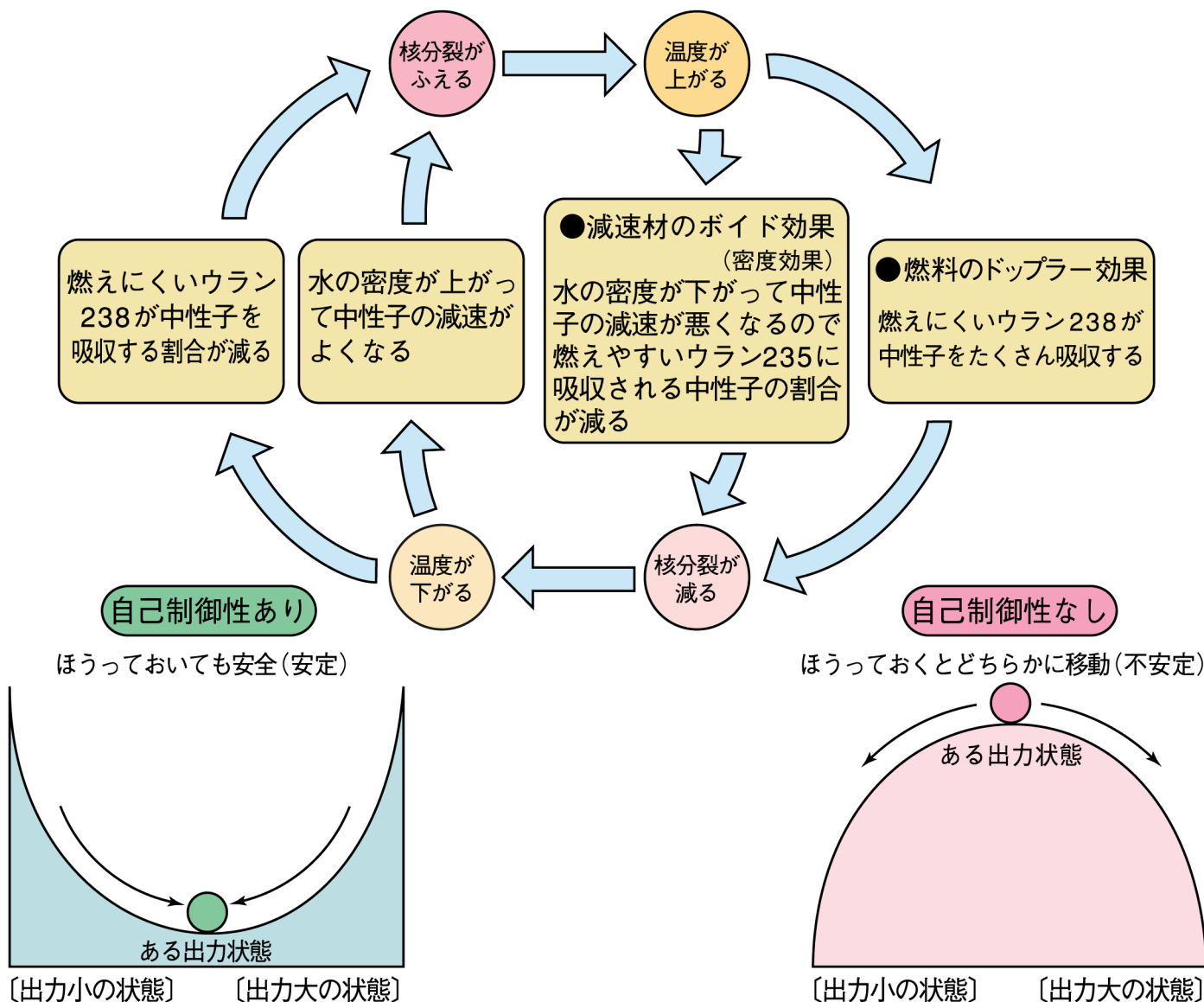
作業員は、原子力発電所用燃料の製造については、10年以上の経験があったが、高速実験炉用の燃料の製造については、3人とも初めての作業で「臨界」に対する知識不足があった。



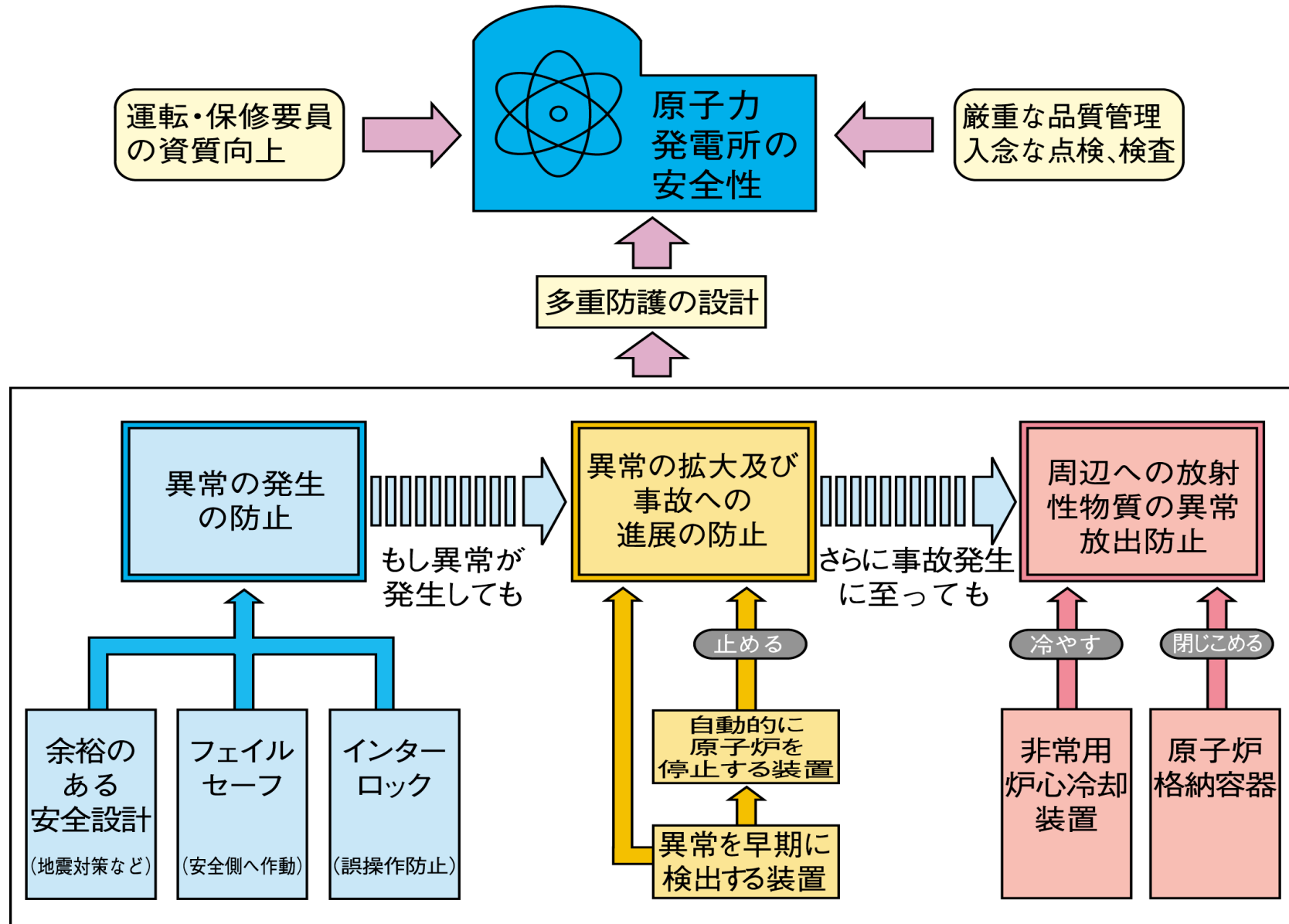
臨界が起きてはいけな所で臨界が起こった。



原子炉の固有の安全性(自己制御性)



安全確保のしくみ



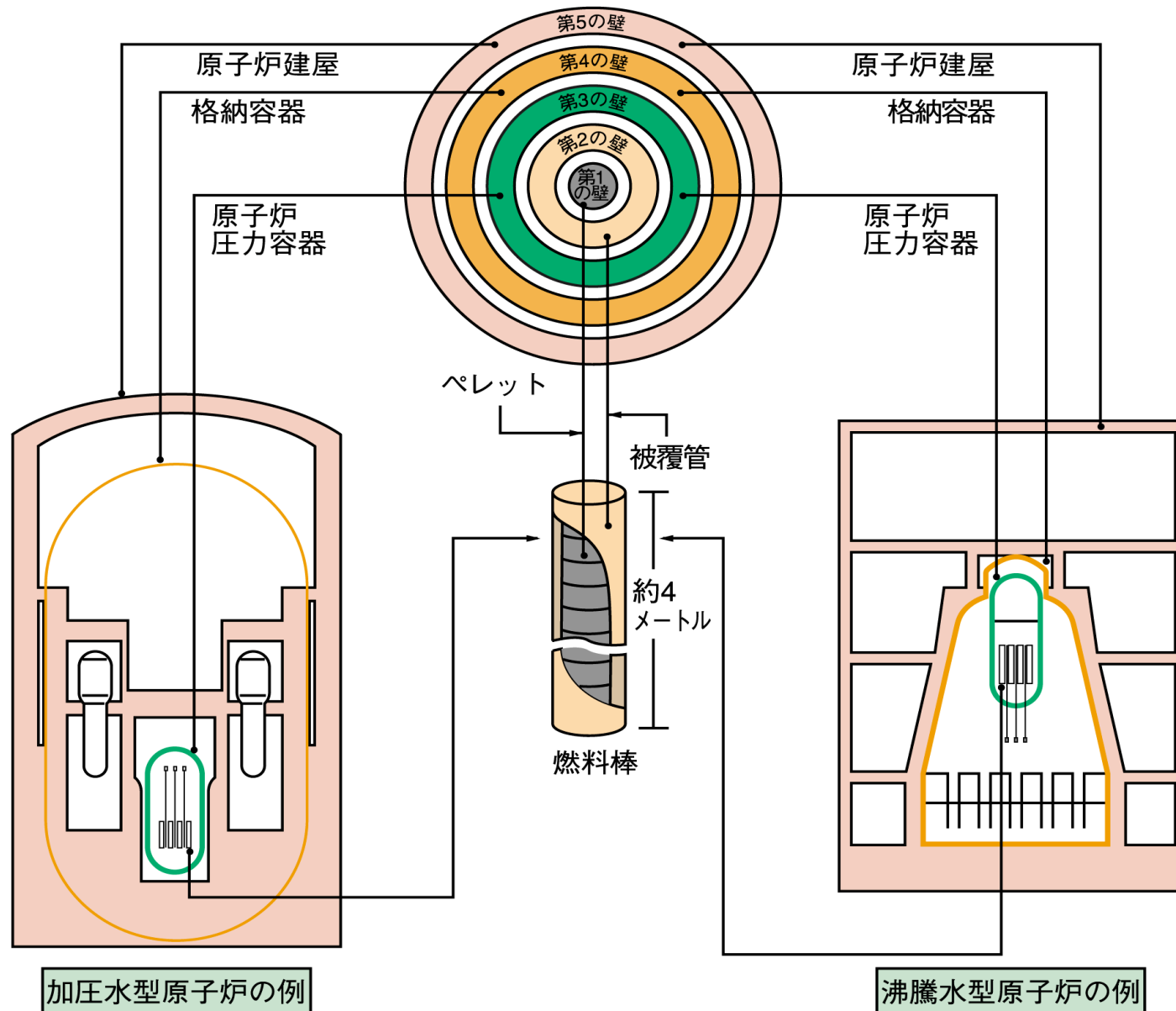
多重防護（Defence in Depth）

- レベル 1
 - 信頼性の高い設計・運転
- レベル 2
 - 異常事態が拡大しない多重独立な防護設備
- レベル 3
 - 2 より厳しい仮想的状況を設定し、このような場合でも周辺住民の安全を確保できる対策

原子炉における多重防護

レベル 1	レベル 2	レベル 3
技術基準	制御棒の構造	格納容器
モニター	スクラム系	格納容器 圧力低減系
計装系	ECCS	非常用ヨウ素 除去フィル ター

放射能を閉じ込める5重の壁



信頼性の高い設計

- 単体機器の健全設計
- 機器・ユーティリティの信頼性確保
- 誤操作防止設計
 - バルブ・計器の誤操作防止
 - 人間工学的設計
 - 操作性、作業性

異常が拡大しない多重独立な防護設備

- 異常発生時の対策
 - 原因：機器の劣化、故障、誤動作,外乱など
 - プロセス状態量の監視・把握・警報
 - フェイルセーフ設計
- 緊急事態発生時の対策
 - 緊急脱圧システム – 内容物移送システム
 - トリップシステム – 緊急遮断システム
 - 緊急運転システム
 - 反応抑制剤,不活性ガスなどの緊急注入システム

被害を局限化する設計

- 流出の局限化・拡大防止
 - 漏洩個所より上流の仕切弁閉，防油堤
- 着火源の管理
 - 防爆電気設備、静電気安全対策
- 火災の拡大防止
 - レイアウト、防火・防爆・耐火構造、
- 防災対策
 - 消防車，非難経路 . . .

システム安全の2つの方法

- 危険検出型

- センサー・検出器によって危険な状態を検出
 - 危険情報を伝達して無条件安全に持っていく。
 - センサー・情報伝達装置が故障すると危険情報を伝達できず、フェイルセーフシステムは構成できない。

- 安全確認型

- センサー・検出器で安全確認
 - 安全確認の信号が得られている間のみ，危険を伴う本来の機能を遂行させる

フェイルセーフ

- JIS Z 4001(原子力用語1991)
 - 機器に故障、破損、誤動作などが生じた場合にも、それに関連する系の安全がそこなわれないこと。
 - 例
 - 機能維持(飛行機) , 機能停止(鉄道) ?
 - 計装空気駆動弁
 - 常時、空気圧力によって開(エアフェイルクローズ)
 - 常時、空気圧力によって閉 (エアフェイルオープン)
 - 故障時、前の状態を維持 (エアフェイルロック)

フェイルセーフシステム

出口水温が異常上昇で危険事象が発生する系

故障ケース

A：熱電対の断線

TC異常⇒TCバーンアウトと判断

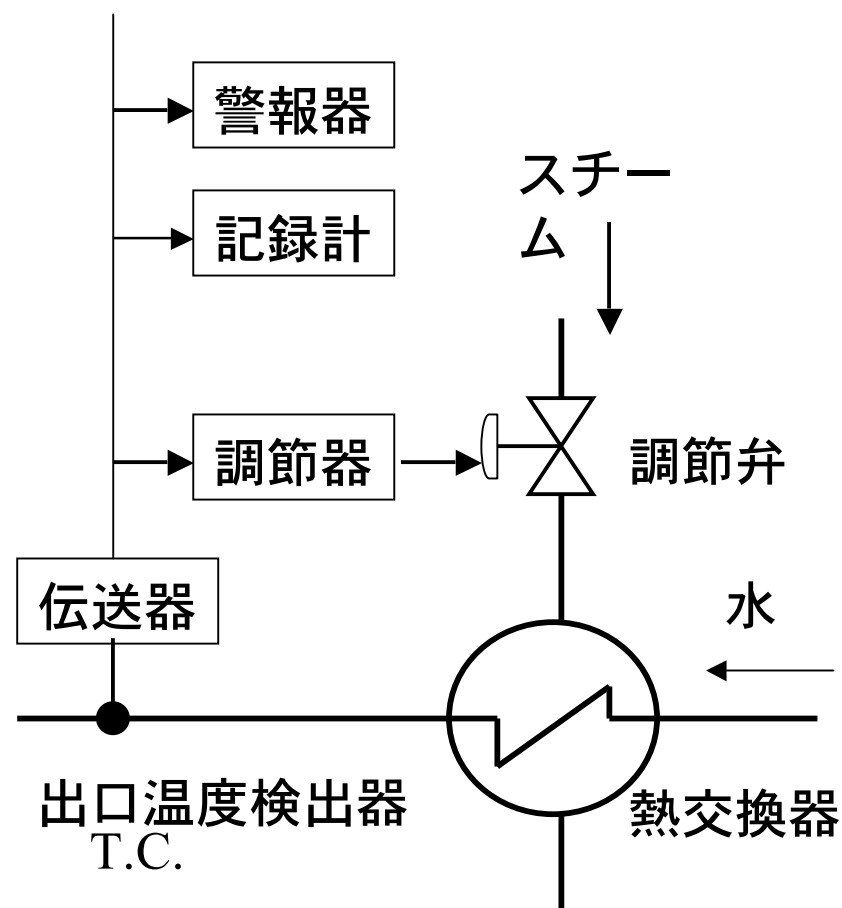
⇒温度高信号⇒調節弁閉

B：伝送器・調節器間の断線

調節器電流ゼロ⇒温度高信号
⇒調節弁閉

C：調節器・調節弁間の断線

調節弁入力信号ゼロ
⇒調節弁閉作動



インターロックシステム

- JIS Z 4001（原子力用語）
 - 原子炉，放射線施設、照射器などで、安全確保のための条件が満たされない場合は作動しないよう設計された体系、およびそのための装置。
- 誤操作・誤動作防止
- フールプルーフの手段
 - 「間違っても安全に」の設計思想

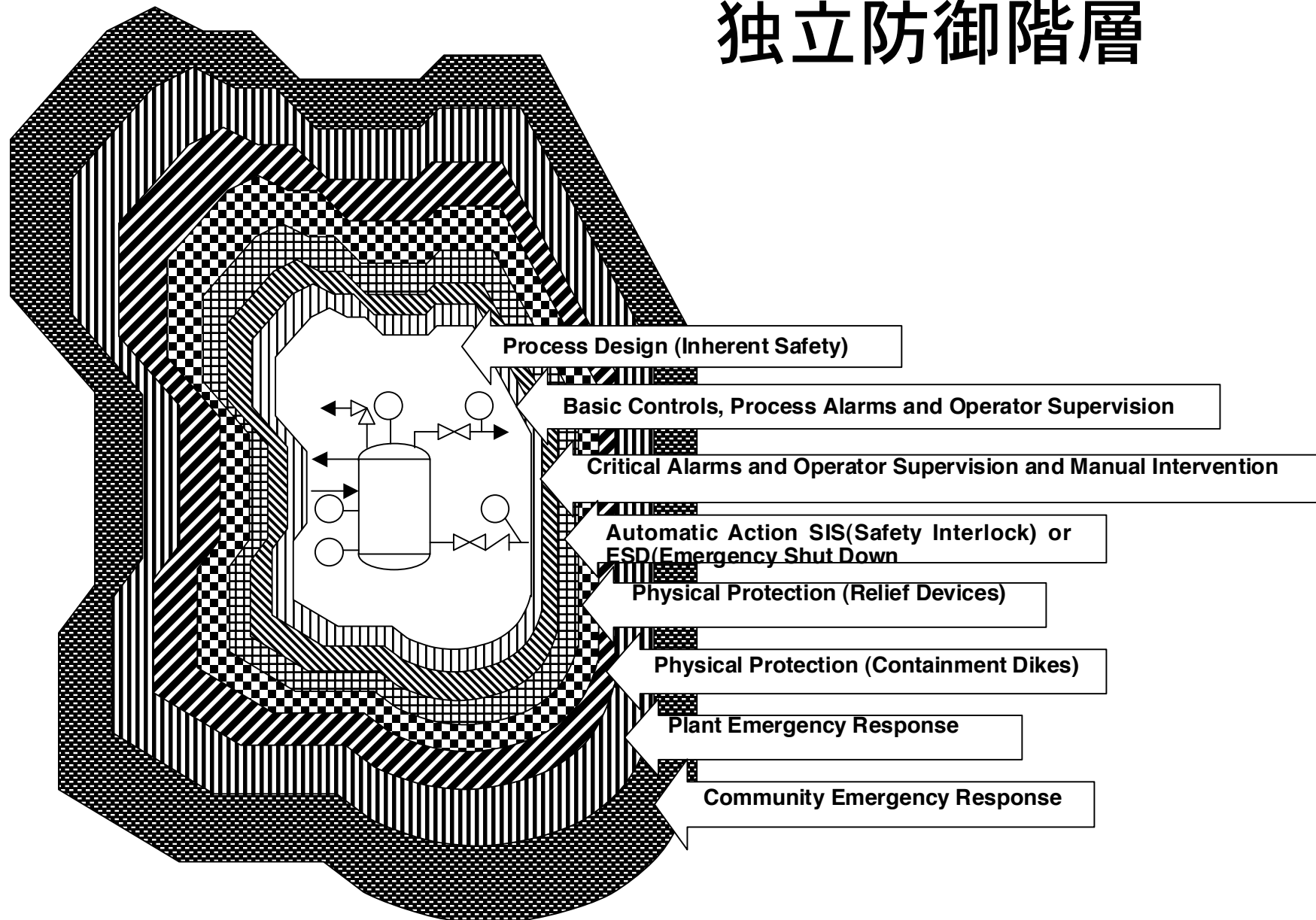
インターロックシステムの例

- ボイラー点火時の事故防止
 - ①バーナー・パイロットガス元弁閉確認
 - ②個々のバーナー・パイロットガス元弁閉確認
 - ③バーナーレジスター開確認
 - ④通風ファン起動確認
 - ⑤25%通風量確認
 - ⑥一定時間待機後パイロットバーナーに点火
 - ⑦パイロットバーナー点火確認
 - ⑧メインバーナー燃料弁が開作動して点火

危機事態回避のインターロック

- プロセス状態量が正常範囲を大幅に越え、運転対応では対処できない場合を想定
 - プロセスパラメータの異常を検知
 - 緊急遮断弁などの安全システムの自動作動によりプラントを保護する。Process Shutdown System
 - 異常発生時に機械を停止する。Trip System
- 想定される危険事象の重大度に応じた信頼度の高い健全な設計が必要。

独立防御階層



R. E. Bollinger: “Inherently Safer Chemical Processes,” CCPS • AIChE(1996)