

## 再処理工場の危険性

小川 進 (2014.6.6・青森市・アウガ)

### 1. はじめに

当該再処理工場の火災と爆発，それに伴う放射性同位体の汚染を推定する。



図1 核燃料サイクル施設全体図

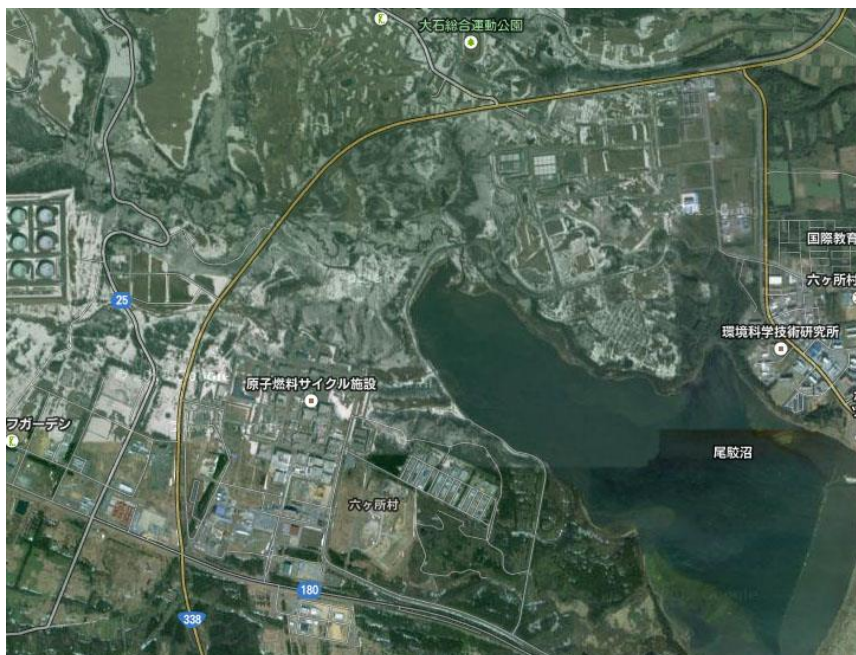


図2 核燃料サイクル施設衛星画像

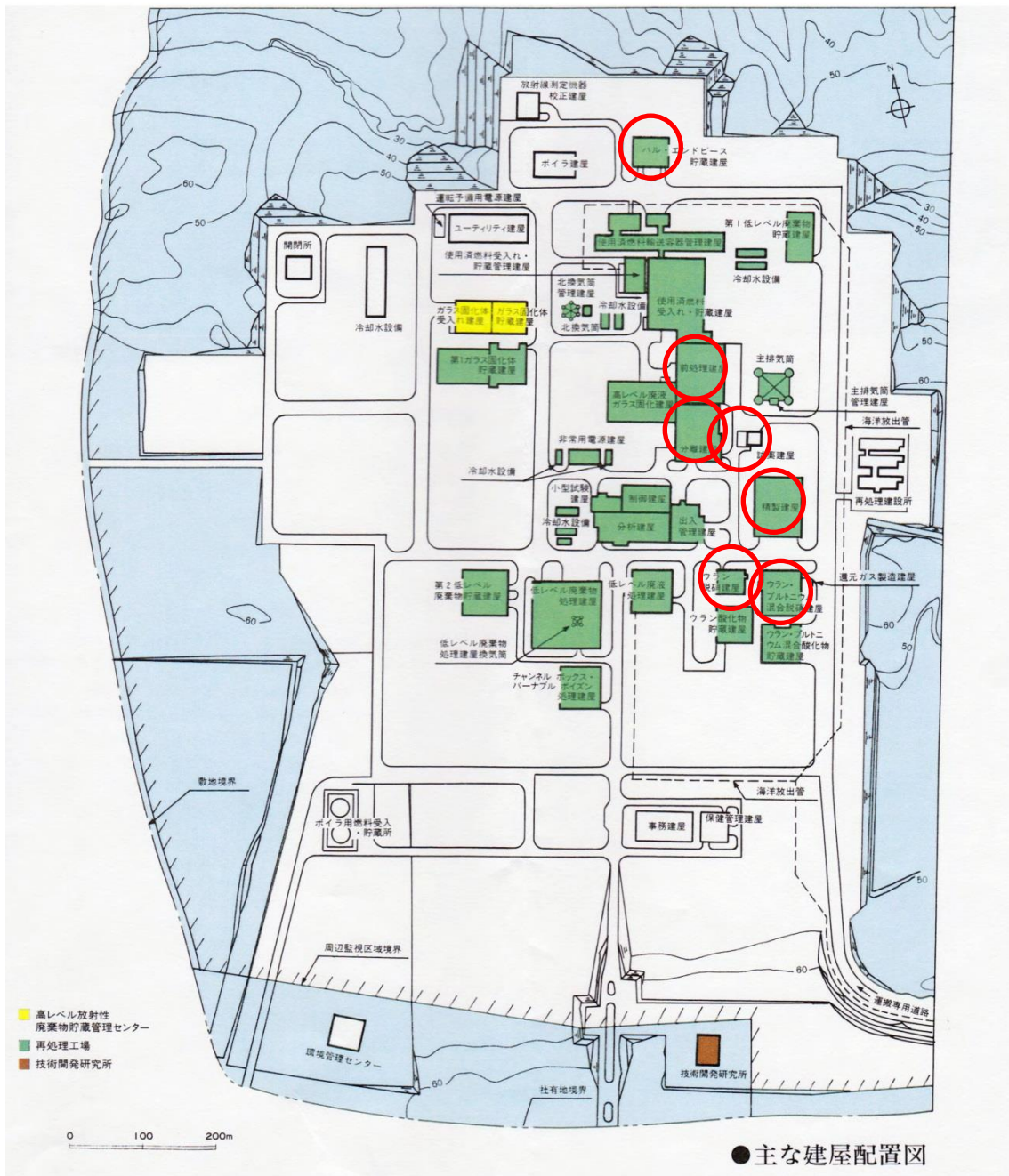


図3 再処理工場配置図  
赤丸は消防法上の規制対象建屋。

表1 核燃料サイクル施設概要<sup>1)</sup>

施設名	放射能・核物質名	数量
ウラン濃縮工場	ウラン	工程：1150 トン/年 貯蔵保管：2482 トン
低レベル放射性廃棄物貯蔵センター	放射性廃棄物ドラム缶詰め	20 万本
再処理工場	使用済み燃料	工程： <u>800</u> トン/年 貯蔵： <u>3000</u> トン キャニスター：3200 本
廃棄物管理施設	海外返還ガラス固化体	キャニスター：1440 本

## 2. 諸元

### (1) 気象条件

六ヶ所村の気象条件は以下の通り。冬に西風，夏に東風が卓越する。

表2 六ヶ所村の気象条件

風向	平均風速	気温	降雨量
西 24.6%，西北西 18.0%，東南東 12.6%，東 11.2%	3.9m/s	9.2°C	1451mm

### (2) 再処理工場内の危険物の総量

再処理工場内の消防法に規定される主な危険物は以下の通り。

表3 消防法に規定される主な危険物

危険物	消防法の規定	数量	工程
硝酸	6 類，酸化性溶液	>10m <sup>3</sup>	8 工程****
n ドデカン	4 類 3，引火性液体**	>5m <sup>3</sup>	分離・精製 10 工程
TBP トリブチルリン酸	4 類 3，引火性液体***	>5m <sup>3</sup>	分離 2 工程
硝酸ヒドロキシルアミン	5 類，自己反応性物質*		精製 2 工程
金属粉	2 類，可燃性固体	1.5m <sup>3</sup> /d	せん断溶解・脱硝

\*爆発物，\*\*引火点：74°C，\*\*\*引火点：160°C，\*\*\*\*せん断溶解，分離，精製，脱硝工程。

「原子力施設の事故」<sup>3)</sup>によれば火災爆発事故として，全 50 件のうち，有機溶媒火災 3 件，ジルコニウム粉末火災 2 件，TBP 爆発事故 3 件，金属ウラン・プルトニウム自然発火，化学薬品火災，イオン交換樹脂火災，電気設備ケーブル火災がある。

### (3) 消火施設の概要

消防車 1 台，大容量ポンプ車 3 台，泡放水砲 1 基。2 酸化炭素消火設備。

2 時間以内の化学火災に対応する。それ以上の火災には対応できない。金属粉の火災には

全く対応できない。

### 3. 方法

#### (1) 計算の諸元

有機溶媒と金属粉末の火災と爆発について計算する。その際、流出する放射性同位体の汚染も計算する。再処理工場では TBP トリブチルリン酸が有機溶媒として大量使用される。さらに有機希釈剤として、n ドデカンが大量使用され、分離と精製の 10 工程で火災と爆発の危険性がある。金属粉としては、ジルコニウムがせん断溶解と脱硝工程で現れ、消火不能の火災の危険性がある。

表 4 TBP トリブチルリン酸の使用工程

工程	使用される設備	数量
分離	TBP 洗浄器	40m <sup>3</sup>
精製	TBP 洗浄器	
回収処理	蒸発缶, 溶媒蒸留塔	

表 5 n ドデカンの使用工程

工程	使用される設備	数量
分離	TBP 洗浄器	40m <sup>3</sup>
精製	TBP 洗浄器	
回収処理	蒸発缶, 溶媒蒸留塔	

表 6 ジルコニウムの生成工程

工程	使用される設備	数量
分離	貯蔵庫	6m <sup>3</sup>
脱硝	貯蔵庫	

表 7 使用核燃料の諸量<sup>4)</sup>

燃料	重量	ウラン	957kg
		プルトニウム	9kg
		核分裂生成物	34kg
	放射能	α 核種	4.0PBq
		β γ 核種	27.4PBq
発熱量		2.96kW	
燃料集合体構成物	重量	ジルカロイ	292kg
		ステンレス鋼	106kg
		インコネル	24kg
		アルミナ	2kg
	放射能	放射化学種	0.2PBq

各工程の危険性もあるが、大量に使用される TBP と n ドデカンの貯槽及び大量に廃棄されるジルコニウムの貯蔵庫が最も危険である。

PUREX 法では、ドデカンに TBP を 30%溶解させるので、重量比で 7 : 3 である。使用する硝酸は 3 規定である。2 酸化ウランを原料とすれば、4 価である。1 日 2.2 トンのウランを処理するには、9209 モルの 4 倍の 3 規定の硝酸、すなわち 12300 リットル、12.3 トンの硝酸が消費される。水相と油相を 1 : 1 とすれば、油相は 9.2 トン消費され、うちドデカン 6.4 トン、TBP2.8 トンとなる。月にドデカン 192 トン、TBP84 トン消費される。したがって、合計 276 トン貯留されていると仮定できる。比重は 0.75 であるから、368m<sup>3</sup>、直径 8m、高さ 7.3m のタンクに相当する。ドデカンと 30%TBP ドデカンはほぼ同じ発熱量である (1171kcal/kg, 1123kcal/kg) <sup>5)</sup>。

表 8 原油, ドデカン, TBP の発熱量 (kcal/kg)

原油	ドデカン	30%TBP ドデカン
1014	1171	1123

ジルコニウムは 1 日 0.64 トン廃棄されるので、1 か月で 19.2 トンとなり、貯蔵されていると仮定できる。ドラム缶 200 リットルで、ジルコニウムの比重が 6.5 であるから、15 本分である。直径 0.6m、高さ 0.9m。

## (2)火災の計算方法

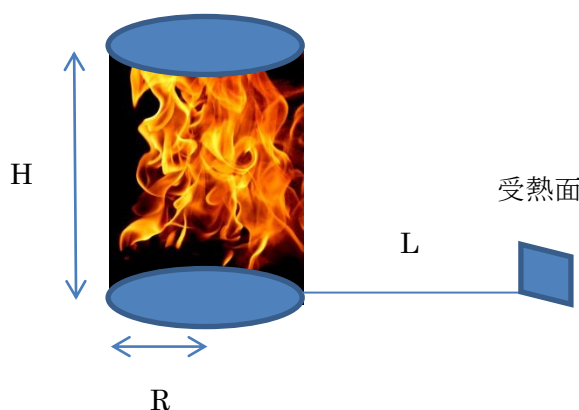


図 4 タンク火災と受熱面

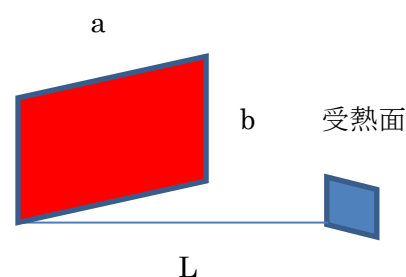


図 5 防油堤火災と受熱面

受熱輻射量の計算は次式による。

$$E = \phi R_f \text{ (kcal/m}^2\text{hr)}$$

ここで、 $E$  : 輻射受熱量,  $R_f$  : 輻射発散度, 原油の場合, 36000 kcal/m<sup>2</sup>hr である。原油の発熱量が 1014kcal/kg であるから、ドデカンでは 42000kcal/m<sup>2</sup>hr となる。 $\phi$  : 火炎の形状係数

であり、無風時の火災ではタンク火災は円筒として、次式で与えられる（図4参照）。

$$\varphi = \frac{1}{\pi Y} \tan^{-1} \left[ \frac{X}{\sqrt{Y^2 - 1}} + \frac{X}{\pi} \left\{ \frac{A - 2Y}{Y\sqrt{AB}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{A(Y-1)}{B(Y+1)}} - \frac{1}{Y} \tan^{-1} \sqrt{\frac{Y-1}{Y+1}} \right\} \right]$$

ただし、 $R$ ：火炎の半径、 $L$ ：火炎の中心から受熱部までの距離、 $X=H/R$ 、 $Y=L/R$ 、 $A=(1+Y)^2+X^2$ 、 $B=(1-Y)^2+X^2$ である。

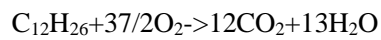
防油堤火災の場合、躯体として、次式で与えられる（図5参照）。

$$\varphi = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{b}{\sqrt{b^2 + l^2}} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{b^2 + l^2}} + \frac{a}{\sqrt{a^2 + l^2}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{a^2 + l^2}} \right\}$$

ただし、 $a$ ：防油堤の延長、 $b$ ：火炎の高さ、 $l$ ：火炎の中心から受熱部までの距離である。また計算にあたって、木造家屋が延焼する限界として  $4,000 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$ 、消防服着用者が接近できる限界として  $1,080 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$  とした。

### (3)爆発の計算方法

ドデカンと TBP の爆発計算を行う。ドデカンと 30%TBP ドデカンとの発熱量の差は小さいので、ドデカンで計算を実行する。ドデカン(分子量 170)の燃焼は以下のとおりである。



常温の蒸気圧は  $0.0004$  気圧であるから、 $368\text{m}^3$  より、タンク内で気化したとすれば、

$$368000 \div 22.4 \times 170 \times 0.0004 = 1.11\text{kg}$$

が爆発に関与する。ドデカンの燃焼熱は  $11.7\text{kcal/g}$  である。ここで、TNT 換算をすれば、 $11.7\text{TNT}$  当量であるから、

$$1.11 \times 11.7 = 13\text{kg}$$

に相当する。爆風圧、爆薬量、距離の関係は次式で与えられる。

$$\text{距離} = 5.15 \times (\text{TNT 当量})^{1/3} / (\text{爆風圧})^{0.635}$$

## 4. 結果

### (1) 有機溶媒火災

有機溶媒の火災の結果を以下に示す。

木造家屋延焼限界：10m

人体接近限界：18m

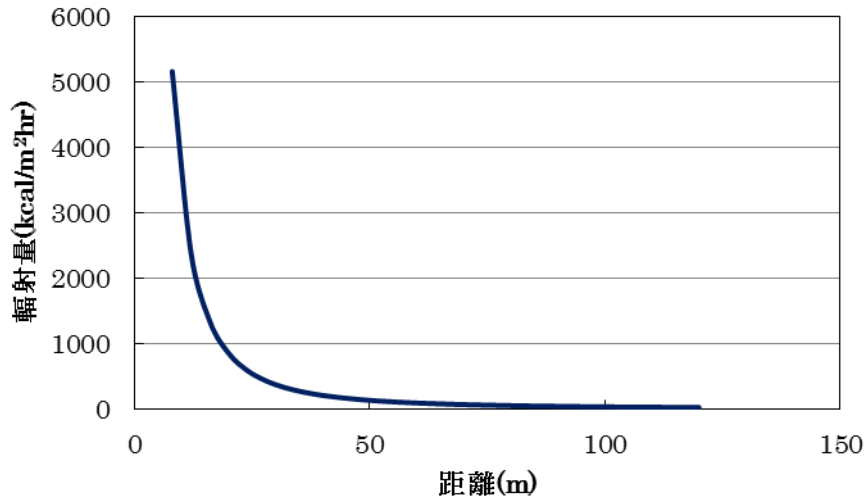


図6 有機溶媒タンク火災と輻射熱量

タンク火災の影響は隣接施設に及ぶ。

(2) 金属粉の火災

ドラム缶を15本を5列×3行として、 $a=3m$ ,  $b=4.5m$  で計算した。ジルコニウム粉塵は発火点が240度である。燃焼熱を2830kcal/kgより、輻射発散度を100000 kcal/m<sup>2</sup>hrとして計算した。

計算結果は以下のとおりである。

木造家屋延焼限界：9m

人体接近限界：21m

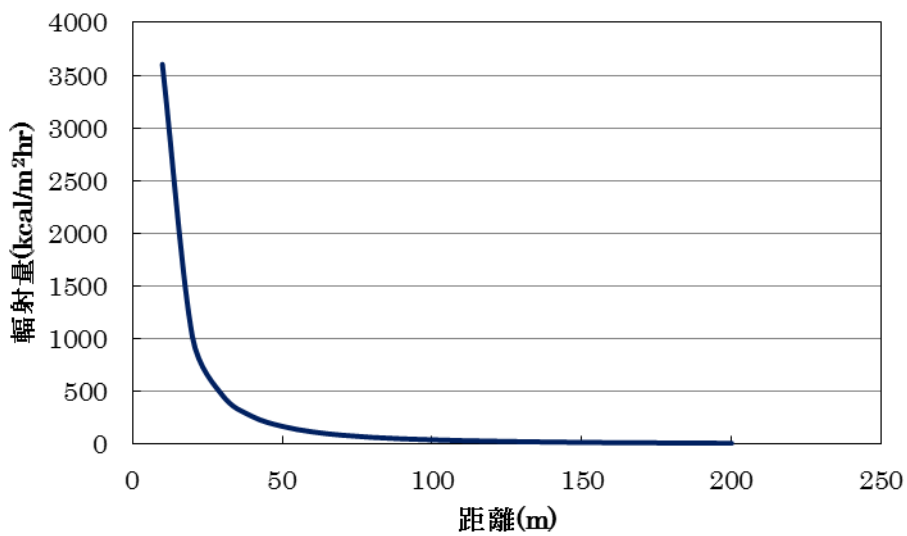


図7 ジルコニウム粉じん火災と輻射熱量

### (3) 有機溶媒爆発

TNT 収率を 100% とすれば, TNT 当量は 13kg であるから,

窓ガラス破損 : 72m

家屋倒壊 : 9m

コンクリート構造損傷 : 1.8m

となる.

人的被害も同様に求められる.

鼓膜破損 : 10m

肺損傷 : 6m

半数即死 : 4m.

原子力規制委員会では, 「石油コンビナート等のガス爆発による影響の有無の評価」として, 「危険限界距離」として「ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 以下になる距離」を与えている. すなわち, この場合, 52m となり, 隣接施設が含まれることになる.

## 5. 考察

有機溶媒と金属粉末の火災と爆発について計算した. いずれも影響範囲は 10m~20m であり, 従業員と隣接建物に及ぶ程度であった. しかし, 現状の防災体制では, 火災を消火させることは困難である. 致命的な破壊は, 核反応か隣接の国家備蓄基地の火災によりもたらされる. ここでは, 福島の水素爆発の放射能拡散を示す.

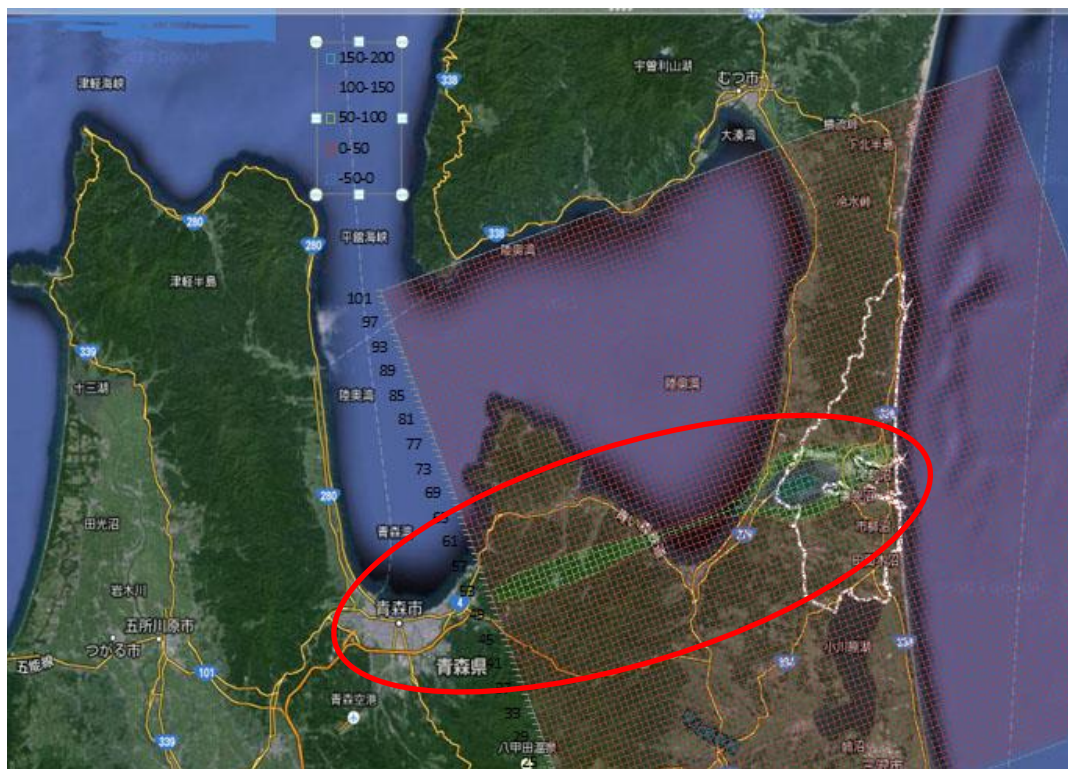


図 8 青森放射能汚染図



## 6. 結論

六ヶ所村再処理工場について、消防法上の規定に該当する危険物の火災、爆発、放射能汚染のシミュレーションを実行した。以下の結論に達した。

- (1) 消防法に規定する主な危険物は硝酸、ドデカン、TBP、硝酸ヒドロキシルアミン、ジルコニウム粉塵である。
- (2) 上記危険物の火災、爆発の評価をしたところ、隣接建屋と従業員に影響を与えることが判明した。
- (3) このうち、消火できない危険物はジルコニウム粉じんであり、ほかにも化学消火が実施されても2時間程度の対応に過ぎない。
- (4) 福島原発3号炉の規模の水素爆発で放射能汚染が発生した場合、夏に頻度の高い東北東風では青森市内が住居不能になることがわかる。
- (5) むつ小川原石油備蓄基地の火災が防油堤火災に発展した場合、核燃料サイクル施設は輻射熱により100度以上の極めて危険な状態になることが分かった。

## 参考文献

- 1) 高木仁三郎，下北半島六ヶ所村核燃料サイクル施設批判，七つ森書館，1991.
- 2) 小出裕章，渡辺満久，明石昇二郎，「最悪」の核施設六ヶ所村再処理工場，集英社新書，2012.
- 3) 原子力施設の事故(調査報告)JAERI-4052, 1970.
- 4) 原子力環境整備センター，再処理廃棄物の処理・貯蔵・処分技術の現状，原環センタートピックス，25，1993.
- 5) 日本原子力研究開発機構，平成22年度火災時エアロゾル評価試験調査報告書，2011.