

A.6.1.4 傾斜落下

傾斜落下試験は、供試体 1 を用いて実施した。

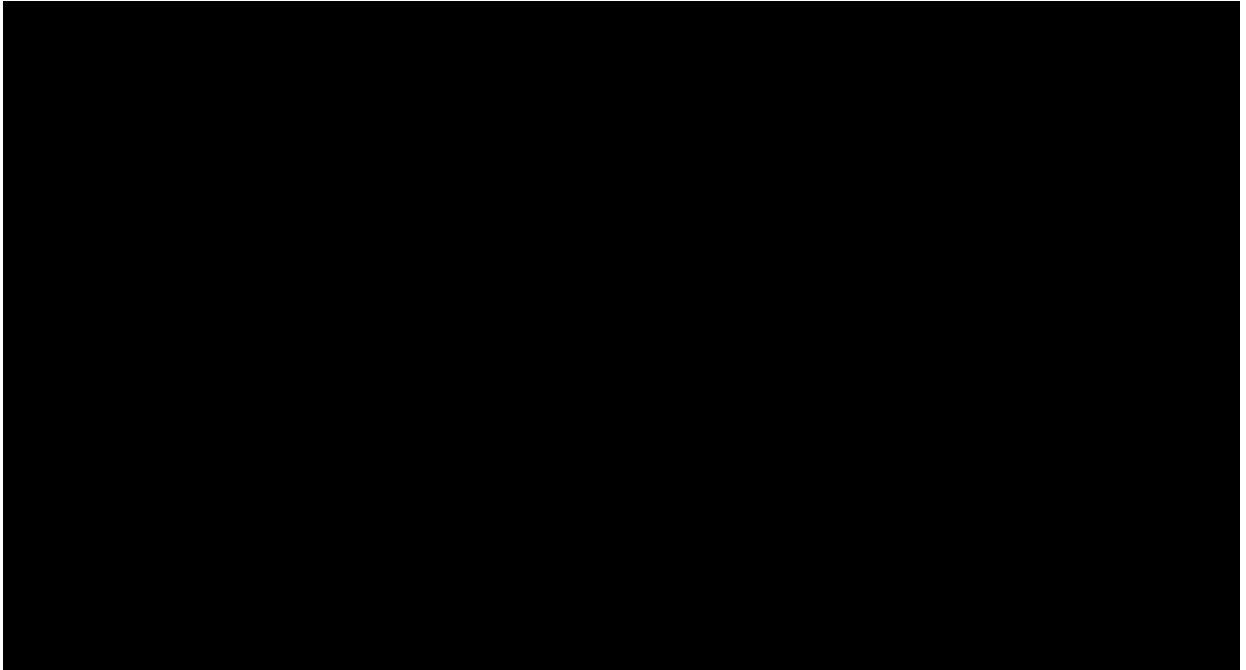
9 m 落下試験の落下姿勢を(ρ)-第 A.33 図に示す。落下姿勢は、収納容器のフランジ部に最大の影響を及ぼす、ドラム長軸と衝撃面の角度 12.2° (目標角度 12°) の傾斜落下とし、9 m 落下試験の前後に、(ρ)-第 A.18 図に示す輸送物の全高及び直径を測定した。

9 m 落下試験の結果、ドラムの損傷は全高で最大 [REDACTED] の減少がみられた。

9 m 落下試験に引き続き、圧潰試験を実施した。圧潰試験姿勢を(ρ)-第 A.34 図に示す。圧潰試験姿勢は水平姿勢とし、収納容器フランジ部に最大の影響を及ぼす落下位置として、収納容器フランジ部を中心とした箇所に軟鋼板を落下させた。試験後、9 m 落下試験後と同じ箇所についての測定を実施した。

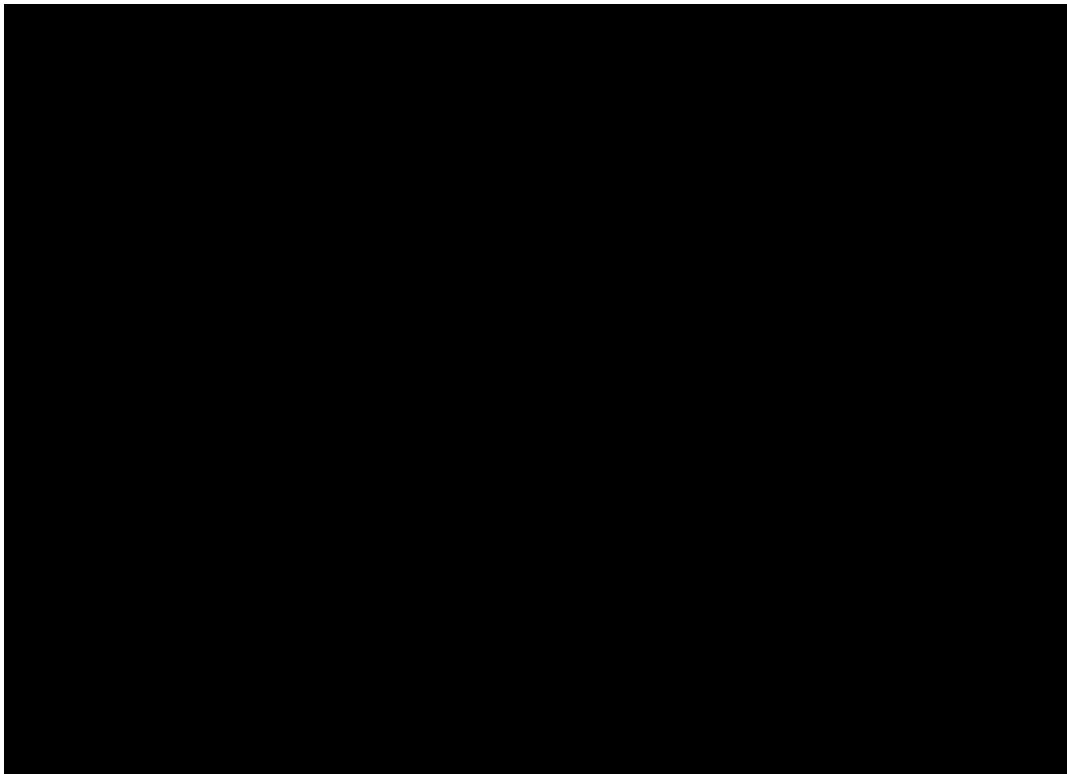
圧潰試験の結果、ドラムの損傷は全高で最大 [REDACTED] の減少がみられたが、ドラム蓋は外れることはなく、断熱材及び中性子吸収材の配置は維持された。また、後述する熱的試験の後、収納容器を取り出し、損傷の確認及び漏えい試験を実施したところ、収納容器に損傷はなく、ヘリウムリーク試験の結果、漏えい率は [REDACTED] 維持していることから、収納容器の健全性が確認された。

9 m 落下試験及び圧潰試験の結果を(ρ)-第 A.35 図、(ρ)-第 A.36 図、(ρ)-第 A.24 表及び(ρ)-第 A.25 表に示す。



(p)-第 A.33 図 供試体 1 落下姿勢

(p)-第 A.34 図 供試体 1 圧潰姿勢



(p)-第 A.35 図 供試体 1 9 m 落下試験結果



(□)-第 A.36 図 供試体 1 9 m 落下試験及び圧潰試験結果

A.6.1.5 結果の要約

ここでは、強度試験・落下試験Ⅰによる本輸送物の変形の状態について述べる。なお、強度試験・落下試験Ⅰ（9 m 落下試験）に引き続き実施した強度試験・落下試験Ⅲ（圧潰試験）の結果も含め、保守側に評価する。

各 9 m 落下試験による変形量は、(p)-第 A.24 表及び(p)-第 A.25 表に示すとおりである。各 9 m 落下試験における変形は、緩衝材（ドラム、断熱材及び中性子吸収材）のみで収納容器に達することはない。また、後述する熱的試験の後、各試験輸送物の収納容器を取り出し、損傷の確認及び漏えい試験を実施したところ、収納容器に損傷はなく、ヘリウムリーク試験の結果、漏えい率は [REDACTED] を維持していることから、収納容器の健全性が確認された。

したがって、遮蔽性能及び密封性能は損なわれない。

なお、特別の試験条件後の遮蔽解析においては、保守的にドラム、断熱材及び中性子吸収材を除いたモデルで評価している。

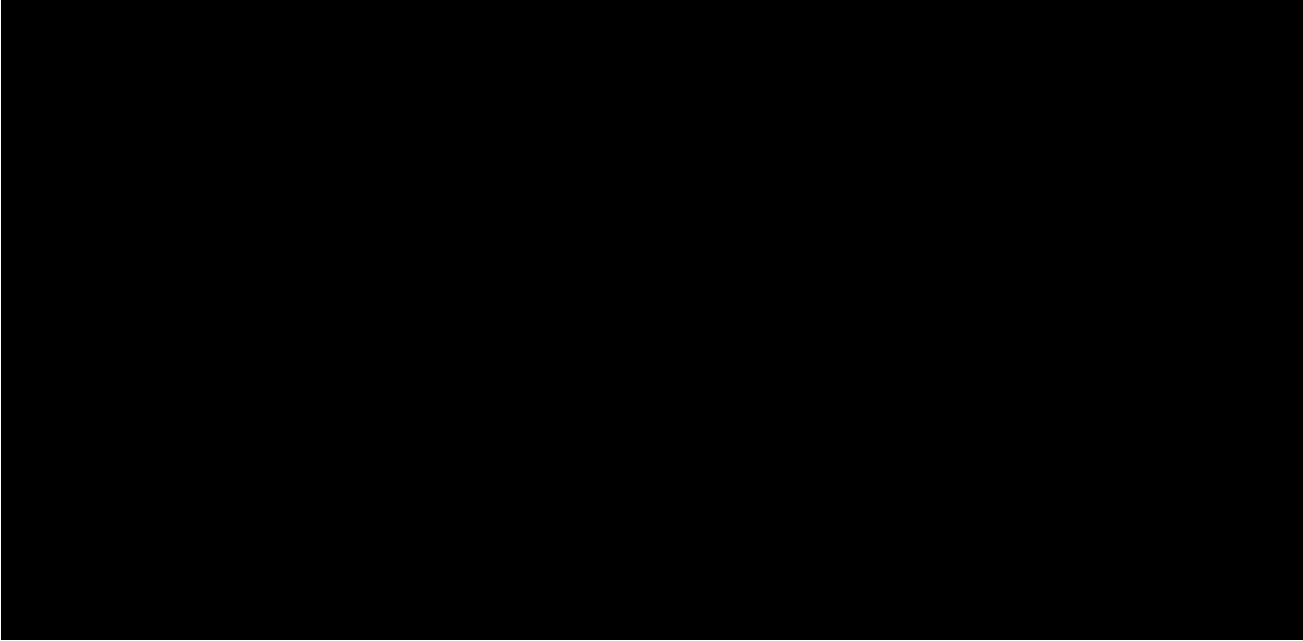
A. 6.2 強度試験・落下試験Ⅱ（1 m 落下時）

本項では、落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅲに引き続き、輸送物が1 mの高さから直径150 mmの軟鋼棒上へ落下する1 m貫通落下試験を行った場合、輸送物が受ける影響について検討する。

本項で検討する落下姿勢は次の姿勢とし、原型試験により本輸送物が健全性を維持できることを示す。

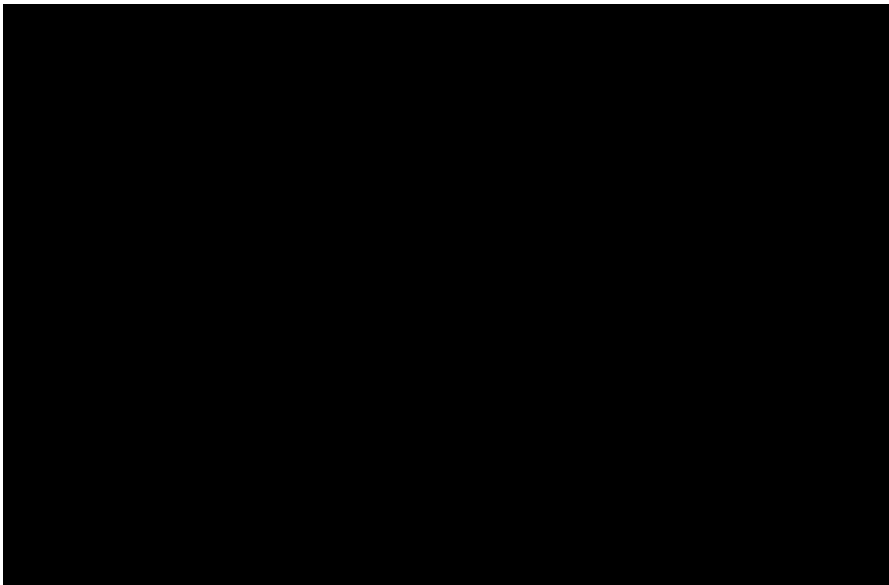
- ① 垂直落下（ドラム蓋直撃）
- ② 水平落下（ドラム胴直撃）
- ③ 水平落下（収納容器フランジ位置直撃）
- ④ コーナー落下（ドラム上部コーナー直撃）
- ⑤ 傾斜落下（垂直姿勢に対し40°傾斜にてドラム胴直撃）
- ⑥ 傾斜落下（垂直姿勢に対し28°傾斜にてドラム胴直撃）

各供試体の落下姿勢を(p)-第 A.37 図 ～ (p)-第 A.42 図に示す。また、1 m貫通落下試験結果を、(p)-第 A.26 表及び(p)-第 A.43 図 ～ (p)-第 A.48 図に示す。

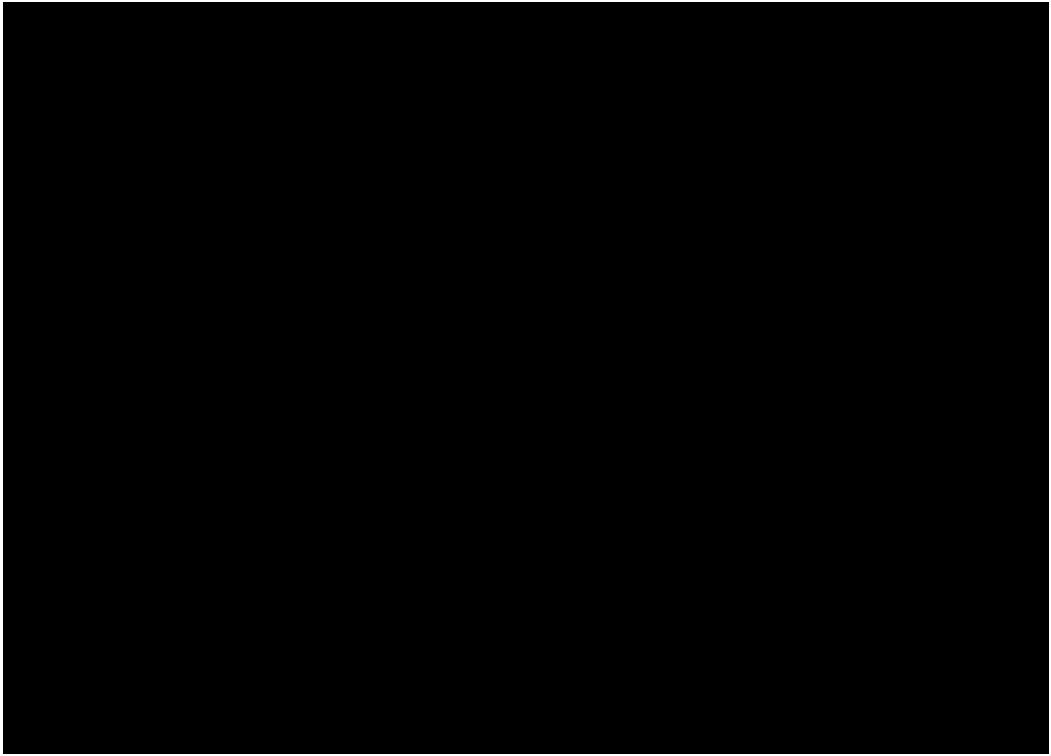


(㊦)-第 A.37 図 垂直落下（ドラム蓋直撃）

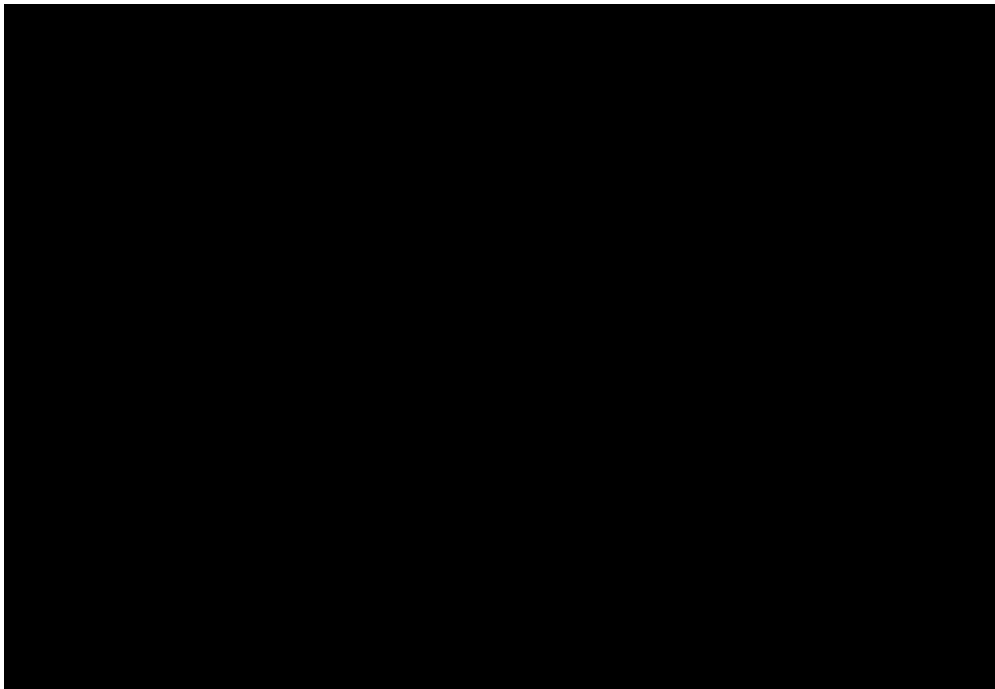
(㊦)-第 A.38 図 水平落下（ドラム胴直撃）



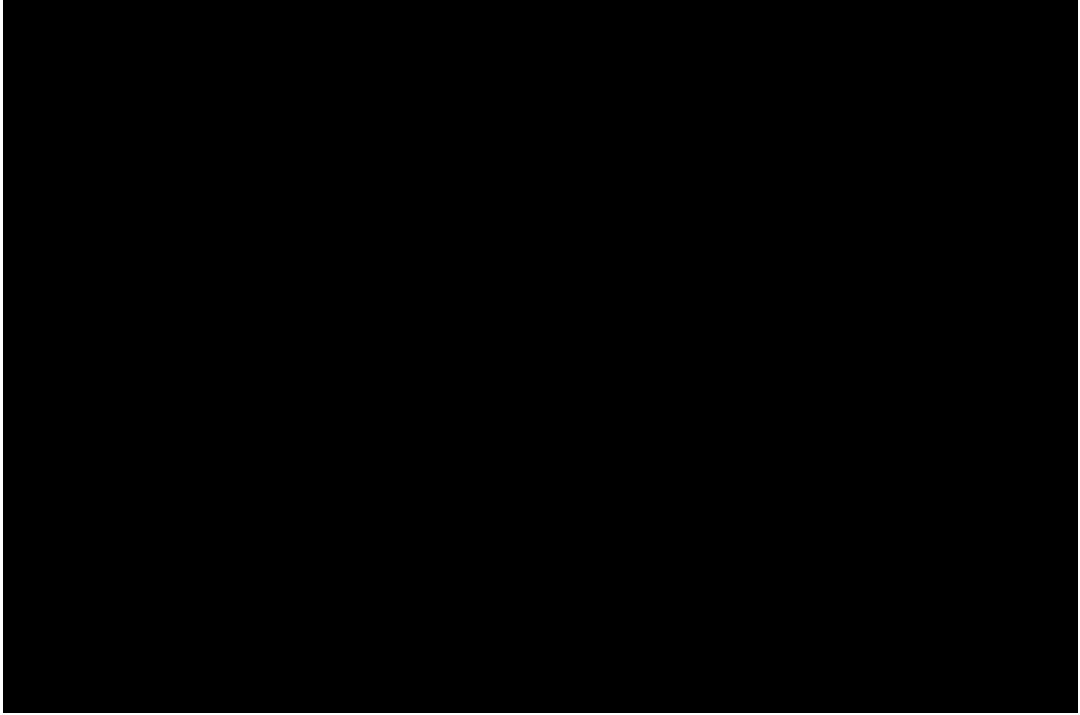
(㊦)-第 A.39 図 水平落下（収納容器フランジ位置直撃）



(□)-第 A.40 図 コーナー落下（ドラム上部コーナー直撃）



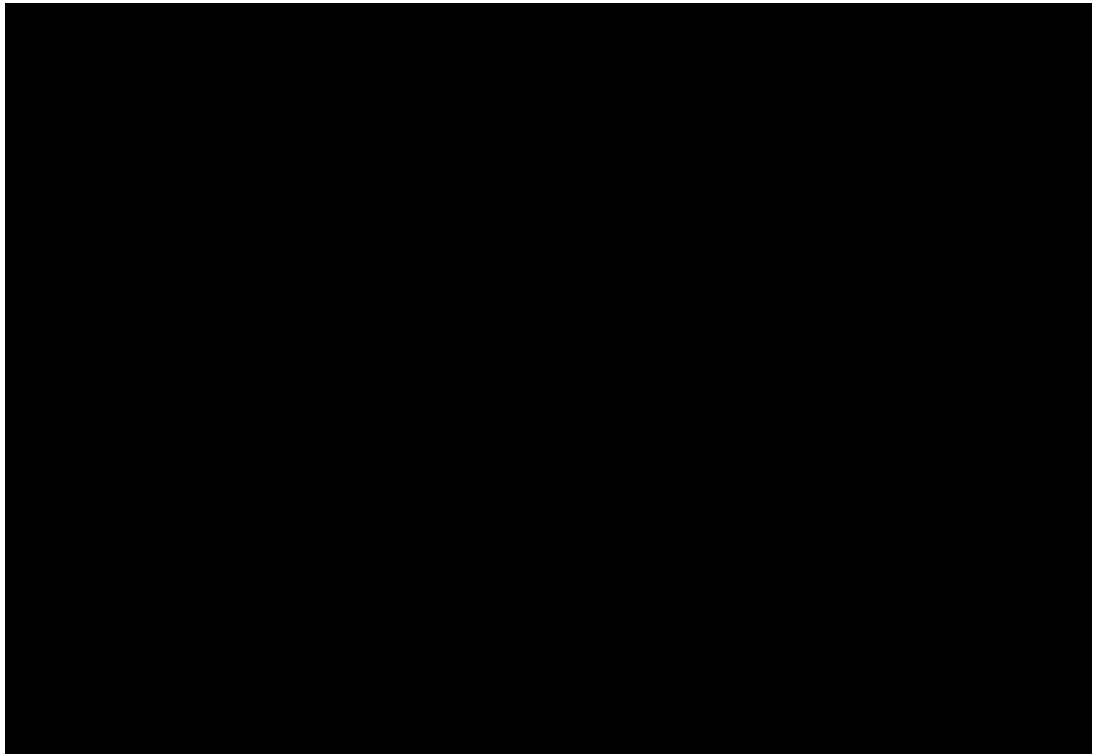
(□)-第 A.41 図 傾斜落下（垂直姿勢に対し 40°傾斜にてドラム胴直撃）



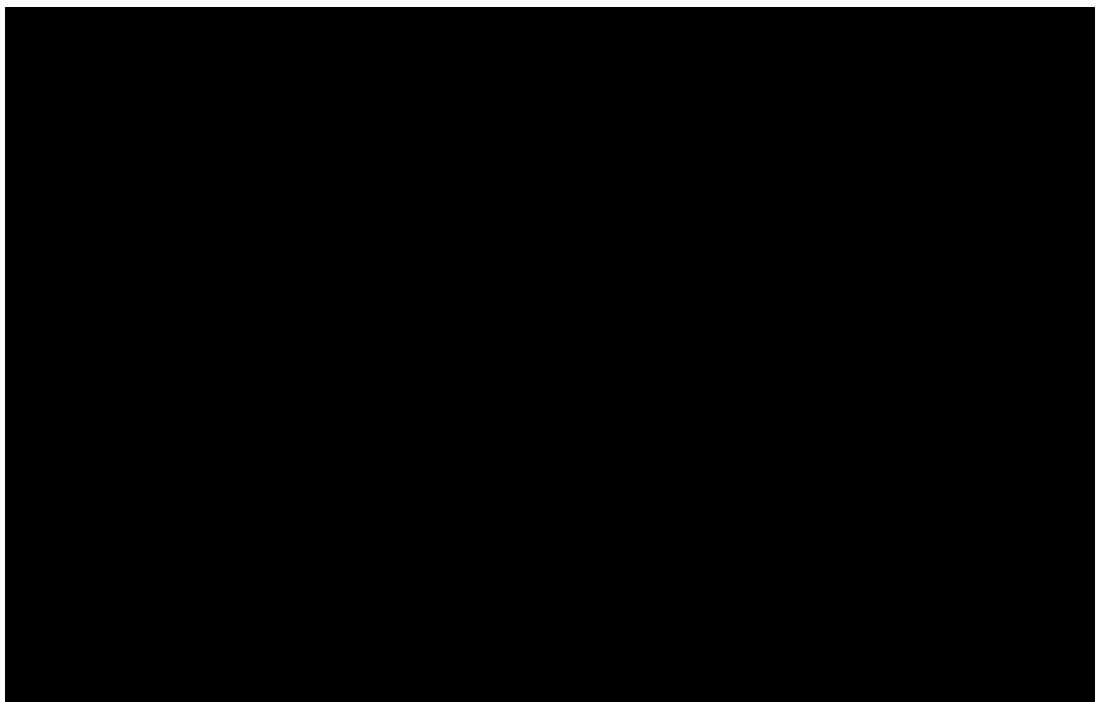
(□)-第 A.42 図 傾斜落下 (垂直姿勢に対し 28°傾斜にてドラム胴直撃)

(a)-第 A.26 表 1 m 貫通落下試験の落下姿勢及び結果

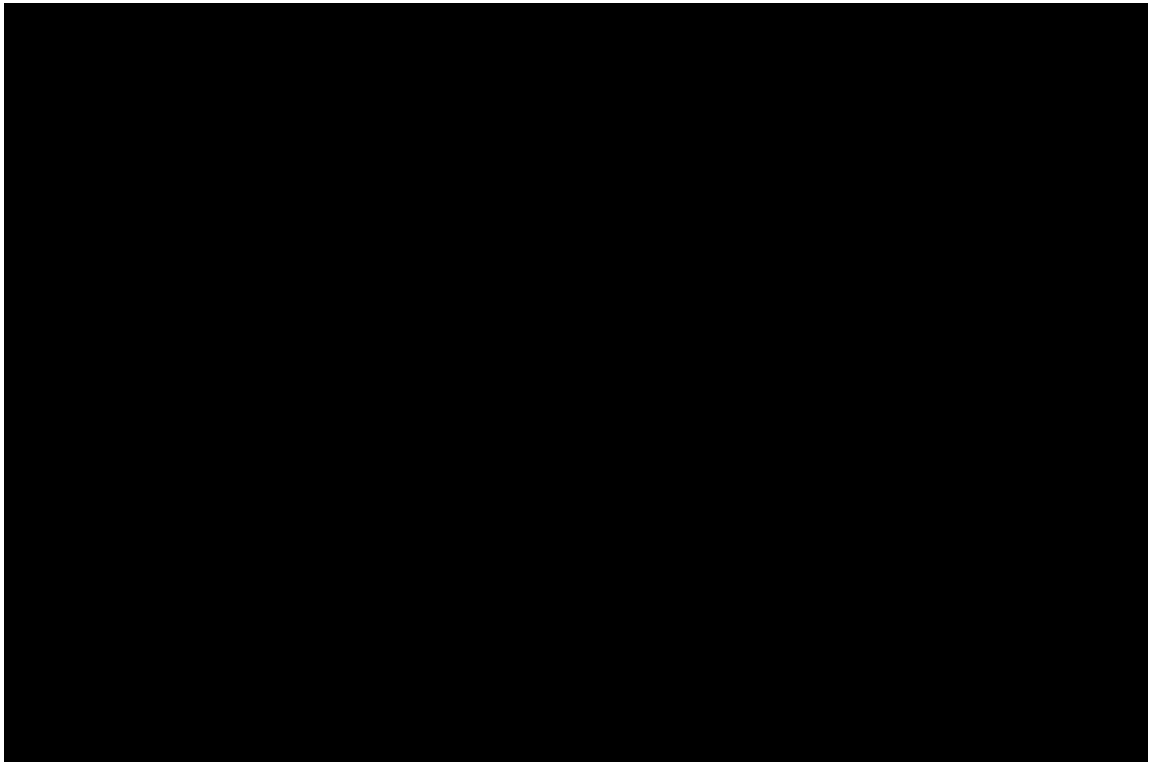
落下姿勢	供試体	直撃位置 (ドラム蓋からの軸及び径方向位置)	損傷深さ mm(in.)	試験結果写真
① 垂直落下 (ドラム蓋直撃) (a)-第A.37図	4	ドラム蓋直撃	[Redacted]	(a)-第A.43図
② 水平落下 (ドラム胴直撃) (a)-第A.38図	1	重心部 0°		(a)-第A.44図
	2	重心部 0°		(a)-第A.45図
③ 水平落下 (収納容器フランジ位置直撃) (a)-第A.39図	1	ドラム蓋よ [Redacted] 部 180°		(a)-第A.46図
④ コーナー落下 (ドラム上部コーナー直撃) (a)-第A.40図	1	ドラム蓋コーナー部 90°		(a)-第A.44図
⑤ 傾斜落下 (垂直姿勢に対し40° 傾斜にてドラム胴直撃) (a)-第A.41図	1	供試体の重心に沿った箇所 270°		(a)-第A.47図
⑥ 傾斜落下 (垂直姿勢に対し28° 傾斜にてドラム胴直撃) (a)-第A.42図	3	供試体の重心に沿った箇所 270°		(a)-第A.48図



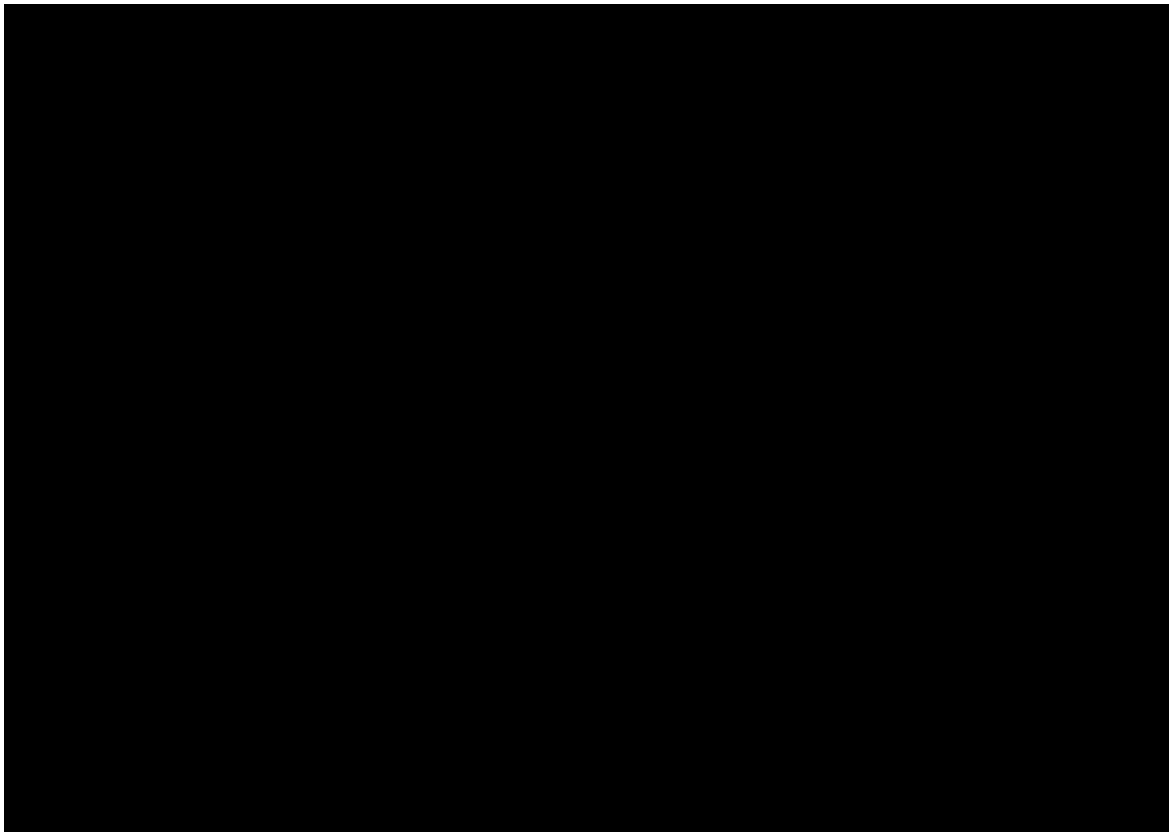
(㊦)-第 A.43 図 供試体 4 1 m 貫通 垂直落下試験結果



(㊦)-第 A.44 図 供試体 1 1 m 貫通 水平（ドラム胴直撃）及びコーナー落下試験結果



(㊦)-第 A.45 図 供試体 2 1 m 貫通 水平 (ドラム胴直撃) 落下試験結果

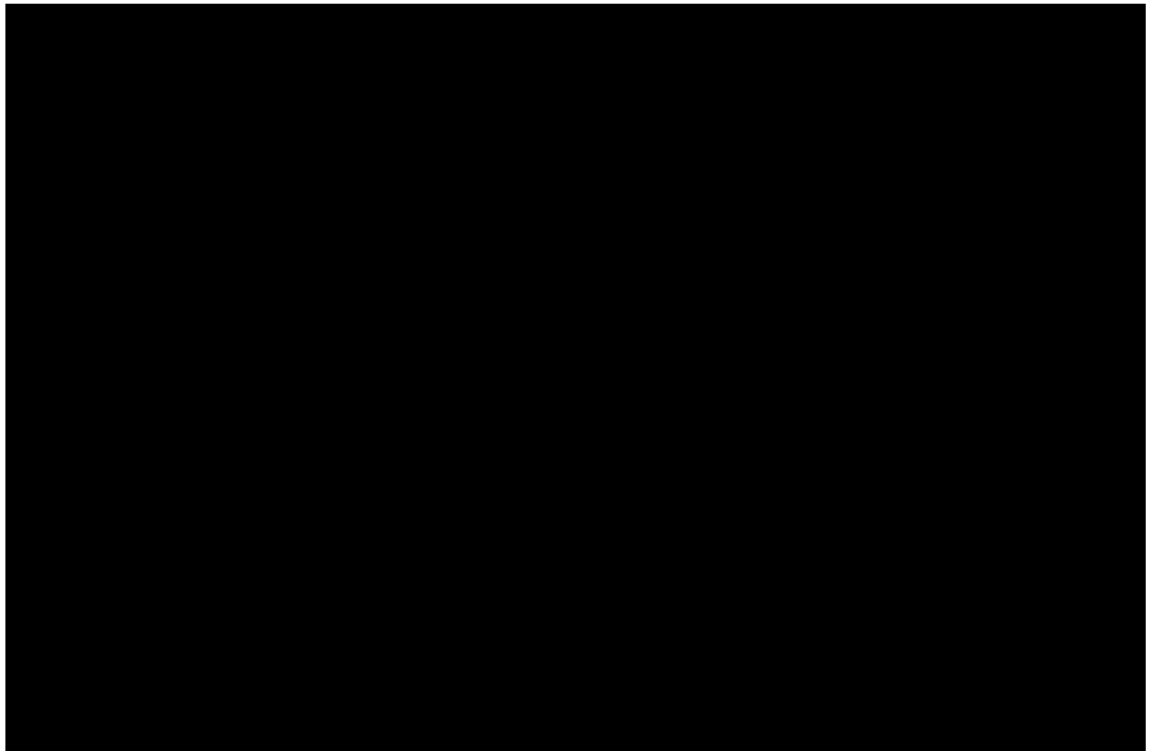


(㊦)-第 A.46 図 供試体 1 1 m 貫通 水平 (収納容器フランジ位置直撃) 落下試験結果



(p)-第 A.47 図 供試体 1 1 m 貫通 傾斜 (垂直姿勢に対し 40 °傾斜にてドラム胴直撃)

落下試験結果



(p)-第 A.48 図 供試体 3 1 m 貫通 傾斜 (垂直姿勢に対し 28 °傾斜にてドラム胴直撃)

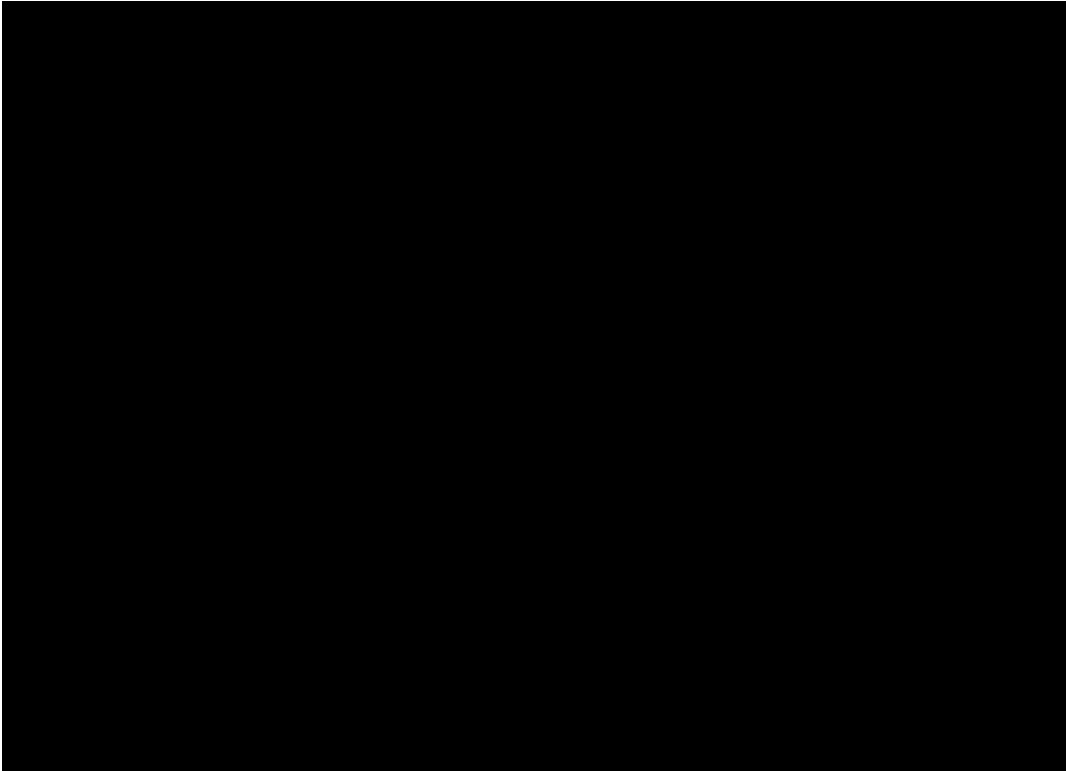
落下試験結果

A.6.2.1 結果の要約

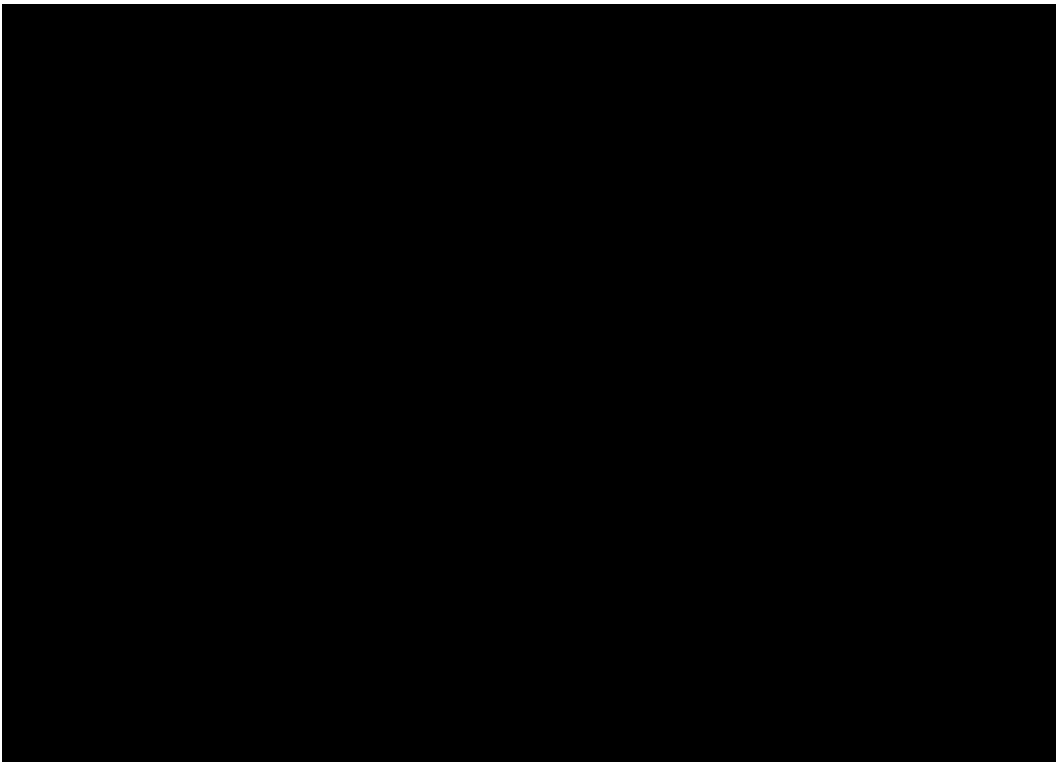
1 m 貫通落下試験の結果は(□)-第 A.26 表及び(□)-第 A.43 図 ~ (□)-第 A.48 図に示すとおりである。1 m 貫通落下試験の結果、すべての供試体において変形を生じたが、ドラム表面は貫通することなく、それによって断熱材及び中性子吸収材の健全性を維持した。

A.6.3 熱的試験

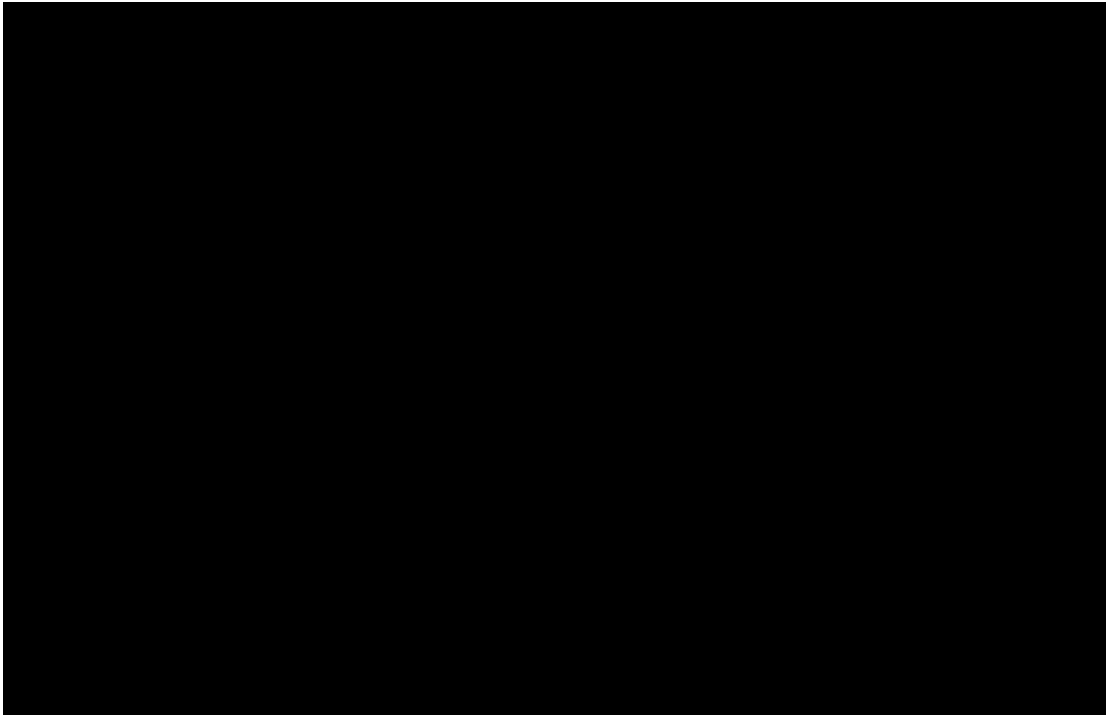
熱的試験として、一般の試験条件下及び上述までの特別の試験条件下の試験に引き続き、同じ供試体を用いて、800 °C (1475 °F) の環境に 30 分間設置する耐火試験を実施した。耐火試験の写真を、(p)-第 A.49 図 ~ (p)-第 A.52 図に示す。また、耐火試験の結果を、(p)-第 A.53 図 ~ (p)-第 A.56 図に、耐火試験時の温度測定箇所を(p)-第 A.57 図~(p)-第 A.61 図に、耐火試験によって到達する各部の最高温度の測定結果を(p)-第 A.27 表に示す。



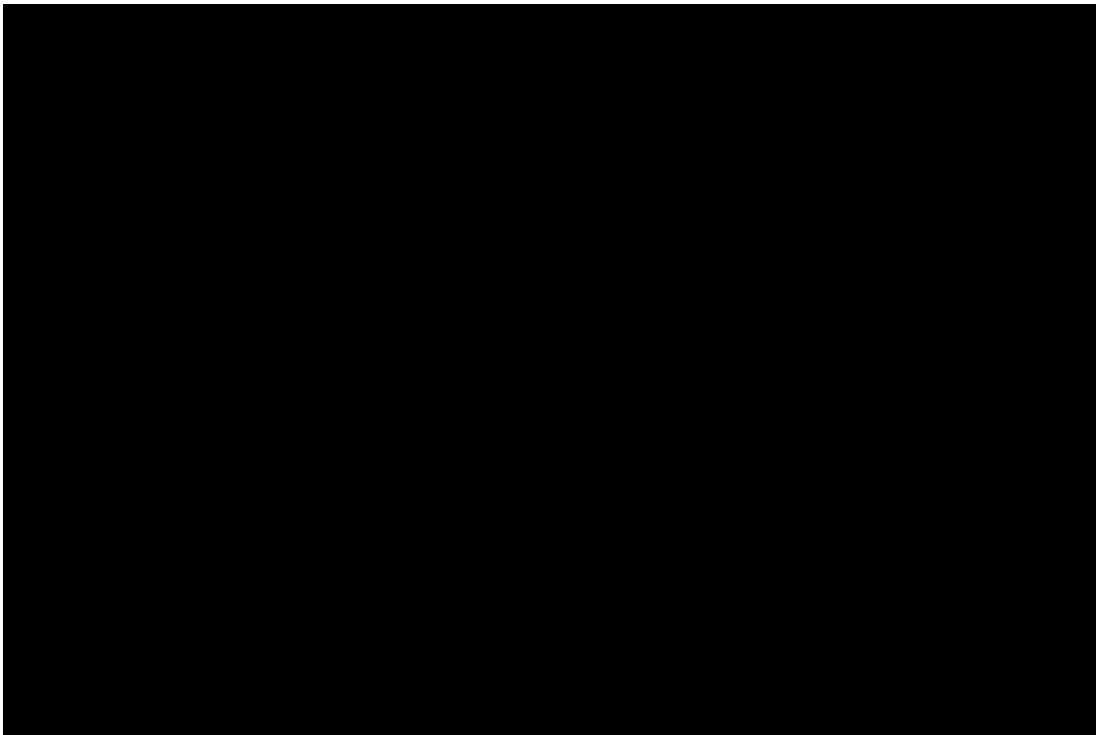
(p)-第 A.49 図 耐火試験（熱的試験前の予熱のための配置）



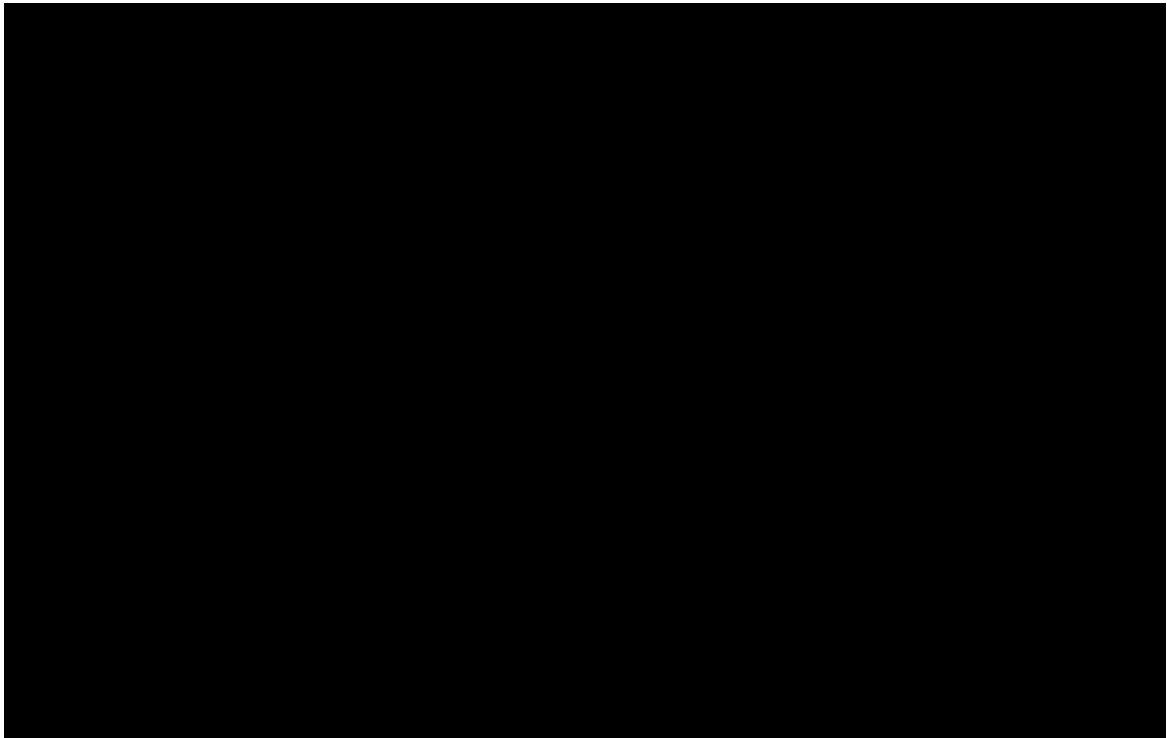
(p)-第 A.50 図 耐火試験（炉内への供試体設置）



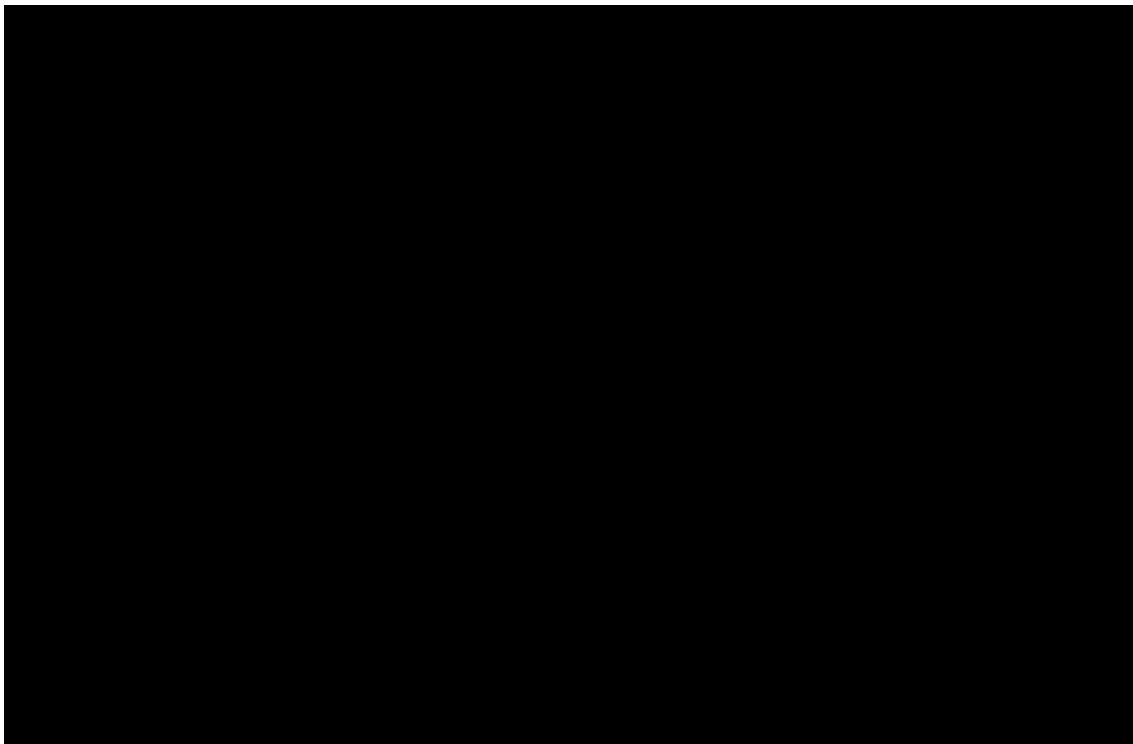
(□)-第 A.51 図 耐火試験（試験後の供試体取り出し）



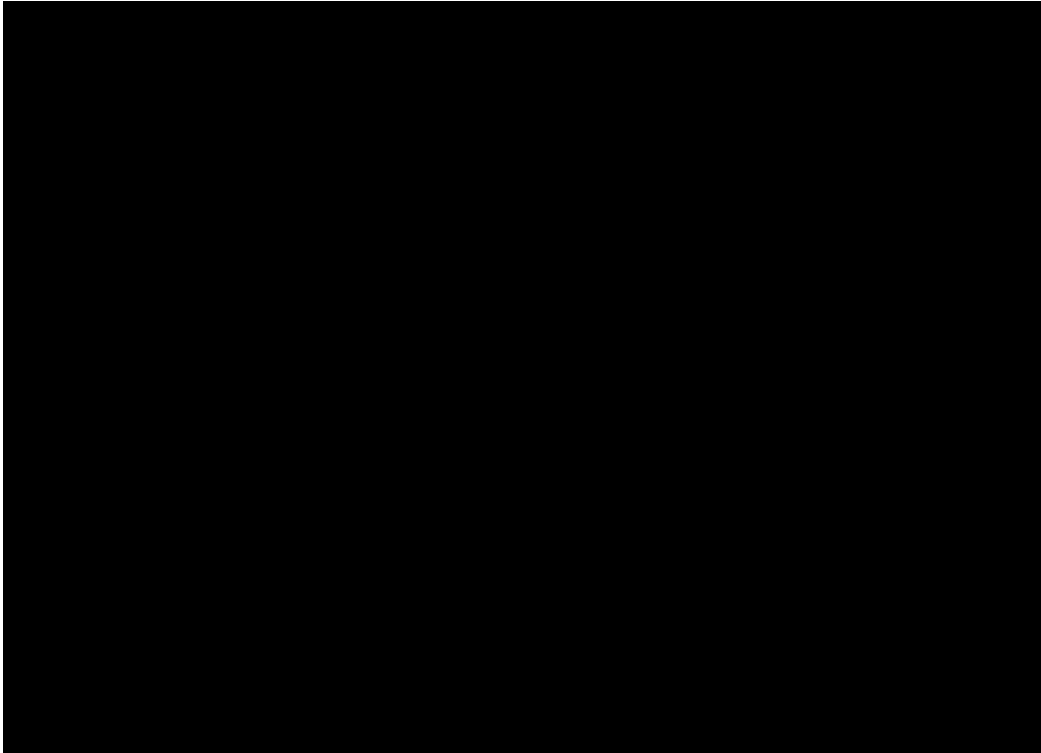
(□)-第 A.52 図 耐火試験（試験後の供試体取り出し）



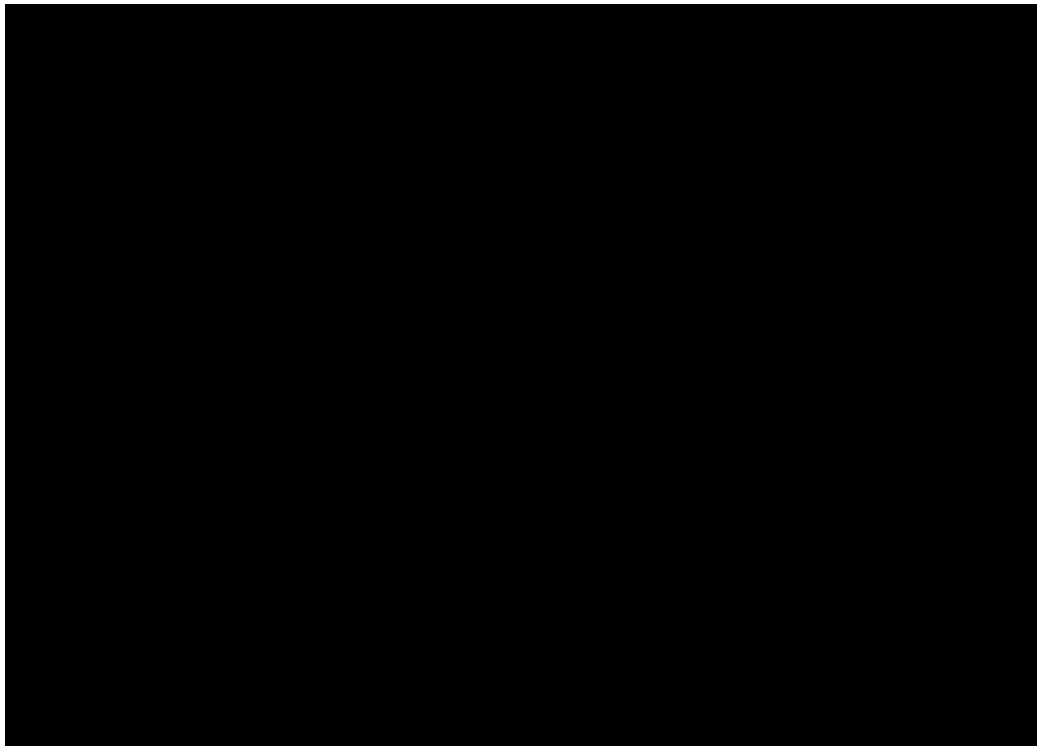
(□)-第 A.53 図 供試体 1 耐火試験結果（ドラム蓋及びトッププラグ取り外し後）



(□)-第 A.54 図 供試体 2 耐火試験結果（ドラム蓋及びトッププラグ取り外し後）



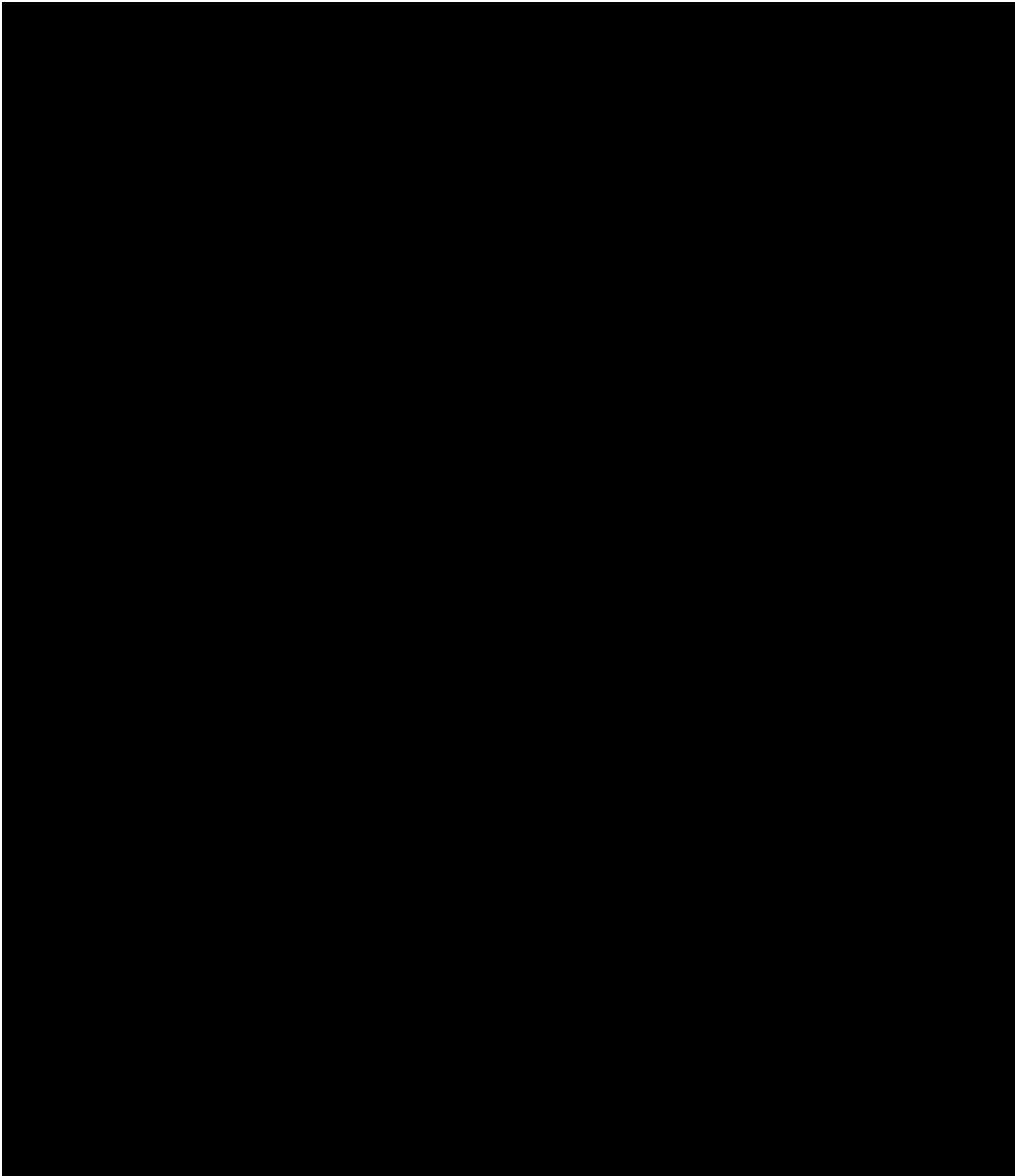
(㊦)-第 A.55 図 供試体 3 耐火試験結果（ドラム蓋取り外し後）



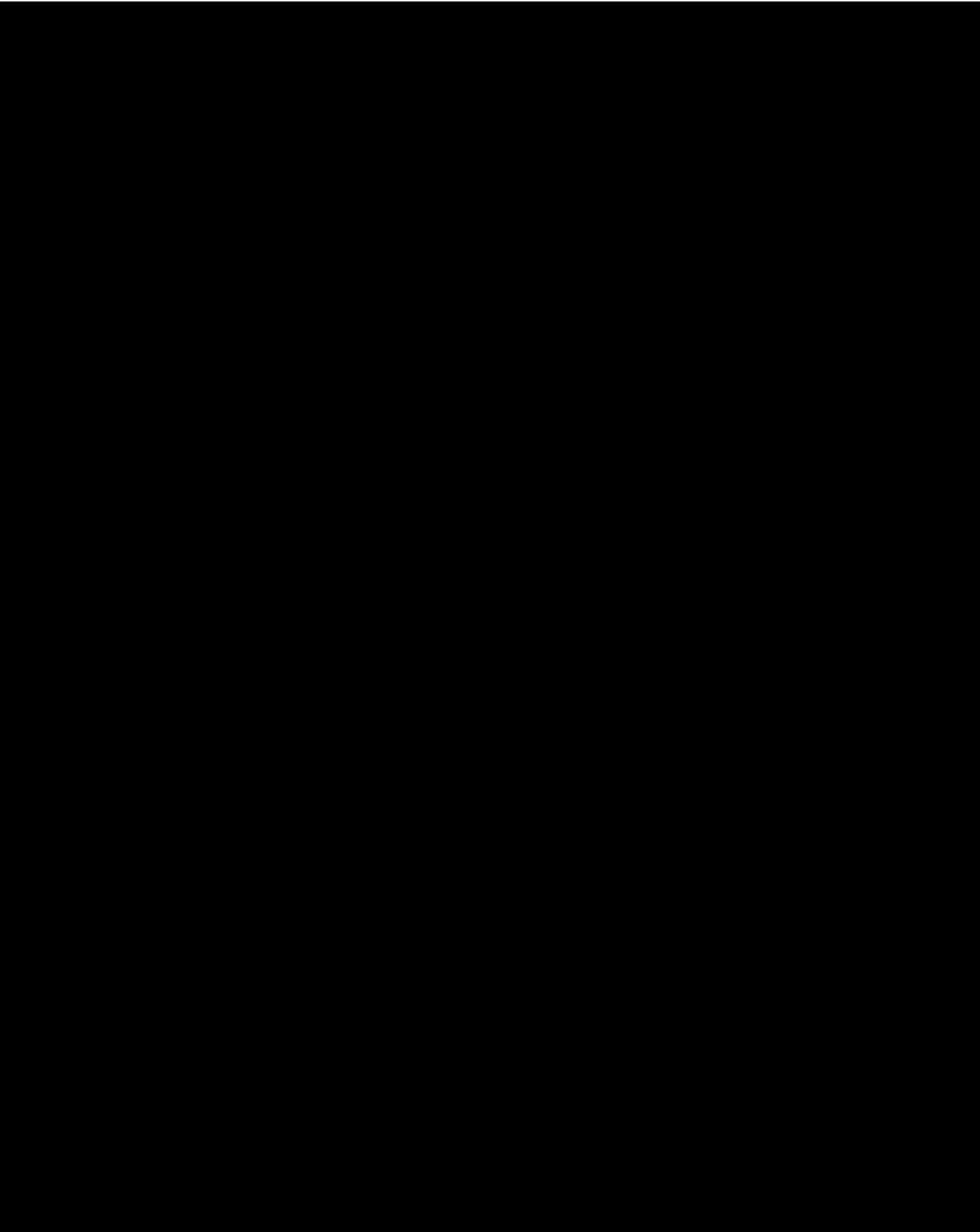
(㊦)-第 A.56 図 供試体 4 耐火試験結果（ドラム蓋及びトッププラグ取り外し後）



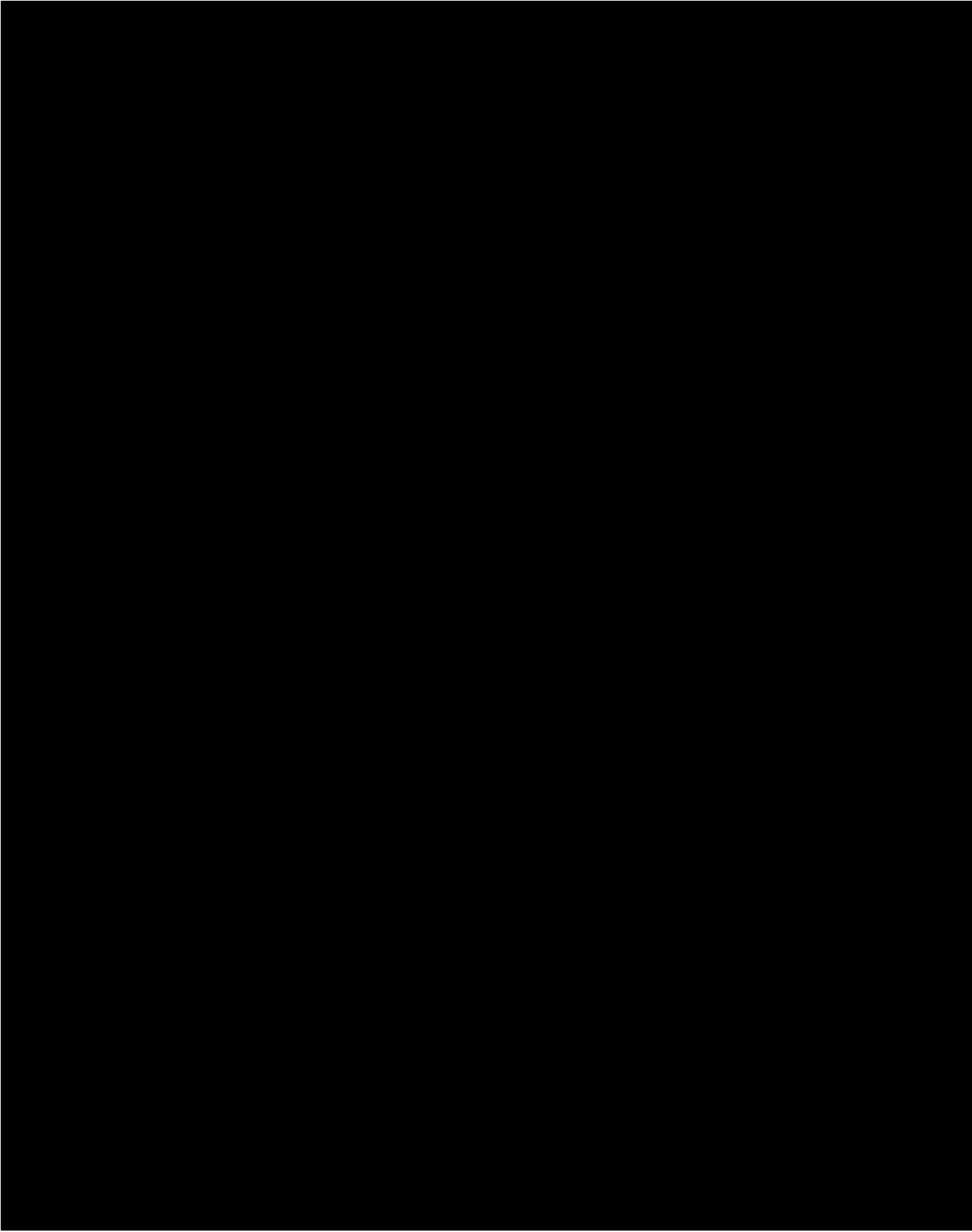
(㊦)-第 A.57 図 耐火試験温度測定箇所図 (トッププラグ底部)



(㊦)-第 A.58 図 耐火試験温度測定箇所図 (ドラム内側ライナ)



(□)-第 A.59 図 耐火試験温度測定箇所図 (収納容器蓋)



(□)-第 A.60 図 耐火試験温度測定箇所図 (収納容器)



(□)-第 A.61 図 耐火試験温度測定箇所図 (模擬収納物)

(ロ)-第 A.27 表 耐火試験における供試体内部の最高温度⁽¹⁷⁾

温度測定箇所	供試体			
	1	2	3	4
	°C (°F)	°C (°F)	°C (°F)	°C (°F)
トッププラグ底部				
ドラム内側ライナ				
中間部ライナ壁				
下部ライナ上部平坦部				
下部ライナ壁上部				
下部ライナ壁中央部				
底部平坦部				
収納容器				
蓋 (外側上部)				
蓋 (内側)				
フランジ (外側)				
フランジ (内側)				
本体壁中央部				
底部 (中央)				
模擬収納物				
側面上部				
側面中央部				
側面底部				

A.6.3.1 温度及び圧力の要約

本項では、特別の試験条件下における設計・解析に使用する温度及び圧力の要約を記述する。

(1) 設計温度

(ロ)章 B.5.3 輸送物温度で評価した結果、収納容器表面及び O リング近傍は、それぞれ [REDACTED] [REDACTED] まで温度が上昇する。(ロ)第 A.28 表に示すように、本項においては収納容器表面及び O リング近傍の設計温度を保守的に [REDACTED] として評価する。

(ロ)第 A.28 表 特別の試験条件下における設計温度

No	部 位	設計温度
1	収納容器表面	[REDACTED]
2	O リング近傍	[REDACTED]

(2) 設計圧力

(ロ)章 B.5.4 最大内圧で評価した結果、収納容器内圧は [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] である。本項においては設計圧力を保守的に [REDACTED] として評価する。

A.6.3.2 熱膨張

本項では、輸送物内部の温度勾配により生じる応力について検討し、特別の試験条件において輸送物が健全であることを示す。

(a)第 A.6 表に示すとおりドラム本体、ドラム内側ライナ及び収納容器は、[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] ステンレス鋼で製作されているため、熱膨張差は生じない。また、収納容器とクロージャーナット [REDACTED] [REDACTED] 熱膨張係数が類似しているため、熱膨張による干渉はない。

したがって、ドラム本体、ドラム内側ライナ、収納容器及びクロージャーナットには熱膨張による熱応力は発生しない。

ドラム本体及びドラム内側ライナに鑄込む中性子吸収材及び [REDACTED] はステンレス鋼との熱膨張差があり、周方向及び軸方向の干渉が起こりうる。原型試験による耐火試験の結果、ドラム本体及びドラム内側ライナに有意な変形や損傷は発生しなかった。この結果から、中性子吸収材及び [REDACTED] の特別の試験条件下における熱応力は小さく、ドラムアセンブリの機能を損なうものではない。したがって、中性子吸収材及び [REDACTED] の熱応力は、特別の試験条件下において輸送物の健全性に影響を及ぼさない。

収納物である [REDACTED] [REDACTED]、収納缶、梱包材等はそれぞれの構成物質の設計裕度により、熱膨張差による周方向又は軸方向の干渉は発生しない。

このため、収納物には熱膨張による熱応力は発生しない。

A.6.3.3 許容応力との比較

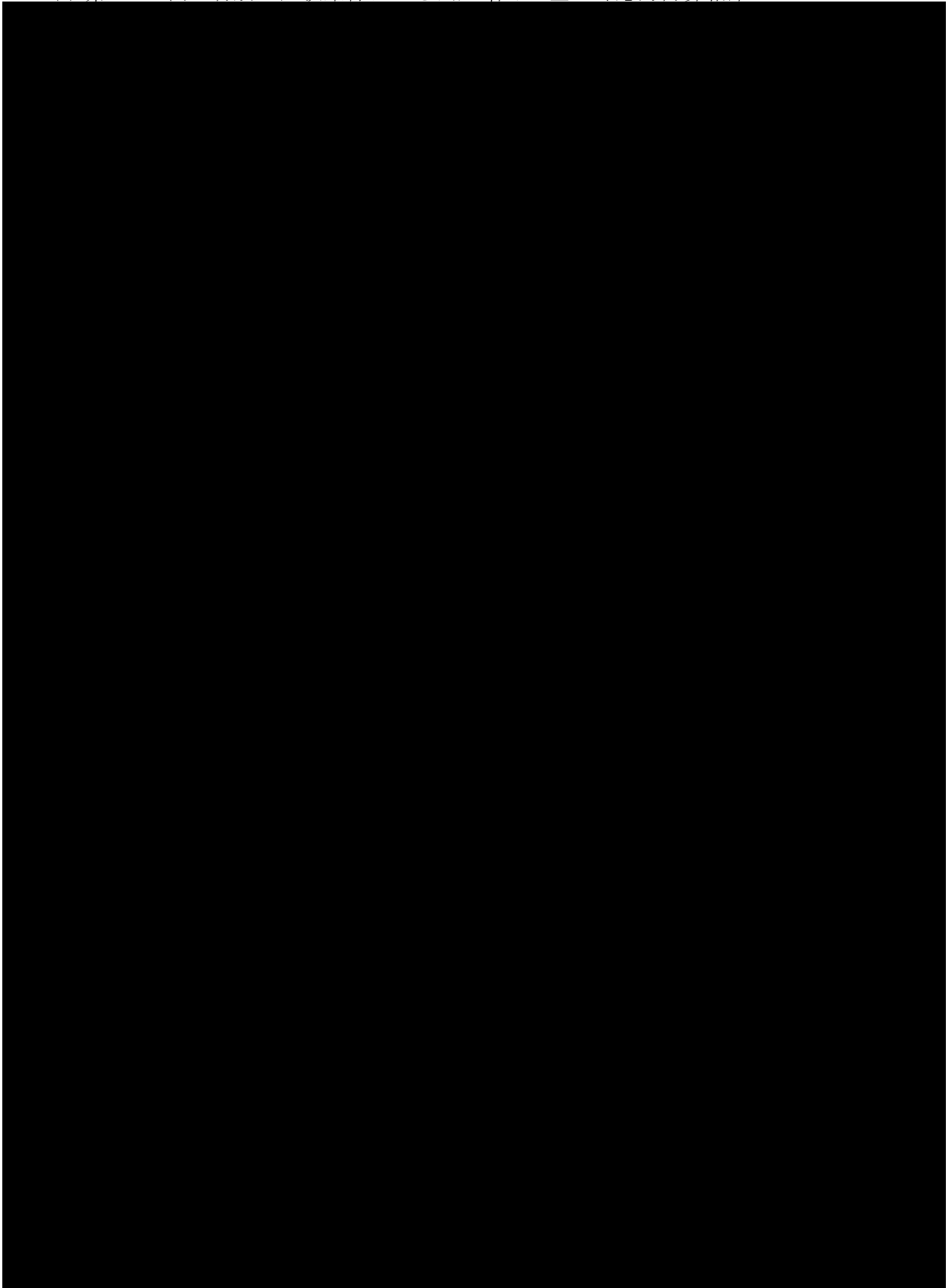
(a)第 A.27 表に示すとおりすべての供試体において、収納容器に温度勾配は発生せず均一であった。この温度範囲において収納容器は熱応力による損傷は発生しない。したがって、特別の試験条件下に発生する主な応力は収納容器の内圧の増加に起因する。

輸送物に作用する圧力として、収納容器内圧を最高使用圧力の [REDACTED] [REDACTED] 外気圧を大気圧とすると [REDACTED] [REDACTED] の差圧が生じる。この差圧を考慮し、A.1.2 項と同様の応力評価を行う。収納容器蓋はクロージャーナットと収納容器フランジで挟まれる設計であり、シール部が口開きする構造でないことから、密封性は維持される。

応力計算の結果を (a)第 A.29 表に示す。(a)第 A.29 表に示すとおり発生する応力は許

容応力を十分下回り、収納容器の構成材料は特別の試験条件による内圧上昇による使用上の問題が発生することはない。

(四)・第 A.29 表 特別の試験条件による内圧増加に基づく応力計算結果



A.6.4 浸漬

本項では、輸送物が 15 m の水中に浸漬した場合、輸送物が十分耐えることを示す。

15 m 浸漬試験にはドラムアセンブリを伴わない収納容器のみの供試体 6 を用いた。また、15 m 浸漬試験に用いた浸漬試験装置は [REDACTED] のタンクで構成された、収納容器を浸漬及び加圧できる装置である。この浸漬装置に供試体 6 を浸漬させ [REDACTED] で 8 時間加圧させた。なお、収納される核燃料物質等の放射エネルギーは A_2 値の 10 万倍を超えないため、200 m 浸漬試験は不要である。

試験の結果、密封境界の中への漏水は確認されなかった。

A.6.5 結果の要約及びその評価

特別の試験条件下における輸送物への影響について、原型試験及び解析により検討を行った。強度試験では、落下試験 I（及び落下試験 III）において、ドラムは変形するものの、収納容器は変形しない。

落下試験 II において、ドラムは局所的に変形するものの、収納容器は変形せず密封境界が保たれ、密封性は損なわれない。

引き続き行われる熱的試験でも、収納容器に発生する応力は、許容応力以下であり、密封境界が保たれ、密封性は損なわれない。

浸漬試験においても、収納容器は [REDACTED] の外圧に耐え、健全である。

ドラム、収納容器及び収納物の評価の結果は、(ロ)章 B 熱解析、(ロ)章 C 密封解析、(ロ)章 D 遮蔽解析及び(ロ)章 E 臨界解析に用いられる。

各解析においては、構造解析の結果を次のように考慮した。

(1) 熱解析

輸送容器の熱解析上重要な箇所は、収納容器及び収納容器蓋部である。

構造評価において、ドラムの損傷は収納容器に達せず、輸送容器は健全である。落下試験 II によりドラムには貫通が生じない。また、ドラム蓋は外れることなく、断熱材の配置は維持されることから、断熱材の機能は十分有している。

したがって、熱解析では収納容器は変形しないものとし、断熱材の変形に関しては考慮して評価を行う。

(2) 密封解析

構造評価において輸送容器の密封機能は健全性を有する。密封解析では保守的に

収納物が破損したものとして放射性物質の漏えい量を評価する。

(3) 遮蔽解析

遮蔽解析では、ドラム、収納容器及び収納物の破損が解析結果に影響する。

構造解析において、ドラムの損傷は収納容器に達せず、輸送容器は健全である。

落下試験Ⅱにより、ドラムは局所的に変形するが、収納容器は変形しない。

したがって、遮蔽解析では収納容器は変形しないものとする。また、保守的に、ドラム、断熱材及び中性子吸収材はないものとする。

(4) 臨界解析

臨界解析では、ドラム外径が減少するとして楕円形に変形した輸送容器を等価な円に置き換えて評価する。遮蔽解析と同様、収納容器は変形しないものとする。

A.7 強化浸漬試験

本輸送物の最大放射エネルギーは A_2 値の 10 万倍以下であり、該当しない。

A.8 放射性収納物

本輸送容器の放射性収納物は、(イ)-第 A.1 表に示すとおりである。これらは収納容器に収納される。収納容器は、各試験及び解析の結果、破損することなく、外部に放射性収納物が放散されることはない。

A.9 核分裂性輸送物

本輸送物は、収納物（核燃料物質）の濃縮度が██████████であり、核分裂性物質の量██████████が15 gを超えるので、核分裂性輸送物に該当する。よって、本項では、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件及び特別の試験条件に対し、(ロ)章 E 臨界解析において反映する輸送物の損傷状態を評価する。

なお、本輸送物が $-40^{\circ}\text{C} \sim 38^{\circ}\text{C}$ の周囲温度に置かれた場合でも、A.4.2 低温強度及びA.5.1 熱的試験で示したように、き裂、破損等が生じることはない。

A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件は、規則及び告示により次の試験が定められている。

- ① 水の吹付試験
- ② 1.2 m 自由落下
- ③ 貫通試験
- ④ 積み重ね試験

本輸送物をこれらの試験条件下に順次置いた場合に、臨界評価に影響する輸送物の損傷状態について、A.5 一般の試験条件の結果を基に評価すると、次のようになる。

(1) 水の吹付試験

水の吹付試験に対する臨界評価は、A.5.2 水噴霧に示すとおり、収納容器は水密を保つ構造で、劣化等はなく、輸送物に損傷は生じない。██████████
██████████水が浸入し、収納容器と内側ライナの間に溜まったが、臨界解析においては、全側面を適切な水反射体で囲んで解析している。

(2) 自由落下

本輸送物の場合の落下高さである1.2 mからの自由落下に対する評価結果は、A.5.3 自由落下に示すとおりである。

1.2 mの高さからの自由落下による損傷状態の評価の結果、コーナー落下において、ドラムの高さで██████████形が生じた。コーナー落下における変形は、輸送容器の一部に生じるため、輸送容器の全体形状に影響を与えない。その他の落下姿勢では、変形がわずかであるか、局所的

であり、臨界評価に影響しない。また、試験後の収納容器の漏えい試験の結果、密封性が保たれることが確認された。

(3) 貫通試験

貫通試験の評価結果は、A.5.5 貫通に示すとおりであり、ドラム胴体に深さ [REDACTED] [REDACTED] 局所的な変形を生ずるが、貫通は起こらない。したがって、これらの変形は、臨界評価に影響しない。

(4) 積み重ね試験

積み重ね試験の評価結果は、A.5.4 積み重ね試験に示すとおりであり、原型試験で実施した積み重ね試験の結果、いかなる恒久的変形も生じず、輸送物の損傷はない。

(5) 評価結果

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件は、上述のとおり原型容器試験の結果により評価した。この結果、変形は輸送容器本体の一部にのみ生じたが、収納容器は健全であった。一般の試験条件下における輸送物の損傷状態のまとめを、(ロ)第 A.30 表に示す。

輸送容器の構造部に生じるくぼみとしては、貫通試験によりドラム胴体に生じる深さ [REDACTED] のくぼみであり、要件である一辺 10 cm の立方体を包含するような変形ではない。

また、輸送容器の外形寸法は [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] であるが、一般の試験条件下における落下等により輸送物の構造部に生じる変形は、高さ方向で [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] であり、変形後の構造部の寸法は、外接する直方体の各辺が 10 cm 未満となることはない。

(ロ)・第 A.30 表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下の輸送物の損傷状態

試験条件	輸送物の損傷状態	臨界評価上の影響
水噴霧試験	劣化等損傷はない。収納容器と内側ライナの間には水が溜まった。	臨界評価において、全側面を適切な水反射体で囲んで解析している。また、収納容器の内部に水が存在するものとして評価している。
自由落下	ドラム端部に変形が生じる。 [REDACTED]	変形がわずかであるか、局所的であり、臨界評価上の影響はない。
貫通試験	ドラム胴体に、[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]のわずかなくぼみが生じる。	臨界評価上の影響はない。
積み重ね試験	損傷はない。	臨界評価上の影響はない。

A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

規則及び告示では、次の 2 つの一連の試験のうち厳しい方を順次行うよう規定されている。

ケース (1)

一般の試験条件(A.9.1)+9m 圧潰試験+1m 貫通落下試験

+耐火試験+0.9m 浸漬試験

ケース (2)

一般の試験条件(A.9.1)+15m 浸漬試験

上記 2 ケースの内、臨界体系への影響が大きい圧潰試験を含むケース (1) で、以下に示す試験手順に基づき評価を行う。

- ① A.9.1 項の一般の試験条件
- ② 強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）
- ③ 1 m 貫通落下試験
- ④ 耐火試験
- ⑤ 0.9 m 浸漬試験

本輸送物を、上記の試験条件下に順次置いた場合について、臨界評価に影響する輸送物の損傷状態について、A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件及び A.6 特別の試験条件の結果を基に評価すると、次のようになる。

(1) 一般の試験条件

本試験条件下における輸送物の損傷状態は、(ロ)-第 A.30 表に示したとおりである。

(2) 9 m 圧潰試験

9 m 圧潰試験の評価結果は、A.6.1 強度試験・落下試験 I（9 m 落下時）又は強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）に示すとおりである。なお、本試験では 9 m 落下試験に引き続き 9 m 圧潰試験を実施しており、保守的に両試験の累積損傷を評価している。

9 m 落下試験及び圧潰試験による損傷状態の評価の結果、水平落下において、ドラムの高さ方向で ██████████ 変形が生じた。その他の落下姿勢では、変形がわずかであるか、局所であり、臨界評価に影響しない。また、収納容器は変形せず、試験後の収納容器の漏えい試験の結果、密封性が保たれることが確認された。

(3) 1 m 貫通落下試験

1 m 貫通落下試験の評価結果は、A.6.2 強度試験・落下試験Ⅱ（1 m 落下時）に示すとおりであり、ドラム胴体に[REDACTED] [REDACTED] さいの変形を生じた。また、収納容器は変形せず、試験後の収納容器の漏えい試験の結果、密封性が保たれることが確認された。

(4) 耐火試験

A.6.3 熱的試験の結果から明らかなように、耐火試験において輸送物は損傷が拡大することはない。

(5) 0.9 m 浸漬試験

A.6.4 の 15 m 浸漬試験の結果から明らかなように、0.9 m 浸漬試験において輸送物は損傷が拡大することはない。

(6) 評価結果

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件は、上述のとおり原型容器試験の結果により評価した。この結果、輸送容器本体に変形が生じたが、収納容器は健全であった。特別の試験条件下における輸送物の損傷状態のまとめを、(p)-第 A.31 表に示す。

(ロ)・第 A.31 表 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下の輸送物の損傷状態

試験条件	輸送物の損傷状態	臨界評価上の影響
9 m 圧潰試験	ドラム、断熱材及び中性子吸収材に変形が生じる。	構造解析で評価した変形量を包含するよう、臨界評価において、ドラムアセンブリの径方向を縮めて解析している。なお、中性子吸収材及び収納容器については変形がないものとして解析している。
1 m 貫通落下試験	ドラム、断熱材及び中性子吸収材に変形が生じる。	臨界評価上の影響はない。
耐火試験	各部の温度が上昇。	臨界評価において、ドラム、断熱材及び中性子吸収材の形状に変化はないものとして解析している。ただし、耐火試験において中性子吸収材及び ██████████ の水分が喪失することを考慮している。
0.9 m 浸漬試験	損傷はない。	臨界評価において、収納容器の内部に水が存在するものとして評価している。

A.10 付属書類

A.10.1 ガasket装荷によって発生する力

A.10.2 参考文献

A.10.1 ガasket装荷によって発生する力

収納容器に O リングを装荷した際に生じる応力を評価し、応力解析のインプットに用いる。

(1) O リング圧縮量

本輸送容器に用いられる O リングは [] である。一方、収納容器のガスケット溝は [] である。このため、収納容器蓋を締付け、収納容器本体と接触するまでに O リングが圧縮される割合は(10.1)式で与えられる。

$$[] \dots\dots\dots(10.1)$$

(2) O リング圧縮時に発生する単位長さあたりの力

本輸送容器に用いられる O リングは [] である。O リング製造者のカタログから O リングの圧縮量に応じて発生する力を求める。

製造者カタログに基づく [] 圧縮された場合に発生する力は [] となる。また [] 縮された場合に発生する力は [] となる。上記の結果を平均値より、 [] となる。

また [] 縮された場合に発生する力は [] なる。また、 [] 圧縮された場合に発生する力は [] なる。上記の結果の平均値より [] 圧縮された場合に O リングから発生する力は [] (②)となる。

上記の①及び②の値を線形補間し、O リングが [] 圧縮された場合に発生する力は [] と求められる。

(3) O リング部に生じる応力

(2)で求めた O リング圧縮時に発生する単位長さあたりの力及びモデル化における O リング上下部の接触幅に基づき O リング部に生じる応力を求める。結果を(ロ)第 A.32 表に示し、本応力を用いて解析を行う。

(ロ)第 A.32 表 Oリング圧縮により発生する応力

部位		接触幅	応力
内側 O リング	上部	[Redacted]	[Redacted]
	下部		
外側 O リング	上部		
	下部		

A.10.2 参考文献

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

(4) MIL-HDBK-5H, Metallic Materials and Elements for Aerospace Vehicle Structures, Dec. 1, 1998.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

(10) Parker O-Ring Handbook, ORD 5700, Parker Hannifin Corp., Lexington, Ky., 2007.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED] Engineering

[REDACTED]

(16) Design Guidelines for the Selection and Use of Stainless Steel, American Iron and Steel Institute, Washington, D.C., 1977.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

(口) 章 B 熱解析

B. 熱解析

B.1 概要

本解析では、規則及び告示に規定される BU 型輸送物に係る一般の試験条件及び特別の試験条件における輸送物の熱的状态を解析し、技術上の基準に適合することを示す。

B.1.1 熱設計

本輸送物は、(イ)第 C.1 表及び(イ)第 C.2 表に示すとおり、ドラムアセンブリ及び収納容器の 2 つの主要部から構成される。

本輸送物の熱設計上の特徴を以下に示す。

(1) 収納物の最大崩壊熱

収納物の最大崩壊熱は、付属書類 B.6.1 に示すとおり、本申請に係る輸送物より厳しい条件の ██████████ おける崩壊熱として 5 W を適用する。

(2) 輸送物の伝熱

(a) 輸送物への入熱は、崩壊熱、太陽放射熱及び特別の試験条件下における火災時の熱である。

(b) 内側ライナとドラムの間には充填される ██████████ は、外部熱源からの収納物の熱保護機能を有する。

(c) 輸送物外表面の熱又は収納容器の熱は、伝導、放射及び自然対流により収納容器又は輸送物外表面まで伝えられる。輸送物外表面の熱は空気の自然対流及び放射により大気に放熱される。

(3) ドラムアセンブリの上部リムには、火災時に ██████████ より発生する蒸気を放出するため、4 つの水蒸気放出孔があり、熱可溶性のプラスチックプラグが挿入されている。

(4) 輸送物の密封性を保持する収納容器の O リング部は、██████████ の断熱効果により、特別の試験条件下における火災による入熱から保護される。

B.1.2 熱解析

一般の試験条件下における熱的条件は、次のとおりである。

- ・最高温度評価条件（太陽放射熱有の条件）

輸送物は、38 °C（100 °F）の大気中において 12 時間ごとに太陽放射熱を受ける環境に 1 週間置かれる。

- ・人の近づき得る表面の最高温度評価条件（太陽放射熱無の条件）

輸送物は 38 °C（100 °F）の大気中において太陽放射熱を受けない。

- ・最低温度評価条件

輸送物は -40 °C（-40 °F）の大気中において収納物崩壊熱及び太陽放射熱を受けない。

特別の試験条件下における熱的条件は、次のとおりである。

- ・輸送物は、0.9 の周囲放射率を持つ 800 °C（1472 °F）の環境に 30 分間さらされる（火災事故）。輸送物表面の放射率は 0.8 とする。
- ・試験後の輸送物は、38 °C（100 °F）の大気中において 12 時間ごとに太陽放射熱を受ける。

本解析における条件を(□)-第 B.1 表及び(□)-第 B.2 表に示す。また、熱解析の方法を(□)-第 B.3 表に示す。

(ロ)-第B.1表 一般の試験条件における熱解析条件

項目 \ 条件		人の近づき得る 表面の 最高温度評価条件	一般の試験条件 における 最高温度評価条件	最低温度評価条件
崩壊熱 (W)		5	5	0
環境 条件	周囲温度 (°C)	38	38	-40
	太陽放射熱	無	有	無
	周囲放射率	1	1	1
輸送物表面放射率		0.22	0.22	0.22

(ロ)-第B.2表 特別の試験条件における熱解析条件

項目 \ 条件		火災前	火災中	火災後
崩壊熱 (W)		5	5	5
環境 条件	周囲温度 (°C)	38	800/30分	38
	太陽放射熱	有	有	有
	周囲放射率	1	0.9	1
輸送物表面放射率		0.22	0.8	0.22

(ロ)-第B.3表 熱解析の方法

項目		内容
収納物仕様		■
最大崩壊熱 (W)		5
計算モデル	輸送容器	二次元軸対称有限要素モデル
	収納物	— (B.4.1.1 解析モデル (1) (c) 参照)
熱計算		ANSYS Mechanical 14.5
使用物性値		B.2 材料の熱的性質 参照

B.2 材料の熱的性質

本輸送物の構成材料は、(イ)章に示すとおりである。これらの材料のうち熱解析に使用する材料を以下に示す。また、各材料の熱的性質を(ロ)-第 B.4 表及び(ロ)-第 B.5 表に示す。

(1) ステンレス鋼

ステンレス鋼は、ドラムアセンブリのドラム本体及びライナ等、並びに収納容器の主要構造材として使用する。

(2) ██████████

落下等による衝撃の吸収及び火災事故による入熱を防ぐため ██████████
██████████ ██████████ を使用する。

(3) 中性子吸収材

中性子吸収材としてボロン入りアルミナセメント (Cat 277-4) を使用する。

(4) シリコンラバーパッド

取扱い時の衝撃を緩和するため、収納容器の上下にはシリコンラバーパッドを使用する。

(5) 空気

空気は各部材間の隙間に適用する。

(ロ)-第B.4表 熱解析に使用する材料の熱的性質 (1/2)

材料	温度 °C (°F)	熱伝導率 W/(m·K) (Btu/h in.·°F)	密度 kg/m ³ (lbm/in. ³)	比熱 kJ/(kg·K) (Btu/lbm·°F)	放射率
ステンレス鋼 ^a	[Redacted]				

a 本熱解析においては、ステンレス鋼の熱的性質として一様に表中の値を用いる。

(ロ)-第B.4表 熱解析に使用する材料の熱的性質 (2/2)

材料	温度 °C (°F)	熱伝導率 W/(m·K) (Btu/h in.·°F)	密度 kg/m ³ (lbm/in. ³)	比熱 kJ/(kg·K) (Btu/lbm·°F)	放射率
シリコンラバー パッド	[Redacted]				
空気					

d 保守的に、放射率 1.0 としてモデル化する。

e 38 °C (100 °F) として評価。

(ロ)-B-6

(p)-第B.5表 熱解析に使用する材料の使用温度及び許容圧力

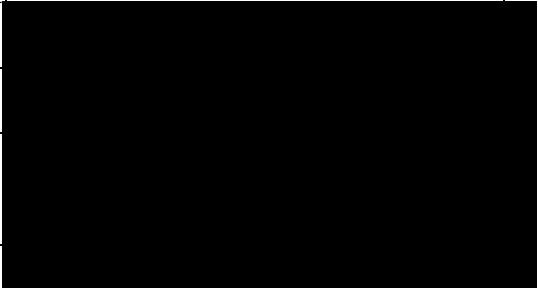
構成部品	使用温度範囲 (°C (°F))	許容圧力 (kPaG (psig))
[Redacted content]		

a [Redacted] 使用温度範囲に準ずる。

B.3 構成要素の仕様

熱解析に関連する構成要素の仕様を(□)-第 B.6 表に示す。

(□)-第B.6表 Oリングの仕様

項目	仕様
材質	
硬度	
通常使用温度	

B.4 一般の試験条件

B.4.1 熱解析モデル

輸送物の一般の試験条件における熱解析は、(p)-第 B.1 表に示す一般の試験条件の解析条件に対して、有限要素法に基づく熱伝達計算プログラム ANSYS Mechanical (12)を用いて実施した。

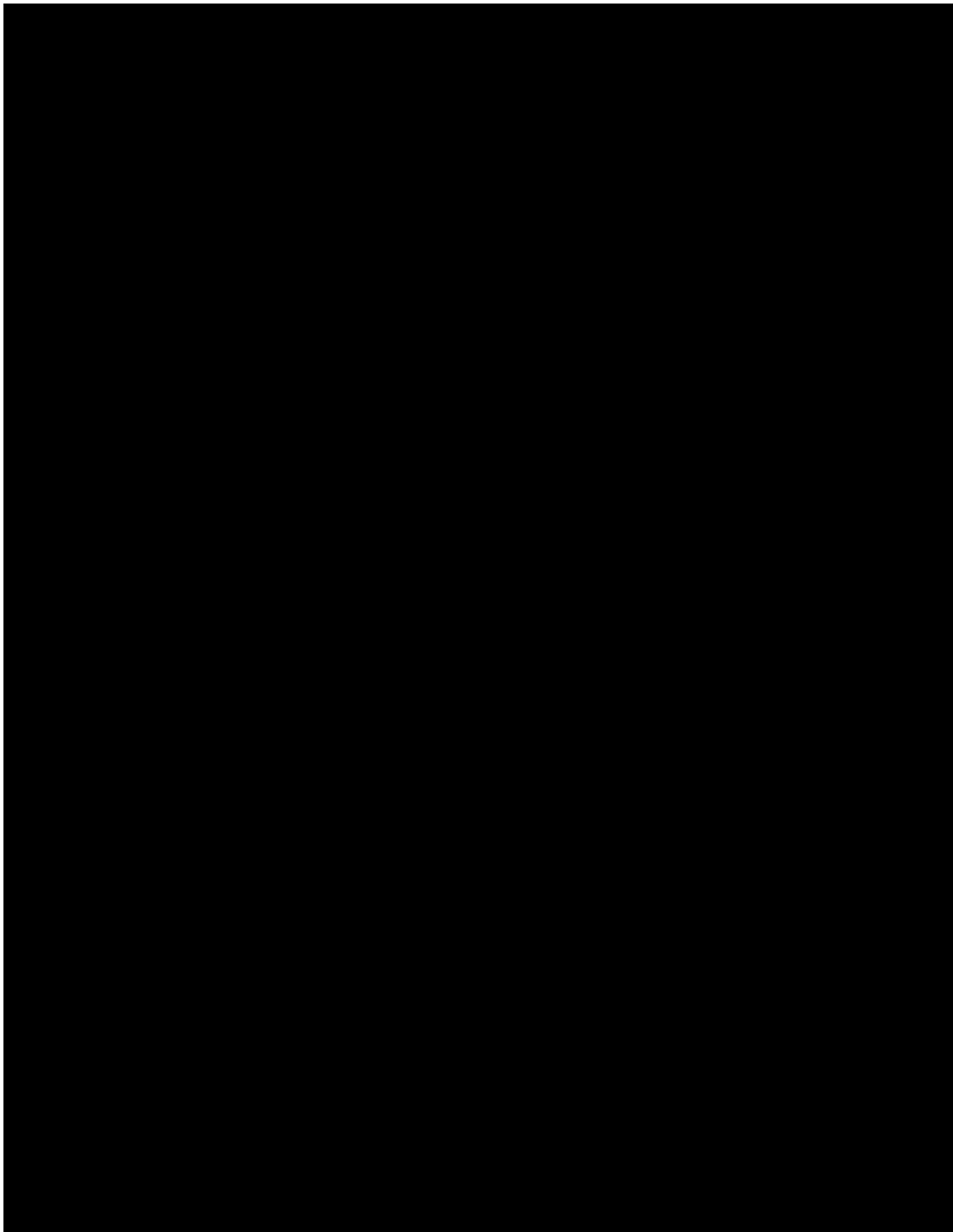
B.4.1.1 解析モデル

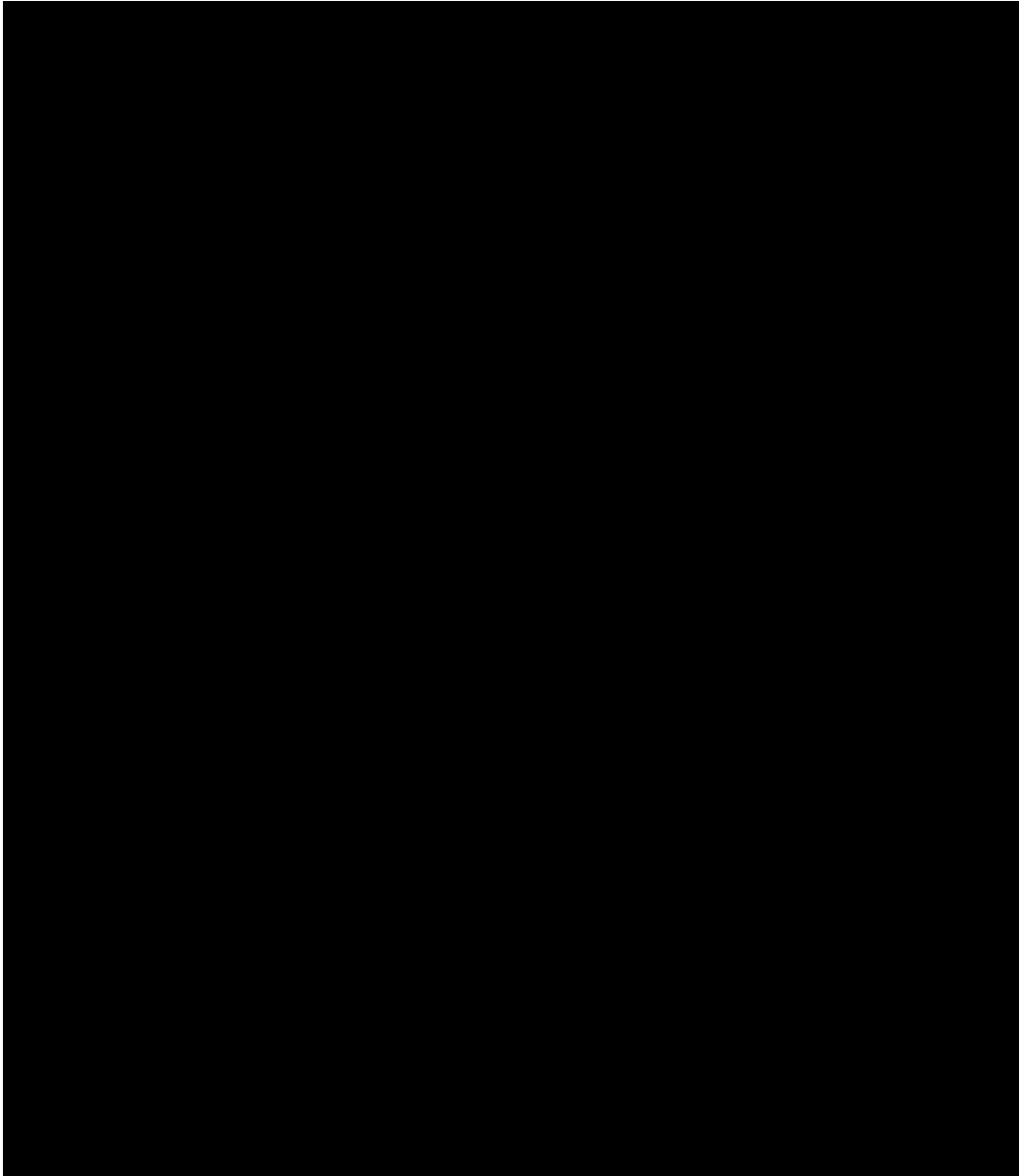
(1) 形状モデル

一般の試験条件における解析モデルの形状を(p)-第 B.1 図に、要素分割図を(p)-第 B.2 図、(p)-第 B.3 図、及び(p)-第 B.4 図に示す。

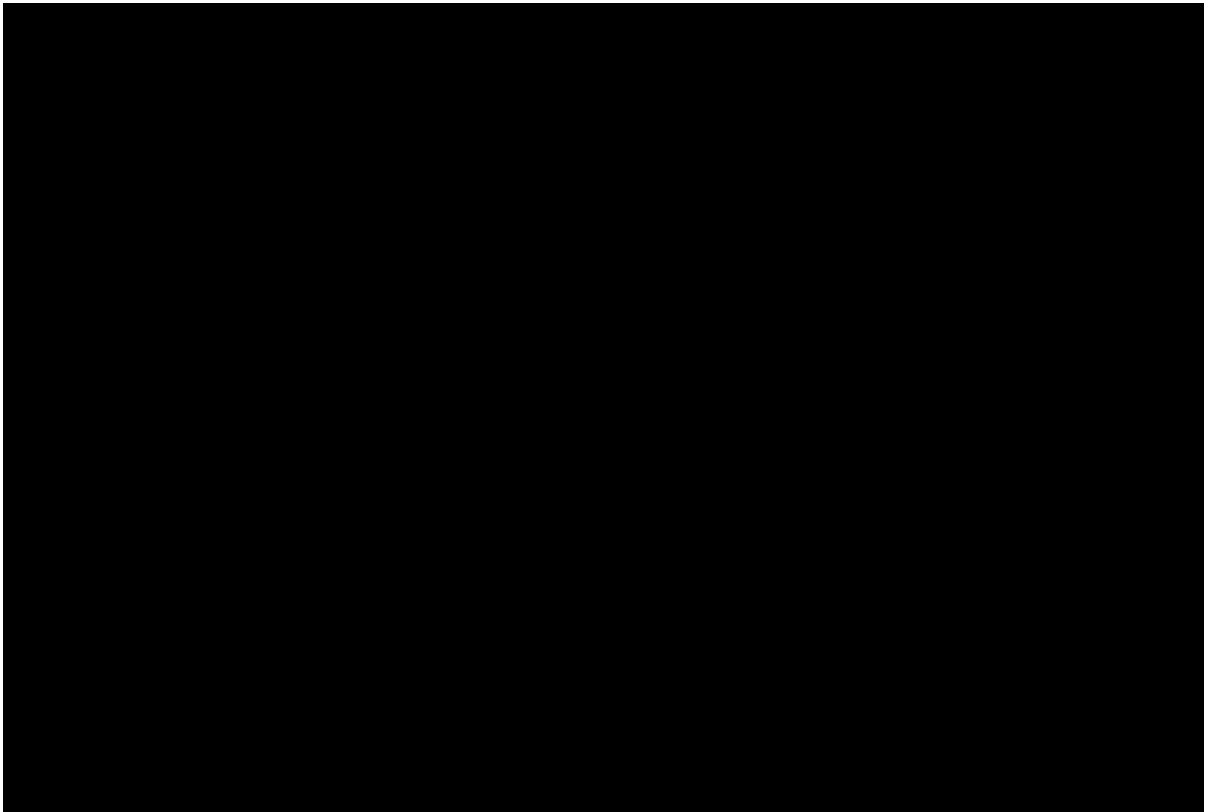
なお、本解析モデルにおける考慮を以下に示す。

- (a) 一般の試験条件のうち、水噴霧試験及び積み重ね試験では輸送物は変形しないが、1.2 m 落下試験においてドラムアセンブリに変形が生じる。ドラムアセンブリ内部 [REDACTED] は熱伝導率が小さく、収納物より発生する熱の放散を防ぐため [REDACTED] が変形していないとする方が内部温度は高くなる。このため、一般の試験条件下の熱解析においては、ドラムアセンブリは変形していないものとする。
- (b) 本輸送物は、輸送時及び取扱い時ともに縦置状態で使用されるため、一般の試験条件下の熱解析においては縦置状態についてモデル化する。
- (c) 本輸送容器に収納される収納物は、(イ)章 D 項に示すとおり [REDACTED] 梱包材、収納缶である。解析においては収納物の形状をモデル化せず、収納容器内面に、崩壊熱に相当する均一熱流束を適用することによって、収納物からの熱負荷をモデル化する。当該モデルは収納物の熱容量を無視しているため、保守的な評価となる。

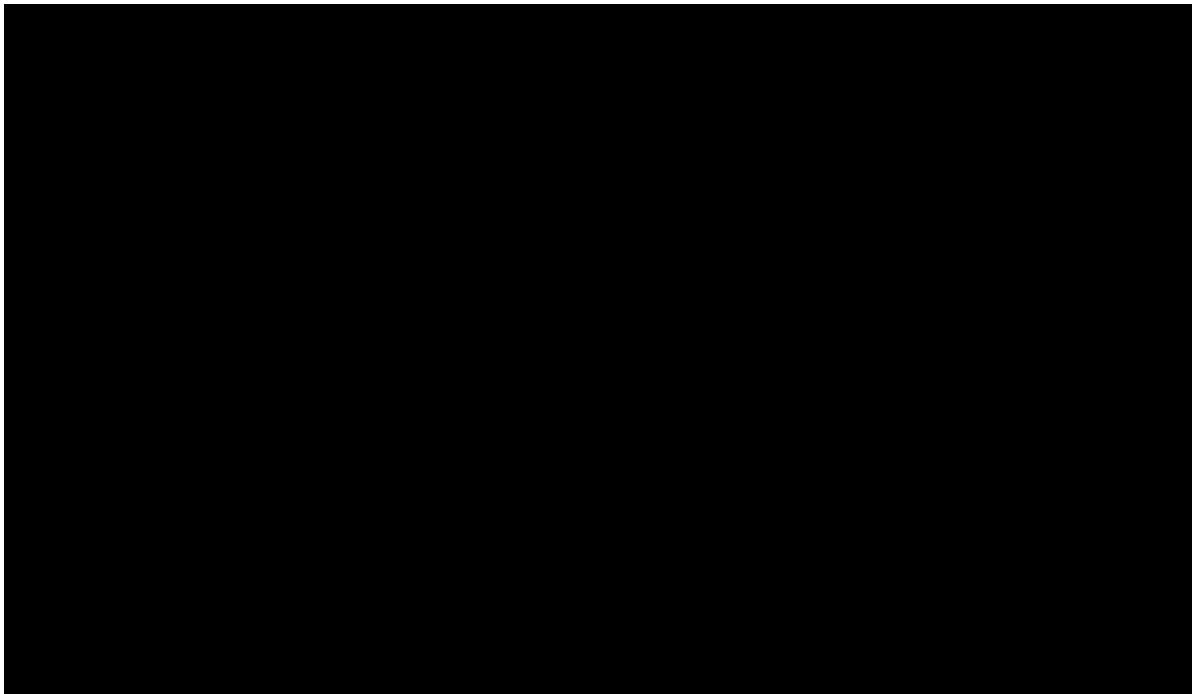




(㊦)-第B.2図 要素分割図 (全体)



(□)-第B.3図 要素分割図 (上部詳細)



(□)-第B.4図 要素分割図 (下部詳細)

(2) 解析条件

一般の試験条件における熱的条件は(□)-第 B.1 表に示すとおりである。また、太陽放射熱については、(□)-第 B.7 表に示す値を使用する。

(□)-第 B.7 表 太陽放射熱による伝熱量

表面の形状及び位置の区分		一日当たり 12 時間の放射熱 (W/m ²)
水平に輸送される平面	下向きの表面	[REDACTED]
	上向きの表面	
垂直に輸送される表面 及び水平に輸送されない下向きの表面		
その他の曲面		

B.4.1.2 試験モデル

解析モデルを採用し、試験モデルは採用していない。

B.4.2 最高温度

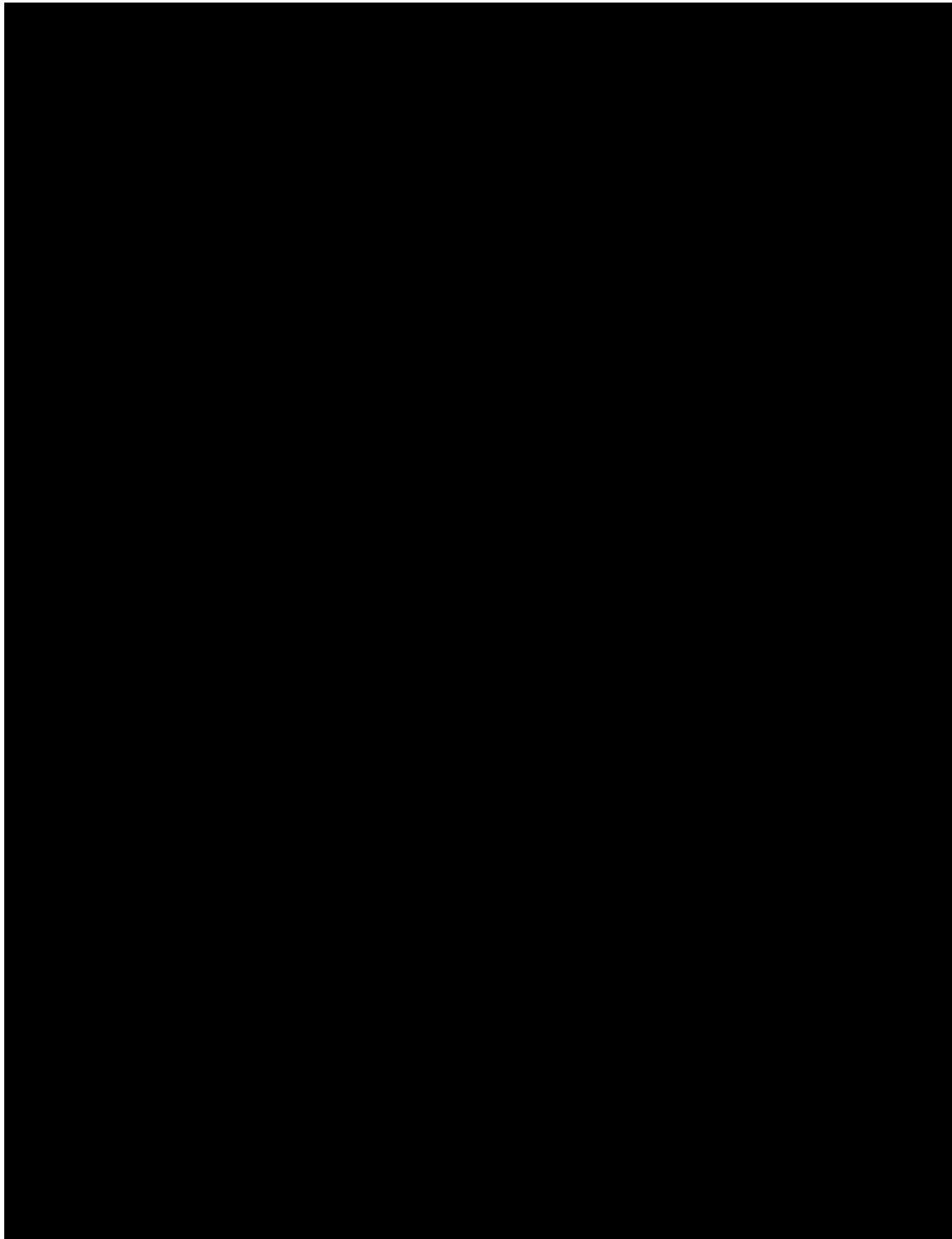
一般の試験条件下における輸送物各部の解析結果を(□)-第 B.8 表に示す。

日陰の場合、容易に人の近づきうる輸送物外面であるドラムアセンブリの最高温度は [REDACTED] であり、専用積載の技術基準である 85 °C を超えることはない。

日向の場合、輸送物各部の最高温度は、ドラムアセンブリで [REDACTED] 収納容器表面で [REDACTED] リング近傍で [REDACTED] である。

収納容器に係る強度評価等を行う場合には、上記の収納容器表面の温度に対し余裕をもたせた [REDACTED] を使用する。

(□)-第B.8表 一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度



B.4.3 最低温度

一般の試験条件において本輸送物は、内部発熱がなく、 -40°C (-40°F) の周囲温度で太陽放射熱を受けていない環境に放置されたときに最低温度となり輸送物全体が -40°C (-40°F) となる。

(ロ)章 A.4.2 低温強度の項に記載したように、構成材料は -40°C (-40°F) で使用しても健全性が損なわれることはない。

輸送物は乾式であるため冷却水を内封しておらず、凍結により輸送物は破損を受けることはない。

また、最低温度時の圧力 P_1 はボイル・シャルルの法則に基づく次式より求められ [REDACTED] となる。

$$P_1 = P_0 \cdot \frac{V_0}{V_1} \cdot \frac{T_1 + 273.15}{T_0 + 273.15}$$

ここで、

P_0 : 初期圧力 = [REDACTED]

V_0 : 収納容器容積 = V_1

T_0 : 初期温度 = [REDACTED]

T_1 : 最低温度 = -40°C (-40°F)

収納容器に係る強度評価等を行う場合には、上記圧力に対し余裕をもたせた [REDACTED] 使用する。

B.4.4 最大内圧

輸送物について、一般の試験条件下での内圧を求める。

(1) 作用圧力

収納容器内の空気による作用圧力を求める。

(a) 初期圧力

収納容器内の初期圧力は、初期温度 [] 大気圧であり [] とする。

(b) 空気の膨張による圧力

空気の膨張による圧力 P_1 は、ボイル・シャルルの法則に基づく次式で求める。

$$P_1 = P_0 \cdot \frac{V_0}{V_1} \cdot \frac{T_1 + 273.15}{T_0 + 273.15}$$

ここで、

P_0 : 初期圧力 = []

V_0 : 収納容器容積 = V_1

T_0 : 初期温度 = []

T_1 : 一般の試験条件下での空気の温度 (°C)

これらの式より圧力 P_1 を求めると (p)-第 B.9 表 のようになる。

(p)-第B.9表 収納容器の内圧計算結果

試験条件	一般の試験条件
温度 T_1	[]
圧力 P_1	[]

なお、周囲の温度が -40°C から 38°C に変化した場合における内圧は $T_0 = -40^\circ\text{C}$ として、上記の式により求められ [] となる。

(2) 最大圧力

収納容器に係る強度評価等を行う場合には、上記収納容器の内圧に対し余裕をもたせた [] を使用する。

B.4.5 最大熱応力

一般の試験条件下における熱応力は、(ロ)章 A.5.1 項で述べたように構造強度に影響を与えない。

B.4.6 結果の要約及びその評価

一般の試験条件下において、運搬中に予想される周囲温度として最高 38 °C (100 °F)、最低 -40 °C (-40 °F) での熱解析の結果に基づく評価は以下に示すとおりであり、構造強度及び密封性能に影響を与えないことを確認した。

(1) 日陰における表面温度

日陰における輸送物の人の容易に近づきうる表面の最高温度は [REDACTED] であり、許容基準温度 85 °C を超えることはない。

(2) 構造強度

日向における輸送物各部の最高温度は、ドラムアSEMBリで [REDACTED] 収納容器表面で [REDACTED] O リング近傍で [REDACTED] であり、(p)-第 B.5 表及び(p)-第 B.6 表に示す使用温度範囲内である。また、その他の構造材においても悪影響を及ぼすような温度にはならない。また、最低温度 -40 °C (-40 °F) の環境下においても(ロ)章 A.4.2 低温強度の項に記載したように構成材料の健全性が損なわれることはない。なお、収納容器に係る強度評価等を行う場合には [REDACTED] で解析を行っており、一般の試験条件下の熱的試験において輸送物が健全性を維持していることを示している ((ロ)章 A.5.1 項参照)。

一般の試験条件における収納容器の最大内圧は [REDACTED] あり、収納容器の設計圧力 [REDACTED] 以下となるため、輸送物の健全性は維持される。

(3) 密封性能

密封境界である収納容器の内側 O リングの温度は [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] となる。この値は、O リングの通常使用温度範囲 [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] 内であり、劣化することはない。

外圧が 60kPa まで低下した場合における内外圧力差は [REDACTED] である。一方、当該輸送容器の強度評価は、これを上回る外圧 [REDACTED] [REDACTED] を負荷として評価し、密封装置の構造健全性及び密封性が確保されていることを確認していることから 60kPa

まで外圧が低下した場合においても密封性が確保される。

B.5 特別の試験条件

B.5.1 熱解析モデル

輸送物の特別の試験条件における熱解析は、(a)-第 B.2 表に示す特別の試験条件の解析条件に対して、有限要素法に基づく熱伝達計算プログラム ANSYS Mechanical⁽¹²⁾を用いて実施した。

B.5.1.1 解析モデル

特別の試験条件における解析モデルの形状は (a)-第 B.1 図に、要素分割図は(a)-第 B.2 図、(a)-第 B.3 図及び(a)-第 B.4 図に示すとおりである。

(1) 形状モデル

本熱解析においては、落下試験によるドラムアセンブリの変形を考慮せず、一般の試験条件と同様の輸送物をモデル化している。ドラムアセンブリの変形に起因する温度変化については、後述する B.5.3 項でその影響を補正する。

(2) 解析条件

火災前の輸送物の温度分布は、一般の試験条件下の温度分布を使用する。特別の試験条件における熱的条件は(a)-第 B.2 表に示すとおりである。また、太陽放射熱については、(a)-第 B.7 表に示す値を使用する。

B.5.1.2 試験モデル

解析モデルを採用し、試験モデルは採用していない。

B.5.2 輸送物の評価条件

一般の試験条件との相違として、特別の試験条件においては、火災による入熱を大きくするため、横置きとして輸送容器底面からも入熱を仮定する。この際、火災前の温度分布は一般の試験条件後の温度分布を使用する。火災中及び火災後の太陽放射としてドラムアセンブリ上部及び底部は、垂直に輸送される表面として 200 W/m^2 、ドラムアセンブリ胴体部は、その他の曲面として 400 W/m^2 を入熱する。

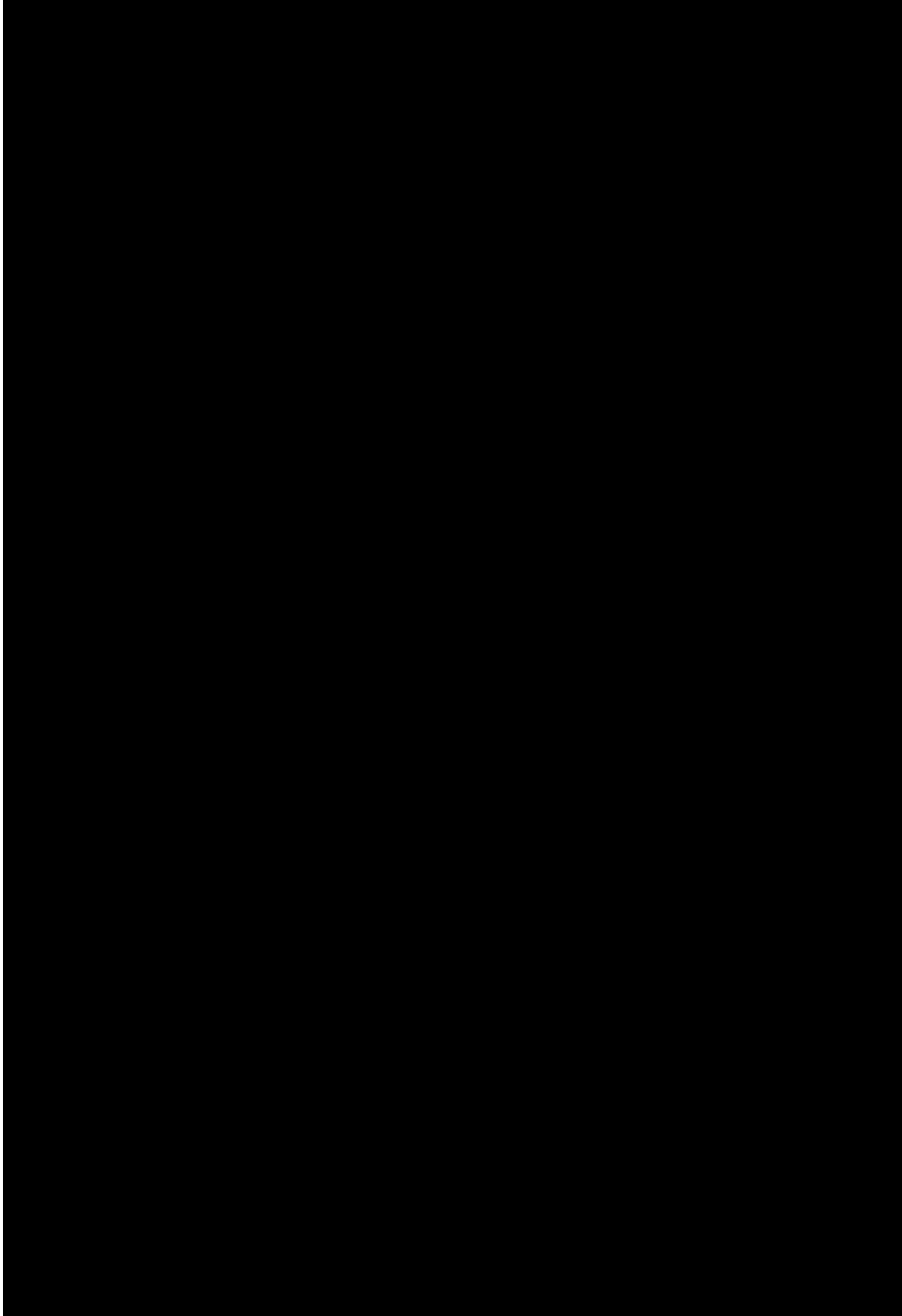
B.5.3 輸送物温度

解析結果を(ロ)第 B.10 表に示す。また、火災発生から最高温度到達までの時間経過を(ロ)第 B.5 図に示す。

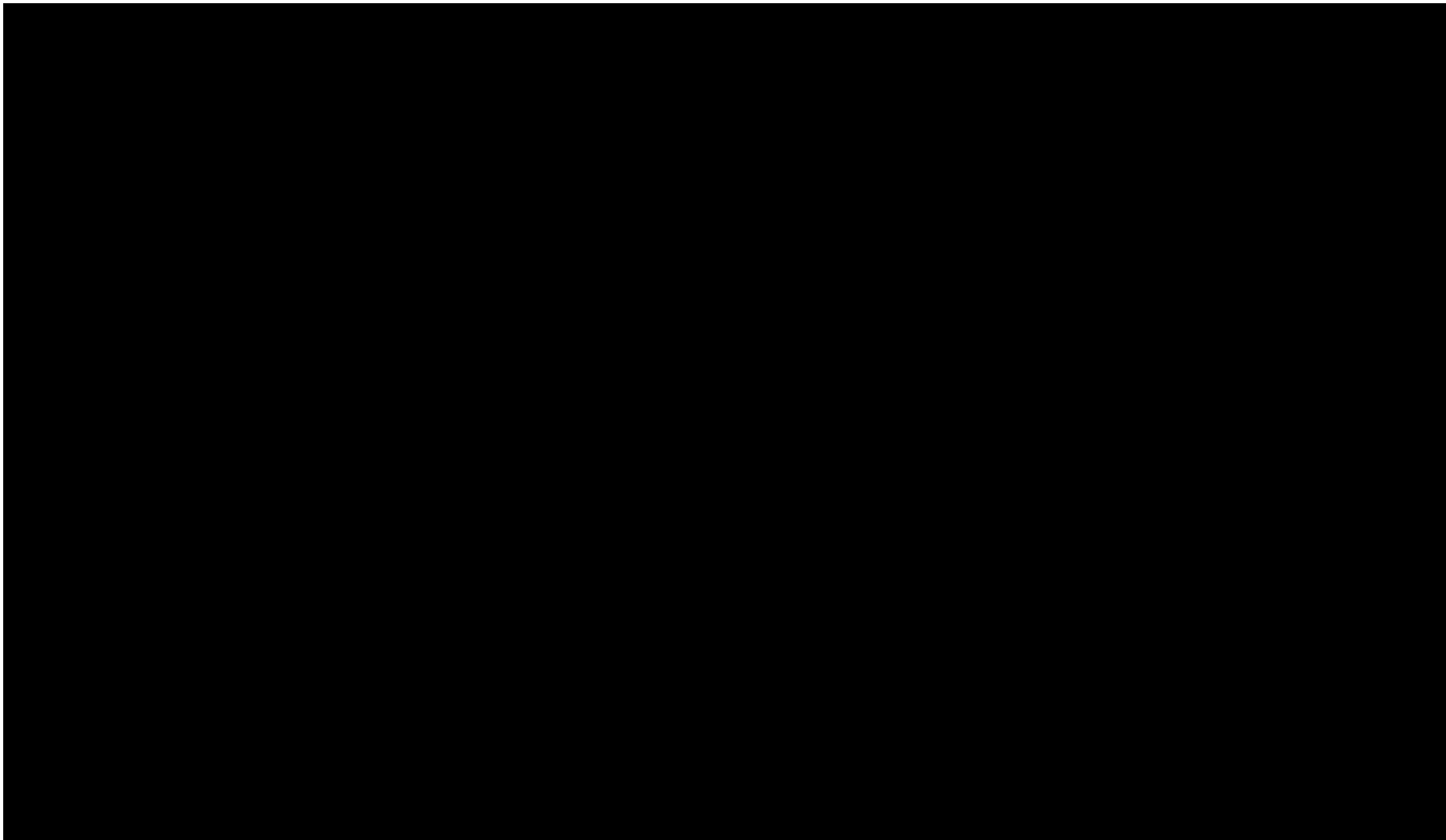
輸送物各部の最高温度は、収納容器表面で [] O リング近傍で [] である。

落下試験によるドラムアセンブリの変形に対する最高温度への影響について、(ロ)章 A 項で示す原型試験の結果、供試体 1 と供試体 2 の耐火試験では、収納容器表面温度に平均 [] の差が生じる⁽¹³⁾。供試体 1 の結果は、収納容器フランジ部近傍の [] の損傷が小さい場合の結果であり、供試体 2 の結果は、収納容器フランジ部近傍の [] の損傷が大きい場合の結果である。したがって、供試体 1 と供試体 2 との温度差は、輸送物の損傷による温度差と考えられる⁽¹³⁾。このため、収納容器に係る強度評価等を行う場合には、解析温度に対し余裕をもたせ、収納容器及び収納容器内の空気の高温度として [] O リングの高温度として [] を使用する。

(B)-第B.10表 特別の試験条件下における輸送物各部の最高温度



(中)-B-22



(中)-第 B.5 図 特別の試験条件下における各部の温度履歴

B.5.4 最大内圧

特別の試験条件下における収納容器内の最大圧力を(□)・第 B.11 表に示す。圧力計算の方法は、一般の試験条件の場合と同様に、B.4.4 に示すとおりとする。

(□)・第B.11表 収納容器の内圧計算結果

試験条件	特別の試験条件
温度 T	
圧力 P ₁	

収納容器に係る強度評価等を行う場合には、上記収納容器の内圧に対し余裕をもたせた [] を使用する。

B.5.5 最大熱応力

特別の試験条件下における熱応力は、(□)章 A.6.3 項 (A.9.2.5 項) に記述されているとおり、構造強度に影響を与えることはない。

B.5.6 結果の要約及びその評価

特別の試験条件下における熱解析の結果に基づく評価は、以下に示すとおりであり、構造強度及び密封性能に影響を与えないことを確認した。

(1) 温度

輸送物各部の最高温度は、収納容器表面で [REDACTED] Oリング近傍で [REDACTED] であり、(p)-第 B.5 表及び(p)-第 B.6 表に示す使用温度範囲内である。また、その他の構造材においても悪影響を及ぼすような温度にはならない。このため、輸送物の健全性は維持される。

(2) 内圧

特別の試験条件における収納容器の最大内圧は [REDACTED] であり、収納容器の設計圧力 [REDACTED]) 以下となるため、輸送物の健全性は維持される。

(3) 密封性能

密封境界である収納容器の内側 Oリングの最高温度は [REDACTED] となる。この値は、Oリングの通常使用温度範囲 [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] 内であり劣化することはない。

B.6 付属書類

B.6.1 収納物の最大崩壊熱

B.6.2 参考文献

B.6.1 収納物の最大崩壊熱

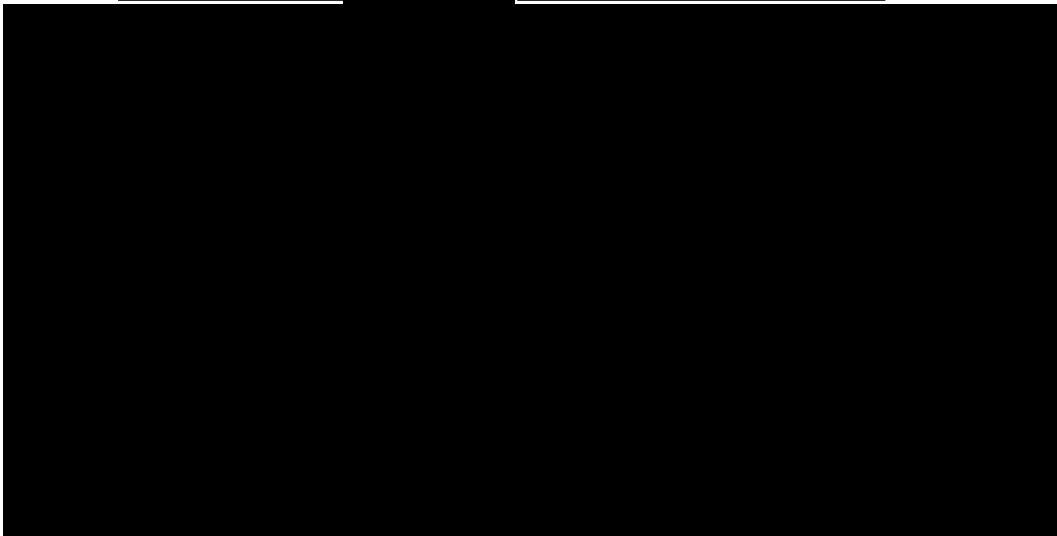
本項は、熱解析に用いる収納物の最大崩壊熱を検討したものである。

本輸送容器に収納可能な核燃料物質等の仕様は(イ)第 A.1 表に示すとおり [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] である。熱解析においては、本申請に係る輸送物より厳しい条件として [REDACTED] [REDACTED] 仮定する。また、重量分布については、(ロ)第 B.1 付属表に示す同位体及び重量分布に基づく。

ORIGEN-S コード (NUREG/CR-0200) を用いた崩壊熱の計算結果を(ロ)第 B.2 付属表に示す。

[REDACTED] [REDACTED] に対する崩壊熱が最大となるのは、初期組成から約 10 年経過後であり、合計値は [REDACTED] である。この値を保守的に切り上げ、最大崩壊熱負荷 5 W として熱解析に使用する。

(ロ)第B.1付属表 [REDACTED] の重量百分率及び同位体重量



(四) 第 B.2 付属表 [redacted] の崩壊熱

崩壊熱 (W/g)	同位元素	崩壊時間								
		0 年	5 年	10 年	20 年	30 年	40 年	50 年	60 年	70 年
[redacted]										

B.6.2 参考文献

- (1) Incropera, F. P., and D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 2d ed., John Wiley & Sons, New York, 1985.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- (10) *Parker O-Ring Handbook*, ORD 5700, Parker Hannifin Corp., Lexington, Ky., 2007.

[REDACTED]

- (12) ANSYS, Mechanical Release 14.5, UP20120918, ANSYS Mechanical U, ANSYS, Inc.

[REDACTED]

(口) 章 C 密封解析

C. 密封解析

C.1 概 要

本解析では、一般の試験条件及び特別の試験条件における本輸送物の密封性について述べる。

本輸送容器の密封装置は、収納容器であり、収納容器本体とシール蓋で構成され、収納容器本体とシール蓋との接触部は[REDACTED] Oリング（シール蓋 Oリング）で密封されている。

密封装置は一般及び特別の試験条件における原型試験により漏えい率が判定基準を満足することが確認され、シール蓋 Oリング部は輸送物の発送前に実施される気密漏えい検査により漏えい率が判定基準を満足することが確認される。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

(1) 構 成

本輸送容器の密封装置は(a)-第 C.1 図に示すとおり、収納容器本体及びシール蓋により構成される。

(2) 材 質

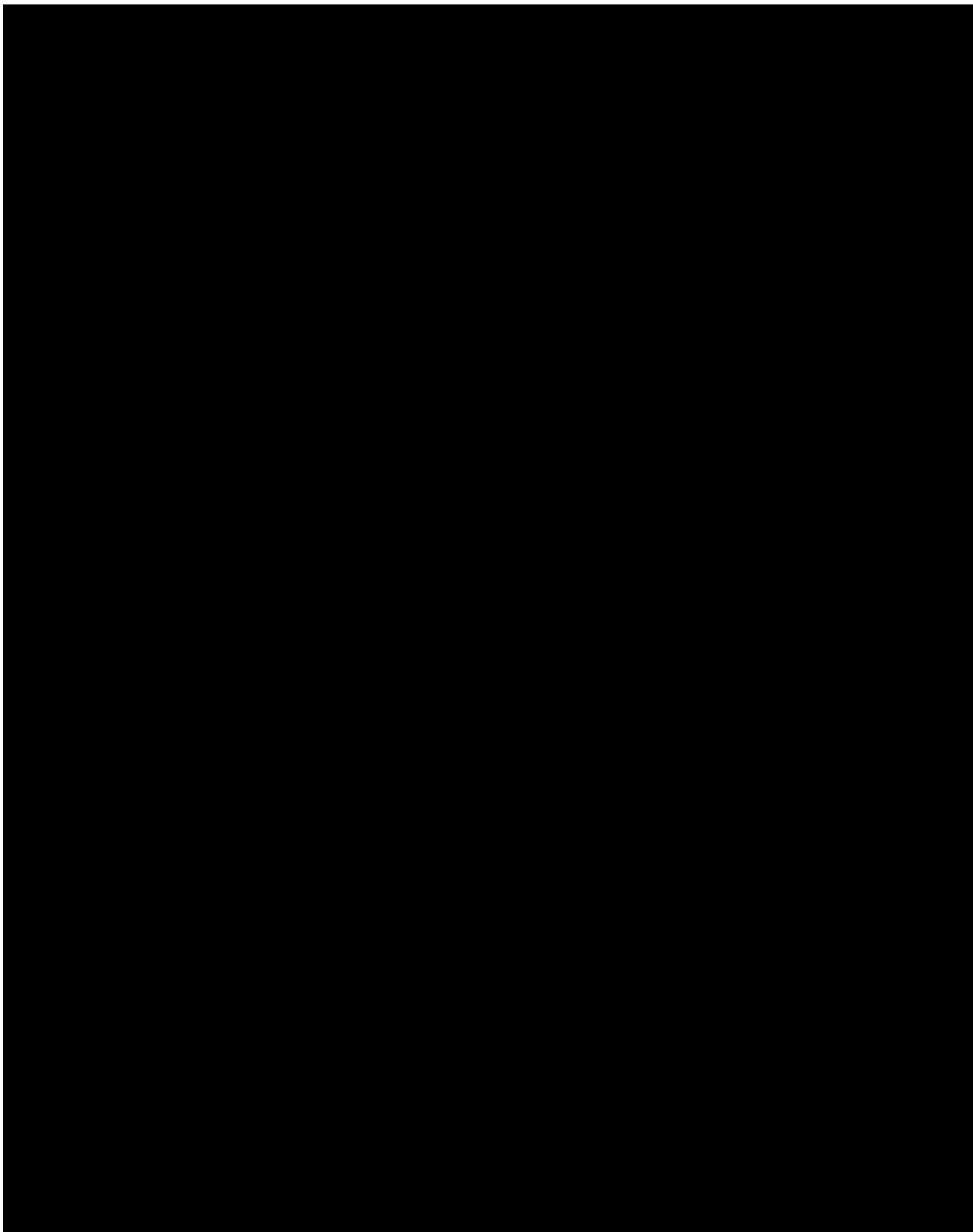
密封装置を構成する収納容器本体及びシール蓋にはステンレス鋼、シール蓋のシール部には[REDACTED] Oリングが使用されている。

(3) 設計圧力及び設計温度

(a)-第 C.1 表に示す最高圧力及び最高温度での漏えい率の評価を行う。

(a)-第C.1表 密封装置の最高圧力及び最高温度

条 件	項 目	密 封 装 置
一般の試験条件	設計圧力	[REDACTED]
	設計温度	
特別の試験条件	設計圧力	
	設計温度	



(㉓)-第C.1图 密封装置构造图

(5) 製作・検査

密封装置の構成部品の製作及び検査は、密封性を確保するために適した方法で行われる。

C.2.2 密封装置の貫通部

本輸送容器の開口部はシール蓋のみであるから、本項は該当しない。

C.2.3 密封装置のガスケット及び溶接部

(1) 密封装置のガスケット

密封装置のガスケットには[]製 O リングが使用される。この O リングは(ロ)章 A.4.1 項で示したように化学的及び電氣的反応を起こさない。また、一般及び特別の試験条件における圧力、温度に対し十分な密封性能を有している。

(2) ガスケットの仕様

ガスケットの寸法及び材質を(ロ)-第 C.2 表に示す。

[]製 O リングは、その耐熱性 ((ロ)章 B.3 項参照) 及び耐寒性 ((ロ)章 A.4.2 項参照) により、一般及び特別の試験条件下並びに最低使用温度でも輸送物の密封性を保つことができる。

(ロ)-第C.2表 ガスケットの寸法及び材質

部 位		寸 法	材 質	備 考
シール蓋	内側	[]	[]	O リング
	外側	[]	[]	

(3) 溶接部

収納容器本体のフランジ、胴及び底板は溶接される。溶接部は製作中に適切な非破壊検査を行い、その健全性を確認し、さらに、耐圧検査を行い漏えいのないことを確認する。

C.2.4 蓋

シール蓋には(□)-第 C.1 図に示すとおり、2 [REDACTED] [REDACTED] 製 O リングが取付けられている。

また、シール蓋は一般及び特別の試験条件においても十分耐え得る強度を備え、かつ、密封性を保持できる構造となっている。

シール蓋は、輸送容器の密封性を保つため、(□)-第 C.3 表に示すクロージャーナットにより適正なトルクで締付ける。

(□)-第C.3表 クロージャーナット

名 称	規格	締付けトルク
クロージャーナット	[REDACTED]	[REDACTED]

C.3 一般の試験条件

本輸送物の密封装置は、(ロ)章 A 構造解析の結果から、BU 型輸送物の要件として一般の試験条件において健全性は損なわれない。また、(ロ)章 B 熱解析の結果から、一般の試験条件下での温度及び圧力に対しても健全性は損なわれない。

したがって、密封装置の密封性は、一般の試験条件において損なわれることはないので、本解析では、輸送物の発送前に行うシール蓋の O リング部の気密漏えい検査における判定基準に基づいて密封性能の評価を行うことにより、一般の試験条件下における放射性物質の漏えい率が規則に定める基準値以下であることを示す。

C.3.1 放射性物質の漏えい

C.3.1.1 密封装置からの漏えい量

密封装置は、製作中及び保守時に行う気密漏えい検査等により、漏えいがないことが確認される。

さらに本輸送物の密封性能については、輸送ごとに気密漏えい検査等により漏えい率が基準値以下であることを確認することとしている。

本解析では、気密漏えい試験においてシール蓋 O リング部に供給した空気等の圧力変化（最大許容空気漏えい率相当）が一定時間後に検知されたと想定し、放射性物質の漏えいを評価する。

ここでは最大許容空気漏えい率から一般の試験条件下のガスの漏えい率を求め、ガス中の放射性物質濃度とそれぞれの漏えい率から、放射性物質の漏えい率を求めて、放射性物質の漏えい率が規則に定める基準値以下であることを確認する。

なお、本項においての圧力は、絶対圧力とする。

(1) 最大許容空気漏えい率

密封解析の設計基準として設定した最大許容空気漏えい率 L_R は、輸送容器の被検査部の空気漏えい率として(ロ)-第 C.4 表に示す値とする。

(ロ)-第C.4表 最大許容空気漏えい率

項 目	密 封 境 界 (シール蓋 O リング部)
L_R : 最大許容空気漏えい率 (std cm ³ /s)	

(2) 気密漏えい試験時の漏えい率と気密漏えい試験条件

(a) 気密漏えい試験時の漏えい率

圧力降下試験による漏えい試験時の漏えい率は次式で表される。

$$L_R = \frac{VT_s}{60HP_s} \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right)^{1)} \dots\dots\dots(C.3-1)$$

ただし、

L_R : 25 °C、0.101 MPa (1 atm) の標準状態における体積漏えい率
(std cm³/s)

V : 試験系の容積 []

H : 試験時間 (min)

T_s : 基準温度 298 (K)

T_1 : 試験開始時の空気温度 (K)

T_2 : 試験終了時の空気温度 (K)

P_s : 基準圧力 (0.101 MPa, (1 atm))

P_1 : 試験開始時の空気圧力 (MPa)

P_2 : 試験終了時の空気圧力 (MPa)

上記の(C.3-1)式に次の気密漏えい試験条件を入れて空気漏えい率を求め、設計基準として設定した最大許容空気漏えい率以下であることを確認する。

(b) 気密漏えい試験条件

(i) 試験開始時の空気圧力は [] とする。

(ii) 試験終了時の空気圧力は [] とする。

(iii) 試験時間は 10 分間とする。

(iv) 計算においては、 $T_1 = T_2 = T_s = 298 \text{ K} (25 \text{ °C})$ とする。

以上の条件を (C.3-1) 式にあてはめ、気密漏えい試験時の最大許容空気漏えい率を求めた結果を(㉓)第 C.4 表に示す。

(v) 上記 (i) ~ (iv) の条件及び漏えい試験装置系の全容積 V を考慮して、シール蓋の O リング部空気漏えい率 L_R ($L_R = \sum L_{Ri}$ が最大許容空気漏えい率 $L_R = []$ 以下であることを確認できるように、試験時間 H 及び圧力降下 $\Delta P (P_1 - P_2)$ を定め試験を実施する。

注) $L_R \cdot \frac{P_s}{P_1} \cdot \frac{T_1}{T_s}$ []

(3) 一般の試験条件における最大ガス漏えい率

一般の試験条件における最大ガス漏えい率は、漏えい試験における最大空気漏えい率 L_R に基づいて以下の手順により求める。

(a) 漏えい孔径

漏えい孔としてシール蓋の内側 O リング部を最短で横切る円直管を仮定する。

漏えい孔中の流体の流れの形態は自由分子流と連続流が考えられ、その漏えい率は次式で与えられる。

$$L = (F_c + F_m)(P_u - P_d)^{1/2} \dots\dots\dots(C.3-2)$$

ここで、 L : 圧力 P_a における体積漏えい率 (cm^3/s at P_a, T_a)

P_a : 流れの平均圧力

$$P_a = (P_u + P_d)/2 \dots\dots\dots(C.3-3)$$

T_a : 流体の平均温度 (K)

P_u : 上流側の圧力 (MPa)

P_d : 下流側の圧力 (MPa)

F_c : 連続流の流動熱伝導係数 ($\text{cm}^3/(\text{MPa}\cdot\text{s})$)

F_m : 自由分子流の流動熱伝導係数 ($\text{cm}^3/(\text{MPa}\cdot\text{s})$)

$$F_c \dots\dots\dots(C.3-4)$$

$$F_m \dots\dots\dots(C.3-5)$$

ただし、 D : 漏えい孔径 (cm)

a : 漏えい孔長 (cm)

μ : 空気の粘度 ($\text{MPa}\cdot\text{s}$)

T : 流体の温度 (K)

M : 流体の分子量 (g/mol)

漏えい孔径 (D) は、次式及び(C.3-2)式から求められる。

$$L = L_{Ri} \cdot \frac{P_s}{P_a} \cdot \frac{T_s}{T_a} \dots\dots\dots(C.3-6)$$

ここで、 L_{Ri} : 密封境界の空気漏えい率 (std cm^3/s)

T_a : 平均温度 (= T_s) (K)

シール蓋部の漏えい試験時の最大漏えい孔径を(□)-第 C.5 表に示す。

注 XXXXXXXXXX 記載式の単位を単位換算した。

(ロ)-第C.5表 最大許容ガス漏えい率

項目	部 位
	シール蓋 O リング部
L_{Ri} : 密封境界の空気漏えい率 (std cm ³ /s)	
P_u : 上流側圧力 (MPa)	
P_d : 下流側圧力 (MPa)	
P_a : 流れの平均圧力 (MPa)	
T_a, T : 空気の温度 (K)	
L : 漏えい試験時の空気漏えい率 (cm ³ /s at P_a, T_a)	
μ : 空気の粘性係数 ²⁾ (at 25°C) ※1 (MPa・s)	
a : 漏えい孔長 (cm)	
M : 空気の分子量 (g/mol)	
F_c : 連続流の流動伝導係数 $\left(\frac{\text{cm}^3}{\text{MPa} \cdot \text{s}}\right)$	
F_m : 自由分子流の流動伝導係数 $\left(\frac{\text{cm}^3}{\text{MPa} \cdot \text{s}}\right)$	
D : 漏えい孔径 (cm)	

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : O リング断面直径を採用

(b) 一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

一般の試験条件下のガス漏えい率は(C.3-2)式～(C.3-5)式に一般の試験条件下の圧力条件、ガス物性値及び最大漏えい孔径を代入して求められる。

一般の試験条件下のガス漏えい率を(□)-第 C.6 表に示す。計算はシール蓋 O リング部の漏えい率を最大ガス漏えい率とする。

(□)-第C.6表 一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

項 目	部 位	密封境界 (シール蓋 O リング部)
D	: 漏えい孔径	
a	: 漏えい孔長さ	
μ	: ガスの粘性係数 (at 25°C) ※1	
$P_{u,N}$: 一般の試験条件下の密封装置内圧力	
$P_{d,N}$: 一般の試験条件下の外圧	
$T_{u,N}$: 一般の試験条件下のガス温度	
M	: ガスの分子量	
L_N	: 一般の試験条件下のガス漏えい率 (at 366.48 K, 0.120 MPa)	

※1: 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2: 熱解析の最大内圧 [] a とする。

※3: [] を使用する。

C.3.1.2 放射性物質漏えい量評価

(1) 漏えい量評価を行う放射性物質

本密封解析では、収納する放射性物質を保守的に [REDACTED] [REDACTED] とした。(a)-第 C.7 表に核種ごとの質量を示す。本収納物の崩壊を考慮し、ORIGEN-2.2 で崩壊年数ごとの核種質量を算出した。ORIGEN-2.2 による解析結果を(a)-第 C.8 表に示す。

本解析では、最大放射エネルギーとなる崩壊年数 70 年の算出結果を基に評価を実施する。崩壊年数 70 年時の質量比を(a)-第 C.9 表で示す。

(a)-第C.7表 漏えい量評価に使用する核種組成及び質量

核種	質量 (g)
[REDACTED]	[REDACTED]

(ロ)第C.8表 ORIGEN-2.2による[]の核種質量

(単位 : g)

核種	0年	5年	10年	20年	30年	40年	50年	60年	70年
Pb-210	[REDACTED]								
Pb-212									
Bi-210									
Bi-212									
Po-210									
Rn-222									
Ra-223									
Ra-224									
Ra-225									
Ra-226									
Ra-228									
Ac-225									
Ac-227									
Ac-228									
Th-227									
Th-228									
Th-229									
Th-230									
Th-231									
Th-232									
Th-234									
Pa-231									
Pa-233									
U-232									
U-233									
U-234									
U-235									
U-236									
U-238									
Np-237									

(㊦)-第C.9表 ORIGIN-2.2算出結果に基づく質量比 (崩壊年数70年)

核種	質量 (g)	質量比 (質量%)
Pb-210		
Bi-210		
Po-210		
Rn-222		
Ra-223		
Ra-226		
Ac-227		
Th-227		
Th-230		
Th-231		
Th-234		
Pa-231		
U-234		
U-235		
U-238		
合計		

(2) 一般の試験条件における放射性物質の漏えい量評価

(ロ) 章 A 構造解析に示したように特別の試験条件下において収納容器に損傷はなく、健全性が維持される。一般の試験条件における漏えいに係る放射性物質としては [REDACTED] であるが、保守的 [REDACTED] あると仮定する。こ [REDACTED] から発生するエアロゾルが収納容器の空气中に均一に分散していると仮定し、漏えい率の評価を行う。

一般の試験条件における放射性物質の漏えい率は、収納容器内の空气中に存在するエアロゾル最大密度 [REDACTED] [REDACTED] 及び C.3.1.1 項で求めた一般の試験条件下のガス漏えい率 (L_N) を乗じ、(ロ)-第 C.9 表で示した質量比によって求められる。

(ロ)-第 C.10 表に一般の試験条件における放射性物質の漏えい率を示す。

(ロ)-第 C.10 表に示すように一般の試験条件における放射性物質の基準値と漏えい率の比の合計は 1 より小さい。

(ロ)-第C.10表 一般の試験条件における放射性物質の漏えい率

核種	質量比 (質量%)	漏えい質量 (g/h)	比放射能 (TBq/g)	漏えい率 (TBq/h)	基準値 ^{※1} ($A_2 \times 10^{-6}$) (TBq/h)	比率
Pb-210						
Bi-210						
Po-210						
Rn-222						
Ra-223						
Ra-226						
Ac-227						
Th-227						
Th-230						
Th-231						
Th-234						
Pa-231						
U-234						
U-235						
U-238						

※1：ウランの A_2 値は最小となるよう告示で定める (S) の値とした。

C.3.2 密封装置の加圧

本輸送物はドライ状態で輸送されるため、放射線または熱により圧力が上昇する要因となる水分は含まれていない。

したがって輸送物内部の加圧要因となるのは、温度上昇による空気の熱膨張である。これによる内圧力は(ロ)章 B.4.4 項で述べたとおりである。

密封装置の耐圧強度解析は(ロ)章 B.4.4 項で示した容器の内圧に対し、設計余裕をとり、XXXXXXXXXXの設計圧力で実施している。

C.3.3 冷却材汚染

本輸送容器には冷却材を使用していないので、本項は該当しない。

C.3.4 冷却材損失

本輸送容器には冷却材を使用していないので、本項は該当しない。

(㊦)-第C.11表 特別の試験条件下の最大ガス漏えい率

項 目	部 位	密封境界 (シール蓋 O リング部)
D : 漏えい孔径		
a : 漏えい孔長さ		
μ : ガスの粘性係数 (at 25°C) ※1		
$P_{u,A}^{※2}$: 特別の試験条件下の密封装置内圧力		
$P_{d,A}^{※2}$: 特別の試験条件下の外圧		
$T_{u,A}^{※2}$: 特別の試験条件下のガス温度		
M : ガスの分子量		
$L_A^{※2}$: 特別の試験条件下のガス漏えい率		

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : A : 特別の試験条件を表す添字

※3 : 熱解析の最大内圧 [] とする。

※4 : [] を使用する。

C.4.2.2 放射性物質漏えい量評価

(ロ)章 A 構造解析に示したように特別の試験条件下において収納容器に損傷はなく、健全性が維持される。一般の試験条件下と同様に漏えいに係る放射性物質としては、 を保守的に であると仮定する。この から発生するエアロゾルが収納容器の空气中に均一に分散していると仮定し、漏えい率の評価を行う。

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率は、収納容器内の空气中に存在するエアロゾル最大密度 及び C.4.2.1 項で求めた特別の試験条件下のガス漏えい率 (L_A) を乗じ、(ロ)第 C.9 表に示した質量比によって求められる。

(ロ)第 C.12 表に特別の試験条件における放射性物質の漏えい率を示す。

(ロ)第 C.12 表に示すように、特別の試験条件における放射性物質の基準値と漏えい率の比の合計は 1 より小さい。したがって、特別の試験条件における放射性物質の漏えい率は基準値を満足する。

(ロ)-第C.12表 特別の試験条件における放射性物質の漏えい率

核種	質量比 (質量%)	漏えい質量 (g/week)	比放射能 (TBq/g)	漏えい率 (TBq/week)	基準値(A ₂) ^{※1} (TBq/week)	比率
Pb-210						
Bi-210						
Po-210						
Rn-222						
Ra-223						
Ra-226						
Ac-227						
Th-227						
Th-230						
Th-231						
Th-234						
Pa-231						
U-234						
U-235						
U-238						

6I-C-19 (ロ)

※1：ウランの A₂ 値は最小となるよう告示で定める (S) の値とした。

C.5 結果の要約及びその評価

漏えいに係る放射性物質としては[REDACTED]を保守的に[REDACTED]であると仮定する。この[REDACTED]から発生するエアロゾルが収納容器の空气中に均一に分散していると仮定し、各質量比に漏えい率を乗じて、一般の試験条件及び特別の試験条件の漏えい率評価を行うと、(a)-第 C.10 表、(a)-第 C.12 表に示すように、放射性物質の基準値と漏えい率の比の合計は、それぞれ 1 より小さい。したがって、一般の試験条件及び特別の試験条件における放射性物質の漏えい率は、基準値を満足する。

また、本密封解析を基に発送前検査時の気密漏えい検査の基準値を [REDACTED]ではなく保守的に [REDACTED] に設定する。発送前検査の検査条件を(a)-第 C.13 表に示す。

(a)-第C.13表 発送前検査時の気密漏えい検査条件

項目	条件
検査方法	[REDACTED]
初期圧力	[REDACTED]
検査時間	[REDACTED]
ガス	[REDACTED]
漏えい率	[REDACTED]

C.6 付属書類

C.6.1 参考文献

C.6.1 参考文献

■ [Redacted text]

2) 伝熱工学資料第5版 日本機械学会(2009)

■ [Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

(口) 章 D 遮蔽解析

D. 遮蔽解析

D.1 概要

本申請に係る輸送では、(イ)第 A.1 表に示す [REDACTED] について、輸送容器あたり、 ^{235}U 濃縮 [REDACTED]、または、(イ)第 A.1 表に示す [REDACTED] について、輸送容器あたり [REDACTED]、(イ)第 A.1 表に示す [REDACTED] について、輸送容器あたり [REDACTED] を取扱う。

[REDACTED] 輸送容器は、輸送容器あたり最大で [REDACTED] を収納する設計であり、本章では、本申請に係る輸送時より厳しい条件である [REDACTED] に対する評価を示す。本章において、収納する燃料を収納物、収納物を収納した輸送容器を輸送物と呼称する。

遮蔽解析における線源条件として、本輸送に係る収納物に対し保守的評価となるウラン同位体量、並びに不純物として ^{237}Np 及び超ウラン元素同位体を考慮する。超ウラン元素は、米国等の核兵器保有国でのウラン燃料製造時に生産ラインから微量の混入が考えられる兵器級プルトニウムを選定し、評価する。

解析コードは、モンテカルロ輸送コード MCNP¹⁾を用いた。線源のエネルギー群毎のガンマ線及び中性子源の算出には ORIGEN-S²⁾を使用した。

通常の輸送時における解析モデルでは、収納物、収納容器、中性子吸収材、断熱材及びドラムを考慮した。その他の輸送容器の材料は、遮蔽として安全側の評価となるよう無視した。

一般の試験条件下の解析モデルは、通常の輸送時の解析モデルに対し、一般の試験条件下の自由落下における変形量 [REDACTED] を考慮した。




特別の試験条件下においては、収納容器の損傷は無い状態のまま、保守的にその他の構成材料は燃焼や破壊により喪失したと仮定し、収納物と収納容器のみでの評価を実施した。

なお、収納物は、[REDACTED] で構成されるため、収納缶ないでの配置は一定ではない。従って、評価結果が最も保守的となるようなモデルを用いて解析を実施した。

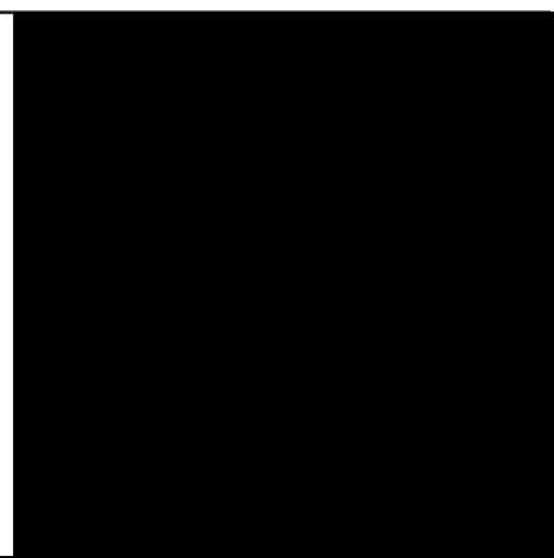
D.2 線源仕様


線量当量率の評価に用いた線源仕様を (a)-第 D.1 表 に示す。線源仕様は、輸送に係る収納物に対し保守的評価となるウラン量、並びに不純物として ^{237}Np 及び超ウラン元素同位体を考慮した。超ウラン元素については、米国等の核兵器保有国でのウラン燃料製造時に生産ラインから微量の混入が考えられる兵器級プルトニウムを選定した。

ガンマ線源及び中性子線源の算出は、本線源仕様で定義した同位体から崩壊によって生成される娘核種も考慮し計算する。

(a)-第 D.1 表において、 (a)-第 D.1 表において、) に対し過小評価側の値となっているが、評価する  とし、過大側の評価をした。

(a)-第D.1表 解析線源計算のための放射性同位体仕様

同位体	wt %
^{232}U	
^{233}U	
^{234}U	
^{235}U	
^{236}U	
^{238}U	
$^{237}\text{Np}^a$	
$^{238}\text{Pu}^a$	
$^{239}\text{Pu}^a$	
$^{240}\text{Pu}^a$	
$^{241}\text{Pu}^a$	
$^{242}\text{Pu}^a$	
$^{241}\text{Am}^a$	

^a 不純物として考慮、wt%は  に対する割合。

D.2.1 ガンマ線源

ガンマ線源は、線源仕様で定義した同位体の崩壊によって生成される娘核種も考慮した。計算コード SCALE 内の ORIGEN-S モジュールにより 18 群のガンマ線エネルギーを(□)-第 D.1 表の初期組成からの経過時間の関数として算出した。

ガンマ線による線量当量率が最大となるのは(□)-第 D.1 表の初期組成から約 10.5 年経過後であった。(□)-第 D.1 表の初期組成から約 10.5 年経過後の各エネルギー群のガンマ線源強度を(□)-第 D.2 表に示す。なお、二次ガンマ線及び制動放射線については、遮蔽評価時に解析によって求めるために、本表には含まない。

最もエネルギーの低い第 18 群のガンマ線については、ガンマ線エネルギーが低いため、全体のガンマ線源に対する影響を無視できるため、線量当量率計算の線源としては省略した。

(ロ)-第D.2表 XXXXXXXXXXあたりのガンマ線源^a

エネルギー群 番号	エネルギー範囲 (MeV)	ガンマ線源強度 (photons/s)
1	8.00 < E ≤ 10.00	
2	6.50 < E ≤ 8.00	
3	5.00 < E ≤ 6.50	
4	4.00 < E ≤ 5.00	
5	3.00 < E ≤ 4.00	
6	2.50 < E ≤ 3.00	
7	2.00 < E ≤ 2.50	
8	1.66 < E ≤ 2.00	
9	1.33 < E ≤ 1.66	
10	1.00 < E ≤ 1.33	
11	0.80 < E ≤ 1.00	
12	0.60 < E ≤ 0.80	
13	0.40 < E ≤ 0.60	
14	0.30 < E ≤ 0.40	
15	0.20 < E ≤ 0.30	
16	0.10 < E ≤ 0.20	
17	0.05 < E ≤ 0.10	
18 ^b	0.01 < E ≤ 0.05	
Total		

^a 初期組成から 10.5 年経過後のORIGEN-Sコードの計算結果。

^b 線量当量率計算では省略される。

D.2.2 中性子源

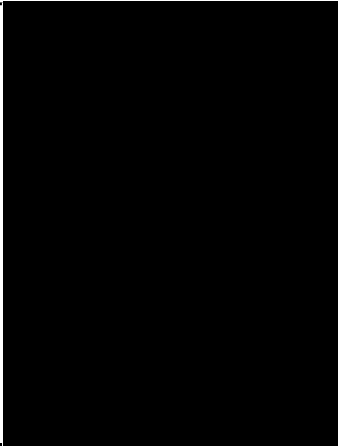
中性子源もガンマ線源同様に照射後経過時間の関数として、ORIGEN-Sを使用して算出した。

中性子を発生する反応は、超ウラン元素の自発核分裂、及び α 崩壊核種から発生した α 線と燃料中の軽元素との (α, n) 反応である。自発核分裂により発生する中性子の収率については、ガンマ線源強度と同様に、(p)-第D.1表に示す同位体組成を用いて評価した。また、本輸送に係る収納物は██████████であるが、保守的評価とするために、解析上は██████████として取り扱い、酸素元素の (α, n) 反応により発生する中性子収率も評価した。

(p)-第D.1表に示す同位体組成における発生中性子スペクトルを(p)-第D.3表に示す。中性子スペクトルは27群のエネルギー構造で評価し、(p)-第D.3表には高エネルギーの上位9群の値を示す。中性子の増倍は、本表で考慮されていない。中性子の増倍影響は、計算コード実行時に中性子の増倍を考慮した計算を実施する。中性子スペクトルは燃料要素に含まれる同位体の放射性崩壊により、時間とともに変化するために、中性子による寄与が最大となる(p)-第D.1表の初期組成から約15年経過後の値を用いた。

なお、ガンマ線源と中性子線源では、線量当量率への寄与が最大となる崩壊生成核種組成が異なるために、線量当量率評価が最大となる初期組成からの経過時間が異なるが、保守的な評価としてどちらの評価にも最大寄与崩壊時間を適用して解析を行う。

(ロ)-第D.3表 金属ウラン1gあたりの中性子線源^a

エネルギー群番号	エネルギー範囲 (MeV)	中性子線源強度 (neutrons/s)
1	$6.43 \times 10^{+0} < E \leq 2.00 \times 10^{+1}$	
2	$3.00 \times 10^{+0} < E \leq 6.43 \times 10^{+0}$	
3	$1.85 \times 10^{+0} < E \leq 3.00 \times 10^{+0}$	
4	$1.40 \times 10^{+0} < E \leq 1.85 \times 10^{+0}$	
5	$9.00 \times 10^{-1} < E \leq 1.40 \times 10^{+0}$	
6	$4.00 \times 10^{-1} < E \leq 9.00 \times 10^{-1}$	
7	$1.00 \times 10^{-1} < E \leq 4.00 \times 10^{-1}$	
8	$1.70 \times 10^{-2} < E \leq 1.00 \times 10^{-1}$	
9	$3.00 \times 10^{-3} < E \leq 1.70 \times 10^{-2}$	
10-27 ^b	$5.50 \times 10^{-4} < E \leq 3.00 \times 10^{-3}$	
Total		

^a 初期組成から 15 年経過後のORIGEN-Sコードの計算結果。

^b 線源は、線量当量率へ評価結果に寄与しない 10 ~ 27 群に対してゼロと仮定した。

D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

本輸送容器における遮蔽解析は、MCNP コードを使用して実施した。

輸送容器の解析モデルでは、収納物、収納容器、中性子吸収材、断熱材及びドラムを考慮した。その他の輸送容器中の物質については、遮蔽評価として安全側の評価となるよう、解析上は存在しないものとして扱った。

通常輸送時の解析に使用した解析モデルを(ρ)-第 D.1 図及び(ρ)-第 D.4 表に示す。

線量当量率の評価位置を(ρ)-第 D.5 表に示す。通常輸送時における線量当量率は、ドラムの外表面（ドラムの表面から 1 cm）及びドラム表面から 1 m の位置で計算した。線源及び輸送容器の構造は底部及び側面部では開口部がなく、線源からの輸送容器外部へのストリーミングによる放射線は無い。上部は空気モデル化し保守的な評価とした。一般の試験条件下の解析に使用した解析モデルを(ρ)-第 D.2 図 及び (ρ)-第 D.6 表に示す。一般の試験条件下における落下試験で局所的に ██████████ 変形した。解析モデルは保守的な評価となるように、上部断熱材と底部断熱材の ██████████ ██████████ ██████████ ██████████ 縮めた解析モデルとした。線量当量率の評価位置を(ρ)-第 D.5 表に示す。一般の試験条件における線量当量率は、ドラムの外表面（ドラムの表面から 1 cm）の位置で計算した。

特別の試験条件下においては、収納容器は完全な状態であるが、その他のすべての物質が存在しないものとの仮定し、収納物と収納容器のみでの評価を実施した。

██████████ は、小さな ██████████ で構成されるために、収納缶内での配置は一定ではない。従って、評価結果が最も保守的となるようなモデルを用いて解析を実施した。

ガンマ線（ドラム側面と上部）遮蔽解析モデルでは、██████████ ██████████ を収納容器モデルと同じ ██████████ の円筒シェル形状に配置した。円筒シェルの寸法は ██████████ ██████████ ██████████ ██████████ である。ガンマ線（ドラム底部）遮蔽解析モデルと中性子線遮蔽解析モデルでは、収納容器の底部に全てのウランがあり ██████████ ██████████ ██████████ ██████████ とした。

収納物モデルが保守的になるように、輸送容器のすべての材料寸法、厚み及び密度は、公称値以下でモデル化し、収納容器を支持するシリコンゴムパッドのような主要でない部品は全て省略して評価している。

軸方向の最大線量当量率が、輸送容器の下面で生じることが予備解析から想定されたため、

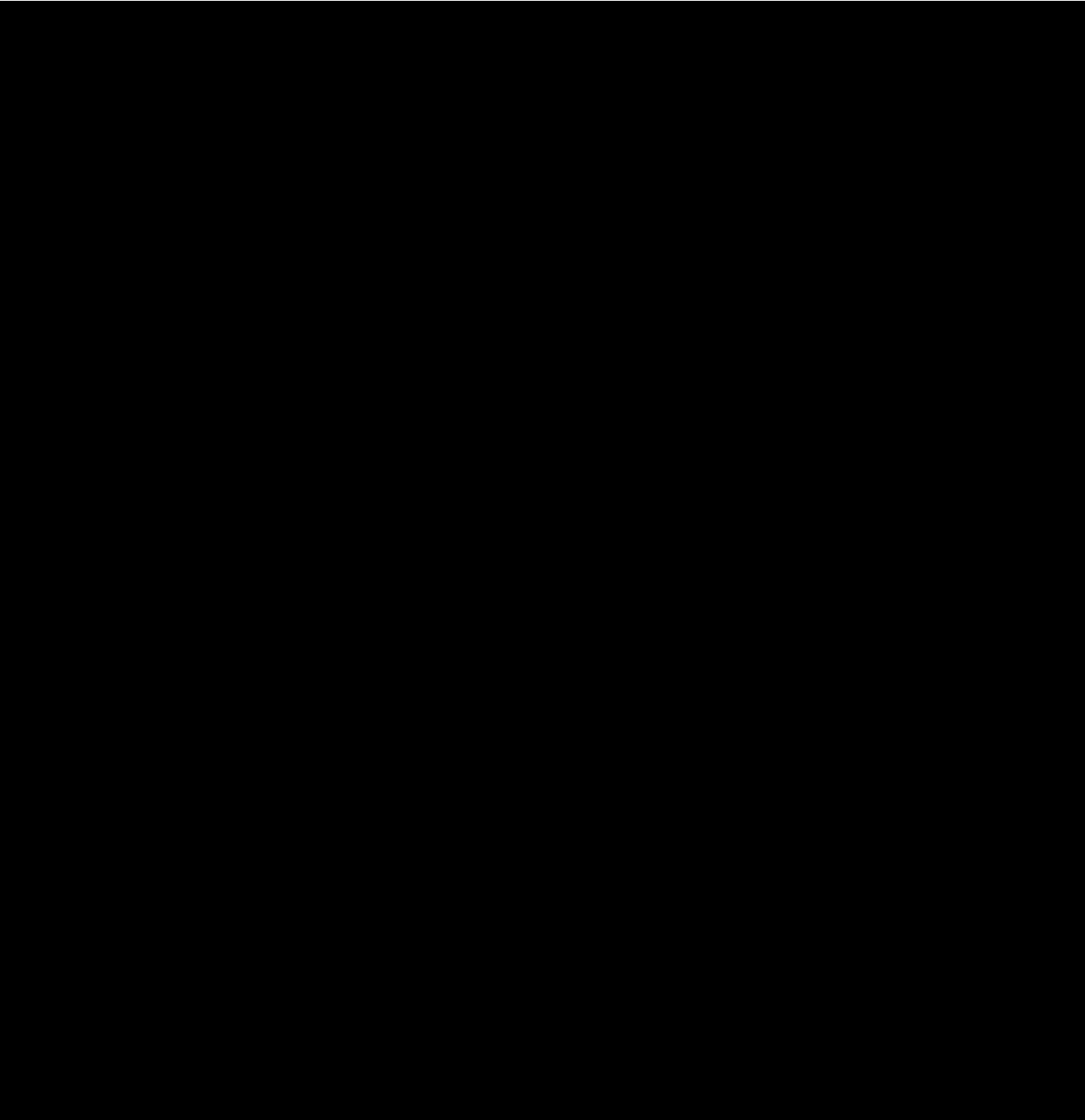
すべての収納物は、収納容器の下面に接触するようにモデル化され、収納容器の上部形状、収納容器の蓋、断熱材、蓋、カバーなどは保守的に簡略化、又は、空隙（(ロ)-第 D.1 図、(ロ)-第 D.2 図参照）としてモデル化する。

収納容器の内部モデルは、収納物 [REDACTED] のみとする。収納缶、缶スペーサー、収納物包装等は、すべて省略される。収納物である [REDACTED] は、輸送容器底面の評価点で最大になる配置（ガンマ線（底部）と中性子線評価：円柱）としてモデル化する。その他の形状 [REDACTED] モデルの検討結果は章末の付属書類D.6.1に示す。

(D)-第D.1図 通常輸送時のための ████████ 型輸送物の円筒計算モデル

収納物、材料及び線量当量率評価の位置に関するデータは、(D)-第D.4表、(D)-第D.5表及び(D)-第D.7表を参照。

特別の試験条件下に対して、収納容器の外部の全ての材料は無視される。



(□)-第D.2図 一般の試験条件下のための ████████ 型輸送物の円筒計算モデル

収納物、材料及び線量当量率評価の位置に関するデータは、(□)-第D.5表・(□)-第D.6表及び(□)-第D.7表を参照。

(ロ)-第D.4表 通常輸送時に対する(ロ)-第D.1図で示される
 型輸送物の遮蔽解析モデルのための形状データ

材質	外半径	底部からの 基準高さ ^a	高さ (h)	横方向厚	上部方向厚	下部方向厚
収納物						
輸送容器						
収納容器内側空気						
収納容器 ^b						
収納容器外側空気						
中性子吸収材内側ライナー						
中性子吸収材						
断熱材内側ライナー						
上部断熱材						
底部・横断熱材						
ドラム						

- ^a ドラム下面を基準とした高さ方向の距離
^b フランジ及び蓋の詳細は省略した（保守的評価）。
^c XXXXXXXXXX
^d 線量当量率が低い上部の材料は空気とした（保守的評価）。

単位：cm

(㉓)-第D.5表 遮蔽解析モデルにおける線量当量率評価位置

	外半径 (cm)	高さ ^a (cm)	備考
通常輸送時			
容器表面 (横) ^b			高さは収納容器中央とし、ドラム横外側の横1cm
容器表面 (上)			ドラム上面中央より1cm上
容器表面 (下)			ドラム下部中央より1cm下
容器側面 1 m ^b			高さは収納容器中央とし、ドラム横外側の横1m
容器上部 1 m			ドラム上面中央より1m上
容器下部 1 m			ドラム下部中央より1m下
一般の試験条件			
容器表面 (横)			高さは収納物中央とし、ドラム横外側の横1cm
容器表面 (上)			ドラム上面中央より1cm上
容器表面 (下)			ドラム下部中央より1cm下
特別の試験条件			
容器側面 1 m ^b			高さは収納容器中央とし、収納容器横外側の横1m
容器上部 1 m			収納容器上面中央より1m上
容器下部 1 m			収納容器下部中央より1m下

^a ドラム下面を基準とした高さ方向の距離

^b 表面側面位置は、収納物の中心の高さで設定

(D)-第D.6表 一般の試験条件下に対する(D)-第D.1図で示される
 型輸送物の遮蔽解析モデルのための形状データ

材質	外半径	底部からの 基準高さ ^a	高さ (h)	横方向厚	上部方向厚	下部方向厚
収納物						
[Redacted]						
輸送容器						
収納容器内側空気	[Redacted]					
収納容器 ^b						
収納容器外側空気						
中性子吸収材内側ライナー						
中性子吸収材						
断熱材内側ライナー						
上部断熱材						
底部・横断熱材						
ドラム						

- ^a ドラム下面を基準とした高さ方向の距離
- ^b フランジ及び蓋の詳細は省略した（保守的評価）。
- ^c [Redacted]
- ^d 線量当量率が低い上部の材料は空気とした（保守的評価）。

単位 : cm

(D)-第D.7表 遮蔽モデル材料仕様

材料	密度 (g/cm ³)	組成	wt%	原子個数密度 (atoms/barn-cm)
収納物 ^a				
ステンレス鋼				
空気				

a 自己吸収評価のための収納物材料中ウラン同位体は、主要の 2 核種で評価した。

D.4 遮蔽評価

遮蔽評価の方法及び計算結果について下記に示す。

1. 方法

2つの解析コード（ORIGEN-S コード及びMCNP コード）を遮蔽の評価に使用する。

ORIGEN-S は一般的な核種崩壊生成を計算するコードで、初期同位体組成に対して時間依存の崩壊や燃焼による組成の変化を計算でき、それらの核種が放出するエネルギー群毎のガンマ線及び中性子源を計算できる。

MCNP は、汎用目的の中性子、ガンマ線輸送モンテカルロ解析コードである。

ORIGEN-S で得られたエネルギー群毎のガンマ線及び中性子源を輸送モデルに適用し、線量当量率を算出する。

この解析において、断面積ライブラリーは、ENDF/B-VI.8 を使用した。

評価点における線量当量率は、ANSI/ANS 換算係数（ANSI/ANS-6.1.1）³⁾ を用いてガンマ線及び中性子束に換算した。使用したエネルギー群の換算係数を(□)-第 D.8 表及び(□)-第 D.9 表に示す。

2. 計算結果

評価結果を(□)-第 D.10 表に示す。

通常輸送時、一般の試験条件下及び特別の試験条件下の両方の線量当量率基準を満足することを示す。

(㊦)-第D.8表 ANSI/ANS-1977 ガンマ線量当量率換算係数

エネルギー (MeV)	換算係数 (rem/h)/(photons/s/cm ²)
0.01	3.96×10^{-6}
0.03	5.82×10^{-7}
0.05	2.90×10^{-7}
0.07	2.58×10^{-7}
0.10	2.83×10^{-7}
0.15	3.79×10^{-7}
0.20	5.01×10^{-7}
0.25	6.31×10^{-7}
0.30	7.59×10^{-7}
0.35	8.78×10^{-7}
0.40	9.85×10^{-7}
0.45	1.08×10^{-6}
0.50	1.17×10^{-6}
0.55	1.27×10^{-6}
0.60	1.36×10^{-6}
0.65	1.44×10^{-6}
0.70	1.52×10^{-6}
0.80	1.68×10^{-6}
1.00	1.98×10^{-6}
1.40	2.51×10^{-6}
1.80	2.99×10^{-6}
2.20	3.42×10^{-6}
2.60	3.82×10^{-6}
2.80	4.01×10^{-6}
3.25	4.41×10^{-6}
3.75	4.83×10^{-6}
4.25	5.23×10^{-6}
4.75	5.60×10^{-6}
5.00	5.80×10^{-6}
5.25	6.01×10^{-6}
5.75	6.37×10^{-6}
6.25	6.74×10^{-6}
6.75	7.11×10^{-6}
7.50	7.66×10^{-6}
9.00	8.77×10^{-6}
11.00	1.03×10^{-5}
13.00	1.18×10^{-5}
15.00	1.33×10^{-5}

(D)-第D.9表 ANSI/ANS-1977 中性子線量当量率換算係数

エネルギー (MeV)	換算係数 (rem/h)/(neutrons/s/cm ²)
2.5×10^{-8}	3.67×10^{-6}
1.0×10^{-7}	3.67×10^{-6}
1.0×10^{-6}	4.46×10^{-6}
1.0×10^{-5}	4.54×10^{-6}
1.0×10^{-4}	4.18×10^{-6}
1.0×10^{-3}	3.76×10^{-6}
1.0×10^{-2}	3.56×10^{-6}
1.0×10^{-1}	2.17×10^{-5}
5.0×10^{-1}	9.26×10^{-5}
1.0	1.32×10^{-4}
2.5	1.25×10^{-4}
5.0	1.56×10^{-4}
7.0	1.47×10^{-4}
10.0	1.47×10^{-4}
14.0	2.08×10^{-4}
20.0	2.27×10^{-4}

D.5 結果の要約及びその評価

遮蔽モデル評価の結果の要約を(□)-第 D.10 表に示す。

通常輸送時の輸送物の表面線量当量率の最大は [REDACTED] あり、また表面から 1 m 離れた点での線量当量率の最大は [REDACTED] ある。それぞれ基準値の 2.0 mSv/h 以下及び 100 μ Sv/h 以下を満足している。また、一般の試験条件下での輸送物の表面線量当量率の最大は [REDACTED] あり、基準値の 2.0 mSv/h 以下を満足している。さらに、特別の試験条件下での輸送物の表面から 1 m の点での線量当量率の最大は [REDACTED] であり、これも基準値の 10.0 mSv/h 以下を満足している。

(ロ)-第D.10表 [redacted] 型 輸送物外部の線量当量率

mSv/h(mrem/h)

	ドラム表面			表面から 1 m		
	側面	上部	底部	側面	上部	底部
通常輸送時						
ガンマ線	[redacted]					
中性子線 ^a	[redacted]					
Total	[redacted]					
制限値	2 (200)	2 (200)	<u>2 (200)</u>	<u>0.1 (10)</u>	0.1 (10)	0.1 (10)
一般の試験条件下						
ガンマ線	[redacted]					
中性子線	[redacted]					
Total	[redacted]					
制限値	2 (200)	2 (200)	<u>2 (200)</u>	----	----	----
特別の試験条件下						
ガンマ線	[redacted]					
中性子線 ^a	[redacted]					
Total	[redacted]					
制限値	----	----	----	<u>10 (1000)</u>	10 (1000)	10 (1000)

^a 二次ガンマ線量当量率を含む(中性子線量当量率の<1%)

^b [redacted]
表中の下線部は3点の評価点(側面、上部、底部)の最大値

(ロ)-D-20

D.6 付属書類

D.6.1 ガンマ線評価モデル

D.6.2 参考文献

D.6.1 ガンマ線評価モデル

■■■■■ 収納物のガンマ線モデルである円筒シェルは、配置を保守的に簡略化したモデルである。線量当量率評価上考えられる、その他のモデルとの比較を実施した結果を示す。

(p)-第 D.3 図に比較を実施したモデルを示す。

(p)-第 D.3 図の各モデルの解析結果

a. 本書解析モデルの円筒シェル。

→容器表面のガンマ線量当量率の最大■■■■■

b. 容器の中心を横切る垂直平板。■■■■■

→容器表面のガンマ線量当量率の最大■■■■■

c. 半円筒のシェル■■■■■

→容器表面のガンマ線量当量率の最大：■■■■■

d. 単一の円筒、容器の側壁に配置■■■■■

→容器表面のガンマ線量当量率の最大：■■■■■

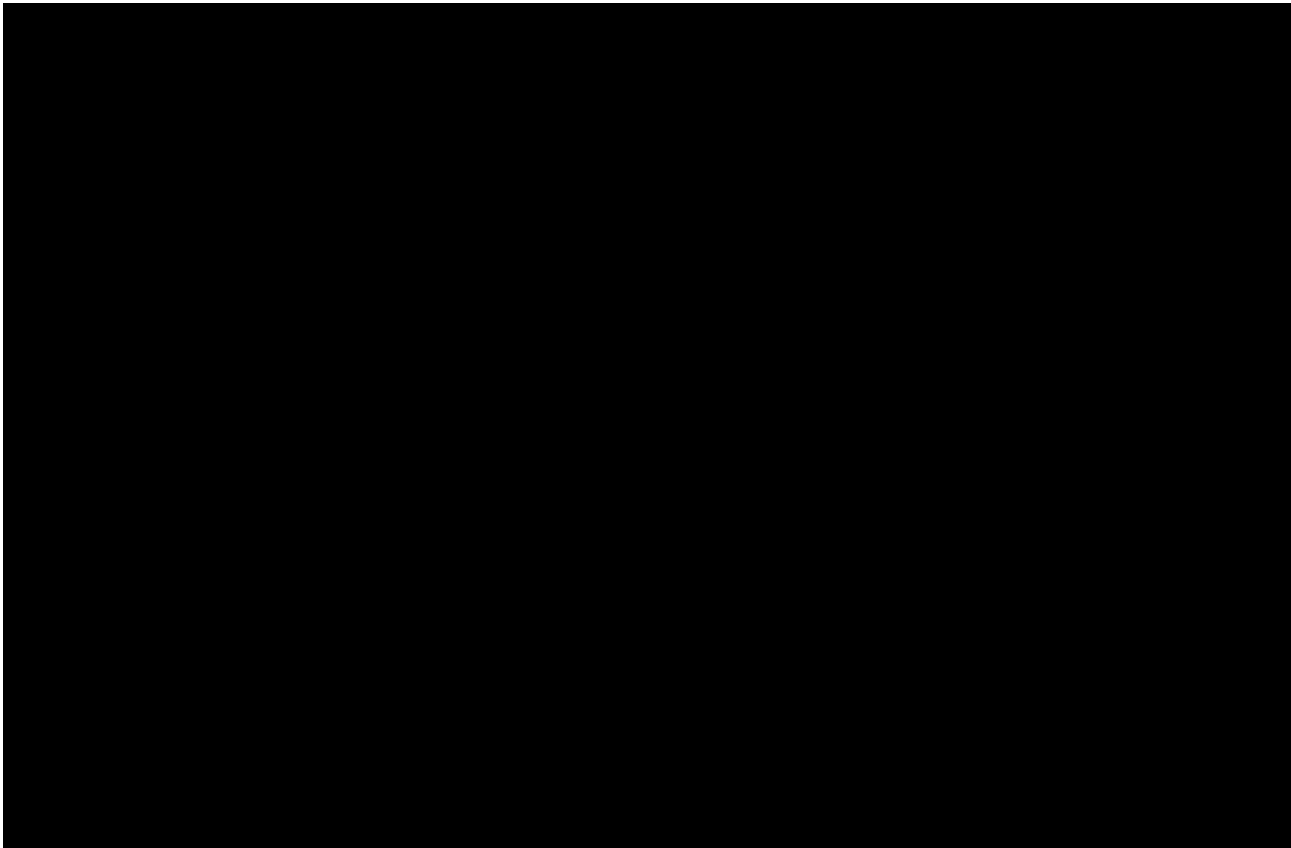
e. 円柱形セグメント（横置き容器の中に、液体がある形状）。■■■■■

■■■■■
→容器表面のガンマ線量当量率の最大：■■■■■

線量当量率の変化は、線源と検出器の幾何学的な変化及び線源物質による自己吸収の変化によるものである。その他のモデルが、本解析結果を超える可能性は否定できないが、(p)-第 D.1 表で定義される組成の■■■■■の線量評価において、通常輸送時、一般の輸送条件下及び特別の試験条件下の基準を超えることはない。

中性子線解析モデルでは、ウランがすべて容器の底部に中身のある円柱で仮定される。

(p)-第 D.10 表において、中性子線の線量当量率結果の寄与は最大でも 3%程度と少ないため、中性子線解析モデルは、その他のモデルの影響を評価しない。



(□)-第D.3図 [redacted] 収納物の径方向(上面図)形状モデル

D.6.2 参考文献

- 1) LA-UR-03-1987, Version 5, MCNP—A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Los Alamos Natl. Lab., Los Alamos, N.M., Apr. 24, 2003.
- 2) NUREG/CR-0200, Rev. 6 (also ORNL/NUREG/CSD-2/R6), SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, Lockheed Martin Energy Research, Inc., Oak Ridge Natl. Lab., March 2000.
- 3) ANSI/ANS-6.1.1, Neutron and Gamma Ray Flux-to-Dose-Rate Factors, American Natl. Standards Institute, American Nuclear Society, La Grange, Ill., 1977.

(口) 章 E 臨界解析

おける孤立系及び配列系、並びに核分裂性輸送物に係る特別の試験条件（以下、本章において「特別の試験条件」という。）下における孤立系及び配列系について実施することが規則及び告示で求められている。なお、本章では、通常輸送時及び一般の試験条件下における輸送物を非損傷系輸送物、特別の試験条件下における輸送物を損傷系輸送物と呼称する。

本解析において実施した、解析条件及び結果を(ロ)-第 E.1 表に示す。輸送中の臨界評価は他モデル評価結果に包含されるとし、評価しなかった。

臨界解析は、配列系における距離、特別の試験条件下における輸送容器の変形等を考慮し、臨界安全解析コードシステム SCALE⁽¹⁾を使用し、3次元モンテカルロ法を用いて行った。以下、通常輸送時及び一般の試験条件においた輸送物を非損傷輸送物、特別の試験条件においた輸送物を損傷輸送物という。

(ロ)-第E.1表 臨界解析条件及び結果

		孤立系			配列系	
		通常輸送時	一般の試験条件	特別の試験条件	一般の試験条件	特別の試験条件
解析モデル		非損傷-孤立系		損傷-孤立系	非損傷-配列系	損傷-配列系
解 析 条 件	輸送制限個数	[Redacted]				
	輸送制限配列	[Redacted]				
	変形考慮	無し	有り	無し	有り	
	密封装置内への水の浸入	有り（収納容器内で燃料と水が均一）				
	中性子吸収材・毒物	収納容器周囲			収納容器周囲	
件	水反射体	周囲に厚さ 30 cm の水が存在			周囲上下に厚さ 30 cm 水が存在。輸送物間は低密度の水が存在するとし、1 輸送物の境界は鏡面反射として無限配列を想定。	
結果	[Redacted] 燃料中性子実効増倍率 ($k_{\text{eff}}+2\sigma$)	[Redacted]				
結果	[Redacted] 中性子実効増倍率 ($k_{\text{eff}}+2\sigma$)	[Redacted]				
結果	[Redacted] 中性子実効増倍率 ($k_{\text{eff}}+2\sigma$)	[Redacted]				

E.2 解析対象

E.2.1 収納物

収納容器に収納する収納物は、核分裂性物質、収納缶、緩衝材及び梱包材（アルミ箔、アルミ袋、クッション材、テープ）で構成される。

(1) 核分裂性物質

型輸送容器に収納される核分裂性物質は、
であり、の寸法は、それぞれ
である。の寸法は
である。収納物の仕様を(□)-第 E.2 表、形状を(□)-第 E.1 図に示す。

(2) 収納缶、缶スペーサー

は、炭素鋼製の収納缶に収納される。
専用収納缶に収納される。
解析においては、収納缶は存在しないものとし、収納容器内に直に核分裂性物質を収納したモデルで評価を行う。このため、収納缶に収納される
は、収納缶内で配置上の制限はない。なお、缶スペーサー内の中性子吸収材は臨界解析上考慮されない。

(3) 梱包材、緩衝材

をアルミ箔又はアルミ袋にて梱包し、

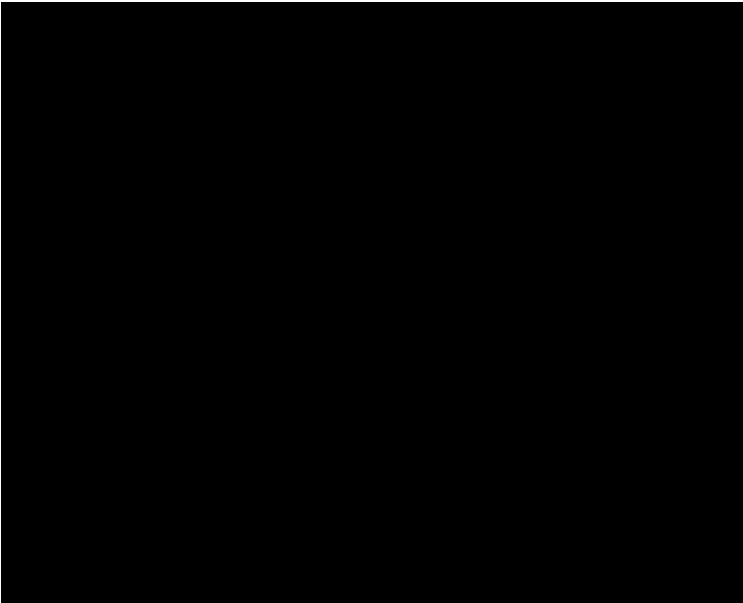

(ロ)-第E.2表 収納物仕様 (1/3)

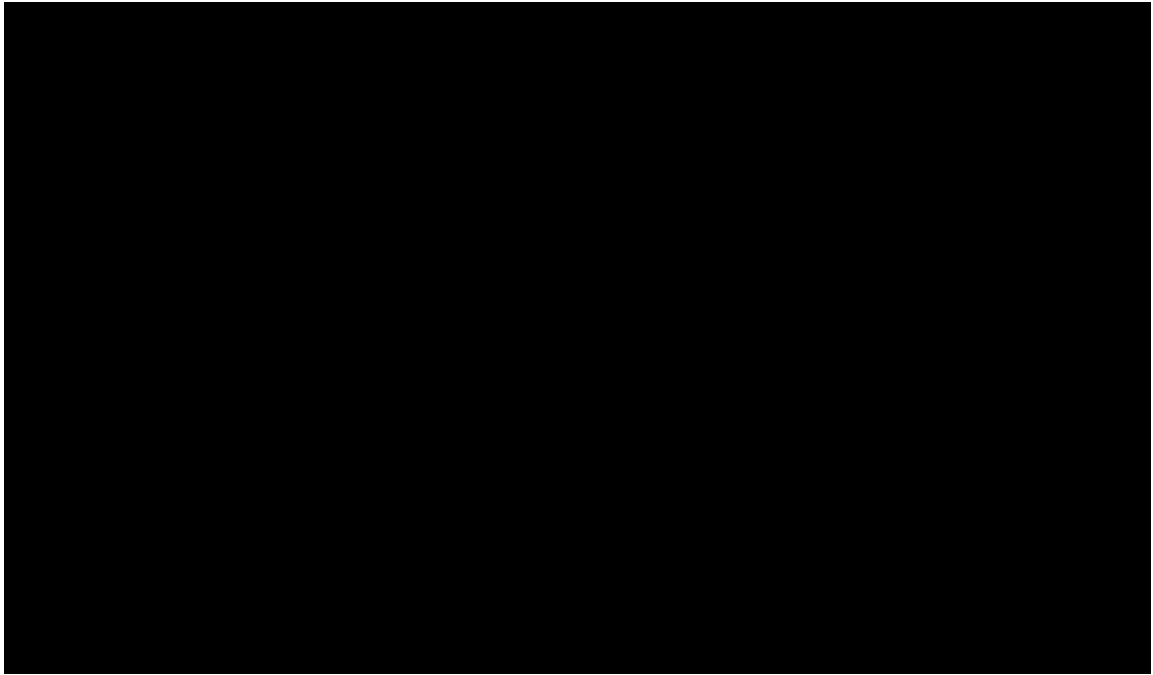
項目		仕様
性状		[Redacted]
型式		
寸法 (mm)		
形状		
重量 (g)		
あたりの仕様 輸送物1基	収納物重量 (kg)	
	収納数 (枚)	
	²³⁵ U重量 (kg)	
	ウラン濃縮度 (wt%)	

(ロ)-第E.2表 収納物仕様 (2/3)

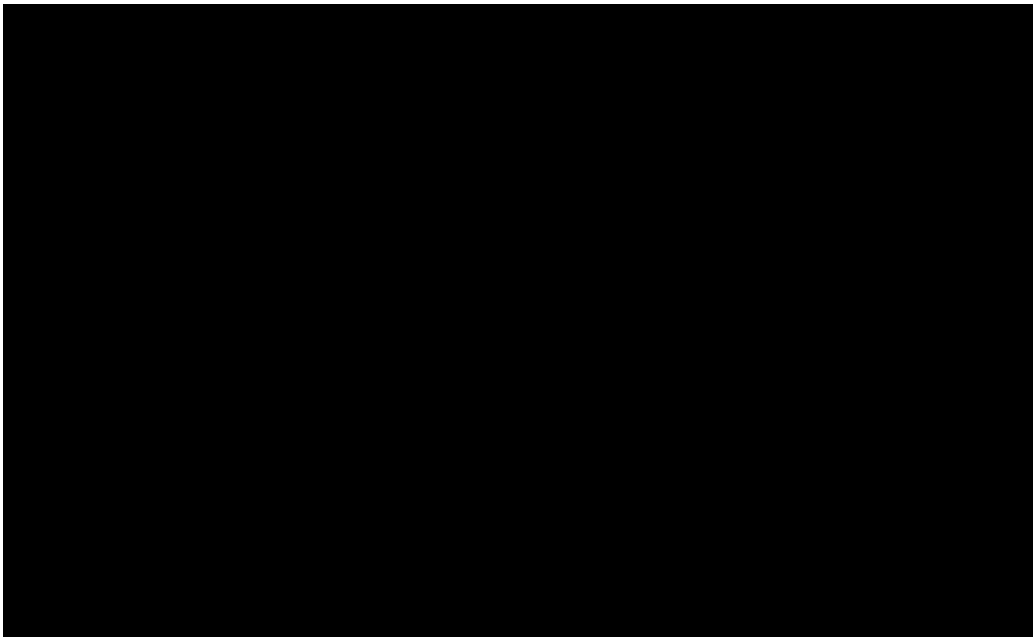
項目		仕様
性状		[Redacted]
型式		
形状		
燃料重量 (g)		
あたりの仕様 輸送物1基	燃料収納量 (g)	
	²³⁵ U重量 (kg)	
	ウラン濃縮度 (重量%)	

(ロ)-第 E.2 表 収納物仕様 (3/3)

項目		仕様
性状		
型式		
公称寸法 (mm)		
形状		
²³⁵ U 重量 (g 以下/体)		
あたりの仕様 輸送物 1 基	収納物重量 ^{*1} (kg)	
	 収納数 ^{*2} (枚)	
	²³⁵ U 重量 (kg)	
	ウラン濃縮度 (重量%)	



(ロ)-第 E.1 図  1/2 



(㉔)-第E.1図 [redacted] (2/2) [redacted]

E.2.2 輸送容器

本輸送容器は、(ロ)章 A.9 項に示すとおり、一般の試験条件下において、ドラム本体及び断熱材に臨界解析に影響するような形状変化は生じない。

特別の試験条件下では、収納物、収納容器及び中性子吸収材は変形せず、ドラムアセンブリの外壁及び断熱材が変形する。変形によりドラムアセンブリは楕円形になると仮定し、解析においては面積の等しい円形モデルで近似する。

(ロ)章 A 構造解析に示すとおり、通常輸送時、一般及び特別の試験条件下において、収納容器の密封性能は維持されているが、臨界解析においては保守的評価として、収納容器内が水に満たされると仮定して評価を行う。

断熱材である [REDACTED] は、主成分が [REDACTED] め水分の含有量が火災時や浸水時で異なる。臨界解析上は、中性子吸収材での中性子吸収効果が最小となる水分含有量を仮定して解析を実施する。

E.2.3 中性子吸収材

本輸送容器には、収納容器外側に中性子吸収材として、 [REDACTED] を使用している。

[REDACTED] は、製造時に [REDACTED] の天然組成のボロン濃度であるが、保守的に評価するために [REDACTED] を [REDACTED] 評価した。 [REDACTED] は、材料の主成分が [REDACTED] ため、高温で脱水する。臨界安全上は、水分含有量が多い場合は水素原子により減速される中性子が増えてボロンによる中性子吸収効果が増す。中性子吸収材中の水分濃度については、通常輸送時及び一般の試験条件下に対しては、保守的に評価した中性子吸収材最高到達温度 [REDACTED] で 168 時間乾燥させ重量測定した値を用いた。特別の試験条件下に対しては、さらに [REDACTED] 4 時間加熱した後に重量測定を行った値を用いた⁽³⁾。

なお、輸送物内の中性子束は小さいので、長時間たっても、この中性子捕獲によって中性子吸収材が著しく消耗されることはない。

注1) [REDACTED]

注2) 中性子吸収材の最高到達温度は(ロ)第 B.8 表及び(ロ)第 B.10 表のノード 255, 351, 3880, 3888 参照。加熱温度は表中の温度より、保守的に高く設定した。










E.3 モデル仕様

E.3.1 解析モデル

本輸送容器には、が収納される。






(a)-第 E.2 図に評価に使用したモデル図を示す。本解析において、収納容器内の収納缶や梱包材はモデル化せず、燃料は収納容器内に水と燃料が均一に分布していると仮定した (E.7.1 項参照)。また、の解析においては、保守的にもっとも燃料の量が多くなるを輸送容器当たり を仮定し ( )、解析を実施した。
解析においては、保守的にもっとも燃料の量が多くなる輸送容器当たり 場合を仮定し、解析を実施した。

モデル中の空隙は、すべて浸水したと保守的に仮定した。

1. 非損傷-孤立系輸送物計算モデル

孤立系における輸送物計算モデルを(a)-第 E.3 図～(a)-第 E.5 図に示す。非損傷-孤立系の輸送物を評価するために使用される形状モデルは、収納物を除く輸送容器形状を一部簡略化 (ドラムアセンブリのフープ削除、シリコンラバーパッド形状の単純化等) した後、実際の寸法通りに作成している。

非損傷-孤立系輸送物計算モデルのための材料仕様を(a)-第 E.3 表に示す。

本計算モデルでは、ドラムアセンブリ外側を厚さ 30 cm の水で囲まれた体系にて評価した。

2. 非損傷-配列系輸送物計算モデル

配列系輸送物計算モデルを、(a)-第 E.6 図～(a)-第 E.9 図に示す。

非損傷・配列系輸送物計算モデルのための材料仕様を(ロ)・第 E.3 表に示す。本配列系計算モデルでは、輸送容器周囲上下に 30 cm の水（水密度 1）を満たし、輸送容器の外周に接する正六角形を配置し、正六角形の周囲境界を鏡面反射とする無限配列で評価を実施した。配列間^{注3)}（正六角形内側と輸送容器外周の間）は低密度の水で満たした。

3. 損傷・孤立系輸送物計算モデル

本モデルは、第 1 項に示した「非損傷・孤立系輸送物計算モデル」と比較し、ドラム本体の半径を 6.4% 縮めたモデルを使用する（E.7.2 項参照）。

臨界解析上の各領域の密度等は第 2 項と同様に定めた。

損傷・孤立系輸送物計算モデルのための材料仕様を(ロ)・第 E.3 表に示す。

本計算モデルでは、30 cm 厚の水で囲まれた体系にて評価した。

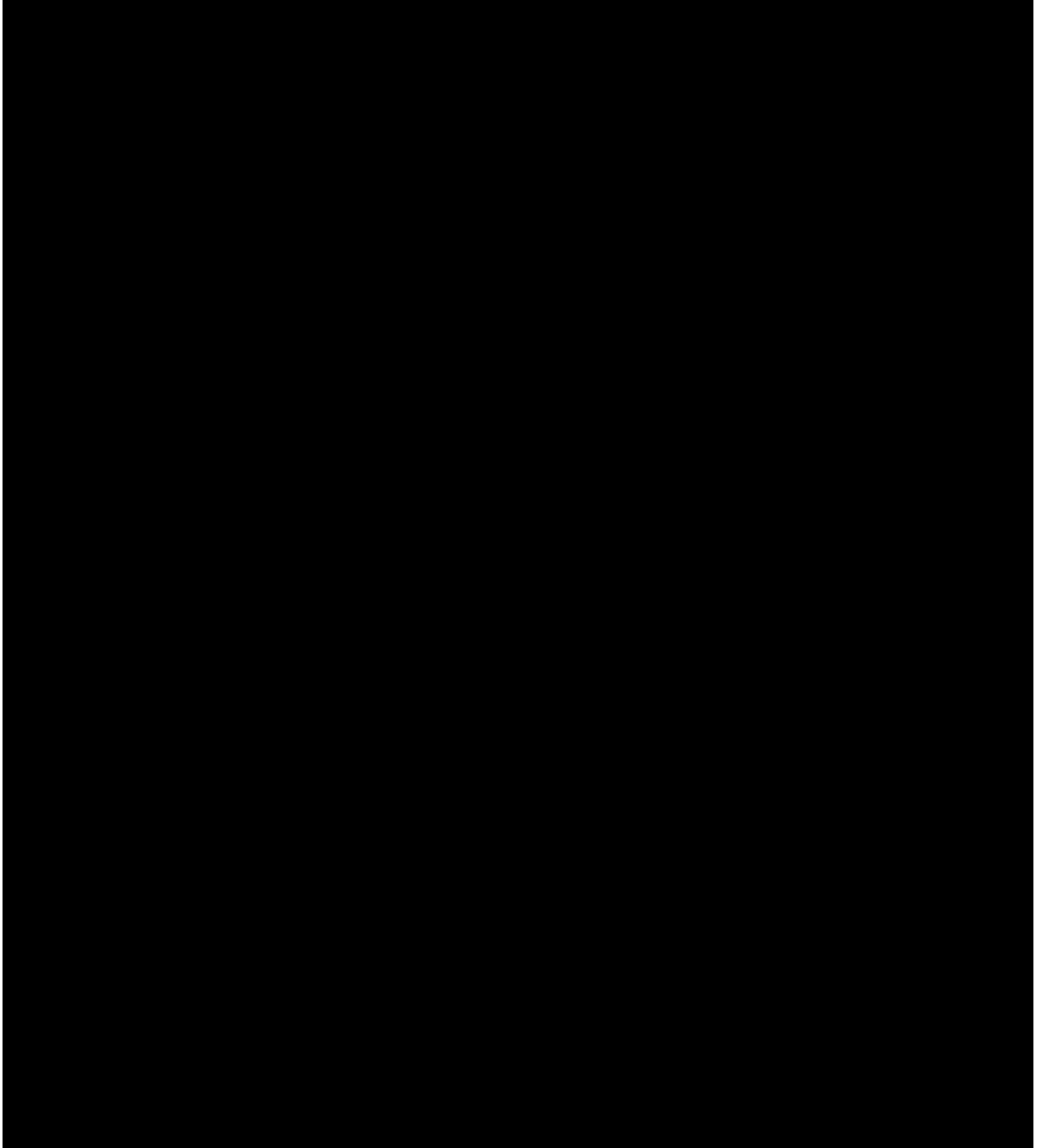
4. 損傷・配列系輸送物計算モデル

損傷・配列系において、配列内の単一モデルは第 3 項と同様に「損傷・孤立系輸送物計算モデル」で評価を行った。

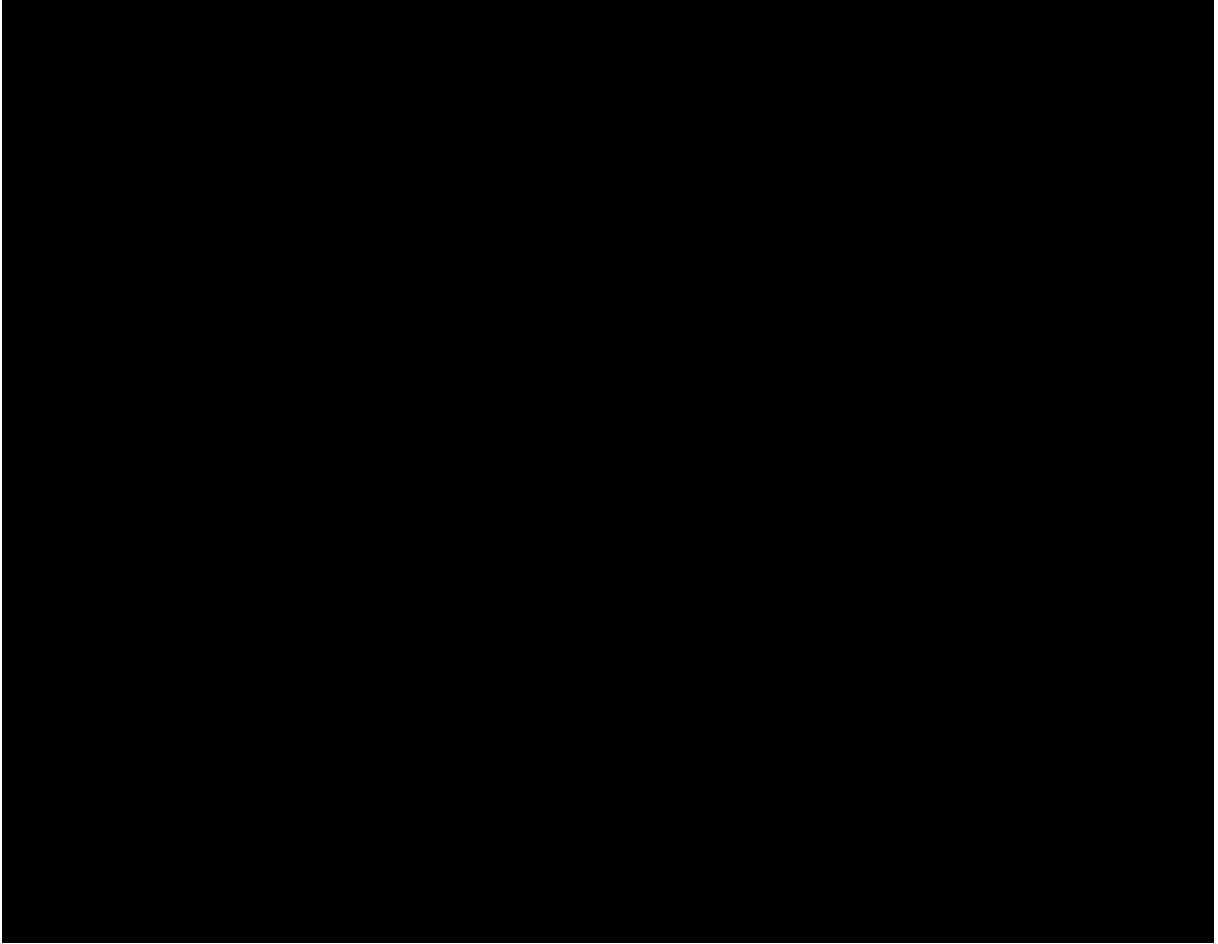
損傷・配列系輸送物計算モデルのための材料仕様を(ロ)・第 E.3 表に示す。

本配列系計算モデルでは、第 2 項と同様の無限配列で評価した。

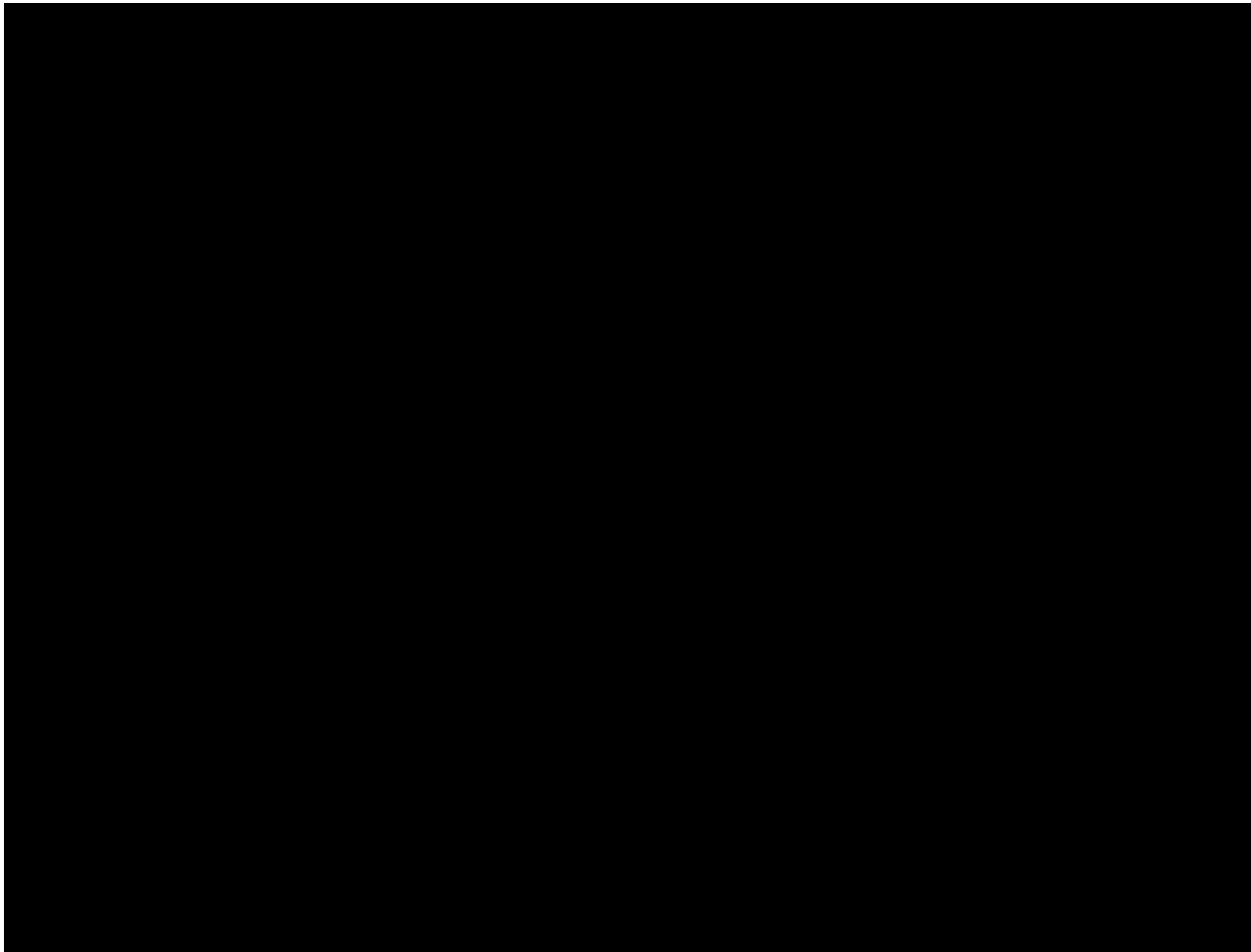
^{注3)} 配列間は、中性子実効増倍率が最大となる低密度 ($0.9982 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$) の水で満たす (E.7.3 項参照)。



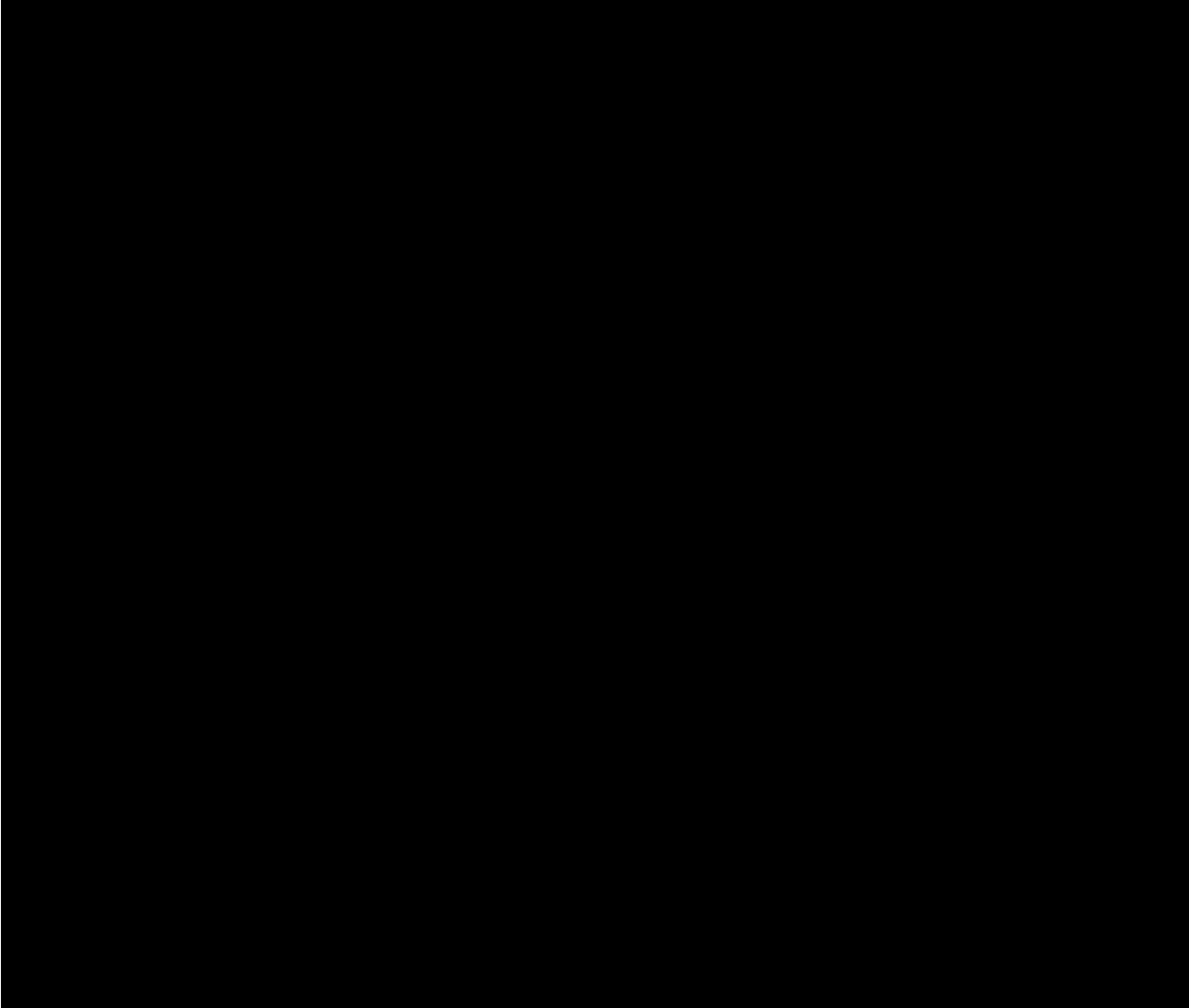
(ロ)-第E.2図 XXXXXXXXXX 単一ユニット輸送物モデルの断面図



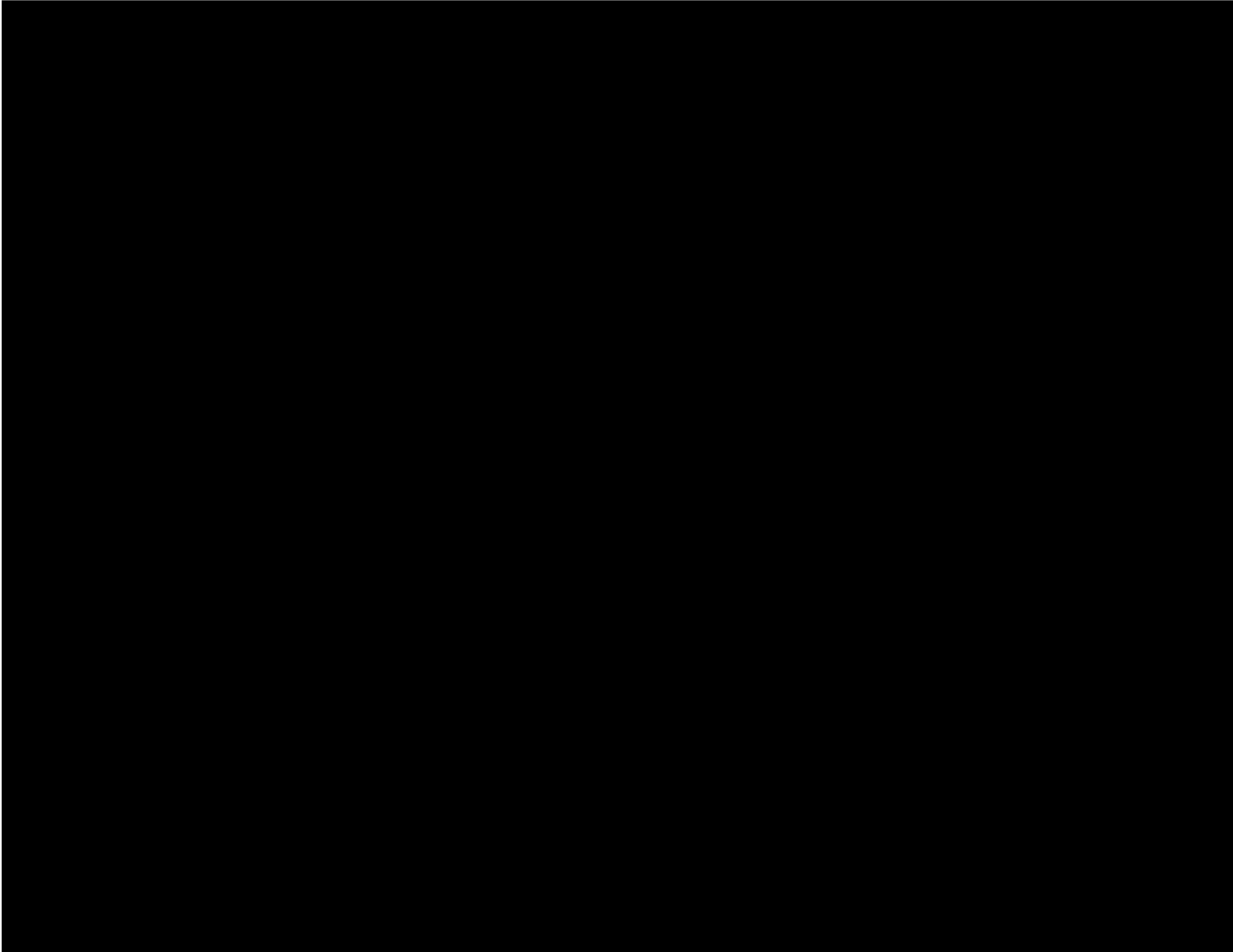
(ロ)第E.3図 非損傷-孤立系輸送物計算モデルの底部断面図



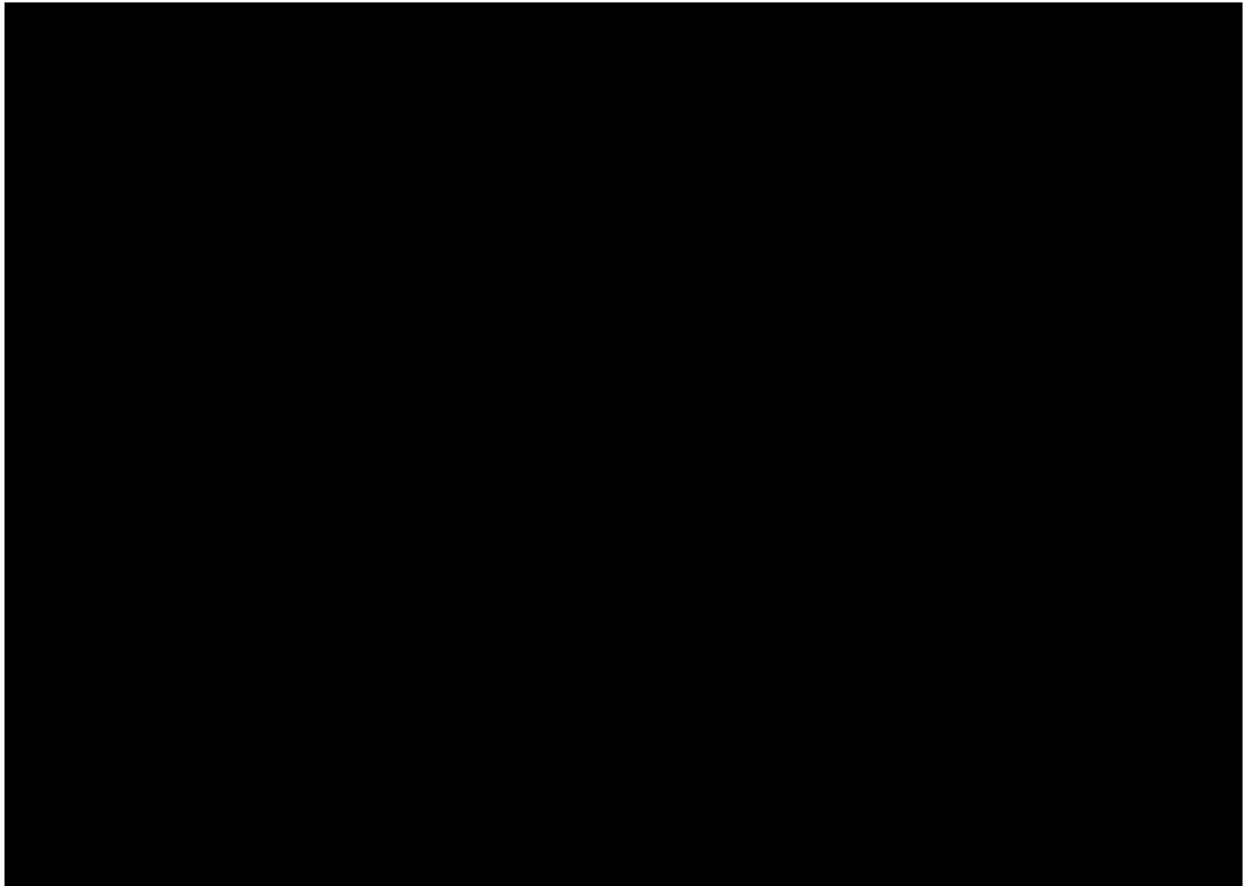
(ロ)・第E.4図 非損傷-孤立系輸送物計算モデルの上部断面図



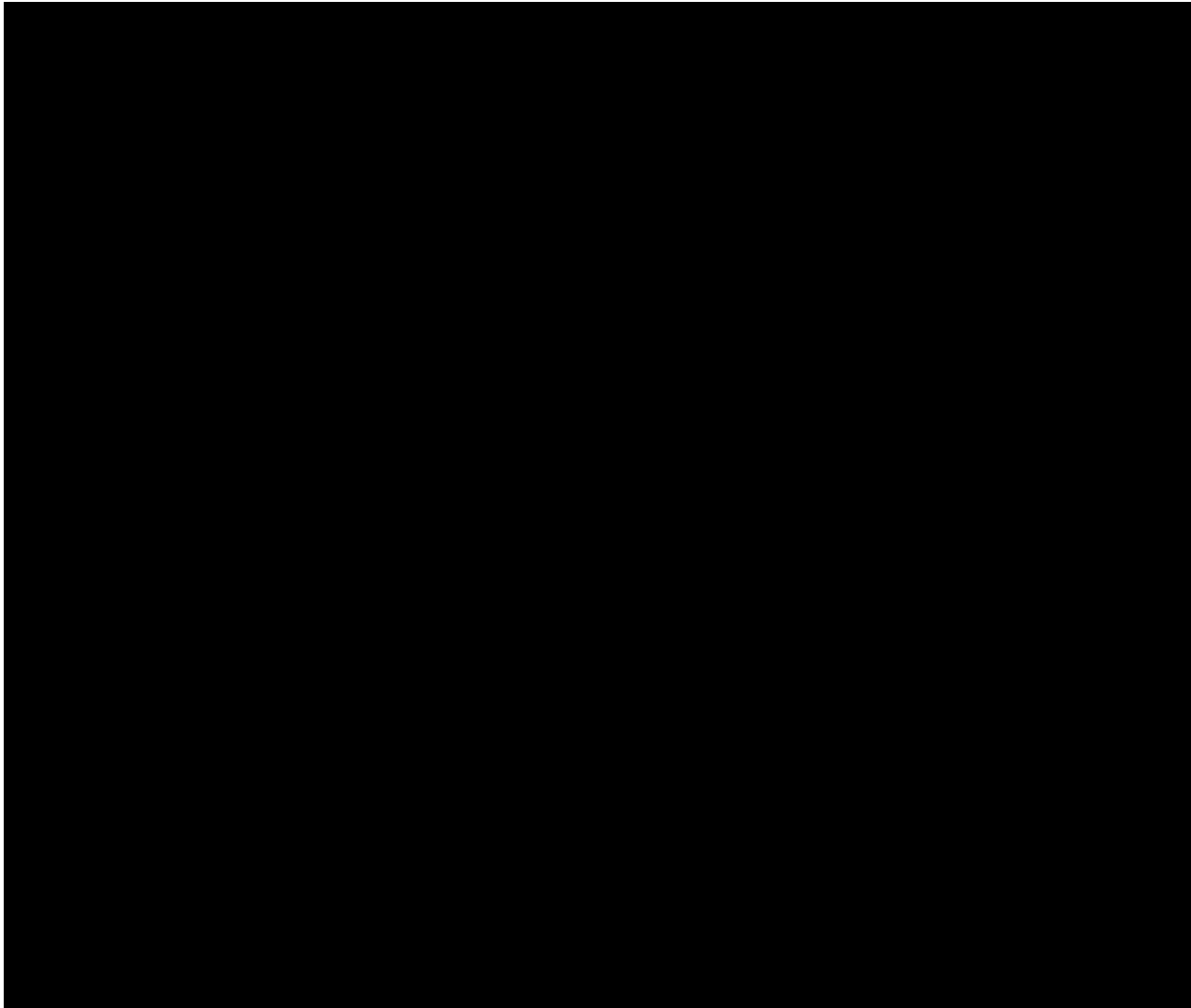
(ロ)・第E.5図 非損傷・孤立系輸送物計算モデルの上部断面図2



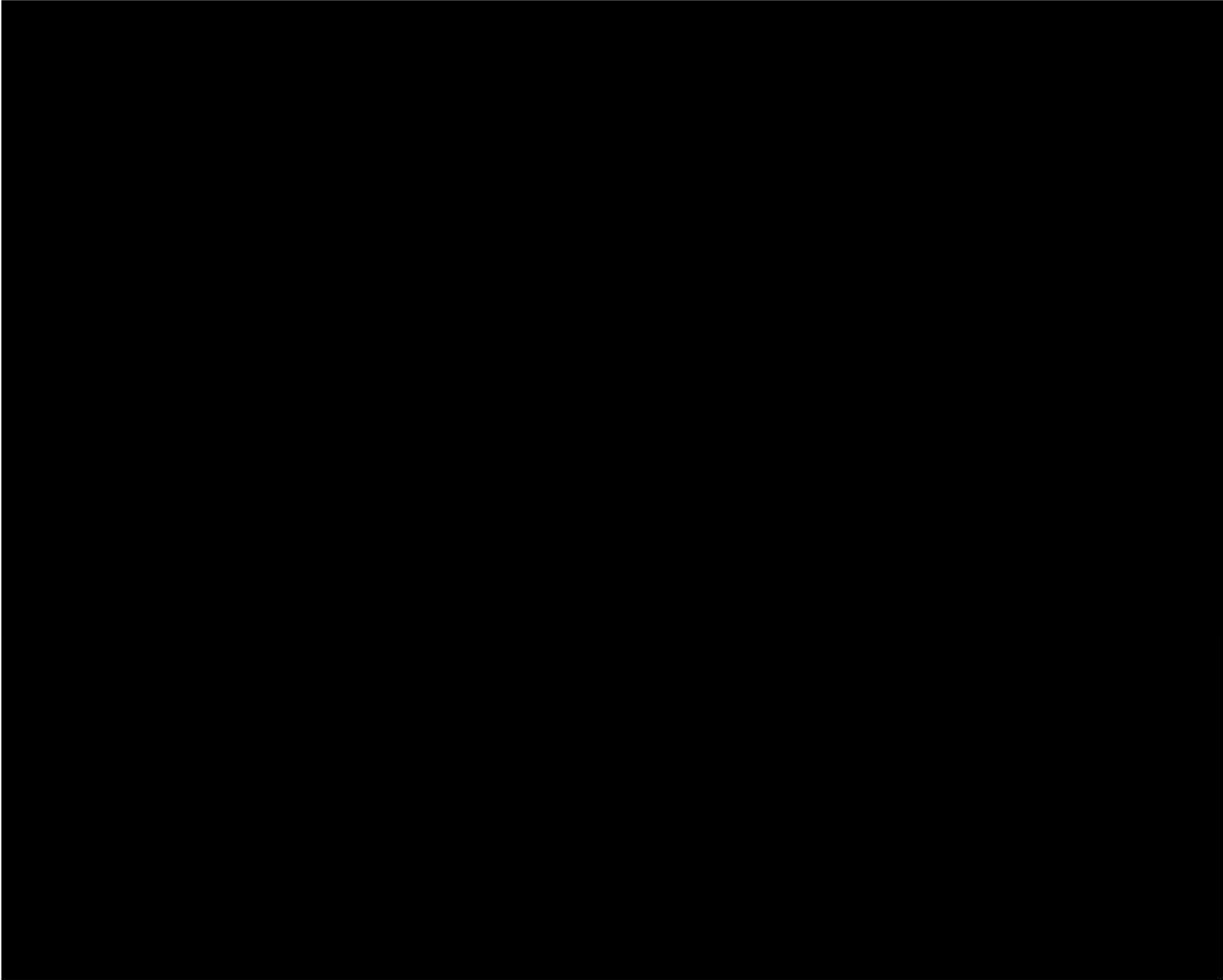
(ロ)第E.6図 非損傷・配列系輸送物単一ユニット計算モデルの底部断面図



(ロ)・第E.7図 非損傷-配列系輸送物単一ユニット計算モデルの中間部断面図



(ロ)第E.8図 非損傷-配列系輸送物単一ユニット計算モデルの上部断面図 (その1)



(ロ)-第E.9図 非損傷-配列系輸送物単一ユニット計算モデルの上部部断面図 (その2)

E.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

計算に使用した輸送物各領域の原子個数密度を(ロ)第 E.3 表に示す。

表中の原子個数密度が計算のモデルにより異なる理由は、 の水分量が温度によって異なるためである。本輸送容器では、中性子吸収材及び
 とした材料が使用されている。中性子吸収材中の水分量は臨界管理上、水分量が低い方が中性子の減速効果が小さく、保守的評価であるため、一般の試験及び特別の試験のそれぞれの条件下での最高温度で中性子吸収材を乾燥させた場合の物性を用いた。

 も水分量が小さい方が中性子の減速効果が小さいため、保守的評価になる。ただし、孤立系の評価時においては、水分量が大きい方が反射体効果により保守的評価になる。よって、孤立系では、水没させた場合の物性を用いた。

また、損傷系モデルは損傷による容器の変形を考慮している。このために、寸法の変化による輸送物全体の重量の変化を補正するため、 の密度を大きくし、変形による体積変化を補っているために密度が異なる。

(a)-第E.3表 XXXXXXXXXX 計算モデルに使用される材料組成 (その1)

材料名	材料 番号*	理論密度 (g/cm ³)	体積比	組成	原子量	重量比	原子個数密度 (atoms/barn/cm)

*材料番号の対応は、(a)-第E.10図参照

(E)-第E.3表 [redacted] 計算モデルに使用される材料組成 (その2)

材料名	材料 番号*	理論密度 (g/cm ³)	体積比	組成	原子量	重量比	原子個数密度 (atoms/barn/cm)
非損傷-孤立系輸送物計算モデル							
収納容器内水	3	0.9982	1.0	H	1.0077	11.1909	6.67536×10^{-2}
				O	15.9904	88.8091	3.33856×10^{-2}

*材料番号の対応は、(E)-第E.10図参照

(E)-第E.3表 [redacted] 算モデルに使用される材料組成 (その3)

材料名	材料 番号*	理論密度 (g/cm ³)	体積比	組成	原子量	重量比	原子個数密度 (atoms/barn/cm)
水	12	0.52294	1.0	H	1.0077	11.1909	3.49711×10^{-2}
				O	15.9904	88.8091	1.74856×10^{-2}

*材料番号の対応は、(E)-第E.10図参照

(E)-第E.3表 [redacted] 計算モデルに使用される材料組成 (その4)

材料名	材料 番号*	理論密度 (g/cm ³)	体積比	組成	原子量	重量比	原子個数密度 (atoms/barn/cm)
水	13	0.49860	1.0	H	1.0077	11.1909	3.33433×10^{-2}
				O	15.9904	88.8091	1.66717×10^{-2}
空隙部-水	15	0.9982	1.0	H	1.0077	11.1909	6.67536×10^{-2}
				O	15.9904	88.8091	3.33856×10^{-2}

*材料番号の対応は、(E)-第E.10図参照

(E)-第E.3表 [redacted] 計算モデルに使用される材料組成 (その5)

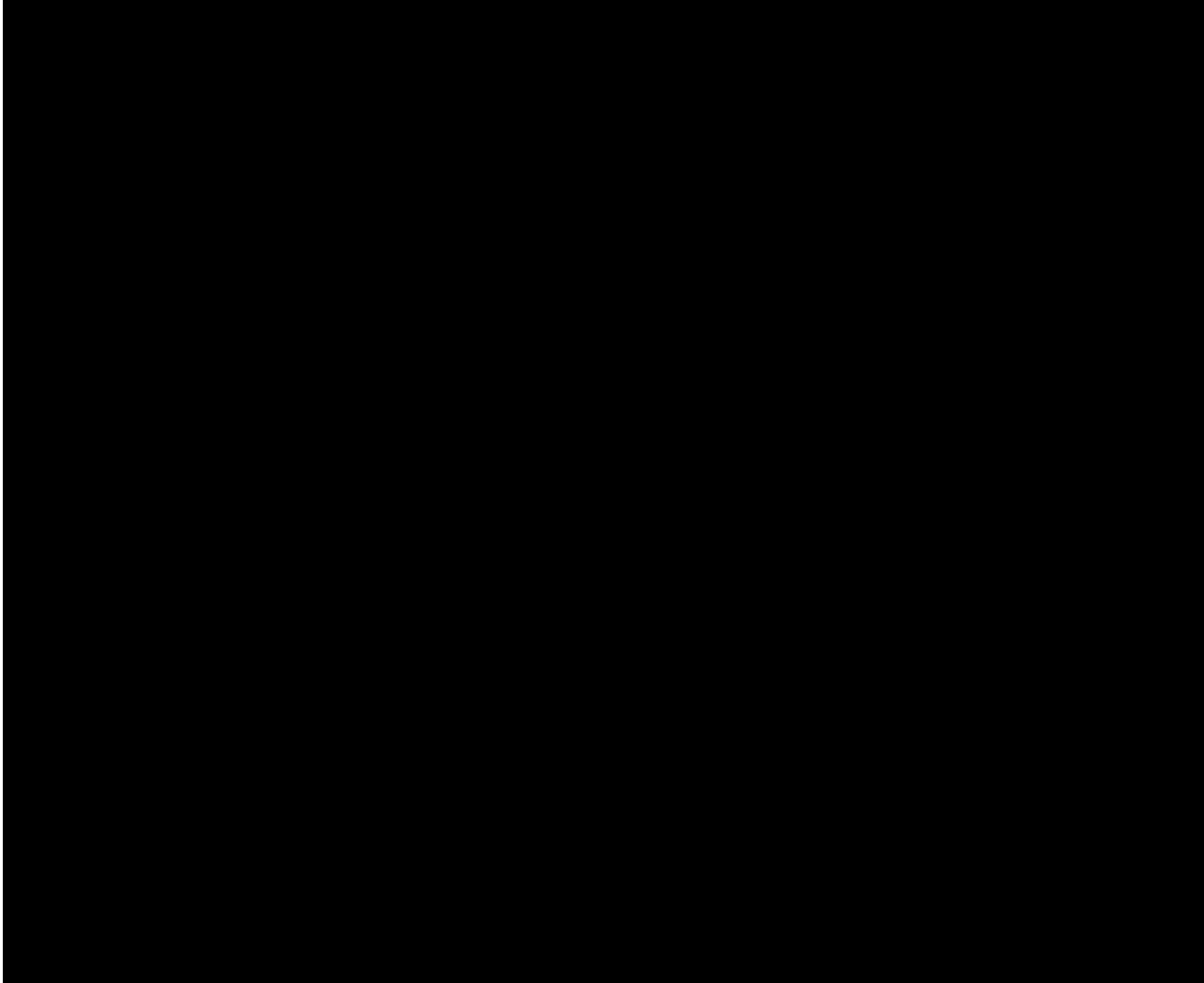
材料名	材料 番号*	理論密度 (g/cm ³)	体積比	組成	原子量	重量比	原子個数密度 (atoms/barn/cm)
配列間-水	20	0.9982	1.0	H	1.0077	11.1909	6.67536×10^{-2}
				O	15.9904	88.8091	3.33856×10^{-2}
反射体-水	21	0.9982	1.0	H	1.0077	11.1909	6.67536×10^{-2}
				O	15.9904	88.8091	3.33856×10^{-2}
非損傷-配列系輸送物計算モデル変更点							
非損傷-孤立系輸送物計算モデルと同じ							

*材料番号の対応は、(E)-第E.10図参照

(a)-第E.3表 [redacted] 計算モデルに使用される材料組成 (その6)

材料名	材料 番号*	理論密度 (g/cm ³)	体積比	組成	原子量	重量比	原子個数密度 (atoms/barn/cm)
-----	-----------	------------------------------	-----	----	-----	-----	---------------------------

損傷-孤立系輸送物計算モデル変更点 (その他は、非損傷-孤立系輸送物計算モデルと同じ)



*材料番号の対応は、(a)-第 E.10 図参照

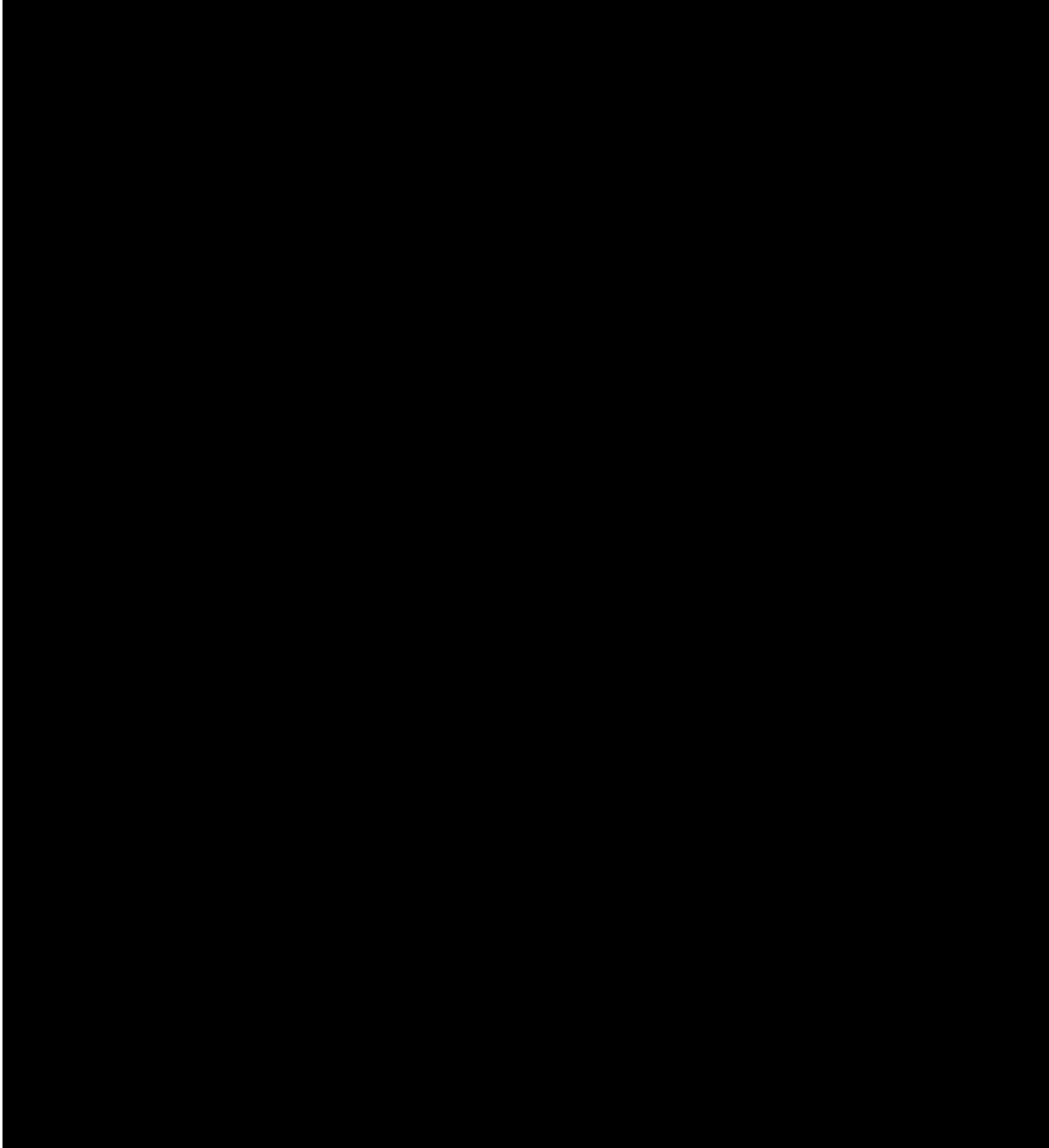
(E)-第E.3表 [redacted] 計算モデルに使用される材料組成 (その7)

材料名	材料 番号*	理論密度 (g/cm ³)	体積比	組成	原子量	重量比	原子個数密度 (atoms/barn/cm)
水	12	0.62843	1.0	H	1.0077	11.1909	4.20256 × 10 ⁻²
				O	15.9904	88.8091	2.10128 × 10 ⁻²
[redacted]							

損傷-配列系輸送物計算モデル変更点

損傷-孤立系輸送物計算モデルと同じ

*材料番号の対応は、(E)-第E.10図参照



(ロ)第E.10図  計算モデルの材料番号対応

E.4 未臨界評価

E.4.1 計算条件

解析に使用した [REDACTED]
及び濃縮度を(□)-第 E.4 表に示す。

孤立系、配列系の解析では、本輸送に係る制限値にて評価を実施した。

(□)-第E.4表 各計算モデルのウラン重量及び濃縮度 (1/3) [REDACTED]

解析モデル	[REDACTED]
非損傷-孤立系	[REDACTED]
非損傷-配列系	[REDACTED]
損傷-孤立系	[REDACTED]
損傷-配列系	[REDACTED]

(□)-第E.4表 各計算モデルのウラン重量及び濃縮度 (2/3) [REDACTED]

解析モデル	[REDACTED]
非損傷-孤立系	[REDACTED]
非損傷-配列系	[REDACTED]
損傷-孤立系	[REDACTED]
損傷-配列系	[REDACTED]

(□)-第E.4表 各計算モデルのウラン重量及び濃縮度 (3/3) [REDACTED]

解析モデル	[REDACTED]
非損傷-孤立系	[REDACTED]
非損傷-配列系	[REDACTED]
損傷-孤立系	[REDACTED]
損傷-配列系	[REDACTED]

E.4.2 輸送物への水の浸入等

臨界解析は、収納容器内に水が浸入するという保守的な条件での評価を実施した。収納物については、収納缶、缶スペーサーは考慮せず[]等が収納容器内に均一に分散して[]間に水が入ることを想定し、[]と周囲の水が一樣に均質化したと仮定した。モデル内の水密度の評価は付属書類 E.7.3 に示す。

また、[]については[]場合もあることから、均質体系に対する非均質体系の影響を考慮する。均質体系としての評価に非均質体系の影響については、「臨界安全ハンドブック第2版」⁽⁶⁾の[]を用いて評価を行った。これによると、非均質体系効果は単調に増加するわけではなく、最大となる[]が存在する。また、濃縮度[]においては、濃縮度が増加するに従って、非均質体系の効果は無増倍率に負の影響があることがわかる。以上のことから、文献(6)の[]に示される非均質体系の効果として、本輸送物に対しても最大で[]を見込めば十分に安全側の評価となる。

E.4.3 計算方法

臨界解析には、臨界安全解析コードシステム SCALE 内のモンテカルロ計算モジュール KENO-VI を使用した。

断面積ライブラリーには、ENDF/B-V に基づく 238 群中性子断面積ライブラリー 238GROUPNDF5 を使用した。

E.4.4 計算結果

計算結果を、(ロ)-第 E.5 表に示す。

(ロ)-第E.5表 各計算モデル臨界解析結果 (1/3)

解析モデル	中性子実効増倍率 ($k_{\text{eff}}+2\sigma$)	中性子実効増倍率 ($k_{\text{eff}}\pm\sigma$)
非損傷-孤立系		
非損傷-配列系		
損傷-孤立系		
損傷-配列系		

(ロ)-第E.5表 各計算モデル臨界解析結果 (2/3)

解析モデル	中性子実効増倍率 ($k_{\text{eff}}+2\sigma$)	中性子実効増倍率 ($k_{\text{eff}}\pm\sigma$)	実効増倍率 ($k_{\text{eff}}+2\sigma$) \times 非均質効果
非損傷-孤立系			
非損傷-配列系			
損傷-孤立系			
損傷-配列系			

(ロ)-第E.5表 各計算モデル臨界解析結果 (3/3)

解析モデル	中性子実効増倍率 ($k_{\text{eff}}+2\sigma$)	中性子実効増倍率 ($k_{\text{eff}}\pm\sigma$)
非損傷-孤立系		
非損傷-配列系		
損傷-孤立系		
損傷-配列系		