

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はないことから、工場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、航空機落下等による飛来物を設計上考慮する必要はない。

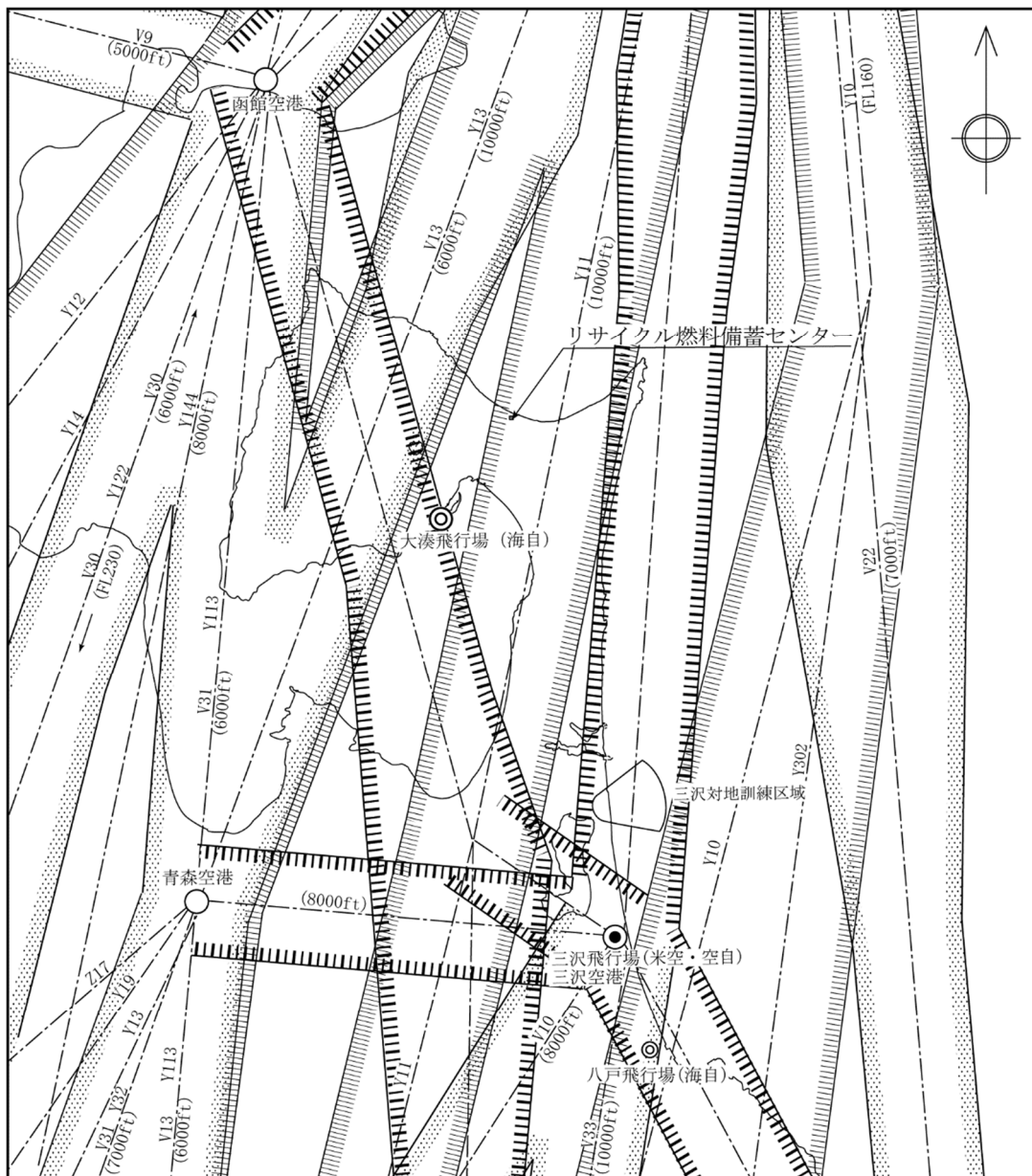
なお、最新の事故実績等を用いた評価については、別添2に示す。

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

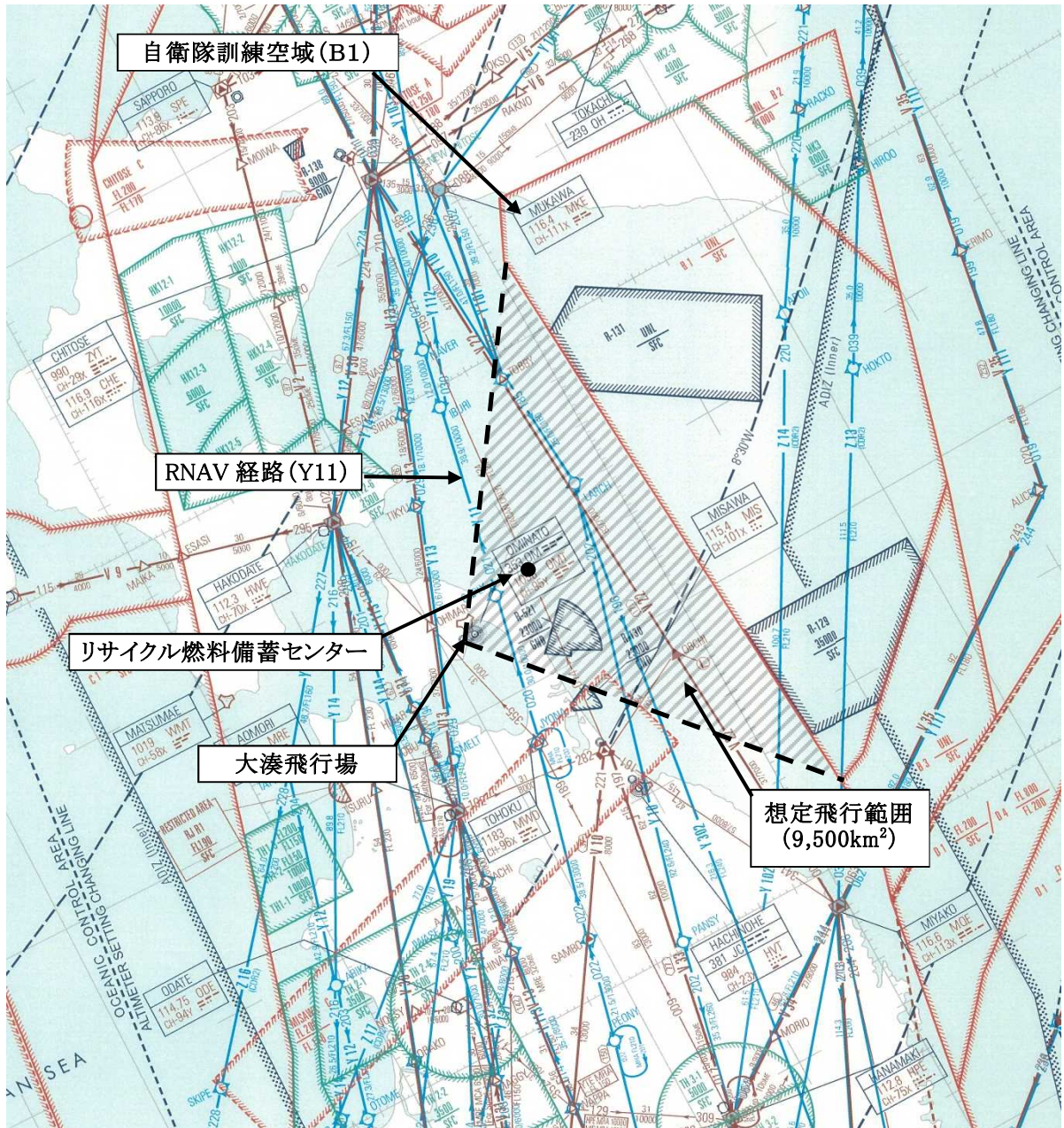


0 10 20km

凡 例	
	航空路 (ft)
	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 (km^2)

(= 29万 km^2 (自衛隊機)), (= 37万 km^2 (米軍機))

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

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9,500km²）^{*2}

A ：リサイクル燃料備蓄センターの標的面積（ $= 0.0081$ km²）

*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形状の区域面積（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。

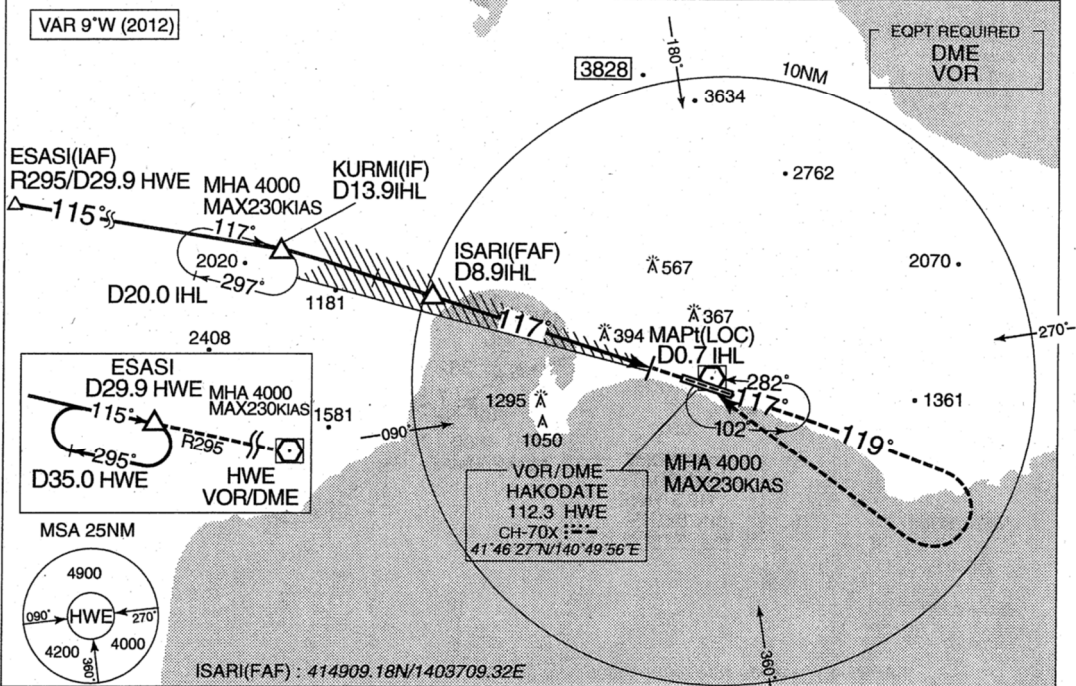
対象航空機	落下確率 (回／施設・年)
計器飛行方式民間航空機	約 9.20×10^{-10}
有視界飛行方式民間航空機	約 1.22×10^{-8}
自衛隊機及び米軍機	約 3.77×10^{-8}
合 計	約 5.1×10^{-8}

以 上

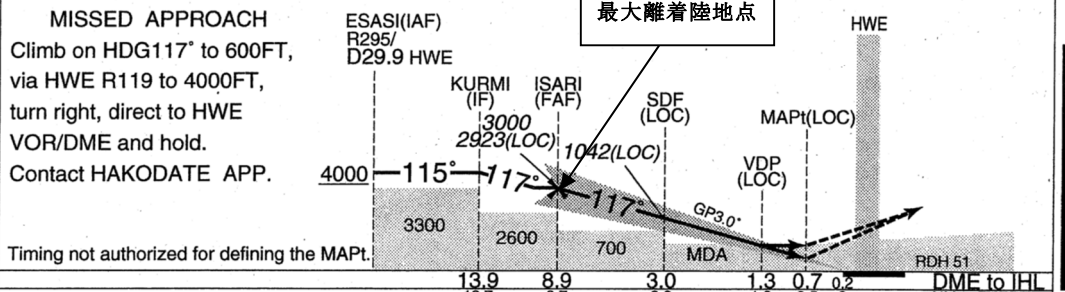
INSTRUMENT APPROACH CHART

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	-



Timing not authorized for defining the MAPt.

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

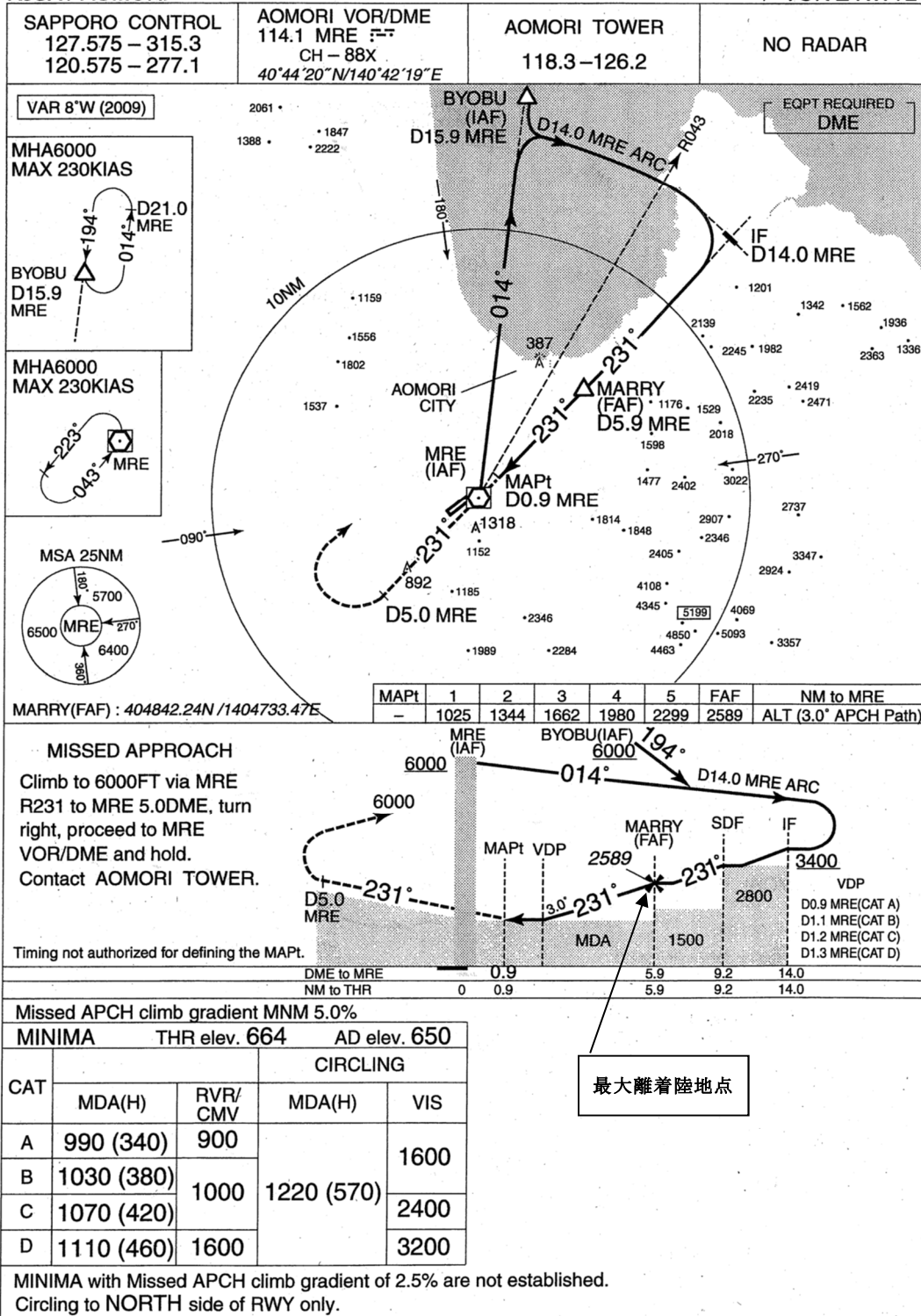
出典: AIP JAPAN 「AIP Part2 AD2 HAKODATE」より

11条(航空機落下) - 別添 1-6

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJSA / AOMORI

→ VOR Z RWY24



最大離着陸地点

別添 1 – 2 図 青森空港の最大離着陸地点

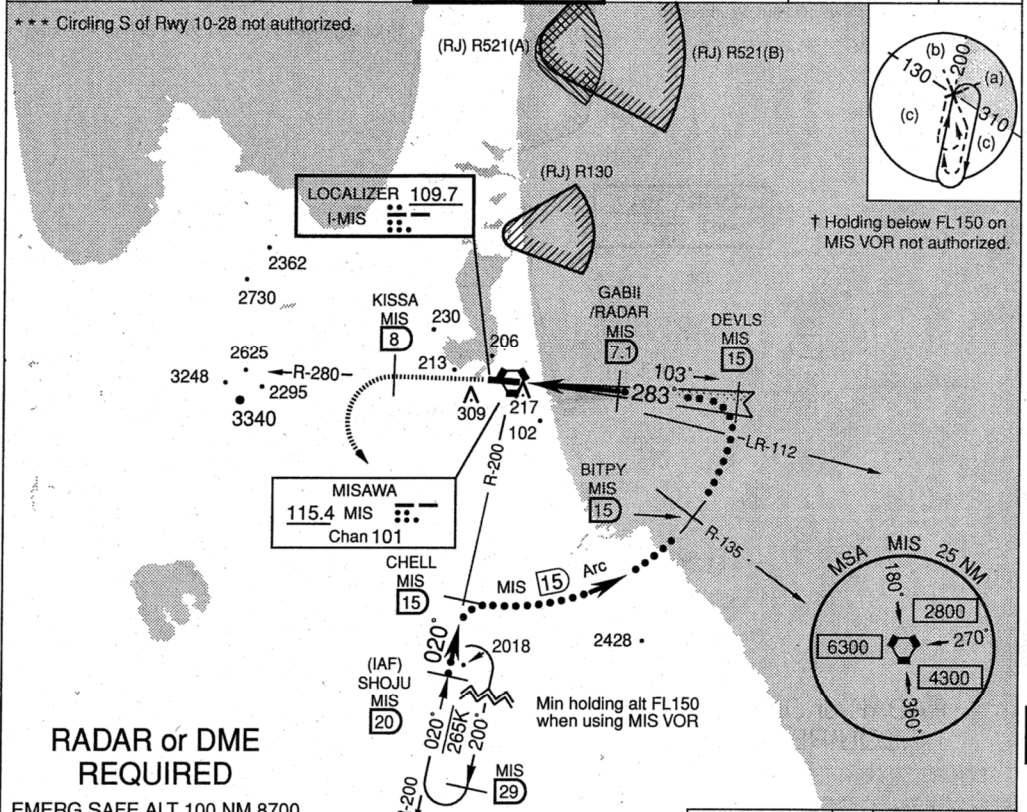
出典：AIP JAPAN 「AIP Part2 AD2 AOMORI」より

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.		ALSIF-1	† 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



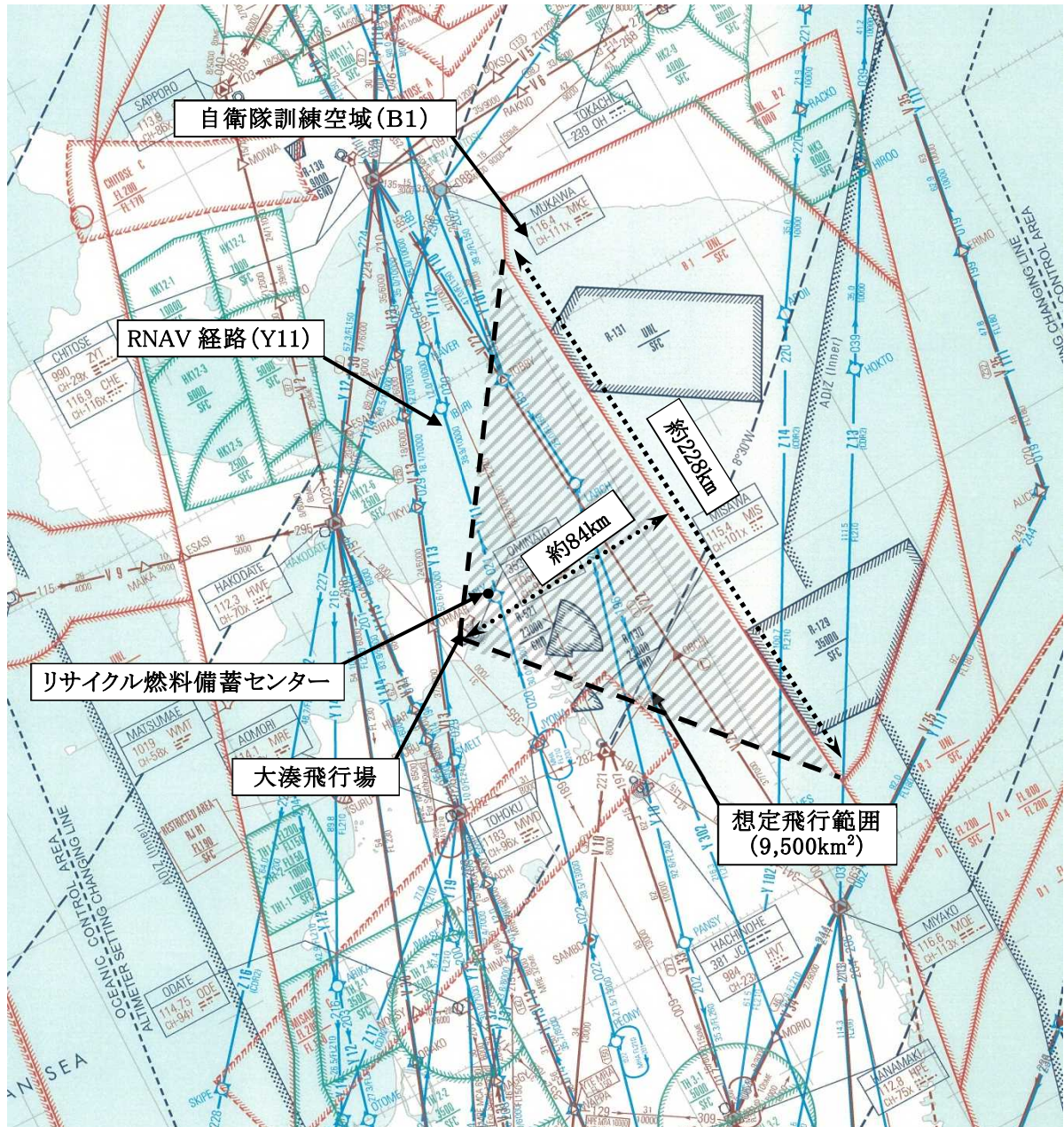
EMERG SAFE ALT 100 NM 8700		ELEV 119		THRE 94	
7000 MIS R-280	KISSA MIS B	SHOJU MIS 20	TLV FL TA 14,000	最大離着陸地点 (Maximum Landing Point)	
VORTAC	JORJE/RADAR 1.5	GABII/RADAR 7.1	DEVLS R-104 15	BITPY R-135 15	CHELL R-200 15
2000	283°	4000	7000	020°	FL200 7000
7 NM	8.2 NM	MIS Arc	GS 2.50'	TCH 54	283° 6.9 NM from FAF
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 1/2 461 (500-1 1/2)	680-2	561 (600-2)
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 12 条 使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入等の防止

<目 次>

1. 設計方針
2. 人の不法な侵入等の防止措置
3. 爆発性又は易燃性を有する物件等の持ち込みの防止措置
4. 特定核燃料物質の不法な移動及び持ち出しの防止措置
5. 不正アクセス行為の防止措置

1. 設計方針

使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入，郵便物等によるリサイクル燃料備蓄センター外からの爆発物や有害物質の持込み及び不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）に対し，これを防護するため，核物質防護対策として以下の措置を講じた設計とする。

(1) 人の不法な侵入の防止措置

- a. 区域を設定し，区域の境界を物理的障壁により区画し，侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。
- b. 探知施設を設け，警報，映像等，集中監視する設計とする。
- c. 外部との通信連絡設備を設け，関係機関等との通信連絡を行うことができる設計とする。
- d. 防護された区域内においても，施錠管理により，使用済燃料貯蔵施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な侵入を防止する設計とする。

(2) 爆発性又は易燃性を有する物件等の持込みの防止措置

- a. 区域を設定し，区域の境界を物理的障壁により区画し，侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。
- b. 区域の出入口において，使用済燃料貯蔵施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等によるリサイクル燃料備蓄センター外からの爆発物及び有害物質の持込みを含む。）が行われないように物品の持込み点検を行うことができる設計とする。

(3) 特定核燃料物質の不法な移動及び持ち出しの防止措置

- a. 区域を設定し，区域の境界を物理的障壁により区画し，侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。
- b. 探知施設を設け，警報，映像等，集中監視する設計とする。

(4) 不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）の防止措置

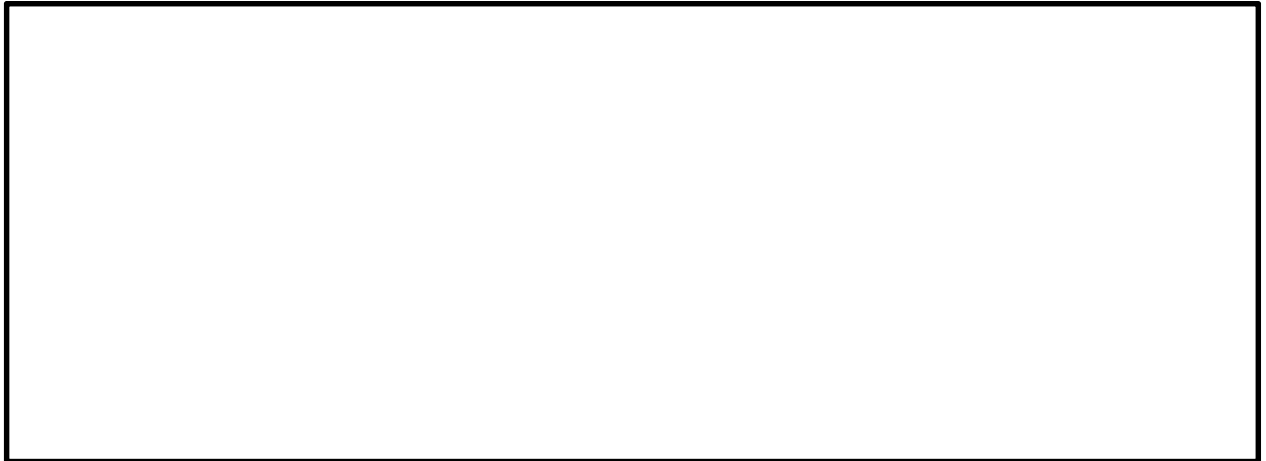
- a. 使用済燃料貯蔵施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムについては，電気通信回線を通じた当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。

2. 人の不法な侵入等の防止措置（第1図参照）

使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入を未然に防止するため使用済燃料貯蔵施設周辺に柵を多重に設け、その内側に堅固な障壁の使用済燃料貯蔵建屋を配置する。柵は自立式の立入制限区域境界柵及び周辺防護区域境界柵で構成する。

立入制限区域境界柵はコンクリート製又は鋼製、周辺防護区域境界柵は鋼製で人が容易に侵入できない高さ及び構造とする。

使用済燃料貯蔵施設への常時立入者及び常時立入者以外の者に対して、身分及び立入りの必要性を確認のうえ立入りを認めたことを証明するIDカード等を発行し、これを立入りの際に所持させ、立入りの間は、常に胸部等の容易に確認できる部位に取り付けさせる。



3. 爆発性又は易燃性を有する物件等の持ち込みの防止措置

使用済燃料貯蔵施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を加え、又は施設等に対する妨害破壊行為の用に供され得る物件が持ち込まれることを防止するため、立入制限区域境界において車両検査及び手荷物検査を実施する。

業務用の車両については、立入制限区域及び周辺防護区域に立ち入る車両について、必要性を確認のうえ立入りを認めたことを証明する証明書等を発行し、これを立入りの際に掲示させ、車両内外の検査を実施してから定められた場所に駐車させる。

4. 特定核燃料物質の不法な移動及び持ち出しの防止措置

使用済燃料貯蔵施設で貯蔵する特定核燃料物質を収納した金属キャスクの不法な移動及び持ち出し防止を以下のように実施する。

4.1 金属キャスクを移動する際の対応

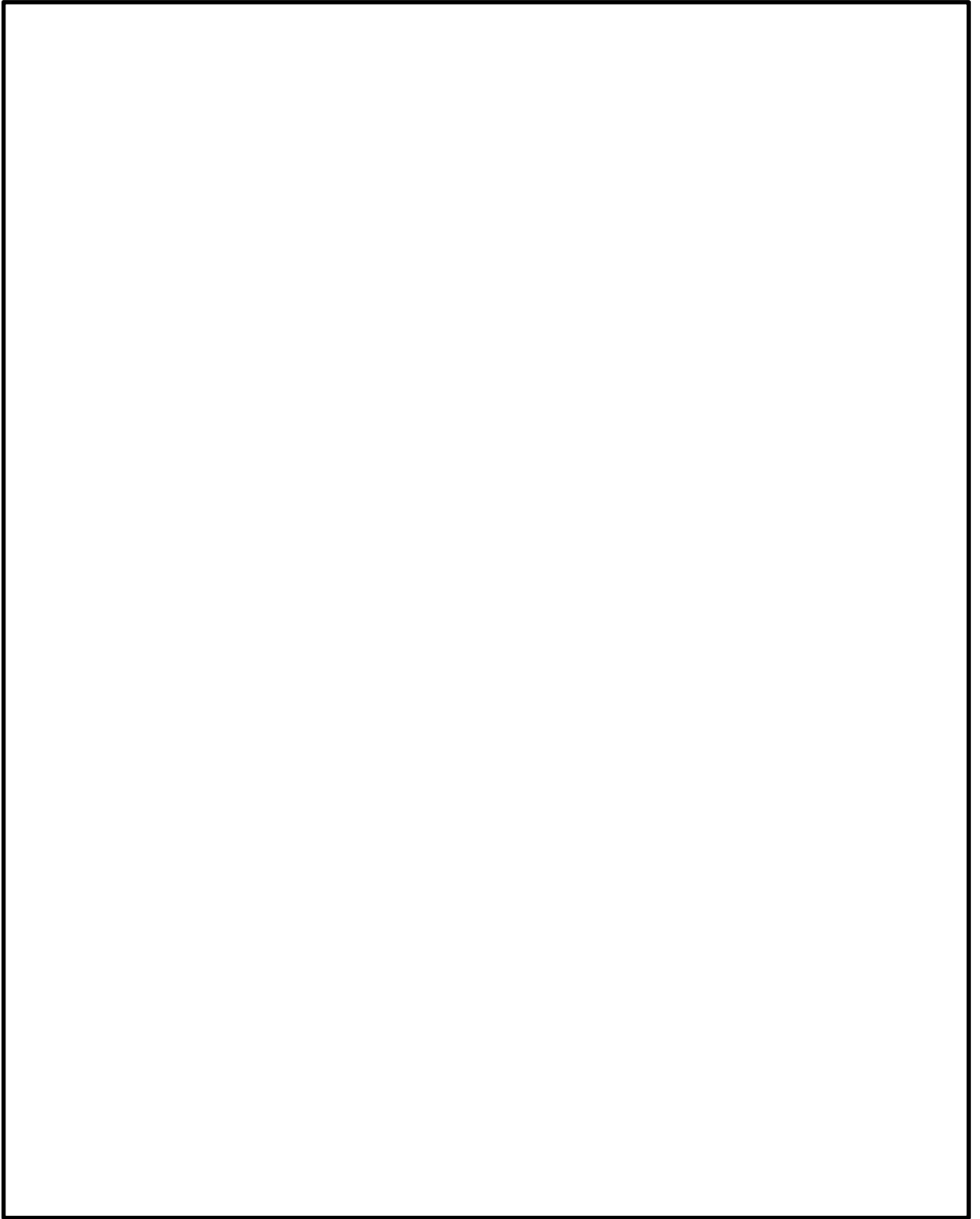
A large rectangular area that has been redacted, leaving it completely blank.

4.2 外部の人による金属キャスクの不法な移動への対応

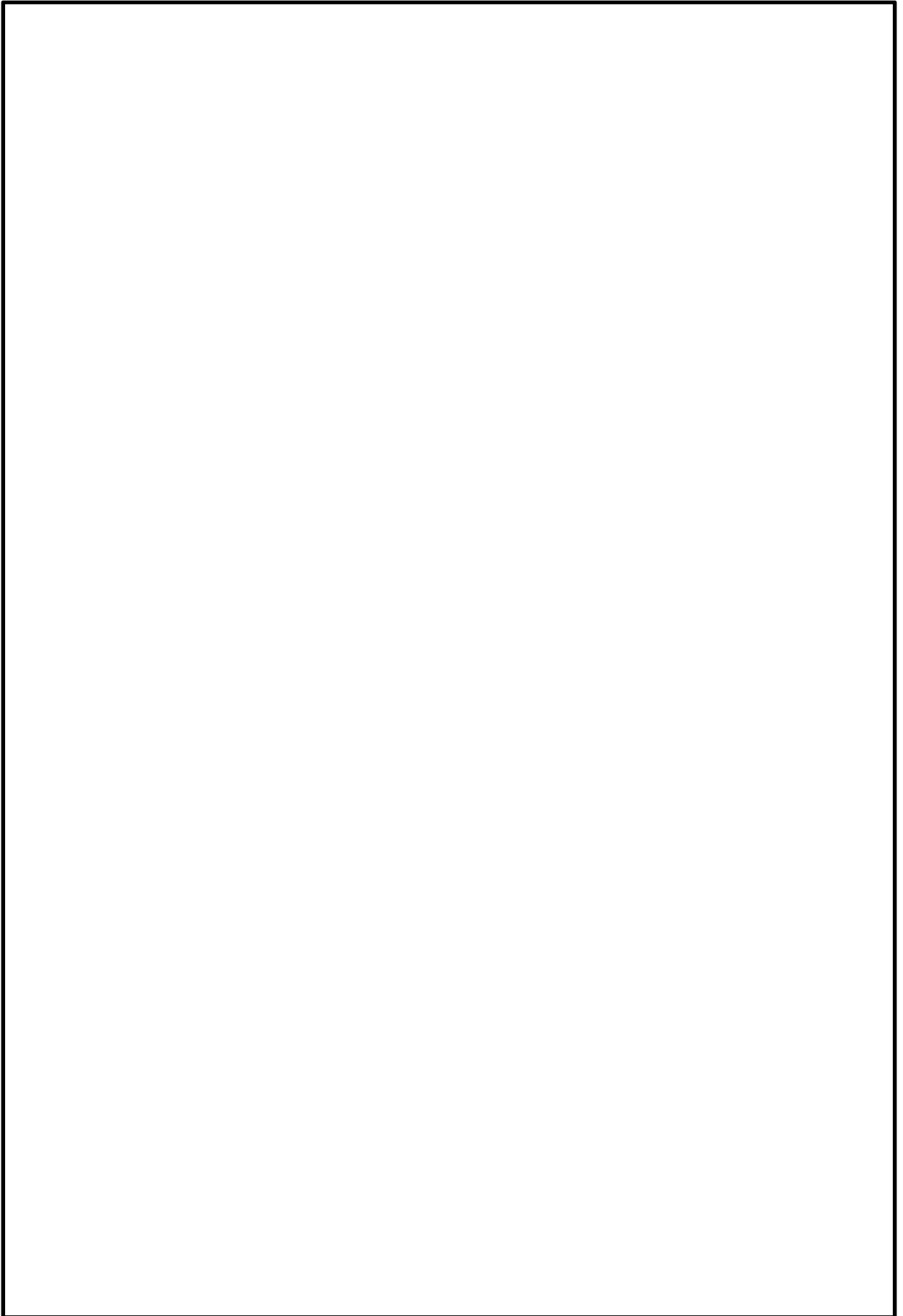
A very large rectangular area that has been redacted, leaving it completely blank.

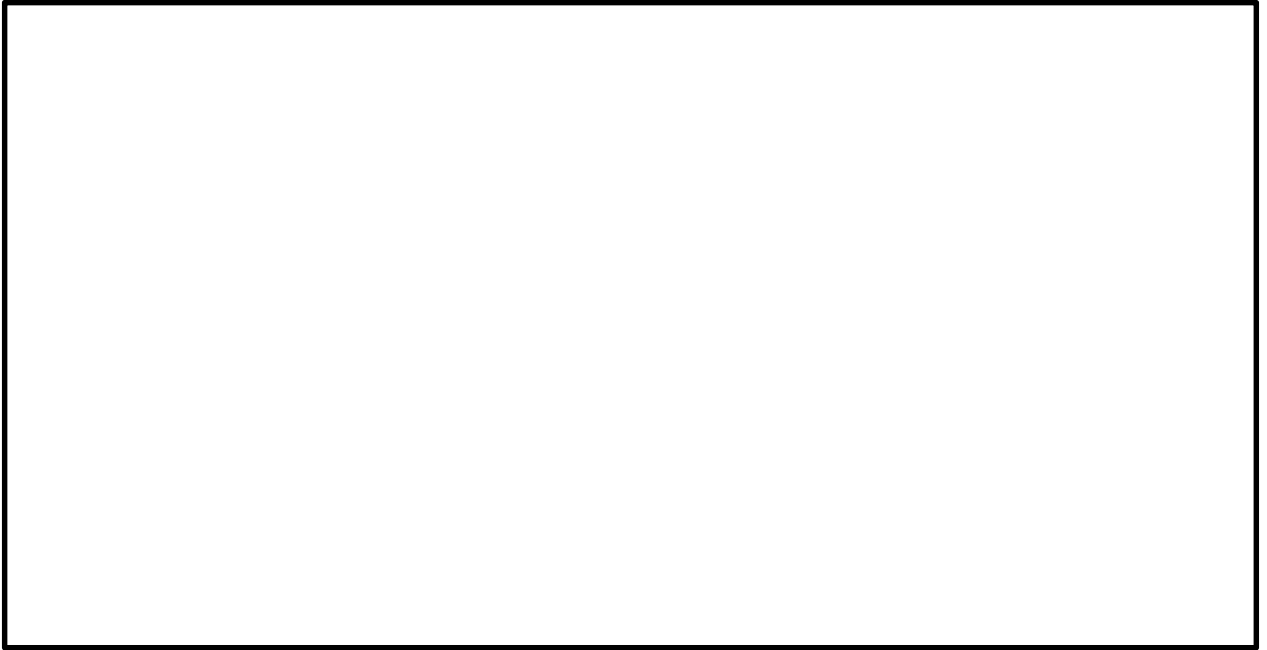
4.3 敷地内の人による金属キャスクの不法な移動への対応

(1) 人の出入管理

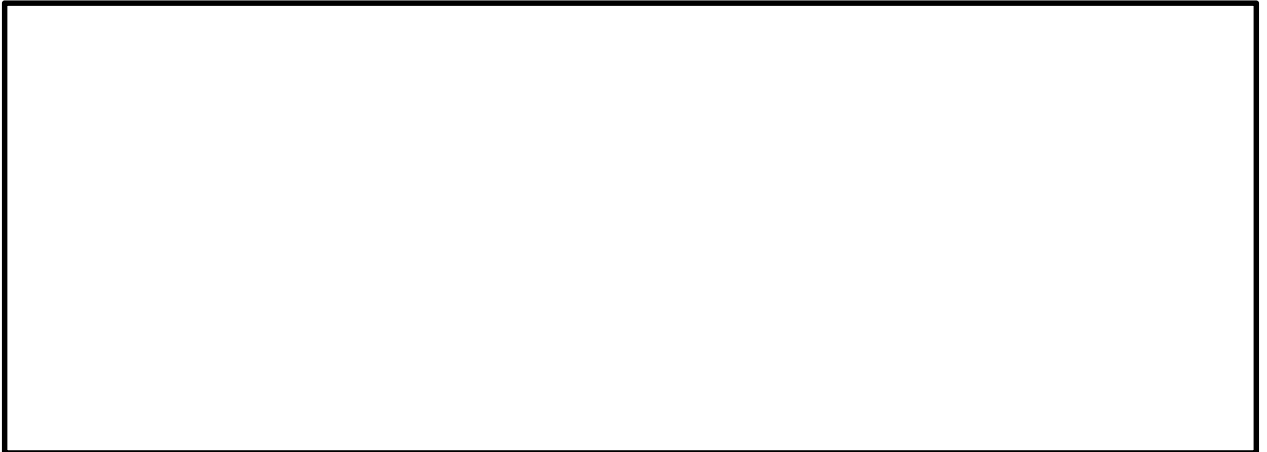


(2) 車両及び持込物品の出入管理



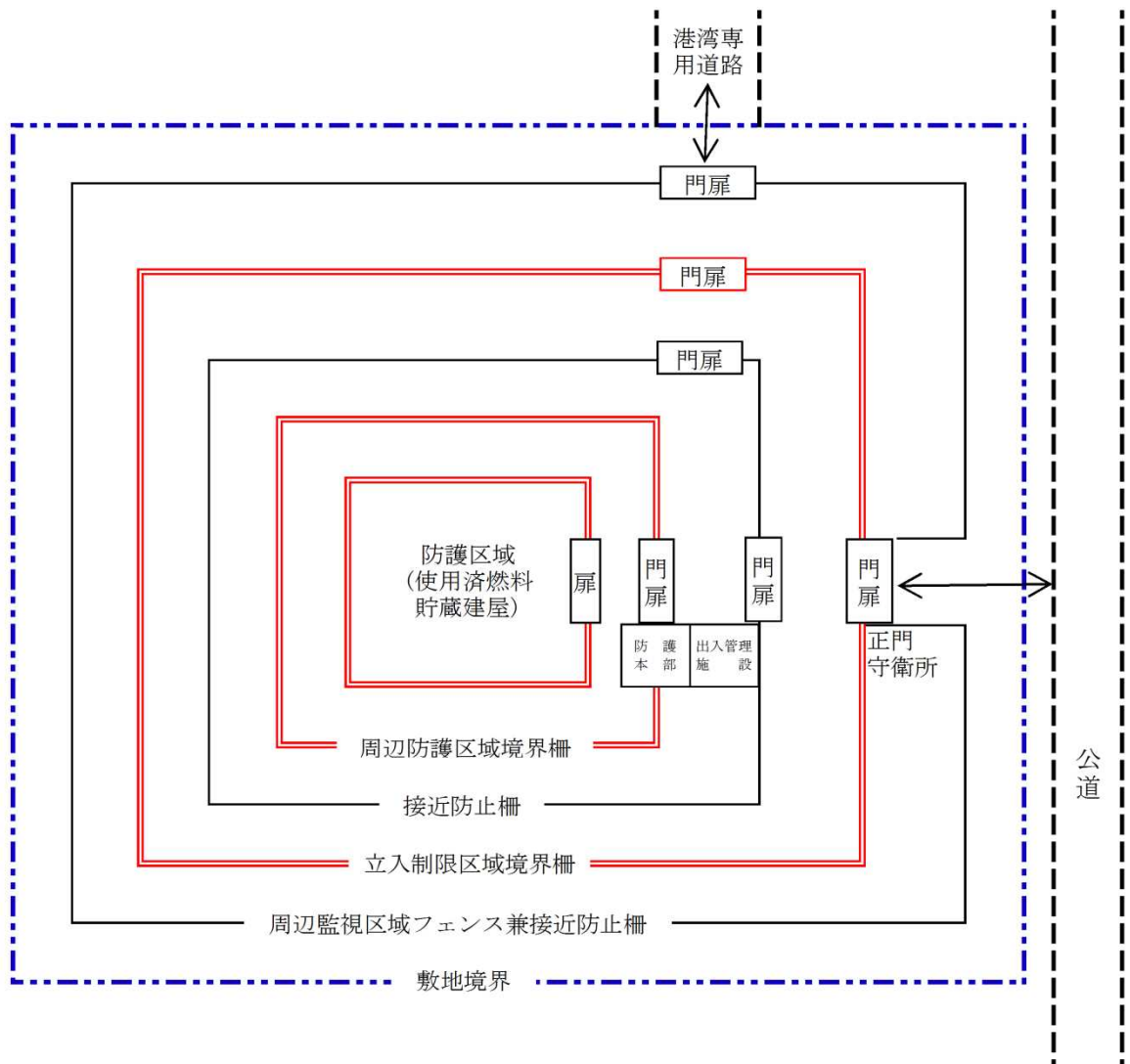


(3) 作業管理及び監視等

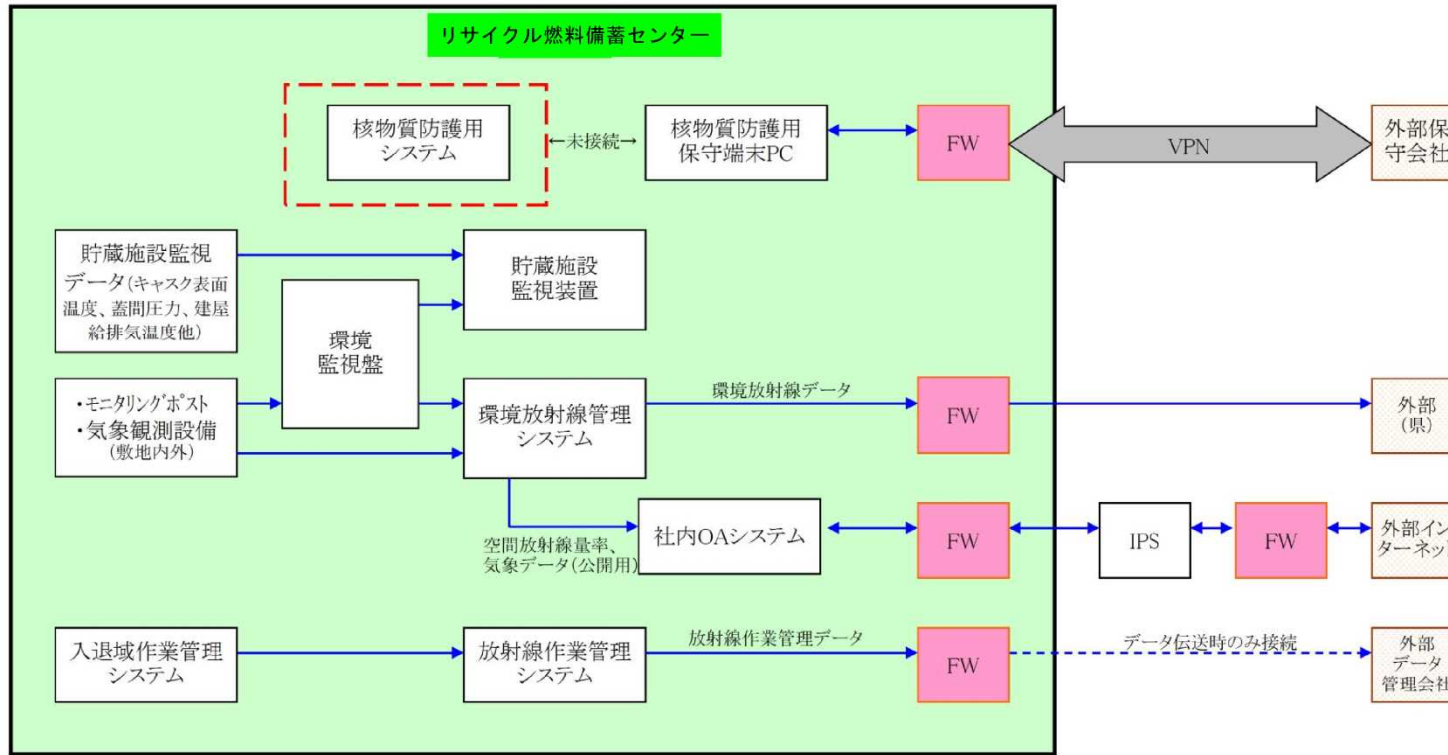


5. 不正アクセス行為の防止措置（第2図参照）





第1図 人の不法な侵入等防止設備構成概念図



凡例:

— 物理的に遮断 (接続なし)

FW:Fire Wall

VPN:Virtual Protection Network (専用回線)

IPS:intrusion Protection System (内部ネットワーク防御システム)

第2図 情報システム防護概念図

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) 安全機能を有する施設は、本使用済燃料貯蔵施設以外の原子力施設との間で共用しない設計とする。また、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）は本使用済燃料貯蔵施設内で共用しない設計とする。

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及び搬送台車をいう。

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、人の不法な侵入等防止設備をいう。

- (2) 安全機能を有する施設の設計、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等に準拠する。
- (3) 安全機能を有する施設は、設計貯蔵期間を通じて、基本的安全機能及び安全機能を確保するための検査又は試験及び同機能を健全に維持するための保守又は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。
- (4) 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及び修理等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。

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の解釈第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、以下のように分類するものとする。

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。

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に応じて分類する。

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及び搬送台車である。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、第1表のとおりである。

(2) 安全機能を確保するための設計

安全機能を有する施設は、設計貯蔵期間を通じて、基本的安全機能及び安全機能を確保するための検査又は試験及び同機能を健全に維持するための保守又は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。

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及び修理等ができる設計とする。

また、法定検査に加え、保全プログラムに基づく点検が実施可能な設計とする。

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とともに、保守及び修理ができる設計とする。

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検査及び試験並びに保守及び修理が行える設計とする。

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する。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作業性を考慮した設計とする。（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、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。具体的には，定期点検，作業前点検が支障なく出来るよう作業性を考慮した設計とする（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（1/4）

設備・機器名称	事業許可申請本文 (注1)	事業許可申請添付 (注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)		基本的安全機能を確保する上で必要な施設 (事業許可基準規則解釈 第9条の2)		事業許可基準規則に対する適合性																
				「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。		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）		第三条 (臨界防止)	第四条 (遮蔽)	第五条 (閉じ込め)	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)	第十三条 (安全機能)	第十五条 (金属キャスク)	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 (放射線管理施設)	第二十条 (予備電源)	第二十一条 (通信連絡)	
				評価	理由	評価	理由																	
使用済燃料貯蔵設備本体	金属キャスク	○	○	(1) 臨界防止機能（使用済燃料が臨界に達することを防止する機能） (2) 遮蔽機能（公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすことのないよう、金属キャスクに封入された使用済燃料等からの放射線を遮蔽する機能） (3) 閉じ込め機能（公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすことのないよう、金属キャスクに封入された使用済燃料等を閉じ込める機能） (4) 除熱機能（使用済燃料の健全性及び金属キャスクを構成する部材の健全性を維持するよう、金属キャスクに封入された使用済燃料等の崩壊熱を除去する機能）	○	基本的安全機能を有する施設であり、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であることから「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当する。	臨界防止	(1) 事業所周辺の線量低減 (2) 放射線障害防止	閉じ込め	崩壊熱除去	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	金属キャスク	—	—	—	—	—	—
	貯蔵架台	○	○	金属キャスクを床面に固定するための支持構造物としての機能	○	貯蔵時等の金属キャスクの転倒防止のための支持構造物であり、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。	○	貯蔵時等の金属キャスクの転倒防止機能を喪失することにより、金属キャスクの基本的安全機能を損なうおそれがあることから「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当する。	—	—	—	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	—	—	—	—	—	—
使用済燃料の受入施設	受入れ区域天井クレーン	○	○	金属キャスクをつり上げ、トレーラトラック、仮置架台及びたて起こし架台との間を移送をする機能	○	使用済燃料の受入施設であり、金属キャスクの落下等を防止する機能を有しており、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。	○	使用済燃料の受入施設であり、金属キャスクの落下等を防止することにより、金属キャスクの基本的安全機能を損なうおそれがあることから「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当する。	—	—	—	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	受入施設	—	—	—	—	—
	搬送台車	○	○	貯蔵架台に固定された金属キャスクを受入れ区域と貯蔵区域との間を移送する機能	○	使用済燃料の受入施設であり、金属キャスクの転倒等を防止する機能を有しており、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。	○	使用済燃料の受入施設であり、金属キャスクの転倒等の防止機能を喪失することにより、金属キャスクの基本的安全機能を損なうおそれがあることから「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当する。	—	—	—	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	受入施設	—	—	—	—	—
	圧縮空気供給設備	○	○	搬送台車等を駆動するための圧縮空気を供給する機能	○	受入れ区域と貯蔵区域との間の金属キャスク移送時に搬送台車等の駆動用圧縮空気を供給するための施設であり、安全性を確保するために必要な機能を有する。	×	受入れ区域と貯蔵区域との間の金属キャスク移送時に搬送台車等の駆動用圧縮空気を供給するための施設であり、圧縮空気供給設備が破損しても金属キャスクの基本的安全機能に影響を与えないよう搬送台車等の設計を行っていること等により、当該施設の機能喪失が基本的安全機能へ影響を及ぼすことはないことから、「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	—	—	—	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	受入施設	—	—	—	—	—

注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
注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(注1)	事業許可申請添付(注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)		基本的安全機能を確保する上で必要な施設 (事業許可基準規則解釈 第9条の2)		事業許可基準規則に対する適合性																
				評価	理由	評価	理由	第三条 (臨界防止)	第四条 (遮蔽)	第五条 (閉じ込め)	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)	第十三条 (安全機能)	第十五条 (金属キャスク)	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 (放射線管理施設)	第二十条 (予備電源)	第二十一条 (通信連絡)	
				評価	理由	評価	理由																	
使用済燃料の受入施設	仮置架台	○	○	貯蔵前又は搬出前の金属キャスクを一時的に仮置きする機能	○	貯蔵前又は搬出前の金属キャスクを一時的に仮置き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。	×	仮置架台に設置された金属キャスクは、輸送用緩衝体が取付けられた状態であり、仮置架台が破損して金属キャスクが落下しても基本的安全機能は維持できるため、「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	—	—	—	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	受入施設	—	—	—	—	—
	たて起こし架台	○	○	(1) 金属キャスクを貯蔵架台に設置する前にたて起こすため、又は搬出する前に横倒すための支持機能 (2) 金属キャスクのたて起こし時に、金属キャスクが転倒した場合の損傷防止機能	○	(1) 金属キャスクのたて起こし等の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。 (2) 金属キャスクのたて起こし時に、金属キャスクが転倒した場合に損傷を防止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。	×	(1) たて起こし架台は、金属キャスクをたて起こすための専用の架台であり、床面に衝撃吸収材が敷設されていることから、たて起こし架台が破損して金属キャスクが落下しても基本的安全機能は維持できるため、「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。 (2) 衝撃吸収材は、衝撃吸収のための木材が充填された、床面ビッドに固定せずに配置された金属製の静的筐体であり、外観から機能維持を確認可能である。また、たて起こし作業における金属キャスクの転倒等が発生しない限り衝撃吸収機能は維持されることから本来の機能を果たす前に衝撃吸収機能を喪失することはない。したがって「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	—	—	—	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	受入施設	—	—	—	—	
	検査架台	○	○	金属キャスクの検査をするための作業用足場としての機能	○	金属キャスクを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。	×	検査架台は金属キャスクを検査するための作業員足場であり、当施設の機能喪失が基本的安全機能へ影響を及ぼすことはないことから、「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	—	—	—	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	受入施設	—	—	—	—	—
計測制御系統施設	蓋間圧力監視装置	○	○	使用済燃料貯蔵施設の監視のために金属キャスクの蓋間圧力、表面温度及び使用済燃料貯蔵建屋の給排気温度に係る計測、指示、記録及び警報の機能	○	金属キャスクの蓋間圧力、表面温度及び使用済燃料貯蔵建屋の給排気温度を監視、測定するための施設であり、当施設の機能喪失が基本的安全機能へ影響を及ぼすことはないことから、「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	×	金属キャスクの蓋間圧力、表面温度及び使用済燃料貯蔵建屋の給排気温度を監視、測定するための施設であり、当施設の機能喪失が基本的安全機能へ影響を及ぼすことはないことから、「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	—	—	—	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	—	計測制御	—	—	—	—
	表面温度監視装置																							
	給排気温度監視装置																							

注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
 注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 (3/4)

設備・機器名称			事業許可申請本文 (注1)	事業許可申請添付 (注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)		基本的安全機能を確保する上で必要な施設 (事業許可基準規則解釈 第9条の2)		事業許可基準規則に対する適合性															
						評価	理由	評価	理由	第三条 (臨界防止)	第四条 (遮蔽)	第五条 (閉じ込め)	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)	第十三条 (安全機能)	第十五条 (金属キャスク)	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 (放射線管理施設)	第二十条 (予備電源)	第二十一条 (通信連絡)
放射性廃棄物の廃棄施設	液体廃棄物の廃棄施設	○	○	(1) 管理区域内で発生する放射性の液体廃棄物及び固体廃棄物をドラム缶, ステンレス製の密封容器に封入して保管廃棄する機能 (2) 放射性廃棄物の拡大防止機能	○	使用済燃料貯蔵施設において金属キャスク等に汚染があった場合に, 除染等で使用したウエス, 除染水の保管廃棄, 並びに放射性廃棄物の拡大防止のための施設であり, 安全性を確保するために必要な機能を有する。	×	金属キャスク等に万一表面汚染があった場合に, 除染等で使用したウエス, 除染水を保管廃棄するための施設であり, 当施設の機能喪失が基本的安全機能へ影響を及ぼすことはないことから, 「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	—	—	閉じ込め	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理 (3) 共用	—	—	—	保管廃棄	—	—	—	
	固体廃棄物の廃棄施設																								
放射線管理施設	屋内管理用設備	放射線管理関係設備	○	○	使用済燃料貯蔵施設における管理区域への出入管理, 放射線業務従事者の個人被ばく管理のための機能	○	使用済燃料貯蔵施設における管理区域内の放射線の監視等のための施設であり, 安全性を確保するために必要な機能を有する。	×	使用済燃料貯蔵施設における管理区域内の放射線の監視等のための施設であり, 当施設の機能喪失が基本的安全機能へ影響を及ぼすことはないことから, 「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	—	—	—	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	—	—	—	放射線管理施設	—	—
		放射線監視設備			使用済燃料貯蔵施設における管理区域内の外部放射線量率を監視, 測定する機能																				
	屋外管理用設備	○	○	リサイクル燃料備蓄センターから環境へ放出される放射線を監視, 測定する機能	○	リサイクル燃料備蓄センターにおいて環境へ放出される放射線を監視, 測定するための施設であり, 安全性を確保するために必要な機能を有する。	×	リサイクル燃料備蓄センターにおいて環境へ放出される放射線を監視, 測定するための施設であり, 当施設の機能喪失が基本的安全機能へ影響を及ぼすことはないことから, 「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	—	—	—	—	崩壊熱除去	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	—	—	—	—	—	—	
その他使用済燃料貯蔵設備の附属施設	使用済燃料貯蔵建屋	○	○	・金属キャスク表面に伝えられた使用済燃料等の崩壊熱を自然換気方式により除去する機能 ・金属キャスク表面からの放射線をコンクリート壁等で遮蔽する機能	○	・遮蔽機能及び除熱機能の一部を担っている施設であり, 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。	○	当施設の機能喪失により, 基本的安全機能の遮蔽機能及び除熱機能の一部を損なうおそれがあることから「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当する。	—	(1) 事業所周辺の線量低減 (2) 放射線障害防止	—	崩壊熱除去	(1) 火災発生防止 (2) 火災影響軽減	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	—	—	—	—	—	—	

注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
 注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（4/4）

設備・機器名称	事業許可申請本文 (注1)	事業許可申請添付 (注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)		基本的安全機能を確保する上で必要な施設 (事業許可基準規則解釈 第9条の2)		事業許可基準規則に対する適合性																	
				「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。		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）		第三条 (臨界防止)	第四条 (遮蔽)	第五条 (閉じ込め)	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)	第十三条 (安全機能)	第十五条 (金属キャスク)	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 (放射線管理施設)	第二十条 (予備電源)	第二十一条 (通信連絡)		
				評価	理由	評価	理由																		
その他使用済燃料貯蔵設備の附属施設	電気設備	○	○	(1) 使用済燃料貯蔵施設の操作、監視等に必要電源を供給する機能 (2) 外部電源喪失時に無停電電源装置から電源を供給する機能	○	使用済燃料貯蔵施設の監視機能等各負荷に電源を供給するための施設であり、安全性を確保するために必要な機能を有する。	×	使用済燃料貯蔵施設の監視機能等各負荷に電源を供給するための施設であり、金属キャスクの基本的安全機能に影響を与えないようにクレーン、搬送台車の設計を行っていること等により、当施設の機能喪失が基本的安全機能へ影響を及ぼすことはないことから「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	—	—	—	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	—	—	—	—	—	予備電源	—
	通信連絡設備	○	○	リサイクル燃料備蓄センター内外の必要箇所との連絡を行う機能	○	非常時においてリサイクル燃料備蓄センターの内部・外部へ連絡するための施設であり、安全性を確保するために必要な機能を有する。	×	非常時においてリサイクル燃料備蓄センターの内部・外部へ連絡するための施設であり、当施設の機能喪失が基本的安全機能へ影響を及ぼすことはないことから、「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	—	—	—	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	—	—	—	—	—	—	通信連絡設備
	消防用設備	○	○	(1) 使用済燃料貯蔵施設において火災発生時に検知し、警報を発生する機能 (2) 使用済燃料貯蔵施設において火災発生時に消火活動をするための機能	○	使用済燃料貯蔵施設における火災の発生防止および影響緩和のための施設であり、安全性を確保するために必要な機能を有する。	×	使用済燃料貯蔵施設における火災の発生防止および影響緩和のための施設であり、当施設の機能喪失が基本的安全機能へ影響を及ぼすことはないことから、「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	—	—	—	—	(1) 火災発生防止 (2) 火災発生検知 (3) 火災の消火	耐震	自然現象対応	—	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	—	—	—	—	—	—	—
	人の不法な侵入等防止設備	△	△	(1) 使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入を防止する機能 (2) 使用済燃料貯蔵施設への危険物等の持ち込みを防止する機能	○	使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入防止、危険物等の持ち込み防止のための施設であり、安全性を確保するために必要な機能を有する。	×	使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入防止、危険物等の持ち込み防止のための施設であり、当施設の機能喪失が基本的安全機能へ影響を及ぼすことはないことから、「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」に該当しない。	—	—	—	—	火災発生防止	耐震	自然現象対応	不法侵入防止	(1) 検査・試験 (2) 保守・修理	—	—	—	—	—	—	—	—

注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
注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 金属キャスクについて検査段階ごとに行う検査項目

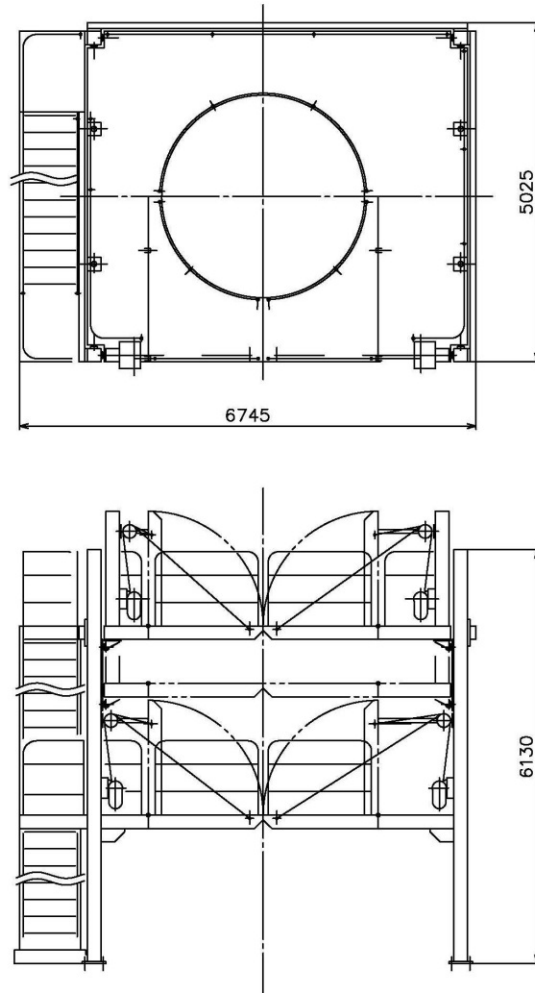
検査の段階		貯蔵前検査	貯蔵期間中検査		貯蔵後搬出前
確認項目	検査で確認する機能 検査項目	貯蔵	貯蔵	輸送 * 1	輸送 * 2
全般	外観検査	◎	◎	○	◎
密封機能	気密漏えい検査	○	—	○	◎
	圧力測定検査	○	—	—	○
	二重蓋間圧力検査	◎	○	—	—
遮蔽機能	遮蔽性能検査	—	□	○	—
	線量当量率検査	◎	—	—	◎
臨界防止機能	未臨界検査	○	○	○	○
除熱機能	伝熱検査	—	□	○	—
	温度測定検査	—	—	—	◎
	表面温度検査	◎	◎	—	—
構造強度	つり上げ検査	◎	—	○	◎
	重量検査	○	—	—	○
	据付検査	◎	—	—	—
使用済燃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

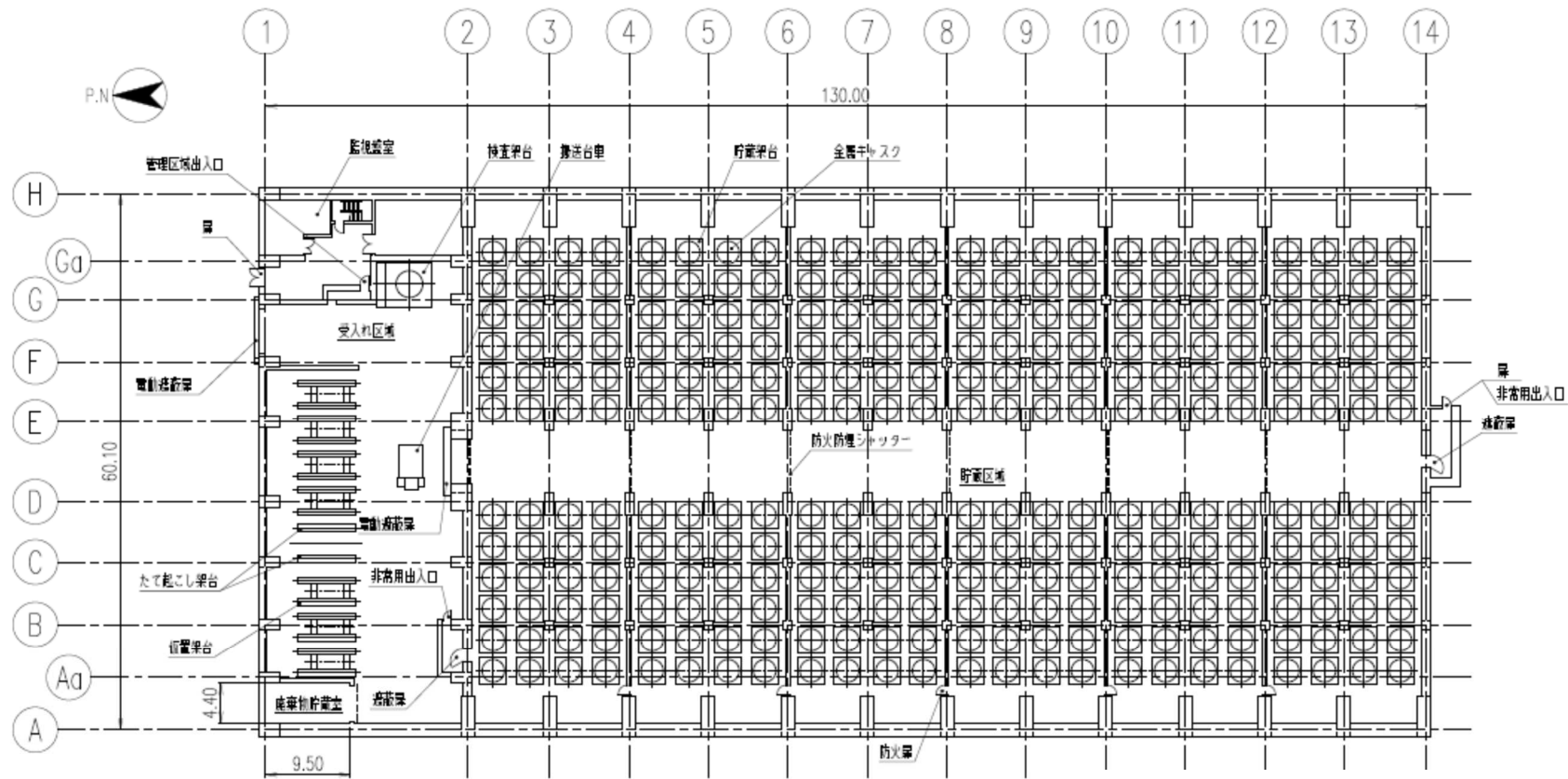
第3表 貯蔵期間中検査の具体的検査内容

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（代表キャスク）。
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（代表キャスク）。
	表面温度検査	貯蔵場所において，代表点として金属キャ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



T.P. + 16.3

- 注1：特記なき寸法はmを示す
- 注2：「T.P.」は東京湾平均海面を示す
- 注3：金属キャスク最大貯蔵時を示す
- 注4：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

第2図 機器配置図

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

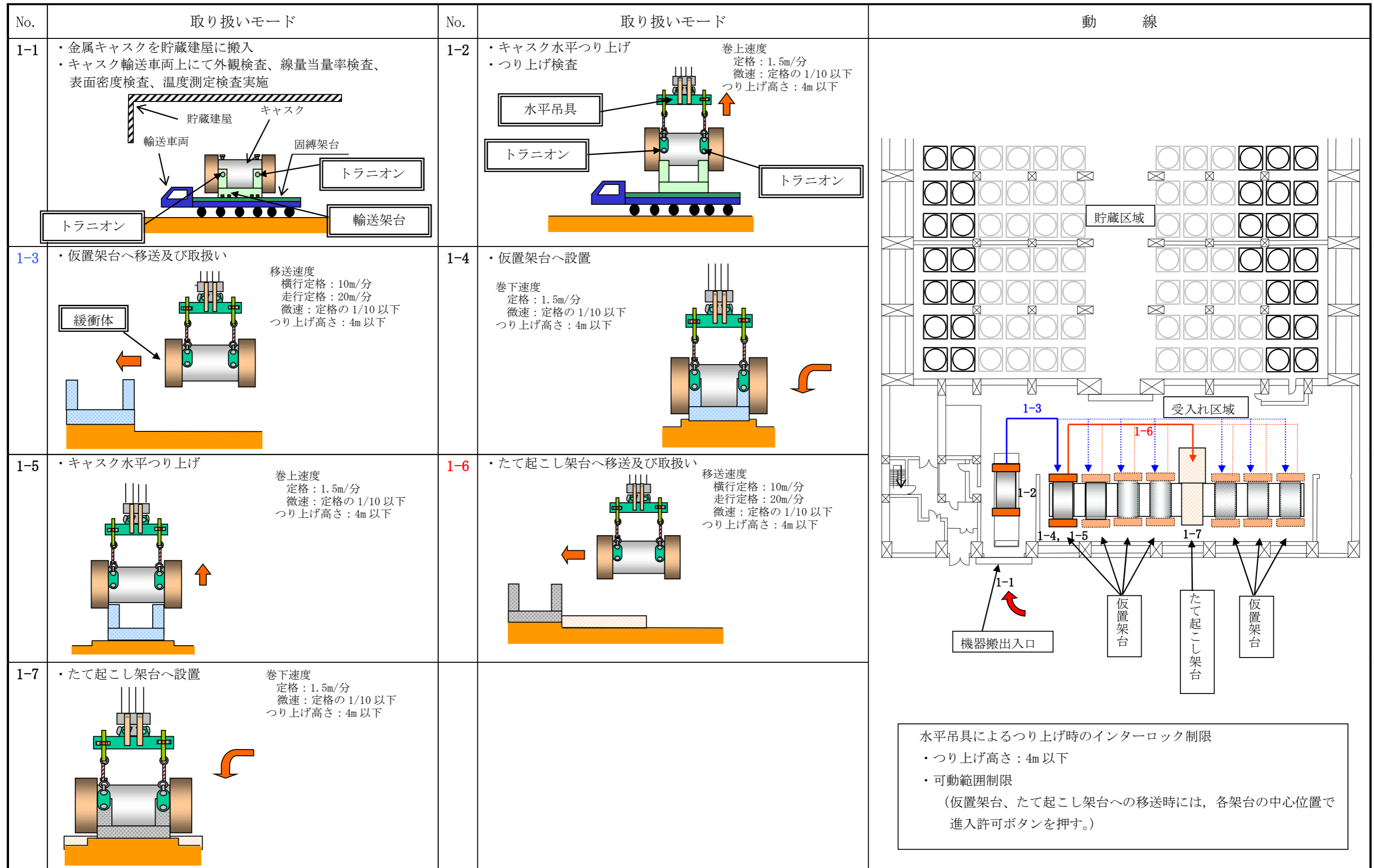
金属キャスクの受入れから貯蔵までの工程

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。

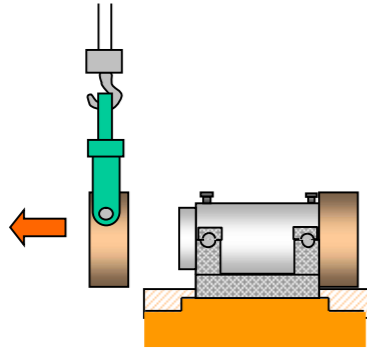
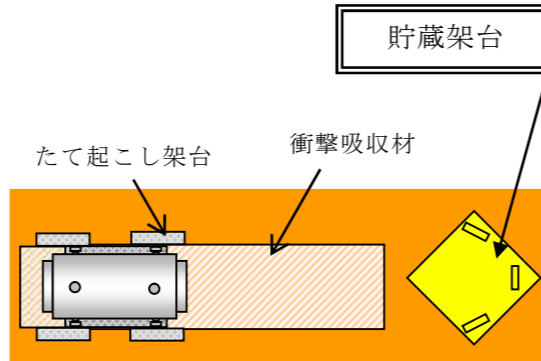
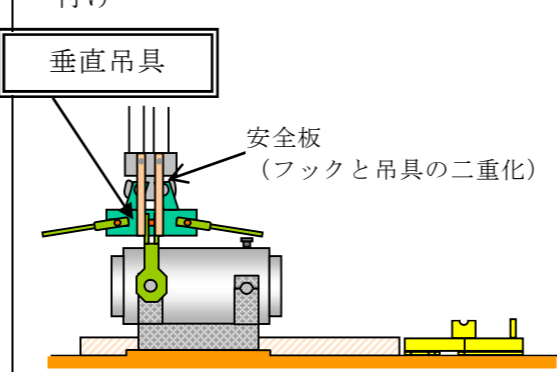
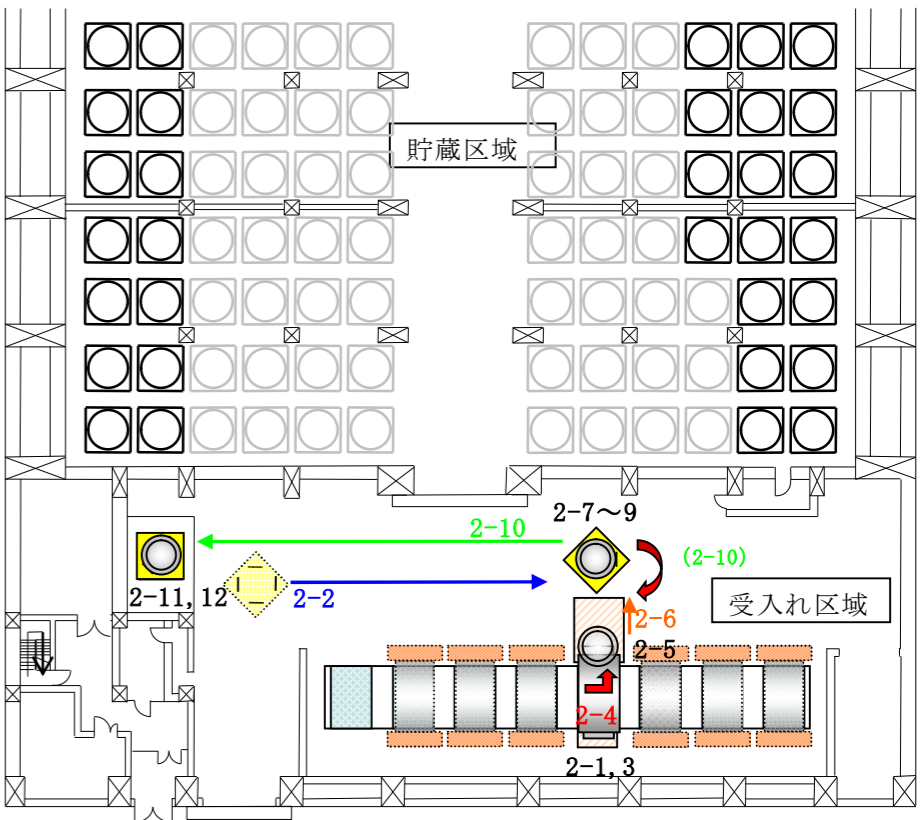
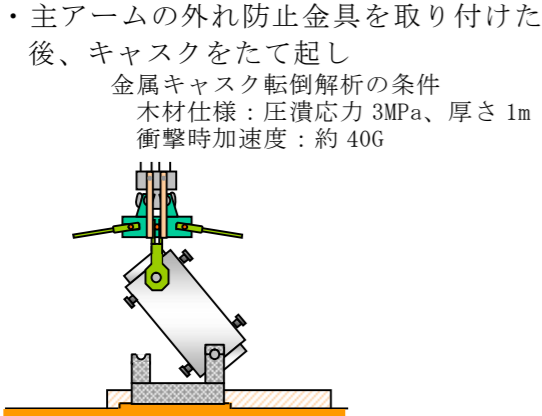
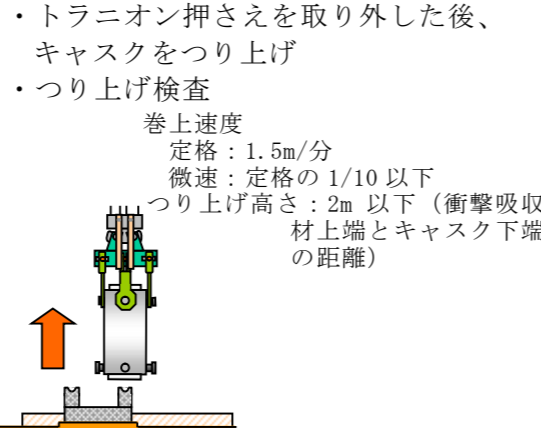
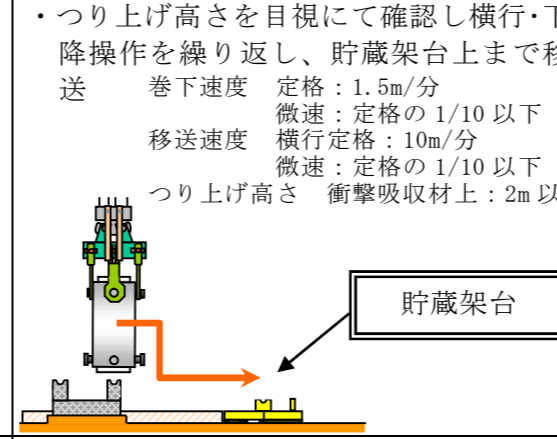
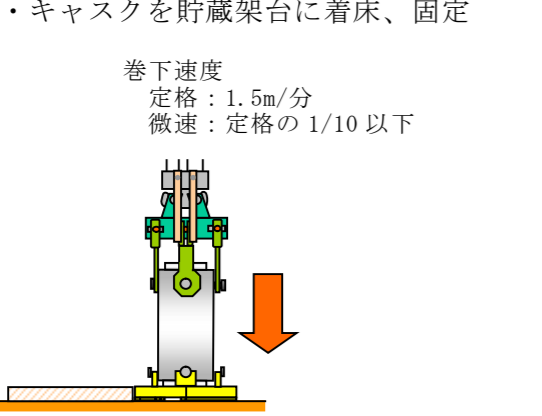
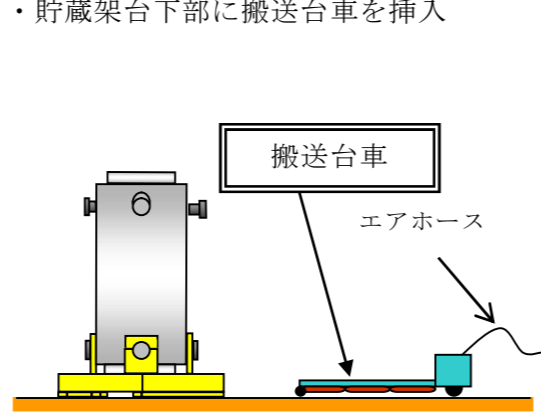
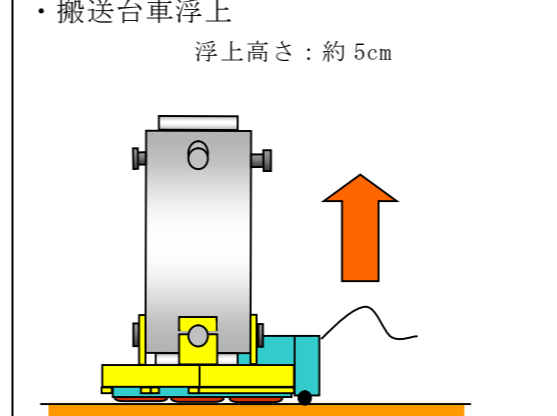
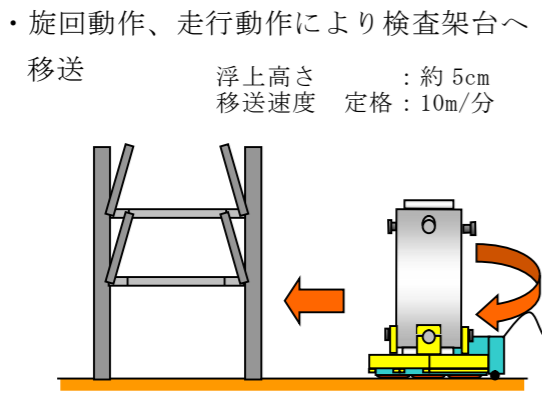
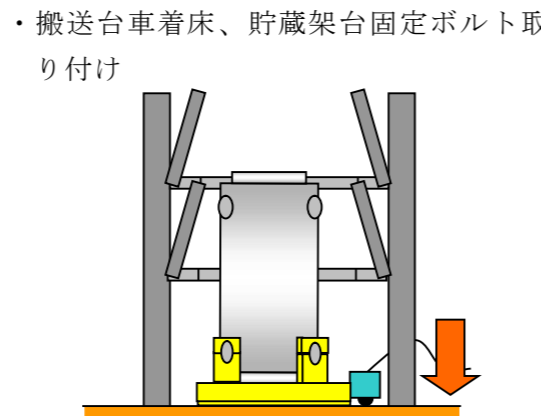
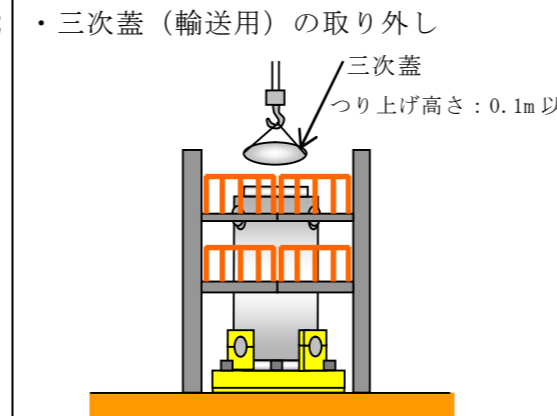
使用済燃料貯蔵施設における基本的な金属キャスクハンドリングフロー例（1 / 3）

1. 金属キャスクの受け入れ～金属キャスクの仮置き



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 (2/3)

2. 緩衝体取り外し～金属キャスクたて起こし～検査架台への移送及び取扱い

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
2-1	・緩衝体の取り外し 	2-2	・貯蔵架台をたて起こし架台付近に設置 	2-3	・吊具主アームを上部トラニオンに取り付け 	
2-4	・主アームの外れ防止金具を取り付けた後、キャスクをたて起こし 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 	2-5	・トラニオン押さえを取り外した後、キャスクをつり上げ ・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ャスク下端の距離) 	2-6	・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、貯蔵架台上まで移送 巻下速度 定格：1.5m/分 微速：定格の 1/10 以下 移送速度 横行定格：10m/分 微速：定格の 1/10 以下 つり上げ高さ 衝撃吸収材上：2m 以下 	
2-7	・キャスクを貯蔵架台に着床、固定 巻下速度 定格：1.5m/分 微速：定格の 1/10 以下 	2-8	・貯蔵架台下部に搬送台車を挿入 	2-9	・搬送台車浮上 浮上高さ：約 5cm 	
2-10	・旋回動作、走行動作により検査架台へ移送 浮上高さ：約 5cm 移送速度 定格：10m/分 	2-11	・搬送台車着床、貯蔵架台固定ボルト取り付け 	2-12	・三次蓋（輸送用）の取り外し 三次蓋 つり上げ高さ：0.1m 以下 	

補巻による緩衝体つり上げ時のインターロック制限

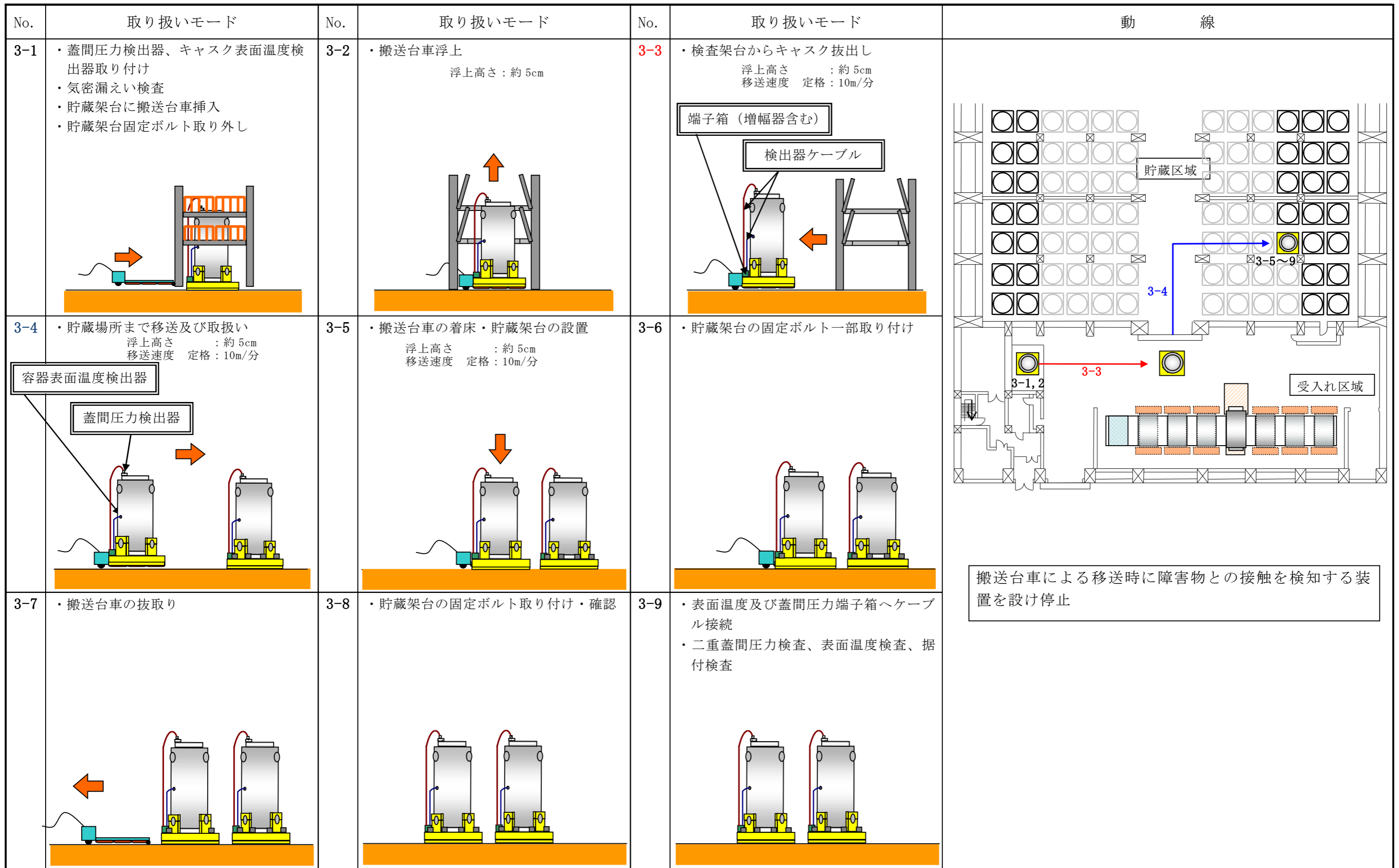
- ・可動範囲制限
 (可動範囲から仮置架台の設置位置を除き、たて起こし架台へは進入許可ボタンを押さない限り進入できない。)

垂直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：2m 以下
- ・可動範囲制限
 (たて起こし時は、金属キャスクを衝撃吸収材上方に維持するために、たて起こし架台の中心位置付近に移動を制限する。)

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（3 / 3）

3. 検査架台～貯蔵場所への設置



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な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、一次蓋を取り付け、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、二次蓋を取り付け、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

キャスク輸送車両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し、金属キャスクを貯蔵架台へ設置、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、表面温度及び使用済燃料貯蔵建屋給排気温度を連続監視している状態において、閉じ込め機能及び除熱機能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」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 起因事象の抽出

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
- (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

【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（受入れ区域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（受入れ区域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（受入れ区域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、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、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、貯蔵期間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

金属キャスク内部の真空乾燥不足を防止するため、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、クリプトンモニタによる燃料被覆管健全性の確認が行われる。

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、除熱機能への影響及びそれに伴う閉じ込め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

金属キャスク蓋部の取付不良を防止するため、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、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。

なお、これらの対策の他、原子炉設置者により、シール面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及び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及びつり具は、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ロープ、ブレーキ及びリミットスイッチは、故障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、受入れ区域天井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設計とする。
- 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、金属キャスクの移送及び取扱い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。

- d. の金属キャスクの4点つりについては、水平吊具はアーム1本の保持不良があった場合でも落下せず、垂直吊具は主アーム2本及び補アーム2本で二重化しており、主アームの保持不良があった場合でも補アームにより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及びつり具は、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ロープ、ブレーキ及びリミットスイッチは、故障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、金属キャスクの移送及び取扱い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ずることにより、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 3 MPa 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、急発進及び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、金属キャスクの移送及び取扱い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，たて起こし架台及び受入れ区域壁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ワイヤロープ，ブレーキ及びリミットスイッチは，故障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，金属キャスクの移送及び取扱い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，たて起こし架台及び受入れ区域壁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，たて起こし架台及び受入れ区域壁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，たて起こし架台及び受入れ区域壁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，たて起こし架台及び受入れ区域壁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（受入れ区域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ワイヤロープ及びブレーキは，故障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，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、金属キャスクの移送及び取扱い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、たて起こし架台及び貯蔵架台への金属キャスクの衝突の発生の可能性は極めて低く、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、たて起こし架台及び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他の構造物及び機器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、浮上高さを約5cm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、金属キャスク取扱時の他の構造物及び機器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、金属キャスクの移送及び取扱い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他の構造物及び機器への

衝突の発生の可能性は極めて低く，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他の構造物及び機器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，自重，地震荷重及び吊荷荷重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，金属キャスクの移送及び取扱い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及び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，自重，地震荷重及び吊荷荷重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，金属キャスクの移送及び取扱い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及び二次蓋の落下の発生の可能性は低いですが、三次蓋及び二次蓋は取り付け又は取り外しの作業を行う際に、つり具の保持不良により落下の発生の可能性があるため、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及び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及び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及び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フード下端の位置は地上高さ約 6 m、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 4 m、高さ約 3.5mであり、排気口の開口寸法は、幅約 8 m、高さ約 3 mである。また、風雨、ばい煙の影響を考慮し、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」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、可燃性物質の持ち込み制限により、使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域には可燃物を仮置きしない運用としており、使用済燃料貯蔵建屋

内で火災が発生したとしても、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を損なうことはない。

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、風（台風）、降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の仮想的な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。

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。

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なバードスクリーン及び排気ルーバの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。

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、構造健全性を維持することにより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。

敷地周辺の火山については、その活動性や敷地との位置関係から判断して、設計対応不可能な火山事象が使用済燃料貯蔵施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。

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. 使用済燃料貯蔵施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）

(a) 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。

(b) 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、陸上輸送用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、保守及び巡視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。

(c) 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である。また、敷地前面の海岸からの離隔は約 500mの位置にあり、十分な離隔を確保していることから、船舶の衝突を考慮する必要はない。

(d) 電磁的障害

使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料集合体を金属キャスクに収納

した状態で静的に貯蔵する施設であり、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ことから、電磁的障害を考慮する必要はない。

(e) 飛来物（航空機落下）

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。

(f) 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、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を、貯蔵される高圧ガスの種類及び貯蔵量から算出した危険限界距離以上確保することにより、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。

(g) 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雰囲気温度や空気の流れの状態が変化することを考慮しても、金属キャスクの基本的安全機能を損なうことはない。

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ない。

<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ャスクの衝突・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、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なうこと。

- ① 燃料被覆管からの放射性物質の漏えい量
- ② 金属キャ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ャスクの基数
- 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（起因事象）を抽出
 - ・金属キャスクの取扱工程（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ャ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ャスクは、輸送貯蔵兼用キャスクであり、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（金属キャスク内部構造物、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金属キャスク内部の真空乾燥不足，③金属キャスク内への不活性ガス誤充填，④金属キャスク蓋部の取付不良，⑤金属キャスクの落下，⑥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），⑦金属キャスクの転倒（搬送台車による移送時），⑧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），⑨金属キャスクの衝突（受入れ区域天井クレーンによるつり下げ時），⑩金属キャスクの衝突（搬送台車による移送時），⑪金属キャスクへの重量物の落下（緩衝体），⑫金属キャ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

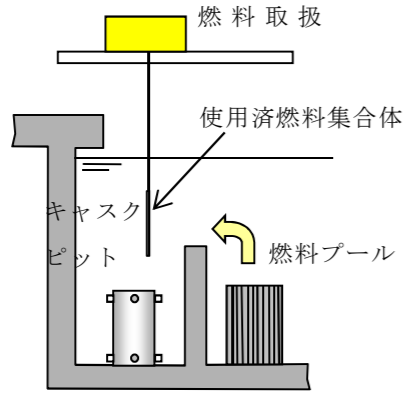
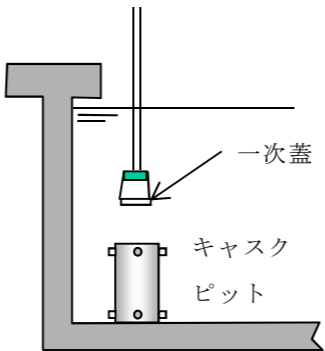
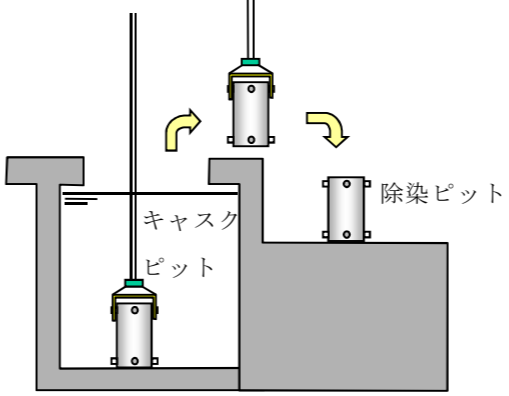
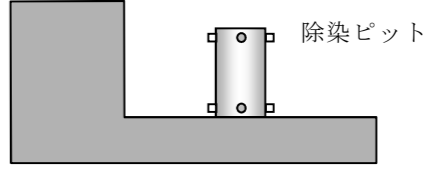
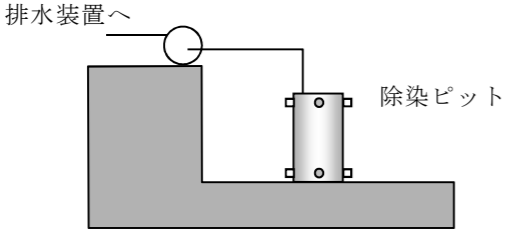
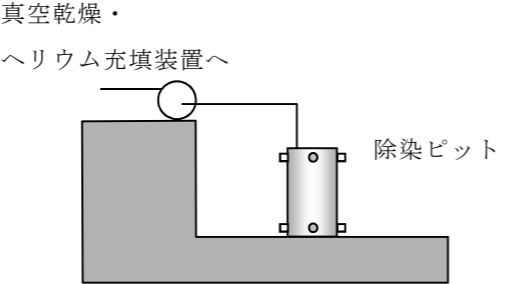
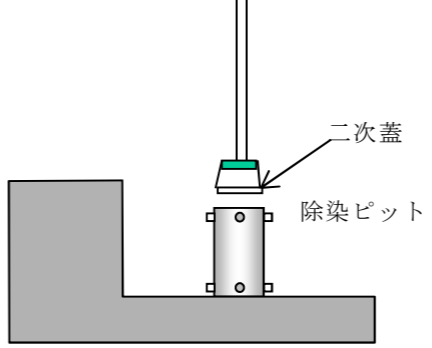
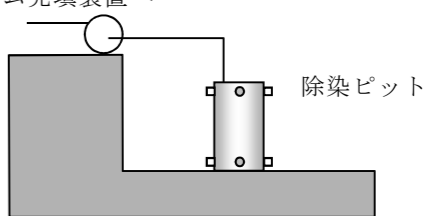
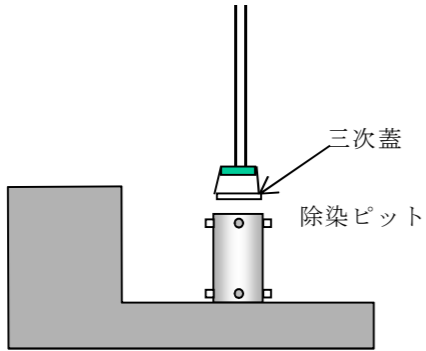
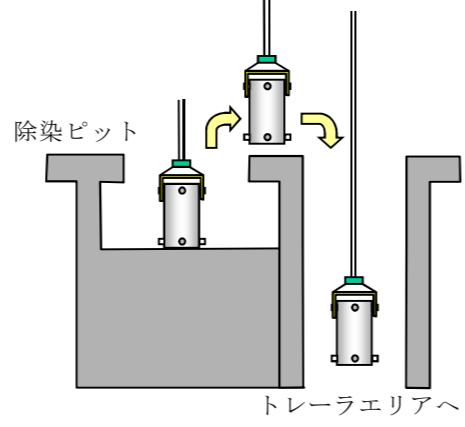
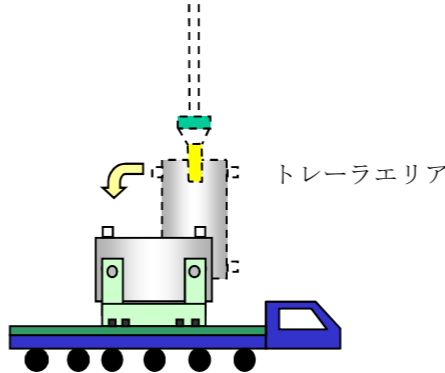
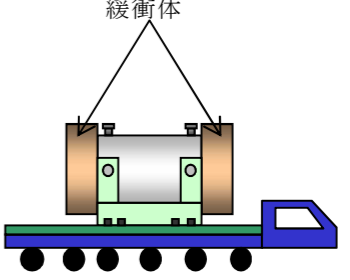
2. 抽出した起因事象から基本的安全機能への影響を確認し、起因事象が発生した場合、公衆に対し放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象を選定
 - ・設計及び運用による対応の有効性を考慮して、起因事象の発生の可能性を検討するとともに、発生した場合に公衆に対して放射線被ばくのリスクを及ぼす可能性のある事象を選定（添付3）し、解析、評価により、その影響を確認。
 - ・選定した事象の妥当性を審査するに当たり、事象選定をする必要のないものを判定する判断基準として以下を設定（いずれかに該当するものは事象の選定をする必要なし）。
 - a. 物理的な対策，検査の実施等[※]により事故となる可能性が排除できること（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（⑨，⑯，⑰）
 - 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（⑮，⑱）
 - ・選定した事象：⑥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），⑫金属キャ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、いずれの事象も放射性物質の放出には至らない。

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、表面温度及び使用済燃料貯蔵建屋給排気温度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及び除熱機能が機能喪失に至るような仮想的な事象は対象外。

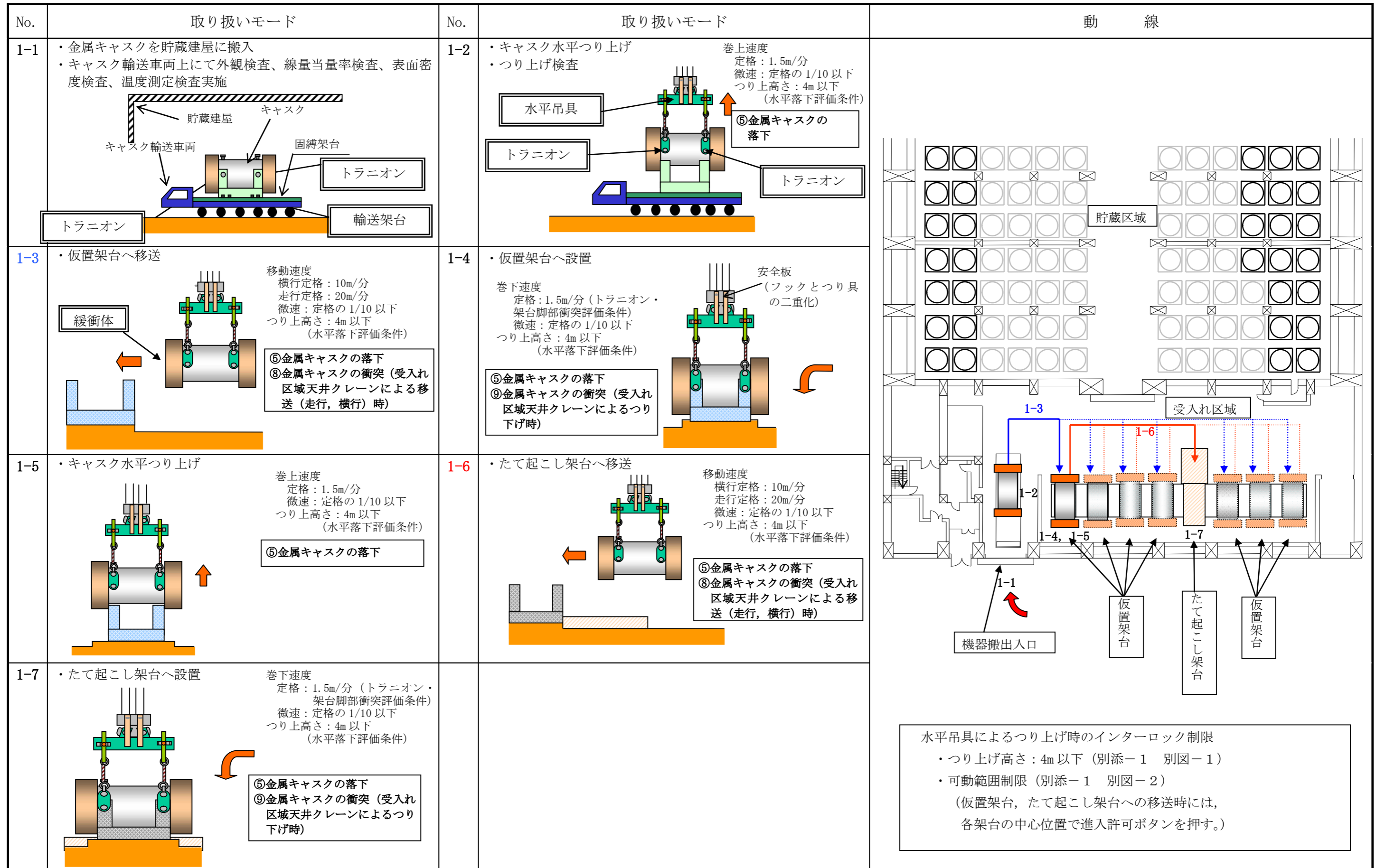
Bについて

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.	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
1	燃料収納 ①使用済燃料集合体の誤収納 	2	一次蓋の取付け ④金属キャスク蓋部の取付不良 	3	金属キャスクの移動(1) 	4	一次蓋のボルト締め ④金属キャスク蓋部の取付不良 
5	除染・排水作業 	6	真空乾燥・ヘリウム充填 ②金属キャスク内部の真空乾燥不足 ③金属キャスク内部への不活性ガス誤充填 真空乾燥・ ヘリウム充填装置へ 	7	二次蓋の取付け ④金属キャスク蓋部の取付不良 	8	蓋間ヘリウム充填 真空乾燥・ ヘリウム充填装置へ 
9	三次蓋の取付け 	10	金属のキャスク移動(2) 	11	キャスク輸送車両への積載 	12	発送前検査・搬出 

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



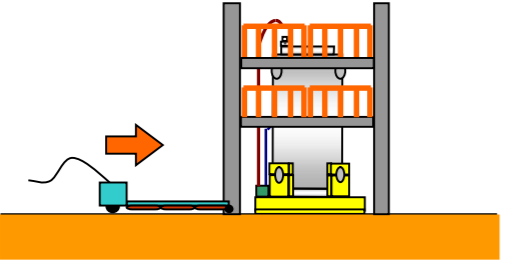
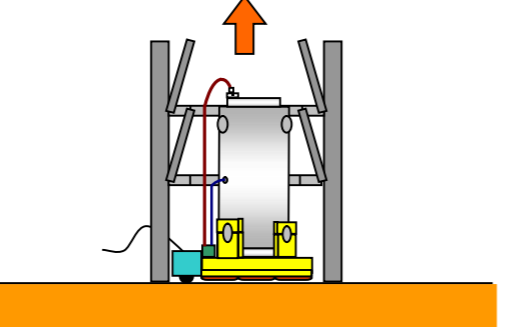
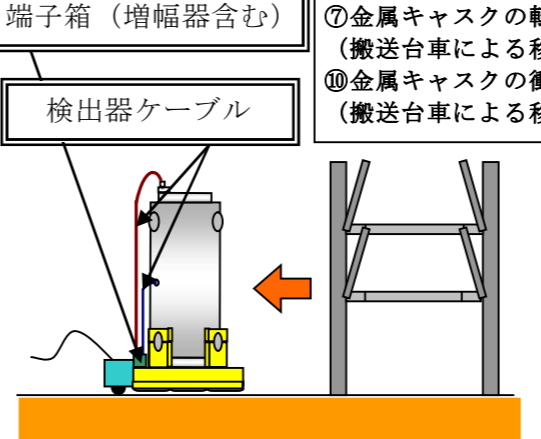
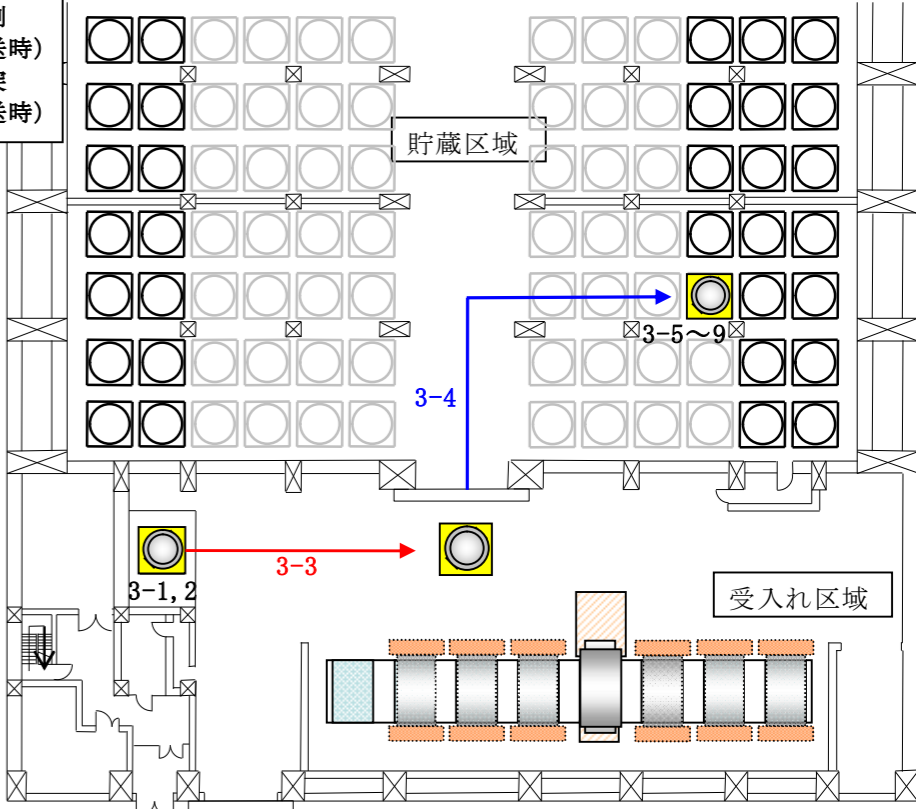
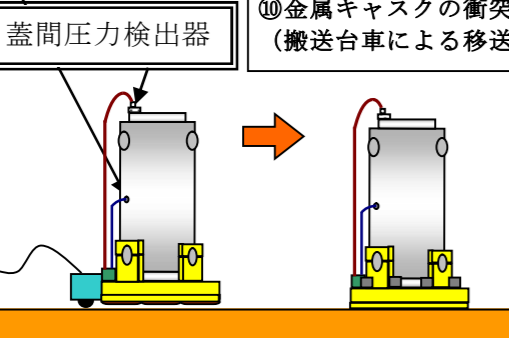
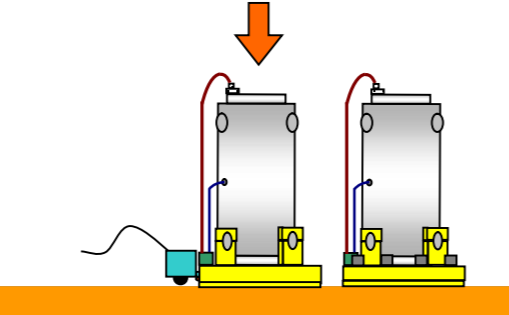
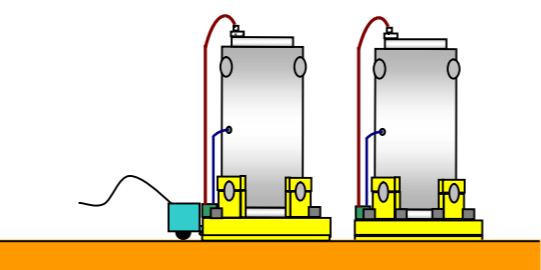
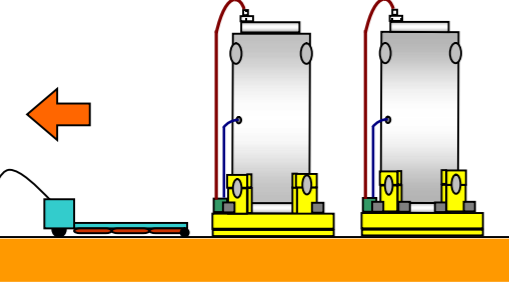
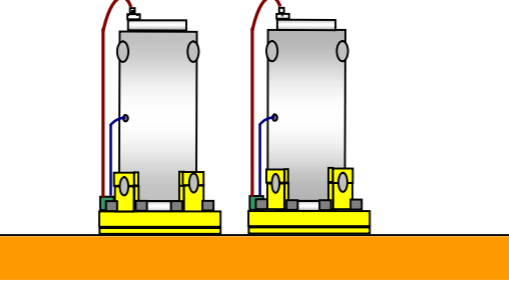
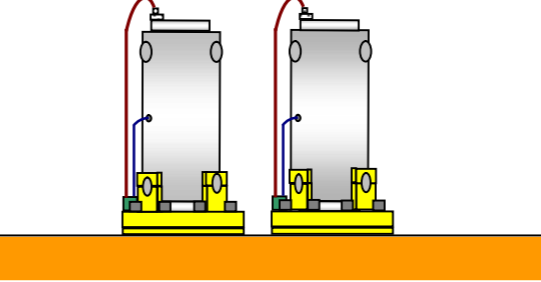
使用済燃料貯蔵施設における金属キャスク取扱工程と起因事象 (金属キャスクの受入れ～金属キャスクの仮置き)

No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	動線
2-1	・緩衝体の取り外し 	2-2	・貯蔵架台をたて起こし架台付近に設置 	2-3	・つり具主アームを上部トラニオンに取り付け 	
2-4	・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 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) 	2-5	・トラニオン押さえを取り外した後、キャスクをつり上げ ・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) 	2-6	・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、貯蔵架台上まで移送 巻下速度 定格：1.5m/分 微速：定格の1/10以下 移動速度 横行定格：10m/分 微速：定格の1/10以下 つり上高さ 衝撃吸収材上：2m以下 (垂直落下評価条件) 	
2-7	・キャスクを貯蔵架台に着床、固定 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 	2-8	・貯蔵架台下部に搬送台車を挿入 	2-9	・搬送台車浮上 浮上高さ：約 5cm(転倒評価条件) 	
2-10	・旋回動作、走行動作により検査架台へ移送 浮上高さ：約 5cm(転倒評価条件) 移送速度 定格：10m/分(衝突評価条件) 	2-11	・搬送台車着床、貯蔵架台固定ボルト取り付け 	2-12	・三次蓋(輸送用)の取り外し 	

補巻による緩衝体つり上げ時のインターロック制限
 ・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。)

垂直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：2m以下(別添-1 別図-4)
 ・可動範囲制限(別添-1 別図-4)
 (たて起こし時は、金属キャスクを衝撃吸収材上方に維持するために、たて起こし架台の中心位置付近に移動を制限する。)

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(緩衝体取り外し～金属キャスクたて起こし～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	動線
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 浮上高さ：約5cm（転倒評価条件） <p>⑦金属キャスクの転倒（搬送台車による移送時）</p> 	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 定格：10m/分（衝突評価条件） <p>端子箱（増幅器含む）</p> <p>検出器ケーブル</p> <p>⑦金属キャスクの転倒（搬送台車による移送時）</p> <p>⑩金属キャスクの衝突（搬送台車による移送時）</p> 	 <p>貯蔵区域</p> <p>3-5~9</p> <p>3-4</p> <p>3-3</p> <p>3-1, 2</p> <p>受入れ区域</p> <p>搬送台車による移送時に障害物との接触を検知する装置を設け停止</p>
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 定格：10m/分（衝突評価条件） <p>容器表面温度検出器</p> <p>蓋間圧力検出器</p> <p>⑦金属キャスクの転倒（搬送台車による移送時）</p> <p>⑩金属キャスクの衝突（搬送台車による移送時）</p> 	3-5	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車の着床・貯蔵架台の設置 浮上高さ：約5cm（転倒評価条件） 移送速度 定格：10m/分（衝突評価条件） <p>⑦金属キャスクの転倒（搬送台車による移送時）</p> 	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 	

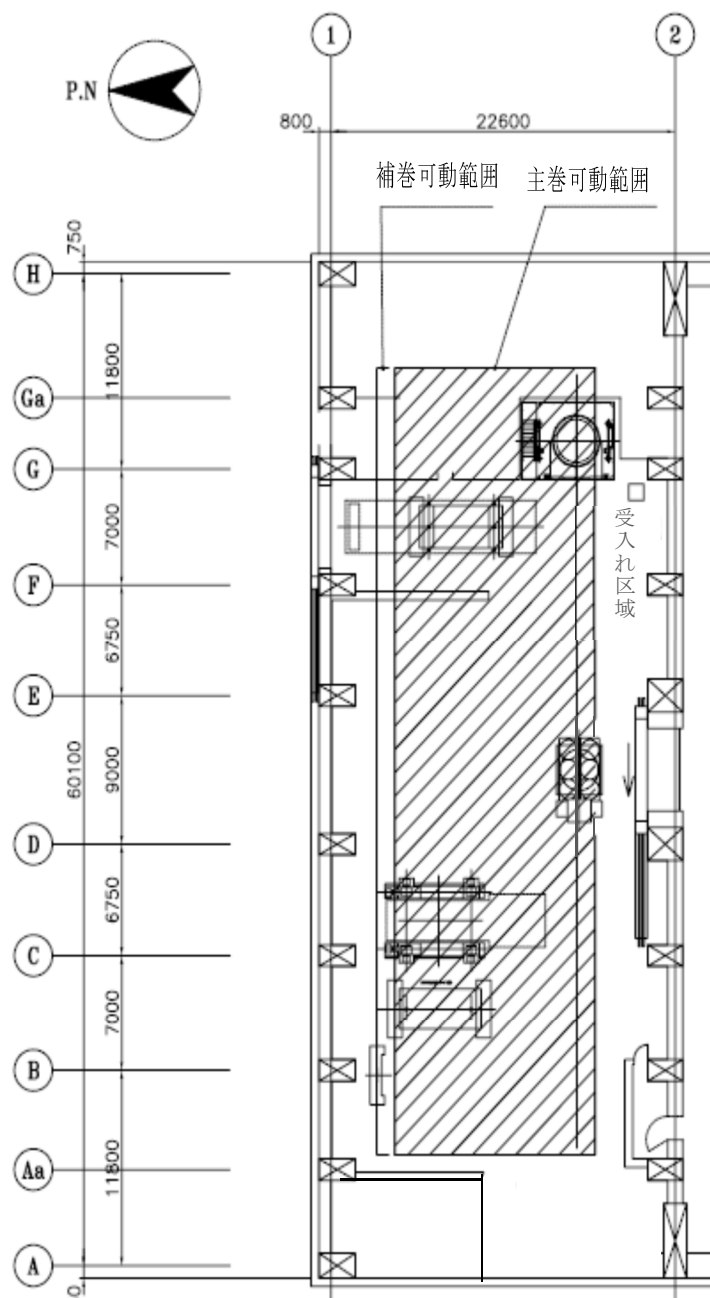
使用済燃料貯蔵施設における金属キャスク取扱工程と起因事象（検査架台～貯蔵場所への設置）

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4m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

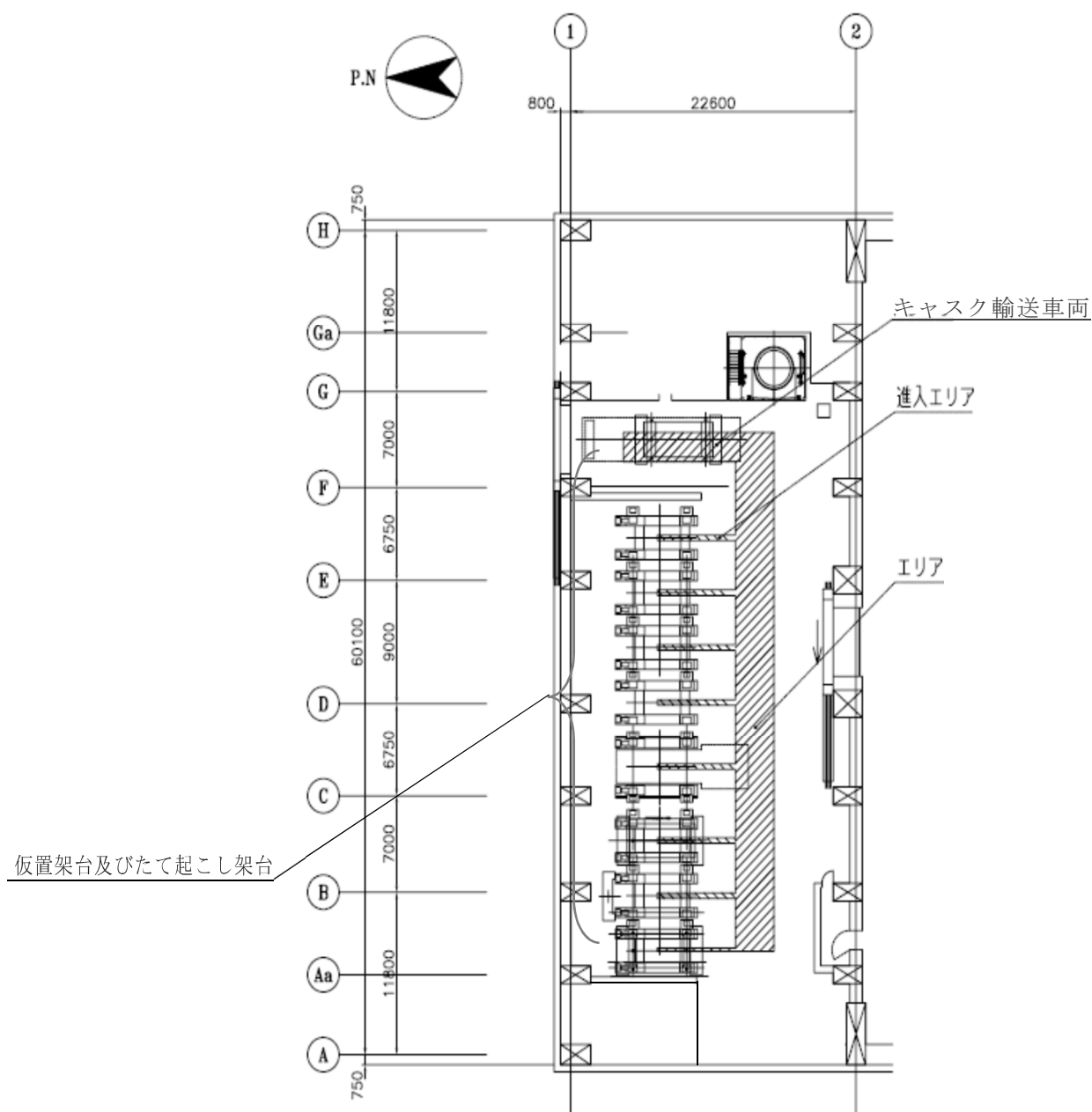


別図－1 主巻荷重90t以上での巻上げ高さ4m以下制限の範囲

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

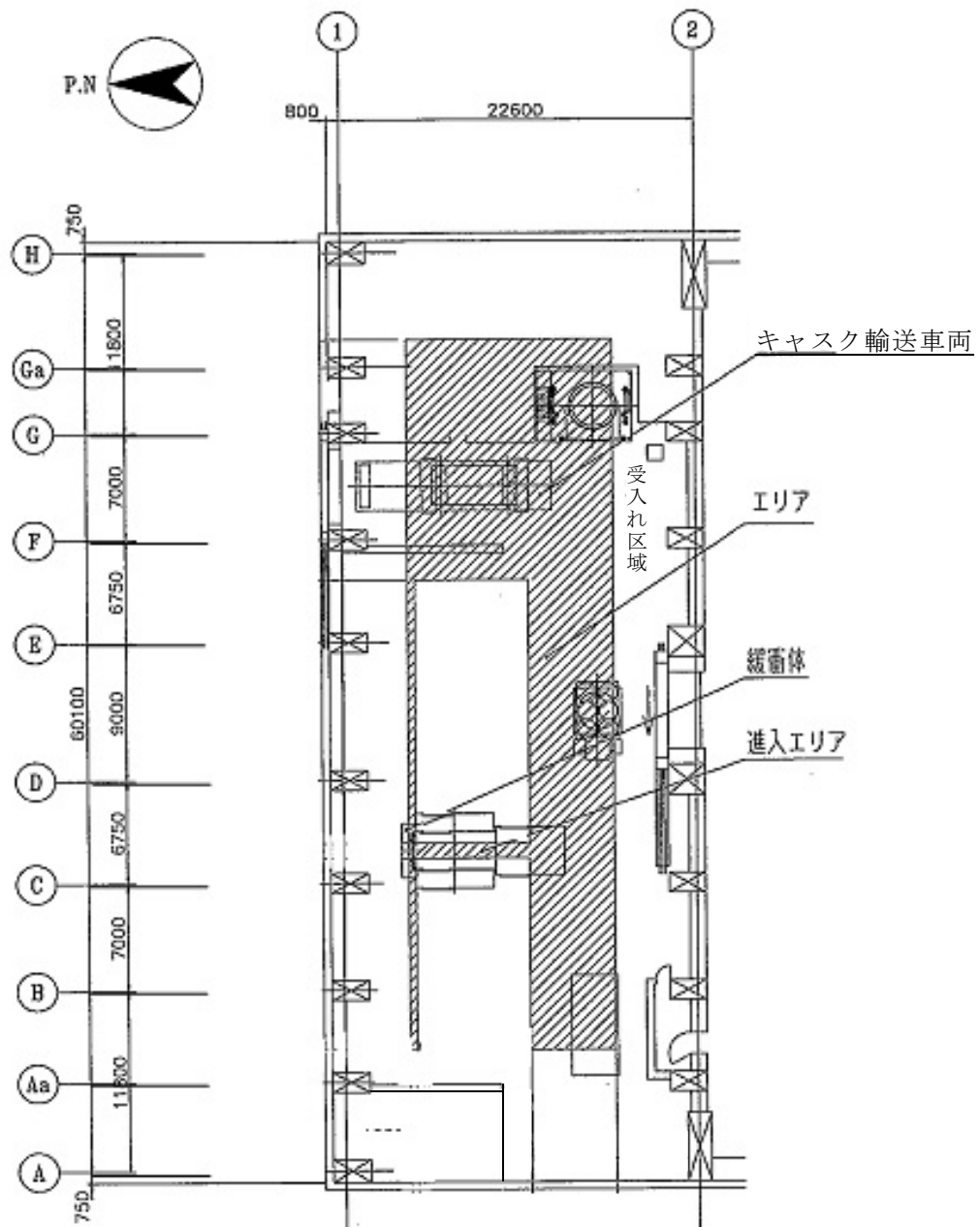


別図－２ 主巻荷重 90t 以上での走行・横行の制限の範囲

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



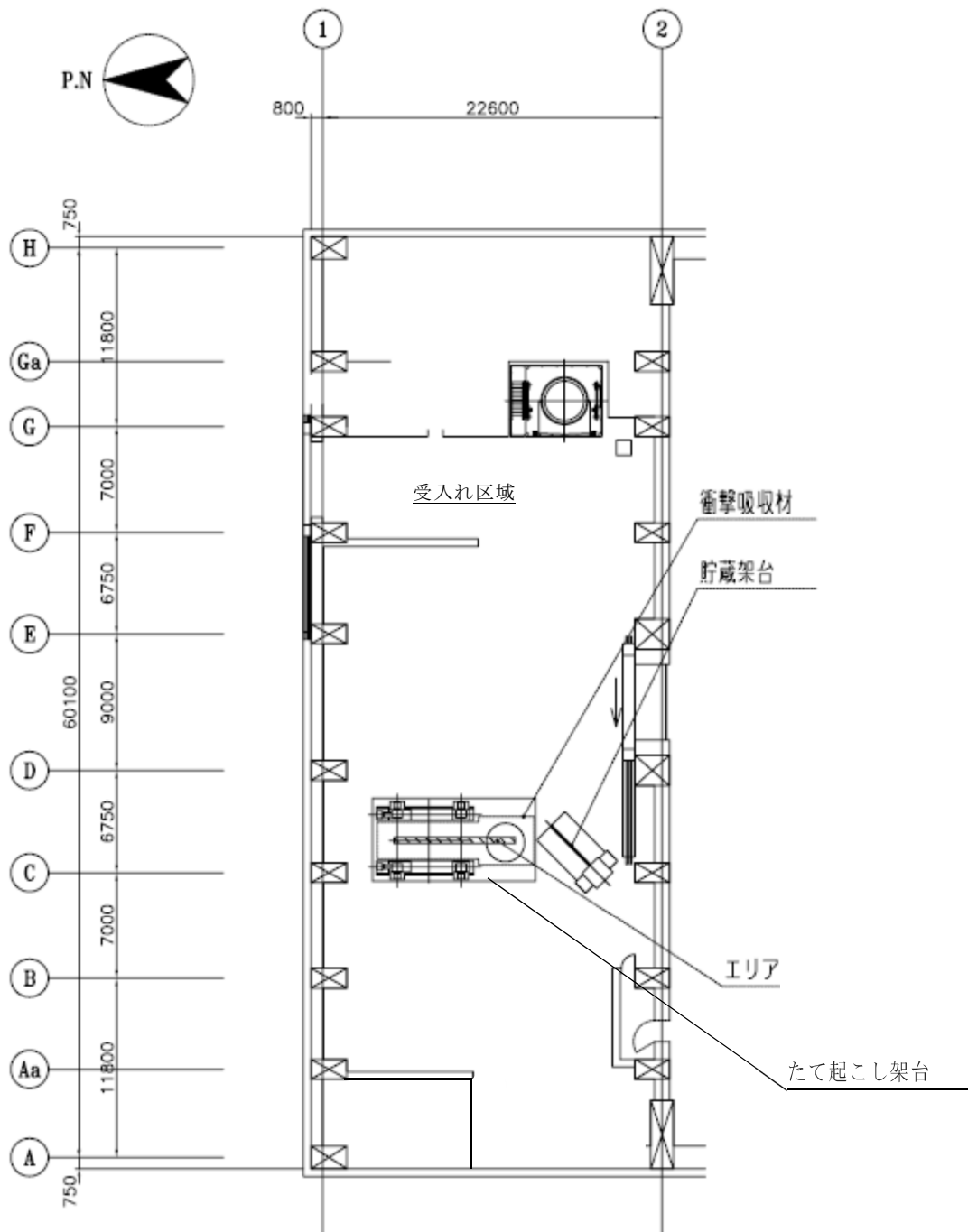
別図－3 補巻荷重 4.5t 以上での走行・横行の制限の範囲

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

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	
①	使用済燃料集合体の誤収納		操作員の誤操作	複数の確認者による燃料番号，収納配置の確認等により，単一誤操作では誤収納は発生しない。	×	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ャ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	金属キャスク内部の真空乾燥不足		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。	×	真空乾燥不足による水分の残留により，内部収納物及び内部構造物へ影響が生じた場合，除熱機能への影響及びそれに伴う閉じ込め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)
③	金属キャ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。	×	不活性ガスの誤充填により，内部収納物及び内部構造物への影響，除熱性能への影響が想定されるものの，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，物理的にHeガスボンベ以外のものが接続されることはなく，さらに，ガス充填に際しては，ボンベ内のガスがHeガスであることを確認することから，Heガス以外のガスを充填することは想定されず，影響を確認する事象として選定する必要はない。	否 (a)
④	金属キャスク蓋部の取付不良	一次，二次蓋の取付不良	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は発生しない。	×	蓋部の取り付け不良により，閉じ込め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検知可能であることから，影響を確認する事象として選定する必要はない。	否 (a)
		金属ガスケットの取付不良	操作員の誤操作				
⑤	金属キャスクの落下	天井クレーンによる取扱時	つり具の保持不良	金属キャスクを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ャスクは落下しない。	×	落下により，金属キャスクの蓋部へ直接的な荷重が生じる状態が想定されるものの，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点の保持不良があつた場合でも落下しないことから，金属キャスク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)
			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，単一故障では金属キャスクは落下しない。	×		
⑥	金属キャスクの転倒	天井クレーンによるたて起こし時	つり具の保持不良	金属キャスクを2点つりとすることから，単一故障により金属キャスクは転倒する。	○	転倒により，金属キャ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ャスクを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
			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，単一故障では金属キャスクは転倒しない。	×		
⑦	金属キャスクの転倒	搬送台車による移送時	エアバッグの破損	最大速度で急停止しても転倒しない設備対応（貯蔵架台寸法，能力上の速度制限，浮上高さ制限）により，単一故障，単一誤操作では金属キャスクは転倒しない。	×	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)
			操作員の誤操作				

- 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
⑧	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	ブレーキの故障	ブレーキの二重化等の設備・運用対応により，単一故障では他の構造物及び機器へ衝突しない。	×	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の，天井クレーンでの移送時は金属キャスクの蓋部が直接的に他の構造物及び機器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，影響を確認する事象として選定する必要はない。	否(a)
			操作員の誤操作	移動範囲制限機構等の設備・運用対応により，単一誤操作では他の構造物及び機器へ衝突しない。	×		
⑨	金属キャスクの衝突	天井クレーンによるつり下げ時(異常着床)	ブレーキの故障	ブレーキの二重化等の設備・運用対応により，単一故障では他の構造物及び機器へ衝突しない。	×	天井クレーンによるつり下げ時の衝突により，基本的安全機能への影響が想定されるものの，金属キャスクは単一誤操作により発生すると予想される貯蔵架台等への衝突(異常着床)に対して基本的安全機能を損なわない構造強度を有する設計としており，単一誤操作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，影響を確認する事象として選定する必要はない。	否(b)
			操作員の誤操作	着床工程での誤操作のため，発生防止は困難。	○		
⑩	金属キャスクの衝突	搬送台車による移送時	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，単一故障では他の構造物及び機器へ衝突しない。	×	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の，搬送台車による移送時は金属キャスクが直接的に他の構造物及び機器へ衝突することはない，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，金属キャ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，影響を確認する事象として選定する必要はない。	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，単一誤操作では他の構造物及び機器へ衝突しない。	×		
⑪	金属キャスクへの重量物の落下	緩衝体の落下(補巻を使用した取り扱い)	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，金属キャ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，たて起こし架台上において金属キャスクが水平姿勢の状態でのみ取り外すこと，金属キャスク上を搬送しない運用とすることから，金属キャ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	金属キャスクへの重量物の落下	三次蓋の落下	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，金属キャ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。三次蓋は取り付け又は取り外しの作業を行う際に，つり具の保持不良の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。	○		
		二次蓋の落下(二次蓋金属ガasketの異常発生後における復旧作業中)	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asket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asketの交換作業において，二次蓋は取り付け又は取り外しの作業を行う際に，つり具の保持不良の単一故障により二次蓋の落下が発生した場合，金属キャ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，金属キャ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	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.	起因事象		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	
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。可燃性物質の持ち込み制限により、使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域には可燃物を仮置きしない運用としているが、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)	
⑯	経年変化	閉じ込め機能低下	金属キャスクは設計貯蔵期間中の経年変化を考慮しても基本的安全機能を維持できるよう設計する。	×	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、経年変化により閉じ込め機能に異常が生じたとしても、金属キャスクの蓋部は多重の閉じ込め構造とし、貯蔵中はその金属キャスク蓋間の圧力を連続して監視しているため、閉じ込め機能が損なわれる前に検知可能であり、影響を確認する事象として選定する必要はない。	否 (b)
		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ャスクの中性子遮蔽材を喪失することはなく、遮蔽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 (b)
		臨界防止機能低下			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。なお、使用済燃料貯蔵施設内においては、金属キャ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、乾燥又は水が存在している状態で、技術的に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。	否 (b)
		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ャ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 (b)
⑰	自然災害	地震	金属キャスク、使用済燃料貯蔵建屋は、地震時にも基本的安全機能を維持できるよう設計する。	×	地震、津波、風（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)
		津波	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ても基本的安全機能は損なわれない。	×		
		高潮	敷地の標高、海岸からの距離等から判断して、敷地が被害を受けることは考えられない。	×		
		洪水	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。	×		
		風（台風）	使用済燃料貯蔵建屋等の風荷重に対する設計は、「建築基準法」に定める設計基準に従う。	×		
		竜巻	過去に発生した竜巻の最大風速等から設定した設計荷重に対して、基本的安全機能を維持できるよう設計する。	×		
		落雷	使用済燃料貯蔵建屋の避雷設備の設計については「建築基準法」に定める設計基準に従う。	×		
		生物学的事象	植物や小動物による給気口及び排気口の閉塞は、事象の進展が緩慢であり、定期的な巡視により防止できる。	×		

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	降水	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、津波、風（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)
		低温・凍結	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。	×		
		積雪	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。	×		
		地すべり等	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は考えられない。	×		
		火山	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。	×		
		森林火災	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。	×		
⑱	外部人為 事象	飛来物（航空機落下）	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、設計上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) 否 (d)
		ダムの崩壊	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。	×	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。	
		爆発	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。	×		
		近隣工場等の火災	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。	×		
		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、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。	×		
		船舶の衝突	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である。また、敷地前面の海岸からの離隔は約500mの位置にあり、十分な離隔を確保していることから、船舶の衝突を考慮する必要はない。	×		
		電磁的障害	使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料集合体を金属キャスクに収納した状態で静的に貯蔵する施設であり、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ことから、電磁的障害を考慮する必要はない。	×		

- 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

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, -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)	真空乾作業ミス ヘリウムガス充填作業ミス 核分裂ガス放出	(○)	(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	
				(○)		(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		
				(-)		(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)	真空乾作業ミス ヘリウムガス充填作業ミス	(○)	(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	
				(○)		(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 (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
							○	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
							○	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	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
							○	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					
		(○)	(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		
	締付ボルト シール面	変形・われ 緩み 腐食	外力の付加 締付力過大 締付力不足 経年変化 真空乾燥作業ミス	取り付け不良	(○)	(作業ミスにより、金属ガasketの取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)			
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 — 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			
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			
シール面				変形・われ シール面損傷 腐食	外力の付加 異物かみ込み 経年変化 真空乾燥作業ミス	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	(○)	(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						
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		
	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	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	
			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)
		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
				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)	
		腐食	経年変化			(○)	経年変化により、金属キャスク蓋、外筒、底、トラニオン・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	起回事象	選定	考察	起回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	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	
					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	
			放射線量過大	燃料仕様不一致	燃料集合体誤収納	○	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	
					破損・倒壊	外力の付加	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。
			物性値の低下	コンクリート温度上昇	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)
			異物の飛来を起因とする流路閉塞	異物の飛来を起因とする流路閉塞	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回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
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	○	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
				内部温度上昇	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
			腐食		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
		中性子吸収材		照射減損	経年変化	○	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
	使用済燃料集合体	燃料棒、スペーサ	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	○
					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	○	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)		
冠水		外部事象(飛来物)	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)	
			水系統配管破断	—	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。	—	
	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。	—

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、－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)								
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	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)	(-)	(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	(-)	(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	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				

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	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
	使用済燃料貯蔵建屋躯体			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。	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因事象(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	キャスクの落下		○	○	○	○	○	○	◎	金属キャスクの落下
9	キャスクの転倒・衝突			○	○	○		○	◎	金属キャスクの転倒 金属キャスクの衝突
10	重量物の落下	○	○				○	○	◎	金属キャ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	○					○		◎	金属キャスクの衝突
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因事象(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)		
17	プロセス制御機器の故障	○							－	(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)		
18	環境維持機器の故障	○						○	－	(貯蔵区域・受入れ区域に環境維持機器はない)		
19	監視・警報システムの故障	○		○				○	○	－	(監視・警報システムの故障は基本的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	○							○	－	(非常用機材の故障は基本的安全機能に影響を及ぼすものではない)	
21	電源の故障	○	○		○				○	－	(電源の故障は基本的安全機能に影響を及ぼすものではない)	
22	使用済燃料移送装置の故障	○	○							－	(施設内に使用済燃料移送装置はない)	
23	キャスク等移送装置の故障		○						○	○	○	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
24	環境放出に係るシステムの故障	○	○								－	(施設内に環境放出に係るシステムはない)
25	密封機能の不具合			○	○				○	○	◎	金属キャスク蓋部の取付不良 (閉じ込め機能に着目した要因分析から選定された起因事象(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)
26	検査・試験・維持機器の故障	○							○		○	金属キャスク内部の真空乾燥不足 金属キャスク内部への不活性ガス誤充填

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 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 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】
- ・ 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】
- ・ 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 2 A) 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°C) 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°C)	<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))

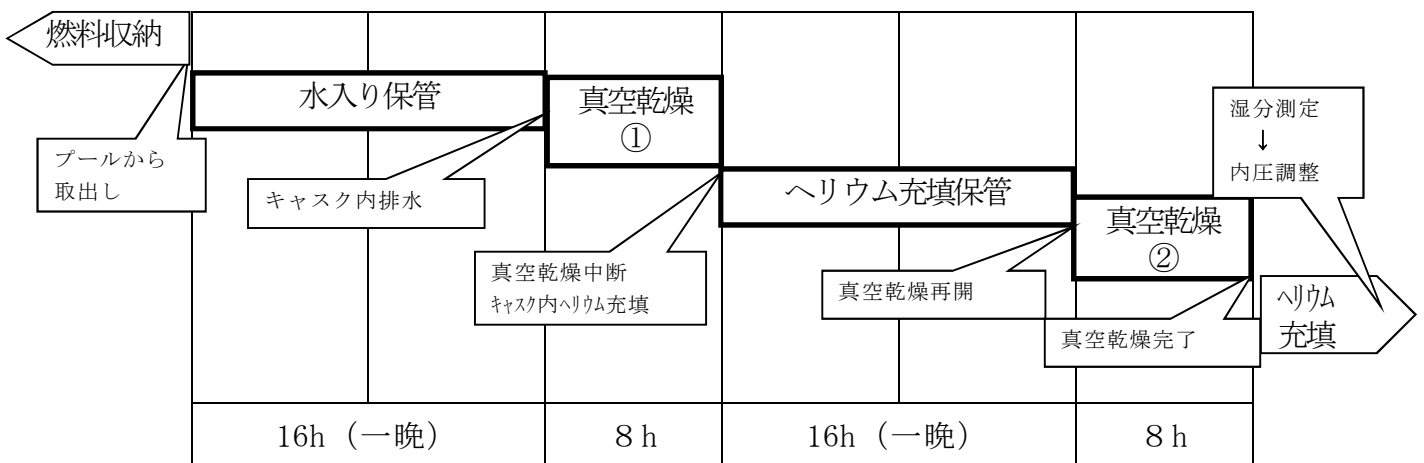
評価条件	キャスク内部自由空間体積	
	キャスク内部ガス水分質量	180g
	燃料被覆管表面積 (64 本×69 体)	690m ²
評価結果	被覆管表面酸化膜厚さ	約 0.20 μm
	被覆管中水素濃度 (水素/Zr 重量割合)	約 5.8ppm

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

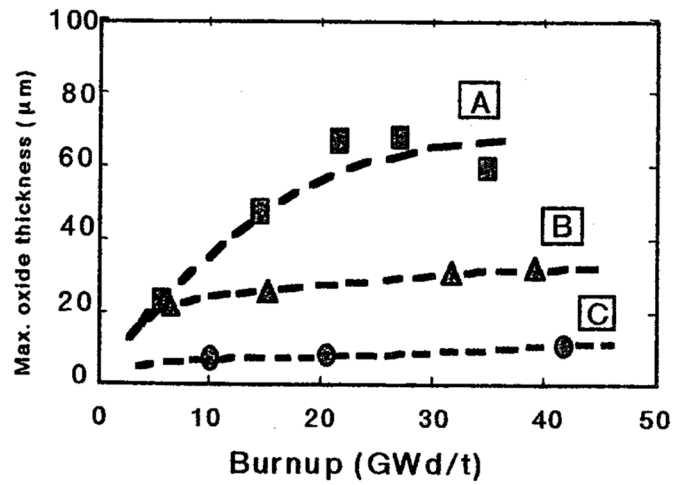
水分がすべてほう素添加ステンレス鋼バスケットより耐食性が低い炭素鋼と反応したと評価しても、別添2-3表に示すとおりバスケットの酸化膜厚さで約 $0.19\mu\text{m}$ であり、バスケット板厚 と比較して十分小さく、バスケットの健全性に影響を与えることはない。

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))

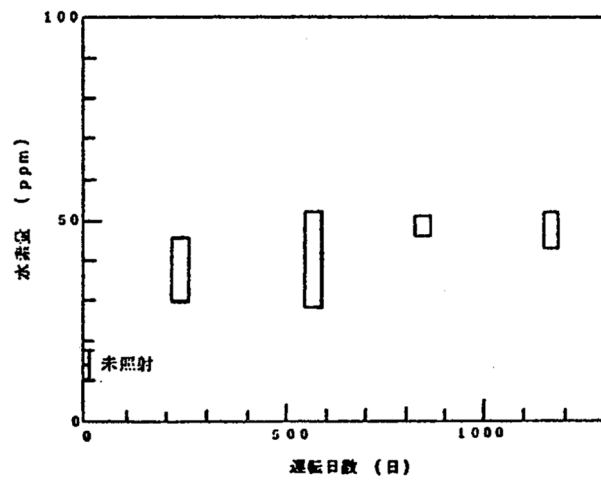
評価条件	キャスク内部自由空間体積	
	キャスク内部ガス水分質量	180g
	バスケット表面積	
評価結果	バスケット表面酸化膜厚さ (Fe_2O_3)	約 $0.19\mu\text{m}$



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について

金属キャスク蓋部の取付不良については、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の発生防止対策

- (1) 金属キャスク蓋部の取付不良を防止するため、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及びつり具は、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ロープ、ブレーキ及びリミットスイッチは、故障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. 垂直吊具と受入れ区域天井クレーンの取付不良を考慮して、天井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設計とする（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・セーフ設計とする。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、金属キャスクの移送及び取扱い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）

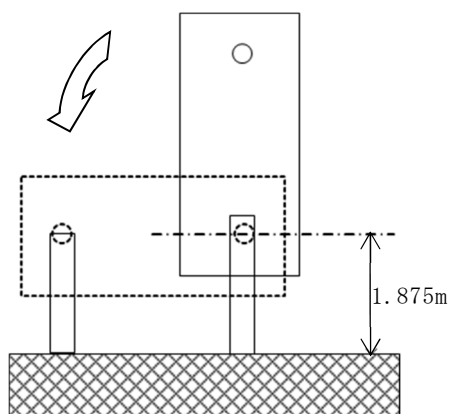
BWR用大型キャスク（タイプ2，2A）に作用する衝撃加速度は約29Gとなり、特別の試験条件で金属キャスクの構造評価を行う設計加速度（55～65G）を下回ることを確認した。

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。

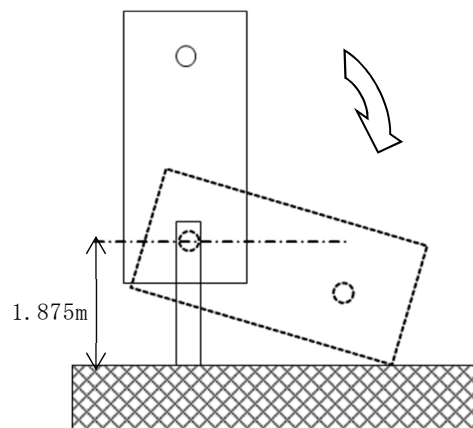
3. まとめ

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）。

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

S_u : 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。

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

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り扱う際に、金属キャスクが使用済燃料貯蔵建屋壁や仮置架台、たて起こし架台及び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、荷重及び天井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。

金属キャスクを取り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、キャスク輸送車両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、一旦受入れ区域天井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る、その際に受入れ区域天井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、受入れ区域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受入れ区域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。

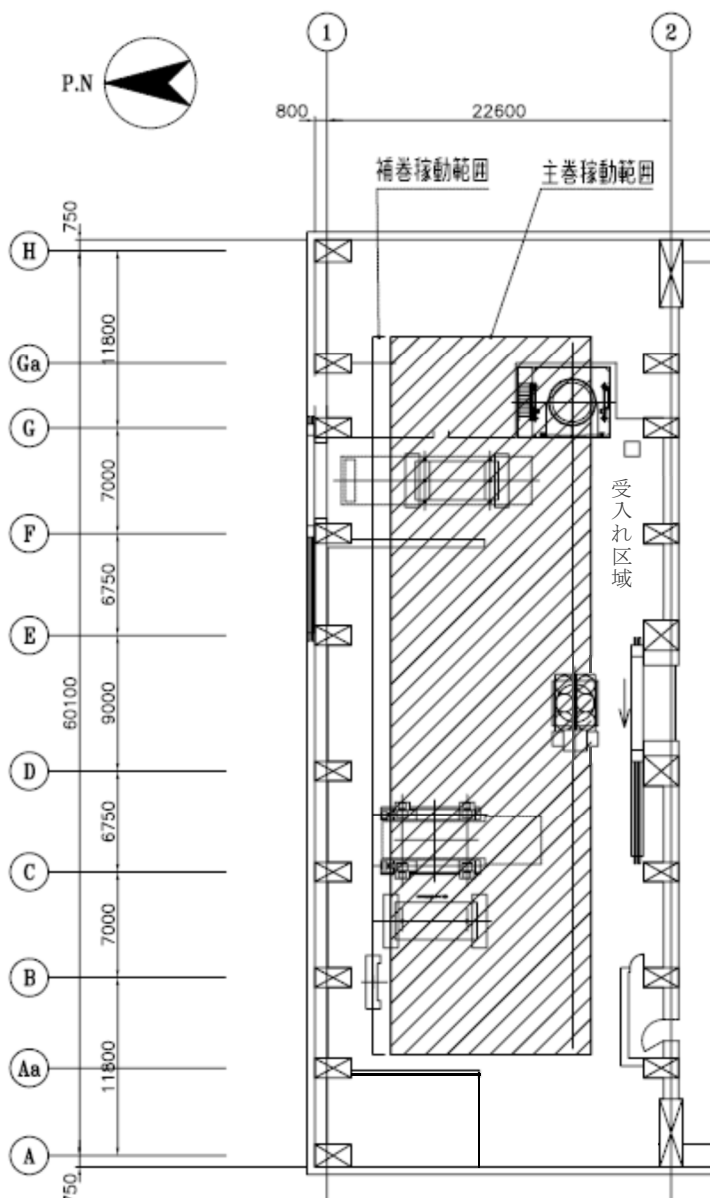
- ①受入れ区域天井クレーンにて水平つりした金属キャスクの仮置架台又はたて起こし架台への着床時に，微速の巻下げ速度で着床するところを受入れ区域天井クレーン運転者の誤操作により定格の巻下げ速度で着床。
(異常着床)
- ②受入れ区域天井クレーンにて垂直つりした金属キャスクの貯蔵架台への着床時に，微速の巻下げ速度で着床するところを受入れ区域天井クレーン運転者の誤操作により定格の巻下げ速度で着床。(異常着床)
- ③金属キャスクを受入れ区域から貯蔵区域内の貯蔵場所へ搬送台車で搬送時において，搬送台車運転者の誤操作により搬送台車上の金属キャスクの貯蔵架台が，貯蔵中の金属キャスクの貯蔵架台に定格速度で衝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

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



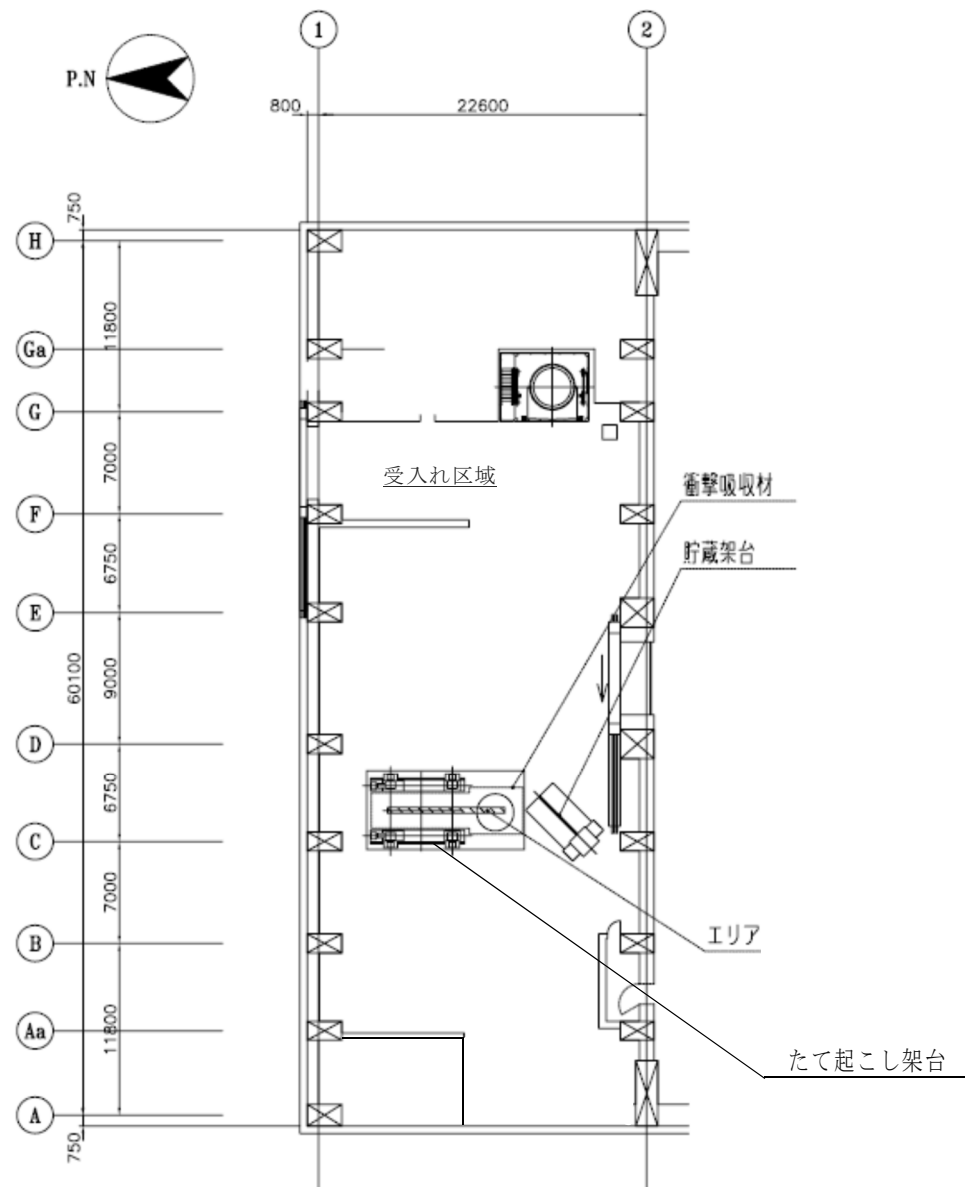
添付 1 - 1 図 主巻荷重 90t 以上での巻上げ高さ 4 m 以下制限の範囲

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

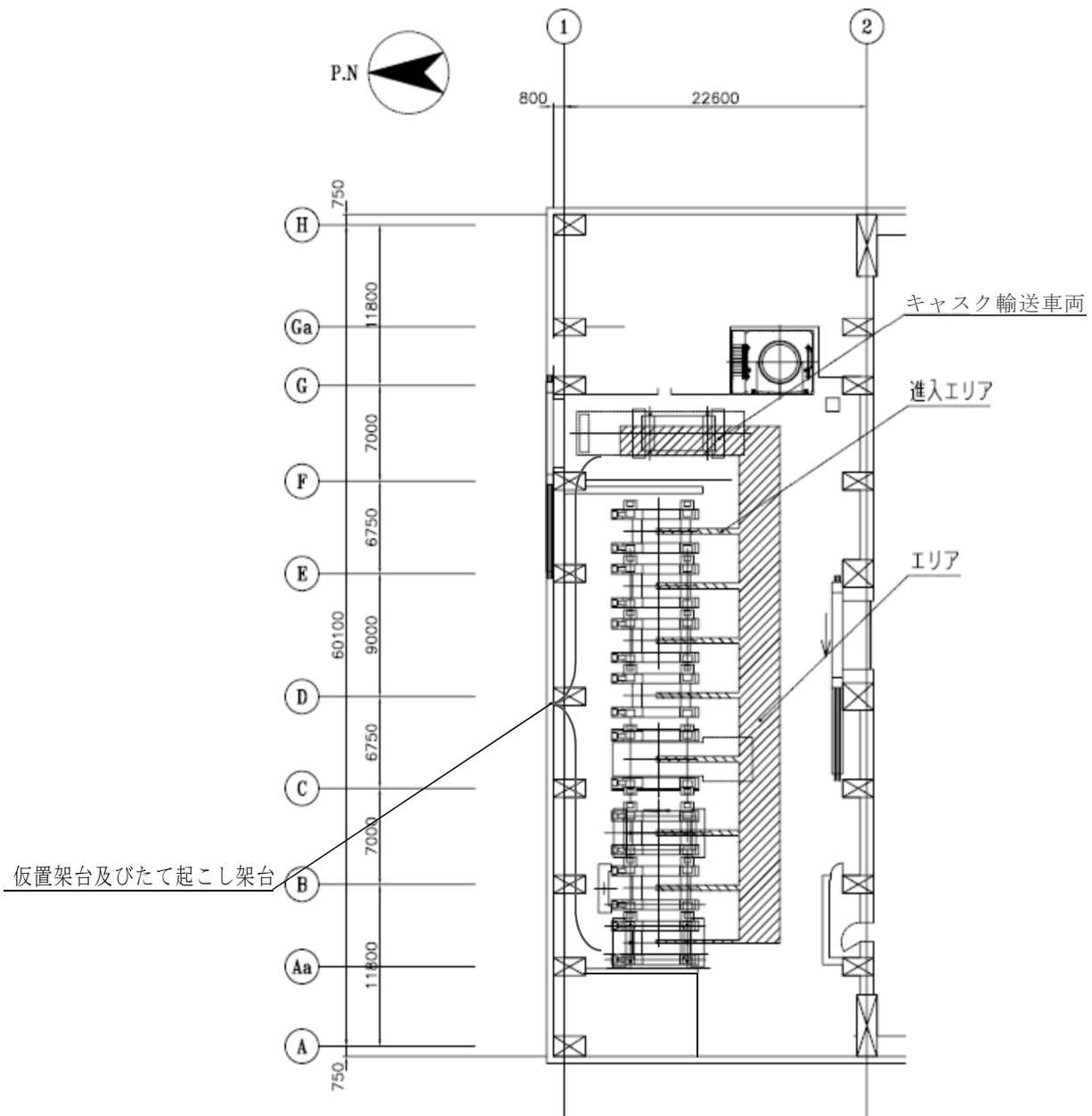


添付 1 - 2 図 主巻荷重 90t 以上での巻上げ高さ 2 m 以下制限の範囲

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

受入れ区域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、たて起こし架台及び貯蔵架台への衝突の影響評価について

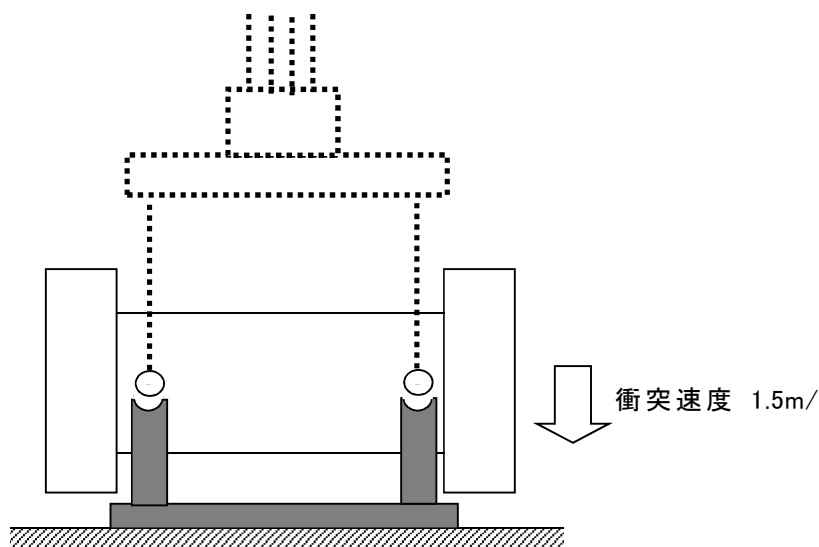
1. 金属キャスクトラニオン部と架台脚部との衝突

(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

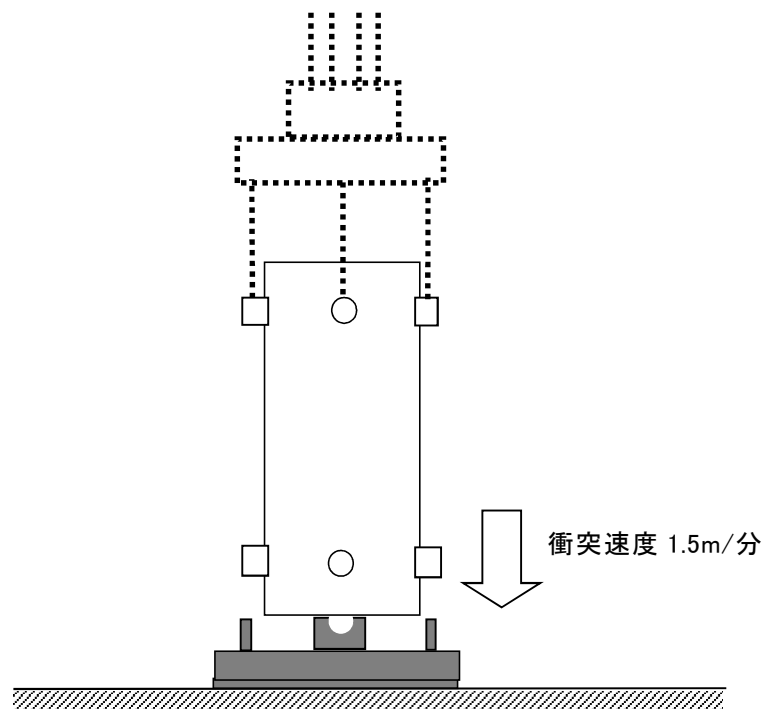
(1) 評価事象

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 2，2 A）：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 2 A 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

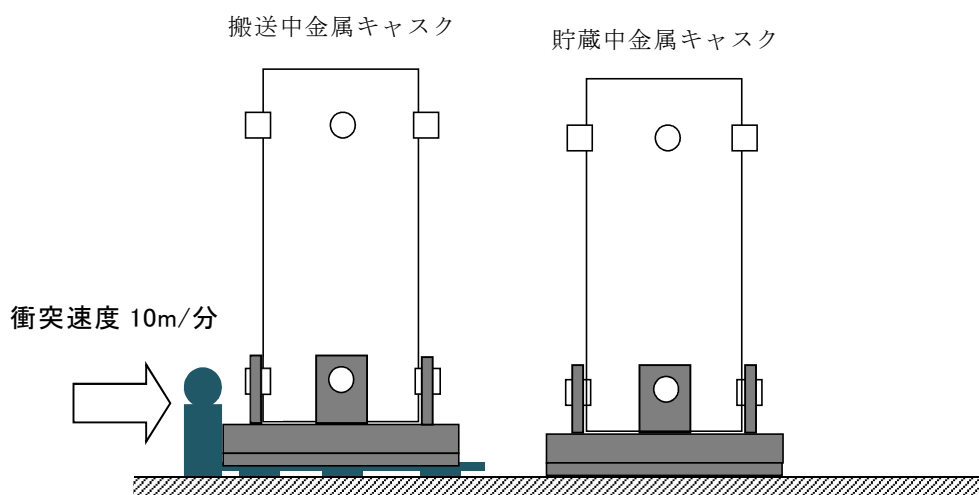
搬送台車での金属キャスク搬送時に、貯蔵中の金属キャスク貯蔵架台へ衝突する事象を想定する。

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 (1.32×10^5 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 (1.32×10^5 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 (1.20×10^5 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

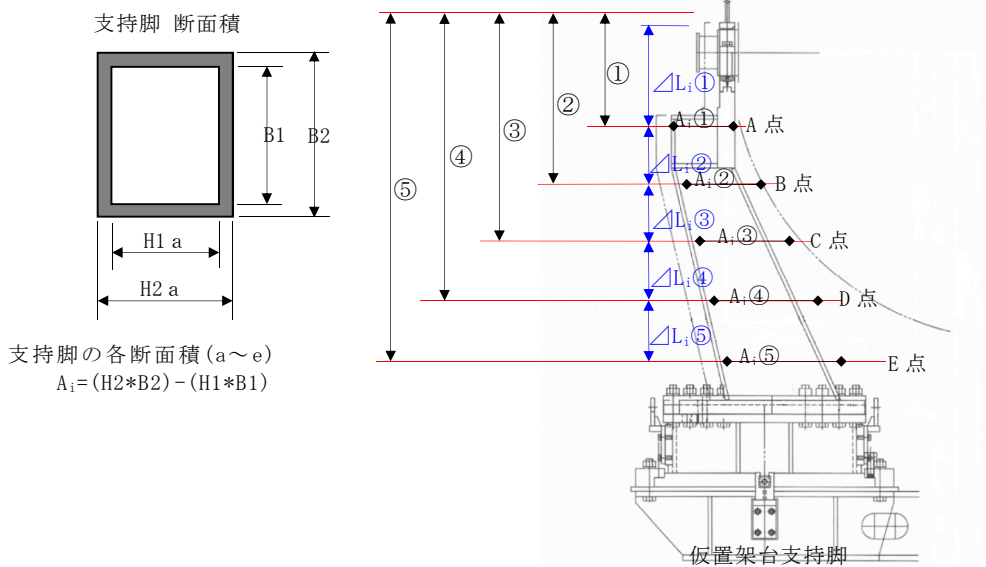
E：支持脚材料のヤング率（炭素鋼： $2.05 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ ）

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)			$\alpha + \beta + \gamma + \delta + \epsilon$ (Ω とする)
支持脚バネ定数K (N/m) $\langle = n \times (E / \Sigma L_i/A_i) \rangle$			$4 \times (2.05 \times 10^{11} / \Omega)$



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 4-1 図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、

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

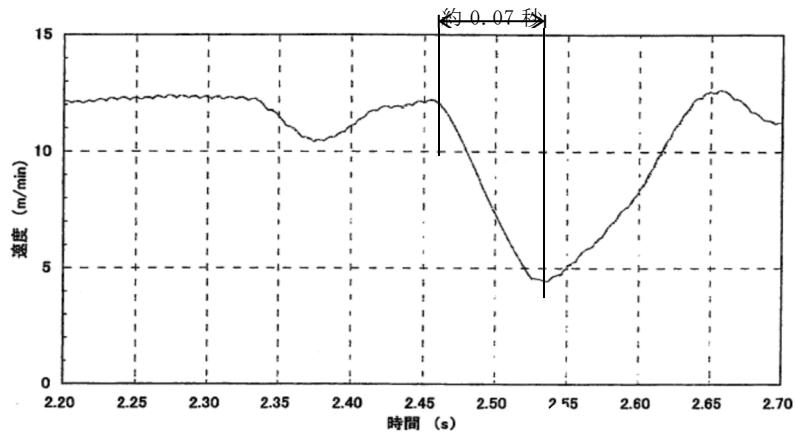
また、衝突時間を 0.01 秒とした場合、

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、自重、地震荷重及び吊荷荷重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、金属キャスクの移送及び取扱い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

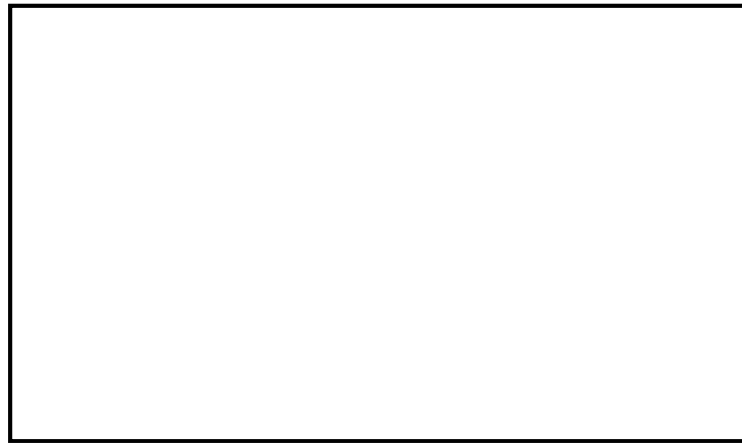
(1) 三次蓋(輸送用)の取り外し作業時における三次蓋の二次蓋への落下

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 1.1mm（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

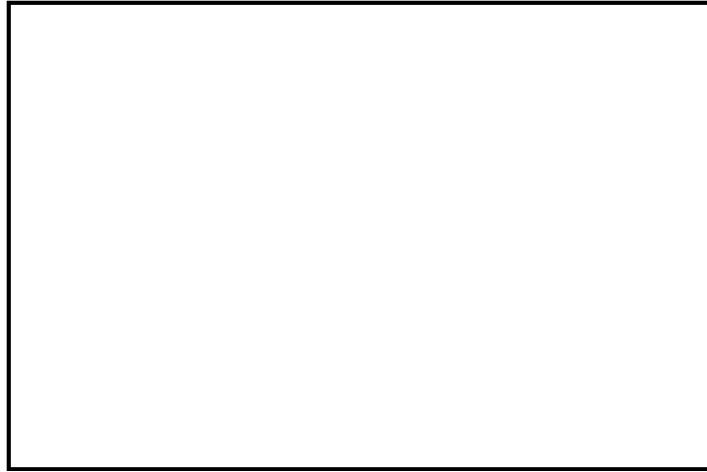
*1 PL：一次局部膜応力強さ、Pb：一次曲げ応力強さ、Q：二次応力
強さ、 σ_m ：平均引張応力、 σ_b ：曲げ応力

*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。



別添 7 - 2 図 二次蓋落下時の胴フランジとの接触状況イメージ図

以下の評価条件のもと有限要素法コード A B A Q U S を用いて、金属キャスク閉じ込め境界部の応力評価を行なった。(別添 7 - 3 図参照)

- ・モデル：三次元 180° モデル (A B A Q U S)
- ・荷重条件：一次蓋を周辺固定の円板として一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。
- ・二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
- ・二次蓋を剛とする (二次蓋の変形を無視)
- ・貯蔵時温度に対応した物性値を使用



別添 7 - 3 図 二次蓋落下のイメージ図

b. 評価結果

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締付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。

二次蓋質量：約 5×10^3 kg

一次蓋への衝撃力：約 6.3×10^6 N

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 40	187	100
胴フランジ 一次蓋側	PL+Pb+Q	約 50	183	140
一次蓋ボルト	$\sigma_m + \sigma_b$	約 280*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

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

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のある事象として、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について検討する。

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フード下端の位置は地上高さ約 6 m、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 4 m、高さ約 3.5m であり、排気口の開口寸法は、幅約 8 m、高さ約 3 m である。また、風雨、ばい煙の影響を考慮し、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」に基づいて適切に設置する。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，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，可燃性物質の持ち込み制限により，使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域には可燃物を仮置きしない運用としており，使用済燃料貯蔵建屋内で火災が発生したとしても，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を損なうことはない。

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

(1) 自然災害

地震，津波，風（台風），降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。

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。

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なバードスクリーン及び排気ルーバの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。

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、構造健全性を維持することにより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。

敷地周辺の火山については、その活動性や敷地との位置関係から判断して、設計対応不可能な火山事象が使用済燃料貯蔵施設に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。

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。

(2) 使用済燃料貯蔵施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）

a. 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。

b. 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、陸上輸送用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、保守及び巡視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。

c. 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である。また、敷地前面の海岸からの離隔は約 500mの位置にあり、十分な離隔を確保していることから、船舶の衝突を考慮する必要はない。

d. 電磁的障害

使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料集合体を金属キャスクに収納した状態で静的に貯蔵する施設であり、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ことから、電磁的障害を考慮する必要はない。

e. 飛来物（航空機落下）

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。

f. 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、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を、貯蔵される高圧ガスの種類及び貯蔵量から算出した危険限界距離以上確保することにより、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。

g. 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。

航空機墜落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墜落確率が 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雰囲気温度や空気の流れの状態が変化することを考慮しても、金属キャスクの基本的安全機能を損なうことはない。

以上のことから、上述のその他自然災害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。

以 上

第 15 条 金属キャスク（金属キャスク）

<目 次>

1. 設計方針
2. 経年変化要因に対する考慮

(別 添)

- 別添 1 レジンの熱分解による重量減損と放出される生成物による周囲部材への腐食影響について
- 別添 2 金属キャスク構成部材のクリープ影響について
- 別添 3 金属キャスク本体と伝熱フィンの接合部の除熱機能への影響評価について
- 別添 4 レジンの重量減損量を劣化パラメータで整理することの妥当性について
- 別添 5 申請キャスク[BWR用大型キャスク(タイプ2)及び(タイプ2A)]に使用するレジンの熱, 放射線照射による重量減損の影響について
- 別添 6 原子力発電所構内で貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器の金属ガスケット調査結果について
- 別添 7 金属ガスケットの経年変化におけるクリープ考慮について

1. 設計方針

使用済燃料貯蔵施設で貯蔵する使用済燃料集合体は、金属キャスクに収納された状態で施設に搬入し、別の容器に詰め替えることなく貯蔵する。

金属キャスクは、使用済燃料集合体を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料集合体の事業所外運搬に用いる輸送容器としての機能を併せもつ鋼製の乾式容器であり、その設計においては、設計貯蔵期間（50年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する60年間の経年変化を考慮する。

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（50年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する60年間における温度、放射線等の環境及び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。

金属キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食、クリープ、応力腐食割れ等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムとともに封入して貯蔵する設計とする。また、金属キャスク表面の必要な箇所には、塗装による防錆措置を講ずる。

2. 経年変化要因に対する考慮

金属キャスクに使用する個々の部材について、長期貯蔵（設計貯蔵期間の50年に対し、評価期間は60年）における環境条件（腐食、熱、放射線照射）の影響を考慮して、文献や試験データに基づき、経年変化の影響を検討している。金属キャスクを構成する部材毎に検討した具体的評価内容を第1表に示す。なお、各部材はBWR用大型キャスク（タイプ2）及び（タイプ2A）ともに同じである。

また、金属キャスクは、金属キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体収納時にその内部空間を真空乾燥し、不活性ガスであるヘリウムを適切に封入し、使用済燃料集合体を貯蔵する。また、金属キャスク表面の必要な箇所には、塗装による防錆措置を講ずる。

第1表 金属キャスクの構成部材の健全性に対する評価について (1/4)

部位及び材料	要因	主な評価の観点	各部位及び材料の経年変化に係わるデータ	設計条件	評価
キヤスク本体 ① ※1 【部位】 本体胴(内面/外面) 外筒(内面) 一次蓋 二次蓋(内面) 一次蓋ボルト 【材料】 炭素鋼 合金鋼	腐食	●構造強度: 腐食による構造強度の低下	<ul style="list-style-type: none"> 本体胴(内面)については、1%燃料破損相当の燃料棒内ガス中のヨウ素ガスを含む実機模擬環境における、低合金鋼の最大腐食速度により、60年間の腐食量を推定しても0.5mm程度¹⁾。 中性子遮蔽材(レジン)に接する部位(本体胴(外面), 外筒(内面))については、レジンの熱分解によって放出される生成物の大部分は水分であり、レジンの熱分解によって放出される生成物を全て水分として60年間の腐食量を推定しても0.2mm程度。(別添1) 	[使用環境] ・ヘリウム雰囲気 ・レジン接触 [材料厚] ・本体胴中央: <input type="text"/> mm ・外筒: <input type="text"/> mm ・一次蓋: <input type="text"/> mm ・二次蓋: <input type="text"/> mm	<ul style="list-style-type: none"> ヘリウムガス環境下の各部位(本体胴(内面), 一次蓋, 二次蓋(内面), 一次蓋ボルト)は、不活性雰囲気維持される限り腐食の影響はない。仮に1%燃料破損相当の燃料棒内ガスの存在を考慮した場合の腐食を考慮しても極わずかなものであり、実用上の影響はない。 レジンに接する部位(本体胴(外面), 外筒(内面))は、レジンの熱分解で放出される生成物を全て水分とした場合の腐食を考慮しても極わずかなものであり、実用上の影響はない。(別添1)
	熱	●構造強度: 熱によるクリープ変形や高温脆化に伴う亀裂・破損	・クリープ変形を起こす温度領域の境界として、融点(絶対温度)の1/3~1/2以上とされている。(別添2)	[使用環境温度] ・除熱解析による最高温度(142℃)以下	<ul style="list-style-type: none"> 当該材料における融点(絶対温度)の1/3の温度は、クリープ領域になく、クリープや金属組織変化の影響はない。(別添2) 低温側の脆化に関しても設計上考慮しており、JSME 金属キャスク構造規格による破壊靱性の要求に従って破壊靱性試験を行い、判定基準に適合することを確認している。(試験条件に現地の過去最低気温である-22.4℃から保守的に設定した最低温度-25℃を用いている。)
	照射	●構造強度: 照射による機械的特性の劣化	・炭素鋼, 低合金鋼の脆性遷移温度の増加と照射量の関係は、中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは顕著な脆化はみられない。(第1図, 第2図)	[放射線照射量] ・ 10^{13} n/cm ² ~ 10^{15} n/cm ² (60年間一定) ^{※3}	<ul style="list-style-type: none"> 使用環境における中性子照射量は 10^{16} n/cm² 以下であり、遷移温度が増加するレベルになく、材料の機械的特性に影響はない。
溶接金属部	腐食	●構造強度: 腐食による構造強度の低下	・上記, 母材の記載事項は、溶接部も含めたものであり母材と同じ。	上記, 母材と同じ。	上記, 母材と同じ。
本体胴(内面/外面) 一次蓋(上面) 外筒(内面) *溶接部位は, 第3図	熱	●構造強度: 熱によるクリープ変形や高温脆化に伴う亀裂・破損	・本体胴に用いる材料(炭素鋼)は、母材と溶接部の機械的特性試験 ⁴⁾ が行われており、母材, 溶接金属部及び溶接熱影響部の衝撃試験と破壊靱性試験ではその結果に大きな差異はない。	上記, 母材と同じ。	<ul style="list-style-type: none"> 本体胴は、JSME 金属キャスク構造規格で密封容器の溶接部に要求されている溶接後熱処理により溶接部の材質改善(残留応力の軽減, 溶接熱影響部及び溶接金属の軟化, 靱性の回復, 溶接部の組織改善)を図るとともに、溶接後熱処理された試験片を用いて機械試験(継手引張試験, 型曲げ試験, 破壊靱性試験)を行い、母材と同等以上の強度であることを確認しているため、溶接金属部も母材と同等とみることができる。 各部位は、クリープや金属組織に変化が生じない領域の温度であり、熱による影響はない。 キャスク本体と伝熱フィンの接合部は、伝熱フィン溶接部が部分的に未溶着であっても除熱機能への影響はない。(別添3)
	照射	●構造強度: 照射による機械的特性の劣化	・国内軽水炉の原子炉圧力容器鋼材(監視試験片)の照射脆化解析データ(第4図)によると、母材, 熱影響部及び溶接金属部の脆性遷移温度の増加と照射量の関係はほぼ同じ傾向にあるが、金属キャスクに用いる材料(炭素鋼)の脆性遷移温度の増加と照射量の関係(第1図)は、原子炉圧力容器鋼材と同じ傾向にあるため、金属キャスクの溶接金属部についても同じ傾向であることが推定される。なお、遷移温度の増加が大きくなっていくのは中性子照射量が 10^{16} n/cm ² 以上である。	上記, 母材と同じ。	上記, 母材と同じ。

第1表 金属キャスクの構成部材の健全性に対する評価について(2/4)

部位及び材料	要因	主な評価の観点	各部位及び材料の経年変化に係わるデータ	設計条件	評価	
キ ャ ス ク 本 体 ② ※2	腐食	●構造強度: 腐食による構造強度の低下	・各種金属材料の16年間の海浜大気暴露試験結果から、最も定常腐食速度の大きい炭素鋼のデータ(21 μm/年)で60年間の腐食量を推定しても1.26 mm程度。(第2表)	[使用環境] ・外気(海塩粒子雰囲気) ・結露水 [材料厚] ・外筒: □ mm ・二次蓋: □ mm [防錆処理] ・外表面塗装。ただし、二次蓋ボルトは、メッキ	・塗装やメッキの防錆被膜は経年的に劣化するが、巡視点検等の定期的な点検により外表面の状態把握をすることが可能である。また、状態把握により劣化兆候がみられた場合は補修することで防錆被膜を維持することが可能である。 ・塗装やメッキによる防錆効果を考慮しないとしても、腐食量は材料厚と比較して実用上の影響はない。	
		熱	●構造強度: 熱によるクリープ変形や高温脆化に伴う亀裂・破損	キャスク本体①の母材の熱と同じ。		
		照射	●構造強度: 照射による機械的特性の劣化	キャスク本体①の母材の照射と同じ。		
溶接金属部 本体胴(外面) 外筒(外面) *溶接部位は、 第3図	腐食	●構造強度: 腐食による構造強度の低下	上記、母材の腐食影響評価に含まれる。			
	熱	●構造強度: 熱によるクリープ変形や高温脆化に伴う亀裂・破損	上記、母材の熱影響評価に含まれる。		・当該部は外気に暴露された状態で、キャスク本体①の使用環境よりも更に温度が低くなる環境にあるため、熱による影響はない。	
	照射	●構造強度: 照射による機械的特性の劣化	上記、母材の照射影響評価に含まれる。		・当該部はキャスク本体①の部位よりも更に照射量が小さくなる環境にあるため、照射の影響はない。	
伝熱フィン 【材料】 炭素鋼(銅クラッド鋼)	腐食	●除熱機能: 腐食による亀裂・破損	・中性子遮蔽材(レジン)に接する部位は、レジンの熱分解によって放出される生成物が全て水分として、60年間の腐食量を推定しても0.2mm程度。(別添1)	[使用環境] ・本体胴(外面)と外筒(内面)間の閉鎖空間 ・レジンと接触	・レジンの熱分解によって放出される生成物が全て水分とした場合でも実用上問題となる腐食はない。(別添1)	
	熱	●除熱機能: 熱によるクリープ変形や高温脆化に伴う亀裂・破損	・クリープ変形を起こす温度領域の境界として、融点(絶対温度)の1/3~1/2以上とされている。(別添2)	[使用環境温度] ・除熱解析による最高温度(128℃)以下	・当該材料における融点(絶対温度)の1/3の温度は、クリープ領域に無く、クリープや金属組織変化の影響はない。(別添2)	
	照射	●除熱機能: 照射による機械的特性の劣化	・炭素鋼、低合金鋼の脆性遷移温度の増加と照射量の関係は、中性子照射量が10 ¹⁶ n/cm ² までは顕著な脆化は認められない。(第1図、第2図)	[放射線照射量] ・10 ¹³ n/cm ² ~10 ¹⁵ n/cm ² (60年間一定) ^{※3}	・使用環境における中性子照射量は10 ¹⁶ n/cm ² 以下であり、遷移温度が増加するレベルに無く、材料の機械的特性に影響はない。	

第1表 金属キャスクの構成部材の健全性に対する評価について (3/4)

部位及び材料	要因	主な評価の観点	各部位及び材料の経年変化に係わるデータ	設計条件	評価
バスケット 【材料】 ボロン添加ステンレス鋼	腐食	●構造強度: 腐食による構造強度の低下	・1%燃料破損相当の燃料棒内ガス中のヨウ素ガスを含む実機模擬環境におけるバスケット材(ボロン添加ステンレス鋼)の最大腐食速度により、60年間の腐食量を推定しても30μm程度 ¹⁾ 。	[使用環境] ・ヘリウム雰囲気 [材料厚] ・□ mm	・不活性雰囲気維持される限り腐食の影響はない。仮に1%燃料破損相当の燃料棒内ガスの存在を考慮した場合の腐食は極わずかなものであり、実用上の影響はない。
	熱	●構造強度: 熱によるクリープ変形や高温脆化に伴う亀裂・破損	・クリープ変形を起こす温度領域の境界として、融点(絶対温度)の1/3～1/2以上とされている。(別添2)	[使用環境温度] ・除熱解析による最高温度(248℃)以下 [ボロン添加量] ・1wt%程度	・当該材料における融点(絶対温度)の1/3の温度は、クリープ領域に無く、クリープや金属組織変化の影響はない。(別添2) なお、1wt%程度のボロンを添加したステンレス鋼は、燃料プール用ラック、輸送キャスク等で十分な使用実績を有している。 ・低温側の脆化に関する設計上の考慮は、キャスク本体①と同じ。
	照射	●未臨界機能: 中性子照射によるボロン減損 ●構造強度: 照射による機械的強度の劣化	[未臨界機能] ・B-10の60年間の貯蔵中の減損割合は、保守的に全中性子束を用いて評価しても 10^{-6} 程度。 ・H15年度金属キャスク貯蔵技術確認試験最終報告(JNES)では、熱中性子束で評価して 10^{-11} 程度。 [構造強度] ・中性子照射量が 10^{18} n/cm ² までは顕著な脆化は認められない。(第5図) ・1wt%程度のボロン添加量において、ボロン添加ステンレス鋼の照射による機械的強度への影響の程度は、照射量の大小に差異はない。(第6図, 第7図)	[放射線照射量] ・ 10^{14} n/cm ² ～ 10^{16} n/cm ² (60年間一定) ^{**3} [ボロン添加量] ・1wt%程度	・B-10の減損割合は無視できる程度であり、照射影響による未臨界機能に係る経年変化を考慮する必要はない。 ・使用環境における中性子照射量は、機械的特性に変化がみられる値より2桁以上小さく、ボロン添加による照射影響は無視できる程度のため、材料の機械的特性に影響はない。
中性子遮蔽材 【材料】 エポキシ系レジン	熱・腐食	●遮蔽機能: 化学成分の変化や重量減少	・エポキシ系レジンの高温熱分解試験(半年程度)結果によれば、170℃以下では長期使用可能。また、重量減損は温度によらず3600h 辺りで飽和(2～3wt%)し、5000h に到達するまでに有意な変化はみられない。(別添1) ・熱分解によりレジンから放出されるガス成分は、水、二酸化炭素、炭化水素(微量のエタン、アセトン等で金属腐食性なし)、水素で、その大部分が水分である。(別添1) ・長期貯蔵期間におけるレジンの重量減損量については、劣化パラメータ(ラーソンミラーパラメータ)にて整理が可能である。(別添4)	[使用環境温度] ・除熱解析による最高温度(128℃)以下 [使用環境] ・密閉・閉鎖環境 [設計減損率] ・～3%程度(減衰考慮)	・遮蔽解析においては、レジン系中性子遮蔽材の経年劣化評価試験結果の知見を踏まえて、熱分解によるレジンの重量減損分を遮蔽体として考慮せずに保守的に評価している。 なお、BWR用大型キャスク(タイプ2)及び(タイプ2A)に使用するレジン(メーカー開発品)の熱による重量減損評価を別添5に示す。
	照射	●遮蔽機能: 化学成分の変化や重量減少	・加熱と照射の影響評価によれば、照射の影響は加熱に比べわずかであり、照射の影響は主要ではない。(別添5)	[放射線照射量] ・ 10^3 Gy～ 10^4 Gy 程度 (60年間、一部減衰考慮)	・使用するメーカー開発品レジンの加熱試験結果と照射中加熱試験結果を比較すると、重量減損率にほとんど差異がないため、照射による重量減損を考慮する必要はない。 なお、BWR用大型キャスク(タイプ2)及び(タイプ2A)に使用するレジン(メーカー開発品)の照射による重量減損評価を別添5に示す。

第1表 金属キャスクの構成部材の健全性に対する評価について（4/4）

部位及び材料	要因	主な評価の観点	各部位及び材料の経年変化に係わるデータ	設計条件	評価
金属ガスケット 【材料】 ニッケル基合金 アルミニウム	腐食	●閉じ込め機能： 腐食による閉じ込め機能の低下	<ul style="list-style-type: none"> ・蓋部縮小モデルにおける約3年間の塩水噴霧試験では、漏えい率に変化はない⁹⁾¹⁰⁾。 ・発電所(福島第一サイトおよび東海第二サイト)に貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器に装着されている金属ガスケットの調査では、金属ガスケットの密封性は健全であった。(別添6) 	[使用環境] ・一次蓋及び二次蓋内側：ヘリウム雰囲気 ・二次蓋外側：外気(海塩粒子雰囲気) ・結露水	<ul style="list-style-type: none"> ・一次蓋用の金属ガスケットと二次蓋用の金属ガスケット内側面は、不活性ガスであるヘリウム雰囲気下で維持される限り腐食しない。 ・二次蓋用の外側面は、実環境より厳しい状況(塩水噴霧)においても漏えい率に変化はないため、実機の使用環境において閉じ込め機能への影響はない。
	熱	●閉じ込め機能： 熱による塑性変形およびクリープに伴う閉じ込め機能の低下	<ul style="list-style-type: none"> ・クリープ変形を起こす温度領域の境界として、融点(絶対温度)の1/3～1/2以上とされている。(別添2) ・外被材であるアルミニウムは、常温以上でクリープが発生しやすい傾向にあるが、長期密封特性試験¹²⁾や密封境界部の経年劣化影響評価試験¹⁾によって、塑性変形率と漏えい率の温度・時間の依存性についてラーソンミラーパラメータ(LMP)による整理が有効であることが確認されている。 ・高温時の健全性についてラーソンミラーパラメータ(LMP)で評価すると、150℃で100年以上閉じ込め機能を維持可能¹¹⁾。 ・長期密封性能試験¹²⁾において130～140℃(18年程度)で閉じ込め性能維持。 	[使用環境温度] ・除熱解析による最高温度(89℃)以下	<ul style="list-style-type: none"> ・当該材料における融点(絶対温度)の1/3の温度は、ニッケル基合金についてはクリープ領域になく、クリープや金属組織変化の影響はないが、アルミニウムはクリープ領域にある。(別添2)しかし、金属ガスケットの長期密封性評価に用いているLMPは、長期貯蔵中のクリープによる応力緩和が考慮されており、60年間の閉じ込め機能は維持できる。(別添7) ・初期の閉じ込め機能($1 \times 10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$以下)を保持できる限界のLMPは、使用する金属ガスケットの場合、約11×10^3となる。金属キャスクの除熱評価における金属ガスケットの制限温度は130℃以下であり、初期温度を130℃(除熱解析結果の最高温度は89℃であるが、保守的に130℃とする。)として崩壊熱の減衰を無視して、LMPで11×10^3となる時間を求めると約2000年となる。
	照射	●構造強度： 閉じ込め機能はガスケット部材の機械的性質に依存するため、照射による強度、弾性、脆化等の機械的性質影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ニッケル基合金は、中性子照射量が$7.7 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$程度で機械的性質が変化する傾向¹³⁾。 ・アルミニウムは、中性子照射量が10^{21}n/cm^2程度以下では、顕著な機械的特性の変化はない。(第8図) 	放射線照射量： 10^{15}n/cm^2 程度 (60年間一定) ^{※3}	<ul style="list-style-type: none"> ・照射量は各材料の機械的性質変化が認められる値より十分小さい。

※1 キャスク本体①は、貯蔵状態において外気に触れない部位とする。

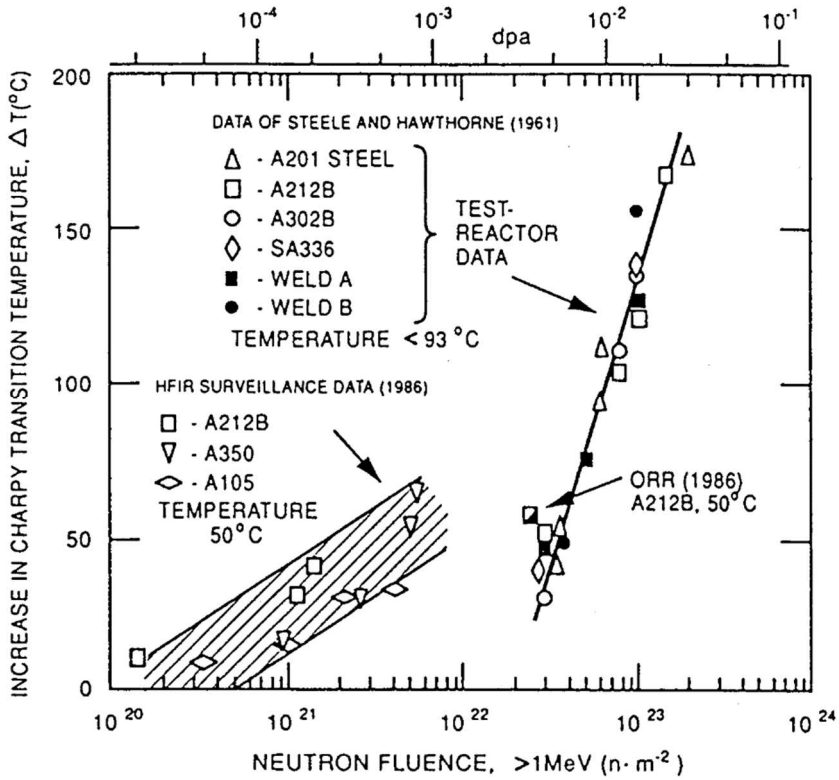
※2 キャスク本体②は、貯蔵状態において外気に触れる部位とする。

※3 中性子束は経年と共に指数関数的に減衰するが、各部材の中性子照射量の評価においては、貯蔵開始時の全中性子束について減衰を考慮せずに保守的に60年間一定としたもの。

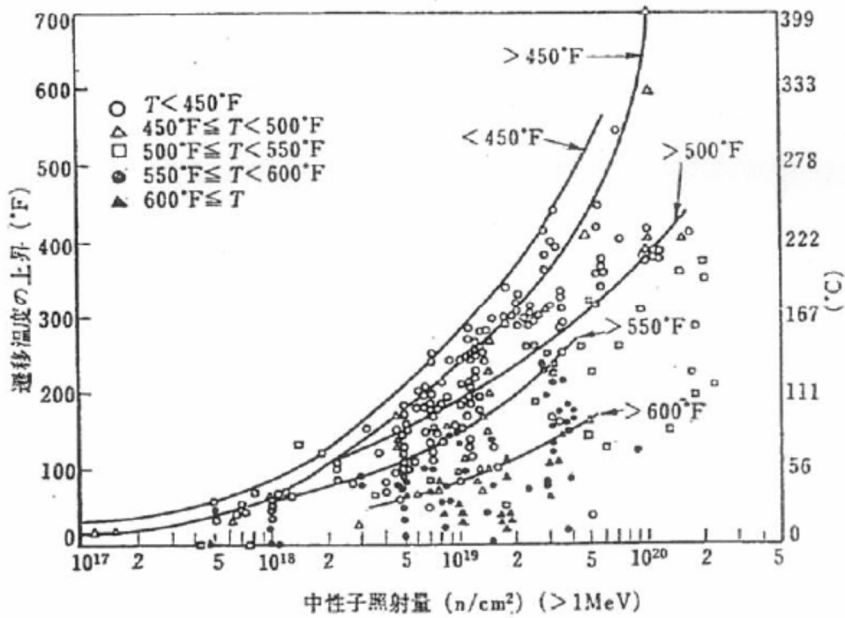
第2表 各種金属材料の大気暴露試験結果⁶⁾

供 試 材 料		海 浜 大 気 ^①					内 陸 大 気 ^②				
種 類	合 金	腐食量 (g/m ²)	平均 侵食 深さ (μm)	定常 腐食 速度 (μm/yr)	孔 食 深 さ		腐食量 (g/m ²)	平均 侵食 深さ (μm)	定常 腐食 速度 (μm/yr)	孔 食 深 さ	
					平均 ^③ (mm)	最大 (mm)				平均 ^③ (mm)	最大 (mm)
アルミニウム	1100	8	3	<0.25	<0.13	<0.13	5	2	<0.25	<0.13	<0.13
	6061-T6	8	3	<0.25	<0.13	<0.13	6	2	<0.25	<0.13	<0.13
	Alclad 2024-T6	9	3	<0.25	<0.13	<0.13	5	2	<0.25	<0.13	<0.13
非鉄金属 (純金属)	鉛(99.9%)	228	20	1.3	<0.13	<0.13	161	14	1.0	<0.13	<0.13
	ニッケル(99%)	26	3	<0.25	<0.13	<0.13	21	3	<0.25	<0.13	<0.13
	銅(99.9%)	173	19	0.8	<0.13	<0.13	60	7	0.25	<0.13	<0.13
	亜鉛(99.5%)	294	41	1.8	<0.13	<0.13	98	14	0.8	<0.13	<0.13
非鉄金属 (合金)	モネル(70Ni-30Cu)	49	6	0.25	<0.13	<0.13	30	4	<0.25	<0.13	<0.13
	銅ニッケル(70Cu-30Ni)	93	10	0.5	<0.13	<0.13	62	7	0.5	<0.13	<0.13
	アルミ青銅(95Cu-5Al)	84	10	0.5	<0.13	<0.13	52	6	0.25	<0.13	<0.13
	70/30黄銅(70Cu-30Zn)	72	8	0.5	<0.13	<0.13	54	6	0.25	<0.13	<0.13
鉄 鋼	炭素鋼(0.25C)	3149	402	21	1.30	3.12	2277	290	14	0.56	0.84
	含銅鋼(0.22C-0.3Cu)	2710	345	19	0.76	1.68	1863	237	15	(4)	(4)
	低合金鋼(Corten)	1596	204	10	0.46	0.89	851	108	4.6	0.46	0.69
ステンレス鋼	302(18Cr-8Ni)	3	0.5	<0.25	<0.13	<0.13	0	0	0	<0.13	<0.13
	316(18Cr-13Ni-2.3Mo)	0	0	0	<0.13	<0.13	0	0	0	<0.13	<0.13

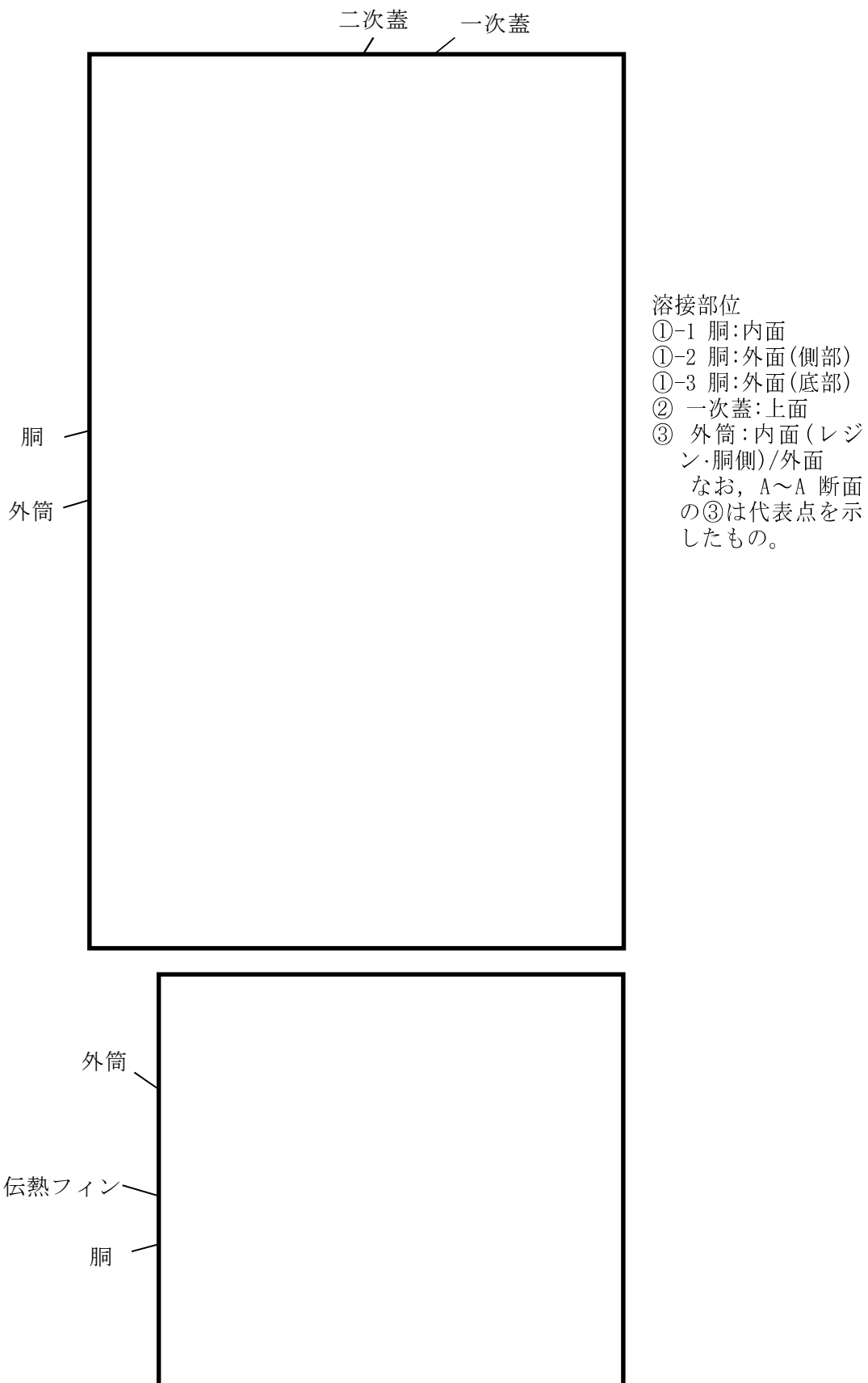
注. (1) ばく露場所：Limon Bay (パナマ運河地帯) (2) ばく露場所：Miraflores Locks (パナマ運河地帯) 海岸から8km
 (3) 最も深い20個の平均 (4) データなし



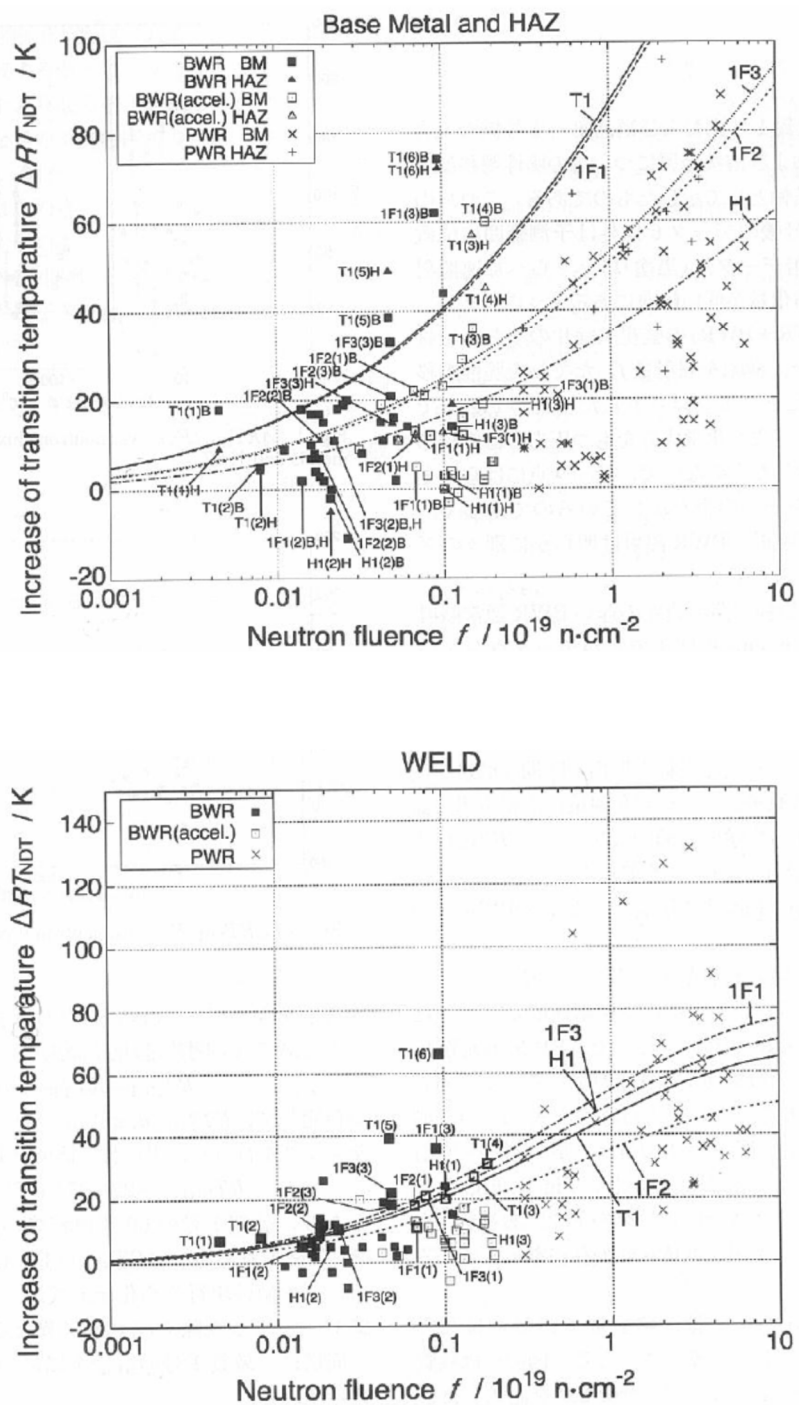
第1図 炭素鋼・低合金鋼のシャルピー遷移温度増加と照射量 (n/m^2) の関係²⁾
 (図中の照射量の単位 $1 n/m^2$ は、 $1 \times 10^{-4} n/cm^2$)



第2図 低合金鋼の中性子照射の影響評価結果³⁾

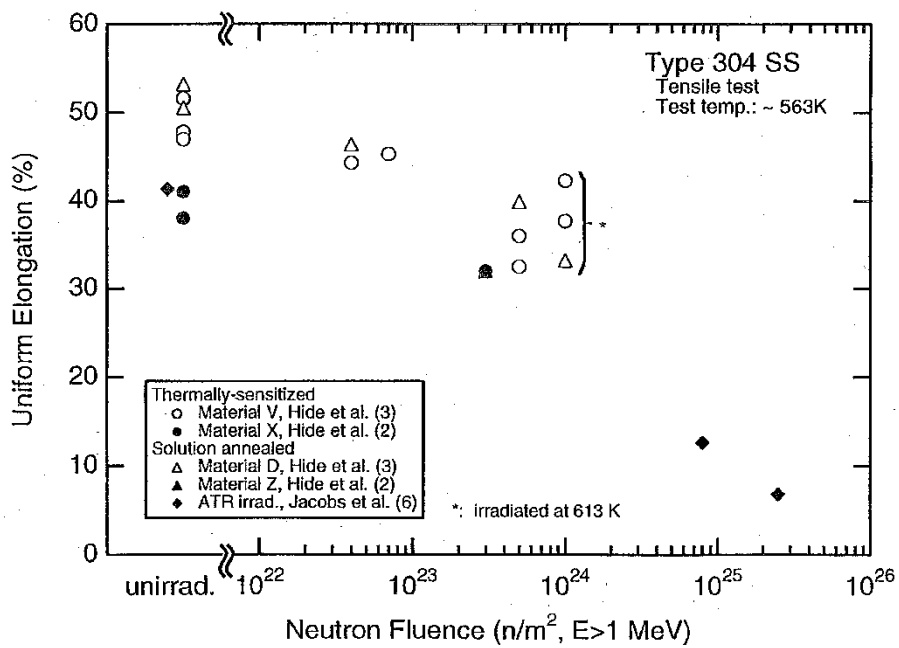
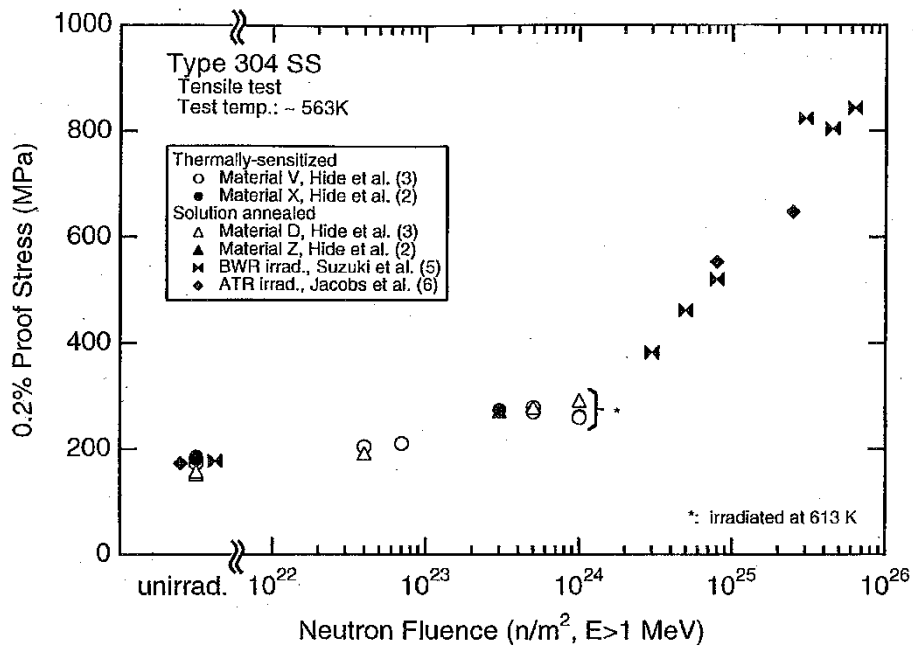


第3図 キャスク本体の溶接部

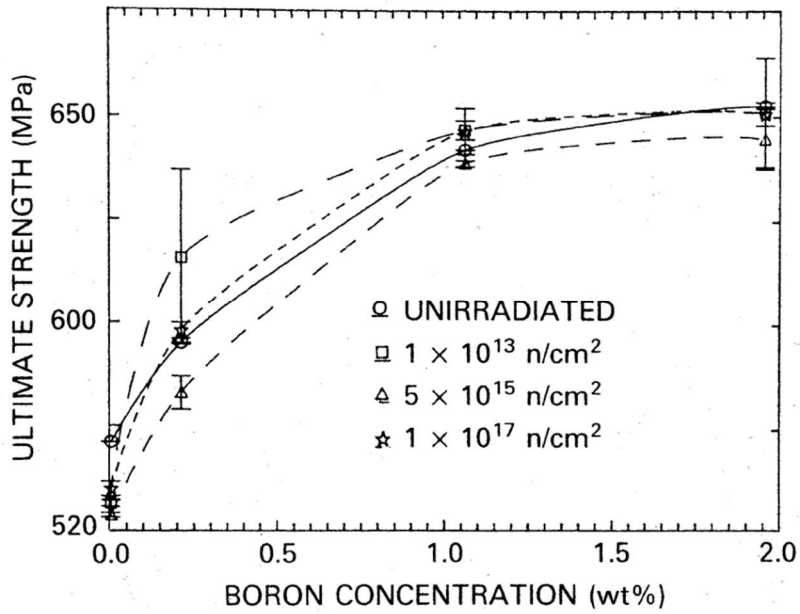


第4図 压力容器鋼材の脆性遷移温度増加と照射量⁵⁾

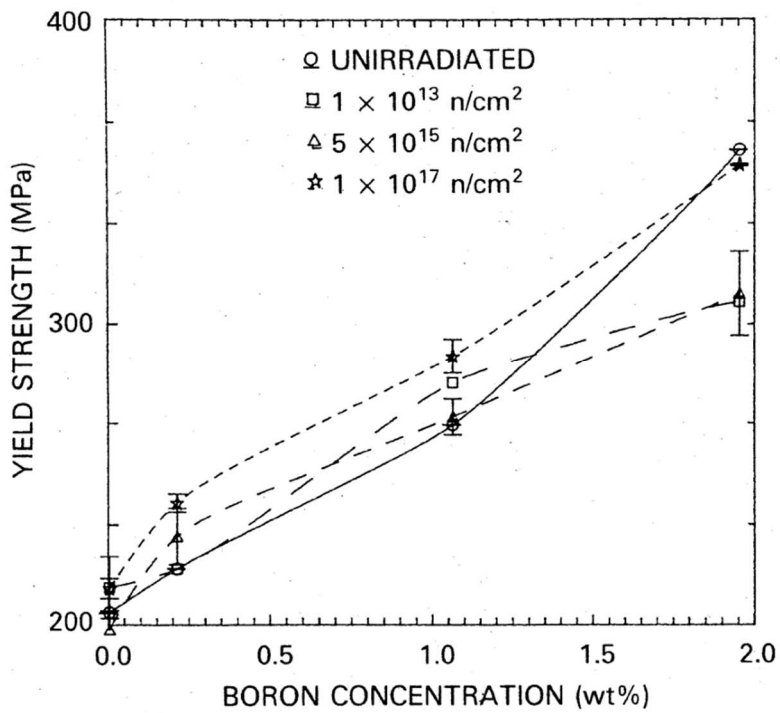
- ・国内軽水炉のデータプロットおよび敦賀-1, 福島第一-1~3, 浜岡-1を照射脆化予測式により曲線で示したもの
- ・中性子照射量の単位を n/cm^2 に換算すると $0.001 \times 10^{19} \text{ n-cm}^{-2}$ は 10^{16} n/cm^2



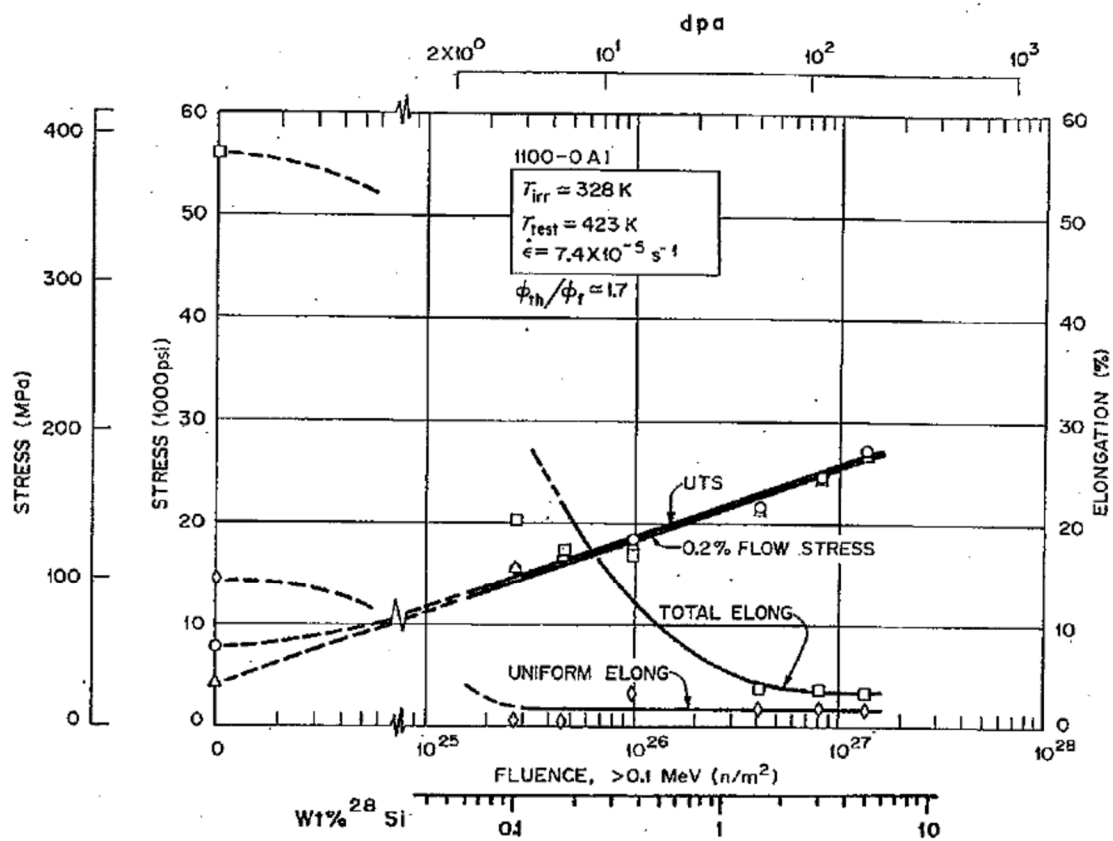
第5図 ステンレス鋼の中性子照射の影響評価結果⁷⁾



第6図 未照射と照射のボロン添加ステンレス鋼の引張強さ⁸⁾



第7図 未照射と照射のボロン添加ステンレス鋼の0.2%耐力⁸⁾



第8図 アルミニウム合金の中性子照射の影響評価結果 (1000系)¹⁴⁾

参考文献

- 1) (独)原子力安全基盤機構, 「平成 15 年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験 最終報告」, (独)原子力安全基盤機構, (平成 16 年 6 月)
- 2) K. Farrell, et al., “An evaluation of low temperature radiation embrittlement mechanisms in ferritic alloys”, Journal of Nuclear Materials, Vol.210, 268-281(1994)
- 3) 長谷川正義, 「原子炉材料ハンドブック」, 長谷川正義, 三島良績編, 日刊工業新聞社, 東京, p662 (1977)
- 4) (独)原子力安全基盤機構, 「平成 21 年度 中間貯蔵施設基準体系整備事業報告書(中間貯蔵施設基準体系整備)」, (独)原子力安全基盤機構, (平成 23 年 3 月)
- 5) 日本金属学会, 「国内沸騰水型原子炉圧力容器鋼材における照射脆化-監視試験データの解析-」, 日本金属学会誌, 第 72 巻 第 4 号, p261-267 (2008)
- 6) (社)軽金属協会, 「アルミニウムハンドブック (第 4 版)」, (社)軽金属協会, p60 (1990)
- 7) (財)電力中央研究所, 「304 ステンレス鋼の SCC 特性に及ぼす中性子照射効果(その 2) -熱鋭敏化材の SCC 感受性に及ぼす照射影響-」, (財)電力中央研究所, (平成 9 年 6 月)
- 8) S. E. Soliman, et al., “Neutron effects on borated stainless steel”, Nuclear Technology Vol.96 (1991)
- 9) (株)日本原子力情報センター, 「使用済燃料貯蔵技術の現状と課題」, (株)日本原子力情報センター, (1998 年 1 月 13 日)
- 10) A. Kosaki, et al., “Advanced R&D on Spent Fuel Storage -Spent Fuel Burn-up Fuel and Spent MOX (Mixed-Oxide:Pu and U) Fuel-”, The 14th Annual Spent Fuel Management Seminar, Washington, D.C., Jan.29-31 (1997)
- 11) (財)電力中央研究所, 「使用済燃料貯蔵容器用ガスケットの長期密封特性」, (財)電力中央研究所, (平成 4 年 7 月)
- 12) (財)電力中央研究所, 「平成 20 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査

等（中間貯蔵設備等長期健全性確証等試験のうち貯蔵設備長期健全性等調査）報告書」，（財）電力中央研究所，（平成 21 年 3 月）

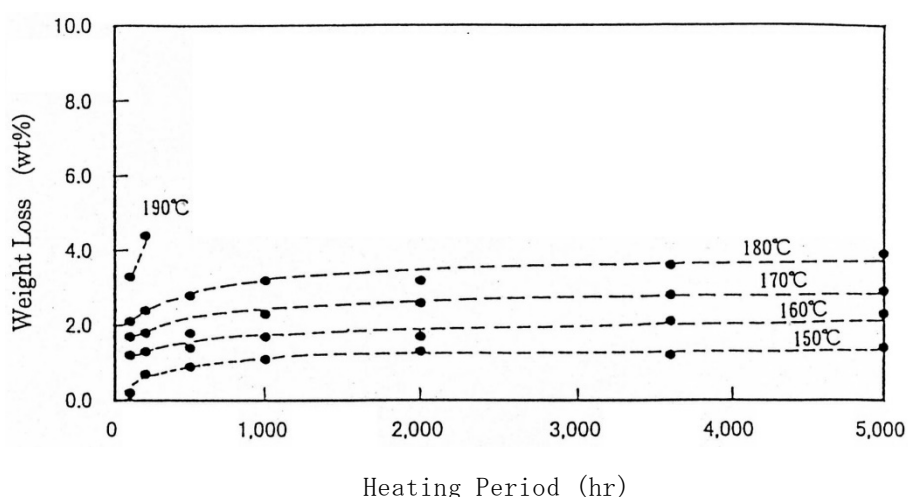
- 13) M. J. Mills, “Deformation and Fracture Characteristics for Irradiate Inconel X-750” , Nuclear Technology, American Nuclear Society, Vol. 73, 102 (1986)
- 14) K. Farrel and A. E. Richt, “ Microstructure and tensile of heavy irradiation 1100-0 aluminum” Effects of Radiation on Structural Materials, ASTM STP 683, 427-439(1979)

レジンの熱分解による重量減損と
放出される生成物による周囲部材への腐食影響について

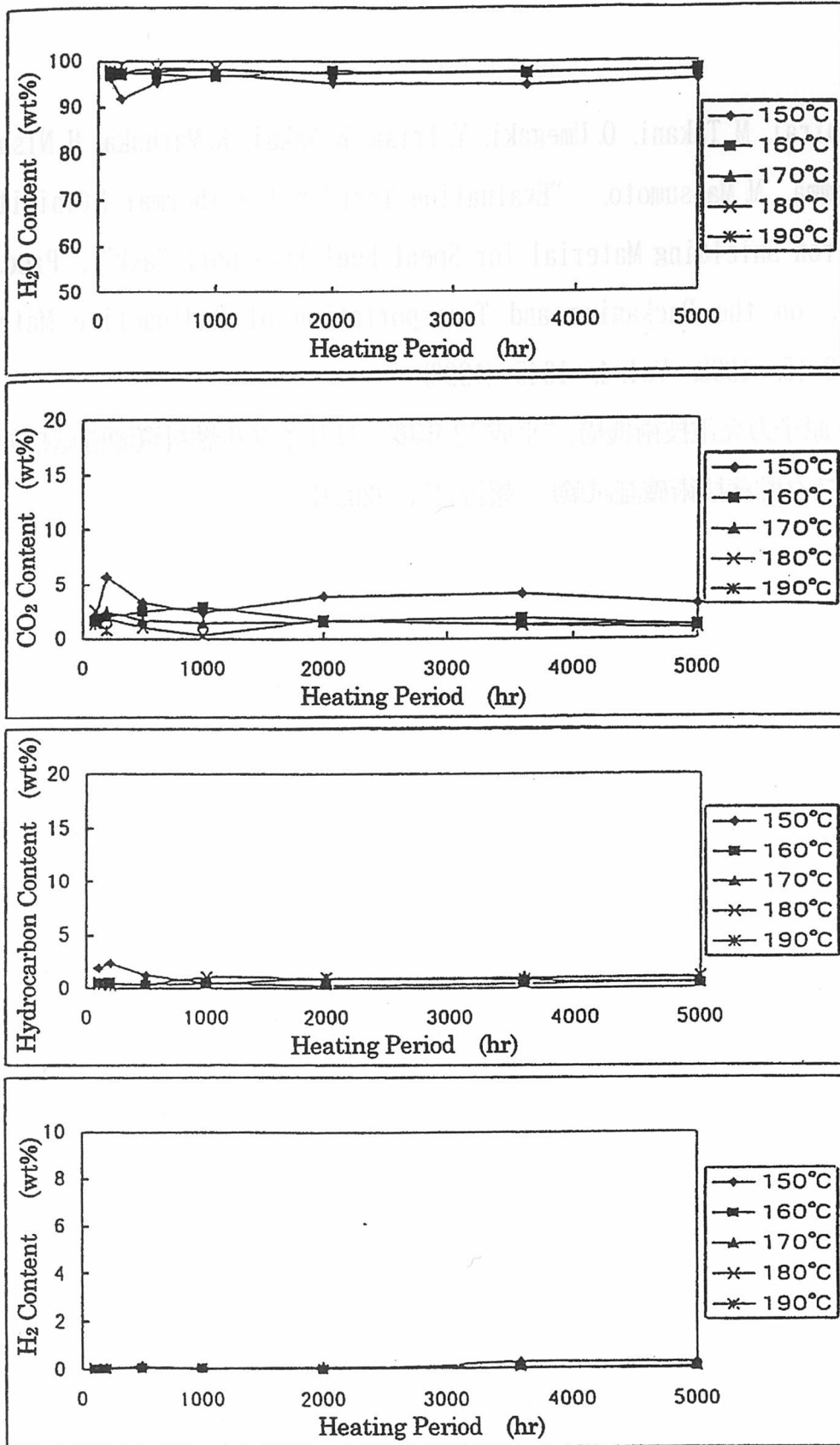
実機のレジン保持空間環境を模擬したエポキシ系レジン(NS-4-FR)の密閉系の環境における連続加熱試験により確認された重量減損率を別添1-1図に、放出ガス成分の分析結果を別添1-2図に示す。

重量減損率(別添1-1図)は、180℃以下では試験開始後に時間と共に増加するが、徐々に増加割合は減少し、5000時間に到達するまでに有意な変化は見られなくなり、170℃以下では5000時間でも3wt%以下であることが確認されている。また、熱分解によりレジンから放出されるガス成分(別添1-2図)は、水、二酸化炭素、炭化水素(微量のエタン、アセトン等^[2]で金属腐食性なし)、水素で、その大部分が水分であることが確認されている。なお、BWR用大型キャスク(タイプ2)及び(タイプ2A)に使用されるメーカー開発品のレジンについても加熱試験後のガス分析により、放出される生成物がNS-4-FRと同様であり大部分が水分であることが確認されている。

これらのことから、レジン周囲の金属キャスク部材の腐食において、主因となるものは水分であると考えられる。



別添1-1図 エポキシ系レジンの連続加熱試験における重量減損率^[1]



別添 1 - 2 図 エポキシ系レジンの連続加熱試験における放出ガス分析結果^[1]

そこで、レジンの熱分解による重量減損分を全て水分とし、全てが放出されて炭素鋼^{※1}と反応すると仮定して設計評価期間(60年間)におけるレジン周囲部材の腐食量を算出すると、別添1-1表に示すとおりにわずかなものであり、レジン周囲部材への影響は問題となるものではないと考える。

さらに、下記理由を考慮すると実際のレジンの重量減損は少なく、有意な腐食影響はほとんど生じないものと考えられる。

- ・連続加熱試験では均一加熱条件であるのに対して、実機では温度勾配があるために加熱条件として緩和される方向であること。
- ・レジン材料が本来吸湿性を有しており、レジンの高温部で発生した水分は低温部で吸収されることが推定される^[3]こと。

別添1-1表 レジンの熱分解による腐食量評価

金属キャスク種類	腐食量 ^{※2}	部材厚さに対する腐食厚さ割合
BWR用大型(タイプ2)	0.2mm程度	胴 : <input type="text"/> %程度 外筒 : <input type="text"/> %程度 伝熱フィン : <input type="text"/> %程度

※1 伝熱フィンには銅も使用されているが、銅は鉄よりも貴(不活性)な金属で鉄よりも耐食性があるため、銅より鉄が先に腐食すること(参考1-1参照)から考慮しないものとする。

※2 腐食量評価を参考1-2に示す。

参考文献

- [1] S. Shirai, M. Takani, O. Umegaki, Y. Iriya, K. Sakai, K. Maruoka, H. Nishioka, O. Kadota, Y. Momma, M. Matsumoto, "Evaluation Test on the Thermal Stability of Resin as Neutron Shielding Material for Spent Fuel Transport Cask", Proc. the 12th Int. Conf. on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, Paris, May10-15, 1998, Vol. 4, 1645 (1998)
- [2] 原燃輸送(株), 「使用済燃料等の輸送容器に用いられる中性子しゃへい材(NS-4-FR)の連続加熱評価試験」, 原燃輸送(株), NFT-TR-97001, (1997)
- [3] (独)原子力安全基盤機構, 「平成15年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験最終報告」, (独)原子力安全基盤機構, (2004)

参考 1-1 : 金属の耐食性

下表に示すように、単体金属には化学的に活性の高い(イオン化傾向の高い)金属(卑な金属)と安定な(イオン化傾向の低い)金属(貴な金属)があり、貴な金属ほど錆や腐食に強い金属である。

表 2.3 金属の熱力学的貴/卑と耐食性との対応¹⁾

		熱力学的 貴/卑			実環境中 耐食性	
		イオン化反応	E° (V vs. SHE)			
貴 ↑ ↓ 卑	金	Au/Au ³⁺	1.5		Au	高
	パラジウム	Pd/Pd ²⁺	0.99		Ti	
	銀	Ag/Ag ⁺	0.80		Pd	
	銅	Cu/Cu ²⁺	0.34		Zr	
	鉛	Pb/Pb ²⁺	-0.13		Ag	
	ニッケル	Ni/Ni ²⁺	-0.25		Cu	
	コバルト	Co/Co ²⁺	-0.28		Al	
	鉄	Fe/Fe ²⁺	-0.44		Cr	
	亜鉛	Zn/Zn ²⁺	-0.76		Fe	
	クロム	Cr/Cr ³⁺	-0.74		Ni	
	マンガン	Mn/Mn ²⁺	-1.19		Co	
	ジルコニウム	Zr/Zr ²⁺	-1.54		Pb	
	アルミニウム	Al/Al ³⁺	-1.66		Zn	
	チタン	Ti/Ti ²⁺	-1.63		Mg	
	マグネシウム	Mg/Mg ²⁺	-2.37		Mn	低

参考文献

- 1) (社)腐食防食協会編, 「材料環境学入門」, 丸善, (1993)

参考 1-2 : レジン劣化生成物の水分による腐食量評価
(BWR用大型キャスク (タイプ2))

レジンは加熱により、水分を主とした劣化生成物が生じる。劣化生成物を全て水とし、胴外面・伝熱フィン・外筒内面の腐食量を算出する。腐食量の算出にあたっては、残留水分が全て腐食に消費されるものとし、均一に腐食した場合の腐食厚さを求める。

1. 水分量の設定

60年間のレジンの重量減損は wt % (最高温度/中央値/閉鎖系/温度履歴考慮) と算出される。したがって、レジンの重量減損量を wt% とし、その全てが水とした場合、単位長さ当たりのレジン重量 kg/cm から、単位長さ当たりに生じる水重量は g/cm と求められる。ここで、水の分子量 18.01528 g/mol から、 g/cm の水の単位長さ当たりの mol 数 N_{H_2O} は mol/cm となる。

2. 腐食量評価

胴及び外筒は炭素鋼で構成される。また、伝熱フィンは、銅と炭素鋼で構成されるが、高湿度雰囲気では炭素鋼が腐食し、銅はほとんど腐食しないため、炭素鋼の腐食量を求める。なお、炭素鋼は鉄 100% とする。鉄の酸化反応を、 $2Fe + 3H_2O \rightarrow 3H_2 + Fe_2O_3$ とすると、単位長さ当たりの酸化される鉄の重量 m_{Fe} (g/cm) は以下の式より求められる。

$$m_{Fe} = \frac{2}{3} N_{H_2O} \times M_{Fe} \quad (2.1 \text{ 式})$$

ここで、 M_{Fe} : 鉄の原子量 (g/mol), 55.845 g/mol

N_{H_2O} : 単位長さ当たりに生じる水の mol 数

(2.1 式) より単位長さ当たりの水のモル数は mol/cm であることから、単位長さ当たりの酸化される鉄の重量は g/cm と求められる。

したがって、腐食厚さ t (cm) は、以下の式で求められる。

$$t = \frac{(m_{Fe} / \rho_{Fe})}{S} \quad (2.2 \text{ 式})$$

ここで、 ρ_{Fe} : 鉄の密度 (g/cm^3), $7.85 \text{ g}/\text{cm}^3$

S : 単位長さ当たりの胴外面・伝熱フィン (炭素鋼面) ・
外筒内面の表面積 (cm^2/cm)

$$S = \text{胴外径} \times \pi + \text{伝熱フィン幅} \times \text{枚数} + \text{外筒内径} \times \pi$$



一様に腐食するとすれば, (2.2 式) より腐食厚さは約 0.22mm と求められる。



金属キャスク構成部材のクリープ影響について

金属材料のクリープ変形は、材料がおかれる環境（応力、温度）及び時間が関連し、応力・温度が高いほどひずみ（クリープ変形）は大きくなり、クリープ破断する時間が短いことが知られている。金属キャスクに使用する構成部材のクリープの評価は、以下のとおりである。

金属キャスク構成部材の温度は、除熱設計における熱解析にて各部材の温度を算出している。金属工学では金属材料がクリープ変形を起こす温度領域の境界として、融点（絶対温度）の $1/3 \sim 1/2$ 以上とされており、それ以下の低い温度領域においてはクリープによる変形量が無視できるほどに小さいため、クリープが問題視されることは少ないとされている。（ $1/3$ の場合の参考文献例としては、参考文献[1][2]）

一方、応力については、構造強度設計における応力解析にて熱解析での温度を考慮して構成部材の応力を算出し、各供用状態における構造部材の応力強さが JSME 金属キャスク構造規格で要求される許容応力以下であることを評価している。

貯蔵時の金属キャスク構成部材の温度と応力を別添 2 - 1 表、別添 2 - 2 表に示す。熱解析結果の各部材の温度（最高温度）は、各金属材料がクリープ変形を起こす温度の最低温度（融点（絶対温度）の $1/3$ ）と比較しても十分低く、クリープ変形が発生する領域には達しない。一方、応力は許容応力よりも十分小さく、かつ温度がクリープ発生領域にないことから、当該構成部材においてはクリープに応力を考慮する必要がないレベルである。

さらに、貯蔵期間の経過につれて使用済燃料集合体の崩壊熱ならびに構成部材の温度が一途に低下する方向にあることから、貯蔵期間を上回る設計評価期間（60 年間）における金属キャスク構成部材のクリープは無視できるレベルにある。

なお、金属ガスケット材については、外被材であるアルミニウムがクリープ発生の温度領域にあるが、クリープによる応力緩和が考慮された設計であることから貯蔵期間を上回る設計評価期間（60 年間）における金属キャスクの閉じ

込め機能を維持できる。(別添7参照)また、バスケットの材料であるボロン添加ステンレス鋼は、ボロンの添加により、母材中の金属間化合物が分散析出することでクリープ特性が改善されること^[1]が知られているが、上記に記載のとおり除熱解析によるバスケット材の温度(最高温度)は、クリープ領域にないことや発生応力も非常に小さいことから、クリープの考慮は無視できる。

別添2-1表 貯蔵時の金属キャスク構成部材の温度

部位	材料	解析温度 (最高温度) (°C)	融点の1/3 (K)	融点 ^{※2} (K)
本体胴	炭素鋼	142	約 560~590 (約 285~315°C)	約 1670~1770 ^{※3} (約 1400~1500°C)
一次蓋		96		
二次蓋		85		
外筒		113		
一次蓋ボルト	合金鋼	89		
二次蓋ボルト		85		
伝熱フィン ^{※1}	炭素鋼	128		
バスケット	ボロン添加 ステンレス鋼	248	約 560~565 (約 285~290°C)	約 1670~1690 (約 1400~1420°C)
金属ガスケット	ニッケル基合金	89	約 550~570 (約 275~300°C)	約 1660~1700 (約 1390~1430°C)
	アルミニウム		約 311 (約 38°C)	約 933 (約 660°C)

※1 伝熱フィンは炭素鋼と銅からなるクラッド鋼で、銅は伝熱部材(非強度部材)である。

※2 金属元素の融点は元素毎の融点については明確であるが、複数の元素から成る材料の融点は、成分により異なることから融点に幅が生じる。また、炭素鋼の場合、一般的に炭素の含有量でグループ化して表す。

各材料の融点は以下による。

日本機械学会編, 機械工学便覧 B. 応用編, B4 材料学・工業材料, 丸善(1998)
アルミニウムハンドブック(第6版), (社)日本アルミニウム協会(2001)
幡野 佐一, 梅川 雪夫, 工業材料便覧, 丸善(1981)

※3 キャスクに使用する炭素鋼の部材は全て同じ材料ではないが、全て低炭素鋼に該当する。また、使用する合金鋼の融点は低炭素鋼と同程度である。

別添 2 - 2 表 貯蔵時の金属キャスク構成部材の応力
(Ss 地震力が作用する場合(供用状態 Ds))

部位	材料	応力強さ又は応力 ^{※1} (MPa)	設計基準(許容応力) ^{※2} (MPa)
本体胴	炭素鋼	37	183
一次蓋		61	183
二次蓋		18	236
外筒		61	247
一次蓋ボルト	合金鋼	337	831
二次蓋ボルト		274	848
バスケット	ボロン添加 ステンレス鋼	6	437

※1 設工認の計算値より代表値を記載。(外筒と伝熱フィンは、外筒の伝熱フィン結合部の曲げ応力を評価。)

※2 金属キャスク構造規格に基づく設計基準。

参考文献

- [1] ステンレス協会, 「ステンレス鋼便覧(第3版)」, 日刊工業新聞社, (1995)
- [2] 木村一弘, 「耐熱鋼のクリープ破断寿命予測」, 日本金属学会誌, 第 73 巻 第 5 号, (2009)

別添 3

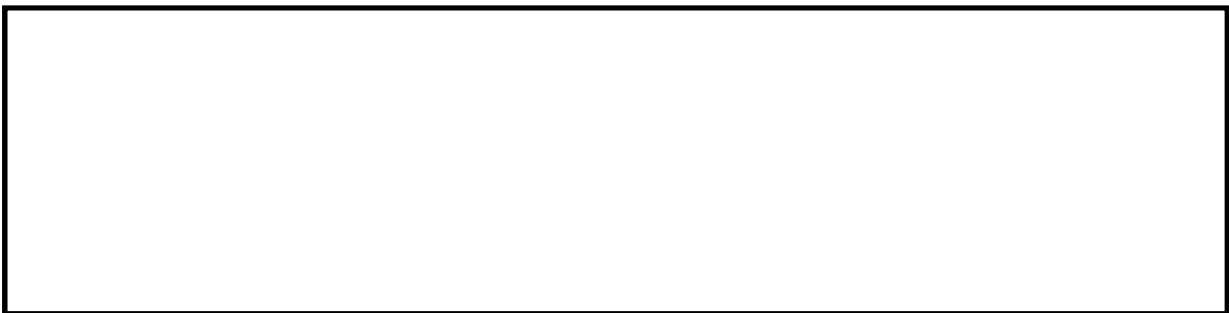
金属キャスク本体と伝熱フィンの接合部の除熱機能への影響評価について

以下にBWR用大型キャスク（タイプ2）及び（タイプ2A）のキャスク本体と伝熱フィンの接合部について伝熱パス不良時の影響について説明する。

キャスク本体と伝熱フィンの接合部の構造を別添3-1図に示す。伝熱フィンは、側部レジンが充填される胴（炭素鋼）と外筒（炭素鋼）の間に設置されて、その間の伝熱を促進する。



熱解析において、支配的な伝熱パス^{※1}や非接触部^{※2}や構造が複雑な部位^{※3}を考慮して、別添3-2図のようにモデル化している。別添3-2図のB部（胴との接合部）とE部（外筒との接合部）の熱伝導率をパラメータにして、貯蔵状態における胴の最高温度を求めた結果を別添3-1表に示す。伝熱フィン接合部の溶接が部分的に未溶着である状態として、伝熱フィン接合部の溶接が半分しか溶着していない場合を仮定しても、温度上昇は□℃程度であり、伝熱フィン溶接部が部分的に未溶着であっても、除熱機能への影響はない。

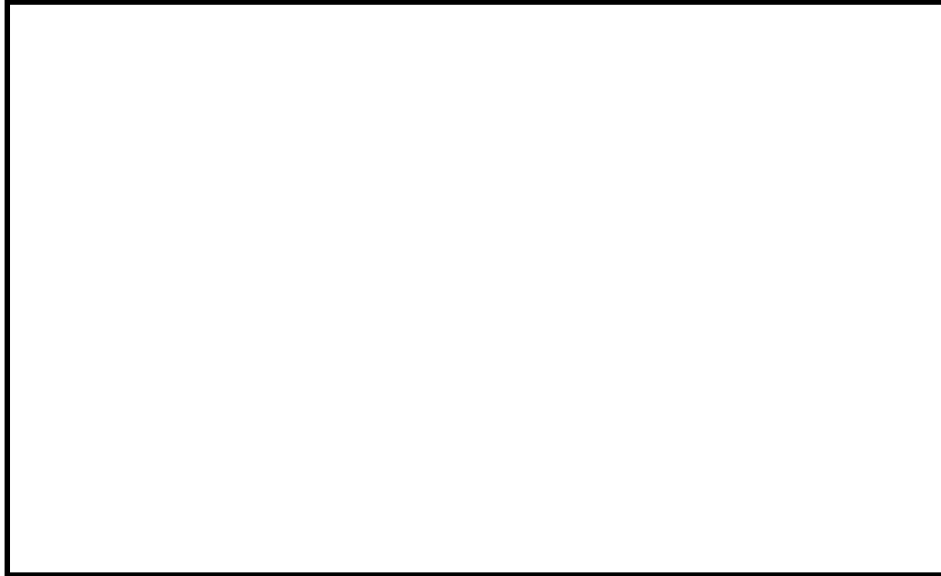


注記： ※1

※2

※3

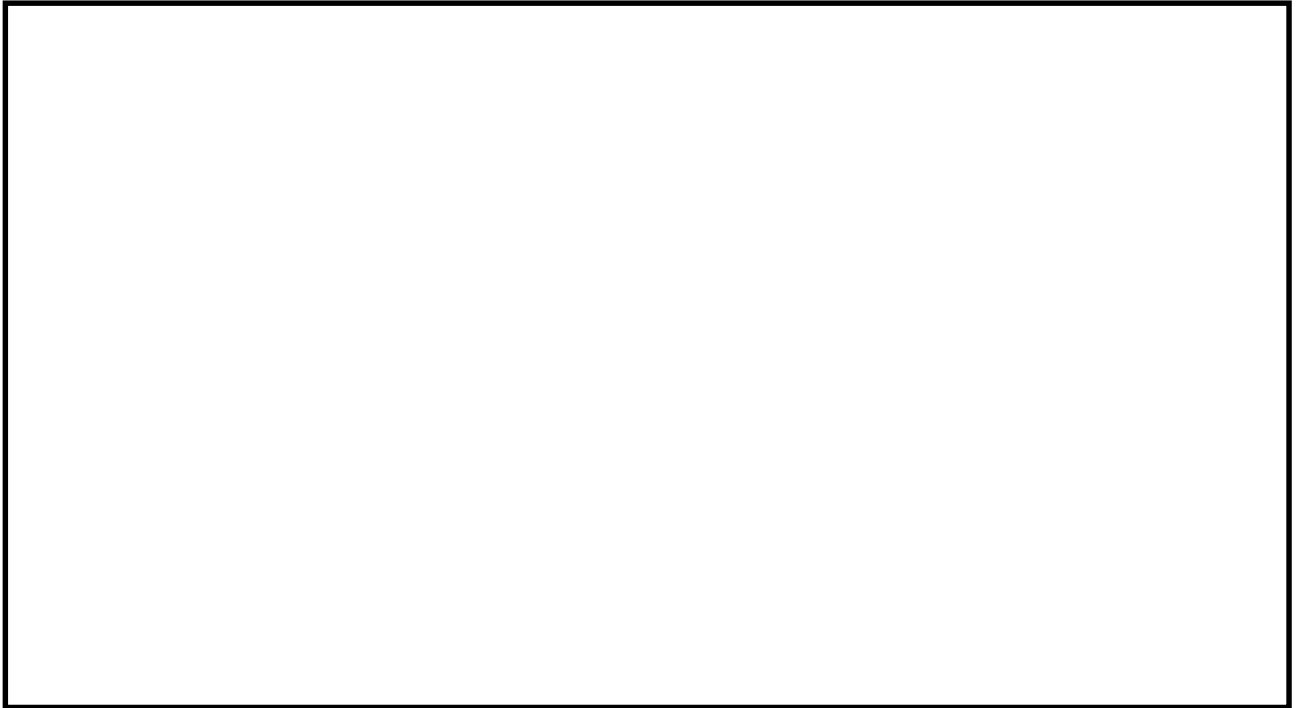




別添 3 - 1 図 キャスク本体と伝熱フィン接合部の構造

別添 3 - 1 表 伝熱フィン溶接部の未溶着の影響評価





別添 3 - 2 図 伝熱フィン接合部の熱解析モデル

レジンの重量減損量を劣化パラメータで整理することの妥当性について

劣化パラメータによる劣化評価は、国際電気標準規格（IEC-216）において多くの電気絶縁材料の寿命評価について成立するとされる経験式、及び多くの樹脂材料で重量減損が加熱時間の対数に比例するとの実験事実に基づいて構成された手法である。

劣化寿命： t に至るまでの反応速度： r にアレニウスの式^{*}を仮定すると、

$$r = A \cdot \exp(-Q/RT)$$

A: 頻度因子

Q: 活性化エネルギー

R: 気体定数

T: 絶対温度

※アレニウスの式
 化学反応速度 k と絶対温度 T との関係を表したもので、ある温度での化学反応の速度を予測する

$$k = A \cdot \exp(-E/RT)$$

k: 化学反応速度

A: 頻度因子

E: 活性化エネルギー

R: 気体定数

T: 絶対温度

ここで、 $r = \Delta x / \Delta t$ (x は寿命に関する特性値) とおき、時間積分すれば、

$$1/t = A' \cdot \exp(-Q/RT)$$

ここで、 $A' = A/x$

したがって、 $T(\ln(A') + \ln(t)) = Q/R$ 、式を簡略化すると、

$$T(C + \ln(t)) = \text{Const} \quad \text{あるいは} \quad T(C + \log(t)) = \text{Const}$$

温度と劣化寿命が一つの関係式で表されることを利用し、高温短時間の試験データから、より低温長時間の劣化寿命を予測することができる。上記の関係式は、温度の異なる金属のクリープ破断データが $C=20$ 前後の値^[1]で整理され、プラスチックのクリープ破断データでは $C=10 \sim 25$ の値^[2]で、材料の種類によって変化する。これらの関係はラーソン・ミラー・パラメータ (LMP) として知られている。レジンの重量減損率の評価は、同様の考察からある重量減損率に至るまでの時間と温度を一つの関係式(ここでは、劣化パラメータと呼ぶ)で表し、試験データに基づき a, b, C の定数を定めたものである。

[ラーソン・ミラー・パラメータ]

$$LMP = T \cdot (C + \log(t))$$

T: 絶対温度 (K)

t: 時間 (hr)

C: 定数

[劣化パラメータによる重量減損率の算定式]

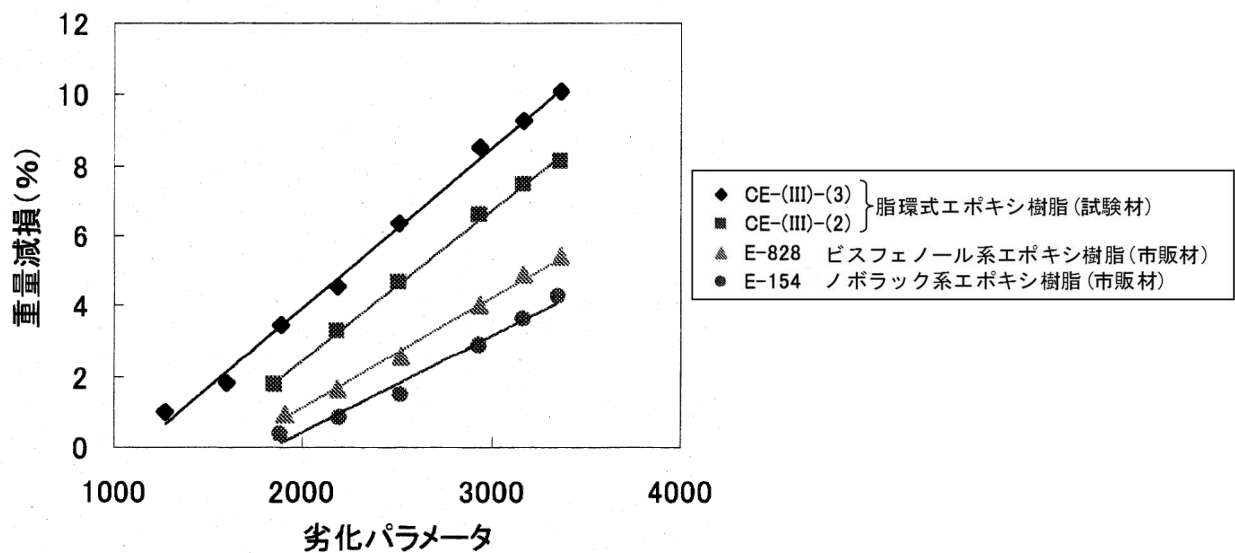
$$\Delta w = a \cdot T \cdot (C + \ln(t)) + b$$

T: 絶対温度 (K)

t: 時間 (hr)

a, b, C: 定数

(財) 原子力発電技術機構では、別添 4-1 図に示すように複数種類のレジ
ン（樹脂）の重量減損について劣化パラメータの適用性について検討し、重量
減損の整理に適用可能であることを確認している^[3]。



(加熱温度一条件/200°Cのため、C=0 と仮定)

(重量減損率が加熱時間の対数に比例)

別添 4-1 図 文献[4]を用いた整理^[3]

参考文献

- [1] F. R. Larson and J. Miller, ” A Time-Temperature Relationship for Rupture and Creep Stresses” , Transactions of the ASME, Vol.74, p765-775 (1952)
- [2] 早川浄, 「高分子材料の寿命評価・予測法」, アイピーシー, p205, (1994)
- [3] (財)原子力発電技術機構, 「平成 13 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術確証試験 (金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書」, (財)原子力発電技術機構, p262-263, pE3-6, (2002)
- [4] M. Tokizawa, H. Okada, N. Wakabayashi, ” Novel cycloaliphatic epoxy resins. II. Curing reaction with BF_3MEA and its cured properties.” , J. Appl. Polym. Sci., Vol.50, p882, (2003)

申請キャスク[BWR用大型キャスク（タイプ2）及び（タイプ2A）]
に使用するレジンの熱，放射線照射による重量減損の影響について

BWR用大型キャスク（タイプ2）及び（タイプ2A）に使用する中性子遮蔽材(レジンはメーカー開発品のレジンであるが、(独)原子力安全基盤機構((財)原子力発電技術機構)により行われたレジンの経年劣化評価試験の結果・知見に基づき、加熱試験及び照射試験を実施し重量減損率の評価を行うとともに、照射による重量減損への影響がないことを確認したものである。

加熱試験は、最高 170℃、最長 15000 時間が実施（別添 5－1 図参照）され、そのデータによりレジンの重量減損と劣化パラメータの関係が別添 5－2 図のように整理され、貯蔵期間中の重量減損量の評価に使用している。

なお、加熱試験を実施した範囲で劣化パラメータを整理していることから、使用温度が 170℃以下であれば劣化パラメータを用いたレジンの重量減損率の算定式が利用可能である。

重量減損率 Δw (閉鎖系)は、劣化パラメータにより次式で表される。

$$\Delta w = 0.83 \times 10^{-3} \times E_p - 11.1$$

ここで、

Δw : レジンの重量減損率 (%)

E_p : 劣化パラメータ

$$= T \times (24.2 + \ln(t))$$

T : レジン温度 (K)

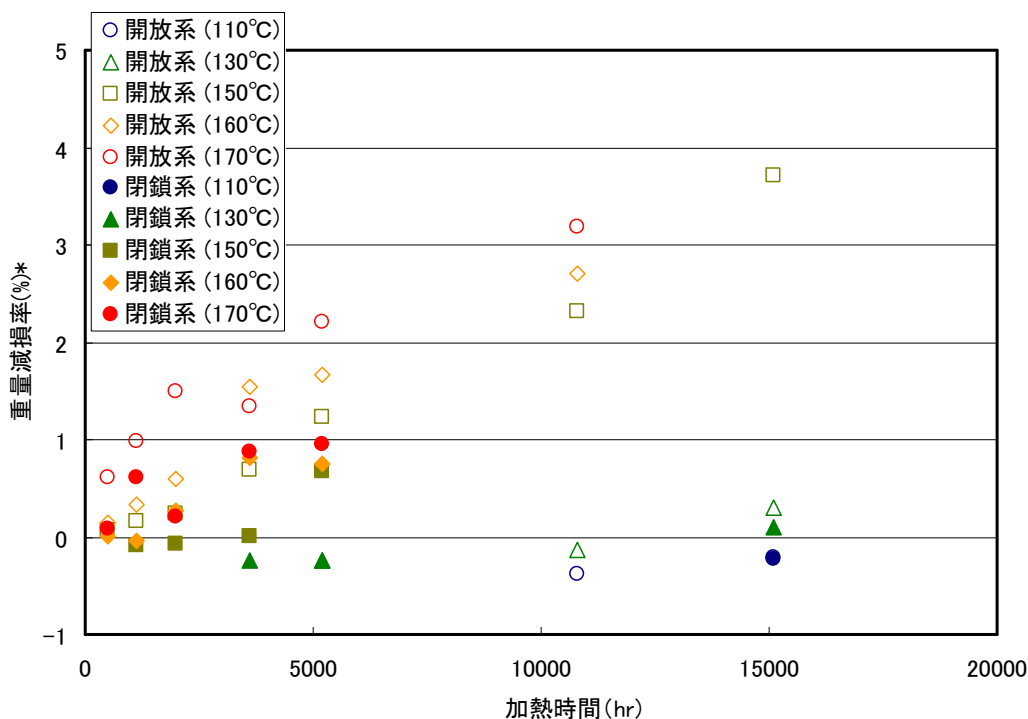
t : レジン加熱時間 (h)

長期貯蔵期間中は、使用済燃料集合体の発熱量の低下に伴いレジンの温度も低下する。レジンの重量減損率算定に当たって、貯蔵初期の最高温度を用い温度一定として貯蔵期間中の重量減損率を算定する方法もあるが、実態に合った合理的な算定方法として貯蔵中のレジンの温度低下を考慮する。温度低下を考慮する際には、温度が時間変化することを考慮した劣化パラメータ E_p を算出（時間区分毎の温度における換算加熱時間を算出し、時間区分毎の加熱時間換

算値を累積のうえ、 E_p 算出に適用する。(時間区分のイメージを別添5-3図に示す。) したうえで、重量減損率の算定式を適用する。

なお、レジン温度は部位(蓋部、側部、底部)により異なるが、レジンの最高温度を用いて保守的に算定する。貯蔵期間中のレジン最高温度を別添5-2表に示す。

BWR用大型キャスク(タイプ2)及び(タイプ2A)では、設計評価期間の重量減損率 Δw は約 %と算定される。また、安全側に95%の信頼度を考慮した場合の重量減損率 Δw は %となる。遮蔽解析ではこれを丸めて %の重量減損があるとして評価している。



*) 重量減損率はN数6の平均値

別添5-1図 レジンの加熱試験における重量減損率(メーカー開発品) [2]

[BWR用大型キャスク(タイプ2)及び(タイプ2A)]

(文献記載の試験データを再構成したもの)

加熱試験後(密閉系: 150°C × 3600 h)のガス分析により、レジンから発生する主要生成物が水蒸気、炭素ガスであることを確認している。

[別添5-1図の補足説明]

1. 出典[1]文献で行われた加熱試験との試験条件比較について

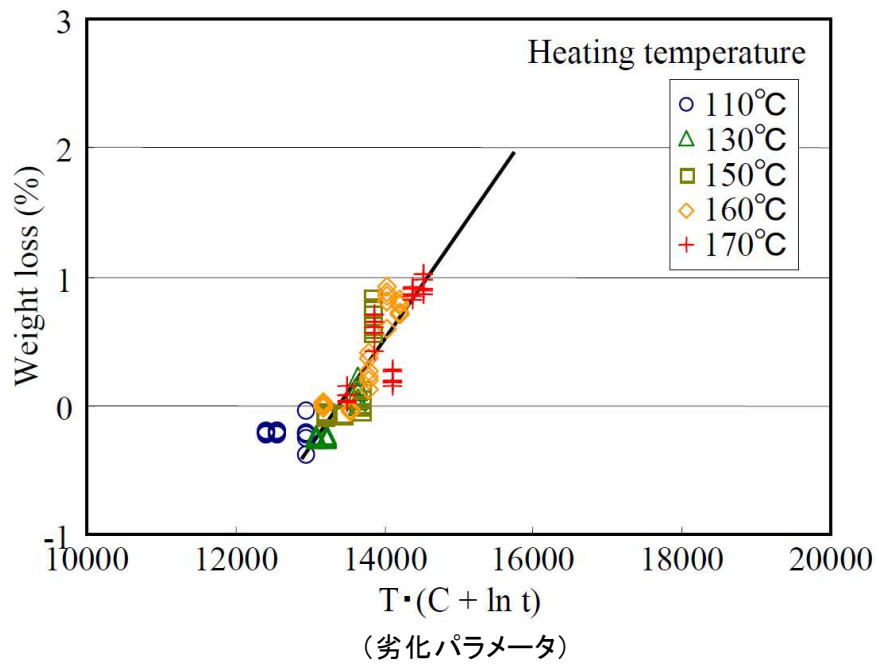
別添5-1表に示すとおり、メーカー開発品の加熱試験は引用文献[1]の加熱試験と同様な条件で実施されている。なお、加熱の重量減損は比表面積（単位体積当たりの表面積）が大きいほど進行する（反応は拡散が支配的）と考えられ、小片による試験は実機に比べて保守的な条件となる。

別添5-1表 加熱重量減損の試験条件の比較

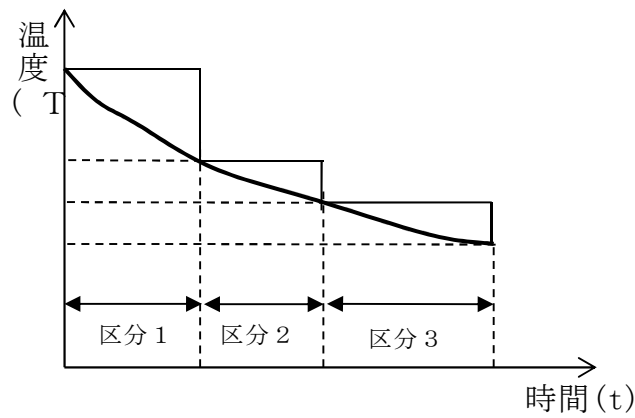
条件	出典[1]の加熱試験	メーカー開発品の加熱試験
対象レジン	エポキシ系 (NS-4-FR)	エポキシ系 (メーカー開発)
加熱環境	開放系, 閉鎖系, 密封系	開放系, 閉鎖系
試験片寸法	φ2cm×7cmH	同左
1条件あたりのN数	2あるいは3	6
温度	130, 150, 170℃	110, 130, 150, 160, 170℃
時間	最長 15000 h	最長 15000 h

2. 加熱試験での重量減損のマイナス分について

レジンの加熱による重量減損は、樹脂を構成する水素や炭素が雰囲気中の酸素によって酸化され、低分子量の酸化生成物が離脱することと、添加材の水酸化アルミニウムを構成する水和物の一部が分解・揮発することで進行する。別添5-1図の結果は、試験温度が低い場合は酸化による重量増加が進み、時間経過に伴い離脱や分解・揮発が有意になってくるが、試験温度が高い場合は離脱や分解・揮発が有意になり、重量減損が増加する傾向を示すものである。



別添 5 - 2 図 レジンの重量減損と劣化パラメータの関係（メーカー開発品）^[2]
 [BWR用大型キャスク（タイプ2）及び（タイプ2A），閉鎖系]



別添 5 - 3 図 レジン温度低下と時間区分のイメージ

別添 5 - 2 表 貯蔵期間中のレジン最高温度
(BWR用大型キャスク (タイプ 2) および (タイプ 2 A))

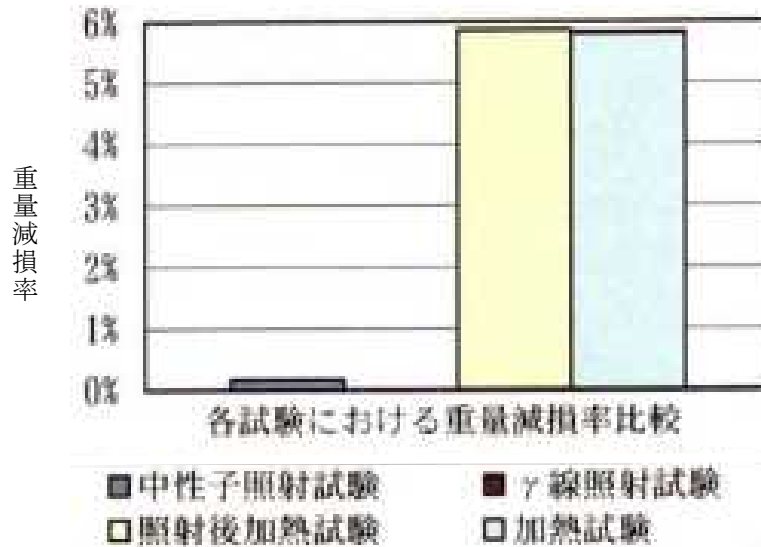
貯蔵期間 (年)	蓋部 (°C)	側部 (°C)	底部 (°C)
0	95	128	120
2			
5			
10			
20			
40			
60			

また、照射における重量減損への影響については、加熱と照射の重量減損率に対する影響評価から照射による重量減損は加熱に比べて極わずかであることが参考文献[1]で確認されている。

別添 5 - 4 図に示すとおり、照射試験結果を加熱試験及び照射後加熱試験結果と比較すると、重量減損率が 2 桁異なるレベルのオーダーであり、照射単体での減損の影響はわずかなものである。また、加熱試験結果と照射後加熱試験結果を比較した場合も照射の影響はわずかであり、照射は主要な劣化要因ではない。

BWR用大型キャスク (タイプ 2) 及び (タイプ 2 A) に使用するメーカ開発品レジンの照射に対する影響については、別添 5 - 5 図に示すように、 γ 線照射中加熱試験と加熱試験を比較すると、重量減損率において有意な差は生じておらず、エポキシ系レジン (NS-4-FR) と同様の傾向にあり、照射は主要な劣化要因ではない。

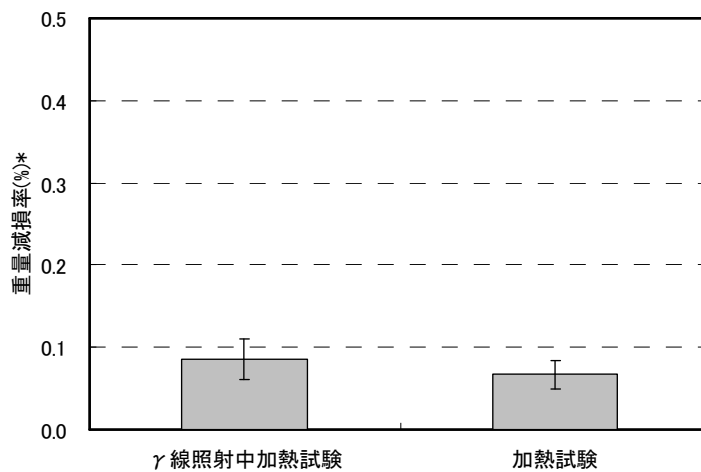
これらのことから、レジン温度を考慮して設計における重量減損率を保守的に定めれば安全上問題ないと判断できる。



別添 5 - 4 図 エポキシ系レジンの各試験における重量減損率比較^[1]

(加熱試験条件：開放系 照射試験条件：閉鎖系)

試験条件：(中性子照射量) 1.5×10^{15} n/cm² [吸収線量換算： $1.7 \sim 3.9 \times 10^4$ Gy],
 (ガンマ線照射量) 3.9×10^4 Gy,
 (加熱) 170°C × 15,000h *照射量は計画値
 注) 中性子照射試験及びガンマ線照射試験の重量減損率は、実際の結果の 10 倍の
 数値で表示したもの。



各試験における重量減損率比較

*) 重量減損率は N 数 6 の平均値

別添 5 - 5 図 エポキシ系レジンの各試験における重量減損率 (メーカー開発品)^[2]

[BWR用大型キャスク (タイプ2) 及び (タイプ2A)]

(加熱条件：開放系, 照射試験条件：開放系)

試験条件：(ガンマ線照射量) 5.6×10^4 Gy, (加熱) 140°C × 500h

参考文献

- [1] (独)原子力安全基盤機構, 「平成 15 年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験 最終報告書」, (独)原子力安全基盤機構, (2004)
- [2] N. Kumagai, M. Kamoshida, K. Fujimura, et.al., “Optimization of fabrication condition of metal cask neutron shielding part which applied simulation of curing behavior of epoxy resin”, Proc.the 15th Int. Symp. on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (PATRAM2007), Miami, Florida, USA, Oct. 21-26, 2007, (2007)

原子力発電所構内で貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器の
金属ガスケット調査結果について

発電所において乾式貯蔵容器を用いた使用済燃料集合体の一部貯蔵を開始したのは、福島第一原子力発電所は 1995 年 9 月から、東海第二発電所は 2001 年 12 月からである。

乾式貯蔵容器に収納し、貯蔵されている使用済燃料集合体の健全性と金属ガスケット(一次蓋)の健全性調査が、福島第一原子力発電所で 3 回(2000 年, 2005 年, 2013 年), 東海第二発電所で 1 回(2009 年)実施されており、金属ガスケットおける調査結果は以下の通りである。(別添 6 - 1 表参照)

[福島第一原子力発電所]

① 2000 年調査

一次蓋金属ガスケット表面の一部に白色化が確認されているが、蓋開放前に実施の気密漏えい試験では基準漏えい率を満足していること、開放後のシール面に異常が見られていないことから、密封機能は健全であったと評価している。

なお、白色化が見られた原因として、金属キャスク仕立て作業において一次蓋フランジ部のプール水除去が不十分であったため、残留した水分が貯蔵期間中に金属ガスケット被覆材のアルミニウムに水和酸化物の被膜を生成させたものと判断。この教訓として金属キャスク仕立て作業では、残留水分除去を徹底することを改善事項としている。

② 2005 年調査

一次蓋金属ガスケット表面全体に白色化が確認されているが、蓋開放前に実施の気密漏えい試験では基準漏えい率を満足していること、開放時のシール面に異常が見られていないことから、密封機能は健全であったと評価している。

なお、全面に白色化が見られた原因として、調査のために貯蔵容器をプー

ル内へ沈めた際に一次蓋を開放するまでに数日間要していた(2000年調査時と異なる所)ことからプール水との長時間の接触が水和酸化物の被膜生成を促進させたものと判断。この教訓として、状況調査におけるプール内での一次蓋開放に当たっては、乾式貯蔵容器をプール内に長時間滞在させないことを留意事項としている。

③ 2013年調査

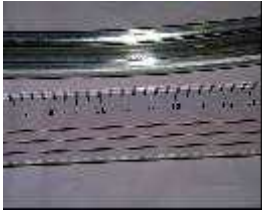


東北地方太平洋沖地震による津波の影響を受けているため、状況確認のための点検を実施している。点検の結果、金属ガスケットの気密漏えい及び外観に異常は確認されず、密封機能は健全であったと評価している。(別添6-1図参照)

[東海第二発電所]

① 2009調査

東海第二発電所における使用済燃料集合体を乾式貯蔵容器へ収納後の仕立て作業は、福島第一原子力発電所が実施した2000年調査における改善事項を踏まえて行われた後、本調査実施までの間貯蔵されてきた。また、本調査においても福島第一原子力発電所の2005年調査における留意事項を踏まえて実施されている。調査の結果、金属ガスケットの気密漏えい及び外観に異常は確認されず、密封機能は健全であったと評価している。なお、金属ガスケット表面の白色化が見られなかったことは、福島第一原子力発電所の調査における改善事項や留意事項の有効性が確認されたものと評価している。

別添6-1表 一次蓋金属ガスケットの調査結果^[1]

	福島第一原子力発電所		東海第二発電所
	2000年調査	2005年調査	2009年調査
写真			
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ・金属ガスケットの表面の一部に白色化を確認 *4 ・シール面に異常なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・金属ガスケットの表面に白色化を確認 *4 ・シール面に異常なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・金属ガスケットに異常なし ・シール面に異常なし (赤茶色に見える部分は、照明の反射によるもの)

*4：福島第一原子力発電所の2000年の状況調査においては、金属ガスケットの表面の一部に白色化が確認されているが、気密漏えい試験により基準漏えい率を満足しており、貯蔵期間中に必要とされる密封機能は健全であった。

また、同発電所の2005年の状況調査においては、金属ガスケットの表面の一部に白色化が確認されているが、この白色化は状況調査のため施設内乾式貯蔵容器をプールへ搬入した際に発生したものであり、貯蔵期間中に発生したものではありません。

なお、上記状況調査後に行った再現試験により、金属ガスケットの表面の白色化は、金属ガスケットの被覆材であるアルミニウムがプール水と接触して生成される水和酸化物の皮膜によるものであったこと及びこの皮膜の厚さは数日間のプール水との接触で約5 μ mで飽和状態となることが確認されている。

【一次蓋金属ガスケット本体フランジ面との当たり面】



【一次蓋金属ガスケット溝との当たり面】



別添6-1図 中型乾式キャスク 金属ガスケット状況^[2]

参考文献

- [1] 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会，核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ，「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」，（平成21年6月25日）
- [2] 東京電力株式会社，「福島第一原子力発電所 既設乾式貯蔵キャスクの点検報告」，東京電力株式会社，（平成25年5月31日）

金属ガスケットの経年変化におけるクリープ考慮について

長期貯蔵における金属ガスケットの経年劣化影響については、(財)電力中央研究所が実施した長期密封特性試験(応力緩和試験)や(独)原子力安全基盤機構((財)原子力発電技術機構)が実施した密封境界部の経年劣化影響評価試験(応力緩和試験)により、高温下で長時間使用すると、ガスケット自身のクリープによって塑性変形の増加分だけ弾性変形が減少して密封性能に影響を及ぼすことが、参考文献[1][2]等で明らかにされている。長期貯蔵における金属ガスケットの経年劣化は荷重低下、形状変化として知られているが、金属ガスケット構成材料のクリープ性向は別添7-1表に示すとおりで、貯蔵期間中の使用環境温度(89℃以下)を考慮すれば、これらは外被材であるアルミニウムのクリープ変形が主要因であると考えられている。

別添7-1表 金属ガスケットの構成材料のクリープ性向^[2]

ガスケットの構成	材料仕様	融点 (T _m)	T=0.3T _m	T=0.5T _m
外被材	アルミニウム (A1050P-0)	660℃ (933K)	7℃ (280K)	194℃ (467K)
内被材 コイルバネ	Ni基合金 (インコネル)	1453℃ (Ni) (1726K)	245℃ (518K)	590℃ (863K)

注記) クリープが生じる相対温度 (T/T_m) は、一般にT/T_m ≥ 0.3~0.5以上とされる。T_m: 融点

- ▶ 外被材(アルミニウム)は7~194℃以上の長期間でクリープが発生する傾向にある。
- ▶ 内被材及びコイルバネ(インコネル)は245~590℃以上の長期間でクリープが発生する傾向にある。

クリープ等の熱活性化に伴う現象は、反応速度論に用いられるアレニウスの式(a)が適用でき、LMPの算出式(b)はこのアレニウスの式から導出されるため、LMPにより温度・時間パラメータとして整理が可能である。(アレニウスの式からLMPの式への導出は、別添4参照。)

$$r = A \cdot \exp(-Q/RT) \quad \dots (a)$$

r: 反応速度(ここではクリープ過程における歪速度に相当),

Q: 活性化エネルギー(kcal/mol),

A:定数, R:気体定数, T:絶対温度(K)

$$LMP = T(C + \log(t)) \quad \dots (b)$$

T:絶対温度(K), C:定数, t:時間(hr)

別添7-2表に(財)電力中央研究所が実施した長期密封特性試験(応力緩和試験)の試験条件と試験結果を,別添7-1図にLMPを用いて整理した試験結果を示す。

LMPを使用して塑性変形率と漏えい率を整理した結果,①塑性変形率とLMPが比例関係にあること,②あるLMP値を超えると漏えい率が増加することから,塑性変形率(別添7-2図参照)と漏えい率の温度・時間の依存性についてLMPによる整理が有効であることが確認されている。

以上のことから,金属ガスケットの長期密封性評価に用いているLMPは,試験で得られたデータや知見から整理したものであり,長期貯蔵中のクリープによる応力緩和が考慮されている。

別添 7-2 表 長期密封特性試験の試験条件と試験結果^[1]

(文献のデータから GASKET C*を抜粋して整理したもの)

*GASKET C:コイルスプリング材, 内被材:インコネル外被材:アルミニウム合金

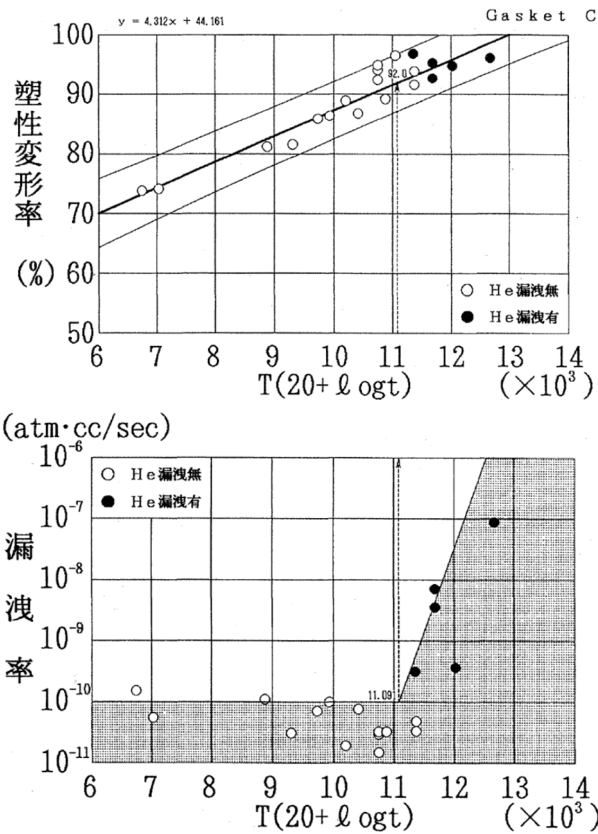
[長期密封性能試験]: 密封性能の経時変化を確認

試験条件			試験結果		
温度 (°C)	時間 (hour)	L. M. P. ($\times 10^3$) C=20	塑性変形率 (%)	試験前漏洩率 (atm·cc/sec)	試験後漏洩率 (atm·cc/sec)
20	1,000	6.739	73.8	8.10×10^{-11}	1.46×10^{-10}
	10,000	7.032	74.1	3.17×10^{-11}	5.47×10^{-11}
150	10	8.883	81.2	7.87×10^{-11}	1.10×10^{-10}
	100	9.306	81.6	2.98×10^{-11}	3.08×10^{-11}
	1,000	9.729	85.9	6.99×10^{-11}	7.03×10^{-11}
	10,000	10.152	88.9	7.81×10^{-11}	1.90×10^{-11}
200	10	9.933	86.4	7.72×10^{-11}	1.03×10^{-10}
	100	10.406	86.8	6.01×10^{-11}	7.52×10^{-11}
	1,000	10.879	89.2	1.24×10^{-10}	3.22×10^{-11}
	10,000	11.352	96.8	9.03×10^{-11}	3.06×10^{-10}

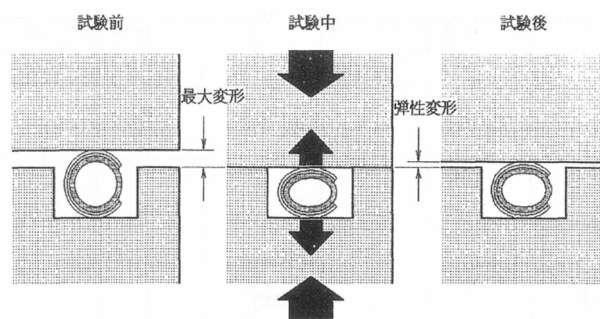
- ・温度: ガasket近傍の環境温度(最高)と推定される 150°Cの他に室温(20°C)と厳しい条件(高温側)で 200°Cを設定。
- ・時間: 応力緩和は比較的短期間に発生することを考慮して, 最長 10,000hr. に設定。

[応力緩和特性試験(加速試験)]: 温度・時間依存性を確認

試験条件				試験結果		
L.M.P. ($\times 10^3$) C=20	温度 (°C)	時間 (hour)	備考	塑性変形率 (%)	試験前漏洩率 (atm·cc/sec)	試験後漏洩率 (atm·cc/sec)
10.753	200	542	150°C・262,800hr に相当	94.1	8.91×10^{-10}	2.93×10^{-11}
10.754	220	65		92.4	9.18×10^{-11}	1.47×10^{-11}
11.367	240	144	200°C・10,000hr に相当	93.9	4.73×10^{-10}	4.79×10^{-11}
11.367	230	370		91.6	4.15×10^{-10}	3.32×10^{-11}
11.683	240	595	200°C・50,000hr に相当	92.7	1.96×10^{-10}	3.55×10^{-9}
11.683	250	218		95.3	1.13×10^{-10}	7.05×10^{-9}
12.024	250	977	200°C・262,800hr に相当	94.8	1.19×10^{-10}	3.67×10^{-10}
12.670	285	504		96.1	4.32×10^{-10}	8.70×10^{-8}



別添 7 - 1 図 塑性変形率及び漏洩率と LMP の関係^[1]



$$\text{塑性変形率 (\%)} = \frac{\text{最大変形} - \text{弾性変形}}{\text{最大変形}} \times 100$$

最大変形：初期締付量

弾性変形：復元量

別添 7 - 2 図 塑性変形率の定義^[1]

参考文献

- [1] (財)電力中央研究所, 「使用済燃料貯蔵容器用ガスケットの長期密封特性」, (財)電力中央研究所, (平成 4 年 7 月)
- [2] (独)原子力安全基盤機構, 「平成 15 年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験 最終報告書」, (独)原子力安全基盤機構, (2004)

第 15 条 金属キャスク（使用済燃料集合体）

<目 次>

1. 設計方針
2. 使用済燃料集合体の健全性確保のための考慮について

(別 添)

- 別添 1 使用済燃料集合体の健全性確認について
- 別添 2 真空乾燥及び湿分管理について
- 別添 3 使用済燃料集合体の経年変化に対する措置について
- 別添 4 燃料被覆管制限温度の設定について

1. 設計方針

使用済燃料貯蔵施設で貯蔵する使用済燃料集合体は、金属キャスクに収納された状態で施設に搬入し、別の容器に詰め替えることなく貯蔵する。

金属キャスクは、使用済燃料集合体を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料集合体の事業所外運搬に用いる輸送容器としての機能を併せもつ鋼製の乾式容器であり、その設計においては、設計貯蔵期間（50年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する60年間の経年変化を考慮する。

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（50年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する60年間における温度、放射線等の環境及び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。

金属キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食、クリープ、応力腐食割れ等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムとともに封入して貯蔵する設計とする。また、金属キャスク表面の必要な箇所には、塗装による防錆措置を講ずる。

2. 使用済燃料集合体の健全性確保のための考慮について

使用済燃料貯蔵施設において貯蔵する使用済燃料集合体は、東京電力株式会社の原子炉施設において、既に許可を得ている燃焼範囲の二酸化ウラン燃料である。

設計貯蔵期間（50年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する60年間を通じて、使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から、以下の事項を考慮する。

(1) 使用済燃料集合体の収納条件

使用済燃料集合体の金属キャスクへの収納作業は、原子炉設置者が実施することから、原子炉設置者に対し、以下の収納条件を満足した作業の実施、作業記録の作成、収納配置の確認を求め、収納条件を満足していることを確認する。

- a. 金属キャスクには、原子炉での運転中のデータ、外観検査及び必要に応じ SHIPPING 検査等により健全であることを確認した使用済燃料集合体を収納する。（別添1参照）
- b. 金属キャスクは、使用済燃料集合体収納時にその内部を真空乾燥し、不活性であるヘリウムガスを適切に封入する。その際、燃料被覆管の制限温度及び周方向応力を上回らないよう金属キャスク内部の圧力、真空乾燥時間を管理するとともに真空乾燥時のクリプトンガスのモニタリングにより燃料被覆管から漏えいのないことを確認する。また、使用済燃料集合体の腐食等を防止するため、真空乾燥後の金属キャスク内部の水分は、内部ガスの質量に対して10%以下に管理する。（別添2参照）
- c. 金属キャスクには基本的安全機能及び使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から貯蔵する燃料仕様、崩壊熱量等を満足するように、使用済燃料集合体を収納するとともに、使用済燃料集合体の種類、燃焼度に応じた配置とする。金属キャスクへの使用済燃料集合体の収納条件を第1表に示す。

(2) 経年変化要因の考慮（別添 3，別添 4 参照）

金属キャスクの設計においては，燃料被覆管の経年変化要因に対して以下の通り考慮する。

- a. 燃料被覆管のクリープについては，燃料被覆管の温度を設計評価期間における累積クリープ歪み量が 1 % を超えない温度以下とする。
- b. 燃料被覆管の水素化物再配向については，燃料被覆管の温度を水素化物再配向による機械的特性への影響がない温度以下とする。
- c. 燃料被覆管の照射硬化の回復については，燃料被覆管の温度を照射硬化の回復現象により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度以下とする。

上記の経年変化要因を考慮し，燃料被覆管の制限温度を以下のとおりとする。

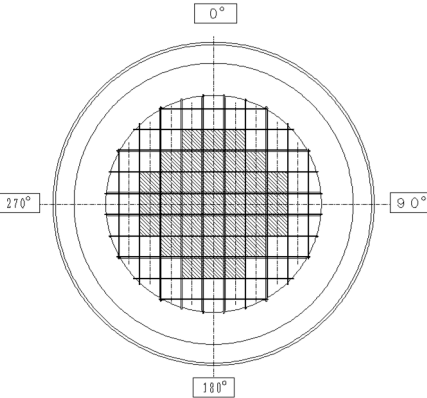
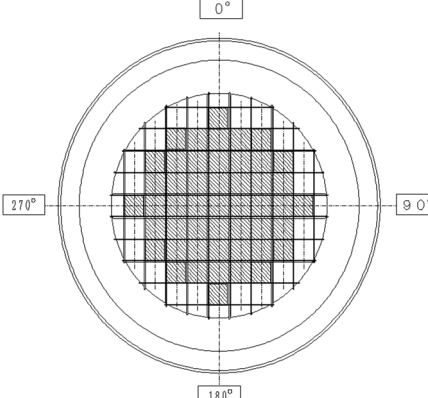
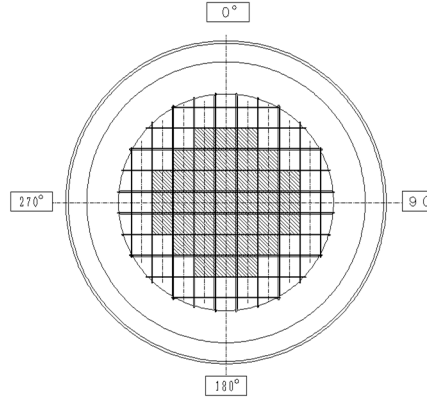
- ・ 新型 8 × 8 燃料 200℃
- ・ 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料，高燃焼度 8 × 8 燃料 300℃


なお，上記の燃料被覆管の制限温度において，BWR 燃料被覆管の周方向応力は，水素化物再配向の制限値 70MPa 以下になる。


その他燃料被覆管の応力腐食割れについては，貯蔵中の使用済燃料集合体においては，ペレットの温度上昇による腐食性核分裂生成ガスの放出はなく，ペレット内ではヨウ素は CsI として安定に存在することから，SCC が発生する化学的雰囲気になっていない⁽¹⁾。また，応力については，腐食性雰囲気が整った条件での SCC 試験の結果として，ジルカロイ-2（BWR 燃料被覆管で使用される材質）の SCC 発生のしきい応力がそれぞれ，150MPa 程度であることが報告されており⁽¹⁾，貯蔵時の応力はこれに比べ低い。酸化及び水素吸収については，金属キャスクの内部が不活性ガス雰囲気に維持されるので，その量はわずかであり，使用済燃料集合体の健全性は確保される。


また、設計貯蔵期間（50年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する60年間の中性子照射量（高速中性子を含む全エネルギー領域の中性子照射量 $\sim 10^{16}$ n/cm²程度）は原子炉内での照射量（約1 MeV以上の高速中性子照射量 $\sim 10^{22}$ n/cm²程度）と比べ十分低いため、設計上の特別な考慮は必要ない。（第2表参照）

第1表 使用済燃料集合体の収納条件

キャスクタイプ	タイプ2	タイプ2A		
収納する使用済燃料集合体	① 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料	① 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料 ② 高燃焼度 8 × 8 燃料 ③ 新型 8 × 8 燃料		
収納配置	①のみ収納	①のみ収納, ②のみ収納, ①及び②を収納	①及び③を収納	③のみ収納
				
収納物平均燃焼度	34,000MWd/t	34,000MWd/t	34,000MWd/t	26,000MWd/t
収納物最高燃焼度	40,000MWd/t	34,000MWd/t	34,000MWd/t	28,500MWd/t
冷却期間	18年以上	24年以上	24年以上	24年以上
最大崩壊熱量 (キャスク1基あたり)	12.1kW	10.9kW	10.9kW	8.0kW

 : 平均燃焼度を超える使用済燃料集合体の収納範囲

 : 新型 8 × 8 燃料を収納しない範囲

 : 平均燃焼度を超える使用済燃料集合体の収納範囲

第2表 全中性子照射量

(BWR用大型キャスク (タイプ2) /BWR用大型キャスク (タイプ2A))

エネルギー群	上限エネルギー (eV)	中性子照射量 (n/cm ²)
1	1.492×10^7	1.02×10^{11}
2	1.220×10^7	3.56×10^{11}
3	1.000×10^7	1.09×10^{12}
4	8.180×10^6	3.71×10^{12}
5	6.360×10^6	8.12×10^{12}
6	4.960×10^6	1.05×10^{13}
7	4.060×10^6	2.31×10^{13}
8	3.010×10^6	2.45×10^{13}
9	2.460×10^6	7.64×10^{12}
10	2.350×10^6	3.52×10^{13}
11	1.830×10^6	9.12×10^{13}
12	1.110×10^6	2.95×10^{14}
13	5.500×10^5	8.74×10^{14}
14	1.110×10^5	6.04×10^{14}
15	3.350×10^3	6.28×10^{13}
16	5.830×10^2	4.44×10^{12}
17	1.010×10^2	2.45×10^{11}
18	2.900×10^1	5.98×10^9
19	1.070×10^1	2.67×10^8
20	3.060×10^0	1.14×10^8
21	1.120×10^0	2.09×10^7
22	4.140×10^{-1}	5.37×10^5
合計		2.05×10^{15}

- 炉内での照射量 ($\sim 10^{22}$ n/cm²程度) は、約 1 MeV 以上の高速中性子の照射量を示すものである。

参考文献

- (1) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保全部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ, 「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」, 総合資源エネルギー調査会 (平成 21 年 6 月 25 日)

使用済燃料集合体の健全性確認について

使用済燃料集合体の健全性確認は、以下のとおり行う。

使用済燃料搬出元の原子炉設置者（以下、「原子炉設置者」という）において、燃料集合体 1 体毎に付番された燃料番号により、各種データ（燃料タイプ、燃焼度、冷却期間、崩壊熱量等）を管理しており、定期検査時等の燃料検査の結果についても同様に管理している。

また、原子炉設置者は、原子炉冷却材中のよう素 131 の測定結果により、 SHIPPING 検査を実施した場合の検査結果について、漏えい燃料と健全な燃料を明確に区別してデータ管理している。

原子炉設置者は、収納する使用済燃料集合体の選定の際に、第一に漏えい燃料ではない燃料検査に合格した健全な使用済燃料集合体を抽出し、キャスク仕様（燃料タイプ、燃焼度、冷却期間、崩壊熱量）に合致することを確認する。

なお、原子炉設置者は、金属キャスクへの使用済燃料集合体の収納作業において、金属キャスク内部の真空乾燥時のクリプトンガスのモニタリングにより燃料被覆管からの漏えいのないことを確認する。

従って、使用済燃料集合体の健全性確認については、原子炉設置者対して、収納する使用済燃料集合体の健全性の確認結果及び真空乾燥時のクリプトンガスのモニタリング結果について記録の提出等を求め、確認する。

真空乾燥及び湿分管理について

1. 真空乾燥の温度管理方法について

原子炉設置者は使用済燃料集合体の封入後に、内部水を排水し、金属キャスク内部の真空乾燥を行う。真空乾燥中は金属キャスク内部の熱媒体とする不活性ガス（ヘリウム）がないため燃料被覆管温度が上昇するが、その後の不活性ガスの充填と真空乾燥時間を調整することにより、燃料被覆管温度の上昇を管理することができる。

現時点で想定している真空乾燥手順は、別添 2 - 1 図に示すとおり使用済燃料集合体をキャスクに収納した後、「水入り保管」を経て、「真空乾燥①」において真空乾燥時間及びキャスク内部圧力を監視し、「ヘリウム充填保管」において燃料被覆管温度の上昇を防止する。さらに「真空乾燥②」において再び真空乾燥時間及びキャスク内部圧力を監視し、真空乾燥完了後、一旦キャスク内圧を 1 気圧までヘリウム充填し湿分が管理値 (10wt%) 以下となっていることを確認した後、所定の圧力になるまで圧力調整（減圧）する。別添 2 - 1 図に示した真空乾燥手順における燃料被覆管温度の評価結果を別添 2 - 2 図に示す。

真空乾燥作業では、原子炉設置者は、以下に示す管理により、燃料被覆管温度の上昇防止を含む適切な管理を実施する。

- ・国内の発電所における乾式貯蔵キャスクの実績や除熱解析による燃料被覆管温度の評価結果等に基づき、真空乾燥手順（真空乾燥時間、サイクル数等）を定め、適切な作業要領を定める。
- ・作業要領に従って適切に作業を行ったことを作業記録に残すとともに、真空乾燥プロセス（真空乾燥時間、圧力）を記録し、規定の真空乾燥時間管理のもとで、真空乾燥が適切に行われたことを確認する。
- ・燃料被覆管の長期健全性を確保するため、「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）であることを確認する。

2. 金属キャスク内部の湿分管理について

(1) 真空乾燥後の金属キャスク内部の水分濃度管理値の根拠

真空乾燥後の金属キャスク内部の水分を内部ガスの質量に対して10wt%以下とする管理は、設計貯蔵期間（50年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する60年間を通じた金属キャスク内の構成部材（胴内部、バスケット等）及び使用済燃料集合体の健全性維持の観点から化学的要因による影響を防ぐことを目的としている。

具体的には、軽水炉から発生した燃料被覆管外表面の最大酸化膜厚さと酸化膜に含まれる最大水素濃度の試験結果に基づき、仮に金属キャスク内の不活性ガスに約10wt%の水分の混入があり、その水分全てが燃料被覆管と反応したとしても燃料被覆管に形成される酸化膜厚さは1 μ m以下で、その反応で発生した水素濃度は数ppm程度となり、炉内照射中に形成・吸収された酸化膜厚さ・水素量に比べ無視できるほど少ないと評価されていることが根拠となっている。（添付1参照）

また、これまでの評価では、国内発電所での実績に基づく真空乾燥工程でのキャスク到達圧力や金属キャスクの内部温度を保守的に設定した真空乾燥不足（水分約30wt%）を想定した燃料被覆管と構造材の腐食等の評価を行っており、仮に真空乾燥不足があった場合でも、これら部材の健全性に影響を与えることはない。（添付2参照）

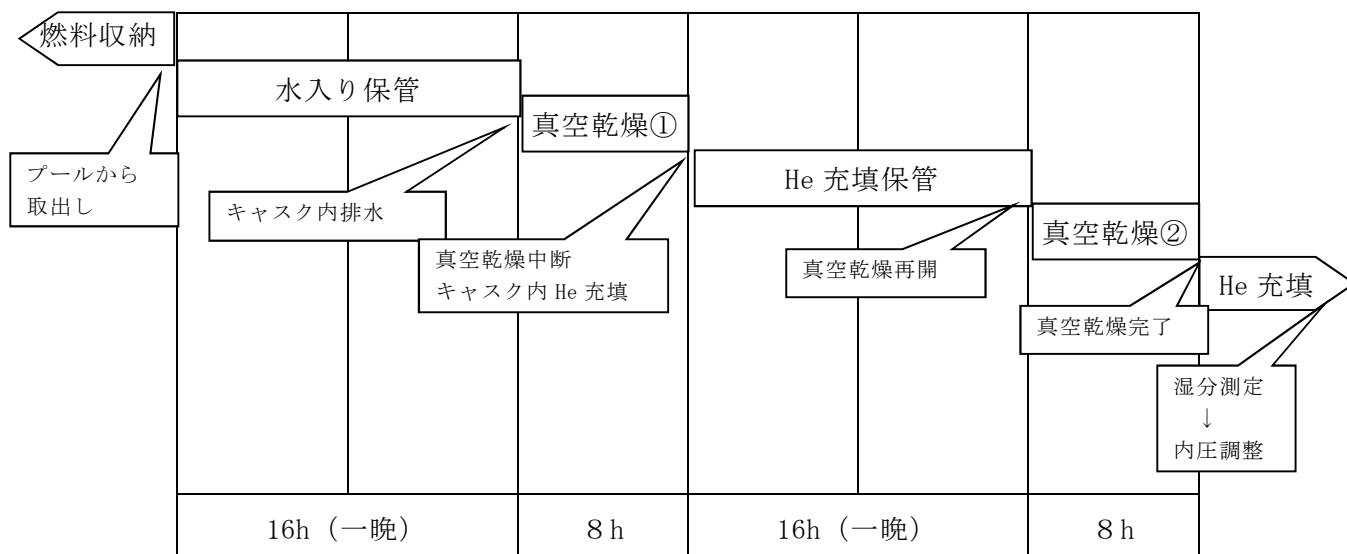
(2) 使用済燃料集合体を封入した金属キャスク内部の水分濃度の具体的な管理方法

先行の原子力発電所では、真空乾燥後の金属キャスク内の到達圧力と圧力上昇率、及び金属キャスク内部の水分濃度（10wt%以下）に対する判定基準を設け、確実な残留水分濃度の管理を行っている。

従って、金属キャスクの受入れ前に、発送元の原子力発電所で真空乾燥後の金属キャスク内部の水分濃度が10wt%以下であることが確認された記録により、使用済燃料貯蔵施設での貯蔵に適合したものであることを確認する。

参考文献

- (一社)日本原子力学会,「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 付属書 I」(AESJ-SC-F002:2010),
(一社)日本原子力学会(2010年7月)



別添 2 - 1 図 真空乾燥手順例



別添 2 - 2 図 真空乾燥時の燃料被覆管温度の評価結果
(BWR用大型キャスク (タイプ2) の例)

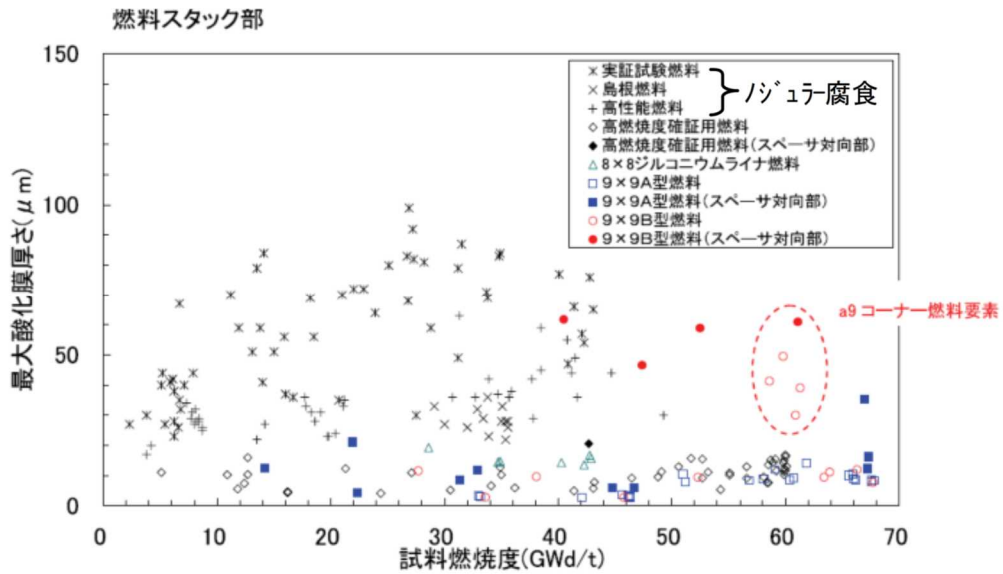
使用済燃料集合体の劣化事象に対する評価（化学的劣化）

使用済燃料集合体は、炉内での使用時に炉水との反応により燃料被覆管外表面に酸化膜が形成されており、さらに炉水との反応で発生した一部の水素を燃料被覆管中に吸収している。燃焼度 55GWd/t までの BWR 燃料集合体による照射後試験で測定された外表面酸化膜厚さ（添付 1 - 1 図）は、BWR 燃料で一樣腐食と呼ばれるほぼ均一な酸化膜厚さは最大 20 μm 程度⁽¹⁾、ノジュラー腐食と呼ばれる瘤状の酸化膜厚さは最大 100 μm 程度⁽¹⁾、燃料被覆管に吸収される水素濃度（添付 1 - 2 図）は最大 300ppm 程度⁽¹⁾である。

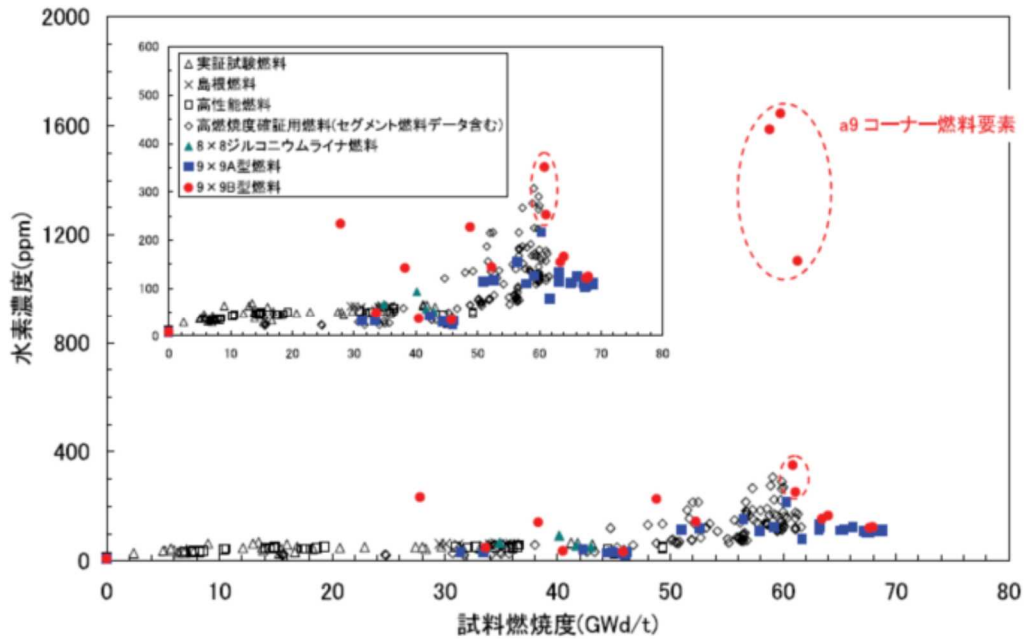
一方、金属キャスク中の使用済燃料集合体は不活性ガス雰囲気中で貯蔵されるため、酸素による燃料被覆管の酸化、発生した水素の燃料被覆管への水素吸収は進行しない。仮に、不活性ガスに約 10wt%の水分の混入があり、すべてが燃料被覆管と反応したとしても、燃料被覆管に形成される酸化膜厚さは 1 μm 以下、燃料被覆管に吸収される水素濃度は数 ppm 程度とされており⁽²⁾、炉内照射中に形成・吸収された酸化膜厚さ・水素濃度に比べて無視できるほど少ない。

経済産業省ホームページ内公開資料

「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」（平成 21 年 6 月 25 日 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ）より引用



添付 1 - 1 図 実機で照射された燃料被覆管外表面の酸化膜厚さ⁽¹⁾



添付 1 - 2 図 実機で照射された燃料被覆管の水素濃度⁽¹⁾

注 高燃焼度確証用燃料の下部天然ウラン領域から採取したデータは除く。

参考文献

- (1) 07-基炉報-0002, 「平成 18 年度高燃焼度 9 × 9 型燃料信頼性実証成果報告書 (総合評価編)」
- (2) (一社)日本原子力学会, 「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」(AESJ-SC-F002:2010), (一社)日本原子力学会 (2010 年 7 月)

真空乾燥作業ミス（真空乾燥不足）に関する影響評価

1. 真空乾燥作業ミス（真空乾燥不足）事象に関する想定シナリオ

(1) 真空乾燥の作業手順と記録の確認

金属キャスク内部の真空乾燥作業は、当社にて貯蔵する使用済燃料集合体の発送元の原子力発電所において、次のステップで実施される。（金属キャスク内部の真空乾燥手順を、別添 2 - 1 図に示す。）

- ① 使用済燃料集合体をキャスクに収納した後、「水入り保管」を経て、「真空乾燥」，「湿分測定」を行ない，金属キャスク内部の水分濃度を確認する。
- ② 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。
- ③ 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。

発送元の原子力発電所において，上記の作業で真空乾燥不足がなかったことについて，金属キャスクの搬入前に以下の記録を入手し，確認する予定である。

- ・真空乾燥プロセス（真空乾燥時間，圧力）の管理
- ・真空乾燥後の金属キャスク内部空間の圧力及び圧力上昇率の測定
- ・真空乾燥後のヘリウム充填状態での湿分値（10wt%以下）の測定

(2) 真空乾燥不足の想定シナリオ

1. (1)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が，

- a) 「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
b) 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等

が生じた場合に、真空乾燥不足に至る可能性がある。

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。このため、「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、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以下に検討した。

2. 真空乾燥不足による影響評価

1. (2)の真空乾燥不足の想定シナリオに基づき、「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とともに、先行の原子力発電所の作業実績に基づき「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、BWR用大型キャスク（タイプ2）を例に試算した結果、過熱蒸気の残留水分は約180g程度（約30wt%に相当）となる。（添付2-1表参照）

この残留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、燃料被覆管酸化膜厚さは約0.20 μ m程度であり、原子炉内で生成される燃料被覆管酸化膜厚さの10 μ m程度（添付2-1図参照）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。（添付2-2表参照）

また、180gの残留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、燃料被覆管中の水素濃度は5.8ppm程度であり、原子炉内で吸収される燃料被覆管の水素濃度約50ppm（添付2-2図参照）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。（添付2-2表

参照)

更に、金属キャスクのキャビティ内構造材の一つであるほう素添加ステンレス鋼バスケットに対する腐食影響についても同様に、残留水分中の酸素がすべてバスケット材（ステンレス鋼）より耐食性が低い炭素鋼の酸化に消費されたと評価しても、バスケット材の酸化膜厚さは約 $0.19\mu\text{m}$ であり、バスケットの健全性に影響を与えることはない。（添付2－3表参照）

添付 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) の例)

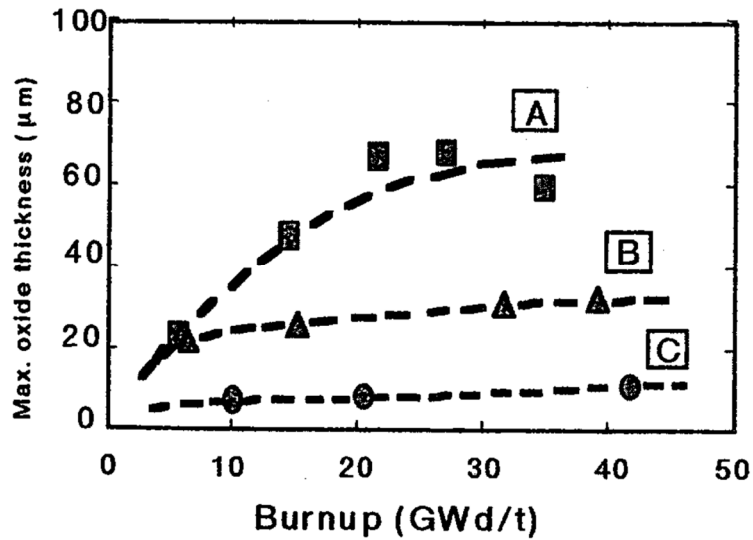
キャスク内部自由空間体積	
キャスク内部空間温度 (過熱蒸気温度)	30℃
キャスク内部空間圧力	4kPa
過熱蒸気の比体積 ⁽¹⁾	34.914m ³ /kg
真空乾燥①終了後の残留水分	173g

添付 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) の例)

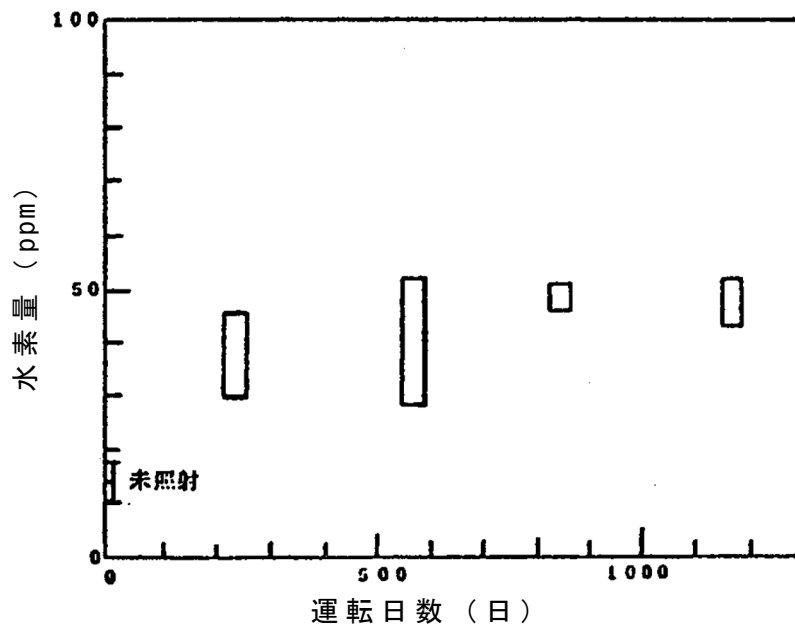
評価条件	キャスク内部自由空間体積	
	キャスク内部ガス水分質量	180g
	燃料被覆管表面積 (8×8燃料, 69体)	690m ²
	燃料被覆管酸化体積 (8×8燃料, 69体)	7.7×10 ⁻⁵ m ³
評価結果	燃料被覆管表面酸化膜厚さ	約 0.20 μm
	燃料被覆管中水素濃度 (水素/Zr 重量割合)	約 5.8ppm

添付 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) の例)

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	バスケット材の表面酸化膜厚さ (Fe ₂ O ₃)	約 0.19 μm



添付 2 - 1 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) および高燃焼度
 等燃料確証試験 (C) における燃料被覆管の最大酸化膜厚さ変化



添付 2 - 2 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)

参考文献

- (1) (一社)日本機械学会, 「蒸気表」, (一社)日本機械学会(1999)
- (2) (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, 「軽水炉燃料のふるまい」, (財)原子力安全研究協会 (平成 25 年 3 月)
- (3) 三島他, 「日本原子力学会誌 Vol.29, No.2」, (一社)日本原子力学会 (1987)

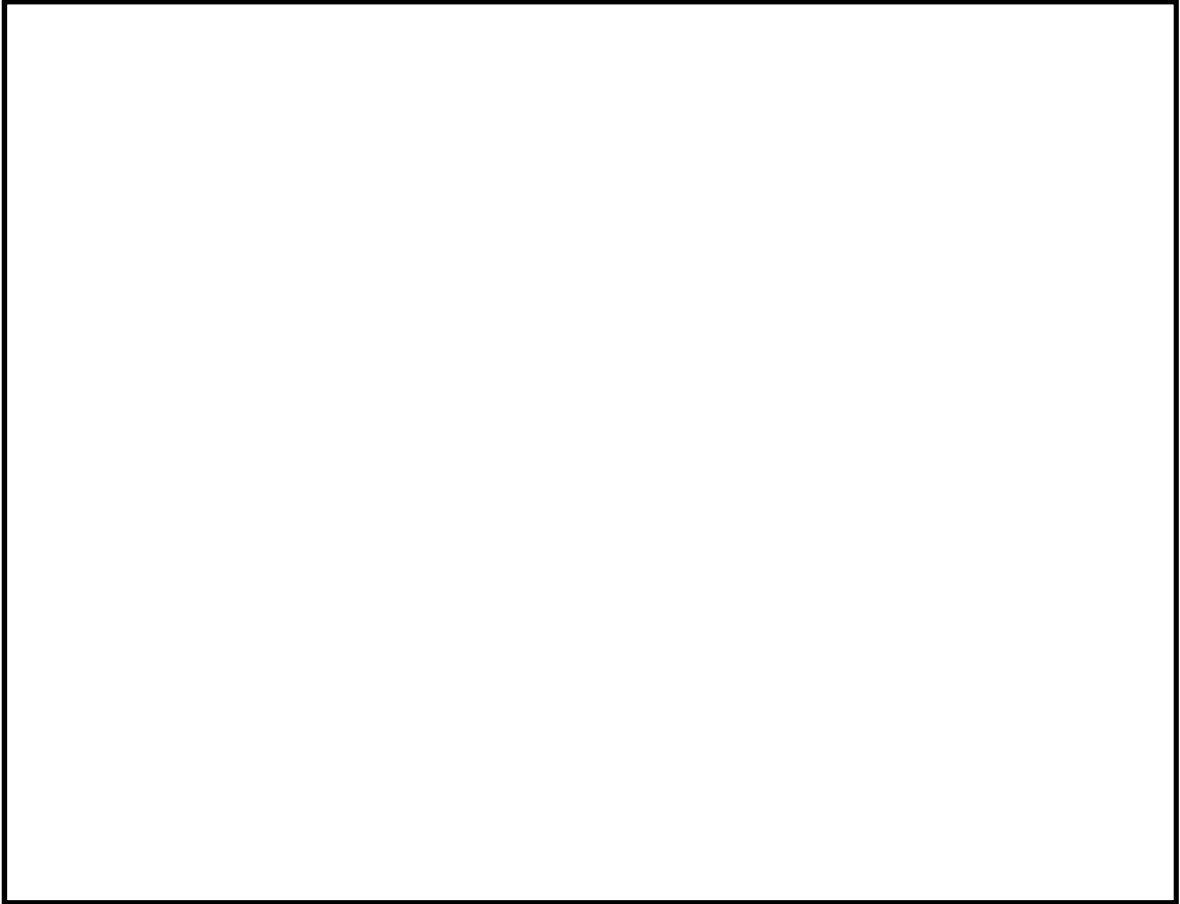
使用済燃料集合体の経年変化に対する措置について

使用済燃料集合体（以下、「使用済燃料」という。）の経年変化については、化学的要因である腐食、熱的要因であるクリープ、水素化物の再配向等がある。これらの経年変化に対する措置として、使用済燃料を金属キャスクに収納する際に事業許可変更申請書の添付書類六に記載している収納条件を満たすことで、設計評価期間における使用済燃料の経年変化を抑制できるものとする。以下に使用済燃料の収納条件とその具体的な説明について示す。

収納条件①	金属キャスクには、原子炉での運転中データや必要により SHIPPING 検査などで健全であることを確認した使用済燃料を収納する。
具体的な説明	<p>①本条件は、金属キャスクにより貯蔵される使用済燃料が熱的及び化学的要因によって引き起こされる経年変化を抑制し、燃料被覆管破損の発生を防止するための前提事項。</p> <p>②使用済燃料の健全性を維持するには、燃料被覆管を破損させないようにすることにある。そのため、金属キャスクに収納される使用済燃料は、燃料被覆管の破損を誘発するような因子が認められないものであることを当該燃料の記録で予め確認することが重要となる。</p> <p>③使用済燃料の収納作業は、原子炉設置者が実施するため、リサイクル燃料備蓄センター受入の際には、金属キャスクに収納された使用済燃料が健全であることを原子炉設置者が作成した記録で確認する。</p>

<p>収納条件 ②</p>	<p>燃料仕様，崩壊熱量などを満足するように収納するとともに，使用済燃料の種類，燃焼度に応じた配置とする。</p>
<p>具体的な 説明</p>	<p>①本条件は，熱的要因による影響(燃料被覆管のクリープ歪み，照射硬化の回復及び水素化物の再配向)の観点から，燃料被覆管破損の発生を防止するための考慮事項。</p> <p>②熱的要因による燃料被覆管の破損を防止するうえで，設計評価期間における燃料被覆管の温度を下記の制限される値以下に維持することとしている。(事業許可変更申請書 添付書類六に記載)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新型 8 × 8 燃料：200℃ ・新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料，高燃焼度 8 × 8 燃料：300℃ <p>なお，これらの制限温度は，(財)電力中央研究所や(独)原子力安全基盤機構などの研究成果⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾を基に設定している。</p> <p>③金属キャスクの除熱設計においては，収納する使用済燃料のスペック(種類，最高燃焼度，濃縮度，冷却期間)や崩壊熱量等を考慮して，金属キャスクの型式毎に除熱解析を行い，燃料被覆管の温度が上記の制限温度を下回ることを確認している。</p> <p>④実際に金属キャスクに収納される燃料被覆管の温度が制限値以下に維持するための担保としては，収納時に下記に示す設計での考慮事項のとおり仕立てられていることを確認することである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスクの型式毎に設定した燃料スペック(種類，最高燃焼度，濃縮度，冷却期間)の使用済燃料を収納していること。 ・収納する使用済燃料の崩壊熱量の合計が金属キャスクの型式毎の最大崩壊熱量以下であること。 ・収納配置は金属キャスクの型式毎に設定した配置で，中央部に最高燃焼度燃料，外周部に平均燃焼度燃料であること。 <p>⑤なお，使用済燃料の収納作業は，原子炉設置者が実施するため，リサイクル燃料備蓄センター受入の際には，金属キャスクに収納された使用済燃料が上記④を考慮して仕立てられていることを原子炉設置者が作成する記録で確認する。</p>

<p>収納条件 ③</p>	<p>金属キャスク内部を真空乾燥し、不活性ガス（ヘリウム）を封入する。（その際、燃料被覆管の制限温度を上回らないよう金属キャスク内部の圧力、真空乾燥時間等を管理するとともに、真空乾燥時のクリプトンガスのモニタリングにより燃料被覆管から漏えいのないことを確認する。）また、真空乾燥後、金属キャスク内部の水分は、内部ガス質量に対して10%以下で管理する。</p>
<p>具体的な 説明</p>	<p>①本条件は、化学的要因による影響（燃料被覆管の腐食）の観点から燃料被覆管破損の発生を防止するための考慮事項。</p> <p>②化学的要因による燃料被覆管の破損を防止するうえで、燃料被覆管の酸化や水素吸収の進行を抑制するために、金属キャスク内部を真空乾燥し、不活性ガス雰囲気維持することとしている。</p> <p>③真空乾燥においては、真空乾燥の評価（別添3-1図）で得られた結果を基に、金属キャスク内部の圧力、真空乾燥時間を管理することで燃料被覆管の制限温度を上回らないようにする。</p> <p>④また、残留水分については、最終のヘリウムガス充填放置時に湿分を測定して10wt/%以下であることを確認する。日本原子力学会標準⁽⁶⁾に示されているように、金属キャスク内部の残留水分を10wt%以下に制限すれば、燃料被覆管の酸化や水素吸収はわずかなものであり、燃料被覆管の健全性に影響を与えることはほとんどないものと考えられる。</p> <p>⑤金属キャスクに収納された使用済燃料が、腐食による燃料被覆管の破損を生じさせないための担保としては、収納後に行う真空乾燥、不活性ガスの封入、残留水分管理の仕立てが適切に行われていることを確認することである。</p> <p>⑥なお、上記の金属キャスクへ収納作業後の仕立て（真空乾燥、不活性ガスの封入、残留水分管理）は、原子炉設置者が実施するため、リサイクル燃料備蓄センター受入の際には、適切に仕立てられていることを原子炉設置者が作成する記録で確認する。</p>



別添 3 - 1 図 真空乾燥の評価結果(BWR用大型(タイプ2)の例)
(燃料収納時からの定常に至るまでの燃料温度変化)

参考文献

- (1) (財)電力中央研究所,「乾式貯蔵時の BWR 燃料被覆管許容温度の検討, T88068」, (財)電力中央研究所(平成元年 5 月)
- (2) (独)原子力安全基盤機構,「平成 15 年度 リサイクル燃料資源貯蔵施設安全解析コード改良試験(燃料の長期安全性に関する試験最終成果報告書)」, (独)原子力安全基盤機構(平成 16 年 6 月)
- (3) R. E. Einzinger R. Kohli, “ Low-temperature Rupture Behavior of Zircaloy Clad Pressurized Water Reactor Spent Fuel Rods under Dry Storage Conditions”, HEDL-7400, Hanford Engineering Development Laboratory, (1983)
- (4) (独)原子力安全基盤機構,「平成 19 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料健全性等調査に関する試験成果報告書)」, (独)原子力安全基盤機構(平成 20 年 3 月)
- (5) (独)原子力安全基盤機構,「平成 18 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料長期健全性等確証試験に関する試験最終成果報告書)」, (独)原子力安全基盤機構(平成 19 年 3 月)
- (6) (一社)日本原子力学会,「日本原子力学会標準 使用済燃料中間貯蔵施設金属キャスクの安全設計及び検査基準:2010」, (一社)日本原子力学会(2010 年 7 月)

燃料被覆管制限温度の設定について

1. 使用済燃料集合体の健全性に影響を与える主な因子

(1) 累積クリープひずみについて

貯蔵中の使用済燃料集合体は不活性雰囲気中で貯蔵され、また燃料ペレット温度は運転中と比較して遥かに低い上、自重以外ほとんど荷重がかからない静的な状態で貯蔵される。このような状態で貯蔵される使用済燃料集合体では、瞬時に燃料被覆管が破損する形態は存在しないが、高温の環境下では、材料の降伏強度以下でも徐々にクリープが生じ、この変形の累積クリープひずみ量が限界を超えると破損する。したがって、設計評価期間中に破損しないレベルの累積クリープひずみとなるように燃料被覆管温度を制限する必要がある。

クリープ破損に至らない累積クリープ量の基準は、国内外の燃料被覆管クリープ破断データ等から、燃料被覆管周方向の累積クリープ量を1%以下とする。

BWR燃料被覆管の燃料棒内圧により生じる燃料被覆管の累積クリープ量の累積量は、(財)電力中央研究所の実験に基づく、下記の未照射ジルカロイ-2被覆管のクリープひずみ算定式⁽¹⁾により計算し、計算結果を1.43倍する。計算結果を1.43倍するのは、二次クリープ領域のクリープひずみの上側95%信頼区間が最確値の1.43倍と評価されている⁽²⁾ことによる。また、電力中央研究所の実験に基づくクリープひずみ算定式は、燃料被覆管温度が320℃～425℃、周方向応力が178MPa以下の領域で適用可能とされている。

第1項は、遷移領域におけるクリープひずみ、第2項は、定常領域におけるクリープひずみを表している。

$$\varepsilon = \varepsilon_T^S \left[1 - \exp \left\{ -\beta \left(\dot{\varepsilon}_S \cdot t \right)^n \right\} \right] + \dot{\varepsilon}_S \cdot t \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon}_S = 2.1 \times 10^9 \cdot \left(\frac{E}{T} \right) \cdot \exp \left(\frac{2880\sigma}{E} \right) \cdot \exp \left(\frac{-53600}{RT} \right) \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$\varepsilon_T^S = 5.0 \times 10^{-10} \cdot \exp(0.0428 \cdot T) \cdot (\dot{\varepsilon}_S)^{0.00543T-2.603} \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$\beta = 2.24 \times 10^{10} \cdot \exp(-0.0275 \cdot T) \cdot \exp \left(-1200 \left(\frac{\sigma}{E} \right) \right) \quad \text{-----} \quad (4)$$

- | | |
|---|--|
| ε : クリープひずみ (-) | ε_T^S : 飽和遷移クリープひずみ (-) |
| β : 温度及び応力の関数 (-) | $\dot{\varepsilon}_S$: 定常クリープ速度 (h^{-1}) |
| t : 時間 (h) | n : 定数 (=0.61) |
| E : ヤング率 (kgf/mm^2) | T : 絶対温度 (K) |
| R : 気体定数 ($\text{cal}/\text{mol}/\text{K}$) | σ : 応力 (kgf/mm^2) |

※上記式は元文献の単位系で示している。(S I 単位系とすると、(2) 式の定数に変更となる。)

別添 4-1 図に BWR 用燃料被覆管に対する電中研の算定式の予測値と実測値との比較を示す。別添 4-1 図の (a) からは形状がよく一致していること、(b) からは 0.1% から 10% のひずみ範囲で予測値と実測値がよく一致していることがわかる。

また、照射材のクリープは、別添 4-2 図に示すように未照射材に比べ定常クリープ速度が小さいことから、燃料被覆管のクリープ評価において未照射材のクリープ式を用いて累積クリープ量を評価することは保守的である。したがって、本評価においても、電中研の未照射材に基づく算定式を用いることとする。なお、(独)原子力安全基盤機構においても同様にクリープの算定式を検討しており、電中研の算定式が保守的な結果を与えることが確認されている。

設計評価期間 60 年について計算した初期燃料被覆管温度と累積クリープひずみの関係 (一例) を別添 4-3 図に示す。累積クリープひずみ量が評価期間中に 1% を超えない燃料被覆管の初期温度は、BWR で

360°C程度となる。

金属キャスクの設計における燃料被覆管の制限温度を考慮して、BWR燃料被覆管の初期温度を300°Cとして保守的に評価しても累積クリープひずみ量1%を超えることはない（添付1～添付3参照）。

(2) 水素化物の再配向について

原子炉の運転中に燃料被覆管に吸収された水素は、燃料被覆管温度が低下して水素固溶度を越えた分はジルカロイ水素化物として析出する。このとき、ジルカロイ水素化物は燃料被覆管に周方向応力が作用していると応力に直角方向（燃料被覆管半径方向）に析出する性質がある。高温で燃料被覆管内圧が高く周方向応力が大きい状態から温度が低下すると、水素化物が燃料被覆管半径方向に析出して機械的特性が低下することが指摘されている。このため、貯蔵中に水素化物再配向により燃料被覆管の機械的特性が低下しない条件で設計する。

BWR燃料の被覆管材料であるジルカロイ-2について水素化物再配向の機械的特性への影響が調べられている。その結果、40GWd/t型ジルコニウムライナ無燃料、50GWd/t型ジルコニウムライナ有燃料及び55GWd/t型ジルコニウムライナ有燃料を対象に、水素化物再配向の起きない条件及び機械的特性に影響のない条件が別添4-1表に示すようにまとめられている。その結果、水素化物再配向による機械的特性に影響がない条件として、40GWd/t型ジルコニウムライナ無燃料では周方向応力が70MPa以下で200°C以下、50GWd/t型及び55GWd/t型ジルコニウムライナ有燃料では70MPa以下で300°C以下と示されている。本キャスクの貯蔵対象燃料において、新型8×8ジルコニウムライナ燃料は最高燃焼度40GWd/t、高燃焼度8×8燃料は最高燃焼度50GWd/tでジルコニウムライナ有のため50GWd/t型及び55GWd/t型ジルコニウムライナ有燃料に、8×8燃料、新型8×8燃料については最高燃焼度40GWd/tでジルコニウムライナ無のため40GWd/t型ジルコニウムライナ無燃料に相当する。

以上から、水素再配向による機械的特性に影響がない温度として、BWR燃料被覆管のジルコニウムライナ有の新型8×8ジルコニウムライ

ナ燃料と高燃焼度 8 × 8 燃料については周方向応力が 70MPa 以下で 300℃ 以下、ジルコニウムライナ無の 8 × 8 燃料、新型 8 × 8 燃料については周方向応力が 70MPa 以下で保守的に 200℃ 以下を設定した。

(3) 照射硬化の回復について

原子炉内での照射により燃料被覆管は硬化し、強度が未照射材のものより高くなる。したがって、燃料被覆管の強度評価においては照射硬化した燃料被覆管の強度を用いることができる。

ただし、別添 4 - 4 図に示すように、燃料被覆管が炉内温度より高い温度に一定時間以上保持されると、焼きなまし効果によって照射硬化が回復し、強度が低下する。したがって、金属キャスクに収納する燃料被覆管温度がこのような温度範囲になる場合、燃料被覆管の強度計算に当たっては、照射硬化の回復による燃料被覆管強度の低下を考慮する必要がある。

別添 4 - 5 図に示すように BWR 燃料被覆管については、300℃ 以下では照射硬化の回復による機械特性の著しい低下はないが、強度計算にあたっては、降伏応力の低下を回復予測式により評価する（添付 4 参照）。

別添 4 - 2 表に、要因別の制限温度をまとめる。

2. まとめ

以上の検討を踏まえ、次のとおり制限温度を設定した。

- ・ BWR 燃料被覆管（ライナ有^{*1}） 300℃
- ・ BWR 燃料被覆管（ライナ無^{*2}） 200℃

* 1 : 新型 8 × 8 燃料ジルコニウムライナ燃料、高燃焼度 8 × 8 燃料

* 2 : 新型 8 × 8 燃料

【水素化物再配向】

別添 4 - 1 表 水素化物再配向試験のまとめ(BWR) ⁽⁴⁾

燃料被覆管の種類		機械特性が低下しない条件	
		温度	周方向応力
BWR	40GWd/t ライナ無	200℃以下	70MPa 以下
	50GWd/t ライナ有	300℃以下	70MPa 以下
	55GWd/t ライナ有	300℃以下	70MPa 以下
PWR	39GWd/t	275℃以下	100MPa 以下
	48GWd/t	275℃以下	100MPa 以下

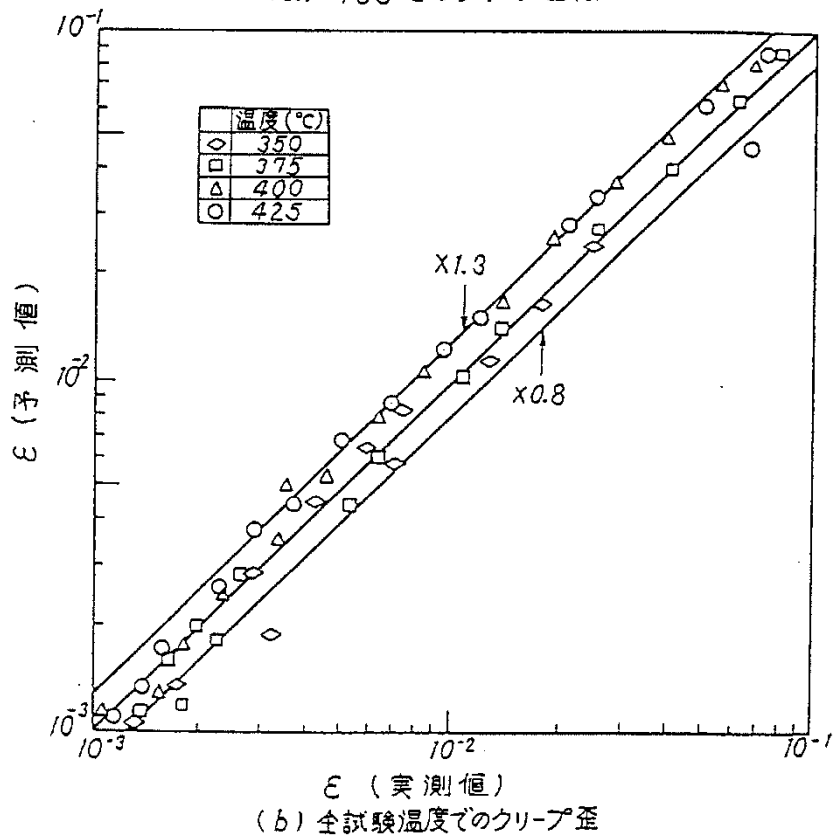
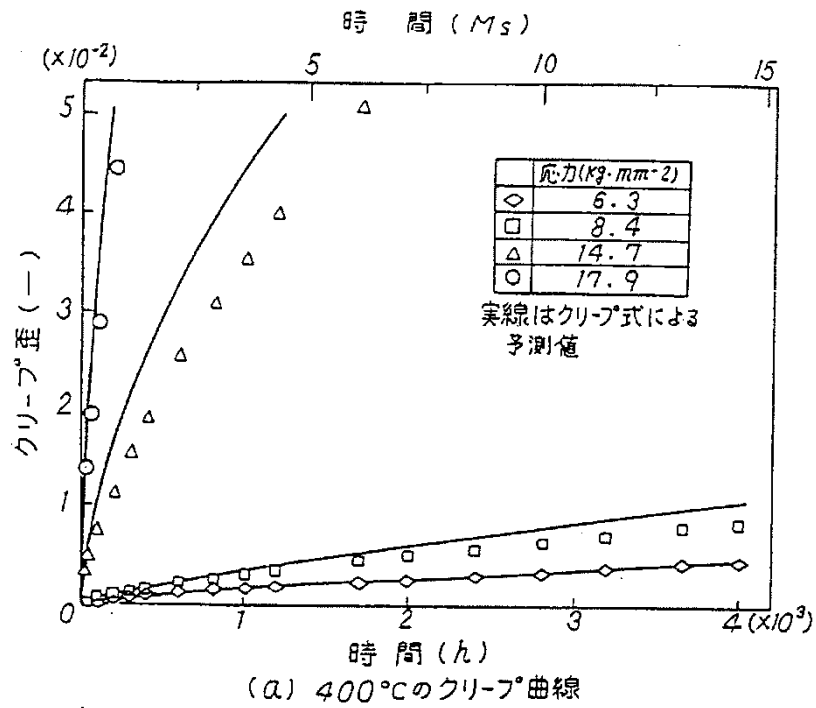
別添 4 - 2 表 各要因における制限温度

要因	BWR
累積 1% クリープ	360℃程度 (例) 300℃
水素再配向による機械強度低下*	制限温度 ライナ有 300℃ ライナ無 200℃
照射硬化の回復による機械特性の著しい低下	照射硬化の回復を考慮

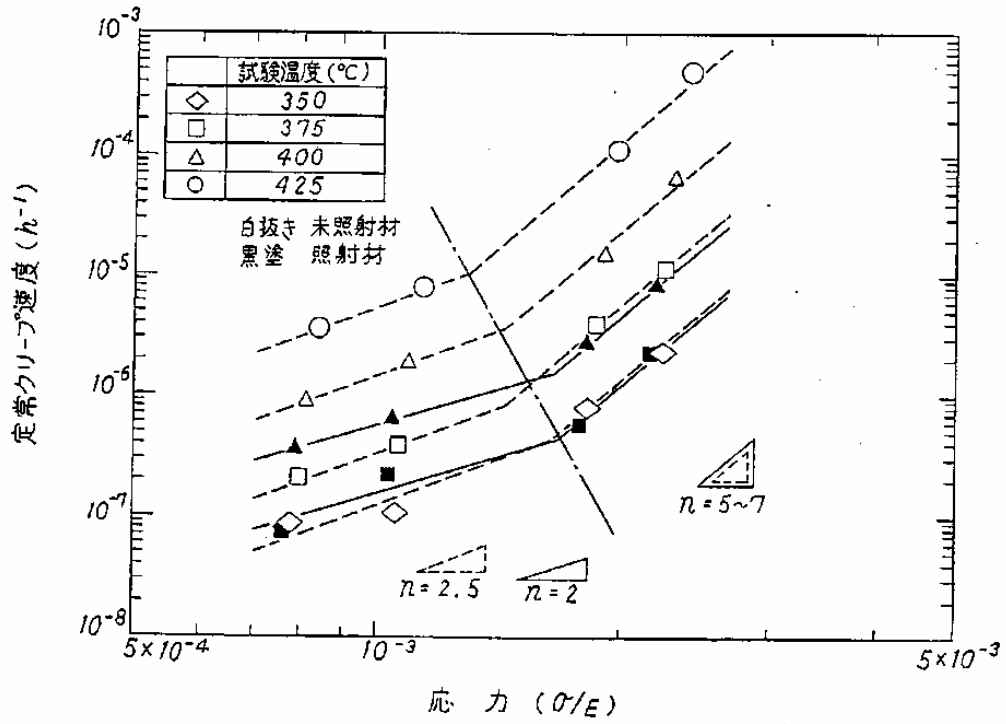
* : 燃料被覆管の制限温度において、BWR 燃料被覆管の周方向応力は、制限値 70MPa 以下となる (添付 2 参照)。

<燃料被覆管制限温度の設定に用いたデータ>

【累積クリープ】



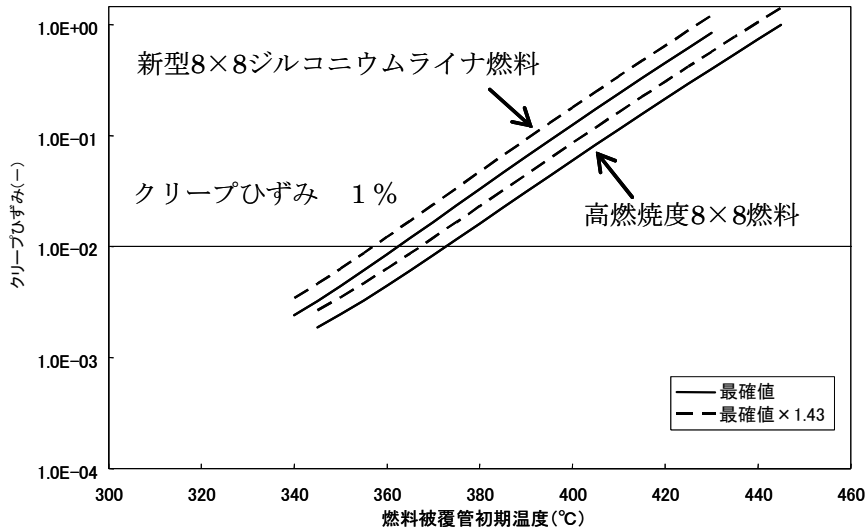
別添 4-1 図 クリープひずみの予測値と実測値の比較⁽¹⁾



別添 4 - 2 図 照射材と未照射材の定常クリープ速度の比較 (BWR) ⁽¹⁾

<燃料被覆管制限温度の設定に用いたデータ>

【クリープ】



BWR 燃料評価条件

・ 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料

最大燃焼度：40GWd/t

冷却期間：18年

評価期間：60年

温度履歴：次の式により貯蔵中の温度低下を考慮

$$Ti = [(Toi - Ta) \times (Ts - Ta) / (Toi - Ta)] + Ta$$

ここに、 Ti ：時刻 i における想定温度(°C) Toi ：時刻 i における実際の温度(°C)

Ta ：貯蔵雰囲気温度(=45°C)

Ts ：想定する温度低下履歴計算において与える貯蔵初期温度入力値(°C)

Toi ：貯蔵初期時の実際の温度(°C)

・ 高燃焼度 8 × 8 燃料

最大燃焼度：50GWd/t

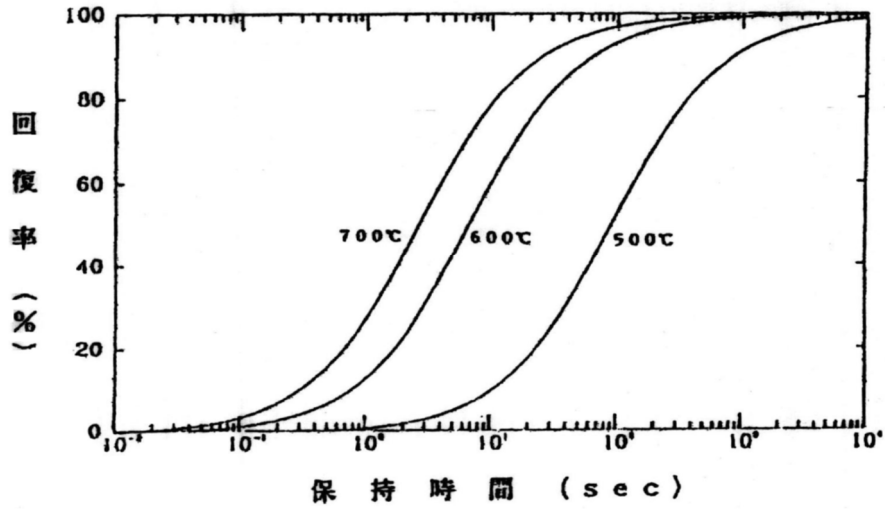
冷却期間：8年

評価期間：60年

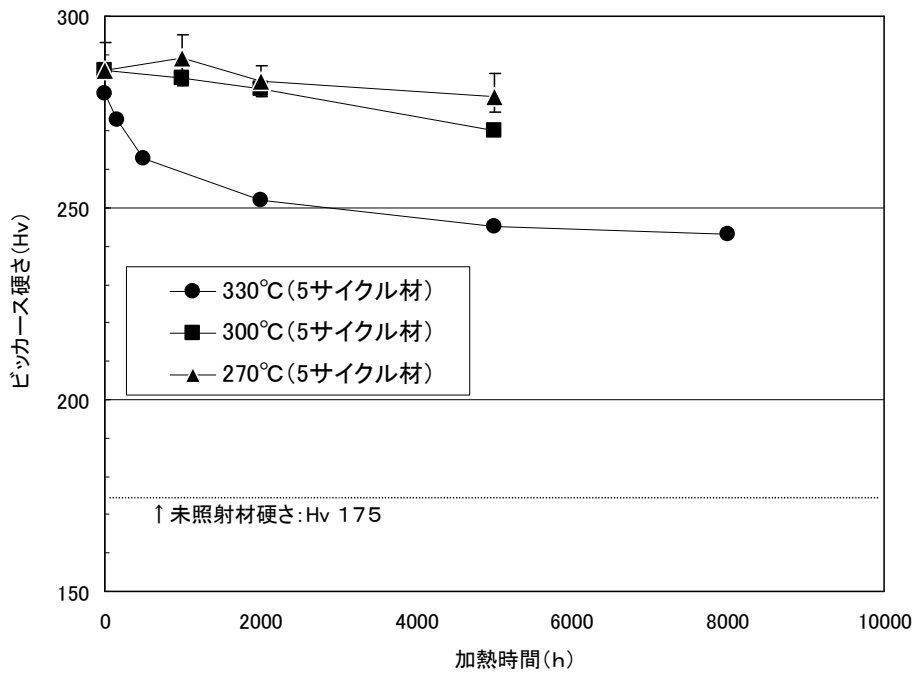
温度履歴：貯蔵中の温度低下を新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料の場合と同様に考慮

別添 4-3 図 BWR 燃料被覆管初期温度と累積クリープひずみの関係の評価例⁽³⁾

【照射硬化の回復】



別添 4 - 4 図 燃料被覆管の照射硬化の回復率 (BWR) ⁽⁵⁾



別添 4 - 5 図 BWR 燃料被覆管の照射硬化回復挙動 ⁽⁶⁾

参考文献

- (1) (財)電力中央研究所, 「乾式貯蔵時の BWR 燃料被覆管許容温度の検討」 T88068, (財)電力中央研究所 (平成元年 5 月)
- (2) (独) 原子力安全基盤機構, 「平成 15 年度 リサイクル燃料資源貯蔵施設 安全解析コード改良試験 (燃料の長期安全性に関する試験最終成果報告書)」, (独) 原子力安全基盤機構 (平成 16 年 6 月)
- (3) (一社) 日本原子力学会, 「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 附属書 P (参考)」 (AESJ-SC-F002:2010), (一社) 日本原子力学会 (2010 年 7 月)
- (4) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保全部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ, 「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」, 総合資源エネルギー調査会 (平成 21 年 6 月 25 日)
- (5) T.Torimaru, T.Yasuda, M.Nakatsuka, “Changes in mechanical properties of irradiated Zircaloy-2 fuel cladding due to short term annealing”, J. Nucl. Materials, Vol. 238, 169~174 (1996)
- (6) (独) 原子力安全基盤機構, 「平成 18 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (貯蔵燃料長期健全性等確証試験に関する試験最終成果報告書)」, (独) 原子力安全基盤機構 (平成 19 年 3 月)

累積クリープひずみ量の評価例

	BWR 燃料（新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料/高燃焼度 8 × 8 燃料 ⁽¹⁾ ）
計算条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 評価温度 320℃⁽²⁾ ・ 評価周方向応力 70MPa（添付 2 参照） ・ 温度，応力 60 年間一定 ・ 軸方向温度分布無視 ・ 未照射材の予測式 ・ 予測式による計算結果を 1.43 倍
計算条件の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間を通じて，温度，応力は上記の値以下に維持されるため，評価温度，応力の設定は妥当。 ・ 貯蔵中の崩壊熱減衰に伴う温度，応力の低下を無視することは保守的な設定。 ・ 軸方向温度分布無視は保守的な設定。 ・ 未照射材の予測式を用いることは保守的。
計算結果	累積クリープひずみ量 0.55%

(1) 新型 8 × 8 については，燃料被覆管制限温度が 200℃と低いことから，上記対象燃料の評価に包含される。

(2) 燃料被覆管制限温度は 300℃であるが，クリープひずみ量計算式の適用可能温度範囲は 320℃～425℃であるため，320℃として評価した。

添付 2

燃料被覆管に発生する応力評価例

1. 評価方法

燃料被覆管を円筒とみなすと，周方向応力 σ_{θ} は次式で表される。

$$\sigma_{\theta} = \frac{P \cdot r_m}{t} \dots \dots \dots (1)$$

- ここで，
- σ_{θ} : 燃料被覆管周方向応力 (MPa)
 - P : 燃料被覆管内圧 (MPa)
 - r_m : 燃料被覆管平均半径 (mm)
 - t : 燃料被覆管厚 (mm)

また，燃料被覆管平均半径 r_m は，次式で表される。

$$r_m = \frac{D+t}{2} \dots \dots \dots (2)$$

D : 燃料被覆管内径 (mm)

(1) 及び (2) 式より，周方向応力 σ_{θ} を求める。

2. 評価条件及び結果

	BWR 燃料		
	新型 8 × 8	新型 8 × 8 ジルコニウムライナ	高燃焼度 8 × 8
燃料被覆管内径 (mm)			
燃料被覆管厚 (mm)			
燃料被覆管内圧 (MPa)			
評価温度 (℃)	300	300	300
周方向応力 (MPa)	60 以下	70 以下	70 以下

上記を踏まえ，BWR 燃料被覆管の周方向応力として 70MPa を設定した。

3. 評価の保守性

- (1) 燃料被覆管厚は設計厚に対し、10%の減肉を考慮して設定。なお、BWRライナ有り燃料は、保守的にライナを無視して設定。
- (2) BWR燃料の内圧は、照射済みBWR燃料要素データ (PNL-4835⁽¹⁾) から設定。なお、米国PNLによる照射済BWR燃料棒の内圧を解析した条件は、燃焼度 50Gwd/t であり、国内の高燃焼度 8×8 燃料に相当する。BWR燃料の高燃焼度 8×8 燃料の寿命末期の内圧解析結果は約 6.5MPa (約 66kgf/cm²) である⁽²⁾。

(独) 原子力安全基盤機構の調査結果によれば、9×9燃料を除いた燃料要素の内圧は、最大でも 2.8MPa (20℃換算) を超えないことが報告されている (添付 2-1 図参照*)⁽³⁾。この値を 300℃に換算すると約 5.5MPa となり、“2. 評価条件及び結果” に示す燃料被覆管内圧 (□MPa) は、これに比べても安全側に設定されている。

* : 添付 2-1 図の凡例は以下のようになっており、貯蔵する燃料タイプを包含している。

- ・実証試験燃料 : 8×8 燃料
- ・島根燃料 : 8×8 燃料
- ・高性能燃料 : 新型 8×8 燃料 (ジルコニウムライナ管を含む)
- ・高燃焼度確証用燃料 : 高燃焼度 8×8 燃料

- (3) BWR燃料の評価温度については、保守的な除熱解析モデルで評価した貯蔵中の燃料被覆管温度を大きく包含した温度として設定しており保守的である。

<参考>照射済みBWR燃料要素データ (PNL-4835⁽¹⁾)

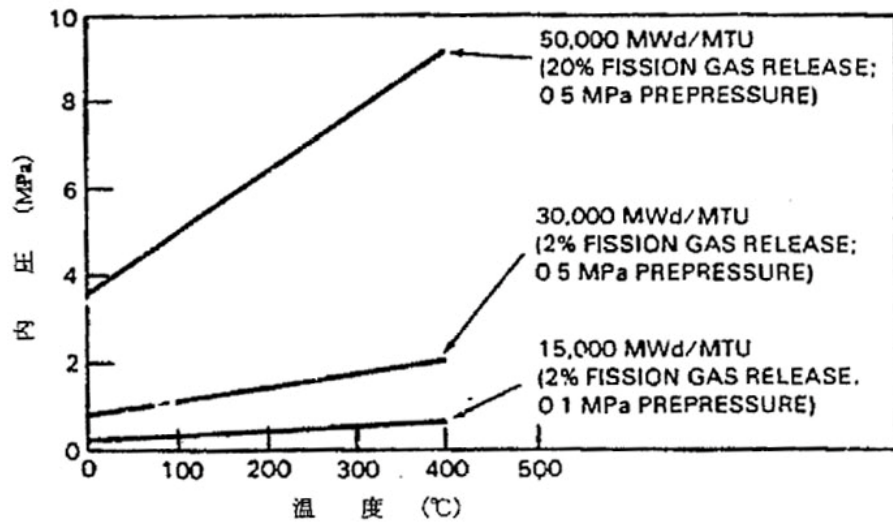
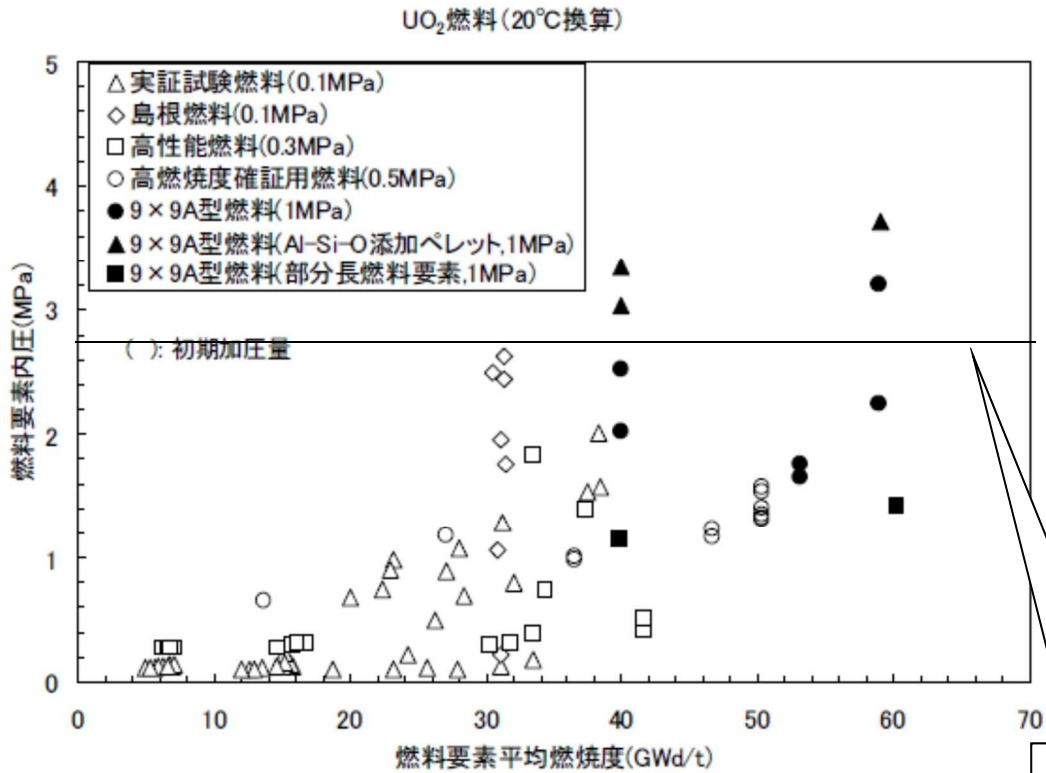


FIGURE B.2. Plenum Gas Pressure for BWR Spent Fuel Computed from Measured EOL Void Volumes and Indicated Fission Gas Release Assumptions (pressure/temperature relationship from GAPCON-2)

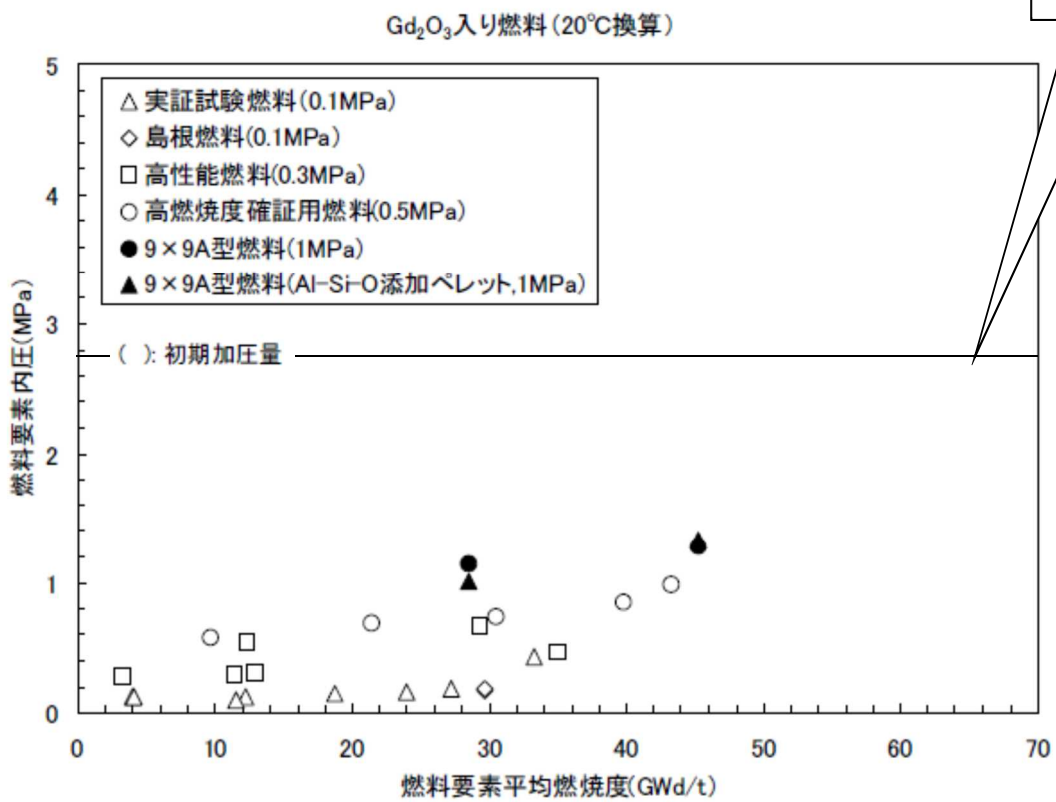
照射済みBWR燃料要素のプレナムガス圧力

(米国 PNL が照射後試験によって得られた照射燃料棒の空隙体積測定結果から、燃焼度と FP ガス放出率をパラメータとして燃料棒内圧を解析した結果)



添付 2 - 1 図① UO₂燃料要素内圧の燃焼度変化 (20°C換算)

9 × 9 A 型燃料を除いた最大から 2.8MPa と読み取り



添付 2 - 1 図② Gd₂O₃入り UO₂燃料要素内圧の燃焼度変化 (20°C換算)

参考文献

- (1) A.B. Johnson, Jr. , et.al., “Technical Basis for Storage of Zircaloy-clad Spent Fuel in Inert Gases” , PNL-4835. B.3, Pacific Northwest Laboratory, (1983)
- (2) 東京電力株式会社, 「福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書」, 東京電力株式会社 (平成 3 年 5 月)
- (3) (独) 原子力安全基盤機構, 「平成 18 年度 高燃焼度 9 × 9 型燃料信頼性実証成果報告書 付録 1 (9 × 9 A 型燃料照射後試験結果)」, (独) 原子力安全基盤機構 (平成 19 年 12 月)

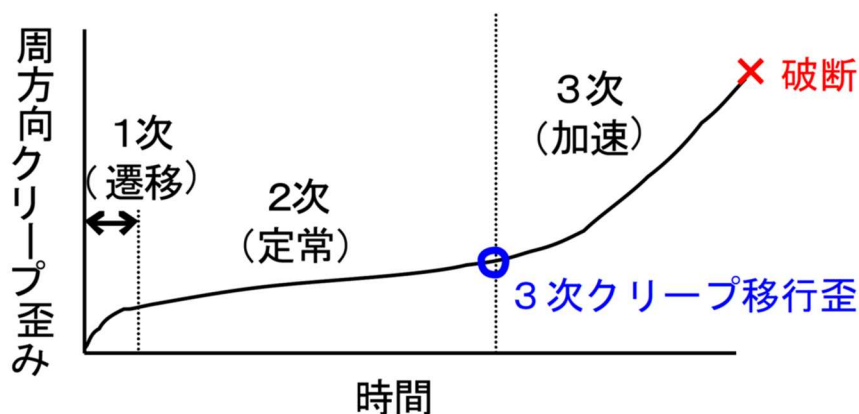
累積クリープひずみ量の根拠について

燃料被覆管のクリープ破損は、材料の降伏応力以下でも高温では徐々に塑性変形（クリープ）が生じ、この変形量（累積クリープ歪み）が限界を超えると燃料被覆管が破断する現象である。（添付 3 - 1 図）

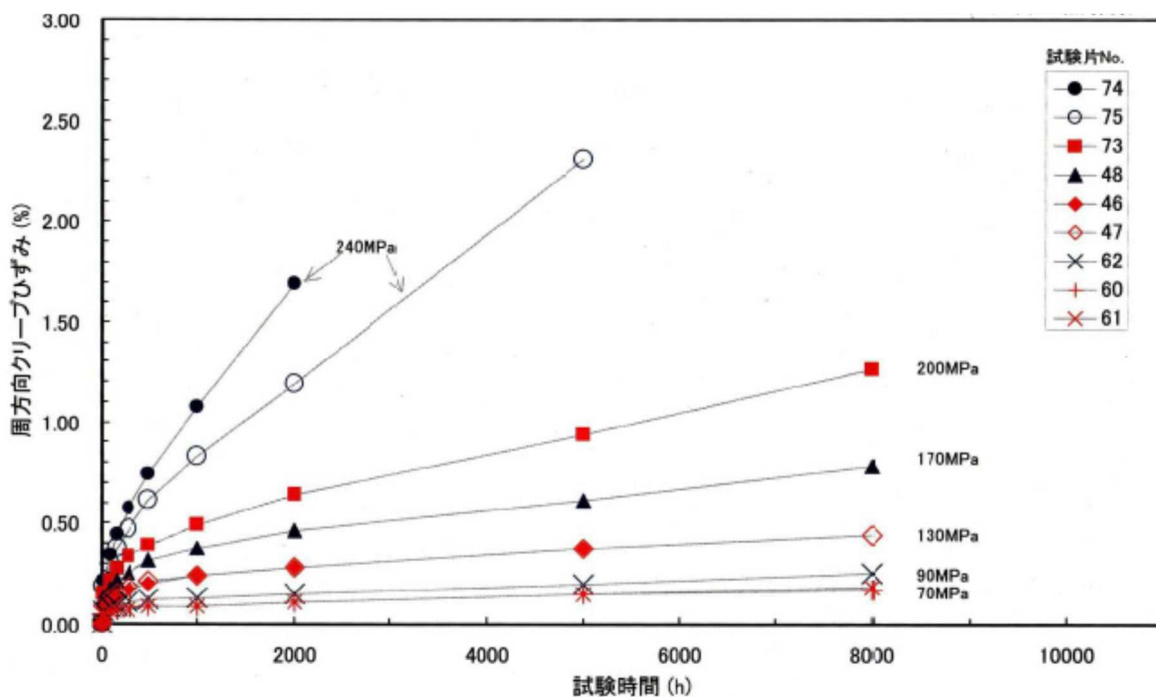
国内の軽水炉で照射された BWR 50Gwd/t のジルカロイ - 2 燃料被覆管を用いたクリープ試験の結果、燃料被覆管は 1% 以上のクリープ変形能力を有する（累積クリープ歪みが 1% を超えると燃料被覆管が破損することを意味するものではない）ことが確認されている。（添付 3 - 2 図）

本結果を基に、累積クリープ量が設計評価期間中に 1% を超えないことを制限としている。

貯蔵中の地震や通常輸送中の振動・衝撃によって燃料被覆管には主に軸方向の圧縮応力や曲げ応力（ $\sim 10\text{MPa}$ 程度）が付加されるが、軸方向の応力は燃料棒内圧により定常的に生じている応力（周方向には $\sim 70\text{MPa}$ 程度）に比べて小さく、作用する時間も短時間であることから、これら事象による影響は小さい。



添付 3 - 1 図 クリープ曲線の概略⁽¹⁾



添付 3 - 2 図 BWR 燃料被覆管のクリープ曲線 (390°C) ⁽¹⁾

参考文献

- (1) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保全部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」, 総合資源エネルギー調査会 (平成 21 年 6 月 25 日)

照射硬化回復の予測評価例

1. 評価式

5 サイクル照射された燃料被覆管の照射硬化回復試験結果より，照射硬化の回復挙動は，以下のとおり定式化⁽¹⁾されている。

$$\begin{aligned} \text{照射硬化残存率} & : F = \exp(-K \cdot t)^{n_r} \\ & K = A_r \cdot \exp(-Q_r / (RT)) \\ \text{定数 } n_r & : 2.08 \times 10^{-1} \\ \text{定数 } A_r & : 1.17 \times 10^{19} \text{ (1/h)} \\ \text{活性化エネルギー } Q_r & : 2.86 \times 10^5 \text{ (J/mol)} \\ t : \text{時間 (h)}, R : \text{気体定数 (J/mol/K)}, T : \text{温度 (K)} \end{aligned}$$

(1) 「平成 15 年度 リサイクル燃料資源貯蔵施設安全解析コード改良試験（燃料の長期安全性に関する試験最終成果報告書）」式 (4.1.4)

2. 照射硬化回復考慮評価例

評価条件

BWR 燃料被覆管	: ジルカロイ - 2
貯蔵時温度	: 300°C 一定
評価期間	: 60 年間
照射硬化残存率 F	: 約 0.6
回復率 (1 - F)	: 約 0.4 (40% 回復)

第 16 条 使用済燃料の受入施設

<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
- 別添 2 搬送台車で金属キャスクを移送中の地震対応について
- 別添 3 衝撃吸収材の性能及び敷設範囲について

1. 設計方針

使用済燃料貯蔵施設には、金属キャスクの搬入、貯蔵、検査及び搬出に係る金属キャスクの移送及び取扱いに対して、基本的安全機能を確保できる使用済燃料の受入施設を設ける。

金属キャスクの移送及び取扱いに対して手順を定め、金属キャスクの落下防止対策、金属キャスク単独及び金属キャスク相互の衝突防止対策並びに転倒防止対策を講ずる設計とする。また、緩衝体等の移送及び取扱いに対して手順を定め、落下防止対策を講ずる設計とする。

(1) 金属キャスクの移送及び取扱い

a. 落下防止対策

(a) 受入れ区域天井クレーンによる移送及び取扱い

- i 受入れ区域天井クレーンは、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。
- ii 受入れ区域天井クレーンのワイヤロープ、ブレーキ及びリミットスイッチは、故障を考慮して二重化する。
- iii 受入れ区域天井クレーンは、動力源である電気の供給が停止した場合に動作するブレーキを設ける。
- iv 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。
- v 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（水平吊具はアーム1本の保持不良があった場合でも落下せず、垂直吊具は主アーム2本及び補アーム2本で二重化しており、主アームの保持不良があった場合でも補アームにより落下しない）。
- vi つり具の取付不良を考慮して、受入れ区域天井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設計とする。

b. 転倒防止対策

(a) 受入れ区域天井クレーンによるたて起こし時

- i 受入れ区域天井クレーンは、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。

- ii 受入れ区域天井クレーンのワイヤロープ、ブレーキ及びリミットスイッチは、故障を考慮して二重化する。
 - iii 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。
 - iv 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、衝撃吸収材を敷設する。
- (b) 搬送台車による移送及び取扱い
- i 搬送台車は、電源喪失時や空気圧縮機の停止により動力源である圧縮空気の供給が停止した場合には、金属キャスクを着床させ衝突を防止する。
 - ii 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。
 - iii 搬送台車による移送及び取扱いにおいて、急発進及び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、速度及び浮上高さを適切に設定する。貯蔵架台は転倒しない寸法に設計する。
- c. 金属キャスク単独及び金属キャスク相互の衝突防止対策
- (a) 受入れ区域天井クレーンによる移送及び取扱い（走行、横行）
- i 受入れ区域天井クレーンのワイヤロープ、ブレーキ及びリミットスイッチは、故障を考慮して二重化する。
 - ii 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に可動範囲を制限するインターロックを設け、金属キャスク相互の衝突を防止する。
- (b) 受入れ区域天井クレーンによる移送及び取扱い（つり下げ）
- i 受入れ区域天井クレーンのワイヤロープ及びブレーキは、故障を考慮して二重化する。
 - ii 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、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) 搬送台車による移送及び取扱い

- i 搬送台車は、電源喪失時や空気圧縮機の停止により動力源である圧縮空気の供給が停止した場合には、金属キャスクを着床させ衝突を防止する。
- ii 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。
- iii 搬送台車は、移送速度及び浮上高さを適切に設定する運用とする。
- iv 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、金属キャスク取扱い時の他の構造物及び機器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。

(2) 重量物の移送及び取扱い

a. 緩衝体等の落下防止対策

- (a) 受入れ区域天井クレーンは、地震荷重、自重及びつり荷荷重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) 金属キャスクへの落下を防止するため三次蓋、二次蓋及び貯蔵架台は、仮置架台に仮置き中の金属キャスク上を移送及び取扱いをしない運用とする（受入れ区域天井クレーンの荷重制限（主巻(90t)及び補巻(4.5t)）未満では、可動範囲及びつり上げ高さのインターロックが動作しない）。
- (d) 受入れ区域天井クレーンで緩衝体の移送及び取扱いをする時は、可動範囲が制限されている。進入の際には許可するスイッチを操作して、金属キャスクを仮置きしていないエリアに移送及び取扱いをする運用とする。

b. 三次蓋及び二次蓋の落下防止対策

- (a) 受入れ区域天井クレーンは、地震荷重、自重及びつり荷荷重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) 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及び二次蓋のつり上げ高さを適切に制限する。

(3) 誤操作及び不動作の考慮

金属キャスクの基本的安全機能を維持する観点から、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、金属キャスクの移送及び取扱い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. 施設設計

使用済燃料の受入施設は、金属キャスクの搬入後及び搬出前の仮置き、金属キャスクの移送及び取扱い並びに検査等を行う受入れ区域天井クレーン、搬送台車等の受入設備で構成する（第1図参照）。

受入設備は、受入れ区域天井クレーン、搬送台車、圧縮空気供給設備、仮置架台、たて起こし架台、検査架台で構成する。

キャスク輸送車両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及び取扱いを行う（別添1参照）。

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し、金属キャスクを貯蔵架台へ設置、固定した後、搬送台車により検査架台へ移送及び取扱いを行う。

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及び取扱いを行い、貯蔵架台を床面に固定して貯蔵する。

また、上記の工程を逆行を行うことにより、金属キャスクを搬出する。

金属キャスクの移送及び取扱いに対して手順を定め、金属キャスクの落下防止対策、金属キャスク単独及び金属キャスク相互の衝突防止対策並びに転倒防止対策を講ずる設計とする。また、緩衝体等の移送及び取扱いに対して手順を定め、落下防止対策を講ずる設計とする。

(1) 金属キャスクの移送及び取扱い

a. 落下防止対策

(a) 受入れ区域天井クレーンによる移送及び取扱い

- i 受入れ区域天井クレーンは、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。
- ii 受入れ区域天井クレーンのワイヤロープ、ブレーキ及びリミットスイッチは、故障を考慮して二重化する。

- iii 受入れ区域天井クレーンは、動力源である電気の供給が停止した場合に動作するブレーキを設ける。
 - iv 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。
 - v 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（水平吊具はアーム1本の保持不良があった場合でも落下せず、垂直吊具は主アーム2本及び補アーム2本で二重化しており、主アームの保持不良があった場合でも補アームにより落下しない）。
 - vi つり具の取付不良を考慮して、受入れ区域天井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設計とする。
- b. 転倒防止対策
- (a) 受入れ区域天井クレーンによるたて起こし時
 - i 受入れ区域天井クレーンは、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。
 - ii 受入れ区域天井クレーンのワイヤロープ、ブレーキ及びリミットスイッチは、故障を考慮して二重化する。
 - iii 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。
 - iv 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、衝撃吸収材を敷設する。
 - (b) 搬送台車による移送及び取扱い
 - i 搬送台車は、電源喪失時や空気圧縮機の停止により動力源である圧縮空気の供給が停止した場合には、金属キャスクを着床させ衝突を防止する。
 - ii 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。
 - iii 搬送台車による移送及び取扱いにおいて、急発進及び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、定格速度（10m/分）以下で、浮上高さを約5cmで移送する。貯蔵架台は転倒しない寸法に設計する。

c. 金属キャスク単独及び金属キャスク相互の衝突防止対策

(a) 受入れ区域天井クレーンによる移送及び取扱い（走行，横行）

- i 受入れ区域天井クレーンのワイヤロープ，ブレーキ及びリミットスイッチは，故障を考慮して二重化する。
- ii 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を通過できないように可動範囲を制限するインターロックを設け，金属キャスク相互の衝突を防止する。

(b) 受入れ区域天井クレーンによる移送及び取扱い（つり下げ）

- i 受入れ区域天井クレーンのワイヤロープ及びブレーキは，故障を考慮して二重化する。
- ii 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，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) 搬送台車による移送及び取扱い

- i 搬送台車は，電源喪失時や空気圧縮機の停止により動力源である圧縮空気の供給が停止した場合には，金属キャスクを着床させ衝突を防止する。
- ii 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。
- iii 搬送台車は，定格速度（10m／分）以下で，浮上高さを約5cmで移送する。
- iv 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，金属キャスク取扱時の他の構造物及び機器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。

(2) 重量物の移送及び取扱い

a. 緩衝体等の落下防止対策

- (a) 受入れ区域天井クレーンは，地震荷重，自重及びつり荷荷重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) 金属キャスクへの落下を防止するため三次蓋、二次蓋及び貯蔵架台は、仮置架台に仮置き中の金属キャスク上を移送及び取扱いをしない運用とする（受入れ区域天井クレーンの荷重制限（主巻(90t)及び補巻(4.5t)）未満では、可動範囲及びつり上げ高さのインターロックが動作しない）。
- (d) 受入れ区域天井クレーンで緩衝体の移送及び取扱いをする時は、可動範囲が制限されている。進入の際には許可するスイッチを操作して、金属キャスクを仮置きしていないエリアに移送及び取扱いをする運用とする。

b. 三次蓋及び二次蓋の落下防止対策

- (a) 受入れ区域天井クレーンは、地震荷重、自重及びつり荷荷重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) 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及び二次蓋のつり上げ高さを10cm以下で運用する。

(3) 誤操作及び不動作の考慮

金属キャスクの基本的安全機能を維持する観点から、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、金属キャスクの移送及び取扱い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。

(4) 受入施設における具体的設計

a 受入れ区域天井クレーン

受入れ区域天井クレーンは、使用済燃料貯蔵建屋受入れ区域上部に設置し、受入れ区域における金属キャスクの移送及び取扱いを行う（第2図参照）。衝撃吸収材は、たて起こし架台上での転倒を考慮して敷設する。

- (a) 受入れ区域天井クレーンは、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ロープ、ブレーキ及びリミットスイッチは、故障を考慮して二重化する。
- (c) 受入れ区域天井クレーンは、動力源である電気の供給が停止した場合に動作するブレーキを設ける。
- (d) 受入れ区域天井クレーンは、地震荷重、自重及びつり荷荷重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。
- (e) 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を通過できないように可動範囲を制限するインターロックを設け、金属キャスク相互の衝突を防止する。
- (f) 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。
- (g) 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（水平吊具はアーム1本の保持不良があった場合でも落下せず、垂直吊具は主アーム2本及び補アーム2本で二重化しており、主アームの保持不良があった場合でも補アームにより落下しない）。
- (h) つり具の取付不良を考慮して、受入れ区域天井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設計とする。
- (i) 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、衝撃吸収材を敷設する（第7図参照）。

b. 搬送台車

搬送台車は、受入れ区域と貯蔵区域の間との金属キャスクの移送及び取扱いを行う（第3、4図、別添2参照）。

搬送台車は、圧縮空気供給設備から供給される圧縮空気により、金属キャスク及び貯蔵架台を揚重し、移送及び取扱いを行う設備である。

搬送台車は、エアキャスタに圧縮空気を供給し、床面とエアキャスタの間に薄い空気膜（約0.1mm）を形成させることで摩擦力を大幅に低減させ、小さな駆動力で重量物の移送及び取扱いを可能にするものである。

この方式の搬送システムは一般産業界では広く用いられており、米国ではコンクリートキャスクの搬送設備としても用いられている。

なお、金属キャスクの支持構造物である貯蔵架台は、金属キャスクの移

送及び取扱いをするためのパレットとしての機能を有しており、搬送台車のフォーク部を貯蔵架台に挿入し金属キャスクの移送及び取扱いを行う。

搬送台車は、金属キャスクの移送及び取扱いを安全かつ確実にを行うため、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。搬送台車で移送及び取扱いの際には、定格速度(10m/分)以下で、搬送台車の浮上高さを約5cmで移送する。貯蔵架台は転倒しない寸法に設計する。

搬送台車は、電源喪失時や空気圧縮機の停止により動力源である圧縮空気の供給が停止した場合には、金属キャスクを着床させ、衝突を防止する。

c. 圧縮空気供給設備

圧縮空気供給設備は、空気圧縮機及び空気貯槽から構成され搬送台車等へ圧縮空気を供給する(第5図参照)。空気貯槽には、安全弁を設置し、過圧防止対策を講じる設計とする。

d. 仮置架台

仮置架台は、搬入した金属キャスクを検査するまでの間、搬出する金属キャスクをキャスク輸送車両へ移送するまでの間及び金属キャスクの点検で、一時的に金属キャスクを仮置きするための架台である(第8図参照)。

金属キャスクの取扱いにおいて、基本的安全機能を維持するための具体的な設計は、以下のとおり行う。

- (a) 仮置架台は、地震荷重及び金属キャスク質量の適切な組合せを考慮しても強度上耐えるように設計する。
- (b) 仮置架台に設置された金属キャスクは、輸送用の緩衝体が取付けられた状態とすることを手順書に定め運用管理する。

e. たて起こし架台

たて起こし架台は、水平状態の金属キャスクを垂直状態にたて起こすための架台である(金属キャスクの点検、搬出の場合も同様とする(第6図参照))。

金属キャスクの取扱いにおいて、基本的安全機能を維持するための具体的な設計は、以下のとおり行う。

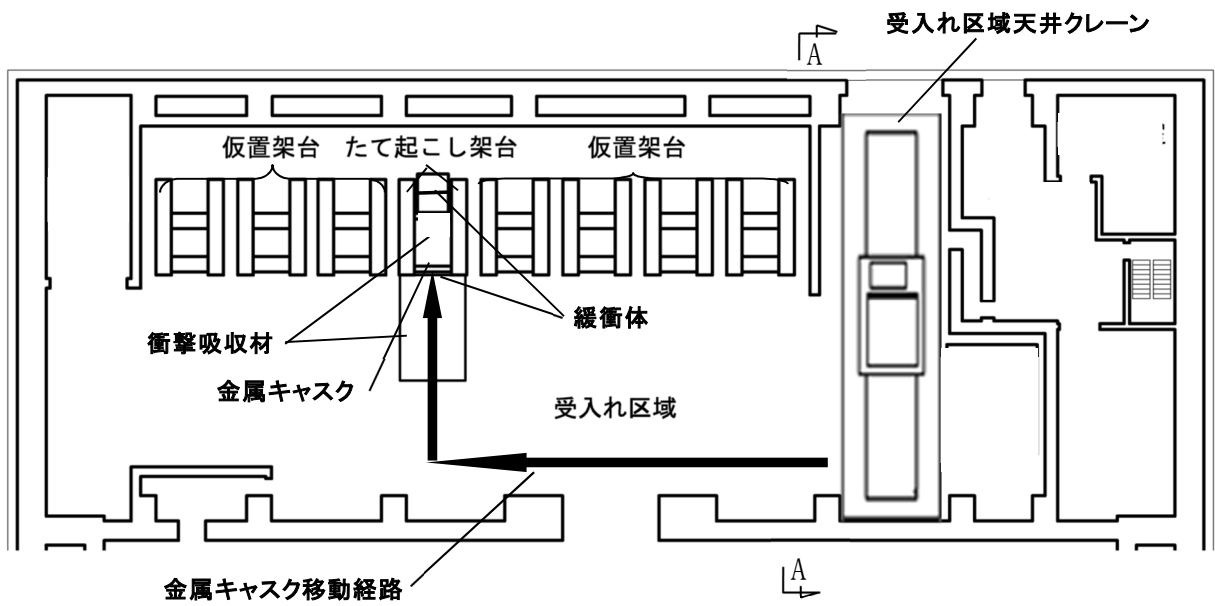
- (a) たて起こし架台は、地震荷重及び金属キャスク質量の適切な組合せ

を考慮しても強度上耐えるように設計する。

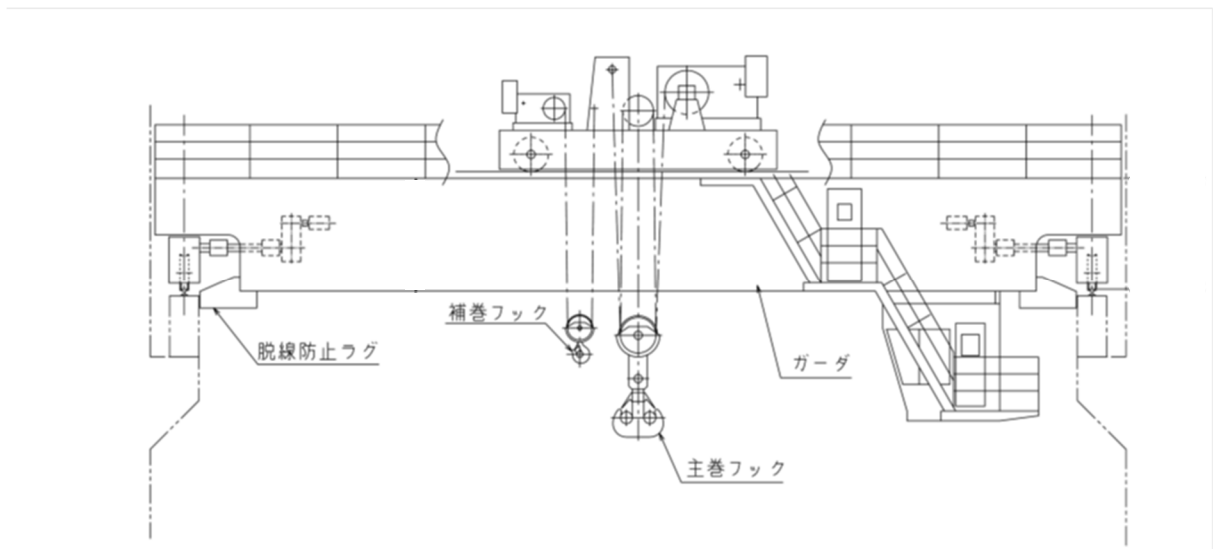
- (b) 万一、たて起こし時に金属キャスクが転倒しても、金属キャスクの閉じ込め機能に著しい損傷を与えないように衝撃吸収材をたて起こし架台及びその周辺に敷設する（第7図，別添3参照）。

f. 検査架台

検査架台は、金属キャスクの受入検査，施設外へ搬出するために必要な検査，三次蓋の取外し・取付，計測器の取付・取外し及び金属キャスクの点検が行える設計とする（第9図参照）。また，検査架台は作業員の足場であり，金属キャスクを直接取り扱う設備ではない。

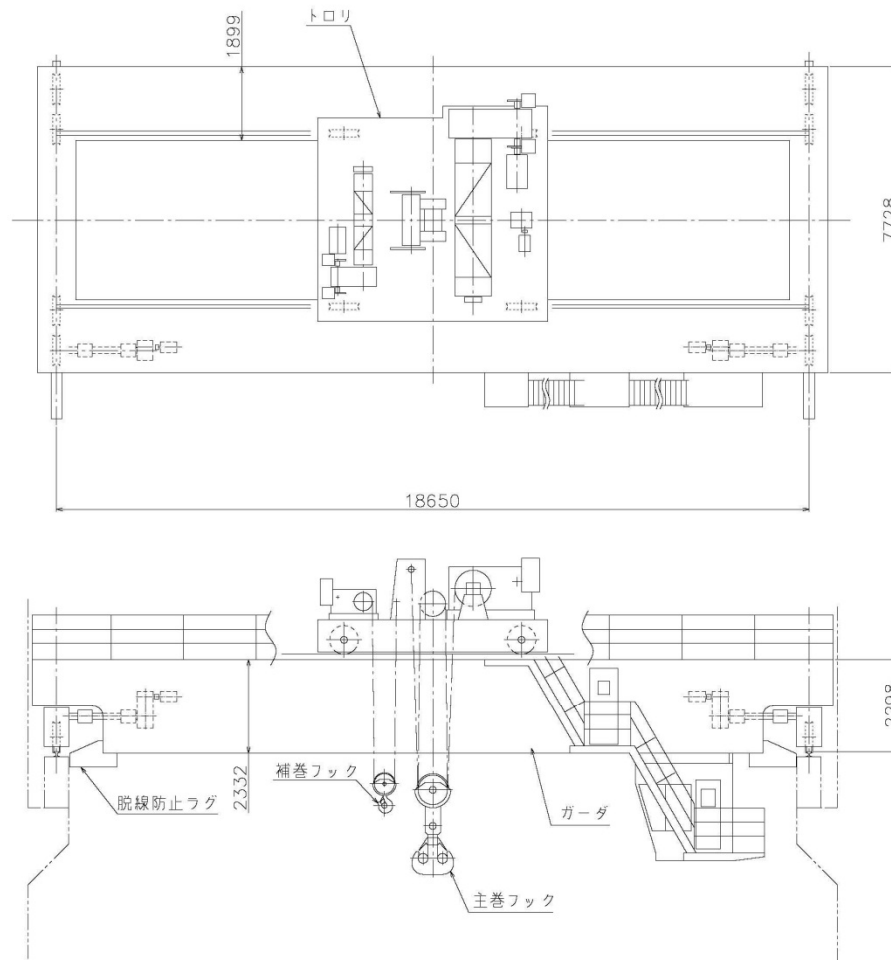


受入れ区域配置



受入れ区域天井クレーン断面 (A-A 断面)

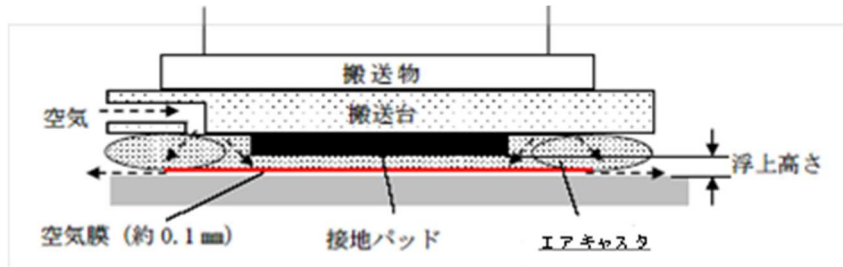
第1図 受入れ区域配置及び受入れ区域天井クレーン断面図



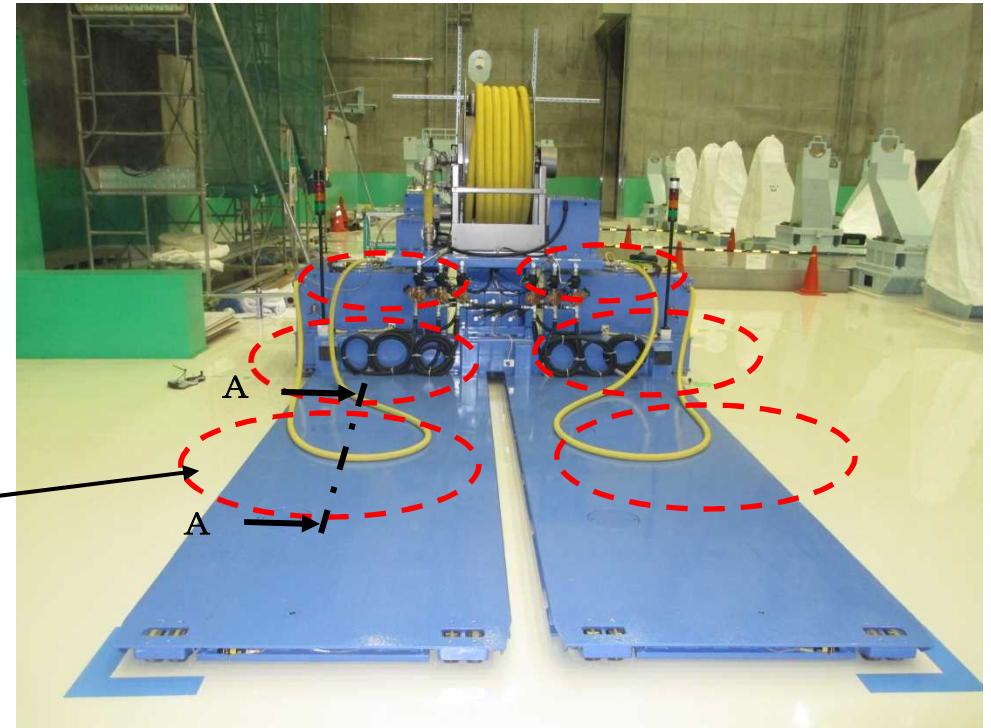
脱線防止ラグ	SS400
トロリ	SS400
ガード	SM490A
品名	材料
部品表	

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。

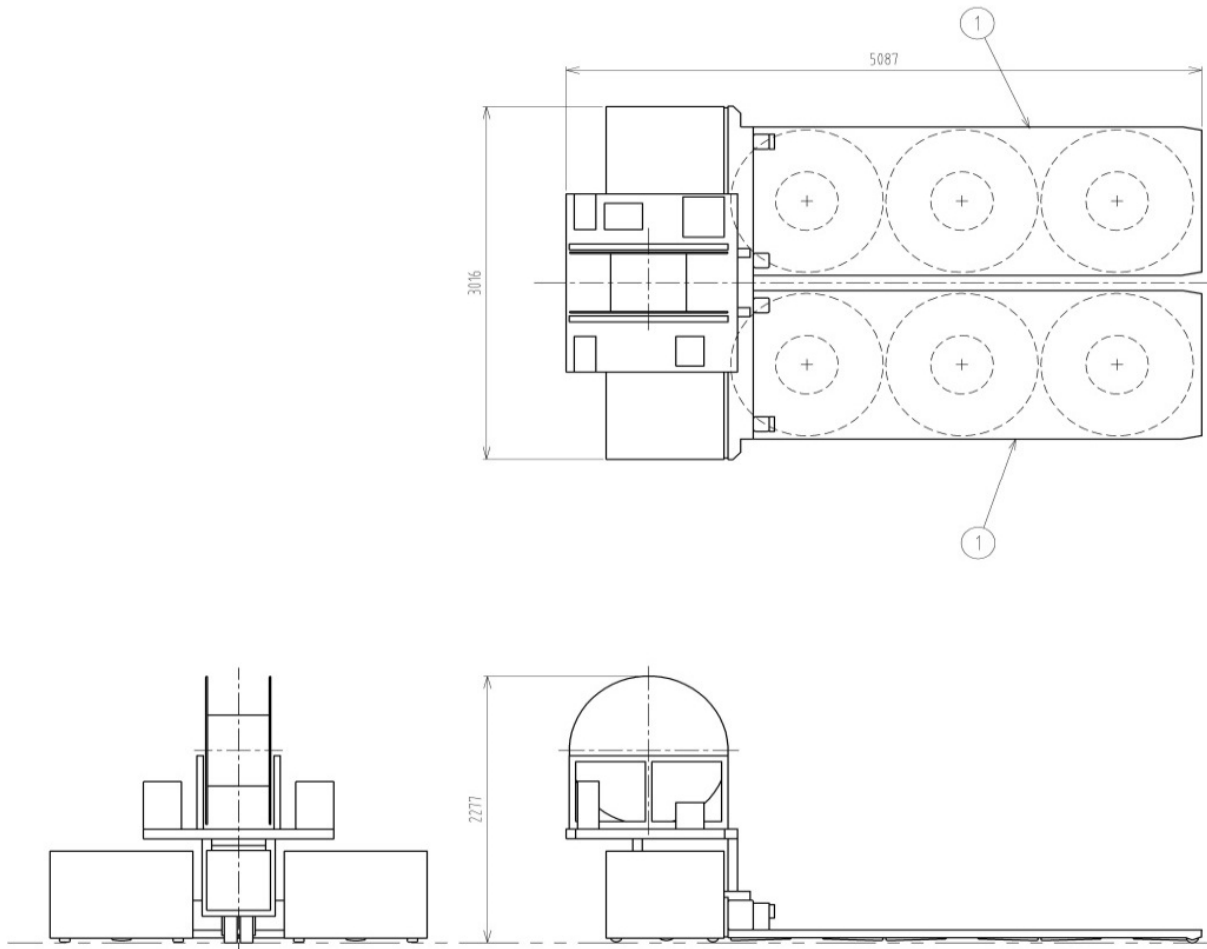
第2図 受入れ区域天井クレーン構造図



A-A 矢視



第3図 搬送台車の原理及びエアキャスタ概略位置図



1	搬送台	2	ASTM A36 (SS400相当)
番号	品名	個数	ASTM A500B (STKR400相当)
部品表			

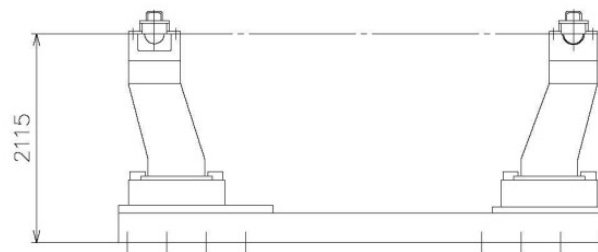
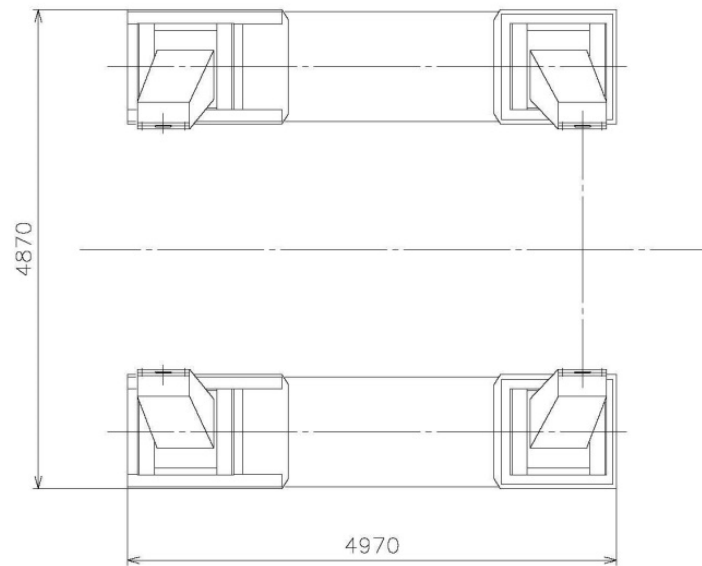
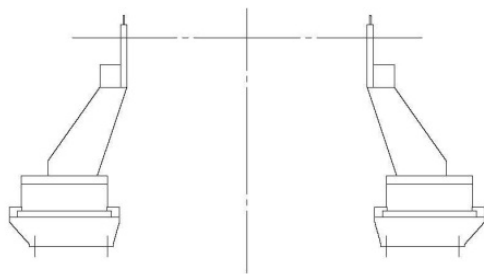
注1:特記なき寸法は mm を示す。
注2:特記なき寸法は公称値を示す。

第4図 搬送台車構造図



2	空気貯槽	1	約 8m ³
1	空気圧縮機	1	約 40Nm ³ /min
番号	品名	数量	容量
部品表			

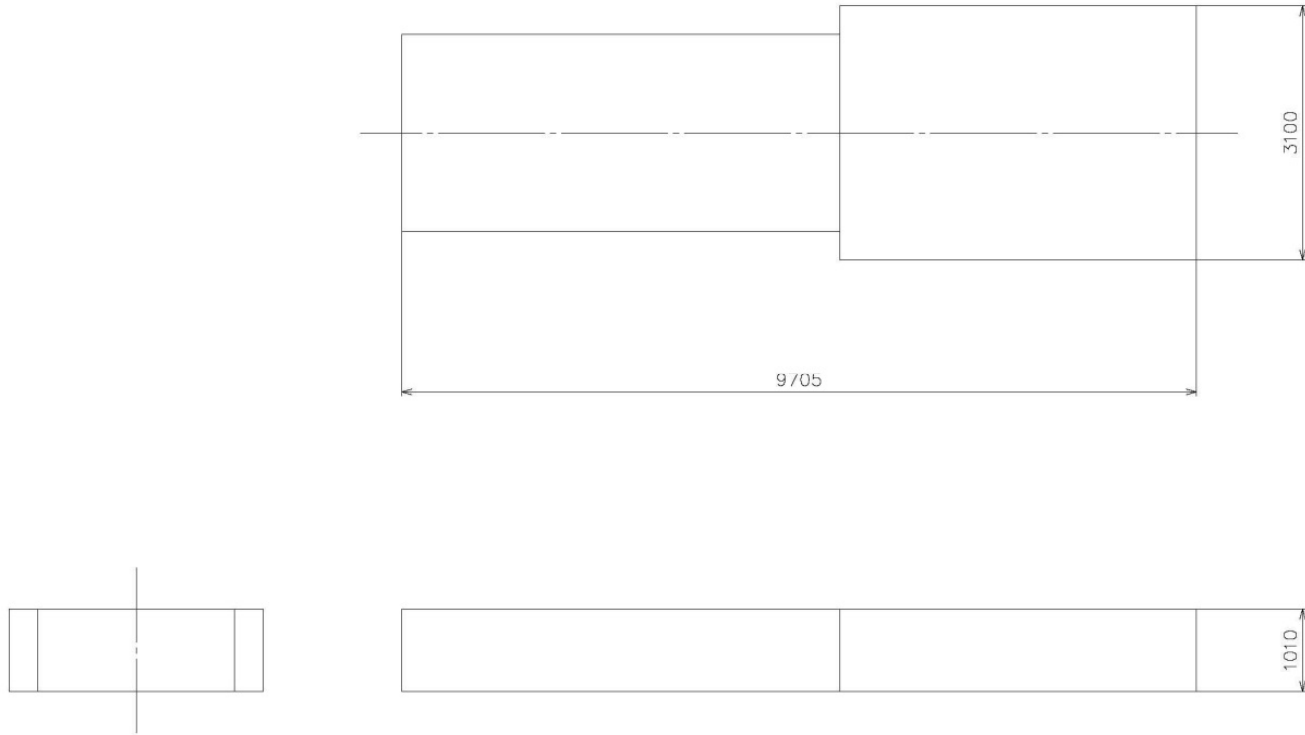
第 5 図 空気圧縮機，空気貯槽外形写真



本体	SM490A
品名	材料
部品表	

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。

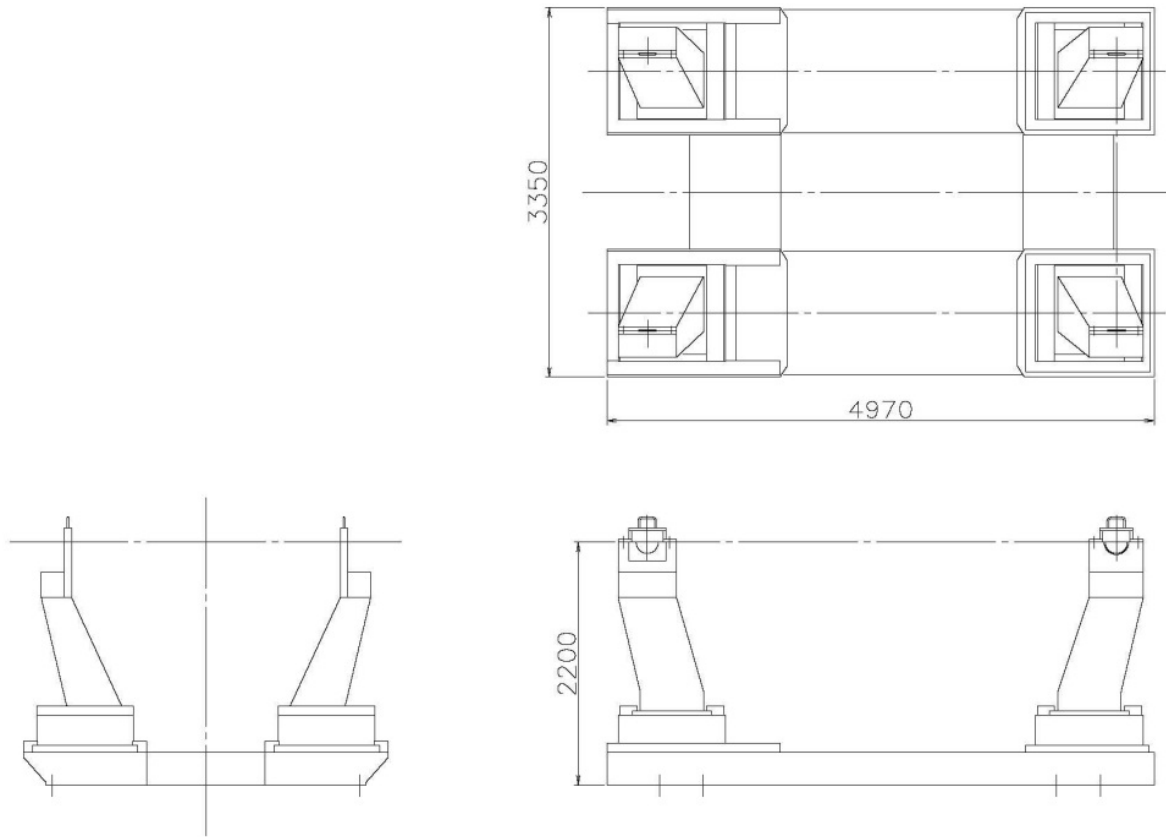
第6図 たて起こし架台構造図



吸収材	バルサ
缶体	SUS304
品名	材料
部品表	

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。

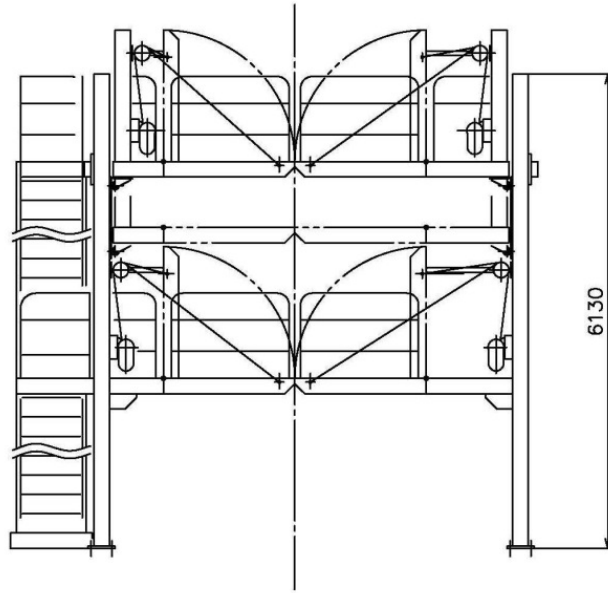
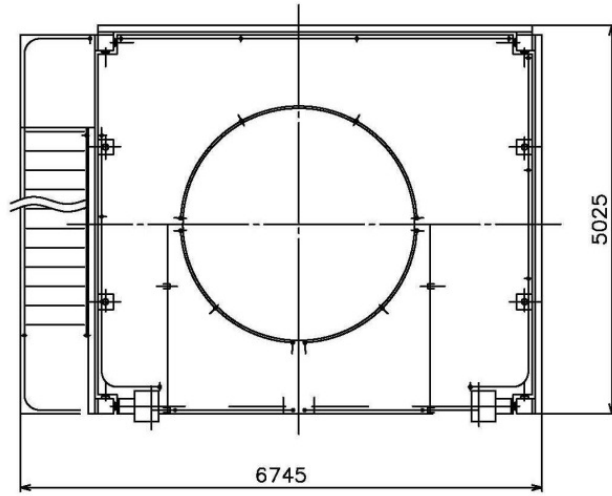
第7図 衝撃吸収材構造図



本体	SM490A
品名	材料
部品表	

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 8 図 仮置架台構造図



単位：mm

本体	SS400 STKR400
品名	材料
部品表	

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9図 検査架台構造図

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

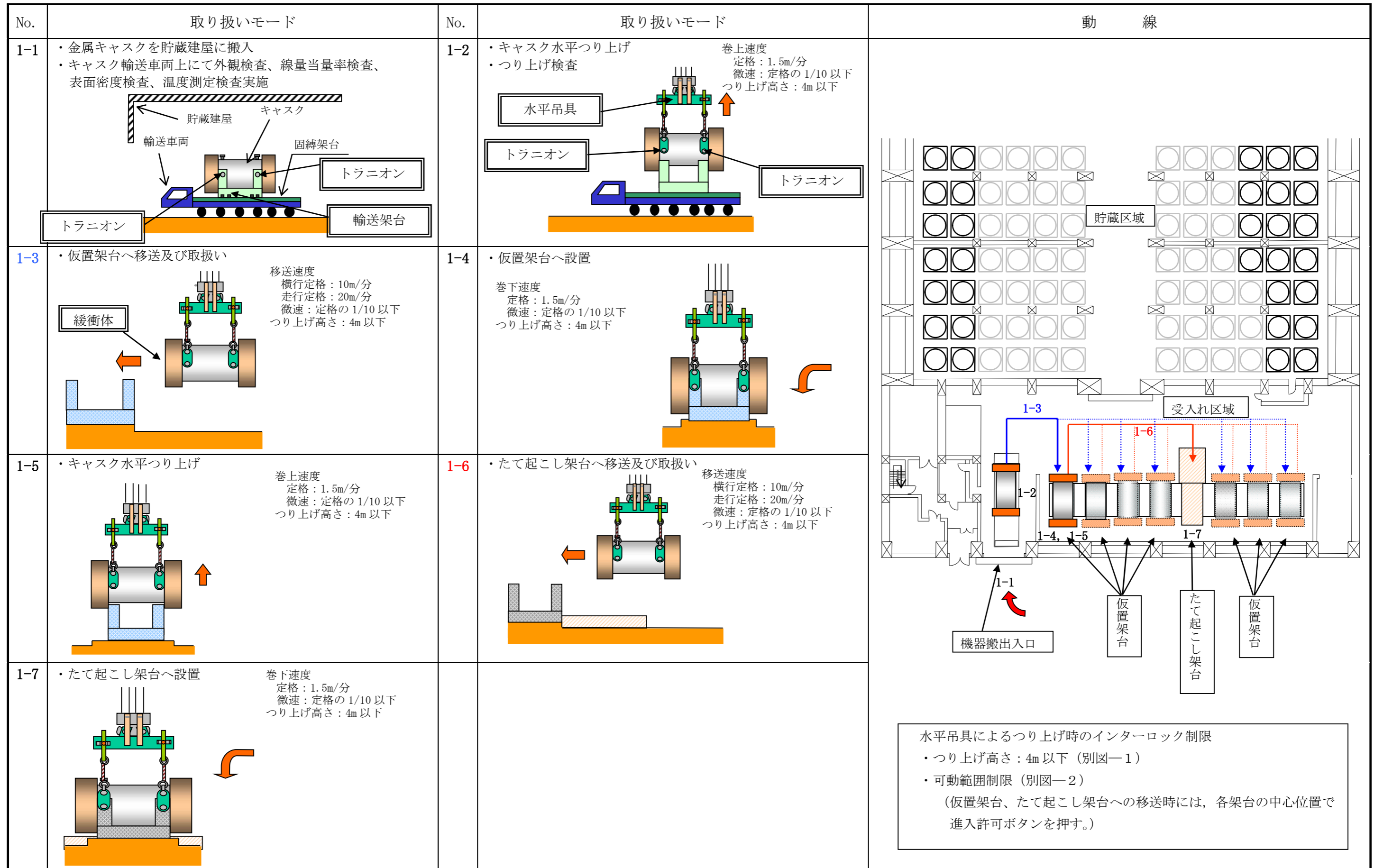
使用済燃料貯蔵施設における基本的な金属キャスクハンドリングフロー例を、下記 3 つの段階毎に、次頁以降に示す。なお、金属キャスクの衝突防止に係る設計及びつり上げ高さ制限についても、同フロー内に示す。

1. 金属キャスクの受入れ～金属キャスクの仮置き
2. 緩衝体取り外し～金属キャスクたて起こし～検査架台への移送及び取扱い
3. 検査架台～貯蔵場所への設置

また、天井クレーンのインターロックについては 16 条－別添 1－5～16 条－別添 1－8 に記載している。

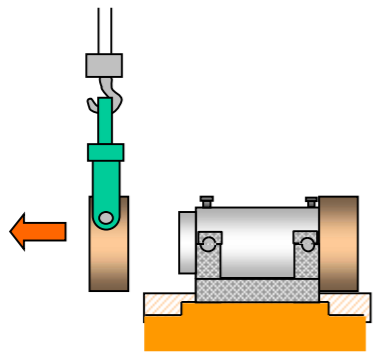
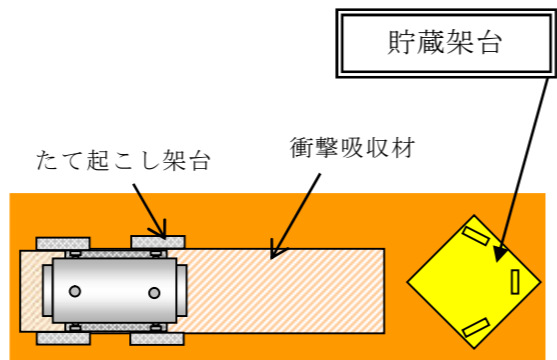
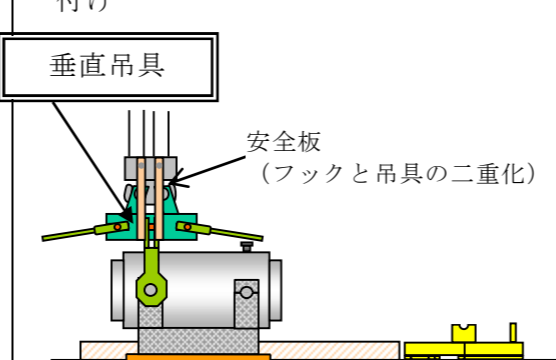
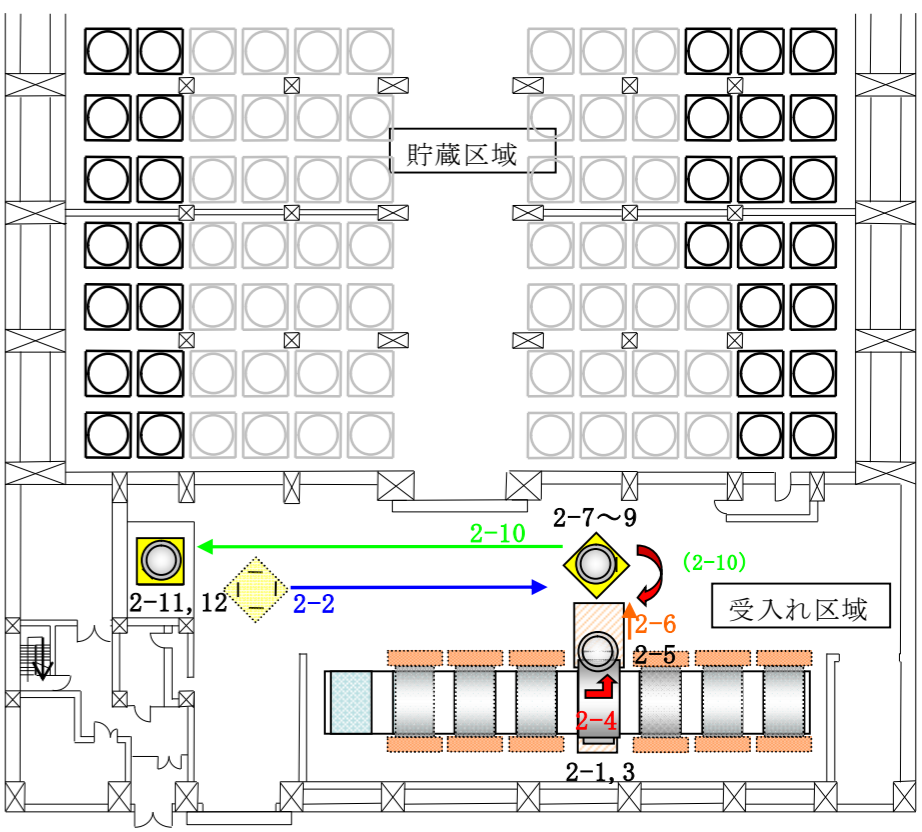
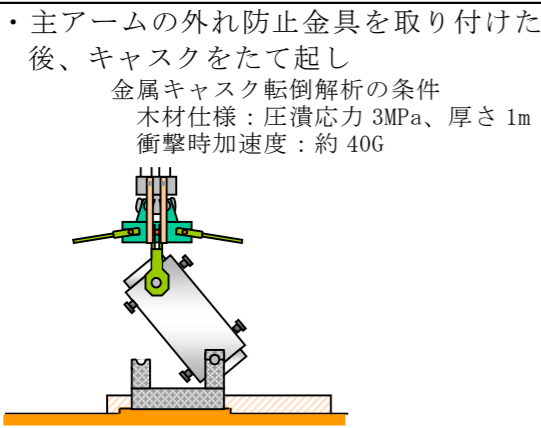
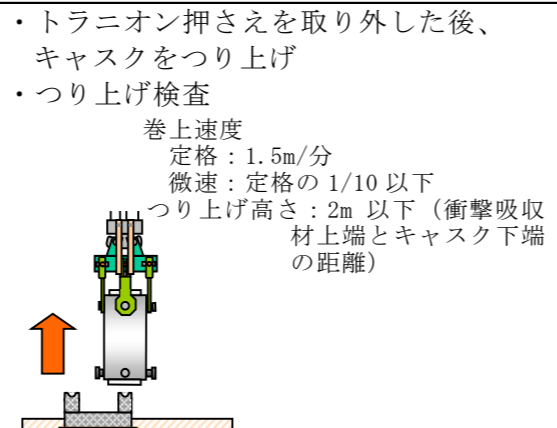
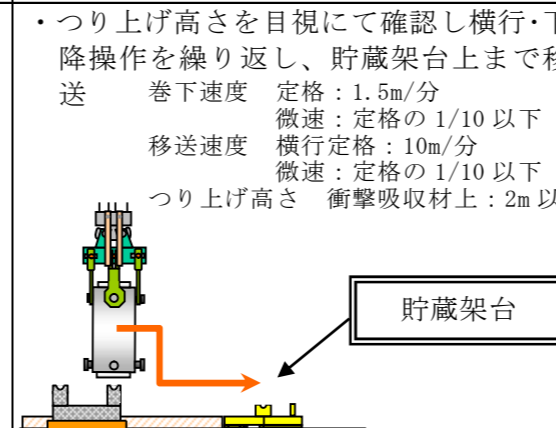
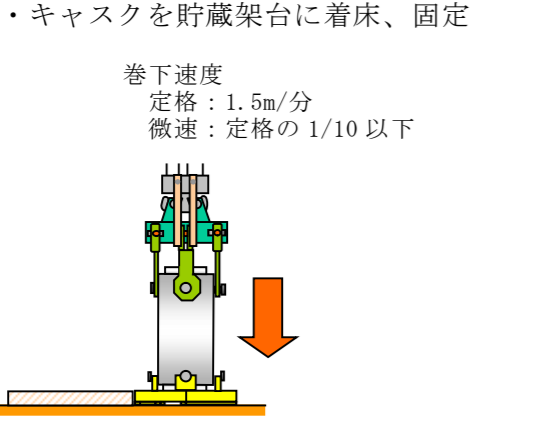
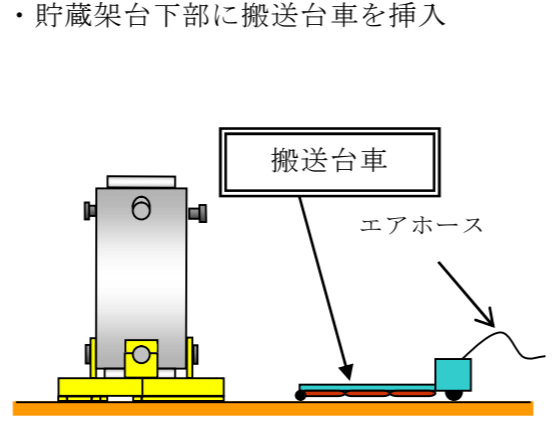
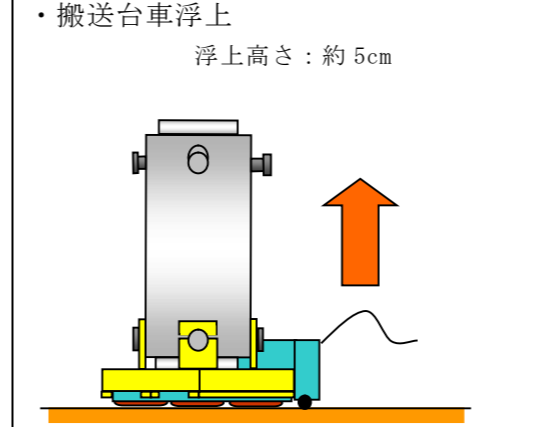
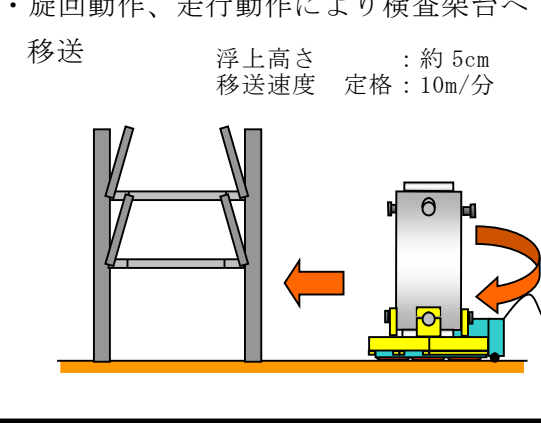
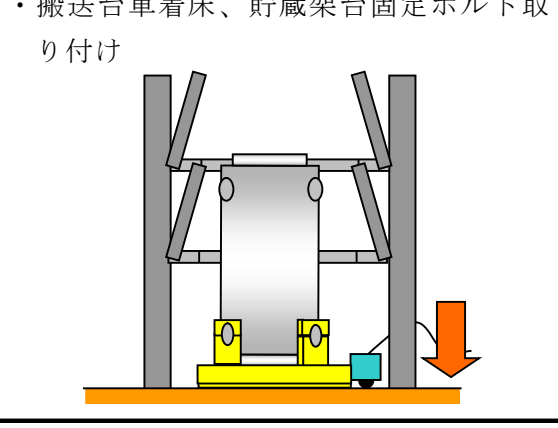
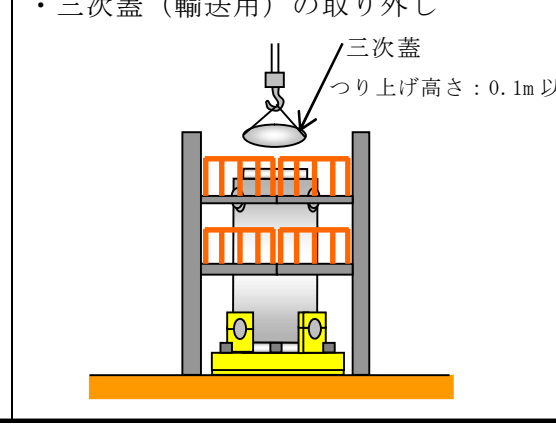
使用済燃料貯蔵施設における基本的な金属キャスクハンドリングフロー例（1 / 3）

1. 金属キャスクの受入れ～金属キャスクの仮置き



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 (2/3)

2. 緩衝体取り外し～金属キャスクたて起こし～検査架台への移送及び取扱い

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
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、キャスクをたて起こし</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</p> 	2-5	<p>・トラニオン押さえを取り外した後、キャスクをつり上げ</p> <p>・つり上げ検査</p> <p>巻上速度 定格：1.5m/分 微速：定格の 1/10 以下</p> <p>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)</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、貯蔵架台上まで移送</p> <p>巻下速度 定格：1.5m/分 微速：定格の 1/10 以下</p> <p>移送速度 横行定格：10m/分 微速：定格の 1/10 以下</p> <p>つり上げ高さ 衝撃吸収材上：2m 以下</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 微速：定格の 1/10 以下</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</p> <p>浮上高さ：約 5cm</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：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</p> <p>三次蓋 つり上げ高さ：0.1m 以下</p> 	

補巻による緩衝体つり上げ時のインターロック制限

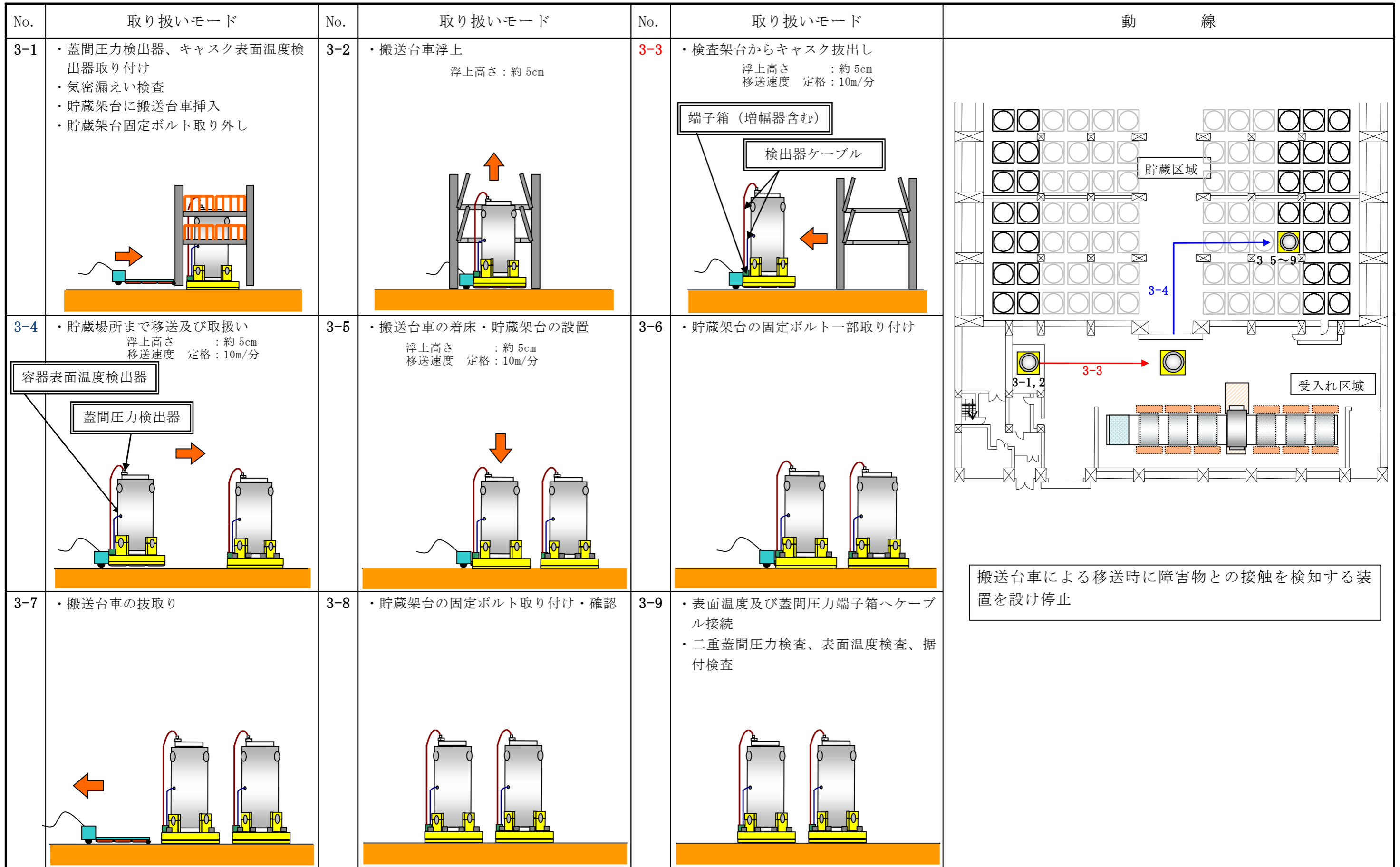
- ・可動範囲制限 (別図-3)
(可動範囲から仮置架台の設置位置を除き、たて起こし架台へは進入許可ボタンを押さない限り進入できない。)

垂直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：2m 以下 (別図-4)
- ・可動範囲制限 (別図-4)
(たて起こし時は、金属キャスクを衝撃吸収材上方に維持するために、たて起こし架台の中心位置付近に移動を制限する。)

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 (3 / 3)

3. 検査架台～貯蔵場所への設置

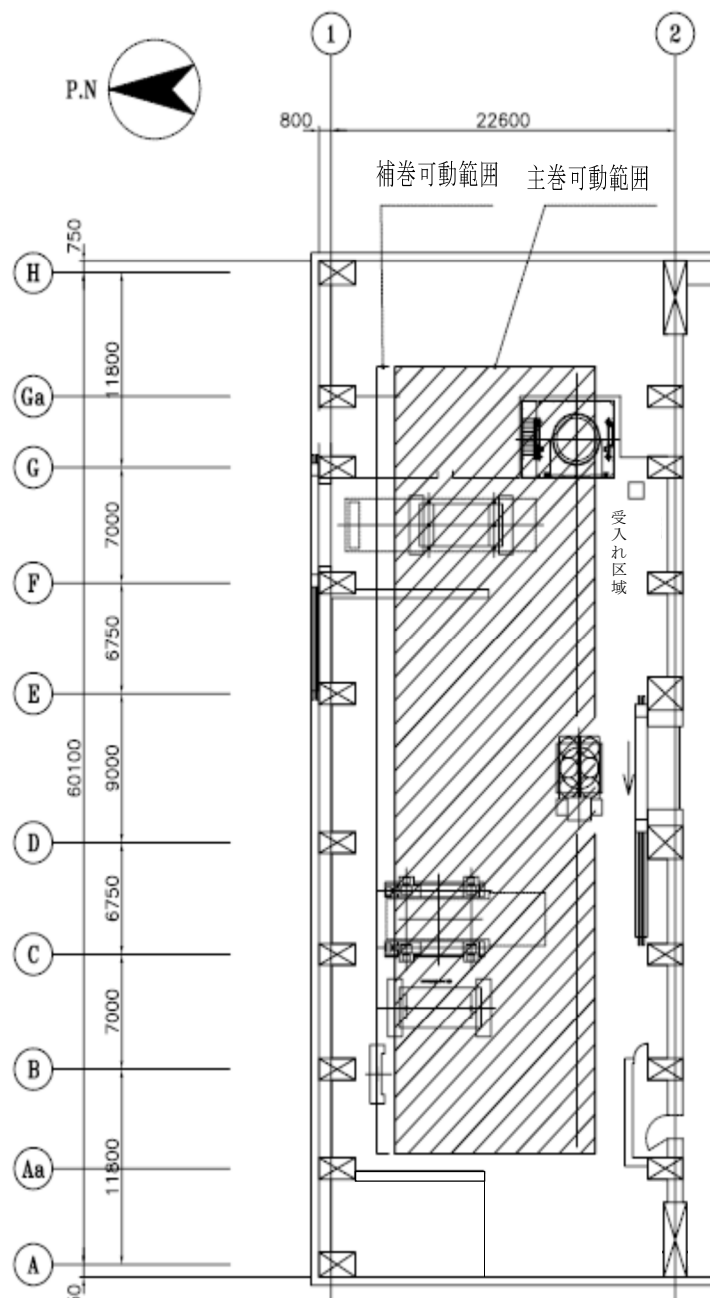


天井クレーンのインターロックについて

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。・・・別図－1 の“主巻可動範囲”と記した斜線部の範囲

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

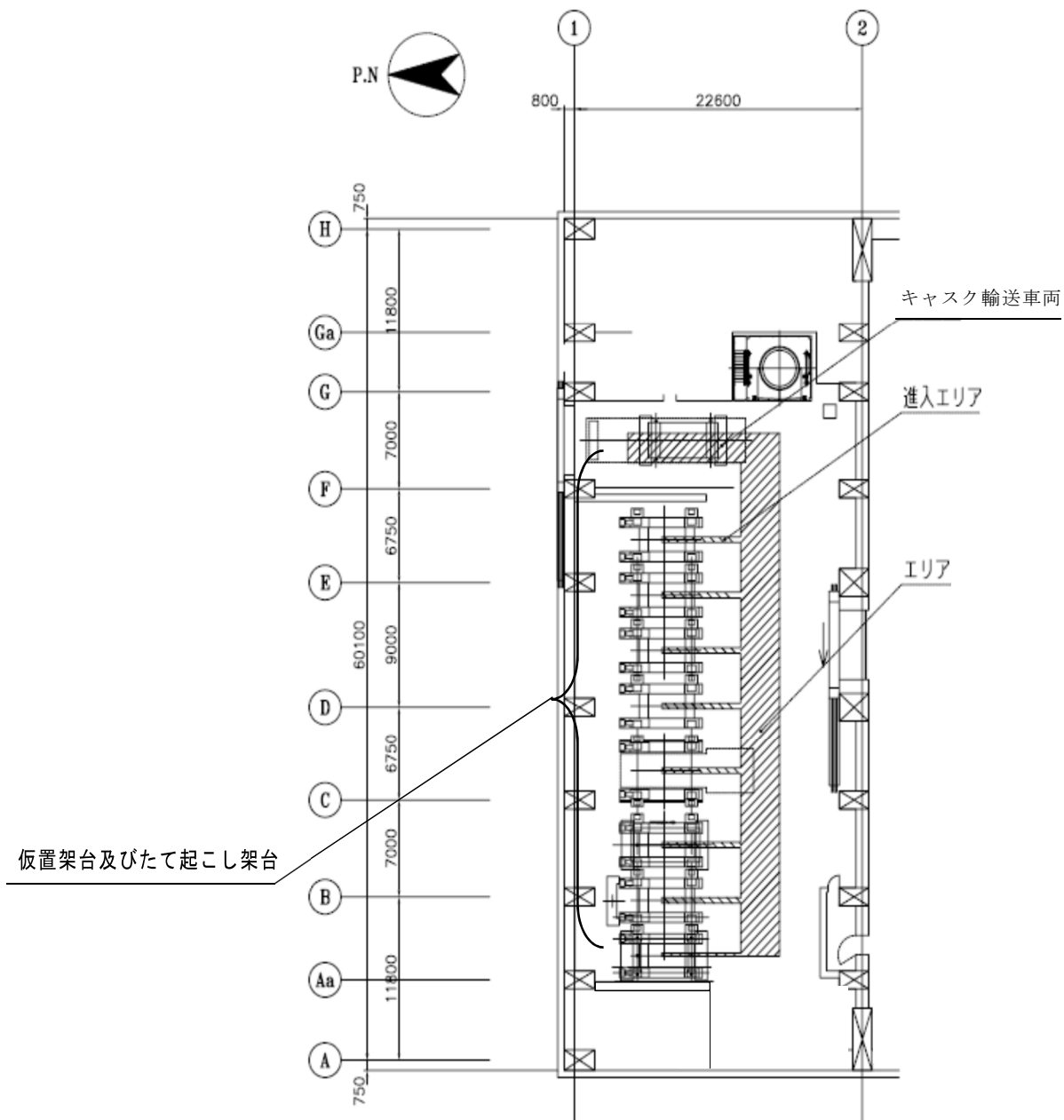


別図－1 主巻荷重 90t 以上での巻上げ高さ 4 m 以下制限の範囲

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

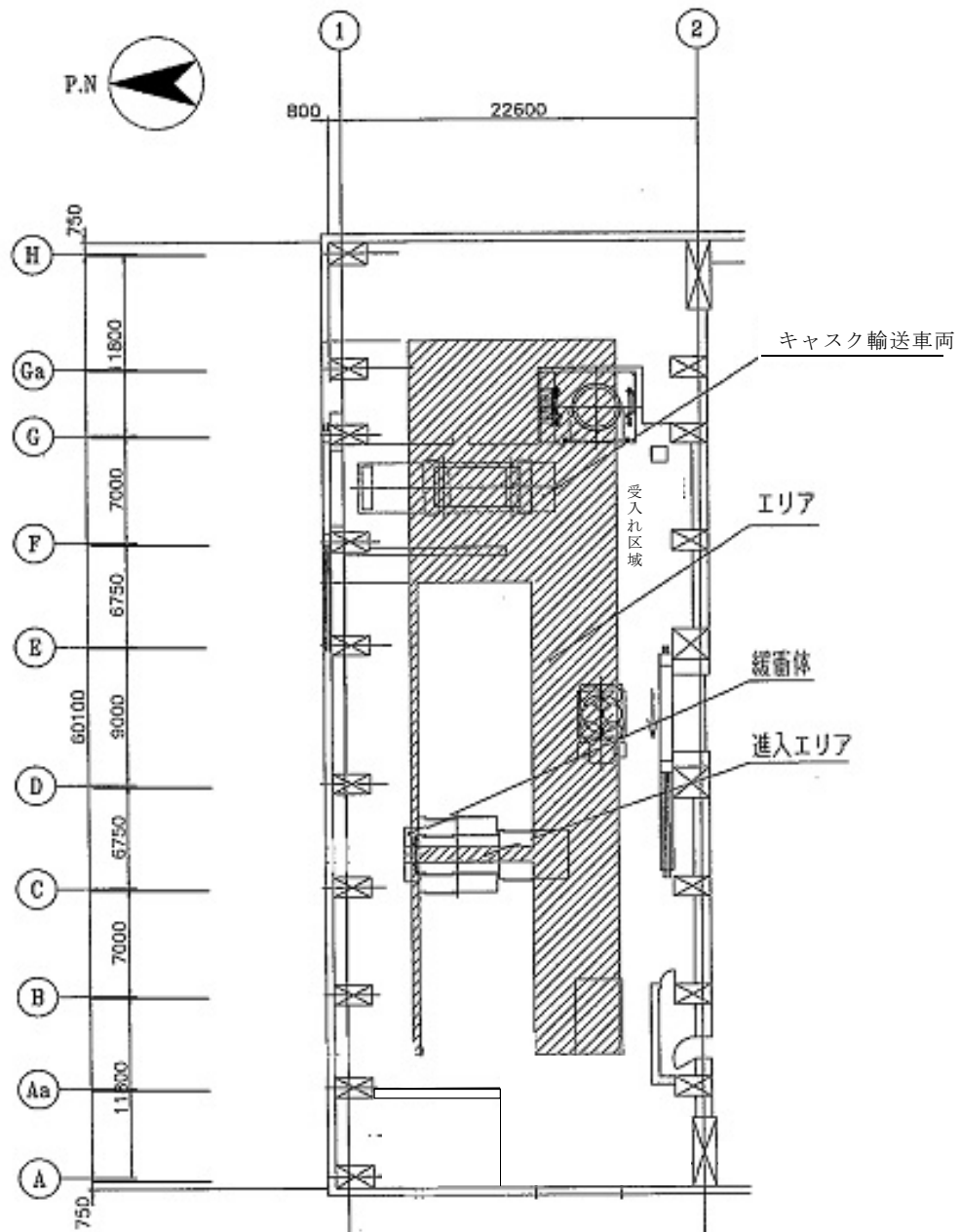


別図－２ 主巻荷重 90t 以上での走行・横行の制限の範囲

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”（主巻位置で標示）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”手前のたて起こし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



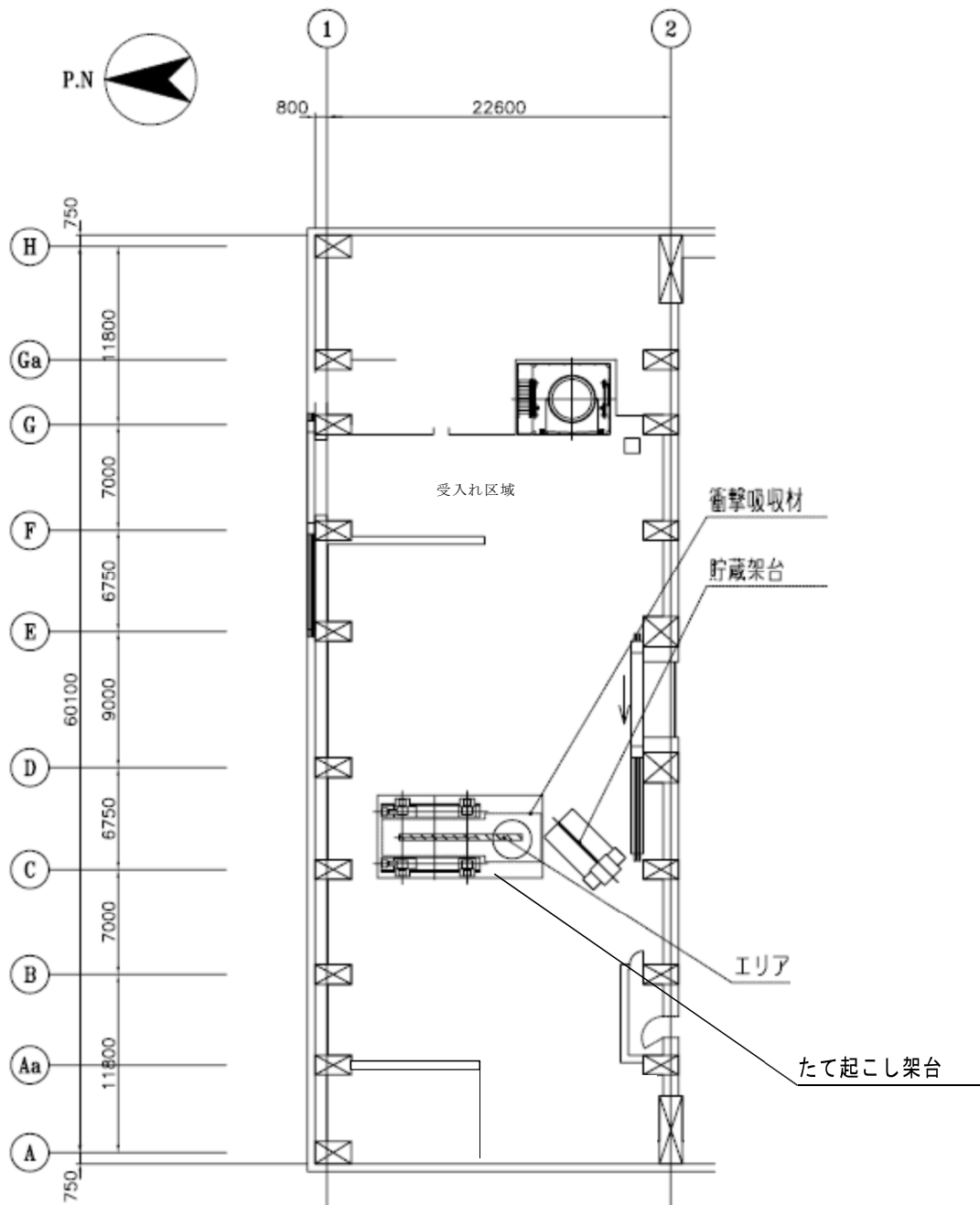
別図－3 補巻荷重 4.5t 以上での走行・横行の制限の範囲

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

搬送台車で金属キャスクを移送中の地震対応について

搬送台車で金属キャスクを移送中に地震が発生した場合、浮上状態では金属キャスク上部の水平加速度が検討用地震動の 1 / 2 程度に低減され、金属キャスクと貯蔵架台系の応答角度は 1.2° であり、着床状態の応答角度 4.3° より小さいことが確認されており免震効果がある。

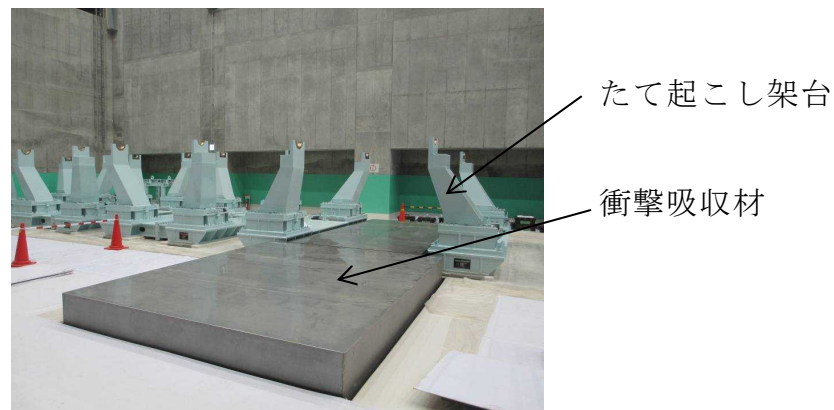
搬送台車で金属キャスクを移送中に地震が発生した場合は、監督者の指示により、操作員又は補助員が緊急停止ボタンを操作し搬送台車を浮上・駆動させるための圧縮空気の供給を停止し搬送台車を停止させる。

地震終了後、金属キャスク、搬送台車等の点検を行う。

衝撃吸収材の性能及び敷設範囲について

1. 敷設範囲

たて起こし架台での金属キャスクのたて起こし作業，貯蔵架台上までの移送作業を行っている際に，転倒又は落下しても金属キャスクの閉じ込め機能に著しい損傷を与えないように，たて起こし架台及びその周辺に衝撃吸収材を敷設する。別添 3－1 図に，たて起こし架台及び衝撃吸収材の敷設範囲を示す。



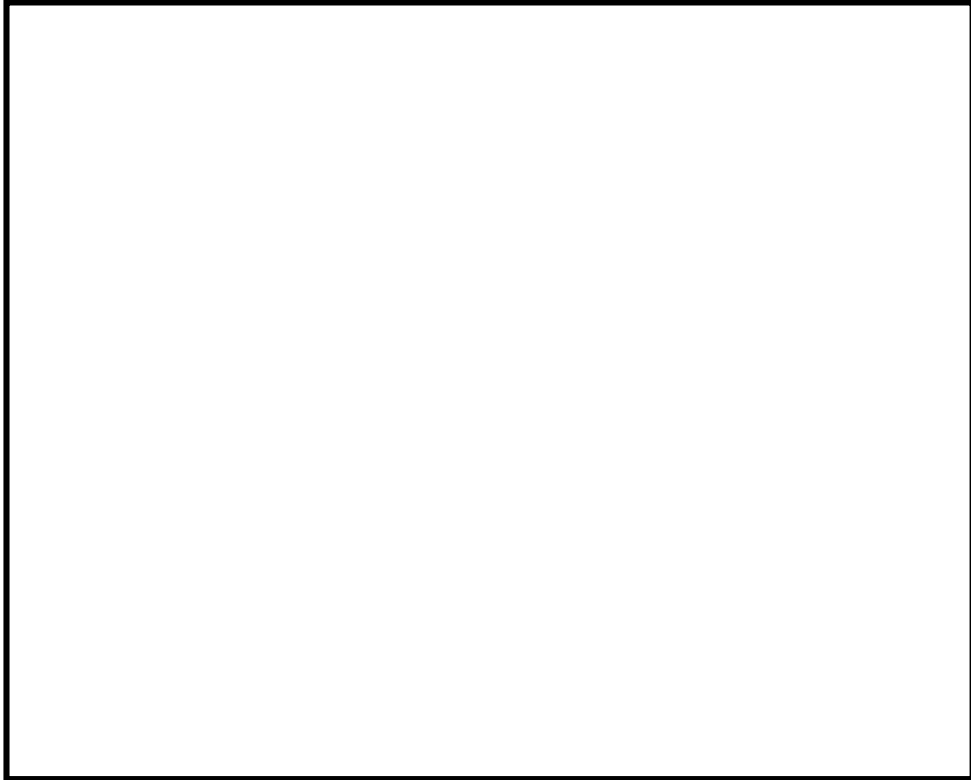
別添 3－1 図 たて起こし架台及び衝撃吸収材の敷設範囲

2. 衝撃吸収材の性能

衝撃吸収材は，衝撃吸収材の変形によって，金属キャスクの転倒あるいは落下のエネルギーを吸収することにより金属キャスクへの衝撃力を緩和させる。衝撃吸収材の圧潰応力を 3 MPa とした場合には，衝撃吸収材の厚さとして約 1 m と想定される。

衝撃吸収材に使用するバルサ材は，圧潰応力を 3 MPa とし，衝撃吸収材の厚さとして 1 m としている。

バルサ材の密度を適切に選定することで別添 3－2 図に示すような同等の吸収エネルギーを持つ応力-ひずみ特性を設定し，設計解析に用いることができる。



別添 3 - 2 図 木材の圧潰特性

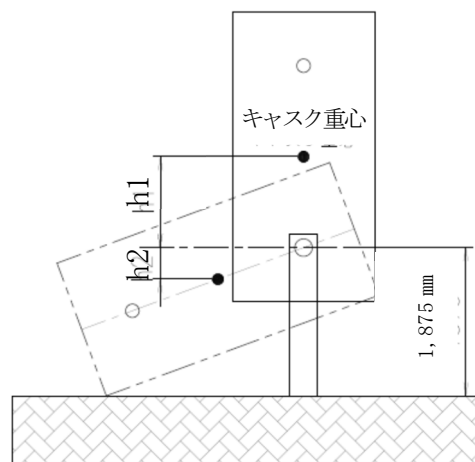
3. 衝撃吸収材の圧潰圧力 3 MPa の評価

ここでは、衝撃吸収材の圧潰応力が 3 MPa の場合に転倒で発生する衝撃加速度が金属キャスクの転倒評価事象における荷重条件である 40G 以下であることと貫入深さが衝撃吸収材の高さである 1 m 以内であることを確認する。

金属キャスクの転倒事象では、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転換されたものと考え回転速度を求める。ここで、金属キャスクの回転エネルギーと運動エネルギーを、重心の 1 質点系として表記すると、下式で表すことができる。また、金属キャスクの転倒状態を別添 3 - 3 図に示す。

位置エネルギー	: $E_p = m \cdot g \cdot (h_1 + h_2)$
回転エネルギー	: $E_t = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$
1 質点系運動エネルギー	: $E_m = \frac{1}{2} \cdot m_{eff} \cdot V_c^2$

- h_1 : 初期におけるキャスク重心の水平面からの高さ
- h_2 : 衝突時におけるキャスク重心の水平面からの高さ
- m : 金属キャスクの質量
- g : 重力加速度
- I : 慣性モーメント
- ω : 角速度
- m_{eff} : 金属キャスクの等価重量
- V_c : 速度



別添 3 - 3 図 金属キャスク転倒状態

下部トラニオンと金属キャスク頂端までの距離を r とすると、金属キャスクが衝撃吸収材に衝突する時の終端速度である衝突速度 V_c は、

$$V_c = \omega \cdot r = r \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g \cdot (h_1 + h_2)}{I}}$$

となる。また、この時の金属キャスクの等価質量 m_{eff} は、回転エネルギーと運動エネルギーの釣り合いから求めると、

$$m_{eff} = \frac{I \cdot \omega^2}{V_c^2} = \frac{I}{r^2}$$

となる。以上より、衝撃吸収材への衝突エネルギー E は、

$$E = \frac{1}{2} m_{eff} \cdot V_c^2 = m \cdot g \cdot (h_1 + h_2)$$

で表される。

衝撃吸収材との衝撃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、静的な条件から以下の式により算出する。

$$\alpha = \frac{\sigma \cdot A}{m_{eff} \cdot g}$$

- σ : 衝撃吸収材圧潰応力
- A : 貫入面積
- m_{eff} : 金属キャスクの等価質量
- g : 重力加速度

上式より衝撃加速度を求めるのに必要な衝撃吸収材転倒時の貫入面積 A は、エネルギーバランスから求まる貫入体積 V の評価式と、幾何学的関係式から決定される貫入体積 V' の関係式が同様となることから求められる。

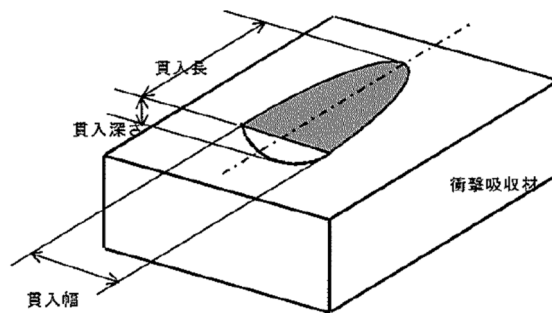
まず、エネルギーバランスから求まる貫入体積 V は以下となる。

$$V = \frac{E}{\sigma} = \frac{0.5 \cdot m_{eff} \cdot V_c^2}{\sigma}$$

- V_c : 衝撃吸収材への衝突速度

次に、貫入時の幾何学的関係式から求められる貫入体積 V' は、別添 3-4 図のとおり貫入部の面積について放物線を考慮した三角錐で近似することにより以下となる。

$$V' = \frac{1}{3} \left(\frac{2}{3} \cdot a \cdot b \right) \cdot D$$



別添 3-4 図 放物線近似した貫入面積及び貫入体積

これにより $V=V'$ としたときの貫入面積 A 、衝撃加速度 α 、貫入深さ D を求める。

評価に使用した BWR 用大型キャスク (タイプ 2) のデータを別添 3-1

表に、評価結果を別添 3 - 2 表に示す。

別添 3 - 1 表 転倒評価における BWR 用大型キャスク (タイプ 2) データ

項目	データ
金属キャスク質量 : m	121.0 (ton)
初期におけるキャスク重心の水平面からの高さ : h_1	2239 (mm)
衝突時におけるキャスク重心の水平面からの高さ : h_2	295 (mm)
慣性モーメント : I	9.52×10^5 (kg · m ²)

別添 3 - 2 表 転倒評価結果

項目	評価結果
貫入面積 : A	4.07 (m ²)
衝撃加速度 : α	33.4 (G)
貫入深さ : D	739 (mm)

衝撃吸収材の圧潰応力が 3MPa の場合に、転倒で発生する衝撃加速度が金属キャスクの転倒評価事象における荷重条件である 40G 以下であることと、貫入深さが衝撃吸収材の高さである 1m 以内であることが確認できた。

第 17 条 計測制御系統施設

<目 次>

1. 設計方針
2. 施設設計
3. 試験検査
4. 代替計測

(別 添)

- 別添 1 経年変化に対する設備を設けていないことについて
- 別添 2 監視装置の構成と監視について
- 別添 3 警報設定値の考え方について
- 別添 4 閉じ込め機能の監視について
- 別添 5 除熱機能の確認について
- 別添 6 計測制御系統施設の試験検査について
- 別添 7 代替計測について

1. 設計方針

使用済燃料貯蔵施設は、基本的安全機能のうち、閉じ込め機能及び除熱機能が確保されていることを以下のとおり適切に監視する設計とする。

- (1) 金属キャスクの蓋部が有する閉じ込め機能を監視するために金属キャスク蓋間圧力を測定し表示する。
- (2) 使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視するために使用済燃料貯蔵建屋給排気温度を測定し表示する。
- (3) 使用済燃料集合体及び金属キャスクの温度が制限される値以下に維持されていることを評価するために必要なデータとして金属キャスク表面温度を測定し表示する。

また、計測設備は、測定データを監視盤室に表示及び記録する設計とするとともに、事務建屋でも表示する設計とする。

なお、基準設定値に達した場合は、監視盤室及び監視員が監視を行う事務建屋に警報を発報する設計とする。

使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が確保されていることを監視できなくなった場合に備え、代わりに監視を行うために必要な計測器や電源設備を保有する。監視ができなくなった場合には、計測器や電源設備の設置の準備作業が整い次第、監視を再開する。

管理区域内の主要な場所にガンマ線エリアモニタと中性子線エリアモニタで構成されるエリアモニタリング設備を設ける。また、周辺監視区域境界付近にはモニタリングポストを設置する。それらの放射線レベル基準設定値に達した場合は監視盤室及び監視員が監視を行う事務建屋に警報を発報する設計とする。

使用済燃料貯蔵施設においては、金属キャスクの蓋間圧力を監視し放射性物質の放出がないことを確認することにより、事業所及びその境界付近における放射性物質濃度の監視を不要とする。

なお、安全設計上想定される事故のうち、経年変化による基本的安全機能の劣化については、金属キャスクの蓋間圧力、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することにより検知する。（別添

1, 別添 2 参照)

2. 施設設計

(1) 計測設備

a. 金属キャスク蓋間圧力監視装置 (以下, 「蓋間圧力監視装置」という。)

蓋間圧力監視装置は, 一次蓋, 二次蓋間空間の圧力を監視することにより, 金属キャスクの閉じ込め機能を監視する装置である。蓋間圧力監視装置は, 点検中及び不具合時においても蓋間圧力を測定できるよう二系統設ける。

圧力検出器は各金属キャスクに 2 個設置し, 監視盤室及び事務建屋に蓋間圧力を表示し, 蓋間圧力が基準設定値以下に低下したときは, 監視盤室及び事務建屋に警報を発報する。(別添 3 参照)

また, すべてのデータは監視盤室の記録装置に連続的に記録される。蓋間圧力監視装置の構成図を第 1 図に示す。

閉じ込め機能の監視を別添 4 に示す。

b. 金属キャスク表面温度監視装置 (以下, 「表面温度監視装置」という。)

表面温度監視装置は, 金属キャスクの表面温度を監視することにより, 使用済燃料貯蔵施設の除熱機能を監視する装置である。

表面温度検出器は各金属キャスク表面に 1 個取り付けられ, 監視盤室及び事務建屋に表面温度を表示し, 表面温度が基準設定値に達したときは, 監視盤室及び事務建屋に警報を発報する。(別添 3 参照)

また, すべてのデータは監視盤室の記録装置に連続的に記録される。表面温度監視装置の構成図を第 2 図に示す。

除熱機能が維持されていることの確認は, 使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域の給排気温度で確認する。更に金属キャスクの表面温度を確認して, 異常な温度上昇がないことを確認する。(別添 5 参照)

c. 使用済燃料貯蔵建屋給排気温度監視装置 (以下, 「給排気温度監視装置」という。)

給排気温度監視装置は, 使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域の給排気温度を監視することにより, 使用済燃料貯蔵建屋の除熱機能を監視する装置である。

給排気温度検出器は給気側に2個、排気側に24個取り付けられ、監視盤室及び事務建屋に給排気温度差及び排気温度を表示し、給排気温度差及び排気温度が基準設定値に達したときは、監視盤室及び事務建屋に警報を発報する。(別添3参照)

また、全てのデータは監視盤室の記録装置に連続的に記録される。給排気温度監視装置の構成図を第3図に示す。

(2) 警報設備

a. エリアモニタリング設備

エリアモニタリング設備は、貯蔵区域及び受入れ区域内の外部放射線に係る線量当量率を監視する装置である。

貯蔵区域には、ガンマ線エリアモニタ及び中性子線エリアモニタをそれぞれ12個及び6個設置し、受入れ区域には、ガンマ線エリアモニタ及び中性子線エリアモニタをそれぞれ1個ずつ設置し、廃棄物貯蔵室には、ガンマ線エリアモニタを1個設置する。それぞれの計測値は、監視盤室及び事務建屋に表示するとともに、外部放射線に係る線量当量率が基準設定値に達したときは、貯蔵区域、監視盤室及び事務建屋に警報を発報する。(別添3参照)

また、全てのデータは監視盤室の記録装置に記録される。エリアモニタリング設備の構成図を第4図に示す。

b. 周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備

周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備は、リサイクル燃料備蓄センター周辺監視区域の空間線量率及び線量当量率を監視する装置である。

モニタリングポストAには、ガンマ線を測定対象とするNaI(Tl)シンチレーション検出器、電離箱及び中性子線を測定の対象とする³He比例計数管をそれぞれ1個設置し、モニタリングポストBには、NaI(Tl)シンチレーション検出器、電離箱をそれぞれ1個設置することにより、空間線量率又は線量当量率を連続的に監視し、監視盤室及び事務建屋に表示するとともに、空間線量率又は線量当量率が基準設定値に達したときは、監視盤室及び事務建屋に警報を発報する。(別添3参照)

また、モニタリングポストのデータは監視盤室の記録装置に記録される。

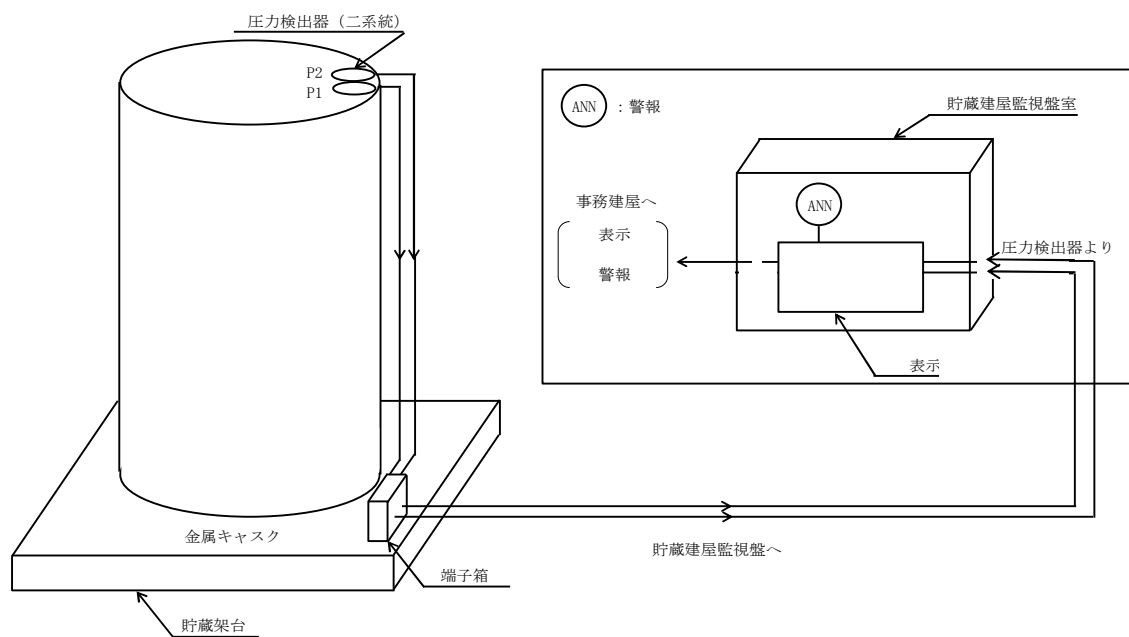
周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備の構成図を第5図に示す。

3. 試験検査

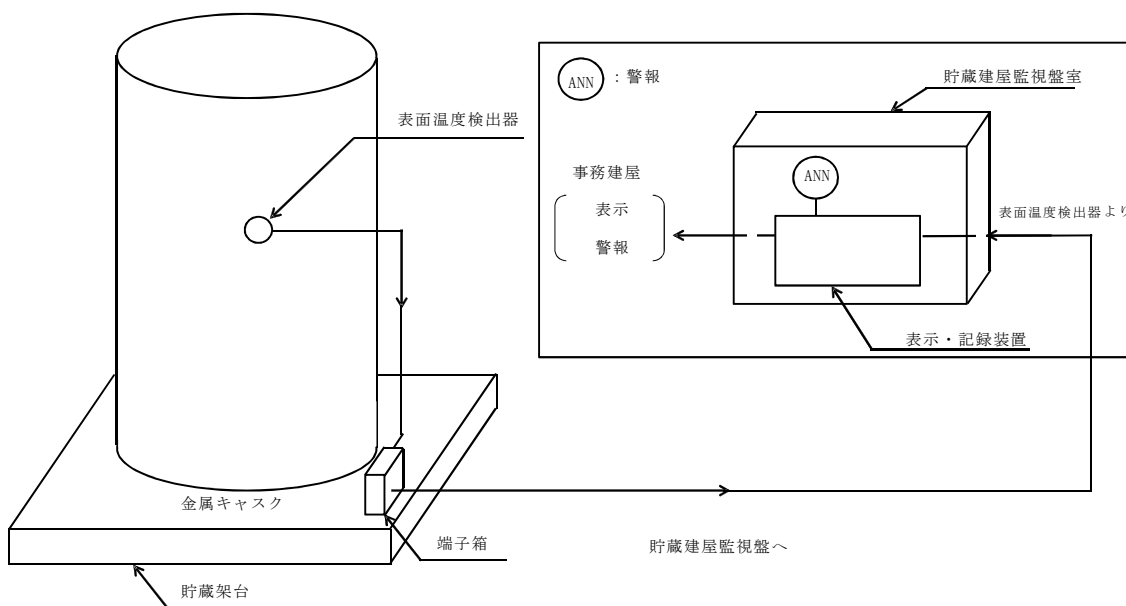
計測制御系統施設の試験検査については、別添6に示す。

4. 代替計測

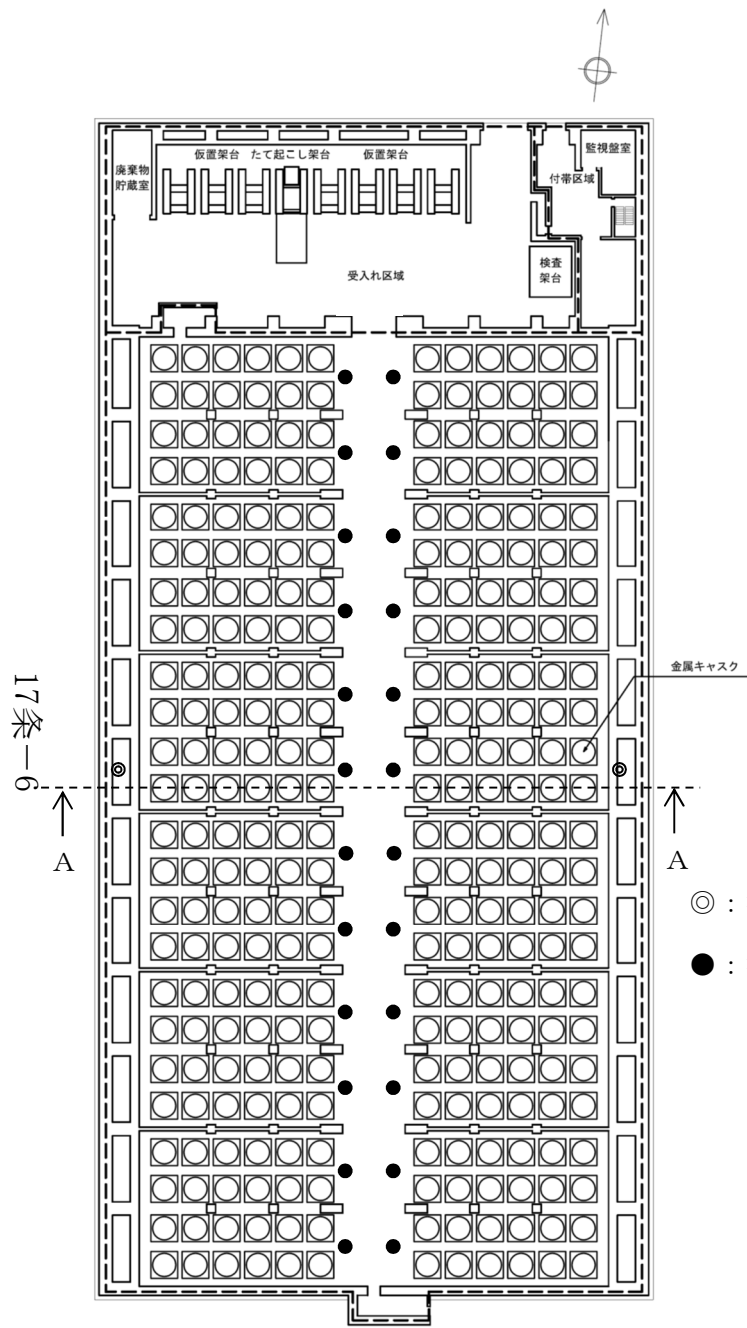
津波による計測設備，監視設備，電源設備の水没や，地震等による長期の電源喪失等，既設の計測設備，監視設備の継続使用ができなくなった場合は代替計測を行うとともに，監視員による巡視点検等を行い，基本的安全機能に異常がないことを確認する。さらに，代替計測開始後，監視が中断される前のデータと復旧後のデータとを比較し，異常がないことを確認する。(別添7参照)



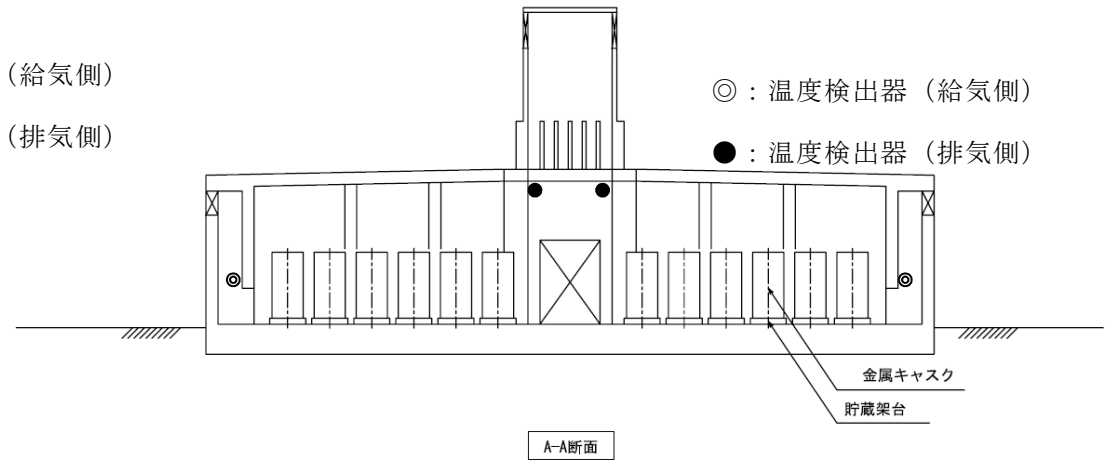
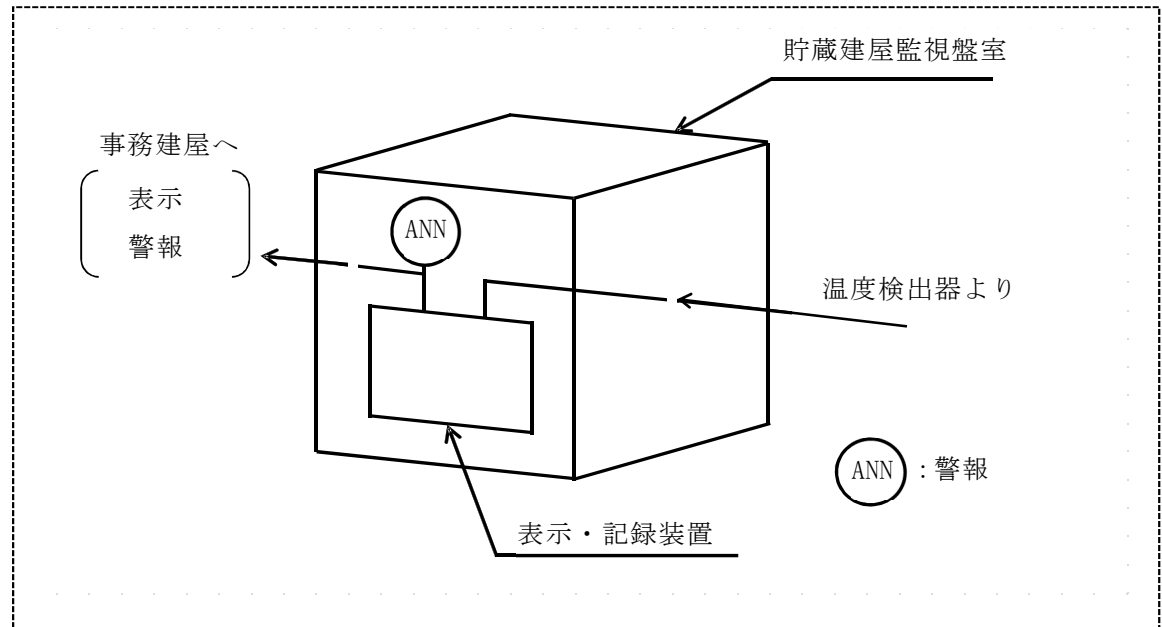
第1図 蓋間圧力監視装置の構成図



第2図 表面温度監視装置の構成図

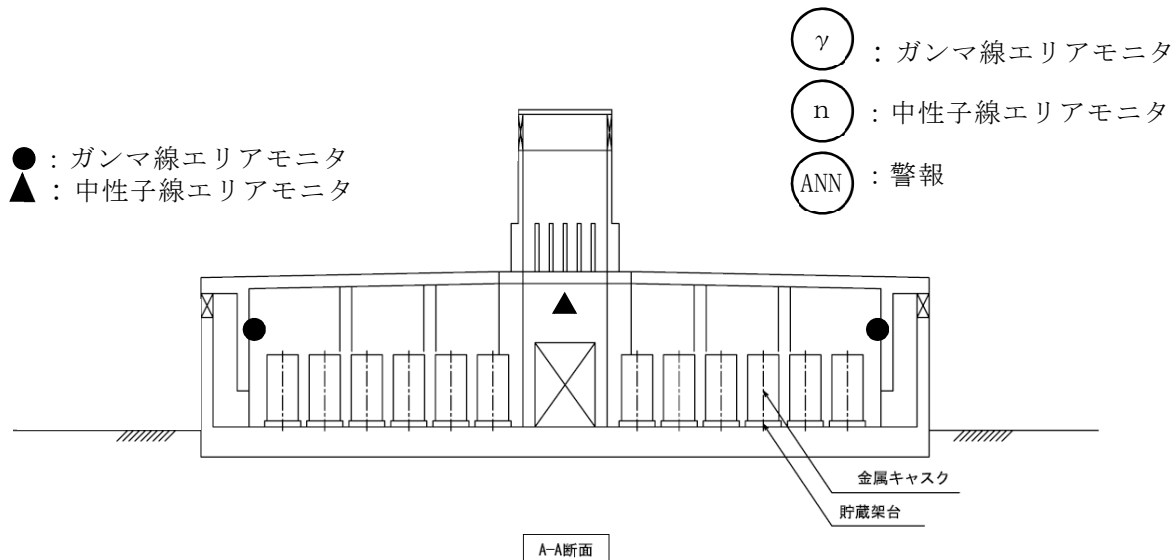
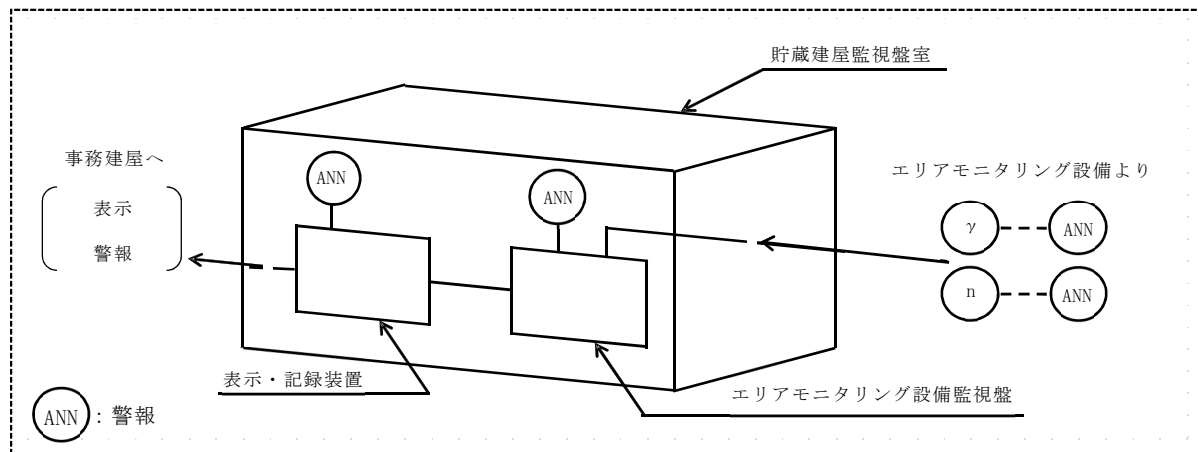
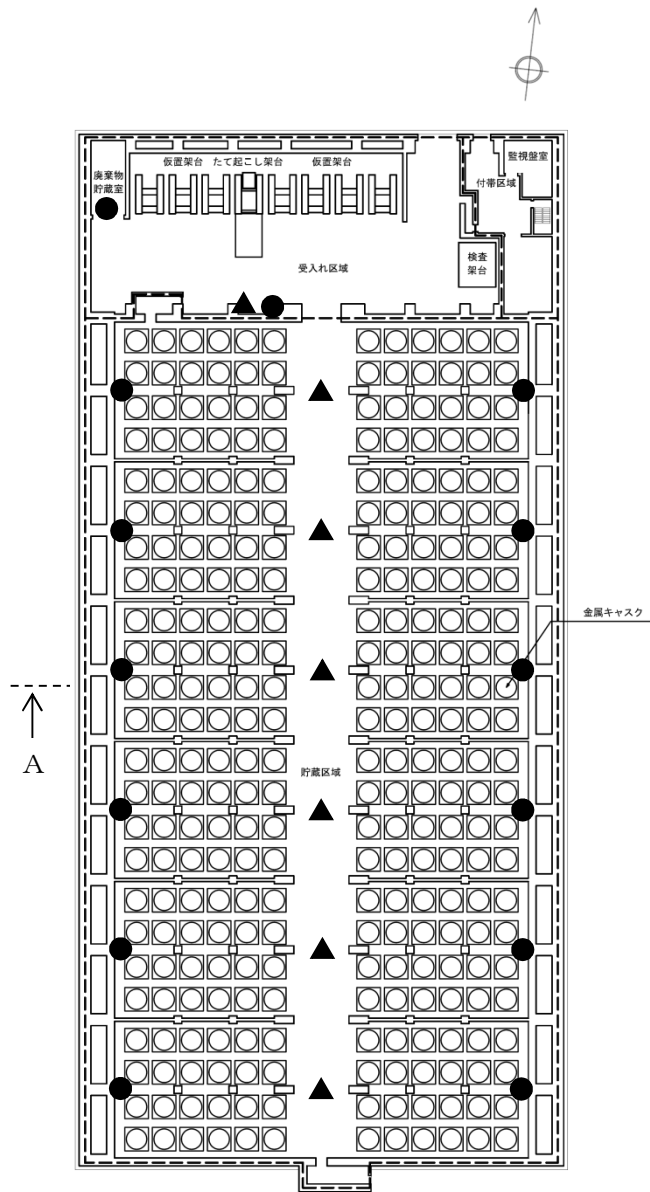


◎ : 温度検出器 (給気側)
 ● : 温度検出器 (排気側)

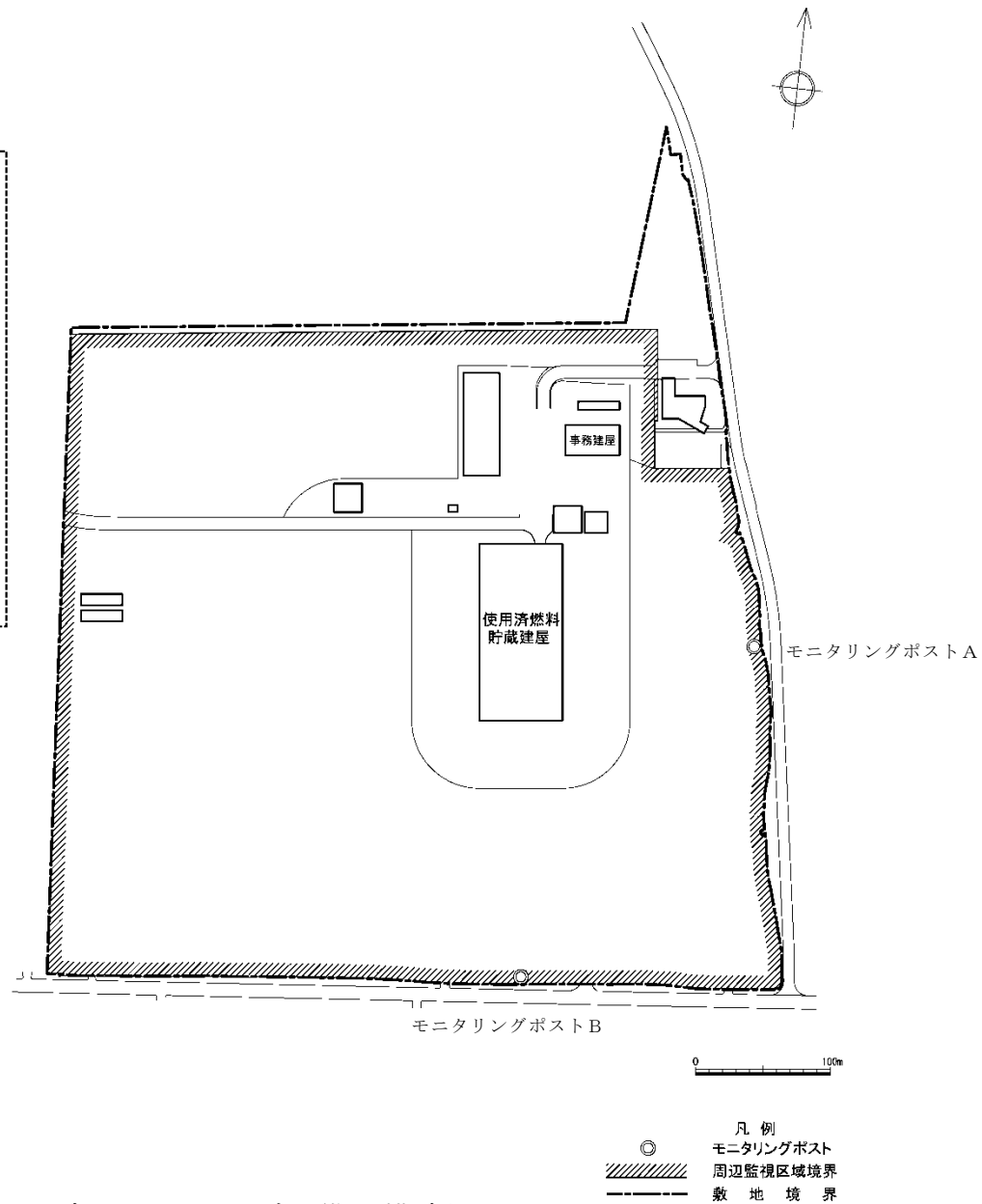
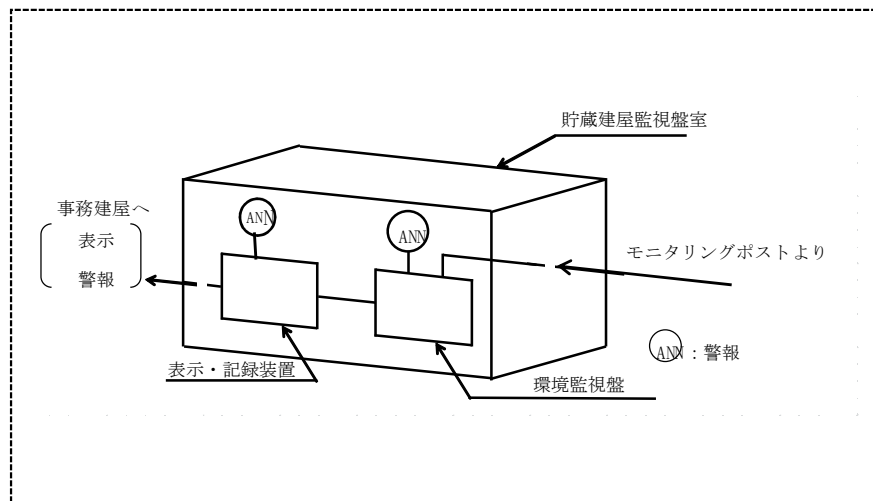


第3図 給排気温度監視装置の構成図

17条-7



第4図 エリアモニタリング設備の構成図



第5図 周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備の構成図

経年変化に対する設備を設けていないことについて

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等の経年変化に対して十分な信頼性のある部材を選定し、その必要とされる強度、性能を維持し、必要な安全機能を損なうことのない設計としていることから、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ため、経年変化に対する設備は設けていない。

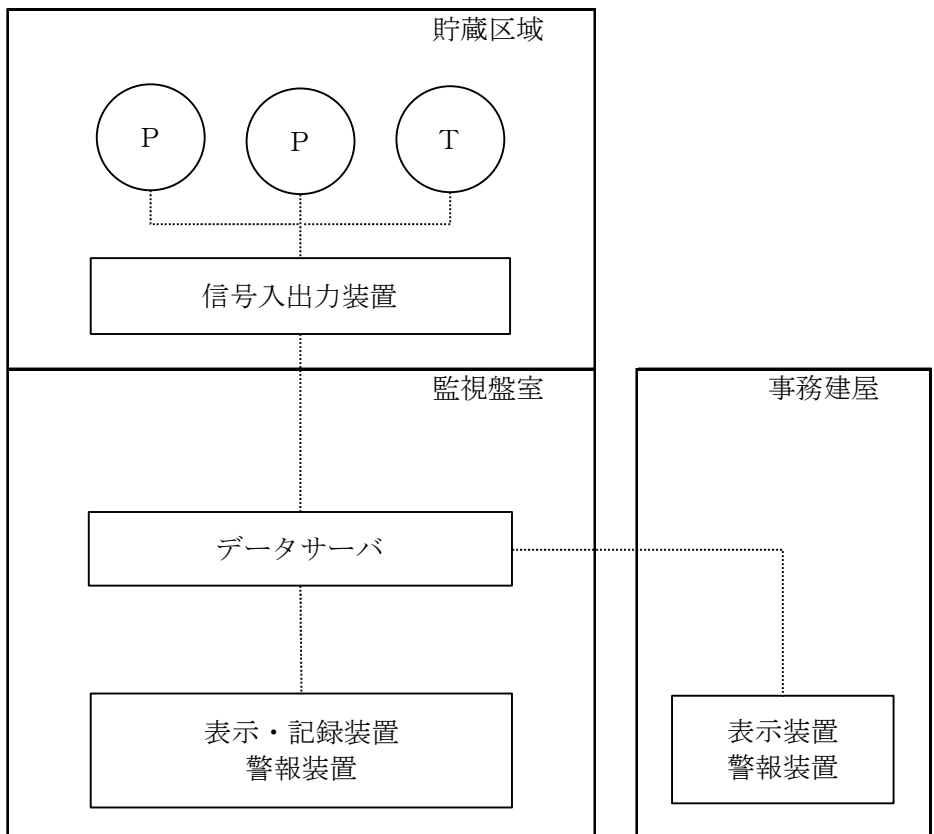
万一、異常が発生した場合でも、金属キャスク蓋間圧力、貯蔵区域の放射線レベルを常に監視していることから、基本的安全機能の劣化を検知でき、適切に処置を施すことができる。

監視装置の構成と監視について

監視装置は、表示・記録装置、警報装置、データサーバ等により構成され、監視盤室に設置する。（別添 2 - 1 図参照）

監視員は事務建屋に24時間常駐し、また、使用済燃料貯蔵設備本体・監視盤室等のパトロールを行うとともに、事務建屋に設置する表示装置で監視を行う。異常が発生した場合は事務建屋の警報装置で異常を検知する。また、事務建屋で監視不能な事態となった場合は、監視盤室で監視を行う。

事務建屋には表示装置及び警報装置を設置するものの、データサーバ及び表示装置等主要な機器は監視盤室に設置しており、事務建屋で監視不能な事態となった場合の監視は監視盤室で行うことから、事務建屋は規制対象にならない。



凡例

- P : 金属キャスク蓋間圧力
検出器
- T : 金属キャスク表面温度
検出器

別添 2 - 1 図 監視装置の概略系統図

警報設定値の考え方について

1. 蓋間圧力の警報設定

別添 4 1. (2) 蓋間圧力の警報設定を参照。

2. 表面温度の警報設定

金属キャスク表面温度の警報設定は、BWR用大型キャスク（タイプ2）の場合で、貯蔵時外筒外面最高使用温度（設工認解析値）である 120℃以下に設定する。（添付 1，添付 2 参照）

3. 給排気温度の警報設定

(1) 排気温度の警報設定

排気温度の警報設定は、計測設備、放射線監視設備等の電気品の性能が維持できる温度である 45℃以下に設定する。

(2) 給排気温度差の警報設定

給排気温度差は、除熱機能が維持されていることを監視する目的で測定するが、給排気温度差の警報設定は、除熱解析結果における給排気温度差 10℃（給気温度=29.5℃，排気温度=40.0℃）以下の値に設定する。

4. エリアモニタリング設備の警報設定

(1) ガンマ線エリアモニタの警報設定

ガンマ線エリアモニタの警報設定は、平常時の平均的なバックグラウンドノイズの揺らぎを考慮し、バックグラウンドノイズにある程度の余裕を加えた設定を行うこととし、平均的バックグラウンドの 10 倍以内の倍数で設定する。

(2) 中性子線エリアモニタの警報設定

中性子線エリアモニタの警報設定は、「4.(1)ガンマ線エリアモニタの警報設定」と同様、平均的バックグラウンドレベルの10倍以内の倍数で設定する。

5. 周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備の警報設定

(1) 空間線量率(ガンマ線)の警報設定

空間線量率(ガンマ線)の警報設定は、周辺監視区域外の実効線量限度または、平常時のバックグラウンドレベル(気象要因等による変動を含む。)の変動範囲を勘案し有意に放射線レベルが変化したことがわかるように設定する。

(2) 線量当量率(中性子線)の警報設定

線量当量率(中性子線)の警報設定は、「5.(1)空間線量率(ガンマ線)の警報設定」と同様に、周辺監視区域外の実効線量限度または、平常時のバックグラウンドレベル(気象要因等による変動を含む。)の変動範囲を勘案し有意に放射線レベルが変化したことがわかるように設定する。

警報設定値根拠について

警報設定値根拠については、以下のとおり。

添付 1 - 1 表 警報設定値根拠

項 目 (警報設定値)	根 拠
金属キャスク表面 温度 (120℃※)	<p>解析値を逸脱しないこと監視する目的で、キャスクタイプ毎に貯蔵時外筒外面最高使用温度（設工認解析値）を設定。</p> <p>なお、金属キャスク表面温度は、外気温の変動等を考慮しトレンド監視する。</p> <p>※BWR用大型キャスク（タイプ2，2A）の場合</p>
使用済燃料貯蔵 建屋排気温度 (45℃)	計測設備，放射線監視設備等の電気品の性能が維持できる温度を設定。
使用済燃料貯蔵 建屋給排気温度差 (10℃)	除熱機能が維持されていることの使用済燃料貯蔵建屋給排気温度差の上限としての，除熱解析結果における給気温度29.5℃，排気温度40.0℃の差を設定。

隣接キャスクの輻射の影響と異常検知について

高発熱量のキャスクに低発熱量のキャスクが隣接し、かつそれぞれの表面温度警報設定値が異なる場合においては、輻射の影響も考慮した警報値を設定する。

また、通常の貯蔵中に燃料が破損することは想定しにくく、臨界となって温度上昇することはない。

万一、高発熱量のキャスクに低発熱量のキャスクが隣接した場合でも、可搬型の温度測定器を用いて、輻射の影響の及ばない面の外表面温度を測定することにより、異常の検知は可能である。

また、輻射の影響がある場合においても、ある程度の貯蔵期間を経ることにより、温度影響が飽和し、温度的に安定化することにより、万が一の温度上昇事象が発生しても、トレンド管理により異常の検知は十分に可能である。

閉じ込め機能の監視について

1. 閉じ込め機能の監視

金属キャスクは、蓋部を一次蓋，二次蓋の多重の閉じ込め構造とし，一次蓋と二次蓋との空間部を正圧に維持することにより，使用済燃料集合体を内封する空間を金属キャスク外部から遮断する設計としている。また，蓋間圧力を測定することにより，閉じ込め機能について監視ができる設計としている。（添付 1 参照）

(1) 蓋間圧力監視装置の圧力検出部の構造及び仕様

金属キャスクの閉じ込め機能が確保されていることを適切に監視するため，蓋間圧力監視装置により，金属キャスクの蓋間圧力を測定している。

蓋間圧力監視装置の圧力検出部は，電気式圧力検出器，バルブ，閉止プラグ等で構成されている。蓋間圧力監視装置（圧力検出部）の構成図を別添 4 - 1 図に，電気式圧力検出器及びその仕様を別添 4 - 2 図に示す。

(2) 蓋間圧力の警報設定

蓋間圧力の警報設定の考え方を以下に示す。

警報設定値は，BWR用大型キャスク（タイプ 2）の場合，初期圧力（0.41MPa abs）に蓋部温度変化，漏えいによる低下，金属キャスク周囲温度変化及び計器誤差による圧力変動を考慮した値から，蓋間圧力監視のための圧力障壁が確認できる大気圧上限（0.105MPa abs）の範囲とする。

（添付 2 参照）

a. 警報設定圧力上限値の設定

初期圧力（0.41MPa abs）に蓋部温度変化，漏えいによる低下，金属キャスク周囲温度変化及び計器誤差による圧力変動を考慮した値を警報設定圧力の上限值とする。警報設定圧力の上限值は約 0.31MPa abs となる。

b. 警報設定圧力下限値の設定

大気圧上限よりも安全側な設定として，燃料被覆管の破損という事象は想定されないが，仮想的に全数燃料破損を仮定した場合に燃料から放出さ

れるガスによる圧力上昇分を加算した金属キャスクの内部圧力を警報設定圧力の下限值とする。警報設定圧力の下限值は約 0.23MPa abs となる。

c. 警報設定値の設定

警報設定値は、上述の警報設定圧力の上限值と下限値を考慮して設定する。警報設定値は 0.27MPa abs とする。

(3) 蓋間圧力監視装置の校正方法

蓋間圧力監視装置の校正は、別添 4-1 図の閉止プラグ部に試験器（加圧器、圧力計等により構成される。）を接続し、圧力調整（減圧～加圧）を行い、表示・記録計の出力が所定の圧力になるように、電気式圧力検出器の増幅器（第 1 図に示す端子箱内に設置）の調整を行う。

なお、一次バルブ、二次バルブについては、点検等に伴うバルブの開閉操作の繰り返しによる弁座のシートパスが想定される。バルブ弁座のシートパスについては、二次バルブの場合は一次バルブを閉止して交換作業を行う。一次バルブの場合は二次蓋金属ガスケットの交換と同様に、蓋間圧力開放の可否を判断したうえで、蓋間圧力監視孔の金属ガスケットを含め一次バルブの交換を行う。（添付 3 参照）

2. 金属キャスク内部の負圧維持について

金属キャスクは、放射性物質を限定された区域に閉じ込めるため、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持する設計としている。

蓋間圧力の経時変化が基準漏えい率を超えない低下である場合は、圧力障壁を維持するために、適宜、蓋間空間にヘリウムガスを再充填する。その際、再充填回数を把握し、過剰な充填とならないように管理することで、間接的に負圧維持を確認する。（添付 4 参照）

(1) 蓋間圧力低下時の確認方法

貯蔵中の金属キャスクの蓋間圧力は、蓋間圧力監視装置により監視、記録できる設計とする。

貯蔵中に蓋間圧力の低下が確認された場合、あるいは警報が発生した場合は、蓋間圧力の経時変化を確認し、基準漏えい率との比較を行うことに

より、閉じ込め機能の健全性を確認する。確認の結果、閉じ込め機能が健全であると判断された場合は、蓋間空間にヘリウムガスの再充填を行う。

基準漏えい率で漏えいする場合の蓋間圧力の経時変化を別添 4 - 3 図に示す。

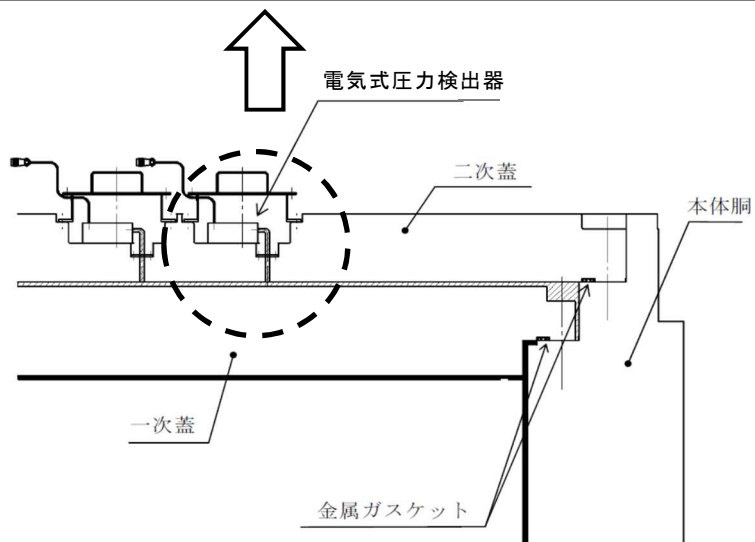
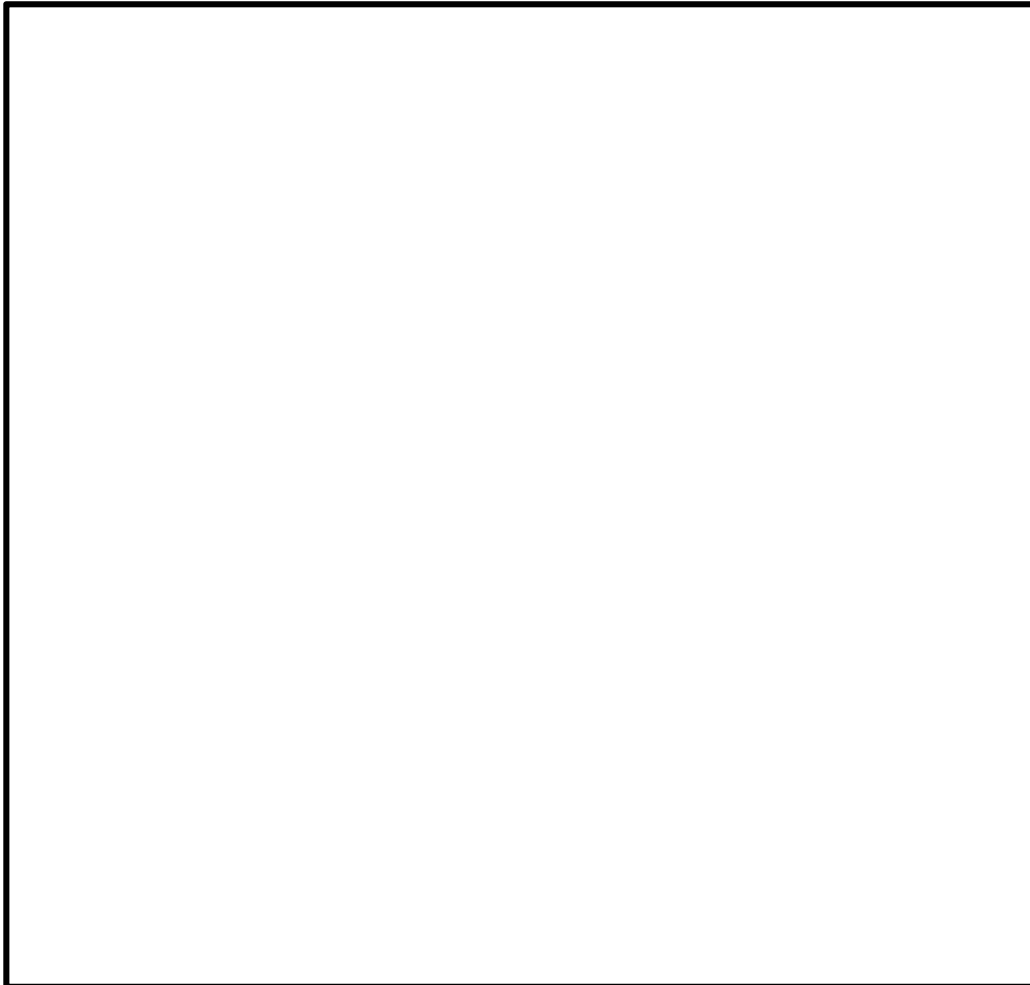
(2) 蓋間空間へのヘリウムガスの再充填の管理方法

使用済燃料貯蔵施設において蓋間空間へヘリウムガスを再充填する場合には、再充填回数を管理し、過剰な充填とならないように管理する。再充填回数を管理することで、金属キャスク内部の圧力を負圧に維持する。BWR用大型キャスク（タイプ2）の場合、蓋間圧力が、初期圧力（0.41MPa abs）から警報設定値（0.27MPa abs）まで低下した場合に、蓋間空間にヘリウムガスを再充填すると仮定すると、約 10 回まで再充填することができる。

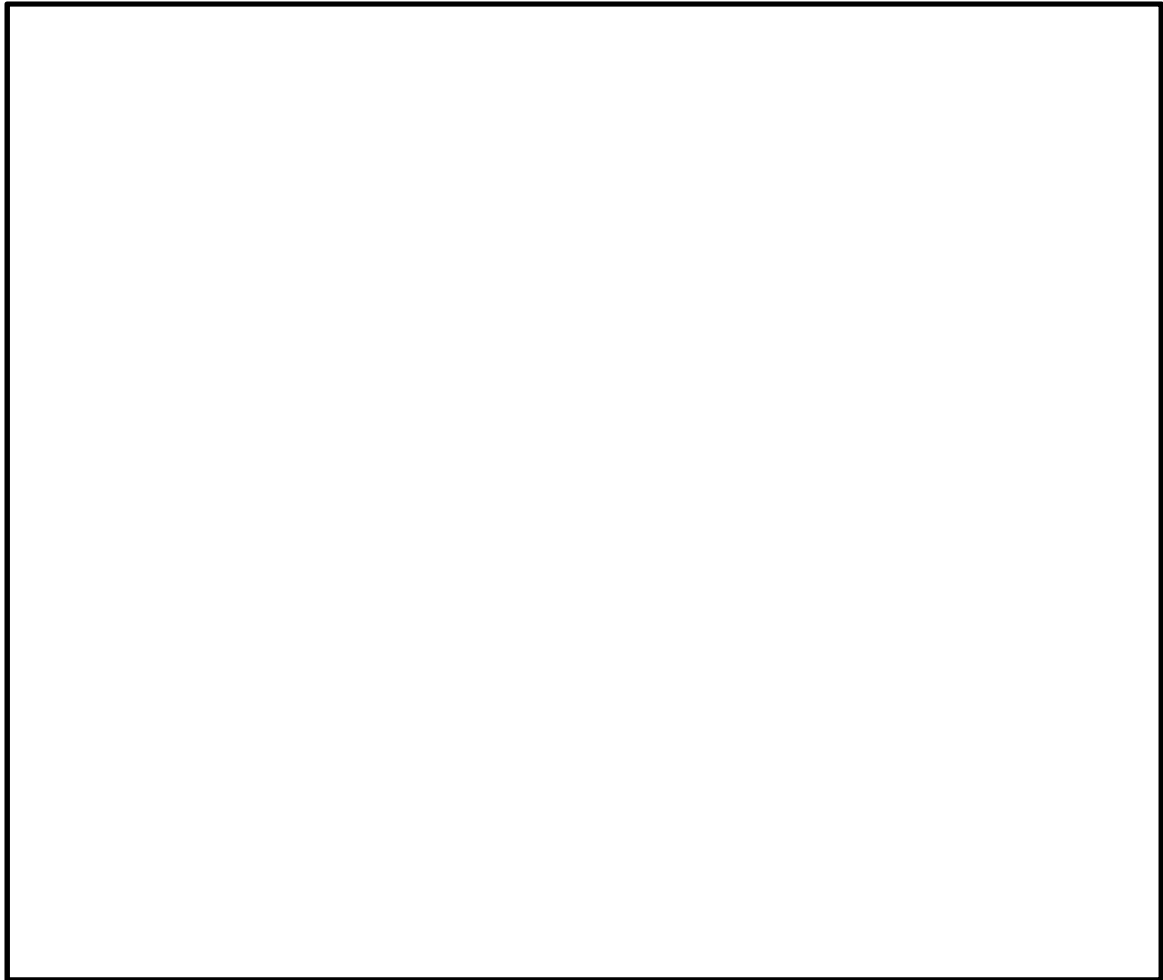
蓋間空間に約 10 回を超える再充填が必要となる可能性が予見される場合は、金属キャスク搬出の検討を行う。

(3) 蓋間空間へのヘリウムガスの再充填方法

蓋間空間へのヘリウムガスは、別添 4 - 1 図の閉止プラグ部にヘリウム充填装置（圧力計、Heポンベ、真空ポンプ等により構成）を接続し、別添 4 - 1 図の二次バルブを開けることにより、ヘリウム充填装置から所定の圧力までヘリウムを再充填する。



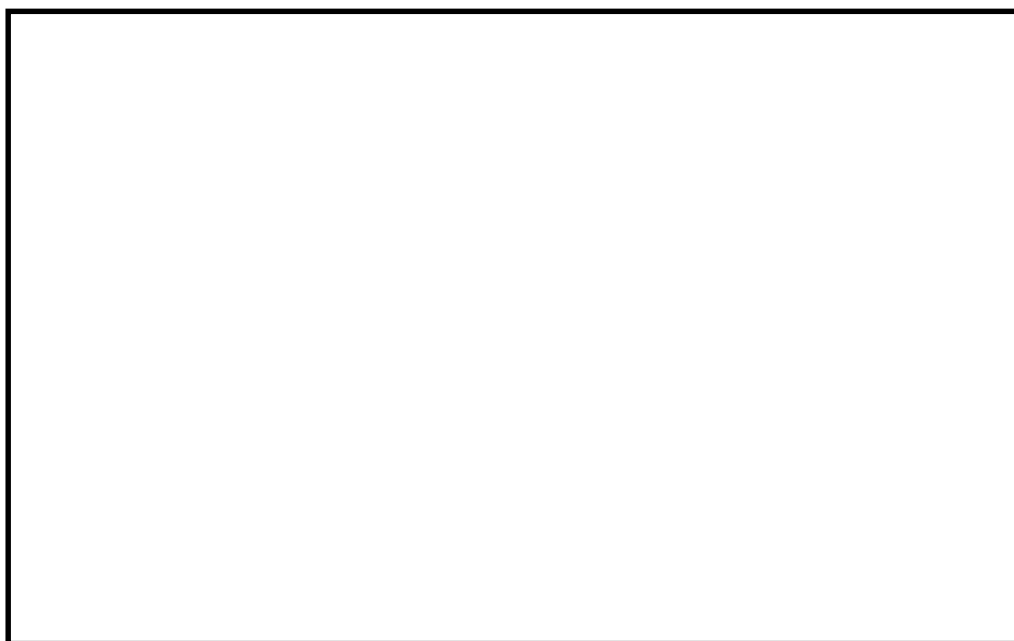
別添 4 - 1 図 蓋間圧力監視装置（圧力検出部）の構成図
（BWR用大型キャスク（タイプ2），BWR用大型キャスク（タイプ2A））



【電気式圧力検出器仕様】

・定 格 容 量 :	500kPa abs (絶対圧)
・温 度 補 償 範 囲 :	-30 ~ 200°C

別添 4 - 2 図 電気式圧力検出器及びその仕様
(BWR用大型キャスク (タイプ 2), BWR用大型キャスク (タイプ 2 A))



別添 4 - 3 図 基準漏えい率で漏えいした場合の蓋間圧力の経時変化
(BWR用大型キャスク (タイプ 2), BWR用大型キャスク (タイプ 2 A))

蓋間圧力の監視と圧力低下時の対応について

蓋間圧力については、警報の他に圧力の経時的な変化についても監視を行う。

「蓋間の圧力が急激に低下する場合」は、蓋部の閉じ込め機能の異常による漏えい率の著しい変化が有る状態（基準漏えい率を超える場合）を意味し、蓋間圧力の経時変化（圧力低下）として観測されることになる。その場合には、外部に漏れてきたヘリウムガスをスニッファープローブで吸い込み、漏れを検出する方法（ヘリウム漏れ試験（スニッファー法））等により漏えい箇所を調査し、漏えいが認められれば、二次蓋金属ガスケットの交換、蓋間圧力監視装置の継手部点検（例：増締め）もしくは部品交換を行う。

運用管理面では蓋間圧力が警報設定値に達すれば、ヘリウムの再充填を行うこととなるが、蓋間空間に約 10 回を超える再充填が必要となる可能性が予見される場合は、金属キャスク搬出の検討を行う。

蓋間圧力警報設定値の設定について

警報設定値は、BWR用大型キャスク（タイプ2，タイプ2A）の場合，初期圧力（0.41MPa abs）に蓋部温度変化，漏えいによる低下，金属キャスク周辺温度変化及び計器誤差による圧力変動を考慮した値から，蓋間圧力監視のための圧力障壁が確認できる大気圧上限（0.105MPa abs）の範囲で設定する。

以下に，BWR用大型キャスク（タイプ2，タイプ2A）の警報設定値の設定について示す。

1. 警報設定圧力上限値の設定

蓋間圧力の警報設定圧力上限値については，閉じ込め機能の異常ではない圧力監視中に生じる経時的変化等による警報発生を避けるために，蓋間の初期圧力（0.41MPa abs）に蓋部温度変化，漏えいによる圧力低下，金属キャスク周囲温度変化及び計器誤差による不確かさを考慮した値（約0.31MPa abs）を警報設定圧力の上限値とする。

2. 警報設定圧力下限値の設定

蓋間圧力の警報設定圧力下限値については，大気圧上限よりも安全側な設定として，金属キャスク内部の初期圧力（0.08MPa abs）に，漏えいによる圧力上昇及び一次蓋シール部の密封異常による蓋間部から金属キャスク内部へのガス流入による圧力上昇，さらに，燃料被覆管の破損という事象は想定されないが，全数燃料破損を仮定した場合に燃料から放出されるガスによる圧力上昇を考慮した値（約0.23MPa abs）を警報設定圧力の下限值とする。

3. 警報設定値の設定

添付2-1表に警報設定値と上下限值との関係を示す。警報設定値は，上述の警報設定圧力の上限值と下限値を考慮して設定する。警報設定値は0.27MPa absとする。

添付 2 - 1 表 警報設定値と上下限值との関係

圧力変動の要因	初期圧力と警報設定圧力との関係	
—	蓋間の初期圧力：0.41MPa	
蓋部の温度変化	↓ (約 <input type="text"/> %)	崩壊熱の減衰 (貯蔵初期から 1 年間)
周囲の温度変化	↓ (約 <input type="text"/> %)	-22.4℃ (最低気温) ~ 45℃ (除熱解析の設計値)
蓋間からの漏えい	↓ (約 <input type="text"/> %)	リークテスト判定基準値での漏えい率で一次蓋と二次蓋のシール部からのアウトリーク (1 年間)
計器誤差	↓ (約 <input type="text"/> %)	圧力監視装置の総合精度
—	警報設定圧力の上限値：約 0.31MPa	
—	警報設定値：0.27MPa	
—	警報設定圧力の下限値：約 0.23MPa	
燃料からの放出	↑ (約 <input type="text"/> %)	漏えい燃料の発生率 100% を仮定
蓋間圧力の流入	↑ (約 <input type="text"/> %)	1 回分の全量
金属キャスク内部への漏えい	↑ (約 <input type="text"/> %)	リークテスト判定基準値での漏えい率で一次蓋のシール部からのインリーク (60 年間)
—	金属キャスク内部の初期圧力：0.08MPa	

バルブの保守管理について

貫通孔及び金属ガスケットによるシール部の構成図を添付 3 - 2 図に示す。

二次蓋に装着された圧力センサは、添付 3 - 1 図に示す構造であり、受圧部には貫通部は存在しない。

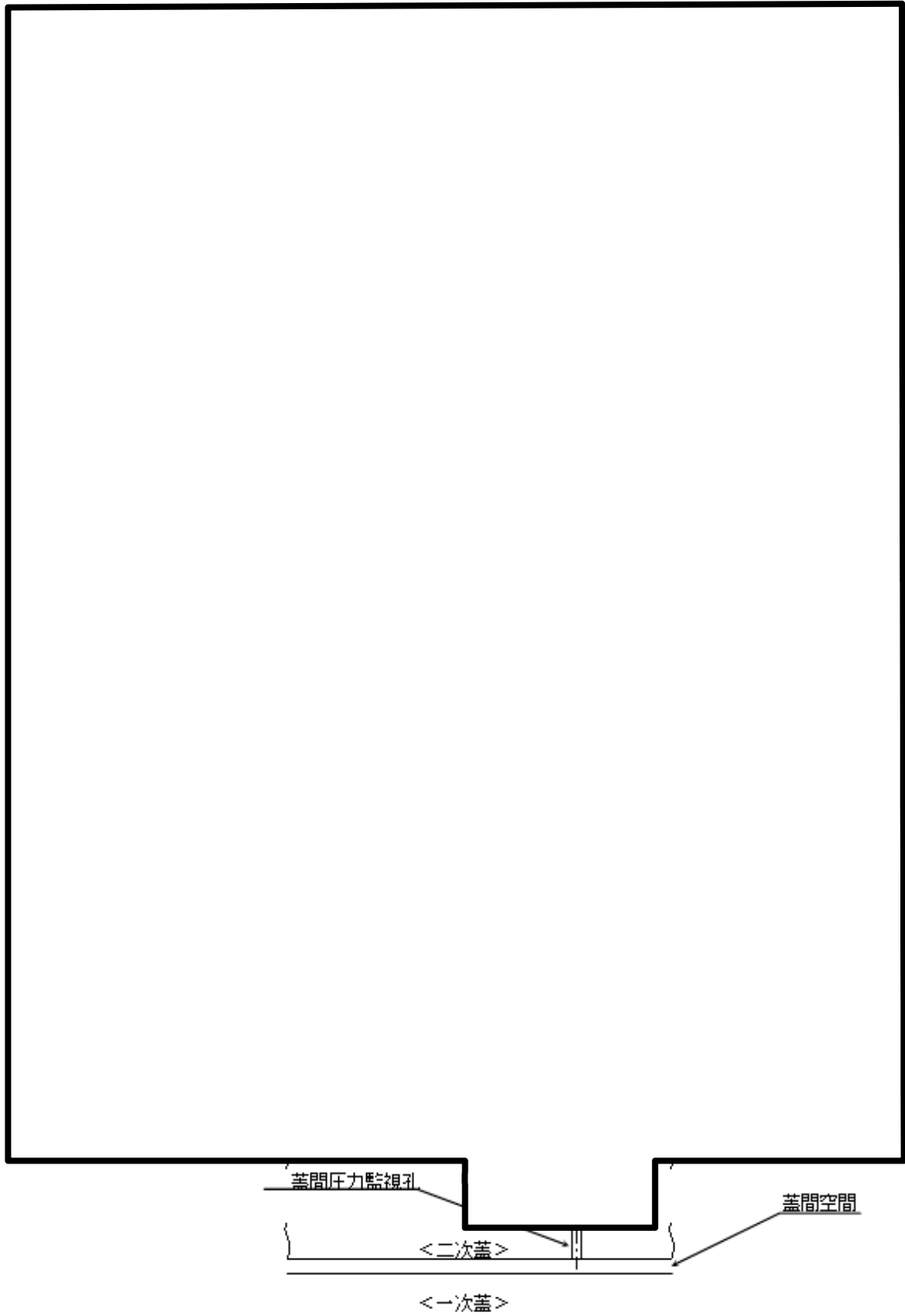
圧力センサの保守管理は校正を 1 回/年程度とし、蓋間圧力監視装置は二系統の構成になっており、圧力検出部の一次バルブを閉にすることで、一方の蓋間圧力監視装置で蓋間圧力を測定しながら、蓋間圧力を開放することなく、校正や交換等が可能である。

蓋間圧力監視装置の圧力検出部で想定される事象として、溶接部、継手部及びガスケット部からの漏えいと、点検等に伴うバルブの開閉操作の繰り返しによる弁座のシートパスがある。漏えい箇所の特定期は、外部に漏れてきたヘリウムガスをスニッファープローブで吸い込み、漏れを検出する方法（ヘリウム漏れ試験（スニッファーク法））により行う。漏えいが認められた場合には、蓋間圧力監視装置の金属ガスケット交換、継手部点検（例：増締め）もしくは部品交換を行う。

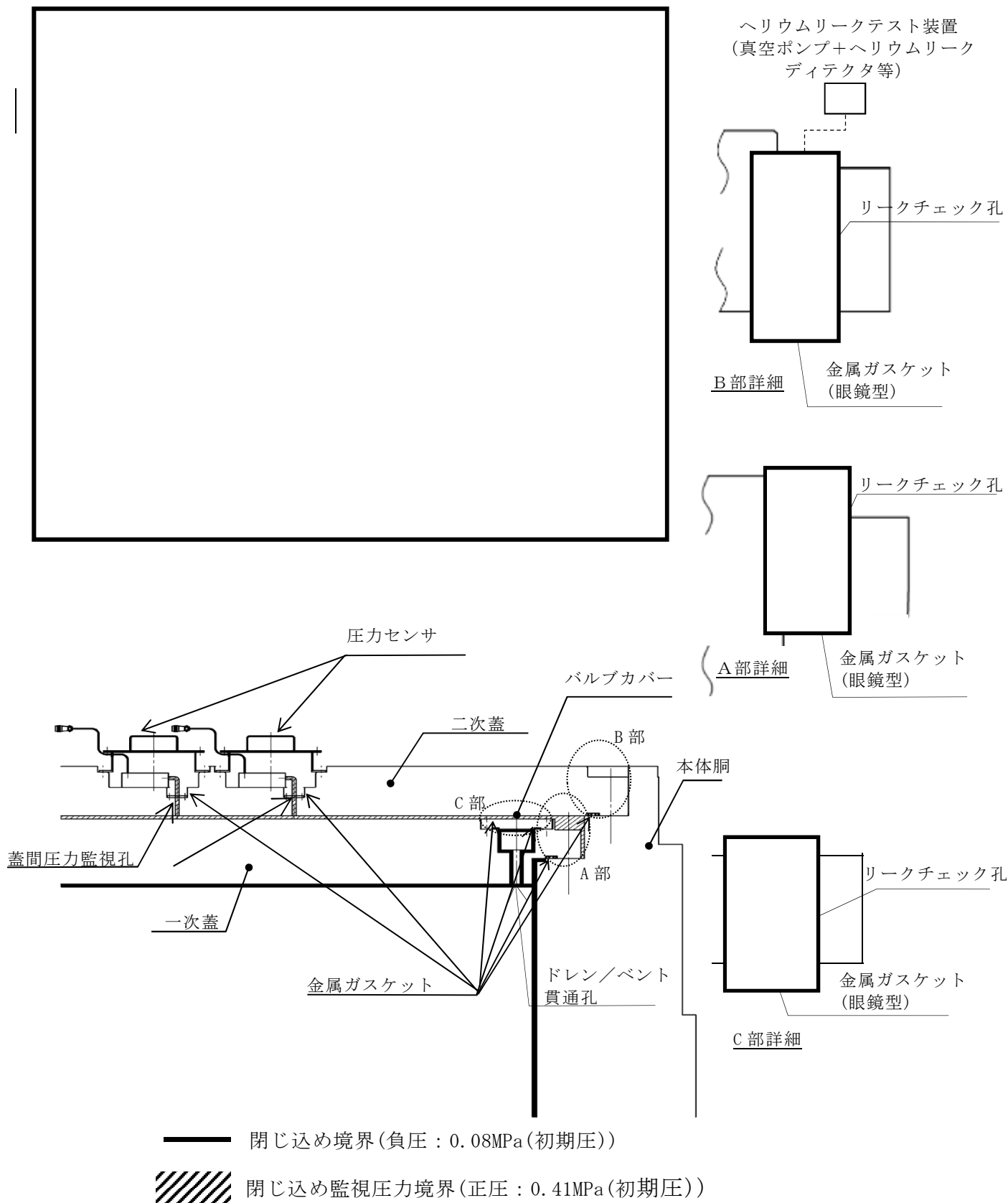
最も漏えいの可能性のある部位は、使用済燃料貯蔵施設内で組み立てる継手部で、蓋間圧力監視装置の一次バルブを閉にすることで蓋間圧力と分離できるため、漏えいが認められた場合は、継手部点検（例：増締め）や部品交換を行う。

万が一、蓋間圧力監視孔の金属ガスケット部から漏えいした場合には、二次蓋金属ガスケットの交換と同様に、蓋間圧力開放の可否を判断したうえで、蓋間圧力監視孔の金属ガスケットの交換を行う。

バルブ弁座のシートパスについては、二次バルブの場合は一次バルブを閉止して交換作業を行う。一次バルブの場合は二次蓋金属ガスケットの交換と同様に、蓋間圧力開放の可否を判断したうえで、蓋間圧力監視孔の金属ガスケットを含め一次バルブの交換を行う。類似施設の例はない。



添付 3 - 1 図 蓋間圧力監視装置（圧力検出部）の構成図
（BWR用大型キャスク（タイプ2））



添付 3-2 図 貫通孔及び金属ガスケットによるシール部の構成図
(BWR用大型キャスク (タイプ2))

二重蓋間圧力の監視測定と金属キャスク内部の負圧維持について

金属キャスクの蓋部は一次蓋，二次蓋の二重構造としている。金属キャスク内部は負圧とし，蓋間空間はあらかじめ正圧とすることにより，圧力障壁を設ける。

使用済燃料集合体は収納条件を満足した燃料であること^{※1}，国内輸送法令に従い安全に輸送が行われた金属キャスクを受け入れるため安全機能への影響は生じないこと，金属キャスク本体（密封容器）は堅固な構造であり輸送及び貯蔵期間中の外力により燃料が破損して金属キャスク内部の圧力が上昇することはないこと，また，金属キャスク本体（密封容器）は検査にて欠陥がないことを確認しており，漏えいが発生する可能性はないことから，金属キャスク内部の圧力が上昇する要因は，蓋間空間からの気体の流入のみとなる。従って，蓋間圧力を測定・監視することにより，間接的に金属キャスク内部の負圧維持を確認することができる。

蓋間圧力の経時変化が基準漏えい率を超えない低下である場合は，圧力障壁を維持するために，適宜，蓋間空間にヘリウムガスを再充填する。金属キャスク内部圧力が，初期圧力 0.08MPa から大気圧下限 0.097MPa になるまで蓋間のヘリウムガスが全て金属キャスク内部に流入したと仮定して約 10 回再充填できる。

すなわち，再充填回数を把握し，過剰な充填とならないように管理することで，間接的に負圧維持を確認できる。

※1：使用済燃料集合体が収納条件を満たしているかについて，「原子炉等規制法第 59 条」に則った事業所外運搬（車両運搬確認）に係る発電所発送前検査の一環として行われる収納物検査の受検記録を確認する。

除熱機能の確認について

除熱機能の確認として、日本原子力学会標準に準拠し、貯蔵開始後において「伝熱検査」の実施を予定している。

「伝熱検査」は、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。

本検査を実施することにより、実測値が解析値と乖離していないことを確認することにより、使用済燃料を含め各部材が設計範囲内に収まっていることを間接的に確認できる。

また、警報設定値を超えるケースは想定しにくいですが、万が一金属キャスク表面温度が警報値を超えた場合でも、下記の通り、各部材の評価結果は設計基準温度に比して十分な余裕を有していることから、健全性を損なうことはない。

別添 5 - 1 表 設計基準温度と評価結果
(BWR 大型タイプ 2 の場合)

	設計基準温度	評価結果
燃料被覆管*	300℃	259℃
密封容器	350℃	142℃
バスケット	300℃	248℃
トラニオン	350℃	120℃
二次蓋	350℃	85℃
金属ガスケット	130℃	89℃

※新型ジルコニウムライナ燃料

計測制御系統施設の試験検査について

蓋間圧力監視装置，表面温度監視装置及び給排気温度監視装置は，法定検査に加え，保全プログラムに基づく点検が実施可能な設計とする。

蓋間圧力監視装置のうち，電気式圧力検出器及び増幅器については，加圧器等により電気式圧力検出器の検出部に加圧を行い，特性試験を行う。

また，蓋間圧力監視装置，表面温度監視装置，給排気温度監視装置は，信号入出力装置より模擬信号の入力を行い，入力信号に対する表示装置の表示，及び設定値通りに警報が発報することを当面の間，年 1 回程度確認することにより，その機能の健全性を確認する。

代替計測について

津波による計測設備、監視設備、電源設備の水没や、地震等による長期の電源喪失等、既設の計測設備、監視設備の継続使用ができなくなった場合は、代替計測を行う。

また、代替計測は、その準備完了後、1回/日程度の頻度で行う。

1. 除熱機能の確認

通常時は、金属キャスクの表面温度及び使用済燃料貯蔵建屋給排気温度を計測し、除熱機能が確保されていることを確認している。

(1) 金属キャスク表面温度

非接触式の可搬型温度計を用いて、金属キャスクの表面温度検出器近傍の温度を計測する。

(2) 給排気温度

測温抵抗体等の温度検出素子をポール等で既設給排気温度計近傍に近づけ、出力信号をデジタルマルチメータあるいは記録計に接続して、測定値を読み取る。

バッテリー式可搬型電源、ディーゼル発電機等を電源として用いる。

(別添 7-1 図参照)

2. 閉じ込め機能の確認

通常時は、金属キャスクの蓋間圧力を計測し、閉じ込め機能が確保されていることを確認している。

(1) 金属キャスク蓋間圧力

津波で圧力検出器が浸水した場合等、圧力検出器が使用できなくなった場合には、代替の圧力検出器の取り付けが必要になる。

金属キャスク蓋部にて代替の圧力検出器の取り付けと仮設電源の接続を行い、出力信号をデジタルマルチメータあるいは記録計を接続して測定値を読み取る。

バッテリー式可搬型電源，ディーゼル発電機等を電源として用いる。
(別添 7-2 図参照)

なお，貯蔵する金属キャスクが多数になった場合，非常に多くの仮設ケーブルの布設が必要となり作業量が膨大となることが予想されることから，合理化の検討をすすめる予定である。

3. 遮蔽機能の確認

通常時は，使用済燃料貯蔵建屋内はエリアモニタリング設備（エリアモニタ）で，周辺監視区域境界付近は周辺監視区域境界付近モニタリング設備（モニタリングポスト及びモニタリングポイント）で放射線の空間線量率と空間線量を計測し，遮蔽機能が確保されていることを確認している。

(1) エリアモニタリング設備

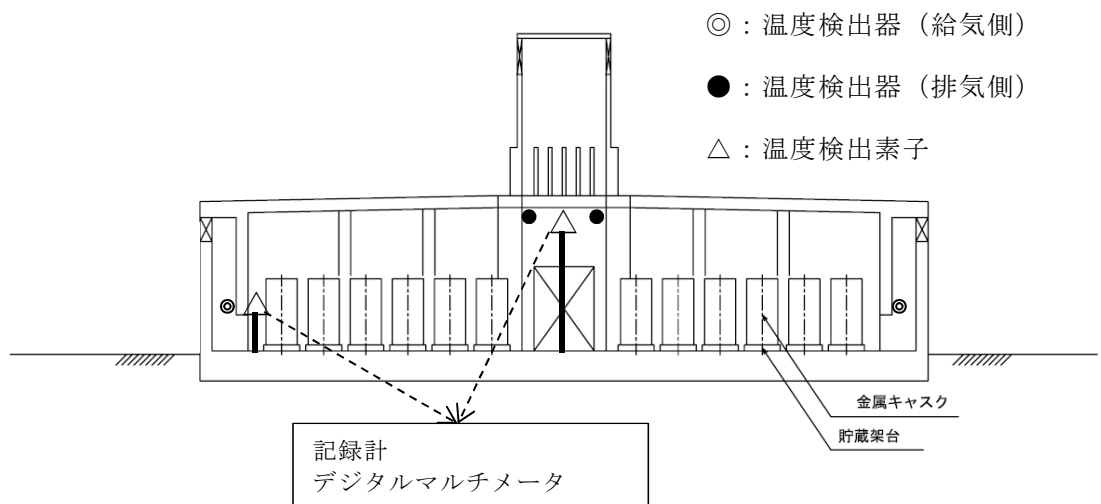
可搬型の放射線サーベイメータにより，ガンマ線と中性子を計測する。測定ポイントは通常時に測定している定点（使用済燃料貯蔵建屋内 7 点）とし，通常時測定値との比較により遮蔽機能の異常の判断を行う。

(別添 7-3 図参照)

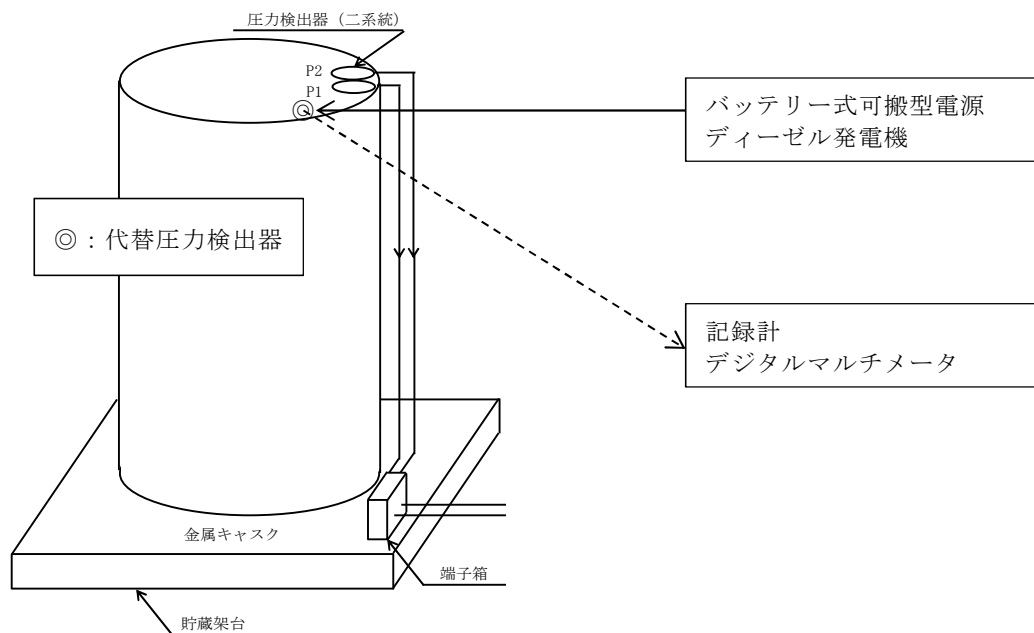
(2) 周辺監視区域境界付近モニタリング設備

可搬型の放射線サーベイメータにより，ガンマ線と中性子を計測する。測定ポイントは通常時に測定している定点（既設モニタリングポスト所在地 2 点）とし，通常時測定値との比較により遮蔽機能の異常の判断を行う。

(別添 7-4 図参照)

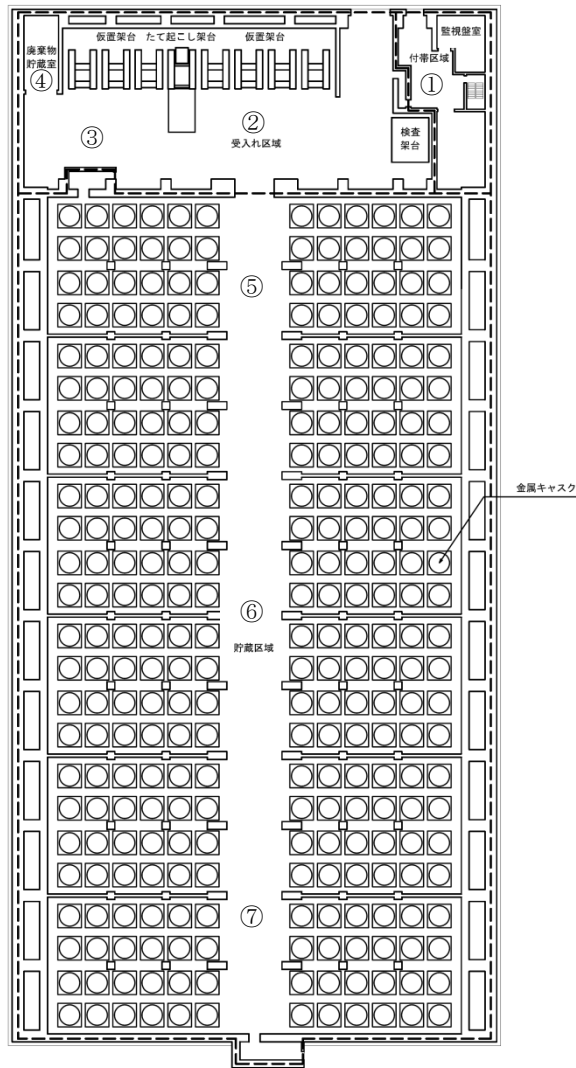


別添 7 - 1 図 給排気温度の代替計測

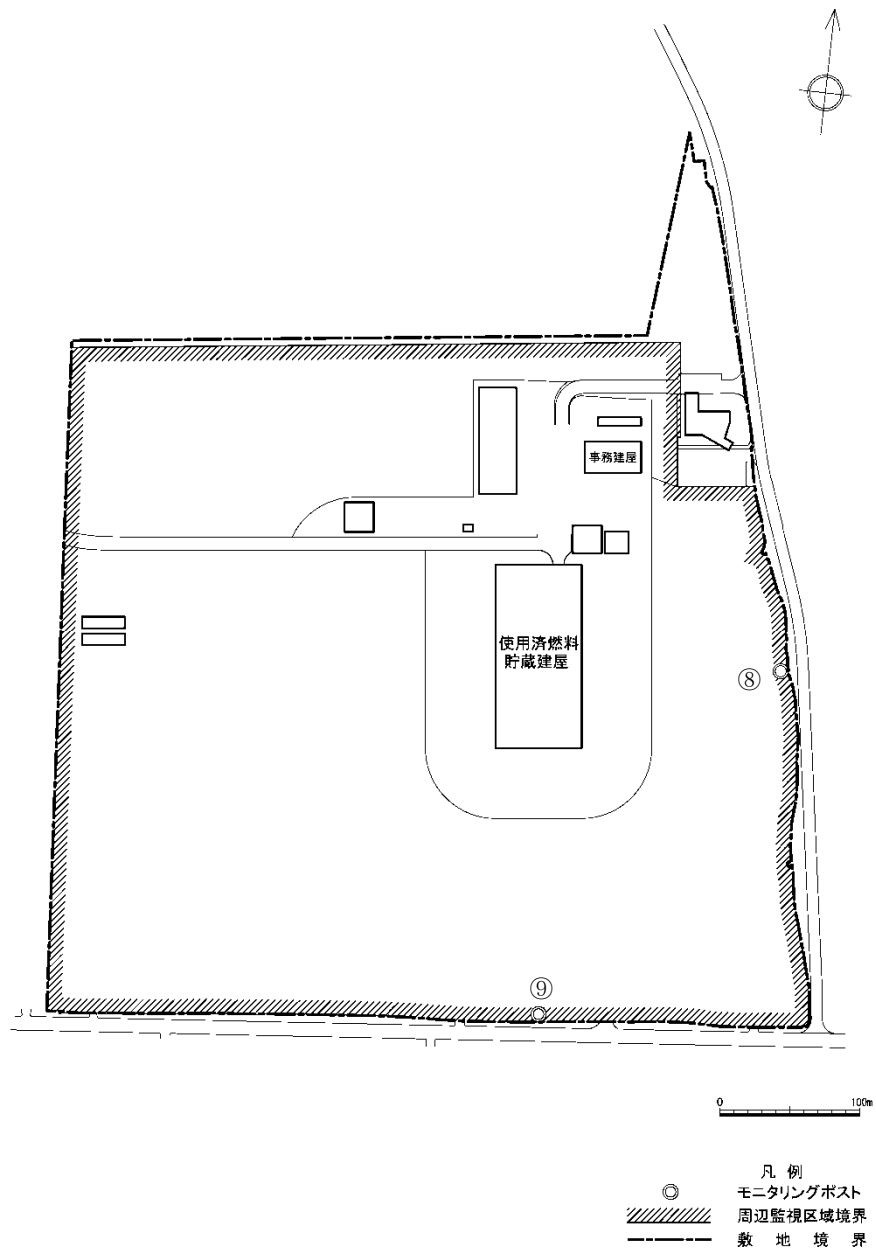


別添 7 - 2 図 金属キャスク蓋間圧力の代替計測

使用済燃料貯蔵建屋 1階



別添 7 - 3 図 使用済燃料貯蔵建屋内の測定ポイント



別添 7 - 4 図 周辺監視区域境界付近の測定ポイント

第 18 条 廃棄施設

<目 次>

1. 設計方針
2. 廃棄物貯蔵室の設計

(別 添)

- 別添 1 廃棄物貯蔵室内のせきの構造について
- 別添 2 廃棄物貯蔵室内部の塗装について
- 別添 3 廃棄物貯蔵室の保管廃棄容量について
- 別添 4 廃棄物貯蔵室内のドラム缶配置について

1. 設計方針

使用済燃料貯蔵施設は、平常時に発生する放射性廃棄物はないことから、放射性廃棄物を処理する能力を有する廃棄施設はない。

なお、搬入した金属キャスク等の表面に法令に定める管理区域に係る値を超える放射性物質が検出された場合は、除染に使用した水及び除染液の液体廃棄物並びにウエス等の固体廃棄物はドラム缶、ステンレス製の密封容器に入れた後、廃棄物貯蔵室に保管廃棄する。

また、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安全性は損なわない。

放射性廃棄物を保管廃棄する施設として廃棄物貯蔵室を設置し、廃棄物による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の独立した区画内に設け、出入口にはせきを設ける構造とする。

廃棄物貯蔵室では、著しい漏えいの発生はないが、巡視点検にて漏えいを発見できる構造とする。

仮想的な大規模津波による使用済燃料貯蔵建屋の損傷に備え、廃棄物貯蔵室内に保管廃棄しているドラム缶、ステンレス製の密封容器が廃棄物貯蔵室外、敷地内及び敷地外への漂流を防止するためドラム缶、ステンレス製の密封容器を固縛する漂流防止対策を講ずる。漂流防止対策として、水面に浮上するドラム缶は水面に浮上できる大きさのネットで覆い、また、浮上しないステンレス製の密封容器は深水圧に耐える構造とする。

廃棄物貯蔵室は、平常時に発生する放射性廃棄物はないが、万一、受入れた金属キャスクに汚染があった場合、必要な汚染防止対策を講ずるためそれ以降の廃棄物の発生量の低減を図る。これにより廃棄物貯蔵室の保管廃棄する能力、貯蔵容量は2000ドラム缶100本相当で十分である。

2. 廃棄物貯蔵室の設計

(1) 放射性廃棄物の保管廃棄施設の廃棄物貯蔵室は、廃棄物による汚染の拡大防止を考慮した設計とする。また、漏えいを生じたときの漏えい検出及び漏えい拡大防止を考慮した設計とする。

a. 廃棄物貯蔵室は、廃棄物による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の独立した区画内に設ける。

廃棄物貯蔵室の位置、寸法を第1図に示す。

b. 廃棄物貯蔵室の出入口に高さ10cmのせきを設ける構造(別添1参照)とする。

c. 放射性液体廃棄物の発生はないが、万一発生しても著しい漏えいの発生はないため漏えい検知装置は不要であるが、事業者自主として漏えい検知装置を設置し、漏えいを検知した時点で監視盤室及び事務建屋に警報を発報する。

d. 廃水が浸透することによる汚染の拡大を防止するために、廃棄物貯蔵室内部の床面及び床面から1,600mmの高さまでの壁面について、エポキシ樹脂系塗料で塗装を施す。(別添2参照)

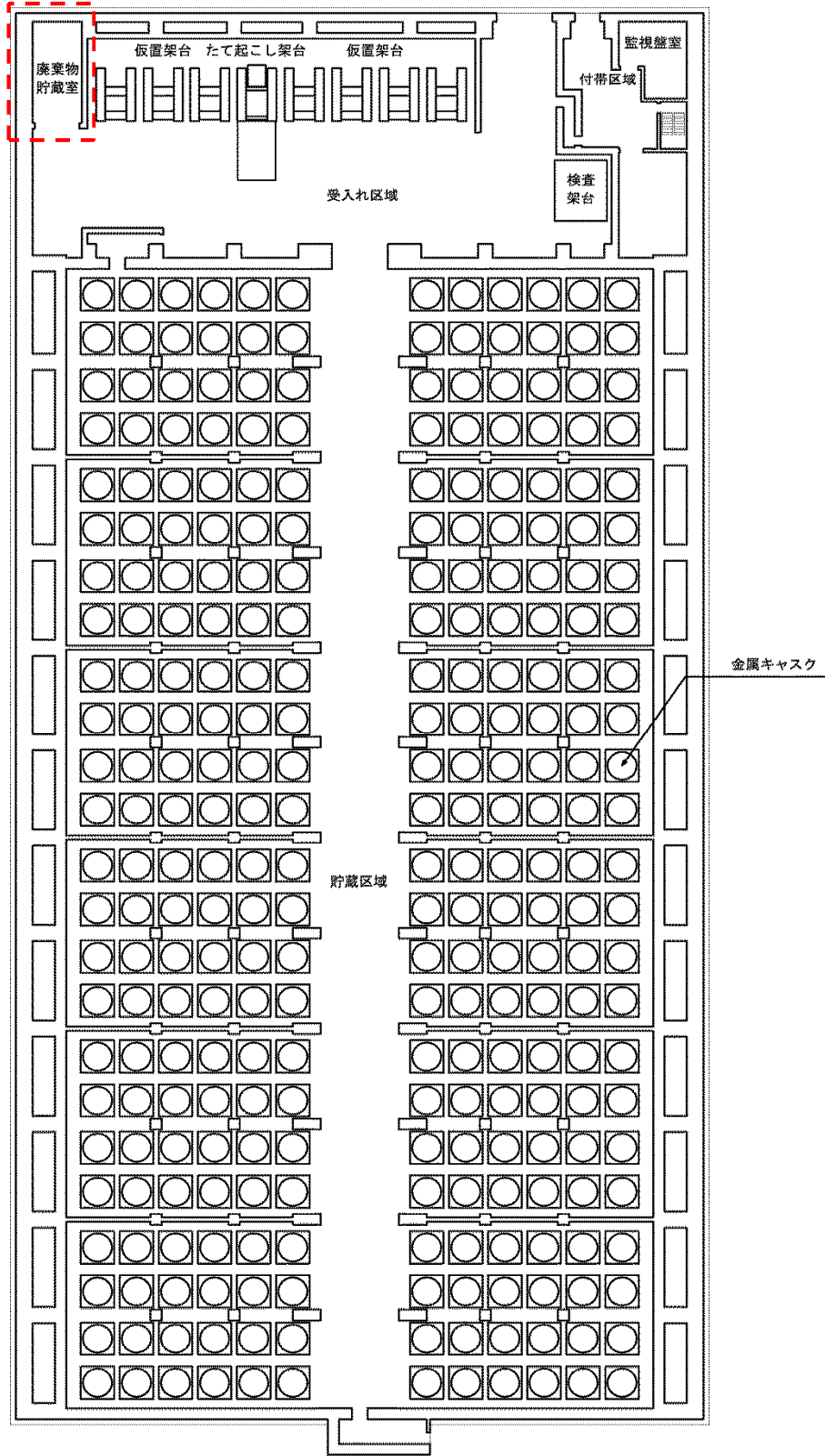
e. 使用済燃料貯蔵建屋内で結露水の発生や雨水の侵入があった場合は、使用済燃料貯蔵建屋内に設けた側溝を通じて、ドレンサンプに受入れる構造としており、ドレンサンプ水は、放射線管理に基づくサーベイを実施し、放射能が検出されないことを確認し施設外へ排水する。

廃棄物貯蔵室は、室内入口側にせきを設けており、廃棄物貯蔵室内で結露水の発生があった場合に、廃棄物貯蔵室内から外部へ漏れない構造としており、側溝を通じて、ドレンサンプに受入れることはない。また、結露水の発生があった場合は、放射線管理に基づくサーベイを実施し、放射能が検出されないことを確認し施設外へ排水する。

f. 液体廃棄物及び固体廃棄物は、識別されたドラム缶、ステンレス製等の密封容器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安全性は損なわない。

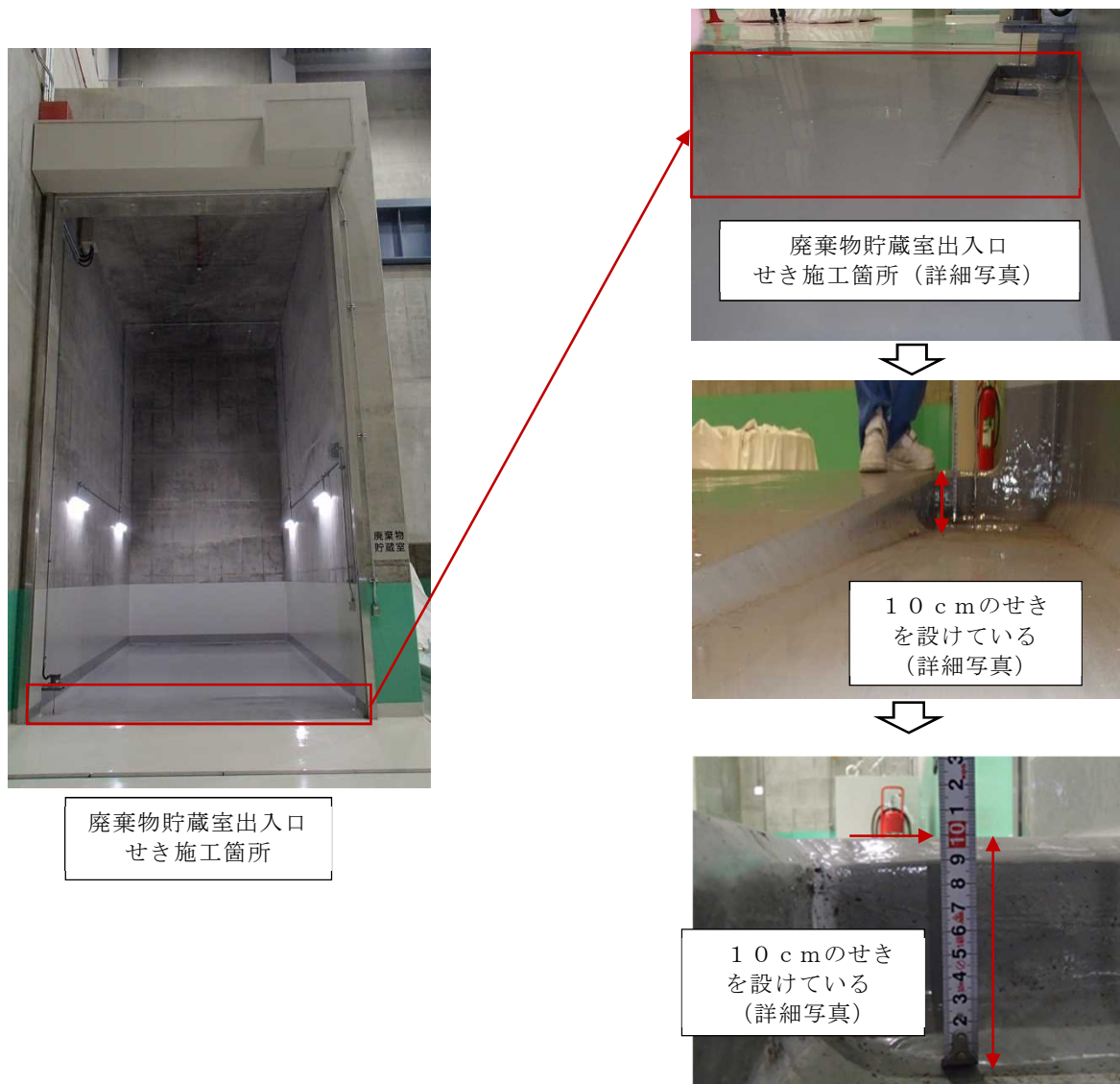
- (2) 廃棄物貯蔵室は、2000ドラム缶約100本相当を保管廃棄する能力を有する設計とする。(別添4参照)
- a. 廃棄物貯蔵室では、2000ドラム缶約100本相当を3段積みとして、転倒防止対策を実施する。ドラム缶配置概念図を別添4-1図に示す。
 - b. 液体廃棄物ドラム缶、ステンレス製等の密封容器の貯蔵については、転倒による漏えいを防止する観点から床に近い最下段に配置することとし、液体廃棄物を貯蔵するドラム缶、ステンレス製等の密封容器は腐食を考慮した仕様とする。
 - c. 貯蔵ドラム缶、ステンレス製等の密封容器の管理については、巡視点検にて貯蔵ドラム缶、ステンレス製等の密封容器の目視点検を実施するとともに漏えいのないことを確認する。
 - d. 仮想的大規模津波による使用済燃料貯蔵建屋の損傷に備え、廃棄物貯蔵室内に保管廃棄しているドラム缶、ステンレス製等の密封容器が廃棄物貯蔵室外、敷地内及び敷地外への漂流を防止するためドラム缶、ステンレス製等の密封容器を固縛する漂流防止対策を講ずる。漂流防止対策として、水面に浮上するドラム缶は水面に浮上できる大きさのネットで覆い、また、浮上しないステンレス製等の密封容器は深水圧に耐える構造とする。

廃棄物貯蔵室 (4.4m × 9.5m × 8.5m (高さ))



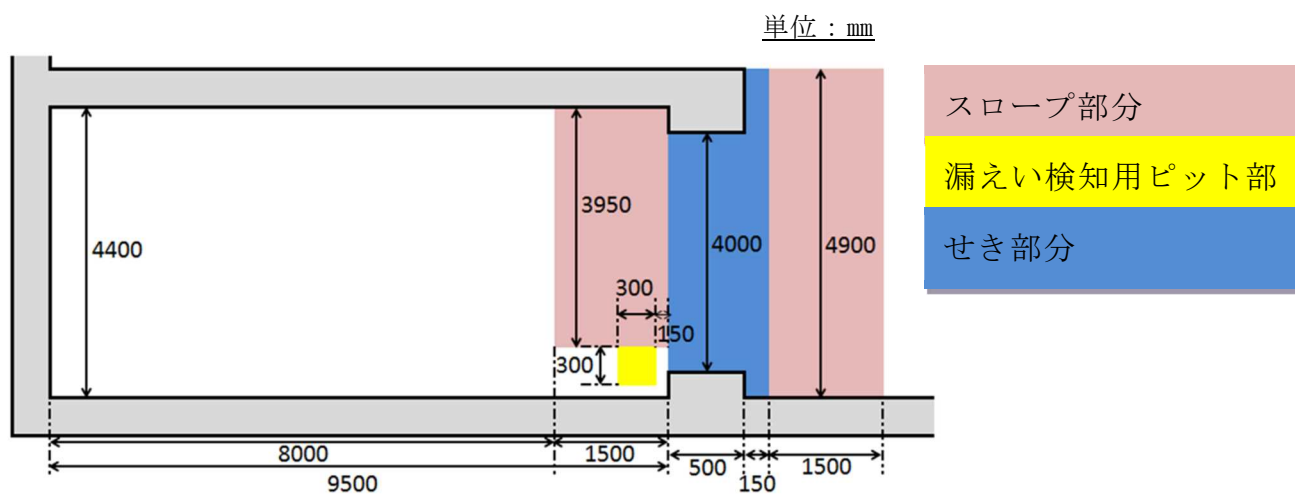
第1図 廃棄物貯蔵室の位置，寸法

廃棄物貯蔵室内のせきの構造について

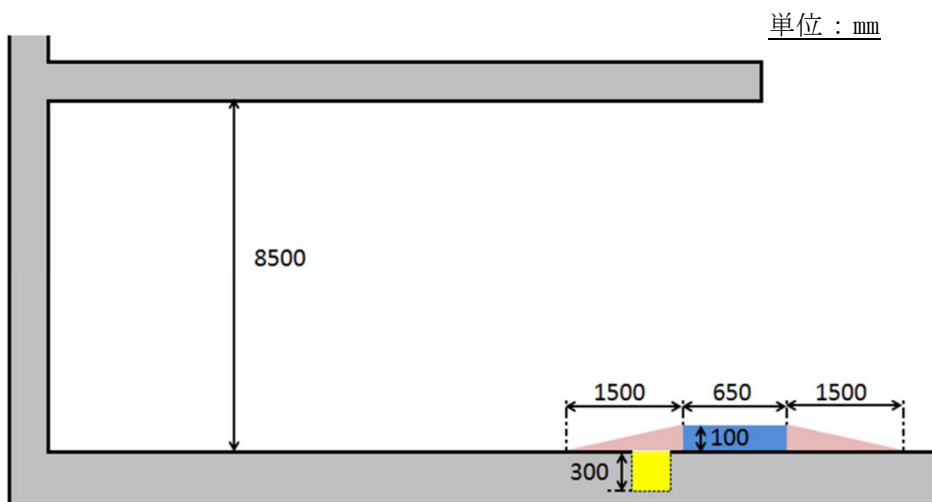


別添 1 - 1 図 廃棄物貯蔵室内のせきの構造

【平面図】



【断面図】



別添 1 - 2 図 廃棄物貯蔵室内平面図及び断面図

廃棄物貯蔵室内部の塗装について

廃棄物貯蔵室内部の壁面は、万一、ドラム缶内の液体廃棄物が漏れた場合に、液体廃棄物がコンクリートの床及び腰壁に浸透することによる汚染の拡大を防止するために、エポキシ樹脂系塗料にて塗装し、塗装の高さを1,600mmで施工している。



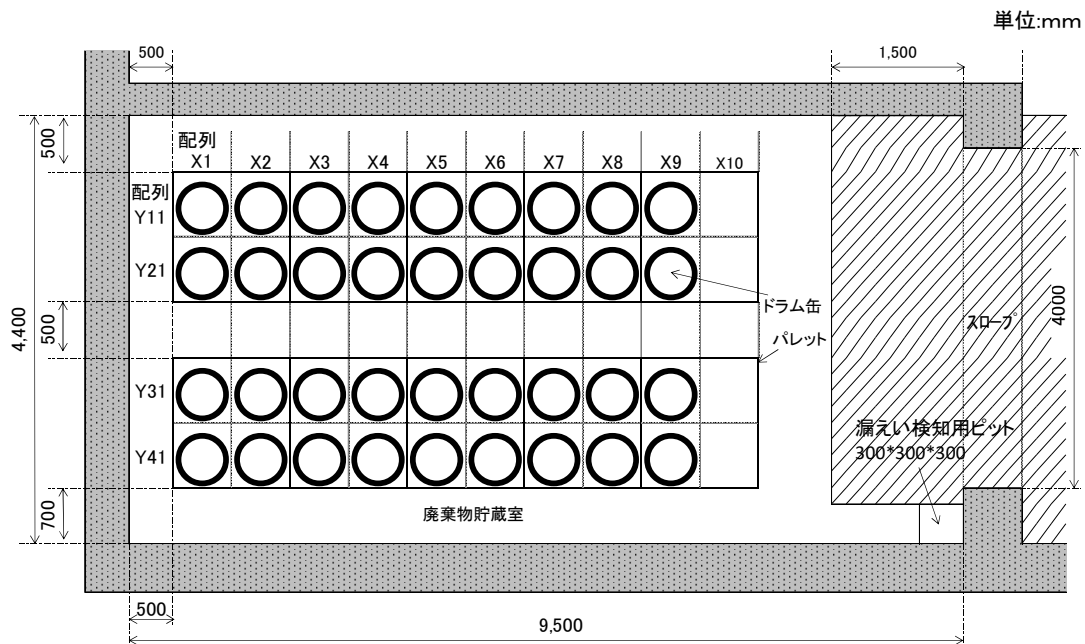
別添 2 - 1 図 廃棄物貯蔵室内部壁面塗装高さ

廃棄物貯蔵室の保管廃棄容量について

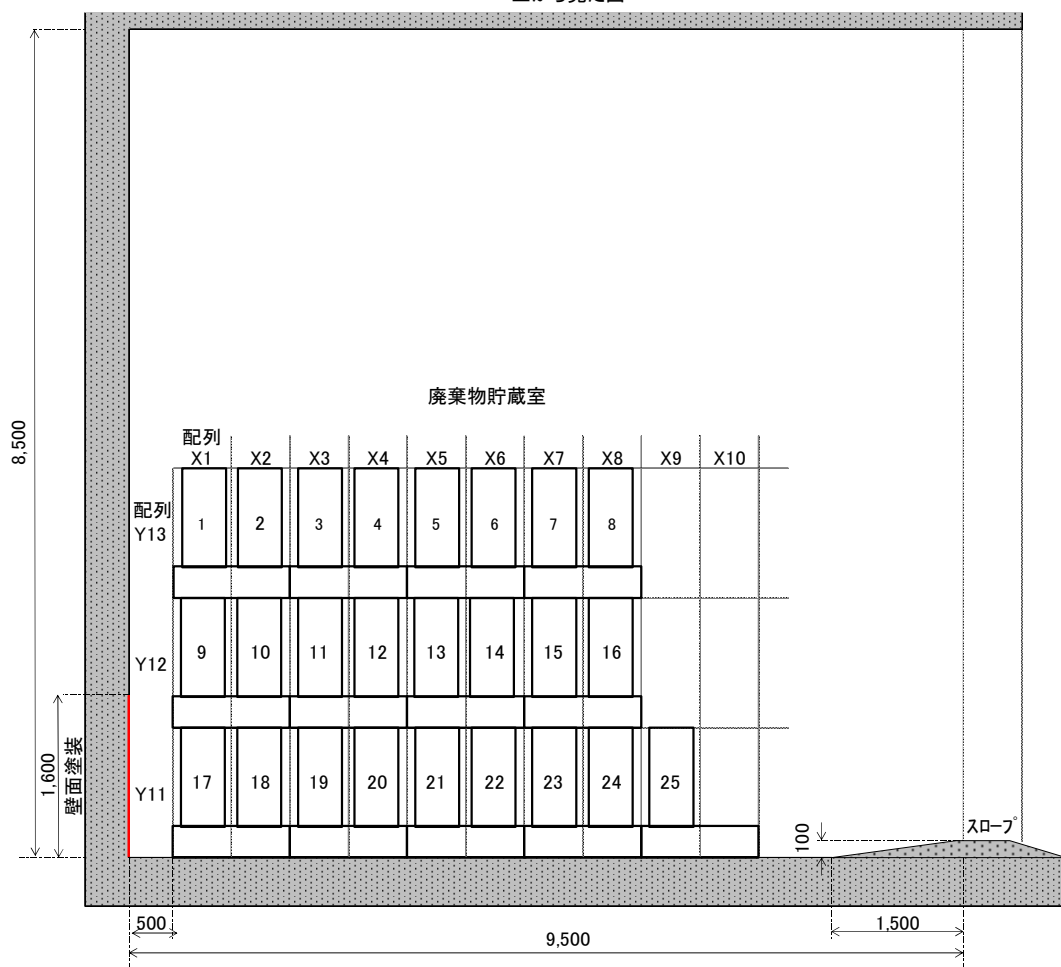
使用済燃料貯蔵施設では、平常時に発生する放射性廃棄物はない。ただし、搬入した金属キャスクの表面に汚染が確認された場合には、除染に使用した水、除染液、ウエス、ゴム手袋等が放射性廃棄物として発生する可能性があるため、これらの放射性液体廃棄物及び放射性固体廃棄物をドラム缶、ステンレス製の密封容器に入れて保管廃棄できるよう、2000ドラム缶約100本相当を保管廃棄する能力を有する廃棄物貯蔵室を設ける。

保管廃棄の容量については、平常時に発生する放射性廃棄物はないが、万一、受入れた金属キャスクに汚染があった場合、必要な汚染防止対策を講ずるためそれ以降の廃棄物の発生量の低減を図る。これにより廃棄物貯蔵室の保管廃棄する能力、貯蔵容量は2000ドラム缶100本相当で十分である。

廃棄物貯蔵室内のドラム缶配置について



上から見た図



横から見た図

別添 4 - 1 図 ドラム缶配置概念図

第 19 条 放射線管理施設

<目 次>

1. 基本的考え方
2. 設計方針
3. 放射線管理施設の設計
4. 試験検査

(別 添)

- 別添 1 モニタリングポスト，モニタリングポイントの設置位置と基数について
- 別添 2 エリアモニタリング設備及び周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備で監視を行う放射線のモニタリング箇所，表示するモニタリング情報について
- 別添 3 放射線管理設備の試験及び検査方法について
- 別添 4 バックグラウンドや金属キャスクの設置基数に応じたエリアモニタの警報設定値の設定について
- 参考 汚染管理、除染等を行う施設について

1. 基本的考え方

金属キャスクは、使用済燃料集合体を内封する空間に通じる貫通孔を一次蓋に設け、蓋部の二重の閉じ込め構造により放射性物質を限定された区域に閉じ込める設計とするとともに、金属キャスクの蓋間圧力を蓋間圧力監視装置により連続して測定し、監視盤室に表示及び記録するとともに、事務建屋でも監視が行えるよう表示を行う。また、蓋間圧力監視装置は、点検中等においても蓋間圧力を測定できるよう二系統設ける。

使用済燃料貯蔵施設は、平常時に発生する放射性廃棄物はなく、万一、放射性廃棄物が発生した場合には、ドラム缶、ステンレス製の密封容器に入れて廃棄物貯蔵室に保管廃棄する設計としており、放射性廃棄物の環境への放出は行わない。

使用済燃料貯蔵施設は、その設計に即し、発生が想定され得る金属キャスクの落下・転倒等、基本的安全機能に著しい影響を及ぼす可能性のある事象について評価しても、放射性物質の放出には至らない。

以上より、金属キャスクの蓋間圧力を監視することにより放射性物質の放出がないことを確認するため、事業所及びその境界付近における放射性物質の濃度の監視は不要である。

異常事象発生時の放射線監視及び測定については、監視盤室及び事務建屋で、平常時と同様にエリアモニタリング設備、周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備により監視等を行う。また、これらが使用できない場合等、必要に応じて放射線サーベイ機器により測定を行う。

以上より、使用済燃料貯蔵施設では、外部放射線に係る線量当量を管理、監視するための放射線管理施設を設ける設計とする。

2. 設計方針

- (1) 放射線業務従事者及び一時立入者（以下「放射線業務従事者等」という。）の出入管理のため、使用済燃料貯蔵建屋付帯区域にチェックポイント（管理区域への出入管理室）を設ける。また、放射線業務従事者等の個人被ばく管理のため、外部放射線に係る線量当量を測定する個人線量計を備える。（参考参照）

- (2) 使用済燃料貯蔵施設で貯蔵する使用済燃料集合体は、金属キャスクに収納された状態で施設に搬入し、別の容器に詰め替えることなく貯蔵する。
金属キャスクは、蓋部の多重の閉じ込め構造により放射性物質を限定された区域に閉じ込める設計とし、金属キャスクの蓋間圧力を測定して閉じ込め機能を監視する。

放射性廃棄物は、ドラム缶、ステンレス製等の密封容器に入れて廃棄物貯蔵室に保管廃棄する設計とする。したがって、使用済燃料貯蔵施設には放射性廃棄物の放出口排水口はなく、外部放射線に係る線量当量を監視する。

以上より、金属キャスクの蓋間圧力を監視することにより放射性物質の放出がないことを確認するため、事業所及びその境界付近における放射性物質の濃度の監視は不要である。

リサイクル燃料備蓄センター内外の放射線監視のために、エリアモニタリング設備、周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備及び放射線サーベイ機器を設置し、平常時及び放射線レベルが上昇するような事故時に必要箇所をモニタリングでき、必要な情報は監視盤室及び事務建屋に表示できる設計とする。

放射線監視の具体例は以下のとおりである。

- a. 金属キャスクの蓋間圧力を蓋間圧力監視装置により連続して測定し、監視盤室及び事務建屋に表示する。また、蓋間圧力が基準設定値以下に低下したときは監視盤室及び事務建屋に警報を発報する。
- b. 使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域内、受入れ区域内及び廃棄物貯蔵室内の放射線レベルをエリアモニタリング設備により測定し、監視盤室及び事務

- 建屋に表示する。また、放射線レベル基準設定値に達したときは監視盤室及び事務建屋に警報を発報する。
- c. 周辺監視区域境界付近には、空間放射線量率を連続的に監視するためのモニタリングポスト及び空間放射線量を監視するための蛍光ガラス線量計を設ける。(別添1参照)
- (3) 管理区域における線量当量率、空気中の放射性物質の濃度及び床面等の放射性物質の表面密度を放射線業務従事者等が安全に認識できるよう、チェックポイント及び事務建屋に表示する設備を設ける。また、放射線から公衆を防護するため、モニタリングポストの測定値を監視盤室及び事務建屋に表示する。(別添2参照)

3. 放射線管理施設の設計

(1) 出入管理，個人被ばく管理の設備

放射線業務従事者等の放射線被ばくの監視及び管理のため，出入管理設備及び個人管理用測定設備を設ける。

a. 出入管理設備

使用済燃料貯蔵建屋内に設定する管理区域への立入りは，チェックポイントを通る設計としており，ここで放射線業務従事者等の出入管理を行う。

なお，金属キャスクの搬出入に際しては，必要に応じて使用済燃料貯蔵建屋の機器搬出入口で放射線業務従事者等の出入管理を行う。

チェックポイントの位置を第1図に示す。

b. 個人管理用測定設備

放射線業務従事者等の線量管理のため，外部放射線による線量当量を測定する個人線量計を備える。

(2) 放射線監視設備

放射線監視設備は，エリアモニタリング設備，周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備，放射線サーベイ機器で構成する。

a. エリアモニタリング設備

使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域及び受入れ区域内にガンマ線エリアモニタと中性子線エリアモニタとを設置して，外部放射線に係る線量当量率の監視を行う。

エリアモニタによる外部放射線に係る線量当量率は，使用済燃料貯蔵施設の監視員が巡視点検の際に確認できるよう監視盤室に表示及び記録するとともに，事務建屋でも監視が行えるよう表示を行う。また，放射線レベル基準設定値に達したときは監視盤室及びエリアモニタ設置場所付近並びに事務建屋に警報を発報する。

外部電源系の機能喪失時には，無停電電源装置及び電源車により電気が供給される。

ガンマ線エリアモニタの仕様を第1表，中性子線エリアモニタの仕様を第2表，エリアモニタリング設備の構成図を第2図に示す。

b. 周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備

リサイクル燃料備蓄センター周辺監視区域境界付近の空間放射線量率を連続的に監視するためのモニタリングポスト、空間放射線量を監視するためのモニタリングポイントを設ける。

モニタリングポストは、連続的に空間放射線量率を測定し、使用済燃料貯蔵施設の監視員が巡視点検の際に確認できるよう監視盤室に表示及び記録するとともに、事務建屋でも監視が行えるよう表示を行う。また、放射線レベル基準設定値に達したときは監視盤室及び事務建屋に警報を発報する。

外部電源系の機能喪失時には、無停電電源装置及び電源車により電気が供給される。

モニタリングポストの仕様を第3表、モニタリングポイントの仕様を第4表、周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備の構成図を第3図に示す。

c. 放射線サーベイ機器

外部放射線に係る線量当量率、必要に応じて空気中の放射性物質濃度及び表面汚染密度を測定監視するために、放射線サーベイ機器を設ける。

測定は、外部放射線に係る線量当量率については携帯用の各種サーベイメータにより、空気中の放射性物質濃度については、サンプリング法により、また、表面汚染密度については、サーベイメータ又はスミヤ法による放射能測定によって行う。

(3) 測定結果等の表示

管理区域における線量当量率、空気中の放射性物質の濃度及び床面等の放射性物質の表面密度等を定期的又は必要の都度測定し、その結果を放射線業務従事者等が管理区域入域前に安全に認識でき、必要に応じて適切な放射線防護具類が準備できるよう、チェックポイント及び事務建屋に表示する設備を設ける。また、放射線から公衆を防護するため、モニタリングポストの測定値を監視盤室及び事務建屋に表示する。なお、モニタリングポストによる測定結果については、当社のホームページに掲載する。

4. 試験検査

放射線管理設備の試験検査について、別添3に示す。

第1表 ガンマ線エリアモニタの仕様

検出器	半導体検出器
検出器の個数	12 (貯蔵区域) 1 (受入れ区域) 1 (廃棄物貯蔵室)
計測対象	線量当量率
計測範囲	1 ~ 10 ⁴ μSv/h
使用環境温度	0℃ ~ 45℃
表示箇所	監視盤室及び事務建屋

注 : 警報設定値は、測定範囲内で適切に設定する。
(別添4参照)

第2表 中性子線エリアモニタの仕様

検出器	³ He 比例計数管
検出器の個数	6 (貯蔵区域) 1 (受入れ区域)
計測対象	線量当量率
計測範囲	10 ⁻² ~ 10 ⁴ μSv/h
使用環境温度	-10℃ ~ 45℃
表示箇所	監視盤室及び事務建屋

注 : 警報設定値は、測定範囲内で適切に設定する。
(別添4参照)

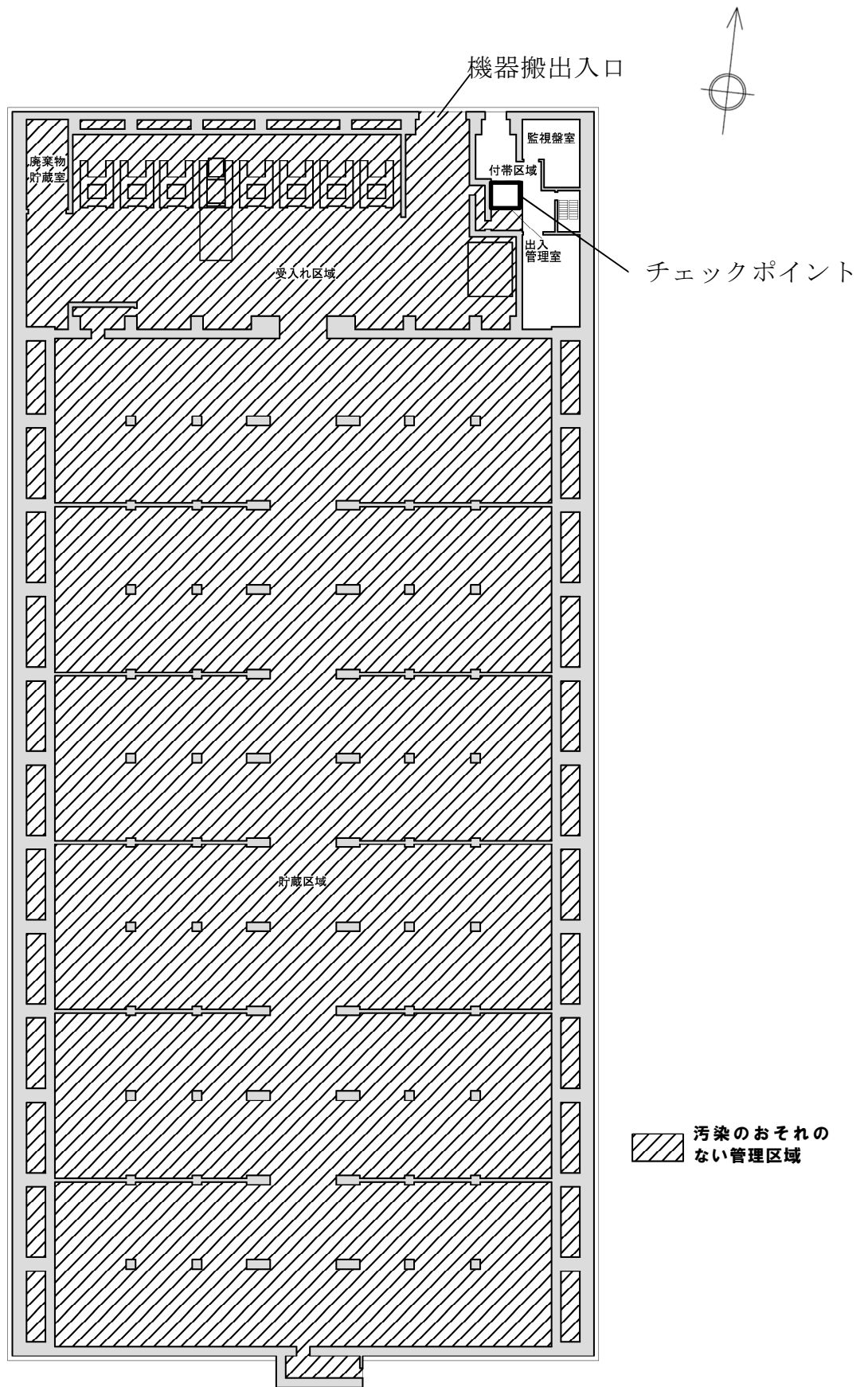
第3表 モニタリングポストの仕様

検出器	NaI(Tl)シンチレーション 検出器	電離箱	³ He 比例計数管
検出器の個数	2	2	1
計測対象	空間線量率	空間線量率	線量当量率
計測範囲	10 ⁻² ~10 ⁴ nGy/h	10 ³ ~10 ⁸ nGy/h	10 ⁻² ~10 ⁴ μSv/h
使用環境温度	-10~45℃	-10~45℃	-10~40℃
表示箇所	監視盤室及び 事務建屋	監視盤室及び 事務建屋	監視盤室及び 事務建屋
取付箇所	モニタリングポストA モニタリングポストB	モニタリングポストA モニタリングポストB	モニタリングポストA

注：警報設定値は、測定範囲内で適切に設定する。(別添4参照)

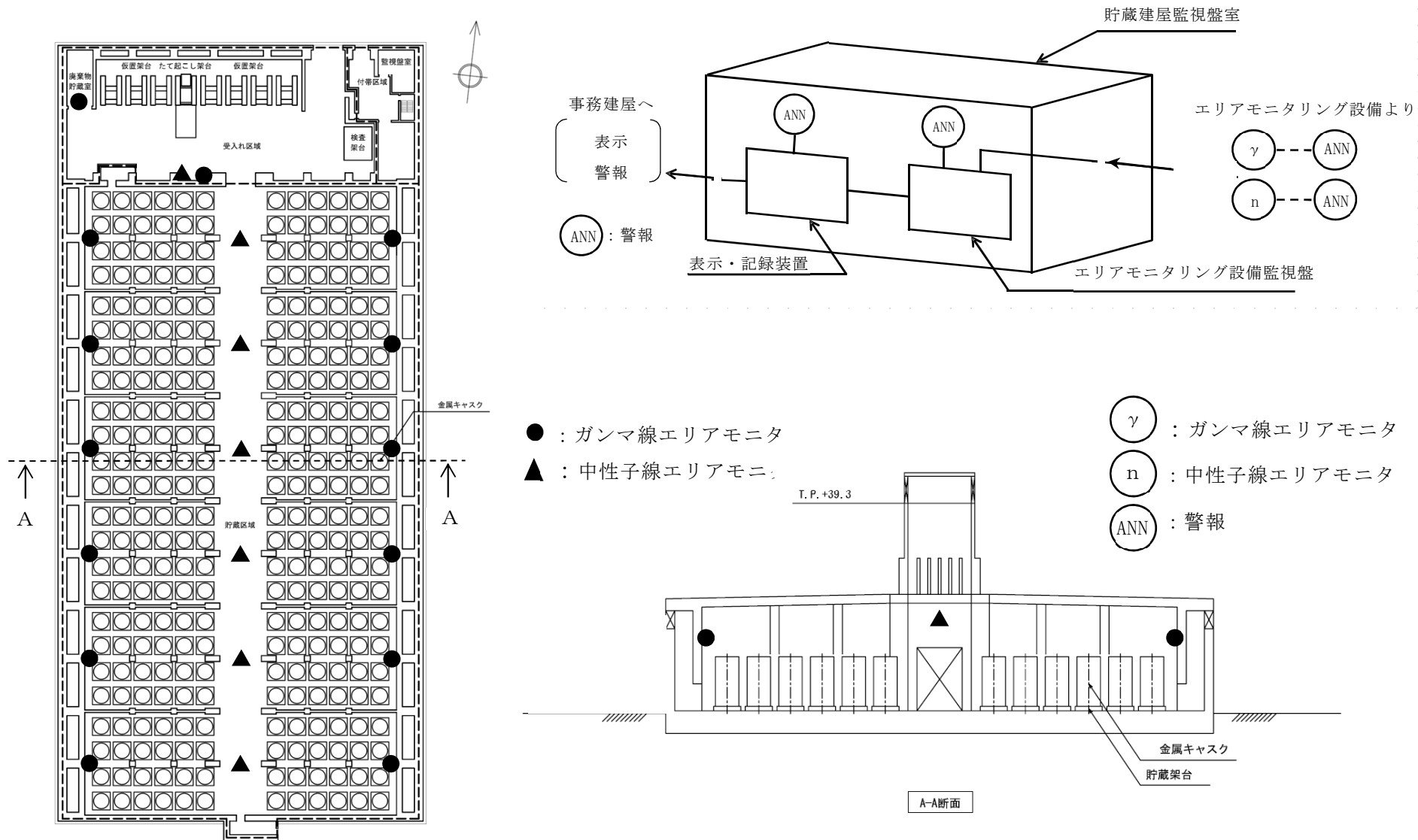
第4表 モニタリングポイントの仕様

検出器	蛍光ガラス線量計
設置箇所数	12
計測対象	線量当量
取付箇所	各モニタリングポイント

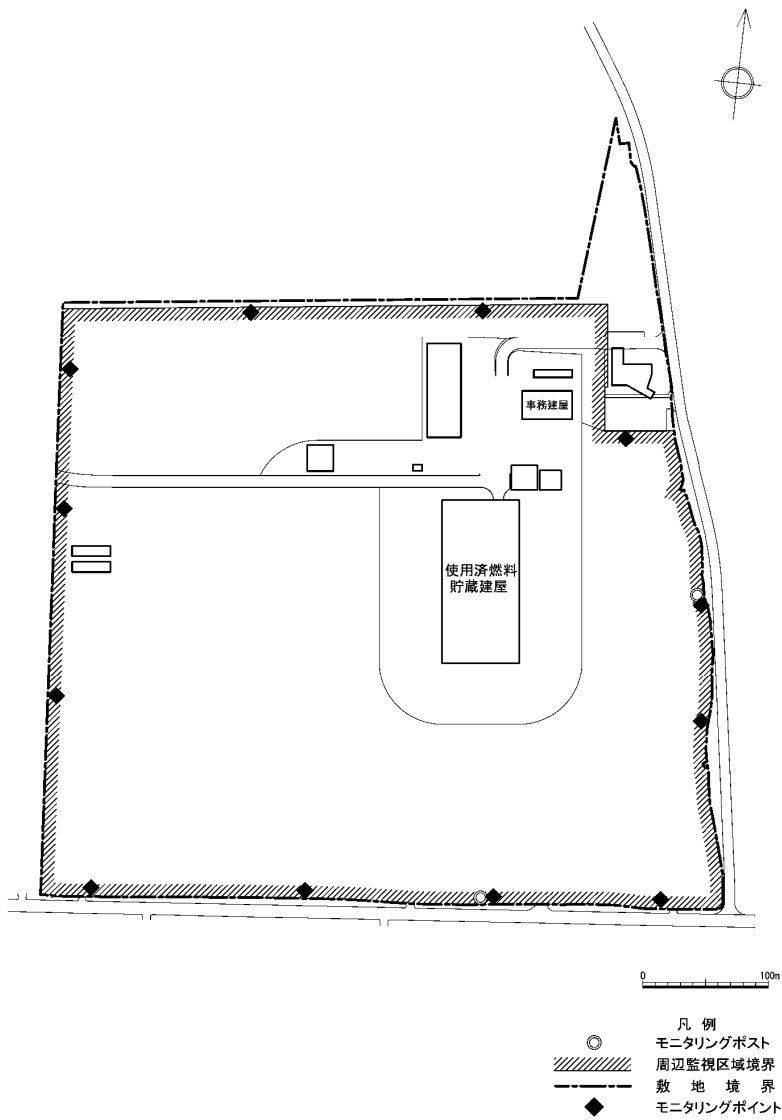
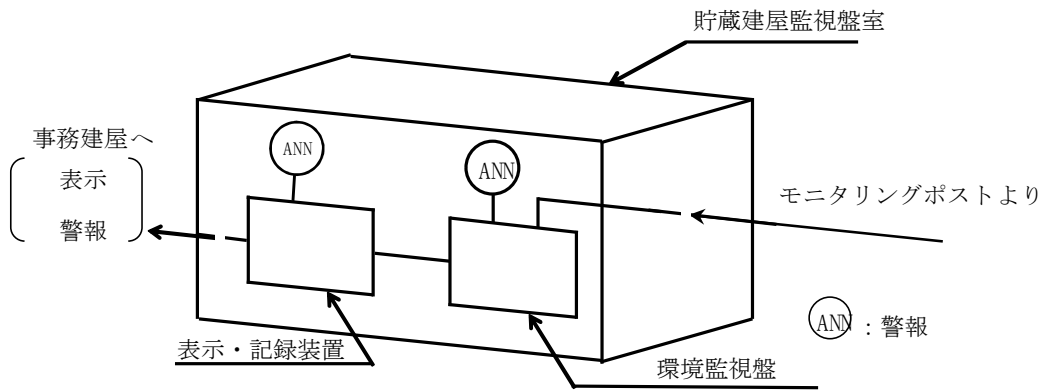


使用済燃料貯蔵建屋一階

第1図 チェックポイントの位置



第2図 エリアモニタリング設備の構成図



第3図 周辺監視区域境界付近モニタリング設備の構成図

モニタリングポスト，モニタリングポイントの 設置位置と基数について

周辺監視区域境界付近における空間放射線のモニタリングは，モニタリングポストによる空間放射線量率の連続的な測定とモニタリングポイントによる空間放射線量（3ヶ月積算値）の測定を行い，周辺監視区域境界の放射線量に異常がないことの確認に資することを目的としている。

ここで，モニタリングポストによる測定とモニタリングポイントによる測定は，各々，以下のような特徴を有していることから，これらの特徴を踏まえ，両者を組み合わせて適切に配置することにより，リサイクル燃料備蓄センターに起因する空間放射線を監視する。

[モニタリングポストによる測定]

比較的短時間の変動の監視が可能であることから，異常の早期発見と原因調査に役立つ。

[モニタリングポイントによる測定]

比較的簡便に，精度よく空間放射線量の積算値を求めることが可能。

これらを踏まえ，リサイクル燃料備蓄センターにおけるモニタリングポスト，モニタリングポイントの設置位置と設置基数については，以下のとおりとする。

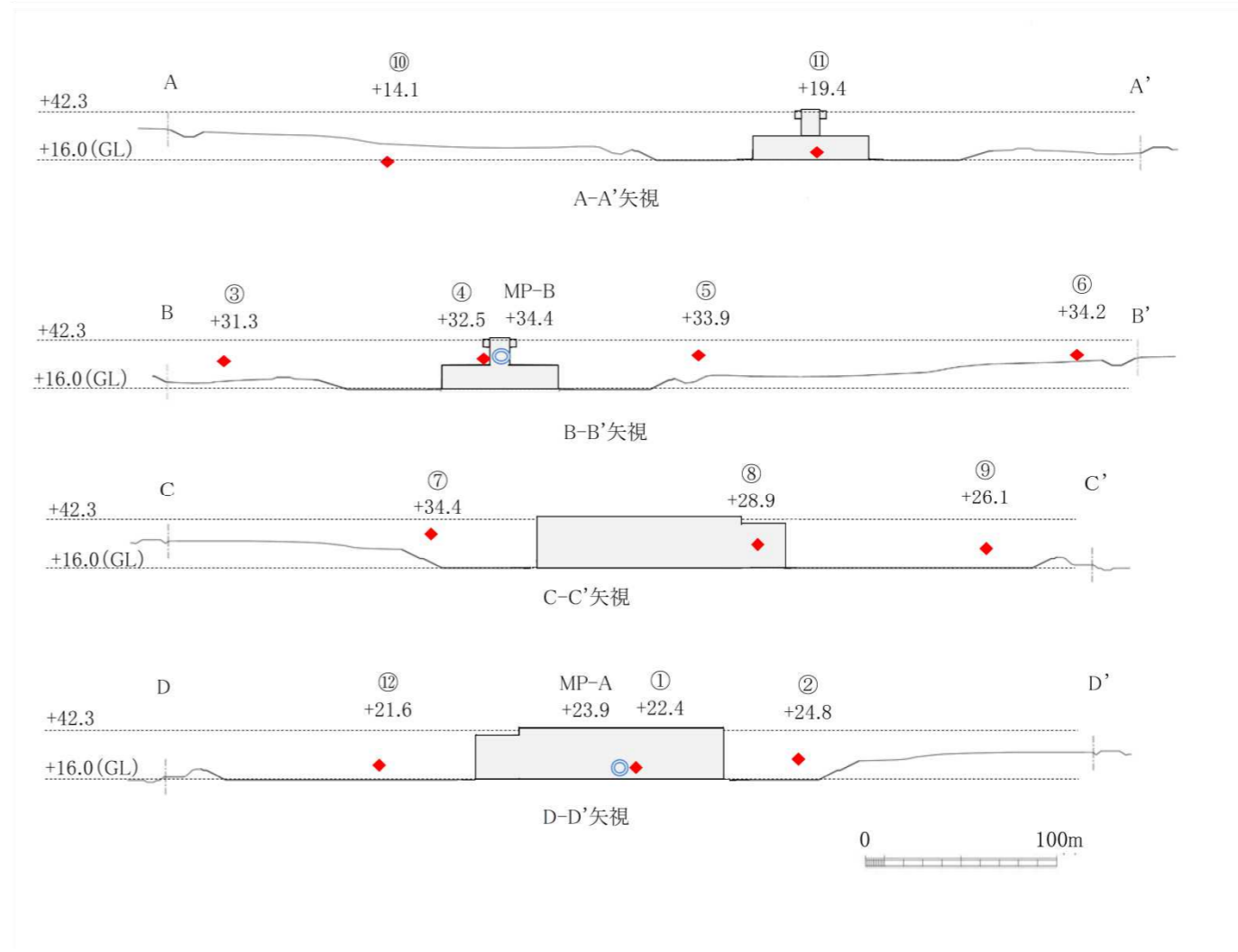
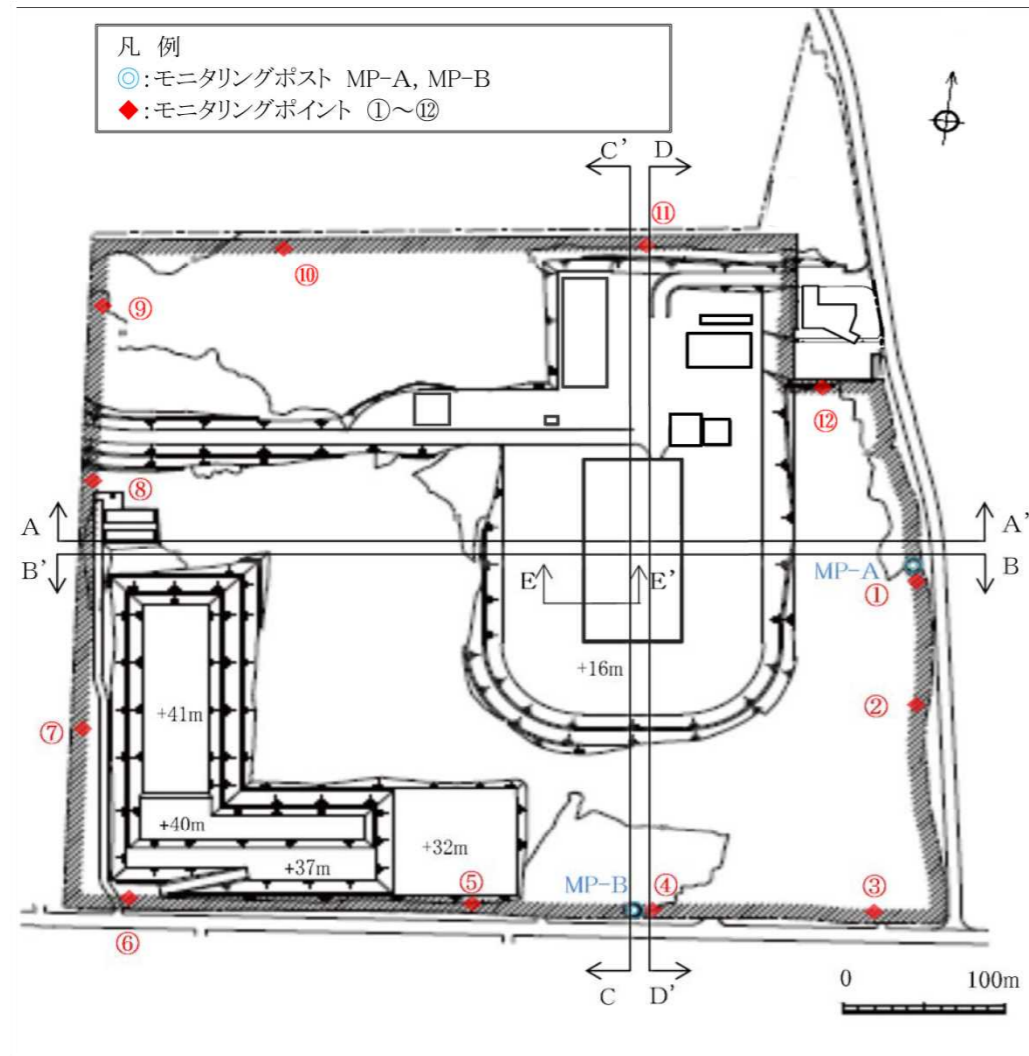
1. モニタリングポスト

リサイクル燃料備蓄センターからの直接線，スカイシャイン線による線量は，施設からの距離が遠くなるに従って減少することから，施設からの距離，使用済燃料貯蔵建屋の構造，平常時における公衆の年間線量等を考慮して，モニタリングポストの設置位置を選定している。具体的には，平常時の直接線，スカイシャイン線による公衆の線量は，使用済燃料貯蔵建屋の排気口の開口の向きや貯蔵区域中心から敷地境界までの距離を評価し，使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域中心から敷地境界までの距離が最短となる東側敷地境界外において中性子線が最大となることから，東側の周辺監視区域境界付近にモニタリングポスト1基を設置する。また，使用済燃料貯

蔵建屋の構造により，遮蔽壁の厚さの違いによるガンマ線の遮蔽効果は，同建屋の南側が最も小さくなることから，南側の周辺監視区域境界付近にモニタリングポスト1基を設置する。使用済燃料貯蔵建屋の排気口とモニタリングポストとの相対的な設置高さについて，別添1-1図に示す。

2. モニタリングポイント

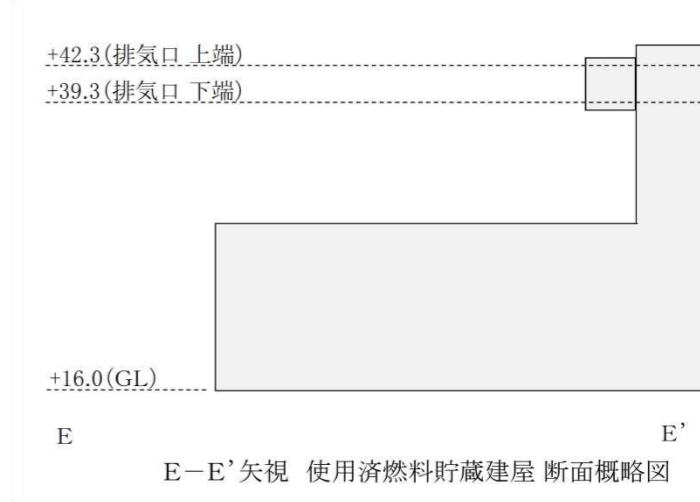
モニタリングポイントは，施設周辺の集落の状況，地形等を考慮し，周辺監視区域境界に沿って，計12地点に設定する。使用済燃料貯蔵建屋の排気口とモニタリングポイントとの相対的な設置高さについて，別添1-1図に示す。



記載数値は東京湾平均海面(T.P.)を基準とする。
(単位:m)

使用済燃料貯蔵建屋	モニタリングポイント												モニタリングポスト	
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	MP-A	MP-B
+42.3(排気口 上端) +39.3(排気口 下端) +16.0(GL)	+22.4	+24.8	+31.3	+32.5	+33.9	+34.2	+34.4	+28.9	+26.1	+14.1	+19.4	+21.6	+23.9	+34.4
+45.0														
+40.0														
+35.0														
+30.0														
+25.0														
+20.0														
+15.0														
+10.0														

使用済燃料貯蔵建屋の排気口とモニタリングポスト・モニタリングポイントとの設置高さの比較



別添1-1図 造成地形概略図を用いたモニタリングポスト・モニタリングポイントとの設置高さの比較図

エリアモニタリング設備及び周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備で監視を行う放射線のモニタリング箇所，表示するモニタリング情報について

1. エリアモニタリング設備

エリアモニタリング設備は，放射線業務従事者の作業環境の状況把握及び放射線防護への情報提供，並びに金属キャスクの遮蔽機能の監視を目的として設置しており，連続して線量当量率を測定する。

放射線業務従事者の作業環境の状況把握の観点では，人が立ち入る代表的なエリアの放射線レベルを，金属キャスクの遮蔽機能の監視の観点では，貯蔵場所における放射線レベルの変動を確認する。したがって，線量当量率が最大となる位置での測定を意図しているものではない。

貯蔵区域のエリアモニタの設置位置は，床面からの高さを金属キャスクよりも低い位置にした場合，エリアモニタに近い金属キャスクが他の金属キャスクからの放射線を遮蔽することとなるため，比較的広い範囲でのモニタリングが可能となるように，金属キャスクよりも高い位置にエリアモニタリング設備を設置する。

受入れ区域のエリアモニタの設置位置は，仮置架台に置かれるキャスクからの線量当量率を測定することから，計測が遮られない位置とする。

廃棄物貯蔵室のエリアモニタの設置位置は，廃棄物を貯蔵した場合でもアクセスできる位置とし，床面からの高さは，廃棄物を貯蔵した場合に廃棄物で遮蔽されない高さ及び施工上可能な最大の高さとする。

なお，使用済燃料貯蔵建屋内の放射線レベル及び放射線レベルの変動の確認には，エリアモニタリング設備による測定結果の他に定期的及び必要に応じて実施する放射線サーベイ機器による測定結果も用いる計画である。なお，使用済燃料貯蔵施設は，平常時に発生する放射性廃棄物はなく，万一，放射性廃棄物が発生した場合には，ドラム缶等の容器に封入して廃棄物貯蔵室に保管廃棄する設計である。したがって，放射性廃棄物の放出口及び排水口はなく，放射性物質の放出管理の観点からは，放射性廃棄物の放出の経路における放射性物質の濃度の監視は不要である。

金属キャスクは、設計貯蔵期間を通じて遮蔽機能を維持するよう設計されること及び使用済燃料集合体は臨界にはなり得ないことから、通常考えられる線量の変動要因は、自然放射線の変動、気象条件の変化であり、放射線業務従事者の作業環境の把握は、放射線サーベイ機器による測定でも対応可能である。

ただし、金属キャスクの遮蔽機能の健全性及び公衆への影響を確認する観点から、使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域内の複数個所にガンマ線及び中性子線エリアモニタを設置し、連続して線量を測定する。

平常時における公衆の線量評価結果では、中性子については構造が比較的単純な排気口からのストリーミングによる寄与が大きく、ガンマ線については、建屋躯体や給排気経路の構造物を透過するバルク、給気ロストリーミングによる寄与が大きくなる。したがって、中性子線用エリアモニタについては、排気口に通ずる経路付近、ガンマ線用エリアモニタについては、貯蔵区画壁により仕切られたブロック単位の側壁にそれぞれ設置する。

エリアモニタによる外部放射線に係る線量当量率は、監視盤室で表示及び記録するとともに、事務建屋でも監視が行えるよう表示を行う。放射線レベル基準設定値に達したときは監視盤室及び事務建屋に警報を発報する。外部電源系の機能喪失時には、無停電電源装置及び電源車により電気が供給される。

2. 周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備

周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備は、周辺監視区域境界付近における放射線量を監視する目的で設置している。周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備で監視を行う放射線のモニタリング箇所や、表示するモニタリング情報について別添 2-1 表に示す。

モニタリング箇所の選定について、モニタリングポストは、平常時の直接線、スカイシャイン線による敷地境界外の実効線量の計算結果より、ガンマ線が最大となる周辺監視区域境界付近の南側に 1 基、中性子線が最大となる周辺監視区域境界付近の東側に 1 基設置する。モニタリングポイントは、施設周辺の集落の状況、地形等を考慮し、周辺監視区域境界付近に

設置する。

モニタリング情報について、モニタリングポストでは、周辺監視区域境界付近の空間放射線量率を連続的に測定するとともに、原子力災害対策特別措置法 10 条、15 条で定める通報基準に対する線量値の上昇があった場合の放射線量の変化の監視を行う。周辺監視区域境界付近の南側、東側に設置したモニタリングポストでは、ガンマ線の測定を行う。また、東側に設置したモニタリングポストでは、中性子線の測定も行うことができる。測定値は表示箇所に伝送され、監視を可能とする。モニタリングポイントでは、周辺監視区域境界付近の空間放射線量を測定し、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」で定める周辺監視区域外の 1 年間の線量限度を超えないことを確認する。

別添 2-1 表 周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備について

	モニタリングポスト	モニタリングポイント
モニタリング箇所	周辺監視区域境界付近の 2 箇所	周辺監視区域境界付近の 12 箇所
モニタリング情報	周辺監視区域境界付近の空間放射線量率	周辺監視区域境界付近の空間放射線量
モニタリング方法	連続的な監視	3 月積算
検出器	<ul style="list-style-type: none"> ・ NaI (Tl) シンチレータ ・ 電離箱 ・ ^3He 比例計数管 (中性子線用) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蛍光ガラス線量計
表示箇所	監視盤室及び事務建屋	なし (線量計に蓄積された線量情報をリーダーで読取り)

3. 表示するモニタリング情報

管理区域における線量当量率，空気中の放射性物質の濃度及び床面等の放射性物質の表面密度等を定期的または必要の都度測定し，その結果を放射線業務従事者等が安全に確認できるように，チェックポイント及び事務建屋に表示する。また，放射線から公衆を防護するため，モニタリングポストの測定値を監視盤室及び事務建屋に表示する。

放射線管理設備の試験及び検査方法について

1. 個人管理用測定設備

個人管理用測定設備は、管理区域において放射線業務従事者が常時携帯する個人線量計を指す。

個人線量計の機能としては放射線業務従事者が受ける外部放射線量の計測と警報機能を有していることから、これらの機能を年1回確認する。

2. 放射線監視設備

放射線監視設備は、エリアモニタリング設備、周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備、放射線サーベイ機器で構成され、以下に示す検査等を実施する。

(1) エリアモニタリング設備

使用済燃料貯蔵建屋内における線量当量率の測定・監視は、使用済燃料貯蔵建屋内にガンマ線エリアモニタと中性子線エリアモニタを設置し、監視盤室及び事務建屋で、その表示と記録の確認を行う。これらの性能の確認にあたっては、標準線源を用いた校正、模擬入力された値が監視盤室及び事務建屋で適切に表示・記録されること、並びに模擬入力により警報動作値で警報が発報することを年1回程度確認する。

(2) 周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備

a. モニタリングポスト

周辺監視区域境界付近における空間放射線の測定・監視は、敷地東側と敷地南側にモニタリングポスト2基を設置し、監視盤室及び事務建屋で、その表示と記録の確認を行う。これらの性能の確認にあたっては、標準線源を用いた校正、模擬入力された値が監視盤室及び事務建屋で適切に表示されること、並びに模擬入力により警報動作値で警報が発報することを年1回確認する。

b. 蛍光ガラス線量計

周辺監視区域境界付近における空間放射線量（3ヶ月積算値）は、周

辺監視区域境界に沿って配置された12 地点のモニタリングポイントの収納箱に設置された蛍光ガラス線量計により測定する。この測定は、「蛍光ガラス線量計を用いた環境γ線量測定法」（平成14 年 文部科学省 放射能測定シリーズ27）に基づき実施している。

蛍光ガラス線量計については、年1回標準線源による校正を行う。

(3) 放射線サーベイ機器

放射線サーベイ関係の主要測定器及び器具は以下の機器が対象となり、機器毎の点検項目を設定し、年1回の定期点検（標準線源による校正を含む）により常に使用可能な状態に整備する。

- ・ GM管サーベイメータ
- ・ 電離箱サーベイメータ
- ・ シンチレーションサーベイメータ
- ・ 中性子線用サーベイメータ
- ・ ダストサンプラ
- ・ ガスモニタ

バックグラウンドや金属キャスクの設置基数に応じた
エリアモニタの警報設定値の設定について

エリアモニタの警報設定値については、原子力発電所放射線モニタリング指針 (JEAG4606-2003) に基づき平均的バックグラウンドレベルの10倍以内の倍数で設定する。また、平均的バックグラウンドレベルは、金属キャスクの設置基数により変動することが予想されることから、金属キャスク搬入の都度、平均的バックグラウンドレベルの評価を行い、適切に警報設定値を設定する。

モニタリングポストでの空間放射線の測定は、2012年3月より開始しており現在はデータを蓄積している段階である。モニタリングポストを設置する周辺監視区域境界付近のバックグラウンドレベルの設定にあたっては、原子力発電所放射線モニタリング指針 (JEAG 4606-2003) に基づき、事業開始前までのバックグラウンドデータの変動範囲を勘案し設定する。

汚染管理、除染等を行う施設について

リサイクル燃料備蓄センターには放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が原子炉等規制法に基づき定められている管理区域に係る値を超えるおそれのない管理区域を設定するため、汚染管理、除染等を行う設備はない。

万一原子炉等規制法に基づき定められている管理区域に係る値を超える汚染があった場合には、エリアを区画し、区画したエリアから人が退去し、又は物品を持ち出そうとする場合には、放射線サーベイ機器又はスミヤ法による表面汚染検査を行い、その表面の放射性物質の密度が、法令に定める表面密度限度の十分の一を超えないようにする。

第 20 条 予備電源

<目 次>

1. 設計方針
2. 施設設計

(別 添)

- 別添 1 火災感知設備，誘導灯及び保安灯の設計方針について
- 別添 2 無停電電源装置の水素対策について
- 別添 3 無停電電源装置の試験検査について
- 別添 4 無停電電源装置の負荷について
- 別添 5 無停電電源装置の給電時間について

1. 設計方針

使用済燃料貯蔵施設は、外部電源系統からの電気の供給が停止した場合においても、基本的安全機能に直接影響を及ぼすおそれはないが、基本的安全機能が維持されていることの監視を継続して行うために、金属キャスクの閉じ込め機能と除熱機能を監視する設備及び放射線監視設備を作動し得るのに十分な容量及び信頼性を有した無停電電源装置を設ける設計とする。

また、無停電電源装置は、万一の火災等の非常時においても通信連絡設備を作動し得るのに十分な容量を有するものとする。

さらに、無停電電源装置の給電可能時間を超える外部電源喪失が発生した場合のために電源車を有し、監視を継続するために電源車から無停電電源装置に電気を供給する設計とする。電源車に燃料を補給するために軽油貯蔵タンクを設ける。

なお、火災感知設備、誘導灯及び保安灯は、「消防法」及び所轄消防署協議に基づく設計とする。（別添1参照）

2. 施設設計

(1) 電気設備の概要

リサイクル燃料備蓄センターの電力は、東北電力ネットワーク株式会社の6.6kV回線から受電し、受変電施設に設置される6.6kV常用母線に接続され空気圧縮機に給電する。また、変圧器により420Vに降圧した後、受変電施設に設置される420V常用母線、210V常用母線及び105V常用母線と使用済燃料貯蔵建屋付帯区域2階の電気品室内に設置される420V常用母線、210V常用母線及び105V常用母線から各負荷へ給電する。外部電源喪失時には、無停電電源装置から計測設備、放射線監視設備、通信連絡設備等へ給電する。無停電電源装置の給電可能時間を超える外部電源喪失が発生した場合は、電源車から無停電電源装置に電気を供給することで、外部電源喪失後、約72時間の給電を可能とする。

ケーブル、ケーブルトレイ及び電線管材料には実用上可能な限り不燃性又は難燃性のものを使用する。ケーブルの難燃性はIEEE383（垂直トレイ燃焼試験）等の規格に適合したものとする。さらに、ケーブルトレイ及び電線管が区域及び区画の床若しくは壁を貫通する場合には、火災発生時の影響が他の区域や区画に波及しないよう対策を施す。

リサイクル燃料備蓄センターの単線結線図を第1図に、受変電施設内配置概略図を第2図に示す。

(2) 無停電電源装置

a. 無停電電源装置の設置場所

無停電電源装置は、原子炉施設において設置している直流電源（蓄電池）と同等で、十分な実績と信頼性を有するものとし、使用済燃料貯蔵建屋付帯区域2階電気品室内に設置する。（別添2参照）

無停電電源装置は定期的な試験検査を実施し、健全性を確認する。（別添3参照）

無停電電源装置の単線結線図を第3図に、無停電電源装置の設置位置概略図を第4図に示す。

b. 無停電電源装置の容量と電気を供給する設備

無停電電源装置は、金属キャスクの基本的安全機能が維持されている

ことを監視する設備や通信連絡するための設備に電気を供給する設備であり、外部電源喪失時にもこれらの設備が機能できるよう十分な容量を有する。

無停電電源装置から電気を供給する設備は以下の通り。

(a) 基本的安全機能が維持されていることを監視する設備

① 計測設備

- ・ 蓋間圧力監視装置（閉じ込め機能）
- ・ 表面温度監視装置（除熱機能）
- ・ 給排気温度監視装置（除熱機能）
- ・ 表示・記録装置

② 放射線監視設備

- ・ エリアモニタリング設備
- ・ 周辺監視区域境界固定モニタリング設備

(b) 通信連絡設備

- ・ 放送設備
- ・ 社内電話設備
- ・ 送受話器

(c) その他の設備

- ・ 入退域管理装置

無停電電源装置の容量は、これらの設備の設計容量の合計値よりも大きい容量（30kVA）としている。各設備の実際の消費電力は設計容量を超えないことから、無停電電源装置は十分な容量を有することになる。（別添4参照）

また、今後の既設設備のリプレースに伴い設計容量の超過が見込まれる場合には、各設備の実際の消費電力も参考にしたうえで無停電電源装置の容量を超過しないことを確認する。

なお、ガンマ線エリアモニタ及び中性子線エリアモニタを温めるヒータは無停電電源装置の負荷には含まれない。ヒータ電源は105V 常用母線から給電される。外部電源喪失によるヒータ停止時には、気温を確認し、必要に応じ電源車から給電する。

c. 無停電電源装置の給電時間について

無停電電源装置から各負荷への給電可能時間は8時間としており、これを超える外部電源喪失が発生した場合には、電源車から無停電電源装置に電気を供給することで、監視と通信連絡を継続する。

(3) 電源車

a. 電源車の設置場所について

電源車の設置位置概略図を第5図に示す。

b. 電源車の容量について

電源車の容量は、無停電電源装置の給電可能時間を超える外部電源喪失が発生した場合の計測設備、放射線監視設備、通信連絡設備等の負荷容量を基に設定し、十分な容量を有する。

電源車の容量 : 250kVA

c. 電源車の給電時間

無停電電源装置の給電時間を超える外部電源喪失が発生した場合には、電源車から無停電電源装置に電気を供給することで、外部電源喪失後、約72時間の給電を可能とする。

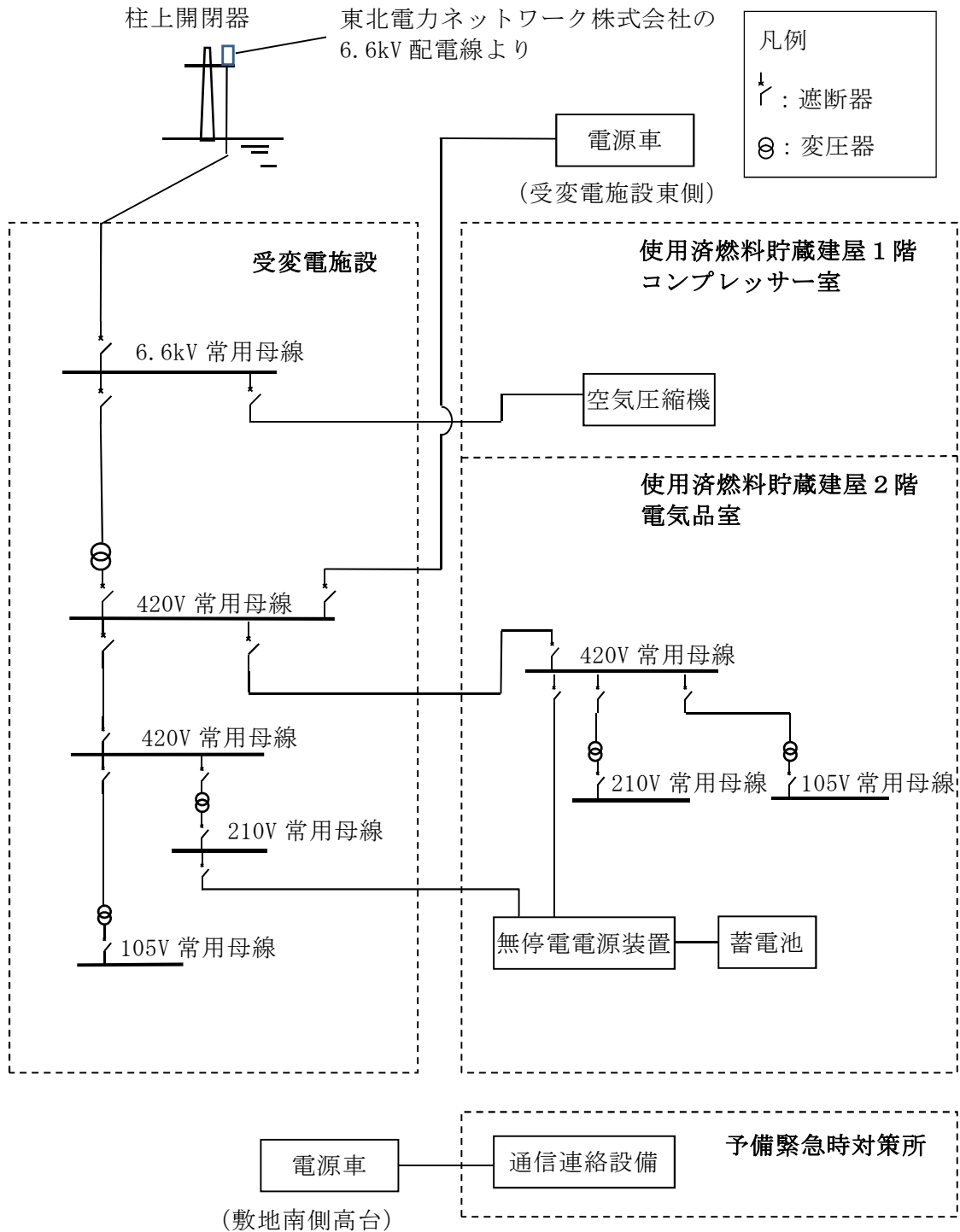
そのために、敷地南側高台に地下式の軽油貯蔵タンクを設ける。

d. 据置型発電機

電源車のバックアップ用の自主設備として、受変電施設東側に据置型発電機を設ける。

据置型発電機[※]の容量 : 270kVA

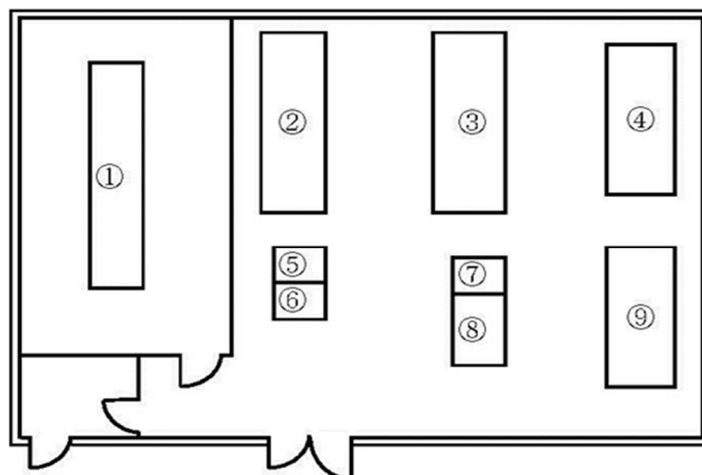
※厳冬期の運用は除く



通常時、電源車は敷地南側高台に設置

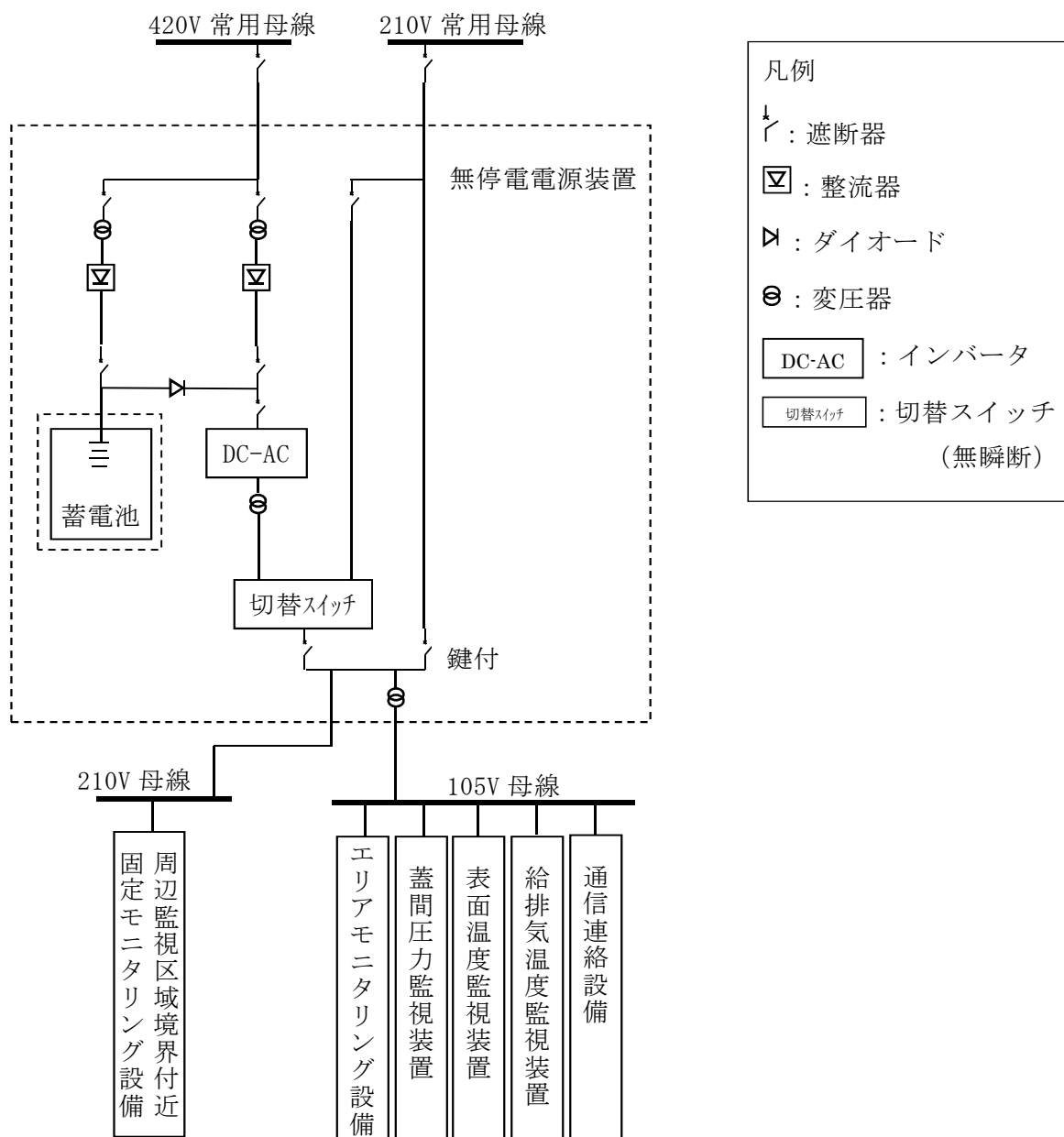
外部電源喪失時には受変電施設東側に移動して給電

第1図 リサイクル燃料備蓄センターの単線結線図

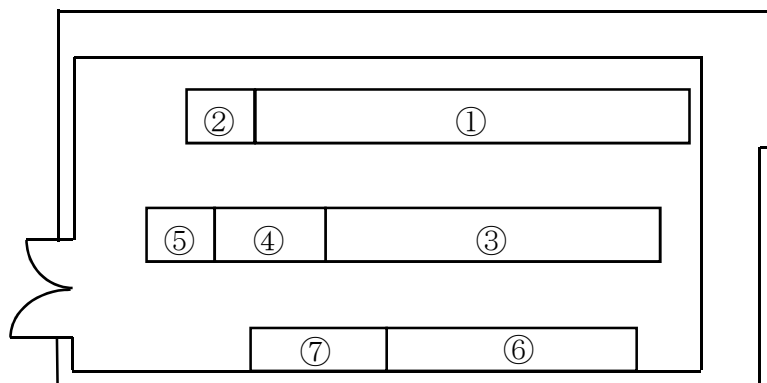
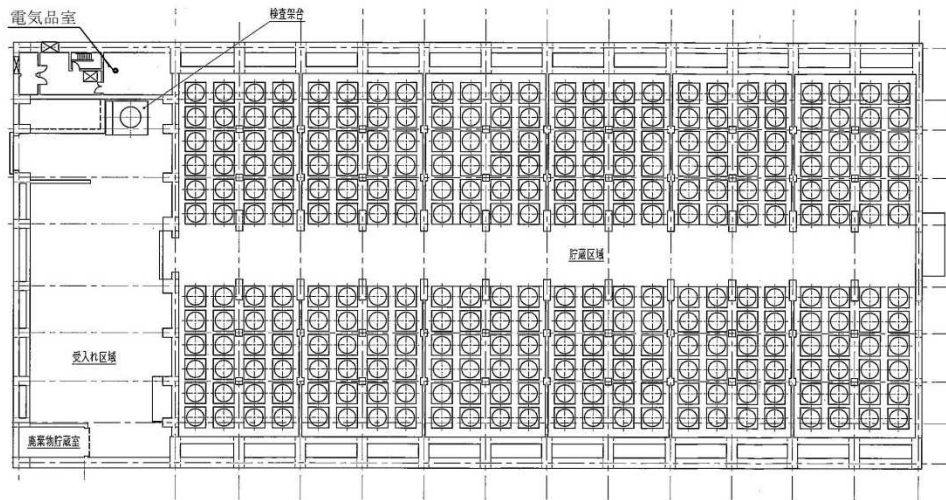


配置図番号	装置名称	盤名称
①	蓄電池	(盤なし)
②	共用無停電電源装置	充電器盤
		無停電電源装置 (インバータ盤)
		無停電電源装置 (バイパス入力盤)
		無停電電源装置 (出力盤)
③	420V 常用母線	420V P/C
④	電圧変動抑制装置	電圧変動抑制装置
⑤	進相コンデンサ	進相コンデンサ
⑥	高調波抑制装置	高調波抑制装置
⑦	直流電源装置	直流電源装置
⑧	420V 常用母線	420V 電源盤
⑨	6.6kV 常用母線	6.6kV M/C

第 2 図 受変電施設内配置概略図

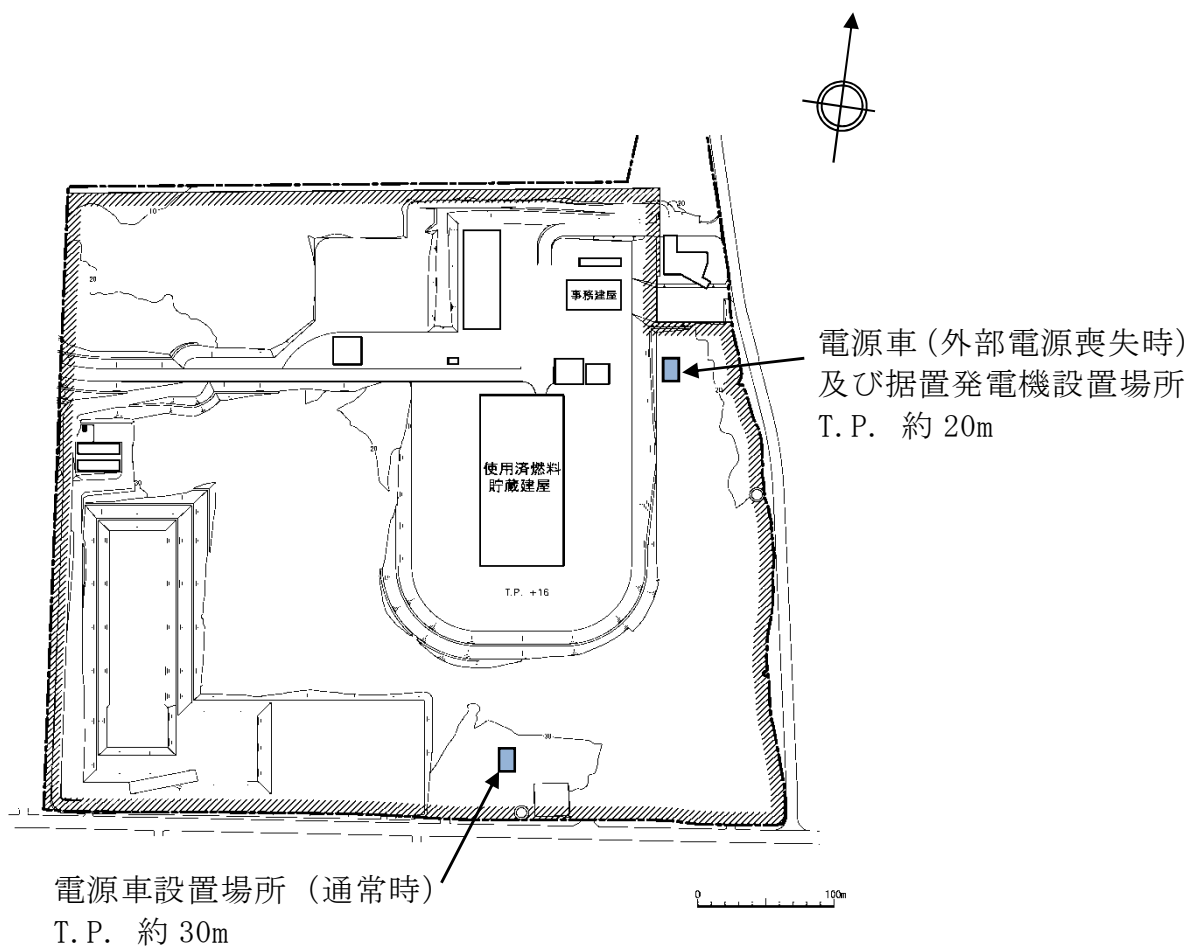


第3図 無停電電源装置の単線結線図



配置図番号	装置名称	盤名称
①	蓄電池	無停電電源装置（蓄電池盤）
②	210V 常用母線	210V 電源盤
③	無停電電源装置	充電器盤
		無停電電源装置（整流器盤）
		無停電電源装置（インバータ盤）
		無停電電源装置（出力盤）
④	照明用電源盤	照明用電源盤（210V フィーダ盤）
		照明用電源盤（105V フィーダ盤）
⑤	105V 常用母線	105V 電源盤
⑥	420V 常用母線	420V コントロールセンタ
⑦	無停電分電盤	貯蔵建屋無停電分電盤

第4図 無停電電源装置の設置位置概略図



※津波襲来時に備え、電源車は常時敷地南側の高台 (T.P. 約 30m) に設置する。
 外部電源喪失時には、電源車を受変電設備東側 (T.P. 約 20m) へ移動し給電する。

第 5 図 電源車の設置位置概略図

火災感知設備，誘導灯及び保安灯の設計方針について

火災感知設備，誘導灯等の消防用設備は「消防法」に基づき設計しているが，一部の設備は所轄消防署との協議により変更することが認められている。具体的な設計方針を別添 1-1 表に示す。

火災感知設備は，外部電源が喪失しても有効な蓄電池（60 分間監視後に 10 分以上吹鳴）を有している。また，上記に加え，受変電施設に設置している無停電電源装置及び自主的に出入管理建屋に設置している無停電電源装置から給電される設計とする。

貯蔵建屋内の通路誘導灯及び避難口誘導灯は，外部電源が喪失しても有効な蓄電池（20 分以上作動）を有している。また，所轄消防署との協議により，受変電施設に設置している無停電電源装置（8 時間給電）から給電される保安灯を設置することで，通路誘導灯の一部の設置が免除されている。

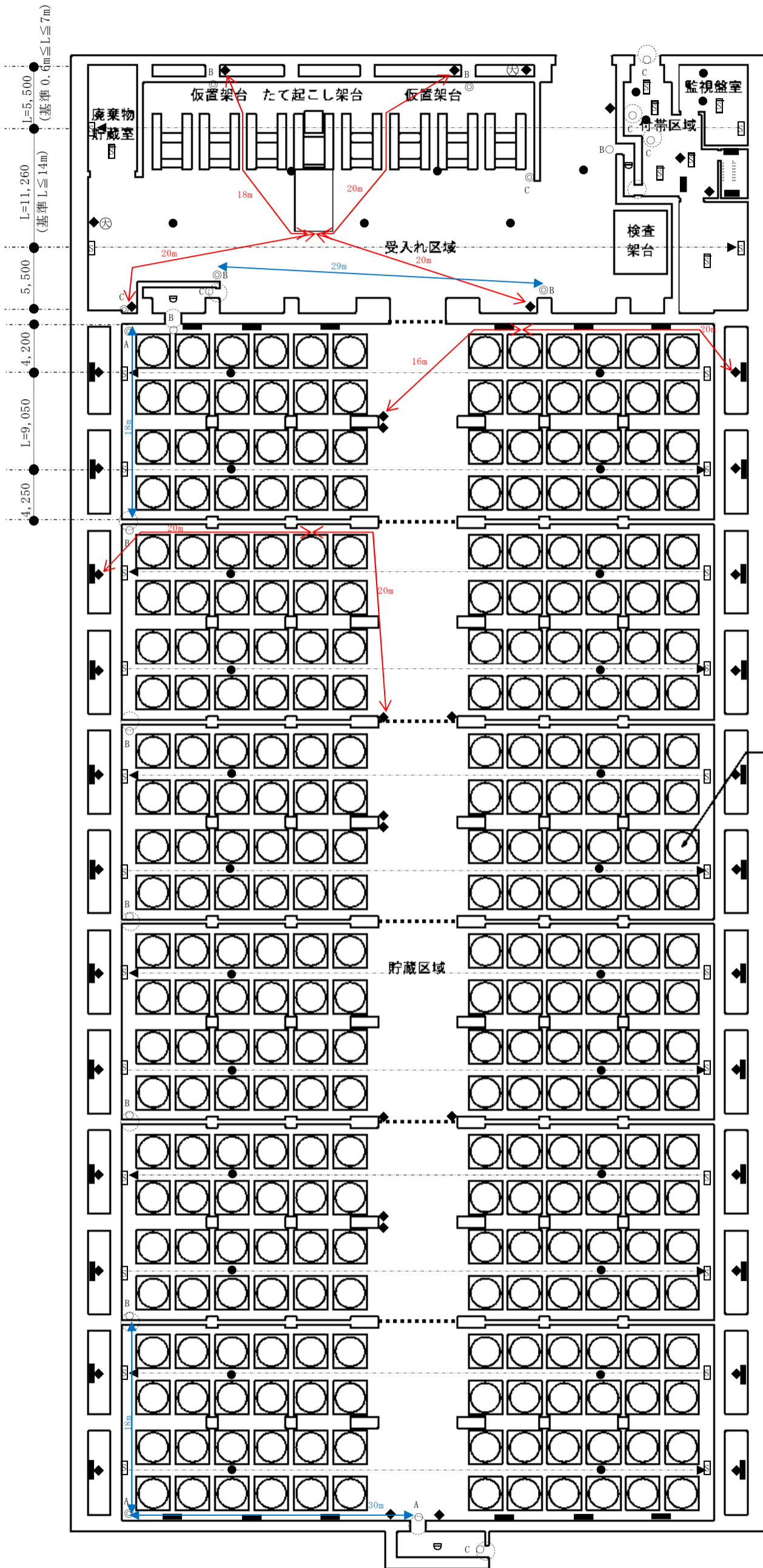
なお，建築基準法で要求される非常用の照明装置は，貯蔵建屋に居室がないことから設置義務はないが，保安灯により必要な床面の照度を確保している。

別添 1 - 1 表 消防法令，規則，及び所轄消防署協議に基づく設計方針について

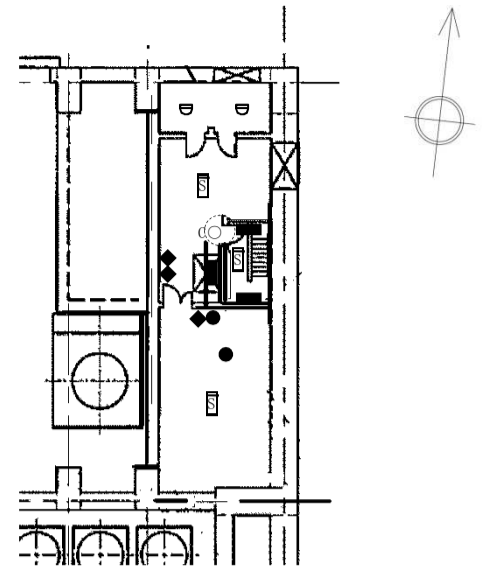
法令番号	法令項目	法令	規則，技術基準，又は所轄消防署協議	設計方針
法 17 条	消防用設備等の設置，維持	「倉庫」としての適用を受ける。 「消防用設備等」を設置し維持する。	—	—
施行令 6 条	防火対象物の指定	別表第 1 「(14) 倉庫」として取扱う。	—	—
施行令 10 条	消火器具に関する基準	・延べ面積が 150m ² 以上のもの ・建築物の地階，無窓階又は 3 階以上の階で，床面積が 50m ² 以上のもの 上記に該当するため，技術上の基準に従い「消火器具」を設置する。	・消防法別表 1 「(14) 倉庫」で「主要構造部を耐火構造とし，かつ，壁・天井の室内に面する部分の仕上げが難燃材料のもの」の場合は以下の通り。 ①消火器具の設置(規 6-1・2)：能力単位の数値の合計数 \geq (延面積又は床面積) / 200m ² =延面積 8,030m ² / 200m ² =41 ②歩行距離(規 6-6)：各部分から歩行距離 20m 以内に設置	①受入れ区域：能力単位 3 × 7 台 + 能力単位 10 (大型) × 2 台 = 能力単位 41 貯蔵区域：能力単位 3 × 36 台 = 能力単位 108 合計：能力単位 149 (>41) ②各部分から歩行距離 20m 以内に消火器を設置する。 別添 1 - 1 図 参照
施行令 11 条	屋内消火栓設備に関する基準	・延べ面積が 1,400m ² 以上 (準耐火構造で内装制限したもの) のもの ・建築物の地階，無窓階又は 4 階以上の階で床面積が 300m ² 以上のもの 上記に該当するため設置が必要であるが，施行令 11-4 より「動力消防ポンプ設備」を設置する場合は除外。	—	「動力消防ポンプ設備」を設置するため設置除外。
施行令 12 条	スプリンクラー設備に関する基準	ラック式倉庫，11 階以上の階の用に該当しないため設置対象外とする。	—	—
施行令 13 条	水噴霧消火設備等を設置すべき防火対象物	指定可燃物を貯蔵，駐車のために該当しないため設置対象外とする。	—	—
施行令 19 条	屋外消火栓設備に関する基準	1 階又は 1 階及び 2 階部分の床面積の合計が ・準耐火建築物の場合 6,000m ² 以上 上記に該当するため設置が必要であるが，施行令 19-4 より「動力消防ポンプ設備」を設置する場合は除外。	—	「動力消防ポンプ設備」を設置するため設置除外。

法令番号	法令項目	法令	規則, 技術基準, 又は所轄消防署協議	設計方針
施行令 20 条	動力消防ポンプ設備に関する基準	<ul style="list-style-type: none"> ・屋内消火栓設備, 屋外消火栓設備の設置対象物のため「動力消防ポンプ」の設置適用を受ける。 ①動力消防ポンプの配置(施行令 20-4-4) 水源の直近の場所に常置する。ただし, 自動車により牽引されるものは水源からの歩行距離が 1,000m 以内の場所に常置することとしてよい。 ②規格放水量(施行令 20-3) 屋外消火栓設備の設置を必要とするもの: 0.4m³/分以上 ③水源の配置(施行令 20-4-1) 規格放水量 0.5m³/分以上のもの: 水平距離(半径) ≤ 100m ④消防用ホースの長さ(施行令 20-4-2) 規格放水量 0.5m³/分以上のもの: 水平距離(半径) ≤ 100m ⑤水源の水量(施行令 20-4-3) 規格水量で 20 分間放水できる水量以上とする。ただし水量が 20m³ 以上となる場合は 20m³ としてよい。 	<p>④について</p> <p>所轄消防署協議により, 最大水平歩行距離を有効に消火できるホース長を確保すること。(最大水平歩行距離は約 160m)</p>	<p>①事務建屋北側車庫に設置する。水源から最大水平歩行距離 300m (<1,000m)</p> <p>②規格放水量 1.0m³/分 (>0.4m³/分)</p> <p>③貯蔵建屋は半径 100m の円内に包含されるよう, 水源を建屋南北に配置する。</p> <p>④20m 消火ホース 10 本用意し水平歩行距離 200m とする。(>160m)</p> <p>⑤40m³/基を 2 基設置 = 80m³ (>20m³ ← 規格放水量 1.0m³/分 × 20 分 = 20m³)</p> <p>別添 1 - 2 図 参照</p>
施行令 21 条	自動火災報知設備に関する基準	<ul style="list-style-type: none"> ・延べ面積が 500m² 以上のもの ・建築物の地階, 無窓階又は 3 階以上の階で, 床面積が 300m² 以上のもの <p>上記に該当するため「自動火災報知設備」を設置する。</p>	<p>①受信機: 常時監視員がいる場所に受信機を設置する。</p> <p>②感知器: 大空間部は光電式分離型感知器, 小空間部は煙感知器, 湿気が滞留する場所は熱感知器を設置する。</p> <p>所轄消防署協議により,</p> <p>①受信機については, 出入管理建屋に設置し, 貯蔵建屋内には表示器を設置する。</p> <p>②感知器については, センタータワー部, 給気風洞部には感知器の設置は不要。</p>	<p>①受信機を出入管理建屋と事務建屋に設置し, 表示機を貯蔵建屋監視盤室に設置する。</p> <p>②受入れ区域・貯蔵区域: 光電分離型感知器, 前室: 熱感知器, その他室: 煙感知器を設置する。</p> <p>ただし, センタータワー部, 給気風洞部には設置しないものとする。</p> <p>別添 1 - 1 図, 別添 1 - 2 図 参照</p> <p>火災感知設備は外部電源が喪失しても有効な蓄電池 (60 分監視後に 10 分以上吹鳴) を有している。また, 上記に加え, 受変電施設に設置している無停電電源装置及び自主的に出入管理建屋に設置している無停電電源装置から給電される設計とする。</p>

法令番号	法令項目	法令	規則, 技術基準, 又は所轄消防署協議	設計方針
施行令 24 条	非常用警報器具又は非常用警報設備に関する基準	無人のため設置対象外とする。	—	—
施行令 25 条	避難器具に関する基準	無人のため設置対象外とする。	—	—
施行令 26 条	誘導灯及び誘導標識に関する基準	・地階, 無窓階の部分には避難口誘導灯, 通路誘導灯を設置 上記に該当するため, 「誘導灯」を設置する。	①規 28-3 より避難口誘導灯はC級以上, 通路誘導灯はC級以上 ②所轄消防署協議により, 受変電施設に設置している無停電電源装置(8時間給電)から給電される保安灯を設置することで, 貯蔵区域内の一部の通路誘導灯は設置免除。	①②により避難口誘導灯はA級(60m)・B級(30m)・C級(15m), 通路誘導灯はA級(20m)・B級(15m)・C級(10m)を設置する。(カッコ内は有効距離を示す。)ただし, ②により貯蔵区域内は特定防火設備を通過する西側のみに誘導灯を設置する。 別添 1-1 図 参照
施行令 27 条	消防用水に関する基準	・敷地面積 20,000m ² 以上あり, かつ1階及び2階の床面積の合計が ・耐火建築物の場合 15,000m ² 以上 ・準耐火建築物の場合 10,000m ² 以上のもの 上記に該当しないため, 設置対象外。	—	—
施行令 28 条	排煙設備に関する基準	防火対象物が「(14)倉庫」であり該当しないため, 設置対象外。	—	—
施行令 28 条の2	連結散水設備に関する基準	・地階の床面積の合計が 700m ² 以上のもの 上記に該当しないため, 設置対象外。	—	—
施行令 29 条	連結散水管に関する基準	・地階を除く階数が 7 以上 ・又は地階を除く階数が 5 以上で延べ面積が 6,000m ² 以上のもの 上記に該当しないため, 設置対象外。	—	—
施行令 29 条の2	非常用コンセント設備に関する基準	・地階を除く階数が 11 以上に設置が必要 上記に該当しないため, 設置対象外。	—	—



(使用済燃料貯蔵建屋 1階平面図 T.P.+16.3m)



(2階平面図 T.P.+21.6m)

○光電分離型感知器の高さ基準

【受入れ区域】

感知器高さ $h=19,000$, 天井高さ $H=22,200$
 $\rightarrow h \approx 0.85H > 0.8H$ (基準)

【貯蔵区域】

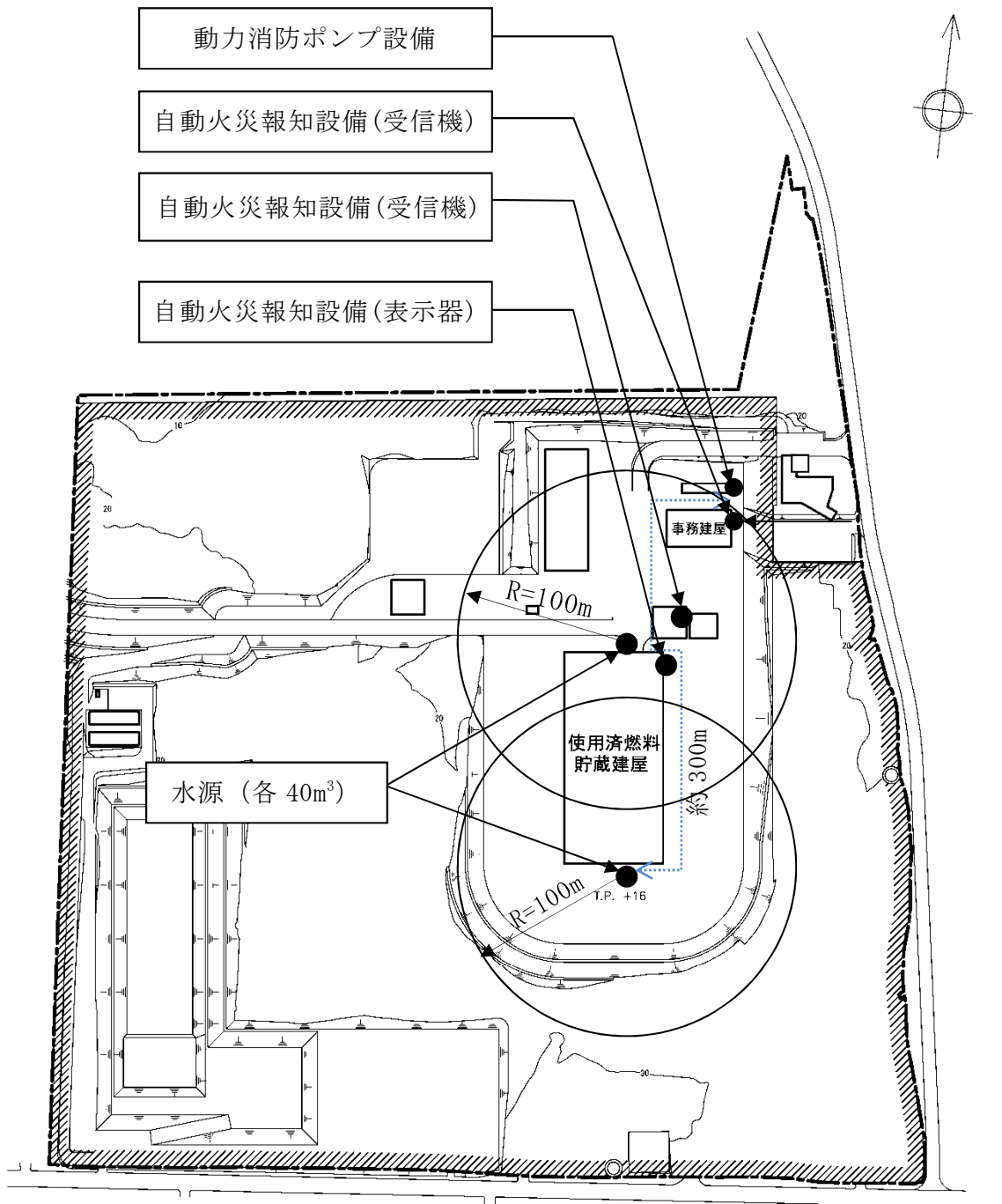
感知器高さ $h=9,800$, 天井高さ $H=11,500$
 $\rightarrow h \approx 0.85H > 0.8H$ (基準)

金属キャスク

【凡例】

- 保安灯 (天井)
- 保安灯 (壁)
- 避難口誘導灯 (壁)
- ◎ 通路誘導灯 (壁)
- ↔ 歩行距離
- ⋯ 防火シャッター
- ⌈ ⌋ 光電分離型感知器
- 避難経路の扉
- 光電分離型光軸
- ◆ 消火器 (大: 大型)
- ⊖ 熱感知器
- ⌈ ⌋ 煙感知器

別添 1 - 1 図 消防用設備配置図 (貯蔵建屋内)



- 動力消防ポンプ設備
- 自動火災報知設備(受信機)
- 自動火災報知設備(受信機)
- 自動火災報知設備(表示器)

水源 (各 40m³)

使用済燃料
貯蔵建屋
約 300m

R=100m

R=100m
I.P. +16

0 100m

- 凡例
- モニタリングポスト
 - //// 周辺監視区域境界
 - 敷地境界

別添 1 - 2 図 消防用設備配置図 (貯蔵建屋外)

無停電電源装置の水素対策について

無停電電源装置の蓄電池は水素ガスが発生し難い構造である制御弁式据置型鉛蓄電池を使用する。制御弁式据置型鉛蓄電池は浮動充電中には充電エネルギーはすべて充電のために消費され水素ガスは発生しない。充電終期以降では、充電エネルギーは水の電気分解に消費され陽極板から酸素ガスが発生し、その酸素ガスは陰極板及び電解液と反応し陰極板の一部を放電状態とし、陰極板からの水素ガス発生を抑える構造とする。また、無停電電源装置は、整流器過電圧時に整流器を停止する保護機能があり、これにより水素の発生を防止する設計とする。

電気品室は付帯区域換気空調設備により換気する。

無停電電源装置の試験検査について

無停電電源装置の機能が維持されていることを確認するため、模擬信号の入力により警報確認試験及びインターロック確認試験を1回／年程度実施する。

警報確認試験：

無停電電源装置の各警報要素を電氣的に模擬することにより、所定の警報及び表示灯が動作することを確認する。

インターロック確認試験：

無停電電源装置の保護動作条件を電氣的に模擬することにより、所定の動作を確認する。

無停電電源装置の負荷について

別添 4 - 1 表 無停電電源装置負荷概要

設 備		負 荷	設計容量*
計測設備	蓋間圧力監視装置	信号入出力装置 1 ~ 6	4.32kVA
	表面温度監視装置	信号入出力装置 7	0.59kVA
	給排気温度監視装置	圧力変換器給電盤 1 ~ 6	3.60kVA
	表示・記録装置	キャスク監視盤	2.88kVA
		表示・記録装置 (監視盤室)	0.18kVA
		表示・記録装置 (モニタールーム)	0.19kVA
		表示・記録装置 (宿直前室)	0.18kVA
		表示・記録装置 (緊急時対策室)	0.18kVA
			小計 11.05kVA
放射線監視設備	エリアモニタリング設備	エリア放射線モニタ監視盤	2.00kVA (0.55kVA)
	周辺監視区域境界付近固定	環境監視盤	2.00kVA (0.24kVA)
	モニタリング設備	モニタリングポスト電源盤 (MP-A)	2.50kVA (1.44kVA)
		モニタリングポスト電源盤 (MP-B)	3.00kVA (1.93kVA)
		光変換器	0.30kVA
		小計 9.80kVA (4.46kVA)	
通信連絡設備	放送設備	放送設備	1.60kVA
	社内電話設備	社内電話設備	1.20kVA
	送受話器	送受話器	2.00kVA
		小計 4.80kVA	
その他	入退域管理装置	入退域管理装置 1	0.50kVA (0.43kVA)
	将来設置機器	入退域管理装置 2	0.50kVA (0.17kVA)
		線量計充電器・設定器	0.47kVA (0.38kVA)
		将来設置機器	1.25kVA
			小計 2.72kVA (2.23kVA)
合計			28.37kVA (22.54kVA)

* () 内は工場での消費電力測定検査の実績値, あるいは実績値を一部含む値

無停電電源装置の給電時間について

無停電電源装置の給電時間については、敷地周辺での過去の停電時間（昭和62年から平成22年2月において最長約5時間）及び原子炉施設（BWR）における蓄電池の給電時間（8時間）を考慮して8時間とした。

一方、東日本大震災では8時間を超える（約24時間）停電が発生していることから、長時間にわたる外部電源喪失対策として電源車を設ける。電源車に燃料を補給するために、敷地南側高台に地下式の軽油貯蔵タンクを設ける。

第 21 条 通信連絡設備等

<目 次>

1. 設計方針
2. センター内の通信連絡設備等
3. センター外との通信連絡設備
4. 避難通路等

(別 添)

- 別添 1 通信連絡設備全般について
- 別添 2 センター内外の連絡事象および連絡体制について
- 別添 3 通信連絡設備の試験・検査について
- 別添 4 センター外必要箇所との連絡について
- 別添 5 保安灯の照度や設置位置について

1. 設計方針

リサイクル燃料備蓄センター内の通信連絡設備は、事務建屋及び使用済燃料貯蔵建屋等から異なる手段により通信連絡できるように、異なる機器で構成された送受話器及び社内電話設備を設置し、事故時に迅速な連絡を可能にするとともに、事務建屋及び使用済燃料貯蔵建屋等からリサイクル燃料備蓄センター内に居る全ての人に対して的確に指示及び警報を発報することができる設計とする。

リサイクル燃料備蓄センターとリサイクル燃料備蓄センター外必要箇所との通信連絡設備は、異なる手段により通信連絡できるように加入電話設備及び衛星携帯電話を設ける設計とする。

使用済燃料貯蔵建屋には、「消防法」及び所轄消防署協議に基づき、通常の照明用の電源が喪失した場合においても機能する避難用の照明として、誘導灯及び保安灯を設ける設計とし、かつ、単純、明確及び永続性のある標識を設けることにより安全避難通路を確保する。

2. センター内の通信連絡設備等（第1図，第2図参照）

2.1 センター内通信連絡設備

センター内通信連絡設備は，それぞれ異なる機器で構成された送受話器，社内電話設備により多様性を確保する設計とする。（別添1，別添2参照）

2.1.1 送受話器

送受話器は，ハンドセット，パケット交換機，放送設備，スピーカから構成され，事務建屋及び使用済燃料貯蔵建屋のほか，センター内各所に設置したハンドセットを通じ，相互に必要な指示・連絡が可能な設計とする。

(1) ハンドセット

- a. ハンドセットとは，設置個所から他の設置個所等へ送受話する機器をいう。
- b. ハンドセットは，事務建屋及び使用済燃料貯蔵建屋のほか，センター内各所に設置する。
- c. ハンドセットの電源は，パケット交換機から給電する。

(2) パケット交換機

- a. パケット交換機とは，ハンドセットを制御し，他のハンドセット及び放送設備と接続する中継通信機器をいう。
- b. パケット交換機は，事務建屋及び使用済燃料貯蔵建屋に設置している。
- c. パケット交換機の電源は，無停電電源装置から給電する。

(3) 放送設備

- a. 放送設備は，センター内各所へスピーカにより放送する機器をいう。
- b. 放送設備は事務建屋に設置する。放送設備に付属する警報装置を事務建屋，使用済燃料貯蔵建屋及び予備緊急時対策所に設置する。
- c. 放送設備の電源は，無停電電源装置から給電する。

(4) スピーカ

- a. スピーカは，事務建屋及び使用済燃料貯蔵建屋のほか，センター内各所に設置する。
- b. スピーカの電源は，放送設備から給電する。

2.1.2 社内電話設備

社内電話設備は、固定電話機、PHS端末、PHS基地局、電話交換機から構成され、事務建屋及び使用済燃料貯蔵建屋のほか、センター内各所から固定電話機、PHS端末を通じ、相互に必要な指示・連絡が可能な設計とする。

(1) 固定電話機

- a. 固定電話機は、電話交換機と有線で接続し、送受話する機器をいう。
- b. 固定電話機は、事務建屋及び使用済燃料貯蔵建屋のほか、センター内各所に設置する。
- c. 固定電話機の電源は、電話交換機から給電する。

(2) PHS端末

- a. PHS端末は、PHS基地局と無線で接続し、送受話する機器をいう。
- b. PHS端末は、センター員に配備する。
- c. PHS端末の電源は、本体内蔵の蓄電池から給電する。
- d. PHS端末は、試験検査を実施する。(別添3参照)

(3) PHS基地局

- a. PHS基地局は、電話交換機と有線で接続し、PHS端末と無線で接続する中継通信機器をいう。
- b. PHS基地局は、事務建屋及び使用済燃料貯蔵建屋のほか、センター内各所に設置する。
- c. PHS基地局の電源は、電話交換機から給電する。

(4) 電話交換機

- a. 電話交換機は、固定電話機、PHS端末及びPHS基地局を制御する機器をいう。
- b. 電話交換機は事務建屋に設置する。
- c. 電話交換機の電源は、無停電電源装置から給電する。

2.2 警報装置

警報装置は、放送設備と接続し、事務建屋、使用済燃料貯蔵建屋及び予備緊急時対策所から警報を発報することが可能な設計とする。

3. センター外との通信連絡設備（第1図参照）

3.1 センター外通信連絡設備

センター外通信連絡設備には、事故時に迅速な通信連絡を行うことができるように、加入電話設備のほか衛星携帯電話を有し、センター外必要箇所と通信連絡が可能な設計とする。（別添1，別添2，別添4参照）

3.1.1 加入電話設備

加入電話設備は、電気通信事業者が提供する公衆交換電話網であって、公衆交換電話網に加入するセンター外の任意の場所と相互に通信連絡が可能な設計とする。

(1) 加入電話設備

- a. 加入電話設備のセンター外への通信伝送装置は、事務建屋に設置する。
- b. 加入電話回線には、輻輳による使用制限を受けない電気通信事業者による災害時優先電話を設定しているものを有する。

3.1.2 衛星携帯電話

センター外通信連絡設備としての衛星携帯電話は、センター外の必要箇所と通信連絡が可能な設計とする。

(1) 衛星携帯電話

- a. 衛星携帯電話は、衛星と無線で接続し、送受話する機器をいう。
- b. 衛星携帯電話は、事務建屋他、使用済燃料貯蔵建屋及び予備緊急時対策所に設置する。
- c. 衛星携帯電話の電源は、本体内蔵の蓄電池から給電する。
- d. 衛星携帯電話は、試験検査を実施する。（別添3参照）

4. 避難通路等（第3図，第4図，別添5参照）

使用済燃料貯蔵建屋には、「消防法」及び所轄消防署協議に基づき，退避用の照明として誘導灯及び保安灯を設置する。また，単純，明確及び永続性のある標識として誘導灯を設置して安全避難通路を確保する。

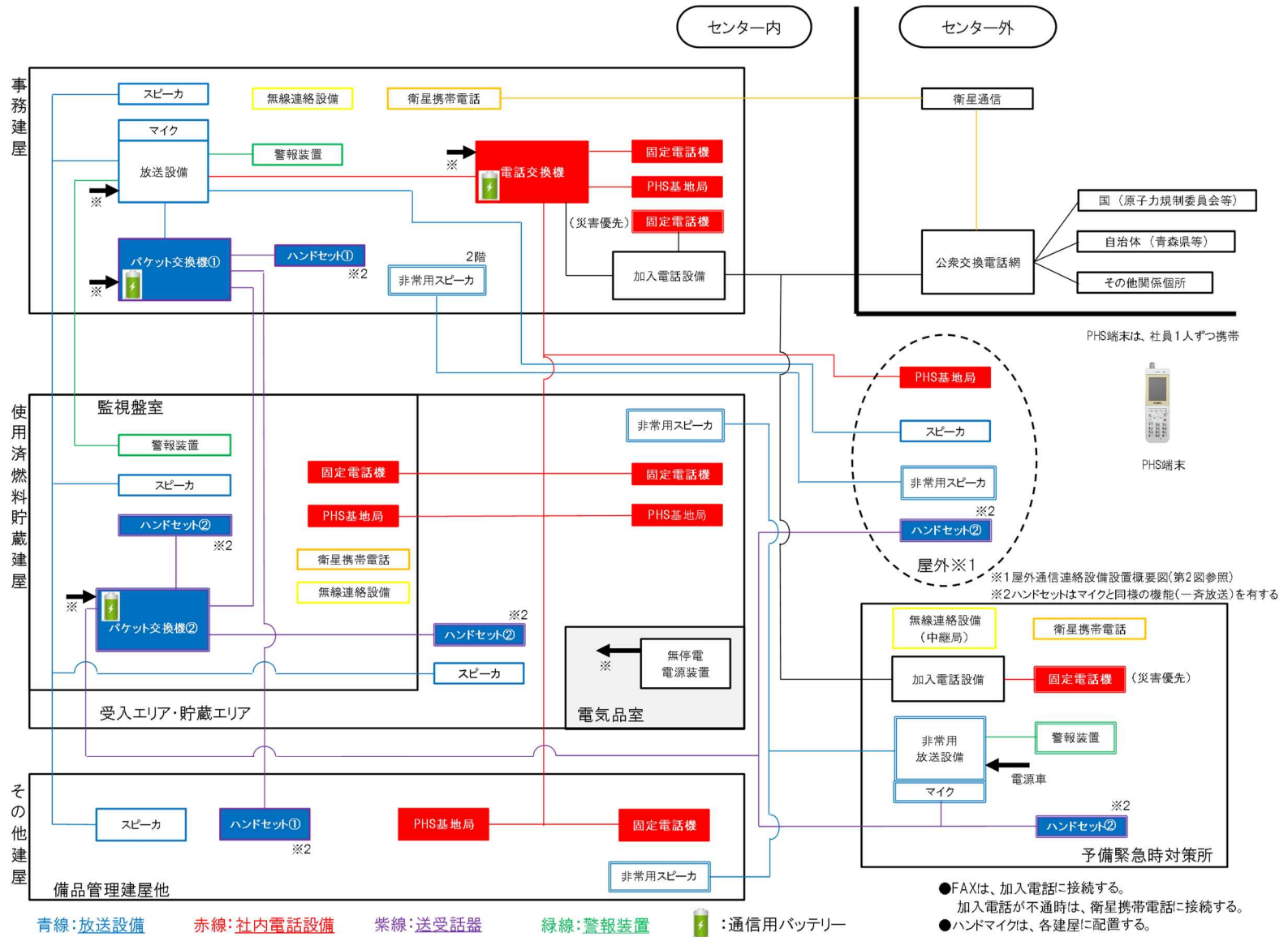
なお，第3図，第4図のとおり，貯蔵区域から退避する場合，天井に保安灯があるため，キャスク架台間から西側へ移動する通路を確認できる。次に，通路から西側を視野すると，通路延長線上に壁の保安灯が視認できる。理由は，人の目線より高く，且つ給気口下がり壁下端より低い位置に設置するため，避難上の視認性は十分である。

4.1 誘導灯

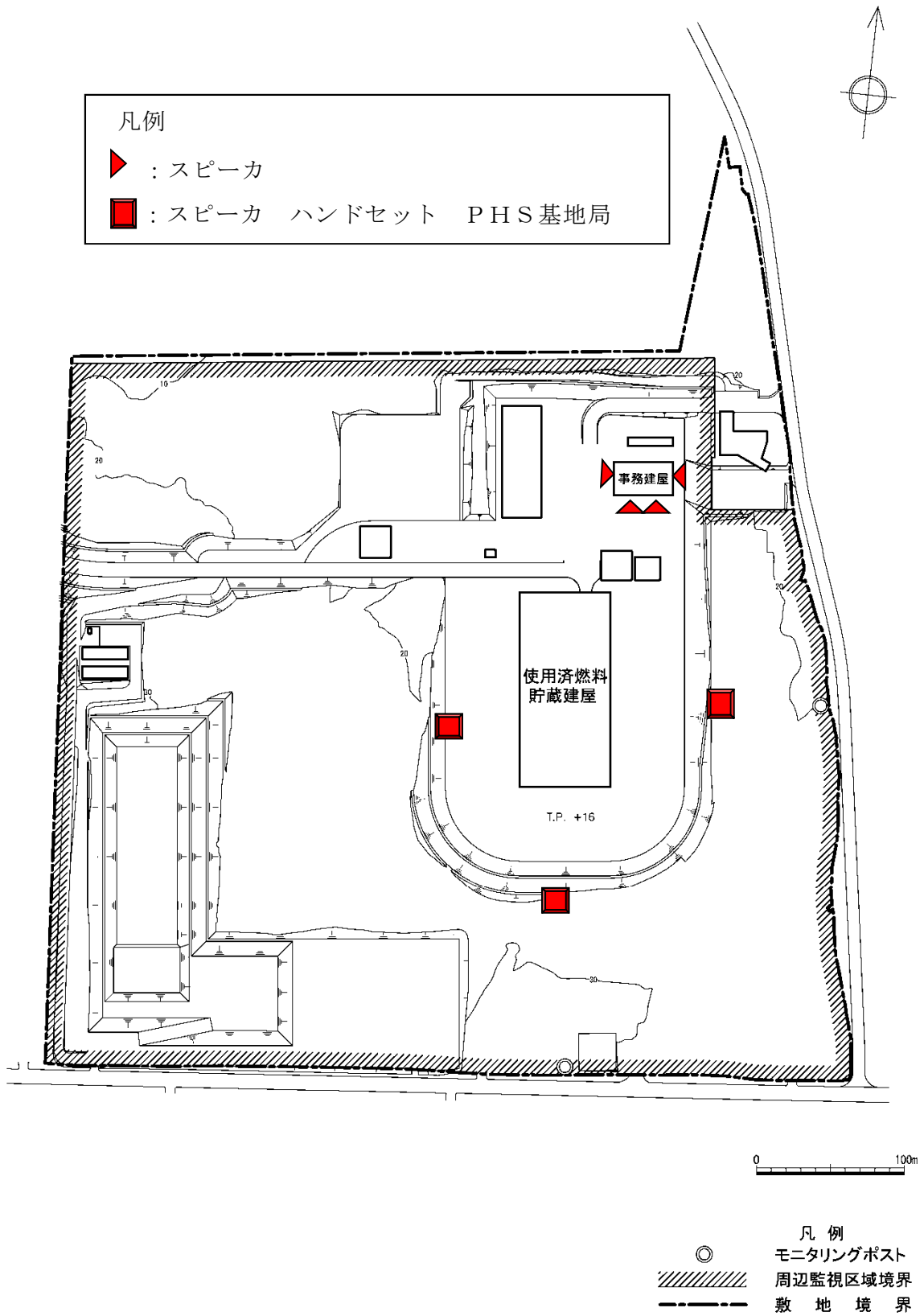
使用済燃料貯蔵建屋には、「消防法」に基づき通常の照明用電源が喪失した場合においても，蓄電池から給電する通路誘導灯と避難口誘導灯を設置する。また，保安灯を設置することにより，所轄消防署との協議により一部の通路誘導灯の設置が免除されている。

4.2 保安灯

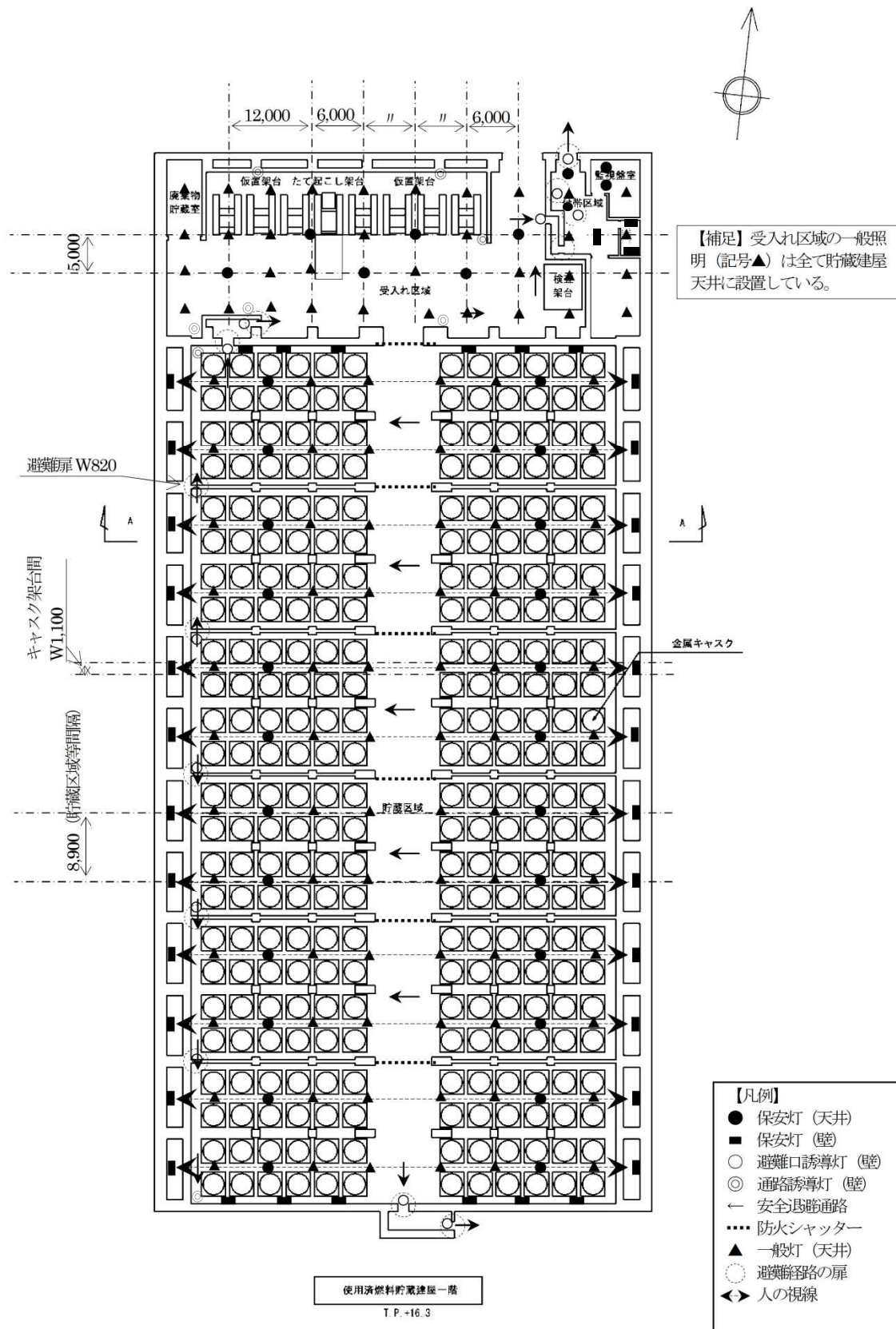
使用済燃料貯蔵建屋には，通常の電源が喪失した場合においても，所轄消防署との協議に基づき受変電施設に設置している無停電電源装置より給電される保安灯を設置して，照度を保つことにより安全避難通路を確保する。



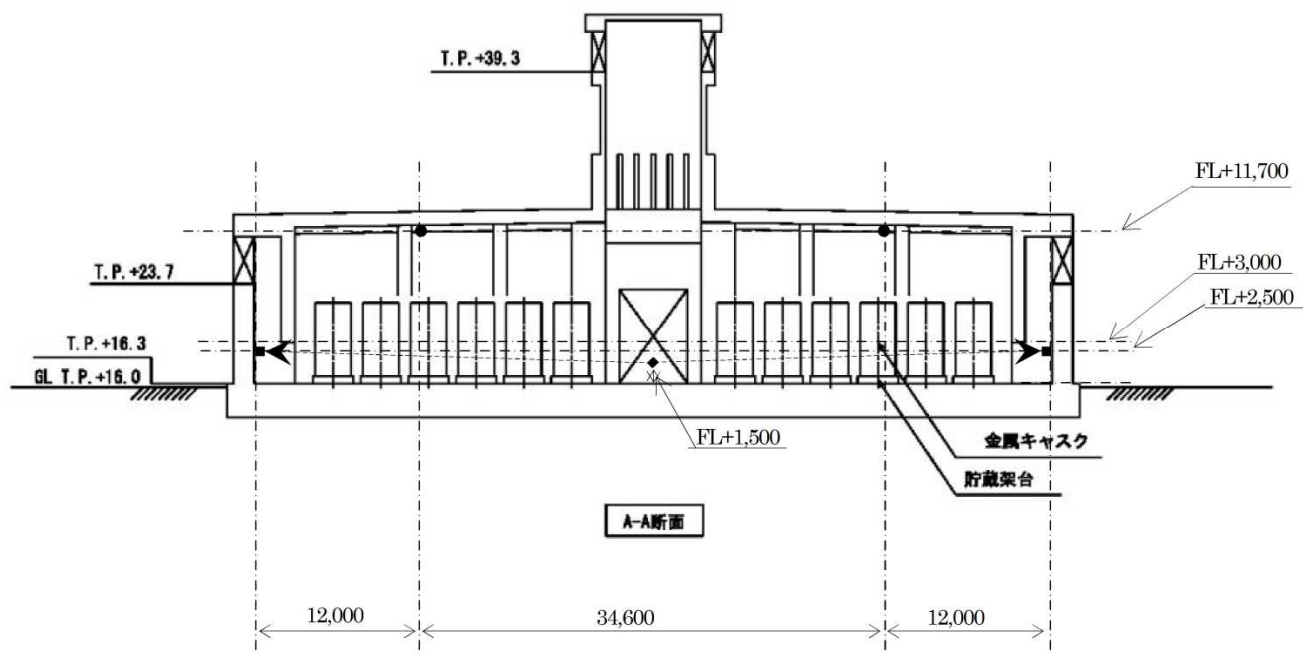
第1図 通信連絡設備概要



第2図 屋外通信連絡設備設置概要図



第3図 避難通路等設置位置図（キャスク有り）



第4図 避難通路等設置位置図 (A-A断面図) (キャスク有り)

通信連絡設備全般について

通信連絡設備は、センター内に連絡するために内線電話機能やページング機能（送受話器・社内電話設備を使用）や警報装置（サイレンを鳴動する装置）を設ける。また、衛星携帯電話及び無線連絡設備を設けて安全設計上想定される事故発生時にも確実に連絡できるようにする。

また、センター外必要箇所との連絡については、加入電話設備（災害時優先電話及び電話交換機経由電話）及び加入電話設備接続の F A X 並びに衛星携帯電話及び衛星携帯電話接続の F A X というそれぞれ異なる手段による通信連絡ができる設計とし、安全設計上想定される事故発生時にも確実に連絡できるものとする。（別添 1-1 表，別添 1-3 表，別添 1-4 表参照）

これらの通信連絡設備の電源についても、商用電源の供給停止時に電源を給電できるよう無停電電源装置や通信用バッテリー，蓄電池等を備える。（別添 1-2 表参照）

別添 1-1 表 通信連絡設備を使用して連絡する事項と故障時の対応

	通信連絡設備を使用して連絡する想定事象	平常時（第 1 図）	安全設計上想定される事故発生時	
			電源喪失	設備故障
リサイクル燃料備蓄センター内	<ul style="list-style-type: none"> 地震・火災等が発生した場合 注意報，警報（台風・竜巻・風雪等）が発令された場合 金属キャスクの落下等，想定される事象等が発生した場合 所内に連絡しなければならない事項が発生した場合 	<ul style="list-style-type: none"> 送受信器 社内電話設備 警報装置 衛星携帯電話 無線連絡設備 	各設備の電源及び代替電源設備にて対応 （別添 1-2 表参照）	各設備の多様性（異なる設備）にて対応 （別添 1-3 表，別添 1-4 表参照）
リサイクル燃料備蓄センター外	<ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料の貯蔵の事業に関する規則 第 43 条の十三 事故故障等の報告等が発生した場合 原子力災害対策特別措置法 第 10 条 原子力防災管理者の通報義務等が発生した場合 その他，所内に連絡しなければならない事項が発生した場合（保障措置・安全協定等） 	<ul style="list-style-type: none"> 加入電話設備 衛星携帯電話 		

別添 1-2 表 代替電源設備の供給可能時間を超えた場合の通信連絡設備の対応について

	主要設備		電源	代替電源設備	代替電源設備以上の停電時の対応
センター内の通信連絡設備	送受信器	ハンドセット	パケット交換機より供給	なし	衛星携帯電話・無線連絡設備・人によるハンドマイク等で代替
		パケット交換機	商用電源	無停電電源装置※ ¹ 通信用バッテリー※ ²	
		放送設備	商用電源	無停電電源装置※ ¹	
		スピーカ	放送設備より供給	なし	
	社内電話設備	固定電話機	電話交換機より供給	なし	
		電話交換機	商用電源	無停電電源装置※ ¹ 通信用バッテリー※ ²	
		PHS端末	蓄電池	蓄電池	
		PHS基地局	電話交換機より供給	なし	
	警報装置	警報装置	放送設備より供給	なし	
	衛星携帯電話	衛星携帯電話	蓄電池	蓄電池	
無線連絡設備	携帯型無線通話装置	蓄電池	蓄電池 乾電池※ ³	可搬型バッテリー，可搬型発電機等で充電または乾電池を交換することにより機能維持	
センター外の通信連絡設備	加入電話設備	加入電話	電気通信事業者の局舎より供給	なし	加入電話回線不通の場合は衛星携帯電話にて代替
	衛星携帯電話	衛星携帯電話	蓄電池	蓄電池	可搬型バッテリー，可搬型発電機等で充電することにより機能維持

※ 1 : 無停電電源装置により 8 時間通話可能。

※ 2 : 通信用バッテリーより， 8 時間通話可能。

※ 3 : 予備の乾電池を使用して， 3 日間の連続通話が可能。

別添1-3表 通信連絡手段と代替連絡手段

	設備名	通信連絡方法	使用機器	代替手段
センター内の通信連絡設備	送受信器	一斉放送(ページング)	放送設備, パケット交換, ハンドセット, スピーカ	<ul style="list-style-type: none"> ・故障の場合, 社内電話設備 ・人によるハンドマイク等による伝達
		内線電話	パケット交換機, ハンドセット	<ul style="list-style-type: none"> ・故障の場合, 社内電話設備 ・衛星携帯電話および無線連絡設備 ・人によるハンドマイク等による伝達
	社内電話設備	一斉放送(ページング)	放送設備, 電話交換機, 固定電話機, PHS端末, スピーカ	<ul style="list-style-type: none"> ・故障の場合, 送受信器 ・人によるハンドマイク等による伝達
		内線電話	電話交換機, 固定電話機, PHS端末	<ul style="list-style-type: none"> ・故障の場合, 送受信器 ・衛星携帯電話および無線連絡設備 ・人によるハンドマイク等による伝達
	警報装置	警報(サイレン)	放送設備, 警報装置, スピーカ	<ul style="list-style-type: none"> ・人によるハンドマイク等による伝達
	無線連絡設備	無線連絡	携帯型無線連絡設備	<ul style="list-style-type: none"> ・人によるハンドマイク等による伝達
センター外の通信連絡設備	加入電話設備	加入電話	メタル回線電話(災害時優先電話含む), 固定電話機	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星携帯電話
		FAX	メタル回線電話(災害時優先電話含む), FAX	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星携帯電話
		加入電話	電話交換機経由メタル回線電話, 固定電話機	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星携帯電話
		FAX	電話交換機経由メタル回線電話, FAX	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星携帯電話
	衛星携帯電話	衛星携帯電話	衛星携帯電話	<ul style="list-style-type: none"> ・加入電話設備
		FAX	衛星携帯電話, FAX	<ul style="list-style-type: none"> ・加入電話設備

別添 1-4 表 通信連絡設備の設置台数

	主要設備		通信回線	設置台数	設置場所	備考
センター内の通信連絡設備	送受話器	ハンドセット	有線	約 30 台	事務建屋他: 14 台 貯蔵建屋: 14 台 予備緊急時対策所: 2 台	
	社内電話設備	固定電話機	有線	約 50 台	事務建屋他: 43 台 貯蔵建屋: 5 台 予備緊急時対策所: 2 台	
		PHS端末	無線	約 100 台	社員 1 人ずつ及び協力会社に配備	
	警報装置	警報装置	有線	3 台	事務建屋他: 1 台 貯蔵建屋: 1 台 予備緊急時対策所: 1 台	
	衛星携帯電話	衛星携帯電話 ※1	無線	15 台	事務建屋他: 6 台 貯蔵建屋: 2 台 予備緊急時対策所: 7 台	事故時, 貯蔵建屋内監視盤室の通話は, 屋外アンテナにて監視盤室内で通話可能.
	無線連絡設備	携帯型無線連絡設備	無線	25 台	事務建屋他: 8 台 貯蔵建屋: 3 台 予備緊急時対策所: 14 台	
センター外の通信連絡設備	加入電話設備	加入電話	有線	15 台	事務建屋他: 11 台 貯蔵建屋: 2 台 予備緊急時対策所: 2 台	
		FAX	有線	2 台	事務建屋他: 1 台 予備緊急時対策所: 1 台	加入電話不通時は, 衛星携帯電話に接続
	衛星携帯電話	衛星携帯電話 ※1	無線	15 台	事務建屋他: 6 台 貯蔵建屋: 2 台 予備緊急時対策所: 7 台	事故時, 貯蔵建屋内監視盤室の通話は, 屋外アンテナにて監視盤室内で通話可能.
		FAX	無線	2 台	事務建屋他: 1 台 予備緊急時対策所: 1 台	

※1: センター内用とセンター外用で共用。

センター内外の連絡事象および連絡体制について

1. センター内連絡事象

センター内連絡事象として、以下を想定する。(別添 1-1 表参照)

- ・地震、火災等が発生した場合
- ・注意報、警報(台風、竜巻、風雪等)が発令された場合
- ・金属キャスクの落下等、想定される事象等が発生した場合
- ・所内に連絡しなければならない事項が発生した場合

上記事象が発生した場合、事象発見者(担当GM等)は連絡責任者に報告し、連絡責任者がセンター内連絡を行う。(別添 2-1 図参照)

役割は以下のとおり。

○事象発見者(担当GM等)は、以下の対応者等をいう。

(貯蔵GM等)

- ・監視員による監視・・・交替で 24 時間常駐し、貯蔵建屋内状況監視・パトロール・気象等の情報収集等を行うことにより異常を発見する。

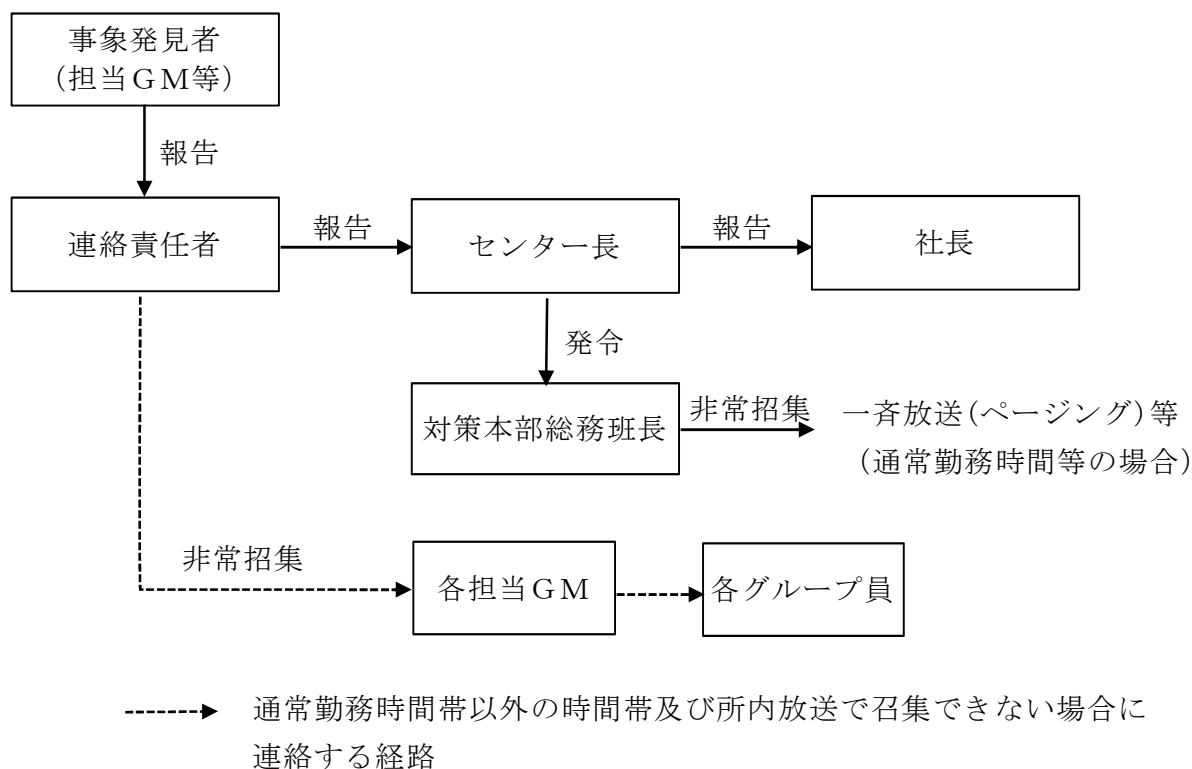
(防災安全GM等)

- ・警備員による監視・・・交替で 24 時間常駐し、火災報知器・侵入などの検知により異常を発見する。

○連絡責任者は、以下の対応者等をいう。

- ・技術安全部長等・・・平日日中の事故時等に対応する連絡責任者。
作業指示・センター内報告・センター外連絡を統括する。
- ・宿直者・・・休祝日および平日夜間に常駐し、事故時等に対応する連絡責任者。
センター内報告・センター外へ連絡を行うとともに統括する。

センター内の連絡手段は、常時携帯している P H S 端末(社内電話設備)または、ハンドセット(送受話器)を主に使用し連絡を行う。通信連絡設備に影響がある災害の場合は、多様性を確保している設備の中から使用可能な設備を使用し連絡を行うが、最終手段は人によるハンドマイク等で連絡を行う。



別添 2-1 図 事故発生時の社内連絡経路 (対策本部を設置した場合の例)

2. センター外連絡事象

センター外連絡事象は以下を想定する。(別添 1-1 表参照)

- ・使用済燃料の貯蔵の事業に関する規則
第 4 3 条の十三 事故故障等の報告等が発生した場合
- ・原子力災害対策特別措置法
第十条 原子力防災管理者の通報義務等が発生した場合
- ・その他、センター外に連絡しなければならない事項が発生した場合

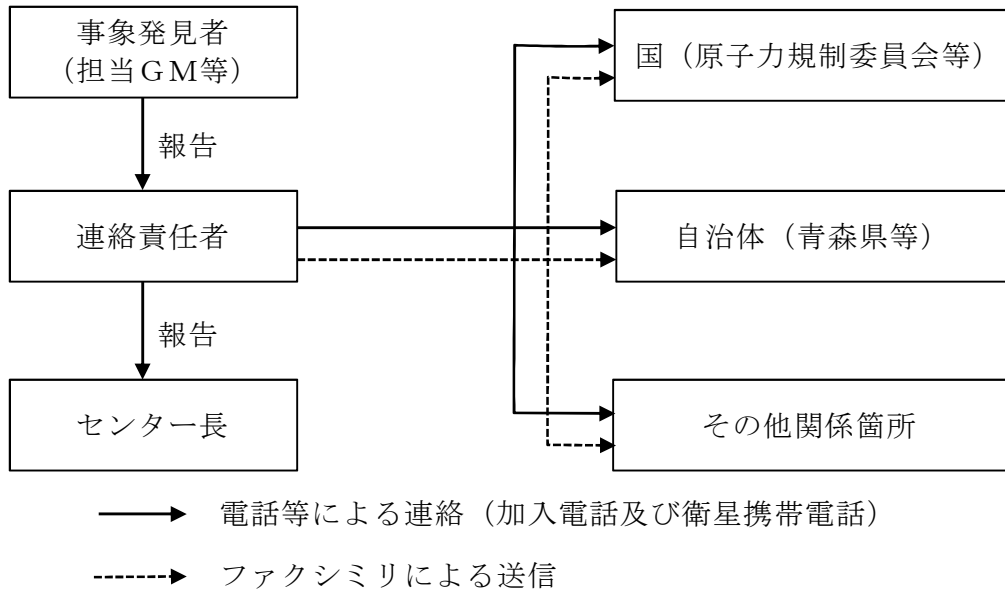
○上記事象が発生した場合の連絡手段

事故発生初期の連絡は、事象発見者(担当GM等)は連絡責任者に報告し、連絡責任者が関係機関へ連絡を行う。(別添 2-2 図参照)

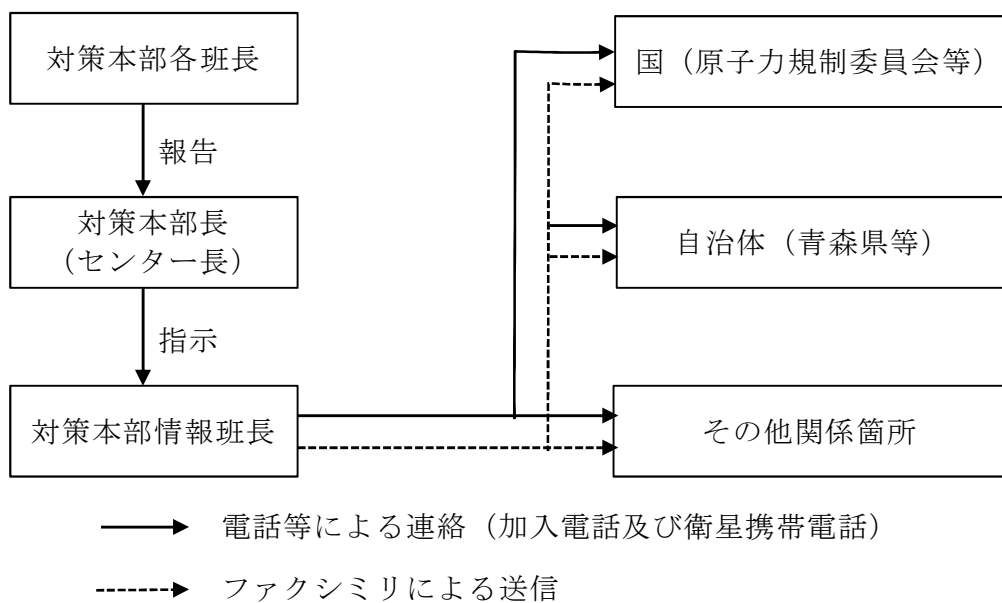
対策本部を設置した場合の連絡は、対策本部各班長が対策本部長へ事象

報告し、対策本部長が対策本部情報班長へ指示を出し関係機関へ連絡を行う。(別添2-3図参照)

センター外への連絡手段は、加入電話設備(FAX送信含む)、衛星携帯電話を利用し関係機関に連絡する。通信連絡設備に影響がある災害の場合は、多様性を確保している設備の中から使用可能な設備を使用し連絡を行う。



別添 2-2 図 事故発生初期の連絡経路



別添 2-3 図 事故発生時の連絡経路(対策本部を設置した場合の例)

通信連絡設備の試験・検査について

通信連絡設備について、「試験検査」を実施する。

試験検査内容は、保全プログラムに基づき外観点検，通話確認，数量確認を
1回／年の頻度で実施する。

(対象機器)

P H S 端末，衛星携帯電話，無線連絡設備

(試験検査項目)

- ・ 外観点検 : 損傷がないこと
- ・ 通話確認 : 発信が可能であること
 着信が可能であること
 通話可能であること
- ・ 数量確認 : 必要数あることを確認する

センター外必要箇所との連絡について

センター外必要箇所との連絡については、加入電話設備（災害時優先電話及び電話交換機経由電話）及び加入電話設備接続の F A X 並びに衛星携帯電話及び衛星携帯電話接続の F A X というそれぞれ異なる手段による通信連絡ができる設計としており、音声連絡及び F A X 送信も行える設備を設けている。

F A X にて伝送する内容・連絡先・使用設備は、以下とする。

- ・記載内容 : 件名, 発生日時, 状況等
- ・連絡先 : 国, 自治体, その他関係箇所
- ・使用設備 : 加入電話設備より F A X 送付を行う。

加入電話設備不通の場合, 衛星携帯電話に接続し F A X 送付(発信)を行う。

保安灯の照度や設置位置について

保安灯による床面設計照度は、受入エリア・貯蔵エリアとも 1 lx 以上である。床面設計照度根拠は建築基準法施行令第 126 条の 4（設置）に従うが、貯蔵建屋は居室がないため非常用の照明装置の設置義務はなく法令上床面設計照度は要求されない。しかしながら、停電時、安全に避難することを想定し建築基準法施行令第 126 条の 5（構造）の非常用の照明装置を使用した場合の床面設計照度 1 lx 以上に準拠している。

また、設置位置については、第 3 図、第 4 図のとおりで、平面的には天井の一般照明と保安灯を格子状に配列することを基本として設置しており、停電時、保安灯のみの点灯でも床面設計照度が 1 lx 以上となるよう保安灯の台数・配置を決定している。

避難通路の幅については、キャスク貯蔵架台間が 110 cm、避難経路扉最小有効幅は 82 cm である。その他の保安灯の間隔、高さは、第 3 図、第 4 図に記載のとおりである。