

資料 1-2

Doc No. GK04-SC-Z01 Rev.1

2023年6月16日

日立造船株式会社

補足説明資料 16-1

16 条

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

目 次

1. 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性	1
2. Hitz-B69 型の構造	12
3. Hitz-B69 型の収納条件	25
4. 貯蔵施設の前提条件	32
5. Hitz-B69 型の設計貯蔵期間	34
6. Hitz-B69 型の安全設計	36
7. Hitz-B69 型の蓋間圧力等の監視について	37

別紙 1 Hitz-B69 型のハンドリングフロー例

別紙 2 バスケットの構造について

別紙 3 バスケット材料 (JIS G 3116 SG295) の適用について

別紙 4 使用済燃料収納配置の考え方について

1. 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

(1) 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

Hitz-B69 型は、層済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の工場等外への運搬に用いる輸送容器としての機能を併せ持つ特定兼用キャスク（以下「キャスク」という。）である。

発電用原子炉施設に使用する特定機器の設計の型式証明申請に係る安全設計の方針について、設計基準対象施設である Hitz-B69 型の実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則に対する適合性を以下に示す。

(燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設)

第十六条 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下この条において「燃料体等」という。）の取扱施設（安全施設に係るものに限る。）を設けなければならない。

- 一 燃料体等を取り扱う能力を有するものとする。
- 二 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。
- 三 崩壊熱により燃料体等が溶融しないものとする。
- 四 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
- 五 燃料体等の取扱中における燃料体等の落下を防止できるものとする。

2 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料体等の貯蔵施設（安全施設に属するものに限る。以下この項において同じ。）を設けなければならない。

- 一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものであること。
 - イ 燃料体等の落下により燃料体等が破損して放射性物質の放出により公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合において、放射性物質の放出による公衆への影響を低減するため、燃料貯蔵設備を格納するもの及び放射性物質の放出を低減するものとする。
 - ロ 燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するものとする。
 - ハ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。
- 二 使用済燃料の貯蔵施設（キャスクを除く。）にあつては、前号に掲げるもののほか、次に掲げるものであること。
 - イ 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - ロ 貯蔵された使用済燃料が崩壊熱により溶融しないものであつて、最終ヒートシンクへ熱を輸送できる設備及びその浄化系を有するものとする。
 - ハ 使用済燃料貯蔵槽（安全施設に属するものに限る。以下この項及び次項において同じ。）から放射性物質を含む水があふれ、又は漏れないものであつて、使用済燃料貯蔵槽から水が漏れいした場合において水の漏れいを検知することができるものとする。

- ニ 燃料体等の取扱中に想定される燃料体等の落下時及び重量物の落下時においてもその機能が損なわれないものとする。
- 3 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量を測定できる設備を設けなければならない。
- 一 使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量の異常を検知し、それを原子炉制御室に伝え、又は異常が生じた水位及び水温を自動的に制御し、並びに放射線量を自動的に抑制することができるものとする。
 - 二 外部電源が利用できない場合においても温度、水位その他の発電用原子炉施設の状態を示す事項（以下「パラメータ」という。）を監視することができるものとする。
- 4 キャスクを設ける場合には、そのキャスクは、第二項第一号に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならない。
- 一 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - 二 使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。
 - 三 使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

適合のための設計方針

1 について

型式証明申請の範囲外とする。

2 について

一 Hitz-B69 型は、以下のように設計する。

イ 型式証明申請の範囲外とする。

ロ 型式証明申請の範囲外とする。

ハ Hitz-B69 型は、次の方針に基づき安全設計を行う。

(1) キャスク単体として臨界を防止するための設計方針

Hitz-B69 型は、次の a. から d. により、キャスク単体として、使用済燃料を収納した条件下で、技術的に想定されるいかなる場合においても、核燃料物質が臨界に達するおそれのない設計とする。

a. Hitz-B69 型は、内部に格子状のバスケットを設け、バスケットの格子の中に使用済燃料集合体を収納することにより、使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持する設計とする。

b. Hitz-B69 型は、中性子吸収能力を有するほう素を偏在することなく添加した材料をバスケットの構成部材に使用する設計とする。

c. Hitz-B69 型のバスケットは、設計貯蔵期間 60 年間の経年変化に対して十

分な信頼性を有する材料を選定することで、必要とされる強度及び性能が設計貯蔵期間 60 年間を通じて維持され、臨界防止上有意な変形を起こさず、構造健全性が保たれる設計とする。

- d. Hitz-B69 型の臨界評価において、中性子実効増倍率が 0.95 以下となるように設計する。この際、未臨界性に有意な影響を与える因子については以下のとおりとする。

- ①乾燥状態及び冠水状態で臨界評価を実施する。
- ②バスケット格子内の使用済燃料集合体は、中性子実効増倍率が最大となる配置とする。
- ③キャスク周囲を完全反射条件（無限配列）とする。
- ④バスケット格子の板厚、格子内のり等の寸法公差や中性子吸収材の製造公差を考慮する。
- ⑤使用済燃料集合体の燃焼に伴う反応度低下は考慮しない。なお、冠水状態の解析では、可燃性毒物による反応度抑制効果を適切に考慮する。

- (2) キャスク相互の中性子干渉を考慮した臨界防止のための設計方針

Hitz-B69 型は、キャスク相互の中性子干渉を考慮した臨界防止について、中性子実効増倍率が 0.95 以下となるように設計する。上記(1)キャスク単体として臨界を防止するための設計方針において、キャスクの周囲を完全反射条件（無限配列）として臨界評価することから、キャスク相互の中性子干渉による影響は考慮され、複数のキャスクが接近する等の技術的に想定されるいかなる場合でも核燃料物質が臨界に達するおそれがない設計となる。

なお、Hitz-B69 型に使用済燃料集合体を収納するに当たっては、キャスクの臨界防止機能に関する評価で考慮した因子についての条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられることについては、設置（変更）許可申請時に別途確認されるものとする。

二 型式証明申請の範囲外とする。

3 について

型式証明申請の範囲外とする。

4 について

一 Hitz-B69 型は、次の方針に基づき安全設計を行う。

Hitz-B69 型は、使用済燃料集合体から放出される放射線をキャスクの本体胴及び蓋部により遮蔽する設計とし、ガンマ線遮蔽材には十分な厚みを有する鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材には樹脂（レジン）を用いる。設計貯蔵期間 60 年間における

中性子遮蔽材の熱による遮蔽機能の低下を考慮しても、キャスク表面及びキャスク表面から 1m の位置における線量当量率は、それぞれ 2mSv/h 以下及び 100 μ Sv/h 以下となる設計とする。

Hitz-B69 型の遮蔽機能に関する評価は、収納する使用済燃料集合体の種類、燃焼度、冷却期間等の条件から、遮蔽評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで、線源強度を求める。キャスクの実形状を二次元でモデル化し、キャスク表面及びキャスク表面から 1m の位置における線量当量率を求め、上記に示す線量当量率の基準を満足することを確認する。

なお、Hitz-B69 型に使用済燃料集合体を収納するに当たっては、キャスクの遮蔽機能に関する評価で考慮した使用済燃料集合体の種類、燃焼度及び冷却期間に応じた使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられること、及び貯蔵施設の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、工場等周辺の実効線量は周辺監視区域外における線量限度を超えないことについては、設置（変更）許可申請時に別途確認されるものとする。

二 Hitz-B69 型は、次の方針に基づき安全設計を行う。

Hitz-B69 型は、キャスクについて動力を用いないで使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料集合体の崩壊熱をキャスク表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除去できる設計とする。

Hitz-B69 型は、以下のとおり使用済燃料集合体の温度及びキャスクの温度を制限される値以下に維持する方針とする。

(1) 使用済燃料集合体の温度を制限される値以下に維持するための設計方針

Hitz-B69 型は、キャスクに収納する使用済燃料集合体の燃料被覆管の温度においては、使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件から、除熱評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで求めた使用済燃料集合体の崩壊熱量及び使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮した除熱評価を行い、当該燃料被覆管の温度について、燃料被覆管の累積クリープ歪みが 1%を超えない温度、照射硬化の回復により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度及び水素化物の再配向により燃料被覆管の機械的特性が低下しない温度以下となるようにキャスクを設計する。

(2) キャスクの温度を制限される値以下に維持するための設計方針

Hitz-B69 型は、キャスクの安全機能を維持する観点から、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件から、除熱評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで求めた使用済燃料集合体の崩壊熱量及び使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮した除熱評価を行い、キャスクの温度を構成

部材の健全性が保たれる温度以下となる設計とする。

また、Hitz-B69 型は、使用済燃料集合体及びキャスクの温度が制限される値以下に維持されていることを評価するために、キャスク外表面の温度を測定できる設計とする。

なお、Hitz-B69 型に使用済燃料集合体を収納するに当たっては、キャスクの除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料集合体の種類、燃焼度及び冷却期間に応じた使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられること、並びに Hitz-B69 型を貯蔵する貯蔵施設は、キャスクの除熱機能を阻害しない設計であり、貯蔵施設の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計であること、Hitz-B69 型を含めたキャスク周囲温度及び貯蔵区域における貯蔵施設の壁面温度が、2.5 に示したそれぞれの最高温度以下であること、さらに、貯蔵施設内の周囲温度が異常に上昇しないことを監視できることについては、設置（変更）許可申請時に別途確認されるものとする。

三 Hitz-B69 型は、次の方針に基づき安全設計を行う。

(1) 使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持するための設計方針

Hitz-B69 型は、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、キャスクの蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間 60 年間を通じて、使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持できる設計とする。

(2) 使用済燃料集合体を内封する空間を容器外部から隔離するための設計方針

Hitz-B69 型は、使用済燃料集合体を内封する空間をキャスク外部から隔離する設計として、キャスクの蓋部を一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、その蓋間を正圧に維持することにより圧力障壁を形成し、使用済燃料集合体を内封する空間をキャスク外部から隔離する設計とする。

(3) キャスクの閉じ込め機能の修復性に関する考慮

Hitz-B69 型は、万一のキャスクの閉じ込め機能の異常に対して、二次蓋の閉じ込め機能の異常が認められた場合には、使用済燃料集合体を内封する空間が負圧に維持されていること及び一次蓋が健全であることを確認のうえ、二次蓋の金属ガスケットを交換し、閉じ込め機能を修復できる設計とする。また、一次蓋の閉じ込め機能に異常があると考えられる場合には、三次蓋を取り付け、貯蔵施設の外へ搬出できる設計とする。

(4) キャスクの閉じ込め機能を監視するための設計方針

Hitz-B69 型は、蓋間の圧力を測定することにより閉じ込め機能を監視できる設計とする。

なお、Hitz-B69 型の万一の閉じ込め機能の異常に対する二次蓋の金属ガスケットの交換や、三次蓋の取り付けに対して、施設側で修復性の考慮がなされていることについては、設置（変更）許可申請時に別途確認されるものとする。

(2) 特定機器を使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響

Hitz-B69 型は、Hitz-B69 型を発電用原子炉施設において使用した場合に発電用原子炉施設の安全性を損なうような影響を及ぼさない設計とする。以下、Hitz-B69 型を発電用原子炉施設において使用した場合に発電用原子炉施設の安全性を損なうような影響を及ぼさないことを、実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則に沿って確認する。

(燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設)

第十六条 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下この条において「燃料体等」という。）の取扱施設（安全施設に係るものに限る。）を設けなければならない。

- 一 燃料体等を取り扱う能力を有するものとする。
- 二 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。
- 三 崩壊熱により燃料体等が溶融しないものとする。
- 四 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
- 五 燃料体等の取扱中における燃料体等の落下を防止できるものとする。

2 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料体等の貯蔵施設（安全施設に属するものに限る。以下この項において同じ。）を設けなければならない。

- 一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものであること。
 - イ 燃料体等の落下により燃料体等が破損して放射性物質の放出により公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合において、放射性物質の放出による公衆への影響を低減するため、燃料貯蔵設備を格納するもの及び放射性物質の放出を低減するものとする。
 - ロ 燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するものとする。
 - ハ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。
- 二 使用済燃料の貯蔵施設（キャスクを除く。）にあつては、前号に掲げるもののほか、次に掲げるものであること。
 - イ 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - ロ 貯蔵された使用済燃料が崩壊熱により溶融しないものであつて、最終ヒートシンクへ熱を輸送できる設備及びその浄化系を有するものとする。
 - ハ 使用済燃料貯蔵槽（安全施設に属するものに限る。以下この項及び次項において同じ。）から放射性物質を含む水があふれ、又は漏れないものであつて、使用済燃料貯蔵槽から水が漏れいした場合において水の漏れいを検知することができるものとする。
 - ニ 燃料体等の取扱中に想定される燃料体等の落下時及び重量物の落下時においてもその機能が損なわれないものとする。

- 3 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量を測定できる設備を設けなければならない。
- 一 使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量の異常を検知し、それを原子炉制御室に伝え、又は異常が生じた水位及び水温を自動的に制御し、並びに放射線量を自動的に抑制することができるものとする。
 - 二 外部電源が利用できない場合においても温度、水位その他の発電用原子炉施設の状態を示す事項（以下「パラメータ」という。）を監視することができるものとする。
- 4 キャスクを設ける場合には、そのキャスクは、第二項第一号に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならない。
- 一 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - 二 使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。
 - 三 使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

兼用キャスクを使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響の確認

1 について

Hitz-B69 型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

2 について

- 一 Hitz-B69 型は、以下のように設計する。

イ及びロ

Hitz-B69 型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

- ハ Hitz-B69 型は、次の方針に基づき安全設計を行う。

(1) 特定兼用キャスク単体として臨界を防止するための設計方針

Hitz-B69 型は、次の a. から d. により、特定兼用キャスク単体として、使用済燃料を収納した条件下で、技術的に想定されるいかなる場合においても、核燃料物質が臨界に達するおそれのない設計とする。

- a. Hitz-B69 型は、内部に格子状のバスケットを設け、バスケットの格子の中に使用済燃料集合体を収納することにより、使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持できる設計とする。
- b. Hitz-B69 型は、中性子吸収能力を有するほう素を偏在することなく添加した材料をバスケットの構成部材に使用する設計とする。
- c. Hitz-B69 型のバスケットは、設計貯蔵期間 60 年間の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定することで、必要とされる強度及び性能が

設計貯蔵期間 60 年間を通じて維持され、臨界防止上有意な変形を起こさず、構造健全性が保たれる設計とする。

- d. Hitz-B69 型の臨界評価において、中性子実効増倍率が 0.95 以下となるように設計する。この際、未臨界性に有意な影響を与える因子については以下のとおりとする。

- ①乾燥状態及び冠水状態で臨界評価を実施する。
- ②バスケット格子内の使用済燃料集合体は、中性子実効増倍率が最大となる配置とする。
- ③特定兼用キャスク周囲を完全反射条件（無限配列）とする。
- ④バスケット格子の板厚、格子内のり等の寸法公差や中性子吸収材の製造公差を考慮する。
- ⑤使用済燃料集合体の燃焼に伴う反応度低下は考慮しない。なお、冠水状態の解析では、可燃性毒物による反応度抑制効果を適切に考慮する。

- (2) 特定兼用キャスク相互の中性子干渉を考慮した臨界防止のための設計方針

Hitz-B69 型は、特定兼用キャスク相互の中性子干渉を考慮した臨界防止について、中性子実効増倍率が 0.95 以下となるように設計する。上記(1)特定兼用キャスク単体として臨界を防止するための設計方針において、特定兼用キャスクの周囲を完全反射条件（無限配列）として臨界評価することから、特定兼用キャスク相互の中性子干渉による影響は考慮され、複数の特定兼用キャスクが接近する等の技術的に想定されるいかなる場合でも核燃料物質が臨界に達するおそれがない設計となる。

以上より、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

- 二 Hitz-B69 型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

3 について

Hitz-B69 型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

4 について

- 一 Hitz-B69 型は、次の方針に基づき安全設計を行う。

Hitz-B69 型は、使用済燃料集合体から放出される放射線を特定兼用キャスクの本体胴及び蓋部により遮蔽する設計とし、ガンマ線遮蔽材には十分な厚みを有する鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材には樹脂（レジン）を用いる。設計貯蔵期間 60 年間における中性子遮蔽材の熱による遮蔽機能の低下を考慮しても、特定兼用キャスク表面及び特定兼用キャスク表面から 1m の位置における線量当量率は、それぞれ 2mSv/h 以下及び 100 μ Sv/h 以下となる設計とする。

Hitz-B69 型の遮蔽機能に関する評価は、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件から、遮蔽評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで、線源強度を求める。特定兼用キャスクの実形状を二次元でモデル化し、特定兼用キャスク表面及び特定兼用キャスク表面から 1m の位置における線量当量率を求め、上記に示す線量当量率の基準を満足することを確認する。

以上より、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

二 Hitz-B69 型は、次の方針に基づき安全設計を行う。

Hitz-B69 型は、特定兼用キャスクについて動力を用いずに使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料集合体の崩壊熱を特定兼用キャスク表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除去できる設計とする。

Hitz-B69 型は、以下のとおり使用済燃料集合体の温度及び特定兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持する方針とする。

(1) 使用済燃料集合体の温度を制限される値以下に維持するための設計方針

Hitz-B69 型は、特定兼用キャスクに収納する使用済燃料集合体の燃料被覆管の温度においては、使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件から、除熱評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで求めた使用済燃料集合体の崩壊熱量及び使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮した除熱評価を行い、当該燃料被覆管の温度について、燃料被覆管の累積クリープ歪みが 1%を超えない温度、照射硬化の回復により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度及び水素化物の再配向により燃料被覆管の機械的特性が低下しない温度以下となるように特定兼用キャスクを設計する。

(2) 特定兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持するための設計方針

Hitz-B69 型は、特定兼用キャスクの安全機能を維持する観点から、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件から、除熱評価の結果が厳しくなる入力条件を設定したうえで求めた使用済燃料集合体の崩壊熱量及び使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮した除熱評価を行い、特定兼用キャスクの温度を構成部材の健全性が保たれる温度以下となる設計とする。

また、Hitz-B69 型は、使用済燃料集合体及び特定兼用キャスクの温度が制限される値以下に維持されていることを評価するために、特定兼用キャスク外表面の温度を測定できる設計とする。

以上より、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

三 Hitz-B69 型は、次の方針に基づき安全設計を行う。

(1) 使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持するための設計方針

Hitz-B69 型は、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、特定兼用キャスクの蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間 60 年間を通じて、使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持できる設計とする。

(2) 使用済燃料集合体を内封する空間を容器外部から隔離するための設計方針

Hitz-B69 型は、使用済燃料集合体を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計として、特定兼用キャスクの蓋部を一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、その蓋間を正圧に維持することにより圧力障壁を形成し、使用済燃料集合体を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計とする。

(3) 特定兼用キャスクの閉じ込め機能の修復性に関する考慮

Hitz-B69 型は、万一の特定兼用キャスクの閉じ込め機能の異常に対して、二次蓋の閉じ込め機能の異常が認められた場合には、使用済燃料集合体を内封する空間が負圧に維持されていること及び一次蓋が健全であることを確認のうえ、二次蓋の金属ガスケットを交換し、閉じ込め機能を修復できる設計とする。また、一次蓋の閉じ込め機能に異常があると考えられる場合には、三次蓋を取り付け、貯蔵施設の外へ搬出できる設計とする。

(4) 特定兼用キャスクの閉じ込め機能を監視するための設計方針

Hitz-B69 型は、蓋間の圧力を測定することにより閉じ込め機能を監視できる設計とする。

以上より、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

2. Hitz-B69 型の構造

2.1 主要設備

Hitz-B69 型は、軽水減速、軽水冷却、沸騰水型原子炉（以下「BWR」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、使用済燃料の工場等外への運搬に用いる輸送容器としての機能を併せ持つキャスクである。

Hitz-B69 型を用いることにより、発電用原子炉施設内のキャスクを用いた使用済燃料の貯蔵施設（以下「貯蔵施設」という。）へ搬入して貯蔵を行うとともに、貯蔵期間中及び貯蔵終了後において、Hitz-B69 型の蓋等を開放することなく工場等外へ運搬することができる。

Hitz-B69 型は、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。

Hitz-B69 型の構造及び仕様をそれぞれ図 1～図 8 及び表 1 に示す。

(1) キャスク本体

キャスク本体の主要部は、胴、底板、中性子遮蔽材及び外筒等で構成されている。

胴及び底板は炭素鋼製であり、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樹脂（レジン）が充填されており、また、胴及び底板の炭素鋼は、主要なガンマ線遮蔽材となっている。

キャスク本体の取扱い及び貯蔵中の固定のために、上部（蓋部側）及び下部（底部側）にそれぞれ 2 対のトラニオンが取付けられている。

本体のシール部は、シール面の防食を目的としてステンレス鋼の肉盛溶接を行っている。

(2) 蓋部

蓋部は、一次蓋及び二次蓋で構成されている。

一次蓋はステンレス鋼製の円板状であり、キャスク本体上面にボルトで取付けられ、閉じ込め境界が形成される。一次蓋には主要な中性子遮蔽材として樹脂（レジン）を充填し、また、一次蓋のステンレス鋼は主要なガンマ線遮蔽材となっている。

二次蓋は炭素鋼製の円板状であり、ボルトでキャスク本体上面に取付けられる。

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。二次蓋は炭素鋼であるため、シール部は防食を目的としてステンレス鋼の肉盛溶接を行っている。

(3) バスケット

バスケットは、炭素鋼製の角管状の部材（コンパートメント）を束ねた格子構造であり、炭素鋼又はステンレス鋼製の部材で構成され、キャスク本体内部に挿入される。個々の使用済燃料集合体はキャスク本体内部で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、中性子吸収能力を有するほう素を偏

在することなく添加した材料である中性子吸収材を併せて配置している。また、伝熱性を向上するために、アルミニウム合金製の伝熱ブロックを配置している。

2.2 その他設備等

(1) 貯蔵関連部品及び設備

貯蔵時にキャスクに取り付けられる部品として、貯蔵用緩衝体、貯蔵用緩衝体アダプター、モニタリングポートカバープレート（貯蔵用）、圧力検出器、温度検出器がある。また、キャスクは貯蔵時に貯蔵架台上に設置して貯蔵される。

a. 貯蔵用緩衝体

貯蔵用緩衝体は、貯蔵時においてキャスクに加わる衝撃を吸収するために取り付けられるものであり、キャスク本体上部（蓋部）及び下部（底部）にボルトで取り付けられる。

b. 貯蔵用緩衝体アダプター

貯蔵用緩衝体アダプターは、貯蔵用緩衝体とキャスクの間に設置され、キャスク本体上部にボルトで取り付けられる。

c. モニタリングポートカバープレート（貯蔵用）

二次蓋には、一次蓋と二次蓋で形成される空間の圧力を監視するための圧力検出器を取り付けるための窪みが設けられており、この窪みを塞ぐためにモニタリングポートカバープレート（貯蔵用）が設置される。

d. 圧力検出器

圧力検出器は、貯蔵中の一次蓋と二次蓋の間の空間部の圧力を監視するために、二次蓋外面に設置される。

e. 温度検出器

温度検出器は、貯蔵中のキャスク表面温度を監視するために、キャスク外表面に設置される。

f. 貯蔵架台

貯蔵架台は、貯蔵中にキャスクを横置き状態に保持するために、キャスクと床面の間に設置される。貯蔵中は、キャスクの上部及び下部トラニオンの一対ずつを用いてキャスクは貯蔵架台に固定される。

(2) 輸送関連部品及び設備

輸送時にキャスクに取り付けられる部品として、輸送用緩衝体、三次蓋、モニタリングポートカバープレート（輸送用）がある。また、キャスクは輸送時に輸送架台上に設置して輸送される。

a. 輸送用緩衝体

輸送用緩衝体は、輸送中にキャスクに加わる落下時等の衝撃を吸収するために取り付けられるものであり、キャスク本体上部及び下部にボルトで取り付けられる。

b. 三次蓋

三次蓋は、キャスク本体上面にボルトで取り付けられる。三次蓋は、輸送時の閉じ込め機能を維持するために、シール部にゴム製の O リングが取り付けられる。

c. モニタリングポートカバープレート（輸送用）

モニタリングポートカバープレート（輸送用）は、二次蓋の窪みを塞ぐために設置される。モニタリングポートカバープレート（輸送用）は、シール部に O リングが取り付けられる。

d. 輸送架台

輸送架台は、輸送中にキャスクを横置き状態に保持し、輸送車両等に固定するために用いられる。輸送中のキャスクは、キャスクの上部及び下部トラニオンの一対ずつを用いて、輸送架台に固定される。

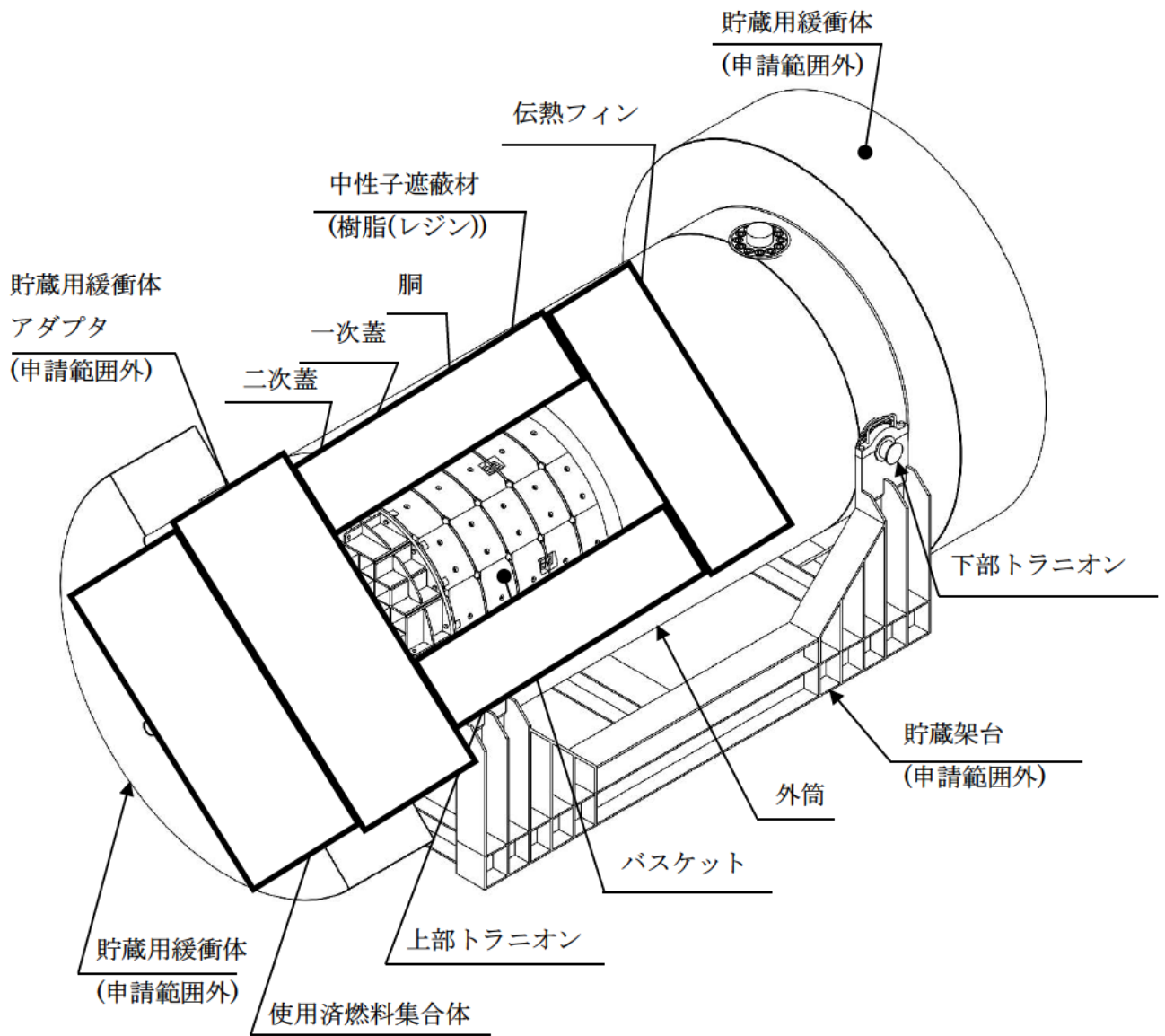


図1 Hitz-B69型構造図
 (蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の例 (横置き))



内は商業機密のため、非公開とします。

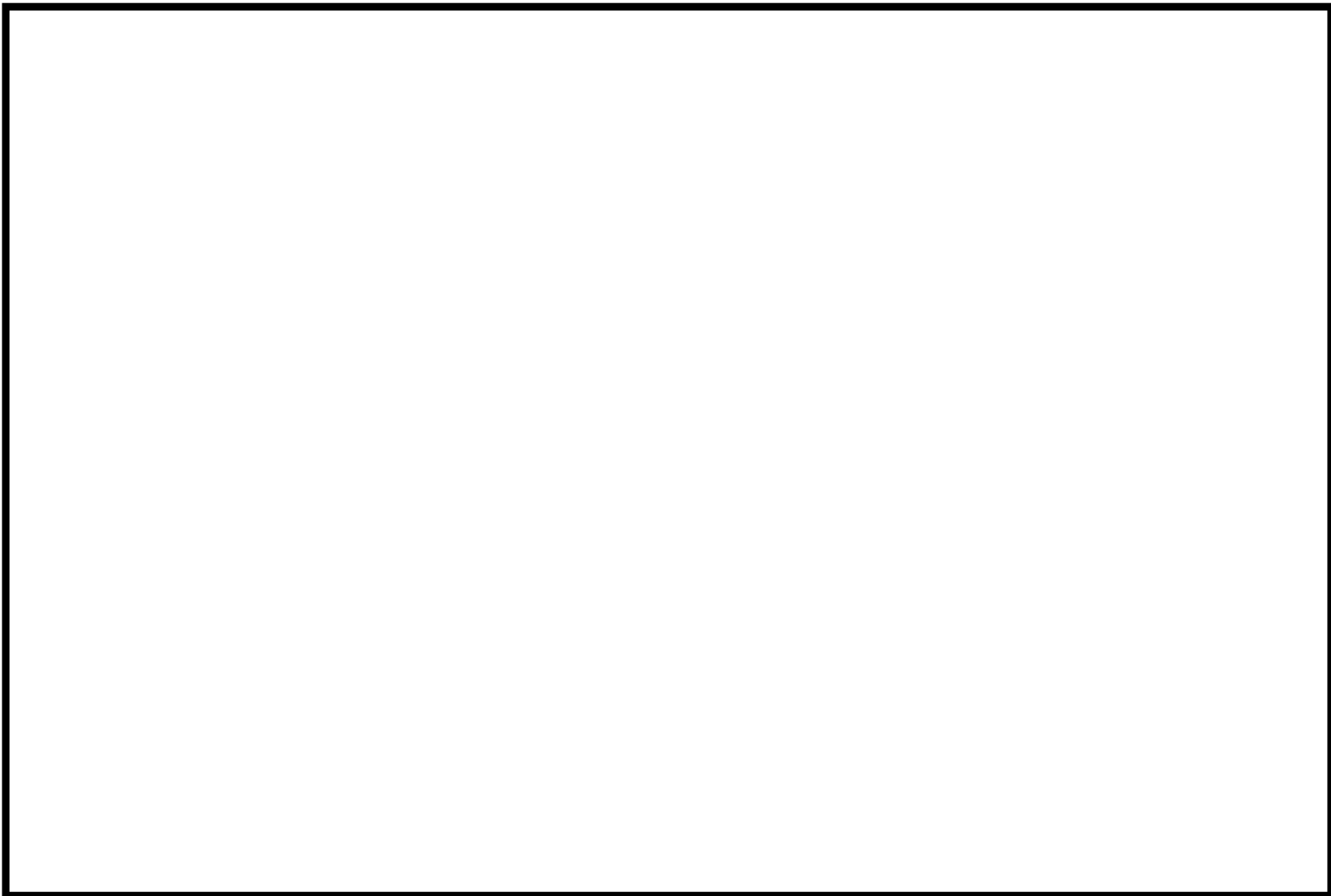


図 2 本体縦断面図

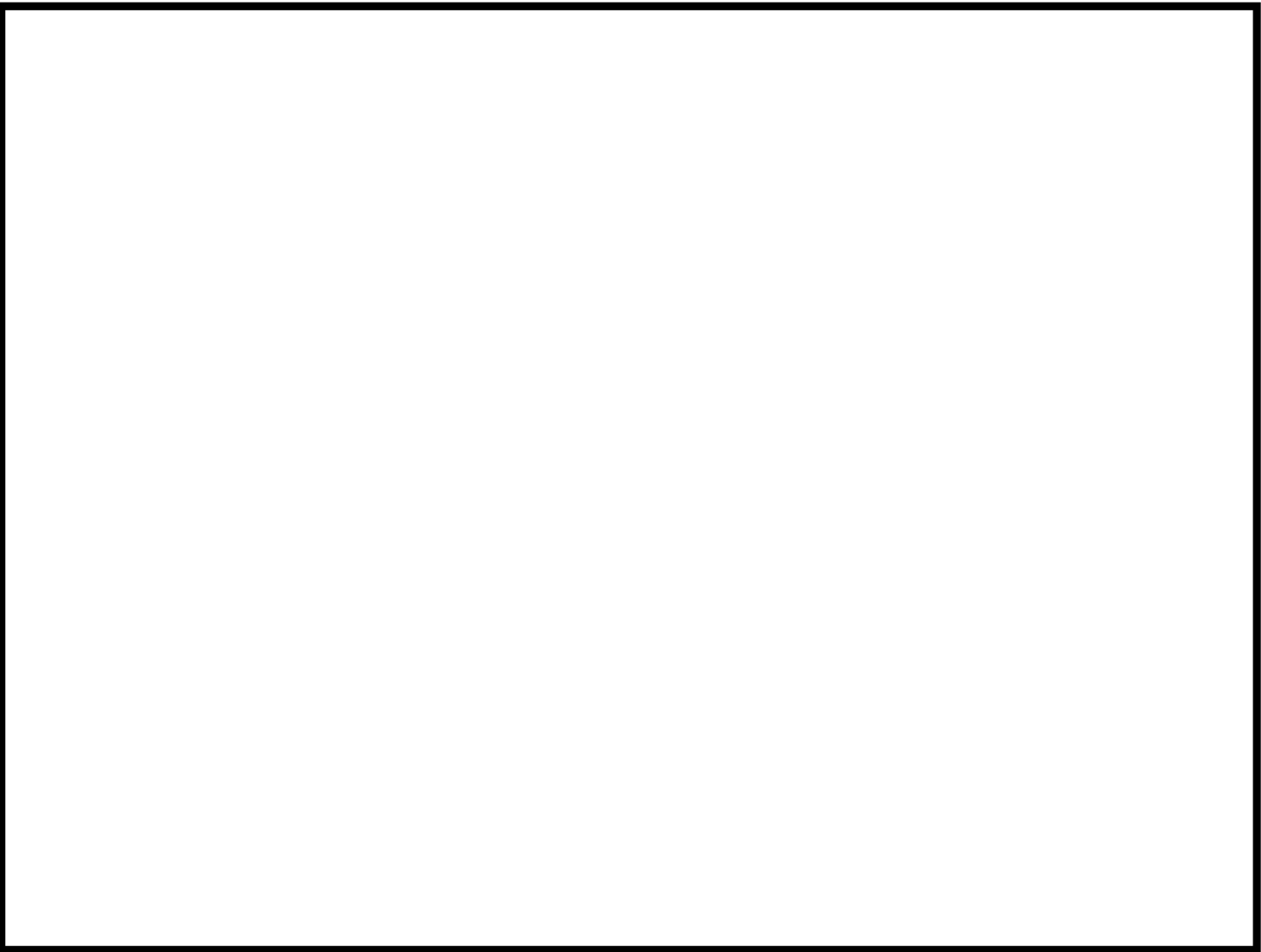


図3 本体横断面図



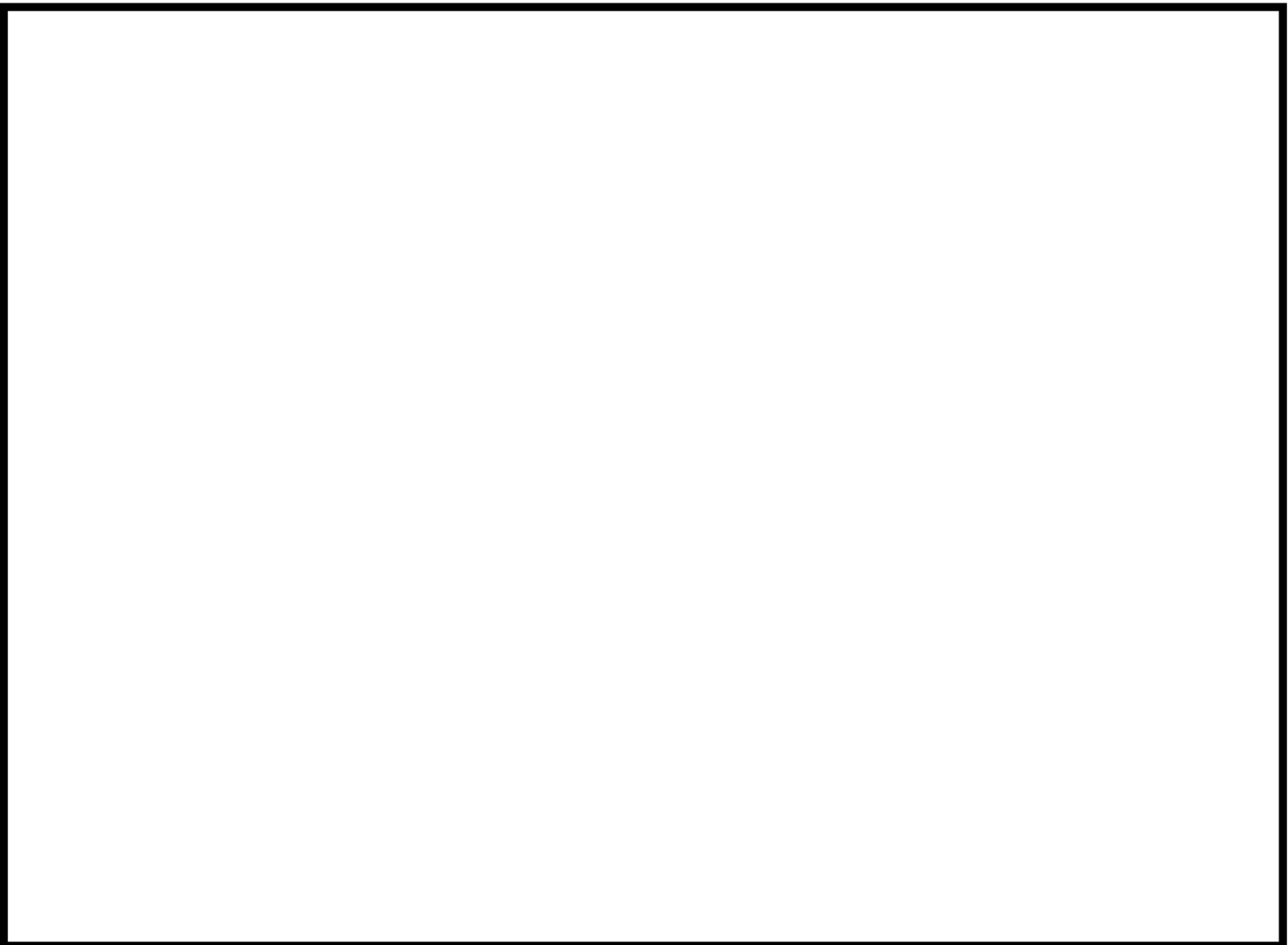


図 4 一次蓋





内は商業機密のため、非公開とします。

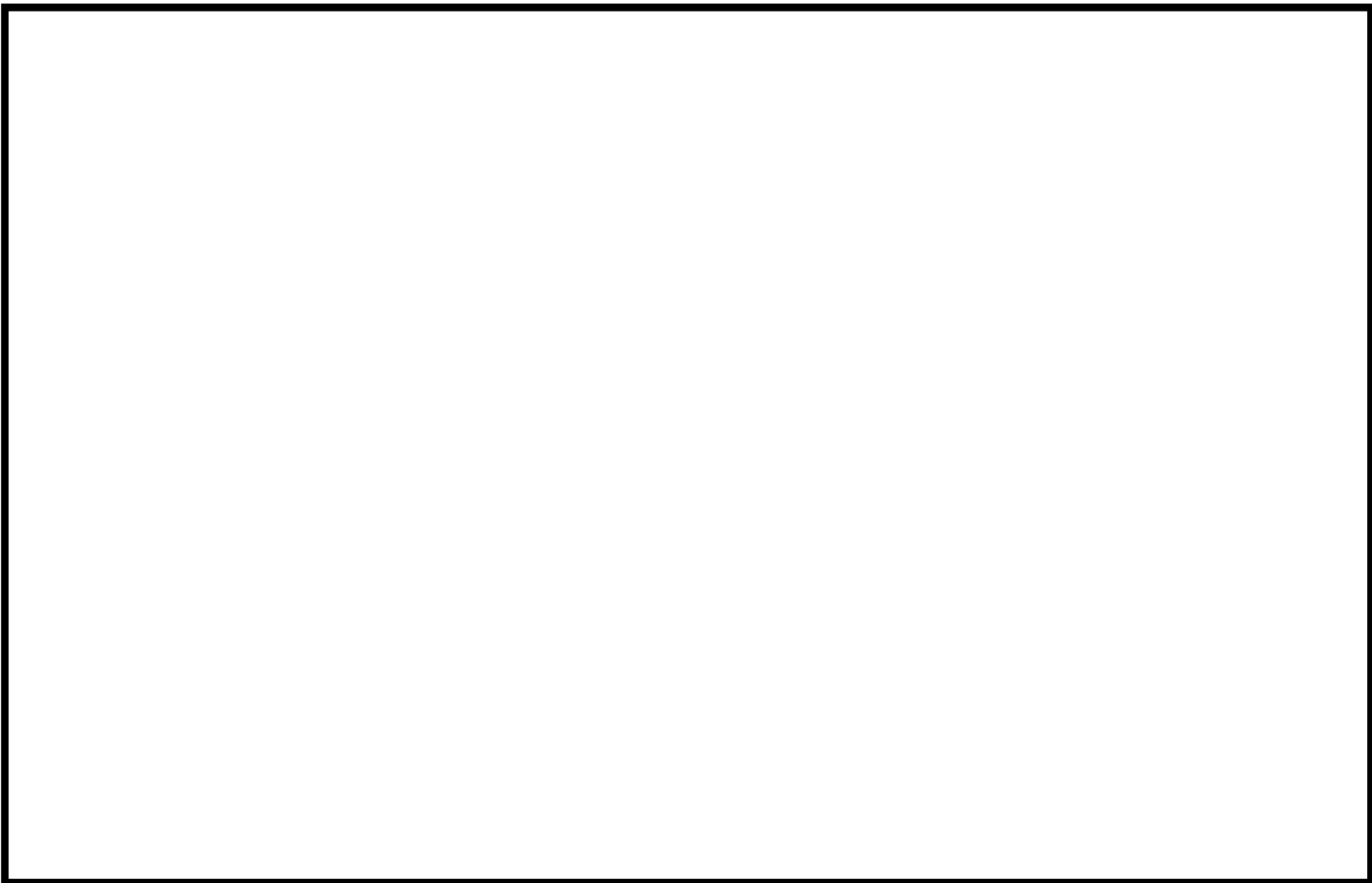


図5 一次蓋貫通孔

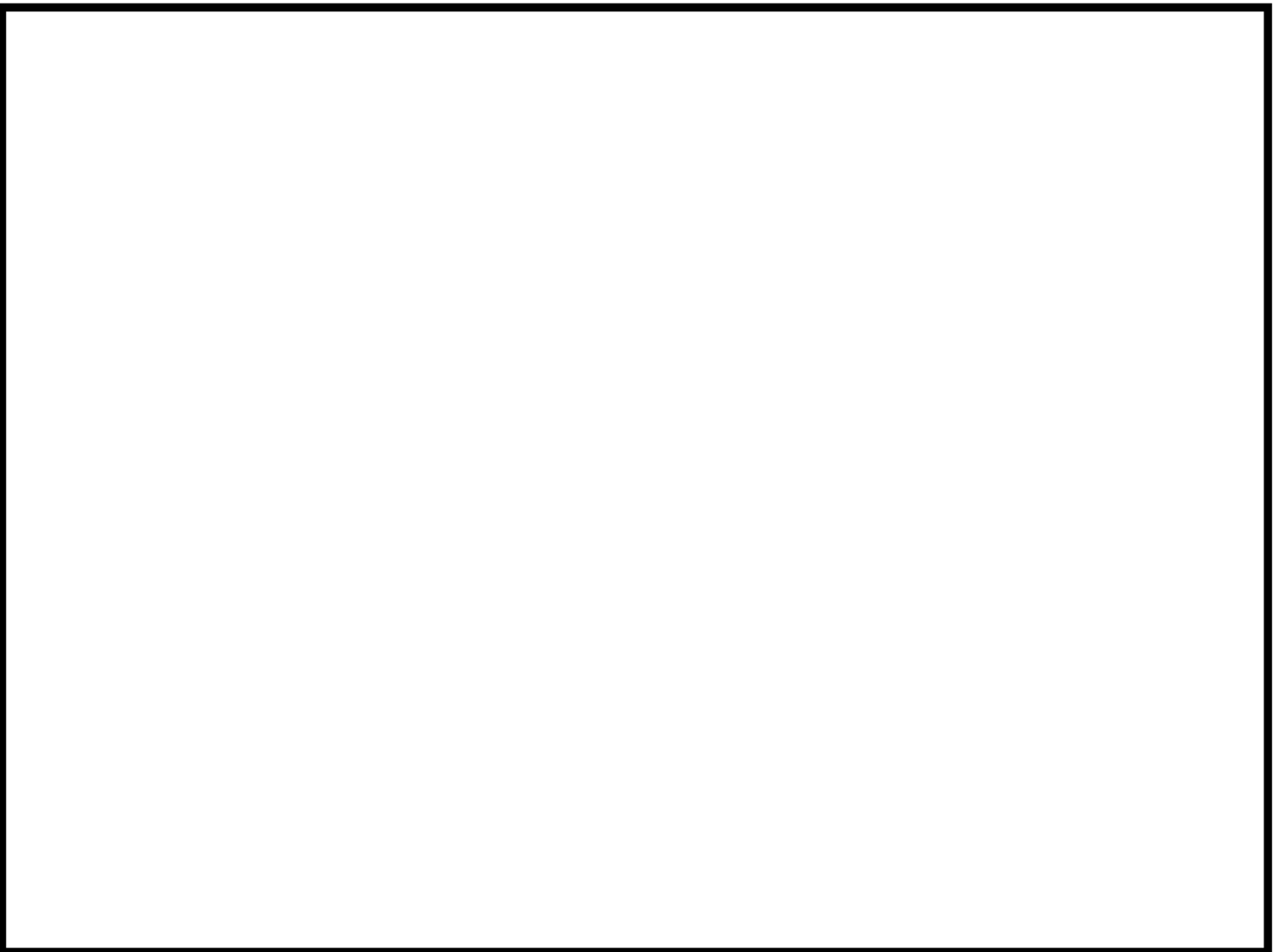


図 6 二次蓋



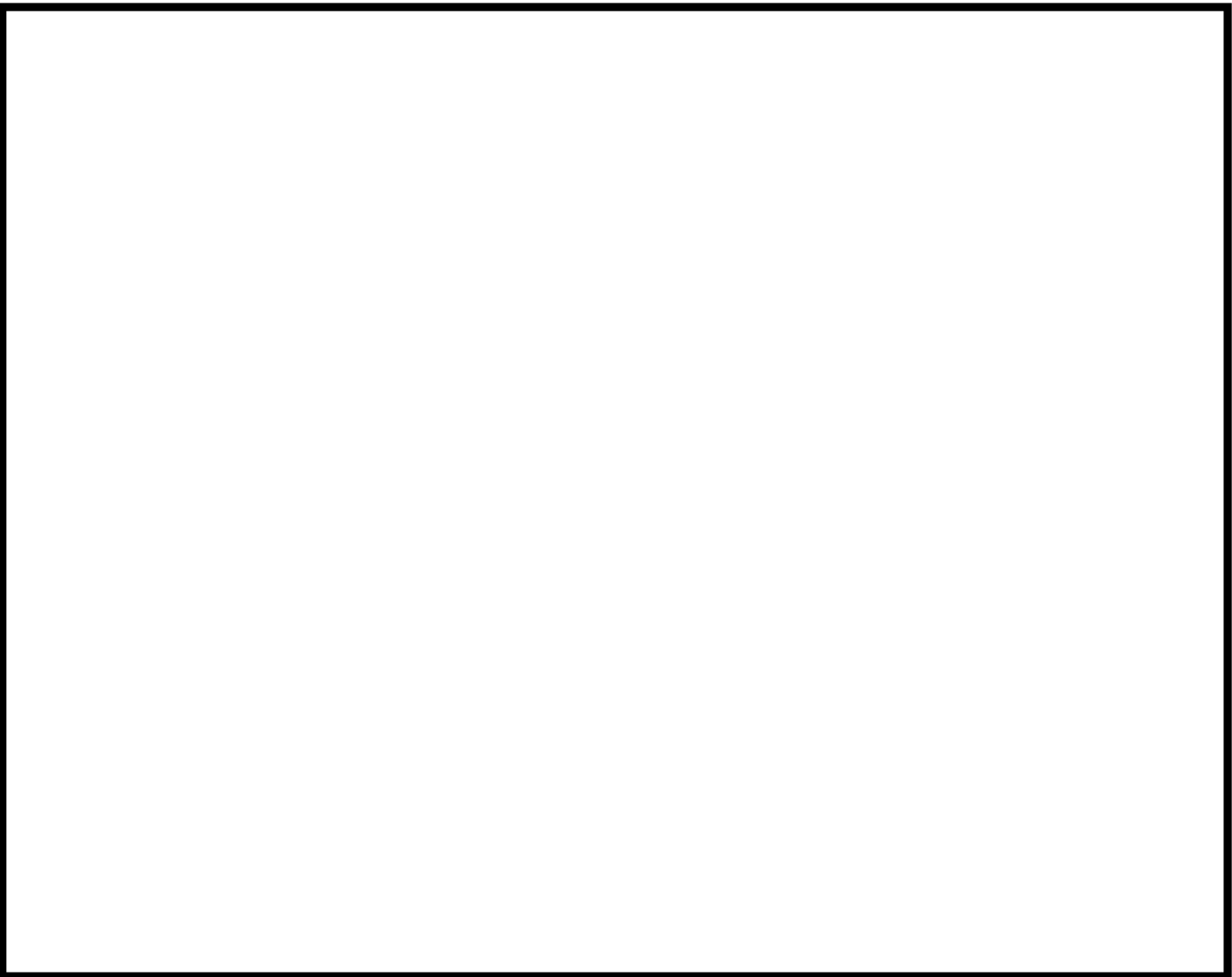


図 7 二次蓋貫通孔





内は商業機密のため、非公開とします。

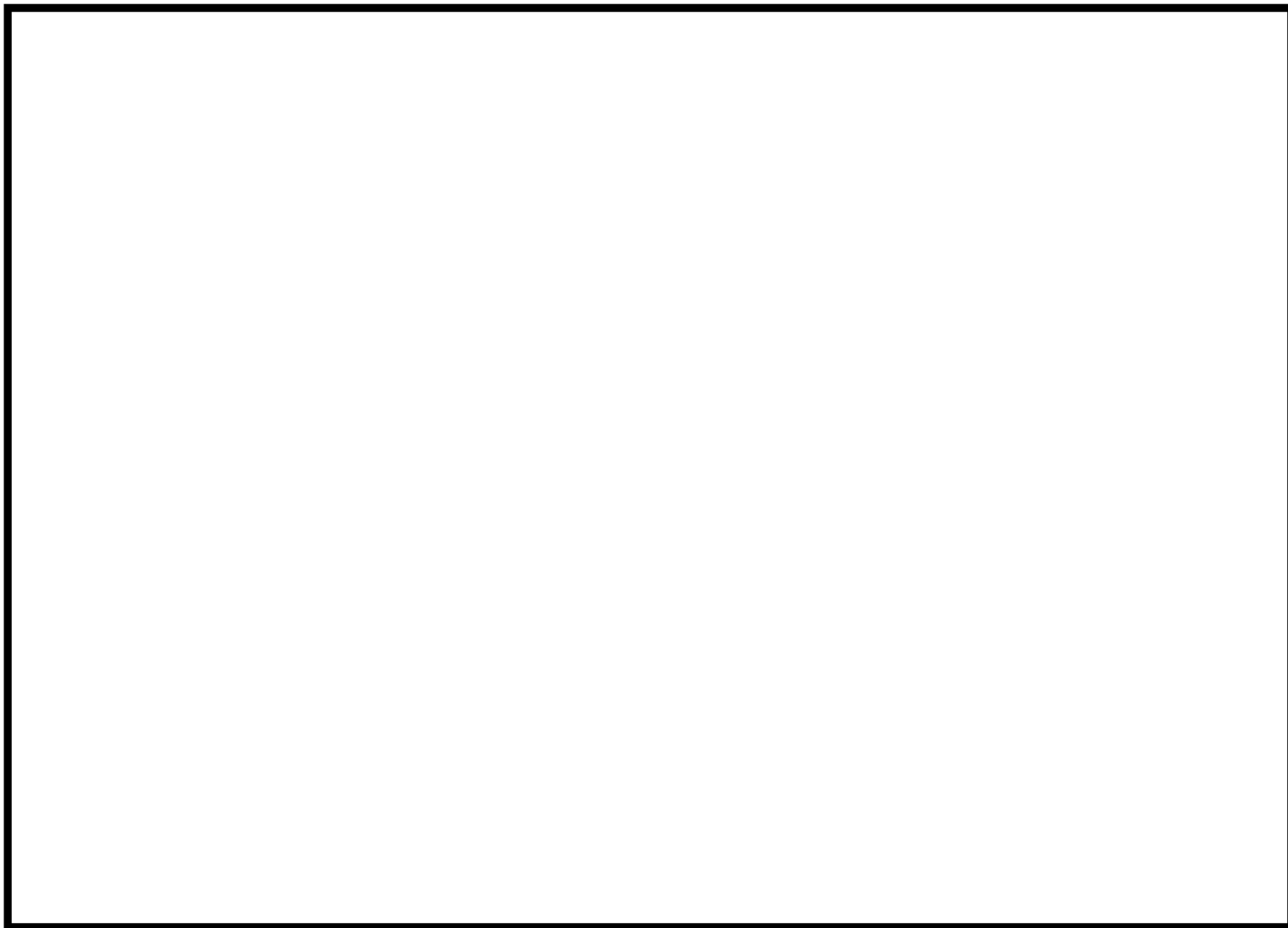


図 8 (1/2) バスケット (1/2)

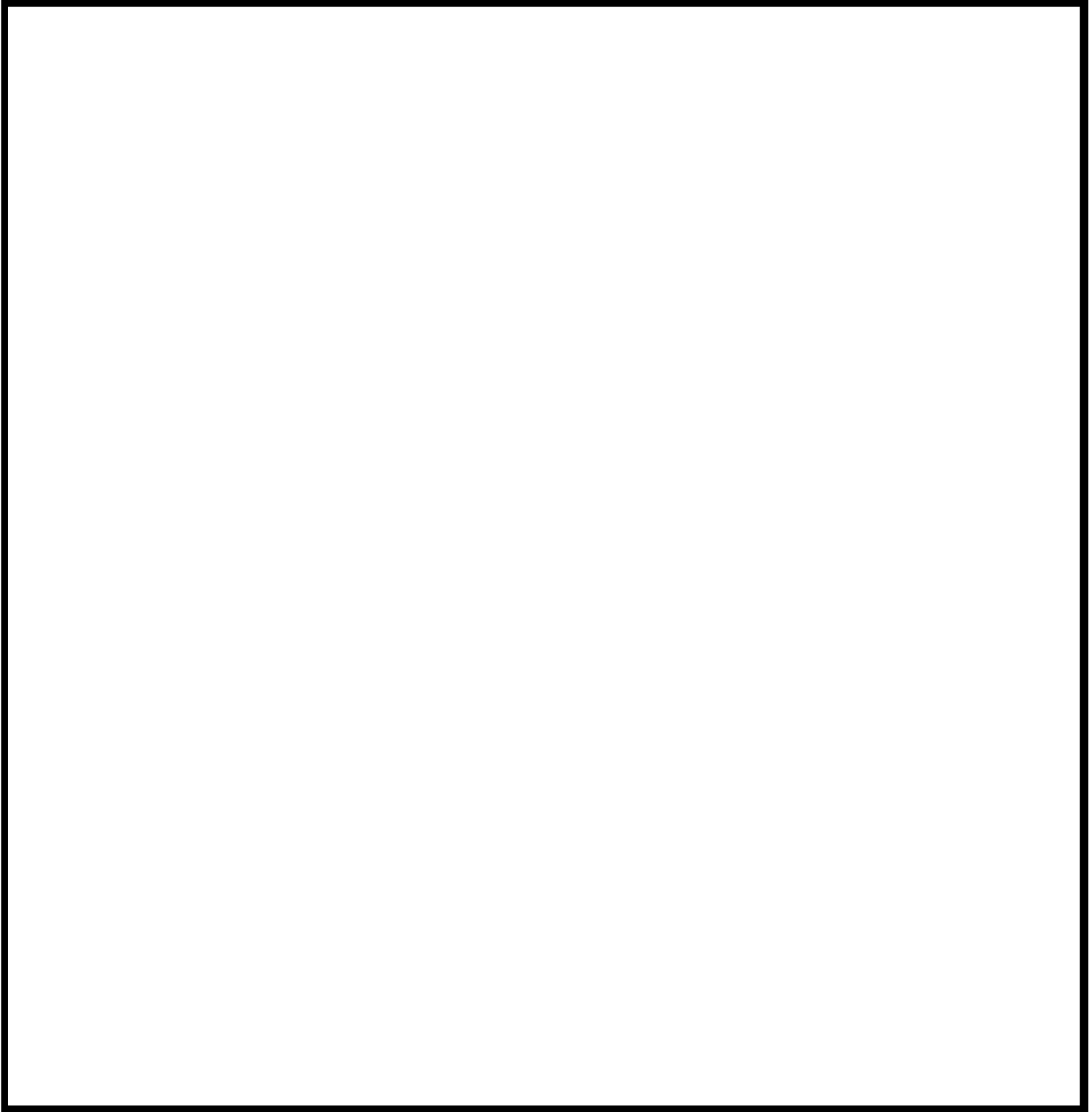


図 8 (2/2) バスケット (2/2)

表 1 Hitz-B69 型の仕様

項 目		仕 様
全質量（使用済燃料集合体を含む）		約 119 t
寸 法	全 長	約 5.4 m
	外 径	約 2.5 m
収 納 体 数		69 体
最 大 崩 壊 熱 量		約 12.8 kW
主 要 材 質	特定兼用キャスク本体	
	胴／底板（ガンマ線遮蔽材） 外筒（ガンマ線遮蔽材） ト ラ ニ オ ン 中 性 子 遮 蔽 材 伝 熱 フ ィ ン	炭素鋼（GLF1） 炭素鋼（SGV480） 析出硬化系ステンレス鋼（SUS630-H1150） 樹脂（NS-4-FR） 銅（C1020P）
	蓋 部（注1）	
	一 次 蓋 二 次 蓋 蓋 ボ ル ト	ステンレス鋼（SUS304） 炭素鋼（SGV480） 合金鋼（SNB23-2）
	バ ス ケ ッ ト	炭素鋼（SG295）、 ステンレス鋼（SUS304） （中性子吸収材を配置）
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 方 式		圧力検出器による蓋間圧力監視

（注 1）工場等外への搬出時には、ゴム O リングをシール材とした三次蓋を装着する。

3. Hitz-B69 型の収納条件

(1) 使用済燃料集合体の仕様及び収納位置条件

Hitz-B69 型に収納する使用済燃料集合体の仕様を表 2 に示す。また、Hitz-B69 型の使用済燃料集合体の収納位置条件は図 9-1 から図 9-4 に示すいずれかの条件に適合するものとする。また、図 9-2 及び図 9-4 の収納位置条件においては、使用済燃料集合体の種類及びその収納位置によって、軸方向燃焼度が図 9-5 に示す軸方向燃焼度の条件を満たすことを発電用原子炉設置者により確認された使用済燃料を収納可能とする。

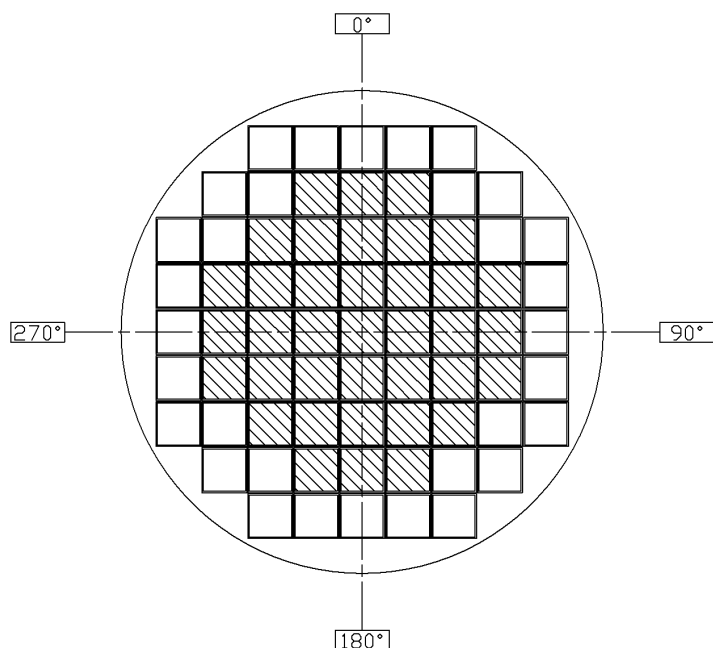
表 2 使用済燃料集合体の仕様（収納条件）


項 目		仕 様			
使用済燃料 集合体の種類		8×8 燃料	新型 8×8 燃料	新型 8×8 ジルコニウムライ 燃料	高燃焼度 8×8 燃料
形 状	集 合 体 幅	約 134 mm	約 134 mm	約 134 mm	約 134 mm
	全 長	約 4,470 mm	約 4,470 mm	約 4,470 mm	約 4,470 mm
質 量		約 280 kg	約 270 kg	約 270 kg	約 270 kg
初期濃縮度 (注 1)		約 2.8 wt%	約 3.1 wt%	約 3.1wt%	約 3.7 wt%
最高燃焼度 (注 2)		30,000 MWd/t	38,000 MWd/t	40,000 MWd/t	48,000 MWd/t
最短冷却期間 (注 3)		34 年	34 年	28 年	20 年

(注 1) 代表的な仕様を示す。

(注 2) 収納する使用済燃料集合体 1 体の燃焼度の平均値の最大値を示す。

(注 3) 収納する使用済燃料集合体の最短の冷却期間を示す。




 燃料種類 : 新型 8×8 燃料

収納体数 : 37 体

燃焼度 : 38,000MWd/t 以下

冷却期間 : 34 年以上


 燃料種類 : 8×8 燃料又は新型 8×8 燃料

収納体数 : 32 体

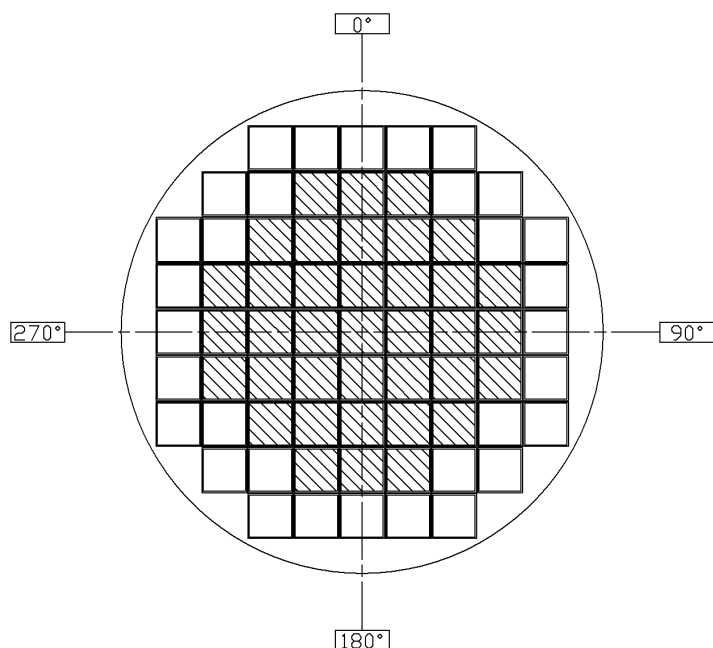
燃焼度 : 30,000MWd/t 以下

冷却期間 : 34 年以上

特定兼用キャスク一基当たりの平均燃焼度 : 35,000MWd/t 以下

特定兼用キャスク一基当たりの崩壊熱量 : 9.5kW 以下

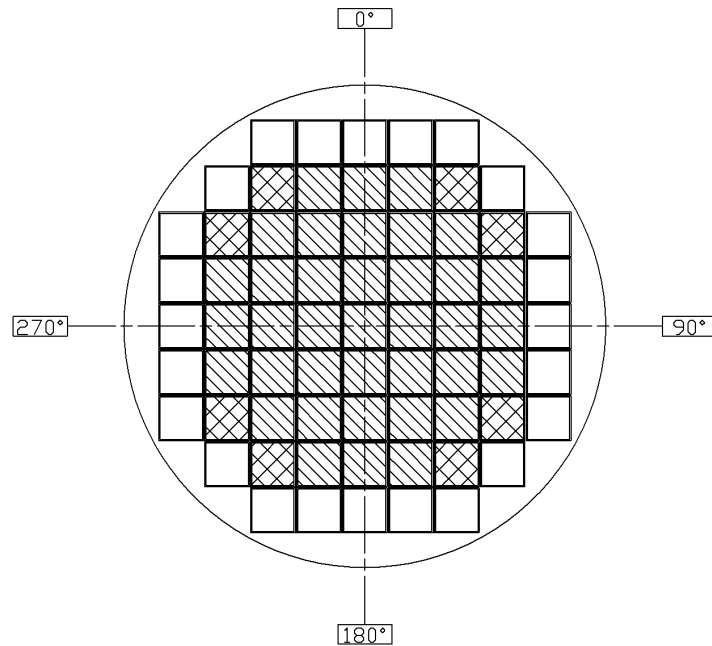
図 9-1 使用済燃料集合体の収納位置条件 (配置(1))
 (8×8 燃料及び新型 8×8 燃料を収納する場合)






- 燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 40,000MWd/t 以下
 冷却期間 : 28 年以上
- 燃料種類 : 新型 8×8 燃料又は新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 35,000MWd/t 以下
 冷却期間 : 34 年以上 (新型 8×8 燃料)
 30 年以上 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)

特定兼用キャスク一基当たりの平均燃焼度 : 35,000MWd/t 以下
 特定兼用キャスク一基当たりの崩壊熱量 : 10.5kW 以下

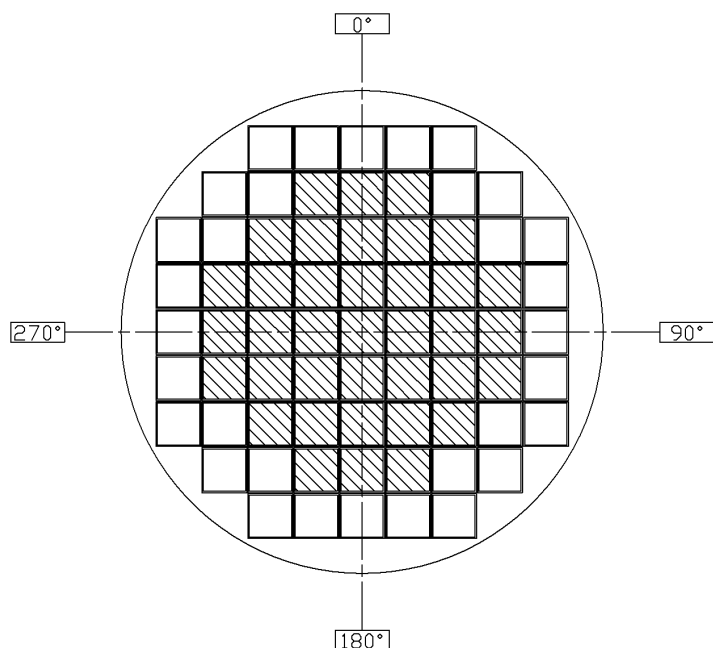
図 9-2 使用済燃料集合体の収納位置条件 (配置(2))
 (新型 8×8 燃料及び新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を収納する場合)





- 
 燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料又は高燃焼度 8×8 燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 40,000MWd/t 以下 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)
 48,000MWd/t 以下 (高燃焼度 8×8 燃料)
 冷却期間 : 28 年以上 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)
 20 年以上 (高燃焼度 8×8 燃料)
- 
 燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料
 収納体数 : 8 体
 燃焼度 : 35,000MWd/t 以下
 冷却期間 : 30 年以上
- 
 燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 24 体
 燃焼度 : 30,000MWd/t 以下
 冷却期間 : 34 年以上

特定兼用キャスクー基当たりの平均燃焼度 : 38,000MWd/t 以下
 (高燃焼度 8×8 燃料の平均燃焼度を 44,000MWd/t 以下とする。)
 特定兼用キャスクー基当たりの崩壊熱量 : 12.4kW 以下

図 9-3 使用済燃料集合体の収納位置条件 (配置(3))
 (新型 8×8 燃料、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を収納する
 場合)



- 
 燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料又は高燃焼度 8×8 燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 40,000MWd/t 以下 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)
 48,000MWd/t 以下 (高燃焼度 8×8 燃料)
 冷却期間 : 28 年以上 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)
 20 年以上 (高燃焼度 8×8 燃料)
- 
 燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 35,000MWd/t 以下
 冷却期間 : 30 年以上

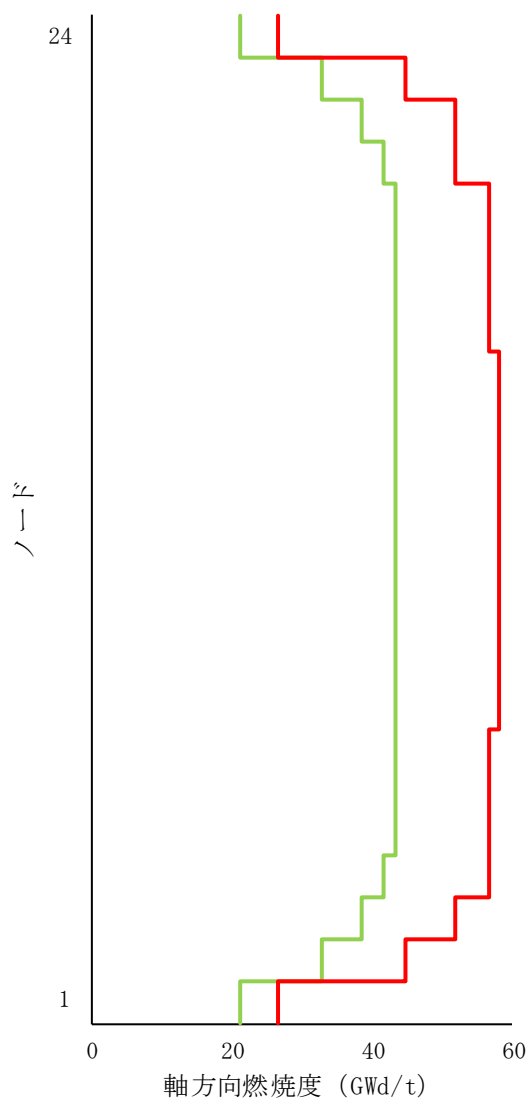
特定兼用キャスク一基当たりの平均燃焼度 : 39,000MWd/t 以下
 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の平均燃焼度を 33,000MWd/t 以下、
 高燃焼度 8×8 燃料の平均燃焼度を 44,000MWd/t 以下とする。)

特定兼用キャスク一基当たりの崩壊熱量 : 12.8kW 以下

図 9-4 使用済燃料集合体の収納位置条件 (配置(4))
 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を収納する場合)

燃料種類		新型 8×8 ジルコニウムライ 燃料	高燃焼度 8×8 燃料
燃焼度		35GWd/t 以下	48GWd/t 以下
ノード		軸方向燃焼度※ (GWd/t)	
(上部)	24	21.00	26.40
	23	32.90	44.64
	22	38.50	51.84
	21	41.65	51.84
	20	43.40	56.64
	19	43.40	56.64
	18	43.40	56.64
	17	43.40	56.64
	16	43.40	58.08
	15	43.40	58.08
	14	43.40	58.08
	13	43.40	58.08
	12	43.40	58.08
	11	43.40	58.08
	10	43.40	58.08
	9	43.40	58.08
	8	43.40	58.08
	7	43.40	56.64
	6	43.40	56.64
	5	43.40	56.64
4	41.65	56.64	
3	38.50	51.84	
2	32.90	44.64	
(下部)	1	21.00	26.40

— 新型8×8ジルコニウムライ燃料 35GWd/t以下
— 高燃焼度8×8燃料 48GWd/t以下



※：配置(2)又は配置(4)の条件で外周部 32 体の位置に収納する新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び配置(4)の条件で中央部 37 体の位置に収納する高燃焼度 8×8 燃料は、軸方向燃焼度が本図の条件に包含される。

図 9-5 使用済燃料集合体の軸方向燃焼度の条件 (配置(2)又は配置(4)の条件で、
 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料又は高燃焼度 8×8 燃料を収納する場合)

4. 貯蔵施設の前提条件

Hitz-B69 型を使用することができる貯蔵施設の概要図（例）を図 10 に示す。貯蔵施設は、キャスク、キャスクを床面に設置するための貯蔵架台及びキャスクの受入れに使用する設備等からなる。

次に、Hitz-B69 型を貯蔵施設で使用するための前提条件を表 3 に示す。

また、原子炉建屋内及び貯蔵施設内における Hitz-B69 型のハンドリングフロー例を別紙 1 に示す。

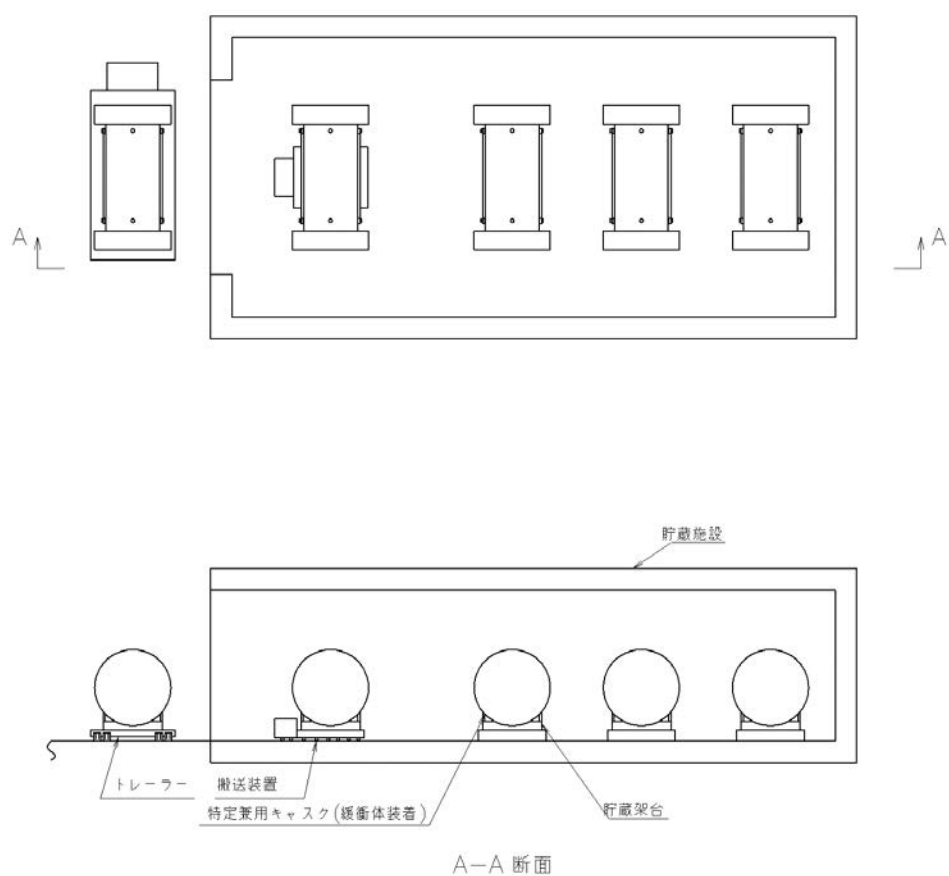


図 10 貯蔵施設概要図（例）

表 3 Hitz-B69 型を貯蔵施設で使用するための前提条件

前提条件		蓋部が金属部に衝突しない設置方法（横置き）
		貯蔵施設内貯蔵
周囲温度	最高	50℃
	最低	-22.4℃
貯蔵施設壁面温度	最高	65℃
貯蔵施設の材質 (屋根・壁・床)		コンクリート（塗装） (放射率 0.8 以上)

5. Hitz-B69 型の設計貯蔵期間

5.1 要求事項

特定機器の設計の型式証明申請において、特定兼用キャスクの設計貯蔵期間に関する要求事項は、以下のとおりである。

(1) 設置許可基準規則要求事項

a. 設置許可基準規則解釈別記 4 第 16 条第 5 項

- ・第 16 条第 2 項第 1 号ハ及び同条第 4 項各号を満たすため、兼用キャスクは、当該兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計とすること。ここで、「兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計」とは、以下を満たす設計をいう。
 - ・設計貯蔵期間を明確にしていること。
 - ・設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮した材料及び構造であること。

(2) 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド確認事項

「4.6 設計貯蔵期間」には、以下のように記載されている。

【審査における確認事項】

設計貯蔵期間は、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

【確認内容】

設計貯蔵期間は、当該設計貯蔵期間中の兼用キャスクの安全機能を評価するに当たり、材料及び構造の経年変化の考慮を行うための前提条件となるため、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

5.2 要求事項への適合性

(1) 設置許可基準規則への適合性

Hitz-B69 型の設計貯蔵期間については、以下のとおり設置許可基準規則に適合している。

a. 設置許可基準規則解釈別記 4 第 16 条第 5 項

第 16 条第 2 項第 1 号ハ及び同条第 4 項各号を満たすため、兼用キャスクは、当該兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計とすること。ここで、「兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計」とは、以下を満たす設計をいう。

- ・ 設計貯蔵期間を明確にしていること。
- ・ 設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮した材料及び構造であること。

Hitz-B69 型の設計貯蔵期間は 60 年として、型式証明申請書で明確にされている。

(2) 審査ガイドへの適合性

Hitz-B69 型の設計貯蔵期間については、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

[確認内容]

設計貯蔵期間は、当該設計貯蔵期間中の兼用キャスクの安全機能を評価するに当たり、材料及び構造の経年変化の考慮を行うための前提条件となるため、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

Hitz-B69 型の設計貯蔵期間は 60 年として、型式証明申請書で明確にされている。また、設計貯蔵期間中の Hitz-B69 型の材料及び構造の健全性については、6. (5) で説明する。

6. Hitz-B69 型の安全設計

3.項の使用済燃料の収納条件を踏まえ、設計貯蔵期間（60年）において、Hitz-B69型が有する安全機能（臨界防止、遮蔽、除熱、閉じ込め）を維持できる設計とする。

また、Hitz-B69型は、特定兼用キャスクの構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及び当該環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持することで使用済燃料の健全性を確保する設計とする。

各安全機能及び長期健全性に対する要求事項への適合性（安全評価）について、以下に示す。

(1) Hitz-B69 型の臨界防止機能

補足説明資料 16-2「臨界防止機能に関する説明資料(Doc. No. GK04-SC-E01)」に示す。

(2) Hitz-B69 型の遮蔽機能

補足説明資料 16-3「遮蔽機能に関する説明資料(Doc. No. GK04-SC-D01)」に示す。

(3) Hitz-B69 型の除熱機能

補足説明資料 16-4「除熱機能に関する説明資料(Doc. No. GK04-SC-B01)」に示す。

(4) Hitz-B69 型の閉じ込め機能

補足説明資料 16-5「閉じ込め機能に関する説明資料(Doc. No. GK04-SC-C01)」に示す。

(5) Hitz-B69 型の長期健全性

補足説明資料 16-6「材料・構造健全性に関する説明資料(Doc. No. GK04-SC-F01)」に示す。

7. Hitz-B69 型の蓋間圧力等の監視について

7.1 要求事項

特定機器の設計の型式証明申請において、Hitz-B69 型の蓋間圧力等の監視に関する要求事項は、以下のとおりである。

(1) 設置許可基準規則要求事項

a. 設置許可基準規則第 16 条第 4 項第三号

- ・使用済燃料が内包する放射性物質を閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

b. 設置許可基準規則解釈別記 4 第 16 条第 4 項

- ・第 16 条第 4 項第 3 号に規定する「放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができる」とは、次項に規定するもののほか、貯蔵事業許可基準規則解釈第 5 条第 1 項第 1 号及び第 2 号並びに第 17 条第 1 項第 1 号に規定する金属キャスクの設計に関する基準を満たすことをいう。
- ・貯蔵事業許可基準規則解釈第 17 条第 1 項
第 1 項に規定する「適切に監視することができる」とは、以下の設計をいう。
 - 一 蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること。

(2) 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド確認事項

「2.安全機能の確保 2.4 閉じ込め機能」には、以下のように記載されている。

【審査における確認事項】

- (1) 設計上想定される状態において、兼用キャスクが内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができること。

【確認内容】

- (1) 長期間にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、耐熱性、耐食性等を有し耐久性の高い金属ガスケット等のシールを採用するとともに、蓋部を一次蓋と二次蓋の二重とし、一次蓋と二次蓋との間の圧力（以下「蓋間圧力」という。）を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること。

また、「4.自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.4 監視機能」には、以下のよう

【審査における確認事項】

蓋間圧力及び兼用キャスク表面温度について、適切な頻度での監視をすること。

【確認内容】

- (1) 蓋間圧力を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、閉じ込め機能が低下しても、FP ガス等の放出に至る前に、密封シール部の異常を検知できる頻度をいう。頻度の設定に当たっては、設計貯蔵期間中の兼用キャスク発熱量の低下、周囲環境の温度変化及び蓋間圧力の変化を考慮する。
- (2) 兼用キャスク表面温度を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、除熱機能が低下しても、兼用キャスクや燃料被覆管が健全であるうちに異常を検知できる頻度をいう。

7.2 要求事項への適合性

Hitz-B69 型の蓋間圧力等の監視については、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

〔確認内容〕

- (1) 長期間にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、耐熱性、耐食性等を有し耐久性の高い金属ガスケット等のシールを採用するとともに、蓋部を一次蓋と二次蓋の二重とし、一次蓋と二次蓋との間の圧力（以下「蓋間圧力」という。）を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること。

上記の内容への適合性については、6. (4) で説明する。

〔確認内容〕

- (1) 蓋間圧力を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、閉じ込め機能が低下しても、FP ガス等の放出に至る前に、密封シールの異常を検知できる頻度をいう。頻度の設定に当たっては、設計貯蔵期間中の兼用キャスク発熱量の低下、周囲環境の温度変化及び蓋間圧力の変化を考慮する。
- (2) 兼用キャスク表面温度を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、除熱機能が低下しても、兼用キャスクや燃料被覆管が健全であるうちに異常を検知できる頻度をいう。

上記の内容については、型式証明の申請範囲外（設置（変更）許可時の別途確認事項）とする。

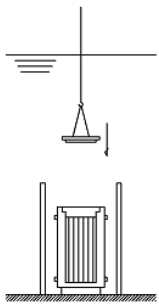
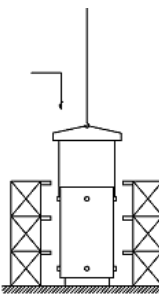
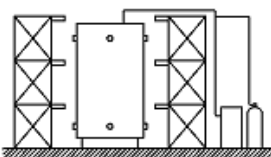
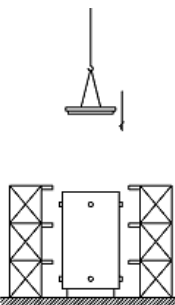
Hitz-B69 型のハンドリングフロー例

1. 概要

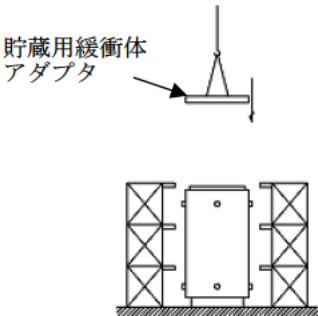
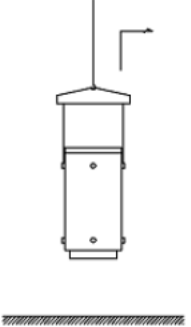
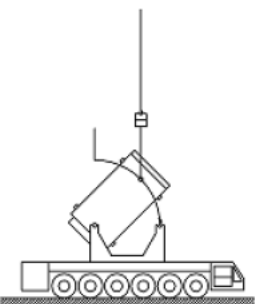
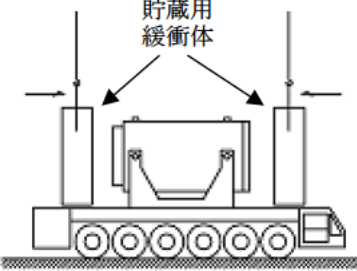
原子炉建屋内及び貯蔵施設内における Hitz-B69 型のハンドリングフロー例を以下に示す。

- ・原子炉建屋内における Hitz-B69 型のハンドリングフロー例（別紙 1-1 図参照）
- ・貯蔵施設内における Hitz-B69 型のハンドリングフロー例（別紙 1-2 図参照）

＜原子炉建屋における燃料装荷～貯蔵用緩衝体取付け＞

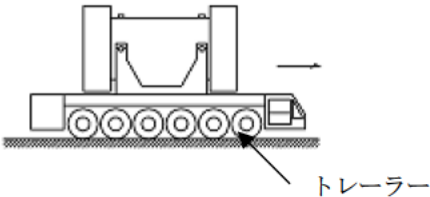
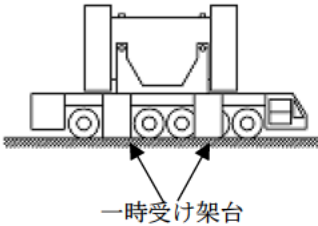
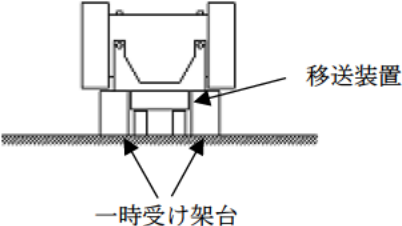
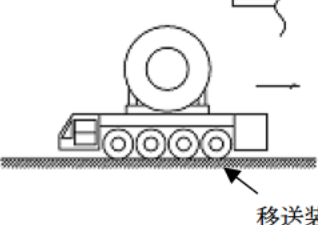
No.	取扱いモード
1-1	<ul style="list-style-type: none"> 燃料装荷、一次蓋取付け 
1-2	<ul style="list-style-type: none"> 容器吊上げ、移動、吊降し 
1-3	<ul style="list-style-type: none"> 排水、真空乾燥、不活性ガス充填、一次蓋密封確認 
1-4	<ul style="list-style-type: none"> 二次蓋取付け、蓋間圧力調整、二次蓋密封確認 

別紙 1-1 図 原子炉建屋内における Hitz-B69 型のハンドリングフロー例 (1/2)

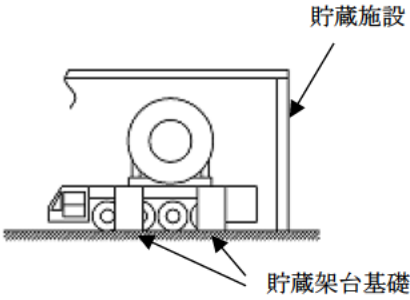
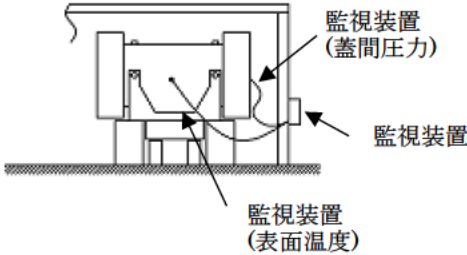
No.	取扱いモード
1-5	<p>・貯蔵用緩衝体アダプタ取付け</p> 
1-6	<p>・容器移動</p> 
1-7	<p>・横倒し</p> 
1-8	<p>・貯蔵用緩衝体取付け</p> 

別紙 1-1 図 原子炉建屋内における Hitz-B69 型のハンドリングフロー例 (2/2)

＜貯蔵施設への搬送～貯蔵＞

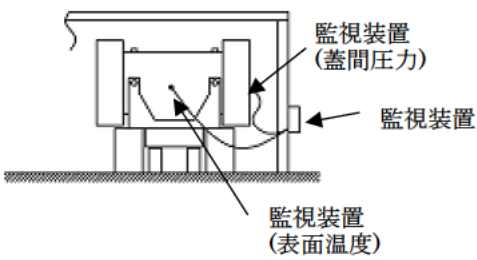
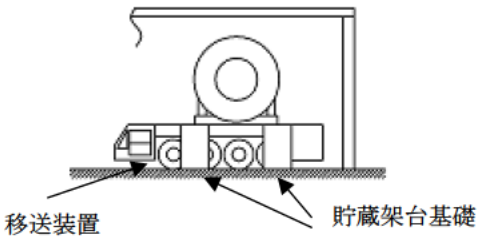
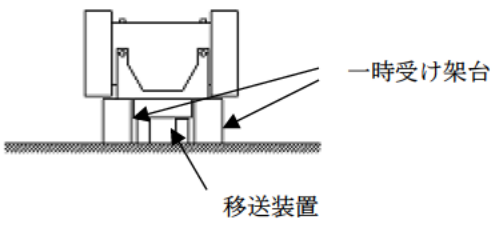
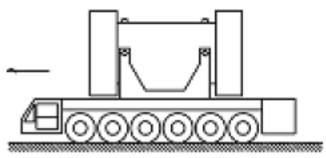
No.	取扱いモード
2-1	<ul style="list-style-type: none"> ・トレーラーで搬送 
2-2	<ul style="list-style-type: none"> ・一次受け架台へ移送 
2-3	<ul style="list-style-type: none"> ・移送装置へ載せ替え 
2-4	<ul style="list-style-type: none"> ・移送装置での移送 

別紙 1-2 図 貯蔵施設内における Hitz-B69 型のハンドリングフロー例 (1/5)

No.	取扱いモード
2-5	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵架台基礎への設置 
2-6	<ul style="list-style-type: none"> ・監視装置取り付け 

別紙 1-2 図 貯蔵施設内における Hitz-B69 型のハンドリングフロー例 (2/5)

＜貯蔵施設における貯蔵～保管建屋へ移送＞

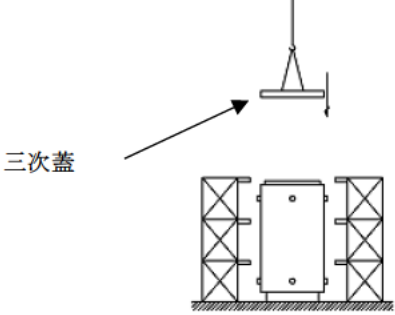
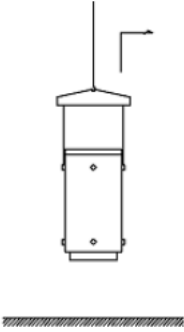
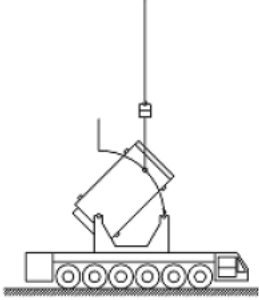
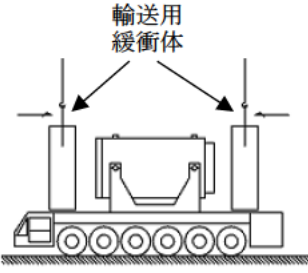
No.	取扱いモード
3-1	<p>・監視装置の取外し</p> 
3-2	<p>・貯蔵架台基礎からの移送</p> 
3-3	<p>・一時受け架台に移送</p> 
3-4	<p>・トレーラーへの載せ替え、保管建屋に移送</p> 

別紙 1-2 図 貯蔵施設内における Hitz-B69 型のハンドリングフロー例 (3/5)

<保管建屋へ移送～輸送用緩衝体取付け>

No.	取扱いモード
3-5	<p>・貯蔵用緩衝体の取り外し</p>
3-7	<p>・立て起こし</p>
3-7	<p>・容器移動</p>
3-8	<p>・貯蔵用緩衝体アダプタの取り外し</p>

別紙 1-2 図 貯蔵施設内における Hitz-B69 型のハンドリングフロー例 (4/5)

No.	取扱いモード
3-9	<ul style="list-style-type: none"> • 三次蓋の取り付け、三次蓋密封確認 
3-10	<ul style="list-style-type: none"> • 容器移動 
3-11	<ul style="list-style-type: none"> • 横倒し 
3-12	<ul style="list-style-type: none"> • 輸送用緩衝体の取り付け、搬出 

別紙 1-2 図 貯蔵施設内における Hitz-B69 型のハンドリングフロー例 (5/5)

バスケットの構造について

1. 概要

Hitz-B69 型のバスケットの構造について説明する。

2. 構造の概要

Hitz-B69 型のバスケットは、燃料集合体を収納する炭素鋼製のコンパートメント（以下、角チューブと同義）、臨界防止のためにコンパートメント間に配置する中性子吸収材、コンパートメント間の隙間を保持するスペーサー、これらを束ね径方向の荷重を支持するためのサポートプレート、並びに上部格子枠及び底部プレートで構成される。

Hitz-B52 型との違いとしては次のとおりである。

Hitz-B52 型は、バスケットの全長にわたり、コンパートメントで構成されており、その上部及び下部は上部プレート及び底部プレートが配置されている。一方で、Hitz-B69 型のバスケット上部構造は、全長をコンパートメントとするのではなく、コンパートメントと上部格子枠の組み合わせに変更している。Hitz-B69 型においては、キャスク重量は使用済燃料の収納体数の増加分だけ（52 体→69 体）増加することになるが、一方でキャスクの取扱制限重量は Hitz-B52 型と Hitz-B69 型で大きく変わらないことから、バスケットの重量低減を図る必要がある。そのため、全長をコンパートメントとする構造から、上部格子枠に変更することとした。上部格子枠は、燃料領域より上部に位置する使用済燃料のハンドル部及び上部構造体部分には中性子吸収材を配置する必要がないことから、主に支持機能を持つための構造に見直すことで、部材重量の低減を図ることとした。このバスケットと使用済燃料集合体との位置関係を図 別 2-1 に示す。

バスケットの全体構成は、外周のコンパートメントをサポートプレート等で結合し、上端は上部格子枠を配置し、下端は底部プレートとボルトで締結することで全体の構造を成している。サポートプレートは、分割し、クランプ及び という連結部材で サポートプレートを締結している。（以下、クランプと による締結構造をクランプ構造とする。）クランプ構造は、サポートプレートの表裏（上下）一組で、締結構造を有している。サポートプレートは 分割しているので、クランプ構造がない場合は、コンパートメント等はキャスク本体胴内のごく限定された範囲で径方向に広がる方向に変位する可能性があるが、クランプ構造を設けることによって通常取扱時の変位を拘束し、例えば 9m 落下のような大きな衝撃加速度が発生する場合には、コンパートメント等の変位を制限することにより、コンパートメント、スペーサー及び中性子吸収材の幾何学的配置が損なわれない構造としている。

バスケットの構造を図 別 2-2 に示す。

別紙 2-1

内は商業機密のため、非公開とします。

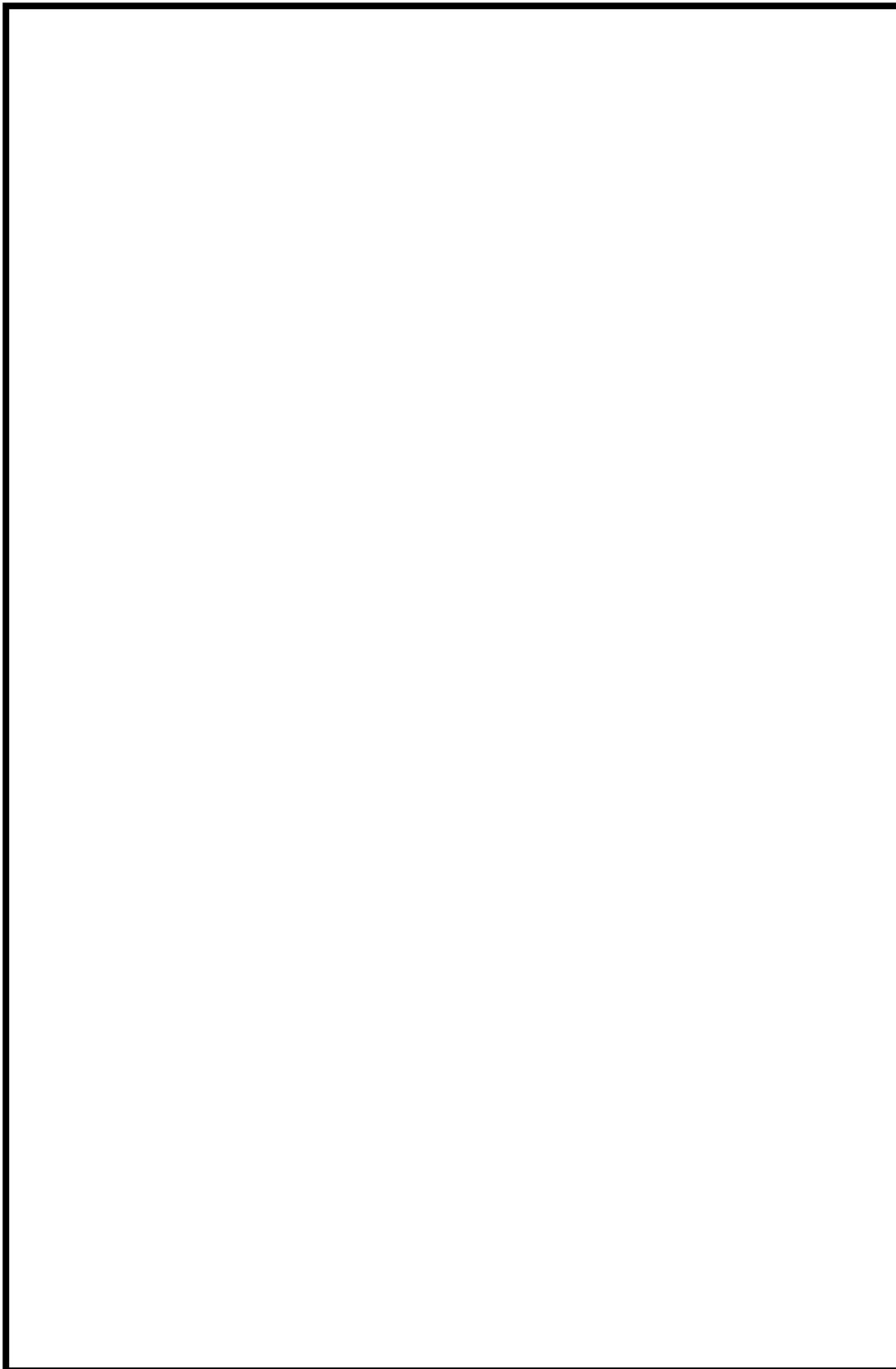



図 別 2-1 バスケットと燃料集合体関係図

別紙 2-2

 内は商業機密のため、非公開とします。

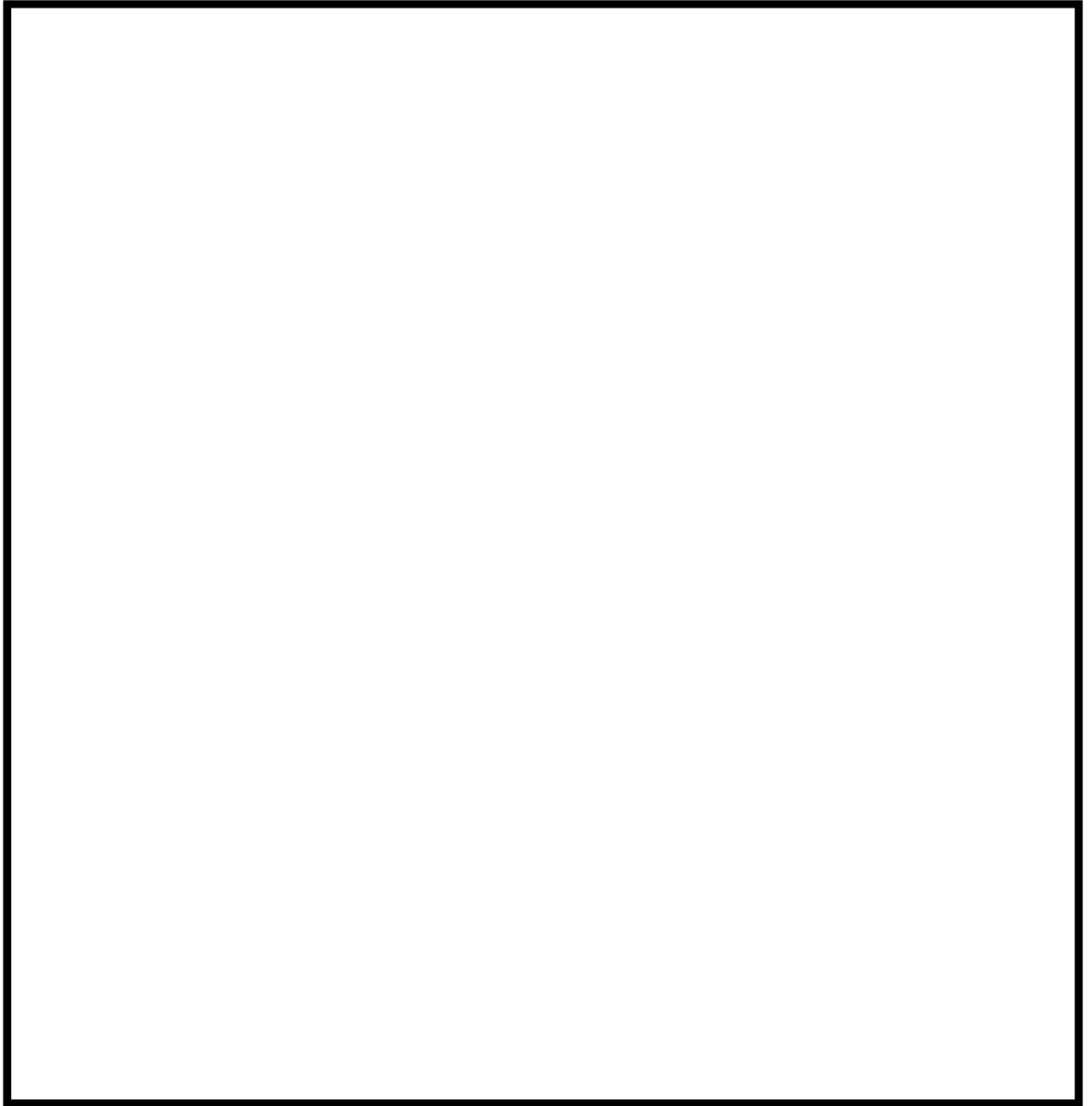


図 別 2-2 (1/2) バスケットの構造

別紙 2-3



内は商業機密のため、非公開とします。

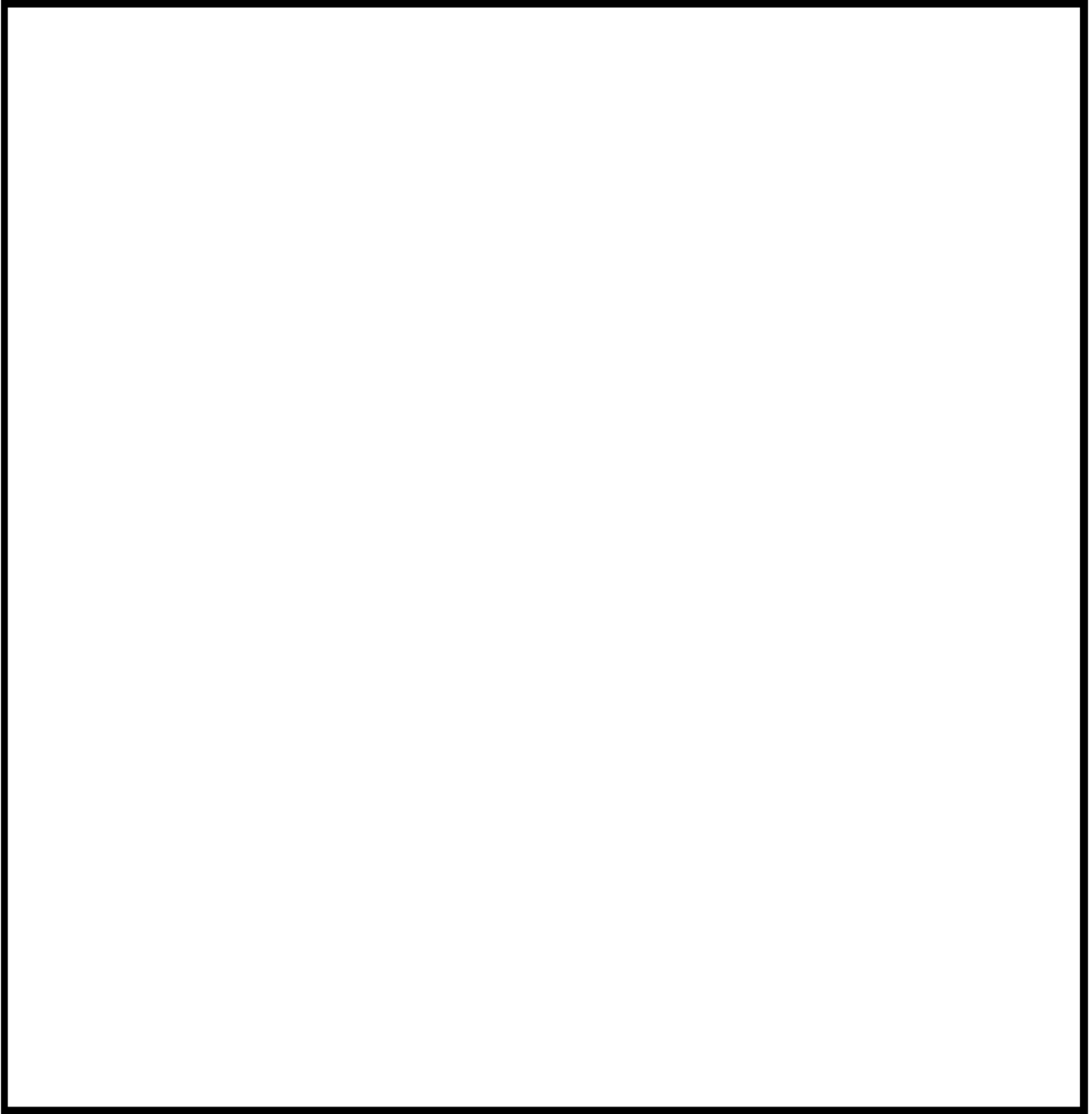


図 別 2-2 (2/2) バスケットの構造

別紙 2-4



内は商業機密のため、非公開とします。

3. クランプ構造について

クランプ構造は、[] 分割したサポートプレートを [] 締結するための構造体であり、[] 及びクランプの各部品により構成される。[] は、[] 分割されたサポートプレートの [] 一対がサポートプレートを上下に貫通した構造で、サポートプレートは [] クランプは一対の []

クランプ自体はボルトにより [] に固定される構造である。

このクランプ構造部は、バスケットの構造強度解析ではサポートプレートを締結する要素として、解析モデルでは、[] でモデル化している。これは、Hitz-B52 型と同様の設計方針であり、「Doc No. MA035A-RD-X04 Rev.0、Hitz-B52 型のバスケットの概要」で説明している。

Hitz-B52 型では、クランプはバスケット外側から挟み込む方式であるが、Hitz-B69 型ではバスケット上部側及び下部側から挟み込む方式としている。これは、Hitz-B69 型の燃料体数の増加によるバスケット外径や重量の増加に対し、バスケット外径や重量の低減を図るため、クランプの取付方向を見直すこととした。クランプの取付方向に違いはあるが、クランプ構造の機能や評価方法としては Hitz-B52 型と同様である。

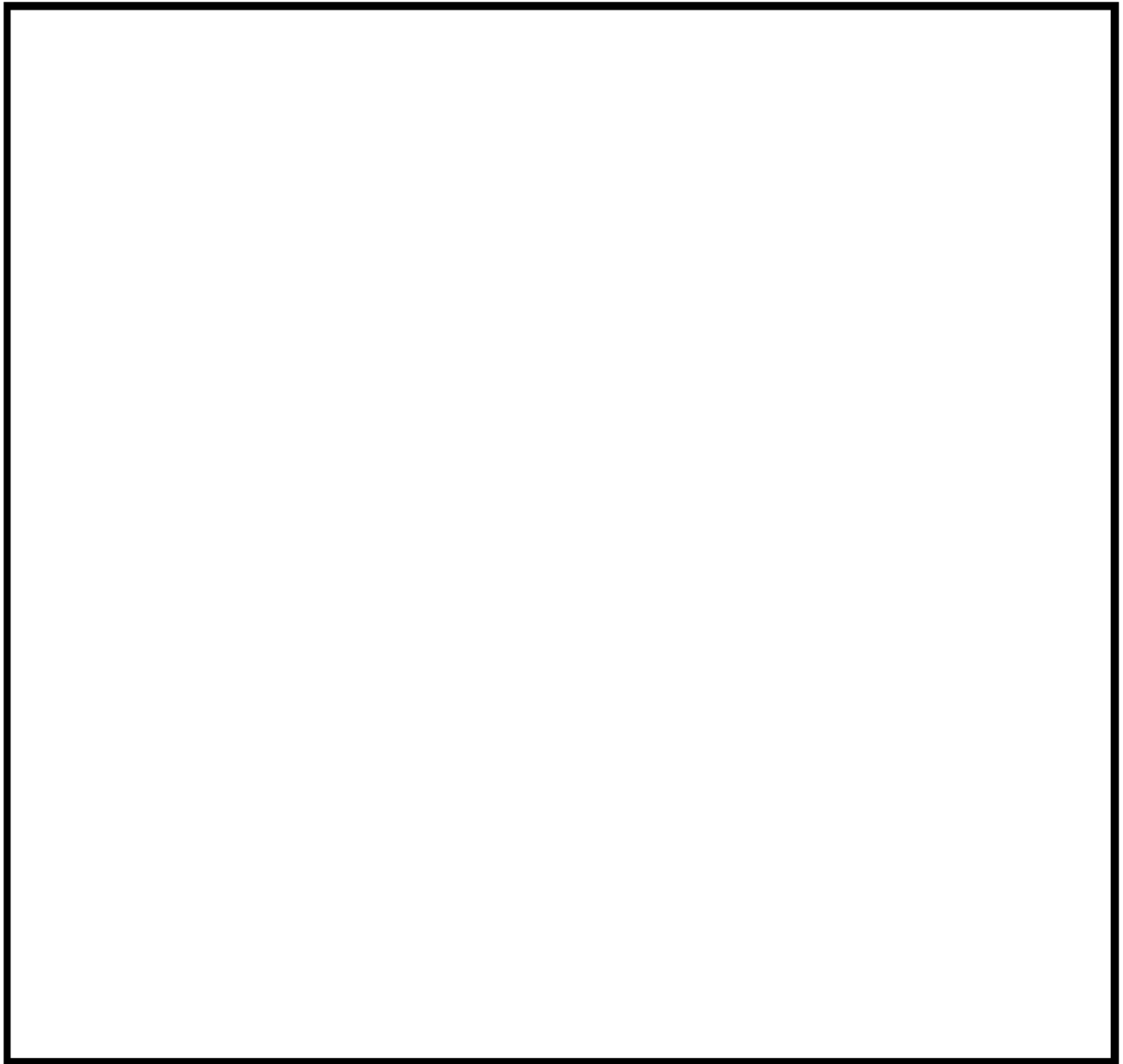



図 別 2-3 クランプ部の概要

別紙 2-6

 内は商業機密のため、非公開とします。

バスケット材料 (JIS G 3116 SG295) の適用について

1. 概要

Hitz-B69 型のバスケットの格子部に使用する材料 (JIS G 3116 SG295) について説明する。

バスケット材としては、貯蔵時だけでなく輸送時の各試験条件にも耐える構造強度を持ち、臨界防止をはじめとする各安全機能を満足する設計が求められる。JSME S FA1-2007 金属キャスク構造規格 (2007 年版) では、バスケット材として使用できる炭素鋼としては JIS G 3118 (最小板厚 6mm) が規定されていることから、Hitz-B52 型は同材料を適用している。Hitz-B69 型においては、キャスク重量は使用済燃料の収納体数の増加 (52 体→69 体) に伴い増加することになるが、一方でキャスクの取扱制限重量は Hitz-B52 型と Hitz-B69 型で大きく変わらないことから、バスケットの重量低減化を主目的として、上述の JIS G 3118 材と類似の組成を持ち、板厚が JIS G 3118 材の下限値である 6mm 以下が規定されている JIS G 3116 (板厚: 1.6mm 以上、6mm 以下) も使用できるように、データを取得した。

ここで、JSME S NJ1-2012 材料規格 (2012 年版) では、同規格 Part 2 第 1 章表 1 「使用する材料の規格」に規定されていない材料に対して、同規格添付 1 「新規材料採用ガイドライン」に従いデータを整備することで、本規格に登録する方法が規定されていることから、この「新規材料採用ガイドライン」に準じて、強度データ、物性値を取得することとした。

2. SG295 のバスケット材料への適用性

Hitz-B69 型キャスクに用いるバスケット材料 (JIS G 3116 SG295) は、JSME S FA1-2007 金属キャスク構造規格 (2007 年版) に規定されていない材料であるが、JSME S NJ1-2012 材料規格 (2012 年版) (以下、「JSME 材料規格」とする。) の新規材料採用ガイドラインに基づいた手法で、SG295 の高温引張特性を取得し、材料規定を定めることとした。

SG295 材のバスケット材料への適用性としては、JSME S FA1-2007 にバスケット材料として記載のある JIS G 3118 SGV410、SGV450、SGV480 と製造方法や化学成分が同等といえる熱間圧延鋼材であることや類似の機械的性質を持つこと、材料規格の鋼材への共通要求項目を考慮して、バスケットに使用する SG295 材はキルド鋼とすることから、キャスクに使用する他の鋼材と同様、クリープが問題となることはなく、熱、放射線の影響、腐食などの他の鋼材と同様に、長期健全性の観点で評価し、問題がないことが確認できる。そのため、新規材料採用ガイドラインに基づいて高温引張特性を取得し、使用温度における設計降伏点等の材料規定を定めることで、バスケット材として適用できる。

同等であることを確認するため、JIS G 3118 SGV410、SGV450、SGV480 と JIS G 3116 SG295 の化学成分の比較を表 別 3-1 に示す。また、機械的特性の比較を表 別 3-2 に示す。

表 別 3-1 JIS G 3118 と JIS G 3116 の化学成分の比較

規格	種類の記号	化学成分(%)				
		C	Si	Mn	P	S
JIS G 3116	SG295	≦0.20	≦0.35	≦1.00	≦0.020	≦0.020
JIS G 3118 (12.5mm 以下)	SGV410	≦0.21	0.15~0.40	0.85~1.20	≦0.020	≦0.020
	SGV450	≦0.24	0.15~0.40	0.85~1.20	≦0.020	≦0.020
	SGV480	≦0.27	0.15~0.40	0.85~1.20	≦0.020	≦0.020

表 別 3-2 JIS G 3118 と JIS G 3116 の機械的特性の比較

規格	種類の記号	降伏点又は耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	曲げ性	
					曲げ角度	内側半径
JIS G 3116	SG295	≧295	≧440	≧26	180°	厚さの 1.5 倍
JIS G 3118	SGV410	≧225	410~490	≧19	180°	厚さの 0.5 倍
	SGV450	≧245	450~540	≧17	180°	厚さの 0.75 倍
	SGV480	≧265	480~590	≧15	180°	厚さの 1.0 倍

3. ASME 規格の考慮について

原子力規制委員会の「発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版)」(JSME S NJ1-2012) に関する技術評価書のうち新規材料採用ガイドラインの項で、「ASME 規格や JIS B 8267 では、ボルト材を除く材料の許容引張応力 S の設定方法について、オーステナイト系ステンレス鋼等として 2 種類の許容引張応力 S を示し、フランジ等のひずみが大きく影響するものには高い方の値を用いるべきではない旨規定しているのに対し、材料規格の新規材料採用ガイドラインには該当規定がない等、必ずしも ASME 規格と整合したものとなっていない」と記載されているが、本材料に関しては、バスケットの格子に使用する材料であり、フランジ等の変形が耐漏えい性に影響を及ぼす可能性がある部位ではないため、「フランジ等のひずみが大きく影響するもの」には該当しないと考える。

次に、新規材料採用ガイドラインに相当する ASME Section II Part D, Mandatory Appendix, Guidelines on the Approval of New Materials under the ASME Boiler and Pressure Vessel Code (以下、「ASME 材料規格ガイドライン」という。)によれば、降伏点(耐力) S_y の設定に関しては JSME 材料規格と同様であるが、設計引張強さ S_u の設定においては、以下に示す通り係数に違いがある。

JSME 材料規格：各温度での設計引張強さ = $R_T \times S_T$

ASME 材料規格ガイドライン：各温度での設計引張強さ = $1.1R_T \times S_T$

ここで、

R_T ：当該温度での引張強さ/常温の引張強さ (ASME では、常温引張強さに対する引張強さの平均温度依存トレンド曲線の割合と定義されており、同義)

S_T ：常温の引張強さの規格値

しかしながら、本材料の設定においては、JSME 材料規格に従っているため ASME 材料規格ガイドラインで規定されている 1.1 倍は考慮しておらず、ASME 材料規格ガイドラインの S_u 値よりも 1 割程度保守的な設定であることから問題ないものとする。

設計応力強さ S_m については、JSME 材料規格と ASME 材料規格ガイドラインは同様である。設計応力強さ S_m の設定方法の比較を表 別 3-3 に示す。

許容引張応力 S について、JSME 材料規格は、ASME 材料規格ガイドラインと同様に安全率は 3.5 としている。設計応力強さ S の設定方法の比較を表 別 3-4 に示す。

また、JSME 材料規格の新規材料採用ガイドラインと ASME 材料規格ガイドラインとの対比表を別添 1 に示す。

表 別 3-3 設計応力強さ S_m の設定方法の比較

(1) JSME 材料規格

製品/材料	引張強さ		降伏点 (耐力)	
	常温	高温	常温	高温
鉄鋼製品 (鍛錬品又は鋳鋼品) 及び非鉄材料	$1/3 \times S_T$	$(1.1)/3 \times S_T \times R_T$	$2/3 \times S_Y$	$2/3 \times S_Y \times R_Y$ 又は $0.9^{*1} \times S_Y \times R_Y$
鉄鋼及び非鉄の溶接管又は細管	$0.85/3 \times S_T$	$1.1 \times 0.85/3 \times S_T \times R_T$	$0.85/1.5 \times S_Y$	$0.85/1.5 \times S_Y$ 又は $0.9^{*1} \times 0.85 \times S_Y \times R_Y$

*1: 降伏点において 0.9 の係数を用いるのはオーステナイト鋼及び高ニッケル合金。

S_Y : 常温における降伏点 (耐力) の規格値 (JIS 規格、ASTM 規格等の値) [MPa]

R_Y : 当該温度での降伏点 (耐力) / 常温の降伏点 (耐力)

S_T : 常温における引張強さの規格値 (JIS、ASTM 等の値) [MPa]

R_T : 当該温度での引張強さ / 常温の引張強さ

各温度での値はそれより低温での値を超えないように修正する。

(2) ASME 材料規格ガイドライン

製品/材料	引張強さ		降伏点 (耐力)	
	常温	高温	常温	高温
鉄鋼製品 (鍛錬品又は鋳鋼品) 及び非鉄材料	$1/3 \times S_T$	$(1.1)/3 \times S_T \times R_T$	$2/3 \times S_Y$	$2/3 \times S_Y \times R_Y$ 又は $0.9^{*1} \times S_Y \times R_Y$
鉄鋼及び非鉄の溶接管又は細管	$0.85/3 \times S_T$	$1.1 \times 0.85/3 \times S_T \times R_T$	$0.85/1.5 \times S_Y$	$2/3 \times 0.85 \times S_Y \times R_Y$ 又は $0.9^{*1} \times 0.85 \times S_Y \times R_Y$

*1: S_Y/R_Y が 0.625 未満のオーステナイト系ステンレス鋼、ニッケル合金、銅合金、コバルト合金では、上記表の設計応力強さは降伏点の 2/3 を超えるが、0.9 より高くない。

S_Y : 常温における降伏点 (耐力) の規格値 (JIS 規格、ASTM 規格等の値) [MPa]

R_Y : 当該温度での降伏点 (耐力) / 常温の降伏点 (耐力)

S_T : 常温における引張強さの規格値 (JIS、ASTM 等の値) [MPa]

R_T : 当該温度での引張強さ / 常温の引張強さ

表 別 3-4 設計応力強さ S の設定方法の比較

(1) JSME 材料規格

製品/材料	常温以下		高温						
	引張強さ	降伏点	引張強さ		降伏点		クリープ破断強度		クリープ速度
鉄鋼材料及び 非鉄材料	$1/3.5 \times S_T$	$2/3 \times S_T$	$1/3.5 \times S_T$	$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$	$2/3 \times S_Y$	$2/3 \times S_Y \times R_Y$ 又は $0.9 \times S_Y \times S_Y$ [注]	$0.67 \times S_{Ravg}$	$0.8 \times S_{Rmin}$	$1.0 \times S_C$
鉄鋼材料及び 非鉄材料の溶 接管又は細管	$0.85/3.5 \times S_T$	$2/3 \times 0.85 \times S_T$	$0.85/3.5 \times S_T$	$1.1 \times 0.85/3.5 \times S_T \times R_T$	$2/3 \times 0.85 \times S_Y$	$2/3 \times 0.85 \times S_Y \times R_Y$ 又は $0.9 \times 0.85 \times S_Y \times S_Y$ [注]	$0.67 \times S_{Ravg}$	$0.8 \times 0.85 \times S_{Rmin}$	$0.85 \times S_C$

注：降伏点において 0.9 の係数を用いるのはオーステナイト鋼及び高ニッケル合金。

高温での値はそれより低温での値を超えないように修正する。

S_Y ：常温における降伏点（耐力）の規定値（JIS 規格、ASTM 規格等の値）[MPa]

R_Y ：当該温度での降伏点（耐力）／常温の降伏点（耐力）

S_T ：常温における引張強さの規格値（JIS、ASTM 等の値）[MPa]

R_T ：当該温度での引張強さ／常温の引張強さ

S_{Ravg} ：100,000 時間で破断を生じる平均応力

S_{Rmin} ：100,000 時間で破断を生じる最小応力

S_C ：0.01%／1,000 時間のクリープ速度を生じる応力の平均値

別紙 3-5

(2) ASME 材料規格ガイドライン

製品/材料	常温以下		高温						
	引張強さ	降伏点	引張強さ		降伏点		クリープ破断強度		クリープ速度
鉄鋼材料及び 非鉄材料	$1/3.5 \times S_T$	$2/3 \times S_T$	$1/3.5 \times S_T$	$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$	$2/3 \times S_Y$	$2/3 \times S_Y \times R_Y$ 又は $0.9 \times S_Y \times R_Y^{(1)}$	$0.67 \times S_{Ravg}$	$0.8 \times S_{Rmin}$	$1.0 \times S_C$
鉄鋼材料及び 非鉄材料の溶 接管又は細管	$0.85/3.5 \times S_T$	$2/3 \times 0.85 \times S_T$	$0.85/3.5 \times S_T$	$1.1 \times 0.85/3.5 \times S_T \times R_T$	$2/3 \times 0.85 \times S_Y$	$2/3 \times 0.85 \times S_Y \times R_Y$ 又は $0.9 \times 0.85 \times S_Y \times R_Y^{(1)}$	$0.67 \times S_{Ravg}$	$0.8 \times S_{Rmin}$	$0.85 \times S_C$

(1) : S_Y/R_Y が 0.625 未満のオーステナイト系ステンレス鋼、ニッケル合金、銅合金、コバルト合金では、上記表の設計応力強さは降伏点の $2/3$ を超えるが、0.9 より高くない。高い応力値は、わずかに高い変形自体が好ましくない場合にのみ使用する必要がある。これらの高い応力は、フランジやその他の歪みに敏感なアプリケーションの設計には推奨されない。

別紙 3-6

S_Y : 常温における降伏点 (耐力) の規定値 (JIS 規格、ASTM 規格等の値) [MPa]

R_Y : 当該温度での降伏点 (耐力) / 常温の降伏点 (耐力)

S_T : 常温における引張強さの規格値 (JIS、ASTM 等の値) [MPa]

R_T : 当該温度での引張強さ / 常温の引張強さ

S_{Ravg} : 100,000 時間で破断を生じる平均応力

S_{Rmin} : 100,000 時間で破断を生じる最小応力

S_C : 0.01% / 1,000 時間のクリープ速度を生じる応力の平均値

4. 材料規定 4.1 適用範囲

本材料を Hitz-B69 型のバスケッ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、設計期間中ヘリウムガスを封入し、不活性ガス雰囲気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) 本材料はボルト材として使用しないこと。

4.2 適用する材料規定

設計貯蔵期間における設計評価に適用するため、表 別 3-5 に示す項目について、JSME SNJ1-2012 材料規格（2012 年版）の新規材料採用ガイドラインに基づき、応力-ひずみ特性、高温引張特性を取得し、材料規定（設計応力強さ、許容引張応力、設計降伏点及び設計引張強さ）を定める必要がある。この設計貯蔵期間における設計評価に適用する材料規定を、4.2.1～4.2.5 項に示す。

なお、 S_y 値および S_u 値については、JIS G 3116 に定められた常温の値を基準とし、各温度における強度を常温の強度で基準化したトレンド曲線による方法を用いている。これらの詳細を別添 2 に示す。

4.2.1 使用する材料規格

使用する材料規格は表 別 3-6 に示すものであること。

4.2.2 設計応力強さ

設計応力強さは表 別 3-7 の規定によること。

4.2.3 許容引張応力

許容引張応力は表 別 3-8 の規定によること。

4.2.4 設計降伏点

設計降伏点は表 別 3-9 の規定によること。

4.2.5 設計引張強さ

設計引張強さは表 別 3-10 の規定によること。

表 別 3-5 新規材料採用ガイドライン要求項目と取得データ

項目	強度データの取得が必要なもの	データの該当箇所	備考
(1) 材料の基本化学成分及び用途	不要	—	JIS 規格引用
(2) 材料の仕様	不要	—	JIS 規格引用
(3) 使用条件	不要	—	JIS 規格引用
(4) 特徴及び使用上の留意事項	不要	—	JIS 規格引用
(5) 製造工程及び製造条件	不要	—	JIS 規格引用
(6) 化学成分（溶鋼分析又は溶湯分析、製品分析）	不要	—	JIS 規格引用
(7) マクロ及びミクロ組織	不要	—	JIS 規格引用
(8) 実用試験（へん平試験、押し広げ試験）	不要	—	JIS 規格引用
(9) 加工性、加工条件	不要	—	JIS 規格引用
(10) 機械的性質	不要	—	JIS 規格引用
(11) 応力ひずみ特性	○	別添 2	
(12) 高温及び低温引張特性	○	別添 2	低温引張特性は不要
(13) クリープ及びクリープ破断特性	不要	—	クリープ考慮不要
(14) 時効後靱性	不要	—	考慮不要
(15) 溶接性（溶接性、溶接区分）	不要	—	JIS 規格引用
(16) 耐食性	不要	—	文献による評価
(17) 設計降伏点	○	4.2.4	新規材料採用ガイドラインに従って設定
(18) 設計引張強さ	○	4.2.5	同上
(19) 設計応力強さ	○	4.2.2	同上
(20) 許容引張応力	○	4.2.3	同上
(21) 疲労	不要	—	疲労考慮不要
(22) その他特性※	○	別添 2	温度依存の物性データ

※：温度依存の材料物性データ。（線膨張係数、熱伝導率、温度伝導率、縦弾性係数、ポアソン比）、取得データと JSME 材料規格値と比較検討の結果、JSME 材料規格を引用して問題ないことを確認。

表 別 3-6 使用する材料規格

使用する規格		
材料の規格		記号
JIS G 3116 (2020)	高圧ガス容器用鋼板及び鋼帯	SG295

表 別 3-7 材料の各温度における設計応力強さ S_m (注 1)

単位：MPa

記号	温度 (°C)												
	-30 ~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350
SG295	146	146	146	146	144	143	143	143	143	143	143	143	143

(注 1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

表 別 3-8 材料の各温度における許容引張応力 S (注 1)

単位：MPa

記号	温度 (°C)												
	-30 ~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350
SG295	125	125	125	125	123	123	123	123	123	123	123	123	123

(注 1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

表 別 3-9 材料の各温度における設計降伏点 S_y (注 1)

単位：MPa

記号	温度 (°C)												
	-30 ~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350
SG295	295	283	280	273	268	266	266	266	266	266	266	266	260

(注 1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

表 別 3-10 材料の各温度における設計引張強さ S_u (注 1)

単位：MPa

記号	温度 (°C)												
	-30 ~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350
SG295	440	416	410	399	393	391	391	391	391	391	391	391	391

(注 1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

5. 基本的安全機能への影響

構造強度及び各安全機能に対する設計の考え方は次のとおり。

- ・構造強度：得られた強度データに基づき、貯蔵時だけでなく、輸送時の荷重条件に対しても成立する設計となることを確認する。
- ・臨界防止機能：上記の設計で、臨界防止機能上問題のない設計であることを確認する。なお、当該部の組成は Fe を 100%としているため、鋼種の違いによる影響はない。
- ・遮蔽機能：上記の設計で、遮蔽機能上問題のない設計であることを確認する。なお、当該部の組成は Fe を 100%としているため、鋼種の違いによる影響はない。
- ・除熱機能：得られた物性値に基づき、貯蔵時だけでなく、輸送時の熱的条件に対して成立する設計となることを確認する。
- ・閉じ込め機能：閉じ込め機能の評価において、バスケット材料の違いによる影響はない。

以上により、JIS G 3118 を使用した場合と同様に、各解析評価により適切に各安全機能を満足できることを確認できれば、SG295 をバスケット材料として適用できる。

JSME S NJ1-2012 材料規格 添付 1. 新規材料採用ガイドラインと ASME Sec. II Part D
Mandatory Appendixes 1, 2 and 5 (ASME 材料規格ガイドライン) との比較

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
<p>2.1 提出物に含まれる情報</p> <p>新規材料を定める場合には、(1)から(22)の項目について用途に応じて必要な資料を提出すること。</p> <p>用途に応じて</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 化学成分 ・ 機械的性質、応力-ひずみ特性、高温及び低温引張特性、クリープ及びクリープ破断特性、時効後特性 <p>供試材標本数は、最小 3 標本とすること。</p> <p>なお、標本とは、同一溶解、同一板厚及び同一熱処理条件を同時に満足するものをいう。</p> <p>供試材標本数は、鋳造品及び鍛錬品の各製品形態に対し、3 標本以上とすること。</p> <p>なお、製品形態とは、「Product Form」に相当する用語で、配管と板とでは別の製品形態となる。製品形態における鍛錬品とは、圧延又は鍛造等の加工法により製造された製品の総称であり、これらを区別する必要はない。</p> <p>使用が予想されるすべての製品形態に対してデータを提出すること。</p> <p>寸法効果がある場合、使用が予想される最大寸法を含め、異なる寸法についての製品データを提出すること。</p> <p>試験方法は、JIS 規格あるいは ISO、ASTM 等の規格によること。</p> <p>適用温度での使用に関する情報があれば付すこと。</p>	<p>[Mandatory Appendix 5]</p> <p>5-700 REQUIRED SAMPLING</p> <p>For all mechanical properties, data shall be provided over the required range of test temperatures from at least three heats of material meeting all of the requirements of the applicable specifications.</p> <p>5-700 必要なサンプリング</p> <p>すべての機械的特性について、データは、適用される仕様のすべての要件を満たす材料の少なくとも 3 つのヒートから、必要な試験温度範囲にわたって提供されるものとします。</p>
(1) 材料の基本化学成分及び用途	
(2) 材料の仕様 a. 適合規格	<p>[Mandatory Appendix 5]</p> <p>5-1900 REQUIREMENTS FOR RECOGNIZED</p>

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
<p>適合規格名もしくは申請中又は申請予定の規格名を記載すること。</p> <p>b.化学成分制限 適用する機器等に対して成分制限が必要な場合、記載すること。</p> <p>c.機械的性質 常温の規格値。</p> <p>d.寸法制限（径、厚さ他） 適用する機器等に対して寸法制限が必要な場合、記載すること。</p> <p>e.形状寸法（寸法公差）</p>	<p>NATIONAL OR INTERNATIONAL SPECIFICATIONS</p> <p>Minimum requirements that shall be contained in a material specification for which acceptance is being requested include such items as the name of the national or international organization, scope, reference documents, process, manufacture, conditions for delivery, heat treatment, chemical and tensile requirements, forming properties, testing specifications and requirements, workmanship, finish, marking, inspection, and rejection.</p> <p>5-1900 承認された国内仕様または国際仕様の要件受諾が要求されている材料仕様に含まれる必要がある最小要件には、国内または国際組織の名前、範囲、参照文書、プロセス、製造、配送条件、熱処理、化学的および引張要件、成形特性、試験仕様および要件、仕上がり、仕上げ、マーキング、検査、および不合格などの項目が含まれます。</p> <p>5-200 APPLICATION</p> <p>The inquirer shall identify all product forms, size ranges, and specifications or specification requirements for the material for which approval is desired.</p> <p>提案者は、承認が必要な材料のすべての製品形態、サイズ範囲、および仕様または仕様要件を特定するものとします。</p>
<p>(3) 使用条件</p> <p>a.適用範囲</p> <p>b.温度範囲（最高温度、低温の機器等の場合、最低使用温度）</p> <p>c.外圧設計が必要な機器等への適用の有無</p>	<p>[Mandatory Appendix 5]</p> <p>5-200 APPLICATION</p> <p>The inquirer shall identify to the BPV Committee the following:</p> <p>{a} the Section or Sections and Divisions of the Code in which the new material is to be approved</p>

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
	<p>{b} the temperature range of intended application {c} whether cyclic service is to be considered {d} whether external pressure is to be considered</p> <p>The inquirer shall identify all product forms, size ranges, and specifications or specification requirements for the material for which approval is desired. When available, the inquirer shall furnish information describing service experience in the temperature range requested.</p> <p>5-200 アプリケーション</p> <p>照会者は、BPV 委員会に対して以下を特定するものとします。</p> <p>{a} 新しい資料が承認されるコードのセクションまたはセクションおよびディビジョン {b} 意図する用途の温度範囲 {c} サイクリックサービスを考慮するかどうか {d} 外圧を考慮するかどうか</p> <p>照会者は、承認が必要な材料のすべての製品形態、サイズ範囲、および仕様または仕様要件を特定するものとします。利用可能な場合、問い合わせ者は、要求された温度範囲でのサービス経験を説明する情報を提供するものとします。</p>
<p>(4) 特徴および使用上の留意事項</p> <p>a.特徴 新規材料の開発経緯、特徴、メリット及び特記すべき物理的性質。</p> <p>b.新規材料に関する特許及びライセンスの有無 ライセンスがある場合、製造に関する制約。</p>	
<p>(5) 製造工程及び製造条件</p> <p>a.製造方法（溶解、精錬、製造および加工） b.熱処理（温度、加熱・冷却方法、速度） c.検査（検査方法等）</p>	<p>[Mandatory Appendix 5]</p> <p>5-400 METALLURGICAL STRUCTURE AND HEAT TREATMENT</p> <p>When applicable for the proposed material, the inquirer shall indicate the intended metallurgical structure(s) to be achieved in order to comply with the mechanical properties requirements and,</p>

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
	<p>where applicable, fully describe the heat treatment (including cooling rates) to be applied to achieve this (or these) structure(s), the mechanical properties, and the expected behavior under service conditions.</p> <p>5-400 冶金構造と熱処理</p> <p>提案された材料に該当する場合、質問者は、機械的特性の要件を満たすために達成される予定の冶金構造を示し、該当する場合は、この（またはこれらの）構造、機械的特性、および使用条件下で予想される挙動に対して達成するために適用される熱処理（冷却速度を含む）を完全に説明する必要があります。</p>
<p>(6) 化学成分（溶鋼分析又は溶湯分析、製品分析） 化学成分範囲、試験用供試材の標本ごとの製品分析値。</p>	<p>[Mandatory Appendix 5]</p> <p>5-300 CHEMICAL COMPOSITION</p> <p>The inquirer shall recommend to the BPV Committee on Materials whether the chemical composition specified in the reference specification applies or whether restrictions to this composition shall be imposed for the intended application. When coverage by a recognized national or international standardization body has been requested but not yet obtained, the inquirer shall indicate the detailed chemical composition in the inquiry. The inquirer shall explain the reasons for the chemistry and chemistry limits, and their relationship to the metallurgical structure (e.g., influence on precipitates and their morphology, grain size, and phases), heat treatment effect (e.g., strengthening mechanisms and their stability), and mechanical properties. Elements that significantly influence strength, ductility, toughness, weldability, and behavior under service conditions should be identified.</p> <p>5-300 化学成分</p> <p>提案者は、参照仕様で指定された化学組成が適用さ</p>

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
	<p>れるかどうか、またはこの組成への制限が意図された用途に課されるかどうかを BPV 材料委員会に勧告するものとします。認定された国内または国際標準化機関によるカバーが要求されたが、まだ取得されていない場合、提案者は詳細な化学組成を調査で示すものとします。提案者は、化学的および化学的制限の理由、および金属構造との関係（例：析出物とその形態、粒径、相への影響）、熱処理効果（例：強化メカニズムとその安定性）、そして機械的性質を説明しなければなりません。使用条件下での強度、延性、靱性、溶接性、および挙動に大きな影響を与える要素を特定する必要があります。</p>
(7) マクロ及びマイクロ組織	<p>[Mandatory Appendix 5] 5-900 TIME-DEPENDENT PROPERTIES Additional comments regarding post-test specimen appearance (e.g., oxidation, necking, intergranular fracture, etc.), as well as photographs and photomicrographs, may be beneficial for the analysis. 5-900 時間依存プロパティ 試験後の試験片の外観（例：酸化、ネッキング、粒界破壊など）に関する追加のコメント、および写真や顕微鏡写真は、分析に役立つ場合があります。</p>
(8) 実用試験（へん平試験、押し広げ試験）	<p>[Mandatory Appendix 5] 5-1700 REQUESTS FOR ADDITIONAL DATA The Committee may request additional data, including data on properties or material behavior not explicitly treated in the Construction Code for which approval is desired. 5-1700 追加データのリクエスト 委員会は、承認が必要な建設規格で明示的に扱われていない特性または材料の挙動に関するデータを含む、追加のデータを要求する場合があります。</p>
(9) 加工性、加工条件 チューブについては、必要に応じて曲げ加工性に	<p>[Mandatory Appendix 5] 5-700 REQUIRED SAMPLING</p>

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
<p>ついでにの試験結果。</p>	<p>For wrought materials and especially for those materials whose mechanical properties are enhanced by heat treatment, forming practices, or a combination thereof, and for other materials for which the mechanical properties may be reasonably expected to be thickness dependent, data from one additional lot from material of at least 75% of the maximum thickness for which coverage is requested shall be submitted. If no maximum thickness is given, information shall be provided to support the suitability of the thickness used for the tested samples.</p> <p>5-700 必要なサンプリング</p> <p>鍛鋼材料、特に熱処理、成形方法、またはそれらの組み合わせによって機械的特性が強化された材料、および機械的特性が厚さに依存すると合理的に予想されるその他の材料については、材料からの 1 つの追加ロットからのデータ 適用範囲が要求される最大厚さの少なくとも 75% を提出する必要があります。最大厚さが指定されていない場合は、試験サンプルに使用される厚さが適切であることを裏付ける情報を提供する必要があります。</p>
<p>(10) 機械的性質</p> <p>a.引張特性（引張強さ、降伏点又は耐力、伸び、絞り）</p> <p>b.靱性 靱性が要求される材料の場合、最低使用温度と板厚範囲に対する切欠靱性データ（溶接構造物の場合、溶接金属、溶接熱影響部のデータを含む。）</p> <p>c.硬さ</p>	<p>[Mandatory Appendix 5]</p> <p>5-500 MECHANICAL PROPERTIES</p> <p>Test methods employed for the properties tested shall be those referenced in or by the material specifications, or shall be the appropriate ASTM test methods, recommended practices, or test methods described in accepted international standards. The test methods used shall be indicated in the data package.</p> <p>It is desired that the data be obtained using material representative of the range of effects of the key variables of composition, thickness, mechanical working, and heat treatment. It is</p>

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
	<p>desirable that, when applicable, test data also be provided for the range of heat treatment exposures that may influence properties such as tensile strength, toughness, and stress rupture behavior. After consideration of the submitted data, the Committee reserves the right to modify the specification requirements.</p> <p>5 -500 機械的特性</p> <p>テストされた特性に使用されるテスト方法は、材料仕様書で参照されているもの、または適切な ASTM テスト方法、推奨される方法、または承認された国際規格に記載されているテスト方法でなければなりません。使用した試験方法は、データパッケージに示すものとしします。</p> <p>組成、厚さ、機械加工、および熱処理の重要な変数の効果の範囲を代表する材料を使用してデータを取得することが望まれます。該当する場合は、引張強さ、靱性、応力破断挙動などの特性に影響を与える可能性のある熱処理暴露の範囲についての試験データも提供することが望ましいです。提出されたデータを検討した後、委員会は仕様要件を変更する権利を留保します。</p>
<p>(11) 応力-ひずみ特性</p> <p>応力-ひずみ曲線（引張、圧縮）。</p> <p>外部から圧力を受ける機器等に使用する場合、設計温度範囲より広い温度範囲までの 50°C ごとの数値データ。</p>	<p>[Mandatory Appendix 5]</p> <p>5-1200 STRESS-STRAIN CURVES</p> <p>Stress-strain data (tension or compression) shall be furnished for each of the three heats of material at 100°F intervals from room temperature up to 100°F above the maximum temperature desired.</p> <p>5-1200 応力-ひずみ曲線</p> <p>応力-ひずみデータ（引張りまたは圧縮）は、室温から必要な最高温度より 100° F 高い温度まで、100° F 間隔で材料の 3 つのヒートのそれぞれについて提供されるものとしします。</p>
<p>(12) 高温及び低温引張特性</p> <p>引張特性（引張強さ、降伏点又は耐力、伸び、絞</p>	<p>[Mandatory Appendix 5]</p> <p>5-800 TIME-INDEPENDENT PROPERTIES</p>

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
<p>り)</p> <p>a. 常温から最高使用温度より 50°C 高い温度までの 50°C ごとのデータ。</p> <p>b. 常温以下の温度で使用する場合で、低温での設計応力を高くしたい場合は、最低使用温度を含む 50°C ごとの引張特性データ。</p>	<p>For time-independent properties at and above room temperature, the required data include values of ultimate tensile strength, 0.2% offset yield strength, reduction of area (when specified in the material specification), and elongation. For steels, nickel alloys, cobalt alloys, and aluminum alloys, data shall be provided at room temperature and 100oF intervals, beginning at 200oF to 100oF above the maximum intended use temperature, unless the maximum intended use temperature does not exceed 100oF.</p> <p>5-800 時間に依存しないプロパティ</p> <p>室温以上での時間に依存しない特性の場合、必要なデータは、極限引張強度、0.2% オフセット降伏強度、断面積の減少 (材料仕様で指定されている場合)、および伸びの値が含まれます。鋼、ニッケル合金、コバルト合金、およびアルミニウム合金の場合、データは、最大使用温度が 100° F を超えない場合を除き、室温で、最大使用温度より 200° F から 100° F 高い温度から 100° F 間隔で提供されるものとしします。</p> <p>(100°F はメトリックの場合、50°C 相当となります。)</p>
<p>(13) クリープ及びクリープ破断特性</p> <p>必要に応じてクリープ速度、クリープ破断強度</p> <p>a. 最高使用温度より 50°C 高い温度までの 50°C ごとのデータ。</p> <p>b. 溶接金属及び溶接継手に関しては、クリープ破断強度のみ。</p>	<p>[Mandatory Appendix 5]</p> <p>5-900 TIME-DEPENDENT PROPERTIES</p> <p>If approval is desired for temperatures where time-dependent properties may be expected to control design, time-dependent data, as itemized below, shall be provided, starting at temperatures approximately 50oF below the temperature where time-dependent properties may govern and extending at least 100oF above the maximum intended use temperature. Exceptions to this rule are permitted, provided the inquirer provides suitable justification for the deviation. The creep-</p>

<p>新規材料採用ガイドライン</p>	<p>ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)</p> <p>rupture test method shall be in accordance with ASTM E139 or other equivalent national or international test standard.</p> <p>5-900 時間依存プロパティ</p> <p>時間依存特性が設計を制御すると予想される温度の承認が必要な場合は、時間依存特性が支配する温度より約 50oF 低い温度から開始し、少なくとも 100° F を超える温度まで、以下に項目別に示す時間依存データを提供する必要があります。この規則の例外は、提案者が逸脱の適切な正当化を提供する場合に許可されます。クリープ破断試験方法は、ASTM E139 またはその他の同等の国内または国際試験規格に従うものとします。</p>
<p>(14) 時効後靱性</p> <p>時効硬化を考慮する必要があると規定される材料については以下の項目を含むこと。</p> <p>a.最高使用温度等を考慮して時効させた材料のシャルピー衝撃試験結果。</p> <p>b.材料が時効脆化する場合は、溶接継手のシャルピー衝撃試験結果。</p>	<p>[Mandatory Appendix 5]</p> <p>5-1700 REQUESTS FOR ADDITIONAL DATA</p> <p>The Committee may request additional data, including data on properties or material behavior not explicitly treated in the Construction Code for which approval is desired.</p> <p>5-1700 追加データのリクエスト</p> <p>委員会は、承認が必要な建設規格で明示的に扱われていない特性または材料の挙動に関するデータを含む、追加のデータを要求する場合があります。</p>
<p>(15) 溶接性（溶接性、溶接区分）</p> <p>a.新規材料を溶接して使用する場合は、材料の溶接性に関するデータを提出すること。（データには、日本機械学会発電用原子力設備規格溶接規格、ASME Sec. IX もしくは、ASME Sec. XI 等による施工法確認試験データを含めること。）</p> <p>b. 後熱処理、硬化性、溶接方法の影響、熱影響部及び溶接金属の切欠靱性、溶接施工実績に関する情報。</p>	<p>[Mandatory Appendix 5]</p> <p>5-1500 DATA REQUIREMENTS FOR WELDS, WELDMENTS, AND WELDABILITY</p> <p>The following three types of welding information are required for a new base metal for use in welded construction in an ASME BPV Construction Code:</p> <p>data on weldability, data on strength and toughness in the time-independent regime, and data on strength in the time-dependent regime.</p> <p>5-1500 溶接、溶接、および溶接性に関するデータ要件</p> <p>次の 3 種類の溶接情報は、ASME BPV 建設コード</p>

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
	の溶接構造で使用するための新しい母材に必要で す: 溶接性に関するデータ、時間に依存しない体制 での強度と靱性に関するデータ、および時間に依存 する体制での強度に関するデータ。
<p>(16) 耐食性</p> <p>腐食環境下で材料の組織又は機械的性質に及ぼ す影響の評価結果。(実験室的腐食試験を行い、 腐食損傷量、腐食形態等々を評価する。)</p>	<p>[Mandatory Appendix 5]</p> <p>5-1700 REQUESTS FOR ADDITIONAL DATA</p> <p>The Committee may request additional data, including data on properties or material behavior not explicitly treated in the Construction Code for which approval is desired.</p> <p>5-1700 追加データのリクエスト</p> <p>委員会は、承認が必要な建設規格で明示的に扱われ ていない特性または材料の挙動に関するデータを含 む、追加のデータを要求する場合があります。</p>
<p>(17) 設計降伏点</p> <p>付録 1 に基づく各温度における降伏点又は耐力 のデータ。</p> <p>付録 1.新規材料の設計降伏点 (Sy 値) の設定方 法</p> <p>1.基本事項</p> <p>標本数は、3 標本とする。</p> <p>高温強度を各標本について求める。</p> <p>各温度における強度を常温の強度で規準化した トレンド曲線による方法を用いて設計降伏点を 求める。</p> <p>2.Sy 値の設定方法</p> <p>①常温の降伏点 (耐力) の規格値</p> <p>②$R_Y \times$ 常温の降伏点 (耐力) の規格値</p> <p>$R_Y =$ 当該温度での降伏点 (耐力) / 常温の降伏 点 (耐力)</p> <p>各温度での値はそれより低温での値を超えない ように修正する。上記①と②の小さい方の値を設 計降伏点 (Sy 値) とする。</p>	<p>[Mandatory Appendix 2]</p> <p>2-100 DERIVATION OF STRESS INTENSITY VALUES</p> <p>$R_Y =$ ratio of the average temperature dependent trend curve value of yield strength to the room temperature yield strength</p> <p>$S_Y =$ specified minimum yield strength at room temperature</p> <p>2-100 応力強度値の導出</p> <p>$R_Y =$ 常温降伏点 (耐力) に対する降伏点 (耐力) の 平均温度依存トレンド曲線値の比率</p> <p>$S_Y =$ 常温で規定された最小降伏点 (耐力)</p> <p>2-130 CRITERIA FOR BOLTING MATERIALS IN TABLE 4 FOR USE WITH SECTION VIII, DIVISION 2, PART 5 AND ANNEX 5.F; AND WITH SECTION III, SUBSECTIONS NB AND WB</p> <p>In the application of these criteria, the Committee considers the yield strength at temperature to be $S_Y R_Y$, and the tensile strength at temperature to</p>

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
	<p>be 1.1StRt.</p> <p>2-130 セクション VIII, Div. 2, Part 5 および附属書 5.F 並びにセクション III、サブセクション NB および WB で使用する表 4 のボルト材料の基準</p> <p>これらの基準の適用において、委員会は、各温度での降伏点（耐力）を S_yR_y、各温度での引張強度を 1.1StRt と見なします。</p>
<p>(18) 設計引張強さ</p> <p>付録 2 に基づく各温度における引張強さのデータ。</p> <p>付録 2.新規材料の設計引張強さ (S_u 値) の設定方法</p> <p>1.基本事項</p> <p>標本数は、3 標本とする。</p> <p>高温強度を各標本について求める。</p> <p>各温度における強度を常温の強度で規準化したトレンド曲線による方法を用いて設計引張強さを求める。</p> <p>2.S_T 値の設定方法</p> <p>①常温の引張強さの規格値</p> <p>②$R_T \times$ 常温の引張強さの規格値</p> <p>$R_T =$ 当該温度での引張強さ / 常温の引張強さ</p> <p>各温度での値はそれより低温での値を超えないように修正する。上記①と②の小さい方の値を設計引張強さ (S_u 値) とする。</p>	<p>[Mandatory Appendix 2]</p> <p>2-100 DERIVATION OF STRESS INTENSITY VALUES</p> <p>$R_T =$ ratio of the average temperature dependent trend curve value of tensile strength to the room temperature tensile strength</p> <p>$S_T =$ specified minimum tensile strength at room temperature</p> <p>In the application of these criteria, the Committee considers the yield strength at temperature to be S_yR_y, and the tensile strength at temperature to be 1.1StRt.</p> <p>2-100 応力強度値の導出</p> <p>$R_T =$ 常温引張強さに対する引張強さの平均温度依存トレンド曲線値の比率</p> <p>$S_T =$ 常温で規定された最小引張強さ</p> <p>2-130 CRITERIA FOR BOLTING MATERIALS IN TABLE 4 FOR USE WITH SECTION VIII, DIVISION 2, PART 5 AND ANNEX 5.F; AND WITH SECTION III, SUBSECTIONS NB AND WB</p> <p>In the application of these criteria, the Committee considers the yield strength at temperature to be S_yR_y, and the tensile strength at temperature to be 1.1StRt.</p> <p>2-130 セクション VIII, Div. 2, Part 5 および附属書 5.F 並びにセクション III、サブセクション NB</p>

<p>新規材料採用ガイドライン</p>	<p>ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)</p> <p>および WB で使用する表 4 のボルト材料の基準 これらの基準の適用において、委員会は、各温度での降伏点（耐力）を S_yR_y、各温度での引張強度を $1.1S_tR_t$ と見なします。</p>																			
<p>(19) 設計応力強さ</p> <p>付録 3 及び必要に応じ付録 4 に基づく各温度における応力強さのデータ。</p> <p>付録 3. ボルトを除くクラス 1 機器の設計応力強さ (S_m 値) の設定方法</p> <p>付録 1 及び付録 2 の方法と同様に、下表に従い各温度ごとに求まる値の小さい方の値を設計応力強さ (S_m 値) とする。</p> <table border="1" data-bbox="395 1014 646 1892"> <thead> <tr> <th rowspan="2">製品/材料</th> <th colspan="2">引張強さ</th> <th colspan="2">降伏点(耐力)</th> </tr> <tr> <th>常温</th> <th>高温</th> <th>常温</th> <th>高温</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>鉄鋼材料(鍛錬品又は鋳鋼品)及び非鉄材料</td> <td>$1/3 \times S_t$</td> <td>$(1.1)/3 \times S_t \times R_t$</td> <td>$2/3 \times S_y$</td> <td>$2/3 \times S_y \times R_y$ 又は $0.9^* \times S_y \times R_y$</td> </tr> <tr> <td>鉄鋼及び非鉄の溶接管又は銅管</td> <td>$0.85/3 \times S_t$</td> <td>$1.1 \times 0.85/3 \times S_t \times R_t$</td> <td>$0.85/1.5 \times S_y$</td> <td>$0.85/1.5 \times S_y \times R_y$ 又は $0.9^* \times 0.85 \times S_y \times R_y$</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1: 降伏点において 0.9 の係数を用いるのはオーステナイト鋼及び高ニッケル合金。</p>	製品/材料	引張強さ		降伏点(耐力)		常温	高温	常温	高温	鉄鋼材料(鍛錬品又は鋳鋼品)及び非鉄材料	$1/3 \times S_t$	$(1.1)/3 \times S_t \times R_t$	$2/3 \times S_y$	$2/3 \times S_y \times R_y$ 又は $0.9^* \times S_y \times R_y$	鉄鋼及び非鉄の溶接管又は銅管	$0.85/3 \times S_t$	$1.1 \times 0.85/3 \times S_t \times R_t$	$0.85/1.5 \times S_y$	$0.85/1.5 \times S_y \times R_y$ 又は $0.9^* \times 0.85 \times S_y \times R_y$	<p>[Mandatory Appendix 2]</p> <p>2-100 DERIVATION OF STRESS INTENSITY VALUES</p> <p>The factors employed to determine design stress intensity values are provided in Tables 2-100(a), 2-100(b), and 2-100(c).</p> <p>The maximum design stress intensity shall be the lowest value obtained from the criteria in Tables 2-100(a), 2-100(b), and 2-100(c). The mechanical properties considered, and the factors applied to establish the maximum allowable stresses, are given in 2-110 and 2-130.</p> <p>2-100 応力強度値の導出</p> <p>設計応力強さを決定するために使用される係数は、表 2-100(a)、2-100(b)、および 2-100(c) に示されています。</p> <p>最大設計応力強さは、表 2-100(a)、2-100(b)、および 2-100(c)の基準から得られる最小値とします。考慮される機械的特性、および最大許容応力を確立するために適用される要因は、2-110 および 2-130 に記載されています。</p> <p>2-110 CRITERIA FOR MATERIALS OTHER THAN BOLTING: TABLES 2A AND 2B</p> <p>The design stress intensity values at any temperature are no larger than the least of the following:</p> <p>(a) one-third of the specified minimum tensile strength at room temperature;</p> <p>(b) one-third of the tensile strength at temperature;</p>
製品/材料		引張強さ		降伏点(耐力)																
	常温	高温	常温	高温																
鉄鋼材料(鍛錬品又は鋳鋼品)及び非鉄材料	$1/3 \times S_t$	$(1.1)/3 \times S_t \times R_t$	$2/3 \times S_y$	$2/3 \times S_y \times R_y$ 又は $0.9^* \times S_y \times R_y$																
鉄鋼及び非鉄の溶接管又は銅管	$0.85/3 \times S_t$	$1.1 \times 0.85/3 \times S_t \times R_t$	$0.85/1.5 \times S_y$	$0.85/1.5 \times S_y \times R_y$ 又は $0.9^* \times 0.85 \times S_y \times R_y$																

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
	<p>(c) two-thirds of the specified minimum yield strength at room temperature;</p> <p>(d) two-thirds of the yield strength at temperature, except that for austenitic stainless steels, nickel alloys, copper alloys, and cobalt alloys having an S_y/ST ratio less than 0.625, as indicated in Tables 2A and 2B, this value may be as large as 90% of the yield strength at temperature (but never more than two-thirds of the specified minimum yield strength).</p> <p>2-110 ボルト以外の材料の基準: 表 2A および 2B 任意の温度での設計応力強さは、次の最小値よりも大きくなること。</p> <p>(a) 室温で指定された最小引張強さの 3 分の 1。</p> <p>(b) 各温度における引張強さの 3 分の 1。</p> <p>(c) 室温で指定された最小降伏点 (耐力) の 3 分の 2。</p> <p>(d) 各温度における降伏点 (耐力) の 3 分の 2。各温度での降伏点の 90% 程度の大きさであること (ただし、指定された最小降伏点の 3 分の 2 を超えることはありません)。</p>
<p>(20) 許容引張応力</p> <p>付録 5 及び必要に応じ付録 6 に基づく各温度における引張応力のデータ。</p> <p>付録 5.ボルト材を除く材料の許容引張応力 (S 値) の設定方法</p> <p>付録 1 及び付録 2 の方法と同様に、下表に従い各温度ごとに求まる値の小さい方の値を許容引張応力 (S 値) とする。</p>	<p>[Mandatory Appendix 1]</p> <p>1-100 DEVIATION OF ALLOWABLE STRESS VALUES</p> <p>The maximum allowable stress shall be the lowest value obtained from the criteria in Table 1-100.The mechanical properties considered, and the factors applied to establish the maximum allowable stresses, are as given below.</p> <p>(a) At temperatures below the range where creep and stress rupture strength govern the selection of stresses, the maximum allowable stress value is the lowest of the following:</p> <p>(1) the specified minimum tensile strength at room temperature divided by 3.5</p>

製品/材料	常温以下		高温		クリープ破断強度		クリープ強度
	引張強さ	降伏点	引張強さ	降伏点	クリープ破断強度	クリープ破断強度	クリープ強度
鉄鋼材料及び非鉄材料	$1/3.5 \times S_T$	$2/3 \times S_T$	$1/3.5 \times S_T$ (1.1) $2/3.5 \times S_T \times R_T$	$2/3 \times S_T$ 又は $0.9 \times S_T \times R_T$ [注]	$0.67 \times S_{avg}$	$0.8 \times S_{tmin}$	$1.0 \times S_C$
鉄鋼材料及び非鉄材料の溶接管又は継管	$0.85/3.5 \times S_T$	$2/3 \times 0.85 \times S_T$	$1.1 \times 0.85/3.5 \times S_T \times R_T$	$2/3 \times 0.85 \times S_T \times R_T$ 又は $0.9 \times 0.85 \times S_T \times R_T$ [注]	$0.67 \times 0.85 \times S_{avg}$	$0.8 \times 0.85 \times S_{tmin}$	$0.85 \times S_C$

注:オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金には係数 0.9 を用いる。

(2) the tensile strength at temperature divided by 3.5

(3) two-thirds of the specified minimum yield strength at room temperature

(4) two-thirds of the yield strength at temperature

These stresses exceed two-thirds but do not exceed 90% of the minimum yield strength at temperature.

(b) At temperatures in the range where creep and stress rupture strength govern the selection of stresses, the maximum allowable stress value for all materials is established by the Committee not to exceed the lowest of the following:

(1) 100% of the average stress to produce a creep rate of 0.01 %/1,000 hr

(2) 100Favg% of the average stress to cause rupture at the end of 100,000 hr

(3) 80% of the minimum stress to cause rupture at the end of 100,000 hr

1-100 許容引張応力値の導出

最大許容引張応力は、表 1-100 の基準から得られる最小値とします。考慮される機械的特性、および最大許容引張応力を確立するために適用される係数は、以下のとおりです。

(a) クリープおよび応力破断強度が応力の選択を支配する範囲よりも低い温度では、最大許容引張応力値は次のうちの最小の値となります。

(1) 室温で指定された最小引張強さを 3.5 で割った値

(2) 各温度での引張強さを 3.5 で割った値

(3) 室温で指定された最小降伏点 (耐力) の 3 分の 2

(4) 各温度における降伏点 (耐力) の 3 分の 2

これらの応力は 3 分の 2 を超えてもよいが、温度での最小降伏強度の 90% を超えないようにしま

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
	<p>す。</p> <p>(b) クリープおよび応力破断強度が応力の選択を支配する範囲の温度では、委員会は、すべての材料の最大許容応力値を次の最低値を超えないように設定します。</p> <p>(1) 0.01 %/1,000 時間のクリープ率を生成するための平均応力の 100%</p> <p>(2) 100,000 時間後に破断する平均応力の 100 × Favg%</p> <p>(3) 100,000 時間後に破断する最小応力の 80%</p>
<p>(21) 疲労 疲れ線図作成のためのデータ。</p>	<p>[Mandatory Appendix 5] 5-1300 FATIGUE DATA</p> <p>If the material is to be used in cyclic service and the Construction Code in which adoption is desired requires explicit consideration of cyclic behavior, fatigue data for characterized samples shall also be furnished over the range of design temperatures desired, from 10³ to at least 10⁶ cycles.</p> <p>5-1300 疲労データ</p> <p>材料が周期的なサービスで使用され、採用が望まれる建設基準で周期的な挙動を明確に考慮する必要がある場合、特徴付けられたサンプルの疲労データも、10³ サイクルから少なくとも 10⁶ サイクルまでの望ましい設計温度範囲にわたって提供されるものとします。</p>
<p>(22) その他特性 要求があれば以下のデータを提出すること。 要求があれば以下のデータを提出すること。 (使用温度範囲より広い温度範囲までのデータ)</p> <p>a.線膨張係数 b.熱伝導率 c.温度伝導率 d.縦弾性係数 e.ポアソン比</p>	<p>[Mandatory Appendix 5] 5-1400 PHYSICAL PROPERTIES</p> <p>For at least one heat meeting the requirements of the material specification, the inquirer shall furnish to the Boiler and Pressure Vessel Committee on Materials adequate data necessary to establish values for coefficient of thermal expansion, coefficients of thermal conductivity and diffusivity, modulus of elasticity, Poisson's ratio, and density.</p>

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D (ASME 材料規格ガイドライン)
	<p>5-1400 物性</p> <p>材料仕様の要件を満たす熱が少なくとも 1 つある場合、問い合わせ者は、熱膨張係数、熱伝導率および拡散係数、弾性係数、ポアソン比、密度の値を確立するために必要な適切なデータをボイラーおよび圧力容器材料委員会に提供するものとします。</p>

新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D
<p>2.2 他規格で規定されている材料の場合</p> <p>国内規格、海外規格に規定されている材料については、提案者は次の(1)から(8)の要領に基づき提案すること。それ以外の材料については、2.1項に規定する資料の提出が必要となる。</p>	
<p>(1) 規格は、発行年版又は追補の年版を明示すること。</p>	<p>2.1 (2)を参照のこと</p>
<p>(2) 規格として、次の項目が含まれていること。</p> <p>規格の発行者、適用範囲、製造方法、熱処理、化学成分、機械的性質、実用試験、組織、試験・検査、形状寸法、温度範囲、時効硬化、耐食性、溶接性・溶接区分、加工性・加工条件、設計降伏点、設計引張強さ、設計応力強さ及び許容引張応力。</p>	<p>2.1 の下記項目を参照のこと</p> <p>規格の発行者→2.1 (2)</p> <p>適用範囲→2.1 (3)</p> <p>製造方法→2.1 (5)</p> <p>熱処理→2.1 (5)</p> <p>化学成分→2.1 (6)</p> <p>機械的性質→2.1 (10)</p> <p>実用試験→2.1 (8)</p> <p>組織→2.1 (7)</p> <p>試験・検査→2.1 (5)</p> <p>形状寸法→2.1 (2)</p> <p>温度範囲→2.1 (3)</p> <p>時効硬化→2.1 (14)</p> <p>耐食性→2.1 (16)</p> <p>溶接性・溶接区分→2.1 (15)</p> <p>加工性・加工条件→2.1 (9)</p> <p>設計降伏点→2.1 (17)</p> <p>設計引張強さ→2.1 (18)</p> <p>設計応力強さ及び許容引張応力→2.1 (19)(20)</p>
<p>(3) 4.項「設計降伏点の設定方法」以外の策定方法により設計降伏点を求めている場合にあっては、本規格の策定方法により再試験を行うかもしくは評価を行うこと。</p>	<p>2.1 (17)を参照のこと</p>
<p>(4) 5.項「設計引張強さの設定方法」以外の策定方法により設計引張強さを求めている場合にあっては、本規格の策定方法により再試験を行うかもしくは評価を行うこと。</p>	<p>2.1 (18)を参照のこと</p>


新規材料採用ガイドライン	ASME Sec.II Part D
(5) 6.項「ボルト材以外の設計応力強さの設定方法」以外の策定方法により設計応力強さを求めている場合にあつては、本規格の策定方法により再試験を行うかもしくは評価を行うこと。	2.1 (19)を参照のこと
(6) 7.項「ボルト材の設計応力強さの設定方法」以外の策定方法により設計応力強さを求めている場合にあつては、本規格の策定方法により再試験を行うかもしくは評価を行うこと。	(ボルト材でないため、適用範囲外)
(5) 8.項「ボルト材以外の許容引張応力の設定方法」以外の策定方法により許容引張応力を求めている場合にあつては、本規格の策定方法により再試験を行うかもしくは評価を行うこと。	2.1 (20)を参照のこと
(6) 7.項「ボルト材の許容引張応力の設定方法」以外の策定方法により許容引張応力を求めている場合にあつては、本規格の策定方法により再試験を行うかもしくは評価を行うこと。	(ボルト材でないため、適用範囲外)

バスケット用炭素鋼 SG295 の評価

1. 概要

1.1 高収納化への取り組み

金属キャスクは、取り扱われる環境によって重量や外寸法に制限が課されるため、高収納化のために安易に大型化することはできない。また、密封容器の内径を拡大して収納体数を増やすことも考えられるが、胴の板厚が減少するため遮蔽機能の面で不利になる。したがって、遮蔽機能を維持して高収納化を実現するためには、使用済燃料をより密に収納できるようにバスケットを改良し、同時にバスケット単体の軽量化が求められる。

(社)日本機械学会(JSME)のJSME S FA1-2007「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格」(以下、金属キャスク構造規格)では、バスケットに適用可能な炭素鋼材料としてJIS G 3118「中・常温圧力容器用炭素鋼鋼板」に規定されるSGV材が挙げられている^[1]。Hitz-B52型のバスケットは、金属キャスク構造規格に基づきSGV材(SGV410)を主要な材料とし、図1-1に示すように、SGV材を角パイプ状に成形した部品(コンパートメント)を、中性子吸収材(臨界防止のため必要となる部材)を配置する隙間を形成するための部品  を介して並べ、使用済燃料を収納する格子を形成する。このようなバスケットを高収納化するためには、格子内のり寸法、コンパートメント板厚、コンパートメント同士の間隔を小さくする必要があるが、格子内のり寸法とコンパートメント同士の間隔は使用済燃料や中性子吸収材の寸法による制限があるため、コンパートメント板厚を薄くすることが有効な手段となる。

一方で、JIS規格材であるSGV材の板厚は6mm以上200mm以下と規定されており^[2]、Hitz-B52型では規格における最小板厚(6mm)を採用しているため、コンパートメントの板厚を薄くするには、より薄い新規材料を採用する必要がある。

1.2 実施内容

SGV 材に代わる新規材料の採用を検討するにあたり、SGV 材と化学成分及び機械的性質が近い JIS 規格の鋼板材を調査し、JIS G 3116「高圧ガス容器用鋼板及び鋼帯」に規定される SG 材（板厚 1.6 mm 以上 6 mm 以下^[3]）を代替材料の候補として選定した。表 1-1 及び表 1-2 に、SGV 材と SG 材の化学成分及び機械的性質を示す。なお、SGV 材は厚さにより規定値が変わるため、板厚 6 mm の場合の値を記載した。

SGV 材と SG 材（ただし、SG255 を除く）の化学成分において、SGV 材では Si 及び Mn の下限が設定されているという違いがある。Si については、SGV 材のみ製造方法が細粒キルド鋼からの製造と規定されている^[2]ことから、Si の 0.15%以上という規定は Si キルド鋼を想定しているためと考えられる^[4]。Mn は低温じん性を高める働きがあり^[4]、厚板である SGV 材では溶接時の低温割れに配慮して下限が規定されていると考えられるが、SG 材は薄板であるため下限が規定されていないと考えられる。したがって、Si 及び Mn の下限は、SGV 材と SG 材の化学的・機械的性質に本質的な差異を生ずるものではない。

表 1-1 SGV 材及び SG 材の化学成分（規格値）^{[2][3]}

規格	種類の記号	化学成分(%)				
		C	Si	Mn	P	S
JIS G 3118 (SGV 材)	SGV410	≦0.21	0.15~0.40	0.85~1.20	≦0.020	≦0.020
	SGV450	≦0.24	0.15~0.40	0.85~1.20	≦0.020	≦0.020
	SGV480	≦0.27	0.15~0.40	0.85~1.20	≦0.020	≦0.020
JIS G 3116 (SG 材)	SG255	≦0.20	—	≧0.30	≦0.020	≦0.020
	SG295	≦0.20	≦0.35	≦1.00	≦0.020	≦0.020
	SG325	≦0.20	≦0.55	≦1.50	≦0.020	≦0.020
	SG365	≦0.20	≦0.55	≦1.50	≦0.020	≦0.020

注：SGV 材は板厚 12.5 mm 以下の値を記載。

表 1-2 SGV 材及び SG 材の機械的性質（規格値）^{[2][3]}

規格	種類の記号	降伏点 又は耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	曲げ性	
					曲げ角度	内側半径
JIS G 3118 (SGV 材)	SGV410	≧225	410~490	≧19	180°	厚さの 0.5 倍
	SGV450	≧245	450~540	≧17	180°	厚さの 0.75 倍
	SGV480	≧265	480~590	≧15	180°	厚さの 1.0 倍
JIS G 3116 (SG 材)	SG255	≧255	≧400	≧28	180°	厚さの 1.0 倍
	SG295	≧295	≧440	≧26	180°	厚さの 1.5 倍
	SG325	≧325	≧490	≧22	180°	厚さの 1.5 倍
	SG365	≧365	≧540	≧20	180°	厚さの 1.5 倍

注：SGV 材の伸びは板厚 6 mm の値、曲げ性内側半径は板厚 25 mm 以下の値を記載。

本資料では、SG 材の材料試験を実施し、バスケット材として JSME 材料規格で使用を認められている SGV 材との比較により、バスケット材への適用を検討する。ここで、SGV410 と比較して、同等の化学成分であり、曲げ性が劣るものの同等以上の機械的性質である SG295 を検討の対象とした。また、60 年間程度の供用期間が想定される金属キャスク材料として求められる長期健全性について考察を行った。



図 1-1 Hitz-B52 型バスケットの構造

2. 試験方法

2.1 試験項目

試験内容は JSME S NJ1-2012 「発電用原子力設備規格 材料規格」(以下、「材料規格」) の新規材料採用ガイドライン(以下、「ガイドライン」)を基本とし、ガイドラインで定められる新規材料を使用する場合に要求される項目のうち、バスケット材料への適用性を判断する上で情報が不足している項目を試験項目とする。

SG 材は「LP ガス、アセチレンなどの各種高圧ガスを充填する内容積 500 L 以下の溶接容器に用いる熱間圧延鋼板及び鋼帯」として規定されており^[3]、当該規格を引用する JIS B 8267 「圧力容器の設計」では、100 °C までの許容引張応力が示されている^[5]が、高温の設計強度は規定されていない。ガイドラインでは、高温の設計強度が規定されていない材料については、化学成分や機械的性質など、表 2-1 に示す 22 項目から用途に応じて必要な資料を提出することが求められている^[6]。

表 2-1 新規材料採用ガイドライン要求項目

(1) 材料の基本化学成分及び用途	<u>(12) 高温及び低温引張特性</u>
(2) 材料の仕様	(13) クリープ及びクリープ破断特性
(3) 使用条件	(14) 時効後靱性
(4) 特徴及び使用上の留意事項	(15) 溶接性(溶接性、溶接区分)
(5) 製造工程及び製造条件	(16) 耐食性
(6) 化学成分(溶鋼分析又は溶湯分析、製品分析)	<u>(17) 設計降伏点</u>
(7) マクロ及びミクロ組織	<u>(18) 設計引張強さ</u>
(8) 実用試験(へん平試験、押し広げ試験)	<u>(19) 設計応力強さ</u>
(9) 加工性、加工条件	<u>(20) 許容引張応力</u>
(10) 機械的性質	(21) 疲労
<u>(11) 応力一ひずみ特性</u>	<u>(22) その他特性</u> [*]

注：本資料で着目する項目を下線で示した。

※：温度依存の材料物性データ。(線膨張係数、熱伝導率、温度伝導率、縦弾性係数、ポアソン比)

バスケット材料への適用性を判断する上で必要な項目は、SG 材として規定のある項目を除くと、表 2-1 の(11)以降の項目が該当する。上述のように、SG 材は溶接性が考慮された炭素鋼材料である。材料規格における縦弾性係数の分類及び線膨張係数の分類では、それぞれ「炭素量が 0.3%以下の炭素鋼」及び「炭素鋼、合金鋼[区分 I]」に該当し、時効、クリープ、耐食性、及び疲労については一般的な知見が活用できると考えられる。一方、応力一ひずみ特性及び高温引張特性の情報は不足しており、高温引張特性から得られる設計降伏点、設計引張強さ、設計応力強さ、許容引張応力も同様に不足している。その他特性とは、要求があれば提出する必要がある温度依存の材料物性データ(線膨張係数、熱伝導率、温度伝導率、縦弾性係数、ポアソン比)であり、材料規格における分類の妥当性を判断する根拠になる。なお、低温での使用は想定しないため、低温引張特性は不要である。

以上より、試験項目としては高温引張試験及び温度依存の材料物性測定を実施する。ガイドラインでは高温引張特性として「最高使用温度よりも 50 °C 高い温度までの 50 °C ごとのデータ」が要求されており^[6]、収納する使用済燃料の制限温度が 300 °C 程度であることを考慮し、最高試験温度を 400 °C とする。なお、一般に炭素鋼は約 400 °C を超えるとクリープによる破壊が問題となる^[7]が、想定している使用温度域においては、クリープ破断について考慮する必要はない。

2.2 供試材

ガイドラインより供試材標本数は、最小 3 標本（標本とは、同一溶解、同一板厚及び同一熱処理条件を同時に満足するもの）とする^[6]ことから、供試材は、厚さ 6 mm、幅 1219 mm、長さ 1000 mm の SG295 鋼板 3 体を、それぞれヒート番号の異なる鋼帯から制作したものをを用いた。試験片は JIS G 3116 の規定に基づいて採取することとし、引張試験片については 8.2.3 項（引張試験片及び曲げ試験片の採取位置及び方向）より、供試材の幅方向の縁から 1/4 付近の位置から圧延方向と平行に採取することとした。試験片採取位置を図 2-1 に示す。

各供試材の試験片採取位置における化学成分及び機械的性質を表 2-2 に示す。参考として、各供試材のミルシート記載値を合わせて示した。供試材は全て SG295 の規格値を満たしている。



図 2-1 試験片採取位置

表 2-2 供試材の化学成分及び機械的性質

供試材		化学成分 (%) ※1					機械的性質※2		
		C	Si	Mn	P	S	耐力※3 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
1	A	0.08	0.01	0.82	0.019	0.002	337	467	39
	B	0.08	0.01	0.84	0.019	0.002	362	461	37
2	A	0.08	0.02	0.83	0.016	0.002	330	453	38
	B	0.08	0.02	0.85	0.016	0.002	339	443	37
3	A	0.08	0.01	0.83	0.018	0.002	338	458	39
	B	0.08	0.01	0.84	0.018	0.002	347	454	39
SG295 規格値		≦0.20	≦0.35	≦1.00	≦0.020	≦0.020	≧295	≧440	≧26

注:A 欄は製品分析値。B 欄はミルシート記載値。

※1:A 欄は、燃焼-赤外線吸収法 (C、S) 及びスパーク放電発光分光分析法 (Si、Mn、P) による。

※2:A 欄は、長手方向に採った 5 号試験片 (JIS Z 2241) による。

※3:A 欄は、ひずみゲージを用いて得た弾性範囲内の応力-ひずみ線図から測定した 0.2%耐力。

2.3 試験方法及び条件

2.3.1 高温引張試験

高温引張試験は JIS G 0567「鉄鋼材料及び耐熱合金の高温引張試験方法」を参考として実施した。高温引張試験の試験条件を以下に示す。

- ・試験片形状：図 2-2 参照（ひずみ測定には伸び計を使用する。）
- ・試験片採取方向：圧延方向
- ・試験温度（℃）：室温（10~35）、65、100、150、200、250、300、350、400
- ・各供試材、各試験温度の試験片数：3
- ・測定項目：0.2%耐力、引張強さ、破断伸び

2.3.2 温度依存の材料物性測定

温度依存の材料物性測定条件を以下に示す。なお、(1) 及び (2) の測定のために必要となる、室温における供試材の密度はアルキメデス法により測定した。

(1) 縦弾性係数及びポアソン比

- ・測定方法：超音波パルス法（JIS Z 2280）
- ・測定雰囲気：Ar ガスフロー
- ・試験片形状：厚さ 5 mm、直径 16 mm
- ・測定温度（℃）：-75、25、100、150、200、250、300、350、400

(2) 比熱、温度伝導率及び熱伝導率

- ・比熱測定方法：断熱型連続法
- ・比熱測定雰囲気：Ar ガス

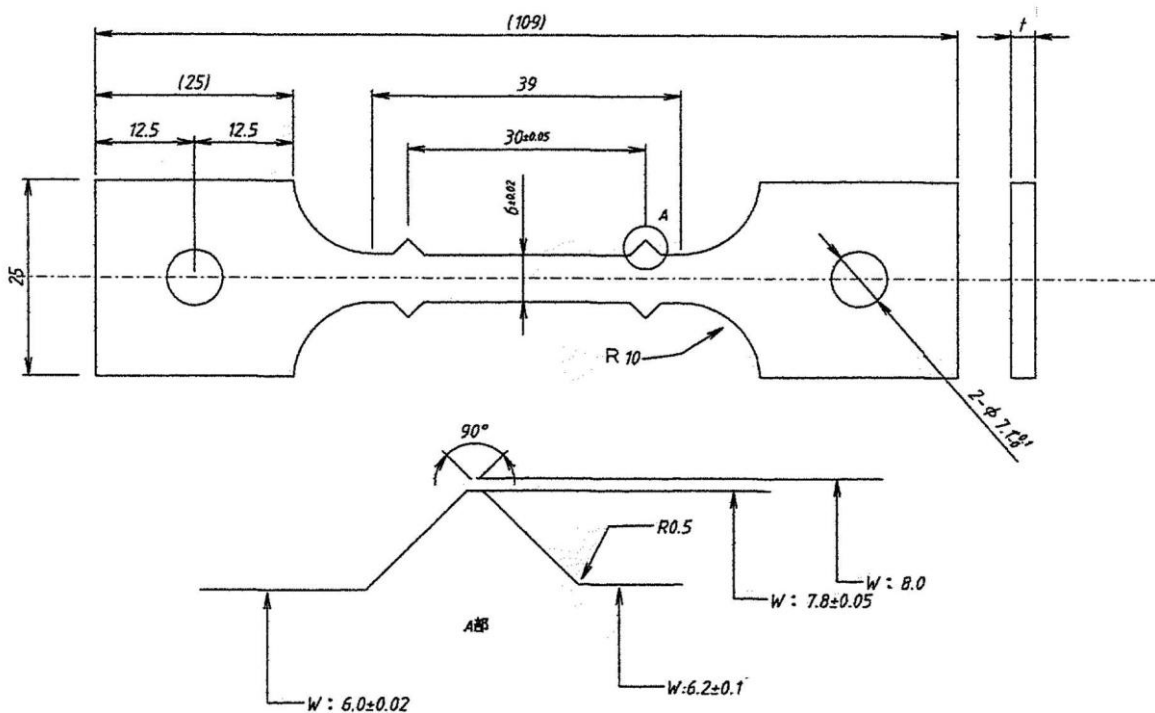


図 2-2 高温引張試験片形状

- ・比熱試験片形状：厚さ 6 mm、幅約 13 mm、長さ約 25 mm（質量約 15 g）
- ・温度伝導率測定方法：レーザーフラッシュ法
- ・温度伝導率測定雰囲気：真空
- ・温度伝導率試験片形状：厚さ 2 mm、直径 10 mm
- ・測定温度（℃）：20、25、100、150、200、250、300、350、400

熱伝導率は、測定した比熱、温度伝導率から次式で求められる。

$$\lambda = \alpha \cdot C_p \cdot \rho$$

ここで、

λ	： 熱伝導率	[W/(m·K)]
α	： 温度伝導率	[m ² /s]
C_p	： 比熱	[J/(kg·K)]
ρ	： 密度	[kg/m ³]

(3) 線膨張係数

- ・測定方法：押棒式変位検出法（JIS Z 2285）
- ・測定雰囲気：Ar ガス
- ・試験片形状：厚さ 4 mm、幅 4 mm、長さ 20 mm
- ・測定温度（℃）：20、100、150、200、250、300、350、400

3. 高温引張試験結果及び考察

3.1 試験結果

応力-ひずみ線図の例として、供試材 1 の室温、100 °C、200 °C、250 °C、300 °C、400 °C における応力-ひずみ線図を図 3-1 に示す。全ての試験片について測定した 0.2%耐力、引張強さ、伸びをそれぞれ表 3-1~3 及び図 3-2~4 に示す。なお、表に記載される平均値は小数第一位を四捨五入した値であるが、図では小数位を丸めていない値をプロットしている。

室温から温度が上昇するに伴い耐力及び引張強さは減少するが、200~300 °Cあたりで回復して極大となり、伸びが極小となる青熱脆性現象が確認できる。しかし、伸びの極小値は約 30%であり、SG295 の規格値である 26%を上回ることから、青熱脆性が問題になることはない。

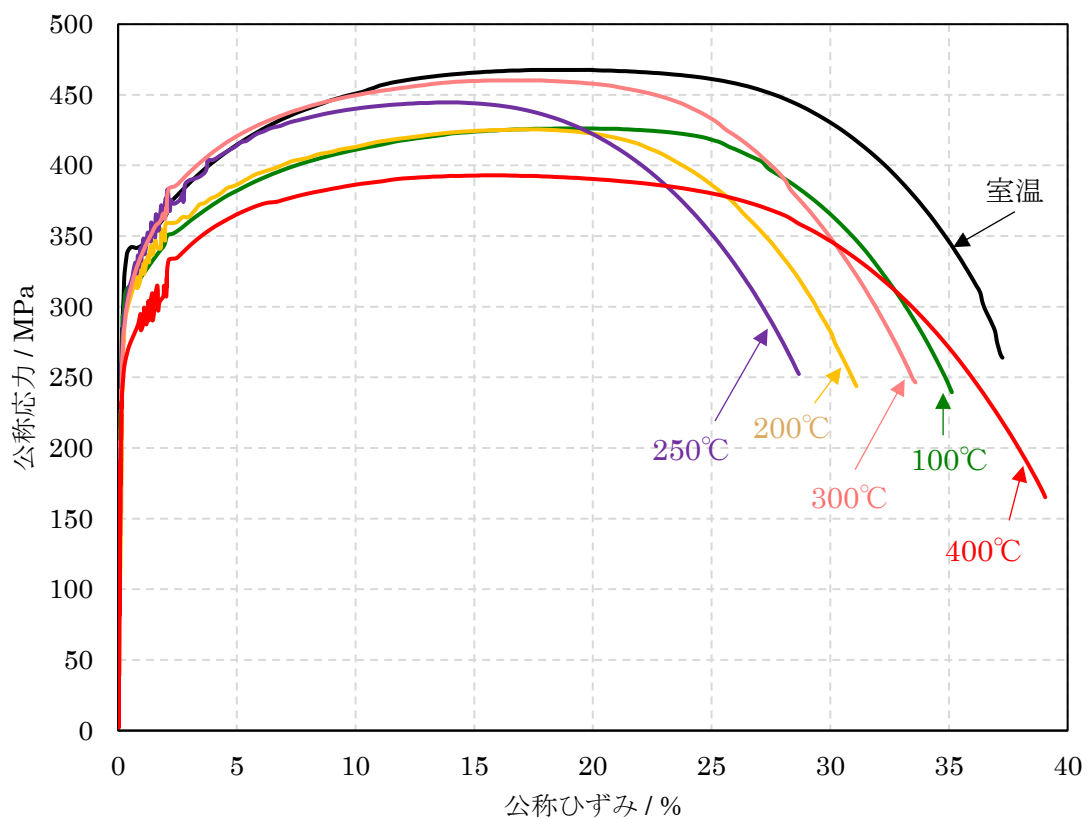


図 3-1 応力-ひずみ線図の例 (供試材 1)

表 3-1 高温引張試験結果：0.2%耐力（単位：MPa）

供試材	試験片	温度（℃）								
		室温	65	100	150	200	250	300	350	400
1	1	337	325	312	305	302	305	301	282	266
	2	335	321	313	304	302	309	304	285	267
	3	340	330	316	306	300	310	302	287	270
	平均	337	325	314	305	301	308	302	285	268
2	1	325	309	303	289	290	305	299	292	270
	2	327	310	304	293	297	305	305	290	268
	3	327	310	307	294	294	307	302	294	270
	平均	326	310	305	292	294	306	302	292	269
3	1	334	319	309	302	307	317	315	301	278
	2	335	319	310	303	306	313	310	304	280
	3	333	318	312	306	306	317	311	304	282
	平均	334	319	310	304	306	316	312	303	280
全試験片平均		333	318	310	300	300	310	305	293	272

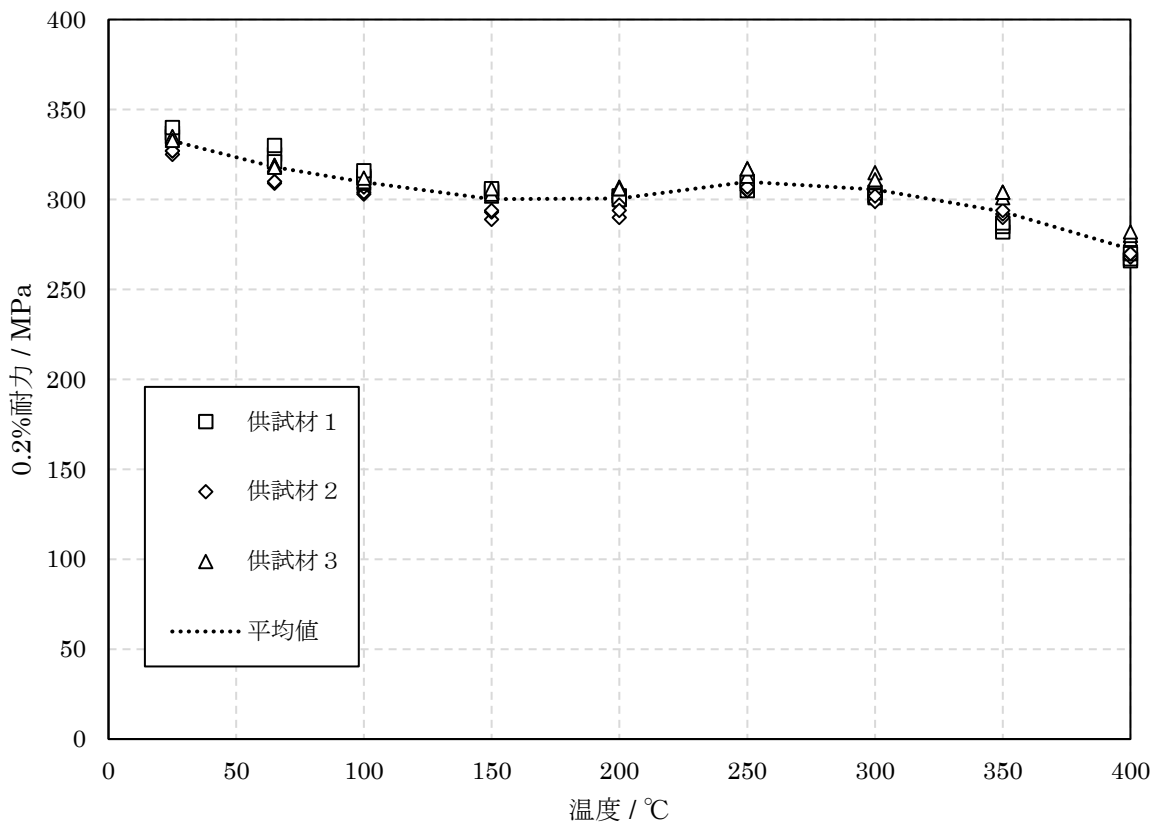


図 3-2 高温引張試験結果：0.2%耐力

表 3-2 高温引張試験結果：引張強さ（単位：MPa）

供試材	試験片	温度（℃）								
		室温	65	100	150	200	250	300	350	400
1	1	468	443	426	421	426	445	461	432	393
	2	465	441	427	420	427	448	462	432	390
	3	470	446	428	421	427	448	461	433	393
	平均	468	443	427	421	427	447	461	432	392
2	1	451	424	413	400	402	424	433	420	381
	2	450	424	412	400	403	421	435	423	381
	3	451	423	414	400	403	421	433	422	382
	平均	451	424	413	400	403	422	434	422	381
3	1	458	429	412	412	416	430	453	432	393
	2	458	429	413	411	413	428	450	432	391
	3	458	429	416	413	415	430	452	429	390
	平均	458	429	414	412	415	429	452	431	391
全試験片平均		459	432	418	411	415	433	449	428	388

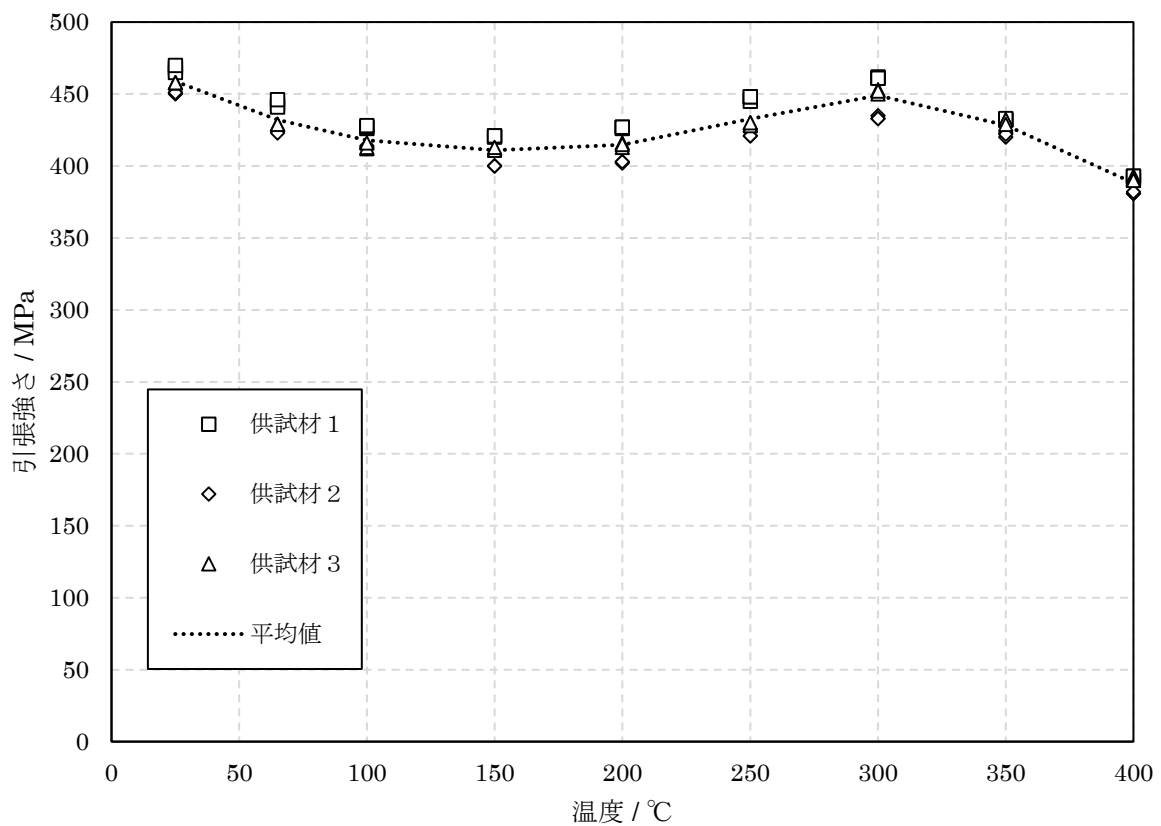


図 3-3 高温引張試験結果：引張強さ

表 3-3 高温引張試験結果：伸び（単位：％）

供試材	試験片	温度（℃）								
		室温	65	100	150	200	250	300	350	400
1	1	38	38	36	32	32	30	34	38	40
	2	38	38	36	33	32	30	34	38	38
	3	38	38	36	32	32	30	34	38	38
	平均	38	38	36	32	32	30	34	38	39
2	1	38	38	37	34	32	30	32	38	40
	2	38	38	36	34	32	31	32	37	38
	3	38	38	36	34	32	30	31	39	36
	平均	38	38	36	34	32	30	32	38	38
3	1	37	36	34	32	32	30	32	37	36
	2	37	38	35	32	32	30	32	38	36
	3	37	38	35	32	32	30	32	38	35
	平均	37	37	35	32	32	30	32	38	36
全試験片平均		38	38	36	33	32	30	33	38	37

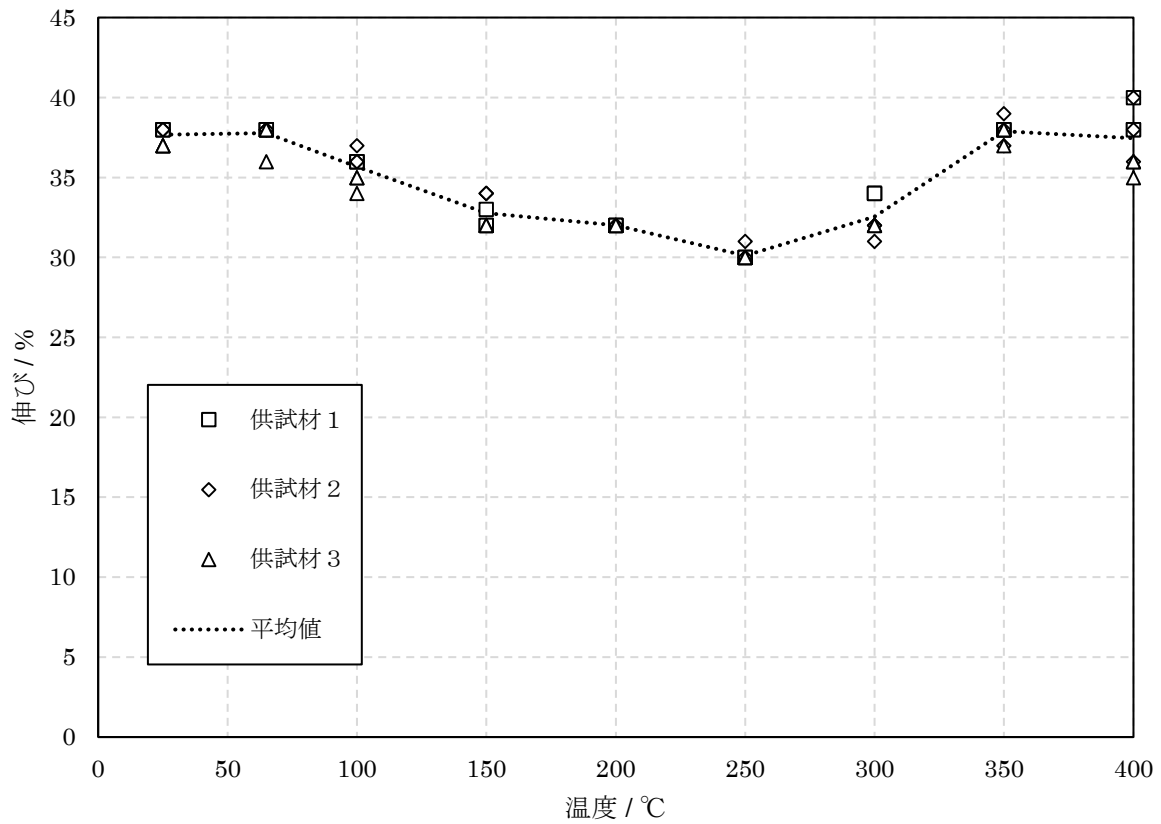


図 3-4 高温引張試験結果：伸び

3.2 設計降伏点、設計引張強さ、設計応力強さ、許容引張応力の設定

SG295 の高温引張特性から、設計降伏点 (Sy 値)、設計引張強さ (Su 値)、設計応力強さ (Sm 値)、及び許容引張応力 (S 値) をそれぞれ新規材料採用ガイドラインに基づき設定する。設定方法を以下に示す。なお、計算は汎用表計算ソフト (Microsoft Excel) で行い、計算過程における数値の丸めは行わないが、最終的に MPa 単位で算出される値は保守的に小数位を切り捨てるものとする。

(1) 設計降伏点

ガイドラインでは、設計降伏点 (Sy 値) の設定方法を次のように規定している。

付録 1. 新規材料の設計降伏点 (Sy 値) の設定方法

1. 基本事項

標本数は 3 標本とする。

高温強度を各標本について求める。

各温度における強度を常温の強度で基準化したトレンド曲線による方法を用いて設計降伏点を求める。

2. Sy 値の設定方法

①: 常温の降伏点 (耐力) の規格値

②: R_Y × 常温の降伏点 (耐力) の規格値

$$R_Y = \text{当該温度での降伏点 (耐力)} / \text{常温の降伏点 (耐力)}$$

各温度での値はそれより低温での値を超えないように修正する。

上記①と②の小さい方の値を設計降伏点 (Sy 値) とする。

3. 留意事項

新規材料の Sy 値は、当該材料のデータセットから上記方法により定まるが、ASME B&PV Code Sec.II Materials、JIS B 8265 「压力容器の構造—一般事項」、JIS B 8266 「压力容器の構造—特定規格」等の国内外の規格を調査し相当材がある場合には、それらの規格との整合性を図る。

したがって、具体的に次のように設定する。

- 標本 (供試材) ごとに、測定温度ごとの 0.2%耐力の平均値を求める。(表 3-1 参照)
- 標本ごとに、室温 (20 °C と仮定する) における 0.2%耐力を基準 (=1) として、各温度における 0.2%耐力の比を求める。(表 3-4)
- 各温度における 0.2%耐力 / 室温における 0.2%耐力を温度 T の関数 $f_Y(T)$ として、最小二乗法により次式にフィッティングし、トレンド曲線を求める。(図 3-5)

$$f_Y(T) = a_5 \cdot T^5 + a_4 \cdot T^4 + a_3 \cdot T^3 + a_2 \cdot T^2 + a_1 \cdot T + a_0$$

ここで、 a_i ($i = 0, 1, \dots, 5$)はフィッティングパラメータ（定数）である。

- d) 常温（20℃）における設計降伏点を JIS 規格値 295 MPa^[3]とし、トレンド曲線 $f_Y(T)$ の T に規定温度を代入して得られる R_Y を乗じた値を算出する。その値を当該温度よりも低い温度における値と比較し、小さい方を設計降伏点とする。（別紙 3-45 ページ、表 3-5）

表 3-4 室温における 0.2%耐力を基準とした各温度の 0.2%耐力の比

供試材	温度 (°C)								
	20	65	100	150	200	250	300	350	400
1	1	0.9644	0.9298	0.9042	0.8933	0.9130	0.8962	0.8439	0.7935
2	1	0.9489	0.9336	0.8948	0.8999	0.9367	0.9254	0.8948	0.8253
3	1	0.9541	0.9291	0.9092	0.9172	0.9451	0.9341	0.9072	0.8383

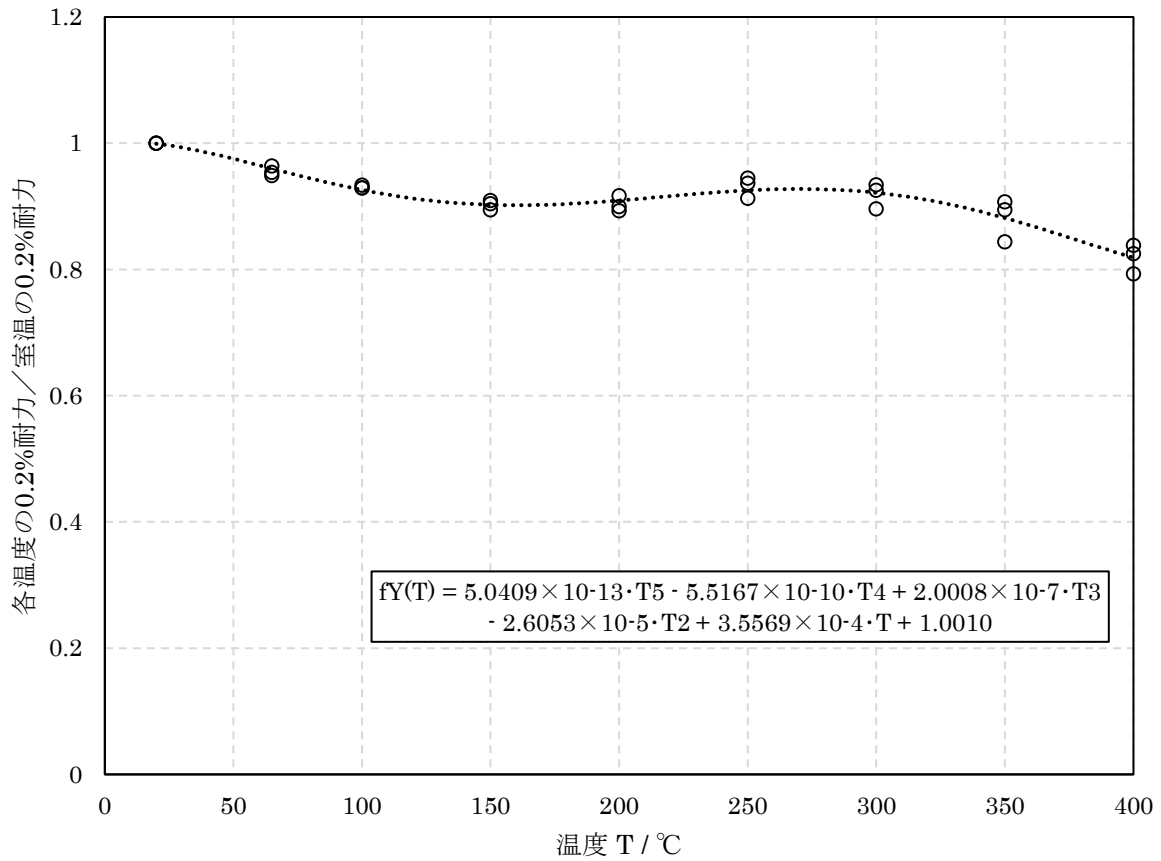


図 3-5 SG295 の 0.2%耐力（降伏点）トレンド曲線

(2) 設計引張強さ

ガイドラインでは、設計引張強さ（Su 値）の設定方法を次のように規定している。

付録 2. 新規材料の設計引張強さ (Su 値) の設定方法

1. 基本事項

標本数は 3 標本とする。

高温強度を各標本について求める。

各温度における強度を常温の強度で基準化したトレンド曲線による方法を用いて設計引張強さを求める。

2. Su 値の設定方法

①：常温の引張強さの規格値

②： R_T ×常温の引張強さの規格値

$$R_T = \text{当該温度での引張強さ} / \text{常温の引張強さ}$$

各温度での値はそれより低温での値を超えないように修正する。

上記①と②の小さい方の値を設計引張強さ (Su 値) とする。

3. 留意事項

新規材料の Su 値は、当該材料のデータセットから上記方法により定まるが、ASME B&PV Code Sec.II Materials 等の国内外の規格を調査し相当材がある場合には、それらの規格との整合性を図る。

したがって、具体的に次のように設定する。

- 標本 (供試材) ごとに、測定温度ごとの引張強さの平均値を求める。(表 3-2 参照)
- 標本ごとに、室温 (20 °C と仮定する) における引張強さを基準 (=1) として、各温度における引張強さの比を求める。(表 3-6)
- 各温度における引張強さ / 室温における引張強さを温度 T の関数 $f_T(T)$ として、最小二乗法により次式にフィッティングし、トレンド曲線を求める。(図 3-6)

$$f_T(T) = a_5 \cdot T^5 + a_4 \cdot T^4 + a_3 \cdot T^3 + a_2 \cdot T^2 + a_1 \cdot T + a_0$$

ここで、 a_i ($i = 0, 1, \dots, 5$) はフィッティングパラメータ (定数) である。

- 常温 (20 °C) における設計引張強さを JIS 規格値 440 MPa^[3] とし、トレンド曲線 $f_T(T)$ の T に規定温度を代入して得られる R_T を乗じた値を算出する。その値と当該温度よりも低い温度における値を比較し、小さい方を設計引張強さとする。(表 3-7)

表 3-6 室温における引張強さを基準とした各温度の引張強さの比

供試材	温度 (°C)								
	20	65	100	150	200	250	300	350	400
1	1	0.9644	0.9298	0.9042	0.8933	0.9130	0.8962	0.8439	0.7935
2	1	0.9489	0.9336	0.8948	0.8999	0.9367	0.9254	0.8948	0.8253
3	1	0.9541	0.9291	0.9092	0.9172	0.9451	0.9341	0.9072	0.8383

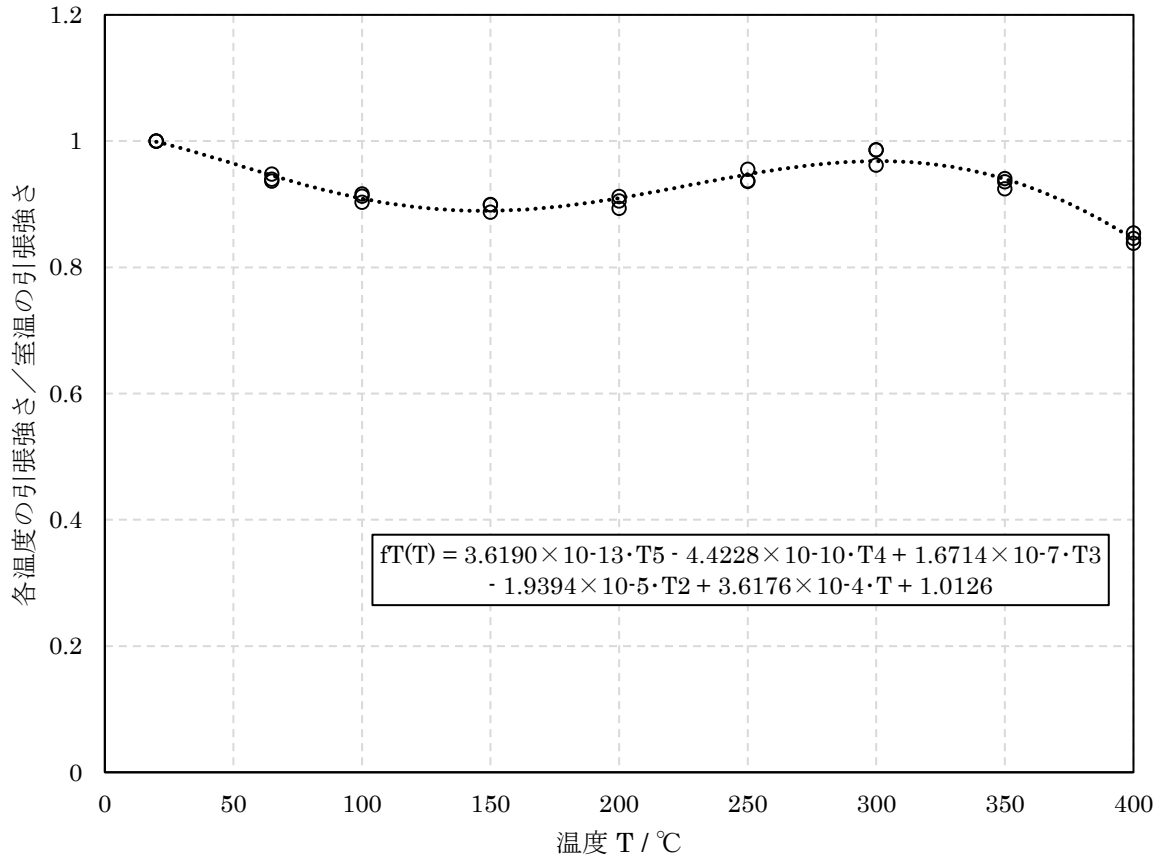


図 3-6 SG295 の引張強さのトレンド曲線

表 3-5 設計降伏点の設定

	温度 (°C)														
	-30~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350	375	400
① : 常温の規格値 (MPa)	295	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
R_Y	1	0.9597	0.9493	0.9260	0.9099	0.9024	0.9093	0.9179	0.9252	0.9273	0.9215	0.9061	0.8815	0.8505	0.8190
② : $R_Y \times \text{①}$ (MPa)	/	283	280	273	268	266	268	270	272	273	271	267	260	250	241
設計降伏点 (S_y 値) (MPa)	295	283	280	273	268	266	266	266	266	266	266	266	260	250	241

表 3-7 設計引張強さの設定

	温度 (°C)														
	-30~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350	375	400
① : 常温の規格値 (MPa)	440	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
R_T	1	0.9456	0.9338	0.9090	0.8939	0.8896	0.9098	0.9284	0.9474	0.9622	0.9683	0.9620	0.9401	0.9012	0.8453
② : $R_T \times \text{①}$ (MPa)	/	416	410	399	393	391	400	408	416	423	426	423	413	396	371
設計降伏点 (S_u 値) (MPa)	440	416	410	399	393	391	391	391	391	391	391	391	391	391	371

(3) 設計応力強さ

ガイドラインでは、設計応力強さ（Sm 値）の設定方法を次のように規定している。なお、引用に際して、ここでは無関係の記載（管材及びオーステナイト系ステンレス鋼に関する規定）は省略した。

付録 3. ボルト材を除くクラス 1 機器の設計応力強さ（Sm 値）の設定方法

付録 1 及び付録 2 と同様に、下表に従い各温度ごとに求まる値の小さい方の値を設計応力強さ（Sm 値）とする。

製品／材料	引張強さ		降伏点（耐力）	
	常温	高温	常温	高温
鉄鋼材料（鍛錬品又は鋳鋼品）及び非鉄材料	$1/3 \times St$	$(1.1)/3 \times St \times Rt$	$2/3 \times Sy$	$2/3 \times Sy \times Ry$

Sy ：常温における降伏点（耐力）の規格値

Ry ：当該温度での降伏点（耐力）／常温の降伏点（耐力）

St ：常温における引張強さの規格値

Rt ：当該温度での引張強さ／常温の引張強さ

各温度での値はそれよりも低温での値を超えないように修正する。

したがって、具体的に次のように設定する。

- Sy 及び St をそれぞれ JIS 規格値 295 MPa 及び 440 MPa^[3] とする。
- 常温における設計応力強さを、 $1/3 \times St$ と $2/3 \times Sy$ の小さい方の値とする。
- 高温域の規定温度における Ry 及び Rt を設計降伏点の設定のため求めた値及び設計引張強さの設定のため求めた値とする。
- 高温域の規定温度における $(1.1)/3 \times St \times Rt$ と $2/3 \times Sy \times Ry$ の値を算出し、小さい方の値を求める。その値と当該温度よりも低い温度における値を比較し、小さい方を設計応力強さとする。（表 3-8）

(4) 許容引張応力

ガイドラインでは、許容引張応力（S 値）の設定方法を次のように規定している。なお、引用に際して、ここでは無関係の記載（クリープ、管材及びオーステナイト系ステンレス鋼に関する規定）は省略した。

付録 5. ボルト材を除く材料の許容引張応力 (S 値) の設定方法

付録 1 及び付録 2 と同様に、下表に従い各温度ごとに求まる値の最も小さい値を許容引張応力 (S 値) とする。

製品／材料	常温以下		高温			
	引張強さ	降伏点	引張強さ		降伏点	
鉄鋼材料及び 非鉄材料	$1/3.5 \times S_T$	$2/3 \times S_Y$	$1/3.5 \times S_T$	$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$	$2/3 \times S_Y$	$2/3 \times S_Y \times R_Y$

高温での値はそれよりも低温での値を超えないように修正する。

S_Y : 常温における降伏点 (耐力) の規格値

R_Y : 当該温度での降伏点 (耐力) / 常温の降伏点 (耐力)

S_T : 常温における引張強さの規格値

R_T : 当該温度での引張強さ / 常温の引張強さ

したがって、具体的に次のように設定する。

- S_Y 及び S_T をそれぞれ JIS 規格値 295 MPa 及び 440 MPa^[3] とする。
- 常温における設計応力強さを、 $1/3.5 \times S_T$ と $2/3 \times S_Y$ の小さい方の値とする。
- 高温域の規定温度における R_Y 及び R_T を設計降伏点の設定のため求めた R_Y 及び設計引張強さの設定のため求めた R_T とする。
- $1/3.5 \times S_T$ と $2/3 \times S_Y$ と、高温域の規定温度における $(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$ と $2/3 \times S_Y \times R_Y$ の値を算出し、それらの内で最も小さい値と当該温度よりも低い温度における値を比較し、小さい方を設計応力強さとする。(表 3-9)

以上の手順で設定された SG295 の設計降伏点、設計引張強さ、設計応力強さ、及び許容引張応力を表 3-10 にまとめて示す。最高試験温度が 400 °C であるため、350 °C を超える温度の値については参考とする。

表 3-10 の値と材料規格に規定される SGV410 の設計降伏点、設計引張強さ、設計応力強さ、及び許容引張応力とを比較し、図 3-7~10 に示す。室温から 350 °C までの温度域で、SG295 は SGV410 よりも強度の優れた材料といえる。また、設計降伏点 (図 3-7) 及び設計引張強さ (図 3-8) に高温引張試験結果をプロットし、設定された値が試験結果に対して保守的であることを確認した。

表 3-9 許容引張応力の設定

	温度 (°C)														
	-30~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350	375	400
常温の規格値 S_Y (MPa)	295	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
$2/3 \times S_Y$ (MPa)	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
R_Y	1	0.9597	0.9493	0.9260	0.9099	0.9024	0.9093	0.9179	0.9252	0.9273	0.9215	0.9061	0.8815	0.8505	0.8190
$2/3 \times S_Y \times R_Y$ (MPa)	/	188	186	182	178	177	178	180	181	182	181	178	173	167	161
常温の規格値 S_T (MPa)	440	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
$1/3.5 \times S_T$ (MPa)	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
R_T	1	0.9456	0.9338	0.9090	0.8939	0.8896	0.9098	0.9284	0.9474	0.9622	0.9683	0.9620	0.9401	0.9012	0.8453
$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$ (MPa)	/	130	129	125	123	123	125	128	131	133	133	133	130	124	116
許容設計応力 (S 値) (MPa)	125	125	125	125	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	116

表 3-10 SG295 (JIS G 3116) の設計降伏点、設計引張強さ、設計応力強さ、及び許容引張応力

単位 : MPa	温度 (°C)														
	-30~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350	375*	400*
設計降伏点 (Sy 値)	295	283	280	273	268	266	266	266	266	266	266	266	260	(250)	(241)
設計引張強さ (Su 値)	440	416	410	399	393	391	391	391	391	391	391	391	391	(391)	(371)
設計応力強さ (Sm 値)	146	146	146	146	144	143	143	143	143	143	143	143	143	(143)	(136)
許容引張応力 (S 値)	125	125	125	125	123	123	123	123	123	123	123	123	123	(123)	(116)

※：最高試験温度が 400 °C のため、最高使用温度は 350 °C 以下とする。375 °C 及び 400 °C の値は参考として” () ” を付けて示す。

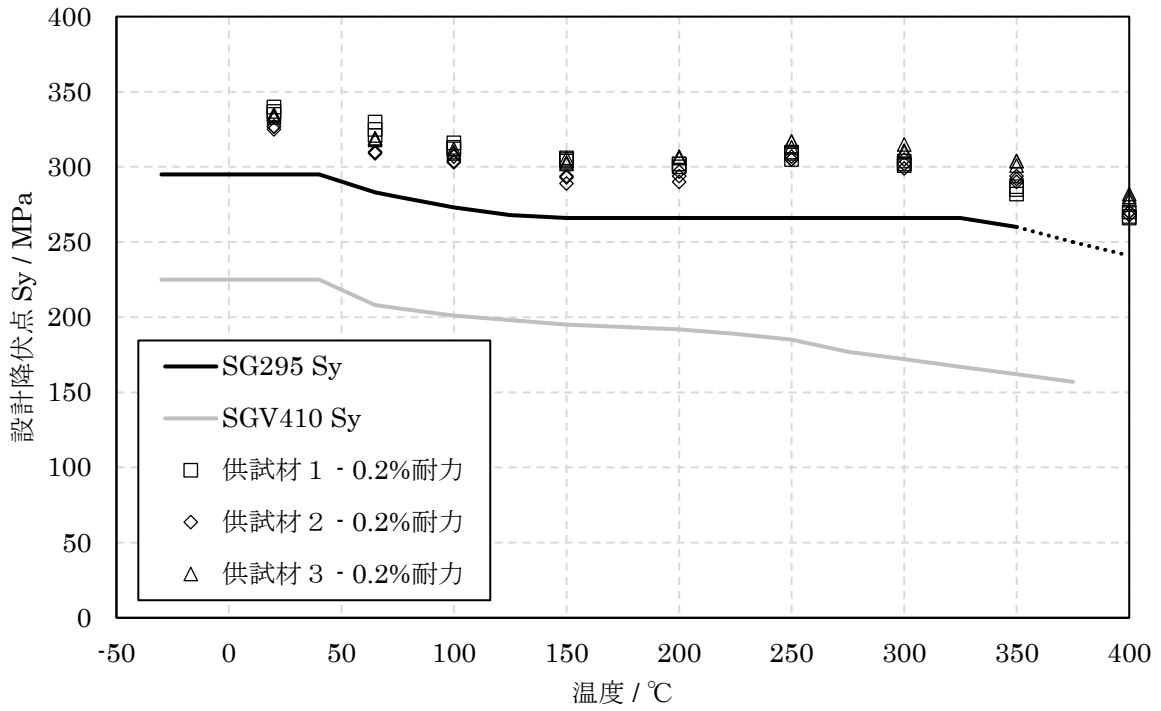


図 3-7 SG295 と SGV410 の設計降伏点の比較

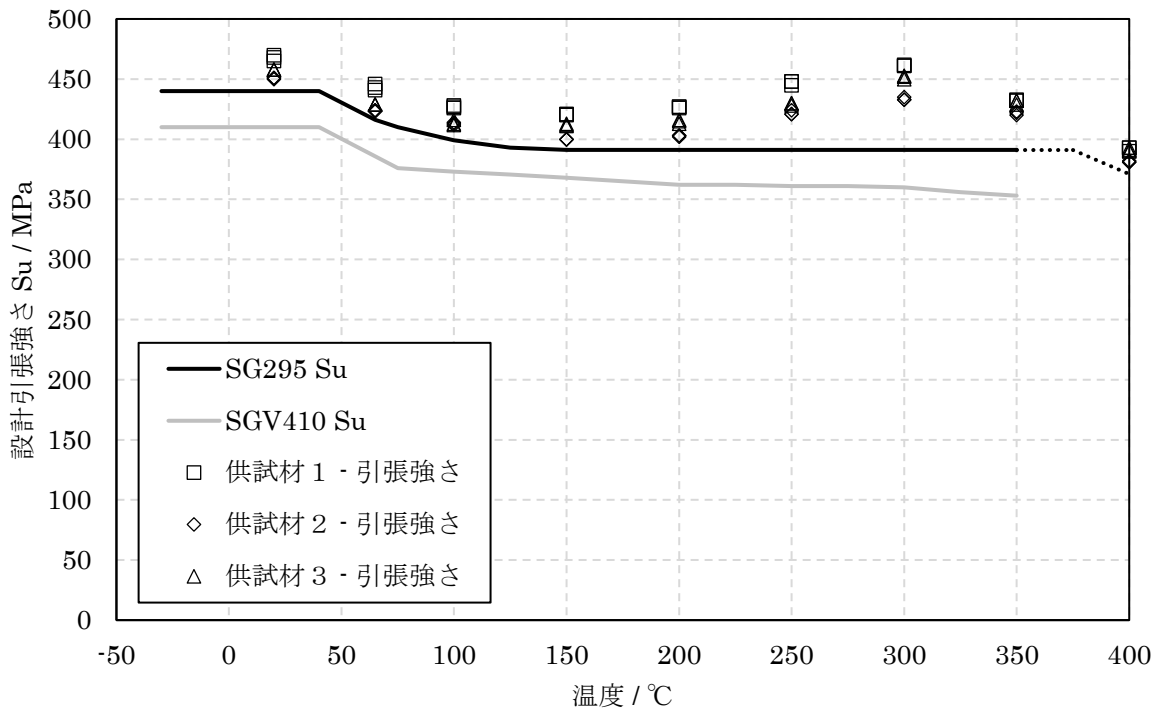


図 3-8 SG295 と SGV410 の設計引張強さの比較

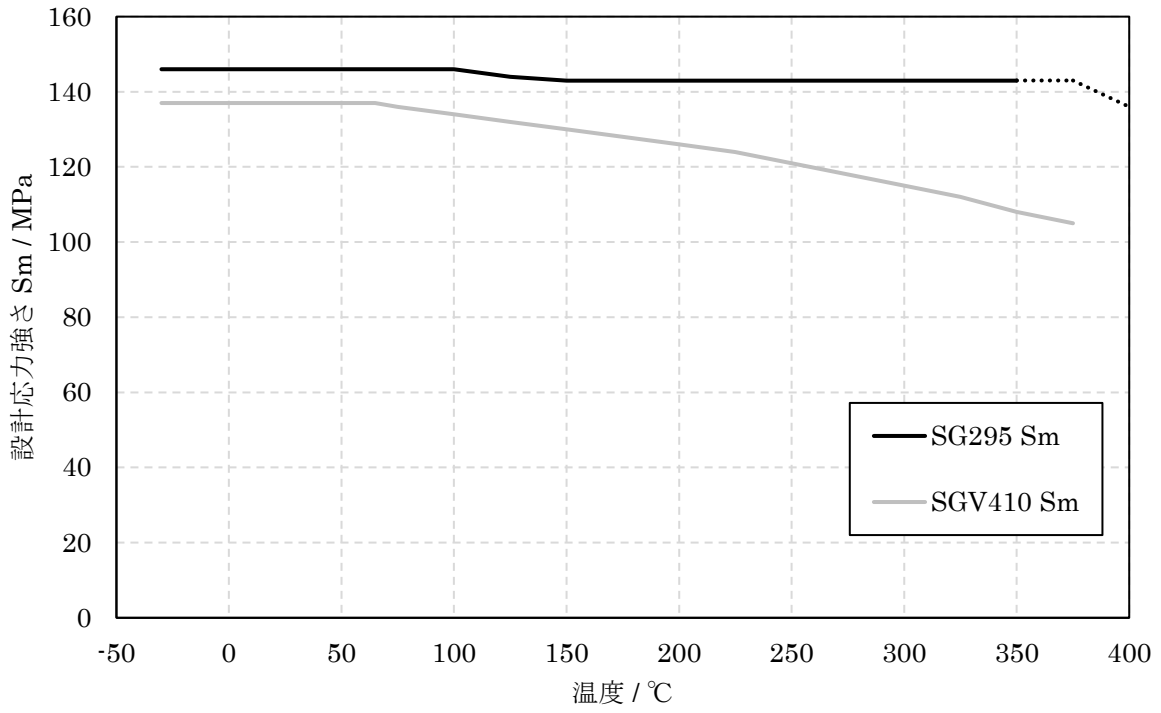


図 3-9 SG295 と SGV410 の設計応力強さの比較

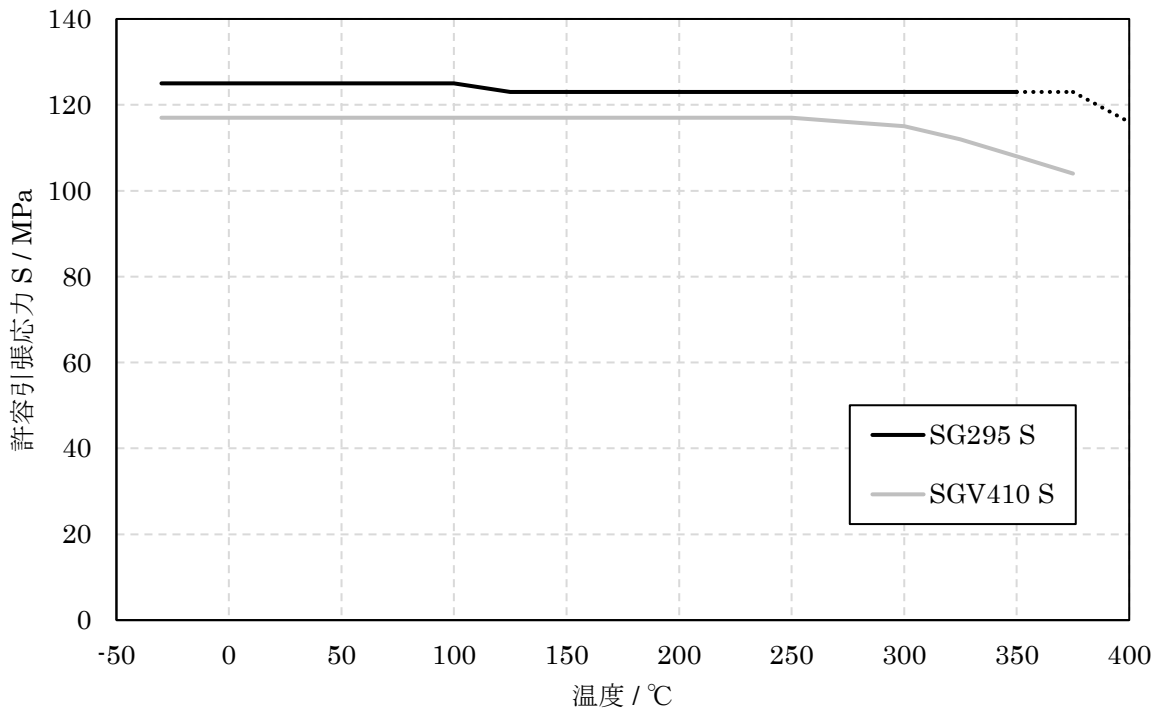


図 3-10 SG295 と SGV410 の許容引張応力の比較

4. 温度依存の材料物性測定結果及び考察

縦弾性係数及びポアソン比の測定結果を表 4-1 に、比熱容量、温度伝導率及び熱伝導率測定結果を表 4-2 に、線膨張係数の測定結果を表 4-3 に示す。また、供試材の密度を表 4-4 に示す。

なお、平均値は表示桁未満の最上位を四捨五入した値である。

縦弾性係数及び線膨張係数について、材料規格における「[E1-1] 炭素量が 0.3%以下の炭素鋼」の縦弾性係数規格値及び「[TE1] 炭素鋼、合金鋼[区分 I]」の線膨張係数規格値に対する比を図 4-1 及び図 4-2 に示す。なお、測定温度の中間温度における値は線形補間した値である。

材料規格分類 [E1-1] 縦弾性係数規格値と比較して、SG295 の縦弾性係数はやや大きく、高温になるほど差が拡大する傾向を示している。しかし、使用温度を超える 400 °C でも規格値を 12% 上回る程度であり、使用温度域では規格値に対して 5% 程度の差異であるため、設計時には規格値を使用する。

線膨張係数については、材料規格分類 [TE1] の規格値と SG295 の線膨張係数の差は 5% 程度であり、同等である。したがって、設計時には規格値を適用する。

表 4-1 縦弾性係数及びポアソン比測定結果

測定項目	供試材	測定温度 (°C)								
		-75	20	100	150	200	250	300	350	400
縦弾性係数 ($\times 10^3$ MPa)	1	213	209	206	203	201	198	195	192	189
	2	213	209	206	203	201	198	195	192	189
	3	219	215	212	209	207	204	201	197	194
	平均	215	211	208	205	203	200	197	194	191
ポアソン比	1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
	2	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
	3	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29
	平均	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30

表 4-2 比熱容量、温度伝導率及び熱伝導率測定結果

測定項目	供試材	測定温度 (°C)							
		20	100	150	200	250	300	350	400
比熱容量 (J/(kg·K))	1	467	510	526	543	560	578	599	621
	2	466	497	515	535	550	570	590	609
	3	465	501	513	524	542	557	576	601
	平均	466	503	518	534	551	568	588	610
温度伝導率 ($\times 10^{-6}$ m ² /s)	1	15.81	14.44	13.35	12.59	11.75	10.77	10.02	9.26
	2	15.80	14.42	13.40	12.47	11.56	10.67	9.90	9.16
	3	15.91	14.45	13.49	12.60	11.72	10.83	10.02	9.27
	平均	15.84	14.44	13.41	12.55	11.68	10.76	9.98	9.23
熱伝導率 (W/(m·K))	1	58.1	57.9	55.2	53.7	51.7	48.9	47.2	45.2
	2	57.9	56.4	54.3	52.5	50.0	47.8	45.9	43.9
	3	58.1	56.9	54.4	51.9	49.9	47.4	45.4	43.8
	平均	58.0	57.1	54.6	52.7	50.5	48.0	46.2	44.3

表 4-3 線膨張係数測定結果

測定項目	供試材	測定温度 (°C)							
		20	100	150	200	250	300	350	400
瞬時線膨張係数 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	1	12.1	13.2	13.6	14.1	14.7	15.2	15.6	15.9
	2	12.1	13.2	13.6	14.1	14.7	15.1	15.5	15.6
	3	11.9	13.0	13.4	14.0	14.5	15.0	15.5	15.9
	平均	12.0	13.1	13.5	14.1	14.6	15.1	15.5	15.8
平均線膨張係数 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	1	12.1	12.8	13.0	13.2	13.5	13.7	14.0	14.2
	2	12.1	12.8	13.1	13.3	13.5	13.8	14.0	14.2
	3	11.9	12.6	12.8	13.1	13.4	13.6	13.9	14.1
	平均	12.0	12.7	13.0	13.2	13.5	13.7	14.0	14.2

注：平均線膨張係数は、室温（20 °C）を基準温度とした値。

表 4-4 供試材の密度

供試材	密度 (kg/m ³)
1	7862
2	7865
3	7860

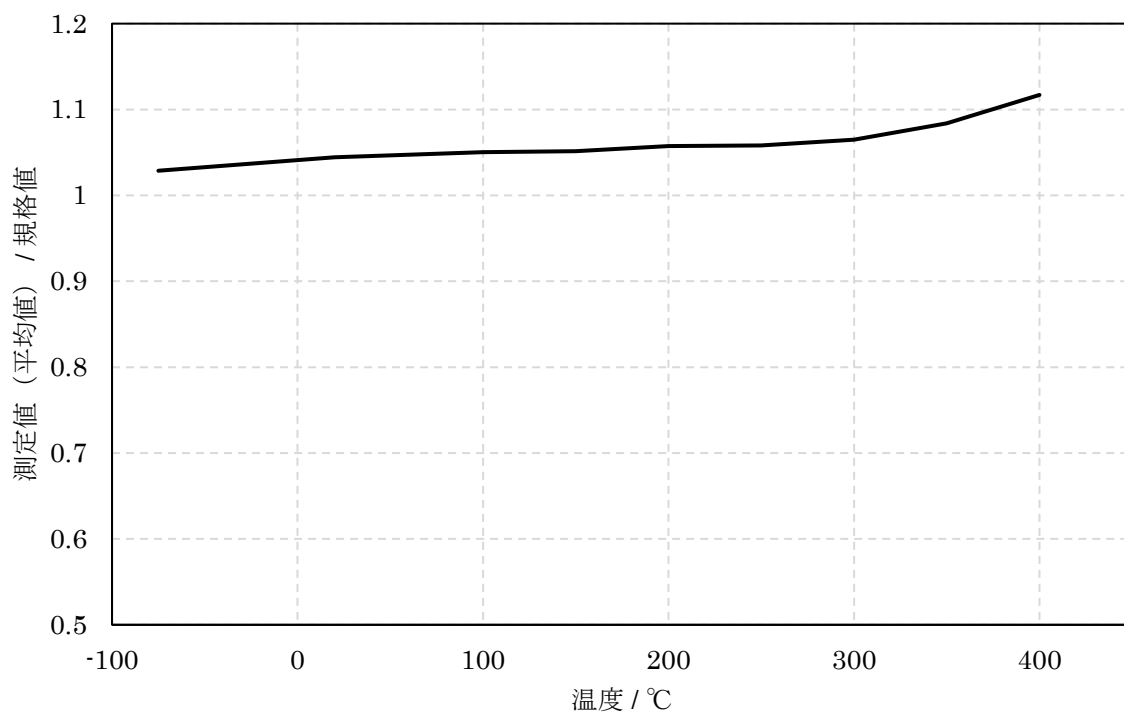


図 4-1 縦弾性係数の比較 : SG295 と材料規格分類 [E1-1] (炭素量が 0.3%以下の炭素鋼)

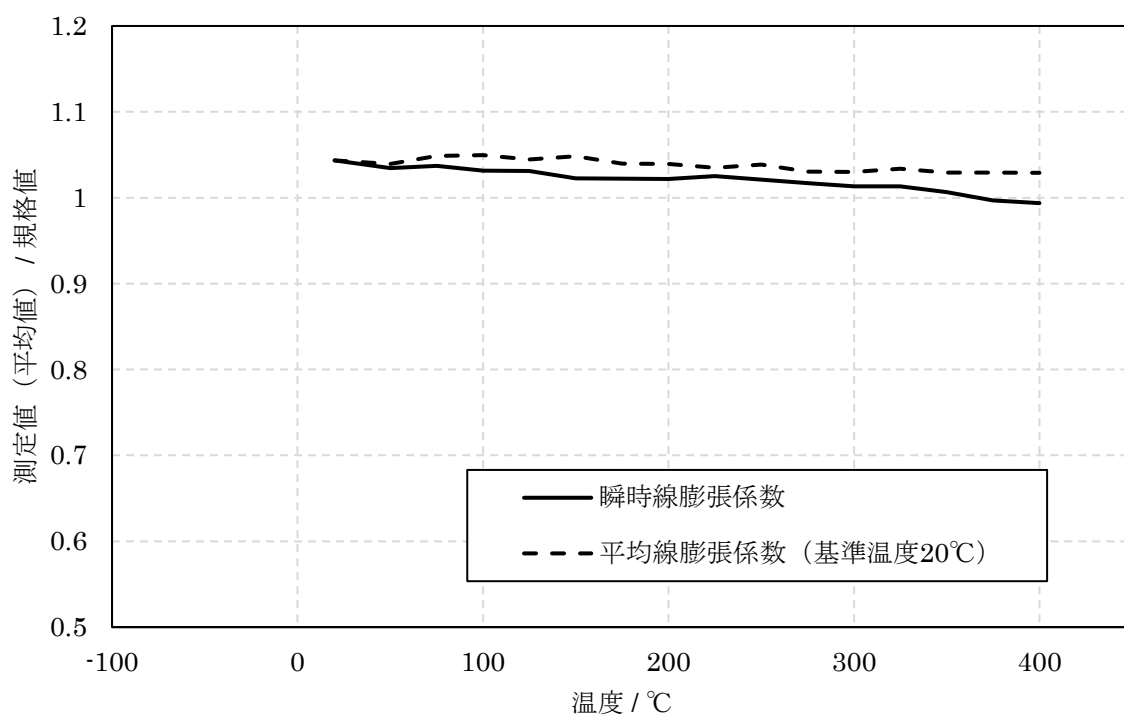


図 4-2 線膨張係数 (瞬時及び室温からの平均) の比較 : SG295 と材料規格分類 [TE1] (炭素鋼、合金鋼[区分 I])

5. 長期健全性に関する考察

金属キャスクの設計貯蔵期間は 60 年間程度に設定され、貯蔵時並びに貯蔵後の輸送時に必要とされる機能の健全性を、設計貯蔵期間を通じて維持することが求められる。したがって、金属キャスクの構成部材は設計貯蔵期間の経年変化の要因を考慮し、必要とされる強度、性能を維持する必要がある。SG 材（炭素鋼）をバスケット材料として使用する場合、期待する機能は収納する使用済燃料を保持するための構造強度であるため、経年変化による強度低下について検討する必要がある。

以下のように、経年変化の要因として熱的影響、放射線照射による影響及び腐食の影響を考慮し、SG 材をバスケット材料とした金属キャスクが 60 年間の供用状態にあった場合について考察し、当該期間において構造強度への影響がないことを確認した。

5.1 熱的影響

2.1 項で述べた通り、金属キャスクに収納する使用済燃料の制限温度が約 300 °C であることから、バスケット材料の最高温度は同程度の温度となる。短期的な影響は、3.1 項に示した 400 °C までの高温引張試験結果より、400 °C までの範囲では機械的性質は著しく劣化しないことが確認されている。長期健全性の観点からクリープと時効について検討する。

(1) クリープ

2.1 項で述べた通り、一般に炭素鋼は約 400 °C を超えるとクリープによる破壊が問題となり^[7]、また、クリープによる変形を考慮すべき温度は一般に融点（絶対温度）の約 1/3 といわれる^[7]。したがって、炭素量 0.2% 以下の炭素鋼（SG 材）は、融点が約 1500 °C であることから、約 300 °C まではクリープによる破断及び変形を考慮する必要はないため、構造強度への影響はない。

5.2 放射線照射による影響

使用済燃料から放出される放射線は中性子線及び γ 線である。放射線の種類及びそのエネルギーによって金属材料の性質に作用する形態は異なると考えられるが、バスケット材料の劣化機構としては、中性子照射による脆化が考えられる。

中性子照射による脆化は、設計貯蔵期間を通じた中性子照射量から評価できる。Hitz-B69 型では、使用済燃料 69 体を収納した条件で、中心付近のコンパートメントの 60 年間の中性子照射量は $2.2 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2$ と評価されている。炭素鋼及び低合金鋼に関しては、鋼種によらず 10^{16} n/cm^2 まで顕著な脆化は認められない^[8]ため、構造強度への影響はない。

5.3 腐食による影響

通常、金属キャスク（密封容器）内部は使用済燃料装荷時に真空乾燥を行い、不活性ガスであるヘリウムが充填される。そのため、不活性ガス環境が貯蔵期間中維持されていれば、腐食による劣化は問題とならないと判断できる。

厳密には、真空乾燥時に水や酸素に起因する腐食や、使用済燃料が破損した場合に放出される腐食性気体による腐食を考慮する必要がある。しかし、前者は残留する濃度を管理することで機能に影響を及ぼさない残留量とすることが可能であり^[9]、後者は 1% 燃料破損相当の燃料棒内ガス中のヨウ素ガスを含む実機模擬環境における、鉄系材料の最大腐食速度により、

60年間の腐食量を保守的に推定しても0.5mm^[10]程度であり、仮に1%燃料破損相当の燃料棒内ガス中のヨウ素ガスの存在を考慮しても、バスケットの腐食による構造強度への影響はない。

6. 結論

高収納キャスクのためのバスケット材料の候補であるSG295の材料試験を実施し以下の知見を得た。

- ・高温引張特性を取得し、設計降伏点、設計引張強さ、設計応力強さ、及び許容引張応力を設定した。
- ・温度依存の材料物性（縦弾性係数、ポアソン比、比熱、温度伝導率、熱伝導率、線膨張率）を取得し、材料規格に示される炭素鋼材料の物性と類似することを確認した。

また、合わせて長期健全性の考察を行い、SG295がバスケット材料として適用可能であることを確認した。

以上より、SG295材は、金属キャスク構造規格で使用を認められているバスケット材料（SGV410）と類似の機械的性質を持ち、同等以上の機械的強度を有することを確認し、新規材料ガイドラインに基づいた使用温度における材料規定を定められたことから、SG295材は薄板のバスケット材として適用できる。

参考文献

- [1] JSME S FA1-2007, 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 (2007年版), (社) 日本機械学会.
- [2] JIS G 3118:2017, 中・常温圧力容器用炭素鋼鋼板.
- [3] JIS G 3116:2013, 高圧ガス容器用鋼板及び鋼帯.
- [4] 手塚 則雄, 米山 猛, “設計者に必要な材料の基礎知識”, 日刊工業新聞社, 2003.
- [5] JIS B 8267:2015, 圧力容器の設計.
- [6] JSME S NJ1-2012, 発電用原子力設備規格 材料規格 (2012年版), (社) 日本機械学会.
- [7] 木村 一弘, “耐熱鋼のクリープ破断寿命予測”, 日本機械学会誌, 73 巻, 5 号, p.323-333, 2009.
- [8] K.Ferrell, S.T.Mahmood, R.E.SStoller, L.K.Mansur, “An evaluation of low temperature radiation embrittlement mechanisms in ferritic alloys”, Journal of Nuclear Materials, vol.210, 3, pp.268-281, 1994.
- [9] AESJ-SC-F002 : 2010, 使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準 : 2010, (社) 日本原子力学会.
- [10] (独) 原子力安全基盤機構, “平成 15 年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験 最終報告”, 2004.

使用済燃料収納配置の考え方について

1. 概要

Hitz-B69 型はキャスクの基本的安全機能を維持するための除熱の制限に対して、2 項で示す収納対象燃料を適切に収納する必要があることから、使用済燃料の収納配置に制限を設けることとする。なお、配置(4)においては、除熱評価による制限だけでなく、遮蔽評価による制限により収納配置に制限を設けている。

2. 対象燃料

貯蔵の対象となる BWR 使用済燃料の種類は表 別 4-1 のとおりである。

表 別 4-1 使用済燃料の種類

使用済燃料の種類		最高燃焼度	冷却期間	燃料被覆管制限温度
a.	8×8 燃料	30,000MWd/t 以下	34 年以上	200℃
b.	新型 8×8 燃料	38,000MWd/t 以下	34 年以上	200℃
c.	新型 8×8 ジルコニウム ライナ燃料	40,000MWd/t 以下	28 年以上	300℃
d.	高燃焼度 8×8 燃料	48,000MWd/t 以下	20 年以上	300℃

3. 収納配置の方針

使用済燃料を収納するにあたり、キャスクの基本的安全機能を満足するため、そして種類の異なる燃料の効率的な運用を行うため、各使用済燃料の混載を行う。さらに対象となる使用済燃料は、組み合わせによっては中央部と外周部に燃料被覆管制限温度が異なるものを配置することから、次の基本方針に従って配置を決定している。

- ・高燃焼度 8×8 燃料を収納する場合、除熱評価で制限値を満足するために、外周部に発熱量が低くなる燃料を混載することとする。(配置(3)及び配置(4))
- ・燃料の種類によって燃料被覆管制限温度が異なるため、燃料被覆管制限温度が低い新型 8×8 燃料もしくは 8×8 燃料を、外周部に配置する。(配置(2)及び配置(3))
- ・効率的な運用のため、燃料被覆管制限温度が低い新型 8×8 燃料及び 8×8 燃料のみ収納できる配置を準備する。(配置(1))
- ・新型 8×8 燃料もしくは 8×8 燃料を外周部に配置する場合において、除熱解析の結果、部分的に燃料被覆管温度が制限値を超えるものは、燃料被覆管制限温度が高い新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料に置き換える。(配置(3))

- ・高燃焼度 8×8 燃料を収納する場合、遮蔽評価で制限値を満足するために、外周部に線源強度が低くなる燃料を混載することとする。(配置(4))

上記をふまえて、次の 4 つの配置制限を考慮する。それぞれの収納配置を図 別 4-1 から別 4-4 に示す。配置(1)から配置(4)までの、それぞれの収納配置の方針を以下に示す。

<配置(1)>

効率的な運用のため、燃料被覆管制限温度が低い新型 8×8 燃料及び 8×8 燃料のみを収納するための配置である。この収納配置を図 別 4-1 に示す。

新型 8×8 燃料及び 8×8 燃料は燃料被覆管制限温度が同じであることから、収納対象となる燃料のうち、発熱量が高くなる新型 8×8 燃料で 38,000MWd/t 以下のものを中央に配置し、その他を外周部に配置することとする。

なお、外周部は、新型 8×8 燃料と 8×8 燃料のどちらでも収納できるものとする。

<配置(2)>

新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び新型 8×8 燃料を収納するための配置である。この収納配置を図 別 4-2 に示す。

一般的に、キャスク中央部のほうがキャスク周辺部に比べて温度が高くなるため、燃料被覆管制限温度が高い新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を中央部に収納し、燃料被覆管制限温度が低い新型 8×8 燃料を外周部に配置する。

なお、解析条件としては、外周部に新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を配置するが、新型 8×8 燃料の燃料被覆管制限温度を超えないことを確認することで、外周部は、新型 8×8 燃料と新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料のどちらでも収納できるものとする。

<配置(3)>

高燃焼度 8×8 燃料、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び新型 8×8 燃料を収納するための配置である。この収納配置を図 別 4-3 に示す。

配置(2)と同様に、キャスク中央部に燃料被覆管制限温度が高い高燃焼度 8×8 燃料(または新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)を収納し、外周部に新型 8×8 燃料を収納する配置であるが、除熱解析の結果、配置(2)と比べて燃料全体の温度が高くなり、中間部(配置(2)の外周部の、最も内側の格子部分)では燃料被覆管温度が 200℃を超えることから、中間部には新型 8×8 燃料ではなく、燃料被覆管制限温度が高い新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を収納することとする。

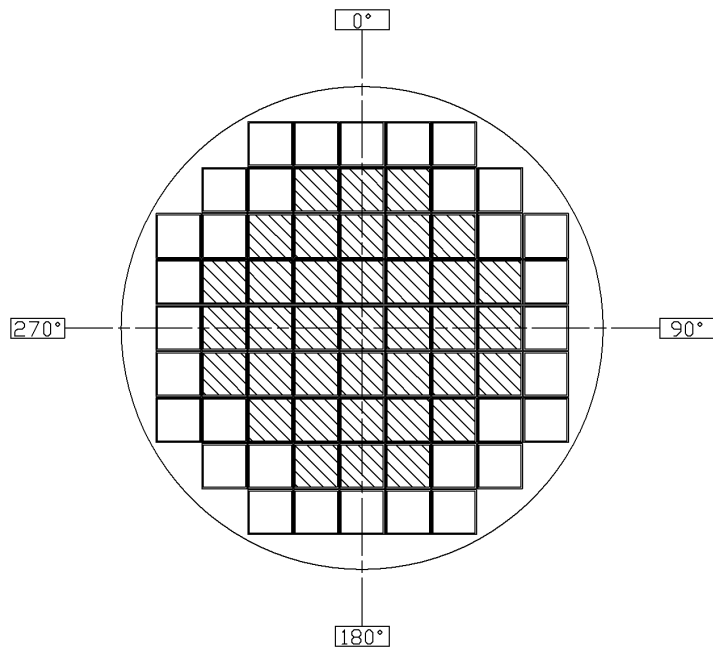
なお、中央部は、高燃焼度 8×8 燃料と新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料のどちらでも収納できるものとする。



<配置(4)>

新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を収納するための配置である。この収納配置を図 別 4-4 に示す。

高燃焼度 8×8 燃料の収納を考えた場合、除熱評価における制限だけでなく、遮蔽評価において、線量当量率が制限値を超えることから、収納する 69 体全数を高燃焼度 8×8 燃料とするのが難しいため、外周部には線源強度や発熱量の低くなる新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を収納する。配置(3)との違いは、外周部にも燃料被覆管制限温度が高い燃料を配置することである。

なお、中央部は、高燃焼度 8×8 燃料と新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料のどちらでも収納できるものとする。

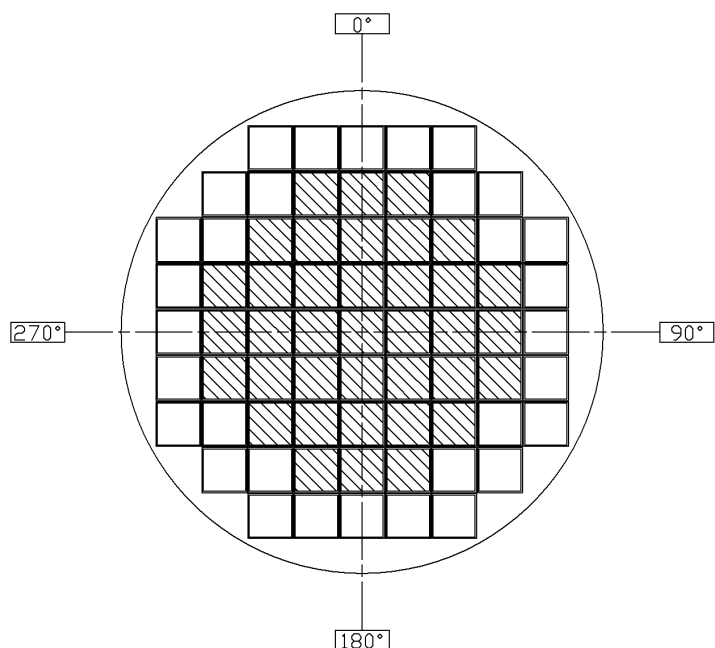


-  燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 38,000MWd/t 以下
 冷却期間 : 34 年以上
-  燃料種類 : 8×8 燃料又は新型 8×8 燃料
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 30,000MWd/t 以下
 冷却期間 : 34 年以上

特定兼用キャスクー基当たりの平均燃焼度 : 35,000MWd/t 以下

特定兼用キャスクー基当たりの崩壊熱量 : 9.5kW 以下

図 別 4-1 使用済燃料集合体の収納位置条件 (配置(1))
(8×8 燃料及び新型 8×8 燃料を収納する場合)

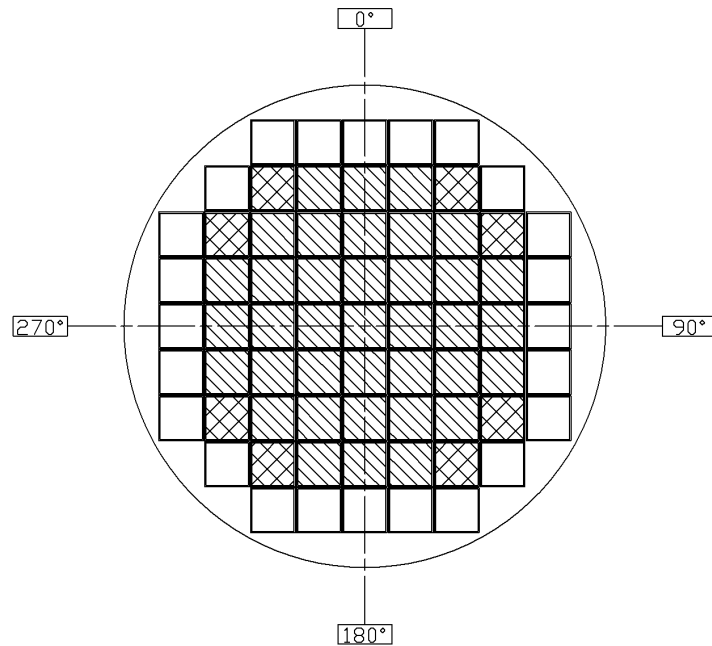





- 燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 40,000MWd/t 以下
 冷却期間 : 28 年以上
- 燃料種類 : 新型 8×8 燃料又は新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 35,000MWd/t 以下
 冷却期間 : 34 年以上 (新型 8×8 燃料)
 30 年以上 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)

特定兼用キャスク一基当たりの平均燃焼度 : 35,000MWd/t 以下

特定兼用キャスク一基当たりの崩壊熱量 : 10.5kW 以下

図 別 4-2 使用済燃料集合体の収納位置条件 (配置(2))
 (新型 8×8 燃料及び新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を収納する場合)

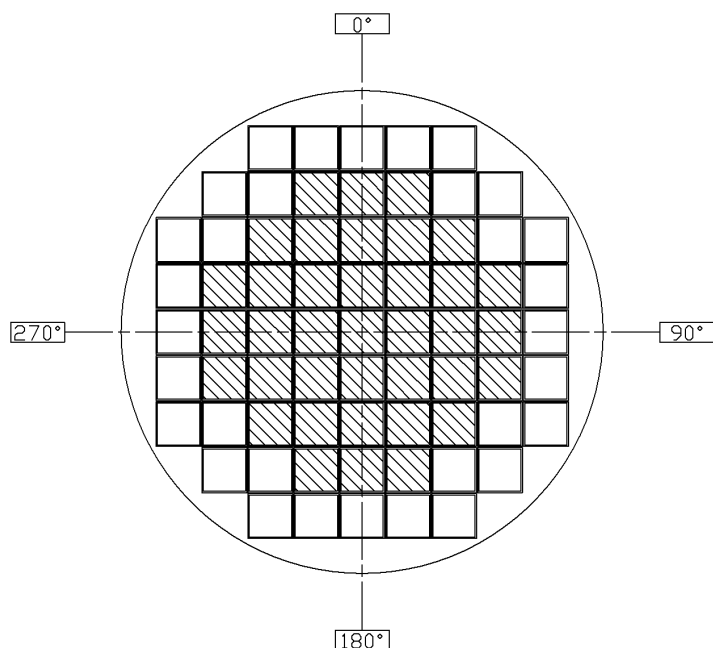




- 
 燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料又は高燃焼度 8×8 燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 40,000MWd/t 以下 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)
 48,000MWd/t 以下 (高燃焼度 8×8 燃料)
 冷却期間 : 28 年以上 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)
 20 年以上 (高燃焼度 8×8 燃料)
- 
 燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料
 収納体数 : 8 体
 燃焼度 : 35,000MWd/t 以下
 冷却期間 : 30 年以上
- 
 燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 24 体
 燃焼度 : 30,000MWd/t 以下
 冷却期間 : 34 年以上

特定兼用キャスク一基当たりの平均燃焼度 : 38,000MWd/t 以下
 (高燃焼度 8×8 燃料の平均燃焼度を 44,000MWd/t 以下とする。)

特定兼用キャスク一基当たりの崩壊熱量 : 12.4kW 以下

図 別 4-3 使用済燃料集合体の収納位置条件 (配置(3))
 (新型 8×8 燃料、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を収納する場合)



- 
 燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料又は高燃焼度 8×8 燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 40,000MWd/t 以下 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)
 48,000MWd/t 以下 (高燃焼度 8×8 燃料)
 冷却期間 : 28 年以上 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)
 20 年以上 (高燃焼度 8×8 燃料)
- 
 燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 35,000MWd/t 以下
 冷却期間 : 30 年以上

特定兼用キャスクー基当たりの平均燃焼度 : 39,000MWd/t 以下
 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の平均燃焼度を 33,000MWd/t 以下、
 高燃焼度 8×8 燃料の平均燃焼度を 44,000MWd/t 以下とする。)

特定兼用キャスクー基当たりの崩壊熱量 : 12.8kW 以下

図 別 4-4 使用済燃料集合体の収納位置条件 (配置(4))
 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を収納する場合)

4. 評価の方針

各配置に対するキャスクの基本的安全機能の評価方針を表 別 4-2 に示す。

表 別 4-2 基本的安全機能の評価方針

項目	配置(1)	配置(2)	配置(3)	配置(4)
臨界防止	全数 69 体を初期濃縮度が高い高燃焼度 8×8 燃料とした保守的な条件で評価を実施			
遮蔽	配置(4)で代表	配置(4)で代表	配置(4)で代表	線源強度が最高となることから評価条件とする
除熱 (構成部材)	解析を実施 評価は配置(4) で代表	解析を実施 評価は配置(4)で 代表	解析を実施 評価は配置(4)で 代表	発熱量が最大となることから評価条件とする
除熱 (燃料被覆 管) ^(注 1)	評価を実施	評価を実施	評価を実施 新型 8×8 燃料が 最高温度となっ たため、結果を 記載	評価を実施 高燃焼度 8×8 燃 料が最高温度と なったため、結 果を記載
閉じ込め	配置(4)で代表	配置(4)で代表	配置(4)で代表	構成部材温度が最高となることから、評価条件とする