

-本資料のうち、枠囲みの内容は、
商業機密あるいは防護上の観点
から公開できません。

伊方発電所設計及び工事計画審査資料	
資料番号	D S F - 0 1 0
提出年月日	令和3年4月9日

伊方発電所3号機
設計及び工事計画に係る説明資料
(使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について)
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

令和3年4月
四国電力株式会社

資料 10～14 に係る補足説明資料

【説明する添付資料】

資料 10 強度に関する説明書

資料 11 使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書

資料 12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書

資料 13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書

資料 14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

補足説明資料目次

1. 使用済燃料乾式貯蔵容器の収納燃料の仕様に関する補足説明資料
2. 添付資料に関する補足説明資料
 - 2-1 資料10に係る補足説明資料
 - 2-2 資料11に係る補足説明資料 今回提出資料（回答箇所抜粋）
 - 2-3 資料12に係る補足説明資料 今回提出資料（回答箇所抜粋）
 - 2-4 資料13に係る補足説明資料
 - 2-5 資料14に係る補足説明資料
 - 2-6 評価内容全般に係る補足説明資料

2-2-3 乾式キャスク蓋間圧力の管理値
及び監視頻度の設定根拠

1. 概要

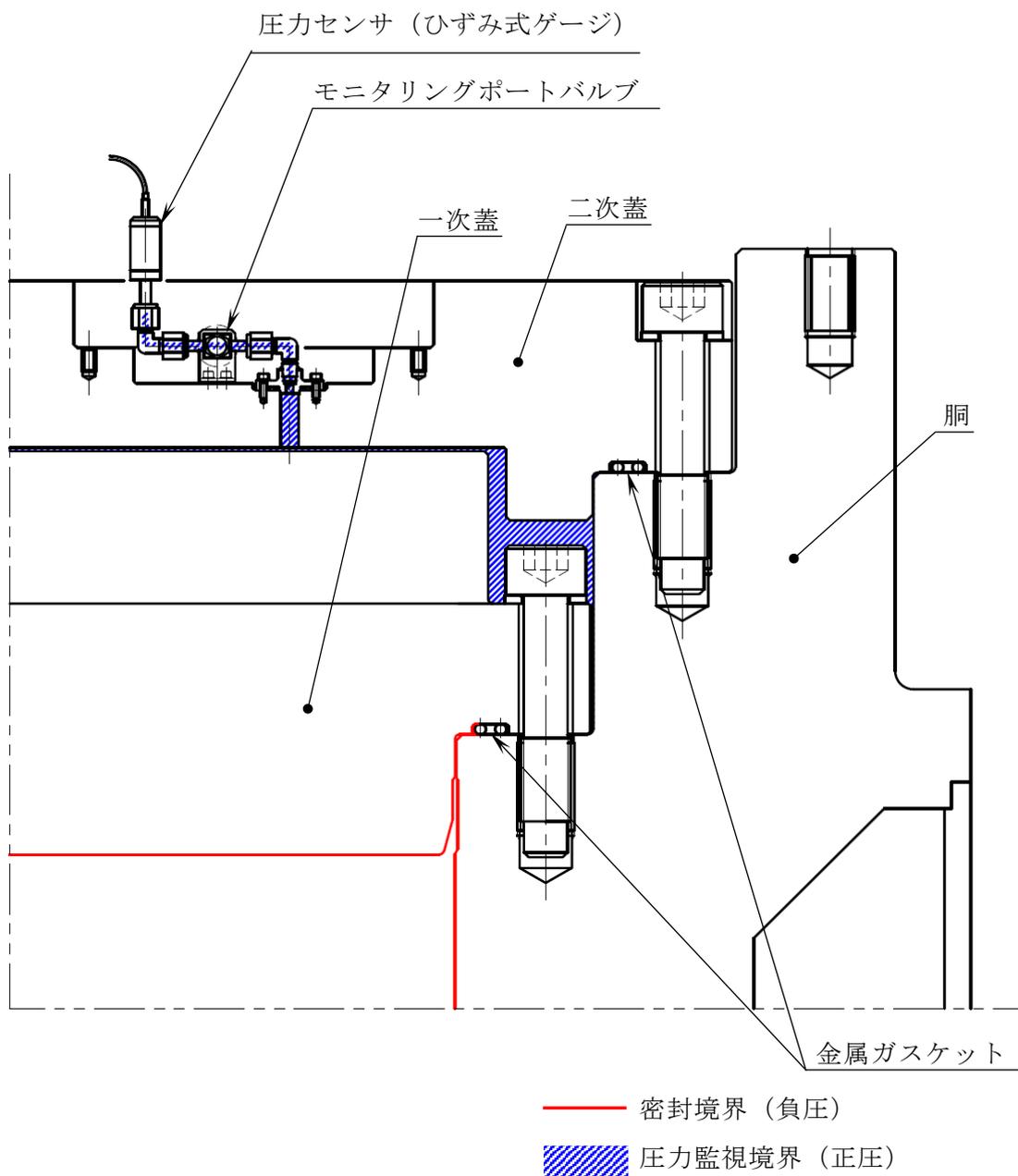
本資料は、資料 11「使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書」のうち、別添 1「使用済燃料貯蔵用容器の監視頻度の妥当性に関する説明書」において示す乾式キャスク蓋間圧力の管理値及び監視頻度の設定根拠について説明するものである。

乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の一次蓋－二次蓋間圧力（以下、蓋間圧力という。）の監視頻度は、以降に示す運用上の管理値を設定した上で、乾式キャスクが内包する放射性物質が乾式キャスク外部に放出される前に密封シール部の異常を検知することができる頻度とする。なお、乾式キャスクの蓋間圧力は初期設定圧力を 0.41 MPa・abs 以下とし、乾式キャスク貯蔵時には、密封シール部の異常を検知するため、運用上の管理値を設定する。

以降に示す設定根拠に基づき、乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）では、運用上の管理値は約 0.161 MPa・abs（0.161325 MPa・abs / 60 kPa G）とし、3 ヶ月に 1 回の頻度で圧力監視を行うこととした。

2. 使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計の構成に関する補足

使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計（以下「蓋間圧力計」という。）については、2-2-3-1 図に示すとおり圧力センサ（ひずみ式ゲージ）を、圧力監視境界である二次蓋の貫通部（モニタリングポート）に設けたモニタリングポートバルブに接続し、蓋間圧力に応じた電気信号を可搬型データロガーにより圧力値に変換し確認する。なお、蓋間圧力計は密封境界である一次蓋に取り付けるものではないため、密封機能に影響を与えるものではない。



2-2-3-1 図 蓋間圧力計の取付位置

3. 蓋間圧力の管理値及び監視頻度の設定

乾式キャスク蓋間空間の圧力監視に伴う管理値、及び監視頻度については、保守的に乾式キャスクの閉じ込め機能の低下を想定して、以下に示す手順で検討する。

① 蓋間圧力の初期充填圧力の検討（3.1項参照）

貯蔵中の定常状態に達した際の蓋間圧力が 0.41 MPa・abs を超えない初期蓋間圧力の最大の初期充填圧力を設定する。

② 蓋間圧力の時間変化の算出（3.2項参照）

①で設定した初期充填圧力を初期値とし、金属ガスケットの漏えい率を基準漏えい率とした場合の60年間の蓋間圧力の時間変化を算出し、蓋間圧力が大気圧に達するまでの年数を確認する。なお、蓋間圧力の時間変化は基準漏えい率が大きい乾式キャスク（タイプ1）を代表して評価する。

③ 蓋間圧力の管理値及び監視頻度の設定（3.3項参照）

②で算出した蓋間圧力の時間変化に基づき、運用上の管理値を設定し、管理値に達してから大気圧の上限に達するまでの猶予期間から圧力監視の監視頻度を設定する。

なお、本評価においては、汎用的な圧力計を使用することを想定して、電気式圧力計に加え、機械式圧力計を使用することも想定した評価条件としている。乾式キャスク（タイプ1）及び乾式キャスク（タイプ2）では、資料11に示すとおり電気式圧力計を使用するが、機械式圧力計と比較して、電気式圧力計の方が圧力計の計器誤差（機械式：±1.6%、電気式：±0.4%）、及び圧力計の最小読取目盛（機械式：5 kPa、電気式：約 2kPa）が小さく、機械式圧力計も使用することを想定した本評価方法は保守的な評価方法となる。

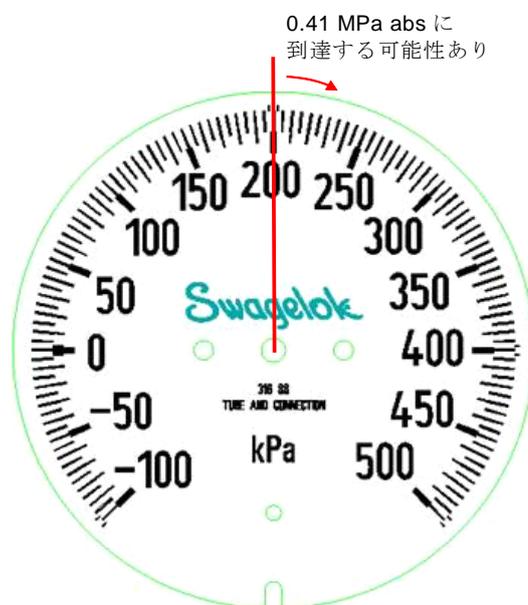
3.1 蓋間圧力の初期充填圧力の検討

初期充填圧力は、通常貯蔵中に想定される圧力変動を考慮しても、蓋の構造強度に基づく許容最大圧力 0.41 MPa・abs を超えない圧力とする必要がある。そこで、周囲環境温度、蓋間空間温度及び使用済燃料の崩壊熱量をパラメータとして、初期充填圧力を 0.301325 MPa・abs（圧力計指示値 200 kPa・G）とした場合の蓋間空間圧力を 2-2-3-2 表に示す。

同表に示す通り、10℃の環境下で初期充填圧力を 0.301325 MPa・abs とし、その後、周囲環境温度が 50℃で崩壊熱量により温度上昇した場合に蓋間圧力が最大（0.409 MPa・abs）となり、許容最大圧力 0.41 MPa・abs 以下となる。

なお、2-2-3-2 図に示す通り機械式圧力計の場合、圧力計の最小目盛が 5kPa であることから、仮に初期充填圧力を 0.306325 MPa・abs（圧力計指示値 205 kPa・G）とした場合、最大蓋間圧力は 0.416 MPa・abs となり、許容最大圧力 0.41 MPa・abs を超える結果となる（詳細は参考 1 を参照）。

以上より、蓋間圧力の初期充填圧力は 0.301325 MPa・abs とする。



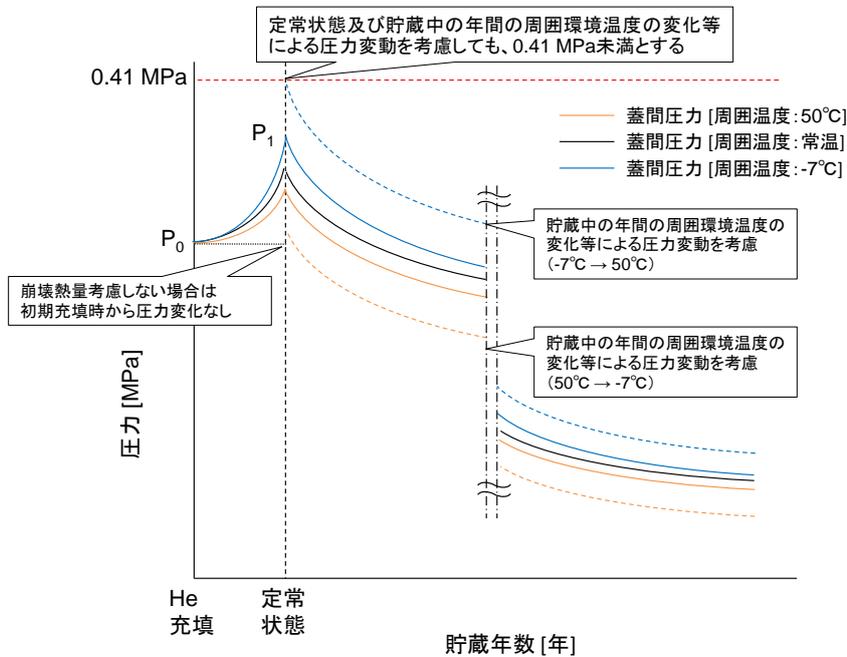
2-2-3-2 図 圧力計の目盛（機械式圧力計の場合）

2-2-3-1 表 初期充填圧力を 0.301325 MPa・abs (圧力計指示値 200 kPa・G) とした場合の蓋間圧力

評価例	FH/B 条件		乾式貯蔵施設条件			
	充填時 想定 温度 (°C)	蓋間圧力 [充填時] (MPa・abs)	周囲 環境 温度 (°C)	蓋間 温度 (°C)	蓋間圧力 ^(注2) (MPa・abs)	蓋間圧力 [計器誤差考慮] (MPa・abs)
崩壊熱量を 無視する 場合	40	0.301325 ^(注1)	50	50	0.311	0.316 [+1.6%]
			常温	常温	0.287	0.287 [0.0%]
			-7	-7	0.256	0.251 [-1.6%]
	常温	0.301325 ^(注1)	50	50	0.327	0.333 [+1.6%]
			常温	常温	0.301	0.301 [0.0%]
			-7	-7	0.269	0.264 [-1.6%]
	10	0.301325 ^(注1)	50	50	0.344	0.350 [+1.6%]
			常温	常温	0.317	0.317 [0.0%]
			-7	-7	0.283	0.278 [-1.6%]
崩壊熱量を 考慮する 場合	40	0.301325 ^(注1)	50	105	0.364	0.370 [+1.6%]
			常温	80	0.340	0.340 [0.0%]
			-7	48	0.309	0.304 [-1.6%]
	常温	0.301325 ^(注1)	50	105	0.382	0.389 [+1.6%]
			常温	80	0.357	0.357 [0.0%]
			-7	48	0.325	0.319 [-1.6%]
	10	0.301325 ^(注1)	50	105	0.402	0.409 [+1.6%]
			常温	80	0.376	0.376 [0.0%]
			-7	48	0.342	0.336 [-1.6%]

(注1) 崩壊熱量を無視する場合、蓋間温度はヘリウム充填時から変化しないため、2-2-3-3 図中の P_0 で示す圧力と同じ。

(注2) 崩壊熱量により温度上昇した後の圧力。2-2-3-3 図中の P_1 で示す圧力。



2-2-3-3 図 蓋間圧力の時間変化

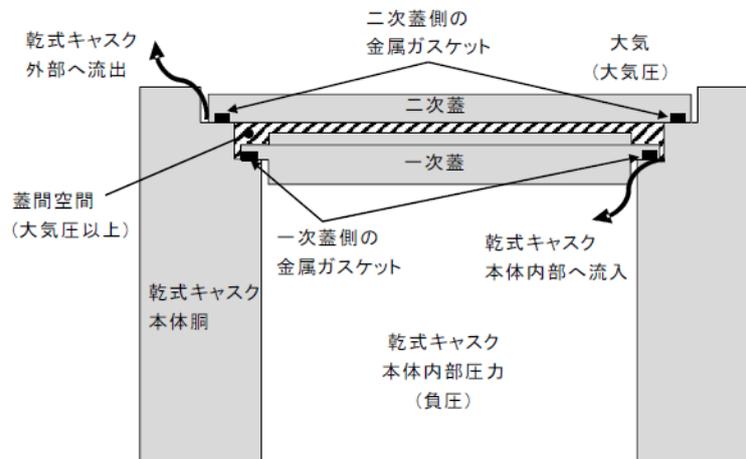
3.2 蓋間圧力の時間変化の算出

通常貯蔵中に想定される蓋間圧力の時間変化について評価する。2-2-3-4 図に蓋間空間からの漏えいの考え方を示す。蓋間圧力は以下に示す条件のもと蓋間圧力の低下を評価する。蓋間圧力及び乾式キャスク本体内部圧力の初期条件を 2-2-3-2 表及び 2-2-3-3 表に示す。ここで、同表において、蓋間圧力の時間変化の評価に適用する初期圧力を塗潰している。

<時間変化の計算条件>

- ① 金属ガスケットの漏えい率を基準漏えい率とする。
- ② 乾式キャスク蓋間空間のヘリウムガスが、一次蓋側（乾式キャスク内部）及び二次蓋側（乾式キャスク外部）の二方向から漏えいする。
- ③ ヘリウムガス充填時は、FH/B のいずれの環境温度（10～40℃）においても同じ圧力値までヘリウムガスを充填し、充填直後の蓋間温度は保守的に周囲環境温度と同じと仮定する。
- ④ 想定される全ての発熱量条件での圧力変動幅を包絡するよう、蓋間圧力は(a)崩壊熱量を見捨てる場合、(b)崩壊熱量を考慮する場合の2通りで計算する。
- ⑤ 貯蔵開始後は、周囲環境温度を-7℃～50℃の範囲で変動すると想定し、いずれの環境温度においても0.41 MPa・absを超えない圧力とする。
- ⑥ 乾式キャスク本体内部圧力は、蓋間空間からのヘリウムガス流入による圧力上昇を考慮する。
- ⑦ 圧力計の計器誤差を±1.6%とする。

上記計算条件に基づき算出した設計貯蔵期間（60年）中の蓋間圧力等の経時変化を 2-2-3-5 図に示す。2-2-3-5 図(a)は崩壊熱量を見捨てる、2-2-3-5 図(b)は崩壊熱量を考慮した場合の経時変化である。同図中の破線は、圧力計の計器誤差と周囲環境温度の変化による圧力変動を示す。2-2-3-5 図に示す通り、蓋間圧力が大気圧の上限値（0.105 MPa・abs）に最も早く到達する条件は、崩壊熱量を見捨てる場合（2-2-3-5 図(a)）で初期圧力が最も低い条件であり、貯蔵期間31年で大気圧に達する。



2-2-3-4 図 蓋間空間からの漏えいの考え方

2-2-3-2 表 蓋間圧力の初期条件 (2-2-3-1 表と同じ)

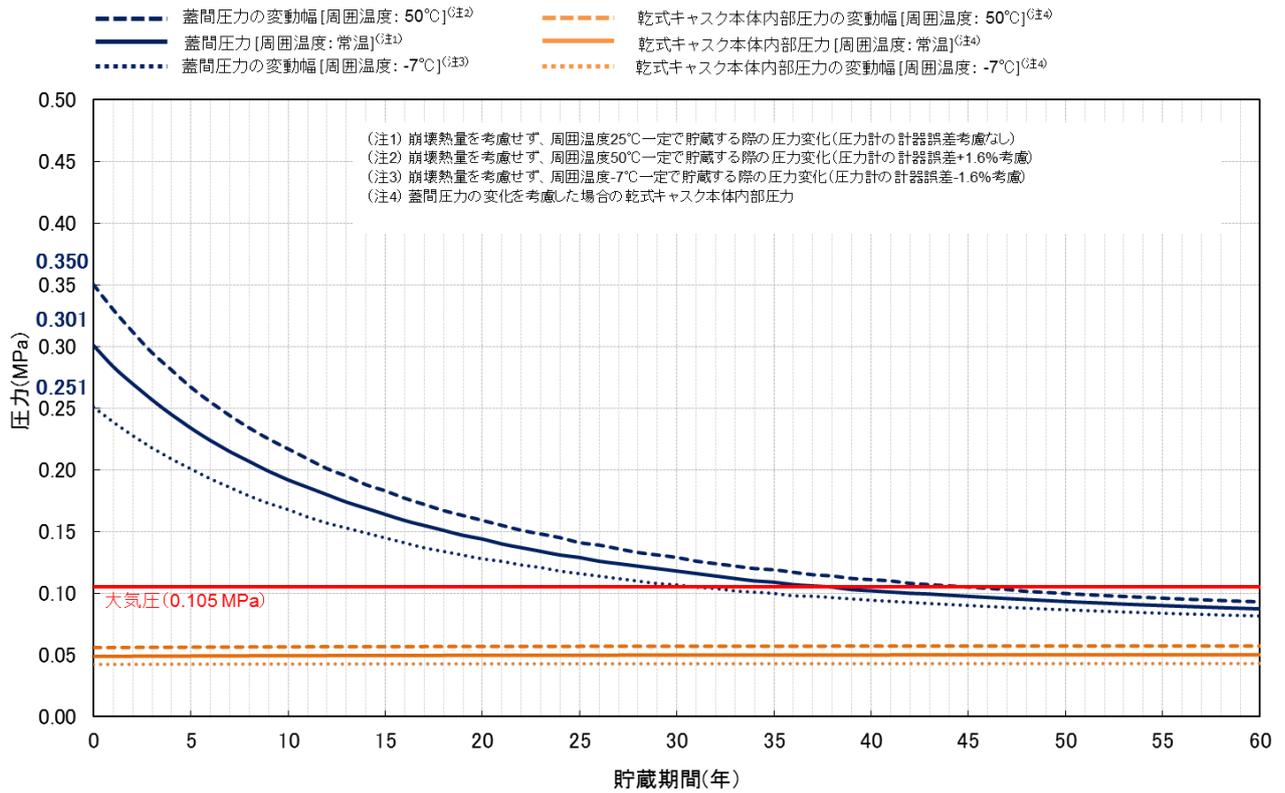
評価例	FH/B 条件		乾式貯蔵施設条件			
	充填時 想定 温度 (°C)	蓋間圧力 [充填時] (MPa・abs)	周囲 環境 温度 (°C)	蓋間 温度 (°C)	蓋間圧力 ^(注2) (MPa・abs)	蓋間圧力 [計器誤差考慮] (MPa・abs)
崩壊熱量を 無視する場合	40	0.301325 ^(注1)	50	50	0.311	0.316 [+1.6%]
			常温	常温	0.287	0.287 [0.0%]
			-7	-7	0.256	0.251 [-1.6%]
	常温	0.301325 ^(注1)	50	50	0.327	0.333 [+1.6%]
			常温	常温	0.301	0.301 [0.0%]
			-7	-7	0.269	0.264 [-1.6%]
	10	0.301325 ^(注1)	50	50	0.344	0.350 [+1.6%]
			常温	常温	0.317	0.317 [0.0%]
			-7	-7	0.283	0.278 [-1.6%]
崩壊熱量を 考慮する場合	40	0.301325 ^(注1)	50	105	0.364	0.370 [+1.6%]
			常温	80	0.340	0.340 [0.0%]
			-7	48	0.309	0.304 [-1.6%]
	常温	0.301325 ^(注1)	50	105	0.382	0.389 [+1.6%]
			常温	80	0.357	0.357 [0.0%]
			-7	48	0.325	0.319 [-1.6%]
	10	0.301325 ^(注1)	50	105	0.402	0.409 [+1.6%]
			常温	80	0.376	0.376 [0.0%]
			-7	48	0.342	0.336 [-1.6%]

(注1) 崩壊熱量を無視する場合、蓋間温度はヘリウム充填時から変化しないため、2-2-3-3 図中の P_0 で示す圧力と同じ。

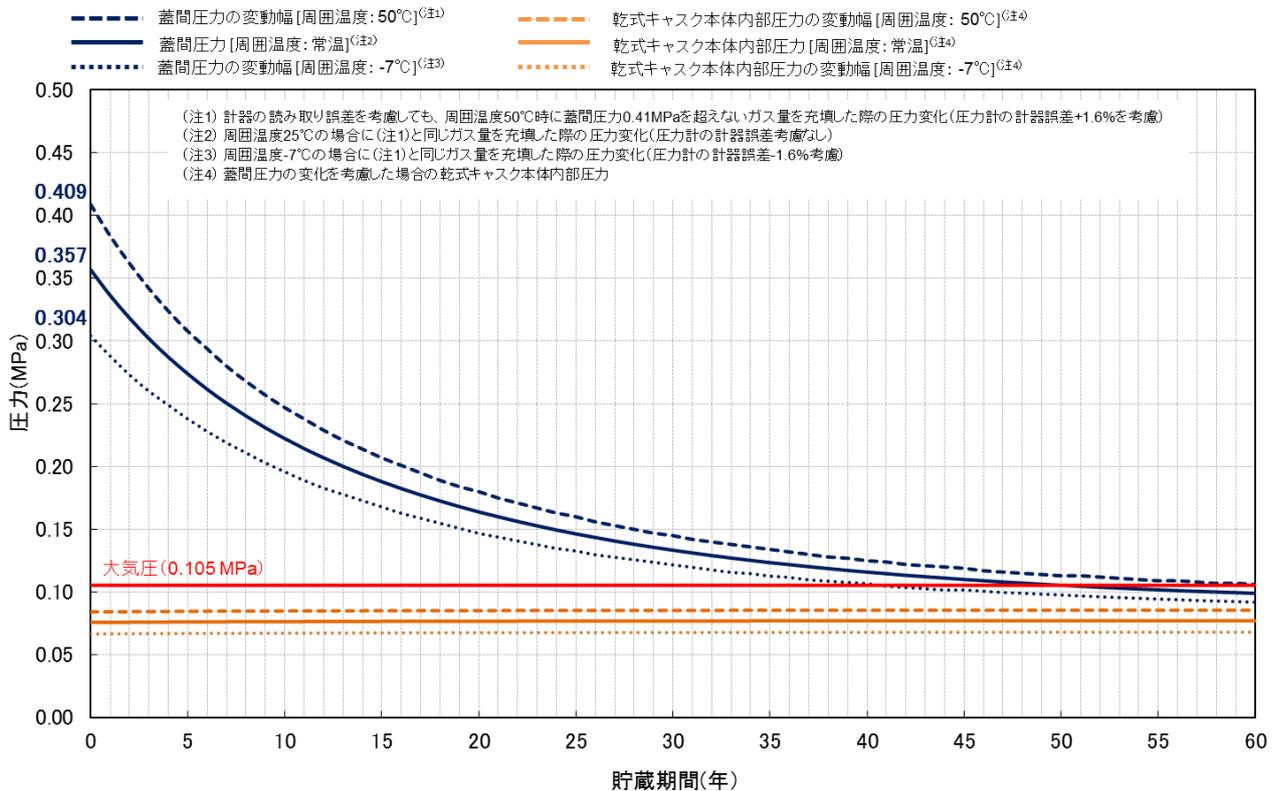
(注2) 崩壊熱量により温度上昇した後の圧力。2-2-3-3 図中の P_1 で示す圧力。

2-2-3-3 表 乾式キャスク本体内部圧力の初期条件

評価例	FH/B 条件		乾式貯蔵施設条件		
	充填時 想定 温度 (°C)	乾式キャスク 本体内部圧力 [初期充填時] (MPa・abs)	周囲 環境 温度 (°C)	乾式キャスク 本体内部温度 (°C)	乾式キャスク 本体内部圧力 (MPa・abs)
崩壊熱量を 無視する場合	40	0.049	50	50	0.051
			常温	常温	0.047
			-7	-7	0.042
	常温	0.049	50	50	0.053
			常温	常温	0.049
			-7	-7	0.044
	10	0.049	50	50	0.056
			常温	常温	0.052
			-7	-7	0.046
崩壊熱量を 考慮する場合	40	0.049	50	215	0.076
			常温	190	0.072
			-7	158	0.067
	常温	0.049	50	215	0.080
			常温	190	0.076
			-7	158	0.071
	10	0.049	50	215	0.084
			常温	190	0.080
			-7	158	0.075



(a) 崩壊熱量を無視した場合



(b) 崩壊熱量を考慮した場合

2-2-3-5 図 蓋間圧力の時間変化

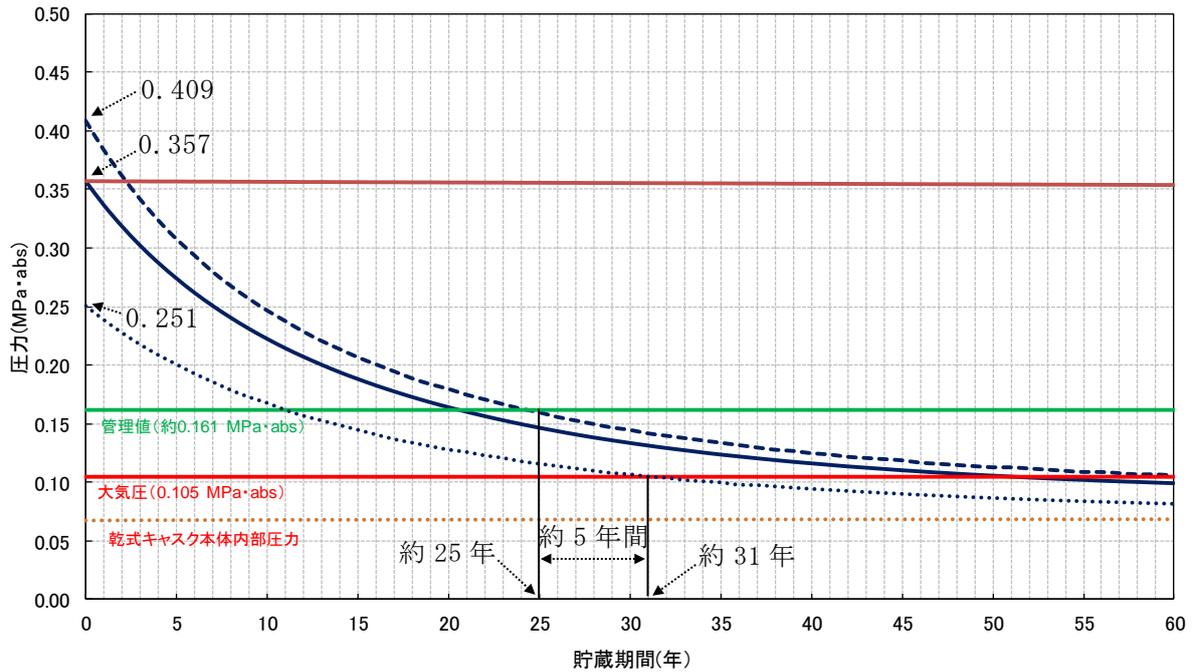
3.3 蓋間圧力の管理値及び監視頻度の設定

2-2-3-5 図の蓋間圧力の経時変化より圧力監視のための管理値を設定する。2-2-3-5 図に示す通り、周囲環境の温度変化（-7 °C～50 °C）による圧力変動を考慮すると、崩壊熱量を無視した場合（2-2-3-5 図(a)）に最も蓋間圧力は低くなり、蓋間圧力は貯蔵開始から約 31 年後に大気圧に到達する。

ここで、管理値は、仮に蓋間圧力が管理値に最も遅く到達した場合を想定しても、大気圧に到達するまでに乾式キャスクの FH/B への移送等の対応を行うまでの十分な期間として、約 5 年間を確保するものとして設定する。

2-2-3-5 図に示す経時変化に基づき、蓋間圧力が最大、及び最小となる場合を抽出した蓋間圧力の経時変化を 2-2-3-6 図に示す。このとき、大気圧到達時点から 5 年間程度の余裕を確保した場合、管理値は貯蔵期間 25 年時の蓋間圧力から設定される。貯蔵期間 25 年時で最も高い蓋間圧力は、崩壊熱量を考慮した場合で初期圧力が最も高い条件であり、0.160 MPa・abs である。そのため、圧力計の 5 kPa・G 刻みの目盛に合わせて、管理値は 0.161325 MPa・abs（圧力計指示値 60 kPa・G）と設定する（監視の観点から、圧力を高めに評価した方が、早く検知ができるため）。

なお、乾式キャスク貯蔵時に実際に使用する金属ガスケットの設計漏えい率は 1×10^{-8} Pa・m³/s であり、2-2-3-6 図に示すとおり、金属ガスケットの設計漏えい率による漏えいを考慮した場合には、設計貯蔵期間（60 年）において蓋間圧力が大気圧に到達することはない。



凡例	圧力条件
— (solid blue)	周囲環境温度25°C(崩壊熱量考慮、計器誤差なし)
- - - (dashed blue)	周囲環境温度50°C(崩壊熱量考慮、計器誤差+1.6%、ヘリウム充填時の温度影響考慮)
..... (dotted blue)	周囲環境温度-7°C(崩壊熱量考慮しない、計器誤差-1.6%、ヘリウム充填時の温度影響考慮)
— (solid red)	金属ガスケットの設計漏えい率による現実的な評価(周囲環境温度25°C、崩壊熱量考慮、計器誤差なし)
— (solid green)	管理値(約0.161MPa・abs)
— (solid red)	大気圧(0.105MPa・abs)
..... (dotted orange)	乾式キャスク本体内部圧力(周囲環境温度-7°Cの場合の乾式キャスク本体内部圧力の上昇曲線)

2-2-3-6 図 貯蔵期間中における蓋間圧力等の経時変化（蓋間圧力が最大/最小となる場合）

<参考1>

2-2-3-4 表 初期充填圧力を 0.306325 MPa・abs (圧力計指示値 205 kPa・G) とした場合の蓋間圧力

評価例	FHB 条件		乾式貯蔵施設条件			
	充填時 想定 温度 (°C)	蓋間圧力 [充填時] (MPa・abs)	周囲 環境 温度 (°C)	蓋間 温度 (°C)	蓋間圧力 ^(注2) (MPa・abs)	蓋間圧力 [計器誤差考慮] (MPa・abs)
崩壊熱量を 無視する場合	40	0.306325 ^(注1)	50	50	0.316	0.322 [+1.6%]
			常温	常温	0.292	0.292 [0.0%]
			-7	-7	0.260	0.255 [-1.6%]
	常温	0.306325 ^(注1)	50	50	0.332	0.338 [+1.6%]
			常温	常温	0.306	0.306 [0.0%]
			-7	-7	0.273	0.268 [-1.6%]
	10	0.306325 ^(注1)	50	50	0.350	0.356 [+1.6%]
			常温	常温	0.323	0.323 [0.0%]
			-7	-7	0.288	0.283 [-1.6%]
崩壊熱量を 考慮する場合	40	0.306325 ^(注1)	50	105	0.370	0.376 [+1.6%]
			常温	80	0.345	0.345 [0.0%]
			-7	48	0.314	0.308 [-1.6%]
	常温	0.306325 ^(注1)	50	105	0.389	0.396 [+1.6%]
			常温	80	0.363	0.363 [0.0%]
			-7	48	0.330	0.324 [-1.6%]
	10	0.306325 ^(注1)	50	105	0.409	0.416 [+1.6%]
			常温	80	0.382	0.382 [0.0%]
			-7	48	0.347	0.341 [-1.6%]

(注1) 崩壊熱量を無視する場合、蓋間温度はヘリウム充填時から変化しないため、2-2-3-3 図中の P₀ で示す圧力と同じ。

(注2) 崩壊熱量により温度上昇した後の圧力。2-2-3-3 図中の P₁ で示す圧力。

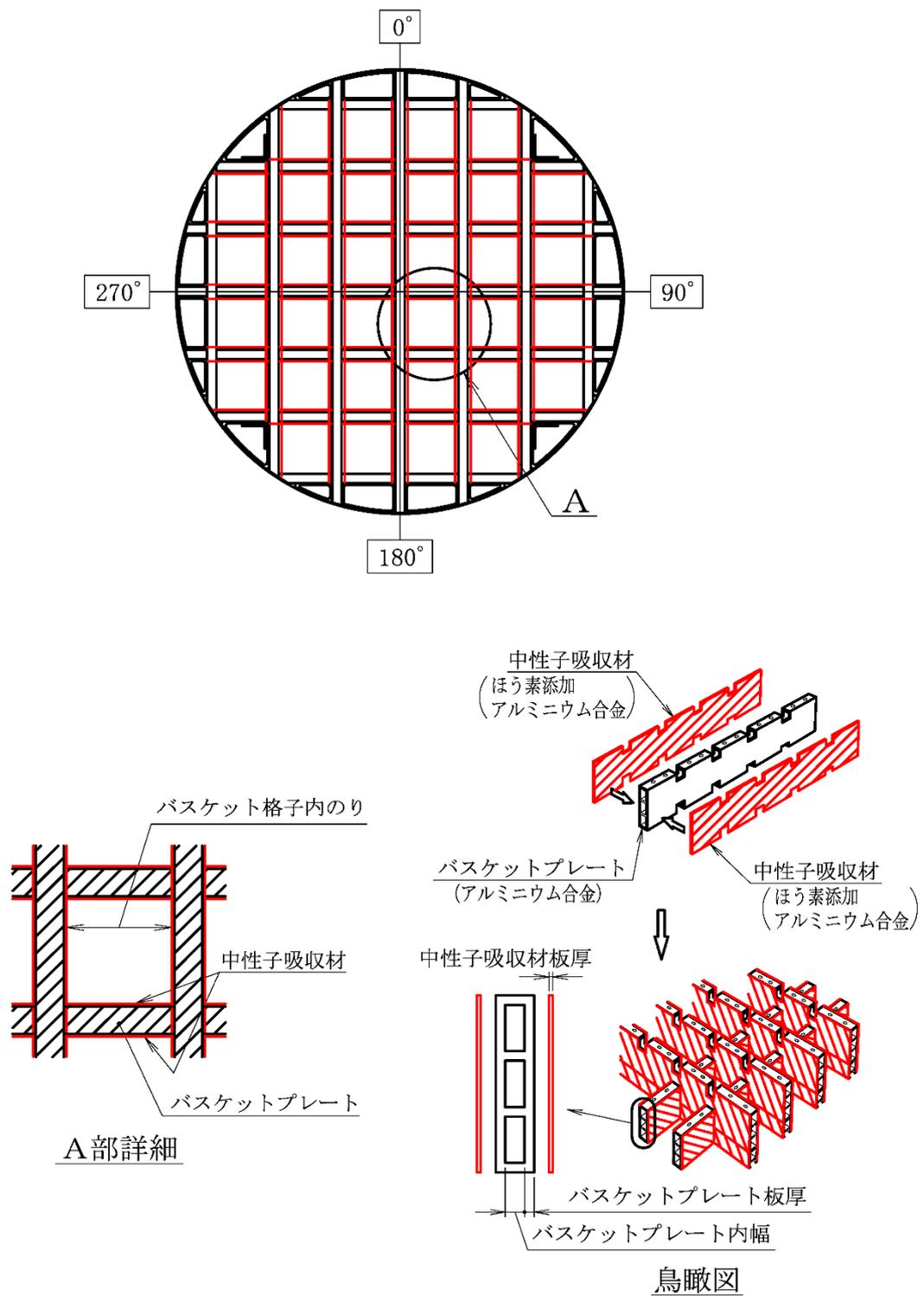
2-3-1 臨界解析詳細条件

本資料は資料 12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書における解析条件の詳細について説明するものである。

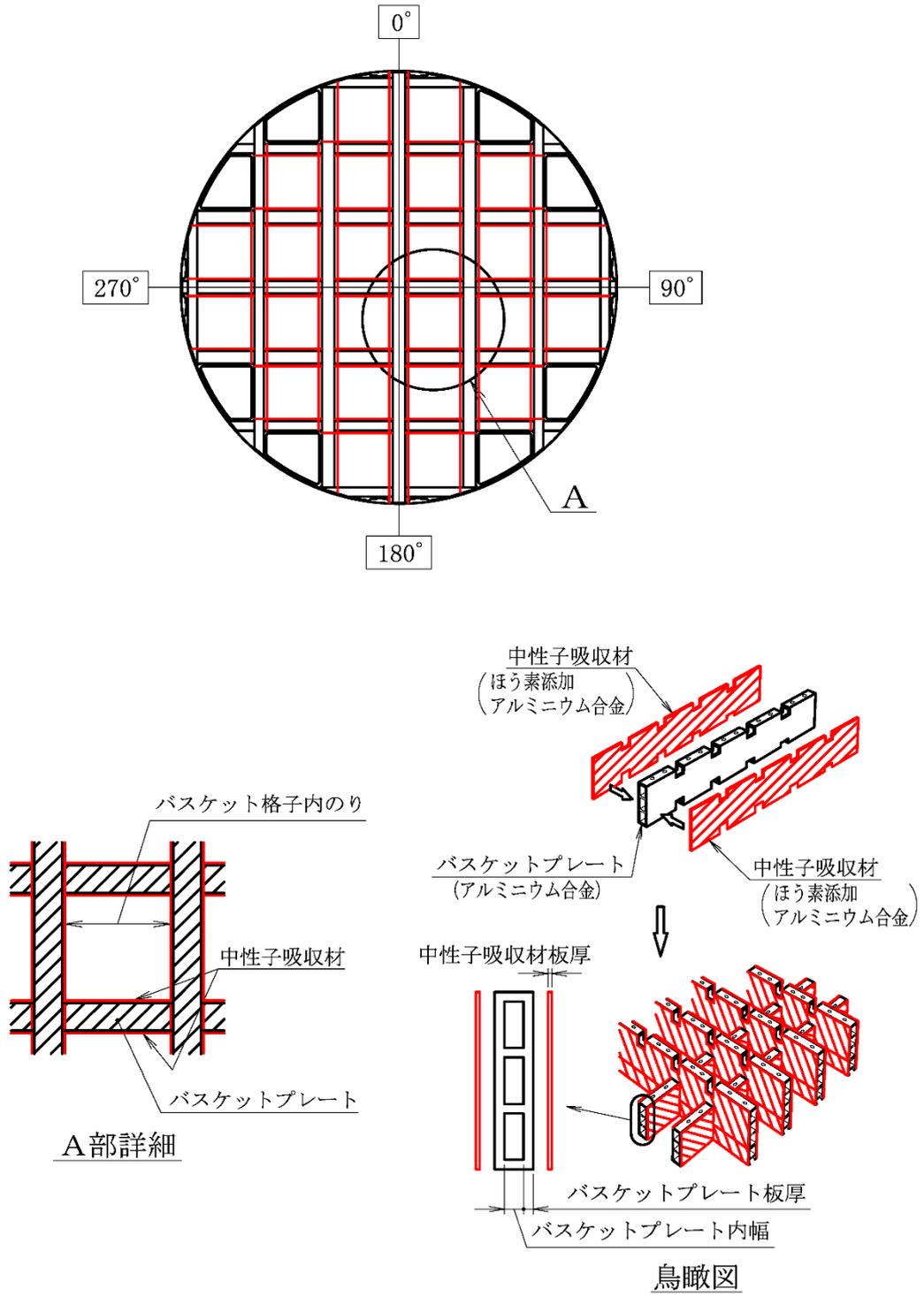
1. 臨界防止機能に関する構造

乾式キャスク（タイプ 1）及び（タイプ 2）は、臨界防止のため以下の配慮を行う。

- a. 使用済燃料集合体を収納するバスケットは格子構造とし、設計貯蔵期間を通じて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. バスケットプレートは断面形状を中空とし、適切な位置に中性子を有効に吸収するように中性子吸収材であるほう素を含有したアルミニウム合金を配置する。（2-3-1-1 図及び 2-3-1-2 図参照）



2-3-1-1 図 乾式キャスク（タイプ 1）のバスケット構造図



2-3-1-2 図 乾式キャスク（タイプ2）のバスケット構造図

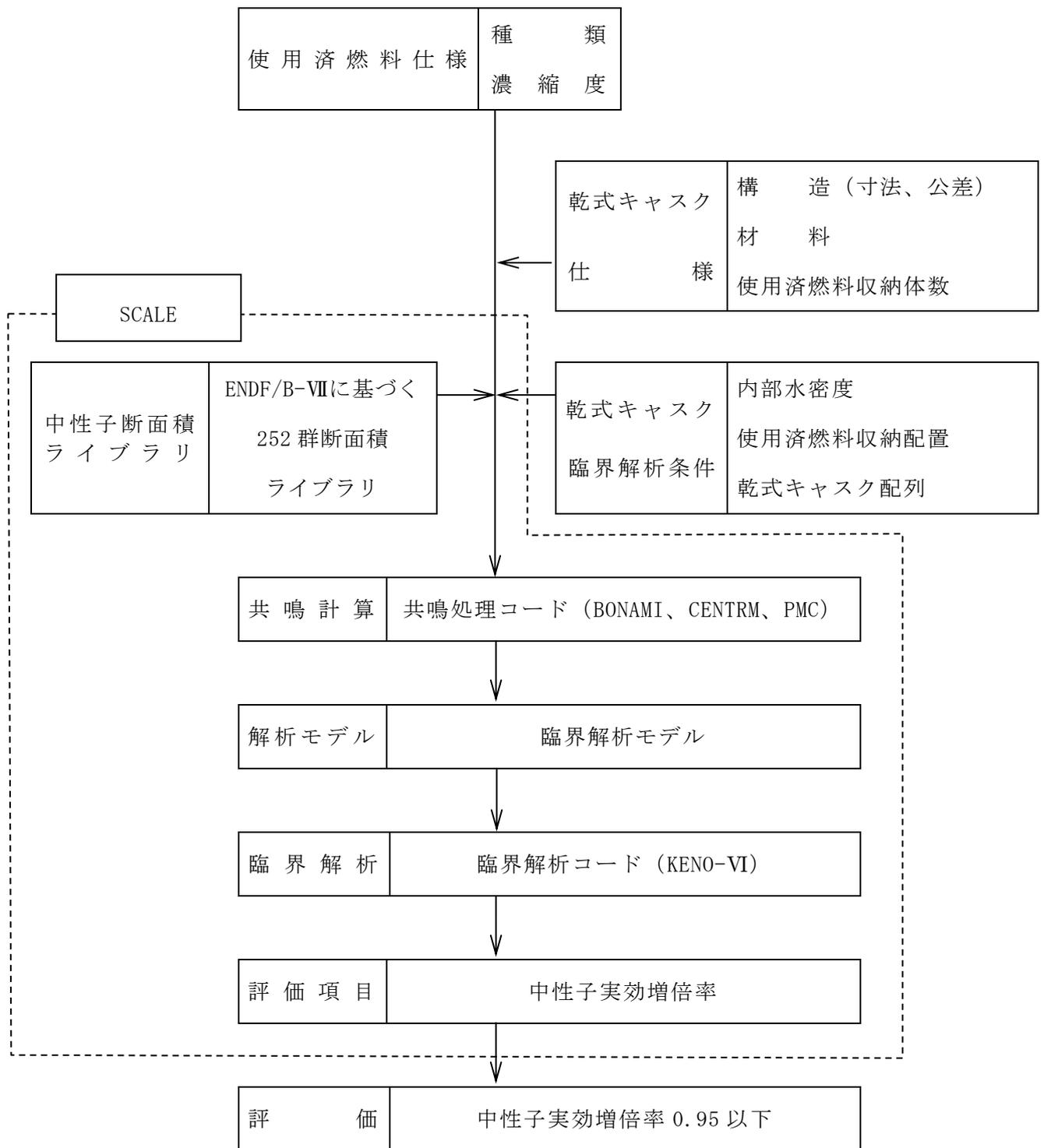
2. 臨界解析条件

2.1 設計基準

使用する臨界解析コードはモンテカルロ法であり統計誤差を伴うため、解析コードの精度等を考慮して、設計基準は中性子実効増倍率 (k_{eff}) の平均値に統計誤差 (σ) の3倍 (3σ) を加味した値が0.95以下 ($k_{eff}+3\sigma \leq 0.95$) であることとする。

2.2 臨界解析フロー

乾式キャスクは、使用済燃料集合体を収納後に内部水が排出され、さらに真空乾燥が行われる。また、密封性能を有した複数の蓋を有しており、乾式キャスク内に水が浸入することはなく、貯蔵中において乾式キャスク内は乾燥状態である。ただし、乾式キャスクへ使用済燃料集合体を収納する際には冠水することから、乾燥状態及び冠水状態の評価を実施する。臨界解析フローを2-3-1-3図に示す。



2-3-1-3 図 臨界解析フロー図

2.3 評価対象燃料及び臨界解析条件

乾式キャスク（タイプ 1）の臨界評価に用いる使用済燃料集合体の仕様は中性子実効増倍率が最も大きくなるように、中央部へ収納する燃料集合体は 14×14 燃料 48,000MWd/t 型（A型）、外周部へ収納する燃料集合体は 14×14 燃料 39,000MWd/t 型（A型）の新燃料とする。乾式キャスク（タイプ 2）の臨界評価に用いる使用済燃料集合体の仕様は中性子実効増倍率が最も大きくなるように、17×17 燃料 48,000MWd/t 型（A型）の新燃料とする。

また、臨界解析では収納する使用済燃料の濃縮度上限値を用いるとともに、燃焼度クレジットは採用しない。

臨界解析に用いる使用済燃料集合体の仕様を 2-3-1-1 表に、臨界解析条件を 2-3-1-2 表に示す。乾式キャスク及び使用済燃料集合体の実形状の三次元解析モデルを 2-3-1-4 図から 2-3-1-15 図に示す。

2-3-1-1 表 臨界解析用の使用済燃料集合体の仕様

項目	単位	乾式キャスク (タイプ1)		乾式キャスク (タイプ2)
		中央部	外周部	
燃料集合体の種類	-	14×14 燃料 48,000MWd/t 型 A型	14×14 燃料 39,000MWd/t 型 A型	17×17 燃料 48,000MWd/t 型 A型
燃料材質	-	二酸化ウラン		二酸化ウラン
被覆管材質	-	ジルカロイ-4 (注1)		ジルカロイ-4 (注1)
燃料密度	%理論密度	95		95
燃料棒直径	cm	1.072		0.95
ペレット直径	cm	0.929		0.819
被覆管肉厚	cm	0.062		0.057
燃料有効長	cm	364.2		364.8
燃料棒配列	-	14×14		17×17
燃料集合体当たり の燃料棒数	本	179		264
燃料棒ピッチ	cm	1.41 (注2)		1.26 (注2)
燃料集合体の幅	cm	19.74 (注3)		21.42 (注3)
初期濃縮度	wt%			

(注1) 実際の仕様はジルコニウム合金 (ジルカロイ-4) であるが、解析上は純度 100% のジルコニウムとして扱う。なお、他の合金成分 (スズ等) は中性子吸収効果がジルコニウムより大きいため、この取り扱いは保守的である。

(注2) 燃料棒ピッチ変化なしの場合。

(注3) (燃料棒ピッチ) × (燃料棒配列数) を臨界解析上の集合体の幅とする。

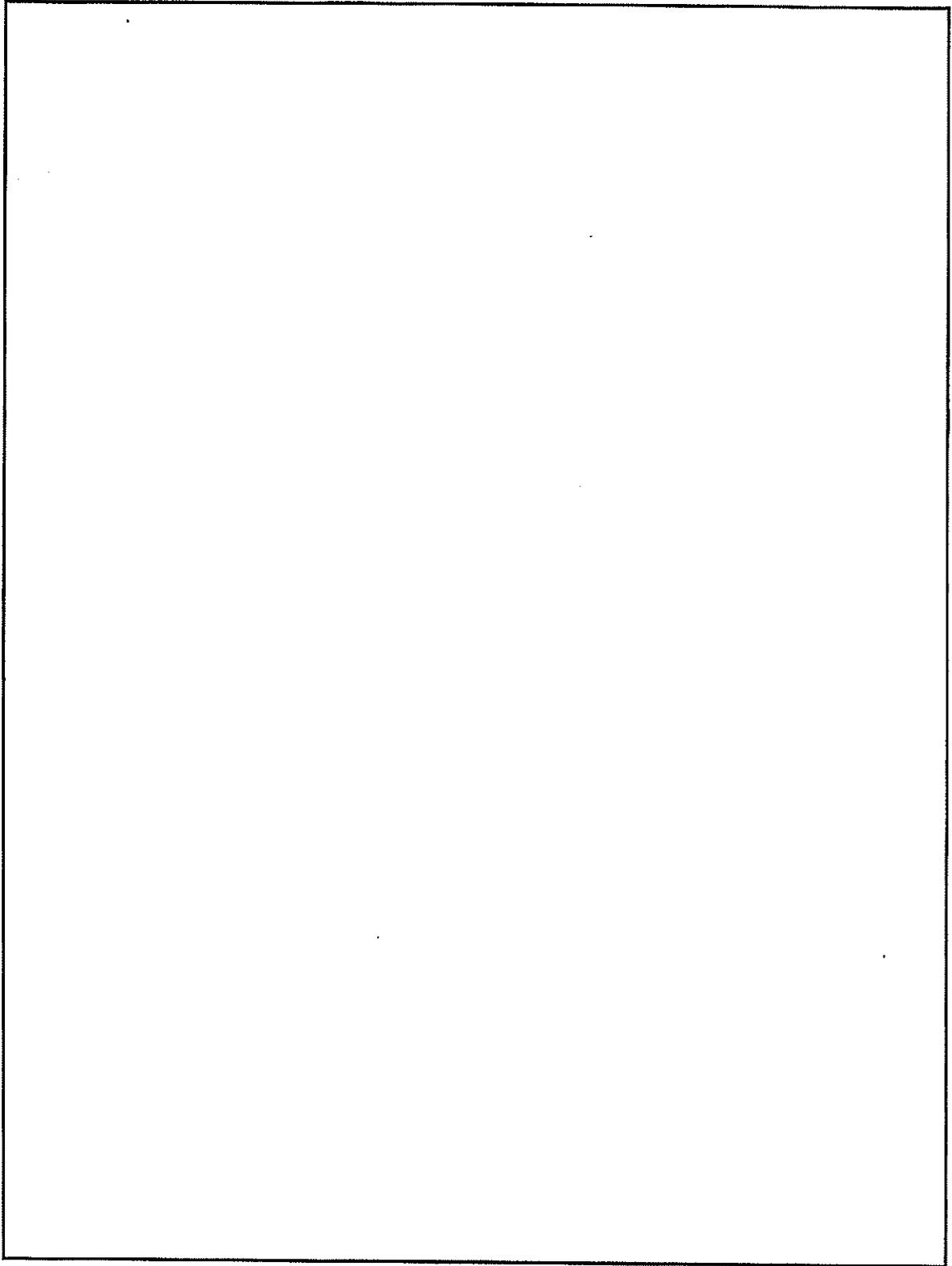
2-3-1-2 表 (1/2) 臨界解析条件

項目	内容	
臨界解析の方法	中性子実効増倍率は臨界解析コードを使用して、燃料棒単位セル計算により求まる核定数を用い、乾式キャスクの実形状をモデル化。	
解析コード	SCALE コードシステム (6.2.1) ・ 共鳴計算：BONAMI、CENTRM、PMC ・ 臨界解析：臨界解析コード KENO-VI (中性子ヒストリー数 <input type="text"/>) ・ 断面積ライブラリ：SCALE コードシステムに内蔵されている ENDF/B-VII に基づいて作成された 252 群断面積ライブラリ	
解 析 条 件	収納物	乾式キャスク (タイプ 1) : 14×14 燃料 乾式キャスク (タイプ 2) : 17×17 燃料
	濃縮度	乾式キャスク (タイプ 1) : <input type="text"/> wt% (中央部)、 <input type="text"/> wt% (外周部) 乾式キャスク (タイプ 2) : <input type="text"/> wt%
	収納体数	乾式キャスク (タイプ 1) : 32 体 乾式キャスク (タイプ 2) : 24 体
	燃料配置	乾式キャスク (タイプ 1) : 2-3-1-5 図及び 2-3-1-11 図参照 乾式キャスク (タイプ 2) : 2-3-1-8 図及び 2-3-1-14 図参照
	寸法条件 (2-3-1-4 図 ～2-3-1-15 図 参照)	バスケットプレート幅、バスケットプレート内幅、バスケット格子内のり、中性子吸収材板厚の寸法は公差を考慮、胴内径はバスケットに接するように設定。設定根拠は資料 2-3-3 参照。 なお、バスケットプレート及び中性子吸収材は中性子吸収が小さくなるように、燃料有効部の領域のみモデル化し、それ以外の部分は無視する。
	キャスク内 雰囲気	乾燥状態：真空 冠水状態：水密度 1.0g/cm ³ (キャスク内の水密度 1.0g/cm ³ とした場合に中性子実効増倍率は最大となる)
	キャスク外 雰囲気	真空 (解析モデルを完全反射境界としてキャスク外部に漏れ出た中性子が減速及び吸収されることなく反射してキャスクへ戻る)
	キャスク配列	無限配列 (キャスク周囲は完全反射境界条件)
	使用済燃料 集合体構造材	乾燥状態：真空 冠水状態：純水に置換 (構造材よりも中性子減速効果の高い純水とする)
	ほう素添加量	¹⁰ B 面密度 <input type="text"/> g/cm ² (中性子吸収材に含まれるほう素添加量の仕様 (¹⁰ B 面密度 <input type="text"/> g/cm ² 以上) を基に設定) なお、設計貯蔵期間 (60 年) 経過後の中性子吸収材に含まれるほう素の減損割合は安全側に全中性子束を用いて評価しても 10 ⁻⁵ 程度で無視し得る。
	バーナブル ポイズン集合体	無し (中性子吸収効果のあるバーナブルポイズン集合体は安全側に無視)
	中性子遮蔽材	側部・蓋部・底部中性子遮蔽材は安全側に真空中に置換
	蓋	一次蓋及び二次蓋を考慮

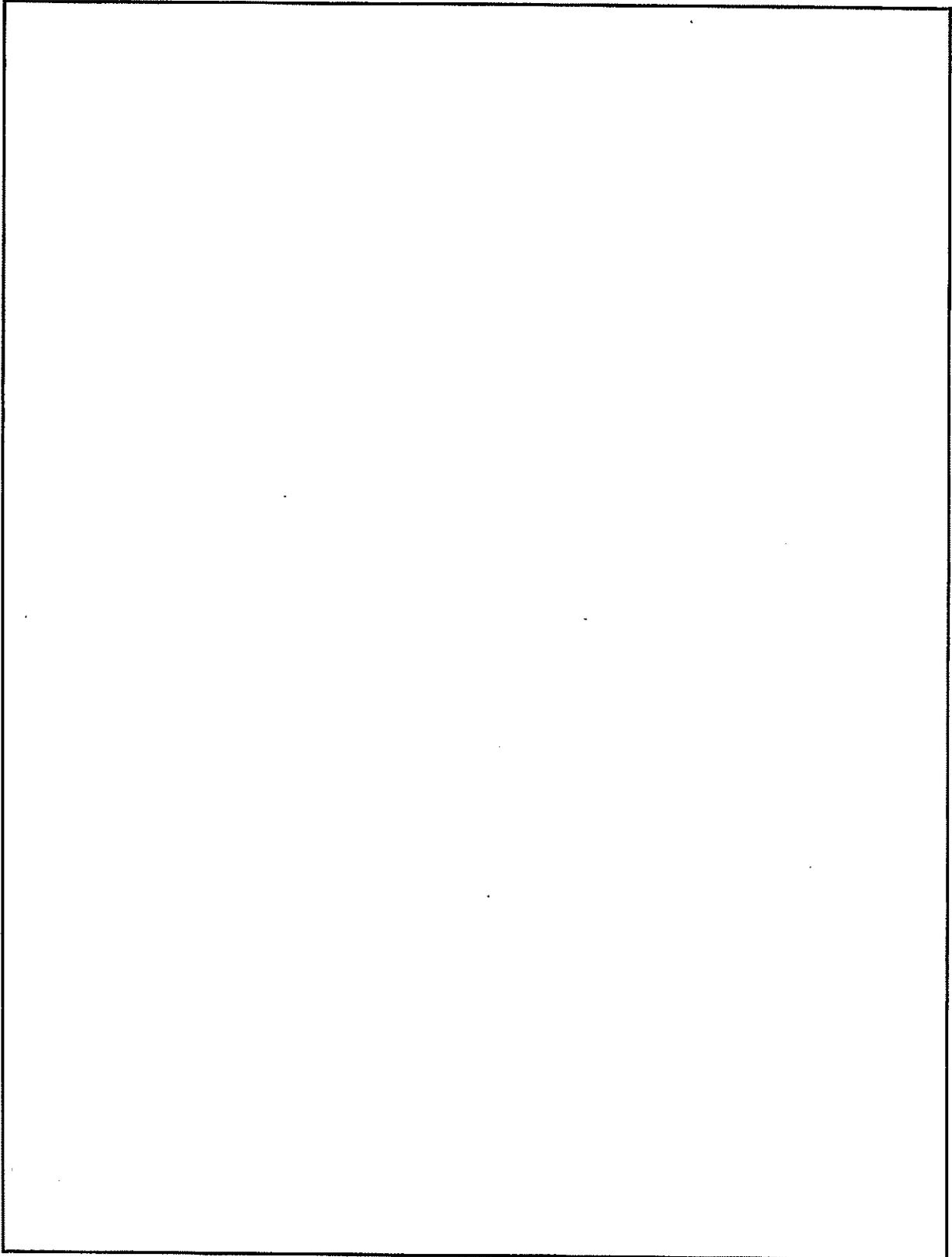
2-3-1-2 表 (2/2) 臨界解析条件

領域		密度 (g/cm ³)	元素	原子個数密度 (10 ²⁴ atoms/cm ³)		
				乾式キャスク (タイプ1)		乾式キャスク (タイプ2)
				中央部	外周部	
				14×14 燃料 48,000MWd/t 型 A型	14×14 燃料 39,000MWd/t 型 A型	17×17 燃料 48,000MWd/t 型 A型
燃料 領域	UO ₂	10.412	²³⁵ U	9.876×10 ⁻⁴	8.230×10 ⁻⁴	9.876×10 ⁻⁴
			²³⁸ U	2.224×10 ⁻²	2.241×10 ⁻²	2.224×10 ⁻²
			O	4.646×10 ⁻²	4.646×10 ⁻²	4.646×10 ⁻²
	燃料棒被覆管 制御棒案内管 計装用案内管	6.55	Zr ^(注1)	4.324×10 ⁻²		
水		1.0	H	6.686×10 ⁻²		
			O	3.343×10 ⁻²		
ほう素添加 アルミニウム合金		2.52	¹⁰ B	6.683×10 ⁻³		
			¹¹ B	2.690×10 ⁻²		
			C	1.008×10 ⁻²		
			Al	3.830×10 ⁻²		
炭素鋼		7.83	Fe	8.444×10 ⁻²		
ステンレス鋼		7.88	Cr	1.734×10 ⁻²		
			Fe	6.118×10 ⁻²		
			Ni	7.277×10 ⁻³		
アルミニウム合金		2.66	Al	5.937×10 ⁻²		

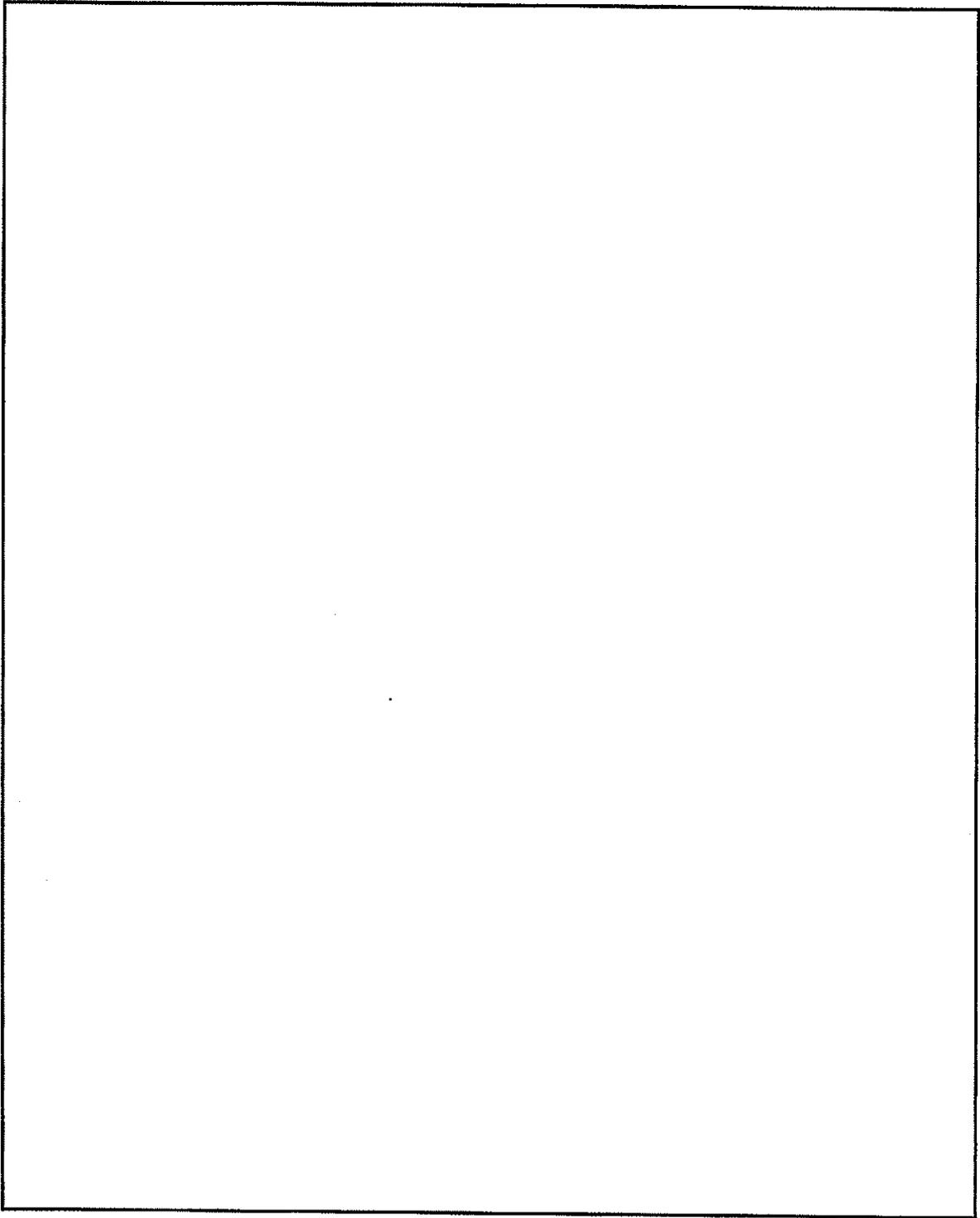
(注1) 実際の仕様はジルコニウム合金 (ジルカロイ-4) であるが、解析上は純度 100% のジルコニウムとして扱う。なお、他の合金成分 (スズ等) は中性子吸収効果がジルコニウムより大きいいため、この取扱いは保守的である。



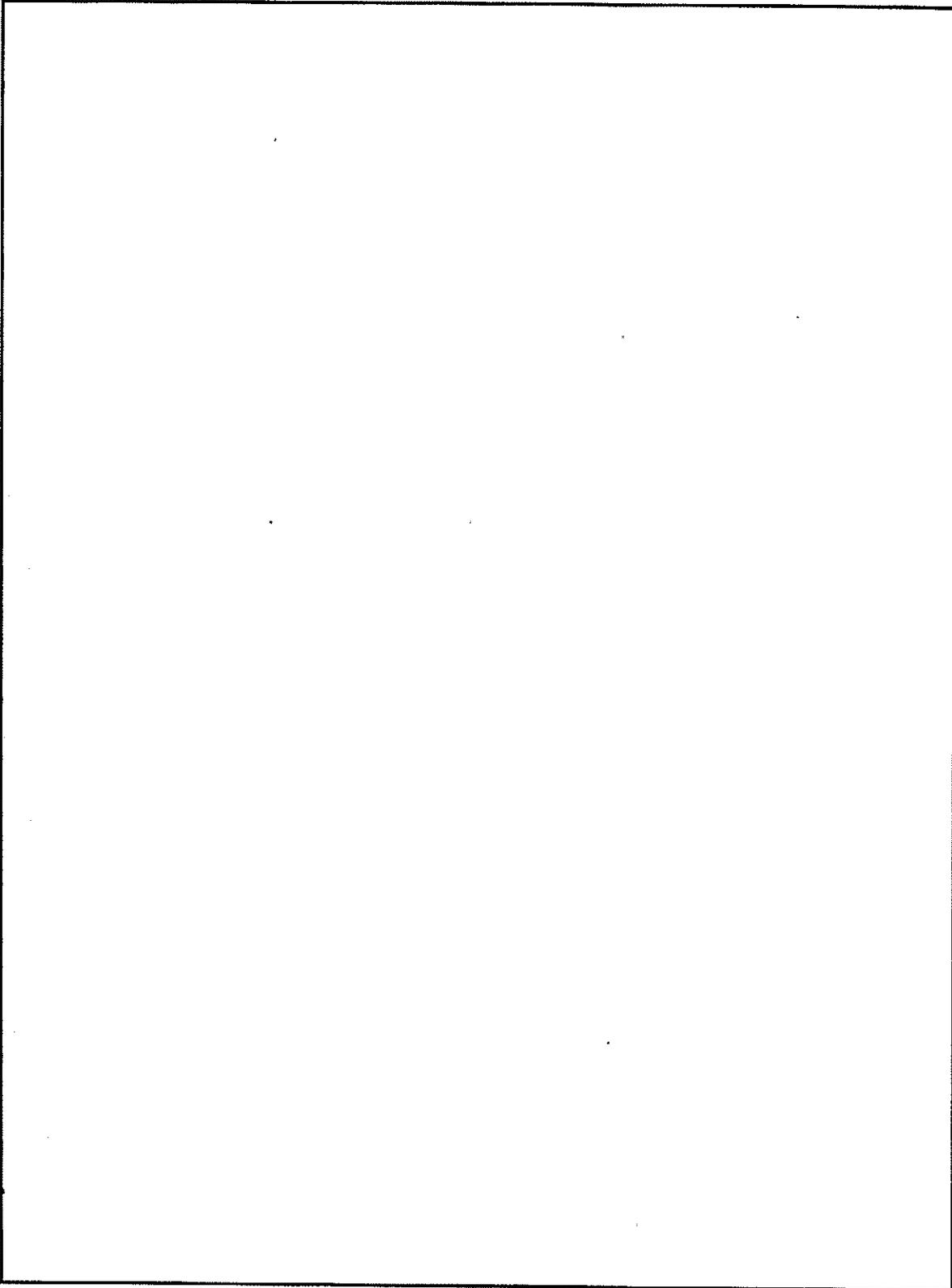
2-3-1-4 図 乾燥状態の臨界解析モデル（縦断面図）（乾式キャスク（タイプ1））



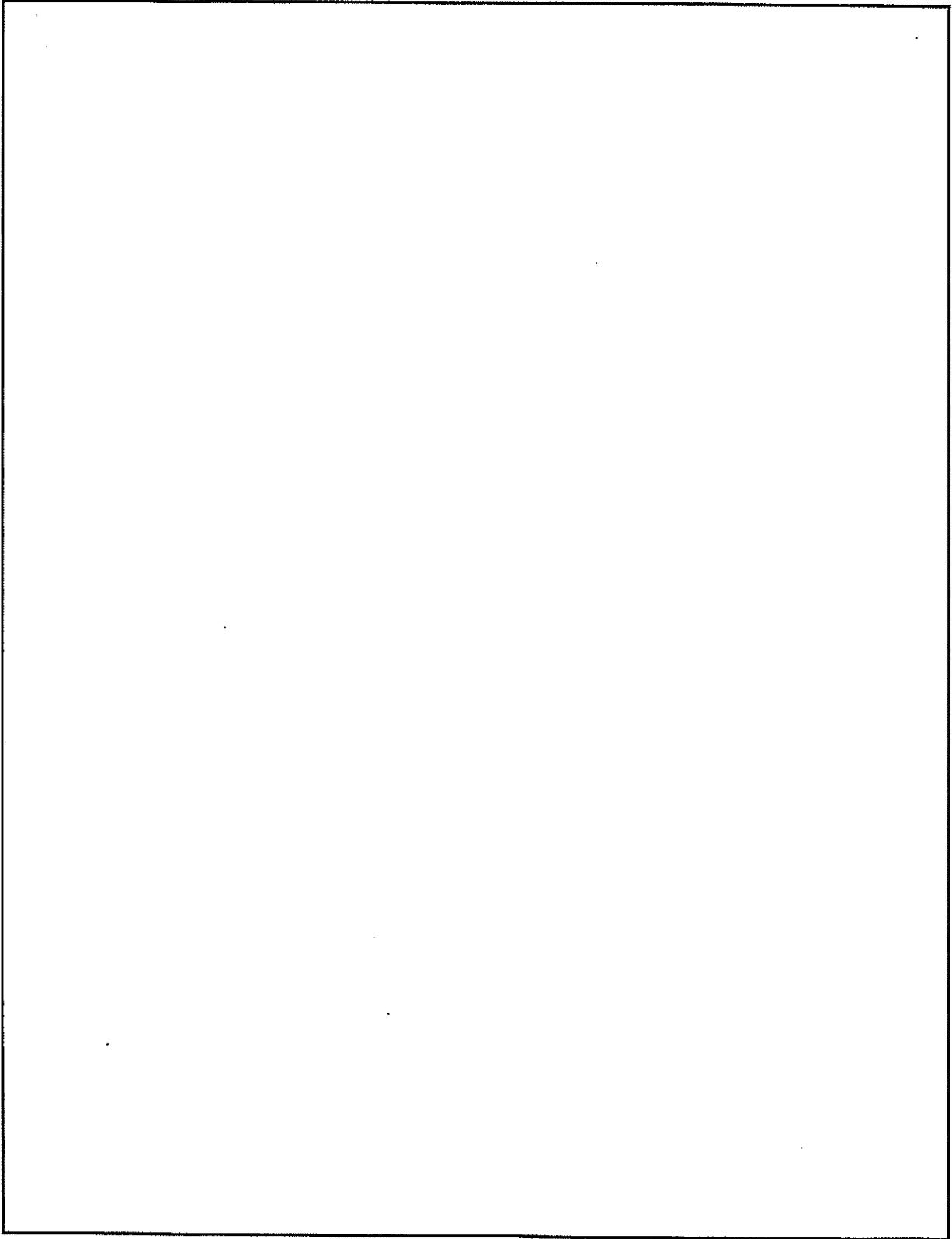
2-3-1-5 図 乾燥状態の臨界解析モデル（燃料領域横断面図）（乾式キャスク（タイプ1））



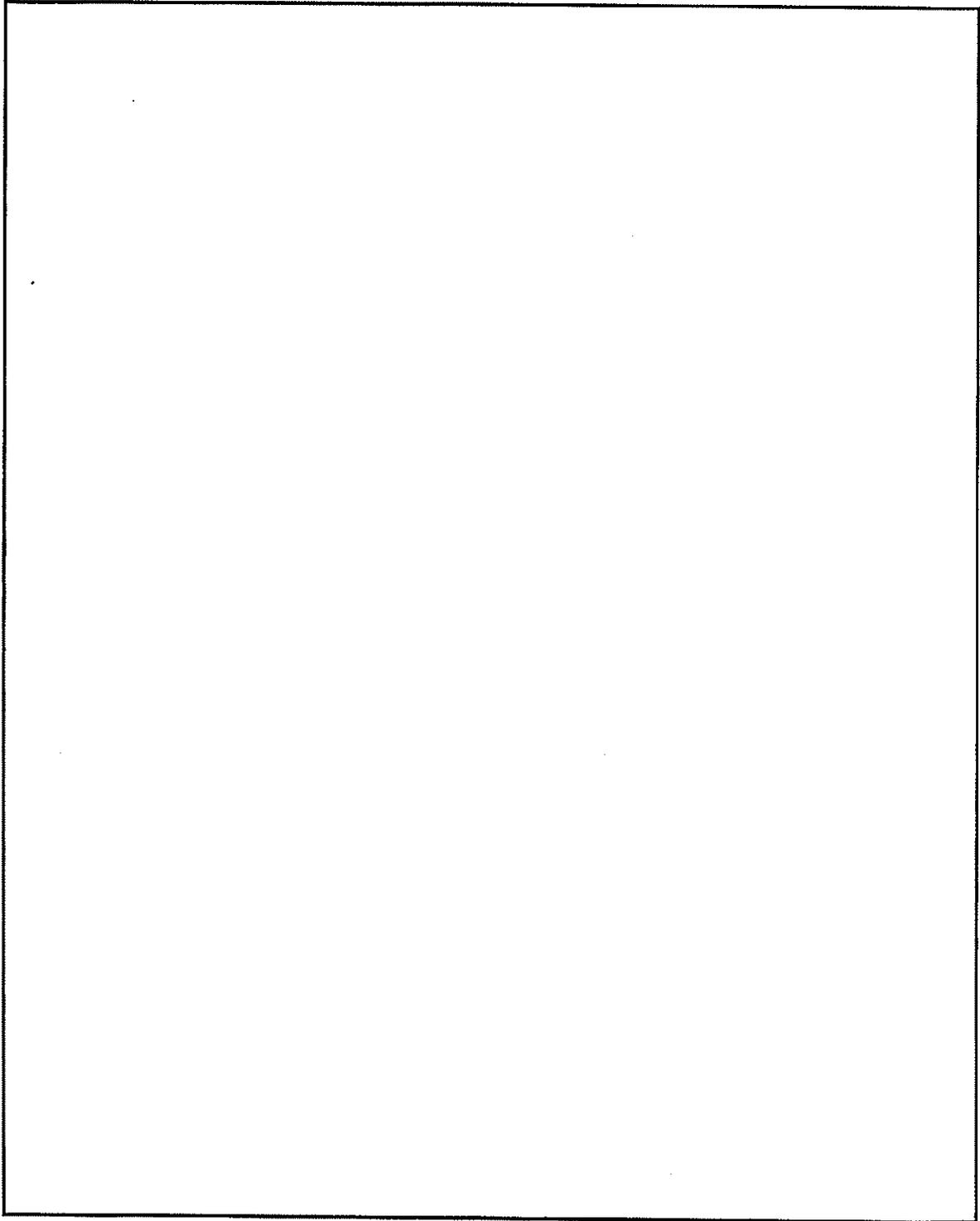
2-3-1-6 図 乾燥状態の臨界解析モデル（燃料領域拡大図）（乾式キャスク（タイプ1））



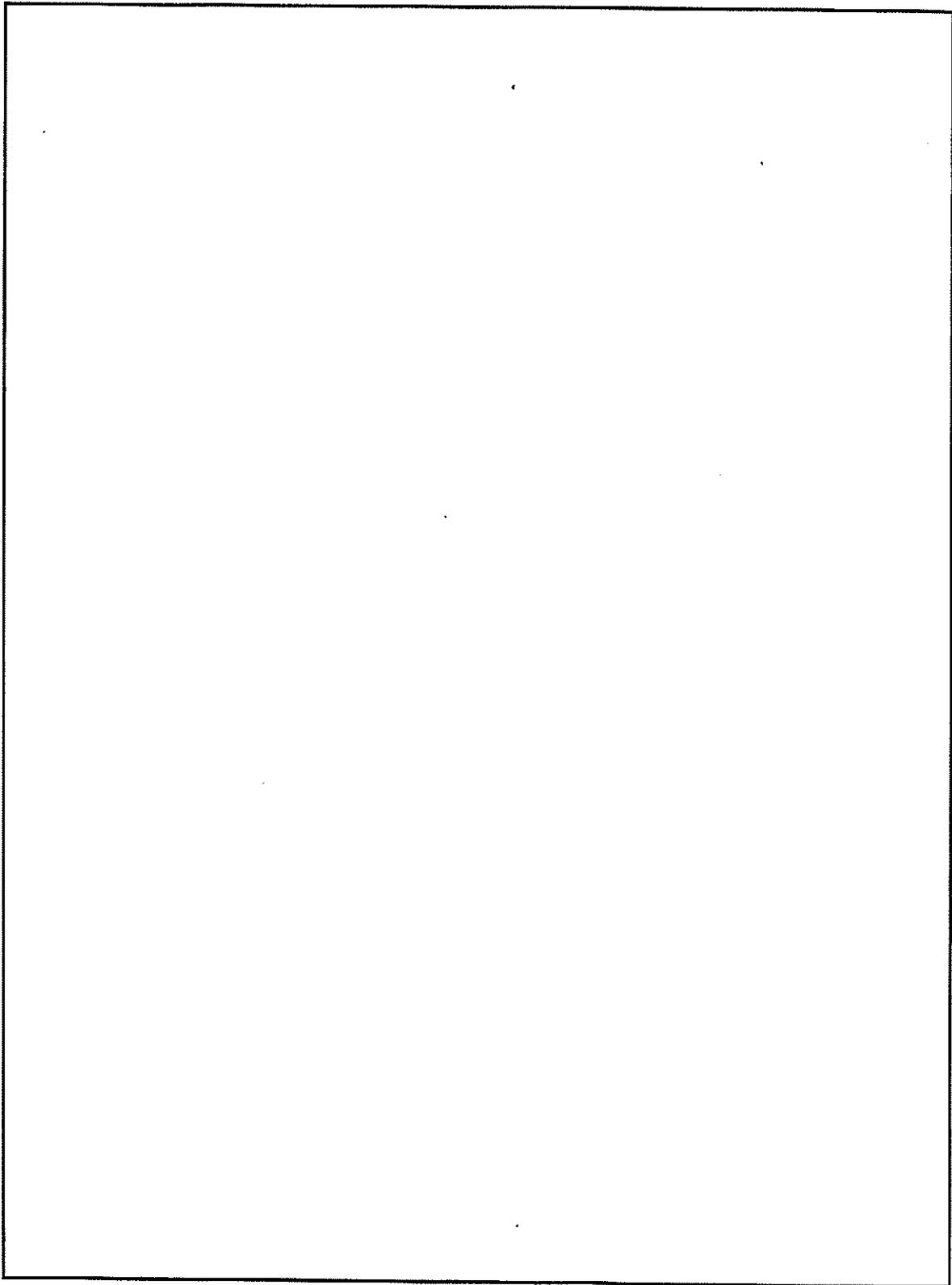
2-3-1-7 図 乾燥状態の臨界解析モデル（縦断面図）（乾式キャスク（タイプ2））



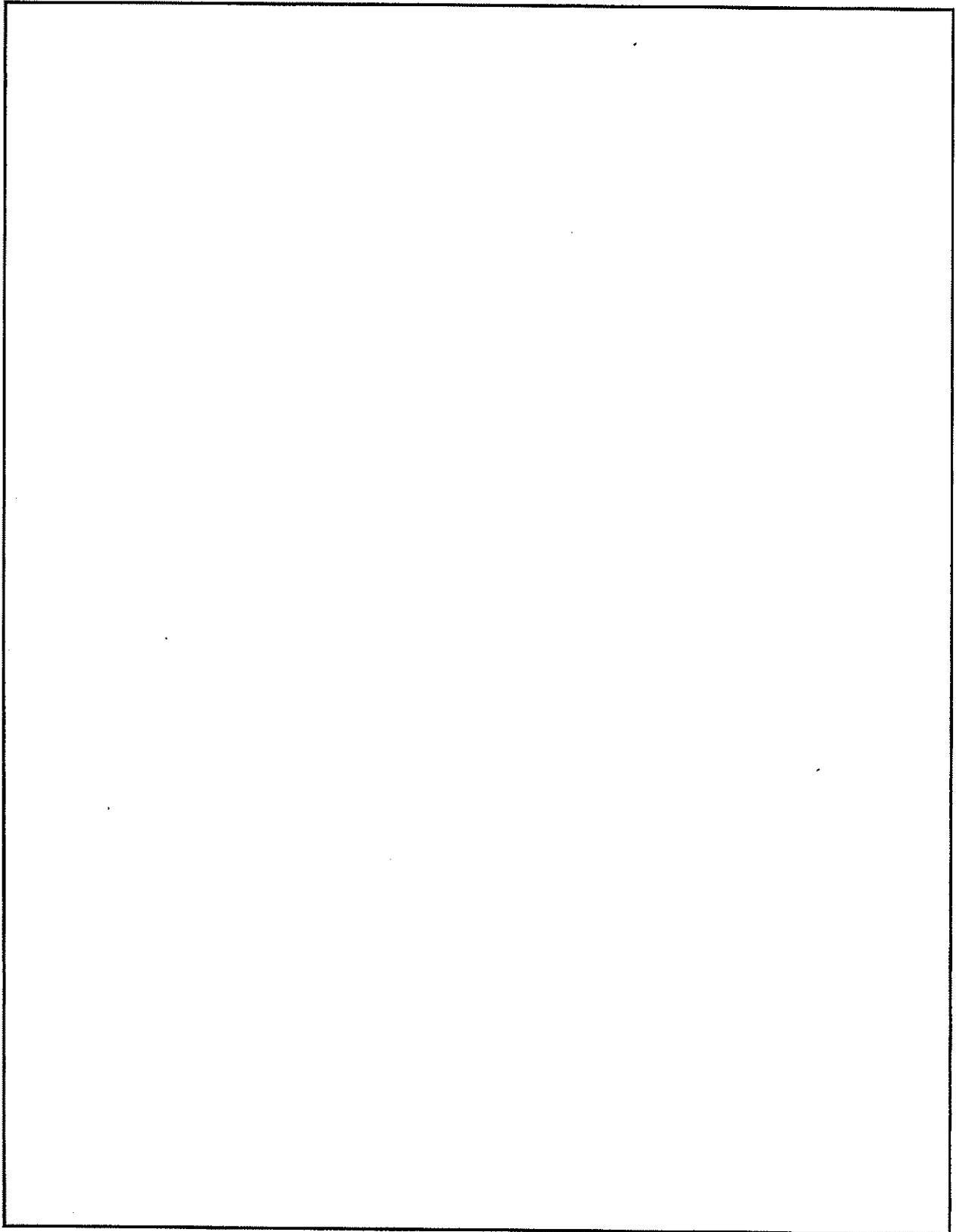
2-3-1-8 図 乾燥状態の臨界解析モデル（燃料領域横断面図）（乾式キャスク（タイプ2））



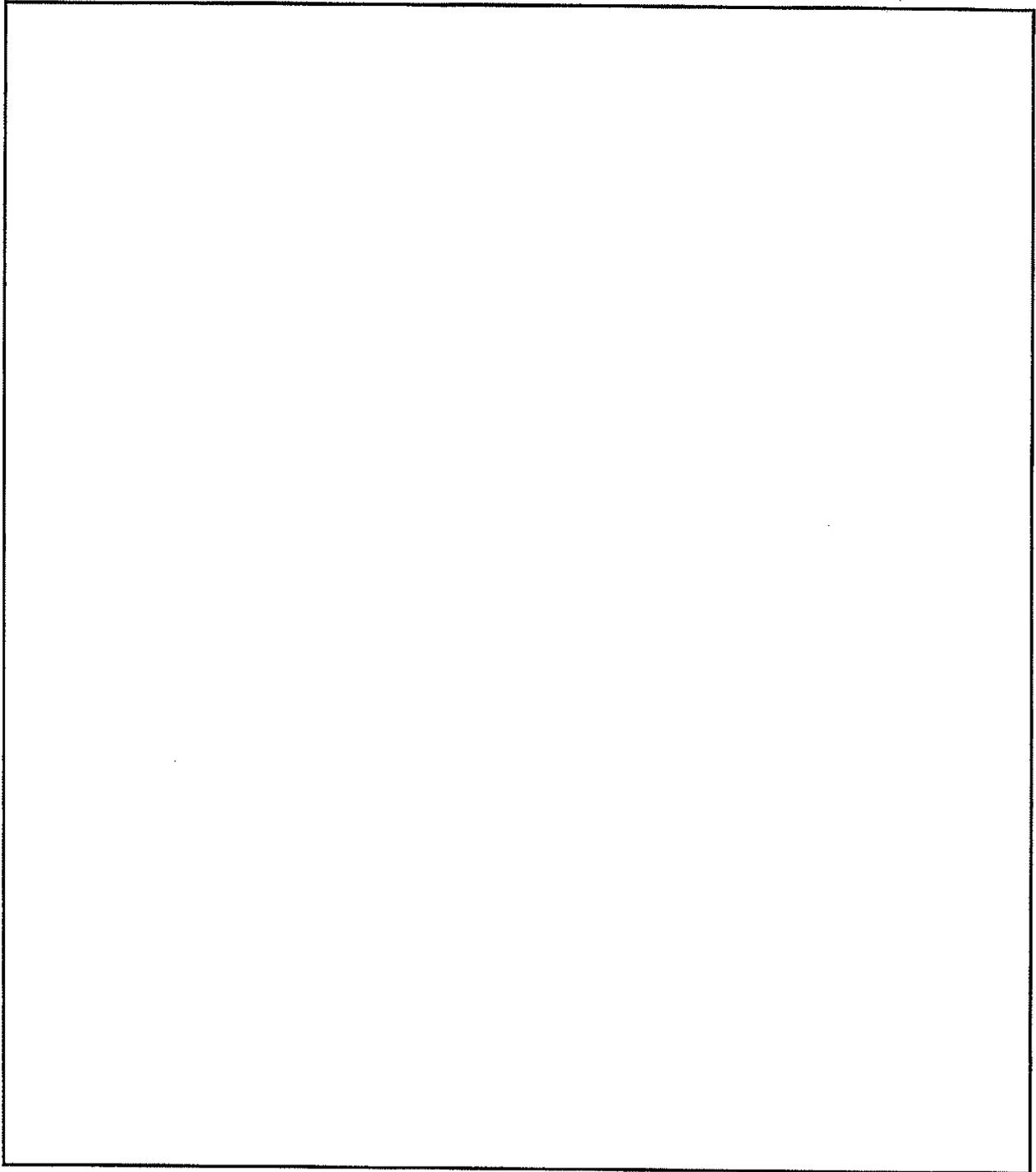
2-3-1-9 図 乾燥状態の臨界解析モデル (燃料領域拡大図) (乾式キャスク (タイプ2))



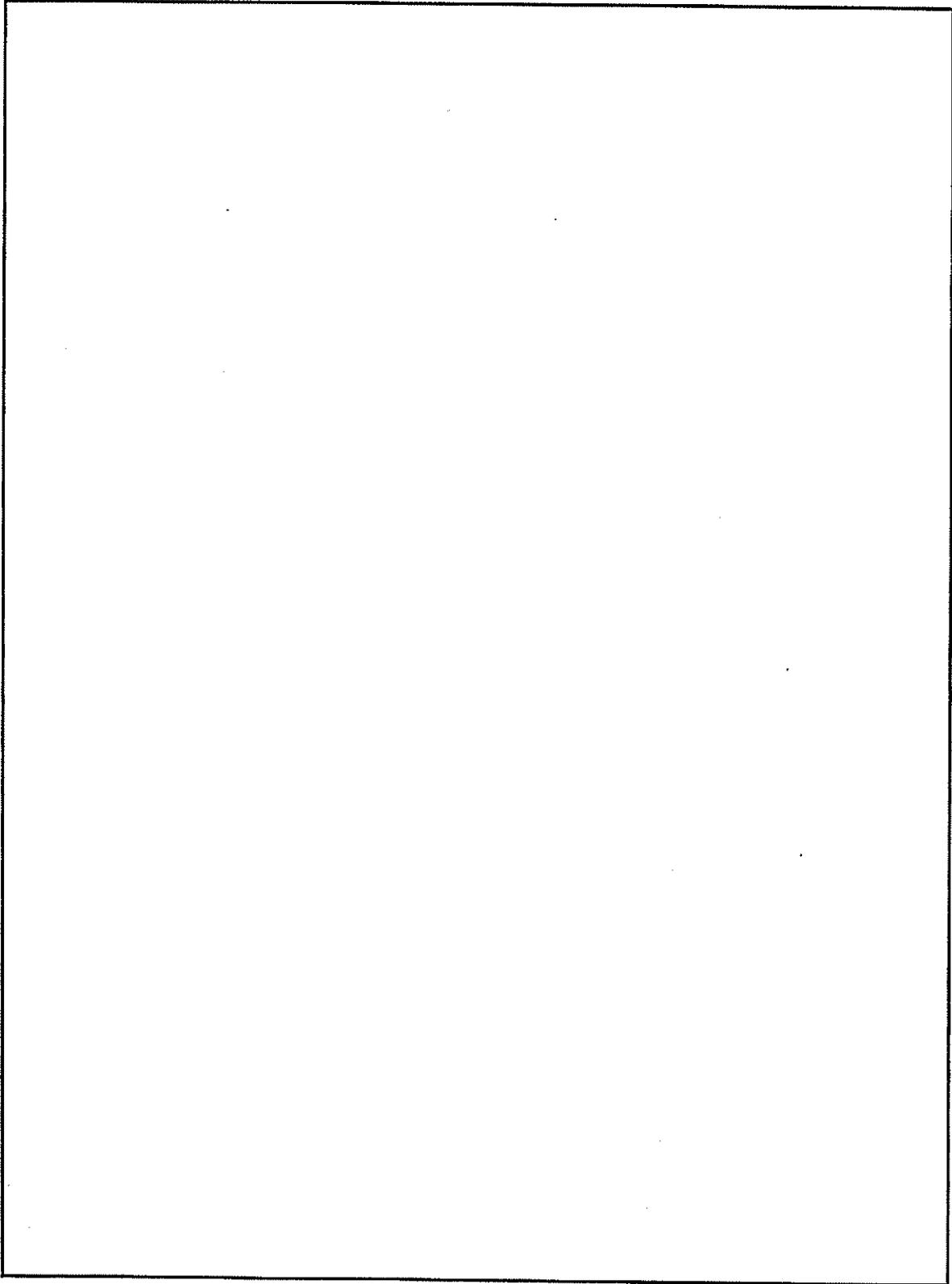
2-3-1-10 図 冠水状態の臨界解析モデル（縦断面図）（乾式キャスク（タイプ1））



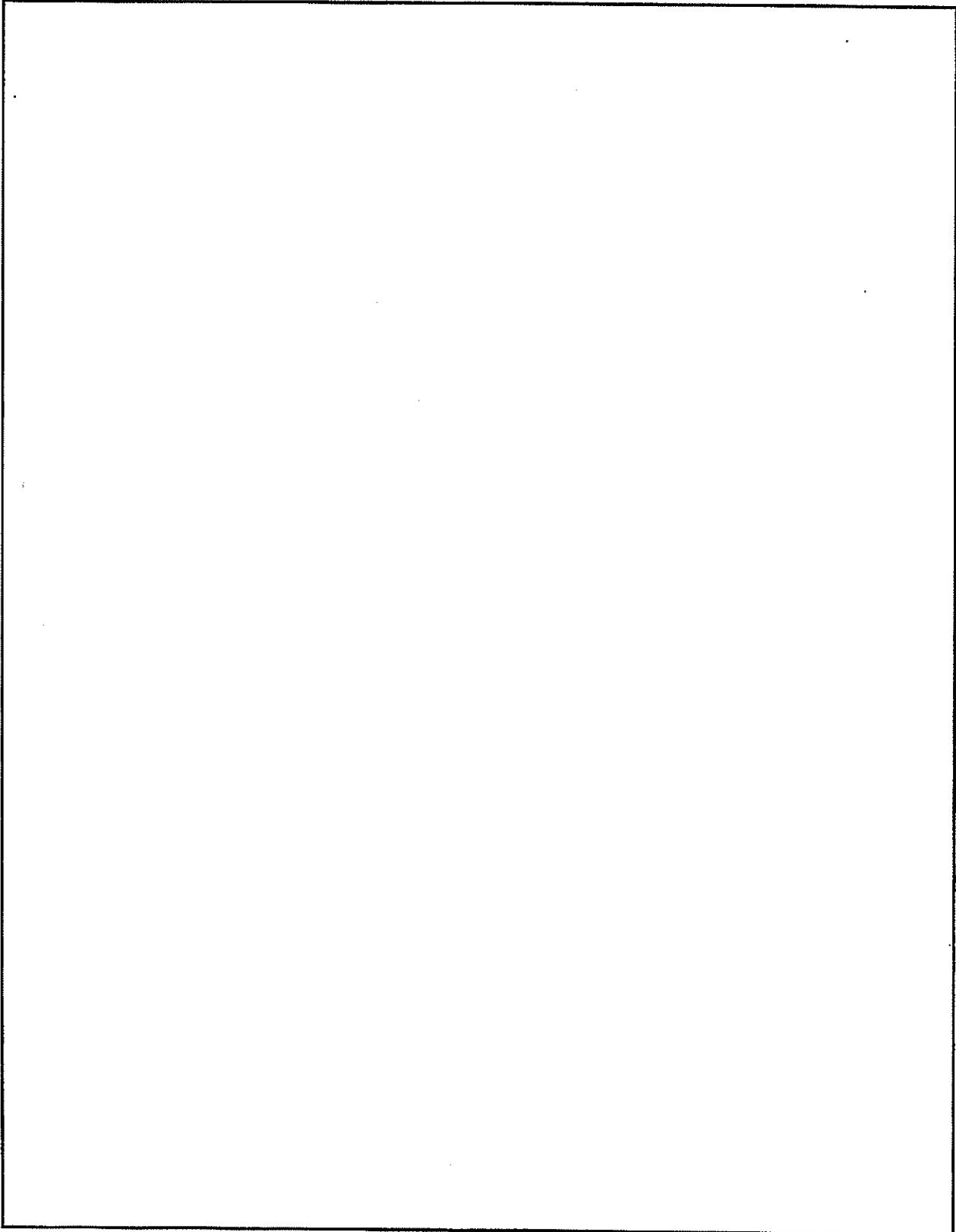
2-3-1-11 図 冠水状態の臨界解析モデル（燃料領域横断面図）（乾式キャスク（タイプ1））



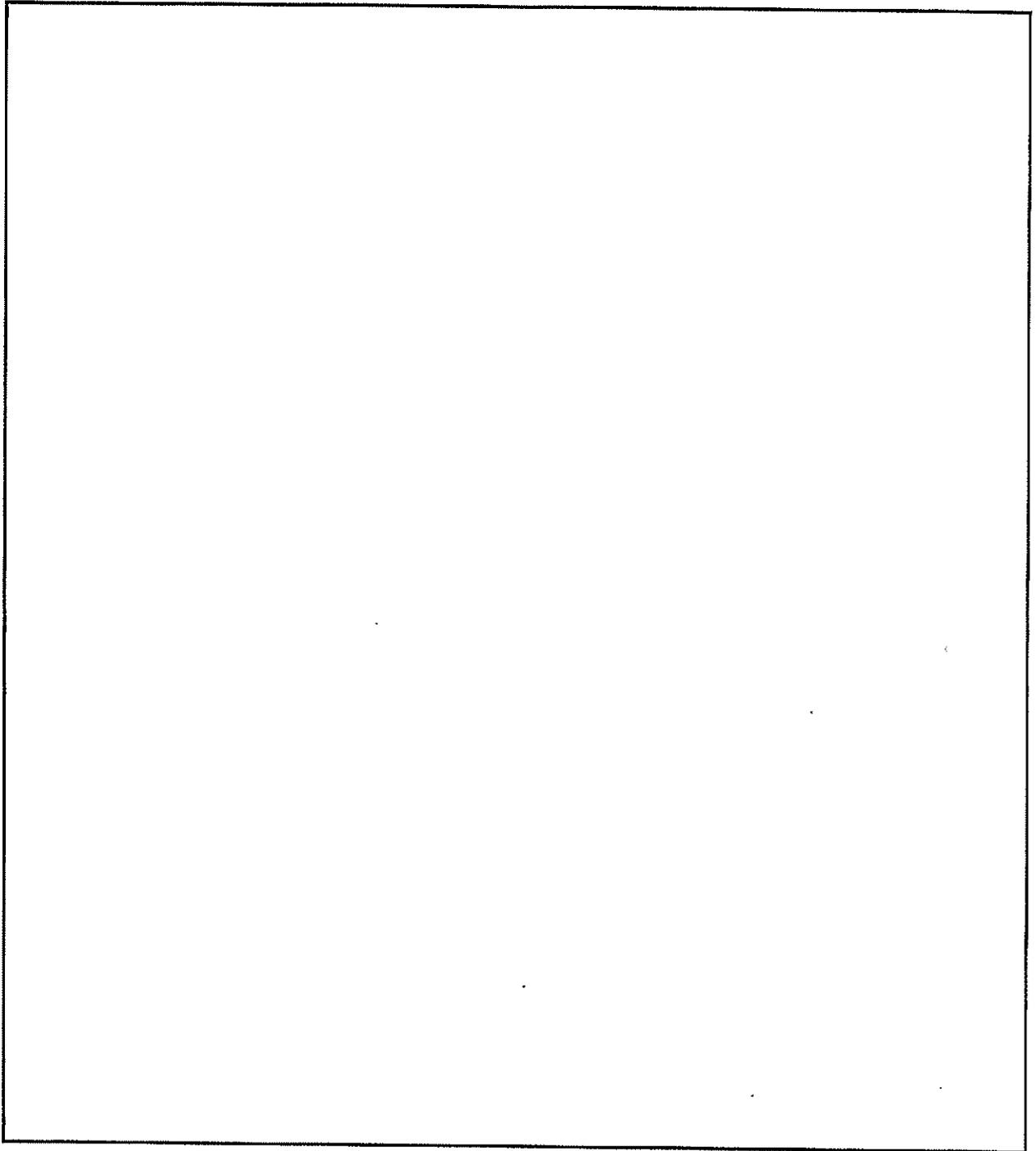
2-3-1-12 図 冠水状態の臨界解析モデル（燃料領域拡大図）（乾式キャスク（タイプ1））



2-3-1-13 図 冠水状態の臨界解析モデル (縦断面図) (乾式キャスク (タイプ 2))



2-3-1-14 図 冠水状態の臨界解析モデル（燃料領域横断面図）（乾式キャスク（タイプ2））



2-3-1-15 図 冠水状態の臨界解析モデル（燃料領域拡大図）（乾式キャスク（タイプ2））

2-3-5 水位変動による臨界解析への影響

1. はじめに

本資料は乾式キャスク内部の注排水作業時に想定される水位変動による臨界解析への影響について説明するものである。

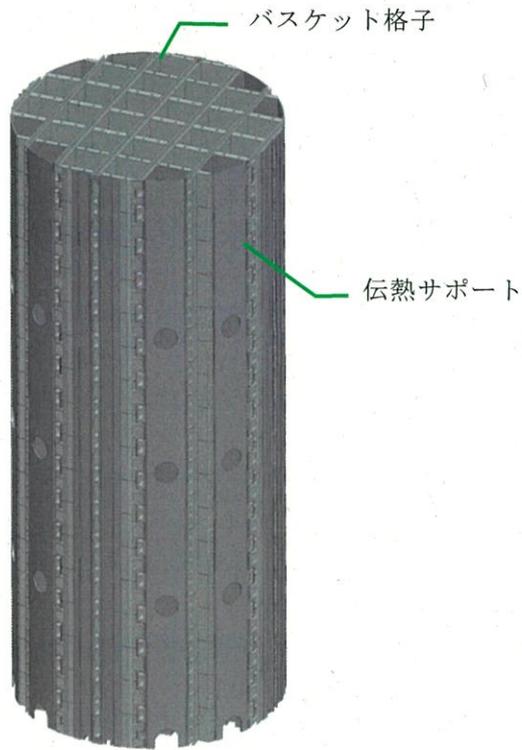
2. 水位変動時のバスケット内部の状態について

乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）のバスケットは、バスケット格子を葉子折り状に組み合わせることにより燃料集合体が収納されるセルを構成し、周辺部にキャスク本体への熱伝導を補助するため、伝熱サポートを設ける構造となっている。バスケットの構造図を 2-3-5-1 図に示す。

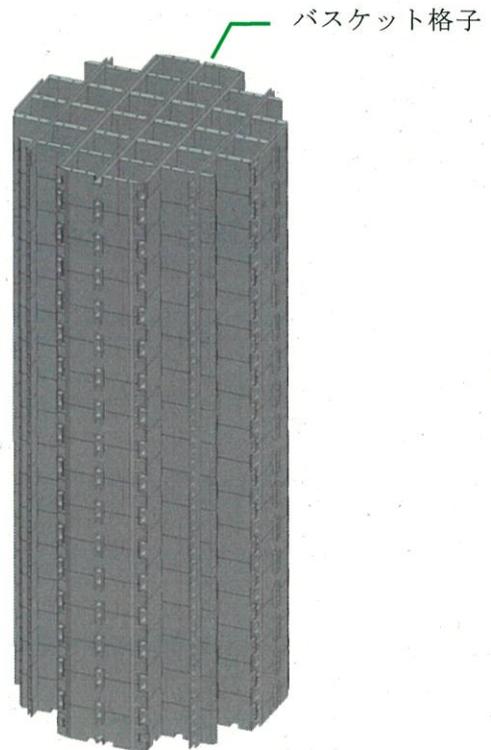
燃料集合体が収納されるバスケット格子内部及び伝熱サポートは、キャスク長手方向に空間が存在するため、注排水時に気層が局所的に留まることは無い。バスケット格子は、キャスクの長手方向に積層されるが、バスケット格子の中空構造部の水の出入りを行うために、バスケット格子の最上端から最下端まで通じた複数の通水孔が設けられており、バスケット格子の中空構造部に気層が残留しにくい構造としている。また、バスケット格子の板両端は開口しており、この部分からも水の流出入が可能な構造である。

燃料集合体を収納した状態での注排水作業は、一次蓋のドレンパイプを通じて約 1.8～2.5m³/hr 程度の非常に遅い速度で実施される。この速度では、バスケット格子 1 枚の高さ相当（約 240mm）の水位上昇（下降）には約 7～10 分を要することとなり、水位上昇（下降）速度は極めて緩慢である。

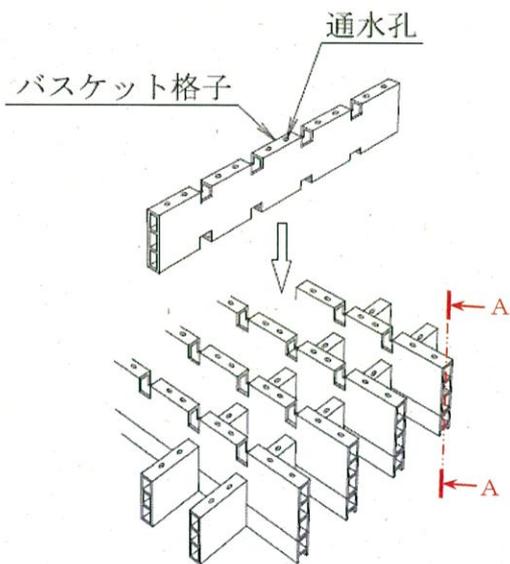
以上の通り、バスケット内外において水位差が出ないように設計上の配慮を行っていることから、バスケット内部において注水時における気層の残留または排水時における水層の残留は生じない。



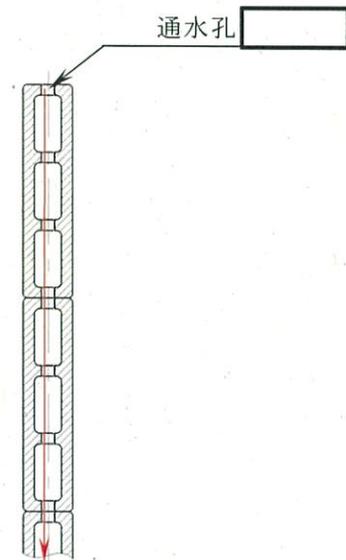
a. バスケット全体図



b. バスケット格子全体図



c. バスケット格子部分組立図

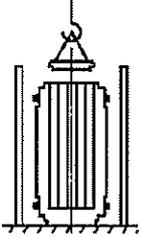
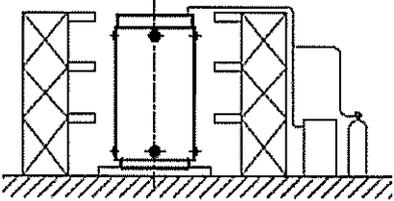
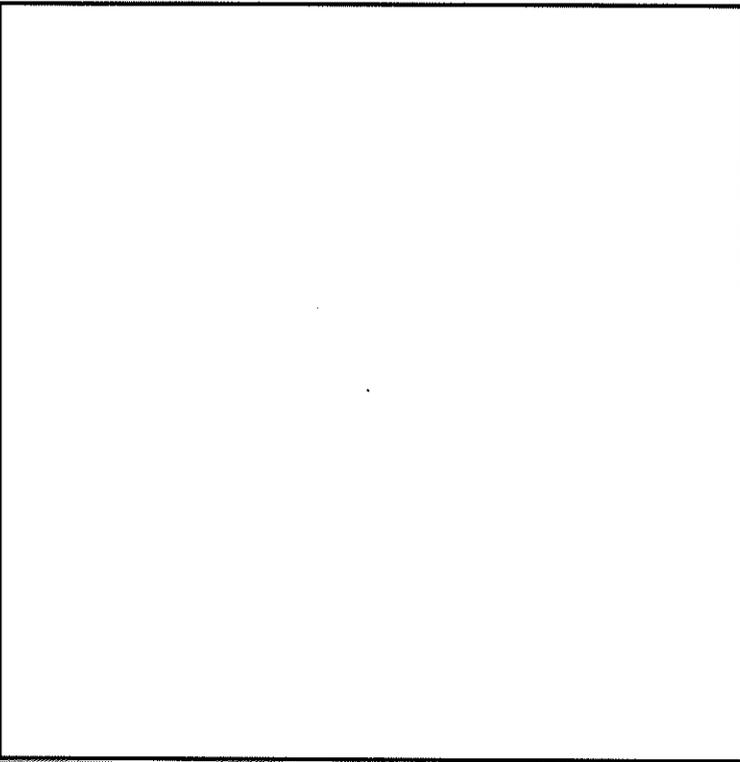
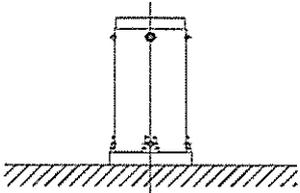


d. 通水孔詳細
(断面A-A)

2-3-5-1 図 バスケット構造 (乾式キャスク (タイプ2) の例)

3. 水位変動による臨界解析への影響について

乾式キャスク内部の水位変動に伴う実効増倍率の変化について 2-3-5-1 表に示す。水位の低下に伴い実効増倍率も低下することから、実効増倍率は冠水状態が最大である。

No.	取扱手順	実効増倍率評価結果 (3σ 込み)
1	燃料装荷・一次蓋取付 	(冠水状態) 0.92
2	排水 真空乾燥 不活性ガス充填 	
3	貯蔵 	(乾燥状態) 0.39

2-3-5-1 表 水位変動における実効増倍率評価結果
(乾式キャスク (タイプ 2) の例)