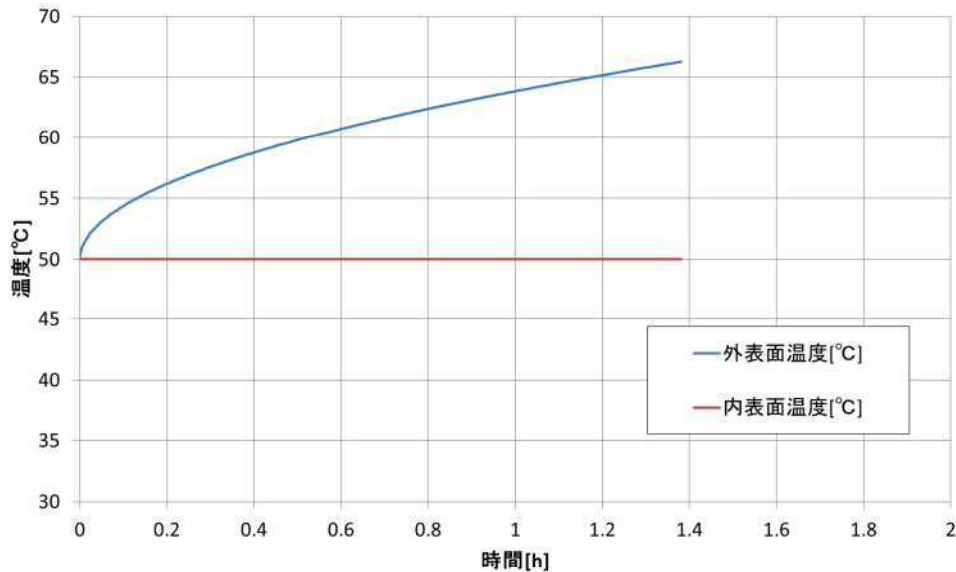


軍用機（訓練空域外のうちその他の機種）の墜落事故による火災に関して貯蔵建屋への影響評価を行ったところ、建屋外壁の最高温度は約67℃となり、既評価よりも約2℃ほど上昇した結果となった。また、外壁の許容温度である200℃を下回ることを確認した。

別添3-2図に、時間に対する温度変化を示す。



別添3-2図 貯蔵建屋外壁温度変化（訓練空域外（その他機種））

2.3 まとめ

最新の墜落確率を用いた「軍用機（訓練空域外のうちその他の機種）の墜落事故」による火災の貯蔵建屋外壁温度評価結果は、既評価（65℃）に対し約2℃高い約67℃となった。既評価の航空機墜落による火災の中で最も厳しい「軍用機（基地-訓練空域間往復時）の墜落事故」の火災評価（68℃）に包絡されることを確認した。

最新の航空機墜落確率を全カテゴリに適用した場合、「軍用機（訓練空域外のうちその他の機種）の墜落事故」による火災の評価は、墜落確率が増加したことで離隔距離が短くなることにより、保守的な結果になるが、「民間航空機（計器飛行方式）の墜落事故」の火災評価のみわずかではあるが墜落確率が減少したことで離隔距離が長くなるため、既評価に比べて非保守的な評価となる。

しかし、前述のとおり、最新の墜落確率による「軍用機（訓練空域外のうちその他の機種）」の評価結果は、既評価の中で最も厳しい「軍用機（基地-訓練空域間往復時）の墜落事故」の火災に包絡される結果となることから、既評価は、網羅性、代表性の観点から航空機墜落事故による火災評価として保守的である。

なお、熱気流の侵入による建屋空気温度上昇による金属キャスクへの影響評価や敷地内危険物貯蔵設備との火災の重畳による影響評価については、最も厳しい「軍用機（基地-訓練空域間往復時）の墜落事故」を基に評価している。

第 11 条 外部からの衝撃による損傷の防止（航空機落下）

<目次>

1. 設計方針
2. 施設周辺の飛行場及び航空路等
3. 航空機落下確率の評価
4. まとめ

（別添）

別添 1 リサイクル燃料備蓄センターにおける航空機落下確率

別添 2 最新データを用いた航空機落下確率評価について

1. 設計方針

リサイクル燃料備蓄センター周辺には、飛来物の発生の原因となり得る工場等はないことから、工場等からの飛来物を考慮する必要はない。また、航空機落下については、これまでの事故実績⁽¹⁾をもとに、民間航空機、自衛隊機及び米軍機が使用済燃料貯蔵施設へ落下する確率を評価した。その結果は約 5.1×10^{-8} 回/施設・年であり、 10^{-7} 回/施設・年⁽²⁾を下回る。したがって、航空機落下を考慮する必要はない。

2. 施設周辺の飛行場及び航空路等

リサイクル燃料備蓄センター周辺の飛行場、航空路等及び訓練空域等の状況は、次のとおりである。

(1) 飛行場

リサイクル燃料備蓄センター周辺の飛行場としては、本施設の北西約 58km の地点に函館空港、南約 73km の地点に米空軍及び航空自衛隊三沢基地三沢飛行場並びに三沢空港、南西約 84km の地点に青森空港、南西約 17km の地点に海上自衛隊大湊飛行場がある（第 1 図参照）。

これらの飛行場のうち、最も本施設に近い民間の飛行場である函館空港でも約 58km と十分に離れており、本施設は、航空路誌（AIP）等から求められる最大離着陸地点以遠に位置している。

(2) 航空路

リサイクル燃料備蓄センター上空には、広域航法（RNAV）経路「Y11」がある（第 1 図参照）。本施設周辺の航空路等に関する平成 19 年の交通便数の調査によると、当該空域を管轄する管制部に係る最大交通便数を記録した日（平成 19 年 9 月 12 日）におけるこの経路の飛行便数は 1 日 93 便^{*}である。

※これまで、最寄りの航空路「V11」と RNAV 経路「Y11」を評価していた。平成 27 年 3 月 5 日に「V11」が廃止となったことから、この便数が全て「Y11」に移ったとして評価する。

(3) 訓練空域

リサイクル燃料備蓄センターは、海上自衛隊大湊飛行場と訓練空域との間に位置している（第2図参照）。米空軍及び航空自衛隊三沢基地三沢飛行場と訓練空域の間に本施設は位置しておらず、敷地上空に訓練空域も設定されていない。

また、本施設の南南東約52kmの地点には、米空軍の三沢対地訓練区域があるが、本施設から十分に離れていることから影響はない。

なお、航空機は原子力関係施設上空を飛行することを規制されている。

3. 航空機落下確率の評価

リサイクル燃料備蓄センターへの航空機の落下確率は、本施設周辺における飛行場及び航空路等の状況、これまでの事故実績等をもとに、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」に準じて、民間航空機、自衛隊機及び米軍機を対象として別添1の通り評価した。その結果は、約 5.1×10^{-8} 回/施設・年である。

4. まとめ

以上のように、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」に準じて、リサイクル燃料備蓄センターにおける航空機落下確率を評価した結果は、約 5.1×10^{-8} 回/施設・年となり、判断基準として定められた 10^{-7} 回/施設・年を下回った。

したがって、リサイクル燃料備蓄センターにおいて、航空機事故等による飛来物等を設計上考慮する必要はない。

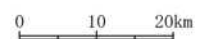
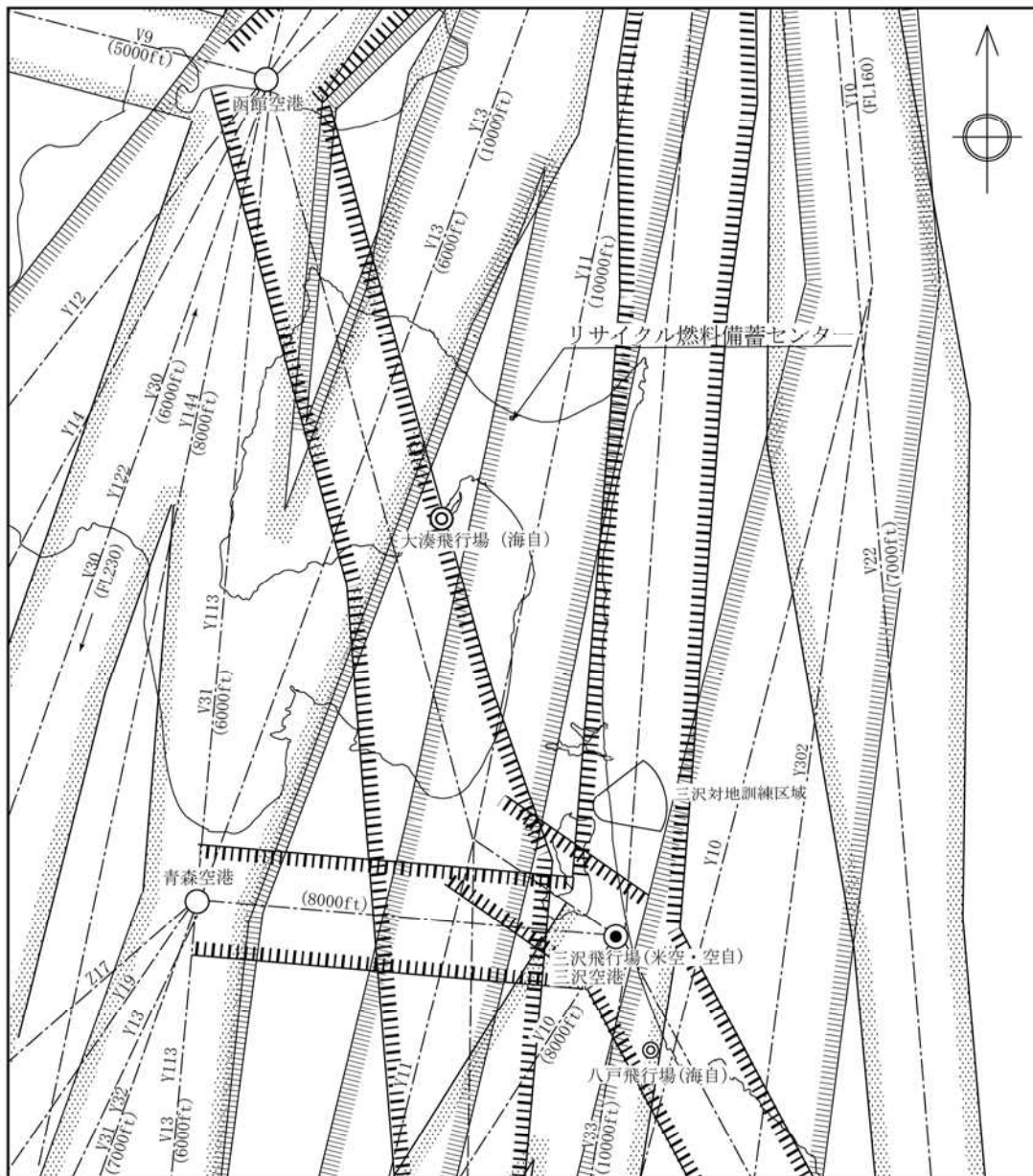
なお、最新の事故実績等を用いた評価については、別添2に示す。

参考文献

- (1)「航空機落下事故に関するデータの整備」（独立行政法人 原子力安全基盤機構，JNES/SAE08-012 08 解部報-0012，平成20年3月）
- (2)「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」（平成14・07・29 原院第4号，平成14年7月30日 原子力安全・保安院）

制定), (平成 21・06・25 原院第 1 号, 平成 21 年 6 月 30 日一部改正)

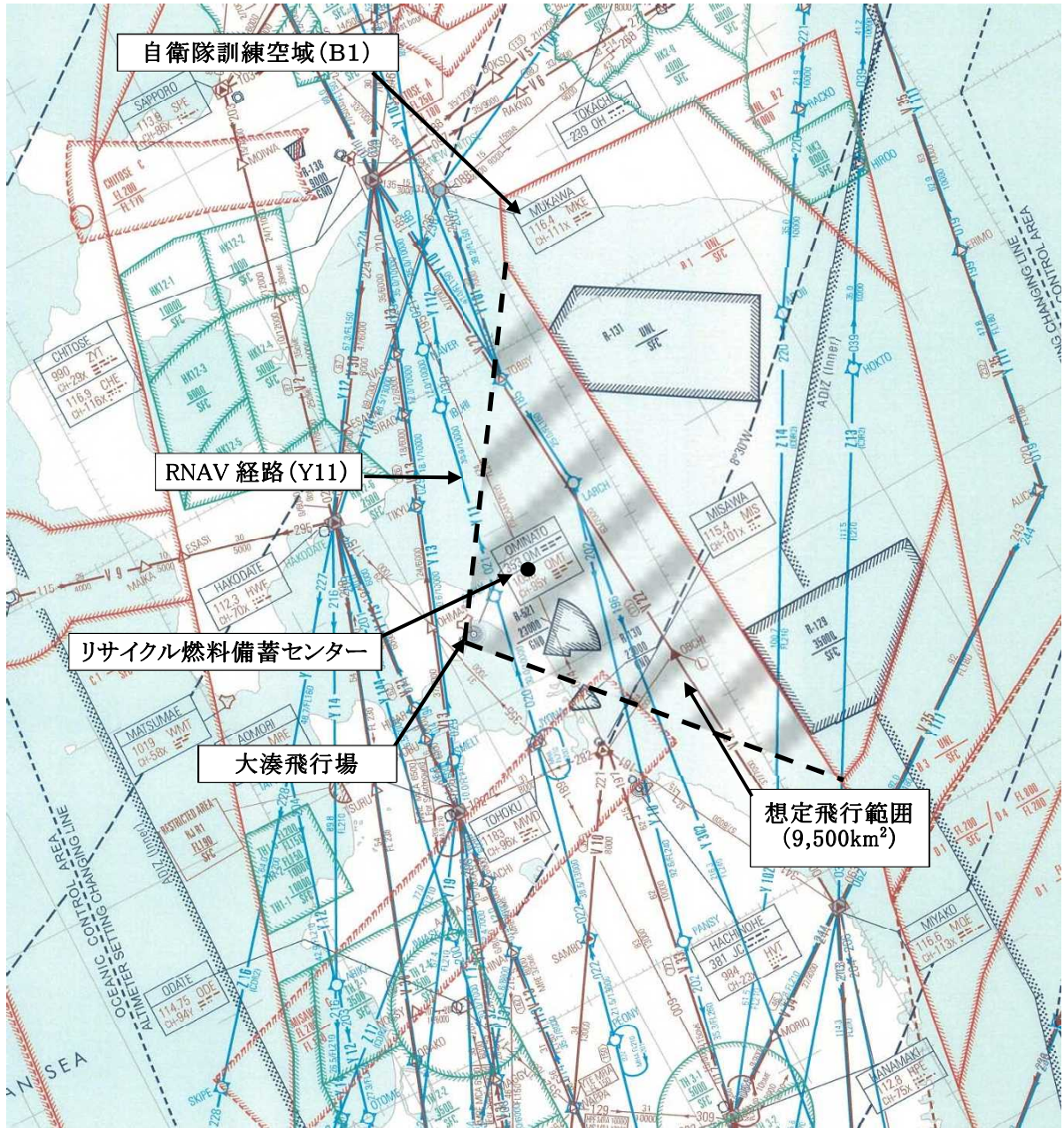
以 上



凡 例	
	航空路
	最低経路高度
	RNAV経路
	直行経路
	制限空域
	航空路等の中心線
	民間飛行場
	軍用飛行場
	共用飛行場

第1図 リサイクル燃料備蓄センター周辺の航空路等

出典：AIP JAPAN 「エンルートチャート」より一部加筆



第2図 リサイクル燃料備蓄センター周辺の訓練空域等

出典：AIP JAPAN 「エンルートチャート」より一部抜粋

リサイクル燃料備蓄センターにおける航空機落下確率

本施設周辺の飛行場及び航空路等を考慮した上で、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」に準じて、以下の項目についてリサイクル燃料備蓄センターにおける航空機落下確率を評価した。

1. 計器飛行方式民間航空機の落下事故

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」に準じて、飛行場での離着陸時における落下事故及び航空路等を巡航中の落下事故について、以下のとおり落下確率を求めた。

(1) 飛行場での離着陸時における落下事故

リサイクル燃料備蓄センター周辺の民間の飛行場としては、北西約 58km の地点に函館空港、南約 73km の地点に三沢空港、南西約 84km の地点に青森空港がある。航空路誌（AIP）から求められるこれらの空港の最大離着陸距離は、函館空港で約 16km（別添 1－1 図）、青森空港で 11km（別添 1－2 図）、三沢空港で約 13km（別添 1－3 図）であり、本施設から飛行場までの距離に比べて短いため、離着陸時における落下事故を考慮する必要はない。

(2) 航空路等を巡航中の落下事故

本施設上空には、広域航法（RNAV）経路「Y11」がある。「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」に準じて、以下の式により当該航空路を巡航中の航空機の落下確率を求める。なお、変更許可申請時（平成 26 年 1 月）に評価していた航空路「V11」に関しては平成 27 年 3 月 5 日に廃止となったため、「Y11」へ移行したとして評価する。

広域航法（RNAV）経路「Y11」については、航法精度（±5 海里：18km）を航空路の幅とみなして用いることとする。

航法精度：航空機が経路に沿って飛行する際の航法の正確性を数値で示したもの。例えば、航法精度±5 NM とは、殆ど（95%）の飛行時間において経路中心線から 5 海里以内で飛行することを示す。

$$P_c = \frac{f_c \cdot N_c \cdot A}{W}$$

P_c : 巡航中の航空機落下確率 (回/年)

N_c : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数

(= 33,945飛行回/年)

A : リサイクル燃料備蓄センターの標的面積 (=0.0081km²)

W : 航空路幅 (=18km)

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率

(=6.02×10⁻¹¹回/(飛行回・km))

G_c : 巡航中事故件数 (=0.5回※)

H_c : 延べ飛行距離 (=8,305,947,979飛行回・km)

※ : 事故件数がないため巡航中の落下事故を0.5件と設定。

上記より、航空路を巡航中の航空機の落下確率 (P_c) は、約9.20×10⁻¹⁰ (回/年) となる。

2. 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について (内規)」に準じて、全国平均の落下確率を用い、以下の式によりリサイクル燃料備蓄センターにおける落下確率を求める。

$$P_v = \frac{f_v}{S_v} (A \cdot \alpha)$$

P_v : 有視界飛行方式民間航空機の落下確率 (回/年)

f_v : 単位年当たりの落下確率 (回/年)

S_v : 全国土面積 (=37万km²)

A : リサイクル燃料備蓄センターの標的面積 (=0.0081km²)

α : 対象航空機の種類による係数

P_v の導出にあたって、大型固定翼機、小型固定翼機、大型回転翼機及び小型回転翼機を考慮し、 f_v 及び α として下表の値を用いている。

	f_v (単位年当たりの落下確率)	α (対象航空機の種類による係数)
大型固定翼機	1回/20年	1.0
小型固定翼機	44回/20年	0.1
大型回転翼機	2回/20年	1.0
小型回転翼機	37回/20年	0.1

上記より、有視界飛行方式民間航空機の落下確率 (P_v) は、約 1.22×10^{-8} (回/年) となった。

3. 自衛隊又は米軍機の落下事故

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について (内規)」に準じて、以下のとおり落下確率を求める。

(1) 訓練区域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故

リサイクル燃料備蓄センターの上空には、自衛隊及び米軍の訓練空域は存在しない。したがって、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について (内規)」に準じて、以下のとおり訓練空域外を飛行中の自衛隊機及び米軍機の落下確率を求める。

$$P_{so} = \left(\frac{f_{so}}{S_o} \right) \cdot A$$

P_{so} : 自衛隊機及び米軍機の訓練空域外での落下確率 (回/年)

f_{so} : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率

(= 7回/20年 (自衛隊機)), (= 6回/20年 (米軍機))

S_o : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積 (km²)

(= 29万km² (自衛隊機)), (= 37万km² (米軍機))

A : リサイクル燃料備蓄センターの標的面積 (= 0.0081km²)

上記より，訓練空域外を飛行中の自衛隊機及び米軍機の落下確率（ P_{so} ）は約 1.63×10^{-8} （回／年）となった。

（2）基地－訓練空域間往復時の落下事故

リサイクル燃料備蓄センターは，海上自衛隊大湊飛行場と訓練空域（B1）との往復時の飛行範囲として想定される区域に位置している。したがって，「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」に準じて，以下の式により基地－訓練空域間往復時の落下確率を求める。なお，基地－訓練空域間には，回廊や移動経路は設定されていない。

$$P_{se} = \left(\frac{f_{se}}{S_{se}} \right) \cdot A$$

P_{se} ：自衛隊機及び米軍機の基地－訓練空域間往復時の落下確率
(回／年)

f_{se} ：単位年当たりの基地と訓練空域を往復中の落下事故率
($= 0.5^{*1}$ 回／20年)

S_{se} ：想定飛行範囲の面積（ $=$ 約 $9,500\text{km}^2$ ） *2

A ：リサイクル燃料備蓄センターの標的面積（ $= 0.0081\text{km}^2$ ）

*1 ：事故件数がないため基地－訓練空域間において0.5件と設定。

*2 ：基地と訓練空域（B1）境界とを結ぶ三角形の区域面積（別添1－4図参照）。

上記より，基地－訓練空域間往復時の落下確率（ P_{se} ）は，約 2.13×10^{-8} （回／年）となった。

（3）自衛隊又は米軍機の落下事故の総和

上記（1）及び（2）より，自衛隊又は米軍機の落下事故の総和は約 3.77×10^{-8} となった。

4. リサイクル燃料備蓄センターにおける航空機落下確率

リサイクル燃料備蓄センターにおける航空機落下確率は、下表のとおり、計器飛行方式民間航空機の落下確率，有視界飛行方式民間航空機の落下確率，自衛隊機及び米軍機の落下確率の和として算定され，約 5.1×10^{-8} (回／施設・年) となった。

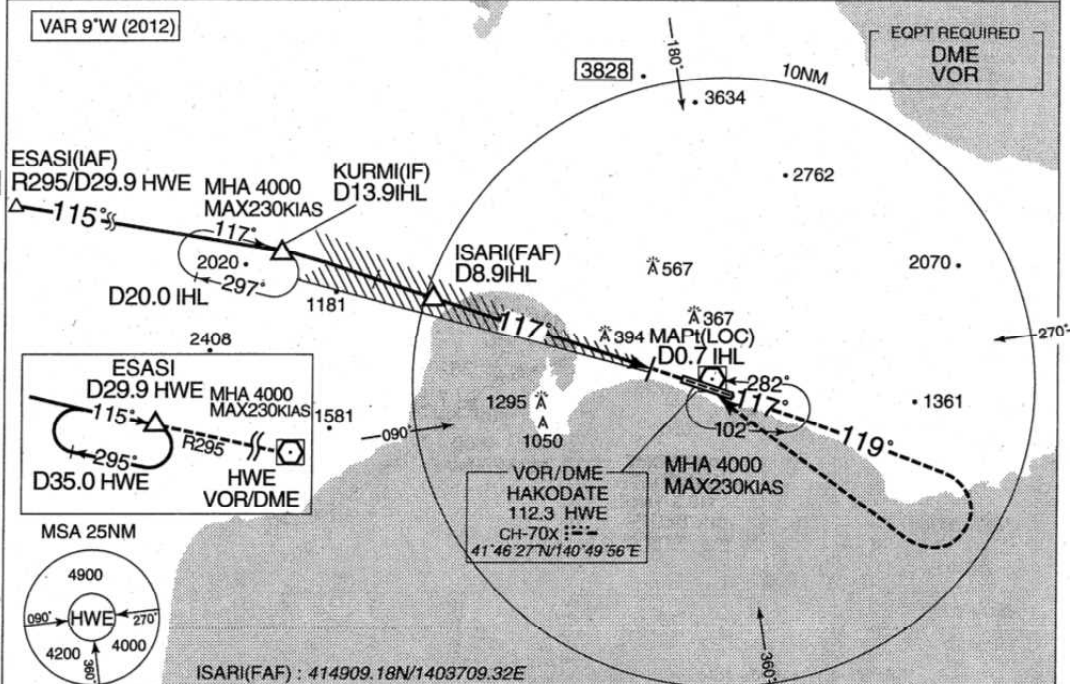
対象航空機	落下確率 (回／施設・年)
計器飛行方式民間航空機	約 9.20×10^{-10}
有視界飛行方式民間航空機	約 1.22×10^{-8}
自衛隊機及び米軍機	約 3.77×10^{-8}
合 計	約 5.1×10^{-8}

以 上

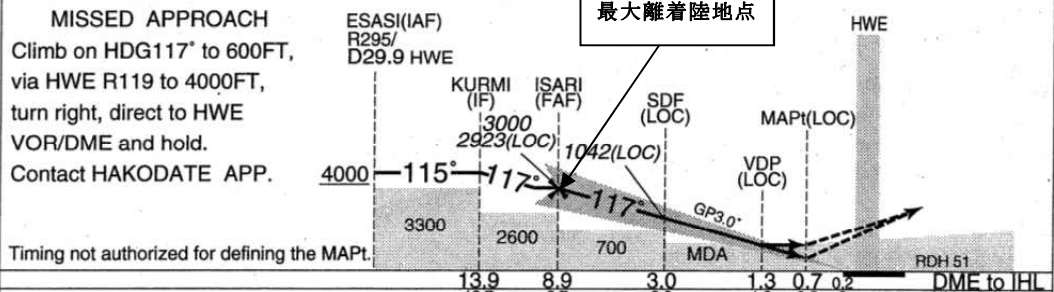
INSTRUMENT APPROACH CHART

RJCH / HAKODATE ILS Z or LOC Z RWY 12

HAKODATE APP 119.0 - 121.0 127.9	ILS-LOC 109.3 IHL :::. ILS-GP 332.0 ILS-DME IHL CH-30x	HAKODATE TWR 118.35 - 126.2	RADAR AVBL ATIS 126.6
--	---	--------------------------------	--------------------------



	NM to IHL	FAF	8	7	6	5	4	3	2	MAPt
	ALT (3.0° APCH Path)	2923	2			79	1361	1042	724	-



	13.9	8.9	3.0	1.3	0.7	0.2	DME to IHL
	13.7	8.7	2.8	1.2	0.5	0	NM to THR

Missed APCH climb gradient MNM 5.0%

MINIMA		THR elev. 92		AD elev. 112		
CAT	CAT I		LOC		CIRCLING	
	DA(H)	RVR/CMV	MDA(H)	RVR/CMV	MDA(H)	VIS
A	292 (200)	700	500 (408)	1200	550 (438)	1600
B				1300	570 (458)	
C	299 (207)			1400	600 (488)	2400
D	309 (217)			1600	690 (578)	3200

Circling to SOUTH side of RWY only.
MINIMA with Missed APCH climb gradient of 2.5% are not established.

別添 1 - 1 図 函館空港の最大離着陸地点

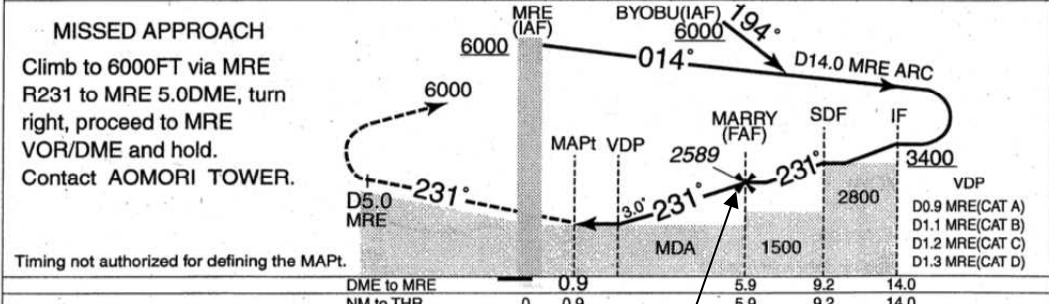
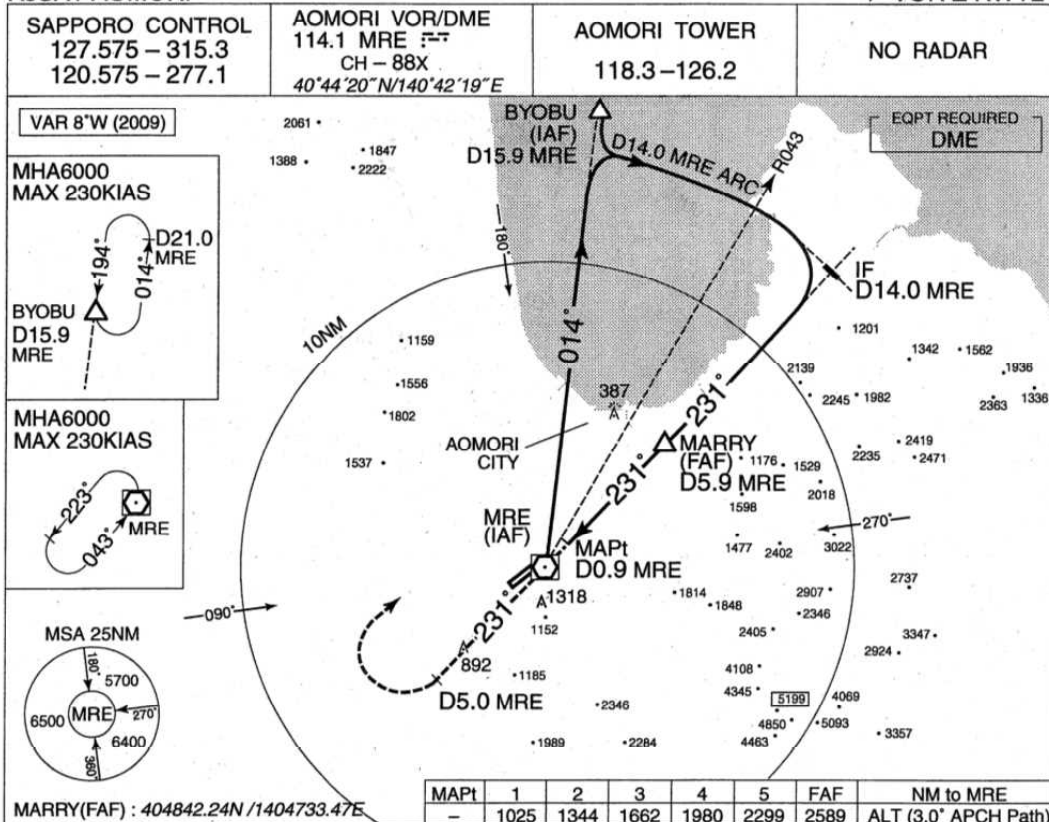
出典: AIP JAPAN 「AIP Part2 AD2 HAKODATE」より

11 条(航空機落下) - 別添 1-6

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJSA / AOMORI

➔ VOR Z RWY24



Missed APCH climb gradient MNM 5.0%

MINIMA	THR elev. 664	AD elev. 650
CAT	CIRCLING	
	MDA(H)	RVR/CMV
	MDA(H)	VIS
	A	990 (340) 900
B	1030 (380) 1000	
C	1070 (420) 1220 (570)	
D	1110 (460) 1600	

MINIMA with Missed APCH climb gradient of 2.5% are not established.
Circling to NORTH side of RWY only.

最大離着陸地点

別添 1 - 2 図 青森空港の最大離着陸地点

出典: AIP JAPAN 「AIP Part2 AD2 AOMORI」より

11 条(航空機落下) - 別添 1-7

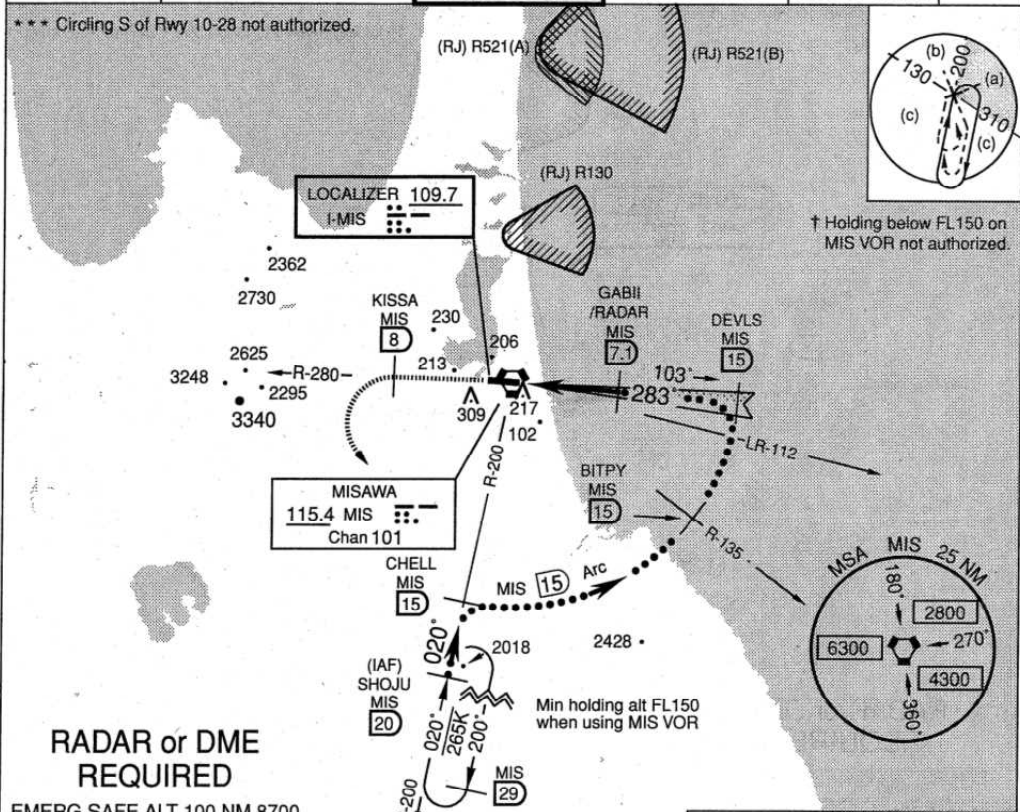
INSTRUMENT APPROACH CHART

RJSM / MISAWA

LOC I-MIS 109.7	APCH CRS 283°	Rwy Idg THRE 94 Arpt Elev 119	HI-ILS or LOC/DME RWY28
---------------------------	-------------------------	---	-------------------------

▼ * When ALS inop, increase RVR to 40 and vis to 3/4 mile.
 ** When ALS inop, increase CAT AB RVR to 55 and vis to 1 mile, CAT CDE RVR to 60 and vis to 1 1/8 miles.
 † MISSED APPROACH: Climb to 7000 on MIS VORTAC R-280 to KISSA, then climbing left turn direct SHOJU and hold. Continue climb in holding to 7000.

ATIS ★ 128.4 315.35	MISAWA APP CON 120.7 317.8	MISAWA TOWER 118.1 315.8	GND CON 118.65 275.8	CLNC DEL 118.65 275.8	ASR/PAR
-------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------



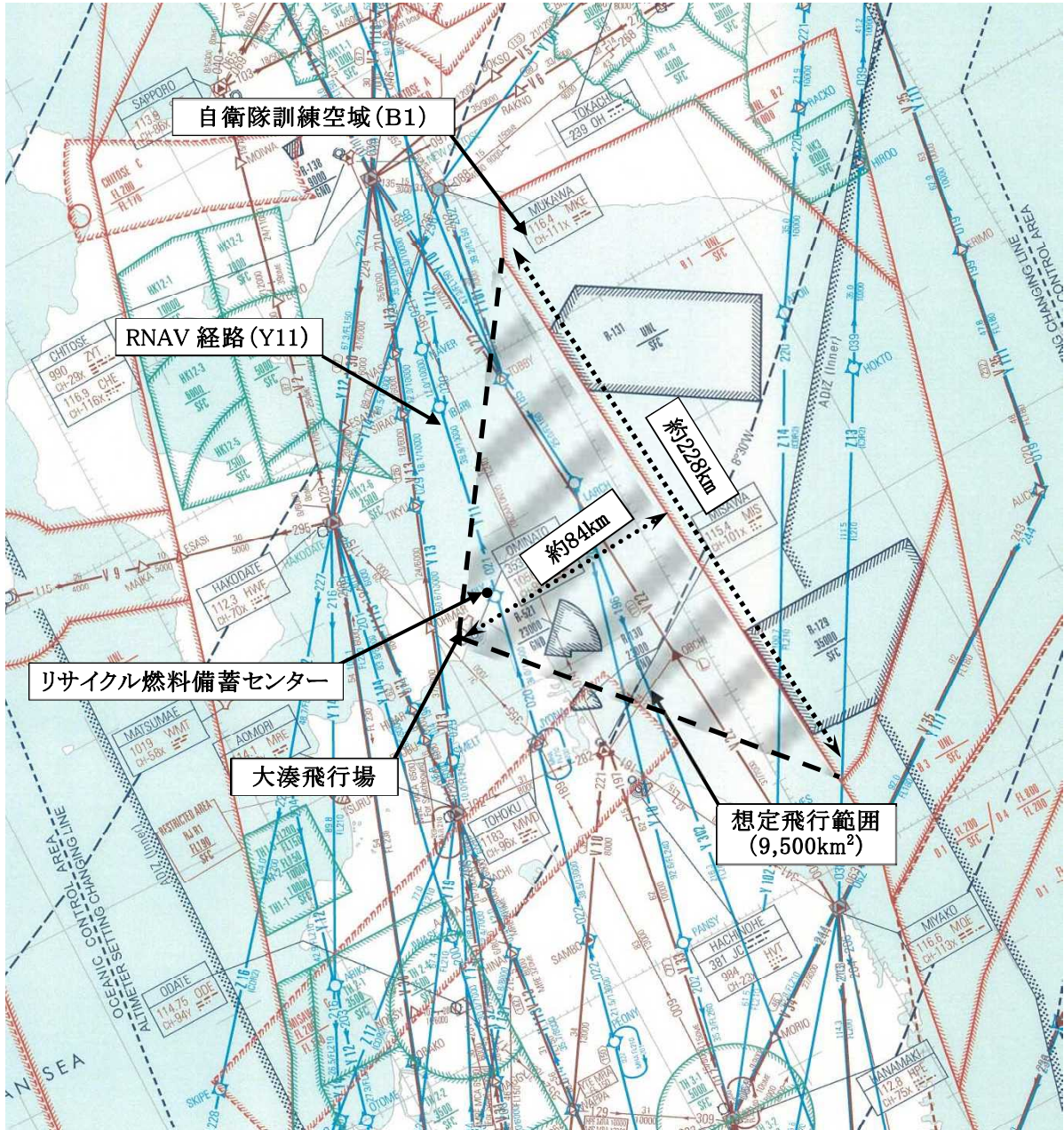
EMERG SAFE ALT 100 NM 8700		ELEV 119		THRE 94	
7000 MIS R-280	KISSA MIS B	SHOJU MIS 20	TLV FL TA 14.4	最大離着陸地点	
VORTAC	JORJE/RADAR 1.9	GABII/RADAR 7.1	DEVLIS R-104 15	BITPY R-135 15	CHELL R-200 20
1.7 NM	6.2 NM	2000	283°	4000	7000
FL200	7000	020°	FL200	7000	GS 2.50'
TCH 54					
CATEGORY	A	B	C	D	E
S-ILS 28 *	302/24		208	(200-1/2)	
S-LOC 28 **	480/24	386 (400-1/2)	480/35	386 (400-5/8)	
CIRCLING ***	580-1	461 (500-1)	580-1 1/2	680-2	561 (600-2)
			461 (500-1 1/2)		
HIRL Rwy 10-28					

NOTE: REPRINTING DOD FLIP

別添 1 - 3 図 三沢空港の最大離着陸地点

出典: AIP JAPAN 「AIP Part2 AD2 MISAWA」より

11 条(航空機落下) - 別添 1-8



別添 1 - 4 図 基地 - 訓練空域間の往復時における想定飛行範囲

出典：AIP JAPAN 「エンルートチャート」より一部抜粋

11 条(航空機落下) - 別添 1-9

最新データを用いた航空機落下確率評価について

令和元年 12 月 26 日に原子力規制庁より公開された「航空機落下事故に関するデータ(平成 10～29 年)」⁽¹⁾を用いて、航空機落下確率計評価を行ったところ、結果は以下の通りとなった。

対象航空機	落下確率 (回／施設・年)
計器飛行方式民間航空機	約 9.11×10^{-10}
有視界飛行方式民間航空機	約 7.88×10^{-9}
自衛隊機及び米軍機	約 3.83×10^{-8}
合 計	約 4.8×10^{-8}

今回の評価値は事業許可申請書の現行記載値である約 5.1×10^{-8} に包含されることを確認した。

参考文献

- (1) NRA 技術ノート「航空機落下事故に関するデータ(平成 10～29 年)」(原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ, NTEN-2019-2001, 令和元年 12 月)

以上

第 13 条 安全機能を有する施設

<目 次>

1. 設計方針
2. 施設設計

(別 添)

- 別添 1 金属キャスクの保守及び修理
- 別添 2 金属キャスクの検査
- 別添 3 受入れ区域天井クレーン及び搬送台車の点検
- 別添 4 金属キャスクの受入れから貯蔵までの工程

1. 設計方針

- (1) 使用済燃料貯蔵施設の安全機能を有する施設（基本的安全機能を確保する上で必要な施設，その他の安全機能を有する施設）は，本施設以外の原子力施設との間で共用するものはない。

なお，安全機能を有する施設（基本的安全機能を確保する上で必要な施設，その他の安全機能を有する施設）は以下のとおり。

基本的安全機能を確保する上で必要な施設は，金属キャスク，貯蔵架台，使用済燃料貯蔵建屋，受入れ区域天井クレーン，搬送台車をいう。

その他の安全機能を有する施設は，仮置架台，たて起こし架台，圧縮空気供給設備，検査架台，計測制御系統施設，放射性廃棄物の廃棄施設，放射線管理施設，電気設備，通信連絡設備，消防用設備，不法侵入等防止設備をいう。

- (2) 使用済燃料貯蔵施設のその他の安全機能を有する施設に属する液体廃棄物と固体廃棄物の廃棄施設（廃棄物貯蔵室）は共用している。廃棄物貯蔵室は，汚染の拡大を防止するため使用済燃料貯蔵建屋受入れ区域に設け，内部の床面及び壁面の一部についてエポキシ樹脂系塗料で塗装を施す。

液体廃棄物及び固体廃棄物は，識別されたドラム缶，ステンレス製の密封容器等にそれぞれ分けて入れるとともに，廃棄物貯蔵室に区画を設けて液体廃棄物は入口近傍に保管廃棄することにより，お互いに影響を与えないことから共用により安全性は損なわない。

- (3) 金属キャスクの設計，材料の選定，製作，工事及び検査は，原則として国内法規に基づく適切な規格及び基準によるものとする。また，十分な使用実績があり信頼性の高い国外の規格，基準等に準拠する。
- (4) 金属キャスクは，設計貯蔵期間を通じて基本的安全機能を確認するための検査及び試験並びに同機能を維持するために必要な保守及び修理ができる設計とする。また，金属キャスクを本施設外へ搬出するために必要な確認ができる設計とする。
- (5) 金属キャスク取扱設備は，受入れ区域天井クレーン及び搬送台車であり，動作中に金属キャスクの基本的安全機能を損なうことがないように，必要な検査，試験，保守及び修理ができる設計とする。

2. 施設設計

- (1) 基本的安全機能を確保する上で必要な施設及びその他の安全機能を有する施設について

事業許可基準解釈第9条の2において、「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」及び「その他の安全機能を有する施設」は、以下のように定義されている。

事業許可基準解釈第9条

- 2 第9条第2項に規定する「地震の発生によって生ずるおそれがある使用済燃料貯蔵施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度」とは、地震により発生するおそれがある使用済燃料貯蔵施設の安全機能の喪失（地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。）及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度をいう。使用済燃料貯蔵施設は、その程度に応じて、以下のよう

一 基本的安全機能を確保する上で必要な施設

基本的安全機能を有する施設及びその機能喪失により基本的安全機能を損なうおそれがある施設をいい、少なくとも次の施設を含む。

- ① 使用済燃料貯蔵設備本体（金属キャスク等）
- ② 使用済燃料の受入施設（その機能喪失により、金属キャスクが有する基本的安全機能を損なうおそれがないことが明らかであるものを除く）
- ③ 津波防護機能を有する設備（以下「津波防護施設」という）及び浸水防止機能を有する施設（以下「浸水防止設備」という）
- ④ 敷地における津波監視機能を有する施設（以下「津波監視設備」という）

二 その他の安全機能を有する施設

安全機能を有する施設のうち、上記一に属する施設以外の施設をいう。

上記の各々の定義に基づいて使用済燃料貯蔵施設の安全機能について整理すると第1表のとおり、「安全機能を有する施設」は事業許可基準規則の適用を受ける施設であり、「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当する施設は以下のとおりである。

- a. 金属キャスク
- b. 貯蔵架台
- c. 使用済燃料貯蔵建屋
- d. 受入れ区域天井クレーン
- e. 搬送台車

(2) 安全機能を確保するための設計

使用済燃料貯蔵施設は、本施設以外の原子力施設との間で共用するものはない。また、使用済燃料貯蔵施設は、本施設内の安全機能を有する施設に属する液体廃棄物と固体廃棄物の廃棄施設（廃棄物貯蔵室）を共用している。廃棄物貯蔵室は、汚染の拡大を防止するため使用済燃料貯蔵建屋受入れ区域に設け、内部の床面及び壁面の一部についてエポキシ樹脂系塗料で塗装を施す。

液体廃棄物及び固体廃棄物は、識別されたドラム缶、ステンレス製の密封容器等にそれぞれ分けて入れるとともに、廃棄物貯蔵室に区画を設けて液体廃棄物は入口近傍に保管廃棄することにより、お互いに影響を与えないことから共用により安全性は損なわない。

使用済燃料貯蔵施設は、設計貯蔵期間を通じて、当該施設の安全性を確保するために必要な施設・機器の安全機能を確保するための検査及び試験並びに同機能を維持するために必要な保守及び修理ができる設計としている。

具体的には、以下のとおりである。

- a. 金属キャスク

貯蔵前の金属キャスク及び貯蔵後搬出前の金属キャスクの基本的安全機能が維持されていることを確認するための外観検査、線量当量率検査等並びに必要な保守及び修理を行えるよう、受入れ区域に検査架台を設ける。（別添1参照）

検査架台の構造図を第1図に示す。検査架台は、たて置き状態の金属キャスクの側面及び蓋部にアクセスでき、金属キャスクの種類に応じ、作業床が昇降する構造である。

また、貯蔵時の金属キャスクの基本的安全機能が維持されていることを確認するための外観検査等を行えるよう配置する。機器配置図を第2図に示す。

使用済燃料貯蔵施設において、「使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準：2010；原子力学会標準」を参考に計画している金属キャスクの基本的安全機能が維持されていることの検査項目を第2表、第3表に示す。(別添2参照)

b. 貯蔵架台

金属キャスクの基本的安全機能を損なうことがないように金属キャスク貯蔵時に貯蔵架台の外観検査が行えるよう配置する。

c. 使用済燃料貯蔵建屋

使用済燃料貯蔵建屋は、建屋自体が担っている基本的安全機能のうち遮蔽機能及び除熱機能を損なうことがないように建屋各部へのアクセスが可能で保守及び修理が行える設計としている。

d. 受入れ区域天井クレーン

金属キャスク取扱設備である受入れ区域天井クレーンは、動作中に金属キャスクの基本的安全機能を損なうことがないように、必要な検査及び試験並びに保守及び修理ができる設計としている。具体的には、クレーン等安全規則により義務づけられている年次点検、月例点検、作業前点検が支障なく出来るよう保守性を考慮した設計としている。
(別添3参照)

受入れ区域天井クレーンは、金属キャスクをつった状態で仮置き中の金属キャスク上を通過できないようインターロックを設けるとともに、つり上げ高さを制限する。(別添4参照)

e. 搬送台車

金属キャスク取扱設備である搬送台車は、動作中に金属キャスクの基本的安全機能を損なうことがないように、必要な検査及び試験並びに

保守及び修理ができる設計としている。具体的には、定期点検、作業前点検が支障なく出来るよう保守性を考慮した設計としている。(別添3参照)

第1表 使用済燃料貯蔵施設の設備・機器の安全機能を有する施設について (2/4)

設備・機器名称	事業許可申請本文 *1	事業許可申請添付 *2	設備・機器の持つ機能	安全機能を有する施設 (事業許可基準規則 第13条、第2条 「安全機能」の定義)		事業許可基準規則に対する適合性																
				理由	評価	第二条 (臨界防止)	第四条 (運転)	第五条 (閉じ込み)	第六条 (除熱)	第七条 (火災等)	第九条 (地震)	第十一条 (外部衝撃)	第十二条 (不法侵入)	第十二条 (安全機能)	第十五条 (キヤスク)	第十六条 (受入施設)	第十七条 (計測制御)	第十八条 (廃棄施設)	第十九条 (放射線管理)	第二十条 (予備電源)	第二十一条 (通信設備等)	
仮置架台	○	○	「安全機能」とは、使用済燃料貯蔵施設の安全性を確保するために必要な機能をいう。 ・貯蔵前又は搬出前の金属キヤスクを一時的に仮置きする機能を有する。	理由 ・貯蔵前又は搬出前の金属キヤスクを一時的に仮置きする際の施設であり、使用済燃料貯蔵施設の安全性を確保するために必要な機能を有する。	×	基本的安全機能を有する施設及びその機能喪失により基本的安全機能を損なうおそれがある施設を含む。 ①使用済燃料貯蔵施設本体 (金属キヤスク等) ②使用済燃料の受入施設 (その機能喪失により、金属キヤスクが有する基本的安全機能を損なうおそれがないことが明らかであるものを除く)	第三条 (臨界防止)	第四条 (運転)	第五条 (閉じ込み)	第六条 (除熱)	第七条 (火災等)	第九条 (地震)	第十一条 (外部衝撃)	第十二条 (不法侵入)	第十二条 (安全機能)	第十五条 (キヤスク)	第十六条 (受入施設)	第十七条 (計測制御)	第十八条 (廃棄施設)	第十九条 (放射線管理)	第二十条 (予備電源)	第二十一条 (通信設備等)
使用済燃料貯蔵施設の受入施設	○	○	・金属キヤスクのたて起こし作業時に支持するための施設であり、使用済燃料貯蔵施設の安全性を確保するために必要な機能を有する。 ・金属キヤスクが転倒した場合の損傷防止機能	理由 ・貯蔵前又は搬出前の金属キヤスクを一時的に仮置きする際の施設であり、使用済燃料貯蔵施設の安全性を確保するために必要な機能を有する。 ・金属キヤスクが転倒した場合の損傷防止機能	×	基本的安全機能を有する施設及びその機能喪失により基本的安全機能を損なうおそれがある施設を含む。 ①使用済燃料貯蔵施設本体 (金属キヤスク等) ②使用済燃料の受入施設 (その機能喪失により、金属キヤスクが有する基本的安全機能を損なうおそれがないことが明らかであるものを除く)	第三条 (臨界防止)	第四条 (運転)	第五条 (閉じ込み)	第六条 (除熱)	第七条 (火災等)	第九条 (地震)	第十一条 (外部衝撃)	第十二条 (不法侵入)	第十二条 (安全機能)	第十五条 (キヤスク)	第十六条 (受入施設)	第十七条 (計測制御)	第十八条 (廃棄施設)	第十九条 (放射線管理)	第二十条 (予備電源)	第二十一条 (通信設備等)
検査架台	○	○	・金属キヤスクの検査をするための作業用足場としての機能	理由 ・金属キヤスクの検査するための施設であり、使用済燃料貯蔵施設の安全性を確保するために必要な機能を有する。	×	基本的安全機能を有する施設及びその機能喪失により基本的安全機能を損なうおそれがある施設を含む。 ①使用済燃料貯蔵施設本体 (金属キヤスク等) ②使用済燃料の受入施設 (その機能喪失により、金属キヤスクが有する基本的安全機能を損なうおそれがないことが明らかであるものを除く)	第三条 (臨界防止)	第四条 (運転)	第五条 (閉じ込み)	第六条 (除熱)	第七条 (火災等)	第九条 (地震)	第十一条 (外部衝撃)	第十二条 (不法侵入)	第十二条 (安全機能)	第十五条 (キヤスク)	第十六条 (受入施設)	第十七条 (計測制御)	第十八条 (廃棄施設)	第十九条 (放射線管理)	第二十条 (予備電源)	第二十一条 (通信設備等)
表面圧力監視装置 表面温度監視装置 給排気温度監視装置	○	○	・使用済燃料貯蔵施設の壁組のため金属キヤスクの表面温度及び使用済燃料貯蔵施設の給排気温度に異常を計測、指示、記録及び警報の機能	理由 ・金属キヤスクの表面温度及び使用済燃料貯蔵施設の給排気温度に異常を計測、指示、記録及び警報の機能	×	基本的安全機能を有する施設及びその機能喪失により基本的安全機能を損なうおそれがある施設を含む。 ①使用済燃料貯蔵施設本体 (金属キヤスク等) ②使用済燃料の受入施設 (その機能喪失により、金属キヤスクが有する基本的安全機能を損なうおそれがないことが明らかであるものを除く)	第三条 (臨界防止)	第四条 (運転)	第五条 (閉じ込み)	第六条 (除熱)	第七条 (火災等)	第九条 (地震)	第十一条 (外部衝撃)	第十二条 (不法侵入)	第十二条 (安全機能)	第十五条 (キヤスク)	第十六条 (受入施設)	第十七条 (計測制御)	第十八条 (廃棄施設)	第十九条 (放射線管理)	第二十条 (予備電源)	第二十一条 (通信設備等)

凡例

*1: 事業許可申請本文

○: 主要な設備及び機器の種類に記載

△: 使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の説明に記載

*2: 事業許可申請添付

○: 設備の主要仕様に記載

△: 主要設備の説明文に記載

第2表 金属キヤスクについて検査段階ごとに行う検査項目

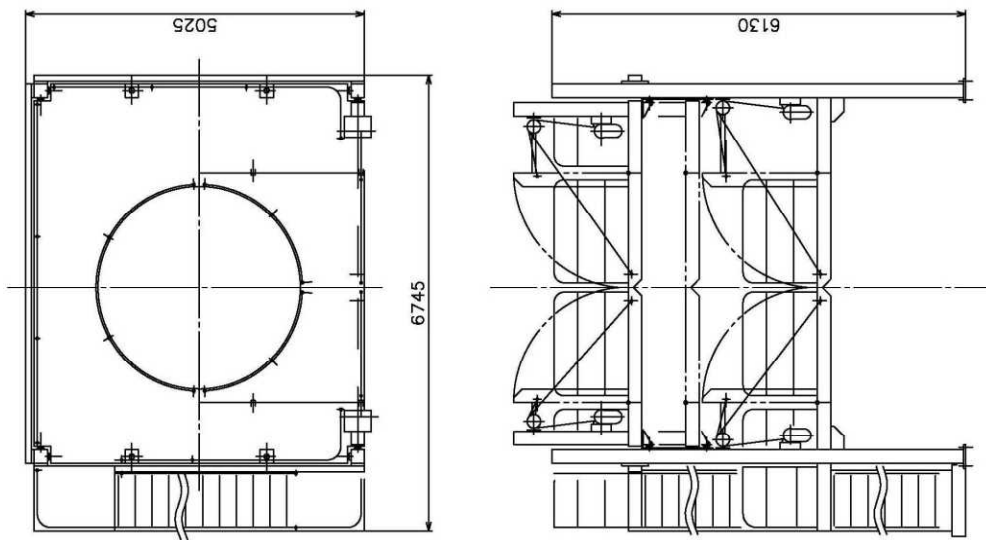
確認項目	検査の段階		貯蔵前検査		貯蔵期間中検査		貯蔵後搬出前	
	検査項目	検査で確認する機能	貯蔵	貯蔵	貯蔵	輸送 * 1	輸送 * 2	
全般	外観検査		◎	◎		○	◎	
密封機能	気密漏えい検査		○	—		○	◎	
	圧力測定検査		○	—		—	○	
	二重蓋間圧力検査		◎	○		—	—	
遮蔽機能	遮蔽性能検査		—	□		○	—	
	線量当量率検査		◎	—		—	◎	
臨界防止機能	未臨界検査		○	○		○	○	
除熱機能	伝熱検査		—	□		○	—	
	温度測定検査		—	—		—	◎	
	表面温度検査		◎	◎		—	—	
	つり上げ検査		◎	—		○	◎	
構造強度	重量検査		○	—		—	○	
	据付検査		◎	—		—	—	
使用済燃料	収納物検査		○	○		—	○	
その他	表面密度検査		◎	—		—	◎	

◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの □：代表キヤスクについて直接確認するもの —：検査対象外

* 1, * 2：核燃料輸送物設計承認申請者が実施 * 1：輸送機能維持検査と同じ

第3章 貯蔵期間中検査の具体的検査内容

確認項目	検査内容	具体的方法
全般	外観検査	目視により、基本的な安全機能及び構造強度に影響する汚れ、傷、変形又は損傷がないことを確認する。
密封機能	二重蓋間圧力検査	二重蓋間圧力の連続モニタリング記録が、規定する圧力範囲内であることを確認する。
遮蔽機能	遮蔽性能検査	収納物仕様、貯蔵期間に基づいた線量当量率解析値と測定値を比較し測定値が解析値を上回らないことを確認する（代表キヤスク）。
臨界防止機能	未臨界検査	発電所搬出前検査の未臨界検査記録及び貯蔵前検査の収納物検査記録、並びに貯蔵期間中の二重蓋間圧力検査記録、表面温度検査記録及び外観検査記録により、未臨界性能に影響がないことを確認する。
除熱機能	伝熱検査	収納物仕様、貯蔵期間及び貯蔵環境に基づいた温度解析値と測定値を比較し測定値が解析値を上回らないことを確認する（代表キヤスク）。
	表面温度検査	貯蔵場所において、代表点として金属キヤスク本体中央部の表面温度を測定し、規定する設計時の評価温度を超えないことを確認する。



注1：特記なき寸法は mm を示す。
 注2：特記なき寸法は公称値を示す。

第1図 検査架台構造図

金属キャスクの保守及び修理

<前提>

金属キャスクには、動的な機器が無く基本的にはメンテナンスフリーな設計となっている。

貯蔵施設も、自然換気方式を採用しており、外気が直接貯蔵区域に流入することから、結露が発生する。

それ故、金属キャスク本体には、防錆を目的とし、炭素鋼を用いる部位には塗装を施し、他の部位にはステンレス鋼を使用している。

<保守>

金属キャスク本体に汚れ、腐食、傷等が目視により確認された場合には、塗装、手入れを行う。また、貯蔵時において金属キャスクを固縛するために使用されるトラニオンについては、傷等が発生した場合に手入れを行う。

<修理>

蓋部の閉じ込め機能の異常に対して、二次蓋に漏えいが認められた場合には、金属キャスクの内部が負圧に維持されていること及び一次蓋の健全性を確認の上、二次蓋の金属ガスケットを交換する。

金属キャスクの検査

日本原子力学会標準「使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準：2010」に準拠し、以下の検査を実施する予定である。

1. 全般

外観検査：目視により、金属キャスクの基本的安全機能及び構造強度が維持されていることを確認する。

2. 密封機能

二重蓋間圧力検査：二重蓋間圧力の連続モニタリングの記録を確認する。

3. 臨界防止機能

未臨界検査：発電所搬出前検査の未臨界検査記録及び貯蔵前検査の収納物検査記録並びに二重蓋間圧力検査記録、表面温度検査記録及び外観検査記録により確認する。

4. 遮蔽機能

遮蔽性能検査：金属キャスクの型式ごとに、収納物の仕様及び貯蔵期間を考慮して代表キャスクを選定し、他のキャスクからの線量の寄与が無視又は補正できる状態で、金属キャスクの表面における γ 線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメータで測定し、当該金属キャスクの収納物仕様及び貯蔵期間に基づいた解析値と比較する。

5. 除熱機能

伝熱検査：金属キャスクの型式ごとに、収納物の仕様及び貯蔵期間を考慮して代表キャスクを選定し、各部温度測定値又は表面温度測定記録と当該キャスクの収納物仕様、貯蔵期間及び貯蔵環境（金属キャスクの配列及び周囲温度）に基づいた温度解析値と比較する。

表面温度検査：貯蔵場所において、代表点として金属キャスク本体中央部の表面の温度を測定する。

受入れ区域天井クレーン及び搬送台車の点検

【受入れ区域天井クレーン】

受入れ区域天井クレーンの点検は、クレーン等安全規則により、1年に1回の自主検査（年次点検）の他に、1月に1回の自主検査（月例点検）及びその日の作業を開始する前の点検（作業前点検）が義務づけられている。

<年次点検>

クレーン等安全規則では荷重試験のみが求められているが、自主的にクレーンの各部分の構造及び機能についての点検を行う（分解点検を実施）。また、2年に1回は所轄労働基準監督署立ち会いによる性能検査を受検する。性能検査では、年次点検の分解点検報告書の他に、月例点検、作業前点検の報告書についても確認される。

<月例点検>

月例点検では、以下の項目について点検を行う。

- ・ 巻過防止装置その他の安全装置、過負荷警報装置その他の警報装置、ブレーキ及びクラッチの異常の有無
- ・ ワイヤロープの損傷の有無
- ・ フックの損傷の有無
- ・ 配線、集電装置、配電盤、コントローラ等の異常の有無

<作業前点検>

その日の作業開始前に、以下の項目について点検を行う。

- ・ 巻過防止装置、ブレーキ、クラッチ及びコントローラの機能
- ・ ランウェイの上及びトロリが横行するレールの状態
- ・ ワイヤロープが通っている箇所の状態

【搬送台車】

搬送台車の点検は、1年に1回程度の定期点検の他に、その日の作業を開始する前の点検（作業前点検）を実施する。

<定期点検>

定期点検では、以下の項目について点検を行う。

- ・ 外観点検（装置全般及びバッテリーを対象とした変形，割れ，損傷の有無，接続部の緩みの有無，塗装の状況）
- ・ 寸法点検（搬送台車高さ及び幅）
- ・ 員数点検（付属品）
- ・ 漏えい点検（エアキャスタ系統及びドライブユニット）
- ・ 作動点検（単体動作及びインターロック）

<作業前点検>

その日の作業開始前に、以下の項目について点検を行う。

- ・ 外観点検（主要構成機材の有意な傷，破損の有無）
- ・ 組み合わせ点検（機器接続後）
- ・ 機器単体点検（ホースリール及びドライブユニット）
- ・ インターロック点検（誤操作防止インターロック及び警告灯・警報機動作確認）
- ・ 緊急停止時の動作確認（緊急停止スイッチ及びコントロールペダント）
- ・ 無負荷走行点検

金属キャスクの受入れから貯蔵までの工程

金属キャスクの受入れから貯蔵までの工程及び金属キャスクに対する試験及び検査について、「使用済燃料貯蔵施設における基本的な金属キャスクハンドリングフロー例(1/3)～(3/3)」に詳細を示す。

受入れ区域天井クレーンのインターロック条件については、「第 16 条 使用済燃料の受入施設」 「別添 1 金属キャスクハンドリングフロー及びインターロック条件等について」(16 条－別添 1－5～16 条－別添 1－8)に記載している。

使用済燃料貯蔵施設における基本的な金属キャスクハンドリングフロー例 (1 / 3)

1. 金属キャスクの受け入れ～金属キャスクの仮置き

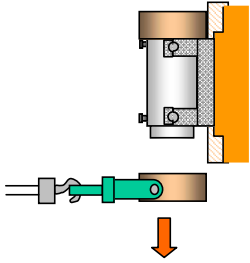
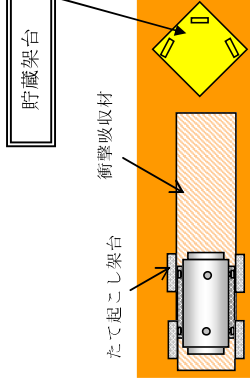
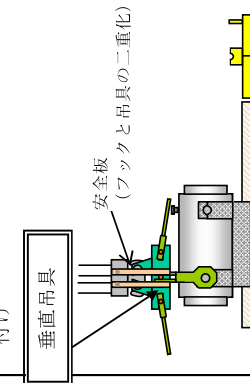
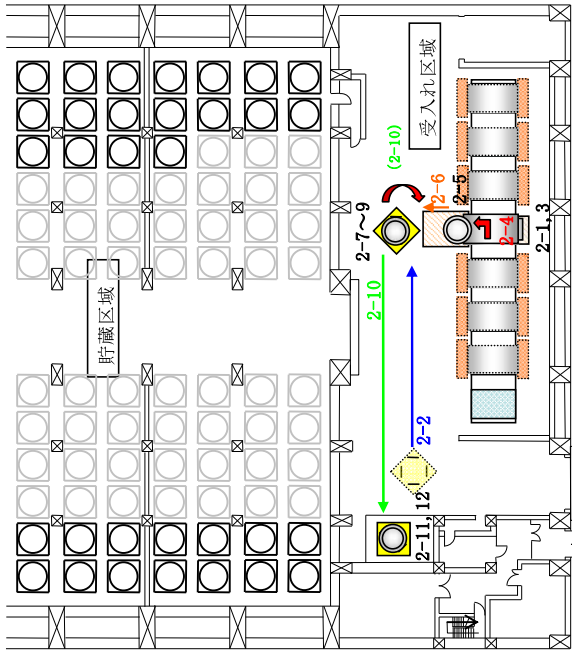
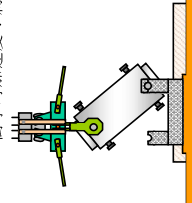
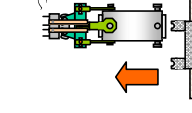
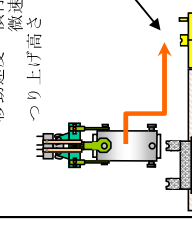
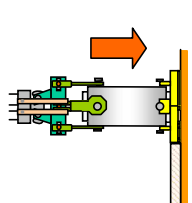
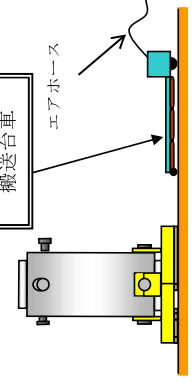
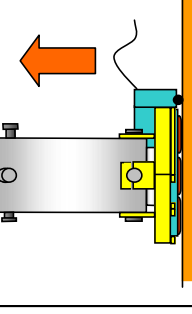
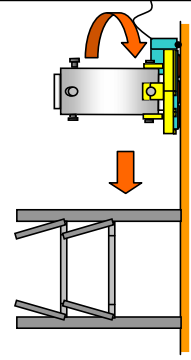
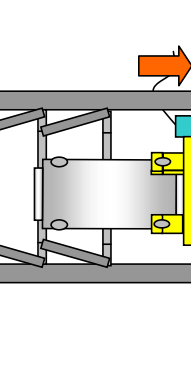
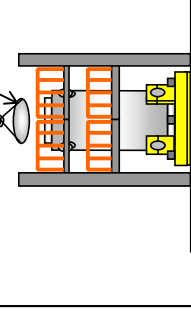
No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	動線
1-1	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属キャスクを貯蔵建屋に搬入 トレーラトラック上にて外観検査、線量当量率検査、表面密度検査、温度測定検査実施 	1-2	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> キャスク水平つり上げ つり上げ検査 	
1-3	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ移送 	1-4	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ設置 	
1-5	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> キャスク水平つり上げ 	1-6	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> たて起こし架台へ移送 	
1-7	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> たて起こし架台へ設置 			

水平吊具によるつり上げ時のインターロック制限

- ・つり上げ高さ：4m以下
- ・可動範囲制限
(仮置架台、たて起こし架台への移送時には、各架台の中心位置で進入許可ボタンを押す。)

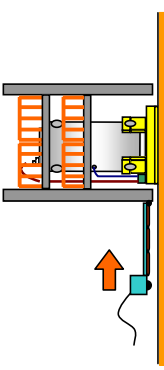
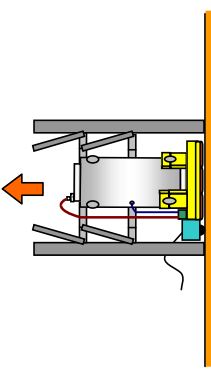
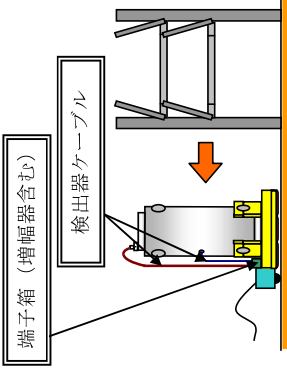
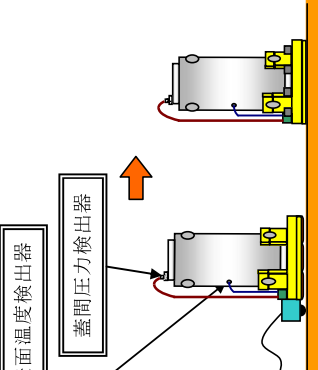
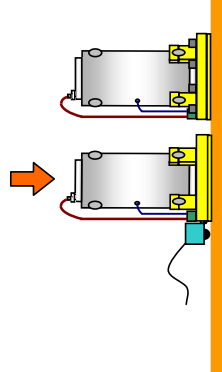
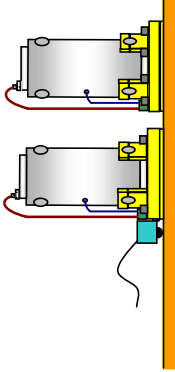
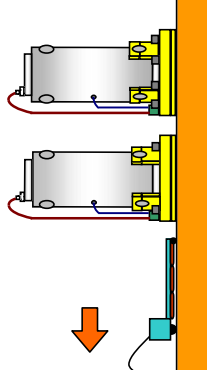
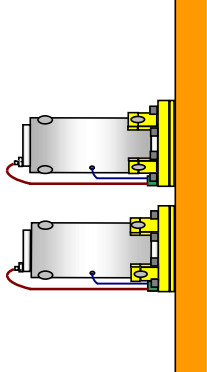
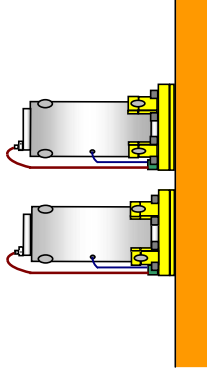
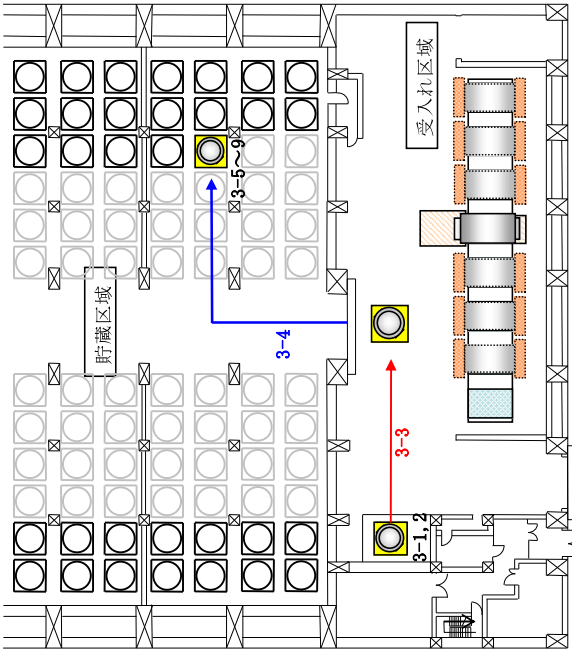
使用済燃料貯蔵施設における基本的な金属キヤスクハンドリングフロー一例 (2/3)

2. 緩衝体取り外し～金属キヤスクたて起こし～検査架台への移送

No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	線動
2-1	<p>緩衝体の取り外し</p> 	2-2	<p>貯蔵架台をたて起こし架台付近に設置</p> 	2-3	<p>吊具主アームを上部トラニオンに取り付け</p> 	
2-4	<p>主アームの外れ防止金具を取り付けた後、キヤスクをたて起こし 金属キヤスク転倒解折の条件 木材仕様：圧潰応力 3MPa、厚さ 1m 衝撃時加速度：約 40g</p> 	2-5	<p>トラニオン押さえを取り外した後、キヤスクをつり上げ つり上げ検査 巻上速度 定格：1.5m/分 微速：定格の1/10以下 つり上げ高さ：2m以下（衝撃吸収材上端とキヤスク下端の距離）</p> 	2-6	<p>つり上げ高さを目視にて確認し横行・下降操作を繰り返して貯蔵架台まで移送 巻下速度 定格：1.5m/分 微速：定格の1/10以下 移動速度 微速：定格の1/10以下 つり上げ高さ 衝撃吸収材上：2m以下</p> 	
2-7	<p>キヤスクを貯蔵架台に着床、固定</p> 	2-8	<p>貯蔵架台下部に搬送台車を挿入</p> 	2-9	<p>搬送台車浮上 浮上量：約 5cm</p> 	
2-10	<p>旋回動作、走行動作により検査架台へ移送 浮上量：約 5cm 移送速度 定格：10m/分</p> 	2-11	<p>搬送台車着床、貯蔵架台固定ボルト取り付け</p> 	2-12	<p>三次蓋（輸送用）の取り外し つり上げ高さ：0.1m以下</p> 	<p>補巻による緩衝体つり上げ時のインターローロック制限</p> <ul style="list-style-type: none"> 可動範囲制限 (可動範囲から仮置架台の設置位置を除き、たて起こし架台へは進入許可ボタンを押さない限り進入できない。) <p>垂直吊具によるつり上げ時のインターローロック制限</p> <ul style="list-style-type: none"> つり上げ高さ：2m以下 可動範囲制限 (たて起こし時は、金属キヤスクを衝撃吸収材上方に維持するため、たて起こし架台の中心位置付近に移動を制限する。)

3. 検査架台～貯蔵場所への設置

使用済燃料貯蔵施設における基本的な金属キヤスクハンドリングフロー例 (3 / 3)

No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	動線												
3-1	<ul style="list-style-type: none"> 蓋間圧力検出器、キヤスク表面温度検出器取り付け 気密漏えい検査 貯蔵架台に搬送台車挿入 貯蔵架台固定ボルト取り外し 	3-2	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車浮上 浮上量：5cm 	3-3	<ul style="list-style-type: none"> 検査架台からキヤスク抜出し 浮上量：約5cm 移送速度：10m/分 	3-4	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵場所まで移送 浮上量：約5cm 移送速度：10m/分 	3-5	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車の着床・貯蔵架台の設置 浮上量：約5cm 移送速度：10m/分 	3-6	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台の固定ボルト一部取り付け 	3-7	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車の抜取り 	3-8	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台の固定ボルト取り付け・確認 	3-9	<ul style="list-style-type: none"> 表面温度及び蓋間圧力端子箱へケーブル接続 二重蓋間圧力検査、表面温度検査、据付検査 	 <p>搬送台車による移送時におけるインターロック制限</p> <ul style="list-style-type: none"> 障害物近接時の停止

第 14 条 設計最大評価事故時の放射線障害の防止

<目 次>

1. 設計方針
2. 事故評価
3. 事故選定
4. 評価結果

(別 添)

- 別添 1 使用済燃料集合体の誤収納について
- 別添 2 真空乾燥不足に関する影響評価
- 別添 3 金属キャスク内部への不活性ガス誤充填について
- 別添 4 金属キャスク蓋部の取付不良等について
- 別添 5 金属キャスク取扱時の落下・転倒事象に関する影響評価
- 別添 6 金属キャスクの衝突について
- 別添 7 金属キャスクへの重量物落下事象に関する影響評価
- 別添 8 貯蔵期間中に金属キャスクの基本的安全機能に影響を及ぼす可能性が想定される事象

1. 設計方針

(1) 事故の選定について

使用済燃料貯蔵施設の安全評価に当たっては、自然災害等、金属キャスク及び使用済燃料貯蔵建屋の基本的安全機能を著しく損なうおそれのある事故の発生の可能性を、金属キャスクの構成部材の経年変化も踏まえ、技術的観点から十分に検討し、最悪の場合、技術的に発生が想定される事故であって、公衆の放射線被ばくの観点から重要と考えられる事故を選定し評価する。

(2) 放射線及び放射性物質の放出量の計算について

選定した事故について、技術的に妥当な解析モデル及びパラメータを採用するほか、金属キャスクの遮蔽機能の健全性、評価期間等、安全裕度のある妥当な条件を設定する。

(3) 線量評価について

選定した事故について、放射線及び放射性物質の放出量の計算で設定した条件により公衆に対して最大の放射線被ばくを及ぼす事故を設計最大評価事故として設定し、その場合の線量をもってしても、公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えるものでないことを確認する。

2. 事故評価

使用済燃料貯蔵施設の事故評価に当たっては、使用済燃料貯蔵施設に設計最大評価事故が発生した場合において、事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないことが「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（以下「事業許可規準規則」という。）」第十四条において要求されており、適用に当たっては第十四条の解釈に基づき実施する。

「設計最大評価事故時の放射線障害の防止」に対する考え方、評価の流れ」を添付1に示す。

3. 事故選定

3.1 金属キャスクの取扱工程

原子力発電所及び使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクの取扱工程を

以下に示す。

(1) 原子力発電所における金属キャスクの取扱工程

原子力発電所における金属キャスクの取扱工程において生じた誤操作等に起因する事象のうち、使用済燃料貯蔵施設における貯蔵期間中に基本的安全機能を阻害する要因を抽出する観点から、原子力発電所の作業工程を以下に示す。

使用済燃料集合体は貯蔵する燃料仕様に適合するように選定し、使用済燃料集合体の種類、燃焼度に応じ、金属キャスク内の所定の位置に収納する。使用済燃料集合体を収納した金属キャスクは、一次蓋を取付け、その内部を乾燥した後、内部を不活性雰囲気とするためヘリウムガスを封入する。さらに、二次蓋を取付け、蓋間にヘリウムガスを充填する。

金属キャスクを原子力発電所から搬出する前に、貯蔵のために必要な気密漏えい検査、線量当量率検査、温度測定検査等を行う。

「原子力発電所における金属キャスク取扱工程と起因事象」を添付 2-1 に示す。

(2) 使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクの取扱工程

トレーラトラックにより使用済燃料貯蔵建屋受入れ区域に搬入された金属キャスクは、事業所外運搬に必要な緩衝体を取り付けた状態で、受入れ区域天井クレーンを用いて仮置架台又はたて起こし架台に設置する。仮置架台に設置された金属キャスクは、たて起こしの都度、たて起こし架台へ移送する。

金属キャスクは、たて起こし架台で緩衝体を取り外し、受入れ区域天井クレーンを用いてたて起こす。貯蔵架台と金属キャスクを固定した後、搬送台車により検査架台へ移送する。

金属キャスク表面の外観検査、線量当量率検査等を行った後、金属キャスクは、搬送台車を用いて貯蔵区域の所定の箇所まで移送し、貯蔵架台を床面に固定して貯蔵する。

また、上記の工程を逆に行うことにより、金属キャスクを搬出する。

「使用済燃料貯蔵施設における金属キャスク取扱工程と起因事象」を添付 2-2 に示す。

3.2 事故選定の考え方

事故選定を系統的かつ適切に行うため、公衆の放射線被ばくの観点からみて重要と考えられる事故の選定は、以下のような特徴を考慮し、段階的に行う。

使用済燃料貯蔵施設は、原子力発電所において使用済燃料集合体を金属キャスクに装荷することから、その取扱工程において誤操作等が生じ、かつ、それに気づかずに金属キャスクが使用済燃料貯蔵施設に搬入され、貯蔵を開始した場合、使用済燃料貯蔵施設では、原子力発電所において仕立てた金属キャスクの一次蓋を開放することはなく、収納物である使用済燃料集合体や金属キャスクの内部構造物を直接確認することはしないことから、貯蔵期間中において基本的安全機能を阻害するような事象の発生の可能性がある。したがって、事故選定に当たっては、上記の原子力発電所での金属キャスクの取り扱いに起因し、貯蔵期間中に基本的安全機能に影響を及ぼす可能性が想定される事象についても対象とする。

- (1) 使用済燃料貯蔵施設及び原子力発電所における金属キャスクの取扱工程、並びに使用済燃料貯蔵施設における貯蔵期間中において、使用済燃料貯蔵施設が確保すべき基本的安全機能（閉じ込め機能、遮蔽機能、臨界防止機能及び除熱機能）に着目し、機能達成を阻害する要因を抽出する（起因事象の抽出）。

なお、金属キャスクは、「事業許可規準規則」の「第三条（使用済燃料の臨界防止）」と解釈に示される要求事項を満足するよう設計し、かつ、貯蔵期間中に金属キャスク内に水が侵入することはなく、物理的に臨界にはなり得えないことから、臨界については事故想定の対象外とする。

- (2) 抽出した起因事象の発生原因を分析するとともに、設計及び運用による対応の有効性を考慮して、金属キャスクの基本的安全機能への影響を確認し、万一起因事象が発生した場合、公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象を選定する。

事象の選定に際し、事象選定をする必要のないものを判定する判断基準としては、物理的な対策、検査の実施等*により事故となる可能性が排除

できること、事故による影響が設計上考慮されている又は影響が小さいこと、事故の発生確率が定量的に評価され、明らかに低いこと及び事象を発生させる設備、環境等が存在しないことが明らかであることのいずれかを満たすことを基本とする。

さらに、選定事象の中から、公衆の放射線被ばくの観点からみて重要と考えられる事象を事故事象として選定する。

なお、静的に貯蔵している状態、かつ、蓋間圧力等を連続監視している状態において、閉じ込め機能等が瞬時に機能喪失に至る仮想的事象の想定、あるいは解析、評価により放射性物質が放出されないことが確認されている事象について、あえて放射性物質の放出を仮定し、被ばく評価を実施することまではしない。

「起回事象の発生の可能性と基本的安全機能への影響を確認する事象の選定」を添付3に示す。

※事象の影響が長期に亘る場合は、蓋間圧力の監視により機能が損なわれる前に異常を検知可能

3.3 起回事象の抽出

原子力発電所及び使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクの取扱工程から、各手順において発生が想定される事象及び使用済燃料貯蔵施設における貯蔵期間中に金属キャスクの基本的安全機能及び使用済燃料貯蔵建屋の遮蔽、除熱性能に影響を与える可能性がある事象として、抽出された事象を以下に示す。

【原子力発電所における金属キャスクの取り扱いに起因し、貯蔵期間中に基本的安全機能に影響を及ぼす可能性が想定される事象】

- (1) 使用済燃料集合体の誤収納
- (2) 金属キャスク内部の真空乾燥不足等
- (3) 金属キャスク内部への不活性ガス誤充填
- (4) 金属キャスク蓋部の取付不良等

【使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクの取り扱いに起因する事象】

- (1) 金属キャスクの落下
- (2) 金属キャスクの転倒（天井クレーンによるたて起こし時）
- (3) 金属キャスクの転倒（搬送台車による移送時）
- (4) 金属キャスクの衝突（天井クレーンによる移送（走行，横行）時）
- (5) 金属キャスクの衝突（天井クレーンによるつり下げ時）
- (6) 金属キャスクの衝突（搬送台車による移送時）
- (7) 金属キャスクへの重量物の落下（緩衝体）
- (8) 金属キャスクへの重量物の落下（三次蓋，二次蓋）

【使用済燃料貯蔵施設において金属キャスクを貯蔵後，貯蔵期間中に基本的安全機能に影響を及ぼす可能性が想定される事象】

- (1) 使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞
- (2) 火災・爆発
- (3) 経年変化
- (4) その他自然災害等（自然災害，外部人為事象）

なお，基本的安全機能に着目し，機能達成を阻害する要因を分析した結果，抽出された事象は，金属キャスクの取扱工程から抽出された事象及び貯蔵期間中の内部・外部事象と相違がないことを確認している。

「フォールトツリー解析に基づく基本的安全機能を阻害する要因の分析」を添付4に示す。

また，使用済燃料の貯蔵に係る国外基準等により要求されている事象（以下「国外基準事象」という。）を調査し，使用済燃料貯蔵施設事業変更許可申請書 添付書類八の事故選定において抽出している事象（以下「申請書抽出事象」という。）と比較した結果，申請書抽出事象は国外基準事象と共通又は国外基準事象を包絡すること並びに申請書抽出事象に含まれない国外基準事象は使用済燃料貯蔵施設的设计等から対象外であることを確認している。

「国外基準等による事象と使用済燃料貯蔵施設の事象の比較」を添付5に示す。

3.4 事故事象の選定

「3.3 起因事象の抽出」に示したそれぞれの起因事象について、設計及び運用による対応の有効性を考慮して、金属キャスクの基本的安全機能への影響を確認し、万一起因事象が発生した場合、公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象を選定する。また、選定した事象の中から、公衆の放射線被ばくの観点からみて重要と考えられる事象を事故事象として選定する。

3.4.1 原子力発電所における金属キャスクの取り扱いに起因し、貯蔵期間中に基本的安全機能に影響を及ぼす可能性が想定される事象

原子力発電所における金属キャスクの取扱工程から、使用済燃料貯蔵施設での貯蔵期間中において、金属キャスクの基本的安全機能に影響を及ぼす可能性が想定される事象としては、使用済燃料集合体の誤収納、金属キャスク内部の真空乾燥不足等、金属キャスク内部への不活性ガス誤充填、金属キャスク蓋部の取付不良等が考えられる。

(1) 使用済燃料集合体の誤収納

金属キャスクに収納する使用済燃料集合体の誤収納を防止するため、以下のような作業管理上の対策を講ずる。

- a. 使用済燃料集合体の収納作業にあたり、適切な作業要領が整備されていることを確認する。
- b. 使用済燃料集合体が金属キャスク内の所定の位置に収納されていること等、作業要領に従って適切に作業が行われたことを作業記録等により確認する。

なお、これらの対策の他、原子炉設置者により、金属キャスクに収納した使用済燃料集合体の燃料番号及び収納配置の水中テレビカメラ等による直接確認、金属キャスクを原子力発電所から搬出する前に収納物検査等が行われる。

使用済燃料集合体の誤収納が発生したとしても、金属キャスクの基本的安全機能に直ちに著しい劣化を及ぼすような誤収納は、原子力発電所から

搬出する前に行われる線量当量率，温度測定等の確認により異常として検知できる。

さらに，上記以外の使用済燃料集合体の誤収納の発生を想定しても，原子炉設置者は，定期的に原子炉施設内の燃料集合体の在庫確認を実施しており，誤収納は明らかとなるため，使用済燃料貯蔵施設において，誤収納が発生した金属キャスクの貯蔵が，長期間にわたり継続されることはない。また，貯蔵中は蓋間圧力の監視により機能が損なわれる前に異常を検知でき，適切に処置を施すことができる。

なお，金属キャスクの設計においては，最大崩壊熱量に対して余裕を考慮した保守的な崩壊熱量を用いる等，十分な保守性を有する条件としていることから，使用済燃料集合体の誤収納が発生してから判明するまでの間に，金属キャスクの基本的安全機能に影響を及ぼすことは考えられない。

以上のことから，使用済燃料集合体の誤収納は，基本的安全機能への影響を確認する事象として選定する必要はない。

(2) 金属キャスク内部の真空乾燥不足等

金属キャスク内部の真空乾燥不足等を防止するため，以下のような作業管理上の対策を講ずる。

- a. 金属キャスクの真空乾燥作業にあたり，適切な作業要領が定められていることを確認する。
- b. 真空乾燥作業が作業要領に従って適切に行われたことを作業記録等により確認する。

なお，これらの対策の他，原子炉設置者により，作業中の真空乾燥時間及び金属キャスク内部の圧力の監視，作業終了時における金属キャスク内部の残留水分の確認，クリプトンモニタ等による燃料被覆管健全性の確認等が行われる。

真空乾燥不足が発生し，金属キャスク内部に規定量以上の水分が残留して，使用済燃料集合体及び内部構造物へ影響が生じた場合，除熱機能への影響が想定されるものの，長期的な影響が生じていたとしても，貯蔵期間中は蓋間圧力を監視しているため，閉じ込め機能が損なわれる前に異常を

検知でき、適切に処置を施すことができる。

以上のことから、金属キャスク内部の真空乾燥不足等は、基本的安全機能への影響を確認する事象として選定する必要はない。

(3) 金属キャスク内部への不活性ガス誤充填

金属キャスク内部への不活性ガス誤充填を防止するため、以下のような作業管理上の対策を講ずる。

- a. 金属キャスク内部へのヘリウムガス充填作業にあたり、適切な作業要領が定められていることを確認する。
- b. ヘリウムガス充填作業が作業要領に従って適切に行われたことを作業記録等により確認する。

なお、これらの対策の他、原子炉設置者により、金属キャスク内部へ充填するガスのヘリウムガスであることの確認、充填装置とヘリウムガスボンベとの接続を専用の継ぎ手とし、ヘリウムガス以外のガスボンベが物理的に接続できない構造とする等の対策が講じられる。

これらの対策により、金属キャスク内部への不活性ガス誤充填の発生の可能性は極めて低い。

以上のことから、金属キャスク内部への不活性ガス誤充填は基本的安全機能への影響を確認する事象として選定する必要はない。

(4) 金属キャスク蓋部の取付不良等

金属キャスク蓋部の取付不良等を防止するため、以下のような作業管理上の対策を講ずる。

- a. 金属キャスク蓋部の取付作業にあたり、適切な作業要領が定められていることを確認する。
- b. 金属キャスクの一次蓋及び二次蓋の漏えい率が所定の漏えい率以下であること等、蓋部の取付作業が作業要領に従って適切に行われたことを作業記録等により確認する。

なお、これらの対策の他、原子炉設置者により、シール面等に異物がないことの確認、蓋ボルト締付け時におけるトルク管理、金属キャスクを発

電所から搬出する前における気密漏えい検査等が行われる。

これらの対策により，金属キャスク蓋部の取付不良等の発生の可能性は極めて低い。

さらに，貯蔵期間中は，金属キャスクの蓋間圧力を監視することから，長期的な影響が生じたとしても，閉じ込め機能が損なわれる前に検知でき，適切に処置を施すことができる。

以上のことから，金属キャスク蓋部の取付不良等は基本的安全機能への影響を確認する事象として選定する必要はない。

3.4.2 使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクの取り扱いに起因する事象

使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクの取扱工程から，金属キャスクの基本的安全機能に影響を及ぼす可能性のある事象としては，金属キャスクの落下・転倒，金属キャスクの衝突，金属キャスクへの重量物の落下が考えられる。

(1) 金属キャスクの落下

受入れ区域天井クレーンによる取扱時の金属キャスクの落下を防止するため，以下の設計及び作業管理上の対策を講ずる。

- a. 受入れ区域天井クレーン，つり具は，金属キャスクの総重量を十分上回る重量に耐えることのできる強度に設計する。
- b. 受入れ区域天井クレーンのつりワイヤ，ブレーキ，リミットスイッチは，故障等を考慮して二重化する。
- c. つり具は，圧縮空気が喪失した場合，金属キャスクが外れないフェイル・セーフ設計とする。
- d. つり具の取付不良を考慮して，金属キャスクを4点つりとする。
- e. つり具の取付不良を考慮して，クレーンフックによるつり具保持の他に安全板によりつり具を保持する機構とする。
- f. 作業要領を十分整備し，監督者の直接指揮下で金属キャスクの取扱作業を行う管理体制をとる。監督者は，金属キャスクの移動に関して知識を有し，教育・訓練経験を有する実務経験のあるものが従事する。

これらの対策のうち、金属キャスクを4点つりとすることにより、水平吊具は1点、垂直吊具は2点の保持不良があった場合でも落下しないことから、金属キャスクの落下の発生の可能性は極めて低い。

以上のことから、金属キャスクの落下は基本的安全機能への影響を確認する事象として選定する必要はない。

(2) 金属キャスクの転倒（受入れ区域天井クレーンによるたて起こし時）

受入れ区域天井クレーンによるたて起こし時の金属キャスクの転倒を防止するため、以下の設計及び作業管理上の対策を講ずる。

- a. 受入れ区域天井クレーン、つり具は、金属キャスクの総重量を十分上回る重量に耐えることのできる強度に設計する。
- b. 受入れ区域天井クレーンのつりワイヤ、ブレーキ、リミットスイッチは、故障等を考慮して二重化する。
- c. つり具は、圧縮空気が喪失した場合、金属キャスクが外れないフェイル・セーフ設計とする。
- d. 作業要領を十分整備し、監督者の直接指揮下で金属キャスクの取扱作業を行う管理体制をとる。監督者は、金属キャスクの移動に関して知識を有し、教育・訓練経験を有する実務経験のあるものが従事する。

これらの対策により、金属キャスクの転倒の発生の可能性は低いものの、たて起こし時には金属キャスクを2点つりとすることから、つり具の保持不良により発生した金属キャスクの転倒（受入れ区域天井クレーンによるたて起こし時）を、金属キャスクの基本的安全機能への影響を確認する事象として選定し、評価する。

なお、使用済燃料貯蔵施設は、受入れ区域天井クレーンによる金属キャスク移送中のたて起こし架台上での転倒が発生したとしても、以下の拡大防止対策を講じることにより、金属キャスクの閉じ込め機能に影響を与えない設計とする。

- e. 事業所外運搬に必要な緩衝体を取り外した状態で金属キャスクをつり上げる場合には、床面に圧潰応力3MPaの衝撃吸収材を敷設する。

評価の結果、金属キャスクの閉じ込め機能を構成する部材に発生する応力

は弾性範囲内となり、放射性物質は放出されない。

以上のことから、受入れ区域天井クレーンによるたて起こし時の金属キャスクの転倒により公衆に放射線被ばくのリスクを及ぼすことはない。

(3) 金属キャスクの転倒（搬送台車による移送時）

搬送台車による移送時の金属キャスクの転倒を防止するため、以下の設計及び作業管理上の対策を講ずる。

- a. 搬送台車は障害物との接触を検知する装置を設け、衝突を防止する。
また、操作員及び補助員による緊急停止機構を設ける。
- b. 搬送台車による移送において、急発進、急停止による加速度又は基準地震動 S_s による加速度が作用しても、金属キャスクが転倒することのないように、移送速度を定格速度（10m/分）以下、浮上高さを約 5 cm で移送する。貯蔵架台は転倒しない寸法に設計する。
- c. 作業要領を十分整備し、監督者の直接指揮下で金属キャスクの取扱作業を行う管理体制をとる。監督者は、金属キャスクの移動に関して知識を有し、教育・訓練経験を有する実務経験のあるものが従事する。
これらの対策により、搬送台車による移送時の金属キャスクの転倒の発生の可能性は極めて低い。

以上のことから、搬送台車による移送時の金属キャスクの転倒は基本的安全機能への影響を確認する事象として選定する必要はない。

(4) 金属キャスクの衝突（受入れ区域天井クレーンによる移送（走行，横行）時）

受入れ区域天井クレーンによる移送（走行，横行）時の仮置架台，たて起こし架台等への金属キャスクの衝突を防止するため、以下の設計及び作業管理上の対策を講ずる。

- a. 受入れ区域天井クレーンのつりワイヤ，ブレーキ，リミットスイッチは，故障等を考慮して二重化する。
- b. 受入れ区域天井クレーンは，可動範囲を制限するインターロックを設ける。

c. 作業要領を十分整備し、監督者の直接指揮下で金属キャスクの取扱作業を行う管理体制をとる。監督者は、金属キャスクの移動に関して知識を有し、教育・訓練経験を有する実務経験のあるものが従事する。

これらの対策により、受入れ区域天井クレーンによる移送（走行，横行）時の仮置架台，たて起こし架台等への金属キャスクの衝突の発生の可能性は極めて低い。

また、金属キャスクの受入れ区域天井クレーンによる移送時には蓋部が直接的に仮置架台，たて起こし架台等に衝突することはないため，万一金属キャスクが仮置架台，たて起こし架台等に衝突したとしても，基本的安全機能への影響は小さい。

以上のことから，受入れ区域天井クレーンによる移送（走行，横行）時の仮置架台，たて起こし架台等への金属キャスクの衝突は，基本的安全機能への影響を確認する事象として選定する必要はない。

(5) 金属キャスクの衝突（天井クレーンによるつり下げ時）

受入れ区域天井クレーンによるつり下げ時の仮置架台，たて起こし架台，貯蔵架台への金属キャスクの衝突を防止するため，以下の設計及び作業管理上の対策を講ずる。

a. 受入れ区域天井クレーンのつりワイヤ，ブレーキは，故障等を考慮して二重化する。

b. 金属キャスクは，貯蔵期間中に操作員の単一の誤操作により発生すると予想される貯蔵架台への衝突等，金属キャスク取扱時の仮置架台，たて起こし架台との衝突事象に対し，基本的安全機能を損なわない構造強度を有する設計とする。

c. 作業要領を十分整備し，監督者の直接指揮下で金属キャスクの取扱作業を行う管理体制をとる。監督者は，金属キャスクの移動に関して知識を有し，教育・訓練経験を有する実務経験のあるものが従事する。

これらの対策により，受入れ区域天井クレーンによるつり下げ時の仮置架台，たて起こし架台，貯蔵架台への金属キャスクの衝突の発生の可能性は低く，万一発生したとしても，金属キャスクの基本的安全機能は維持さ

れる。

以上のことから、受入れ区域天井クレーンによるつり下げ時の仮置架台、たて起こし架台、貯蔵架台への金属キャスクの衝突は基本的安全機能への影響を確認する事象として選定する必要はない。

(6) 金属キャスクの衝突（搬送台車による移送時）

搬送台車による移送時の貯蔵中の金属キャスク貯蔵架台への金属キャスクの衝突を防止するため、以下の設計及び作業管理上の対策を講ずる。

a. 搬送台車には障害物との接触を検知する装置を設け、衝突を防止する。

また、操作員及び補助員による緊急停止機構を設ける。

b. 搬送台車は、移送速度を定格速度（10m/分）以下で移送する。

c. 金属キャスクは、貯蔵期間中に操作員の単一の誤操作により発生すると予想される貯蔵架台への衝突等、金属キャスク取扱時の貯蔵中の金属キャスク貯蔵架台との衝突事象に対し、基本的安全機能を損なわない構造強度を有する設計とする。

d. 作業要領を十分整備し、監督者の直接指揮下で金属キャスクの取扱作業を行う管理体制をとる。監督者は、金属キャスクの移動に関して知識を有し、教育・訓練経験を有する実務経験のあるものが従事する。

これらの対策により、搬送台車による移送時の貯蔵中の金属キャスク貯蔵架台への金属キャスクの衝突の発生の可能性は低く、万一発生したとしても、金属キャスクの基本的安全機能は維持される。

以上のことから、搬送台車による移送時の貯蔵中の金属キャスク貯蔵架台への金属キャスクの衝突は、基本的安全機能への影響を確認する事象として選定する必要はない。

(7) 金属キャスクへの重量物の落下（緩衝体）

金属キャスクへの緩衝体の落下を防止するため、以下の設計及び作業管理上の対策を講ずる。

a. 受入れ区域天井クレーンは、地震荷重等の適切な組合せを考慮しても強度上耐え得る設計とする。

b. 受入れ区域天井クレーンは、可動範囲を制限するインターロックを設ける。

c. 作業要領を十分整備し、監督者の直接指揮下で金属キャスクの取扱作業を行う管理体制をとる。監督者は、金属キャスクの移動に関して知識を有し、教育・訓練経験を有する実務経験のあるものが従事する。

これらの対策により、金属キャスクへの緩衝体等の落下の発生の可能性は極めて低い。

以上のことから、金属キャスクへの緩衝体の落下は、基本的安全機能への影響を確認する事象として選定する必要はない。

(8) 金属キャスクへの重量物の落下（三次蓋，二次蓋）

金属キャスクへの三次蓋，二次蓋の落下を防止するため、以下の設計及び作業管理上の対策を講ずる。

a. 受入れ区域天井クレーンは、地震荷重等の適切な組合せを考慮しても強度上耐え得る設計とする。

b. 作業要領を十分整備し、監督者の直接指揮下で金属キャスクの取扱作業を行う管理体制をとる。監督者は、金属キャスクの移動に関して知識を有し、教育・訓練経験を有する実務経験のあるものが従事する。

これらの対策により、金属キャスクへの三次蓋，二次蓋の落下の発生の可能性は低いが、発生した場合における金属キャスクの基本的安全機能への影響を確認する事象として選定し、評価する。

評価においては、事業所外運搬に供する三次蓋の取り付け又は取り外し作業時に三次蓋が二次蓋に落下する事象、及び二次蓋金属ガスケットの交換作業時に二次蓋が一次蓋に落下する事象の発生を想定して、下記の拡大防止対策を講じ、金属キャスクの閉じ込め機能に影響を与えないことを確認する。

c. 事業所外運搬に供する三次蓋の取り付け又は取り外しの作業、及び二次蓋金属ガスケットの交換作業を行う場合には、金属キャスク上での三次蓋又は二次蓋のつり上げ高さを10cm以下に制限する。

評価の結果、金属キャスクへの三次蓋，二次蓋の落下が発生しても金属

キャスクの閉じ込め機能を構成する部材に発生する応力は弾性範囲内となり、放射性物質は放出されない。

以上のことから、金属キャスクへの三次蓋、二次蓋の落下により公衆に放射線被ばくのリスクを及ぼすことはない。

3.4.3 使用済燃料貯蔵施設において金属キャスクを貯蔵後、貯蔵期間中に基本的安全機能に影響を及ぼす可能性が想定される事象

使用済燃料貯蔵施設における貯蔵期間中に金属キャスクの基本的安全機能に影響を及ぼす可能性が想定される事象として、使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞、火災・爆発、経年変化、発生することが想定される自然災害等が考えられる。

(1) 使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞

使用済燃料貯蔵建屋には、金属キャスク表面から金属キャスク周囲の空気に伝えられた使用済燃料集合体の崩壊熱を、その熱量に応じて生じる空気の通風力を利用して使用済燃料貯蔵建屋外へ放散するため、給気口及び排気口を設ける。金属キャスクを貯蔵する貯蔵区域の給気口の位置は地上高さ約6m、排気口の位置は地上高さ約23mであり、むつ特別地域気象観測所の観測記録（1935年～2012年）によれば、最大積雪量は170cm（1977年2月15日）であることから、給排気口が積雪により閉塞されることはない。また、考慮すべき降下火砕物の最大堆積層厚は約30cm（恐山の火山灰）であり、給排気口が降下火砕物により閉塞されることはない。

給気口の開口寸法は、幅約4m、高さ約3.5mであり、排気口の開口寸法は、幅約8m、高さ約3mである。また、風雨等の影響を考慮し、給気口にはフード、排気口には遮風板を設置するため、外部から異物等が飛来してきたとしても、給排気口が閉塞される可能性は極めて低い。また、植物や小動物による給排気口の閉塞については、事象の進展が緩慢であり、定期的な巡視により検知・除去することができることから、給排気口が閉塞される可能性は極めて低い。

以上のことから、使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞は基本的安全機能への影響を確認する事象として選定する必要はない。

(2) 火災・爆発

使用済燃料貯蔵施設は、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する設計とする。

使用済燃料貯蔵建屋内の貯蔵区域，受入れ区域，付帯区域はコンクリート壁により区画するとともに，「建築基準法」に基づく防火区画を設ける。また，火災感知設備，消火器，動力消防ポンプ，防火水槽を「消防法」等に基づいて適切に配置する。さらに，使用済燃料貯蔵建屋内で火気を使用する場合には，火気エリアへの可燃性物質の持ち込みを制限するとともに，不燃シート等でエリアを養生する。

これらの対策により，火災・爆発の発生の可能性は低いが，万一発生した場合における金属キャスクの基本的安全機能への影響を確認する事象として選定し，評価する。

評価の結果，使用済燃料貯蔵建屋内に持ち込まれた可燃性物質による火災が発生しても，可燃性物質の数量及び発熱量からみて，金属キャスクの基本的安全機能に著しい損傷を与えることはない。

以上のことから，火災・爆発により公衆に放射線被ばくのリスクを及ぼすことはない。

(3) 経年変化

基本的安全機能を維持する上で重要な金属キャスクの構成部材は，設計貯蔵期間中の温度，放射線等の環境，並びにその環境下での腐食，クリープ，応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し，その必要とされる強度，性能を維持し，必要な安全機能を失うことのない設計とするため，経年変化による基本的安全機能を損なうような著しい劣化はない。

万一，異常が発生した場合でも，金属キャスク蓋間圧力，使用済燃料貯蔵建屋給排気温度及び貯蔵区域の放射線レベルを常に監視していることから基本的安全機能の劣化を検知でき，適切に処置を施すことができる。

以上のことから，経年変化は基本的安全機能への影響を確認する事象と

して選定する必要はない。

(4) その他自然災害等

a. 自然災害

地震、津波、台風、浸水等の自然現象に対しては、敷地周辺の過去の記録に基づいて敷地で考えられる最も過酷な場合を想定する等、十分な安全設計を講ずる。

したがって、これらの自然現象が使用済燃料貯蔵施設の安全評価で想定する異常な状態の誘因になること、また、異常な状態を拡大することは考えられない。

(a) 地震

耐震設計に当たっては、使用済燃料貯蔵建屋は十分な支持性能をもつ地盤に設置する設計とする。また、使用済燃料貯蔵施設は、地震により発生するおそれがある施設の安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、耐震設計上の重要度分類ごとにそれぞれの重要度に応じた地震力に十分耐えることができる設計とする。また、基本的安全機能を確保する上で必要な施設は、その他の安全機能を有する施設の波及的影響によってその基本的安全機能を損なわない設計とする。

(b) 津波

津波については、既往の知見を大きく上回る高さ T.P. +23mの仮想的大規模津波を想定し、これを基準津波に相当する津波として遡上波が敷地に到達し、浸水深が7mとなり、使用済燃料貯蔵建屋の受入れ区域に金属キャスクが仮置きされている状態で仮想的な大規模津波による使用済燃料貯蔵建屋の受入れ区域の損傷を仮定しても、基本的安全機能が損なわれるおそれはない。

(c) 地震及び津波以外の想定される自然現象

風（台風）、低気温・凍結、降水、積雪については、敷地周辺の過去の記録に基づいて敷地で考えられる最も過酷な場合を想定した設計を行う。

洪水については、敷地の地形及び表流水の状況から判断して、敷地

が被害を受けることは考えられない。

竜巻については、過去の実績値を考慮した最大風速等から設定した設計荷重に対して、基本的安全機能を損なわない設計とする。

落雷については、建築基準法に基づく避雷設備を使用済燃料貯蔵建屋に設けることから、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を損なうおそれはない。

地滑りについては、敷地付近の地形及び地質の状況から判断して、地滑りに対する特別な考慮は不要である。

敷地周辺の火山活動については、火山事象の発生実績及びその規模、敷地付近の地形的特徴等から判断して、使用済燃料貯蔵施設の敷地に影響し、その基本的安全機能が損なわれるような火山災害が発生する可能性は極めて低い。

生物学的事象については、植物や小動物による使用済燃料貯蔵建屋給気口及び排気口の閉塞は事象の進展が緩慢であり、使用済燃料貯蔵建屋給排気口への自主的にバードスクリーン等を設置や定期的な巡視により、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を損なうおそれはない。

森林火災については、使用済燃料貯蔵施設と森林との間に防火帯を設置し、防火帯外縁から適切な離隔距離を保つことにより、敷地外の森林から出火し敷地内の植生へ延焼した場合であっても、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を損なわない設計とする。

b. 外部人為事象

(a) 飛来物

リサイクル燃料備蓄センター周辺には、飛来物の発生の要因となり得る工場等はない。また、使用済燃料貯蔵建屋への航空機の落下確率は、 10^{-7} 回/施設・年以下であり、航空機落下を考慮する必要はない。

(b) ダムの崩壊

リサイクル燃料備蓄センター周辺には、ダムの崩壊により影響を及ぼすような河川はないことから、ダムの崩壊を考慮する必要はな

い。

(c) 爆発

リサイクル燃料備蓄センターから最も近い石油コンビナートは40km以上離れており、爆発を考慮する必要はない。また、リサイクル燃料備蓄センター周辺の高圧ガス類貯蔵施設の爆発については、貯蔵される高圧ガスの種類及び貯蔵量等から算出した危険限界距離が、使用済燃料貯蔵建屋から高圧ガス類貯蔵施設までの離隔距離以下であることを確認することにより、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を損なわない設計とする。

(d) 近隣工場等の火災

リサイクル燃料備蓄センター周辺における近隣の産業施設等の危険物貯蔵施設の火災及びリサイクル燃料備蓄センター敷地内の危険物貯蔵設備の火災については、算出される火炎輻射強度に基づき、使用済燃料貯蔵建屋外壁の表面温度をコンクリート許容温度以下とすることにより、使用済燃料貯蔵建屋の基本的安全機能を損なわない設計とする。

航空機落下による火災については、使用済燃料貯蔵建屋を中心として落下確率が 10^{-7} 回/施設・年に相当する標的面積をもとにした離隔距離を算出して墜落地点とし、使用済燃料貯蔵建屋外壁の表面温度をコンクリート許容温度以下とすることにより、使用済燃料貯蔵建屋の基本的安全機能を損なわない設計とする。

また、火災の影響により使用済燃料貯蔵建屋内の空気の温度や流れの状態が変化し、金属キャスクに影響を及ぼすことが考えられるが、火災による影響を考慮しても、金属キャスクの基本的安全機能を損なうおそれはない。

(e) 有毒ガス

リサイクル燃料備蓄センター周辺には、石油コンビナート等の有毒物質を貯蔵する固定施設はなく、陸上輸送等の可動施設についても、幹線道路から使用済燃料貯蔵施設は離れている。また、金属キャスク貯蔵期間中は金属キャスク及び各設備の点検、保守等の実施時

以外に使用済燃料貯蔵建屋に人が常駐することはなく、外部火災に伴う有毒ガスの流入時には使用済燃料貯蔵建屋内の人員は迅速に避難することから、有毒ガスに対する使用済燃料貯蔵建屋の居住性を考慮する必要はない。

(f) 船舶の衝突

リサイクル燃料備蓄センターの敷地は、標高約 20m～約 30mのなだらかな台地に位置し、造成高は標高 16mであり、かつ、敷地前面の海岸からの離隔は約 500mあることから、船舶の衝突を考慮する必要はない。

(g) 電磁的障害

使用済燃料貯蔵施設は、電磁干渉や無線電波干渉によって基本的安全機能を損なうことはないため、電磁的障害を考慮する必要はない。

以上のことから、その他自然現象等は、基本的安全機能への影響を確認する事象として選定する必要はない。

4. 評価結果

「3. 事故選定」の評価結果から、使用済燃料貯蔵施設では、公衆に放射線被ばくのリスクを及ぼす事象の発生は想定されず、評価すべき設計最大評価事故はない。

「設計最大評価事故時の放射線障害の防止」に対する考え方、評価の流れ

○「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」

(設計最大評価事故時の放射線障害の防止)

第十四条 使用済燃料貯蔵施設は、設計最大評価事故（安全設計上想定される事故のうち、公衆が被ばくする線量を評価した結果、その線量が最大となるものをいう。）が発生した場合において、事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものでなければならぬ。

<解釈>

1 第14条の適用に当たっては、以下に掲げる手順に基づき評価を行うこと。

一 事故の選定

使用済燃料貯蔵施設の設計に即し、

① 施設内移送中の誤操作等による金属キヤスクの衝突・落下

② 自然災害

等、^a使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を損なうおそれのある事故の発生の可能性を、金属キヤスクの構成部材の経年変化も踏まえ、技術的観点から十分に検討し、技術的に発生が想定される事故であって、^b公衆の放射線被ばくの観点から重要と考えられる事故を選定すること。

二 放射線及び放射性物質の放出量の計算

選定したそれぞれの事故について、技術的に妥当な解析モデル及びパラメータを採用するほか、次の事項を十分に検討した上で、安全裕度のある妥当な条件を設定して、放射線及び放射性物質の放出量の計算を行うこと。

① 燃料被覆管からの放射性物質の漏えい量

② 金属キヤスクの閉じ込め機能や遮蔽機能の健全性

③ 放射性物質の漏えいを想定する金属キヤスクの基数

④ 放射性物質の大気中の拡散条件

⑤ 評価期間

放射線及び放射性物質の放出量の計算における評価期間の設定に当たっては、事故発生後異常を検知するまでの時間や、影響緩和のための対策に要する作業時間等を適切に考慮すること。

三 線量の評価

選定した事故のうち、放射線及び放射性物質の放出量の計算により公衆に対して最大の放射線被ばくを及ぼす事故を設計最大評価事故として設定し、その場合の線量をもってしても、公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えるものでないことを確認すること。

2 第14条に規定する「事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないもの」とは、設計最大評価事故時に公衆が被ばくする線量の評価値が、発生事故当たり5ミリシーベルト以下であることをいう。

○使用済燃料貯蔵施設における事故の選定

Aについて

1. 金属キヤスクの基本的安全機能に影響を及ぼす可能性のある事象（起因事象）を抽出
・ 金属キヤスクの取扱工程（添付2-1、添付2-2）において基本的安全機能に影響を及ぼす可能性のある事象及び金属キヤスクの貯蔵期間中に基本的安全機能に影響を及ぼす可能性のある事象を抽出。
使用済燃料貯蔵施設にて使用する金属キヤスクは、輸送貯蔵兼用キヤスクであり、その設計においては、原子力発電所等における取り扱いも考慮されるが、使用済燃料貯蔵施設の安全評価は、使用済燃料貯蔵施設内における取扱中及び貯蔵期間中に発生する事象を対象とすることを基本とする。しかし、事故の発生の可能性を技術的観点から十分に検討するため、使用済燃料貯蔵施設の特徴（金属キヤスク内部構造物、収納物の直接確認を実施しない）を考慮して、発電所内での誤操作等に起因して貯蔵期間中に基本的安全機能に影響を及ぼす可能性のある事象についても一部対象に含める。

・抽出した部起因事象：

①使用済燃料集合体の誤収納、②金属キヤスク内部の真空乾燥不足等、③金属キヤスク内への不活性ガス誤充填、④金属キヤスク蓋部の取付不良等、⑤金属キヤスクの落下、⑥金属キヤスクの転倒（天井クレーンによるたて起こし時）、⑦金属キヤスクの転倒（搬送台車による移送時）、⑧金属キヤスクの衝突（クレーンによる移送（走行、横行）時）、⑨金属キヤスクの衝突（受入れ区域天井クレーンによるつり下げ時）、⑩金属キヤスクへの重量物の衝突（搬送台車による移送時）、⑪金属キヤスクへの重量物の落下（緩衝体）、⑫金属キヤスクへの重量物の落下（三次蓋、二次蓋）、⑬使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞、⑭火災、⑮爆発、⑯経年変化、⑰自然災害、⑱外部人為事象

2. 抽出した起因事象から基本的安全機能への影響を確認し、起因事象が発生した場合、公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象を選定

・設計及び運用による対応の有効性を考慮して、起因事象の発生の可能性を検討するとともに、発生した場合に公衆に対して放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象を選定（添付-3）し、解析、評価により、その影響を確認。
・選定した事象の妥当性を審査するに当たり、事象選定をする必要のないものを判定する判断基準として以下を設定（いづれかに該当するものは事象の選定を必要なし）。

- a. 物理的な対策、検査の実施等により事故となる可能性が排除できること ①、②、③、④、⑤、⑦、⑧、⑩、⑪、⑬、⑰
- b. 事故による影響が設計上考慮されている又は影響が小さいこと ⑨、⑯、⑲
- c. 事故の発生確率が定量的に評価され、明らかに低いこと ⑱
- d. 事象が発生させる設備、環境等が存在しないことが明らかであること ⑭、⑱
・選定した事象：⑥金属キヤスクの転倒（受入れ区域天井クレーンによるたて起こし時）、⑫金属キヤスクへの重量物の落下（三次蓋、二次蓋）、⑭火災

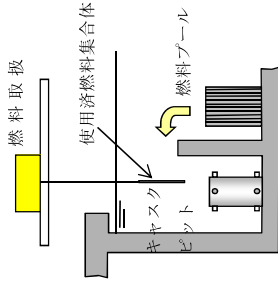
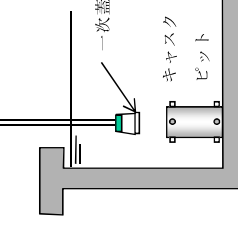
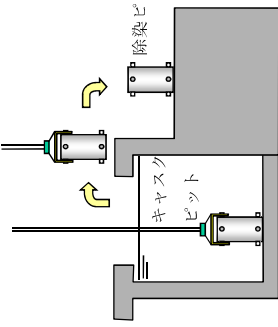
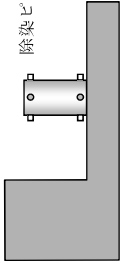
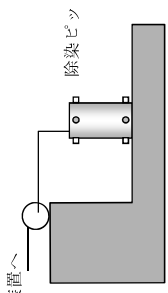
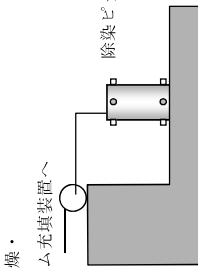
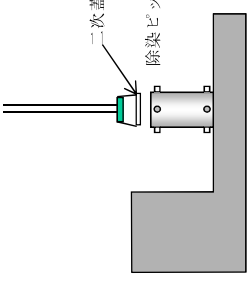
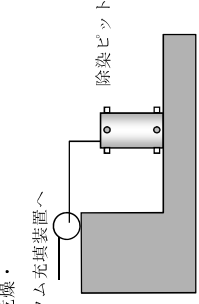
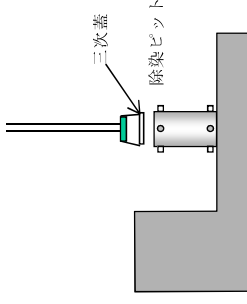
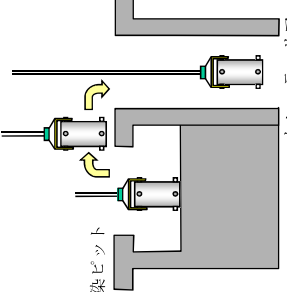
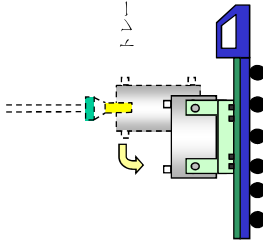
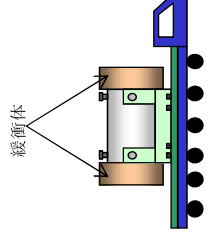
・選定した事象について評価した結果、**いづれの事象も放射性物質の放出に至らない。**

なお、使用済燃料貯蔵施設内において乾燥状態での貯蔵中の臨界事故、静的に貯蔵している状態、かつ蓋間圧力等を連続して監視している状態において、瞬時に閉じ込め機能等が機能喪失に至るような仮想的事象は対象外。

Bについて

3. 2. の検討結果から、公衆に放射線被ばくのリスクを及ぼす事象の発生は想定されず、評価すべき設計最大評価事故はない。

※事象の影響が長期に亘る場合は、蓋間圧力の監視により機能が損なわれる前に異常を検知可能

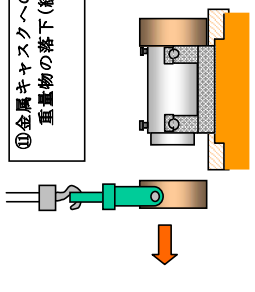
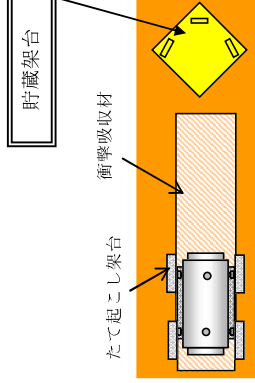
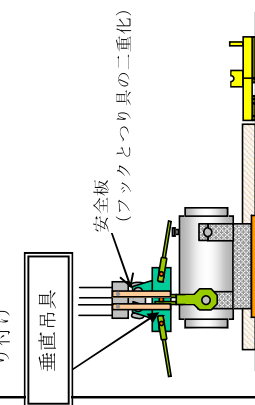
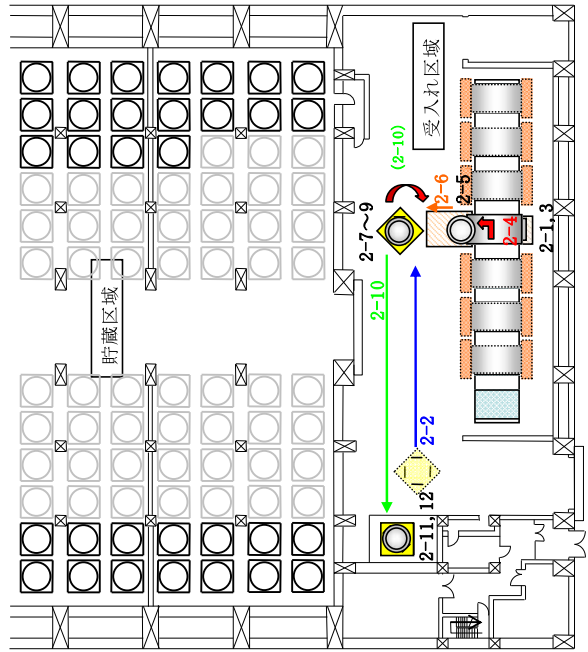
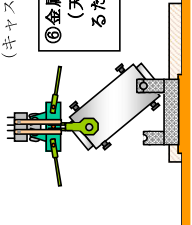
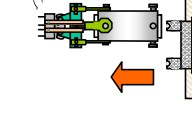
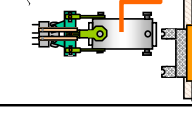
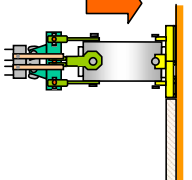
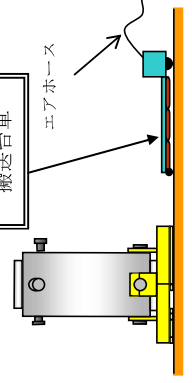
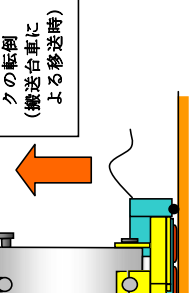
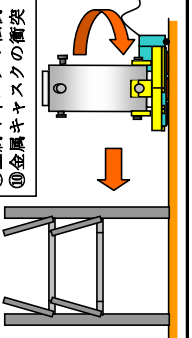
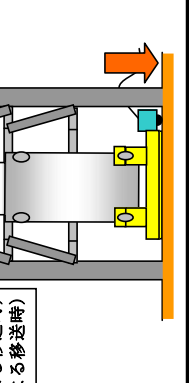
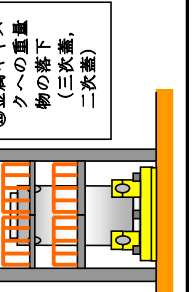
No. 1	<p>燃料収納</p> <p>①使用済燃料集合体の取収納</p> 	No. 2	<p>取り扱いモード</p> <p>一次蓋の取付け</p> <p>④金属キャスク蓋部の取付不良</p> 	No. 3	<p>取り扱いモード</p> <p>金属キャスクの移動(1)</p> 	No. 4	<p>取り扱いモード</p> <p>一次蓋のボルト締め</p> <p>④金属キャスク蓋部の取付不良</p> 
No. 5	<p>除染・排水作業</p> <p>排水装置へ</p> 	No. 6	<p>取り扱いモード</p> <p>真空乾燥・ヘリウム充填</p> <p>②金属キャスク内部の真空乾燥不足等 ③金属キャスク内部への不活性ガス脱充填</p> <p>真空乾燥・ヘリウム充填装置へ</p> 	No. 7	<p>取り扱いモード</p> <p>二次蓋の取付け</p> <p>④金属キャスク蓋部の取付不良</p> 	No. 8	<p>取り扱いモード</p> <p>蓋間ヘリウム充填</p> <p>真空乾燥・ヘリウム充填装置へ</p> 
No. 9	<p>三次蓋の取付け</p> 	No. 10	<p>取り扱いモード</p> <p>金属のキャスク移動(2)</p> <p>除染ビット</p> 	No. 11	<p>取り扱いモード</p> <p>トレーラトラックへの積載</p> <p>トレーラエアリア</p> 	No. 12	<p>取り扱いモード</p> <p>発送前検査・搬出</p> <p>緩衝体</p> 

原子力発電所における金属キャスク取扱工程と起因事象

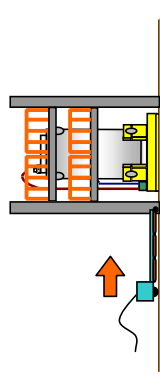
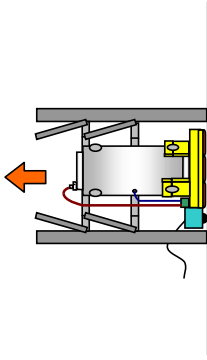
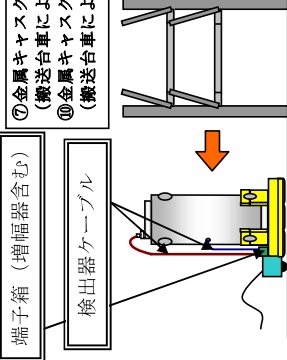
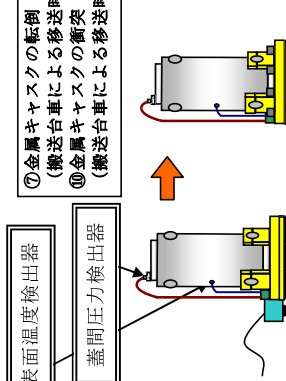
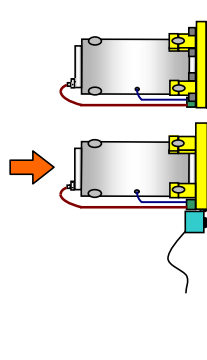
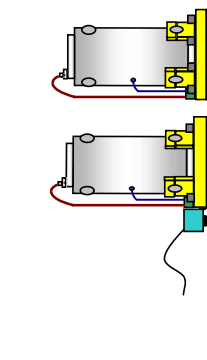
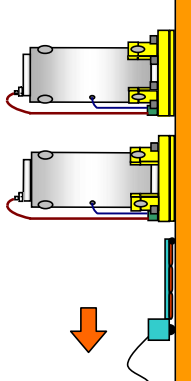
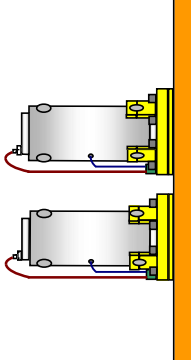
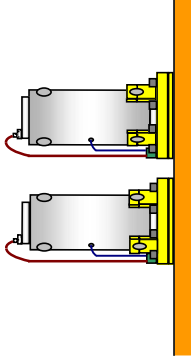
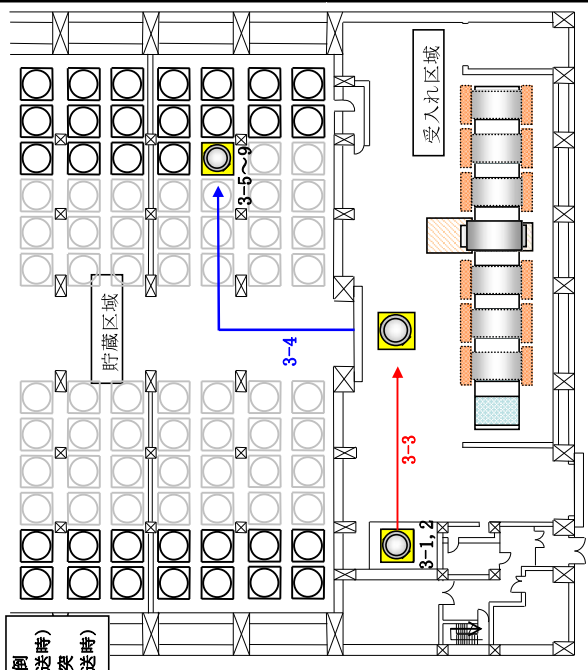
No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	動線
1-1	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属キャスクを貯蔵建屋に搬入 トレララ上にて外観検査、積量当量検査、表面密度検査、温度測定検査実施 	1-1	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> キャスク水平つり上げ つり上げ検査 	
1-3	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ移送 	1-4	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ設置 	
1-5	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> キャスク水平つり上げ 	1-6	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> たて起こし架台へ移送 	
1-7	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> たて起こし架台へ設置 	1-7	<p>取り扱いモード</p> <ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ設置 	

水平吊具によるつり上げ時のインターロック制限

- つり上げ高さ：4m以下 (別添-1 別図-1)
- 可動範囲制限 (別添-1 別図-2)
(仮置架台、たて起こし架台への移送時には、各架台の中心位置で進入許可ボタンを押す。)

No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	線動	
2-1	<p>取り扱いモード</p> <p>・緩衝体の取り外し</p>  <p>⑩ 金属キャスクへの 重量物の落下(緩衝体)</p>	2-2	<p>取り扱いモード</p> <p>・貯蔵架台をたて起し架台付近に設置</p>  <p>貯蔵架台</p> <p>衝撃吸収材</p> <p>たて起し架台</p>	2-3	<p>取り扱いモード</p> <p>・つり具主アームを上部トラフモニオンに取り付け</p>  <p>垂直吊具</p> <p>安全板 (フックとつり具の二重化)</p>	線動	 <p>貯蔵区域</p> <p>受入れ区域</p> <p>2-1, 12</p> <p>2-2</p> <p>2-7~9</p> <p>2-10</p> <p>2-5</p> <p>2-4</p> <p>2-1, 3</p>
2-4	<p>主アームの外れ防止金具を取り付けた後、キャスクをたて起し</p> <p>金属キャスク転倒解析の条件 木材仕様：圧潰応力 3MPa、厚さ 1m 衝撃時加速度：約 40G (キャスク転倒評価条件)</p> <p>⑨ 金属キャスクの転倒 (天井クレーンによるたて起し時)</p> 	2-5	<p>トラフモニオン押さえを取り外した後、キャスクをたて起し上げ</p> <p>・つり上げ検査</p> <p>巻上速度 定格：1.5m/分 巻下速度 定格：1/10以下 移動速度 巻行定格：10m/分 微速 定格の1/10以下 つり上げ高さ：2m以下(衝撃吸収材上端とキャスク下端の距離) (垂直落下評価条件)</p> <p>⑤ 金属キャスクの落下</p> 	2-6	<p>・つり上げ高さを目視にて確認し横行・下降操作を繰り返して貯蔵架台上まで移送</p> <p>巻下速度 定格：1.5m/分 移動速度 巻行定格：10m/分 微速 定格の1/10以下 つり上げ高さ：2m以下(衝撃吸収材上端とキャスク下端の距離) (垂直落下評価条件)</p> <p>⑤ 金属キャスクの落下</p> <p>貯蔵架台</p> 		
2-7	<p>キャスクを貯蔵架台に着床、固定</p> <p>巻下速度 定格：1.5m/分(異常着床評価条件) 微速：定格の1/10以下</p> <p>⑤ 金属キャスクの落下 ⑨ 金属キャスクの衝突(天井クレーンによるつり下げ時)</p> 	2-8	<p>貯蔵架台下部に搬送台車を挿入</p> <p>搬送台車</p> <p>エアホース</p> 	2-9	<p>搬送台車浮上</p> <p>浮上高さ：約 5cm (転倒評価条件)</p> <p>⑦ 金属キャスクの転倒 (搬送台車による移送時)</p> 		
2-10	<p>旋回動作、走行動作により検査架台へ移送</p> <p>浮上高さ 定格：約 5cm(転倒評価条件) 移送速度 定格：10m/分(衝突評価条件)</p> <p>⑦ 金属キャスクの転倒(搬送台車による移送時) ⑩ 金属キャスクの衝突(搬送台車による移送時)</p> 	2-11	<p>搬送台車着床、貯蔵架台固定ボルト取り付け</p> 	2-12	<p>三次蓋(輸送用)の取り外し</p> <p>三次蓋 つり上げ高さ：0.1m以下 (重量物落下評価条件)</p> <p>⑩ 金属キャスクへの重量物の落下 (三次蓋、二次蓋)</p> 	<p>補巻による緩衝体つり上げ時のインターロック制限</p> <p>・可動範囲制限 (別添-1 別図-3) (可動範囲から仮置架台の設置位置を除き、たて起し架台へは進入許可ボタンを押さない限り進入できない。)</p> <p>垂直吊具によるつり上げ時のインターロック制限</p> <p>・つり上げ高さ：2m以下 (別添-1 別図-4)</p> <p>・可動範囲制限 (別添-1 別図-4) (たて起し時は、金属キャスクを衝撃吸収材上方に維持するために、たて起し架台の中心位置付近に移動を制限する。)</p>	

使用済燃料貯蔵施設における金属キャスク取扱工程と起因事象(緩衝体取り外し～金属キャスクたて起し～検査架台への移送)

No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	線動										
3-1	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蓋間圧力検出器、キャスク表面温度検出器取り付け ・ 気密漏えい検査 ・ 貯蔵架台に搬送台車挿入 ・ 貯蔵架台固定ボルト取り外し 	3-2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 搬送台車浮上 	3-3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検査架台からキャスク拔出し 浮上高さ : 約 5cm (転倒評価条件) 移送速度 : 10m/分 (衝突評価条件) 	3-4	<ul style="list-style-type: none"> ・ 貯蔵場所まで移送 浮上高さ : 約 5cm (転倒評価条件) 移送速度 : 10m/分 (衝突評価条件) 	3-5	<ul style="list-style-type: none"> ・ 貯蔵架台の着床・貯蔵架台の設置 浮上高さ : 約 5cm (転倒評価条件) 移送速度 : 10m/分 (衝突評価条件) 	3-6	<ul style="list-style-type: none"> ・ 貯蔵架台の固定ボルト一部取り付け 	3-7	<ul style="list-style-type: none"> ・ 搬送台車の抜取り 	3-8	<ul style="list-style-type: none"> ・ 貯蔵架台の固定ボルト取り付け・確認 	3-9	<ul style="list-style-type: none"> ・ 表面温度及び蓋間圧力端子箱へケーブル接続 ・ 二重蓋間圧力検査、表面温度検査、据付検査 	
								<p>搬送台車による移送時におけるインターロック制限</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 障害物近接時の停止 										

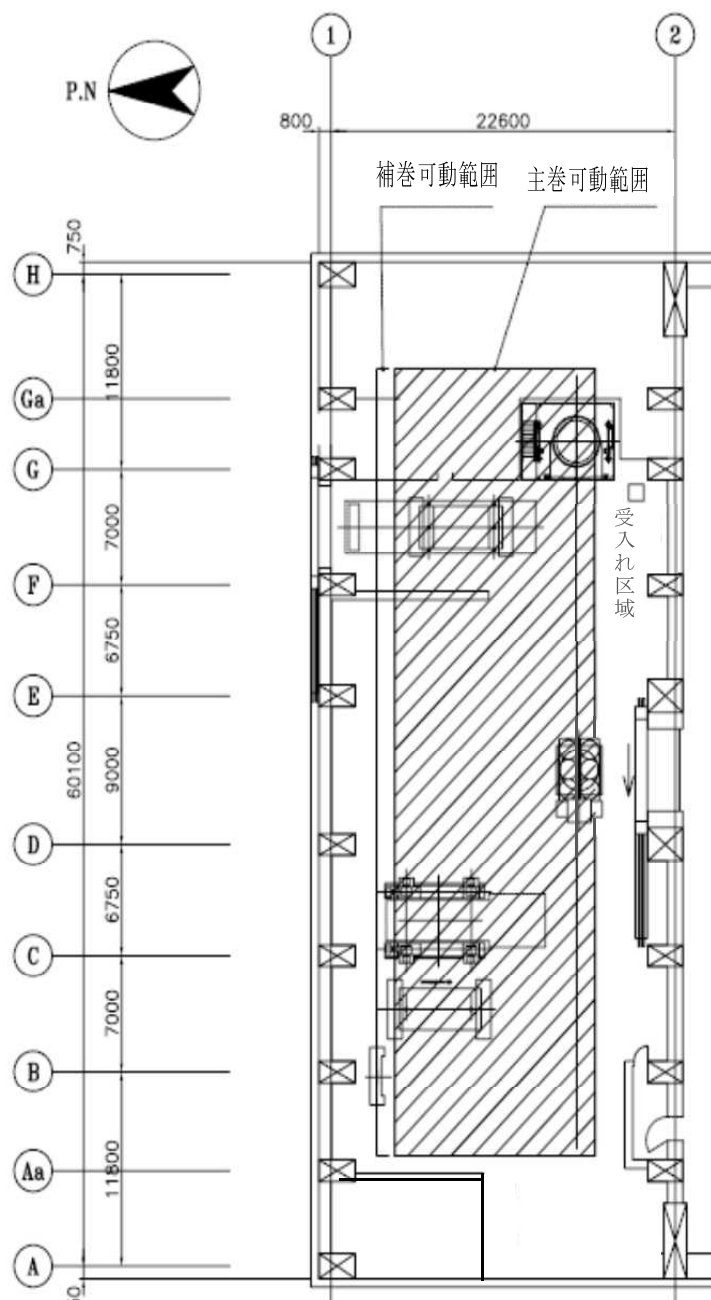
使用済燃料貯蔵施設における金属キャスク取扱工程と起回事象（検査架台～貯蔵場所への設置）

天井クレーンのインターロックについて

インターロック条件①（金属キャスク状態：横向き、水平つり）

主巻可動範囲全域（別図－1 の“主巻可動範囲”と記した斜線部の範囲）において、主巻が 90t 以上の荷重を検知した場合、金属キャスク下面～建屋床面の巻上げ高さを 4 m 以下に制限。

注：P.N（プラントノース）は、真北から 6° 23' 西方向に設計上の北として設定されたもの

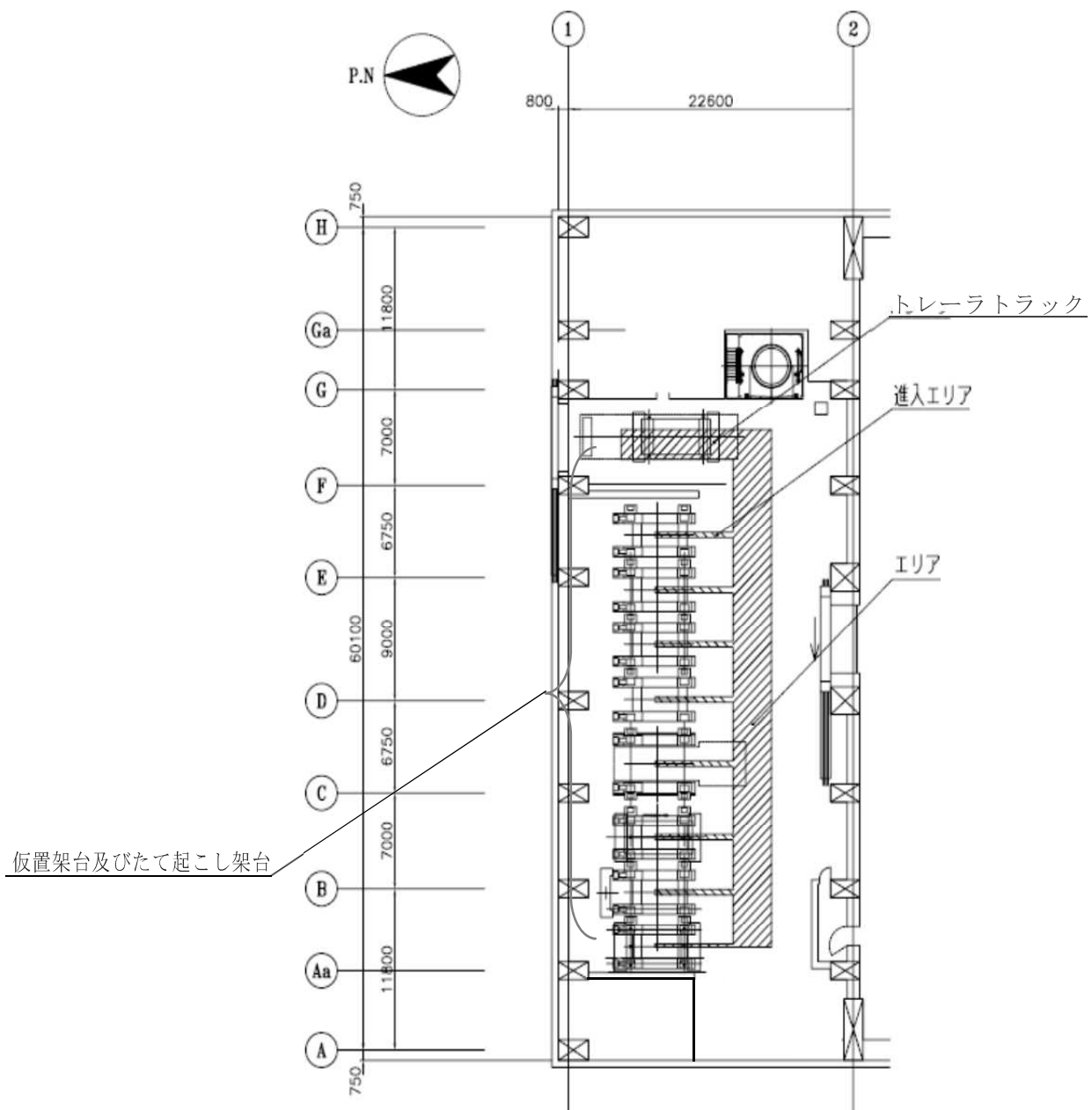


別図－1 主巻荷重 90t 以上での巻上げ高さ 4 m 以下制限の範囲

インターロック条件②（金属キャスク状態：横向き、水平つり）

主巻が 90t 以上の荷重を検知した状態では別図－2 の“エリア”と記した範囲以外に走行・横行できない。また，“エリア”から仮置架台及びたて起こし架台上に進入する場合（別図－2 の“進入エリア”と記した範囲）は，“進入エリア”手前の各架台の中心位置で進入を許可するスイッチを操作しなければ進入（横行）できない。（荷をつった状態で，容易に架台上に進入することを制限することで，金属キャスクが置かれている架台への接近を制限する。）

注：P.N（プラントノース）は，真北から 6° 23′ 西方向に設計上の北として設定されたもの

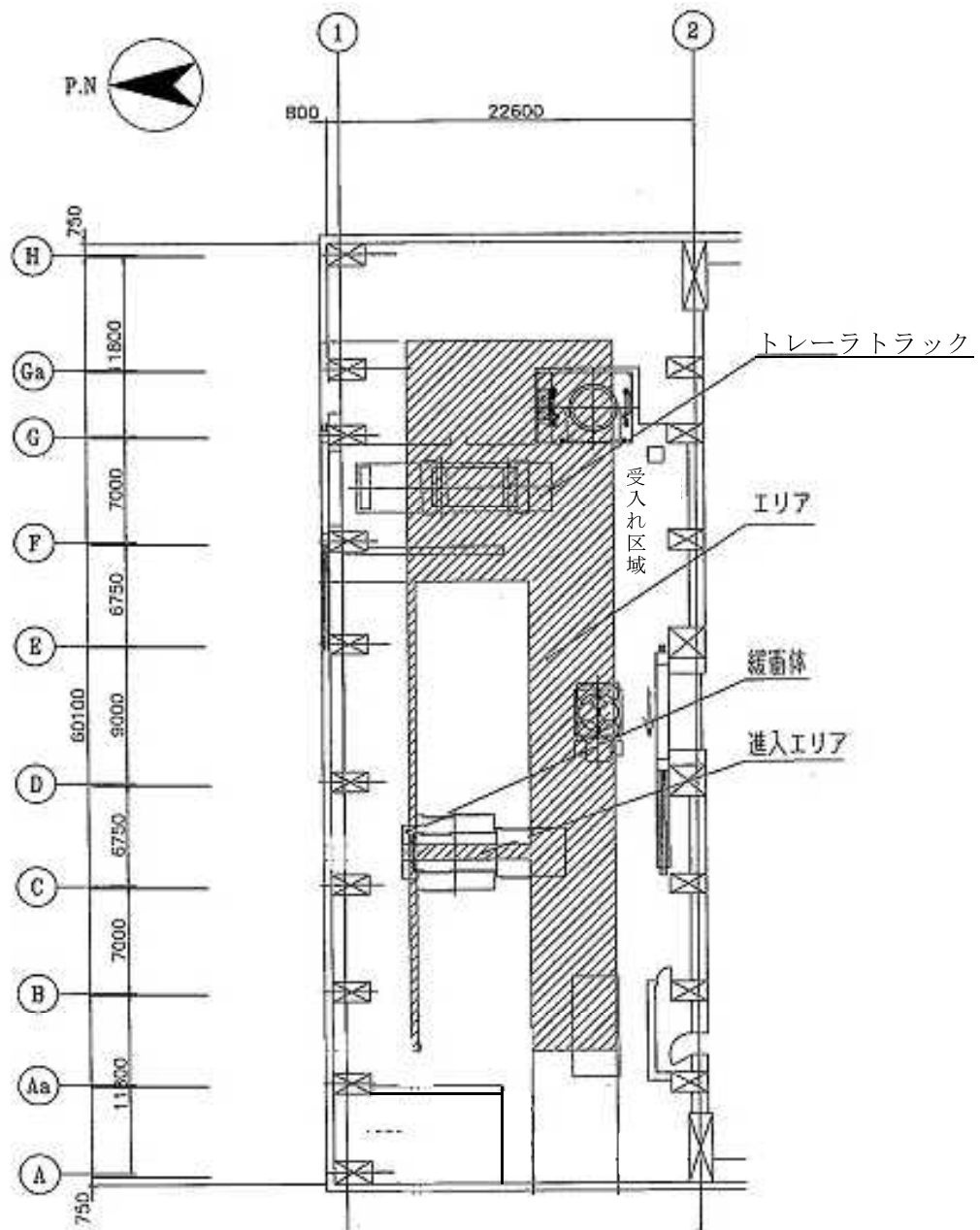


別図－2 主巻荷重 90t 以上での走行・横行の制限の範囲

インターロック条件③（金属キャスク状態：横向き，たて起こし架台へ設置）

補巻が 4.5t 以上の荷重を検知した状態では別図－3 の“エリア”（主巻位置で表示）と記した範囲以外に走行・横行できない。また，“エリア” からたて起こし架台上に進入する場合（別図－3 の“進入エリア”と記した範囲）は，“進入エリア”手前の各架台の中心位置で進入を許可するスイッチを操作しなければ進入（横行）できない。（緩衝体をつった状態で，容易に架台上に進入することを制限することで，金属キャスクが置かれている架台への接近を制限する。）

注：P.N（プラントノース）は，真北から 6° 23' 西方向に設計上の北として設定されたもの



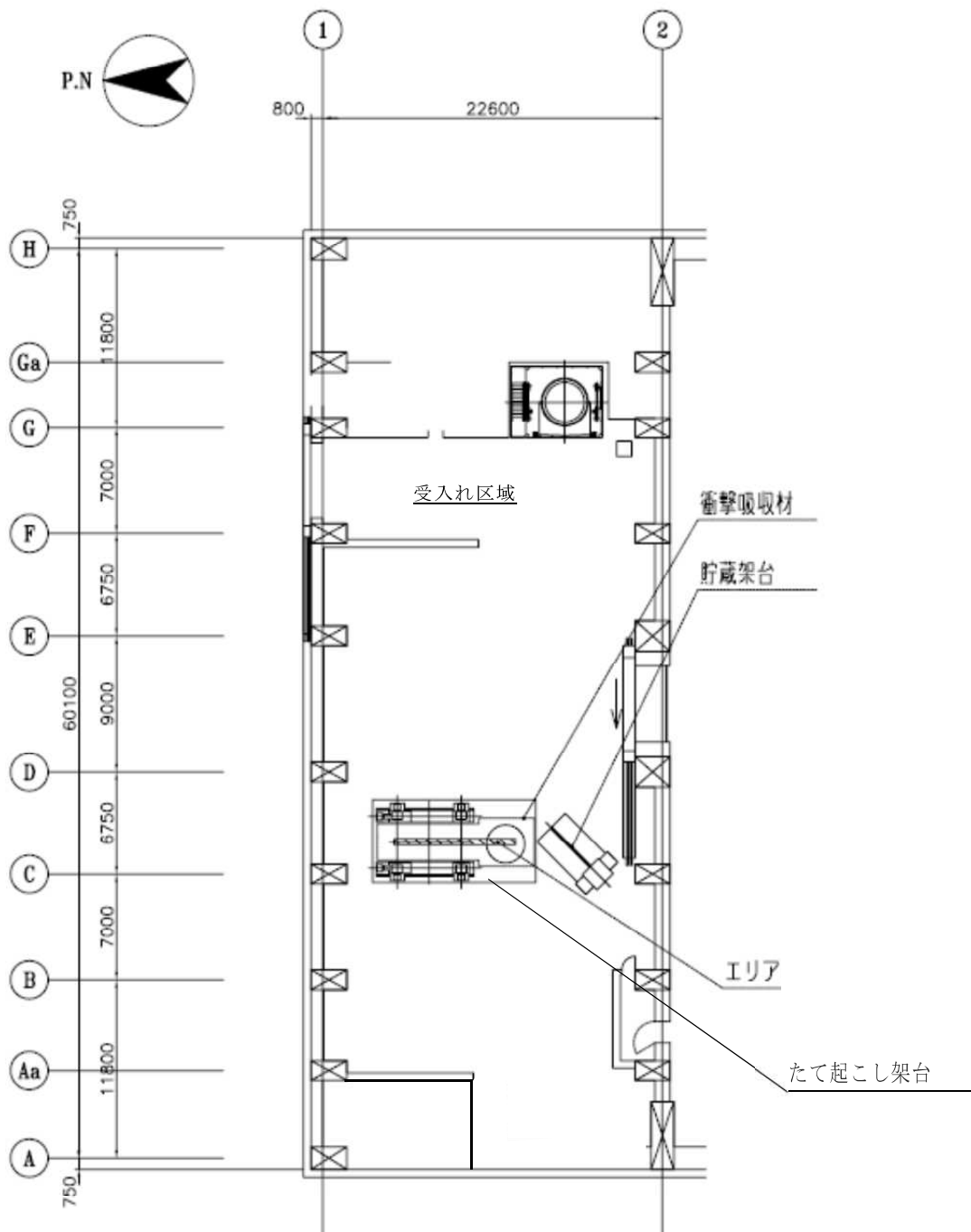
別図－3 補巻荷重 4.5t 以上での走行・横行の制限の範囲

インターロック条件④（金属キャスク状態：縦向き，垂直つり）

たて起こし架台中心上で主巻が 90t 以上の荷重を検知した場合，キャスク下面～衝撃吸収材上面の巻上げ高さを 2 m 以下に制限。・・・別図－4 の“エリア”と記した斜線部の範囲

（水平つりした金属キャスクをたて起こし架台上に移動して着座する際は，荷重が開放されるまでインターロック条件①が有効。→その後の垂直つり上げはインターロック条件④が有効となる。）

注：P.N（プラントノース）は，真北から 6° 23' 西方向に設計上の北として設定されたもの



別図－4 主巻荷重 90t 以上での巻上げ高さ 2 m 以下制限の範囲

起因事象の発生の可能性と基本的安全機能への影響を確認する事象の選定

No.	起因事象	原因	単一故障、単一誤操作による起因事象発生の可能性	設計及び運用による対応の有効性を考慮して、基本的安全機能への影響を確認し、万一起因事象が発生した場合、公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象の選定	選定の要否
①	使用済燃料集合体の誤収納	操作員の誤操作	×	誤収納による崩壊熱量過大により、内部収納物及び金属キヤスク構成部材へ影響が生じ、閉じ込め機能、遮蔽機能への影響が想定される。しかし、発電所搬出前の温度測定検査において検知できずに誤収納が発生した場合でも、原子炉設置者による在庫確認により1年以内に誤収納が判明し長期間にわたり貯蔵することはなく、貯蔵中は蓋間圧力の監視により機能が損なわれる前に異常を検知できることから、影響を確認する事象として選定する必要はない。	否 (a)
②	金属キヤスク内部の真空乾燥不足等	操作員の誤操作	×	湿分測定、真空乾燥プロセス記録の確認により、単一誤操作では真空乾燥不足による水分の残留は発生しない。	否 (a)
③	金属キヤスク内部への不活性ガス誤充填	操作員の誤操作	×	充填装置とHeガスボンベとの接続の専用継ぎ手化により、単一誤操作ではHeガス以外のガスを充填することはない。	否 (a)
④	金属キヤスク蓋部の取付不良等	操作員の誤操作 操作員の誤操作	×	発送前の気密漏えい検査により、取付不良の発生を防止できるため、単一誤操作では蓋部の取付不良等は発生しない。	否 (a)
⑤	金属キヤスクの落下	つり具の保持不良 ワイヤロープの切断	×	金属キヤスクを4点つりとする等の設備・運用対応により、単一故障では金属キヤスクは落下しない。 ワイヤロープの二重化等の設備・運用対応により、単一故障では金属キヤスクは落下しない。	否 (a)
⑥	金属キヤスクの転倒	つり具の保持不良 ワイヤロープの切断	○ ×	転倒により、金属キヤスクの蓋部へ直接的な荷重が生じる状態が想定され、閉じ込め境界に発生する応力によっては、閉じ込め機能の低下に至る。たて起こし時には金属キヤスクを2点つりとすることから保持不良により転倒が発生した場合、公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性があるため、影響確認の必要がある事象として選定する。	要
⑦	金属キヤスクの転倒	エアバッグの破損 操作員の誤操作	×	搬送台車による移送時の転倒により、基本的安全機能への影響が想定されるものの、急発進、急停止による加速度あるいは基準地震動Ssによる加速度が作用しても転倒しないよう設計するため、影響を確認する事象として選定する必要はない。	否 (a)

- a. 物理的な対策、検査の実施等により事故となる可能性が排除できること
- b. 事故による影響が設計上考慮されている又は影響が小さいこと
- c. 事故の発生確率が定量的に評価され、明らかに低いこと
- d. 事象を発生させる設備、環境等が存在しないことが明らかであること

No.	起回事象	原因	単一故障、単一誤操作による起回事象発生の可能性	設計及び運用による対応の有効性を考慮して、基本的安全機能への影響を確認し、万一起回事象が発生した場合、公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象の選定	選定の要否
⑧	金属キヤスクの衝突	天井クレーンによる移送(走行、横行)時	ブレーキの二重化等の設備・運用対応により、単一故障では他構築物等へ衝突しない。	天井クレーンによる移送時の衝突により、基本的安全機能への影響が想定されるもの、天井クレーンでの移送時は金属キヤスクの蓋部が直接的に他構築物等に衝突することはないため、多重の誤操作又は多重故障により衝突が発生したとしても、基本的安全機能への影響は小さく、影響を確認する必要はない。	否 (a)
		天井クレーンによるつり下げ時(異常着床)	ブレーキの二重化等の設備・運用対応により、単一故障では他構築物等へ衝突しない。 着床工程での誤操作のため、発生防止は困難。		
⑩	金属キヤスクの衝突	緊急停止機構の故障	緊急停止機構の二重化等の設備・運用対応により、単一故障では他構築物等へ衝突しない。	搬送台車による移送時の衝突により、基本的安全機能への影響が想定されるもの、搬送台車による移送時は金属キヤスクが直接的に他構築物等へ衝突することはなく、多重の誤操作又は多重故障により衝突が発生したとしても、金属キヤスクの十分な構造強度設計により、基本的安全機能への影響は小さく、影響を確認する必要はない。	否 (a)
		操作員の誤操作	障害物近接時のインターロック等の設備・運用対応により、単一誤操作では他構築物へ衝突しない。		
⑪	金属キヤスクへの重量物の落下	ワイヤロープの切断	ワイヤロープの切断により、緩衝体が落下する。	緩衝体の落下は、クレーンの補巻を使用した取り扱いとなるため、単一故障、単一誤操作により発生することが予想され、金属キヤスク上で発生した場合、基本的安全機能への影響が想定されるものの、緩衝体は、たて起し架上において金属キヤスクが水平姿勢の状態のみ取り外すこと、金属キヤスク上に搬送しない運用とすることから、金属キヤスク上への落下は想定されず、影響を確認する事象として選定する必要はない。	否 (a)
		つり具の保持不良	つり具の保持不良により、緩衝体が落下する。		
⑫	金属キヤスクへの重量物の落下	ワイヤロープの切断	ワイヤロープの二重化等の設備・運用対応により、単一故障では三次蓋は落下しない。	三次蓋の落下は、金属キヤスクの蓋部へ直接的な荷重が生じる状態であり、閉じ込め境界に発生する応力によっては、閉じ込め機能の低下に至ることから、単一故障により三次蓋の落下が発生した場合、公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性があるため、影響確認の必要がある事象として選定する。	要
		つり具の保持不良	つり具の保持不良により、三次蓋が落下する。		
⑬	使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞	ワイヤロープの切断	ワイヤロープの二重化等の設備・運用対応により、単一故障では二次蓋は落下しない。	二次蓋金属ガスケットに異常が発生し、さらに、使用済燃料貯蔵施設内における二次蓋金属ガスケットの交換作業中に単一故障により二次蓋の落下が発生した場合、金属キヤスクの蓋部へ直接的な荷重が生じる状態であり、閉じ込め境界に発生する応力によっては、閉じ込め機能の低下に至ることから、公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性があるため、影響確認の必要がある事象として選定する。	要
		つり具の保持不良	つり具の保持不良により、二次蓋が落下する。		
⑬	使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞	異物の付着	異物あるいは積雪による閉塞がないような設計対応及び日常の巡視等の運用対応により、給排気口が閉塞することはない。	使用済燃料貯蔵建屋の給排気口の閉塞により、金属キヤスクの雰囲気温度の上昇の可能性があるものの、給排気口の設置位置、開口寸法から、積雪、降下火砕物により給排気口が閉塞されることはなく、また、給気口にはフード、排気口には遮風板を設置する設計としており、外部から異物等が飛来してきたとしても、給排気口の閉塞は想定されないため、影響を確認する事象として選定する必要はない。	否 (a)
		積雪			
		降下火砕物	降下火砕物の最大堆積層厚は約 30cm(恐山の火山灰)であり、給排気口が閉塞することはない。		

a. 物理的な対策、検査の実施等により事故となる可能性が排除できること b. 事故による影響が設計上考慮されている又は影響が小さいこと
c. 事故の発生確率が定量的に評価され、明らかに低いこと d. 事象が発生させる設備、環境等が存在しないことが明らかであること

No.	起回事象	起回事象発生の可能性	設計及び運用による対応の有効性を考慮して、基本的な安全機能への影響を確認し、万一起因事象が発生した場合、公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象の選定	選定の要否	
⑭	火災	不燃性又は難燃性材料の使用等の設備対応により、火災は発生しない。	×	使用済燃料貯蔵施設内において想定される火災条件（可燃性物質の種類、量）によっては、金属ガスケット、中性子遮蔽材の温度上昇により、閉じ込め機能、遮蔽機能の低下に至ることから、運用による対応が機能せず火災が発生した場合、公衆への放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性があるため、火災条件の検討が必要であり、影響確認の必要がある事象として選定する。	要
		持ち込み物品の制限等の運用対応により、火災発生の可能性は低い。	○		
⑮	爆発	使用済燃料貯蔵施設には爆発を発生させる機器・設備は存在しないことから、爆発は発生しない。	×	使用済燃料貯蔵施設において爆発を発生させる機器・設備は存在しないことから、爆発が発生することは考えられず、影響を確認する事象として選定する必要はない。	否 (d)
		閉じ込め機能低下			
⑯	経年変化	遮蔽機能低下		経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持し、必要な安全機能を失うことのない設計とする。また、経年変化により金属キヤスクの中性子遮蔽材を喪失することはない。また、経年変化による著しい影響は想定されないため、影響を確認する事象として選定する必要はない。	否 (b)
		臨界防止機能低下	×	金属キヤスクは設計貯蔵期間中の経年変化を考慮しても基本的な安全機能を維持できるよう設計する。	
		除熱機能の低下		経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持し、必要な安全機能を失うことのない設計とする。また、経年変化により金属キヤスクの中性子遮蔽材を喪失することはない。また、経年変化による著しい影響は想定されないため、影響を確認する事象として選定する必要はない。	
				経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持し、必要な安全機能を失うことのない設計とする。なお、使用済燃料貯蔵施設内においては、金属キヤスク内部が乾燥状態であり、物理的に臨界に達することはない。さらに、水の存在を仮定する等、技術的にみて想定されるいかなる場合においても臨界となることはないため、事象選定の対象としない。	
⑰	自然災害	地震	×	経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持し、必要な安全機能を失うことのない設計とする。また、経年変化により金属キヤスクの伝熱形状に異常が生じることはなく、除熱性能への著しい影響は想定されないため、影響を確認する事象として選定する必要はない。	否 (a) 否 (b)
		津波	×	地震、津波、台風、洪水等の自然現象に対しては、敷地周辺の過去の記録に基づいて敷地で考えられる最も過酷な場合を想定する等、十分な安全設計を講ずることから、これらの自然現象が安全評価で想定する異常な状態の誘因になること、また、異常な状態を拡大すること	
		高潮	×	は考えられず、影響を確認する事象として選定する必要はない。	
		洪水	×		
		風（台風）	×		
		竜巻	×		
		落雷	×		
		生物学的事象	×		

No.	起回事象	起回事象発生の可能性	設計及び運用による対応の有効性を考慮して、基本的な安全機能への影響を確認し、万一起因事象が発生した場合、公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象の選定	選定の要否
⑰	自然災害	敷地周辺の過去の記録に基づいて敷地で考えられる最も過酷な場合を想定した設計を行う。	地震、台風、洪水等の自然現象に対しては、敷地周辺の過去の記録に基づいて敷地で考えられる最も過酷な場合を想定する等、十分な安全設計を講ずることから、これらの自然現象が安全評価で想定する異常な状態の誘因になること、また、異常な状態を拡大することは考えられず、影響を確認する事象として選定する必要はない。	否 (a) (b)
		敷地周辺の過去の記録に基づいて敷地で考えられる最も過酷な場合を想定した設計を行う。		
		敷地周辺の過去の記録に基づいて敷地で考えられる最も過酷な場合を想定した設計を行う。		
		敷地の地形、地質・地質構造から、施設の安全性に影響を及ぼすような地すべり等が生じることが考えられない。		
		火山現象の発生実績及びその規模、敷地付近の地形的特徴等から判断して、敷地に影響し、基本的な安全機能に影響を及ぼすような火山災害が発生する可能性は極めて低い。		
		使用済燃料貯蔵建屋は、森林との間に適切な離隔距離を保っており、安全性が損なわれることはない。		
		使用済燃料貯蔵建屋への航空機落下確率は10 ⁻⁷ 回/施設・年以下であり、設計上考慮する必要はない。		
⑱	外部人為事象	リサイクル燃料備蓄センターの近くには、ダムの崩壊により影響を及ぼすような河川はないことから、ダムの崩壊を考慮する必要はない。	航空機事故等による飛来物については、その発生の可能性を定量的に評価し、その結果、10 ⁻⁷ 回/施設・年以下であることを確認していることから、影響を確認する事象として選定する必要はない。	否 (c)
		リサイクル燃料備蓄センター周辺には、爆発物の製造及び貯蔵設備はないことから、爆発を考慮する必要はない。		
		リサイクル燃料備蓄センター周辺には、石油コンビナート等、火災により基本的な安全機能を損なうような施設はないことから、近隣工場等の火災を考慮する必要はない。		
		リサイクル燃料備蓄センター周辺には、石油コンビナート等の有毒物質を貯蔵する固定施設はなく、可動施設についても幹線道路から離れていることから、有毒ガスを考慮する必要はない。		
		使用済燃料貯蔵施設の敷地は、標高約20m～約30mのなだらかな台地に位置し、造成高は標高16mであり、かつ、敷地前面の海岸からの離隔は約500mあることから、船舶の衝突を考慮する必要はない。		
		使用済燃料貯蔵施設は、電磁干渉や無線電波干渉によって基本的な安全機能を損なうことはないため、電磁的障害を考慮する必要はない。		
		ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災等の外部人為事象に対しては、リサイクル燃料備蓄センター周辺において関連施設が存在しないこと等により、対象とする外部人為事象が発生することは考えられず、影響を確認する事象として選定する必要はない。		
⑲	外部人為事象	ダム	ダム	否 (d)
		近隣工場等の火災		

- a. 物理的な対策、検査の実施等により事故となる可能性が排除できること
b. 事故による影響が設計上考慮されている又は影響が小さいこと
c. 事故の発生確率が定量的に評価され、明らかに低いこと
d. 事象が発生させる設備、環境等が存在しないことが明らかであること

フォールトツリー解析に基づく基本的安全機能を阻害する要因の分析

1. フォールトツリー解析による要因分析

基本的安全機能（閉じ込め，遮蔽，臨界防止，除熱）に着目し，フォールトツリー解析（以下「FTA」という。）により，これらの機能を阻害する要因の分析を行い，その要因となる起因事象を選定する。

分析手順概要は，以下のとおりである。

- (1) 基本的安全機能に関係する部位および部材を洗い出す。（部位及び部材）
- (2) その部位及び部材の機能を低下させる要因を抽出する。（要因 1）
- (3) 要因 1 を発生させる要因を洗い出す。（要因 2）
- (4) 要因 2 を発生させる事象を洗い出す。（起因事象）
- (5) 使用済燃料貯蔵施設の基礎的条件に照らして適合する起因事象を選定する。

また，金属キャスクの取扱工程と貯蔵期間中の内部・外部事象から抽出した起因事象と FTA 要因分析により抽出された起因事象を比較し，対応を確認することにより手法の妥当性を確認する。

2. 分析結果

FTA 要因分析による起因事象の選定結果は，「水系統配管破断による冠水」，「キャスク内部へ空気混入による熱伝達低下」等基礎的条件から外れる事象を除き選定されており，選定された起因事象は，金属キャスクの取扱工程と貯蔵期間中の内部・外部事象から抽出した起因事象と一致することが確認された。

3. 添付表

- (1) 表 4-1 閉じ込め機能に着目した起因事象の詳細分析結果と金属キャスクの取り扱いに係る事象，貯蔵期間中の内部・外部事象との対応
- (2) 表 4-2 遮蔽機能に着目した起因事象の詳細分析結果と金属キャスクの取り扱いに係る事象，貯蔵期間中の内部・外部事象との対応
- (3) 表 4-3 臨界防止機能に着目した起因事象の詳細分析結果と金属キャ

- スクの取り扱いに係る事象，貯蔵期間中の内部・外部事象との対応
- (4) 表4-4 除熱機能に着目した起回事象の詳細分析結果と金属キャスクの取り扱いに係る事象，貯蔵期間中の内部・外部事象との対応

以 上

表4-1 閉じ込め機能に着目した起因事象の詳細分析結果と金属キャスクの取扱いに係る事象と貯蔵期間中の内部・外部事象との対応

○は選定する事象、一は選定しない事象を示す。なお、()は発電所内での作業に起因する事象

安全機能	部位及び部材	要因1	要因2	起因事象	選定	考察	起因事象に対応する金属キャスクの取扱いに係る事象または貯蔵期間中の内部・外部事象	
閉じ込め	一次蓋シール 金属ガスケット	変形・われ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒 (天井クレーンによる取扱いを想定)	○	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒	
				金属キャスクの衝突	○	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突	
				金属キャスクの転倒 (搬送台車による取扱いを想定)	○	搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒	
				金属キャスクへの重量物の落下	○	天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下	
				外部事象(津波)	○	津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)	
				外部事象(地震)	○	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)	
				外部事象(飛来物)	○	飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)	
			内部圧力上昇 (キャビティ)	真空乾燥作業ミス	(○)	(作業ミスにより、水分の残留、真空乾燥過剰による燃料被覆管の破損が想定される。)	金属キャスク内部の真空乾燥不足等	
				ヘリウムガス充填作業ミス	(○)	(作業ミスにより、他種ガスや水分の残留、他種ガスの充填、充填圧力の過不足、空気の混入が想定される。)	金属キャスク内部への不活性ガス誤充填	
				核分裂ガス放出	(一)	(金属キャスクには健全燃料を装荷し、貯蔵中の燃料被覆管健全性を維持するよう設計するので、発生しない。)	—	
			内部圧力上昇 (蓋間)	真空乾燥作業ミス	(○)	(作業ミスにより、水分の残留が想定される。)	金属キャスク内部の真空乾燥不足等	
				ヘリウムガス充填作業ミス	(○)	(作業ミスにより、他種ガスや水分の残留、他種ガスの充填、充填圧力の過不足、空気の混入が想定される。)	金属キャスク内部への不活性ガス誤充填	
				ヘリウムガス充填作業ミス	(○)	(作業ミスにより、他種ガスや水分の残留、他種ガスの充填、充填圧力の過不足、空気の混入が想定される。)	金属キャスク内部への不活性ガス誤充填	
			パネ力低下 (クリーブ)	内部温度異常 (キャビティ)	ヘリウムガス充填作業ミス	(○)	(作業ミスにより、他種ガスや水分の残留、他種ガスの充填、充填圧力の過不足、空気の混入が想定される。)	金属キャスク内部への不活性ガス誤充填
					外部温度上昇	○	使用済燃料貯蔵建屋内に持ち込まれた可燃性物質により、火災の発生が想定される。	火災
外部温度上昇	給排気口閉塞	○		異物の飛来により、使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞が想定される。	使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞			
	経年変化	○	経年変化により、金属ガスケットのパネ力の低下が想定される。	経年変化				
腐食	経年変化	○	経年変化により、金属ガスケットの腐食が想定される。	経年変化				
	真空乾燥作業ミス	(○)	(作業ミスにより、水分の残留が想定される。)	金属キャスク内部の真空乾燥不足等				

安全機能	部位及び部材	要因1	要因2	起回事象	選定	考察	起回事象に対応する金属キャスクの取扱いに係る事象または貯蔵期間中の内部・外部事象	
	縮付ボルト	変形・われ	外力の付加	取り付け不良	(○)	(作業ミスにより、金属ガasketの取り付け不良が想定される。)	金属キャスク蓋部の取付不良等	
金属キャスクの落下・転倒 (天井クレーンによる取扱いを想定)				(○)	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒		
金属キャスクの衝突				(○)	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突		
金属キャスクの転倒 (搬送台車による取扱いを想定)				(○)	搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒		
金属キャスクへの重量物の落下				(○)	天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下		
外部事象(津波)				(○)	津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)		
外部事象(地震)				(○)	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)		
外部事象(飛来物)		(○)	飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)				
			縮付力過大	縮付不良	(○)	(作業ミスにより、縮付ボルトの縮付不良が想定される。)	金属キャスク蓋部の取付不良等	
			緩み	縮付力不足	縮付不良	(○)	(作業ミスにより、縮付ボルトの縮付不良が想定される。)	金属キャスク蓋部の取付不良等
			腐食		経年変化	(○)	経年変化により、縮付ボルトの腐食が想定される。	経年変化
					真空乾燥作業ミス	(○)	(作業ミスにより、水分の残留が想定される。)	金属キャスク内部の真空乾燥不足等
		シール面	変形・われ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒 (天井クレーンによる取扱いを想定)	(○)	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒
金属キャスクの衝突					(○)	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突	
金属キャスクの転倒 (搬送台車による取扱いを想定)	(○)				搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒		
金属キャスクへの重量物の落下	(○)				天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下		
外部事象(津波)	(○)				津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)		
外部事象(地震)	(○)				地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)		
外部事象(飛来物)	(○)				飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)		
		シール面損傷		異物かみ込み	(○)	(作業ミスにより、異物のかみ込みが想定される。)	金属キャスク蓋部の取付不良等	
		腐食		経年変化	(○)	経年変化により、シール面の腐食が想定される。	経年変化	
				真空乾燥作業ミス	(○)	(作業ミスにより、水分の残留が想定される。)	金属キャスク内部の真空乾燥不足等	

安全機能	部位及び部材	要因1	要因2	起回事象	選定	考察	起回事象に対応する金属キャスクの取扱いに係る事象または貯蔵期間中の内部・外部事象
	二次蓋シール 金属ガスケット	変形・われ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒 (天井クレーンによる取扱いを想定)	○	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒
				金属キャスクの衝突	○	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突
				金属キャスクの転倒 (搬送台車による取扱いを想定)	○	搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒
				金属キャスクへの重量物の落下	○	天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下
				外部事象(津波)	○	津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)
				外部事象(地震)	○	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)
				外部事象(飛来物)	○	飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)
			内部圧力上昇 (蓋間)	真空乾燥作業ミス	(○)	(作業ミスにより、水分の残留が想定される。)	金属キャスク内部の真空乾燥不足等
				ヘリウムガス充填作業ミス	(○)	(作業ミスにより、他種ガスや水分の残留、他種ガスの充填、充填圧力の過不足、空気の混入が想定される。)	金属キャスク内部への不活性ガス誤充填
		バネ力低下 (クリープ)	内部温度異常 (蓋間)	ヘリウムガス充填作業ミス	(○)	(作業ミスにより、他種ガスや水分の残留、他種ガスの充填、充填圧力の過不足、空気の混入が想定される。)	金属キャスク内部への不活性ガス誤充填
			外部温度上昇	火災	○	使用済燃料貯蔵建屋内に持ち込まれた可燃性物質により、火災の発生が想定される。	火災
				給排気口閉塞	○	異物の飛来により、使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞が想定される。	使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞
				経年変化	○	経年変化により、金属ガスケットのバネ力の低下が想定される。	経年変化
		腐食		経年変化	○	経年変化により、金属ガスケットの腐食が想定される。	経年変化
				真空乾燥作業ミス	(○)	(作業ミスにより、水分の残留が想定される。)	金属キャスク内部の真空乾燥不足等
				取り付け不良	(○)	(作業ミスにより、金属ガスケットの取付け不良が想定される。)	金属キャスク蓋部の取付け不良等
	締付ボルト	変形・われ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒 (天井クレーンによる取扱いを想定)	○	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒
				金属キャスクの衝突	○	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突
				金属キャスクの転倒 (搬送台車による取扱いを想定)	○	搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒
				金属キャスクへの重量物の落下	○	天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下
				外部事象(津波)	○	津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)
				外部事象(地震)	○	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)
				外部事象(飛来物)	○	飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)

安全機能	部位及び部材	要因1	要因2	起因事象	選定	考察	起因事象に対応する金属キャスクの取扱いに係る事象または貯蔵期間中の内部・外部事象
金属キャスク 本体 (胴・底板)蓋	シール面	緩み	締付力過大	締付不良	(○)	(作業ミスにより、締付ボルトの締付不良が想定される。)	金属キャスク蓋部の取付不良等
				締付力不足	(○)	(作業ミスにより、締付ボルトの締付不良が想定される。)	金属キャスク蓋部の取付不良等
			腐食	経年変化	(○)	経年変化により、締付ボルトの腐食が想定される。	経年変化
				真空乾燥作業ミス	(○)	(作業ミスにより、水分の残留が想定される。)	金属キャスク内部の真空乾燥不足等
		変形・われ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒 (天井クレーンによる取扱いを想定)	(○)	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒
				金属キャスクの衝突	(○)	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突
				金属キャスクの転倒 (搬送台車による取扱いを想定)	(○)	搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒
				金属キャスクへの重量物の落下	(○)	天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下
				外部事象(津波)	(○)	津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)
				外部事象(地震)	(○)	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)
				外部事象(飛来物)	(○)	飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)
		シール面損傷	異物かみ込み	(○)	(作業ミスにより、異物のかみ込みが想定される。)	金属キャスク蓋部の取付不良等	
腐食	経年変化			(○)	経年変化により、シール面の腐食が想定される。	経年変化	
	腐食	真空乾燥作業ミス	(○)	(作業ミスにより、水分の残留が想定される。)	金属キャスク内部の真空乾燥不足等		
破損			外力の付加	金属キャスクの落下・転倒 (天井クレーンによる取扱いを想定)	(○)	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒
	金属キャスクの衝突	(○)		天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突		
	金属キャスクの転倒 (搬送台車による取扱いを想定)	(○)		搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒		
	金属キャスクへの重量物の落下	(○)		天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下		
	外部事象(津波)	(○)		津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)		
	外部事象(地震)	(○)		地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)		
	外部事象(飛来物)	(○)		飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)		
腐食	経年変化	(○)	経年変化により、金属キャスク蓋、外筒、底、トロン・蓋の腐食が想定される。	経年変化			

表4-2 遮蔽機能に着目した起因事象の詳細分析結果と金属キャスクの取扱いに係る事象と貯蔵期間中の内部・外部事象との対応

○は選定する事象、－は選定しない事象を示す。なお、()は発電所内での作業に起因する事象

安全機能	部位及び部材	要因1	要因2	起因事象	選定	考察	起因事象に対応する金属キャスクの取扱いに係る事象または貯蔵期間中の内部・外部事象	
遮蔽機能低下	金属キャスク	中性子遮へい材	変形・われ(レジン)	- 外力の付加	金属キャスクの落下・転倒(天井クレーンによる取扱いを想定)	○	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒
					金属キャスクの衝突	○	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突
				金属キャスクの転倒(搬送台車による取扱いを想定)	○	搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒	
				金属キャスクへの重量物の落下	○	天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下	
				外部事象(津波)	○	津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)	
				外部事象(地震)	○	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)	
				外部事象(飛来物)	○	飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)	
		消失(溶融)	外部温度上昇	火災	○	使用済燃料貯蔵建屋内に持ち込まれた可燃性物質により、火災の発生が想定される。	火災	
				給排気口閉塞	○	異物の飛来により、使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞が想定される。	使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞	
		劣化		経年変化	○	経年変化により、中性子遮へい材の腐食が想定される。	経年変化	
		ガンマ線遮へい材	変形・われ	- 外力の付加	金属キャスクの落下・転倒(天井クレーンによる取扱いを想定)	○	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒
					金属キャスクの衝突	○	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突
				金属キャスクの転倒(搬送台車による取扱いを想定)	○	搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒	
				金属キャスクへの重量物の落下	○	天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下	
				外部事象(津波)	○	津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)	
				外部事象(地震)	○	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)	
				外部事象(飛来物)	○	飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)	

安全機能	部位及び部材	要因1	要因2	起因事象	選定	考察	起因事象に対応する金属カスクの取扱いに係る事象または貯蔵期間中の内部・外部事象						
使用済燃料貯蔵建屋	使用済燃料貯蔵建屋躯体	溶融	外部温度上昇	火災	○	使用済燃料貯蔵建屋内に持ち込まれた可燃性物質により、火災の発生が想定される。	火災						
				給排気口閉塞				○	異物の飛来により、使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞が想定される。	使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞			
		腐食	経年変化	経年変化	○	経年変化により、ガンマ線遮へい材の腐食が想定される。	経年変化						
				放射線量過大				燃料仕様不一致	燃料集合体誤収納	○	(作業ミスにより、燃料集合体の誤収納が想定される。)	使用済燃料集合体の誤収納	
		破損・倒壊	外力の付加	金属カスクの衝突	○	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属カスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属カスク・架台への衝突が想定される。	金属カスクの衝突						
				外部事象(津波)				○	津波時の津波波圧による荷重が想定される。	自然災害(津波)			
				外部事象(地震)							○	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)
				外部事象(飛来物)									
		物性値の低下	コンクリート温度上昇	異物の飛来を起因とする流路閉塞	○	異物の飛来により、使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞が想定される。	使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞						
				土砂崩れを起因とする流路閉塞				○	土砂崩れにより、使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞が想定される。	使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞			

表4-3 臨界防止機能に着目した起因事象の詳細分析結果と金属キャスクの取扱いに係る事象と貯蔵期間中の内部・外部事象との対応

○は選定する事象、一は選定しない事象を示す。なお、()は発電所内での作業に起因する事象

安全機能	部位及び部材		要因1	要因2	起因事象	選定	考察	起因事象に対応する金属キャスクの取扱いに係る事象または貯蔵期間中の内部・外部事象	
臨界防止機能低下	バスケット	バスケット格子	変形・われ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒 (天井クレーンによる取扱いを想定)	○	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒	
					金属キャスクの衝突	○	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突	
					金属キャスクの転倒 (搬送台車による取扱いを想定)	○	搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒	
					金属キャスクへの重量物の落下	○	天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下	
					外部事象(津波)	○	津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)	
					外部事象(地震)	○	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)	
					外部事象(飛来物)	○	飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)	
					外部温度上昇	○	火災	火災	
						○	給排気口閉塞	使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞	
					内部温度上昇	(○)	ヘリウムガス充填作業ミス	金属キャスク内部への不活性ガス誤充填	
						○	経年変化	経年変化により、バスケットの腐食が想定される。	経年変化
						○	照射減損	経年変化により、中性子吸収材の照射減損が想定される。	経年変化
							腐食	経年変化	
							中性子吸収材	照射減損	
	使用済燃料集合体	燃料棒、スベーサ	変形・われ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒 (天井クレーンによる取扱いを想定)	○	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒	
					金属キャスクの衝突	○	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突	
					金属キャスクの転倒 (搬送台車による取扱いを想定)	○	搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒	
					金属キャスクへの重量物の落下	○	天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下	
					外部事象(津波)	○	津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)	
					外部事象(地震)	○	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)	
					外部事象(飛来物)	○	飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)	

安全機能	部位及び部材	要因1	要因2	起回事象	選定	考察	起回事象に対応する金属キャスクの取扱いに係る事象または貯蔵期間中の内部・外部事象
	本体(胴・底板)／蓋	腐食	外部温度上昇	火災	○	使用済燃料貯蔵建屋内に持ち込まれた可燃性物質により、火災の発生が想定される。	火災
給排気口閉塞				○	異物の飛来により、使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞が想定される。	使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞	
内部温度異常			ヘリウムガス充填作業ミス	(○)	(作業ミスにより、他種ガスや水分の残留、他種ガスの充填、充填圧力の過不足、空気の混入が想定される。)	金属キャスク内部への不活性ガス誤充填	
			経年変化	○	経年変化により、燃料棒、スペーサの腐食が想定される。	経年変化	
反応度異常			燃料仕様不一致	燃料集合体誤収納	(○)	(作業ミスにより、燃料集合体の誤収納が想定される。)	使用済燃料集合体の誤収納
				他キャスクとの接近	外力の付加	金属キャスクの衝突	○
外部事象(津波)		○	津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)			
外部事象(地震)		○	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)			
外部事象(飛来物)		○	飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)			
冠水		水系統配管破断	外部事象(津波)	外部事象(津波)	○	津波時の冠水が想定される。	自然災害(津波)
				外部事象(洪水)	—	立地により対応する。	—
				—	—	大規模な冠水が生じる水系配管は布設しない設計とするため想定されない。	—

表4-4 除熱機能に着目した起因事象の詳細分析結果と金属キャスクの取扱いに係る事象と貯蔵期間中の内部・外部事象との対応

○は選定する事象、一は選定しない事象を示す。なお、()は発電所内での作業に起因する事象

安全機能	部位及び部材	要因1	要因2	起因事象	選定	考察	起因事象に対応する金属キャスクの取扱いに係る事象または貯蔵期間中の内部・外部事象		
除熱機能低下	金属キャスク	金属キャスク本体(胴・底板)/蓋	— 変形・われ — 外力の付加	金属キャスクの落下・転倒 (天井クレーンによる取扱いを想定)	○	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒		
				金属キャスクの衝突	○	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突		
				金属キャスクの転倒 (搬送台車による取扱いを想定)	○	搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒		
				金属キャスクへの重量物の落下	○	天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下		
				— 外部事象(津波)	○	津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)		
				— 外部事象(地震)	○	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)		
				— 外部事象(飛来物)	○	飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)		
				バスケット	— 変形・われ — 外力の付加	金属キャスクの落下・転倒 (天井クレーンによる取扱いを想定)	○	天井クレーンの誤作動・誤操作、つり具の不良により、金属キャスクの落下・転倒が想定される。	金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒
						金属キャスクの衝突	○	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突
						金属キャスクの転倒 (搬送台車による取扱いを想定)	○	搬送台車の急停止等により、金属キャスクの転倒が想定される。	金属キャスクの転倒
						金属キャスクへの重量物の落下	○	天井クレーン・つり具等の金属キャスク上への落下が想定される。また、つり上げ中の金属キャスクの他の金属キャスク上への落下、三次蓋の金属キャスク上への落下が想定される。	金属キャスクへの重量物の落下
						— 外部事象(津波)	○	津波時の落下物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(津波)
						— 外部事象(地震)	○	地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)
						— 外部事象(飛来物)	○	飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)
				内部ガス (キャビティ・蓋間)	— 熱伝達低下	ヘリウムガス充填作業ミス	(○)	(作業ミスにより、他種ガスや水分の残留、他種ガスの充填、充填圧力の過不足、空気の混入が想定される。)	金属キャスク内部への不活性ガス誤充填
— 空気混入(充填後)	(一)	(二重蓋間は加圧されるため、ヘリウム充填後、キャビティ、および、二重蓋間に空気が混入することはない。)	—						
— 核分裂ガス放出	(一)	(金属キャスクには健全燃料を装荷し、貯蔵中の燃料被覆管健全性を維持するよう設計するので、発生しない。)	—						
使用済燃料集合体	— 発熱量過大 — 燃料仕様不一致	— 燃料集合体誤収納	(○)	(作業ミスにより、燃料集合体の誤収納が想定される。)	使用済燃料集合体の誤収納				
		— 外部温度上昇	○	使用済燃料貯蔵建屋内に持ち込まれた可燃性物質により、火災の発生が想定される。	火災				

安全機能	部位及び部材	要因1	要因2	起回事象	選定	考察	起回事象に対応する金属キャスクの取扱いに係る事象または貯蔵期間中の内部・外部事象
	使用済燃料貯蔵建屋	使用済燃料貯蔵建屋躯体	破損・倒壊による金属キャスク埋没	外力の付加	金属キャスクの衝突	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突
				外部事象(津波)		津波時の津波波圧による荷重が想定される。	自然災害(津波)
				外部事象(地震)		地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)
				外部事象(飛来物)		飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)
	給排気口	閉塞	異物による閉塞	給排気口閉塞		異物の飛来により、使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞が想定される。	使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞
				外部事象(土砂崩れ)		土砂崩れにより、使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞が想定される。	使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞
			給気フード・排気ルーバ異常	外部事象(津波)		津波時の津波波圧による荷重が想定される。	自然災害(津波)
				外部事象(地震)		地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)
				外部事象(飛来物)		飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)
		破損・倒壊	外力の付加	金属キャスクの衝突	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	天井クレーンの急停止、天井クレーンおよび搬送台車の誤作動・誤操作により、金属キャスクの使用済燃料貯蔵建屋躯体または他の金属キャスク・架台への衝突が想定される。	金属キャスクの衝突
				外部事象(津波)		津波時の津波波圧による荷重が想定される。	自然災害(津波)
				外部事象(地震)		地震時の荷重が想定される。	自然災害(地震)
				外部事象(飛来物)		飛来物の衝突による荷重が想定される。	自然災害(竜巻)

国外基準等による事象と使用済燃料貯蔵施設の事象の比較

No.	事象	資料							使用済燃料貯蔵事業変更許可申請書 添付書類八における事象 (◎：事象として選定，○：事象により包絡，－：該当なし)	
		1	2	3	4	5	6	7		
1	使用済燃料の誤収納	○				○	○		◎	使用済燃料集合体の誤収納
2	臨界防止機能の不具合	○							○	(臨界防止機能に着目した要因分析から選定された起回事象(添付4)は、使用済燃料貯蔵事業変更許可申請書添付書類八における事象により評価可能であることを確認している)
3	爆発	○			○				◎	爆発
4	火災	○		○	○			○	◎	火災
5	材料劣化	○						○	◎	経年変化
6	有毒ガス	○							－	(施設内に有毒ガス発生の要因はない)
7	使用済燃料の落下	○	○					○	－	(施設内において使用済燃料を単独で取り扱うことはない)
8	キヤスクの落下		○		○	○		○	◎	金属キヤスクの落下
9	キヤスクの転倒・衝突			○	○	○		○	◎	金属キヤスクの転倒 金属キヤスクの衝突
10	重量物の落下	○	○					○	◎	金属キヤスクへの重量物の落下
11	建屋の損壊				○			○	○	自然災害(地震, 竜巻)
12	搬送車両, つり荷との衝突	○						○	◎	金属キヤスクの衝突
13	建屋内の振動, 圧力	○							－	(貯蔵区域・受入れ区域に振動, 圧力変動の要因はない。)
14	腐食	○						○	○	経年変化
15	内部ミサイル・飛来物	○							－	(貯蔵区域・受入れ区域に内部ミサイル・飛来物の発生源となる機器はない)

No.	事象	資料							使用済燃料貯蔵事業変更許可申請書 添付書類八における事象 (◎：事象として選定，○：事象により包絡，－：該当なし)
		1	2	3	4	5	6	7	
16	冷却機能の不具合	○	○	○	○				◎ 使用済燃料貯蔵建屋給排気口の閉塞 (除熱機能に着目した要因分析から選定された起回事象 (添付一4) は、使用済燃料貯蔵事業変更許可申請書添付書類八における事象により 評価可能であることを確認している) － (使用済燃料の貯蔵にあたりプロセス制御機器を使用していない)
17	プロセス制御機器の 故障	○							－ (貯蔵区域・受入れ区域に環境維持機器はない)
18	環境維持機器の故障	○						○	－ (監視・警報システムの故障は基本的な安全機能に影響を及ぼすものではない)
19	監視・警報システムの 故障	○	○	○	○				－ (非常用機材の故障は基本的な安全機能に影響を及ぼすものではない)
20	非常用機材の故障	○						○	－ (電源の故障は基本的な安全機能に影響を及ぼすものではない)
21	電源の故障	○	○		○			○	－ (施設内に使用済燃料移送装置はない)
22	使用済燃料移送装置 の故障	○	○						金属キヤスクの落下 金属キヤスクの転倒 金属キヤスクの衝突
23	キヤスク等移送装置 の故障		○					○	－ (施設内に環境放出に係るシステムはない)
24	環境放出に係るシス テムの故障	○	○						◎ 金属キヤスク蓋部の取付不良等 (閉じ込め機能に着目した要因分析から選定された起回事象 (添付一 4) は、使用済燃料貯蔵事業変更許可申請書添付書類八における事象 により評価可能であることを確認している)
25	密封機能の不具合			○	○			○	○ 金属キヤスク内部の真空乾燥不足等 金属キヤスク内部への不活性ガス誤充填
26	検査・試験・維持機 器の故障	○						○	

No.	事象	資料							使用済燃料貯蔵事業変更許可申請書 添付書類八における事象 (◎：事象として選定，○：事象により包絡，－：該当なし)
		1	2	3	4	5	6	7	
27	運転操作ミス	○	○	○	○	○	○	○	使用済燃料集合体の誤収納 金属キャスク内部の真空乾燥不足等 金属キャスク内部への不活性ガス誤充填 金属キャスク蓋部の取付不良等 金属キャスクの落下 金属キャスクの転倒 金属キャスクの衝突 金属キャスクへの重量物の落下
28	サボタージュ	○							(運転員等のサボタージュは基本的安全機能に影響を及ぼすものではない)
29	遮蔽機能の不具合	○	○		○			○	(遮蔽機能に着目した要因分析から選定された起回事象（添付－４）は、使用済燃料貯蔵事業変更許可申請書添付書類八における事象により評価可能であることを確認している)

・資料 1 : Specific Safety Guide No. SSG-15, Storage of Spent Nuclear Fuel, IAEA, 2012 【全貯蔵システム】

・資料 2 : ANSI/ANS-57.9-1992, Design Criteria For An Independent Spent Fuel Storage Installation (Dry Type) 【乾式貯蔵】

・資料 3 : NUREG-1536 Rev. 1A, Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Systems at a General License Facility, NRC, March 2009 【乾式貯蔵】

2009 【乾式貯蔵】

・資料 4 : NUREG-1567, Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Facilities, NRC, March 2000 【乾式貯蔵】

・資料 5 : NUREG-1864, A Pilot Probabilistic Risk Assessment of a Dry Cask Storage Systems At a Nuclear Power Plant , NRC, March 2007 【コンクリートキャスク】

March 2007 【コンクリートキャスク】

・資料 6 : Probabilistic Risk Assessment (PRA) of Bolted Storage Casks, EPRI, December 2004 【金属キャスク】

・資料 7 : キャスクを用いる使用済燃料及び発熱性放射性廃棄物の乾式中間貯蔵に関する指針, 2013年10月改訂版, ESK (最終処分委員

会: ドイツ) 【金属キャスク】

使用済燃料集合体の誤収納について

金属キャスクに使用済燃料集合体を誤収納するリスクは、適切な対策を講ずることによりなくなるものと考えられる。

したがって、使用済燃料集合体の誤収納により、金属キャスクの基本的安全機能を損なうことはなく、放射線障害を及ぼす可能性のある事象として選定する必要はない。

1. 誤収納発生防止対策

誤収納の発生を防止するため、以下の対策を講ずることにより、誤収納が発生することはない。

- (1) 発電所における全ての燃料集合体 1 体毎のデータ（燃焼度、配置等）は、原子炉設置者により、以下の様に適切に管理されている。
 - a. 燃料集合体には、1 体毎に異なった燃料番号が刻印されており、新燃料として発電所に受入以降、この燃料番号により管理されている。
 - b. 発電所には、燃料集合体 1 体毎の燃焼度、新燃料貯蔵庫、炉心、使用済燃料プールにおける燃料集合体の配置等のデータを管理するための燃料計量システムがあり、発電所受入から払出されるまでの期間、このシステムにより履歴が管理されている。
 - c. 燃料集合体は、配置または配置替えの都度、燃料番号の刻印を、水中テレビカメラ等で直接確認されており、また、保障措置査察時に原子力規制庁及び I A E A による検認がなされているため、仮に燃料集合体の移動に問題があった場合は、その時点で判明する。
 - d. 燃料集合体の燃焼度データは、運転中の発電所において、保安規定の要求事項である原子炉熱出力等を計算している炉心性能監視装置から、燃料計量システムに直接読み込ませているため、人為的な入力ミス、計算ミスは起こり得ない。

(2) 金属キャスクへの使用済燃料集合体の収納作業は、原子炉設置者により、以下の様に適切に管理されている。

- a. 金属キャスクに収納する使用済燃料集合体の選定にあたり、燃焼度、冷却期間等の収納条件が定められたマニュアル類を整備する。
- b. 使用済燃料集合体の収納作業にあたり、適切な作業要領を整備する。
- c. 使用済燃料集合体の収納等の燃料移動を伴う作業に従事する作業員は、保安教育等の適切な教育を受け力量を持った者が行う。
- d. 使用済燃料集合体が、使用済燃料プールの所定の位置から取り出され、金属キャスクの所定の位置に収納されていることを、作業中の立会い及び作業終了後の作業記録により確認する。
- e. 保障措置査察時の原子力規制庁及び I A E A による検認を含め、金属キャスクに収納した使用済燃料集合体の燃料番号及び収納配置を、水中テレビカメラ又は目視により直接確認する。
- f. 金属キャスクを原子力発電所から搬出する前に、収納物検査を行う。
- g. 金属キャスクへの使用済燃料集合体の収納作業完了後、使用済燃料プールの在庫確認を行い、所定の貯蔵状態（燃料番号、配置）であることを確認する。

(3) 当社においても、金属キャスクを貯蔵施設へ受け入れる前に、以下の対策を講じる。

- a. 原子炉設置者が選定した使用済燃料集合体が、金属キャスクの収納条件に合致していることを、あらかじめ確認する。
- b. 金属キャスクに収納した使用済燃料集合体の燃料番号及び収納配置が、金属キャスクの収納条件に合致していることを、発電所での立会いまたは記録により確認する。
- c. 金属キャスクの収納条件及び、その確認方法を定めたマニュアル類を整備する。

2. 海外におけるキャスクへの誤収納事例

海外における金属キャスクへの誤収納の事例について確認する。これにより、米国における 4 件の事例について、同様の事象は起こり得ない内容であ

ることを確認した。(添付 1 参照)

3. まとめ

金属キャスクへの使用済燃料集合体の収納に当たっては、原子炉設置者及び当社において適切な誤収納防止対策が講じられていることから、誤収納が発生することはない。

したがって、使用済燃料集合体の誤収納により、金属キャスクの基本的安全機能を損なうことはなく、放射線障害を及ぼす可能性のある事象として選定する必要はない。(添付 2 参照)

海外におけるキャスクへの誤収納事例と防止策

金属キャスク（キャニスタを含む）への使用済燃料集合体の誤収納については、米国において事業者への通達*が行われており、4件の事例が紹介されている。

※： NRC INFORMATION NOTICE 2014-09: SPENT FUEL STORAGE OR TRANSPORTATION SYSTEM MISLOADING (June 20, 2014)

1. Palisades では、冷却期間が収納条件である5年より短い使用済燃料集合体11体を収納していることが確認された。
2. Grand Gulf では、発熱量及び燃焼度が収納条件を超えた使用済燃料集合体8体を収納していることが確認された。

主な原因は、使用済燃料集合体を管理するデータベースにおけるデータの誤りによるものと考えられる。

使用済燃料貯蔵施設に貯蔵する使用済燃料集合体のデータは、原子炉設置者の燃料計量システムにより管理されており、新燃料受入時の燃料メーカーからの受入データ、炉心性能監視装置による燃焼度の更新データ等は、電子媒体による直接入力になるため、人為的な入力ミス、計算ミスは発生しない。

3. North Anna と Surry では、キャスク内の間違っただけの位置に崩壊熱が収納条件を超えた使用済燃料集合体が合計で17体を収納していることが確認された。

主な原因は、崩壊熱に応じたキャスク内における燃料配置が手順書に正しく反映されていなかったためと考えられる。

使用済燃料貯蔵施設に貯蔵する金属キャスクにおいては、金属キャスクに収納する使用済燃料集合体の選定にあたり、燃料度、冷却期間、燃料種類からキャスク内の収納位置まで定められたマニュアルを整備するため、キャスク内の間違っただけの位置に収納する手順となることはない。また、手順通りに収納されたことを、作業中の立会い及び作業終了後の水中テレビカメラ等により直接確認するため、同様の事象は起こり得ない。

誤収納による金属キャスクへの影響について

金属キャスクへの使用済燃料集合体の収納に当たっては、原子炉設置者及び当社において適切な誤収納発生防止対策が講じられることから、誤収納が発生することはない。

ここでは、誤収納発生の可能性を除外した上で、誤収納が発生した場合の金属キャスクへの影響について評価した。

1. 誤収納の想定シナリオ

金属キャスク内の誤った位置に使用済燃料集合体を収納するか、あるいは誤った使用済燃料集合体を収納すると、設計上の燃料仕様から逸脱し、放射線量過大及び崩壊熱量過大を引き起こす可能性がある。発電所搬出前の線量当量率測定により、公衆に放射性被ばくのリスクを及ぼすような遮蔽性能の異常は直接、検査結果から確認できるが、発熱量の増加による除熱性能の異常を排除することが困難な場合も考えられるため、熱的影響を評価する。

2. 誤収納の評価ケース

誤収納の評価ケースとしては、以下を想定する。

- (1) 発電所プール内に存在する使用済燃料集合体のうち収納物仕様を逸脱する熱的に厳しい1体を誤収納
- (2) 発電所プール内に存在する使用済燃料集合体のうち温度制限値が異なる新型8×8燃料1体を誤収納

3. 使用済燃料集合体誤収納による影響評価

3.1 発電所プール内に存在する使用済燃料集合体のうち収納物仕様を逸脱する熱的に厳しい1体を誤収納

(1) 評価条件

誤収納発生のシナリオとしては、何らかの理由により指定された場所以外の使用済燃料集合体を誤って金属キャスクに収納し、その後行われる燃料番号及び収納配置の確認でも発見できなかった場合を想定する。

なお、上記のような二重の間違いが発生する可能性は極めて低いため、誤収納発生体数は1体とする。

また、高燃焼度9×9燃料については、新型8×8燃料、新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料とは明らかに形状（燃料棒配列、チャンネルボックスクリップ形状等）が異なるため、誤収納の対象から外す。

金属キャスクへの影響評価については、発電所プール中に在庫として存在する高燃焼度9×9燃料を除く使用済燃料集合体のうち、収納物仕様を燃焼度、冷却期間共に逸脱する高燃焼度8×8燃料1体（燃焼度50Gwd/t、冷却期間8年）を、熱的に厳しい位置である金属キャスク中央に誤って収納した場合を想定する。

なお、熱的に最も厳しい条件となる新型8×8ジルコニウムライナ燃料を収納した場合で行うため、対象となる金属キャスクについては、BWR用大型キャスク（タイプ2）、BWR用大型キャスク（タイプ2A）共同じとなる。

(2) 評価結果

金属キャスクは、運用上の収納制限である最大崩壊熱量に対して、実際の燃料の軸方向燃焼度分布を包絡するよう設計崩壊熱量を設定して設計の保守性を確保している。このため、設計崩壊熱量による温度解析結果は、本来の収納制限である最大崩壊熱量よりも高めの評価（温度裕度）となっている。

誤収納時及び通常貯蔵時の金属キャスク総崩壊熱量の評価結果を添付2-1表に示す。誤収納時の金属キャスク総崩壊熱量は、設計崩壊熱量を下回っているため、金属キャスクの各構成部材及びシール部は、制限温度を下回ると考えられ、金属キャスクの安全機能を損なうことはない。

添付 2-1 表 キャスク総崩壊熱量

	キャスク総崩壊熱量	収納燃料条件
最大崩壊熱量 (運用上の収納制限)	12.1kW	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料種類：新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料 ・燃 焼 度：34,000MWd/t ・冷却期間：18 年
設計崩壊熱量* 1 (設計値)	15.3kW	同上
評価結果	12.3kW	誤収納の燃料 <ul style="list-style-type: none"> ・燃料種類：高燃焼度 8 × 8 燃料 ・体 数：1 体 ・燃 焼 度：50,000MWd/t ・冷却期間：8 年

* 1：実際の燃料の軸方向燃焼度分布を包絡するように燃焼度分布を設定したもので、除熱設計上、最大崩壊熱量に比べて崩壊熱量を保守的に評価。

3.2 発電所プール内に存在する使用済燃料集合体のうち温度制限値が異なる新型8×8燃料1体を誤収納

(1) 評価条件

上述のような二重の間違いが発生する可能性は極めて低いため、誤収納発生体数は1体とする。

熱的に最も厳しい条件となる新型8×8ジルコニウムライナ燃料を収納した場合で行うため、対象となる金属キャスクについては、BWR用大型キャスク(タイプ2)、BWR用大型キャスク(タイプ2A)共同じとなる。

(2) 評価結果

誤収納時及び通常貯蔵時のキャスク内部圧力の評価結果を添付2-2表に示す。誤収納された新型8×8燃料については、通常貯蔵時の制限温度(200℃)を上回ることになるが、仮に誤収納燃料1体に破損が生じたとしても、キャスク内部空間の圧力は蓋間圧力(0.4MPa程度)を十分に下回ることから、圧力障壁は確保され、放射性物質が放出されることはない。

添付2-2表 キャスク内部圧力

	圧力 (MPa) *2	収納燃料条件
通常貯蔵時	0.08 (燃料温度：259℃)	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料種類：新型8×8ジルコニウムライナ燃料 ・燃焼度：34,000Mwd/t ・冷却期間：18年

*2：キャスク内部圧力の算出にあたり、ガス温度は燃料集合体の最高温度として評価(但し放出ガスによる熱伝導率低下は考慮せず)。

4. まとめ

- (1) 金属キャスクの基本的安全機能に著しい劣化を及ぼすような誤収納が発生した場合は、発電所搬出前の線量当量率測定等により異常として判断できる。
- (2) 除熱設計においては、保守的な崩壊熱量を用い、十分な安全裕度を見込んでおり、誤収納発生から判明までの間に、基本的安全機能に影響を及ぼすことはない。
- (3) 仮に誤収納燃料 1 体に破損が生じたとしても、キャスク内部空間の圧力は蓋間圧力(0.4MPa 程度)を十分に下回ることから、圧力障壁は確保され、放射性物質が放出されることはない。

真空乾燥不足に関する影響評価

真空乾燥不足が発生するリスクは低いと考えるが、何らかの理由により真空乾燥不足が発生した場合の影響について評価する。

評価ケースとしては、真空乾燥手順のうち二回目の真空乾燥作業において、真空乾燥作業ミス等により真空乾燥が適切に行われなかった場合、金属キャスク内部に水分が残留し、燃料被覆管の酸化や水素吸収、バスケットの腐食の形で健全性に影響を及ぼす可能性があるため、残留水分による影響評価を行う。

一回目の真空乾燥終了後の残留水分が、全て燃料被覆管の酸化、バスケットの腐食に消費された場合並びに残留水分中の水素が全て燃料被覆管に吸収された場合について評価した結果、金属キャスクの基本的安全機能を損なうことはないため、放射線障害を及ぼす可能性のある事象として選定する必要はない。

1. 真空乾燥不足に関する想定シナリオ

1.1. 真空乾燥不足の発生防止対策

乾式貯蔵キャスク内部の真空乾燥作業は、原子炉設置者により行われるが、真空乾燥不足に対しては以下のとおり適切な発生防止対策を講ずることにより、事象の発生の可能性は低い。

- a. 国内発電所での実績から真空乾燥プロセス（真空乾燥時間、サイクル数等）を定め、適切な作業要領書を作成する。
- b. 真空乾燥プロセス（真空乾燥時間、圧力）を記録する装置を設置し、規定の真空乾燥時間管理のもとで真空乾燥を行い、乾燥後の金属キャスク内部空間の圧力及び圧力上昇率を測定することにより、真空乾燥が適切に行われたことを確認する。
- c. 湿分測定用の機器を設置し、真空乾燥後のヘリウム充填状態で湿分を確認する。

1.2. 真空乾燥不足の想定シナリオ

計画中の真空乾燥手順（例）は、別添 2 - 1 図に示すとおりであり、真空

乾燥作業が適切に実施されていることを確認するため、「真空乾燥①及び②」において真空乾燥時間及びキャスク内部圧力を監視し、さらに「真空乾燥②」後、

a. キャスク内部の到達圧力

b. 残留した水の蒸発による圧力上昇率

を圧力計により監視して真空乾燥完了を判断する。

また、湿分測定用の機器を用いて、「真空乾燥②」後のヘリウム充填状態で湿分が管理値（10wt%）以下であることをもって真空乾燥の最終確認とする。

上記の真空乾燥作業が適切に実施された場合には、真空乾燥不足の発生の可能性は低いと考えられるが、

c. 「真空乾燥②」後のヘリウム充填状態で測定する湿分測定用の機器において不具合等があり正確に測定されず、かつ

d. それ以前の真空乾燥プロセスで機器の不具合、管理項目の確認不足（指示値の読み間違い等）、或いは所定の手順どおり真空乾燥プロセスが適切に実施されなかった

が生じた場合に、真空乾燥不足に至ることを仮定する。

真空乾燥不足の場合、金属キャスク内部に残留する水分により、燃料被覆管が酸化及び水素吸収により劣化し燃料健全性を損なう可能性がある。また、残留する水分により、キャスク内部の構成部材の腐食が発生する可能性がある。ここでは、「真空乾燥①」、「ヘリウム充填保管」まで適切に実施したが、仮に「真空乾燥②」を実施せず、かつ湿分測定機器の不具合により湿分が正確に測定されなかった場合を想定して、残留水分による燃料被覆管及び内部構造物（バスケット）に与える影響評価を行う。

2. 真空乾燥不足による影響評価

「真空乾燥①」終了後の過熱蒸気がそのままキャスク内部に残留したと仮定する。

国内発電所での実績に基づき「真空乾燥①」でのキャスク到達圧力やキャスク内部温度を保守的に設定し、金属キャスク（タイプ2，2A）を例に試算した結果、別添2-1表のとおり過熱蒸気の残留水分は180g程度（約30

wt%に相当) になる。

別添 2 - 1 表 真空乾燥①終了後の残留水分量
(BWR用大型キャスク (タイプ2, 2A))

キャスク内部自由空間体積	
キャスク内部空間温度 (過熱蒸気温度)	30°C
キャスク内部空間圧力	4kPa
過熱蒸気の比体積 ⁽¹⁾	34.914m ³ /kg
真空乾燥①終了後の残留水分	173g

この水分中の酸素がすべて燃料被覆管の酸化に消費されたとして評価しても別添 2 - 2 表に示すとおり被覆管酸化膜厚さで約 0.20 μm 程度であり, 別添 2 - 2 図に示す原子炉内で生成される被覆管酸化膜厚さ 10~数十 μm と比較しても十分に小さく, 燃料被覆管の健全性に影響を与えることはない。

また, 180g の水分中の水素が全て燃料被覆管に吸収されたとして評価しても, 別添 2 - 2 表に示すとおり燃料被覆管中の水素濃度は 5.8ppm 程度であり, 別添 2 - 3 図に示す原子炉内で吸収される燃料被覆管の水素濃度約 50ppm と比較しても十分に小さく, 燃料被覆管の健全性に影響を与えることはない。

別添 2 - 2 表 燃料被覆管の酸化量及び水素吸収量評価例
(BWR用大型キャスク (タイプ2, 2A))

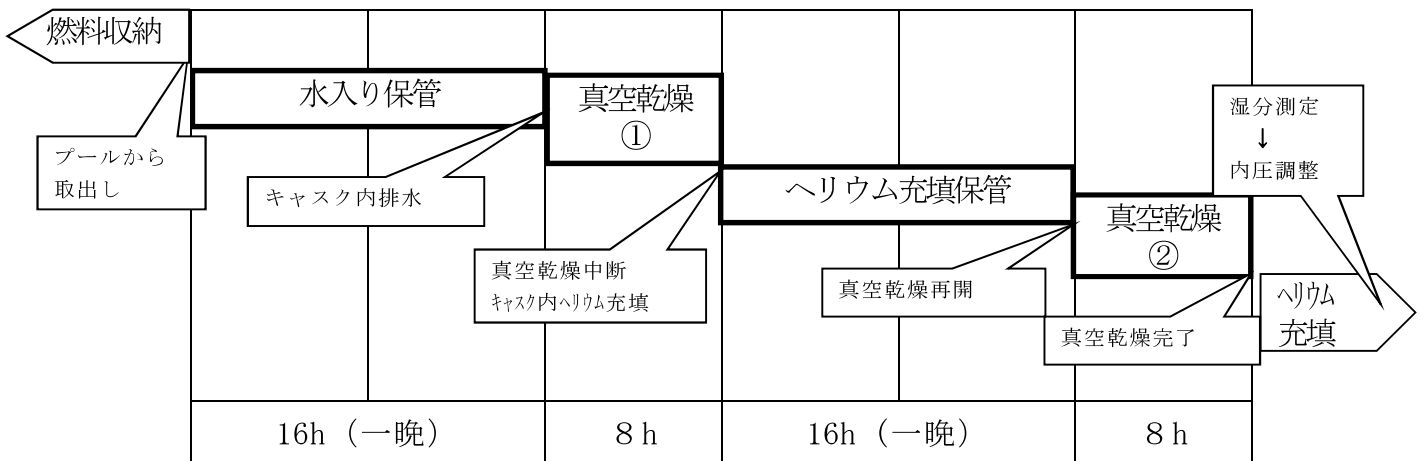
評価条件	キャスク内部自由空間体積	
	キャスク内部ガス水分質量	180g
	燃料被覆管表面積 (64 本×69 体)	690m ²
評価結果	被覆管表面酸化膜厚さ	約 0.20 μm
	被覆管中水素濃度 (水素/Zr 重量割合)	約 5.8ppm

金属キャスク内部空間の構造材であるほう素添加ステンレス鋼バスケットに対する影響についても同様に, 180g の水分が残留したと想定すると, この

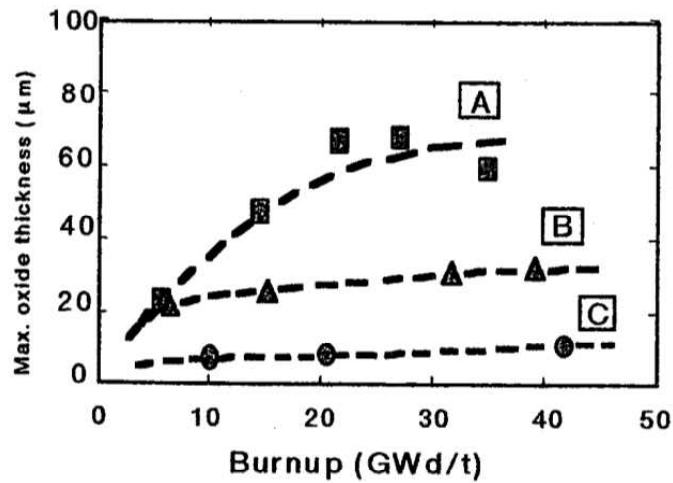
水分がすべてほう素添加ステンレス鋼バスケットより耐食性が低い炭素鋼と反応したと評価しても、別添2-3表に示すとおりバスケットの酸化膜厚さで約0.19 μ mであり、バスケット板厚 と比較して十分小さく、バスケットの健全性に影響を与えることはない。

別添2-3表 バスケット材の酸化評価例 (BWR用大型キャスク(タイプ2, 2A))

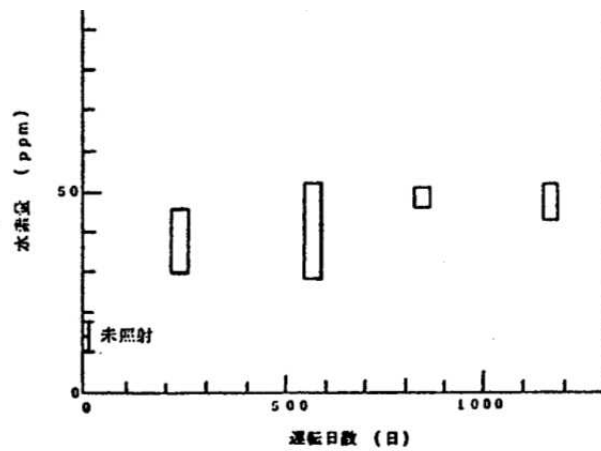
評価条件	キャスク内部自由空間体積	
	キャスク内部ガス水分質量	180g
	バスケット表面積	
評価結果	バスケット表面酸化膜厚さ (Fe ₂ O ₃)	約0.19 μ m



別添2-1図 真空乾燥手順 (例)



別添 2 - 2 図 BWR用燃料被覆管酸化膜厚さの燃焼度依存性⁽²⁾
 信頼性実証試験 (A), 高性能燃料確証試験 (B) 及び高燃焼度等燃料確証試験 (C)



別添 2 - 3 図 BWR燃料被覆管中の水素含有量変化⁽³⁾
 信頼性実証試験の4サイクル照射相当 (最大約 29GWd/t 程度)

参考資料

- (1) 日本機械学会 蒸気表(1999)
- (2) 軽水炉燃料のふるまい, (財)原子力安全研究協会 軽水炉燃料のふるまい 編集委員会, 平成 10 年 7 月
- (3) 三島他 ; 日本原子力学会誌 Vol. 29, No. 2, (1987)

金属キャスク内部への不活性ガス誤充填について

金属キャスク内部への不活性ガス誤充填については、以下に述べる作業管理上の対策をとり、また、ヘリウムガス以外のガスボンベが物理的に接続できない構造となっていることから、放射線障害を及ぼす可能性のある事象として選定する必要はない。

1. 金属キャスク内部への不活性ガス誤充填発生防止対策

- (1) 金属キャスク内部への不活性ガス誤充填を防止するため、当社は、以下のような対策をとる。
 - a. 金属キャスク内部へのヘリウムガス充填作業にあたり、適切な作業要領が定められていることを確認する。
 - b. ヘリウムガス充填作業が作業要領に従って適切に行われたことを作業記録により確認する。
- (2) なお、これらの対策の他、原子炉設置者により、金属キャスク内部へ充填するガスがヘリウムであることの確認、充填装置とヘリウムガスボンベとの接続を専用の継ぎ手とし、ヘリウムガス以外のガスボンベが物理的に接続できない構造とする対策が講じられる。

金属キャスク蓋部の取付不良等について

金属キャスク蓋部の取付不良等については、以下に述べる作業管理上の対策をとることから発生するリスクは低く、また、発生した場合、気密漏えい率検査で検知できるため、放射線障害を及ぼす可能性のある事象として選定する必要はない。

1. 金属キャスク蓋部の取付不良等の発生防止対策

- (1) 金属キャスク蓋部の取付不良等を防止するため、当社は、以下のような対策をとる。
 - a. 金属キャスク蓋部の取付作業にあたり、適切な作業要領が定められていることを確認する。
 - b. 金属キャスクの一次蓋及び二次蓋の漏えい率が所定の漏えい率以下であること、蓋部の取付作業が作業要領に従って適切に行われたことを作業記録により確認する。
- (2) なお、これらの対策の他、原子炉設置者により、シール面等に異物がな
いことの確認、蓋ボルト締付け時におけるトルク管理、気密漏えい検査が行われる。

金属キャスク取扱時の落下・転倒事象に関する影響評価

1. 落下・転倒事象の想定シナリオについて

金属キャスクが落下・転倒する想定事象としては、以下に示す設計及び運用等の有効性を考慮した上で、金属キャスクの基本的安全機能への影響を確認し、万一事象が発生した場合に、公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象を選定する。

(1) 金属キャスクの落下・転倒事象の発生防止対策

- a. 受入れ区域天井クレーン，つり具は，金属キャスクの総重量を十分上回る重量に耐えることのできる強度に設計する。
- b. 受入れ区域天井クレーンのワイヤ，ブレーキ，リミットスイッチは，故障等を考慮して二重化する。
- c. つり具とトラニオンの取付不良を考慮して，金属キャスクを4点つりとし，水平吊具は1点，垂直吊具は2点の保持不良があっても落下しない設計とする（ただし，キャスクたて起し時は2点つり状態である）。
- d. 垂直吊具とクレーンの取付不良を考慮して，クレーンフックによるつり具保持の他に，安全板によりつり具を保持する機構とする（二重化）。
- e. つり具のアームを開閉する圧縮空気が喪失した場合でも，アームが金属キャスクのトラニオンから外れないフェイル・セーフ機構とする。また，トラニオン外れ防止金具を主アームに設ける。
- f. 作業要領を十分整備し，監督者の直接指揮下で金属キャスクの取扱作業を行う管理体制をとる。監督者は，金属キャスクの移動に関して知識を有し，教育・訓練経験を有する実務経験のあるものが従事する。

(2) 落下・転倒想定事象の選定

機器の多重化，操作員の誤操作防止対策を施すことにより，金属キャスクが落下・転倒する可能性は極めて低いと考えられる。

しかしながら，キャスクたて起こし時は2点つり状態であることから，つり具の保持不良により金属キャスクは転倒することになる。

転倒により、金属キャスク蓋部に直接外力が作用することが想定され、閉じ込め機能が低下して公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性があるため、その影響を確認するための以下の2事象を選定した。

- ①たて起こし架台支持脚への転倒（輸送用緩衝体無）
- ②衝撃吸収材への転倒（輸送用緩衝体無）

2. 金属キャスク取扱時の落下・転倒による影響評価

影響評価手法としては、金属キャスク衝突時に構造物により吸収されるエネルギーあるいはトラニオン破断に必要な応力を評価して、金属キャスクに作用する衝撃加速度を算出し、その衝撃加速度の値が輸送規則で定める特別の試験条件（9 m落下試験）で作用する加速度を下回ることを確認する。

- ①たて起こし架台支持脚への転倒（輸送用緩衝体無）

a. 評価条件

たて起こし架台上での金属キャスクたて起こし作業中、直立状態から下部トラニオンを回転軸として転倒し、2つの上部トラニオンが架台支持脚へ衝突することを想定（別添5-1図参照）。

この場合、トラニオンに作用する加速度が最大となるのはトラニオンが破断に至る寸前の状態であり、トラニオンの最大せん断力を評価して金属キャスクに作用する衝撃加速度を算定する。

b. 評価結果（添付1参照）

BWR用大型キャスク（タイプ2, 2A）に作用する衝撃加速度は約43Gとなり、特別の試験条件で金属キャスクの構造評価を行う設計加速度（55～65G）を下回ることを確認した。

- ②衝撃吸収材への転倒（輸送用緩衝体無）

a. 評価条件

たて起こし架台上での金属キャスクたて起こし作業中、直立状態から下部トラニオンを回転軸として転倒し、金属キャスクの閉じ込め境界部近傍が床面に敷設された衝撃吸収材に直接衝突することを想定（別添5-2図参照）。

この場合、金属キャスクの位置エネルギーが回転系のエネルギーに変

換されるとして金属キャスクの転倒エネルギーを評価し、転倒エネルギーが衝撃吸収材の変形によって全て吸収されるものとして、金属キャスクに作用する衝撃加速度を算定する。

b. 評価結果（添付1参照）

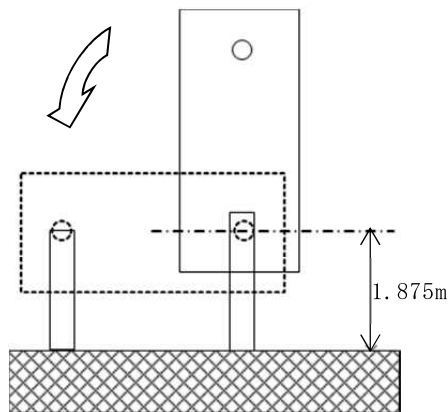
BWR用大型キャスク（タイプ2，2A）に作用する衝撃加速度は約29Gとなり、特別の試験条件で金属キャスクの構造評価を行う設計加速度（55～65G）を下回ることを確認した。

なお、本事象は加速度の比較において特別の試験条件よりも低い値となるが、衝撃吸収材との衝突により金属キャスクの閉じ込め境界部近傍に直接外力が作用する事象であり、閉じ込め機能維持の観点からABAQUSコードを用いた構造解析を実施した。その結果、金属キャスクの閉じ込め境界部に発生する応力は設計基準値以下となり、閉じ込め境界部の健全性を確認した。

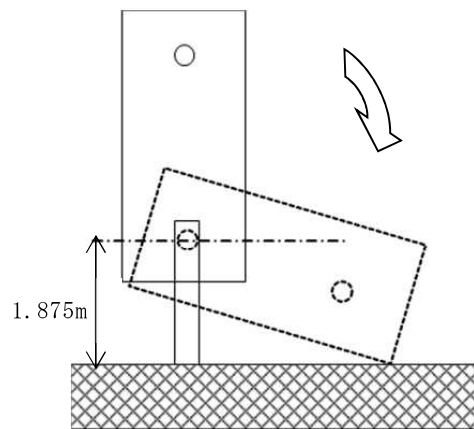
3. まとめ

金属キャスクの落下・転倒を想定したいずれの事象においても、金属キャスクに作用する衝撃加速度が特別の試験条件を下回ることを確認するとともに、②衝撃吸収材への転倒評価では構造解析を実施し、閉じ込め機能が健全であることを確認した。

以上より、金属キャスクの閉じ込め機能の健全性は維持され、公衆に放射線被ばくのリスクを及ぼすことはない。



別添5-1図 架台支持脚への転倒条件



別添5-2図 衝撃吸収材への転倒条件

【たて起こし架台上転倒時の衝撃加速度評価】

1. たて起こし架台支持脚への転倒（輸送用緩衝体無）の場合

支持脚を剛として考えると，トラニオンに作用する加速度が最大となるのはトラニオンが破断に至る寸前の状態であり，その最大せん断力 F はせん断ひずみエネルギー説を仮定すると以下の式で与えられる（BWR用大型キャスク（タイプ2，2A）の場合）。

$$F = Su / (\sqrt{3}) \cdot A = 8.8 \times 10^6 \text{ (N)}$$

Su : 設計引張強さ (N/mm²)

A : トラニオン断面（せん断断面積 mm²）

また，下部トラニオンを回転中心とした転倒事象では，金属キャスク上端部（蓋部）に生じる衝撃加速度 α (G) が最大となり，以下のモーメントの釣り合い式より算出され約 43G となる。

$$\frac{2}{3} \cdot L_2 \cdot \left(\frac{\alpha \cdot m \cdot L_2}{2} \right) + \frac{2}{3} \cdot L_1 \cdot \left(\frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{\alpha \cdot m \cdot L_1}{2} \right) = 2 \cdot F \cdot L_3$$

α : キャスク上端の加速度 [m/s²]

m : 単位長さあたりのキャスク質量 [kg/mm]（軸方向質量均一を仮定）

L_1 : キャスク底面から下部トラニオンまでの長さ [mm]

L_2 : キャスク上面から下部トラニオンまでの長さ [mm]

L_3 : トラニオン間距離 [mm]

2. 衝撃吸収材への転倒（輸送用緩衝体無）

衝撃吸収材との衝突により金属キャスクに作用する衝撃加速度 α (G) は，金属キャスクの転倒エネルギーが衝撃吸収材の変形によって全て吸収されるものとして以下の式により算出され約 29G となる（BWR用大型キャスク（タイプ2，2A）の場合）。

$$\alpha = \frac{\sigma \cdot A}{m \cdot g}$$

σ : 木材圧力潰応力 (3MPa)

A : 貫入面積 (3.1m²)

m : 金属キャスクの等価質量 (3.3×10⁴kg)

g : 重力加速度

なお、上記評価は剛体の転倒エネルギーを一質点系の運動エネルギーに置き換えたものであり、貫入面積 A は衝撃吸収材貫入時の幾何学的形状から放物線の面積として算出した値である。

本事象は加速度の比較において特別の試験条件よりも低い値となるが、衝撃吸収材との衝突により金属キャスクの閉じ込め境界部近傍に直接外力が作用する事象であり、閉じ込め機能維持の観点から ABAQUS コードを用いた構造解析を行うこととし、評価条件とする衝撃加速度に余裕をみて 40G の値を用いた。添付 1 - 1 表の評価結果に示すとおり、発生応力は設計基準値以下であることを確認した。

添付 1 - 1 表 衝撃吸収材への転倒衝突時の評価結果

項目	評価結果	設計基準	備考
評価条件 金属キャスクに生じる加速度	約 29G	—	構造解析では余裕をみて 40G を設定。
構造強度	一次蓋閉じ込め境界部の応力強さ	186 MPa 以下	発生応力は設計降伏点以下であり、閉じ込め境界部は健全性を維持する。
	一次蓋締付ボルトの応力	848 MPa 以下	

金属キャスクの衝突について

万一、単一故障や単一誤操作が発生した場合に、一般公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象の一つとして、受入れ区域天井クレーンや搬送台車により金属キャスクを取扱う際に、金属キャスクが使用済燃料貯蔵建屋壁や仮置架台、たて起こし架台、貯蔵架台へ衝突することが想定される。本書は衝突に係わる発生防止対策並びに想定される衝突事象に対する影響評価から、“金属キャスクの衝突事象”が公衆に対して放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象として選定する必要のない事象であることを以下に説明する。

1. 金属キャスクの衝突に係わる発生防止対策

金属キャスクの衝突に係わる発生防止対策としては、別添 5 金属キャスク取扱時の落下・転倒事象に関する影響評価で行う発生防止対策に加え、以下の対策を講じている。

- a. 受入れ区域天井クレーンには、荷重及びクレーン位置に応じた可動範囲を制限するインターロックを設ける。

金属キャスクを取扱う主巻に関してのインターロックは下記①～③のとおりであり、各インターロックの概要を別添 1（添付 1-1 図～3 図）に示す。

- ①主巻荷重 90t 以上での巻上げ高さ 4 m 以下に制限
- ②主巻荷重 90t 以上での巻上げ高さ 2 m 以下に制限
- ③主巻荷重 90t 以上での走行・横行の制限

この中で金属キャスクの衝突防止に関わるものは、“③ 主巻荷重 90t 以上での走行・横行制限”であるが、下記(a)～(c)の理由から受入れ区域天井クレーンで取扱中の金属キャスクが使用済燃料貯蔵建屋壁や仮置架台、たて起こし架台に衝突することはない。

- (a) 主巻が 90t 以上の荷重を検知した状態での受入れ区域天井クレーン
走行・横行可能な範囲は、トレーラ停車エリアから仮置架台及びたて
起こし架台設置エリアを結ぶ最小限の範囲に限られていること。
- (b) さらに、架台が設置されているエリアへの横行動作可能な範囲は、
各架台の中心線上（約 500mm 幅）に限定されること。
- (c) 主巻が 90t 以上の荷重を検知した状態では、受入れ区域天井クレー
ンの横行台車が仮置架台及びたて起こし架台設置エリアに容易に進
入できないこと。架台が設置されているエリアへ進入する際は、一旦
受入れ区域クレーン動作を停止し、進入を許可するスイッチを操作す
る必要があり、その際にクレーン運転者により目的とする架台への進
入かの確認が伴う。

なお、天井クレーンの動作（横行・走行・巻上げ・巻下げ）は、エンコー
ダにて位置情報を検知し制御しているが、横行・走行・巻上げについてイン
ターロックが単一故障した場合は、リミットスイッチにより機械的に異常を
検知して天井クレーンの動作を停止する。また、操作ボタンを放すことによ
って横行・走行・巻上げ・巻下げは停止し、非常停止ボタンを押すことによ
っても停止する。

- b. 金属キャスク取扱時に想定される仮置架台、たて起こし架台、貯蔵架
台との衝突事象に対し、基本的安全機能を損なわない構造強度を有する
設計とする。

設計上考慮している強度と想定される衝突事象で受ける衝撃の影響につい
て、2 項の“金属キャスクの衝突による影響評価”に記す。

2. 金属キャスクの衝突による影響評価

金属キャスクの取扱工程において、金属キャスクの衝突が想定される事象
は下記①～③のとおりであり、その影響評価結果を添付 2, 添付 3 に示す。こ
れらの衝突事象はいずれの場合においても、金属キャスクの基本的安全機能

に影響を及ぼすことはない。

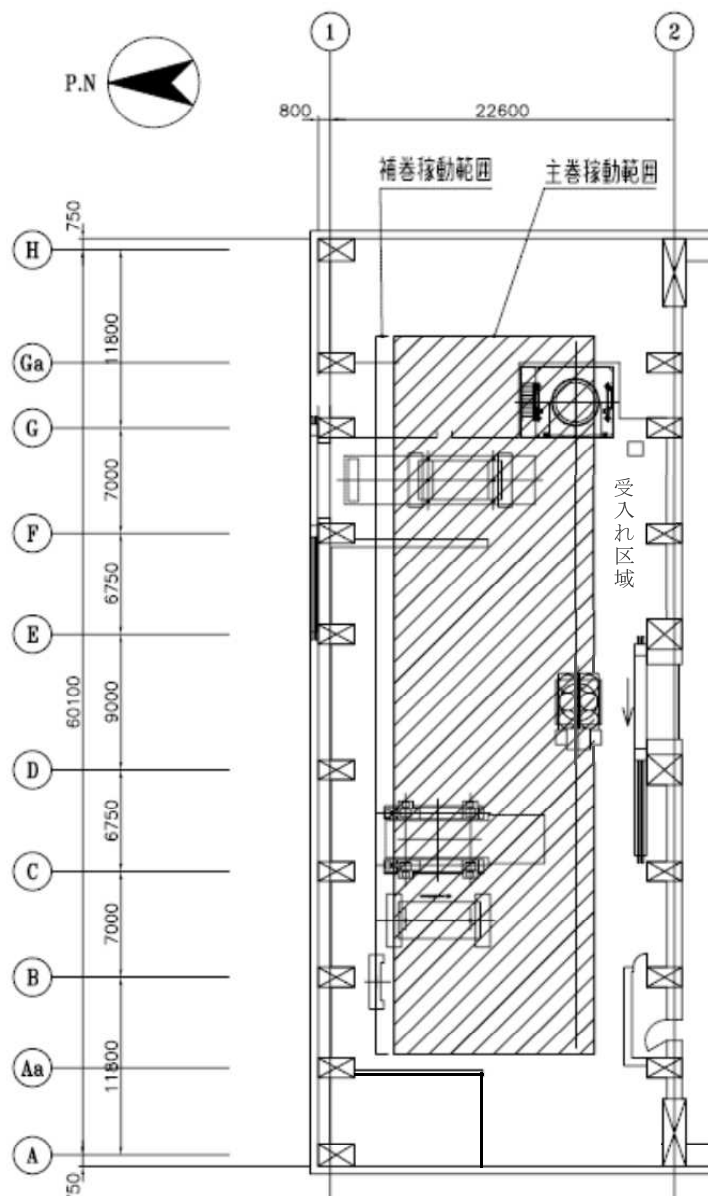
- ①受入れ区域天井クレーンにて水平つりした金属キャスクの仮置架台又はたて起こし架台への着床時に、微速の巻下げ速度で着床するところを受入れ区域天井クレーン運転者の誤操作により定格の巻下げ速度で着床。
(異常着床)
- ②受入れ区域天井クレーンにて垂直つりした金属キャスクの貯蔵架台への着床時に、微速の巻下げ速度で着床するところを受入れ区域天井クレーン運転者の誤操作により定格の巻下げ速度で着床。(異常着床)
- ③金属キャスクを受入れ区域から貯蔵区域内の貯蔵場所へ搬送台車で搬送時において、搬送台車運転者の誤操作により搬送台車上の金属キャスクの貯蔵架台が、貯蔵中の金属キャスクの貯蔵架台に定格速度で衝突。

受入れ区域天井クレーンのインターロックについて

インターロック条件①（金属キャスク状態：横向き，水平つり）

主巻可動範囲全域（添付 1 - 1 図の“主巻可動範囲”と記した斜線部の範囲）において，主巻が 90t 以上の荷重を検知した場合，金属キャスク下面～建屋床面の巻上げ高さを 4 m 以下に制限。

注：P.N（プラントノース）は，真北から 6° 23′ 西方向に設計上の北として設定されたもの



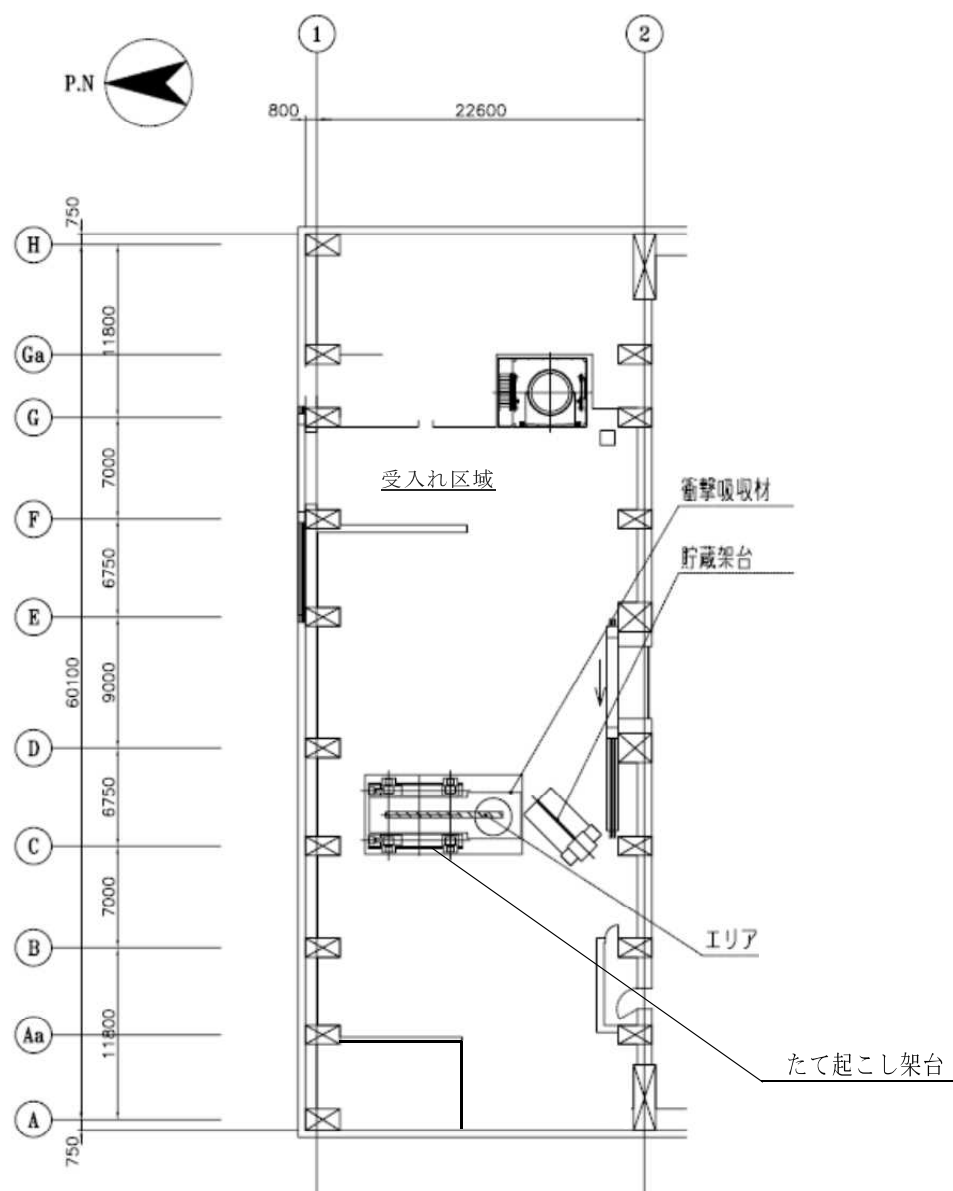
添付 1 - 1 図 主巻荷重 90t 以上での巻上げ高さ 4 m 以下制限の範囲

インターロック条件②（金属キャスク状態：縦向き，垂直つり）

たて起こし架台中心上で主巻が 90t 以上の荷重を検知した場合，キャスク下面～衝撃吸収材上面の巻上げ高さを 2 m 以下に制限。(添付 1 - 2 図の“エリア”と記した斜線部の範囲)

水平つりした金属キャスクをたて起こし架台上に移動して着座する際は，荷重が開放されるまでインターロック条件①が有効。→その後の垂直つり上げはインターロック条件②が有効となる。

注：P.N（プラントノース）は，真北から 6° 23' 西方向に設計上の北として設定されたもの

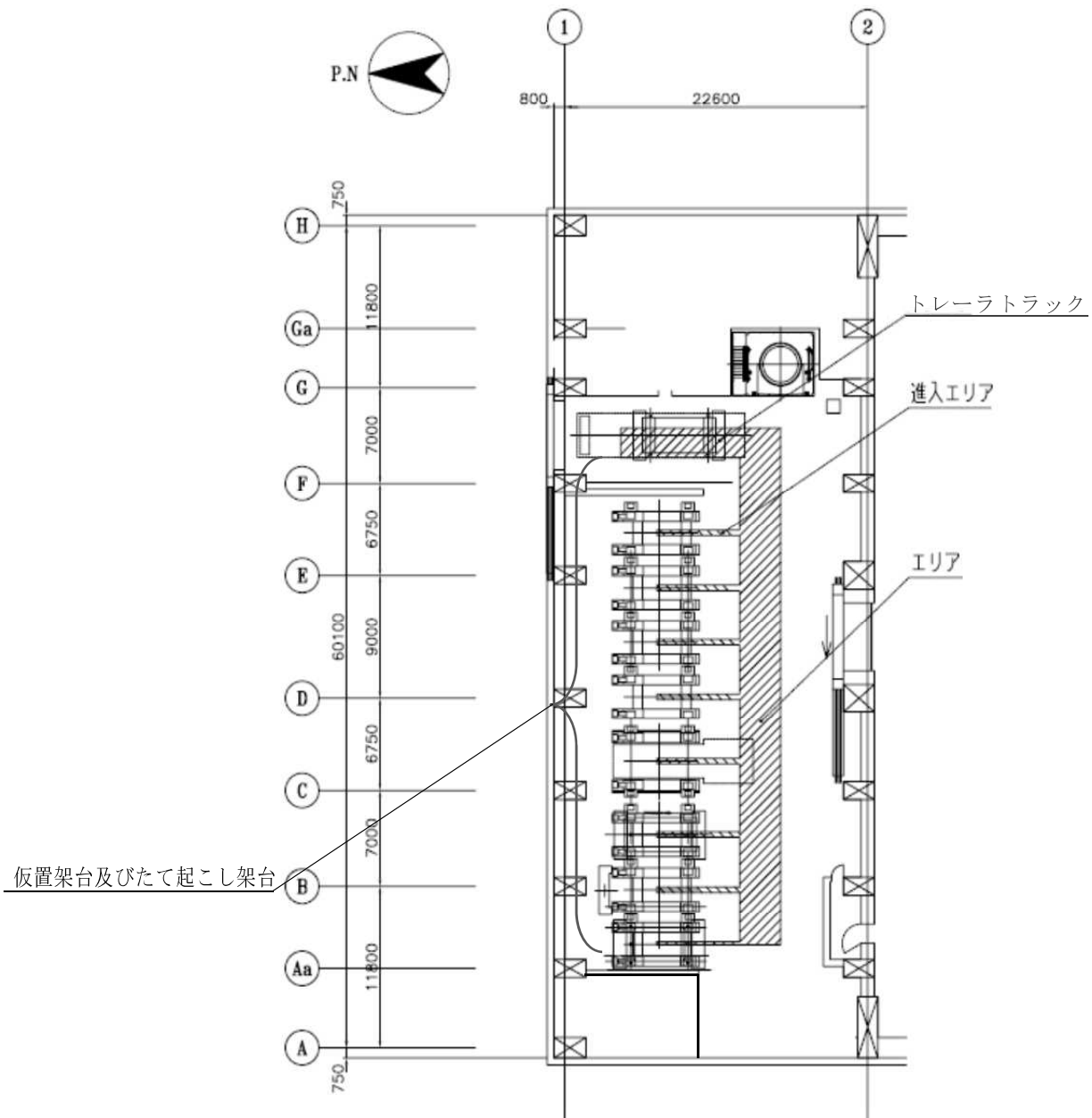


添付 1 - 2 図 主巻荷重 90t 以上での巻上げ高さ 2 m 以下制限の範囲

インターロック条件③（金属キャスク状態：横向き，水平つり）

主巻が 90t 以上の荷重を検知した状態では添付 1 - 3 図の“エリア”と記した範囲以外に走行・横行できない。また，“エリア”から仮置架台及びたて起こし架台上に進入する場合（添付 1 - 3 図の“進入エリア”と記した範囲）は，“進入エリア”手前の各架台の中心位置で進入を許可するスイッチを操作しなければ進入（横行）できない。（荷をつった状態で，容易に架台上に進入することを制限することで，金属キャスクが置かれている架台への接近を制限する。）

注：P.N（プラントノース）は，真北から 6° 23′ 西方向に設計上の北として設定されたもの



添付 1 - 3 図 主巻荷重 90t 以上での走行・横行の制限の範囲

天井クレーンによる金属キャスク取扱時における
仮置架台、たて起こし架台、貯蔵架台への衝突の影響評価について

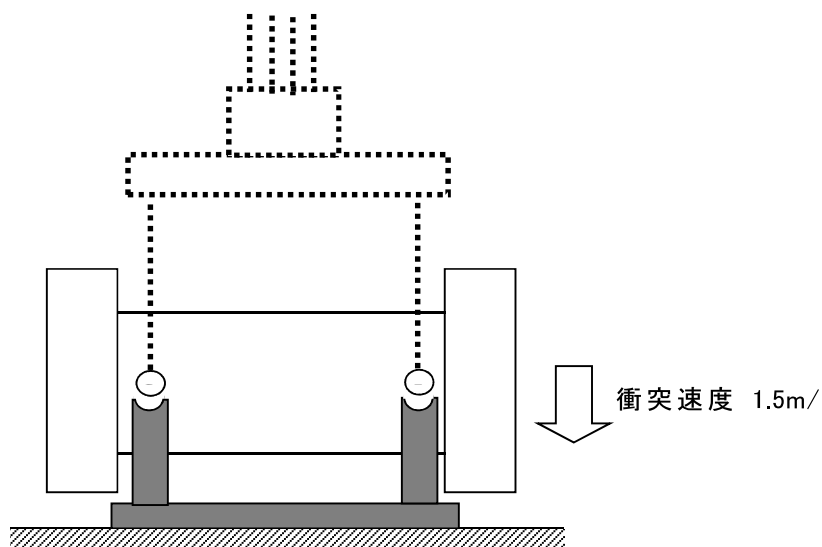
1. 金属キャスクトラニオン部と架台脚部との衝突

(1) 評価事象

仮置架台又はたて起こし架台への着床操作を行っている時に、誤操作により架台に衝突（異常着床）することを想定する。

(2) 評価条件

衝突速度は、受入れ区域天井クレーンの巻下げ定格速度の 1.5m/分とし、金属キャスクのトラニオン部が架台脚部（トラニオン受け）に衝突（異常着床）するものとする。（添付 2 - 1 図）



添付 2 - 1 図 トラニオン部と架台脚部の衝突

(3) 評価

トラニオンと架台脚部との衝突時に金属キャスクに作用する加速度は、金属キャスクの運動エネルギーが架台脚部で全て吸収されるものとして算定する。

評価の結果、金属キャスクに作用する加速度は約 2.4G である（衝撃加速度の算出は、参考 1 参照）が、金属キャスクの設計においては、本事象を包絡する加速度 3 G（取扱時にトランニオンの下方方向に作用する荷重（金属キャスク構造規格解説 MCD3300-2 による）を設定して設計を行っており、金属キャスクの基本的安全機能は維持される。

2. 金属キャスク底部と貯蔵架台との衝突

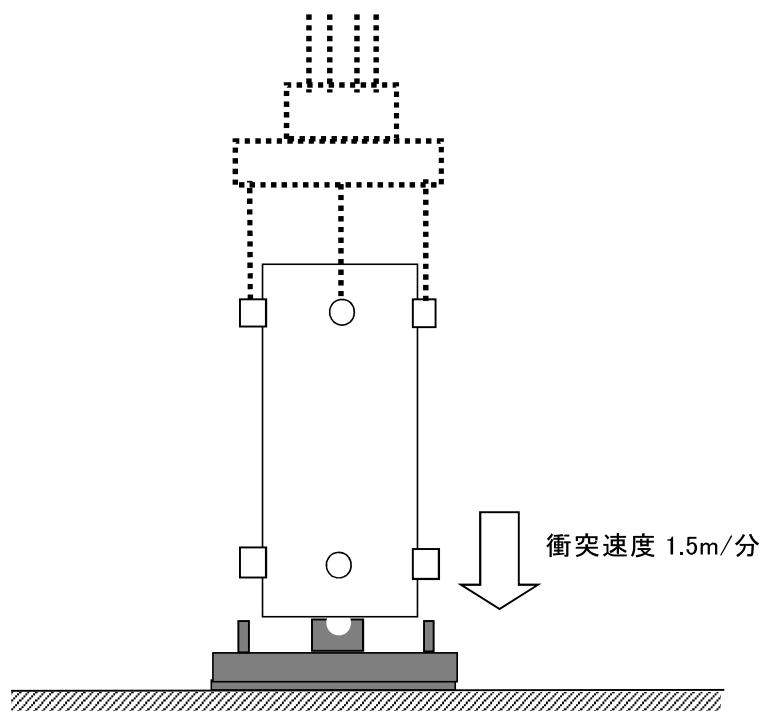
(1) 評価事象

貯蔵架台への着床操作を行っている時に、誤操作により架台と衝突（異常着床）することを想定する。

(2) 評価条件

衝突速度は、受入れ区域天井クレーンの巻下定格速度の 1.5m/分とし、金属キャスク底部が貯蔵架台と衝突（異常着床）するものとする。

（添付 2 - 2 図）



添付 2 - 2 図 金属キャスク底部と貯蔵架台との衝突

(3) 評価

金属キャスクと貯蔵架台との衝突時に金属キャスクに作用する加速度は、金属キャスクの運動エネルギーが貯蔵架台で全て吸収されるものとして算定する。

評価の結果、作用する加速度は約 2.3Gである（衝撃加速度の算出は、参考1参照）が、一般の試験条件（0.3m 底部垂直落下）における加速度以下（BWR用大型キャスク（タイプ2，2A）：約 30G）であれば、金属キャスク設計の成立性に影響を与えないとの考えから、本事象を包絡する加速度 5 Gを設定して設計を行っているため、金属キャスクの基本的安全機能は維持される。

なお、BWR用大型キャスク（タイプ2）*は、核燃料輸送物設計承認にて一般の試験条件の底部垂直落下（0.3m）の加速度が作用した場合の構造強度評価を実施し、また、使用済燃料貯蔵施設に関する設工認にて加速度 5 Gの異常着床時の構造強度評価を実施して、それぞれ金属キャスクの基本的安全機能が維持されることを確認している。

*タイプ2と同材料、同構造のタイプ2Aも同一評価となる。

搬送台車による金属キャスク取扱時における
貯蔵中の金属キャスク貯蔵架台への衝突の影響評価について

(1) 評価事象

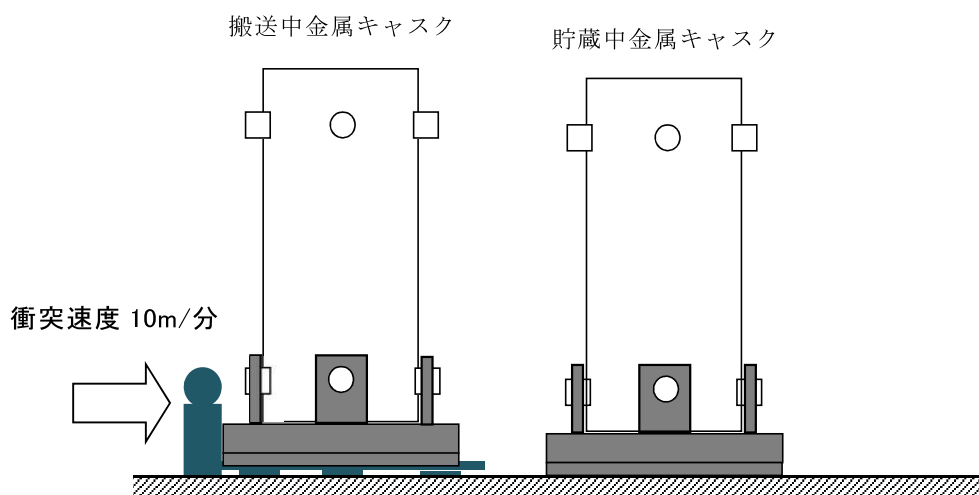
搬送台車での金属キャスク搬送時に、貯蔵中の金属キャスク貯蔵架台へ衝突する事象を想定する。

ここでは、衝突時に加速度の作用による金属キャスクへの影響を評価する。

(2) 評価条件

搬送台車の速度は、定格走行速度である 10m/分とし、搬送中の金属キャスクの貯蔵架台が、貯蔵中の金属キャスクの貯蔵架台に衝突するものとする。(添付 3 - 1 図)

1/3 スケールモデルを用いた搬送設備に係る安全性検討の一環として、貯蔵架台同士の衝突を模擬した試験を行う。



添付 3 - 1 図 搬送中の金属キャスク貯蔵架台と
貯蔵中の金属キャスク貯蔵架台との衝突事象

(3) 評価

評価の結果、衝突時間の最小は 0.07 秒であった。このとき、衝突後、速

度が0となるまでの時間を衝突時間の半分とし、その衝突時間における減速割合は一定であると仮定した場合、金属キャスクに作用する加速度は約0.5Gである。(衝撃加速度の算出は、参考4参照)

衝突によって金属キャスクに作用する加速度は、異常着床における衝突事象と同様に小さいことから、基本的安全機能に影響を及ぼすことはない。

各架台への金属キャスク衝突（異常着床）における衝撃加速度の算出

1. 仮置架台

$$\alpha = 1 + \sqrt{1 + \frac{K \cdot V^2}{m \cdot g^2}} = 1 + 1.384 = 2.384 \doteq 2.4 \text{ (G)}$$

α : 衝撃加速度 (G)

K : バネ定数 (1.86×10^{10} N/m)

V : クレーン巻下げ定格速度 ($1.5 \text{ m/min} = 2.5 \times 10^{-2} \text{ m/sec}$)

m : 金属キャスク質量 ($1.32 \times 10^5 \text{ kg}$) 緩衝体あり

g : 重力加速度 (9.80665 m/sec)

2. たて起こし架台

$$\alpha = 1 + \sqrt{1 + \frac{K \cdot V^2}{m \cdot g^2}} = 1 + 1.417 = 2.417 \doteq 2.4 \text{ (G)}$$

α : 衝撃加速度 (G)

K : バネ定数 (2.05×10^{10} N/m)

V : クレーン巻下げ定格速度 ($1.5 \text{ m/min} = 2.5 \times 10^{-2} \text{ m/sec}$)

m : 金属キャスク質量 ($1.32 \times 10^5 \text{ kg}$) 緩衝体あり

g : 重力加速度 (9.80665 m/sec)

3. 貯蔵架台

$$\alpha = 1 + \sqrt{1 + \frac{K \cdot V^2}{m \cdot g^2}} = 1 + 1.291 = 2.291 \doteq 2.3 \text{ (G)}$$

α : 衝撃加速度 (G)

K : バネ定数 (1.23×10^{10} N/m)

V : クレーン巻下げ定格速度 ($1.5 \text{ m/min} = 2.5 \times 10^{-2} \text{ m/sec}$)

m : 金属キャスク質量 ($1.20 \times 10^5 \text{ kg}$) 緩衝体なし

g : 重力加速度 (9.80665 m/sec)

なお、上記衝撃加速度の算出に用いた加速度評価式の導出を参考 2 に、バネ定数の算出方法例を参考 3 に示す。

加速度評価式の導出について

加速度評価式は、金属キャスクを剛体とし、金属キャスクの運動エネルギーおよび位置エネルギーが被衝突部である仮置架台、たて起こし架台の支持脚又は貯蔵架台（以下、「架台等」と記す。）の弾性ひずみエネルギーに全て吸収されるとして以下のように求められる。垂直方向に金属キャスクが速度 V で衝突し、架台等が変形して運動が停止した時の金属キャスクのエネルギー E_v と架台等の弾性ひずみエネルギー E_E は次式で表される。

$$E_v = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 + m \cdot g \cdot \delta \quad (1)$$

$$E_E = \frac{1}{2} \cdot K \cdot \delta^2 \quad (2)$$

ここで、 m : 金属キャスクの質量

V : 速度 (m/s) = クレーン巻下げ定格速度 (1.5m/min = 2.5×10^{-2} m/s)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

δ : 架台等の変形量

K : 架台等のバネ定数

金属キャスクに作用する加速度 α_0 (m/s²) は次式で表される。

$$\alpha_0 = F/m \quad (3)$$

$$F = K \cdot \delta \quad (4)$$

ここで、 F : 金属キャスクに作用する架台等の反力 (N)

E_v と E_E が等しいので、(1), (2)式より、

$$\frac{1}{2} \cdot K \cdot \delta^2 - m \cdot g \cdot \delta - \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 = 0$$

上式から、 δ の二次方程式として解を求めると、

$$\delta = \frac{m \cdot g + \sqrt{m^2 \cdot g^2 + m \cdot K \cdot V^2}}{K}$$

上式と(3)及び(4)式より,落下事象時の衝撃加速度 α (G)は次式で与えられる。

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{g} = \frac{K}{m \cdot g} \delta = 1 + \sqrt{1 + \frac{K \cdot V^2}{m \cdot g^2}}$$

バネ定数の算出例

支持脚の断面形状は図に示すように高さ方向に変化するので、部材を高さ方向に分割して、それぞれのバネによる反力と部材物性の関係から下式によりバネ定数Kを求める。

フックの法則から（複数バネが直列に接続と考えて）

$$K = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{K_i}}, \quad K_i = E \times \frac{A_i}{L_i} \quad \text{より} \quad K = n \times \frac{E}{\sum_i \frac{L_i}{A_i}}$$

K：架台支持脚の圧縮変形バネ定数 (N/m)

n：支持脚の本数(4)・・・4本全て同一形状・寸法の場合

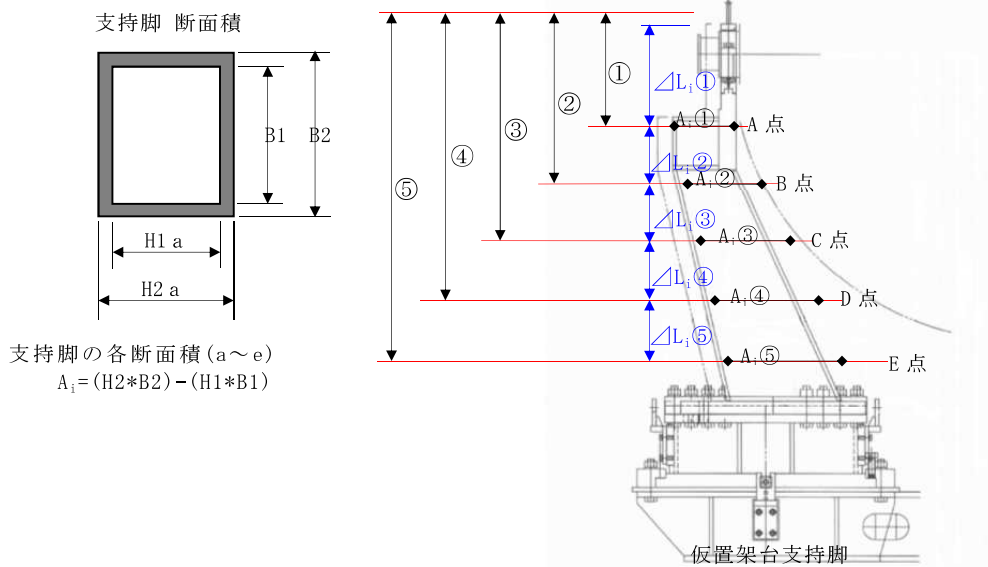
E：支持脚材料のヤング率（炭素鋼： $2.05 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ ）

L_i ：各部材の長さ (m)

A_i ：各部材の断面積 (m^2)

支持脚に対するバネ定数の計算

	長さ L_i (m)	断面積 A_i (m^2)	L_i/A_i (1/m)
A点	①—トラス半径(ΔL_i ①とする)	A_i ①	ΔL_i ①/ A_i ①(α とする)
B点	②—①(ΔL_i ②とする)	A_i ②	ΔL_i ②/ A_i ②(β とする)
C点	③—②(ΔL_i ③とする)	A_i ③	ΔL_i ③/ A_i ③(γ とする)
D点	④—③(ΔL_i ④とする)	A_i ④	ΔL_i ④/ A_i ④(δ とする)
E点	⑤—④(ΔL_i ⑤とする)	A_i ⑤	ΔL_i ⑤/ A_i ⑤(ε とする)
$\Sigma L_i/A_i$ (1/m)			$\alpha + \beta + \gamma + \delta + \varepsilon$ (Ω とする)
支持脚バネ定数 K (N/m) $\leq n \times (E / \Sigma L_i / A_i) >$			$4 \times (2.05 \times 10^{11} / \Omega)$



貯蔵架台同士衝突における衝撃加速度の算出

1/3 スケールモデル試験において貯蔵架台同士の衝突を模擬した試験を行った結果、参考 4 図-1 に示すような走行速度が得られた。これをもとに衝撃加速度を算出すると以下のようなになる。

衝突時間は、衝突直後の速度低下から撥ね返りで逆方向へ移動する直前までの減速時間とし、参考 4-1 図の速度と時間の測定データからの読み値は約 0.07 秒である。なお、速度測定に用いたローラエンコーダの速度分解能の関係で速度はゼロまでは測定されないため、測定データの不確かさから衝突後に速度がゼロとなるまでの時間を保守的に半分として、衝撃加速度を算出した。

α : 衝撃加速度 (G)

V : 搬送台車移送速度 (10m/分=0.167m/秒)

Δt_1 : 衝突時間が 0.07 秒における減速時間 (衝突後に速度がゼロとなるまでの時間を測定データの不確かさから考慮した時間) (0.07 秒/2=0.035 秒)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

とすると、

搬送台車走行速度 V が減速時間 Δt_1 で 0 になる場合の衝撃加速度 α は、

$$\alpha = ((V-0) / \Delta t_1) / g \doteq 0.5 \text{ (G)}$$

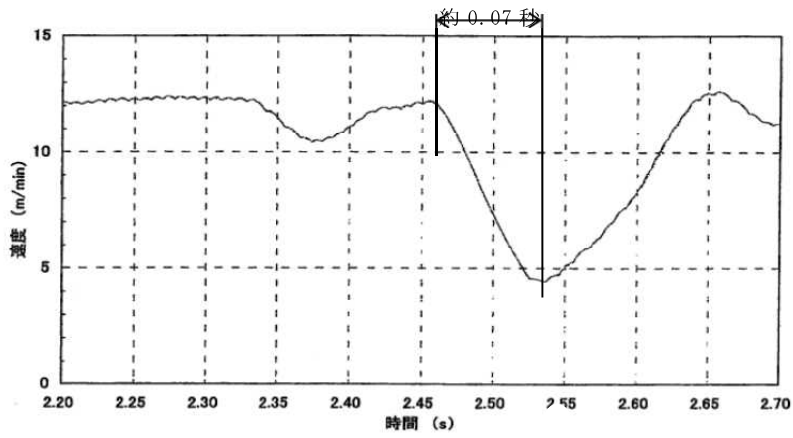
また、衝突時間を 0.01 秒とした場合、

Δt_2 : 衝突時間が 0.01 秒における減速時間

[衝突後、速度が 0 となるまでの時間] (0.01 秒/2=0.005 秒)

搬送台車走行速度 V が減速時間 Δt_2 で 0 になる場合の衝撃加速度 α は、

$$\alpha = ((V-0) / \Delta t_2) / g \doteq 3.4 \text{ (G)}$$



* 走行速度測定にはローラエンコーダ（速度絶対値の測定）を使用。
 速度分解能の関係で速度ゼロまでは測定できないため、走行速度の時刻暦で、
 谷になっている部分（立下り時間）から衝突時間を求めた。

参考 4 - 1 図 1/3 スケールモデル試験の貯蔵架台衝突時の走行速度の例

金属キャスクへの重量物落下事象に関する影響評価

1. 事故想定シナリオ

使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクへの重量物の落下を防止するために下記の設計及び作業管理上の対策を講じている。

[重量物落下防止のための設計及び作業管理上の対策]

- a. 受入れ区域天井クレーンは、地震荷重等の適切な組合せを考慮しても強度上耐え得る設計とする。
- b. 受入れ区域天井クレーンには、可動範囲を制限するインターロックを設ける
- c. 作業要領を十分整備し、監督者の直接指揮下で金属キャスクの取扱作業を行う管理体制をとる。監督者は、金属キャスクの移動に関して知識を有し、教育・訓練経験を有する実務経験のあるものが従事する。

ただし、チェンブロックの切断により三次蓋及び二次蓋が落下する可能性を否定できないことから、下記の2事象について評価する。

- (1) 受入れ区域での三次蓋(輸送用)の取り外し作業時における三次蓋の二次蓋への落下
- (2) 受入れ区域での二次蓋金属ガスケット交換作業時における二次蓋の一次蓋への落下

なお、(2)の二次蓋金属ガスケット交換作業時における二次蓋の一次蓋への落下については、極めて発生の可能性の低い二次蓋の閉じ込め機能の異常の発生に加え、チェンブロックの切断等の重畳を前提とするものであり、事象に至る過程を考慮すると極めて発生頻度が低い事象である。

2. 金属キャスクへの重量物の落下による影響評価

(1) 三次蓋(輸送用)の取り外し作業時における三次蓋の二次蓋への落下

a. 評価条件

閉じ込め機能を構成する一次蓋への影響を把握する観点から、三次蓋が二次蓋に落下して二次蓋中央部に集中荷重が発生し、二次蓋中央の変形が一次蓋へ直接影響を与える様な落下事象を想定する。

以下の評価条件のもと有限要素法コードABAQUSを用いて、金属キャスク閉じ込め境界部の応力評価を行った。(別添7-1図参照)

- ・モデル：三次元 180° モデル (ABAQUS)
- ・荷重条件：二次蓋を周辺固定の円板として二次蓋中央に集中荷重が作用したものとして、その変形量から荷重を設定
- ・三次蓋のつり上げ高さはキャスク上端フランジ面から 10cm とする
- ・三次蓋を剛とする (三次蓋の変形を無視)
- ・輸送時温度に対応した物性値を使用



別添7-1図 三次蓋落下のイメージ

b. 評価結果

二次蓋は一次蓋側に変形するが二次蓋の一次蓋への接触は生じることはなく、また、閉じ込め境界部である一次蓋端部、本体胴フランジ部及び一次蓋ボルトの発生応力はいずれも小さく弾性範囲内であり、閉じ込め機能の健全性は確保され放射性物質の放出はない。

三次蓋質量：約 2×10^3 kg

二次蓋への衝撃力：約 3.0×10^6 N

二次蓋中央変位量：約 1.1 mm（一次蓋への荷重作用なし）

各部応力評価結果：

部位	応力分類*1	計算値 (MPa)	許容応力 (MPa)	温度 (°C)
一次蓋端部	PL+Pb+Q	約 70	186	110
胴フランジ 一次蓋側	PL+Pb+Q	約 30	184	130
二次蓋端部	PL+Pb+Q	約 40	236	110
胴フランジ 二次蓋側	PL+Pb+Q	約 70	184	130
一次蓋ボルト	$\sigma_m + \sigma_b$	約 340*2	848	110
二次蓋ボルト	$\sigma_m + \sigma_b$	約 260*2	853	100

*1 PL：一次局部膜応力強さ、Pb：一次曲げ応力強さ、Q：二次応力強さ、 σ_m ：平均引張応力、 σ_b ：曲げ応力

*2 蓋ボルトについては応力で表示

(2) 二次蓋金属ガスケット交換作業時における二次蓋の一次蓋への落下

a. 評価条件

二次蓋のつり上げ高さをキャスク上端フランジ面から 10cm とした場合、二次蓋と胴フランジの構造から、二次蓋は胴フランジに接触し一次蓋上面に直接落下することはない（別添 7-2 図参照）が、保守的に二次蓋が直接一次蓋中央部に落下し集中荷重が発生する事象を想定する。