



基本シナリオの評価(1) 「安全の確保」の観点から

平成16年8月24日



「安全の確保」の視点からの各シナリオ の評価に関するご意見

- 原子力施設の設計・建設・運転において、安全の確保は極めて重要ではないか。
- 原子力事業は、安全が確保できるための規制体制が整備されてから、実施可能になる。したがって、各シナリオを構成する事業の安全規制体制が確立できるかどうかを評価すればよいのではないか。
- 施設によって安全の確保の困難度は異なるので、この観点からシナリオを比較することが考えられるが、この困難度は施設の設備費や運転費を通じて経済性に反映されるから、ここでは扱わなくてよいのではないか。
- 許可を受けて行われていても、核燃料サイクル施設毎に公衆や従業員の被ばくリスクや事故リスクは異なる。これを外部性として評価した例があるのではないか。



既往の報告にある核燃料サイクル事業の安全性に関する記述(1)

OECD/NEA: Safety of the Nuclear Fuel Cycle, 1993

- 1980年代に、放出放射能及び作業者被曝の低減等の面で、核燃料サイクル施設の安全性に大きな改善が見られた。
- OECD諸国の民生核燃料サイクル施設に係る規制活動及び運転管理活動は適切に行われている。



既往の報告にある核燃料サイクル事業の安全性に関する記述(2)

MIT報告(2003)と仏原子力庁(CEA)のコメント(2003)

- MIT報告：
 - 旧ソ連のチェリャビンスクで発生した廃棄物貯蔵タンクの爆発事故や米国ハンフォード施設でのタンクからの漏洩、英国のセラフィールドでの環境の放出などを考えると、再処理施設の安全性には懸念がある。
- CEAのコメント(日本原子力産業会議により紹介されたもの)：
 - MIT報告は、初期の軍事用再処理施設と現在の商用再処理工場を混同している。MITの主張は、一理あるにせよ、根拠が薄弱。著者はもっと詳しい知見を得る努力をすべき。
 - 産業規模の再処理は十分な知見に基づき、良好な管理・統制の下、従業員や公衆の安全を確保して行われている。仏COGEMA社はほとんど環境影響なしに商用再処理工場を長期間にわたり安全に操業してきている。



既往の報告にある核燃料サイクル事業の安全性に関する記述(3)

日本エネルギー経済研究所:原子力発電の将来展望に関する調査(中間報告), 1992

- 直接処分路線に比べて再処理リサイクル路線は工程が多い。したがって、各工程の故障率が同じであるとすれば、後者の方がそれだけ故障の機会が多いことになる。
- 再処理工程では燃料集合体を切断するので、燃料棒の密封性がなくなるが、直接処分では、燃料棒は処分されるまで原子炉取出し時の状態が保持される。
- 直接処分における使用済燃料を高レベル廃棄物とみなせば、直接処分方式では、体積の大きな高レベル廃棄物の取扱い・貯蔵・密封・処分を行うことになる。

既往の報告にある核燃料サイクル事業の安全性に関する記述(4)-1

EC: ExternE, 1995

- 核燃料サイクルの外部性(市場価格に反映されていないコストと便益)について評価
- 仏の核燃料サイクル(再処理シナリオ)をベースに、採鉱・精錬、転換、濃縮、加工、発電、再処理、廃棄物処分及び輸送からなる核燃料サイクルの放射線影響を経済価値で計算*
- 通常運転時の他、輸送と発電炉の事故時についても評価
- 使用したパラメータ
 - 割引率: 標準 3%; 参考 0,10%
 - 計算対象期間: 10万年(ただし割引率3,10%では300年まで)
 - 統計的生命価値(VSL) = 260万ECU

* 集団線量から線量と放射線影響との関係に線形関係を仮定して集団死亡リスクを導いているが、集団線量のこうした利用には慎重さを求められていること、また経済性評価のためにVSL(Value of Statistical Life)を用いることについても異論があることを認識。

既往の報告にある核燃料サイクル事業の安全性に関する記述(4)-2

ExternEの結果

■ 通常運転時の外部コスト

(標準)


- 割引率3%では0.0952 mECU/kWh (0.011 円/kWh)。内訳は、採鉱・転換が約1.9割、発電が約6.3割、再処理が約1.5割。

(参考)

- 割引率0%では2.48 mECU/kWh(0.3 円/kWh (1 ECU=1 ドル=120円換算))。内訳は、採鉱・転換が約0.3割、発電、約1.9割、再処理、約7.7割。高レベル廃棄物処分は約0.1割
- 割引率10%では0.0497 mECU/kWh (0.0060 円/kWh)。内訳は、このうち採鉱・転換が約1.3割、発電が約8.1割、再処理が約0.4割。

■ 事故時の外部コスト

- 揮発性放射性物質が0.01 ~ 10%放出される原子炉の炉心溶融事故がIAEA・INSAG3で達成すべきとされている目標確率 10^{-5} /炉年で発生するとして計算:0.0023 ~ 0.104 mECU/kWh (0.00028 ~ 0.012 円/kWh)。
- 輸送時事故:0.00035 mECU/kWh(0.000042 円/kWh)。



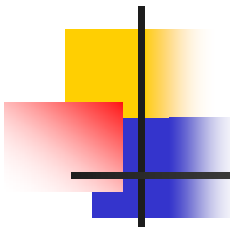
原子力分野における安全確保の 基本的考え方(1)

■ 目標:

- 原子力施設周辺の人々の健康等に影響を及ぼす可能性(リスク)を十分に低く抑制すること。

■ 方法:

- 多重防護(異常の発生防止、拡大防止、影響緩和)の考え方に基づき、安全設計や運転管理を行うこと
- 人的要因を十分考慮して安全設計や運転管理を行うこと
- 内外の類似施設における事故経験を踏まえて、リスクを低く抑えるための対策の改良・改善に努めること
- 経営者が運転組織の安全文化を確立し、安全確保活動の品質保証活動を充実すること

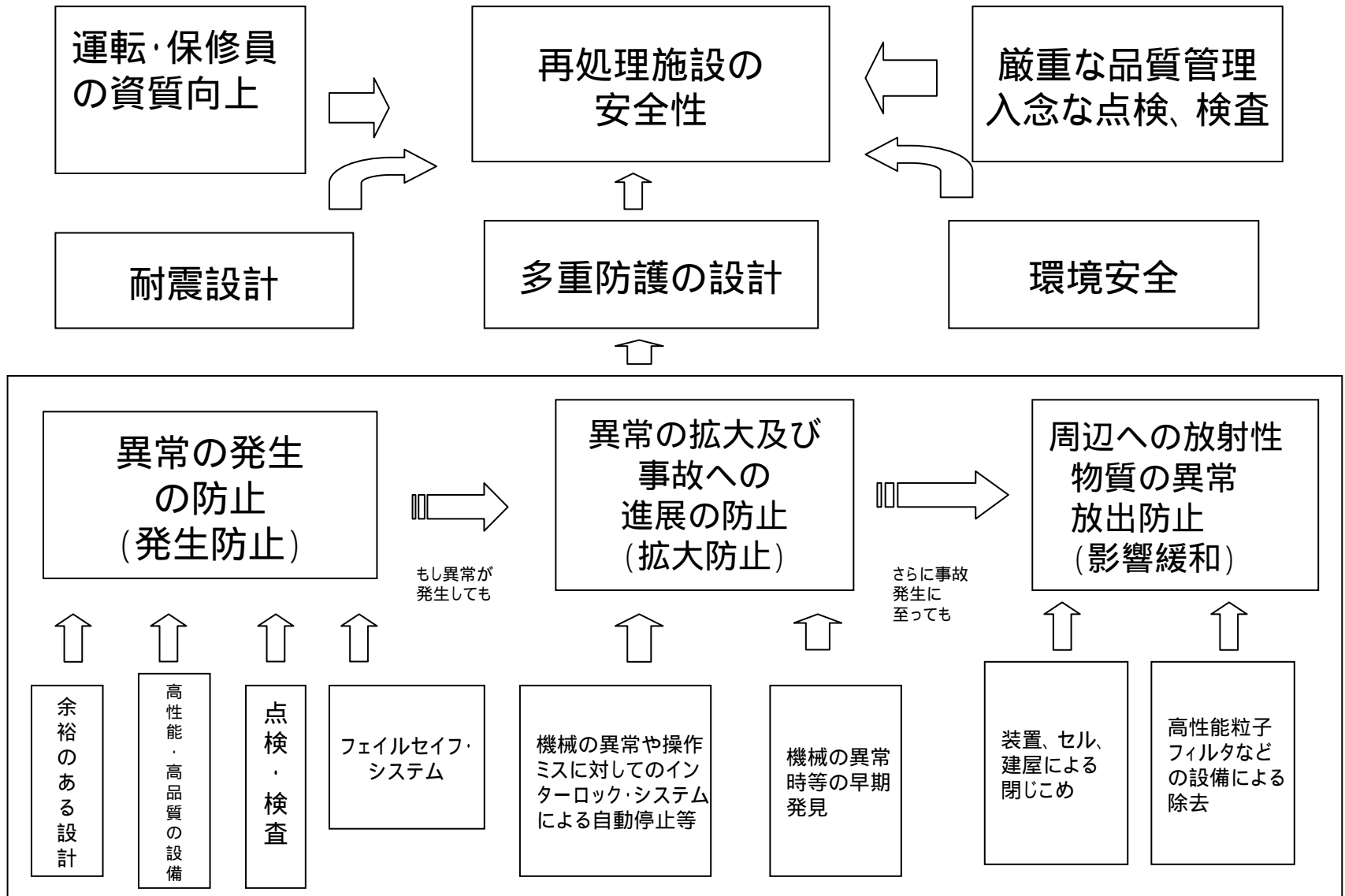


原子力分野における安全確保の 基本的考え方(2)

■ 国と事業者の責任分担：

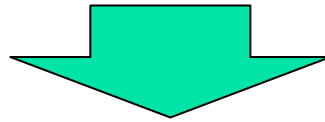
- 安全確保の第一義的責任は事業者にある。原子力活動に従事する組織及び個人は、従業員と公衆の安全確保のために誠実に業務を遂行する責任がある。
- 国は、事業者が災害の防止上十分な保安活動を行なうことを確かにするため、事業の許可、施設の建設・運転(操業)・廃止の各段階で事前もしくは事後規制を行う。
- 施設で安全管理活動が適切に行なわれていることを、事業者は品質保証活動を通じて、国はこれらの活動の監査を通じて把握し、それぞれが有している説明責任を果たす。

再処理施設の安全確保のしくみ



再処理施設における過去の事故事例を踏まえた安全性の確保

過去、再処理施設(主に軍用施設又は研究用施設)においては、**臨界事故**、**有機溶媒等による火災事故**、**蒸発缶等での爆発事故**、**廃液の漏えい事故**等が発生した(参考資料)。



国内における対応

- 原子力安全委員会は、国内外の再処理施設で得られた知見等も参考に、安全上重要と考えられる基本事項を、安全審査指針として整備している。
- 事業者は、安全審査指針、国内外の事故事例を踏まえ、再処理施設の設計を実施している。
- 規制当局は、安全審査において、事業者の再処理施設が各種指針に照らして適切な設計となっていることを確認している。
- 操業段階で得られた内外の事故情報については、規制当局は対応について報告を求め、事業者は調査を行い、適切に設備改善や運用保守要領の改善を実施している。

高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の処分に係る 安全規制の基本的考え方

長期的安全確保対策

長期的に安定な地質環境を選定するなど、常に長期的な観点から安全性に影響が及ぶおそれのある因子に配慮しつつ、安全確保のための対策(サイト選定、工学的対策)を講じることが必要である。

●処分地に要求される環境要件

地質環境

処分場の安全性に影響を与えるような隆起・浸食、地震・断層活動、火山・火成活動が認められないこと。

鉱物資源の賦存

処分場の選定時において経済的に重要な鉱物資源の鉱床等が認められないこと。

岩盤の特性

想定される処分施設の深度において第四紀の未固結堆積層が広く分布していないこと。

安全評価等による安全確認

処分事業の各段階で安全確保対策の妥当性の確認が必要。なお、事業許可申請時の安全確認は安全評価により行う。

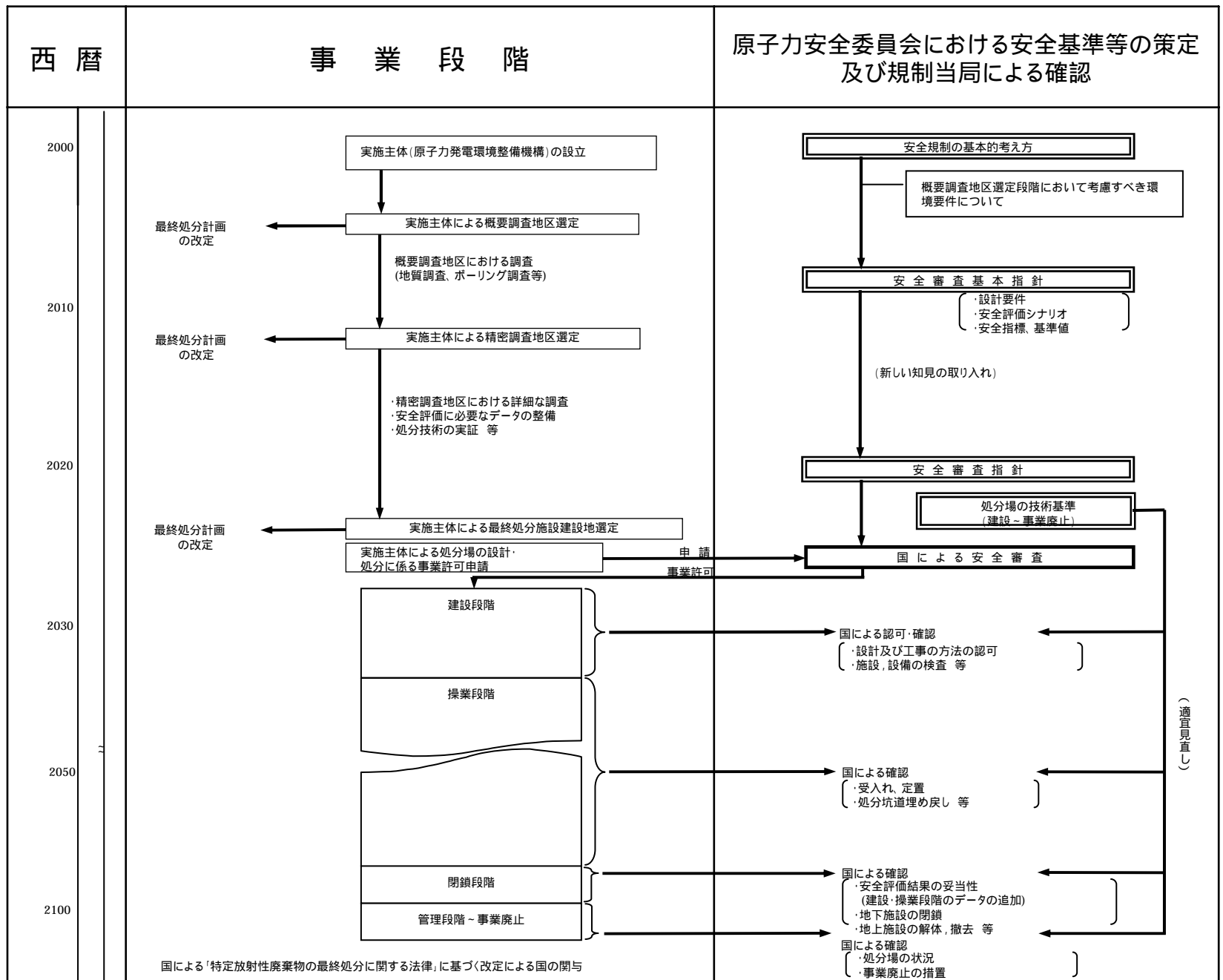
●事業許可申請時における安全評価の基本的考え方

安全評価シナリオは「地下水移行シナリオ」、「接近シナリオ」で区分評価し評価線量が基準値を超えてないこと等を確認することが基本。指標及び基準値については、国際動向を踏まえながら設定を行う。なお、「接近シナリオ」はサイト選定結果や工学的対策等を考慮し取舍選択することが重要。

●建設・操業段階等における安全確認の考え方

安全評価の結果が確実に担保されるように建設、操業、閉鎖、管理及び事業廃止の各段階において「安全確認」を行うことが重要。また、各段階に応じたモニタリングや巡視・点検等を実施することが必要。

また閉鎖段階において安全評価結果の妥当性を確認するまでの期間は、回収可能性を維持することが重要。



高レベル放射性廃棄物処分の規制行為に関わるスケジュール



基本シナリオ、 の構成要素である 直接処分の安全設計について

- 現在、規制当局で高レベル放射性廃棄物ガラス固化体の最終処分に関する規制基準等の検討が進行中。しかし、使用済燃料の直接処분을前提とした検討はされていない。
- 直接処分の安全設計基準の整備には、処分体にウラン及びプルトニウムが比較的大量に含まれること等の影響を新たに検討する必要がある。
 - ウラン、プルトニウムがガラス固化体に比べ大量に存在することによる処分場の化学的環境の変化に関する知見 安全評価のための放射性物質の地下水移行シナリオに影響
 - 処分体の浸水時および放射性物質の地下水移行時における臨界の可能性 放射性物質の量、処分場の安定性に影響



まとめ

- 各基本シナリオを構成するどの活動(原子炉の運転、ウランの採取、燃料の製造、輸送、貯蔵、再処理、廃棄物処分等)も、実際に実施される場合には、規制当局が必要十分な安全規制を行うことになる。
- それぞれの活動は、安全確保の観点から異なる特性・留意点を有するため安全確保の困難度は異なるが、安全規制の下で適切に実施されることによって、それらが人に与える放射線影響は十分小さくすることができると判断してよい。
- わが国では、基本シナリオの 、 、 の構成要素である直接処分活動に係る規制基準等の整備に向けた作業は行なわれていないため安全確保の困難度は不明であるが、これをもって上記の判断を変える根拠とはならないのではないか。



参考資料

国内外再処理施設で発生した事故の事例
並びに英国及びフランスにおける再処理
工場稼動実績

過去の国内外施設における事故事例(1)

< 火災・爆発事故の例 >

発生年	再処理施設等	事故の種類	原因	被害	防止対策
1953	米国サバンナリバー工場 【軍事用施設】	蒸発缶での有機溶媒爆発	本来水相のみであるところに有機溶媒(TBP)が流入し、硝酸ウラニルと錯体(「TBP錯体」と言う。)を形成し、急激な熱分解反応により爆発	建屋破損、従事者2名負傷	<ul style="list-style-type: none"> ・不燃性又は難燃性材料の使用 ・着火源の排除、異常な温度上昇の防止対策、可燃性物質の漏洩防止対策、混入防止対策などの対策の実施
1956	米国オークリッジ国立研究所 【研究用施設】	ジルコニウム粉末屑入りドラム缶の爆発	ドラム缶内のジルコニウムと水分が反応し自然発火	衝撃波で2人死亡、1人重傷	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な熱及び化学的制限値の設定 ・火災の拡大を防止するための検知、警報系統及び消火設備の設置
1957	旧ソ連キシテム再処理施設 【軍事用施設】	廃液貯蔵タンクの化学爆発	冷却水の補給不足により廃液が加熱蒸発。残余物(爆発性)の温度も更に上昇し爆発	放射性物質の環境放出	<ul style="list-style-type: none"> ・火災による影響を軽減するための対策の実施
1959	米国オークリッジ国立研究所 【研究用施設】	除染中の蒸発缶での爆発	除染剤(有機化合物)と硝酸が急激に化学反応を起こし爆発	建屋内汚染、放射性物質の環境放出	<ul style="list-style-type: none"> ・火災・爆発の発生を考慮しても、閉じ込めの機能が適切に維持できる設計の採用 ・放射性物質の貯蔵にあたり適切な冷却機能を有する設計の採用 等

(注) 1989年以降は国際原子力事象評価尺度(INES)のレベル3(重大な異常事象)以上のものを、1989年より以前はINESがなかったことから発表されている事故でレベル3以上に相当すると思われる事故事例を示す。

過去の国内外施設における事故事例(2)

< 火災・爆発事故の例(続き) >

発生年	再処理施設等	事故の種類	原因	被害	防止対策
1963	米国ハンフォード Redox工場 【軍事用施設】	人為ミスによる イオン交換樹脂 からの火災	イオン交換樹脂に 誤って重クロム酸ナト リウムが加えられ樹 脂が劣化し、硝酸によ る発熱分解による塔 の内圧上昇で塔から 噴出した樹脂の発火	建屋内汚染	<ul style="list-style-type: none"> ・不燃性又は難燃性材 料の使用 ・着火源の排除、異常な 温度上昇の防止対策、 可燃性物質の漏洩防 止対策、混入防止対策 などの対策の実施
1973	英国ウィンズケール HEP-B205 【商用施設】 ・改良型ガス炉用 前処理施設 ・1969～1973年操業 ・400トン/年規模	有機溶媒の槽 内火災	有機溶媒が高温不溶 解残渣と接触したこと により発火	建屋内汚染、 従事者35名被 ばく	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な熱及び化学的制 限値の設定 ・火災の拡大を防止す るための検知、警報系統 及び消火設備の設置 ・火災による影響を軽減 するための対策の実施
1975	米国サバンナリバー 工場 【軍事用施設】	脱硝器室での 有機溶媒爆発	本来水相のみである ところに有機溶媒 (TBP)が流入し、硝酸 ウラニルと錯体(「TBP 錯体」と言う。)を形 成し、急激な熱分解 反応により爆発	建屋破損、従 事者2名軽症	<ul style="list-style-type: none"> ・火災・爆発の発生を考 慮しても、閉じ込めの機 能が適切に維持できる 設計の採用 ・作業手順の改善等
1976	米国ハンフォード Pu処理施設 【軍事用施設】	化学反応によ る爆発事故	著しく劣化したイオン 交換樹脂と濃硝酸が 化学反応を起こし爆 発	作業員1名が 負傷、高度汚 染	

(注) 1989年以降は国際原子力事象評価尺度(INES)のレベル3(重大な異常事象)以上のものを、1989年より以前はINESがなかったことから発表されている事故でレベル3以上に相当すると思われる事故事例を示す。

過去の国内外施設における事故事例(3)

< 火災・爆発事故の例 (続き) >

発生年	再処理施設等	事故の種類	原因	被害	防止対策
1981	ベルギー ユーロケミック再処理工場【商用施設】 ・軽水炉、重水炉、ガス炉等用 ・1966～1974年操業（閉鎖は1987年） ・約100トン/年規模	アスファルト固化施設の火災	アスファルトの混合物に混入された有機物と硝酸が反応し火災が発生	放射性物質の環境放出	<ul style="list-style-type: none"> ・不燃性又は難燃性材料の使用 ・着火源の排除、異常な温度上昇の防止対策、可燃性物質の漏洩防止対策、混入防止対策などの対策の実施 ・適切な熱及び化学的制限値の設定 ・火災の拡大を防止するための検知、警報系統及び消火設備の設置 ・火災による影響を軽減するための対策の実施 ・火災・爆発の発生を考慮しても、閉じ込めの機能が適切に維持できる設計の採用等
1981	仏国ラアーグ再処理工場(UP2)【商用施設】 ・ガス炉用 ・1966～1987年操業 ・800トン/年規模	廃棄物貯蔵サイロでの火災	金属ウランの入ったコンテナをサイロへ投下した時のショックで金属ウランが自然発火	放射性物質の環境放出	
1993	旧ソ連トムスク再処理施設【軍事用施設】	抽出工程調整貯槽の爆発	本来水相のみであるところに有機溶媒(TBP)が流入し、硝酸ウラニルと錯体(「TBP錯体」と言う。)を形成し、急激な熱分解反応により爆発	建屋破損、放射性物質の環境放出	

(注) 1989年以降は国際原子力事象評価尺度(INES)のレベル3(重大な異常事象)以上のものを、1989年より以前はINESがなかったことから発表されている事故でレベル3に相当すると思われる事故事例を示す。

過去の国内外施設における事故事例(4)

< 火災・爆発事故の例 (続き) >

発生年	再処理施設等	事故の種類	原因	被害	防止対策
1997	東海再処理工場 【研究用施設】 ・軽水炉用 ・1981年から操業中 ・0.7トン/日規模(実 質規模は約90トン/ 年)	アスファルト固 化施設の火災・ 爆発	廃液中の沈殿物等が 原因でアスファルト固 化体内部で発熱反応 が進み、温度上昇に より硝酸塩とアスファ ルトとの反応が急速 に進行し、火災・爆発 が発生	作業員37名が 微量の内部被 ばく、建屋破損、 放射性物質の 環境放出	<ul style="list-style-type: none"> ・不燃性又は難燃性材 料の使用 ・着火源の排除、異常な 温度上昇の防止対策、 可燃性物質の漏洩防 止対策、混入防止対策 などの対策の実施 ・適切な熱及び化学的制 限值の設定
1997	米国ハンフォード Pu処理施設 【軍事用施設】	プルトニウム回 収施設の試薬 貯槽の爆発	硝酸ヒドロキシルアミ ン(プルトニウム還元 剤)の急激な熱分解 反応	機器、建屋の 一部破壊	<ul style="list-style-type: none"> ・火災の拡大を防止する ための検知、警報系統 及び消火設備の設置 ・火災による影響を軽減 するための対策の実施 ・火災・爆発の発生を考 慮しても、閉じ込めの機 能が適切に維持できる 設計の採用 等

(注) 1989年以降は国際原子力事象評価尺度(INES)のレベル3(重大な異常事象)以上のものを、1989年より以前はINESがなかったことから

発表されている事故でレベル3以上に相当すると思われる事故事例を示す。

過去の国内外施設における事故事例(5)

< 臨界事故の例 >

発生年	再処理施設等	事故の種類	原因	被害	防止対策
1958	米国オークリッジ国立研究所 【研究用施設】	濃縮ウラン回収プラントでの臨界事故	誤操作により貯槽に送られた硝酸ウラニル溶液がドラム缶に送り込まれ臨界	作業員8名が被ばく	<ul style="list-style-type: none"> ・機器の形状寸法、溶液中の濃度・質量、中性子吸収材の形状寸法、濃度、材質等について、核的制限値の設定 ・核的制限値の設定に当たり、十分な安全裕度の確保 ・機器の単一故障、誤動作、運転員の単一誤操作を想定した設計の採用
1958	米国ロスアラモス研究所 【研究用施設】	溶媒処理槽でのプルトニウム系の臨界	安全形状でない溶媒処理槽へプルトニウムを多量に含んだ沈殿物を集めたことにより臨界	作業員1名が死亡、2名が被ばく	
1961	米国アイダホ施設 【軍事用施設】	中間ウラン蒸発缶での臨界	誤操作により圧縮空気が蒸発缶に流入し濃縮液が蒸気離脱部(非安全形状部)へ押し上げられ臨界	近隣区画に251名いたが、被ばくは僅か	

(注) 1989年以降は国際原子力事象評価尺度(INES)のレベル3(重大な異常事象)以上のものを、1989年より以前はINESがなかったことから発表されている事故でレベル3以上に相当すると思われる事故事例を示す。

過去の国内外施設における事故事例(6)

< 臨界事故の例 (続き) >

発生年	再処理施設等	事故の種類	原因	被害	防止対策
1962	米国ハンフォード Pu廃棄物回収施設 【軍事用施設】	プルトニウム系 における集液 溝廃液の誤吸 引による臨界	多目的回収装置の洗 浄作業時、誤ってプ ルトニウムを含む集液溝 廃液が吸引され臨界	作業員22名が 被ばく	<ul style="list-style-type: none"> ・機器の形状寸法、溶液中の濃度・質量、中性子吸収材の形状寸法、濃度、材質等について、核的制限値の設定 ・核的制限値の設定に当たり、十分な安全裕度の確保 ・機器の単一故障、誤動作、運転員の単一誤操作を想定した設計の採用
1970	英国ウインズケール B205 【商用施設】 ・ガス炉用 ・1964年から操業中 ・1,500トン/年規模	プルトニウム回 収工程での臨 界	硝酸プルトニウム溶 液の移送ライン中のト ラップ内に蓄積した有 機溶媒にプルトニウム が抽出され臨界	作業員2名が被 ばく	
1978	米国アイダホ施設 【軍事用施設】	高濃縮ウラン回 収工程での臨 界	安全形状でない配管 内でウランが蓄積し臨 界	なし	

(注) 1989年以降は国際原子力事象評価尺度(INES)のレベル3(重大な異常事象)以上のものを、1989年より以前はINESがなかったことから発表されている事故でレベル3以上に相当すると思われる事故事例を示す。

過去の国内外施設における事故事例(7)

< その他の例 >

発生年	再処理施設等	事故の種類	原因	被害	防止対策
1980	仏国ラアーク再処理工場(UP2) 【商用施設】 ・ガス炉用 ・1966～1987年操業 ・800トン/年規模	全動力電源が停止	変電所で発生した火災がケーブルを伝わり電源制御盤が全焼	汚染(若干)、運転停止(5日間)	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用所内電源系統について十分独立した2つ以上の系統とする設計の採用 ・可能な限り不燃性又は難燃性材料の使用
1983	英国セラフィールドB205 【商用施設】 ・ガス炉用 ・1964年から操業中 ・1,500トン/年規模	海洋への放射性廃液の誤放出	保守作業時の誤操作により放射能濃度の高いクラッドを含む溶液を誤放出	海岸汚染	<ul style="list-style-type: none"> ・作業手順の改善 ・施設で発生する放射性液体廃棄物について、適切な処理が行える設計の採用
1992	英国セラフィールドB205 【商用施設】 ・ガス炉用 ・1964年から操業中 ・1,500トン/年規模	蒸発缶の接続配管からの硝酸プルトニウム漏えい	配管溶接部が熱応力と硝酸により腐食	なし	<ul style="list-style-type: none"> ・放射性物質を収納する系統及び機器について、使用する化学薬品等に対し腐食対策を講じた設計の採用

(注) 1989年以降は国際原子力事象評価尺度(INES)のレベル3(重大な異常事象)以上のものを、1989年より以前はINESがなかったことから

発表されている事故でレベル3以上に相当すると思われる事故事例を示す。

過去の国内外施設における事故事例(8)

<その他の例 (続き) >

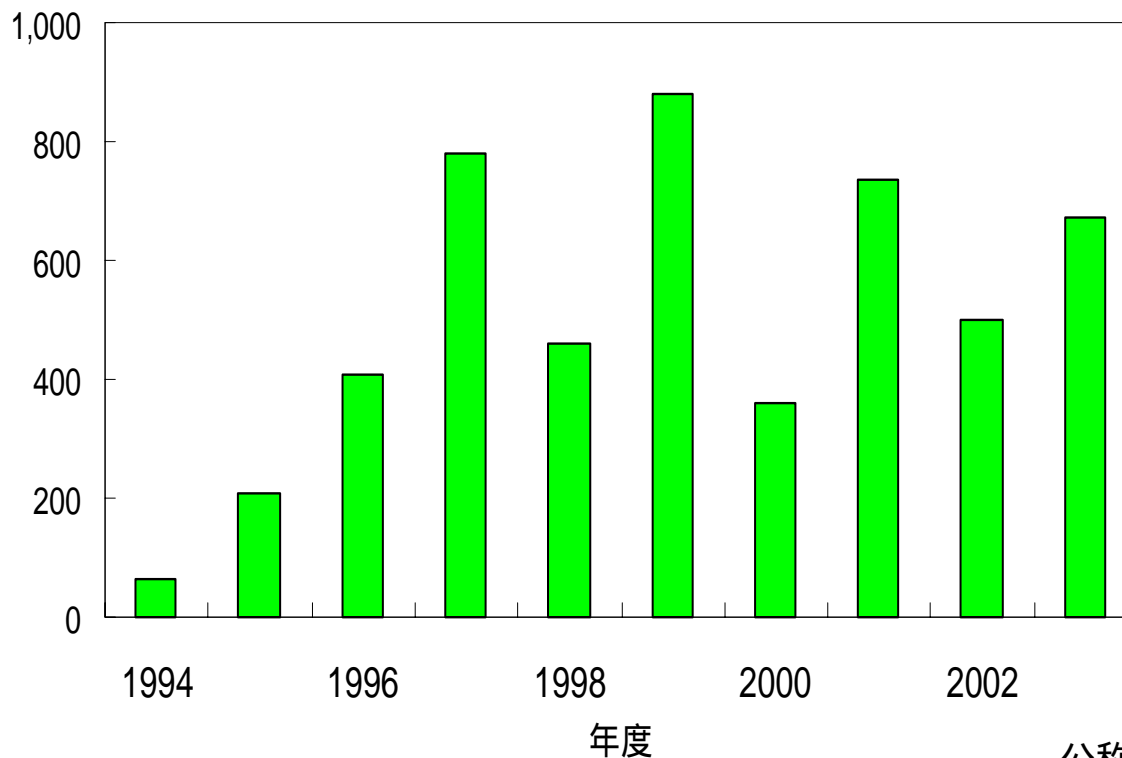
発生年	再処理施設等	事故の種類	原因	被害	防止対策
1992	東海高レベル放射性物質研究施設(CPF) 【研究用施設】	分析用グローブボックスへの移送配管接続部からの放射性物質漏えい	耐圧ビニールホースと配管接続部の気密性不足による漏えい	作業員2人汚染	・放射性物質を収納する系統及び機器について、放射性物質が漏えいし難い構造とする設計の採用

(注) 1989年以降は国際原子力事象評価尺度(INES)のレベル3(重大な異常事象)以上のものを、1989年より以前はINESがなかったことから発表されている事故でレベル3以上に相当すると思われる事故事例を示す。

英国における再処理工場稼働実績

英国THORP再処理工場の再処理実績

再処理量 (ton)



公称処理能力
1200ton/年

フランスにおける再処理工場稼働実績

UP3立ち上げ時は、計画により再処理量を段階的に上昇

UP2,UP3ともに100%近い安定操業実績
(契約完了に伴う運転減を除く)

再処理量(ton)(棒グラフ)

稼働率(%)(折れ線グラフ)

