

3. 指摘事項等の回答

平成 31 年 3 月 26 日の第 266 回核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合において、説明を求められた事項について、以下に回答する。

1. 設置許可基準規則第 12 条の安全施設で説明を求めている安全機能の重要度分類クラスの見直しの妥当性に関連し、試験研究用等原子炉施設において、耐震重要度分類を変更した設備にあつては、当該設備に期待される安全機能、他設備への影響等の観点から、耐震重要度分類の変更の考え方、同規則第 12 条の安全機能の重要度分類クラスの見直しとの関係を説明すること。

(回答)

基準地震動による地震力に対して耐震 S クラスの設備・機器が安全機能を損なわないよう設計することとしている。耐震重要度は、設置許可基準規則の耐震重要度フローに準じて分類し、安全施設のうち、その機能喪失により周辺の公衆に過度(5mSv)の放射線被ばくを与えるおそれのある設備を耐震 S クラスとして見直した結果、後備停止系、補助冷却設備、炉容器冷却設備、原子炉格納施設、非常用空気浄化設備、非常用発電機等の耐震クラスを S クラス(旧 As、A クラス)から B クラスへ見直した。耐震 S クラス以外の設備・機器の損傷が発生した場合、周辺公衆への被ばく量は約 3mSv となり、5mSv を超えないことを評価している。

内部事象と地震動の組合せについては、その内部事象と同様な事象が地震によって引起されるおそれがなく、かつ、その事象によって作用する荷重が短時間で終結する場合には、事象と地震動を組合せない。ただし、地震動の発生確率が高い B クラスに適用される地震力は事象と組合せるものとする。

耐震 S クラス施設が破損しない内部事象と地震との組み合わせにあつては、耐震 B クラスに適用される地震力を組み合わせている。その場合、耐震 S、B クラス施設の安全機能は損なわれなため、安全は確保される。また、耐震 B クラスに適用される地震力を超える地震についても組み合わせている。その場合、耐震 B クラス施設の安全機能は損なわれるが、耐震 S クラス施設の安全機能が損なわれなことにより、原子炉は安全に停止・維持され敷地周辺の公衆の被ばく量は 5ミリシーベルトを超えることはない。

耐震 S クラス施設が破損する内部事象と地震との組み合わせにあつては、耐震 B クラスに適用される地震力を組み合わせている。その場合、起因事象の耐震 S クラス施設以外の耐震 S クラス施設と B クラス施設の安全機能は損なわれなため、安全は確保される。耐震 S クラス施設の破損は地震によって引起されるものでなく、かつ、その事象によって作用する熱荷重、圧力荷重は自然冷却により短時間で終結する。そのため、耐震 S クラス施設が破損する内部事象と耐震 B クラスに適用される地震力を超える地震は組み合わせていない。

2. 耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位クラスに属する設備の波及的影響によって、その安全機能を損なわない設計について、設計上想定する事象の選定、影響の評価等について説明すること。

(回答)

設計上想定する事象の選定について

基準地震動 S_s が発生しても、耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないことを確認する。評価対象設備(第 4 回設工認(平成 31 年 3 月 26 日申請))は、以下のとおりである。耐震重要施設まわりの概要図を第 2.1 図に示す。

・原子炉建家屋根トラス

基準地震動 S_s が発生しても、原子炉建家屋根トラスの損傷及び落下により、S クラスの使用済燃料貯蔵設備貯蔵プール及び原子炉格納容器内の S クラスの機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさないこととする。

・原子炉格納容器

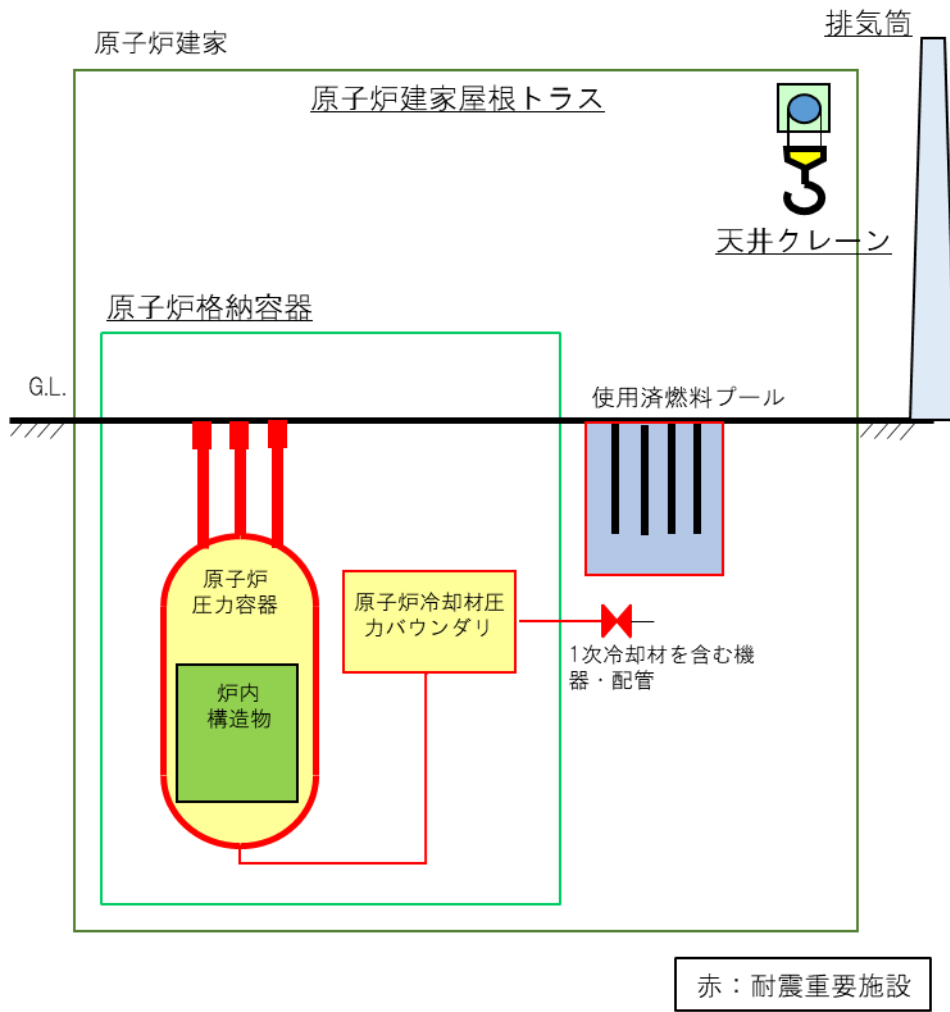
基準地震動 S_s が発生しても、原子炉格納容器の損傷により原子炉格納容器内の S クラスの機器・配管系及び S クラスの原子炉格納容器貫通部配管に対して波及的影響を及ぼさないこととする。

・原子炉建家天井クレーン

基準地震動 S_s が発生しても、原子炉建家天井クレーンの損傷及び落下により、S クラスの使用済燃料貯蔵設備貯蔵プール及び原子炉格納容器内の S クラスの機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさないこととする。

・排気筒

基準地震動 S_s が発生しても、排気筒の損傷及び転倒により、原子炉建家内の S クラスの施設に波及的影響を及ぼさないこととする。



第 2.1 図 耐震重要施設まわりの概要図

影響の評価について

影響の評価(第4回設工認(平成31年3月26日申請))を以下に示す。

波及的影響に関する解析の方針を第2.2図に示す。波及的影響は、耐震解析と衝突解析により評価する。耐震解析は、基準地震動 S_s を用いて評価し、評価対象施設が S クラス施設に影響を与えないことを示すことで、S クラス施設が安全機能を損なわないことを確認する。評価対象施設が S クラス施設に影響を与える可能性がある場合は、評価対象施設と S クラス施設等の相互影響を衝突解析で評価し、S クラス施設の安全機能が損なわれないことを確認する。耐震解析に関しては、実挙動を評価するために実挙動評価を基本とするが、保守性が高い簡易評価でも評価する。以下に、簡易評価、実挙動評価及び相互影響評価の方法を示す。

1 簡易評価の方法

応答倍率法による評価等の保守的かつ簡易的な評価を実施し、評価対象施設が S クラス施設に影響を与えないことを示すことで、その安全機能を損なわないことを確認する。

2 実挙動評価

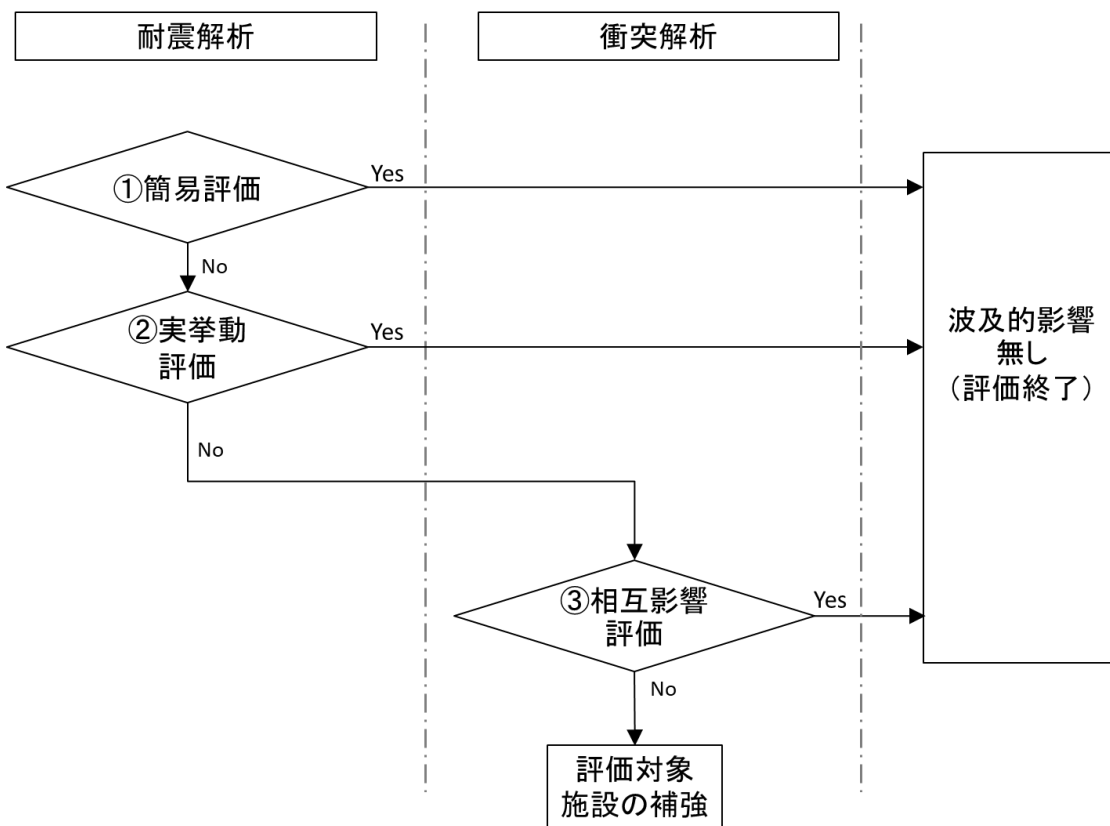
3次元実形状モデルにより、基準地震動 S_s が発生した際の挙動を評価し、評価対象施設が S クラス施設に影響を与えないことを示すことで、その安全機能を損なわないことを確認する。

なお、評価対象施設の損傷、転倒、落下、衝突等が発生するか否かは塑性変形を考慮して評価する。

3 詳細評価手法

評価対象施設が S クラス施設又は S クラス施設を内包する施設に対して、損傷、転倒、落下、衝突等による影響を与える可能性がある場合は、地震動によって加速された評価対象施設と S クラス施設等の相互影響を評価する。

上記の手法により、基準地震動 S_s が発生しても、耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないことを確認した。



※評価の順序を限るものではない。

第 2.2 図 波及的影響に関する解析の方針

3. 耐震重要施設のうち、動的機器等については、基準地震動による応答に対して、当該設備に要求される機能を保持されることを説明すること。

(回答)

耐震重要施設の機器について、動的機器の機能維持確認の考え方を第 3.1 表に示す。なお、制御棒の挿入性については、P.地震-368 から 372 に示す(平成 27 年 4 月 30 日第 55 回核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合資料)。

第 3.1 表 耐震重要施設の動的機器の機能維持確認の考え方

No.	動的機器	考え方
1	制御棒駆動装置(スクラム機能に関するもの)	制御棒駆動装置は、原子炉スクラム信号を起因として、重力により炉心内に落下挿入される。そのため、基準地震動 S_s が発生しても、制御棒の停止機能は、動的機器を用いずに機能が果たさせる。
2	原子炉冷却材圧力バウンダリに属する循環機	循環機は、Sクラスの機能として閉じ込め機能を期待している。そのため、基準地震動 S_s が発生しても、動的機器の機能を期待しない。
3	原子炉格納容器バウンダリに属する弁(1次冷却材を含むもの)	弁は、完全固定点又はその近傍に設置されている。そのため、基準地震動 S_s が発生しても、弁の応答加速度は、JEAG4601に記載されている弁駆動部の機能確認済加速度以下であり、動的機器の機能は維持される。

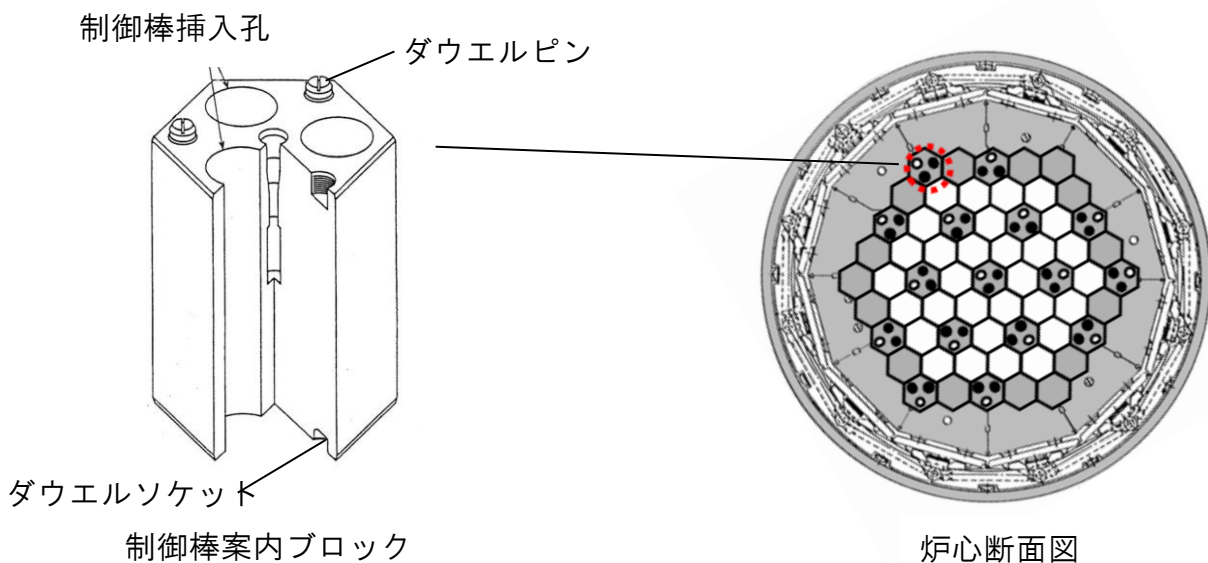
・制御棒挿入孔の連続性について

制御棒は、炉心構成要素の一部の制御棒案内ブロックの制御棒挿入孔に挿入される。(第 3.1 図)HTTR の炉心は、六角柱状の黒鉛ブロック群で構成された積層構造をしている。これら炉心構成要素は、高温プレナムブロックを介して、サポートポストにより支持されている。地震時、サポートポストの支持機能が維持されていれば、制御棒案内ブロック等の炉心構成要素は、高さ方向において元の位置に留まり、制御棒挿入孔が高さ方向で不連続となることはない。そのため、制御棒挿入性上評価すべき問題は、炉心構成要素の水平方向の動きである。

構造上、炉心全ての炉心構成要素の黒鉛ブロックは六角柱状であるとともに、最下段の制御棒案内ブロックは隣接する燃料体ブロックより 10 cm 低くしている。このため、炉心内の黒鉛ブロックは、炉心横断面の方向及び炉心縦断面の方向に拡散するように動く。第 3.2 図に示すように、縦断面においては、①のブロックが変位した場合、隣接するブロックが 10 cm の段差をつけているため上下に広がって動き、また、横断面においては、①のブロックが変位した場合、黒鉛ブロックが六角柱状であるため、左右に動きが広がって動く。

地震時において、最も制御棒の挿入が阻害される事象は、制御棒案内ブロックの水平変位量が最大となった時に、制御棒の挿入孔が屈曲することで、挿入される制御棒要素に抵抗力が働くときである。炉心の振動特性は、横からの地震の入力により炉心全体が振動し、周波数が 2～5Hz の帯域で、制御棒案内ブロック(カラム)や燃料体ブロック(カラム)が一体となって振動する。この時が、制御棒案内ブロックの水平変位量が最大となる。ここで、炉心形状から静的に制御棒案内ブロックの水平変位量が最大になったとしても、制御棒が挿入されることを静的試験により確認している(次項の「水平方向変位時の制御棒挿入性」を参照)。

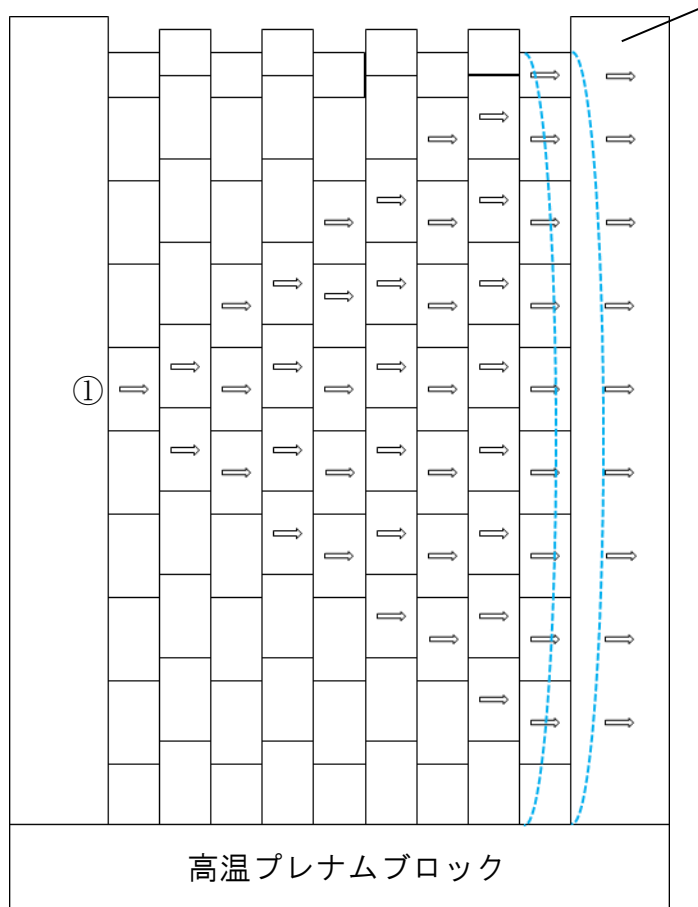
また、制御棒案内ブロックに作用する地震荷重に対して、制御棒挿入孔が制御棒を挿入できる形状を維持していることのみを確認する。



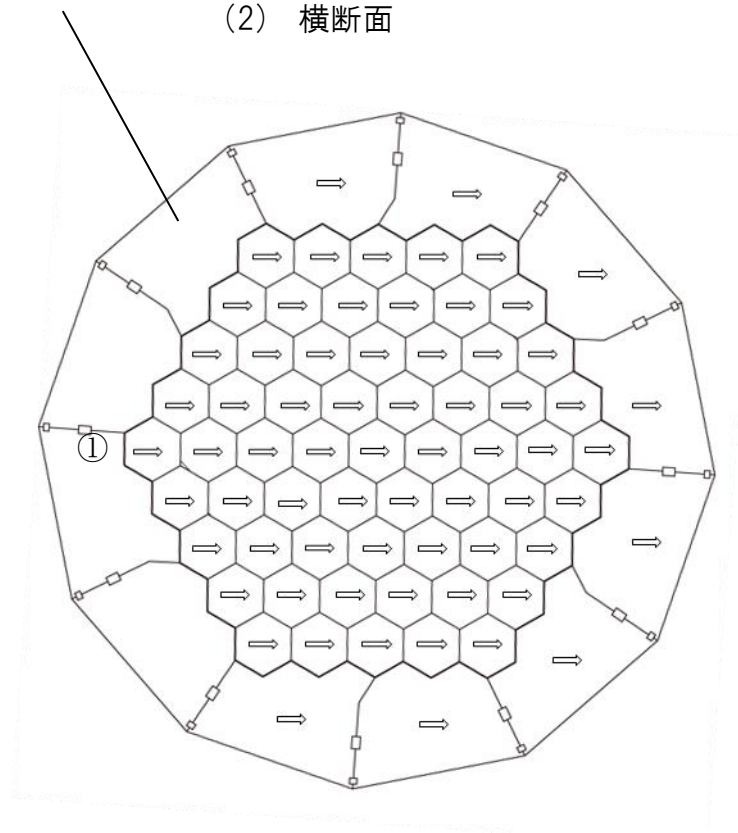
第 3.1 図 制御棒案内ブロック及び炉心断面図

あるブロックが水平に動くと、高さ方向及び横方向に広がり、制御棒案内ブロックはその上下左右のブロックと一体となって運動する。制御棒挿入孔は、梁のように連続体として水平方向に運動する。

(1) 縦断面



(2) 横断面

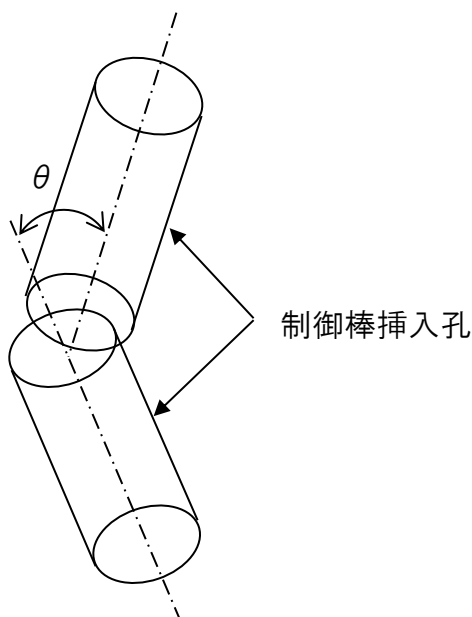


----- : 固定反射体に近接する制御棒案内カラムの水平方向変位量が最大となる(水平方向の最大変位は、概略水色の破線のようになる)。

第 3.2 図 水平方向のブロックの動

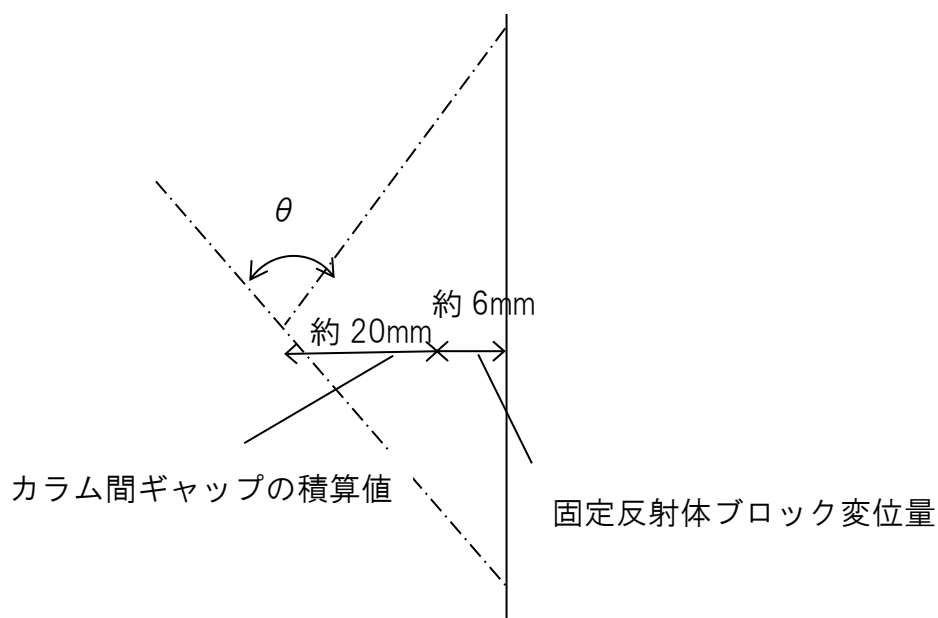
・水平方向変位時の制御棒挿入性

制御棒を挿入する際、制御棒挿入孔が弓なりになり変形し、その屈曲点が最も厳しくなる。即ち第3.3 図の屈曲角 θ が大きくなる程、制御棒は挿入しづらくなる。



第3.3 図 制御棒挿入孔の状態図

屈曲角が物理的に最大となる条件は、拘束バンドが破損し、固定反射体ブロックが最大変位した値に各カラム間ギャップの積算値を加えた時(約 26 mm)である。(第 3.4 図)



第3.4 図 想定される制御棒案内ブロック最大変位

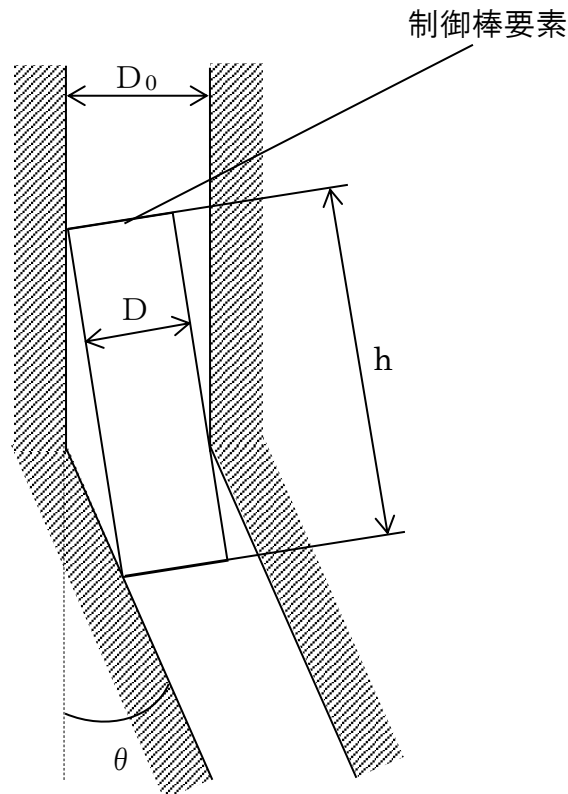
$$\theta \cong 4(D_0 - D)/h \text{ (rad)}$$

ここで、 D_0 : 挿入孔径(=123mm)

D : 制御棒の最外径(=113mm)

h : 制御棒要素長(=304mm)

θ : 限界挿入孔傾斜角(=0.131rad)

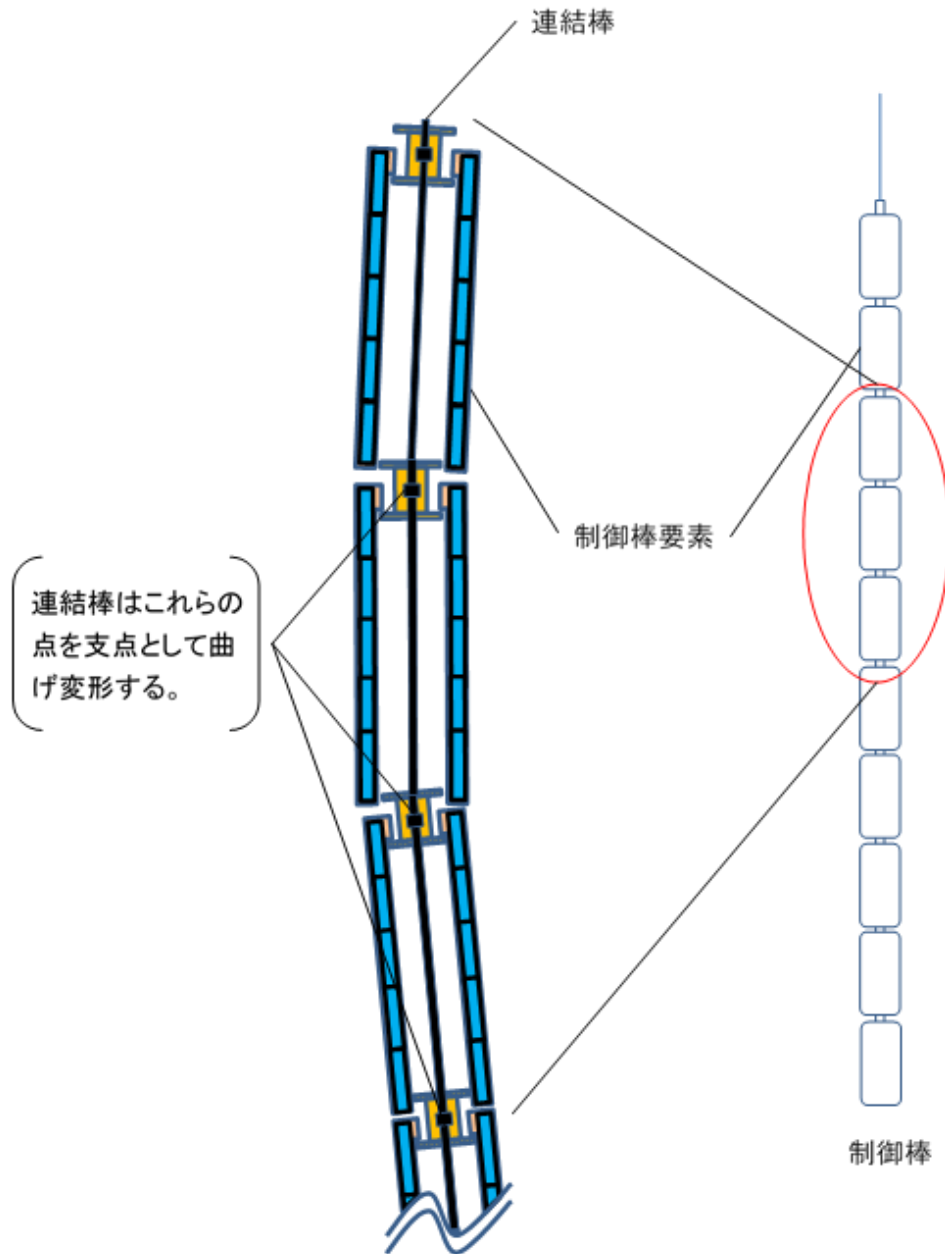


第 3.5 図 制御棒要素の限界挿入孔傾斜角

第 3.5 図に幾何学的に制御棒が挿入される限界挿入角(=0.131rad)を示す。また、静的挿入性試験では、最大挿入傾斜角 0.0877(rad)において、制御棒が挿入されたことを確認している。

一方、拘束バンドが破損し、固定反射体ブロックが最大変位した値に各カラム間ギャップの積算値を加えた変位量が約 26 mmの時の傾斜角は約 0.046(rad)である。また、制御棒は 1 本の連結棒に制御棒要素が連結されており、挿入を妨げないよう可撓性を持たせた構造となっている。(第 3.6 図参照)

以上のことから、傾斜角約 0.046(rad)は静的試験結果の最大挿入角 0.0877(rad)を下回るため制御棒の挿入性は確保される。



第 3.6 図 制御棒変形状況概念図

4. 耐震設計において、HTTRに特有の黒鉛ブロック等の構造に係る規格基準や解析手法に基づく設計としているものにあつては、当初許可から基準地震動の見直しや温度条件等の解析条件の変更があつても適用可能なものであることを説明すること。

(回答)

黒鉛ブロック等の構造の設計は、①「高温ガス炉炉心支持黒鉛構造物の構造設計指針」(平成 2 年 12 月科学技術庁原子力安全局(平成 15 年 5 月 30 日改定))、②「高温ガス炉炉心黒鉛構造物の構造設計指針」(平成 2 年 12 月科学技術庁原子力安全局(平成 15 年 5 月 30 日改定))に基づいている。①及び②では、応力評価の方法、構造の規格、設計用データが定められている。

平成 15 年の改定では、SI 単位系の導入、引用 JIS 規格の見直し、告示 501 号より研究炉構造基準へ反映すべき事項の検討及び新たな知見の取り入れの4項目が変更された。いずれも黒鉛ブロック等の評価に影響を及ぼす変更ではない。また、高温ガス炉に関係する日本原子力学会、IAEA テクニカル・コミッティ等の国内外での学会等口頭発表、研究・技術をまとめた研究レポート(JAEA-Research 等)を対象として、調査を実施した。その結果、①及び②が適用可能であることを確認した。

耐震解析の手法は、実験により検証された SONATINA-2V¹⁾を用いるものとする。SONATINA-2V の検証では、加速度 250gal、500gal、750gal の地震動による実験と解析の結果は良く一致することを確認した²⁾。本評価の黒鉛ブロック等の解析に用いる原子炉圧力容器における基準地震動の最大加速度は約 670gal であり、検証した地震動の範囲に収まっている。したがって、見直された基準地震動に対しても SONATINA-2V を適用可能である。

参考文献

- 1) 幾島毅 他、「垂直二次元炉心模型による高温ガス炉の炉心耐震試験と解析」、JAERI-1282、日本原子力研究所、1983 年 2 月
- 2) T. Ikushima et al., “A SEISMIC ANALYSIS METHOD FOR A BLOCK COLUMN GAS-COOLED REACTOR CORE”, Nuclear Engineering and Design, Vol. 55, No. 3, December 1979, pp. 331-342.