

東京電力株式会社福島第一原子力発電所における  
事故を踏まえた六ヶ所ウラン濃縮工場の安全性に関する  
総合的評価に係る報告書

【公開版】

2012年4月27日

日本原燃株式会社

本書の記載内容のうち、        内の記載事項は  
公開制限情報に属するものであり公開できません  
ので削除しております。

日本原燃株式会社

## 目 次

	頁
1. はじめに	1
2. 六ヶ所ウラン濃縮工場の概要	2
(1) 施設の位置	2
(2) 施設の概要	3
(3) 施設の状況	7
3. 六ヶ所ウラン濃縮工場の主要な安全設計	8
(1) 立地条件	8
(2) 臨界安全設計	8
(3) 地震に対する安全設計	9
(4) 熱的安全設計	10
(5) 閉じ込めの機能に関する安全設計	10
(6) その他の安全設計	11
(7) 放射性廃棄物管理	11
(8) 平常時の被ばく線量評価	12
(9) 事故時評価	13
4. 緊急安全対策	15
5. 指示文書の要求事項	16
(1) 起回事象	16
(2) 設計上の想定を超える事象	16
(3) 実施方法	16
(4) 考慮すべき条件	17
(5) 評価の進め方	17
6. 評価方法	18
(1) 評価実施時点	18
(2) 評価実施方法	18
a. 「起回事象」について	18
b. 「自然現象」について	18
c. 「設計上の想定を超える事象」について	19
d. 「安全裕度」について	19

e. 「アクシデントマネジメント」について	19
(3) 評価対象事象	20
(4) 評価フロー	20
(5) 評価に当たっての留意事項	22
7. 評価対象事象の選定結果	23
(1) 設計上の想定を超える事象の選定	23
a. 地震	23
b. 津波・高潮	26
c. 洪水・大雨	28
d. 火山	28
e. 地すべり・陥没	28
f. 寒波・熱波	28
g. 豪雪	29
h. 台風（強風）・竜巻	29
i. 落雷	30
(2) 選定結果	30
8. 設計上の想定を超える事象の評価	32
8. 1 評価対象	32
8. 2 評価実施事項と評価方法	32
(1) 事象の進展防止措置の抽出及び収束シナリオの特定	32
(2) 耐震裕度	32
(3) 事象発生時の影響評価	33
(4) 時間余裕	33
(5) 影響緩和策（アクシデントマネジメント策）の有効性評価	33
8. 3 評価結果	33
8. 3. 1 地震を起因とするUF <sub>6</sub> 機器の故障等により、UF <sub>6</sub> 漏えい、 臨界及びUF <sub>6</sub> の放出をともなう火災へと至る事象の評価結果	33
(1) UF <sub>6</sub> 機器の損傷	33
a. UF <sub>6</sub> 漏えい	33
b. 臨界	35
(2) 建屋の損傷	37
a. UF <sub>6</sub> 漏えい	37
(3) 相互影響機器の損傷	38

a. UF <sub>6</sub> 漏えい	39
b. 臨界	39
(4) 火災	40
a. UF <sub>6</sub> 漏えい	40
b. 臨界	41
c. 施設外の火災影響	41
(5) 全交流電源喪失	41
a. UF <sub>6</sub> 漏えい	41
b. 臨界	42
(6) 計測制御機能異常	42
a. UF <sub>6</sub> 漏えい	42
b. 臨界	42
8. 3. 2 漏水・浸水等による影響の評価結果	43
(1) 建屋 / UF <sub>6</sub> 機器の損傷	43
a. UF <sub>6</sub> 漏えい	43
b. 臨界	43
(2) 火災	45
a. UF <sub>6</sub> 漏えい	45
b. 臨界	45
8. 3. 3 地震と漏水・浸水等の重畳による影響の評価結果	46
8. 3. 4 ストレステスト対象事象の同時発生等の評価	46
9. 影響緩和策（アクシデントマネジメント策）の有効性評価結果	46
(1) 非常時組織体制について	46
(2) 資機材	47
(3) 非常時対処手順等	47
(4) AM 対策の効果	47
10. まとめ	48

## 【添付資料一覧】

- 添付-1-1：「設計上の想定を超える事象」の評価結果の概要
- 添付-1-2：周辺公衆へ影響する放射線被ばくを発生させるイベント
- 添付-2：検討対象事象の抽出結果一覧表
- 添付-3：火山（火山灰、火山礫、溶岩流等）の影響について
- 添付-4：地すべり・陥没の影響について
- 添付-5：寒波・熱波の影響について
- 添付-6：豪雪の影響について
- 添付-7：飛来物に対する構造評価について
- 添付-8：UF<sub>6</sub>シリンダ類の損傷時の影響について
- 添付-9-1：建屋の耐震性評価について
- 添付-9-2：建屋の耐震性評価結果
- 添付-9-3：建屋の耐震性能のめやす
- 添付-10：設備・機器の耐震性評価結果
- 添付-11：建屋の積雪荷重・風荷重に対する耐力について
- 添付-12：UF<sub>6</sub>の放出により敷地周辺へ与える影響の評価
- 添付-13：「均質槽（中間製品容器）からのUF<sub>6</sub>漏えい」の概要
- 添付-14：機器の接触及び外部水密度パラメータ（水没）臨界計算結果
- 添付-15：UF<sub>6</sub>機器損傷時の大気流入による減速度 H/U-235 の計算結果
- 添付-16：相互影響機器（UF<sub>6</sub>機器の関連機器・周辺設置機器）の損傷による影響について
- 添付-17：均質槽損傷時の臨界可能性について
- 添付-18：火災等によるUF<sub>6</sub>の液化膨張破裂事故の発生可能性について
- 添付-19：原野・他施設の火災による影響について
- 添付-20：全交流電源喪失及び計測制御設備の機能喪失による影響について
- 添付-21：影響緩和策（アクシデントマネジメント策）の有効性評価について

## 1. はじめに

平成23年11月25日、原子力安全・保安院から当社に対し、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた核燃料サイクル施設の安全性に関する総合的評価の実施について（指示）」（平成23年11月25日付け平成23・11・24原院第4号）（以下、「指示文書」という。）が発出され、既設のウラン加工施設について、設計上の想定を超える事象等の発生時における核燃料サイクル施設の安全性に関して、総合的に評価を行うよう要請された。

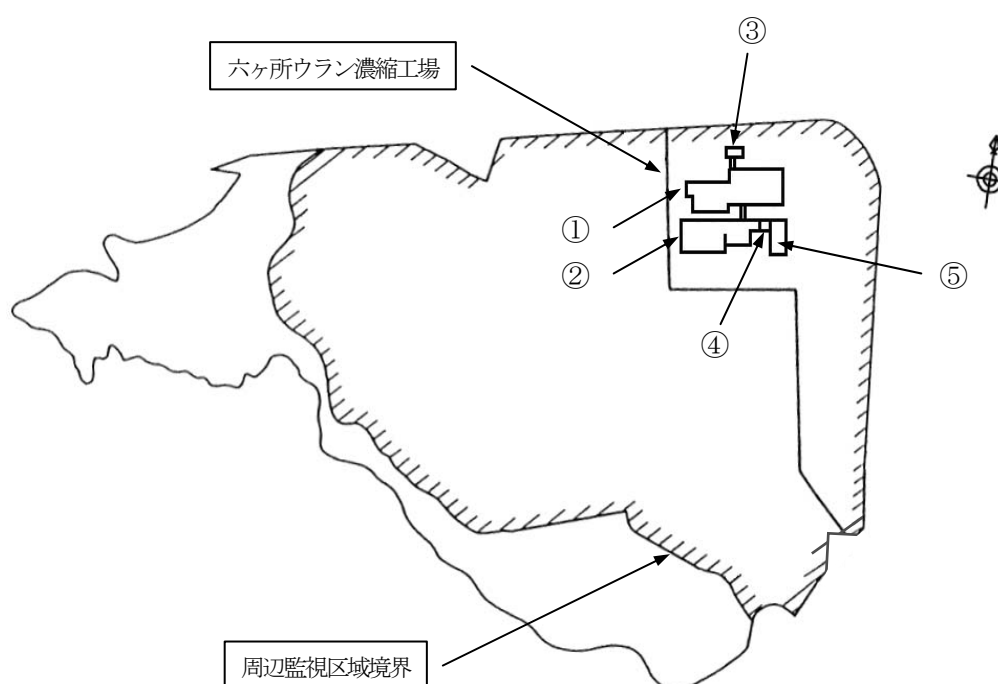
本報告書は、指示文書に基づき、当社ウラン濃縮工場の安全性に関する総合評価の結果を報告するものである。

## 2. 六ヶ所ウラン濃縮工場の概要

### (1) 施設の位置

六ヶ所ウラン濃縮工場のある濃縮・埋設事業所は、青森県の北東部に位置する下北半島南部の上北郡六ヶ所村大石平にある標高30～60mの丘陵地帯にあり、事業所南側は尾駁沼に面している。事業所から近接集落の野附地区までの距離は約1.5km、青森県青森市及び三沢市までの距離は、それぞれ約80km及び約40kmである。

事業所の敷地は、面積約340万m<sup>2</sup>で、東西に長い形状である。本施設は、事業所内の北東部に位置する。



番号	施設名
①	ウラン濃縮建屋
②	ウラン貯蔵・廃棄物建屋
③	補助建屋
④	ウラン濃縮廃棄物建屋
⑤	使用済遠心機保管建屋

図2-1 敷地概要図



## (2) 施設の概要

六ヶ所ウラン濃縮工場は、商業用軽水炉で使用するウラン燃料を加工する施設であり、天然ウランに約0.7%含まれるウラン235を遠心分離法により3~5%まで濃縮する工場である。

平成3年9月(事業開始日:9月27日)に六フッ化ウランを初搬入して慣らし運転を行った後、平成4年3月に最初の150tSWU/y分が役務生産を開始し、以降、順次施設を増強して平成24年3月現在、1050tSWU/yの生産規模となっている。

1050tSWU/y規模を構築した既設金属胴遠心機によるカスケード設備は、今後、約10年程度をかけて、より高性能な新型遠心機に順次更新していくとともに、残り450tSWU/yの設備を増設して最終目標規模の1500tSWU/yとする計画である。

既設金属胴遠心機を順次更新していくに先立ち、カスケード設備内に存在する付着ウランを回収するための設備を設置し、付着ウランの回収を順次進めているところであり、付着ウランの回収を終えたカスケード設備のうち、初期導入分として75tSWU/y規模のカスケード設備の更新に着手している。

ウランの濃縮及び付着ウランの回収方法の概略については、以下のとおりである。

### a. カスケード設備への天然ウランの供給と濃縮

原料シリンダ(ANSI規格48Yシリンダ)に充填されている天然ウラン(UF<sub>6</sub>)を発生槽内で加熱して気化させてカスケード設備に供給し、濃縮ウランと劣化ウランに分離する。

### b. 濃縮ウランの回収

カスケード設備で分離・濃縮したウランは、製品コールドトラップにより捕集し、製品回収槽内で中間製品容器に回収する。

中間製品容器に回収した濃縮ウランは、必要に応じて加工工程内の保管区域に一時保管する。

### c. 均質処理・濃縮度の調整

カスケード設備から回収した濃縮ウランは、均質・ブレンド設備の均質槽内で加熱・液化することにより均質処理した後、サンプルを採取して濃縮度(ウラン235の同位体比)及び純度(ウラン含有率)の分析確認を行う。

分析の結果、濃縮度の調整が必要な場合には、均質・ブレンド設備内において次のとおり濃縮度調整を行う。

濃縮度が高い場合は、原料シリンダから天然六フッ化ウラン(UF<sub>6</sub>)を、濃縮度調整が必要な中間製品容器に移送することにより希釈する。

濃縮度が低い場合は、中間製品容器に入った濃縮度の高い六フッ化ウラン(UF<sub>6</sub>)を、濃縮度調整が必要な中間製品容器に移送することにより調整する。

濃縮度調整を終えた濃縮ウランは、再度前述の均質処理及びサンプルの分析を行い、目的の濃縮度であることを確認する。

d. 製品シリンダへの充填・払い出し

目的の濃縮度に調整し終えた濃縮ウランは、製品シリンダ槽において製品シリンダに詰替え、ウラン貯蔵・廃棄物建屋に一時貯蔵後、再転換工場に払い出す。

e. 劣化ウランの回収・貯蔵

カスケード設備で分離した劣化ウランは、コンプレッサにより昇圧または廃品コールドトラップにより捕集し、廃品シリンダ（使用後の原料シリンダ）に充填してウラン貯蔵・廃棄物建屋に貯蔵する。

f. 付着ウランの回収

カスケード設備内の付着ウランは、カスケード設備に七フッ化ヨウ素 ( $\text{IF}_7$ ) ガスを供給し、付着ウランと七フッ化ヨウ素 ( $\text{IF}_7$ ) ガスを反応させ、生成した六フッ化ウラン ( $\text{UF}_6$ ) と五フッ化ヨウ素 ( $\text{IF}_5$ ) を混合ガスコールドトラップで回収する。

その後、六フッ化ウラン ( $\text{UF}_6$ ) と五フッ化ヨウ素 ( $\text{IF}_5$ ) を分離し、それぞれを別々の専用容器に充填して 2 号発回均質室及び付着ウラン回収廃棄物室に保管する。

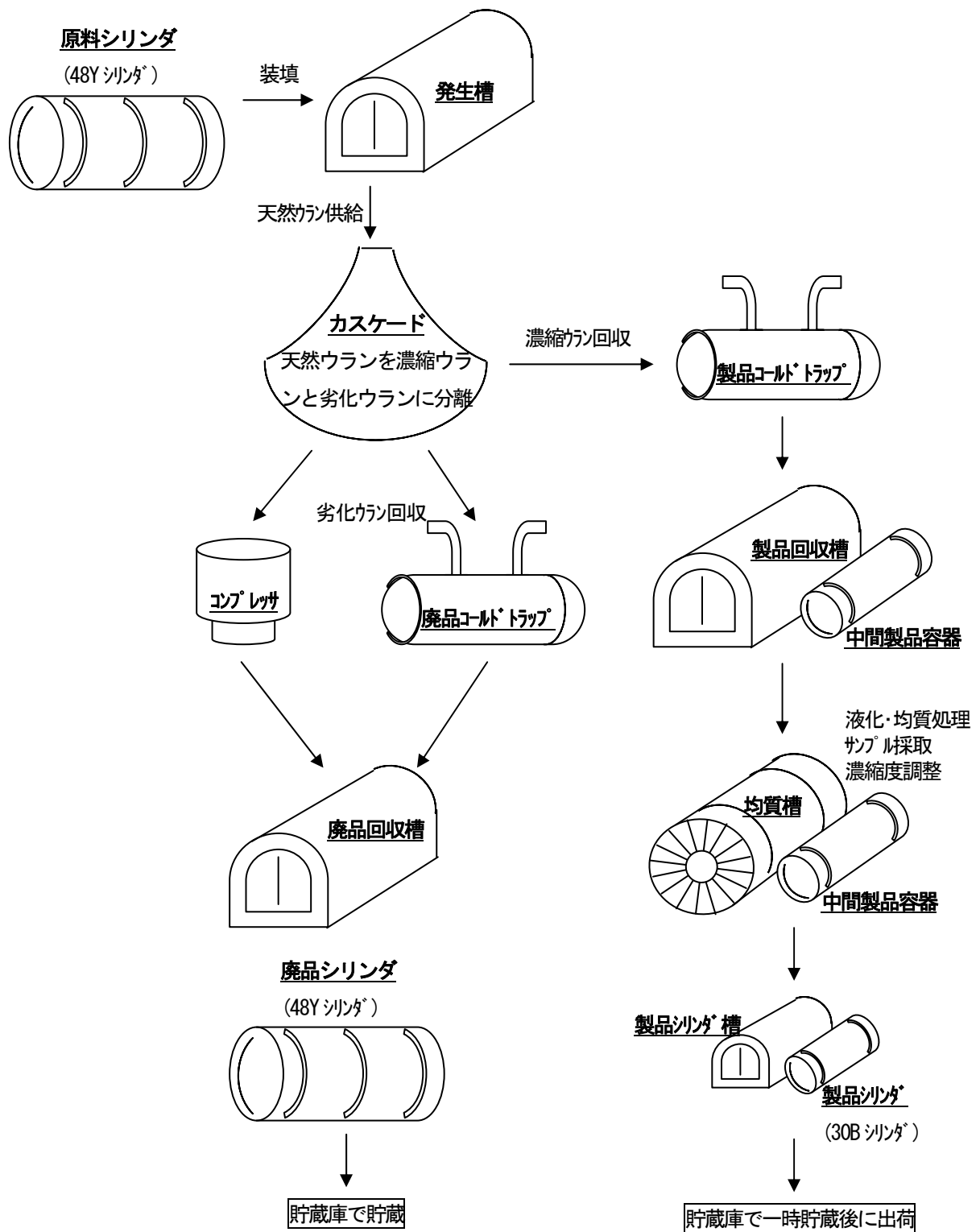
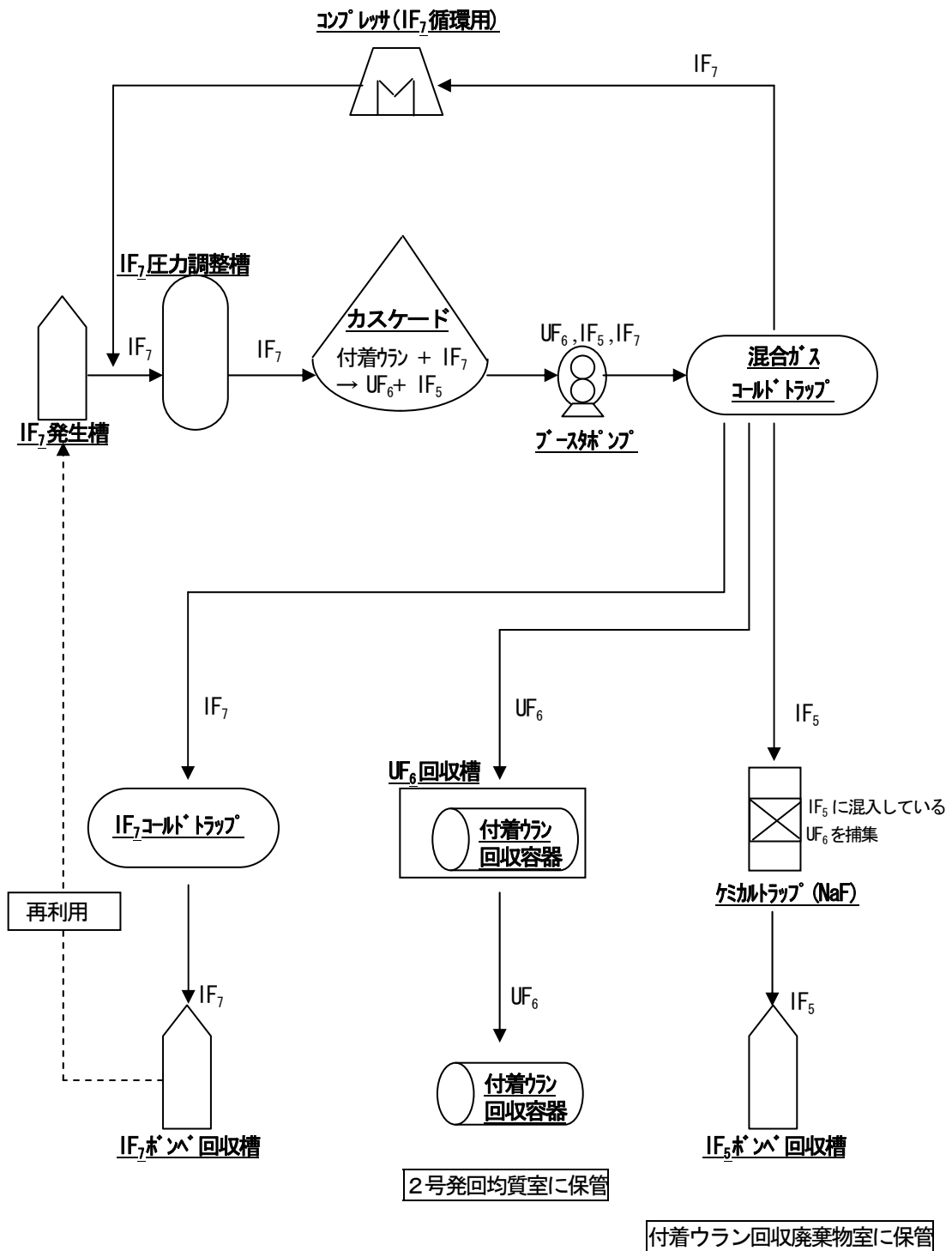


図2-2 (1/2) 六ヶ所ウラン濃縮工場 概略工程フロー図 (ウランの濃縮)



(凡例) — : ガス移送  
 ---- : ポンプ移動

図2-2 (2/2) 六ヶ所ウラン濃縮工場 概略工程フロー図 (付着ウランの回収)

(3) 施設の状況

平成24年3月現在における施設内のウラン貯蔵量を下表に示す。

	貯蔵量
原料ウラン (48Y シリンダ)	49 本
製品ウラン (30B シリンダ)	117 本
廃品ウラン (48Y シリンダ)	1,081 本

(注)シリンダ最大充填量

ANSI 規格 48Y シリンダ : 12,501kg UF<sub>6</sub>

ANSI 規格 30B シリンダ : 2,277kg UF<sub>6</sub>

既設金属胴遠心機によるカスケード設備については、遠心分離機の停止台数の増加にともない、需要に見合う濃縮度の生産ができなくなっていることから、現在、生産運転を計画的に停止している状態にある。1050 tSWU/y 規模のうち、既に新型遠心機への更新を終えた 37.5tSWU/y 分のカスケード設備が、平成24年3月より役務生産を開始している。次の 37.5tSWU/y 分のカスケード設備を新型遠心機へ更新するため、現在、工事に着手しているところであり、今年度末には、運転を開始する予定となっている。

### 3. 六ヶ所ウラン濃縮工場の主要な安全設計

#### (1) 立地条件

##### a. 敷地

本施設は青森県下北半島南部の上北郡六ヶ所村大石平にある標高 30~60m の丘陵地帯にあり、事業所南側は尾駈沼に面している。

事業所の敷地面積は約 340 万 $m^2$ である。

##### b. 気象

本施設近傍の観測所等の近年の気象観測データ（六ヶ所村統計書）によると、年平均気温は約 9℃、最高気温は 34.8℃、最低気温は -13.1℃、年間降水量は約 1300mm、最深積雪は 190cm である。また、理科年表（平成 24 年版）によれば、台風等による過去の最大風速は 29.0m/s、瞬間最大風速は 53.9m/s である。

本施設は、これらの自然力に対して十分耐える設計としている。

##### c. 地盤

本施設の敷地には、鷹架層と呼ばれる新生代第三紀の砂岩・凝灰岩類が分布しており、さらにこれらを覆って第四紀の段丘堆積層や火山灰層が堆積している。

本施設の建物は、十分な地耐力を有する鷹架層の砂岩・凝灰岩類に支持させる設計としている。

##### d. 水理

本施設に必要な工業用水は、本施設の敷地の西方を流れる二又川に設置している取水施設から取水している。

敷地周辺における河川として、二又川のほかに老部川がある。

#### (2) 臨界安全設計

本施設は、 $UF_6$ （六フッ化ウラン）の物理特性（昇華・凝固・融解）により、相変化（固体-気体-液体）を利用する施設であり、ウラン溶液を取扱う設備はない。

また、遠心分離法及び  $UF_6$  の特性上（ $UF_6$  は空気中の水分と反応し  $UO_2F_2$ （フッ化ウラニル）となる。）、ウランを密封した設備・機器の中で取扱うことから、減速材となる水分とウランが混ざるおそれはない。仮に、ウランを内包した容器に大気圧となるまで水分が流入したとしても、臨界となる減速度（H/U-235）に達することはない。

臨界安全設計としては、「ウラン加工施設安全審査指針」等に基づき、下記の安全設計を行っている他、濃縮ウランを収納する容器の加熱は間接加熱にする等、水没の可能性を排除している。

a. 単一ユニット

本施設においては、ウランの濃縮度を 5%以下に制限するとともに、形状寸法又は減速条件によって核的に制限することにより臨界を防止する設計としている。

具体的には、比較的小容量の機器(ケミカルトラップ等)は形状寸法を制限し、コールドトラップのような容量の大きい機器は減速条件を制限している。なお、これらの制限値は公表された信頼度の高い文献に基づき設定している。

b. 複数ユニット

施設内に単一ユニットが二つ以上存在する場合には、ユニット相互間の中性子相互干渉を考慮することとしている。

具体的には、表面間の距離を 30cm 又は 1 m 以上離すこととし、信頼性の高いことが立証された臨界計算コード(KENO)により臨界計算を行い、核的に安全な配置であることを確認している。

(3) 地震に対する安全設計

a. 基本方針

本施設の耐震設計は、内蔵放射エネルギーが少なく潜在的危険性が小さいことを考慮して作成された「ウラン加工施設安全審査指針」等に基づき、原則として静的設計法\*1により行い、設備・機器については剛構造\*2とすることを基本としている。

また、本施設の建物は、十分な地耐力を有する鷹架層の砂岩・凝灰岩類に支持させる設計としている。

\*1 静的設計法：地震時に作用する最大の力が常時作用し続けた場合の外力(静的地震力)に耐えるようにする耐震設計法

\*2 剛構造：地震により振動が生じた場合、剛体となるような、設備・機器の固有振動数が大きい構造

b. 耐震設計

耐震設計上、地震により発生する可能性のある、ウラン漏えいによる環境への影響度から、建物・構築物及び設備・機器を第1類、第2類及び第3類に耐震重要度分類している。

建物・構築物の耐震設計上の静的地震力は、建築基準法施行令第 88 条から定まる最小地震力に、耐震重要度分類に応じた割り増し係数を乗じたものを用いることとしている。

設備・機器については、耐震重要度分類の各類ともに一次設計\*3を行い、最小地震力に耐震重要度分類に応じた割り増し係数を乗じたものを用いることとしている。また、第1類については、一次設計に加えて二次設計\*4を行うこととしている。

また、耐震重要度分類において上位の分類に属するものは、下位の分類に属するものの破損によって、波及的破損が生じないように設計することとしている。

\*3 一次設計：常時作用している荷重と一次地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力を許容限界とする設計。

\*4 二次設計：常時作用している荷重と一次地震力を上回る二次地震力とを組み合わせ、その結果発生する応力に対して、設備・機器の相当部分が降伏し、塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、施設の安全機能に重大な影響を及ぼすことがない設計。第1類の設備・機器には、常時作用する荷重と、一次地震力に割り増し係数を乗じた地震力以上の静的地震力とを組み合わせ、その結果発生する応力に対して、降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力を許容限界とする設計としている。

#### (4) 熱的安全設計

本施設は、原子炉のような熱反応を制御する設備や、焼結設備のような高温で核燃料物質を取扱う設備はないが、固体  $\text{UF}_6$  の加熱気化、均質時の液化の際に、原料シリンダ (48Y シリンダ)、製品シリンダ (30 B シリンダ) 及び中間製品容器を加熱する。

これらの過熱破損防止の観点から熱的制限を設け、使用温度が  $121^\circ\text{C}$  を超えないようにインターロック等を設けている。

#### (5) 閉じ込めの機能に関する安全設計

$\text{UF}_6$  を取扱う設備・機器は、漏えいのない構造とし、万一、漏えいした場合でも漏えいを最小限にとどめ、施設外への拡大を防止できる設計としている。

##### a. 負圧管理

ウランを取扱う区域は、ウランを密封して取扱い又は貯蔵し、汚染の発生するおそれのない区域 (第2種管理区域) とそうでない区域 (第1種管理区域) とに区分して管理している。

第1種管理区域は排気設備により常時負圧に維持し、本区域内の排気は高性能エアフィルタを通して行う。

##### b. 設備・機器の気密性能

本施設の大半の工程では、 $\text{UF}_6$  を大気圧以下で取扱い、機器及び配管は、溶接、ミゾ型フランジ継手等により漏えいのない構造としている。

また、遠心分離機が破損した場合等においても、真空気密性能を維持できるように、破損試験により裏付けられた強度設計を行う等の配慮をしている。



c. UF<sub>6</sub>を大気圧以上で取扱う設備・機器への考慮

UF<sub>6</sub>を大気圧以上で取扱う中間製品容器は、密封構造の均質槽で取扱い、サンプル小分け装置や均質槽の配管には、それぞれフード及び配管カバーを設けている。万一、配管等からUF<sub>6</sub>が漏えいした場合には、工程用モニタにより早期に検知し、局所排気装置を経由して排気する設計としている。(最大想定事故の想定箇所)

(6) その他の安全設計

a. 外部電源喪失に対する考慮

外部電源喪失時の対策として、ディーゼル発電機(2台)、直流電源設備及び無停電電源設備を設置し、第1種管理区域の排気設備、放射線監視設備、自動火災報知設備等の必要な設備に電力を供給する設計としている。

b. シリンダ類の過充填に対する考慮

過去に発生した、アメリカのセコイヤ転換工場における過充填によるシリンダ破裂事故に鑑み、最大充填量を超えないように重量測定によるインターロック等を設けている。

(7) 放射性廃棄物管理

a. 気体廃棄物の廃棄設備

排気設備は、第1種管理区域を負圧に維持する能力を有し、かつ、この区域及び各工程からの排気にとまなう施設外へのウランの放出を実用上可能な限り少なくするように、高性能エアフィルタ等を設けている。

排気に当たっては、排気中の放射性物質濃度を排気用モニタにより連続的に監視している。

なお、後述のように、本施設の排気に起因する一般公衆の被ばく線量は十分小さい。

b. 液体廃棄物の廃棄設備

液体廃棄物は、必要に応じて凝集沈殿、ろ過等の処理を行った後、排水中の放射性物質濃度が許容濃度以下であることを確認した後、他の一般排水とともに排水口から事業所外へ放出している。

管理廃水処理設備の処理能力は、約3000m<sup>3</sup>/yであり、管理区域における年間発生予想量約1300m<sup>3</sup>/yに対して十分な処理能力を有している。

c. 固体廃棄物の廃棄設備

固体廃棄物は、可燃性及び不燃性の固体廃棄物に区分し、ドラム缶等の容器に収納して建屋内に保管廃棄している。

次表に示すとおり、建屋の保管廃棄能力は、十分な保管能力を有している。

室名	保管廃棄能力
A ウラン濃縮廃棄物室	約 5500 本 (200L ドラム缶換算)
B ウラン濃縮廃棄物室	約 4400 本 (200L ドラム缶換算)
C ウラン貯蔵室 (使用済遠心機保管エリア)	75tSWU/y 相当分の金属胴遠心機
使用済遠心機保管室 (建設工事中)	約 555tSWU/y 相当分の金属胴遠心機
C ウラン濃縮廃棄物室 (建設工事中)	約 2800 本 (200L ドラム缶換算)
D ウラン濃縮廃棄物室 (建設工事中)	約 4200 本 (200L ドラム缶換算)

(8) 平常時の被ばく線量評価

a. 気体廃棄物の放出による一般公衆の線量

排気に含まれて放出されるウランは、各工程（操作）の年間ウラン取扱量、排気系への移行率、高性能エアフィルタの除去効率等を安全側に設定して評価している。この結果、排気口出口における放射性物質濃度は約  $5 \times 10^{-12} \text{Bq/cm}^3$  であり、周辺監視区域外の濃度限度である  $2 \times 10^{-7} \text{Bq/cm}^3$  に比べて十分小さく、一般公衆の線量は無視できる。

b. 液体廃棄物の放出による一般公衆の線量

液体廃棄物については、廃水中の放射性物質濃度が、周辺監視区域外の濃度限度の 1/10 以下となるように処理した後放出している。

排水口における放射性物質濃度が、濃度限度の 1/10 として尾駮沼に放出された場合でも、沼産物の摂取による一般公衆の線量は約  $7.4 \times 10^{-7} \text{mSv/y}$  となり無視できる。

c. ウランの貯蔵等に起因する一般公衆の線量

ウランの貯蔵等に起因する直接線及びスカイシャイン線による一般公衆の線量は、十分な安全裕度のある条件を考慮しても、人の居住の可能性のある敷地境界外において、最大で約  $1.4 \times 10^{-2} \text{mSv/y}$  であり、周辺監視区域外の線量限度に比べ十分小さい。

(9) 事故時評価 (図3-1 参照)

技術的にみて発生が想定される事故のうち、最大のウラン放出量を与える事故として、均質・ブレンディング設備の均質槽の中間製品容器へ続く配管の破損を想定している。

この事故において、 $\text{UF}_6$ の放出速度、漏えい継続時間、高性能エアフィルタの捕集効率等を考慮して算出した結果、ウランの総放出量は $1.7 \times 10^{-2} \text{ g-U}$ と極めて少なく、一般公衆の被ばく線量は、十分な安全裕度のある拡散条件を考慮しても極めて小さい。

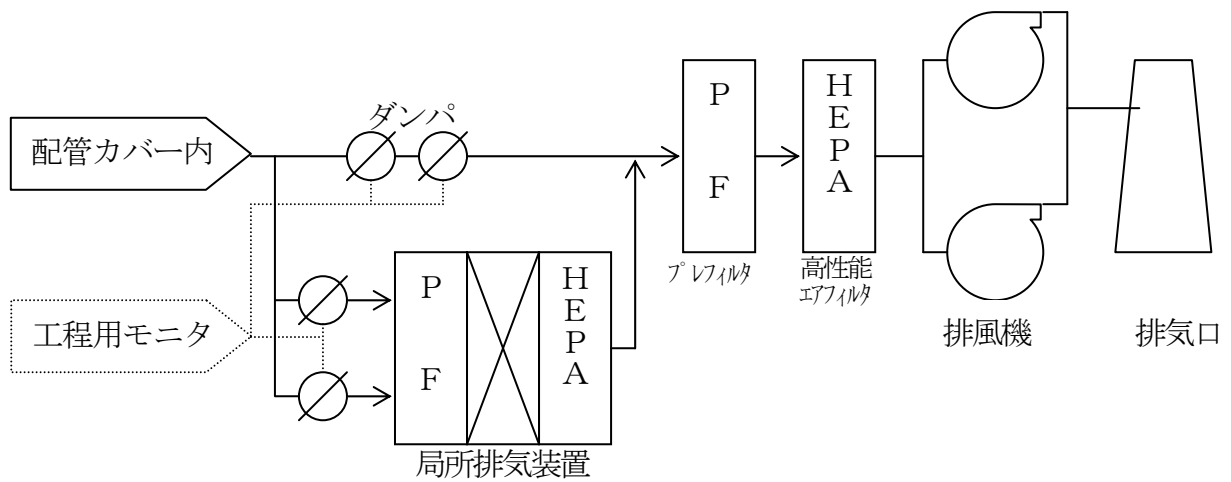
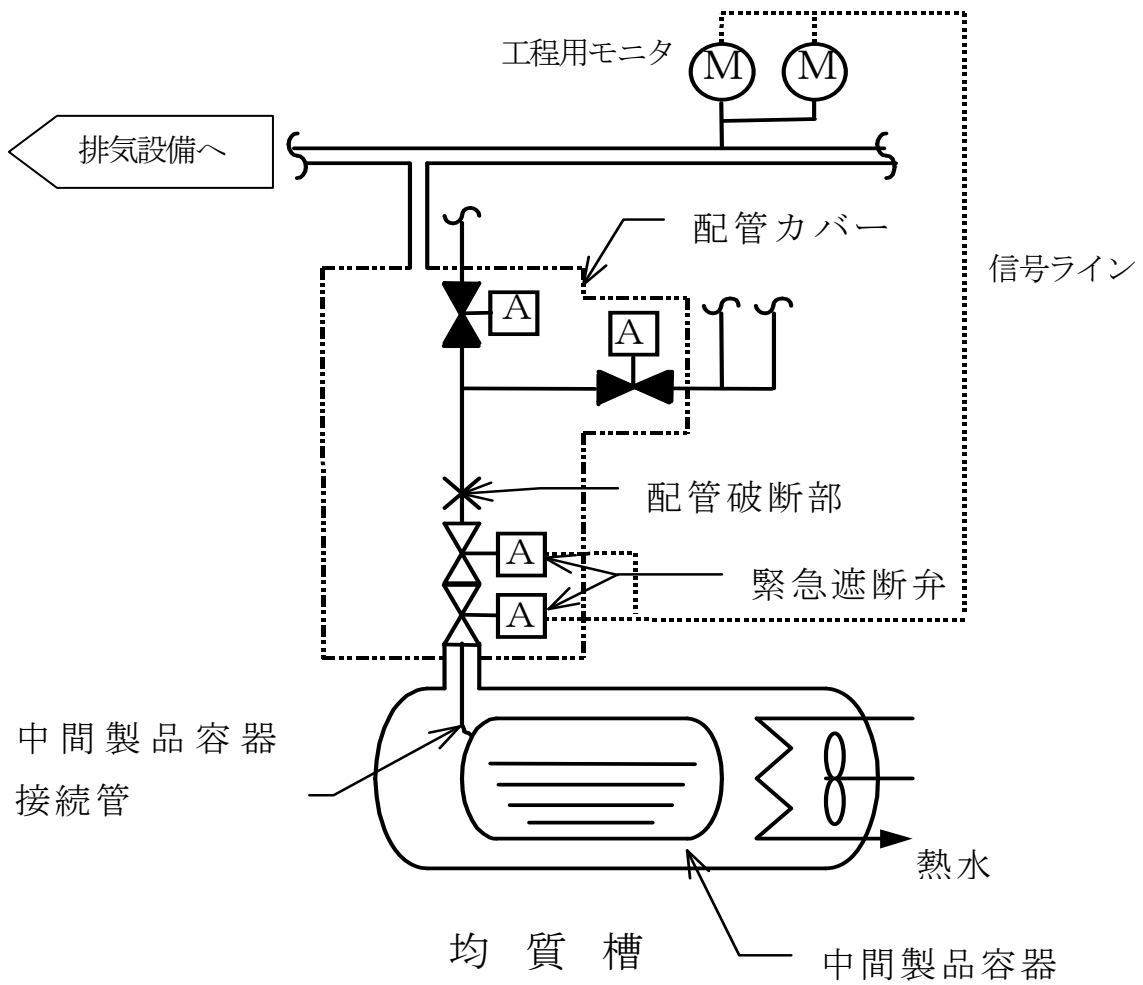


図3-1 最大想定事故の評価モデル

#### 4. 緊急安全対策

六ヶ所ウラン濃縮工場には、崩壊熱除去等の常時電源を確保して機能を維持しておく必要がある施設や、水素爆発の考慮が必要な施設はないため、「平成23年福島第一・第二原子力発電所事故を踏まえた緊急安全対策の実施について（指示）」や、「原子力発電所におけるシビアアクシデントへの対応に関する措置を踏まえた措置の実施について（指示）」に基づく対応は不要となっている。

ただし、2011年3月11日に発生した東日本大震災における経験を踏まえ、非常用ディーゼル発電機用の軽油タンクを増設する等、自主的に自然災害を想定した種々の追加対策を実施している。

## 5. 指示文書の要求事項

### (1) 起因事象

地震、津波及びこれらの重畳といった自然現象により、並びに自然現象によらない何らかの原因により、以下の安全機能を喪失すると仮定する。なお、その他の自然現象の重畳により、事象の過程に大きな影響を及ぼす可能性がある場合には、その影響及び対応措置について検討すること。

- 全交流電源喪失
- 崩壊熱除去機能喪失
- 水素の滞留防止・供給停止機能喪失
- これらの重畳

### (2) 設計上の想定を超える事象

起因事象のうち施設の特徴に応じた事象が進展することにより、以下の事象に至ると仮定する。

- 放射性物質を含む溶液の沸騰
- 水素、TBP の錯体等による爆発
- 放射性物質を放出する火災
- 臨界
- 放射性物質・放射線の漏えい
- これらの事象の同時発生、あるいは一つの事象の複数箇所での発生

### (3) 実施方法

前述の(1)項に示す「起因事象」が(2)項で示す「設計上の想定を超える事象」にまで進展すると仮定し、評価対象施設がどの程度まで「設計上の想定を超える事象」に至ることなく耐えることができるか、施設の特徴に応じて、安全裕度を評価(※)すること。

また、「設計上の想定を超える事象」の発生及び更なる進展を防止するための措置(以下「アクシデントマネジメント」という。)の効果を評価すること。これらの評価を通して、安全性に関する潜在的な脆弱性を明らかにするとともに、「設計上の想定を超える事象」に対する安全性を総合的に評価すること。

- (※) 評価に設計上の許容値を用いる場合、最終的な耐力に比して余裕をもって設定されているのであれば、技術的に説明可能な範囲においてその余裕を考慮した値を用いても良いものとする。

#### (4) 考慮すべき条件

事業許可・事業指定において許容されている最も厳しい条件の下で起因事象が生じるものと仮定し、報告書提出時点において整備されている安全対策を考慮して評価を行うこととする。

#### (5) 評価の進め方

評価にあたっては、施設の特徴に応じて、国内外の評価事例などを参考にして「設計上の想定を超える事象」の発生箇所、発生条件などを同定するとともに、事象の進展過程をイベントツリーの形式で示すこと。

イベントツリーの各段階において、使用可能な防護措置を示すとともにその有効性の限界を示すこと。

また、施設の特徴に応じて、以下の点にも留意すること。

- 決定論的な手法を用い、過度の保守性を考慮することなく現実的な評価を行う。
- 緊急安全対策を実施した施設については、その効果を明らかにする。
- 事象の進展の過程や時間、アクシデントマネジメントを実施するのに要する時間を明らかにする。
- 防護措置の評価にあたっては、合理的な想定により機能回復を期待できる場合を除いて一度失った機能は回復しない、プラント外部からの支援は受けられない等、厳しい状況を仮定する。
- 事業者が自主的に強化した施設・機能や、耐震 S クラス以外の構造物・機器であっても合理的な推定によって機能維持が期待できるものについては、評価においてその機能を考慮できることとする。
- (1) の自然現象が (1) の安全機能の喪失によらずに「設計上の想定を超える事象」に進展する場合の影響が、安全機能の喪失を経て進展する場合よりも大きいのであれば、その安全裕度についても評価する。
- この取組みが、自らの施設の有する余裕や潜在的な脆弱性を把握し、安全を向上させるためのプロセスの一環であることを意識して実施する。

## 6. 評価方法

### (1) 評価実施時点

六ヶ所ウラン濃縮工場は、総合評価の実施時点において操業運転中であり、事業許可・事業指定において許容されている最も厳しい状況を考慮するという指示文書の要求に従って、「事業許可申請書」及び「設計及び工事の方法の申請書」並びに「保安規定及び関連規定類」に記載している条件を用いることとする。

### (2) 評価実施方法

5. の指示文書の要求事項に基づき、5. (1) に示す「起因事象」が、「設計上の想定を超える事象」にまで進展すると仮定し、評価対象施設がどの程度まで「設計上の想定を超える事象」に至ることなく耐えることができるか、施設の特徴に応じて、「安全裕度」を評価する。

また、「設計上の想定を超える事象」の発生及び更なる進展を防止するための措置の効果（アクシデントマネジメント）を評価する。

なお、この際、六ヶ所ウラン濃縮工場の立地条件や設備構成、仕様等を考慮する。

#### a. 「起因事象」について

全交流電源喪失、崩壊熱除去機能喪失及び水素の滞留防止・供給停止機能喪失（以下「3安全機能喪失」という）のうち、後者の2安全機能は、ウラン濃縮工場にはないため、全交流電源喪失が発生し、「設計上の想定を超える事象」に至る過程において、地震、津波及びこれらの重畳といった自然現象を含め、原因となる事象を「起因事象」とする。

また、地震、津波及びこれらの重畳といった自然現象から全交流電源喪失によらずに「設計上の想定を超える事象」に至る過程においては、それぞれの機能喪失の原因となる事象を「起因事象」とする。

#### b. 「自然現象」について

自然現象は、六ヶ所地域でのウラン濃縮工場への影響の観点から、「ウラン加工施設安全審査指針」等の立地条件に示されている項目を基本とし、以下を検討対象とした。

- 地震
- 津波・高潮
- 洪水・大雨
- 火山
- 地すべり・陥没
- 寒波・熱波
- 豪雪
- 台風（強風）・竜巻



➤ 落雷

なお、地震と津波のように因果関係が明確なものは重畳を考慮し、それ以外は、個々の自然現象により発生し得る施設への影響を踏まえ、重畳による影響も含めて個別に検討する。

c. 「設計上の想定を超える事象」について

事業許可申請書においては、施設の基本設計ないしは基本的な設計方針を示しており、これが所定の機能を果たすことを前提として、技術的にみて起こりえる事故の影響を評価している。

つまり、「設計上の想定を超える事象」とは、設備・機器が所定の機能を果たさないときに進展する事象となる。

d. 「安全裕度」について

「安全裕度」とは、評価対象施設がどの程度まで「設計上の想定を超える事象」に至ることなく耐えることができるか、若しくは事象の進展を防止することができるかを数値化したものである。

一つは、自然現象が具体的にどの程度の規模であると起因事象が発生し、安全機能を喪失するかを示すものであり、自然現象として地震を検討する場合には、「耐震裕度」となる。

もう一つは、「起因事象」の発生から「設計上の想定を超える事象」に進展するまでの「時間的余裕」であり、この間に必要な対策を講じることで「設計上の想定を超える事象」への進展を防止することが可能となる。また、ウラン濃縮工場の有する潜在的危険性（放射能インベントリ）から考えて、重大な過酷事象の発生はないため、「設計上の想定を超える事象」へと進展後、必要な諸対策を講じることにより、周辺公衆への影響を十分に低いレベルに抑制することが可能であることから、事態を収束させるまでの「時間的余裕」も「安全裕度」となる。

「安全裕度」の評価においては、「設計上の想定を超える事象」に至る過程を「イベントツリー」の形式で示し、「イベントツリー」の各段階における「安全裕度」から、「設計上の想定を超える事象」に至る過程で最も裕度が小さい箇所を特定する。

e. 「アクシデントマネージメント」について

「設計上の想定を超える事象」の発生及び更なる進展を防止するための措置（アクシデントマネージメント）には、以下のものがある。

- (a) 「設計上の想定を超える事象」の発生防止措置
  - ・「起因事象」の発生を防止するための「進展防止機能」
  - ・「起因事象」の発生から「設計上の想定を超える事象」への進展を防止するための対策としての「進展防止措置」
- (b) 「設計上の想定を超える事象」の更なる進展を防止するための措置
  - ・事象発生後の更なる事象進展を防止し、施設を管理された状態にするための措置

### (3) 評価対象事象

評価対象事象は、「(2) c. 「設計上の想定を超える事象」について」に基づき、「7. 評価対象事象の選定結果」において選定する。

検討事象に抜け落ちがないように、全ての UF<sub>6</sub> 機器と関連する機器や建屋の設計情報を整理のうえ、考えられる事象を全て網羅してその発生可能性をサーベイし、事象の進展性を検討してロジックツリー及び一覧表に展開して整理した。(添付-1 及び添付-2 参照)

### (4) 評価フロー

選定した個々の事象について、予め講じている安全対策が機能しない場合を想定して事象の進展性を検討のうえ、設計想定を超える事象に進展し、周辺公衆へ被ばく影響を与える可能性を検討した。その結果、ウランの漏えい量又は放射線の発生量の大きい事象についてイベントツリーを作成して「安全裕度」の評価を行い、事象の進展防止・抑制措置に係る効果の確認を行う。

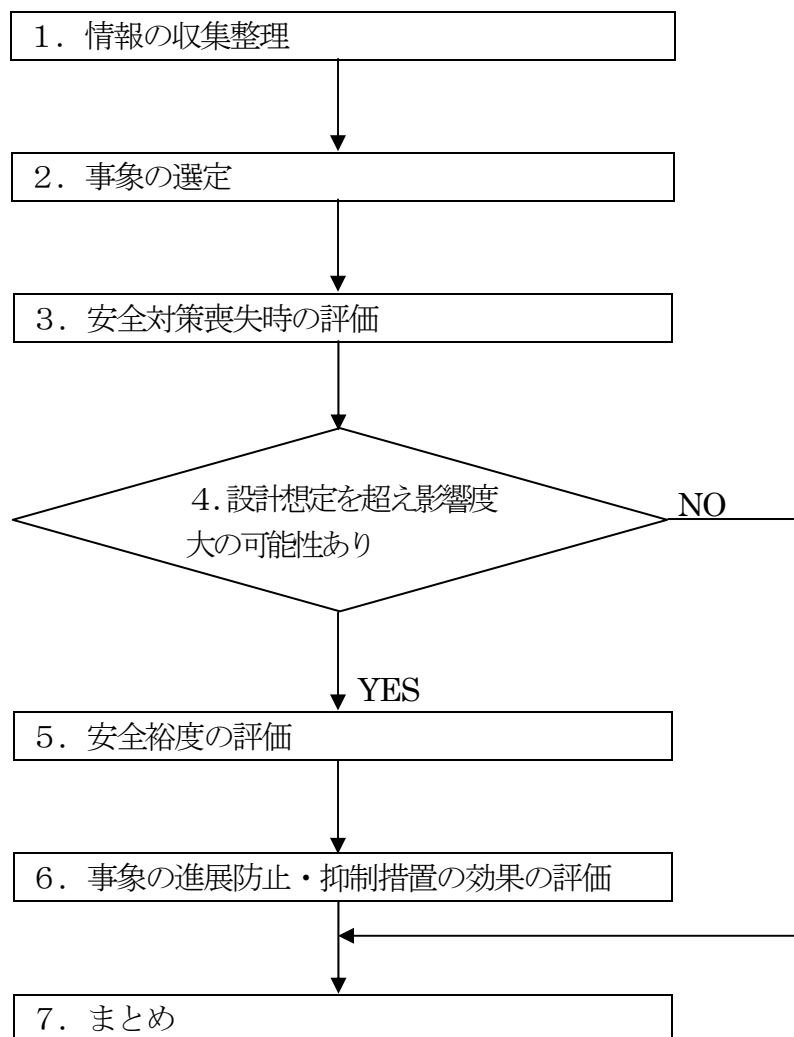


図6-1 評価フロー

(5) 評価に当たっての留意事項

- 当社は「原子力発電所における安全のための品質保証規程 (JEAC4111-2009)」を適用規格とする品質マネジメントシステムを構築しており、指示文書への対応においても、上記品質保証の仕組みのもと、総合評価を実施している。
- 評価に当たっては、合理的に想定が可能な場合を除き、一度機能を失った機器等の機能は回復しない、また施設外部からの支援は受けられない等、厳しい状況を仮定する。

## 7. 評価対象事象の選定結果

### (1) 設計上の想定を超える事象の選定

6. (2) b. に示す自然現象を起点として、3安全機能喪失または3安全機能喪失以外の起因事象から「設計上の想定を超える事象」に進展する可能性について検討した結果を以下に示す。

#### a. 地震

六ヶ所ウラン濃縮工場は、「ウラン加工施設安全審査指針」等に基づき、耐震設計を行っている。

原則として静的設計法\*1により耐震設計を行い、設備・機器については剛構造\*2とすることを基本としている。

また、本施設の建物は、十分な地耐力を有する鷹架層の砂岩・凝灰岩類に支持させる設計としている。

\*1 静的設計法：地震時に作用する最大の力が常時作用し続けるとした場合の外力（静的地震力）に耐えるようにする耐震設計法

\*2 剛構造：地震により振動が生じた場合、剛体となるような、設備・機器の固有振動数が大きい構造

耐震設計上、地震により発生する可能性のある、ウランの漏えいによる環境への影響度から、建物・構築物及び設備・機器を第1類、第2類及び第3類に耐震重要度分類をしている。

建物・構築物の耐震設計上の静的地震力は、建築基準法施行令第88条から定まる最小地震力に、耐震重要度分類に応じた割り増し係数を乗じたものを用いることとしている。

設備・機器については、耐震重要度分類の各類ともに一次設計\*3を行い、最小地震力に耐震重要度分類に応じた割り増し係数を乗じたものを用いることとしている。また、第1類については、一次設計に加えて二次設計\*4を行うこととしている。

また、耐震重要度分類において上位の分類に属するものは、下位の分類に属するものの破損によって、波及的破損が生じないように設計することとしている。

\*3 一次設計：常時作用している荷重と一次地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力を許容限界とする設計。

\*4 二次設計：常時作用している荷重と一次地震力を上回る二次地震力とを組み合わせ、その結果発生する応力に対して、設備・機器の相当部分が降伏し、塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生

じ、施設の安全機能に重大な影響を及ぼすことがない設計。第1類の設備・機器には、常時作用する荷重と、一次地震力に割り増し係数を乗じた地震力以上の静的地震力とを組み合わせ、その結果発生する応力に対して、降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力を許容限界とする設計としている。

表. 7-1 耐震重要度分類

分類	設備・機器	建物・構築物
第1類	非密封ウランを取扱う設備・機器及び非密封ウランを閉じ込めるための設備・機器並びに臨界安全上の核的制限値を有する設備・機器及びその制限値を維持するための設備・機器であって、その機能を失うことによる影響の大きいもの。	第1類の設備・機器を収納する建物・構築物
第2類	非密封ウランを取扱う設備・機器及び非密封ウランを閉じ込めるための設備・機器並びに臨界安全上の核的制限値を有する設備・機器及びその制限値を維持するための設備・機器であって、その機能を失うことによる、影響の小さいもの及び化学的制限値又は熱的制限値を有する設備・機器。	第2類の設備・機器を収納する建物・構築物
第3類	第1類、第2類以外のもの	第1類、第2類以外のもの

表. 7-2 (1/2) 建物・構築物の耐震重要度分類と割り増し係数

分類	建物・構築物	割り増し係数
第1類	発回均質棟、ウラン貯蔵庫、ウラン貯蔵・廃棄物庫	1.3
第2類	中央操作棟、カスケード棟 搬出入棟、ウラン濃縮廃棄物建屋 補助建屋、使用済遠心機保管建屋	1.1
第3類	その他	1.0

表. 7-2 (2/2) 主要な設備・機器の耐震重要度分類と割り増し係数

分類	主要設備・機器	割り増し係数
第1類	(UF <sub>6</sub> 処理設備) 発生槽、製品回収槽、廃品回収槽 製品コールドトラップ、廃品コールドトラップ 一般パージ系コールドトラップ (付着ウラン回収設備) UF <sub>6</sub> 回収槽 (均質・ブレンディング設備) 均質槽、製品シリンダ槽、減圧槽、原料シリンダ槽 (貯蔵設備) シリンダ置台、中間製品容器置台 付着ウラン回収容器置台	1. 5
第2類	(カスケード設備) 遠心分離機 (UF <sub>6</sub> 処理設備) 捕集排気系ケミカルトラップ (NaF) 一般パージ系ケミカルトラップ (NaF) カスケード排気系ケミカルトラップ (NaF) NaF処理槽、廃品第1段コンプレッサ 廃品第2段コンプレッサ (付着ウラン回収設備) 混合ガスコールドトラップ、回収系IF <sub>7</sub> コールドトラップ パージ系IF <sub>7</sub> コールドトラップ 回収系ケミカルトラップ (NaF) 排気系ケミカルトラップ (NaF) パージ系ケミカルトラップ (NaF) (均質・ブレンディング設備) 均質パージ系コールドトラップ 均質パージ系ケミカルトラップ (NaF) (管理廃水処理設備) (排気設備) (非常用設備) ディーゼル発電機 (放射線監視設備) 排気用モニタ、臨界警報装置	1. 4
第3類	(サンプル小分け装置)、(分析設備)	1. 2

建築基準法より定まる最小地震力は、 $0.2W$  ( $W$ :自重) となるため、これに上記の割り増し係数を乗じた地震力により建物・構築物及び設備・機器に生じる応力が、許容値以内であることを確認している。

これより、地震については、上記の設計想定を上回る地震力が建物・構築物及び設備・機器に加わる場合には、発生応力が許容限界を超え、これらが損傷する可能性が発生するため、建物・構築物及び設備・機器が損傷したものと仮定して事象の進展を評価する。

設計想定を上回る地震力が作用した場合に起こると考えられる事象は、以下のとおりである。(添付-1-1 及び添付 1-1-2 参照)

- UF<sub>6</sub>機器損傷
- 建屋の損傷
- 相互影響機器損傷 (UF<sub>6</sub>機器の付帯機器、近接している機器等の損傷)
- 火災
- 全交流電源喪失
- 計測制御機能の異常

これらの事象による UF<sub>6</sub>漏えい、臨界又は UF<sub>6</sub>の放出をともなう火災の発生を検討対象とする。

#### b. 津波・高潮

六ヶ所ウラン濃縮工場は、標高約 36m、海岸線から約 3km 離れた位置にある。これに対し、東日本大震災では、岩手県久慈市～宮城県女川町の範囲で津波の遡上高さが 30m 以上を記録し、岩手県宮古市重茂姉吉 (おもえあねよし) 地区で 40.4m の遡上高さが確認されている。これらの範囲では、地形的な効果により高い標高まで遡上したものと考えられるが、六ヶ所ウラン濃縮工場の立地地点の近傍には、V 字型形状の湾など津波の遡上高さを増大させる特徴的な地形は見られず、津波が敷地まで遡上してくる可能性は考えられない。

以上より、津波・高潮による敷地への影響は評価対象としない。





図7-1 東日本大震災における青森県の浸水域

c. 洪水・大雨

六ヶ所ウラン濃縮工場の敷地は、二又川と老部川に囲まれた台地に位置する。これらの近隣河川の標高は5～20m程度であり、敷地との標高差を考慮すると、河川の氾濫が起きた場合でも、敷地に影響を及ぼすことは考えられない。

以上より、洪水・大雨による敷地への影響は評価対象としない。

d. 火山（添付-3 参照）

火山現象としては、「原子力発電所火山影響評価技術指針（JEAG4625-2009）」に示される①火山灰等の降下、②火山弾等の放出、③火砕流及び火災サージ、④溶岩流、⑤火山ガスの噴出、⑥岩屑なだれ、⑦火山泥流、⑧新火口の形成がある。

ウラン濃縮工場の敷地内には火山灰の堆積層があるため、火山灰等の降下による影響が考えられる。これに対しては、換気空調設備や非常用ディーゼル発電機の機器故障等を引き起こし、第1種管理区域の負圧低下や非常用ディーゼル発電機の起動不能等の不具合につながる可能性があるが、UF<sub>6</sub>は密封システムで取り扱っているため、室の負圧低下等が発生しても、UF<sub>6</sub>の閉じ込め性は確保されている。また、未臨界維持のために常時機能維持が必要な機器はないため、臨界の発生可能性もない。この他、火山灰の堆積による建屋荷重の増加については、地震に対する建屋耐力の評価に包含される他、敷地内への火山灰堆積と豪雨等が重なると、敷地内の排水路が溢水し、ウラン濃縮工場が浸水することも考えられるが、地形的に考えて、敷地は南東方向に緩やかに傾斜していることから、敷地内に雨水が滞留するようなことはない。

火砕流等の火山噴出物に対しては、活動規模や噴火タイプ等の活動様式、敷地周辺の地形を考えると、十和田火山（敷地の南西方向約65km）による火砕流の影響可能性が考えられるが、将来大規模噴火を生じるには、今後1万年程度の休止期間が必要とされることから、発生可能性は極めて小さいと考えられる。

以上より、火山による敷地への影響は評価対象としない。

e. 地すべり・陥没（添付-4 参照）

空中写真判読結果等によれば、ウラン濃縮工場の施設周辺において地すべり地形及び陥没が発生した形跡は認められず、敷地周辺の地形並びに地質構造を考慮しても、大規模な地すべりや陥没が発生することは考えられない。

これより、地すべり・陥没による敷地への影響は評価対象としない。

f. 寒波・熱波（添付-5 参照）

寒波の対策として、必要性に応じて凍結防止対策を施しているが、異常寒波により水系配管の凍結が発生するものと仮定する。

配管の凍結により、機器冷却水の供給が停止すれば、設備・機器が運転停止となり、生産活動に支障が出るが、崩壊熱除去や臨界管理の観点から冷却機能の維持が

必要な機器はないため、安全上の影響はない。

また、屋外消火栓が凍結した場合には、火災発生時の初期消火に影響が出ると考えられる。原則的に、工場内では可燃性物質及び爆発性物質を取扱っておらず、工場外に設置している可燃性物質（化学薬品、重油・軽油等）の取扱い施設は、消防法等に基づき設置している他、建屋は耐火構造・準耐火構造としており、大規模火災が発生するおそれはない。万一、火災が発生した場合でも、防火水槽や水処理建屋内の貯水の利用が可能である。

これより、寒波による敷地への影響は評価対象としない。

なお、最新の統計記録では、冬期の最低気温は $-22.4^{\circ}\text{C}$ （むつ）であり、異常寒波により影響の発生可能性は低いと考えられる。

異常熱波については、換気空調設備の温度制御が追従せず、熱波により計測制御設備の設計温度を超えるような場合には、計装系の異常が発生する可能性が考えられる。

仮に計測制御設備に異常が発生しても、ウラン濃縮工場には、崩壊熱除去や臨界管理の観点から冷却機能の維持に必要な機器はないため、安全上の影響はない。また、カスケード設備は、その特性上、外気温度が高くなると濃縮度が低くなる方向であるため、濃縮度異常が発生する可能性もない。

なお、最新の統計記録では、夏期の最高気温は $37^{\circ}\text{C}$ （八戸）であり、異常熱波による影響の発生可能性は低いと考えられる。

#### g. 豪雪（添付-6 参照）

豪雪に関しては、想定を超える積雪深による影響を検討する。

積雪については、建屋に作用する荷重として構造設計を実施しており、その裕度（耐力）は、地震に対する裕度の評価に包含される。（添付-11 参照）

なお、豪雪に対しては、必要に応じて除排雪によって荷重を減らすことが可能であるとともに、周辺地域の最深積雪は 170cm（むつ）、190cm（六ヶ所）であり、豪雪による影響の可能性は低いと考えられる。また、冬季は積雪状況に応じて除雪・排雪を行っていることから、豪雪による敷地への影響は評価対象としない。

#### h. 台風（強風）・竜巻

台風・竜巻の暴風による影響としては、建屋に作用する風圧力及び飛来物の影響が考えられる。

風圧力については、ウラン濃縮工場は建築基準法に定められる風圧力に対する設計を行っており、その裕度（耐力）は、地震に対する裕度の評価に包含される。（添付-11 参照）

暴風による飛来物の影響については、以下のとおりである。

発回均質棟は、天井・壁のコンクリート厚さが約 90cm の鉄筋コンクリート造の堅固な構造である。同建屋については、航空機落下を仮想した影響評価を実施しており、剛性の高い航空機のエンジン部でも、天井・壁を貫通することがないことを確認していることから、暴風による飛来物の衝突により、建屋内の機器が損傷して UF<sub>6</sub> の漏えい事故へと至る可能性はない。(添付-7 参照)

ウラン貯蔵・廃棄物建屋は、天井及び壁のコンクリート厚さが、それぞれ約 20cm 及び約 40cm ある鉄筋コンクリート造の堅固な構造である。同建屋内には、UF<sub>6</sub> シリンダ類が貯蔵されているが、発回均質棟の場合と同じく、航空機落下を想定した影響評価を実施している。航空機の落下により建屋内へ破片が貫通し、UF<sub>6</sub> シリンダ (30B シリンダ) 上に落下したとしても、UF<sub>6</sub> シリンダに変形は生じるが、大破することがないことを確認しており、固体状のシリンダ内の UF<sub>6</sub> が大量に周辺環境へ飛散することもないため、周辺公衆への影響は無視し得る。

また、建屋に生じた開口部から雨水が損傷 UF<sub>6</sub> シリンダ内に浸入し、臨界となる可能性もない。(添付-8 参照)

カスケード棟、中央操作棟、ウラン濃縮廃棄物建屋、その他の建屋は、鉄骨造の建屋であり、飛来物の衝突によって PC 板 (プレストレストコンクリート板) が損傷、落下する可能性等が考えられる。この場合の影響については、地震による影響において検討する。

以上のように、台風・竜巻による影響は、地震による影響の検討に包含して評価する。

#### i. 落雷

六ヶ所ウラン濃縮工場は、建築基準法等に基づき避雷設備や設備・機器の接地を行っており、落雷による影響のないようにしている。

また、仮に落雷により計測制御設備等に異常が発生したとしても、崩壊熱除去等のために常時機能を維持しなければならない設備・機器はないことから、落雷による影響は評価対象としない。

### (2) 選定結果

(1) の検討結果より、「設計上の想定を超える事象」として評価する事象は以下の項目である。

- ・地震を起因とする UF<sub>6</sub> 機器の故障等により、UF<sub>6</sub> 漏えい、臨界及び UF<sub>6</sub> の放出をともなう火災へと至る事象

なお、洪水等の自然現象を起因として六ヶ所ウラン濃縮工場が浸水する可能性は考えられないが、工場が浸水したと仮想して影響評価を行い、当工場の有する潜在

的危険性の程度の確認も行うものとする。また、施設が地震の影響を受けた状態と浸水との重畳も考慮する。

六ヶ所ウラン濃縮工場が浸水した場合に起こると考えられる事象は、以下のとおりである。(添付-1-1参照)

- 建屋/UF<sub>6</sub>機器損傷
- 火災

これらの事象によるUF<sub>6</sub>漏えい、臨界又はUF<sub>6</sub>の放出をともなう火災の発生を検討する。

## 8. 設計上の想定を超える事象の評価

### 8. 1 評価対象

「設計上の想定を超える事象」の評価として、地震を起因とするUF<sub>6</sub>機器の故障等により、UF<sub>6</sub>漏えい、臨界及びUF<sub>6</sub>の放出をともなう火災へと至る事象について評価する。

また、発生可能性は考えられないものの、六ヶ所ウラン濃縮工場が浸水したと仮想し、潜在的危険性の程度が十分低いことを評価する。加えて、地震と浸水の重畳についても評価する。

### 8. 2 評価実施事項と評価方法

#### (1) 事象の進展防止措置の抽出及び収束シナリオの特定

「7. 評価対象事象の選定結果」において示したUF<sub>6</sub>機器の損傷等の発生が想定される事象毎にその進展性を検討する。その結果、UF<sub>6</sub>漏えい、臨界又はUF<sub>6</sub>の放出をともなう火災に進展すると考えられる場合には、イベントツリーに整理し、事象の進展防止措置及び収束シナリオを特定する。

#### (2) 耐震裕度

地震を起因とする事象の進展性については、以下のとおり耐震裕度を検討する。

##### a. 建屋の耐震裕度評価（添付-9 参照）

建屋の損傷による影響としては、内外装材の落下によるUF<sub>6</sub>機器等の損傷及び建屋の一部若しくは建屋全体の崩壊によりUF<sub>6</sub>の放出事故へと至ることが考えられる。

これより、内外装材の落下については、層間変形角により評価し、建屋の崩壊可能性については、保有水平耐力により検討する。

いずれも第1類の設計地震力が作用した場合に、許容値に対して何倍の耐力があるかを算出し、限界耐力（自重の何倍の地震力が限界値となるか）を評価する。

##### b. 設備・機器の耐震裕度評価（添付-10 参照）

設備・機器の耐震裕度の評価は、地震により発生する応力が高くなる部位について評価するものとし、第1類の設計地震力が作用した場合に、許容値に対して何倍の耐力があるかを算出し、限界耐力（自重の何倍の地震力が限界値となるか）を評価する。

また、建屋の耐震耐力との相関を考慮し、地震力の増大に応じて事象の進展上支配的となる箇所を特定する。

##### c. 事象進展防止措置の評価

特定された事象の進展防止上、周辺公衆の放射線被ばくを低減するために有効な措置を明らかにする。

### (3) 事象発生時の影響評価

UF<sub>6</sub>の漏えいによる周辺公衆への影響については、その影響度から考えて、UF<sub>6</sub>を大気圧以下で取扱う機器と大気圧を超える圧力で取扱う機器に分けて検討する。

臨界時の被ばく線量については、発回均質棟及びウラン貯蔵・廃棄物建屋が健全な状態であれば、コンクリートによる遮へい効果が期待できるため、γ線及び中性子線による線量は十分に低減される。しかし、臨界により発生した希ガスによる影響により、平常時を上回る被ばく線量となることが考えられるため、臨界が発生するか否かを評価するものとし、臨界の発生が考えられる場合には、周辺公衆に対して与える影響は大きいものと想定とする。

### (4) 時間余裕

ウラン濃縮工場において発生し得る事故事象から考えて、原子炉や再処理施設のような過酷事故は起こり得ず、万一、事故が発生した場合には、如何にしてこれを早く収束させ、一般公衆への影響を低減し得るか（影響緩和策）がアクシデントマネジメントになる。これより、UF<sub>6</sub>漏えい又は臨界事故が発生した後、これを収束させるまでの時間を「時間余裕」として評価する。

従って、UF<sub>6</sub>の漏えいについては、UF<sub>6</sub>のインベントリ全量又は放出し得る量の全てが放出されるまでの時間を明らかにする。

### (5) 影響緩和策（アクシデントマネジメント策）の有効性評価

周辺公衆の放射線被ばくを低減するために有効な措置の実現可能性、対応時間等を明らかにし、その有効性を評価する。

## 8. 3 評価結果

### 8. 3. 1 地震を起因とする UF<sub>6</sub> 機器の故障等により、UF<sub>6</sub> 漏えい、臨界及び UF<sub>6</sub> の放出をとまなう火災へと至る事象の評価結果

#### (1) UF<sub>6</sub>機器の損傷

##### a. UF<sub>6</sub>漏えい

UF<sub>6</sub>機器が損傷した場合には、UF<sub>6</sub>の取扱い圧力が大気圧以下であるか、若しくは大気圧を超えるかによって、事象の進展が大きく異なる。

UF<sub>6</sub>の取扱い圧力が大気圧以下である場合には、発生した欠陥部から系内に大気が入り、系内外の圧力が同圧になった後、UF<sub>6</sub>の濃度差による拡散漏えいが発生する。拡散漏えいの速度は、 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-3} \text{ kg UF}_6/\text{s}$  と非常に緩慢であり、UF<sub>6</sub>の比重は空気の約 12 倍と大きいことから、系外へ漏れ出た UF<sub>6</sub>は、漏えい箇所周辺にとどまり、建屋外への移行量は限られるため、周辺公衆への影響は無視し得る。

(添付-12 参照)

UF<sub>6</sub>の取扱い圧力が大気圧を超える場合には、UF<sub>6</sub>が系外へ大量漏えいする。

UF<sub>6</sub>を大気圧以上で取扱う機器として、発回均質棟内に設置している均質槽（中間製品容器）及びサンプル小分け装置がある。このうち、サンプル小分け装置は、UF<sub>6</sub>の取扱量が1kg UF<sub>6</sub>であるため、全量が系外へ漏れ出たとしても、周辺公衆へ影響を与えることはない。これより、均質槽（中間製品容器）からのUF<sub>6</sub>漏えいが問題となる。

地震による建屋及び設備・機器の耐力を評価した結果、発回均質棟は、震度6～7の大地震でも崩壊のおそれはない。

これに対して、均質槽（中間製品容器）は、子台車部分の耐力が相対的に小さく、次に脚部の耐力が小さいとの結果になった。これより、均質槽（中間製品容器）に作用する地震力に応じた事象の進展性をイベントツリーに整理すると、添付-13のとおりとなる。

#### 【均質槽の損傷によるUF<sub>6</sub>漏えい】

均質槽周りで耐震耐力が最も小さい箇所は、中間製品容器を積載した均質槽内の子台車部分であるが、第1類の設計地震力0.45Wに対して1.28倍の耐力を有している。これは、建築基準法に基づく地震力0.2Wに第1類の割増係数1.5×1.5をかけた耐力に、更に1.28倍の余裕があることを表しており、汎用設計の機器よりも約2.9倍の実力を有していることになるため、容易に転倒等を起こすものではない。

相対的な耐震耐力の比較から考えて、地震力が大きくなっていった場合の事象進展性を検討すると、まずは耐力の小さい子台車の脱落・転倒により、中間製品容器とプロセス配管をつなぐ接続管の気密性が損なわれる可能性が抽出される。しかし、この場合でも、均質槽が耐圧気密性を有しているため、接続管・中間製品容器元弁部から漏れ出たUF<sub>6</sub>は、均質槽内にとどまり、室内に漏れ出ることはない。

更に地震力が大きくなると、均質槽の脚部が損傷して均質槽が転倒し、均質槽の気密性が損なわれる可能性が生じる。ただし、均質槽が転倒しても、構造・強度から考えて大破することはないため、大半のUF<sub>6</sub>は槽内に留まると考えられる。また、均質槽の損傷及び汎用設計の熱水系や計測制御設備等の損傷により、均質槽の加熱運転は停止するため、UF<sub>6</sub>の漏えいは時間経過とともに自然に収束する。

中間製品容器から漏れ出たUF<sub>6</sub>が、均質槽の外に全量移行すると考え、漏えい量を評価すると、液体状態のUF<sub>6</sub>が蒸発することによって潜熱を失い、温度が低下して固体となって系内の圧力が大気と同圧になるまで漏えいが継続するとすれば、12時間程度の長い時間をかけて、約2500 kg UF<sub>6</sub>/基が室内に漏れ出ることになる。



UF<sub>6</sub>は、比重が空気の約12倍と重く、大気中の水分と反応して速やかにUO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>のエアロゾルに変わり、床・壁等に沈着するため、室内に漏れ出たUF<sub>6</sub>の大半は、漏えい箇所周辺に留まる。

均質槽は、600tSWU/y(RE-1：第1期建設分)に7基、450tSWU/y(RE-2：第2期建設分)に6基設置されており、通常時の運転状態から考えて、液化中の均質槽が5～6基あるものとする、最大で約2500kg UF<sub>6</sub>/基の5～6倍の量が室内に漏れ出ることになる。

#### 【均質槽外の高圧配管部の損傷によるUF<sub>6</sub>漏えい】

均質槽等に作用する水平地震力が大きくなると、均質槽の転倒や均質槽に接続しているプロセス配管の耐性を上まわる応力の付加により、配管カバー内配管が損傷する可能性がある。

配管カバー内配管の損傷に対しては、UF<sub>6</sub>漏えい拡大防止インターロックを設けている。UF<sub>6</sub>の漏えいにより発生したHFを工程用モニタによって検知し、緊急遮断弁の閉止、局所排気設備への切替えが自動的に行えるようになっている。本インターロックが正常に作動した時の漏えい量は、3.42kg UF<sub>6</sub>/基とわずかであり、これは事業許可上の最大想定事故に相当する。

地震により漏えい拡大防止インターロックは機能しないことが考えられるが、緊急遮断弁はフェールクローズにより「閉」となるため、同インターロックと同様の動作が期待できる。仮に緊急遮断弁が「閉」とならなかった場合には、前述の【均質槽の損傷によるUF<sub>6</sub>漏えい】と同じ結果となる。

以上の事象を早期に収束させるためには、UF<sub>6</sub>を冷却して早く固体にし、漏えい箇所を閉止する必要がある。UF<sub>6</sub>は水分と反応して有毒なフッ化水素(HF)を発生させること及び水が減速材となって臨界の発生可能性を高めるため、冷却は管理区域内に配備している二酸化炭素消火器を使用して行う。また、漏えい箇所は、木栓やビニルシート等によって開口部を塞ぐことにより、比較的容易に閉止することが可能である。

なお、ウラン濃縮工場で取扱っているウランは、未照射ウランであるため、線量が小さいことから、漏えい現場に接近できないということはない。ただし、ウランの吸入摂取及びフッ化水素(HF)の吸入摂取の防止と皮膚の防護のために、防護服の装着は必須である。(添付-21参照)

#### b. 臨界

地震を起因として臨界に至る可能性としては、以下の事象が考えられる。

- UF<sub>6</sub>機器、関連機器の故障停止により臨界へと至る事象
- UF<sub>6</sub>機器の転倒、移動による接触により臨界へと至る事象
- UF<sub>6</sub>機器の損傷によって系内に水分を含む大気が流入(H/U増加)するこ

- 漏水・浸水等による健全 UF<sub>6</sub>機器の水没により臨界へと至る事象
- 漏水・浸水等による健全 UF<sub>6</sub>機器内への水の浸透により臨界へと至る事象
- 漏水・浸水等と UF<sub>6</sub>機器損傷による UF<sub>6</sub>漏えいの重畳（床面等への滞留）により臨界へと至る事象
- 漏水・浸水等による損傷 UF<sub>6</sub>機器への水の浸入により臨界へと至る事象

これらの各事象及び重畳について発生可能性を検討した結果、以下のとおり臨界の発生可能性はない。

#### 【UF<sub>6</sub>機器、関連機器の故障停止】

未臨界維持のために常時機能を維持しておかなければならない機器はないため、機器が故障停止したとしても臨界が起きることはない。

#### 【UF<sub>6</sub>機器の転倒、移動による接触】（添付-14 参照）

UF<sub>6</sub>機器は、機器間の中性子相互干渉を防止するために、30 cm又は1m以上の距離を置いて設置しており、地震による転倒、移動によってUF<sub>6</sub>機器同士が接触すれば臨界となる可能性がある。

UF<sub>6</sub>機器の接触による臨界の可能性については、既往の臨界安全設計においても確認しており、臨界計算の結果、中性子増倍率は  $k_{eff} \leq 0.95$  であるため、臨界となることはない。

#### 【UF<sub>6</sub>機器の損傷時の大気流入（H/U 増加）】（添付-15 参照）

UF<sub>6</sub>機器は、リーク試験により漏えいのない構造であることを確認するとともに、原料 UF<sub>6</sub>の供給前には脱気により不純物（HF 等）を取り除き、系内への減速材となる水素（H）の混入を防止している（減速度管理）。

地震により UF<sub>6</sub>機器が損傷した場合には、系内に大気が入り、大気中に含まれる水分の混入によって減速度（H/U<sub>235</sub>）が高まり臨界となる可能性が考えられる。

UF<sub>6</sub>機器損傷時の大気流入については、既往の臨界安全設計においても確認しており、大気流入時の減速度は、最大で  $H/U_{235} = 5.1$  となる（製品コールドトラップ）。UF<sub>6</sub>は、 $H/U_{235} = 10$  以下であれば、質量無限大でも臨界とならないことから、UF<sub>6</sub>機器の損傷によって臨界がおきるおそれはない。

#### 【その他（漏水・浸水等による影響）】

濃縮ウランを取扱う UF<sub>6</sub>機器は、臨界安全性の観点より、間接加熱・間接冷却方式により加熱・冷却を行う設計としているため、地震により UF<sub>6</sub>機器が損傷して UF<sub>6</sub>の漏えいが発生しても、臨界となる可能性はない。（UF<sub>6</sub>漏えいと浸水等の重畳による臨界の可能性については、「8. 3. 2 漏水・浸水等による影響の評価結果」に示すとおり。）

## (2) 建屋の損傷

### a. UF<sub>6</sub>漏えい

建物に水平方向の地震力が作用すると、各階層に働く地震力と耐力に応じ、横方向に傾いた変形を起こす。建物自体の強度は十分にあっても、この変形量が大きいと、内外装材の剥がれ落ちや設備・機器に損傷が発生する可能性がある。

これより、建屋の層間変形角が、許容値以内である 1/200（または 1/120）であることを確認し、内外装材の落下等による設備・機器の損傷可能性を評価した。

また、建屋の保有水平耐力比により、建屋の限界耐力を評価した。（添付-9 参照）

### 【発回均質棟及びウラン貯蔵・廃棄物建屋】

層間変形角に基づく検討より、鉄筋コンクリート造の発回均質棟、ウラン貯蔵庫及びウラン貯蔵・廃棄物庫については、内外装材の落下や建屋の変形により設備・機器が落下する可能性は低い。

また、発回均質棟は天井及び壁のコンクリート厚さが約 90cm、ウラン貯蔵・廃棄物建屋の天井及び壁は約 20cm 及び約 40cm の耐震壁により堅固な構造となっており、震度 6～7 の大地震に対しても倒壊する可能性はない。

建屋に作用する地震力が大きくなれば、コンクリート表面に剥離が生じる可能性があるが、UF<sub>6</sub> は比重が空気の約 12 倍と非常に重い物質であり、大気中の水分と反応して 0.3～3 μm の大きさのエアロゾル状の UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> となって床や壁に沈着する。これより、UF<sub>6</sub> 機器の損傷により室内に UF<sub>6</sub> が漏えいし、合わせて建屋のコンクリート表面の剥離等により隙間が生じたとしても、大半の UF<sub>6</sub> は建屋内に留まる。

以上の事象を収束させる手段は、「(1) UF<sub>6</sub> 機器の損傷」と同じである。なお、UF<sub>6</sub> 機器が同時に複数損傷した場合等、強制冷却や漏えい箇所の閉止措置が困難な場合には、扉・シャッターや建屋に生じた開口部に目張りをし、建屋内に UF<sub>6</sub> を閉じ込めることによって、周辺公衆へ影響を及ぼすことを防止できる。

### 【カスケード棟】

カスケード設備を収納しているカスケード棟については、震度 6～7 の大地震で柱や梁に座屈が生じ、PC 板（プレストレストコンクリート板）が破損して落下する可能性がある。

比較的大量の UF<sub>6</sub> を収納する建屋としては、最初に倒壊する可能性があるが、カスケード設備のインベントリ量から考えて、全カスケード棟（7 運転単位分のカスケード設備を収納）が倒壊したとしても、周辺公衆へ過度の影響を及ぼすことはない。

### 【中央操作棟】

中央制御室や管理廃水処理設備等の少量の UF<sub>6</sub> を取扱う設備を収納している中央操作棟についても、震度 6～7 の大地震により柱や梁に座屈が生じ、PC 板（プレストレストコンクリート板）が破損して落下する可能性がある。

中央操作棟が損傷した場合、プラントの遠隔操作、監視ができなくなる可能性があるが、崩壊熱除去等の常時機能を維持しなければならない設備・機器はなく、線量が高くて近づくことのできない設備・機器もないことから、現場における確認・操作によって施設の状態把握と事故の収束は可能である。

### 【ウラン濃縮廃棄物建屋】

ウラン濃縮廃棄物建屋についても、震度 6～7 の大地震により柱や梁に座屈が生じ、PC 板（プレストレストコンクリート板）が破損して落下する可能性がある。

ウラン濃縮廃棄物建屋内には、ドラム缶等に収納した放射性廃棄物があるのみであり、仮に倒壊したとしても、周辺公衆へ与える影響は無視し得る。

### 【その他の建屋】

外部電源が喪失した場合に、排風機（第 1 種管理区域の負圧維持用）や排気用モニタ（施設外へのウラン放出監視用）等に電気を供給する非常用ディーゼル発電機が収納されている補助建屋は、震度 6～7 の大地震に対しても倒壊する可能性はない。

ただし、非常用ディーゼル発電機から負荷機器に電気を供給する電気ケーブルが設置されている中空の渡り廊下は、地震力の増大にともない、補助建屋よりも先に損傷、倒壊する可能性があり、排風機や排気用モニタが機能を喪失する可能性がある。しかし、UF<sub>6</sub> を大量に収納している発回均質棟が建屋の機能を維持しているため、万一室内に UF<sub>6</sub> が漏えいした場合には、排風機の停止は安全側の動作になるとともに、排気用モニタが機能を停止しても、モニタリングカー等による周辺モニタリングによって機能を代替できる。

## (3) 相互影響機器の損傷（添付-16 参照）

UF<sub>6</sub> 機器及びビューティリティ機器は、耐震重要度分類上の上位機器への波及的影響を考慮した配置設計を行い、地震により生じる応力に対して変形はしても損傷しないこと等を既往設計にて確認しているが、地震力の増大とともに、上位の UF<sub>6</sub> 機器よりも小さな地震力で損傷する可能性がある。

これらの相互影響を考慮する必要がある機器の損傷による事象の進展性については、以下のとおりである。

a. UF<sub>6</sub>漏えい

**【UF<sub>6</sub>機器の波及的損傷】**

相互影響機器の損傷による UF<sub>6</sub> 機器の損傷で最も被害が大きいと考えられるものとして、ウラン貯蔵・廃棄物建屋等に設置している天井走行クレーンの落下がある。しかし、UF<sub>6</sub> シリンダ類の構造・強度及びUF<sub>6</sub>の取扱い圧力から考えて、UF<sub>6</sub> シリンダが大破することはないため、周辺公衆へ与える影響は無視し得る。(添付-8 参照)

また、大気圧を超える圧力で UF<sub>6</sub> を取扱う均質槽（中間製品容器）についても、周囲の機器の設置状況等から考えて、波及的損傷が起きることはない。(添付-16 参照)

仮に UF<sub>6</sub> 機器が損傷したと想定した場合の影響については、「(1) UF<sub>6</sub> 機器の損傷」で示したとおりである。

b. 臨界

相互影響機器の損傷により UF<sub>6</sub> 機器が損傷した場合の臨界可能性については、基本的に「(1) UF<sub>6</sub> 機器の損傷」で示したとおりである。

これ以外の相互影響機器の損傷と UF<sub>6</sub> 機器の損傷の重畳についての検討結果を以下に示す。

**【漏水・浸水等による健全 UF<sub>6</sub> 機器の水没】**

「(1) UF<sub>6</sub> 機器の損傷」で示したとおり、UF<sub>6</sub> 機器の内部は減速度が管理された状態であり、外部空間についても、機器の表面間距離を確保して中性子の相互干渉を防止しているが、UF<sub>6</sub> 機器が水没した場合、UF<sub>6</sub> 機器から漏れ出た中性子が減速し、最適減速の条件が整い臨界となる可能性が考えられる。

しかし、既往の臨界安全設計において、UF<sub>6</sub> 機器の接触時を含めて外部水密度をパラメータ (0g/cm<sup>3</sup>~1g/cm<sup>3</sup>) にした臨界計算を実施しており、その結果、中性子増倍率は  $k_{eff} \leq 0.95$  であるため、臨界となることはない。(添付-14 参照)

**【漏水・浸水等と UF<sub>6</sub> 機器損傷による UF<sub>6</sub> 漏えいの重畳 (床面等への滞留)】**

汎用設計のユーティリティ (水系) 機器は、UF<sub>6</sub> 機器よりも小さな地震力で損傷するため、管理区域内への水供給は停止することから、管理区域内でユーティリティ (水系) 機器の配管等が損傷したとしても、室内漏水が継続することはない。また、室内への UF<sub>6</sub> の大量漏えいが発生し得るのは、大気圧を超える圧力で UF<sub>6</sub> を取扱う均質槽 (中間製品容器) のみであるが、均質槽 (中間製品容器) から漏れ出た UF<sub>6</sub> は、速やかに蒸発・昇華して拡散する。これより、室内の特定箇所 (床面等) にユーティリティ機器から漏れ出た水と漏れ出した UF<sub>6</sub> が大量に集積することは考え難く、臨界の発生可能性は無視し得るほど低いと考えられる。

この他、UF<sub>6</sub>シリンダ類を収納する槽内の子台車の損傷により、波及的に熱交換器が損傷し、槽内で漏水が発生する可能性がある。この場合、大気圧以下でUF<sub>6</sub>を取扱う槽については、熱交換器とシリンダ類の位置関係から考えて、シリンダに水がかかるとはならず、槽には水密性がないことから、槽内に漏水が溜まることもないため、漏水がシリンダ類の内部へ浸入して臨界となる可能性はない。

大気圧を超える圧力でUF<sub>6</sub>を取扱う均質槽については、汎用設計のユーティリティ（水系）機器がUF<sub>6</sub>機器よりも小さな地震力で損傷して熱水の供給が停止すること及び熱水入出口弁のFC（フェールクローズ）動作によっても熱水供給が停止することから、均質槽内への漏水が継続することはないため、臨界の発生可能性は無視し得るほど低いと考えられる。（添付-17 参照）

以上のように、物理的に考えて臨界が発生する可能性はないと考えられるが、UF<sub>6</sub>の漏えいが発生した場合には、速やかにこれを収束させるべく、二酸化炭素消火器による強制冷却や漏えい箇所の閉止措置が採られる他、インターロック（熱水入出口弁「閉」）が不作動時には、弁の強制「閉」操作が行われることも加味すれば、臨界抵抗性は十分に大きい（臨界の発生可能性は考慮する必要がない）と考えられる。

#### （4）火災

ウラン濃縮工場の建屋は、耐火及び準耐火構造としており、設備・機器は可能な限り難燃性・不燃性材料を使用している。また、主要工程では可燃性物質および爆発性物質を取扱っていないため、大規模火災や延焼、燃焼が継続するような火災の発生可能性はない。

ただし、地震の発生により、ボヤや複数箇所で小規模な火災が同時発生する可能性は否定できないため、以下の火災の発生を想定し、その影響を評価した。

- 原野、近隣施設・設備からの火災発生
- ケーブル・盤火災
- 機械油等火災
- 有機溶媒等火災

##### a. UF<sub>6</sub>漏えい

###### 【UF<sub>6</sub>機器の波及的損傷】

一般的には、電気・計装盤、ケーブルおよび機械油等の火災により、UF<sub>6</sub>機器や建屋排気系の故障、損傷が発生する可能性が考えられる。

これについては、UF<sub>6</sub>機器は実用上可能な限り難燃性・不燃性材料を使用していると同時に、UF<sub>6</sub>を取扱う主工程では、可燃性物質や爆発性物質を取扱っていないことから、盤・ケーブル等の火災により、UF<sub>6</sub>機器、建屋排気系（HEPA フィルタ）等が損傷することはない。（添付-16 参照）

### 【火災による UF<sub>6</sub> 液化膨張破裂事故】

火災により発生する熱によって UF<sub>6</sub> が液化膨張し、UF<sub>6</sub> シリンダ等が破裂して UF<sub>6</sub> の漏えい事故へと至る可能性が考えられる。

これについては、想定火元からの離隔距離及び燃焼源が限られるため、UF<sub>6</sub> の液化膨張破裂を誘発する可能性はない。比較的大量の機械油を取扱う機器として、コールドトラップがあるが、機械油（冷凍機油）の燃焼熱量が全て UF<sub>6</sub> に入熱すると、極めて保守的な仮定をしても、UF<sub>6</sub> の膨張体積はコールドトラップの容積を超えることはないため、火災による UF<sub>6</sub> の液化膨張破裂事故が起きることはない。（添付-18 参照）

#### b. 臨界

一般的には、火災起因の機器損傷により、臨界が発生する可能性が考えられる。

これについては、ウラン濃縮工場には、未臨界維持のために常時機能を維持することが必要な機器はないため、火災により機器が損傷しても、臨界が発生することはない。

#### c. 施設外の火災影響

地震により敷地外の前野や隣接施設で火災が発生し、ウラン濃縮工場が類焼する可能性が考えられる。

これについては、ウラン濃縮工場は当社他施設から 1km 以上及び火災影響の考えられる「むつ小川原国家石油備蓄基地」からは約 4km の距離があり、工場の周囲の森林等からは約 100m 離れているため、前野や他施設の火災により延焼するおそれはない。（添付-19 参照）

### (5) 全交流電源喪失（添付-20 参照）

ウラン濃縮工場は、外部電源の喪失を考慮して、第 1 種管理区域の負圧維持用の排風機や、施設外へのウラン放出状況を監視する排気用モニタ等へ電気を供給するために、非常用ディーゼル発電機、無停電電源装置及び直流電源設備を設けている。これらの非常用電源系は、多重化して信頼性を向上させている。

これらの非常用電源系の機器が地震に対してどの程度の耐力を有しているかを評価するとともに、全交流電源が喪失した場合の影響について評価した。

#### a. UF<sub>6</sub> 漏えい

外部電源の喪失により、濃縮ウランを製造する遠心分離機は自然降速する。降速途中にアンバランス等が生じると遠心分離機の回転体が破損する可能性があるが、所要の強度設計によって回転体が破損しても閉じ込め性を維持できるようにしている。また、外部電源喪失時には、槽類のガス移送・加熱は停止するとともに、フェールクローズ（FC）弁の作動によって UF<sub>6</sub> は系内閉じ込めとなることから、UF<sub>6</sub> 漏えいの発

生する可能性はない。

主要工程には、FC 弁が複数あるため、全ての FC 弁が不作動になることは想定し難いが、仮に全てが作動に失敗し、系内へ大気が流入して同圧になったとしても、電源喪失により加熱が停止した機器からの UF<sub>6</sub>漏えい（拡散漏えい）では、周辺公衆に過度の影響を及ぼすことはない。

#### b. 臨界

全交流電源の喪失による機器の停止等により、臨界が発生する可能性が考えられる。

これについては、未臨界維持のために常時機能を維持することが必要な機器はないため、全交流電源の喪失により機器が停止しても臨界が発生することはない。

### (6) 計測制御機能異常（添付-20 参照）

地震により計測制御機能に異常の発生する可能性が考えられる。

計測制御設備（伝送ライン、シーケンサ、コントローラ等）の盤、ケーブル及び計測器等は汎用設計であるため、UF<sub>6</sub>機器よりも小さな地震力により転倒等が発生する可能性がある。これより、計測制御設備が機能を喪失した場合の影響について評価した。

なお、計装電源及び計装空気喪失については、フェールクローズ (FC) 弁の作動により UF<sub>6</sub>が系内閉じ込めとなるため、全交流電源喪失の評価に包含される。

#### a. UF<sub>6</sub>漏えい

伝送ラインが停止した場合は、ステーション単位の制御となり、中央制御室における監視・操作が不可能となる。

シーケンサが停止した場合は、ループ制御は継続するが、運転停止、弁開閉等の監視・操作が不可能となる。

コントローラが停止した場合は、運転停止、弁開閉等の監視・操作は可能だが、ループ制御（温度、圧力等の制御）が不可能となる。

これら計測制御設備の個々の機能停止は、部分的な機能喪失であり、直ちに安全上問題となる状態ではない。シーケンサとコントローラが両方とも機能を喪失するような状態では、運転許可信号が成立せず、運転継続が不可能となるため、計測制御設備の異常により UF<sub>6</sub>漏えいが発生することはない。

#### b. 臨界

計測制御機能を喪失しても、ウラン濃縮工場には、未臨界維持のために機能維持（崩壊熱除去等）が必要な機器がないことから、臨界が発生する可能性はない。

一般的な計測制御異常（弁固着等の計装以外の異常を含む）では、核的制限値の超過により、臨界が発生する可能性が考えられる。ウラン濃縮工場において設定し



ている核的制限値のうち、計測制御異常により制限値を超過する可能性があるのは、濃縮度のみである。平常時に濃縮度異常が発生した場合でも、カスケードの濃縮度上昇、臨界量到達には時間的余裕が十分あるが、大地震が発生した場合には、汎用設計の高周波電源設備が機能を停止するとともに、遠心分離機が故障停止することから、濃縮度異常が発生して臨界となることはない。

なお、計測制御系の異常（両系故障）が発生した場合には、中央制御室からの遠隔操作（ハードワイヤ等）若しくは現場における弁・C/C（コントロールセンタ）の強制操作により、直ちにプラントの生産運転を停止することとしているため、計測制御異常が継続したまま生産運転が継続されることはない。

### 8. 3. 2 漏水・浸水等による影響の評価結果

「7. 評価対象事象の選定結果」にて示したとおり、津波等によりウラン濃縮工場が浸水する可能性は考えられないが、ウラン濃縮工場の潜在的危険性の程度が低いことを確認するために、浸水があった場合の影響を検討する。

#### (1) 建屋 / UF<sub>6</sub> 機器の損傷

##### a. UF<sub>6</sub> 漏えい

施設の立地状況からみて、ウラン濃縮工場では、津波による影響の考慮は不要と考えられるが、仮に津波による影響を想定したとしても、海岸線からの距離が十分あるため、津波の波力により建屋や室内の UF<sub>6</sub> 内包機器が損傷することはない。

また、近隣河川は標高 5～20m の位置にあり、洪水による影響は考慮不要と考えられるが、仮に洪水による影響を想定したとしても、河川は崖下を海岸線の裾野に向かい流れており、標高約 36m の台地に位置するウラン濃縮工場が、流水の圧力等によって建屋や室内の UF<sub>6</sub> 内包機器に損傷が生じることは考えられない。

また、浸水によって機器が故障し、UF<sub>6</sub> の漏えいへと至る可能性が考えられる。

これについては、「8. 3. 1 (5) 全交流電源喪失 a. UF<sub>6</sub> 漏えい」にて示したように、遠心分離機は自然降速し、UF<sub>6</sub> 機器の加熱・冷却が停止するのみであり、フェールクローズ (FC) 弁の作動によって UF<sub>6</sub> は系内閉じ込めの状態となることから、UF<sub>6</sub> 漏えいの可能性はない。(添付-20 参照)

その発生可能性は考えられないが、全てのフェールクローズ (FC) 弁が不作動の場合を仮想したとしても、系統内は負圧であるため、周辺公衆に過度の影響を及ぼすことはない。(添付-12 参照)

##### b. 臨界

「8. 3. 1 (1) UF<sub>6</sub> 機器の損傷 b. 臨界」に示したのと同様に、浸水により臨界に至る可能性として、以下の事象があげられる。

- UF<sub>6</sub>機器、関連機器の故障停止により臨界へと至る事象
- UF<sub>6</sub>機器の転倒、移動による接触により臨界へと至る事象
- UF<sub>6</sub>機器の損傷によって系内に水分を含む大気が流入（H/U増加）することにより臨界へと至る事象
- 漏水・浸水等による健全UF<sub>6</sub>機器の水没により臨界へと至る事象
- 漏水・浸水等による健全UF<sub>6</sub>機器内への水の浸透により臨界へと至る事象
- 漏水・浸水等とUF<sub>6</sub>機器損傷によるUF<sub>6</sub>漏えいの重畳（床面等への滞留）により臨界へと至る事象
- 漏水・浸水等による損傷UF<sub>6</sub>機器への水の浸入により臨界へと至る事象

これらの各事象について発生可能性を検討した結果、以下のとおり臨界の発生可能性はない。

#### 【UF<sub>6</sub>機器、関連機器の故障停止】

大地震の場合と同じく、未臨界維持のために機能維持が必要な機器はないため、浸水等による機器の故障停止によって臨界となる可能性はない。

#### 【UF<sub>6</sub>機器の転倒、移動による接触】

前述の「a. UF<sub>6</sub>漏えい」にて示したとおり、津波等による機器の転倒等の発生可能性は考えられない。

また、仮に転倒等が起きた場合でも、大地震の場合と同じく、機器移動時の落下、接触の臨界計算の結果より、臨界の発生可能性はない。（添付-14 参照）

#### 【UF<sub>6</sub>機器の損傷によって系内に水分を含む大気が流入（H/U増加）】

前述の「a. UF<sub>6</sub>漏えい」にて示したとおり、津波等による機器損傷の発生可能性は考えられない。

また、仮に機器損傷が起きた場合でも、大地震の場合と同じく、大気流入時の減速度(H/U235)計算の結果より、臨界の発生可能性はない。（添付-15 参照）

#### 【漏水・浸水等による健全UF<sub>6</sub>機器の水没】

機器が水没するような水害発生は想定し難いが、仮に室内が浸水しUF<sub>6</sub>機器が水没しても、大地震の場合と同じく、外部水密度をパラメータにした臨界計算の結果より、臨界の発生可能性はない。（添付-14 参照）

#### 【漏水・浸水等による健全UF<sub>6</sub>機器内への水の浸透】

UF<sub>6</sub>シリンダの海上輸送事故事例（1984年モンレイ号沈没事故：シリンダが15mの海底に水没したが、シリンダは健全性維持）等から、真空気密性のあるUF<sub>6</sub>シリンダ等への水浸入による臨界の可能性はない。

また、仮に機器内へ水が浸入しても、実験事例より UF<sub>6</sub> 固層への水の浸透は遅く、UF<sub>6</sub> 固層表面に UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 層が形成された臨界計算の結果より、臨界の発生可能性はない。  
(添付-8 参照)

**【漏水・浸水等と UF<sub>6</sub> 機器損傷による UF<sub>6</sub> 漏えいの重畳（床面等への滞留）】**

「8. 3. 1 地震を起因とする UF<sub>6</sub> 機器の故障等により、UF<sub>6</sub> 漏えい、臨界及び UF<sub>6</sub> の放出をとまなう火災へと至る事象の評価結果 (3) 相互影響機器の損傷 b. 臨界」にて示したとおり、臨界の発生可能性はない。

**【漏水・浸水等による損傷 UF<sub>6</sub> 機器への水の浸入】**

本項の「漏水・浸水等による健全 UF<sub>6</sub> 機器内への水の浸透」にて示したように、UF<sub>6</sub> 固層への水の浸透は遅く、UF<sub>6</sub> 固層表面に UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 層が形成された臨界計算の結果より、臨界の発生可能性はない。(添付-8 参照)

(2) 火災

「8. 3. 1 (4) 火災」にて示したように、ウラン濃縮工場においては、大規模火災や延焼、燃焼が継続するような火災の発生は想定されないが、浸水による電気・計装系の短絡により、ボヤや複数箇所での小規模な火災が同時発生する可能性はあるものと仮定する。また、種火がないため、機械油等の火災の発生可能性も考えられないが、ケーブル火災等による誘発を想定する。

a. UF<sub>6</sub> 漏えい

**【UF<sub>6</sub> 機器の波及的損傷】**

「8. 3. 1 (4) 火災【UF<sub>6</sub> 機器の波及的損傷】」にて示したとおり、大地震の場合と同じく、火災の発生を想定しても UF<sub>6</sub> 機器、建屋排気系 (HEPA フィルタ等) 等への影響はない。

**【火災による UF<sub>6</sub> 液化膨張破裂事故】**

「8. 3. 1 (4) 火災【火災による UF<sub>6</sub> 液化膨張破裂事故】」にて示したとおり、大地震の場合と同じく、火災の発生を想定しても UF<sub>6</sub> の液化膨張破裂事故が起きることはない。

なお、工場内の浸水を仮定しているため、機械油等の漏えい火災そのものが起きる可能性が小さいと考えられる。

b. 臨界

「8. 3. 1 (4) 火災 b. 臨界」にて示したとおり、大地震の場合と同じく、未臨界維持のために常時機能を維持することが必要な機器はないため、火災により機器が損傷しても臨界が発生することはない。

### 8. 3. 3 地震と漏水・浸水等の重畳による影響の評価結果

「7. 評価対象事象の選定結果」にて示したとおり、津波等によりウラン濃縮工場が浸水する可能性は考えられないが、地震により UF<sub>6</sub> 機器が損傷し、加えて建屋に生じた損傷部（開口部）から雨水が浸入することは考えられる。

しかし、「8. 3. 2 漏水・浸水等による影響の評価結果 (1) 建屋 / UF<sub>6</sub> 機器の損傷 b. 臨界」にて示したように、UF<sub>6</sub> 機器への雨水浸入を想定しても、臨界の発生する可能性はない。

これ以外の事象については、全て地震、浸水等による個別の影響評価のとおりである。

### 8. 3. 4 ストレステスト対象事象の同時発生等の評価

8. 3. 1～8. 3. 3にて示したように、ウラン濃縮工場において「設計上の想定を超える事象」として想定されるのは、大気圧を超える圧力により UF<sub>6</sub> を取扱っている均質槽（中間製品容器）からの UF<sub>6</sub> 漏えいである。

均質槽は、RE-1(600tSWU/y) : 7 槽、RE-2(450tSWU/y) : 6 槽の計 13 槽設置している。現在の設備能力 1050tSWU/y からは、最大 5～6 槽が液化運転になる場合がある。

これらが同時に UF<sub>6</sub> の漏えいを起こした場合、現場における二酸化炭素消火器を用いた強制冷却等の措置を複数箇所で行って実施することが困難な場合でも、建屋の開口部や扉・シャッターの隙間等をビニルシート等により塞ぎ、UF<sub>6</sub> を室内で閉じ込めることにより、周辺公衆への影響を緩和できる。（添付-21 参照）

## 9. 影響緩和策（アクシデントマネジメント策）の有効性評価結果（添付-21 参照）

前項までの評価の結果、六ヶ所ウラン濃縮工場において、周辺公衆へ影響を与える可能性のある事象は、大気圧以上の圧力により UF<sub>6</sub> を扱う均質槽（中間製品容器）からの UF<sub>6</sub> 漏えいである。

均質槽（中間製品容器）は、所要の安全設計によって UF<sub>6</sub> の漏えい事故発生を防止しており、また、万一の UF<sub>6</sub> 漏えいを想定した場合でも、時間の経過とともに UF<sub>6</sub> の漏えいは自然収束するとともに、大半の UF<sub>6</sub> は堅固なつくりの発回均質棟内に留まり、直ちに周辺公衆へ影響を及ぼすことはないが、漏えいを早期に収束させることができれば、周辺公衆への影響を防止または十分に低いレベルに抑制することができる。

これより、六ヶ所ウラン濃縮工場における影響緩和策（アクシデントマネジメント策（以下「AM 対策」という。））は、UF<sub>6</sub> の漏えいを早期に収束させるための対応となる。

### (1) 非常時組織体制について

六ヶ所ウラン濃縮工場において事故・故障等が発生した場合に、これに迅速に対処するための非常時対応組織を定めており、要員の招集訓練や実際の UF<sub>6</sub> 漏えい事故を想定した訓練を実施している。

これより、万一、実際にUF<sub>6</sub>の漏えい事故が発生した場合でも、これを早期に収束させることは可能である。

## (2) 資機材

万一、UF<sub>6</sub>の漏えい事故が発生した場合に、これを早期に収束させるためには、予め必要な資機材を準備しておく必要がある。これについては、以下に示すとおり、必要な資機材を配備し、常に使用可能な状態にしている。

六ヶ所ウラン濃縮工場は、24時間・365日連続運転をする施設であるため、中央制御室には三交替制の運転員が常駐しているが、異常事象発生時の通報連絡・要員召集を実施するために連絡責任者を定めており、非常時対応要員の招集に必要な通信資機材を配備している。

六ヶ所ウラン濃縮工場で取扱う核燃料物質は、未照射ウランであるため、線量が高く漏えい現場に接近することができないということはないが、漏えいしたUF<sub>6</sub>の吸入摂取を防止するとともに、UF<sub>6</sub>漏えいにより発生するフッ化水素（HF）に対処するために防護服を配備している。

また、UF<sub>6</sub>漏えいを早期に収束させるためには、液体状態のUF<sub>6</sub>を冷却して固化させることが有効な策であり、火災発生時の対処用に現場に配備している二酸化炭素消火器を使用できる。

UF<sub>6</sub>が固化した後は、拡散による緩慢な漏えいしか起きないため、漏えい箇所を閉止すれば、容易に漏えいを止めることができる。これには、現場で常用している養生シート等を使用することができるとともに、確実に漏えい箇所を閉止するための真空パテ等を配備している。

## (3) 非常時対応手順等

設計想定以上の大地震等の発生により、設計上期待している所要の安全機能が働かない可能性がある。このような設計想定を超える事象に対処するために、以下に示すような対処を定めた手順書等を予め準備している。

- ・管理区域内漏洩時の対処
- ・インターロック等の不作動時の対処
- ・管理区域内火災時の対処

## (4) AM 対策の効果

「8. 3. 1 地震を起因とするUF<sub>6</sub>機器の故障等により、UF<sub>6</sub>漏えい、臨界及びUF<sub>6</sub>の放出をとまなう火災へと至る事象の評価結果 (1) UF<sub>6</sub>機器の損傷 a. UF<sub>6</sub>漏えい」にて示したとおり、均質槽（中間製品容器）からUF<sub>6</sub>が漏えいした場合に、最大約2500 kg UF<sub>6</sub>/基のUF<sub>6</sub>が約12時間程度をかけて漏えいする。

前述のUF<sub>6</sub>漏えいを想定した訓練では、約1.5時間程度でUF<sub>6</sub>の漏えいを停止させることができている。複数の均質槽（中間製品容器）から同時にUF<sub>6</sub>が発生した場合には、建屋の扉・シャッター等の隙間、開口部に目張り等を行うことにより、UF<sub>6</sub>の施設外への移行を防止できる。

UF<sub>6</sub>の漏えい発生後、前記の対処が完了するまでの時間に応じて施設外へ移行するUF<sub>6</sub>量を低減することが可能であり、3時間が経過するまでに対処を完了することができれば、施設外へ移行するUF<sub>6</sub>量は約3割まで低減できる。

## 10. まとめ

六ヶ所ウラン濃縮工場が「設計上の想定を超える事象」に対してどれだけの耐力があるかを評価した結果、実力的には設計想定を超えるような自然現象に対しても、十分に耐え得る裕度があることを確認した。また、仮に終局的な事象に至ったとしても、既に準備している諸対策によって、周辺公衆へ過度の影響を与えることなく、事象を収束させることが可能であることを確認した。

今後、最新の知見が得られた場合には、既往設計の内容や準備している諸対策の適切性を再チェックし、必要な場合には追加対策等を講ずることにより、六ヶ所ウラン濃縮工場の安全性を恒常的に確保していく。

以 上