

補足説明資料

型式証明を受けた設計からの変更点及び安全評価への影響に関する説明資料

目 次

1. 概要	1
2. 型式証明を受けた設計からの変更点	1
3. 設計変更による影響	3
4. 型式証明申請での評価に対する型式指定申請での再評価の有無	7

別紙 1 MSF-24P(S)型の構造

別紙 2 MSF-24P(S)型の材料

別紙 3 先行設工認における使用済燃料乾式貯蔵容器、及び先行設計承認における輸送容器との設計の差異について

別添 型式設計特定容器等の型式指定申請書（MSF-21P 型）抜粋

1. 概要

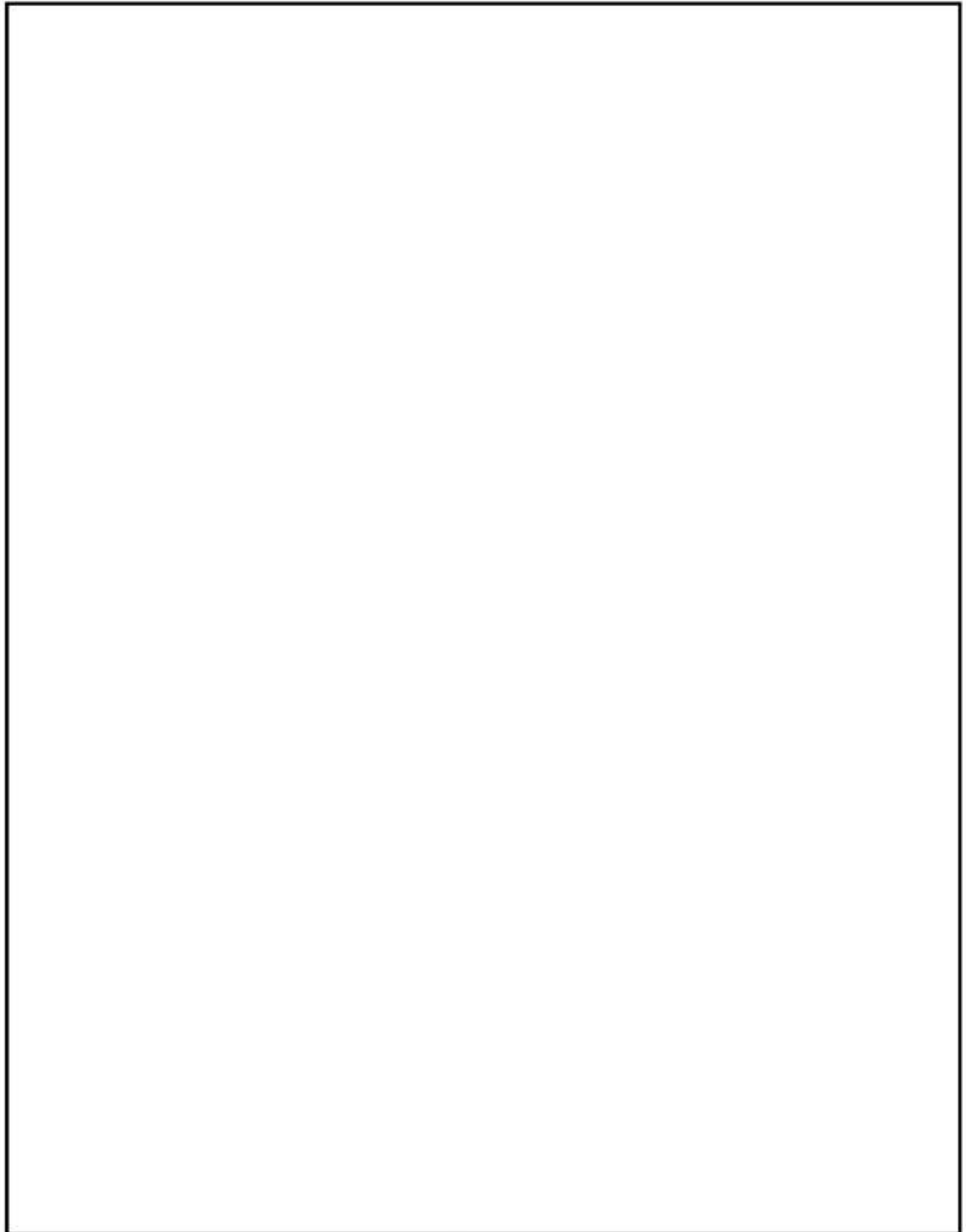
本書は、型式証明申請書に示した型式証明を受けた設計からの変更点及び変更による各評価への影響を説明するものである。

2. 型式証明を受けた設計からの変更点

型式証明を受けた設計からの変更点を第1表に示す(型式指定申請におけるMSF-24P(S)型の構造は別紙1、材料は別紙2参照)。また、変更による各評価への影響を3.に示す。

第1表 型式証明を受けた設計からの変更点

No.	分類	変更点	構造	変更理由等
1	詳細設計の反映	貯蔵用三次蓋の材質及び形状変更	第1図	



第1図 型式証明を受けた設計からの詳細設計の反映箇所

3. 設計変更による影響

3.1 安全評価への影響

型式証明申請及び型式指定申請の貯蔵用三次蓋の形状比較を第2図に示す。また、本変更による各評価への影響を第2表に示す。型式指定申請の各評価における貯蔵用三次蓋のモデル化の考え方を第3表に示す。

第2表 貯蔵用三次蓋の変更による安全評価への影響

	型式証明申請からの変更	
	評価条件	評価結果への影響
臨界防止	貯蔵用三次蓋は臨界評価モデル範囲外であるため評価条件に変更はない。	評価モデル及び評価条件に変更がないため、評価結果への影響はない。
遮蔽	型式指定申請では、遮蔽解析モデルにおいて、保守的に貯蔵用三次蓋をモデル化しない ^(注1) 。	頭部方向の線量当量率が増加するが、線量当量率が最大となる胴部への影響は小さく、最大線量当量率への影響はない。
除熱	貯蔵用三次蓋の材質及び形状変更を除熱評価モデルへ反映する ^(注2) 。	貯蔵用三次蓋の熱特性及び形状変更による除熱性能への影響はわずかであり、除熱評価結果への影響は小さい。
閉じ込め	貯蔵用三次蓋は閉じ込め評価モデル範囲外であるが、評価条件となる特定兼用キャスク本体内部温度について、上記除熱評価結果を反映する。	特定兼用キャスク本体内部温度の変化は小さく、基準漏えい率及びリークテスト判定基準値への影響は小さい。
長期健全性	評価条件となる特定兼用キャスク構成部材及び使用済燃料の温度について、上記除熱評価結果を反映する。	特定兼用キャスク構成部材及び使用済燃料の温度変化は小さく、評価結果への影響はない。
構造強度 ^(注3)	型式指定申請の構造強度評価モデルにおいて、貯蔵用三次蓋の変更を構造解析モデルへ反映する。	型式証明申請では詳細評価を行っておらず、型式指定申請で詳細評価結果を示す ^(注4) 。

(注1) 型式証明申請では遮蔽解析モデルにおいて、貯蔵用三次蓋をモデル化。

(注2) 型式指定申請での除熱解析モデルにおいて、貯蔵用三次蓋の変更に加え、特定兼用キャスクの貯蔵場所を貯蔵建屋内に限定することによる評価条件の変更がある(型式証明では屋外貯蔵を代表条件として評価)。

(注3) 技術基準規則26条構造強度、同5条地震、同6条津波、及び同7条竜巻における構造強度評価。

(注4) 型式証明申請では、構造強度評価として応力評価式等による簡易評価を実施している。

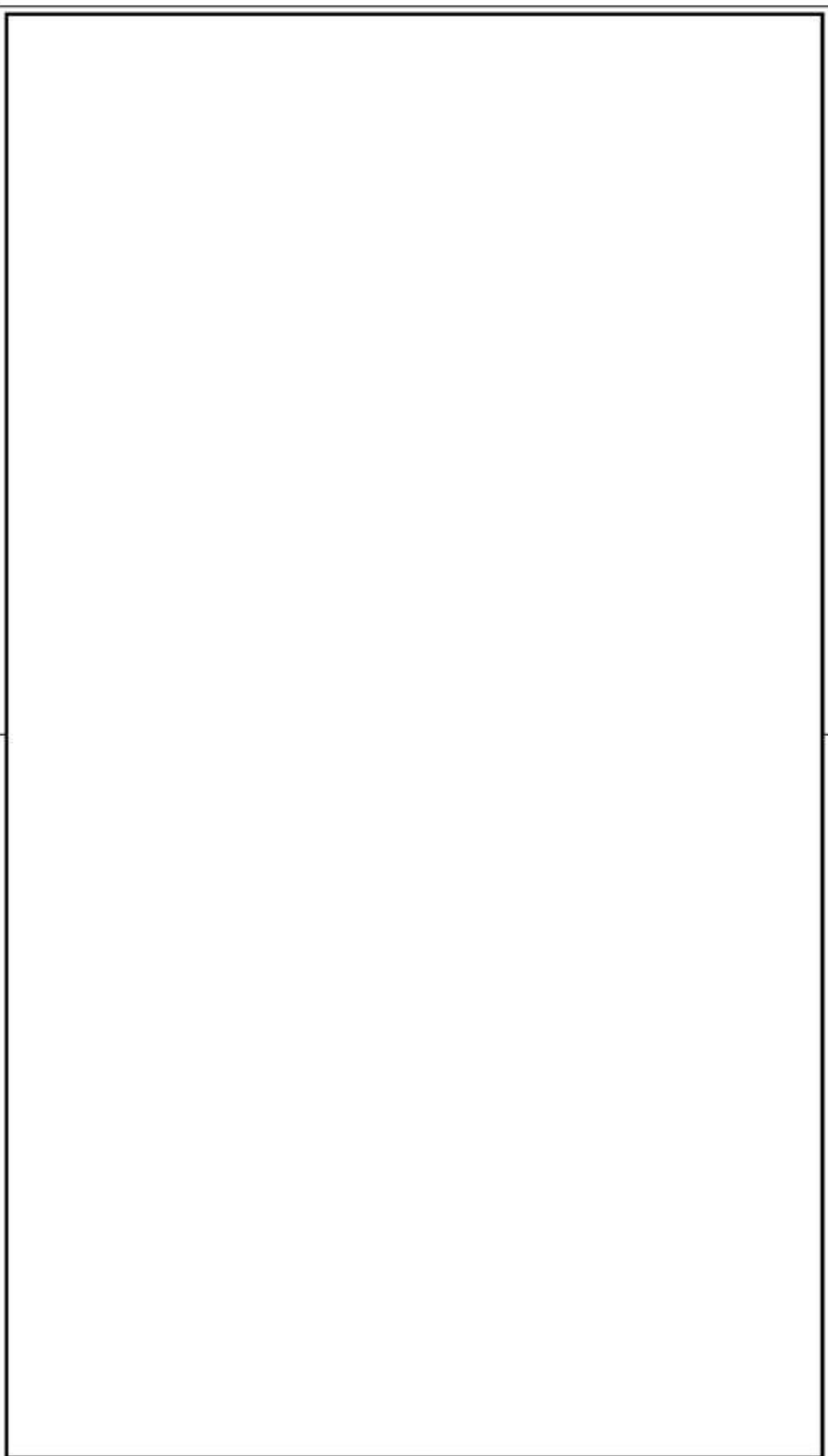
第3表 型式指定申請の各評価における貯蔵用三次蓋のモデル化の考え方

	貯蔵用三次蓋のモデル化	左記の理由
臨界防止	無視	臨界評価モデルでは、特定兼用キャスクの周囲を完全反射境界としているが、貯蔵用三次蓋を無視することにより完全反射境界が特定兼用キャスク中心に近くなり保守的となる。
遮蔽	無視	遮蔽評価モデルでは、保守的にガンマ線遮蔽効果のある貯蔵用三次蓋を無視する。また、貯蔵用三次蓋（及び貯蔵用差緩衝体）を無視することで線量当量率の評価位置が特定兼用キャスク中心に近くなり保守的となる。
除熱	温度評価モデルに考慮	除熱評価では、断熱効果のある貯蔵用緩衝体を装着した方が特定兼用キャスク構成部材及び使用済燃料温度が高くなる。貯蔵用緩衝体は貯蔵用三次蓋装着のために必要な部材であり、除熱評価モデルに考慮する。
閉じ込め	無視	閉じ込め評価では、特定兼用キャスクの蓋間空間から特定兼用キャスク本体内部への気体の流れ取扱うため、貯蔵用三次蓋はモデルとして考慮されない（モデル上は無視の扱い）。
長期健全性	（評価モデルなし）	長期健全性では、温度、放射線等の使用環境に基づき健全性を評価する。そのため、評価モデルは存在しない。
構造強度 (注1)	構造強度評価モデルに考慮	構造強度評価では、自重、熱荷重等を考慮する必要がある。特に、特定兼用キャスク貯蔵用三次蓋の自重による応力、及び貯蔵用三次蓋が装着されることにより生じる熱応力の影響を適切に確認するため、貯蔵用三次蓋をモデル化する。

(注1) 技術基準規則 26 条構造強度、同 5 条地震、同 6 条津波、及び同 7 条竜巻における構造強度評価。

型式指定申請

型式証明申請



第2図 貯蔵用三次蓋の形状比較

3.2 取扱性への影響

型式証明申請及び型式指定申請の貯蔵用三次蓋の形状及び質量の比較を第4表に示す。第4表に示すとおり、形状及び質量の差異は僅かである。また、第5表に示すとおり、貯蔵用三次蓋を装着した状態でのMSF-24P(S)型の取扱中の質量は、原子炉建屋内の取扱時、貯蔵施設への搬送時及び貯蔵施設内の取扱時における取扱制限値以下であり、取扱性に問題ない。

第4表 貯蔵用三次蓋の形状及び質量の比較

項目		型式指定申請	型式証明申請
形状	外径(mm)	[Redacted]	[Redacted]
	厚さ(mm)		
質量(ton)			

第5表 貯蔵用三次蓋を装着した状態での取扱いに対する成立性

取扱様態における重量制限	質量 (ton)	制限値 (ton)
	型式指定申請	
原子炉建屋内の取扱時 ^(注1)	[Redacted]	[Redacted]
貯蔵施設への搬送時 ^(注2)		
貯蔵施設内の取扱時 ^(注3)		

4. 型式証明申請での評価に対する型式指定申請での再評価の有無

型式証明申請での評価に用いた評価手法の変更点及び3. に示した設計変更点を踏まえ、型式指定申請における再評価の有無を第6表に示す。

第6表に示すとおり、型式指定申請では、遮蔽、除熱、閉じ込め及び構造強度について再評価を実施している。

第6表 型式指定申請における再評価の有無

	評価手法の変更点	設計変更点の反映	再評価の有無
臨界防止	変更なし	臨界評価モデル及び評価条件に変更はない。	無
遮蔽	型式指定申請では、MCNP5 コードを用いて線量当量率の評価を実施 ^(注1) 。	第2表に示す詳細設計を踏まえ、遮蔽評価では、貯蔵用三次蓋を無視している。	有
除熱	変更なし	第2表に示す詳細設計の反映を評価へ反映している。	有
閉じ込め	変更なし	閉じ込め評価モデルに変更はないが、評価条件となる特定兼用キャスク本体内部温度について、上記除熱評価結果を反映している。	有
長期健全性	変更なし	評価方法に変更はないが、評価条件となる特定兼用キャスク構成部材及び使用済燃料の温度について、上記除熱評価結果を反映している。	有
構造強度 ^(注2)	型式指定申請では、詳細評価としてFEMによる応力評価を実施 ^(注3) 。	第2表に示す詳細設計の反映を評価へ反映している。	有

(注1) 型式証明申請では、遮蔽評価としてMCNP5 コード及びDOT3.5 コードにより線量当量率を評価しているが、型式指定申請では、MCNP5 コードにより評価する。

(注2) 地震、津波、竜巻時を含む。

(注3) 型式証明申請では、構造強度評価として応力評価式による簡易評価を実施している。

別紙1 MSF-24P(S)型の構造

MSF-24P(S)型は、軽水減速、軽水冷却、加圧水型原子炉（以下「PWR」という。）で発生した使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の原子力発電所敷地外への運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持つ金属製の特定兼用キャスクである。

MSF-24P(S)型を使用することにより、特定兼用キャスク貯蔵施設（以下「貯蔵施設」という。）に搬入された後も使用済燃料集合体を別の容器に詰め替えることなく貯蔵を行うことができる。

MSF-24P(S)型は、特定兼用キャスク本体、蓋部、バスケット等で構成され、貯蔵施設内において貯蔵架台を介して床面に設置される。

MSF-24P(S)型の構造を別紙1-1図から別紙1-18図に示す。

(1) 特定兼用キャスク本体

特定兼用キャスク本体の主要部は、胴、中性子遮蔽材及び外筒等で構成されている。

胴は、炭素鋼製であり、密封容器として設計されている。また、胴と外筒の間には主要な中性子遮蔽材としてレジンが充填されており、胴の炭素鋼は、主要なガンマ線遮蔽材である。

特定兼用キャスク本体の取扱い及び貯蔵中の固定のために、上部に2対のトラニオン、下部に2対のトラニオンが取り付けられている。

(2) 蓋部

蓋部は、一次蓋、二次蓋及び貯蔵用三次蓋で構成されている。

一次蓋は、炭素鋼製の円板状であり、ボルトで特定兼用キャスク本体上面に取り付けられ、閉じ込め境界が構成される。一次蓋には主要な中性子遮蔽材としてレジンが充填されており、また、一次蓋の炭素鋼は、主要なガンマ線遮蔽材である。

二次蓋は、炭素鋼製の円板状であり、ボルトで特定兼用キャスク本体上面に取り付けられる。

貯蔵用三次蓋は、炭素鋼製の円板状であり、ボルトで特定兼用キャスク本体上面に取り付けられる。

一次蓋及び二次蓋のシール部には、長期にわたって閉じ込め機能を維持するために金属ガスケットが取り付けられている。

(3) バスケット

バスケットは、断面形状が中空状のアルミニウム合金製のバスケットプレートから構成された格子構造であり、個々の使用済燃料集合体が特定兼用キャスク本体内部に配置されたバスケットの所定の格子内に収納される。また、使用済燃料の未臨界性を維持するために、中性子吸収材を併せて配置している。

(4) その他設備等

a. 貯蔵関連設備

貯蔵時に特定兼用キャスクに設置又は使用される関連設備として、貯蔵用緩衝体、圧力センサ（圧力計）及び温度センサ（温度計）がある。また、特定兼用キャスクは、貯蔵架台上に設置して貯蔵される。

① 貯蔵用緩衝体

貯蔵用緩衝体は、特定兼用キャスクに加わる衝撃を吸収するため、特定兼用キャスク本体上部及び特定兼用キャスク本体下部にボルトで取り付けられる。

② 圧力センサ（圧力計）

圧力センサ（圧力計）は、貯蔵中の一次蓋と二次蓋との空間部（以下「蓋間」という。）の圧力を監視するために使用される。

③ 温度センサ（温度計）

温度センサ（温度計）は、貯蔵中の特定兼用キャスクの表面温度を監視するために使用される。

④ 貯蔵架台

特定兼用キャスクは、鋼製等の貯蔵架台上に設置された状態で貯蔵される。特定兼用キャスクの貯蔵架台等への固縛は、90° 方向及び270° 方向の上部及び下部トラニオンを使用する。

b. 輸送関連部品・設備

輸送時に特定兼用キャスクに設置される部品として、モニタリングポートカバー、輸送用三次蓋及び輸送用緩衝体がある。また、特定兼用キャスクは、輸送架台上に設置して輸送される。

① モニタリングポートカバー

二次蓋には、蓋間にヘリウムを充填するための貫通孔と、この空間の圧力を検出するための貫通孔が設けられており、それぞれの貫通孔にはモニタリングポートバルブが設置されている。輸送時には、その外側にモニタリングポートカバープレートが取り付けられる。モニタリングポートカバーのシール部にはOリングが取り付けられている。

② 輸送用三次蓋

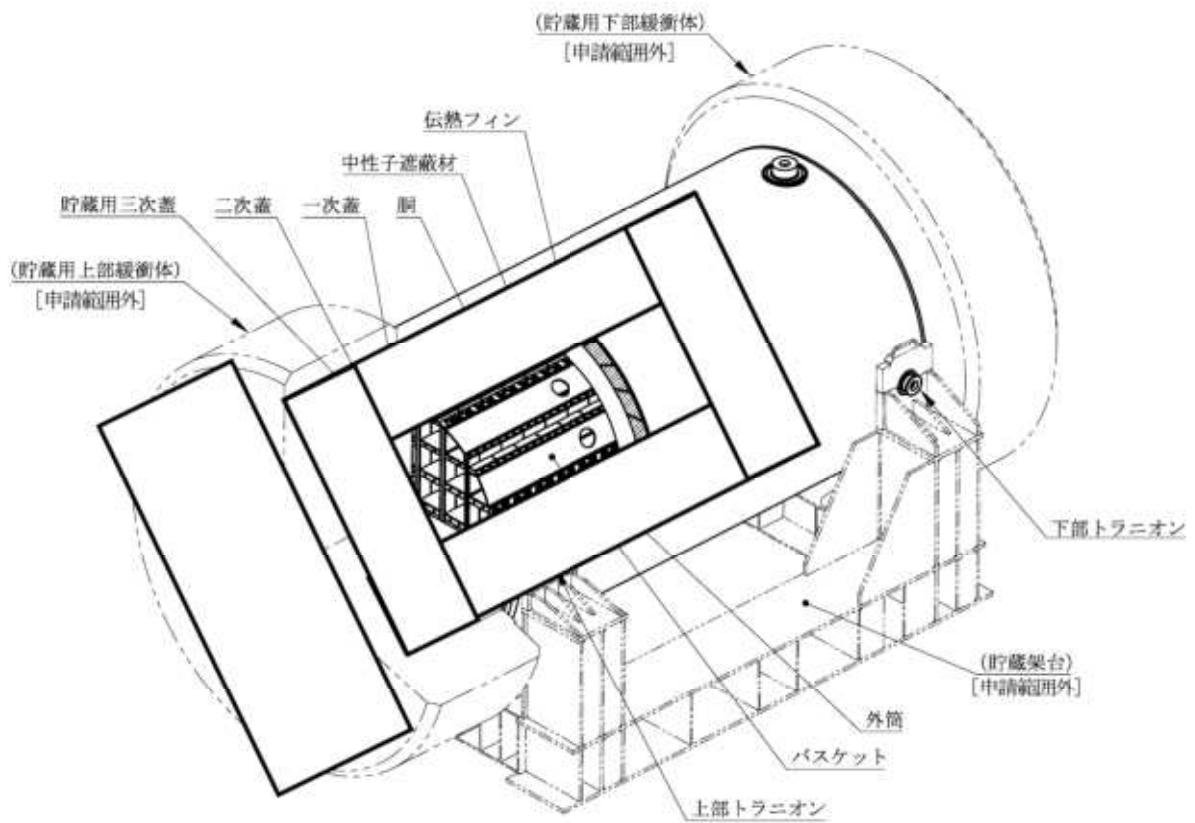
輸送時には、輸送用三次蓋がボルトにより取り付けられる。輸送用三次蓋のシール部には二重のOリングが取り付けられており、この二重のOリングの内側Oリングにより輸送中の密封境界が形成される。

③ 輸送用緩衝体

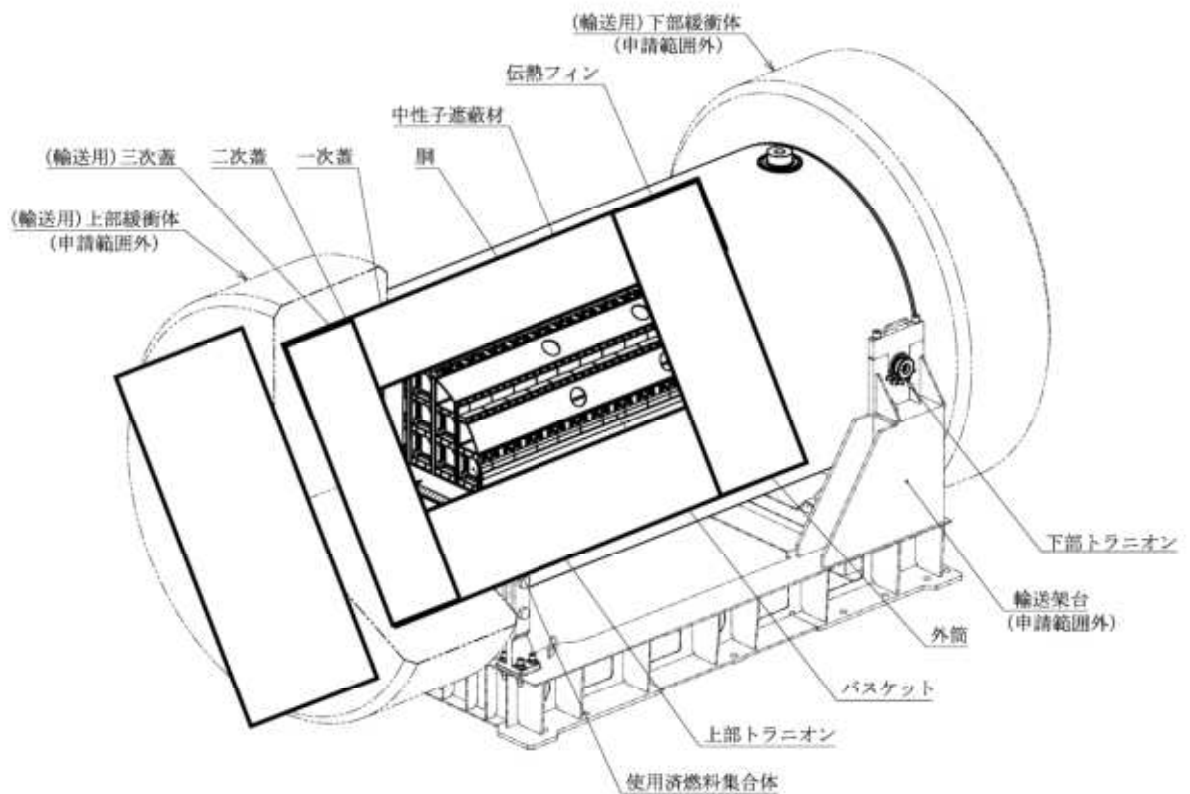
輸送時には、輸送用緩衝体がボルトにより取り付けられる。輸送用緩衝体は、鋼製等の部材に緩衝材を充填したものであり、特定兼用キャスクに加わる衝撃を吸収するため、特定兼用キャスク本体上部及び特定兼用キャスク本体下部にボルトで取り付けられる。

④ 輸送架台

特定兼用キャスクは、鋼製等の輸送架台上に設置された状態で輸送される。特定兼用キャスクの輸送架台への固縛は、特定兼用キャスク本体上部並びに90° 方向及び270° 方向の下部トラニオンを使用する。



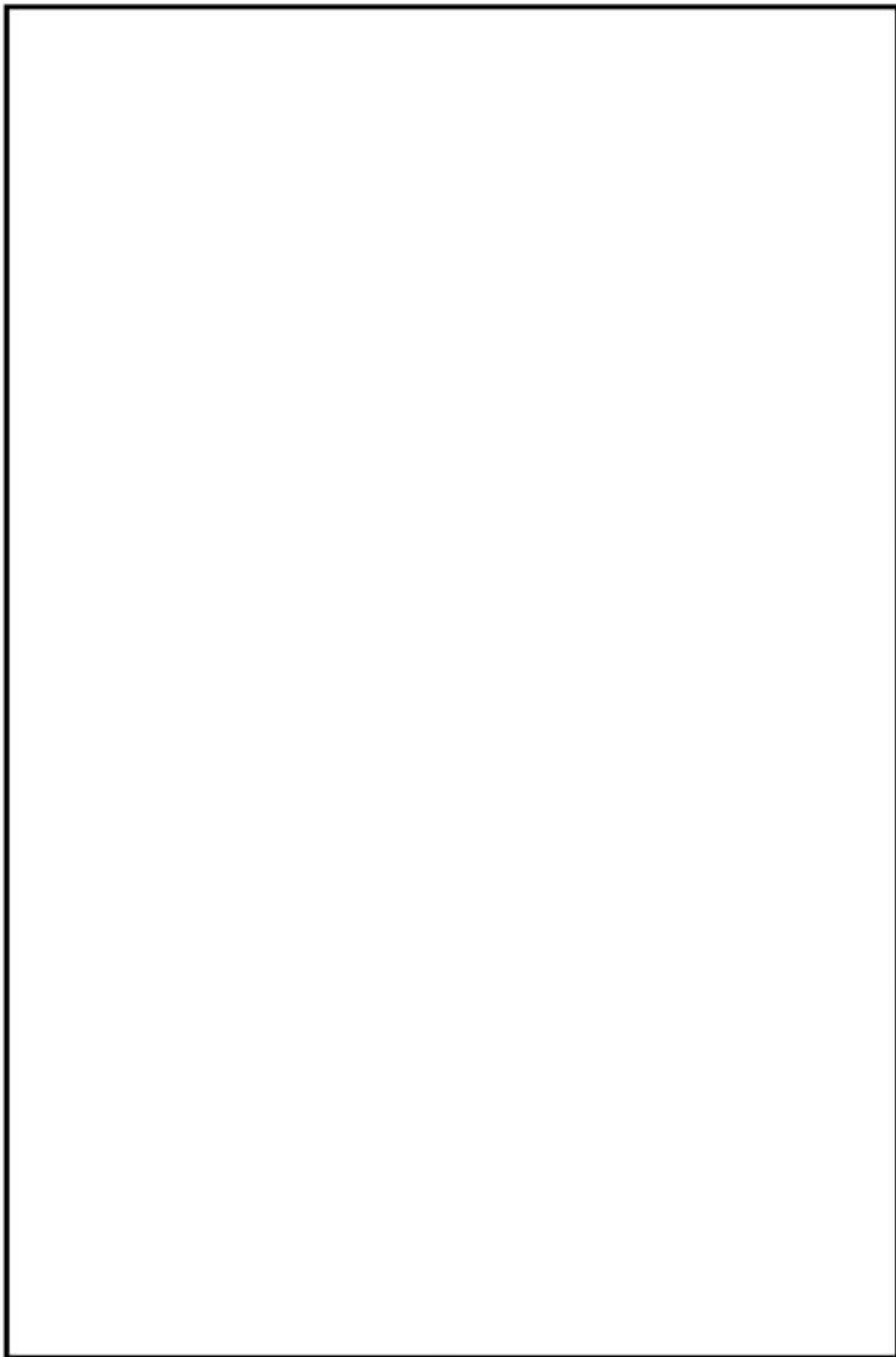
別紙1-1図 MSF-24P(S)型構造図(貯蔵時)



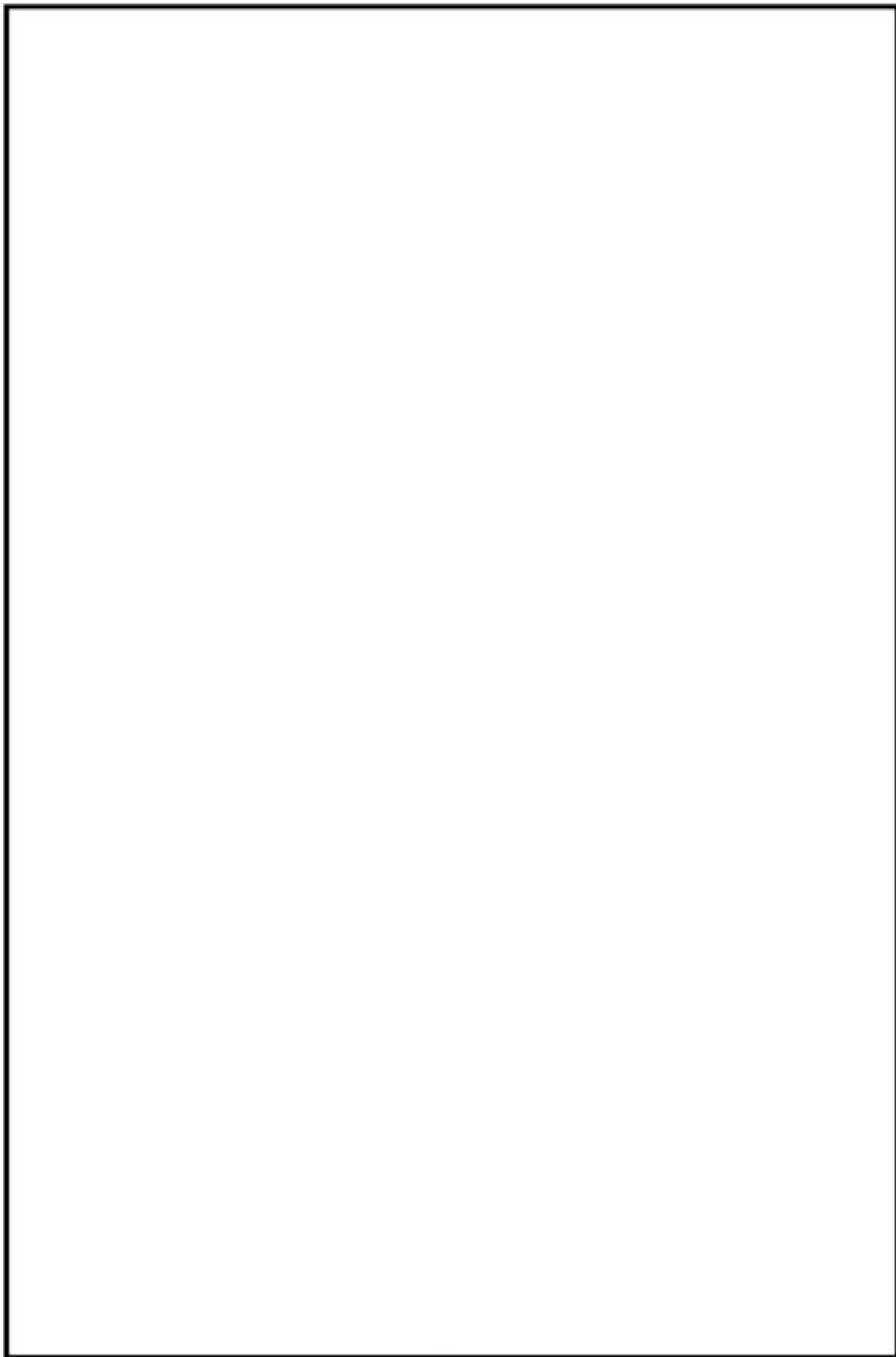
(注) (輸送用) 上部緩衝体及び(輸送用) 下部緩衝体は申請範囲外であるが、別紙1-17図及び別紙1-18図に示す(輸送用) 上部緩衝体及び(輸送用) 下部緩衝体を装着して輸送することを条件とする。

別紙1-2図 MSF-24P(S)型構造図(輸送時)

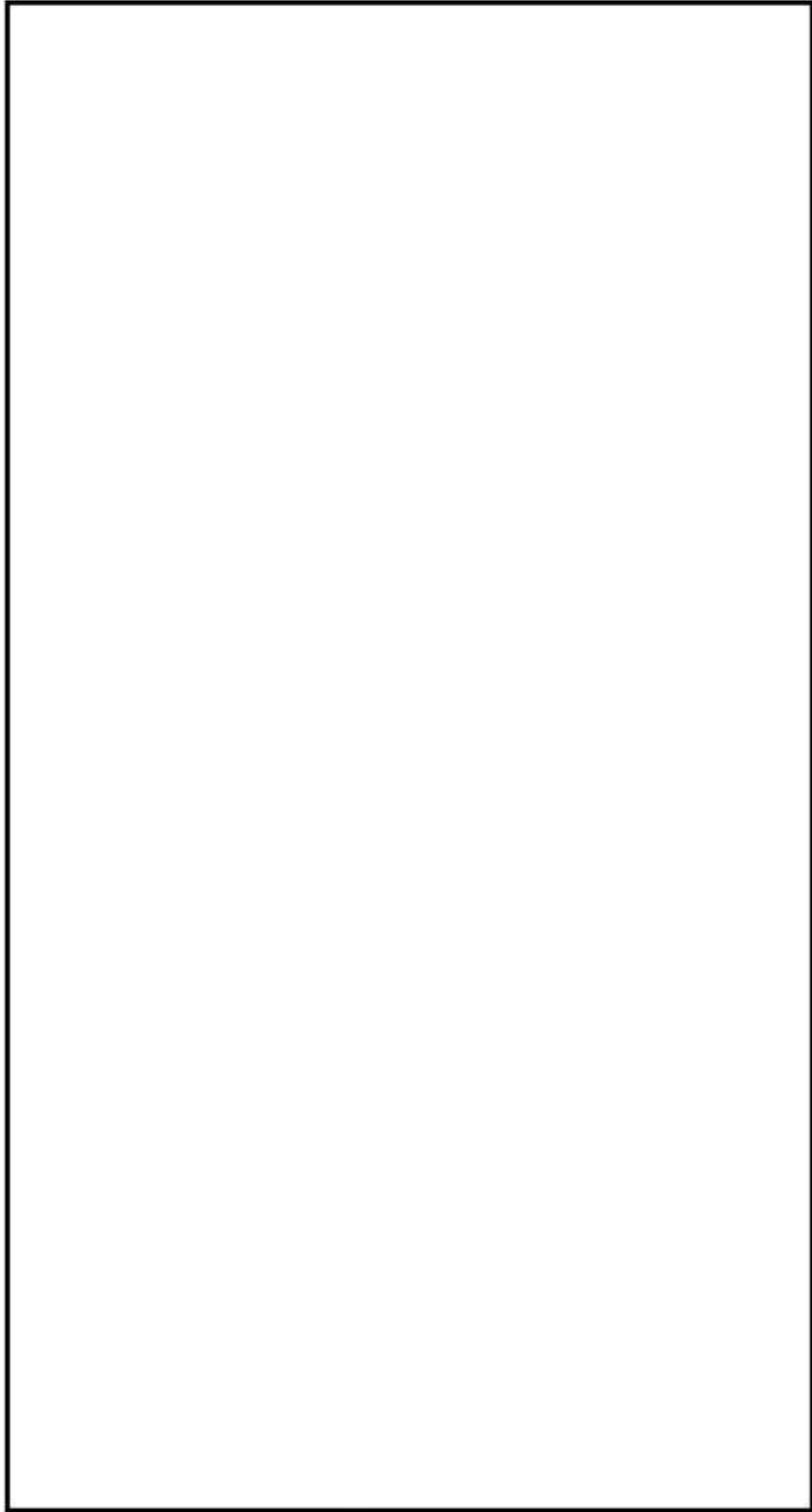
□内は商業機密のため、非公開とします。



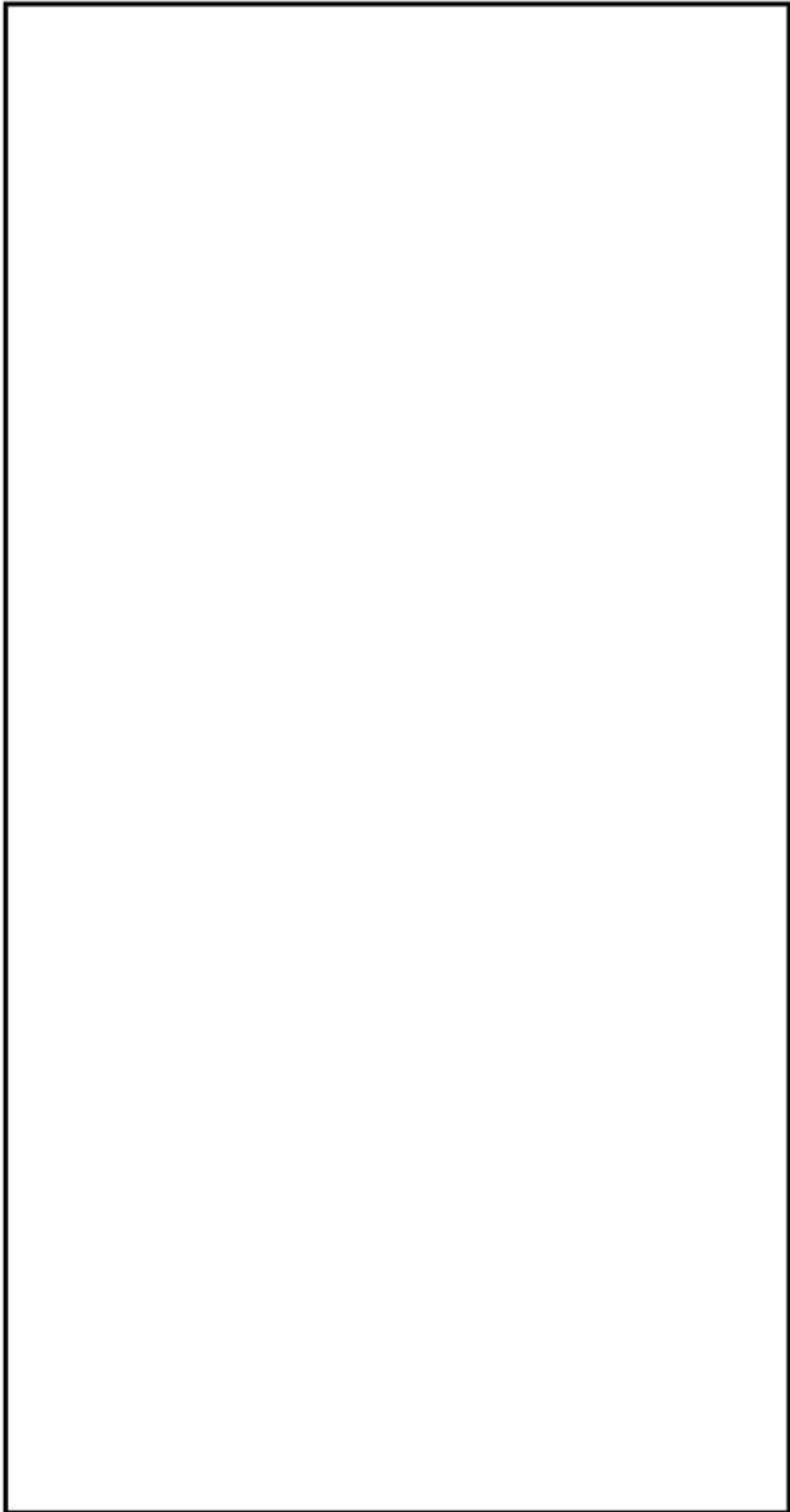
別紙 1 - 3 図 本体縦断面図 (貯蔵時)



別紙1-4図 本体縦断面図（輸送時）



別紙 1-5 図 本体横断面図 (貯蔵時・輸送時共通)



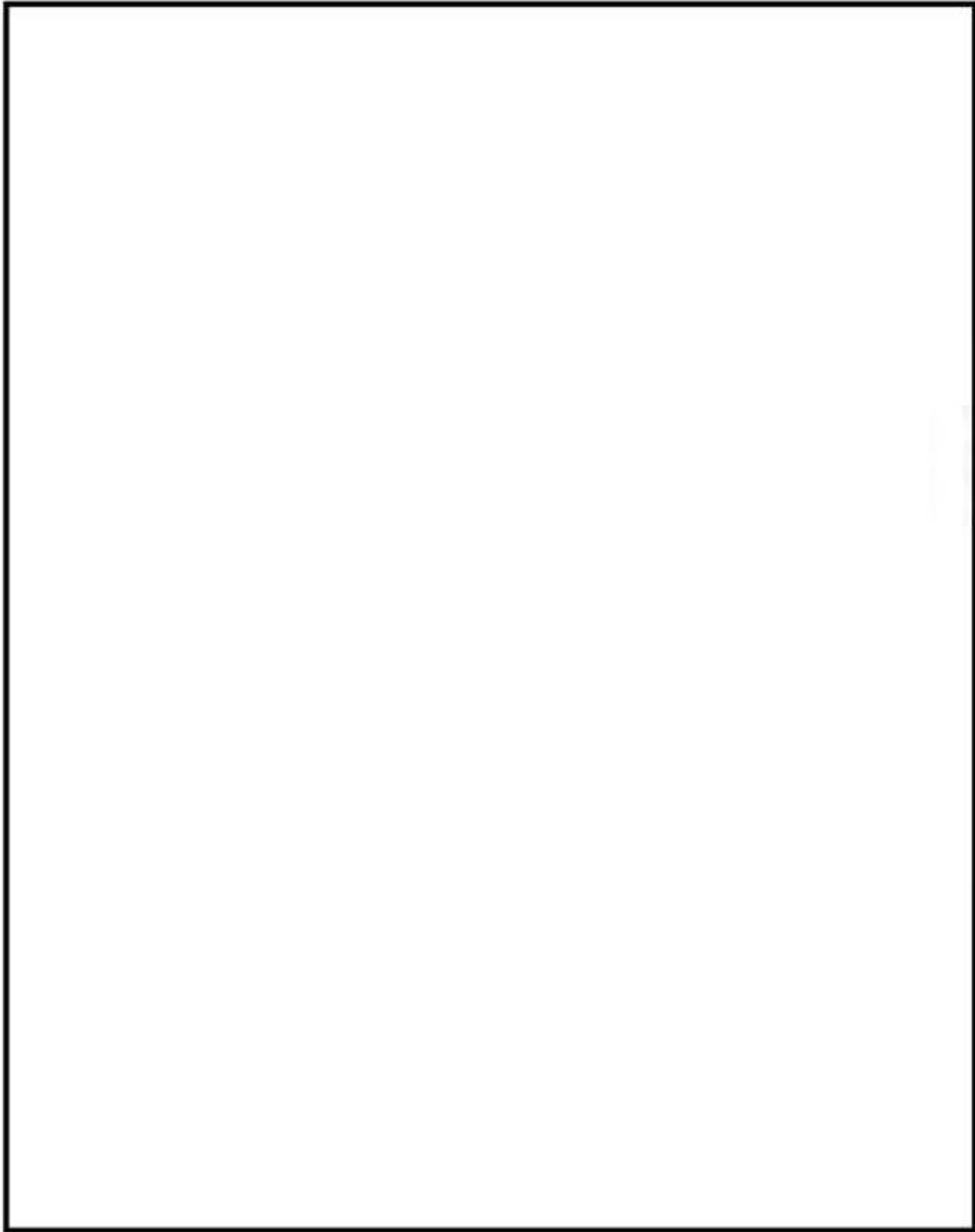
別紙1-6図 トラニオン (貯蔵時・輸送時共通)



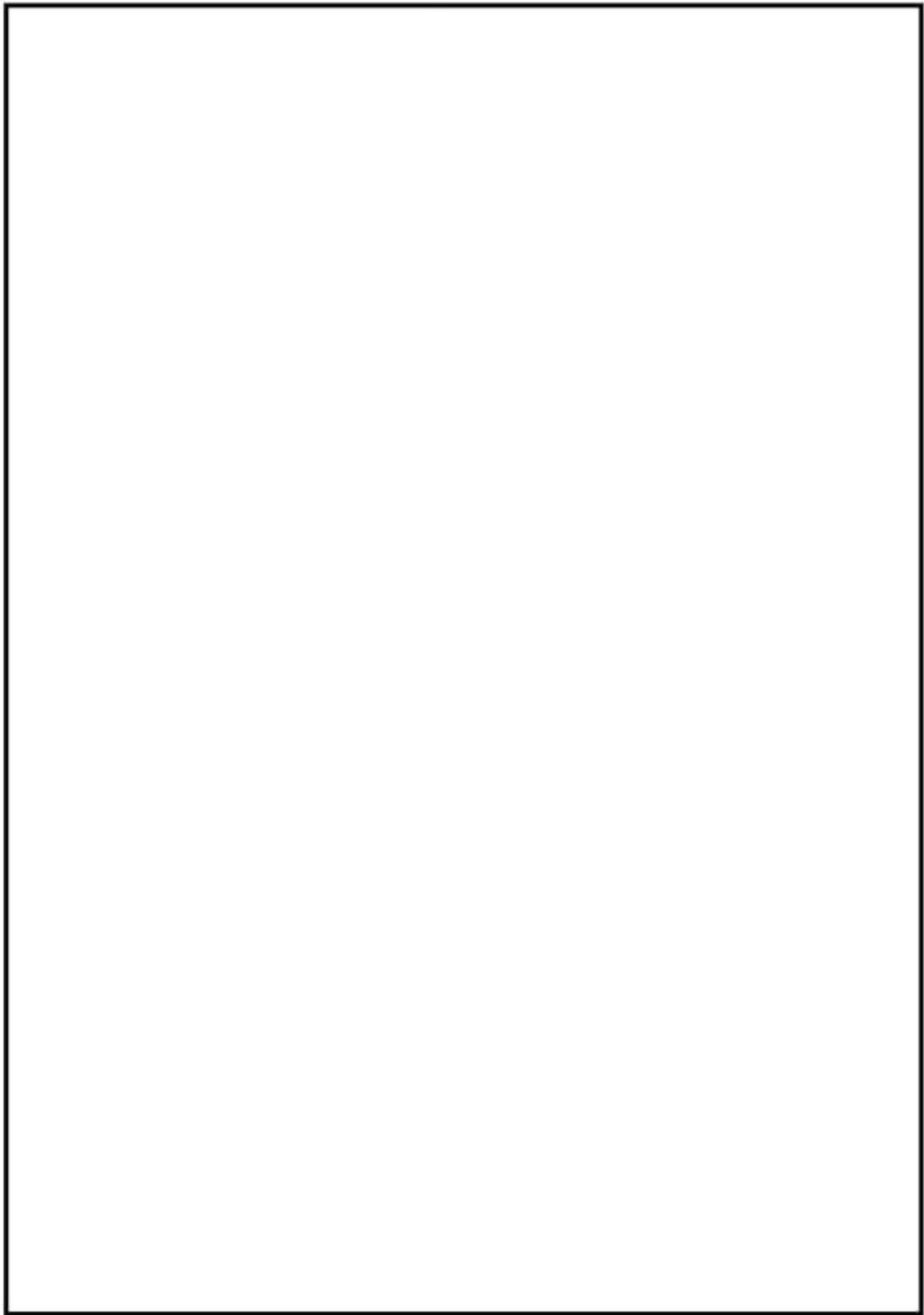
別紙1-7図 一次蓋 (貯蔵時・輸送時共通)

無断複製・転写禁止 三菱重工業株式会社

内は商業機密のため、非公開とします。



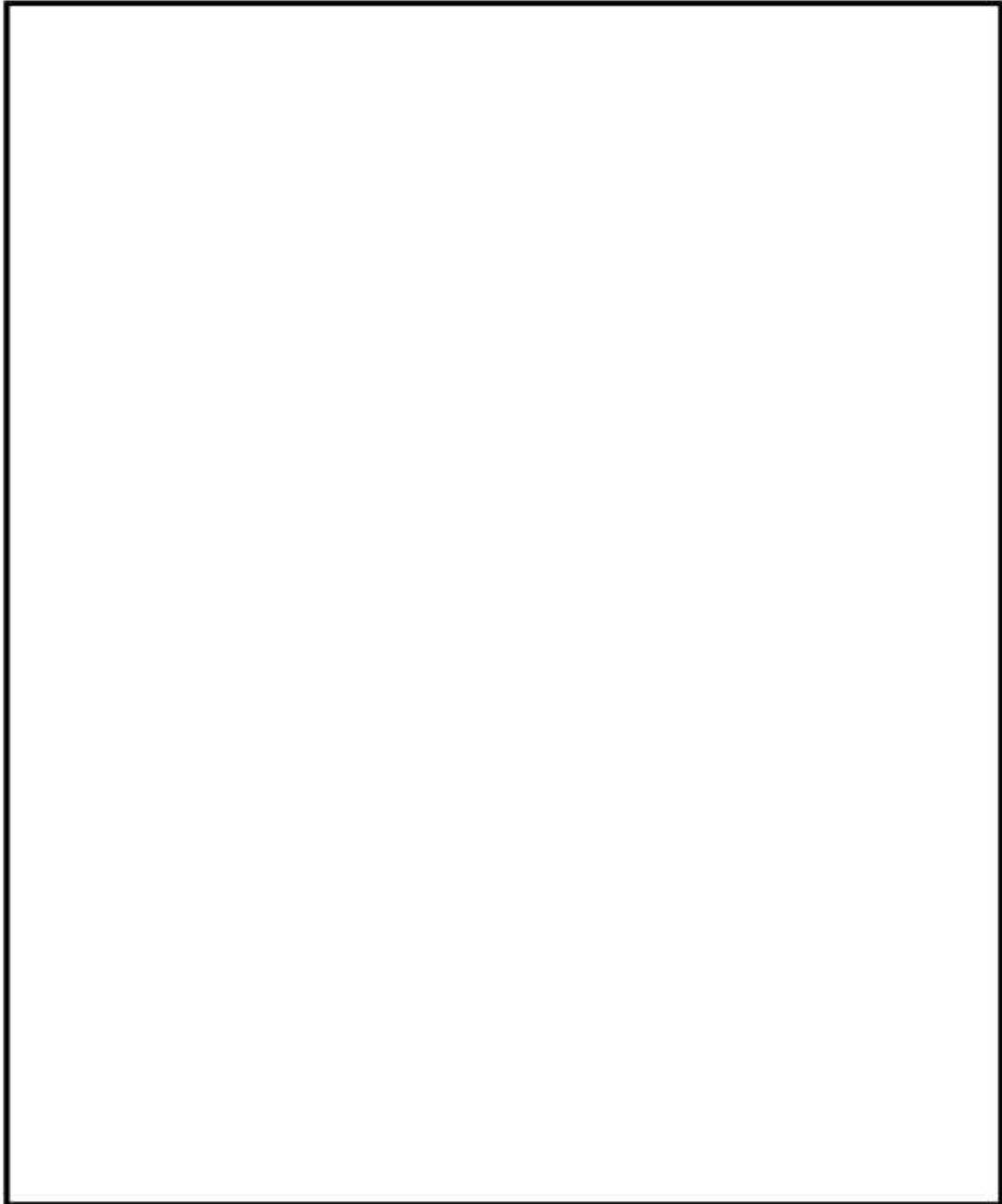
別紙1-8図 一次蓋貫通孔 (貯蔵時・輸送時共通)



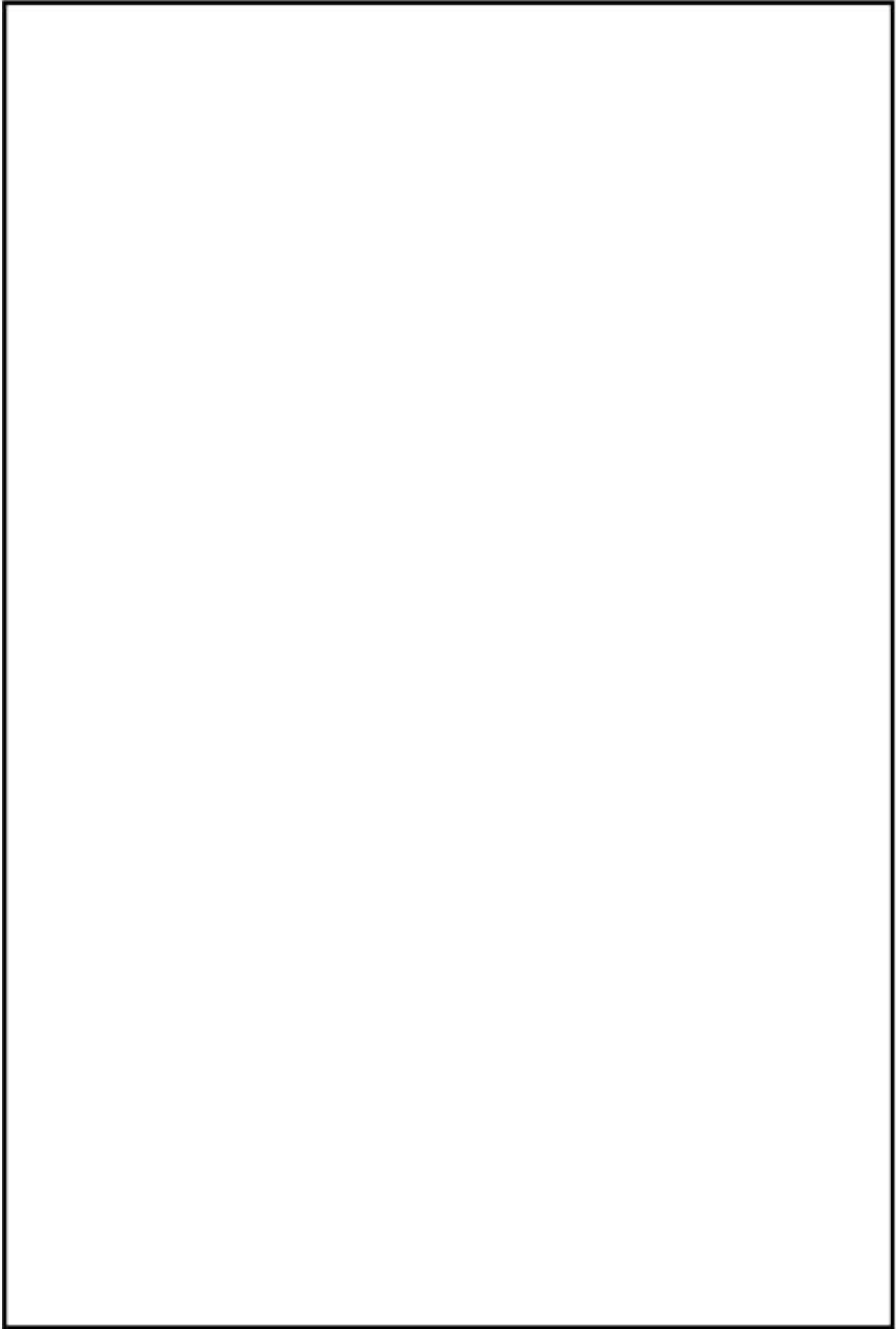
別紙1-9図 二次蓋 (貯蔵時)

無断複製・転写禁止 三菱重工業株式会社

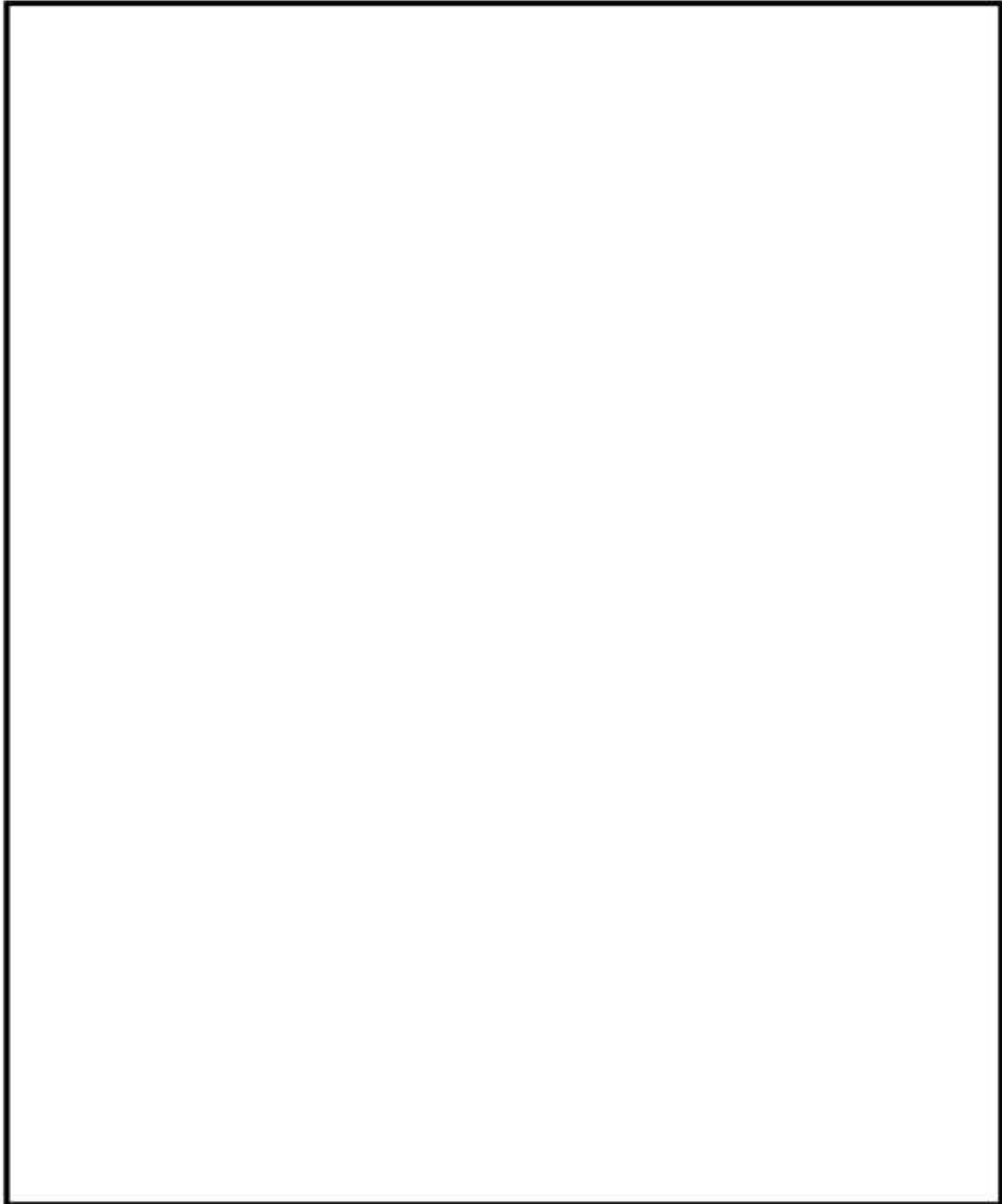
内は商業機密のため、非公開とします。



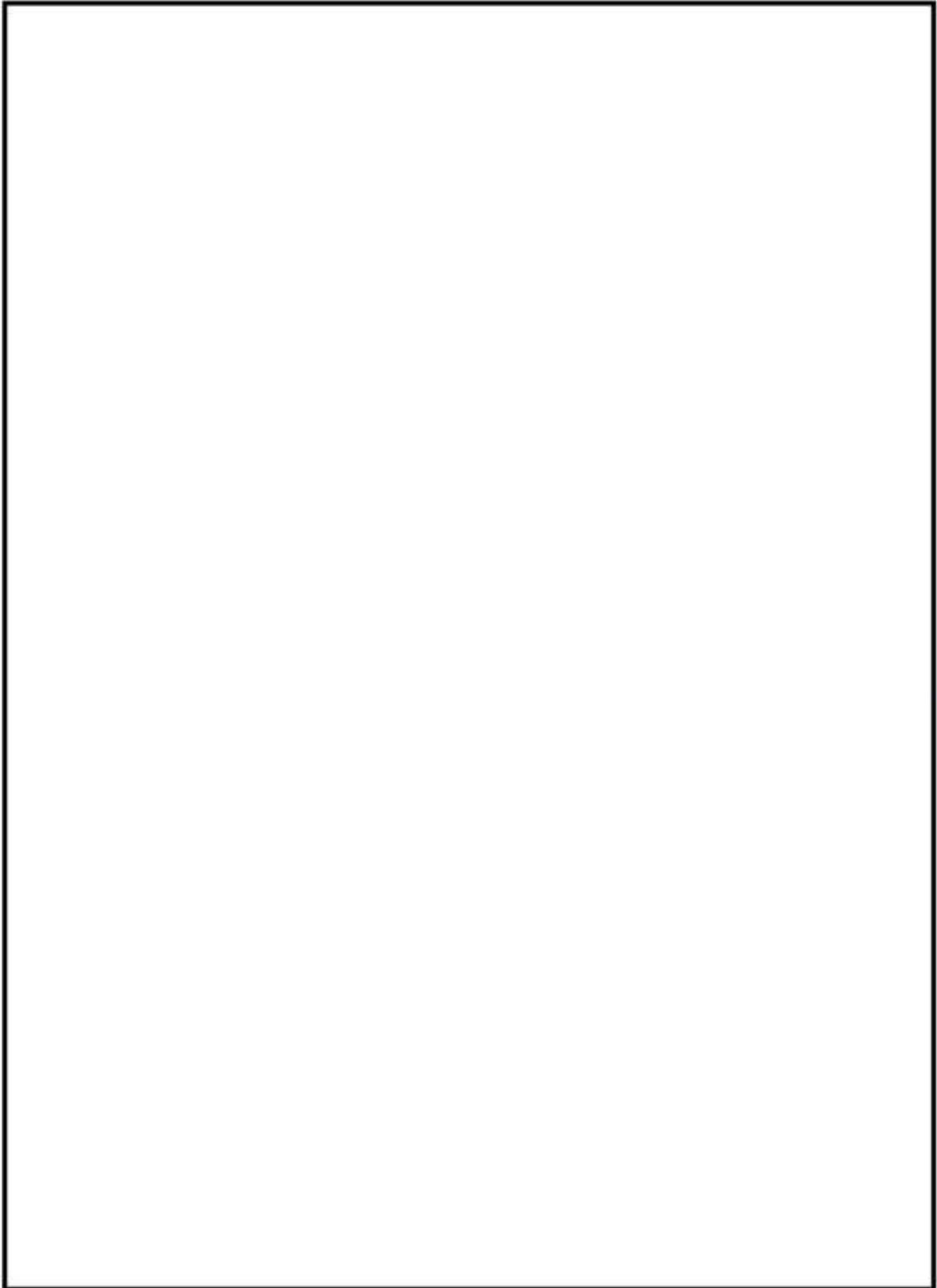
別紙1-10図 二次蓋貫通孔 (貯蔵時)



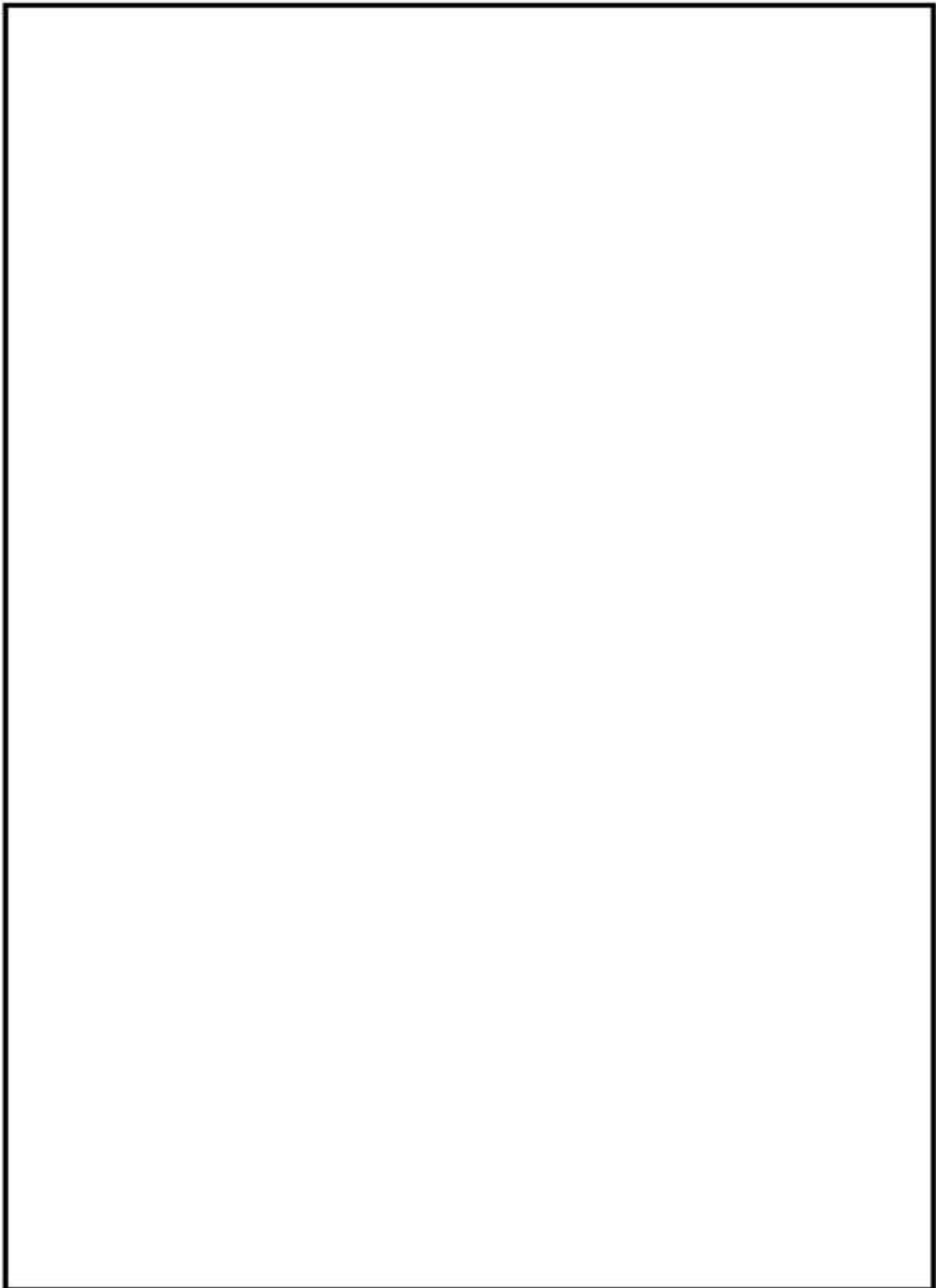
別紙1-11図 二次蓋 (輸送時)



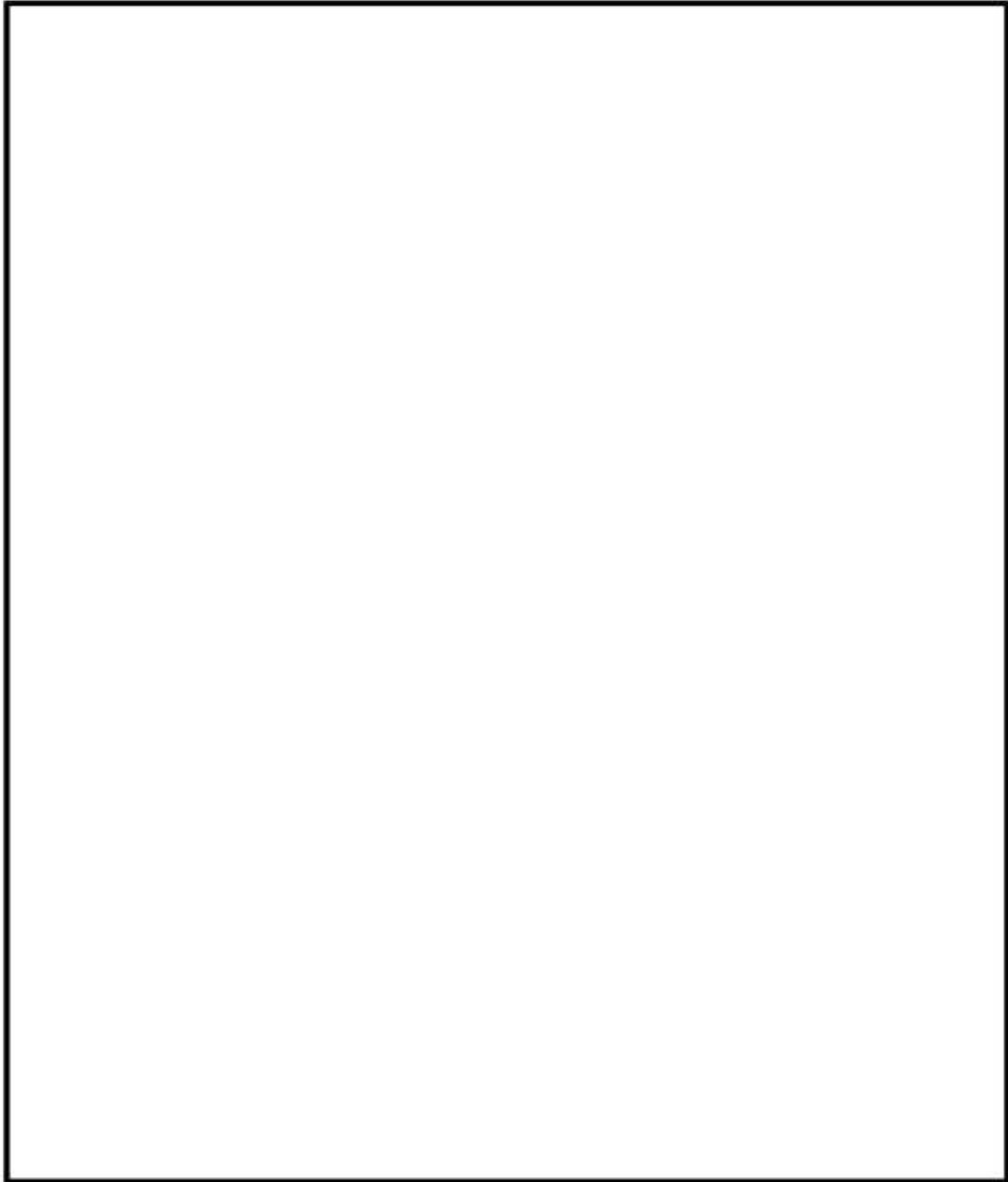
別紙1-12図 二次蓋貫通孔（輸送時）



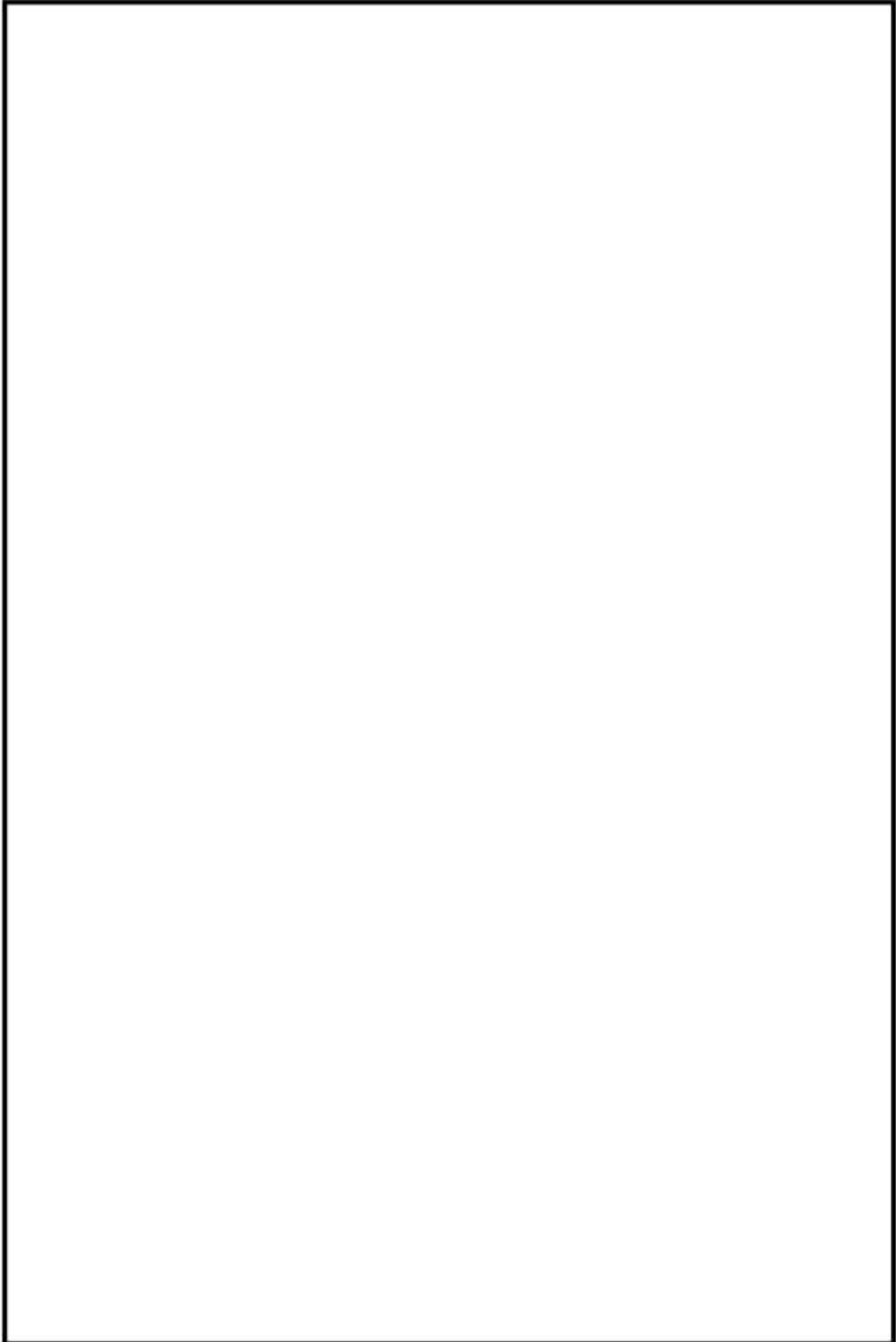
別紙1-13 図 貯蔵用三次蓋 (貯蔵用)



別紙1-14図 三次蓋 (輸送用)



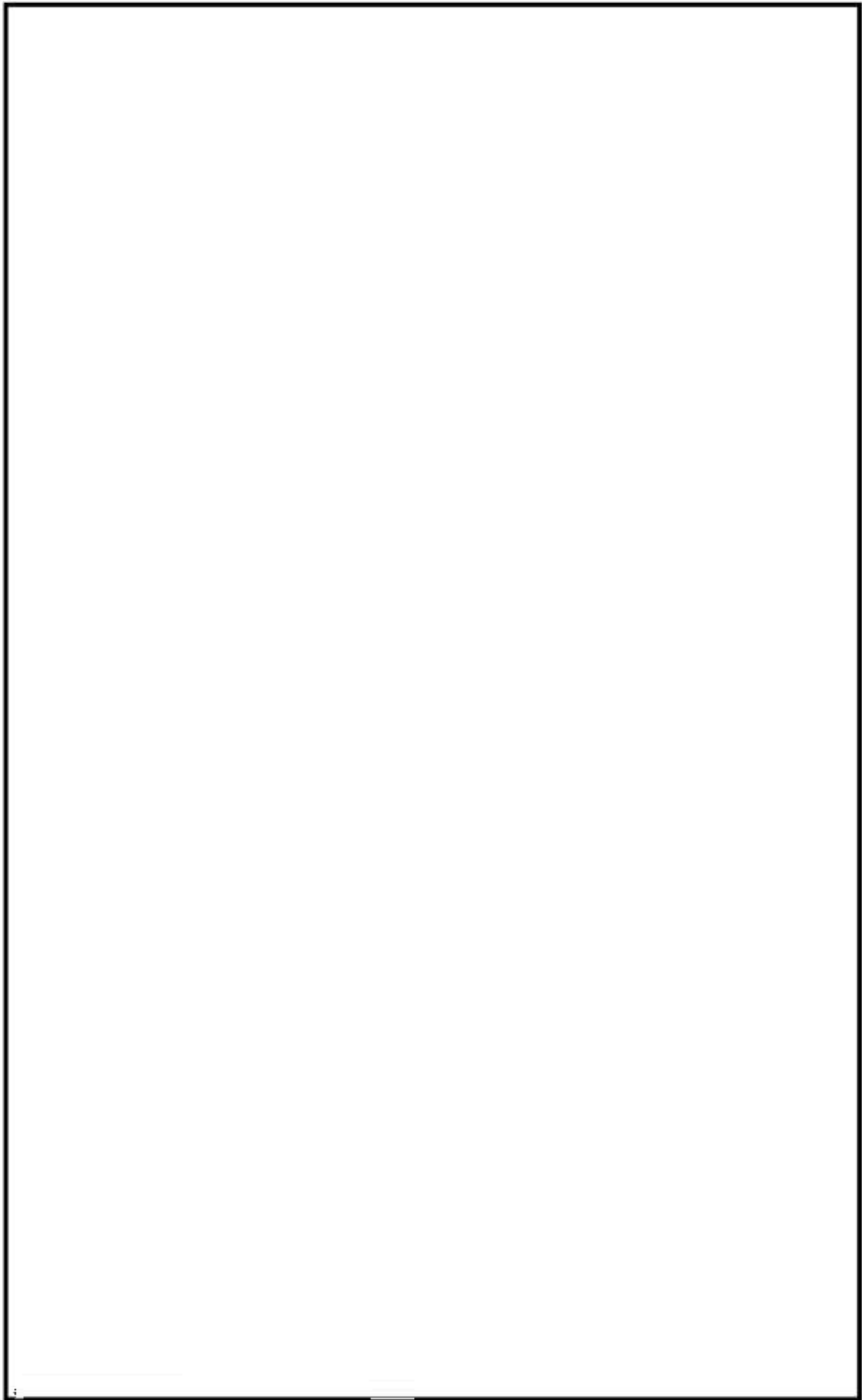
別紙1-15 図 三次蓋貫通孔 (輸送用)



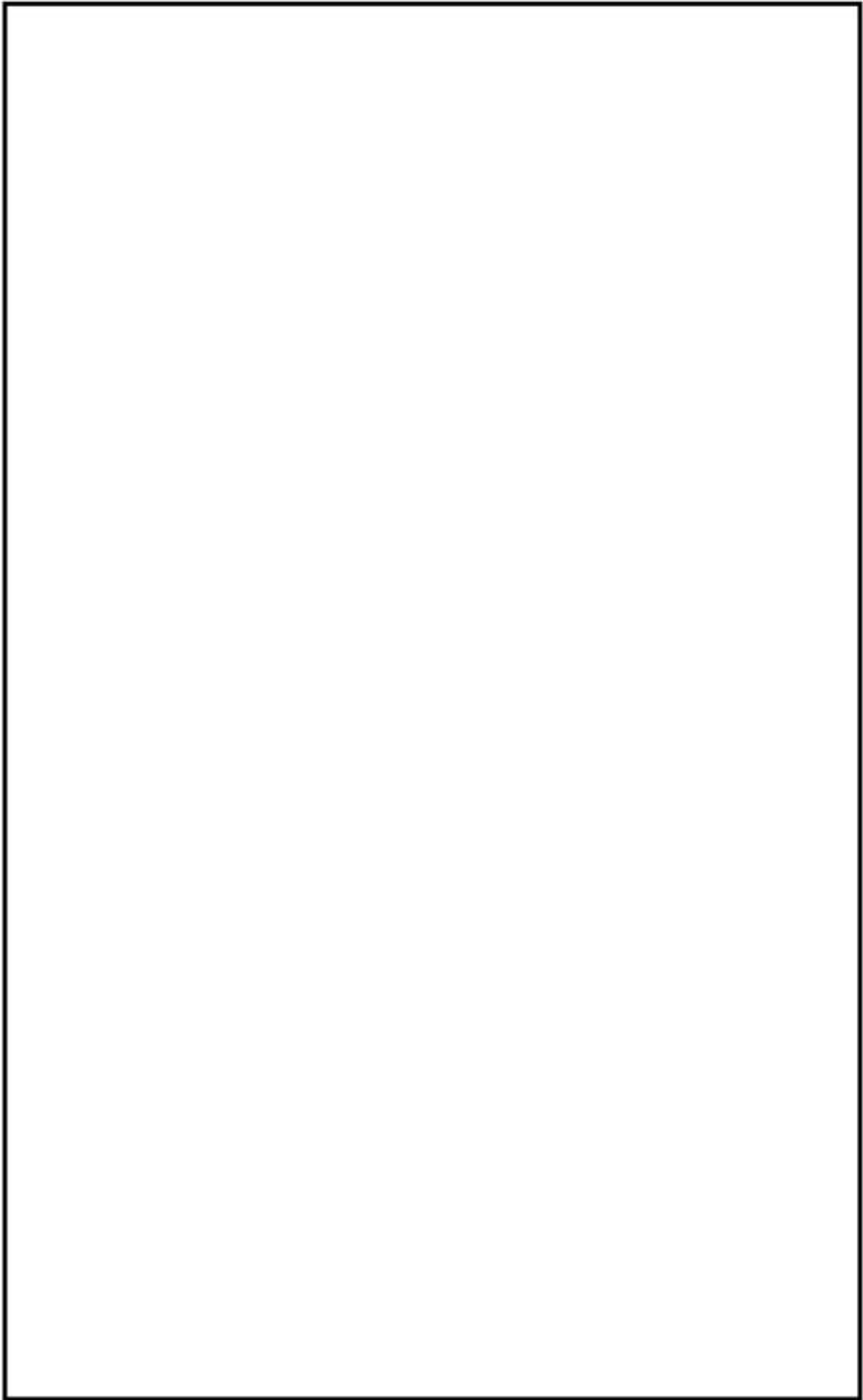
別紙1-16図 バスケット (貯蔵時・輸送時共通)

無断複製・転写禁止 三菱重工業株式会社

内は商業機密のため、非公開とします。



別紙1-17 図 上部緩衝体 (輸送用)



別紙1-18 図 下部緩衝体 (輸送用)

別紙2 MSF-24P(S)型の材料

MSF-24P(S)型には、一般材料として、別紙2-1表に示す規格の材料又はその相当品を使用する。また、一般材料の他に、別紙2-2表に示す特殊材料を使用する。

別紙2-1表及び別紙2-2表に示す材料のうち、JIS又はJSMEに定めのない材料は、別紙2-3表にとおり適用妥当性を確認している。また、別紙2-3表に示すJIS又はJSMEに定めのない全ての材料は、伊方発電所3号機 使用済燃料乾式貯蔵施設の設置工事に係る設計及び工事計画認可申請（原規規発第2107076号 令和3年7月7日認可）における使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ2、MSF-24P型）、及び四国電力殿 核燃料輸送物設計承認変更の承認（原規規発第22061412号 令和4年6月14日承認）における輸送容器（MSF-24P型）で使用される材料と同じであり、設工認認可及び設計承認の実績を有する材料である。

別紙2-1表 一般材料

使用部位	適用規格 ^(注1)	備考	
1. 特定兼用キャスク本体			
胴	[]	炭素鋼	
外筒		炭素鋼	
下部端板		ステンレス鋼	
伝熱フィン		JIS H 3100 C1020P	銅
トラニオン		JIS G 4303 SUS630-H1150	析出硬化系ステンレス鋼
底部中性子遮蔽材カバー		[]	ステンレス鋼
2. 蓋			
(1) 一次蓋	[]	炭素鋼	
蓋板		炭素鋼	
蓋部中性子遮蔽材カバー		ステンレス鋼	
カバープレート			
蓋ボルト		ニッケルクロムモリブデン鋼	
(2) 二次蓋	[]	炭素鋼	
蓋板		ステンレス鋼	
モニタリングポートカバープレート			
蓋ボルト		ニッケルクロムモリブデン鋼	
(3) 貯蔵用三次蓋	[]	炭素鋼	
蓋板		ニッケルクロムモリブデン鋼	
蓋ボルト			
(4) (輸送用) 三次蓋	[]	ステンレス鋼	
蓋板		ステンレス鋼	
リリースバルブカバープレート			
蓋ボルト		ニッケルクロムモリブデン鋼	
3. バスケット			
バスケットプレート	MB-A3004-H112 ^(注2)	アルミニウム合金	
バスケットサポート	MB-A3004-H112 ^(注2)	アルミニウム合金	
4. (輸送用) 緩衝体			
カバープレート	[]	ステンレス鋼	
リブ		ステンレス鋼	

(注1) 記載の規格材料又はその相当品を用いる。

(注2) MB-A3004-H112 は、JIS H4100 A3004 材の化学成分等が同じ同等材であるが、JIS では、長期間の熱ばく露による強度低下を考慮した機械的強度が規定されていない。MB-A3004-H112 は、設計貯蔵期間中の熱ばく露条件を模擬した条件での材料試験により得られた材料特性を保守的に包絡するように設定された設計用強度を有する材料として、使用済燃料貯蔵施設に係る型式設計特定容器等の型式の指定(指定の番号: T-DPC17001)を受けた金属製の乾式キャスク(MSF-21P型)のバスケットプレートに適用するアルミニウム合金(MB-A3004-H112)と同じ材料である。

MB-A3004-H112 材に関する説明書及びMB-A3004 材をバスケットプレートに用いる場合の設計基準値(型式設計特定容器等の型式指定申請書(MSF-21P型)抜粋)を別添に示す。

[] 内は商業機密のため、非公開とします。

別紙2-2表 特殊材料

使用部位	材料名	適用規格 ^(注1)	備考
中性子遮蔽材	レジン	メーカー標準	
中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	メーカー標準	
緩衝材 ^(注2)		メーカー標準	
シール材 (Oリング)	EPDM (輸送用)三次蓋シール部等)	JIS B 2401	硬さ(Hs):70±5
金属 ガスケット	ニッケル基合金及び アルミニウム	メーカー標準	ヘリコフレックス コイルスプリング : ニッケル基合金 内側被覆 : ニッケル基合金 外側被覆 : アルミニウム

(注1) 記載の規格材料又はその相当品を用いる。

(注2) (輸送用) 緩衝体に使用される緩衝材である。

□内は商業機密のため、非公開とします。

別紙2-3表 JIS 又は JSME に定めのない材料の適用妥当性

使用部位	材料名	機能・性能	適用妥当性 ^(注2)
バスケットプレート バスケットサポート	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)	臨界防止機能 (構造強度)	設計使用期間 (60 年) 又は設計貯蔵期間 (60 年) 中の経年変化の影響として考慮すべき熱による影響として、設計使用期間又は設計貯蔵期間中の熱による材料特性変化を考慮した材料特性試験データに基づき設計用強度及び物性値が設定されており、構造健全性を評価できる。また、照射及び腐食による影響はなく、臨界防止機能を担保する構造強度部材として適用可能な材料である。
中性子遮蔽材	レジン	遮蔽機能	設計使用期間 (60 年) 又は設計貯蔵期間 (60 年) 中の経年変化の影響として考慮すべき熱・腐食による影響として、温度及び加熱時間に基づく質量減損率の評価式により、設計使用期間又は設計貯蔵期間経過後の質量減損量を評価できる。また、照射による影響はなく、遮蔽材として適用可能な材料である。
中性子吸収材	ほう素添加 アルミニウム合金	臨界防止機能	設計使用期間 (60 年) 又は設計貯蔵期間 (60 年) における使用温度は材料の融点に対し十分低く、熱による影響はない。また、照射及び腐食による影響はなく、中性子吸収材として適用可能な材料である。
緩衝材 ^(注1)	<input type="checkbox"/>	緩衝性能	設計使用期間 (60 年) 中の経年変化 (照射、熱及び腐食) による影響はなく ^(注3) 、緩衝材として適用可能な材料である。
金属 ガスケット	ニッケル基合金 及びアルミニウム	閉じ込め機能	設計使用期間 (60 年) 又は設計貯蔵期間 (60 年) 中の経年変化の影響として考慮すべき熱による影響として、温度及び加熱時間に基づく初期の閉じ込め機能を保持できる限界ラーソンミラーパラメータにより、設計使用期間中又は設計貯蔵期間中における閉じ込め機能が維持できる温度を評価できる。また、照射及び腐食による影響はなく、閉じ込め機能材として適用可能な材料である。

(注1) (輸送用) 緩衝材に使用される緩衝材である。

(注2) 適用妥当性欄に記載した経年変化の影響の詳細は、補足説明資料 26-5 「材料・構造健全性 (長期健全性) に関する説明資料 (L5-95KV265)」及び型式指定申請書添付書類 13 ((n) 章 F) を参照。

(注3) 高温環境下では熱による強度低下が考えられるが、本輸送容器を含め現在国内事業者が使用又は使用予定の輸送容器について、これまでの実輸送時の条件をもとにした輸送容器の緩衝材の平均温度は強度低下が考えられる温度に比べ低いこと、及び使用済燃料輸送実績のある輸送容器廃棄時の木材に性能劣化はなかったことを踏まえ、これまでの実績と同様の使用環境であれば、木材の熱的劣化は生じないと考えられる。輸送に際しては、都度、輸送容器の使用履歴を蓄積し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏まえ、緩衝材温度が、概ね実績のある温度の範囲内であることを確認した後に輸送を行う。

内は商業機密のため、非公開とします。

別紙3 先行設工認における使用済燃料乾式貯蔵容器、及び先行設計承認における輸送容器との設計の差異について

MSF-24P(S)型の設計及び製作の方法は、伊方発電所3号機 使用済燃料乾式貯蔵施設の設置工事に係る設計及び工事計画認可申請（原規規発第2107076号 令和3年7月7日認可）（以下「先行設工認」という。）における使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ2、MSF-24P型）（以下「乾式貯蔵容器」という。）と同様の方法を適用している。

また、MSF-24P(S)型は、BM型核燃料輸送物として、原子力発電所敷地外への運搬に使用する輸送容器としての機能を併せもつ。MSF-24P(S)型の輸送容器としての設計については、四国電力殿 核燃料輸送物設計承認変更の承認（原規規発第22061412号 令和4年6月14日承認）（以下「先行設計承認」という。）を受けたMSF-24P型と同様の設計としている。

本別紙では、貯蔵容器としてのMSF-24P(S)型と乾式貯蔵容器との設計差異、及び、輸送容器としてのMSF-24P(S)型とMSF-24P型との設計差異について示す。

1. 先行設工認における乾式貯蔵容器との設計の差異

MSF-24P(S)型と先行設工認における乾式貯蔵容器との主要な仕様比較を別紙3-1表に、使用条件の比較を別紙3-2表に、構成部材の材質及び構造の比較を別紙3-3表に示す。

別紙3-1表及び別紙3-2表に示すとおり、主要な仕様及び使用条件の主な差異は、貯蔵姿勢（MSF-24P(S)型：貯蔵用緩衝体付き横置き貯蔵、乾式貯蔵容器：貯蔵用緩衝体なしでのたて置き貯蔵）、収納する使用済燃料（MSF-24P(S)型：17×17燃料及び15×15燃料、乾式貯蔵容器：17×17燃料）及び貯蔵状態の周囲温度である。別紙3-1表では、これら差異に加え、最高使用温度、全質量及び全長に差異があるが、これらは貯蔵姿勢の差異及び貯蔵用三次蓋の有無に起因するものである。また、収納する17×17燃料の収納条件（収納制限）はMSF-24P(S)型と乾式貯蔵容器で差異はない。

さらに、別紙3-3表に示すとおり、貯蔵容器としての構造の差異は貯蔵用三次蓋及び貯蔵用緩衝体（貯蔵用緩衝体は申請範囲外）の有無のみであり、それら以外の材質及び構造は同じである。

別紙3-1表 主要な仕様の比較 (貯蔵容器)

項目	主要仕様		差異の理由等			
	本申請 MSF-24P(S)型	先行設工認の乾式貯蔵容器 MSF-24P型				
貯蔵姿勢	横置き (蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)	たて置き (基礎等に固定する設置方法)	設計方針の差異			
容量	24 体	左記と同じ	—			
最高使用圧力	0.41 MPa (差圧)					
最高使用温度	容器：150℃、バスケット：195℃	容器：155℃、バスケット：200℃	貯蔵姿勢による差異			
全質量	119.6 t (使用済燃料含む)	116.1 t (使用済燃料含む)	貯蔵用三次蓋の有無による差異			
最大崩壊熱量	15.8 kW/基	左記と同じ	—			
収納燃料	PWR使用済燃料 (17×17燃料、15×15燃料)	PWR使用済燃料 (17×17燃料)	本申請では15×15燃料を追加 ^(注2)			
機器クラス	クラス3容器	左記と同じ	—			
内部充填ガス	ヘリウムガス					
シール材	金属ガスケット					
閉じ込め監視	圧力センサによる 一次二次蒸気圧力監視					
主要寸法	全長	5,194 mm ^(注1)	5,119 mm ^(注1)	貯蔵用三次蓋の有無による差異		
	外径	2,596 mm ^(注1)	左記と同じ	—		
	容器	胴内径			[]	
		胴板厚さ				
		一次蓋外径				1,962 mm ^(注1)
		一次蓋板厚さ				[]
		底板厚さ				
		高さ				5,119 mm ^(注1)
	バスケット	外径			[]	
		高さ				
格子内幅						
バスケットプレート板厚						
材料	胴板	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)				
	一次蓋板					
	底板					
	バスケットプレート					

(注1) 公称値を示す。

(注2) 17×17燃料の収納条件 (収納制限) に差異はない。

別紙3-2表 使用条件の比較 (貯蔵容器)

項目	使用条件		差異の理由等
	本申請 MSF-24P(S)型	先行設工認の乾式貯蔵容器 MSF-24P型	
設計貯蔵期間	60年以下	左記と同じ	—
貯蔵場所	貯蔵建屋内		
貯蔵姿勢	横置き	たて置き	設計方針の差異
設置方式	貯蔵架台上に設置	左記と同じ	—
固定方式	トラニオン固定		
兼用キャスクの 線量当量率	表面：2mSv/h以下 表面から1m位置：100 μ Sv/h以下		
貯蔵状態における兼用 キャスク周囲温度	最低温度：-20℃ 最高温度：45℃	最低温度：-7℃ 最高温度：50℃	想定する貯蔵建屋設計の差異による
貯蔵状態における貯蔵 建屋壁面温度	最高温度：65℃	左記と同じ	—
地震力	告示地震力 加速度 水平2300Gal 及び 鉛直1600Gal 又は 速度 水平2m/s 及び 鉛直1.4m/s	基準地震動による地震力	
兼用キャスクに作用する 津波荷重の算出条件	告示津波に基づく条件 浸水深 10m 流速 20m/s 漂流物質量 100 t	(津波による遡上波が 到達しない)	型式指定では、サイトに依存しない一律の値と適用するため
兼用キャスクに作用する 竜巻荷重の算出条件	告示竜巻に基づく条件 風速 100m/s 設計飛来物 型式指定申請書 本文第8表のと おり	(貯蔵建屋により防護)	

別紙3-3表 構成部材の材質及び構造の比較 (貯蔵容器)

主要構成部材	材質		構造 (構造図)	
	本申請 MSF-24P(S)型	先行設工認の 乾式貯蔵容器 MSF-24P型	本申請 MSF-24P(S)型	先行設工認の 乾式貯蔵容器 MSF-24P型
胴	炭素鋼 []	左記と同じ	別紙1-3図	左記と同じ
外筒	炭素鋼 []		別紙1-5図	
底部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼 []		別紙1-3図	
下部端板	ステンレス鋼 []		別紙1-6図	
トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630)		別紙1-3図 別紙1-5図	
伝熱フィン	銅 (C1020)		別紙1-16図	
中性子遮蔽材 (底部、側部)	レジン (エポキシ系樹脂)		別紙1-7図 別紙1-8図	
バスケットプレート	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)		別紙1-9図 別紙1-10図	
中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金		別紙1-13図	
一次蓋	炭素鋼 []		—	
蓋部中性子遮蔽材カバー	炭素鋼 []		—	
中性子遮蔽材 (蓋部)	レジン (エポキシ系樹脂)		—	
一次蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼 []		—	
二次蓋	炭素鋼 []		—	
二次蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼 []		—	
貯蔵用三次蓋	炭素鋼 []	—		
貯蔵用三次蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼 []	—		

2. 先行設計承認における輸送容器との設計の差異

MSP-24P(S)型と先行設計承認のMSP-24P型との主要な仕様及び使用条件等比較を別紙3-4表に、構成部材の材質及び構造の比較を別紙3-5表に示す。

別紙3-4表に示すとおり、主要な仕様及び使用条件等の差異は、収納する使用済燃料の差異のみであり、その他仕様及び使用条件に差異はない（収納する17×17燃料の収納条件（収納制限）はMSP-24P(S)型と輸送容器で差異なし）。

また、別紙3-5表に示すとおり、輸送容器としての材質及び構造は同一である。

別紙3-4表 主要な仕様及び使用条件等の比較 (輸送容器)

項目	主要仕様		差異の理由等
	本申請 MSF-24P(S)型	先行設計承認の輸送容器 MSF-24P型	
使用目的	軽水炉型原子力発電所 (PWR) の使用済燃料を、原子力発電所から再処理工場に輸送するため	左記と同じ	—
輸送物の種類	BM型核分裂性輸送物		
輸送制限個数	なし		
輸送指数	10以下		
臨界安全指数	0		
輸送物の総重量	134.4トン以下 (輸送架台は含まず)		
輸送容器の外形寸法	外径約3.6 m、長さ約6.8 m (上・下部緩衝体を含む)		
輸送容器の重量	117.7トン以下 (輸送架台は含まず)		
輸送容器の材質	胴・外筒・一次蓋・二次蓋: 炭素鋼 三次蓋: ステンレス鋼 中性子遮蔽材: レジン 伝熱フィン: 銅 バスケット: ほう素添加アルミニウム合金及びアルミニウム合金 緩衝体 ^(注1) : ステンレス鋼及び木材		
輸送容器に収納する核燃料物質の仕様	PWR使用済燃料 (17×17燃料、15×15燃料)		
輸送形態	車両による陸上輸送あるいは船による海上輸送 (いずれの場合も本書に示す緩衝体を装着し専用積載として輸送)	左記と同じ	—
冷却方法	自然空気冷却		
使用予定年数	60年 (設計評価期間)		
輸送容器の使用予定回数	10回		
貯蔵予定期間	60年 (設計貯蔵期間)		
運搬中に想定する最低温度	-20℃		

(注1) 本申請では、(輸送用) 緩衝体は申請範囲外であるが、特定の仕様及び構造の (輸送用) 緩衝体 (先行設計承認と同一仕様・構造) を装着して輸送することを条件とする。

(注2) 17×17燃料の収納条件 (収納制限) に差異はない。

別紙3-5表 構成部材の材質及び構造の比較 (輸送容器)

主要構成部材	材質		構造 (構造図)	
	本申請 MSF-24P(S)型	先行設計承認 の輸送容器 MSF-24P型	本申請 MSF-24P(S)型	先行設計承認 の輸送容器 MSF-24P型
胴	炭素鋼 <input type="checkbox"/>	左記と同じ	別紙1-3図	左記と同じ
外筒	炭素鋼 <input type="checkbox"/>		別紙1-5図	
底部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼 <input type="checkbox"/>		別紙1-3図	
下部端板	ステンレス鋼 <input type="checkbox"/>		別紙1-6図	
トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630)		別紙1-3図 別紙1-5図	
伝熱フィン	銅 (C1020)		別紙1-16図	
中性子遮蔽材 (底部、側部)	レジン (エポキシ系樹脂)		別紙1-7図 別紙1-8図	
バスケットプレート	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)		別紙1-11図 別紙1-12図	
中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金		別紙1-14図 別紙1-15図	
一次蓋	炭素鋼 <input type="checkbox"/>		別紙1-17図 別紙1-18図	
蓋部中性子遮蔽材カバー	炭素鋼 <input type="checkbox"/>			
中性子遮蔽材 (蓋部)	レジン (エポキシ系樹脂)			
一次蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼 <input type="checkbox"/>			
二次蓋	炭素鋼 <input type="checkbox"/>			
二次蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼 <input type="checkbox"/>			
(輸送用) 三次蓋	ステンレス鋼 <input type="checkbox"/>			
(輸送用) 三次蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼 <input type="checkbox"/>			
(輸送用) 緩衝体 ^(注)	ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> 木材 <input type="checkbox"/>			

(注) 本申請では、(輸送用)緩衝体は申請範囲外であるが、特定の仕様及び構造の(輸送用)緩衝体(先行設計承認と同一仕様・構造)を装着して輸送することを条件とする。

別添 型式設計特定容器等の型式指定申請書 (MSF-21P 型) 抜粋

- ・添付書類 8-2-3

バスケットプレート用材料 アルミニウム合金 (MB-A3004-H112) に関する説明書

- ・添付書類 8-2-5

バスケットの設計基準値

(出典)

三菱重工業(株), 「型式設計特定容器等の型式指定申請書 本文及び添付書類の一部補正について」,
(2017).)

添付書類 8-2-3 バスケットプレート用材料
アルミニウム合金 (MB-A3004-H112) に関する説明書

目次

1. 概要	1
2. 適用範囲	2
3. 材料規定	3
3.1 材料名称	3
3.2 化学成分	3
3.3 設計応力強さ	3
3.4 許容引張応力	3
3.5 設計降伏点	3
3.6 設計引張強さ	3
3.7 縦弾性係数	3
3.8 熱膨張係数	3
4. 製造管理規定	7

図表目次

第 3-1 表	材料の規定名称	4
第 3-2 表	化学成分規定	4
第 3-3 表	材料の各温度における設計応力強さ S_m	5
第 3-4 表	材料の各温度における許容引張応力 S	5
第 3-5 表	材料の各温度における設計降伏点 S_y	5
第 3-6 表	材料の各温度における設計引張強さ S_u	5
第 3-7 表	材料の各温度における縦弾性係数	6
第 3-8 表	材料の各温度における熱膨張係数	6
第 4-1 表	機械的性質	8
第 4-2 表	管理程度表	8
第 4-1 図	製造フロー	9

1. 概要

本書は、MSF-21P 型のバスケットプレートに適用するアルミニウム合金 (MB-A3004-H112) の材料規定及び製造管理規定について説明するものである。

2. 適用範囲

本材料を MSF-21P 型のバスケットプレートに適用するにあたり、本材料及びこれを使用するバスケットは以下の事項に適合すること。

- (1) 設計貯蔵期間（供用期間）は 60 年以下であること。
- (2) バスケットが収納されるキャスク本体内部には、設計貯蔵期間中ヘリウムガスを封入し、不活性ガス雰囲気は維持されていること。
- (3) バスケットは耐圧構造でないこと。
- (4) バスケットは溶接部がない構造とすること。
- (5) 本材料はボルト材として使用しないこと。
- (6) 供用状態によらずバスケットプレートの発生応力は、弾性範囲内であること。
- (7) 供用状態によらずバスケットは長期間にわたる熱応力を生じない構造とすること。

3. 材料規定

本規定は、設計貯蔵期間における熟劣化を考慮した設計評価に適用する材料規定である。なお、本規定を適用する材料は、4章に示す製造管理規定を満足しなければならない。

3.1 材料名称

材料の規定名称は第 3-1 表に示すものであること。

3.2 化学成分

化学成分は第 3-2 表に示す百分率の値の範囲内にあること。

3.3 設計応力強さ

設計応力強さは第 3-3 表の規定によること。

3.4 許容引張応力

許容引張応力は第 3-4 表の規定によること。

3.5 設計降伏点

設計降伏点は第 3-5 表の規定によること。

3.6 設計引張強さ

設計引張強さは第 3-6 表の規定によること。

3.7 縦弾性係数

縦弾性係数は第 3-7 表の規定によること。

3.8 熱膨張係数

熱膨張係数は第 3-8 表の規定によること。

第 3-1 表 材料の規定名称

材料の名称	記号	質別
バスケットプレート用材料 アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)	MB-A3004	H112

第 3-2 表 化学成分規定

記号	化学成分 (mass%)											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ga, V, Ni, B, Zr など	Ti	その他		Al
										個々	合計	
MB-A3004	0.30 以下	0.7 以下	0.25 以下	1.1 以上 1.5 以下	1.0 以上 1.3 以下	—	0.25 以下	—	—	0.05 以下	0.15 以下	残部

第3-3表 材料の各温度における設計応力強さ S_m (注1)(注2)

単位：MPa

記号	温 度 (°C)										
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
MB-A3004	37	37	37	37	37	37	36	31	25	21	17

(注1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

(注2) 時効による強度低下を考慮した値である。

第3-4表 材料の各温度における許容引張応力 S (注1)(注2)

単位：MPa

記号	温 度 (°C)									
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	
MB-A3004	37	37	37	37	29	21	15	11	8	

(注1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

(注2) 時効による強度低下を考慮した値である。

第3-5表 材料の各温度における設計降伏点 S_y (注1)(注2)

単位：MPa

記号	温 度 (°C)										
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
MB-A3004	56	56	56	56	56	56	56	52	46	38	30

(注1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

(注2) 時効による強度低下を考慮した値である。

第3-6表 材料の各温度における設計引張強さ S_u (注1)(注2)

単位：MPa

記号	温 度 (°C)										
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
MB-A3004	153	153	153	151	140	126	110	93	77	63	52

(注1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

(注2) 時効による強度低下を考慮した値である。

第3-7表 材料の各温度における縦弾性係数^(注1)

単位：MPa

記号	温 度 (°C)											
	20	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
MB-A3004	73900	73300	72800	72100	71400	70600	69800	68900	67900	66900	65800	64600

(注1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

第3-8表 材料の各温度における熱膨張係数^(注1)

単位： $\times 10^{-6}$ mm/mm \cdot °C

記号	区分 <small>(注2)</small>	温 度 (°C)											
		20	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
MB-A3004	A	22.75	23.52	24.02	24.42	24.76	25.05	25.35	25.68	26.06	26.54	27.14	27.91
	B	22.61	23.14	23.48	23.76	23.99	24.17	24.33	24.48	24.63	24.79	24.99	25.24

(注1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

(注2) 区分Aは瞬時熱膨張係数、区分Bは常温から当該温度までの平均熱膨張係数を表す。

4. 製造管理規定

本規定は、製造管理に係る規定である。

- (1) 化学成分は、第 3-2 表に示す百分率の値の範囲内にあること。この場合において、化学成分は溶湯成分分析によること。化学成分の分析試験は、JIS H 4100「アルミニウム及びアルミニウム合金の押出型材」(以下「JIS H 4100」という。)によること。
- (2) 材料の製造は、第 4-1 図に示す製造フローに従い、熱間押出成形加工されたものであること。
- (3) 材料は、熱間押出成形加工後、熱処理は行わず、空冷されたものであること。熱間加工によって得られるか又はごくわずかな冷間加工を加えただけの状態であること。質別 H112 は、JIS H 0001「アルミニウム、マグネシウム及びそれらの合金-質別記号」によること。
- (4) 機械的性質は、第 4-1 表に示す値に適合すること。
- (5) 製品の寸法の許容差は、以下及び JIS H 4100 によること。これを逸脱する寸法を適用する場合、機械的性質が第 4-1 表を満足することを確認すること。
 - ・肉厚 : 16mm 以下
 - ・押出比^(注1) : 10 以上

(注1) ピレットの押出方向に垂直な断面積と押出材の押出方向に垂直な断面積の比
- (6) 本材料は、耐食性向上等を目的として表面処理を行う場合がある。表面処理を行う場合、機械的性質が第 4-1 表を満足することを確認すること。
- (7) 本材料は、第 4-1 図の製造フローの各段階において、第 4-2 表に示す品質管理を行う。
- (8) 上記規定以外の規定については、JIS H 4100 又は EN 755-1「Aluminium and aluminium alloys- Extruded rod/bar, tube and profiles - Part 1: Technical conditions for inspection and delivery」によること。

第 4-1 表 機械的性質^(注1)

記号	引張試験 (試験温度：常温)			シャルピー衝撃試験 ^(注2) (試験温度：-40℃)
	引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)	吸収エネルギー (J)
MB-A3004	185 以上	85 以上	15 以上	41 以上

(注1) 時効による強度低下を考慮しない供用開始前の製造管理値である。

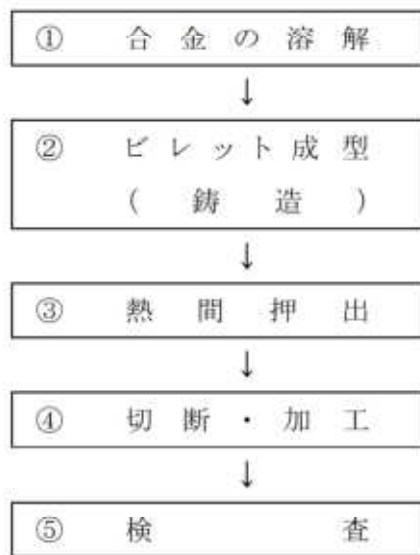
(注2) 吸収エネルギーの規定は JIS Z 2242 の V ノッチ試験で得られる押出方向に平行な L 方向及び垂直な T 方向各 3 試験片の個々の値である。

第 4-2 表 管理程度表^(注1)

製造工程 ^(注2)	管理項目		材料保証 (規定)	製造管理 (参考)
①合金の溶解	材料特性 (初期材)	化学成分(溶湯)	○	—
⑤検査		引張強度特性	—	○
		シャルピー 衝撃特性	—	⊕
		組織観察	—	○
②熱間押出	製造条件	押出比	○	—
		押出条件	—	○
		押出冷却条件	—	○
		整直条件	—	○
		質別	○	—

(注1) 設計貯蔵期間における設計強度特性保証に係る材料管理程度一覧である。

(注2) 製造工程は第 4-1 図の製造フローに対応する。



第 4-1 図 製造フロー

添付書類 8-2-5 バスケットの設計基準値

目次

1. 概要	1
2. バスケットの構造、材料及び使用環境	2
3. 設計基準の設定方針	3
4. 設計基準の設定根拠	8
4.1 供用状態A	8
4.2 供用状態B	9
4.3 供用状態C	9
4.4 供用状態D	10

図表目次

第3-1表	MSF-21P型のバスケット設計に適用する設計基準	4
第3-2表	一次一般膜応力強さに対する設計基準	5
第3-3表	一次一般膜+一次曲げ応力強さに対する設計基準	5
第3-4表	一次+二次応力に対する設計基準	6
第3-5表	せん断応力に対する設計基準	6
第3-6表	支圧応力に対する設計基準	7
第3-7表	圧縮応力に対する設計基準	7
第4-1図	供用状態A及びBにおける引張り及び曲げによる崩壊応力及び設計限界	12
第4-2図	曲げ荷重作用時の断面応力分布模式図	12
第4-3図	降伏点を超える場合のひずみ履歴	13
第4-4図	供用状態Cにおける引張り及び曲げによる崩壊応力及び設計限界	13
第4-5図	限界細長比と座屈限度（許容圧縮荷重又は座屈耐力）の関係	14
第4-6図	矩形梁の究極強さ及び各供用状態の設計基準	15
第4-7図	矩形梁の究極強さ及びMSF-21P型の特別規定の設計基準	15

1. 概要

金属製の乾式キャスク（以下「キャスク」という。）は、貯蔵時、取扱い時及び地震時、さらに輸送法令に定める通常輸送時、BM型輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件下、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件下を含め技術的に想定されるいかなる場合においても、使用済燃料の臨界を防止することを含めた4つの基本的安全機能の維持が求められる。

キャスクを構成する要素のうちバスケットは、キャスク内に配置され、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去する機能を有するとともに、使用済燃料を支持し、かつ燃料間距離を保つことにより、使用済燃料の支持機能及び臨界防止機能を併せ持つ構成要素である。

本書は、上記の機能を考慮したMSF-21P型のバスケットの設計基準の設定根拠についてまとめたものである。

2. バスケットの構造、材料及び使用環境

MSF-21P 型のバスケットは、本文中の第 1 図に示すようにアルミニウム合金 (MB-A3004-H112) 製の断面形状が中空状のバスケットプレートで構成されており、設計貯蔵期間 (60 年以下) を通じて使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するためにバスケット格子の構造健全性を保つ必要がある。

MSF-21P 型のバスケットは、貯蔵期間中、ヘリウム雰囲気で使用され、最高使用温度約 180℃ から徐々に温度が低下し、最大 60 年の熱負荷を受ける。

バスケットの耐食性については、「添付書類 8-5 金属キャスクの耐食性に関する説明書」に示す。

3. 設計基準の設定方針

使用済燃料貯蔵施設規格（金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007）（日本機械学会 2007 年 12 月）（以下「構造規格」という。）では、過度の変形・破損を生じて臨界に至らしめないことを目標として、バスケットの設計基準が定められている。

MSF-21P 型のバスケットの設計基準としては、構造規格のバスケットの考え方を基本とし、クリープ特性を無視できない温度領域で使用することから、クリープを考慮した発電用原子力設備規格（設計・建設規格 <第 II 編 高速炉規格> JSME S NC2-2005）（日本機械学会 2005 年 9 月）（以下「高速炉規格」という。）の規定の考え方を取り入れることとした。さらに、技術的に想定されるいかなる場合においても使用済燃料が臨界に達することを防止するため、落下等の衝撃荷重が作用した場合においても、バスケット格子に未臨界体系に影響する塑性変形が残らないよう、MSF-21P 型の特別規定を設けることとした。

具体的には、供用状態 A、B、C 及び D に対応してバスケットが維持すべき安全機能の観点から設計基準をそれぞれ設定した。MSF-21P 型のバスケットの設計基準の設定方針及び設計基準を第 3-1 表に示すとともに、設計基準の設定根拠を 4 章に示す。

なお、アルミニウム合金は、長時間高温で使用されるので過時効特性（熱劣化に伴う強度低下）の考慮が必要であるが、「添付書類 8-2-3 バスケットプレート用材料 アルミニウム合金（MB-A3004-H112）に関する説明書」に示された材料規定の設定において過時効効果を十分に考慮しているため、設計基準での考慮は不要である。

設計基準の設定においては、構造規格のバスケット及び密封容器の設計基準、並びに発電用原子力設備規格（設計・建設規格 <第 I 編 軽水炉規格> JSME S NC1-2005）（日本機械学会 2005 年 9 月）（2007 年追補版含む）（以下「設計・建設規格」という。）の炉心支持構造物の設計基準を参考として比較した。それぞれの設計基準を第 3-2 表から第 3-7 表に示す。第 3-2 表から第 3-7 表に示すとおり、MSF-21P 型のバスケットの設計基準は、構造規格のバスケット及び密封容器、並びに設計・建設規格の炉心支持構造物の設計基準と同等又は保守的な基準となっている。

第3-1表 MSF-21P型のバスケット設計に適用する設計基準

供用状態		A		B	C		D		
評価事象	貯蔵施設内	貯蔵時	吊上げ時	衝撃荷重作用時	貯蔵時 (S_d^* 相当地震力が作用する場合)		貯蔵時 (S_s 相当地震力が作用する場合)		
	輸送時		通常輸送時	0.3m落下等			9m落下等		
設計基準の設定方針		<ul style="list-style-type: none"> クリープによる破断及び変形の進展を防止 	<ul style="list-style-type: none"> 短期荷重による表面塑性を防止 (変形を防止) 	<ul style="list-style-type: none"> 短期荷重による全断面降伏を防止 (形状を維持) 	<ul style="list-style-type: none"> 短期荷重による破断を防止 				
		<p><説明> 本事象は、長期荷重がバスケット格子へ作用する事象である。 MSF-21P型のバスケットは、クリープ特性を無視できない温度領域で使用することから、クリープ破断及びクリープ変形を防止するよう設計基準を設定する。</p>	<p><説明> 本事象は、通常使用状態又は繰り返し作業による荷重(短期繰り返し荷重)がバスケット格子へ作用する事象である。 本事象では、未臨界機能維持のため、バスケット格子形状の変形を防止するよう設計基準を設定する。</p>	<p><説明> 本事象は、設計評価期間中、まれにしか生じる可能性がない事象である。 本事象では、未臨界機能維持のため、バスケット格子形状が維持されるよう設計基準を設定する。</p>		<p><説明> 本事象は、設計評価期間中に発生することは予想されないが、技術的に見れば発生が想定され得る事象である。 本事象では、一般公衆の放射線被ばく防止の観点から、基本的安全機能を著しく損なうことが無いよう、バスケット格子の破断を防止するよう設計基準を設定する。</p>			
設計基準		$P_m \leq S$ $P_m + P_b \leq K_0 S$ $\tau \leq 0.6 S$ $\sigma_p \leq S$ $\sigma_c(\text{一次}) \leq f_c$ $\sigma_c(\text{一次+二次}) \leq 1.5 f_c$ $\epsilon_c \leq 0.001^{(注4)}$	<p>4.4(1)</p> <p>4.4(1)</p> <p>4.1(1)</p> <p>4.1(1)</p> <p>4.1(1)</p> <p>4.1(1)</p> <p>4.1(2)</p>	$P_m \leq S_m$ $P_m + P_b \leq \alpha S_m$ $P_m + P_b + Q \leq 1.5 S_m$ $\tau \leq 0.6 S_m$ $\sigma_p \leq S_y (1.5 S_y)^{(注1)}$ $\sigma_c(\text{一次}) \leq f_c$ $\sigma_c(\text{一次+二次}) \leq 1.5 f_c$	<p>4.1(3)</p> <p>4.1(3)</p> <p>4.1(4)</p> <p>4.1(3)</p> <p>4.1(3)</p> <p>4.1(5)</p> <p>4.1(5)</p>	$P_m \leq 1.2 S_m$ $P_m + P_b \leq 1.2 \alpha S_m$ $P_m + P_b + Q \leq 1.5 S_m$ $\tau \leq 0.9 S_m$ $\sigma_p \leq 1.5 S_y (2.25 S_y)^{(注1)}$ $\sigma_c(\text{一次}) \leq 1.5 f_c$ $\sigma_c(\text{一次+二次}) \leq 1.5 f_c$	<p>4.3(1)</p> <p>4.3(1)</p> <p>4.3(2)</p> <p>4.3(3)</p> <p>4.3(4)</p> <p>4.3(5)</p> <p>4.3(5)</p>	$P_m \leq 2/3 S_u$ $P_m + P_b \leq 2/3 \alpha S_u$ $P_m + P_b + Q \leq 3 S_m$ $\tau \leq 1.2 S_m$ $\sigma_p \leq 2 S_y (3 S_y)^{(注1)}$ $\sigma_c(\text{一次}) \leq 1.5 f_c^{*(注3)}$ $\sigma_c(\text{一次+二次}) \leq 1.5 f_c$	<p>4.4(1)</p> <p>4.4(1)</p> <p>4.4(2)</p> <p>4.4(3)</p> <p>4.4(4)</p> <p>4.4(5)</p> <p>4.4(5)</p>
MSF-21P型特別規定				バスケット格子の塑性変形を防止 (設計降伏点以下) ^(注2)		4.3(1)	バスケット格子の塑性変形を防止 (設計降伏点以下) ^(注2)		4.4(1)

S_m : 設計応力強さ、 S_u : 設計引張強さ、 S_y : 設計降伏点、 S : 許容引張応力、 P_m : 一次一般膜応力、 P_b : 一次曲げ応力、 Q : 二次応力、 τ : 平均せん断応力、

σ_p : 平均支圧応力、 σ_c : 圧縮応力、 f_c 及び f_c^* : 許容圧縮応力 (S_y 又は S_u の関数)、 ϵ_c : 長期荷重によるクリープひずみ

K_0 : $K_0 = 1 + k_s (1 - P_m / S)$ 、 k_s : $k_s = 0.5 (\alpha - 1)$

α : 純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は 1.5 のいずれかの小さい方の値

(注1) () 内は支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

(注2) MSF-21P型では、供用状態C及びDにおいて未臨界機能維持の重要性を考慮し、設計降伏点以下を適用。

(注3) f_c^* の値は、 f_c の値を算出する際に S_y とあるのを $1.2 S_y$ と読み替えて算出した値。

(注4) MSF-21P型のバスケットにおけるクリープひずみ評価は別紙1参照。

第3-2表 一次一般膜応力強さに対する設計基準

供用状態	MSE-21P 型	構造規格 バスケット MCD-2000	構造規格 密封容器 MCD-1000	設計・建設規格 炉心支持構造物 CSS-3000
A (貯蔵時)	S	—	—	—
A (吊上げ時) B	S_m	S_m	S_m	S_m
C	$1.2 S_m$	$1.5 S_m$	$\text{MIN}[S_y, 2/3 S_u]$ (注1) $1.2 S_m$ (注2)	$1.5 S_m$
D	$2/3 S_u$	$2/3 S_u$ (注1) $\text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]$ (注2)	$2/3 S_u$ (注1) $\text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]$ (注2)	$2/3 S_u$ (注1) $\text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]$ (注2)

(注1) オーステナイト系ステンレス鋼以外の材料の場合

(注2) オーステナイト系ステンレス鋼の材料の場合

第3-3表 一次一般膜+一次曲げ応力強さに対する設計基準

供用状態	MSE-21P 型	構造規格 バスケット MCD-2000	構造規格 密封容器 MCD-1000	設計・建設規格 炉心支持構造物 CSS-3000
A (貯蔵時)	$K_0 S$	—	—	—
A (吊上げ時) B	αS_m	$1.5 S_m$	αS_m	$1.5 S_m$
C	$1.2 \alpha S_m$	$2.25 S_m$	$\text{MIN}[\alpha S_y, 2/3 \alpha S_u]$ (注1) $1.2 \alpha S_m$ (注2)	$2.25 S_m$
D	$2/3 \alpha S_u$	S_u (注1) $\text{MIN}[3.6 S_m, S_u]$ (注2)	$2/3 \alpha S_u$ (注1) $\text{MIN}[2.4 \alpha S_m, 2/3 \alpha S_u]$ (注2)	S_u (注1) $\text{MIN}[3.6 S_m, S_u]$ (注2)

α : 純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は 1.5 のいずれかの小さい方の値

K_0 : $K_0 = 1 + k_s (1 - P_m/S)$ 、 k_s : $k_s = 0.5(\alpha - 1)$

(注1) オーステナイト系ステンレス鋼以外の材料の場合

(注2) オーステナイト系ステンレス鋼の材料の場合

第3-4表 一次+二次応力に対する設計基準

供用状態	MSE-21P型	構造規格 バスケット MCD-2000	構造規格 密封容器 MCD-1000	設計・建設規格 炉心支持構造物 CSS-3000
A (貯蔵時)	$t_c \leq 0.001$	—	—	—
A (吊上げ時) B	$1.5 S_m$	$3 S_m$	$3 S_m$	$3 S_m$
C	$1.5 S_m$	—	$3 S_m$ (注1)	—
D	$3 S_m$	—	$3 S_m$ (注1)	—

(注1) 短期繰り返し荷重（地震力を想定）のみによる応力振幅について評価する。

第3-5表 せん断応力に対する設計基準

供用状態	MSE-21P型	構造規格 バスケット MCD-2000	構造規格 密封容器 MCD-1000	設計・建設規格 炉心支持構造物 CSS-3000
A (貯蔵時)	$0.6 S$	—	—	—
A (吊上げ時) B	$0.6 S_m$	$0.6 S_m$	$0.6 S_m$	$0.6 S_m$
C	$0.9 S_m$	$0.9 S_m$	$0.6 S_m$	$0.9 S_m$
D	$1.2 S_m$	$1.2 S_m$	$0.4 S_u$	$1.2 S_m$

第3-6表 支圧応力に対する設計基準

供用状態	MSF-21P型	構造規格 バスケット MCD-2000	構造規格 密封容器 MCD-1000	設計・建設規格 炉心支持構造物 CSS-3000
A (貯蔵時)	S	—	—	—
A (吊上げ時) B	S_y ($1.5 S_y$)	S_y ($1.5 S_y$)	S_y ($1.5 S_y$)	S_y ($1.5 S_y$)
C	$1.5 S_y$ ($2.25 S_y$)	$1.5 S_y$ ($2.25 S_y$)	S_y ($1.5 S_y$)	$1.5 S_y$ ($2.25 S_y$)
D	$2 S_y$ ($3 S_y$)	$2 S_y$ ($3 S_y$)	S_u ($1.5 S_u$)	$2 S_y$ ($3 S_y$)

(注1) () 内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

第3-7表 圧縮応力に対する設計基準

供用状態	MSF-21P型	構造規格 バスケット MCD-2000	構造規格 密封容器 MCD-1000	設計・建設規格 炉心支持構造物 CSS-3000
A (貯蔵時)	σ_c (一次) $\leq f_c$ σ_c (一次+二次) $\leq 1.5 f_c$	—	—	—
A (吊上げ時) B	σ_c (一次) $\leq f_c$ σ_c (一次+二次) $\leq 1.5 f_c$	σ_c (一次) $\leq f_c$ σ_c (一次+二次) $\leq 1.5 f_c$	— σ_c (一次+二次) $\leq \text{MIN}[S_m, B]$	σ_c (一次) $\leq f_c$ σ_c (一次+二次) $\leq 1.5 f_c$
C	σ_c (一次) $\leq 1.5 f_c$ σ_c (一次+二次) $\leq 1.5 f_c$	σ_c (一次) $\leq 1.5 f_c$ σ_c (一次+二次) $\leq 1.5 f_c$	σ_c (一次) $\leq \text{MIN}[1.2 S_m,$ $1.2 B]$ —	σ_c (一次) $\leq 1.5 f_c$ —
D	σ_c (一次) $\leq 1.5 f_c^*$ σ_c (一次+二次) $\leq 1.5 f_c$	σ_c (一次) $\leq 1.5 f_c^*$ σ_c (一次+二次) $\leq 1.5 f_c$	σ_c (一次) $\leq \text{MIN}[1.5 S_m,$ $1.5 B]$ —	σ_c (一次) $\leq 1.5 f_c^*$ —

(注1) f_c^* の値は、 f_c の値を算出する際に S_y とあるのを $1.2 S_y$ と読み替えて算出した値。

(注2) Bは、構造規格の別図により求めた値。

4. 設計基準の設定根拠

4.1 供用状態 A

供用状態 A は、貯蔵時及び吊上げ時が該当し、長期的な荷重又は吊上げ時の衝撃荷重が作用する状態である。貯蔵時は、長期荷重がバスケット格子へ作用する事象である。吊上げ時は、通常使用状態又は繰り返し作業による荷重（短期繰り返し荷重）がバスケット格子へ作用する事象である。

これらの事象に対しては、長期荷重に対してクリープによる破断及び変形の進展を防止、また、短期荷重に対しては表面塑性を防止するよう基準を設定する。

- (1) 長期荷重による一次一般膜応力 (P_m)、一次一般膜＋一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)、せん断応力 (τ)、支圧応力 (σ_p) 及び圧縮応力 (σ_c)

長期荷重による一次一般膜応力 (P_m)、一次一般膜＋一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)、せん断応力 (τ) 及び支圧応力 (σ_p) に対しては、クリープ強度を考慮した許容値として許容引張応力 S に基づく設計基準を採用した。なお、MSF-21P 型のバスケットにおいて、係数 K_0 は 1.0 を適用した。

長期荷重による圧縮応力 (σ_c) に対しては、構造規格の MCD-2000 (バスケット) と同様の設計基準を採用した。

- (2) 長期荷重によるクリープひずみ (ϵ_c)

長期荷重によるクリープひずみ (ϵ_c) に対しては、「添付書類 8-2-4 バスケットプレート用材料 アルミニウム合金 (MB-A3004-H112) について」別紙 3 に示す通り材料特性に影響のない範囲のクリープひずみとして、十分な裕度を考慮して 0.1% を設計基準とする。

- (3) 長期＋短期荷重による一次一般膜応力 (P_m)、一次一般膜＋一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)、せん断応力 (τ)、支圧応力 (σ_p) 及び圧縮応力 (σ_c)

長期＋短期荷重による一次一般膜応力 (P_m)、一次一般膜＋一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)、せん断応力 (τ)、支圧応力 (σ_p) 及び圧縮応力 (σ_c) に対しては、クリープ支配ではないことから、設計応力強さ S_m に基づく設計基準を採用した。設計応力強さ S_m に基づく設計基準は、構造規格の MCD-2000 (バスケット) と同様である。ただし、一次一般膜＋一次曲げ応力に対しては、バスケットプレートの断面形状が中空状であることを考慮し、構造規格の MCD-1000 (密封容器) と同様に係数として α (純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は 1.5 のいずれかの小さい方の値) を適用した。なお、MSF-21P 型のバスケットについては、評価位置①、②及び③における α はそれぞれ 1.0、1.26 及び 1.30 を適用した。

供用状態Aにおいて、引張荷重と曲げ荷重が同時に作用した時の部材を単純な矩形断面梁と仮定した設計限界との関係を第4-1図に示す。同図に示すとおり、崩壊応力に対して、 P_m については安全率を1.5とし、 $P_m + P_b$ に対しては安全率が一定ではないものの、十分安全側に設計限界を定めている。ここで、崩壊応力とは、第4-2図(c)に示すように塑性領域が全断面に発達し、崩壊に至る応力である。

(4) 長期+短期荷重による一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)

長期+短期荷重による一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$) に対しては、第4-3図(a)に示すように、 $1.5 S_m (= S_y)$ を設計基準とし、弾性挙動に制限した。

(5) 長期+短期荷重による圧縮応力 (σ_c)

長期+短期荷重による圧縮応力の評価は、構造規格のMCD-2317に示された格子板等に圧縮荷重を受ける部分に生じる圧縮応力に対する設計基準を適用した。

限界細長比と圧縮限度の関係を第4-5図に示す。供用状態Aにおいて、圧縮応力に対する設計基準 (f_c) は、座屈耐力 (σ_{cr}) に対して安全率 v をとったものとした。なお、MSF-21P型のバスケットにおいて、安全率 v は約1.5である。

4.2 供用状態B

供用状態Bは、衝撃荷重作用時や0.3m落下が該当する。本事象は、通常使用状態又は繰り返し作業による荷重（短期繰り返し荷重）がバスケット格子へ作用する事象である。

この事象に対しては、短期荷重に対して表面塑性を防止するよう基準を設定することとし、供用状態Aの長期+短期荷重時と同じ設計基準とした。

4.3 供用状態C

供用状態Cは、 S_d^* 相当地震力がバスケット格子へ作用する事象であり、本事象は、設計評価期間中、まれにしか生じる可能性がない事象である。

この事象に対しては、臨界機能維持のため、バスケット格子形状が維持されるよう、短期荷重による全断面降伏を防止するための設計基準を設定するものとする。さらに、MSF-21P型のバスケットに対しては、バスケット格子の塑性変形を防止するための設計基準も設定した。

(1) 一次一般膜応力 (P_m) 及び一次一般膜+一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)

一次一般膜応力 (P_m) 及び一次一般膜+一次曲げ応力 ($P_m + P_b$) の設計基準は、供用状態A及びBと同様に S_m をベースとした。その割増係数は、構造規格のMCD-1311.2（密封容器）とMCD-2313（バスケット）の値とを比較し、より保守的に1.2を採用した。供用状態Cにおいて、引張荷重と曲げ荷重が同時に作用した時の部材を単純な矩形断面梁

と仮定した設計限界との関係を第 4-4 図に示す。同図に示すとおり、崩壊応力に対して、 P_m については安全率を 1.25 とし、 $P_m + P_b$ に対しては安全率が一定ではないが、十分安全側に設計限界を定めており、バスケット格子が全断面降伏することはない。

さらに、MSF-21P 型のバスケットプレートの断面形状が中空状であることから、一次一般膜+一次曲げ応力に対しても梁が塑性変形しないように、降伏応力 S_y とする設計基準を追加した。

(2) 一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)

一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$) の評価については、供用状態 A 及び B と同様に第 4-2 図(a)に示すように、 $1.5 S_m (= S_y)$ を設計基準とし、弾性挙動に制限した。

(3) 平均せん断応力 (τ)

平均せん断応力に対する設計基準としては、構造規格の MCD-2315 (バスケット) に基づき、供用状態 A 及び B に対する設計基準の 1.5 倍である $0.9 S_m$ とした。これは、せん断ひずみエネルギー説に基づく降伏条件 (ミーゼスの降伏条件) に従うと、引張応力とせん断降伏応力との比は $1:1/\sqrt{3}$ であることから、平均せん断応力の設計基準は、 $0.6 (= 1/\sqrt{3}) S_m$ の 1.5 倍である $0.9 S_m$ となる。

(4) 平均支圧応力 (σ_p)

平均支圧応力に対する設計基準も構造規格と同様に供用状態 A 及び B に対する設計基準の 1.5 倍である $2.25 S_y$ (支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合) 又は $1.5 S_y$ (それ以外の場合) を適用した。

(5) 圧縮応力 (σ_c)

圧縮荷重の評価は、構造規格の MCD-2317 に示された格子板等に圧縮荷重を受ける部分に生じる圧縮応力に対する設計基準を適用した。

限界細長比と圧縮限度 (許容圧縮荷重又は座屈耐力) の関係を第 4-5 図に示す。供用状態 C における圧縮応力に対する設計基準 ($1.5 f_c$) は、同図に示すとおり座屈耐力以内であることから、バスケット格子形状は維持可能である。

4.4 供用状態 D

供用状態 D は、 S_s 相当地震力が作用する場合又は 9 m 落下時である。本事象は、設計評価期間中に発生することは予想されないが、技術的に見れば発生が想定され得る事象である。

この事象に対しては、一般公衆の放射線被ばく防止の観点から、基本的安全機能を著しく損

なうことが無いよう、バスケット格子の破断を防止するよう設計基準を設定する。さらに、MSF-21P型のバスケットでは、保守側の評価とするべく、バスケット格子の塑性変形を防止するための特別規定も設けている。

(1) 一次一般膜応力 (P_m) 及び一次一般膜+一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)

究極状態である供用状態Dにおける一次一般膜応力 (P_m) 及び一次一般膜+一次曲げ応力 ($P_m + P_b$) の設計基準は、構造規格の MCD-2324 (バスケット) に従い、材料の究極強度である設計引張強さ S_u をベースとした。参考として、究極強さと各供用状態の設計基準との関係を第 4-6 図に示す。同図に示すとおり、供用状態Dにおいては、 $P_m + P_b$ に対する設計基準 S_u は、究極強さに対して余裕がなくなる。そこで、MSF-21P 型の特別規定として、降伏応力 S_y とする設計基準を追加し、究極強さに対して十分な安全率を確保するとともに、断面形状が中空状であるバスケットプレートの塑性変形を防止する。究極強さと MSF-21P 型の特別規定として設定した設計基準との関係を第 4-7 図に示す。

(2) 一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$)

一次+二次応力 ($P_m + P_b + Q$) の評価については、第 4-3 図 (b) に示す $3S_m (=2S_y)$ を設計基準とし、変形が累積しないよう制限した。

(3) 平均せん断応力 (τ)

平均せん断応力 (τ) に対する設計基準は、構造規格の MCD-2315 (バスケット) に基づき供用状態A及びBの $0.6S_m$ の2倍である $1.2S_m$ とした。

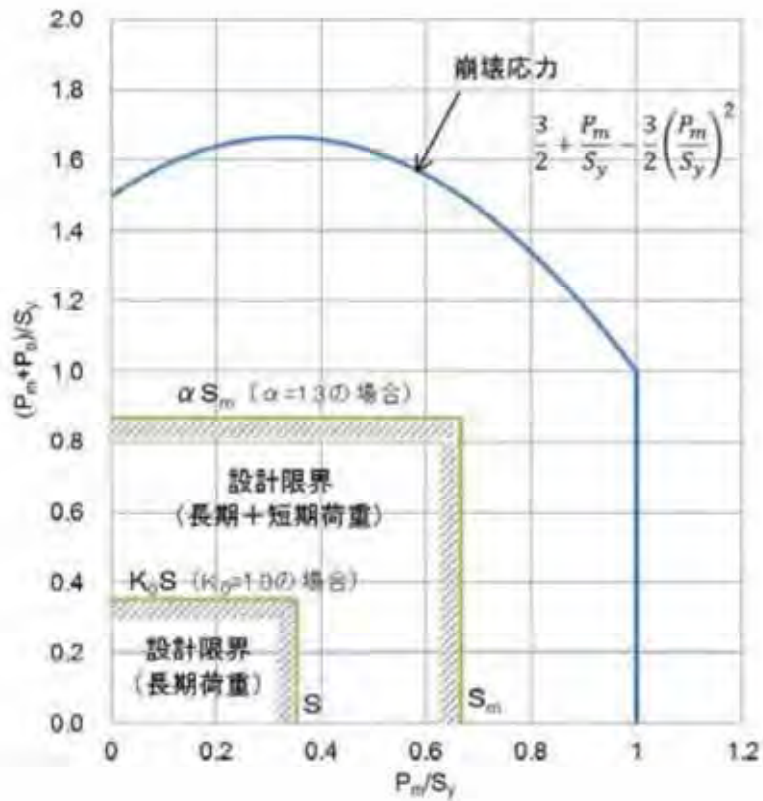
(4) 平均支圧応力 (σ_p)

平均支圧応力に対する設計基準 (σ_p) は、構造規格の MCD-2316 (バスケット) に基づき供用状態A及びBの S_y の2倍である $2S_y$ とした。

(5) 圧縮応力 (σ_c)

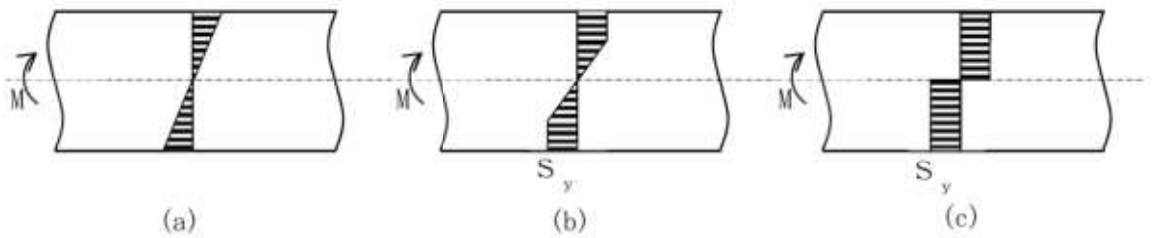
圧縮荷重の評価は、構造規格の MCD-2317 に示された格子板等に圧縮荷重を受ける部分に生じる圧縮応力に対する設計基準を適用した。

なお、供用状態Dの荷重は事故時の衝撃荷重が主でひずみ速度が大であること及び通常材料の実降伏点は設計値に対して余裕があることを考慮して、圧縮応力 (一次) の f_c の値を算出する際は、 S_y とあるのを $1.2S_y$ と読み替える。



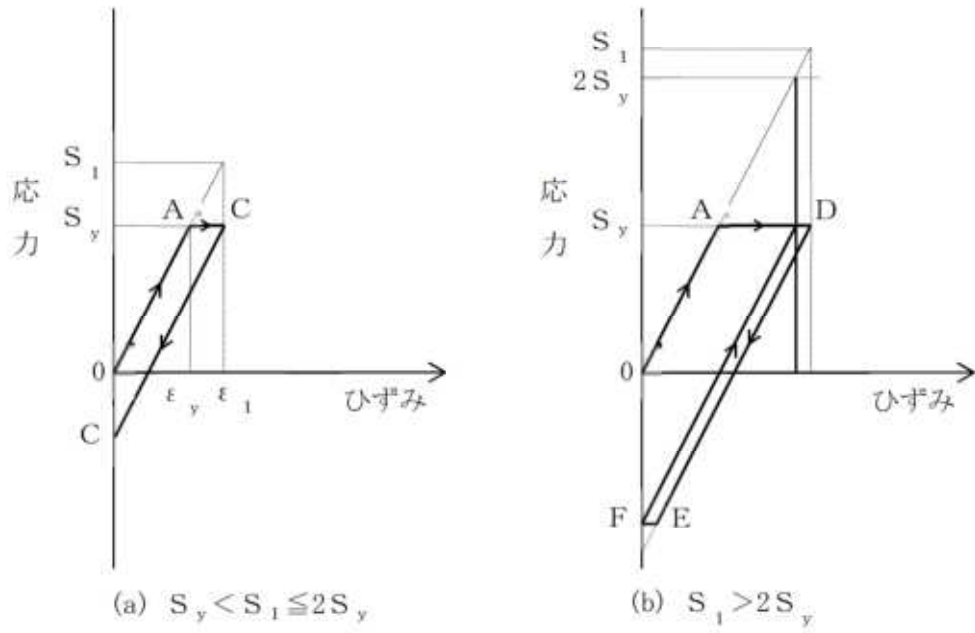
(注) 長期荷重の設計限界は、使用温度 180℃における設計降伏点 S_y と許容引張応力 S との比とした。

第 4-1 図 供用状態 A 及び B における引張り及び曲げによる崩壊応力及び設計限界

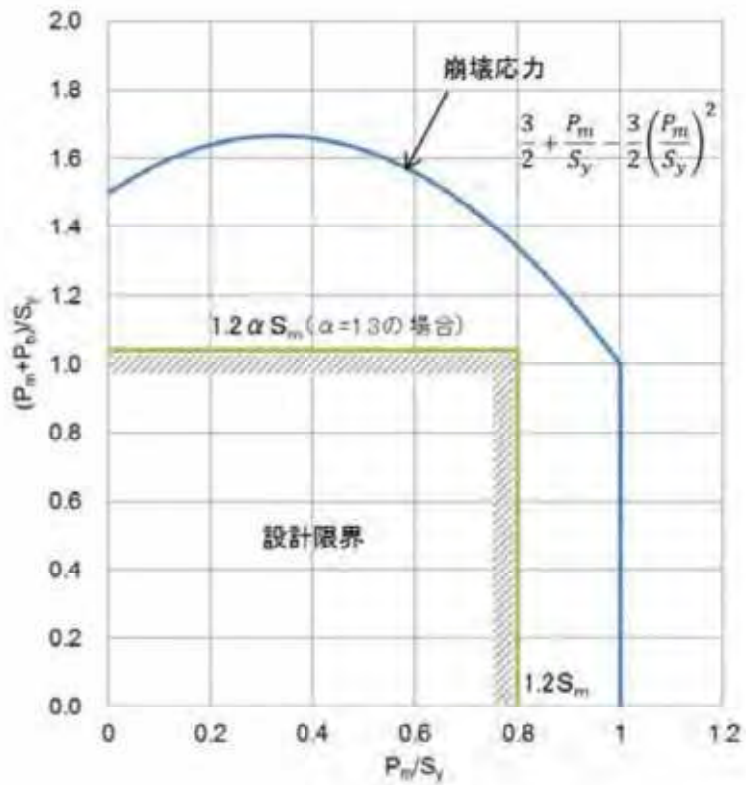


(a) の場合は、応力は中心軸からの距離及び曲げモーメントの大きさに比例し増大する。
 (b) の場合は、材料の表面が降伏点に達し、塑性領域が断面の内部へと進行してくる。
 (c) の場合は、塑性領域が全断面に到達し、崩壊に至る。

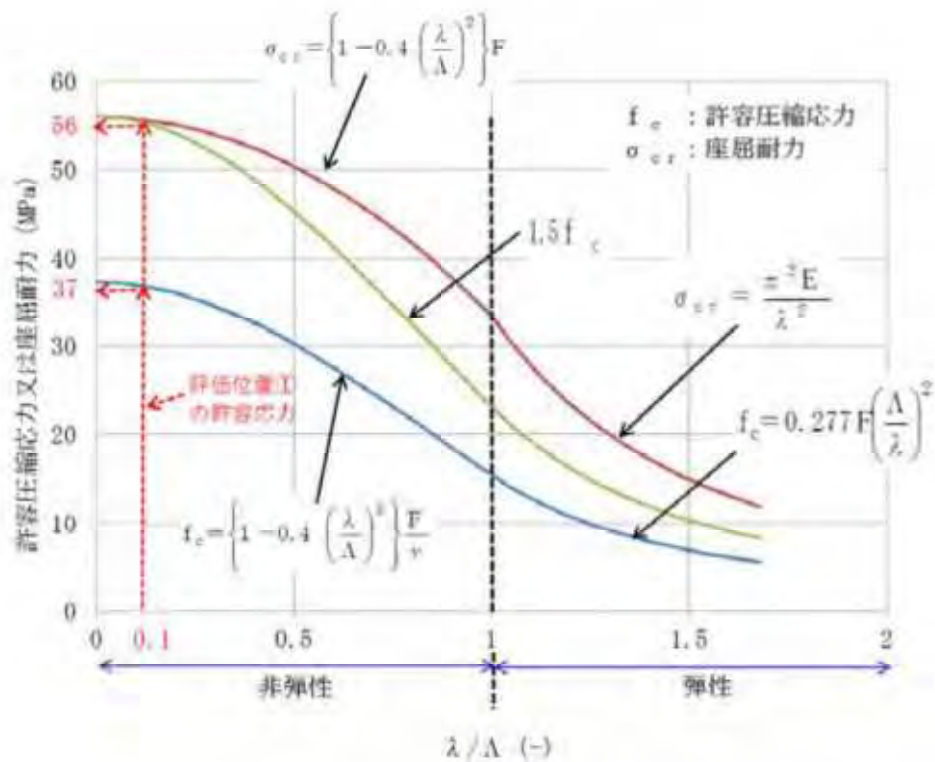
第 4-2 図 曲げ荷重作用時の断面応力分布模式図



第4-3図 降伏点を超える場合のひずみ履歴

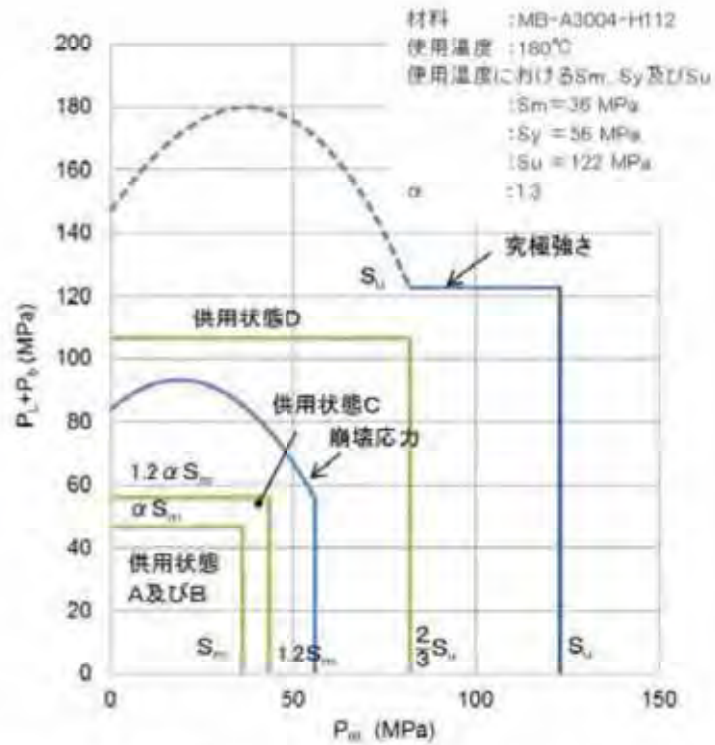


第4-4図 供用状態Cにおける引張り及び曲げによる崩壊応力及び設計限界

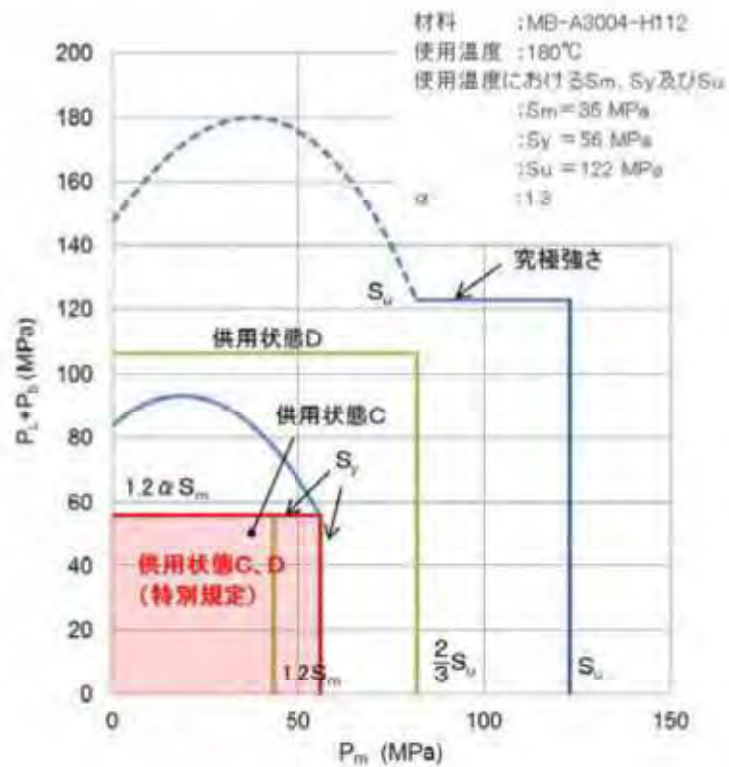


λ / Λ	0~1 (非弾性座屈範囲)	1~ (弾性座屈領域)
項目		
許容圧縮応力 f_c	$f_c = \left[1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right] \frac{F}{\nu}$	$f_c = 0.277 F \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2$
座屈耐力 σ_{cr}	$\sigma_{cr} = \left[1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right] F$	$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$

第4-5図 限界細長比と座屈限度（許容圧縮荷重又は座屈耐力）の関係



第4-6図 矩形梁の究極強さ及び各供用状態の設計基準



第4-7図 矩形梁の究極強さ及びMSF-21P型の特別規定の設計基準