

CARO-NA コードのトピカルレポートへの
指摘事項と対応の結果

添付表 - 1 CARO-NAコードのトピカルレポートへの指摘事項と対応の結果

(1/6)

| 評価要領 記載事項 | 評価基準 | TRでの記載内容 | 指摘事項等 | 対応の結果 |
|--|--|-------------------------------------|--|---|
| (1)解析コードの概要 | | | | |
| 解析コード各要素の構成:入力データ読み込み、線出力履歴設定、冷却材温度解析、時間増分設定、構造解析、温度解析、計算結果の出力 | 解析コードの全体概要が理解されやすいよう適切に記述されていること。 | 2. コードの概要 2.2 計算のフロー 2.3 計算体系 | ・計算のフローに照射成長、クリープなどの計算がなされている部分の記載がないので追加すること。 ・設計で使用している軸方向及び径方向の分割数について記載すること。 | 計算フロー図に具体的な計算項目(物性値、照射挙動)を追加した。 |
| (2)解析モデルの評価 | | | | |
| 解析コードで使用されているモデルの記述と検証結果 物性値(燃料、被覆管) ・燃料の融点 ・熱伝導率 ・熱膨張率 ・ヤング率 ・ポアソン比 ・クリープ速度 ・歪硬化曲線 ・希ガスの熱伝導率等 照射挙動(燃料、被覆管) ・径方向核分裂密度分布 ・焼きしまり ・割れとりロケーション ・スエリング ・FPガス放出率 ・Heガス放出量 ・Xe/Kr比 ・ギャップ熱伝達率 ・被覆管の腐食と水素吸収 ・被覆管照射成長 ・組織変化 等 | 1. 解析コードでは、燃料の物性、照射挙動が適切にモデル化され、適用範囲が評価されていること 2. 物性値の測定データ、照射挙動データ等との比較により、モデルの妥当性が検証されていること | 本文の3章～9章 | ・改訂モデルだけでなく、全ての物性値、解析モデルについて、出典、各データの仕様範囲、モデルの適用範囲を評価する。 ・新材料については、設計コードで用いている全ての物性、解析モデルの適用性を評価する。 ・非公開データの記載方法を検討する。 ・UO ₂ と(U,Gd)O ₂ で共通の物性値としている項目については、その妥当性を示すこと。 ・各モデルの定数について値を示すこと。また、妥当性の説明が不足しているものは追加すること。 ・被覆管の物性値について、照射の影響を考慮していないものは、その妥当性を示すこと。 | 全ての物性値、解析モデルについて、基本式、特性根拠データ、出典を一覧表にまとめた(トピカルレポート改訂版を参照)。 トピカルレポート改訂版 【添付資料7】 CARO-NAの物性値、モデルの根拠データ、参考文献(変更モデル分) 【添付資料8】 CARO-NAの物性値、モデルの根拠データ、参考文献(CAROとCARO-NAとで共通のモデル) 6. 改良合金「HiFi」への適用 |
| | | 3. 熱的解析モデル | | |
| | | 3.1 被覆管温度分布 | ・クラッド・酸化膜の付着・生成モデルについて記載がないので、酸化膜厚さ、クラッド厚さのデータと解析での扱い(入力)を説明すること。 ・酸化膜厚さについては、Zry-2に加えてHiFi合金のデータが必要。 ・クラッド及び酸化膜の温度分布計算は、薄膜であるため平板近似していることを記載すること。 | ・酸化膜厚さ、クラッド厚さのデータと解析での扱い(入力)の説明を追加した。 |
| | | 3.1.1 燃料棒表面熱伝達 | | |
| | | 3.1.2 燃料棒表面温度 | | トピカルレポート改訂版 3.2.1 被覆管温度分布 (2)被覆管表面温度 |
| | | 3.1.3 燃料棒内面熱伝達 | | |
| | | 3.2 ペレット - 被覆管ギャップ熱伝達 | ・ギャップコンのモデルで、固体接触及び輻射を考慮していないことが保守的との記載があるが、燃料温度の検証結果で保守的と言えないのであれば、適切な表現に見直すこと。 ・Ross&Stouteの式の固体接触を無視できることについて、影響を示すこと。 ・ギャップ幅の計算について記載がないので、説明すること。 | ・固体接触及び輻射を考慮しないことの補足説明を追加するとともに、その影響について感度解析による説明を受けた。 ・ギャップ幅の計算モデルの説明を追加した。 |
| | | 3.3 ペレット内温度分布 | ・中心孔のある場合の温度計算方法について記載すること。(中心孔を考慮した出力を使用している等) | トピカルレポート改訂版 3.2.2 ギャップ熱伝達 |
| | | 3.3.1 ペレット熱伝導度 | ・Loebの密度補正式の妥当性を示すこと。 ・気孔率の燃焼度変化をどのように扱っているか、説明すること。 ・CARO-NAで改訂したモデルについてはCAROとの違いを評価。 | ・中心孔のある場合の温度計算方法の説明を追加した。 トピカルレポート改訂版 3.2.3 ペレット内温度分布 ・追加補足資料によってLoebの補正式の説明を受けた。 ・気孔率の扱いの説明を追加した。 トピカルレポート改訂版 3.2.4 ペレット熱伝導度 3.2.4.1 ペレット熱伝導度モデル |

| 評価要領 記載事項 | 評価基準 | TRでの記載内容 | 指摘事項等 | 対応の結果 |
|--------------|------|-------------------|---|---|
| | | 3.3.2 ペレット径方向出力分布 | ・ペレット径方向出力分布について、設定根拠(核計算コード等)について説明すること。 ・(U,Gd)O ₂ ペレットの径方向出力分布をUO ₂ ペレットと同じとしていることを説明すること。 | ・ペレット径方向出力分布の設定根拠の説明を追加した。 |
| | | 3.4 ペレット融点 | ・Christensenの融点データの精度について「疑問視する見解がある」との記載を見直すこと。 ・燃焼度に対する融点低下割合がUO ₂ と(U,Gd)O ₂ で共通とすることの妥当性を示すこと。また、30GWd/t以降の低下割合を従来同様32 / 10GWd/tとすることについて、MOXデータを参照するなどして妥当性を示すこと。 | ・指摘事項に関する追加説明を受けた。 トピカルレポート改訂版 3.2.5 ペレット融点 |
| | | 3.5 ペレット組織変化 | | |
| | | 4. 物性値 | ・全ての物性値、解析モデルについて、出典、各データの仕様範囲、モデルの適用範囲を評価する。 | ・全ての物性値、解析モデルについて、基本式、特性、根拠データ、出典を一覧表にまとめた。(トピカルレポート改訂版を参照)。 |
| | | 4.1 被覆管弾塑性 | ・HiFi合金の適用性についてデータを含めた説明が必要。 ・HiFi合金については、組成や熱処理などの材料特性に関するパラメータの説明が必要。 | トピカルレポート改訂版 【添付資料8】 CARO-NAの物性値、モデルの根拠データ、参考文献 (CAROとCARO-NAとで共通のモデル) |
| | | 4.1.1 被覆管ヤング率 | | ・HiFi合金に関して、全ての物性モデルの適用性について追加説明を受けた。 |
| | | 4.1.2 被覆管ポアソン比 | | トピカルレポート改訂版 6. 改良合金「HiFi」への適用 |
| | | 4.1.3 被覆管降伏応力 | ・照射被覆管の降伏応力温度依存性のグラフは、記載する測定データを見直すこと。 | ・追加説明を付録資料 - 1に反映した。 |
| | | 4.1.4 照射硬化 | ・照射硬化について従来コードとの比較表に、中性子照射量依存性の図も追加すること。 | トピカルレポート改訂版 4.2.1.3 被覆管降伏応力 4.2.1.4 照射硬化 |
| | | 4.2 ペレット弾塑性 | ・全ての物性値、解析モデルについて、出典、各データの仕様範囲、モデルの適用範囲を評価する。 | ・全ての物性値、解析モデルについて、基本式、特性、根拠データ、出典を一覧表にまとめた。 |
| | | 4.2.1 ペレットヤング率 | | トピカルレポート改訂版 【添付資料8】 CARO-NAの物性値、モデルの根拠データ、参考文献 (CAROとCARO-NAとで共通のモデル) |
| | | 4.2.2 ペレットポアソン比 | | |
| | | 4.2.3 ペレット降伏応力 | | |
| | | 4.3 ペレットの理論密度 | | |
| | | 5. 被覆管、ペレットの変形モデル | ・全ての物性値、解析モデルについて、出典、各データの仕様範囲、モデルの適用範囲を評価する。 | ・ペレットと被覆管の径方向変位、ギャップ幅の計算方法の説明を追加した。 |
| | | 5.1 被覆管 | ・HiFi合金の適用性についてデータを含めた説明が必要。 | トピカルレポート改訂版 3.2.2 ギャップ熱伝達 |
| | | 5.1.1 被覆管熱膨張 | ・ペレットの変形について、各物性モデルからどのように計算するのか説明すること。同様に、ギャップ幅の計算(ペレット径、被覆管径の関係)についても説明すること。 | |
| | | 5.1.2 被覆管照射成長 | | |
| | | 5.1.3 被覆管クリープ | | |

| 評価要領 記載事項 | 評価基準 | TRでの記載内容 | 指摘事項等 | 対応の結果 |
|--------------|------|------------------------|--|---|
| | | 5.2 ペレット | | |
| | | 5.2.1 ペレット熱膨張 | <ul style="list-style-type: none"> ・CARO-NAのペレット熱膨張モデルについて、溶融後の熱膨張が非等方的であるとのAECL実験事実に対する見解を説明すること。 ・図中の燃料中心温度に対するペレット径方向膨張量の変化について、厳密にコードで追跡した結果ではないことを明記すること。但し、詳細条件は違うものの、両者の比較は、技術的に意味があることを記載すること。 ・AECL試験概要を示した表に、コードでペレット膨張を評価した燃料の仕様(10×10)を比較として追記すること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ペレット熱膨張モデルについて、溶融後の熱膨張に非等方性を考慮した。 トピカルレポート改訂版 4.3.2.1 ペレット熱膨張率 |
| | | 5.2.2 スエリング | | |
| | | 5.2.3 焼きしまり | | トピカルレポート改訂版 4.3.2.3 焼きしまり |
| | | 5.2.4 リロケーション | | |
| | | 5.2.5 ペレットクリープ | | |
| | | 6. ペレットリム組織の形成 | | |
| | | 6.1 リム形成領域における熱伝導度の低下 | <ul style="list-style-type: none"> ・リム形成後のペレット熱伝導度モデルについては、公開データとの比較を示せないか検討すること。 ・Loebの式とリム領域での密度補正式の比較(グラフ)を示すこと。 | <ul style="list-style-type: none"> ・追加説明を付録資料 - 1 に反映した。 トピカルレポート改訂版 3.2.4.2 高燃焼度領域におけるリム効果 |
| | | 6.2 ペレット体積変化 | | |
| | | 7. ペレット - 被覆管機械的相互作用 | | |
| | | 7.1 弾塑性モデル | <ul style="list-style-type: none"> ・1次元軸対称有限要素モデルによってPCMIを計算することが述べられているが、その数値計算モデルの具体的な説明がなされていないので、以下の内容について具体的な追加説明をすること。 3節点アイソパラメトリック線要素の変位関数 歪 - 変位関係式 応力 - 歪マトリックス(弾塑性、クリープ、ホットプレス、割れ)とその導出手順 剛性マトリックスとその導出手順 軸方向成分の取扱い | <ul style="list-style-type: none"> ・追加補足資料によって有限要素法による数値解析モデルの詳細説明を受け、それを追加した。 ・FEMのモデル(基本式)はFEMAXIを参照していることを記載し、参考文献を追加した。 トピカルレポート改訂版 4.4.1 有限要素法モデル |
| | | 7.1.1 被覆管弾塑性モデル | | |
| | | 7.1.2 ペレット弾塑性モデル | | |
| | | 7.2 機械計算におけるリロケーションの考慮 | <ul style="list-style-type: none"> ・FEMのモデル(基本式)の記載はFEMAXIを参照していることを記載すること。 ・熱計算からFEMに引き継ぐパラメータを明記すること。 | |
| | | 7.3 ホットプレス | | |
| | | 8. 核分裂ガスの放出 | <ul style="list-style-type: none"> ・CARO-NAで改訂したモデルについてはCAROとの違いを評価。 ・Vitanzaモデルとの比較を示すこと。 ・FPガスの生成率については、引用文献を示すこと。 ・Xe/Kr比を一定としていることの妥当性を示すこと。 ・窒素ガス放出モデルの妥当性を示すこと。 ・Heガス放出を考慮していないことの妥当性を示すこと。 | <ul style="list-style-type: none"> ・追加説明を付録資料 - 1 に反映した。 トピカルレポート改訂版 5.2 核分裂性ガスの放出 (1)Xe/Kr比 (2)Heガスの放出 (3)蒸発性ガスの放出 【参考】VitanzaのFPガス放出モデル |

| 評価要領 記載事項 | 評価基準 | TRでの記載内容 | 指摘事項等 | 対応の結果 |
|---|---|---|---|--|
| | | 9. 燃料棒内圧 | <ul style="list-style-type: none"> ・プレナム体積(入力値)の算出方法について説明文を追加すること。 ・プレナムの設定温度の妥当性を示すこと。 | <ul style="list-style-type: none"> ・プレナム体積の算出方法の説明を追加した。 ・プレナム温度設定の妥当性の説明を追加した。 |
| (3) 解析コードの 評価 | | | | |
| 解析コードの熱的・機械的挙動の解析手法、解析コードの予測精度を検証するための炉外試験・照射試験データ及び照射後試験(PIE)データの記述と検証結果 | 1. 解析コードが各評価項目に対して適切に評価する能力があること、また、解析コードの検証がなされていること 2. 適用範囲(出力、燃焼度等)がコードの検証結果に基づき適切に設定されていること。 3. 熱的、機械的挙動解析の基礎方程式、構成方程式、数値解析方法等が妥当なものであること、また、計算条件、体系のノーディング(分割数)等が適切な設定になっていること 4. 炉外試験、照射試験データ及び照射後試験(PIE)データとの比較により、解析コードの燃料の照射挙動に対する予測精度が検証されていること。必要に応じて、異なる解析コードの結果との比較により妥当性を確認する。 | 10. コードの検証 10.1 燃料中心温度 10.1.1 測定データ 10.1.2 検証結果 10.2 FPガス放出率 10.2.1 測定データ 10.2.2 検証結果 10.3 燃料棒内圧 10.3.1 測定データ 10.3.2 検証結果 10.4 被覆管直径検証 10.4.1 測定データ 10.4.2 検証結果 | <ul style="list-style-type: none"> ・コードの検証結果(変更前と変更後の比較)を示すこと。 ・コードのチューニング方法について示すこと。 ・検証データ諸元をまとめた表を作成すること。 ・検証データの表はUO2と(U,Gd)O2を区別して記載すること。 ・検証データ範囲の「ピーク線出力」「最大線出力」について用語を統一すること。 ・検証データについて、公開となっているレポートを確認し、マスキングを再度検討すること。 <ul style="list-style-type: none"> ・(U,Gd)O2の温度検証について、1本だけでは十分とは言えないので、燃料仕様の相違による影響について示すこと。 ・燃料中心温度の予測精度を熱伝導度のみを用いて考察しているが、温度予測はギャップに含まれるFP等とも関連してくるので、FPとの関連について説明を加えること。 <ul style="list-style-type: none"> ・FPガス、内圧の検証結果について、BWR燃料とPWR燃料を区別して示すこと。 ・FPガス、内圧の検証結果について、初期加圧量に対してコードが偏った傾向が無いことを示すこと。 ・FPガス、内圧の検証結果について、Gd2O3濃度に対してコードが偏った傾向が無いことを示すこと。 <ul style="list-style-type: none"> ・直径検証の燃焼度範囲が低いので、高燃焼度まで適用できることを説明すること。 ・直径検証の通常運転時と出力過渡時の検証結果は、計算方法が異なることをわかるように記載すること。 ・直径検証について、直径変化量の定義(ランプ前後での外径差、クリープ含等)を明記すること。 ・直径検証について、追加検証データが出力過渡時のデータであることを明記すること。 ・直径検証データについて、破損、非破損について言及すること。 | 追加補足資料によってCARO-NAとCAROの解析結果の比較について説明を受けた(トビカルレポート改訂版を参照)。 トビカルレポート改訂版 7. コードの検証 7.1 燃料中心温度 7.1.1 測定データ 7.1.2 検証結果 7.2 FPガス放出率 7.2.1 測定データ 7.2.2 検証結果 7.3 燃料棒内圧 7.3.1 測定データ 7.3.2 検証結果 7.4 被覆管直径検証 7.4.1 測定データ 7.4.2 検証結果 7.5 コード予測の不確かさ 【添付資料4】 コードの検証結果(変更前と変更後の比較) 【添付資料5】 改訂コードと現行コードによる解析結果の比較について 【添付資料6】 CARO-NAコードにおけるモデルの変更とコード全体の調整について |
| (4) 不確かさ | | | | |
| 「(3) 解析コードの評価」に基づく各挙動の解析誤差、設計評価(燃料温度、燃料棒内圧等)での考慮 | 「(3) 解析コードの評価」に基づく解析の不確かさの算定及びU4-3(3)の設計評価方法への反映が妥当であること | 10.5 コード予測の不確かさ | <ul style="list-style-type: none"> ・検証データに対してコードの予測の不確かさを考慮したCARO-NA計算結果を追加のこと。 | 追加補足資料によってコード予測の不確かさを考慮したCARO-NA計算結果の説明を受けた(トビカルレポート改訂版を参照)。 トビカルレポート改訂版 7.5 コード予測の不確かさ 【添付資料4】 コードの検証結果(変更前と変更後の比較) |

| 評価要領 記載事項 | 評価基準 | TRでの記載内容 | 指摘事項等 | 対応の結果 |
|--------------------|---|----------|---|---|
| (5) 解析コードの 適用範囲 | 1. 適用範囲が明確に示されていること (3) 解析コードの評価において、解析コードの適用範囲の妥当性を確認する | 2.1 適用範囲 | <ul style="list-style-type: none"> ・コード適用範囲に関して、検証データ範囲等をもとに妥当であることの説明を追加すること。 ・適用範囲と検証範囲との比較ができるように表に示すこと。 ・コードの適用範囲としてTRには燃焼度のみが記載されているが、他のパラメータについての適用範囲も明確に示すこと。 ・適用範囲が検証データの範囲から外挿されているものについては、適用範囲の妥当性を説明すること。 ・適用範囲の外挿性についての説明において、個々のモデルが適切に設定されていることの根拠を明記すること。 ・被覆管直径検証データの取得範囲について、燃焼度とギャップ幅についても外挿性の考察を追加すること ・検証データ等との関係においてUO₂燃料、(U,Gd)O₂燃料それぞれの適用範囲が明確にされていることが必要。 ・安全解析に引き継ぐデータについては、「ギャップガスに関するデータ」との記載を見直し、具体的に記載すること。また、応力設計比の評価についても、引き継ぐデータを記載すること。 ・CARO-NAコードが安全解析に引き継ぐギャップデータの評価においても妥当な結果を出力するものであることを追記すること。 ・被覆管1%塑性歪評価への適用性について、ペレット溶融後の外径変化挙動について、解析上の扱いが妥当であるとの説明を追記すること。 ・被覆管材質、被覆管肉厚、ペレット濃縮度を記載すること。ペレット-被覆管ギャップは直径ギャップであること、使用環境、燃料棒の形状についても記載すること。燃焼度については幅を記載すること。 ・燃料の仕様は燃料の型式から想定される範囲とすること。項目については設置許可申請書の添付八章を参考にすること。 ・被覆管直径検証データの取得範囲について、燃焼度はペレット燃焼度で整理すること ・適用範囲には「約」を付けずに記載すること。 ・HiFi合金に関して、解析コードのモデルの改訂に係らず全ての物性・モデルの適用性についてデータを含めて説明すること。 ・HiFi合金については、組成や熱処理などの材料特性に関するパラメータの説明も必要。 ・HiFiについては、水素吸収率だけでなく、水素吸収量、酸化膜厚さ、クリープ、照射成長などの特性についても別途説明すること。 ・ジルカロイの基本的物性が合金組成等に影響を受けないとの説明について根拠となるもの示すこと。 | <p>CARO-NAの適用範囲について追加説明を加えた(トピカルレポート改訂版を参照)。</p> <p>トピカルレポート改訂版 2. コードの概要 2.1 適用範囲</p> <p>[添付資料2] 適用範囲の妥当性について 2.1 モデルの検証範囲 2.2 コードの検証範囲 (1) 被覆管1%塑性歪評価における線出力の外挿性について (2) Gd₂O₃濃度の外挿性について (3) ペレット密度の外挿性について (4) 直径検証における燃焼度の外挿性について (5) 直径検証におけるペレット-被覆管ギャップ幅の外挿性について 2.3 原子炉設置(変更)許可申請における評価</p> <p>HiFi合金に関して、全ての物性モデルの適用性について追加説明を受けた(トピカルレポート改訂版を参照)。</p> <p>トピカルレポート改訂版 6. 改良合金「HiFi」への適用 6.1 被覆管物性値 6.1.1 被覆管熱伝導度 6.1.2 ヤング率 6.1.3 ポアソン比 6.1.4 降伏応力 6.1.5 照射硬化 6.2 被覆管変形モデル 6.2.1 熱膨張 6.2.2 照射成長 6.2.3 クリープ</p> |

| 評価要領 記載事項 | 評価基準 | TRでの記載内容 | 指摘事項等 | 対応の結果 |
|--|---|----------|---|---|
| | | | <ul style="list-style-type: none"> ・HfFの測定データに関して、測定方法(装置・試料)やサンプル数等の詳細について補足すること。 ・HfFの降伏応力の照射量依存性について、室温のデータも示すこと。 ・HfFの降伏応力の照射量依存性について、他の公開データと比較したグラフを追加すること。 ・HfFの取得データに関して、クーポン、試験燃料棒、実機燃料棒等があるが、試験の全体概要について説明すること。 ・HfFの測定データはクリープアウト(引張)のもので確認しているが、クリープダウン(圧縮)でも同様であることを追記すること。 ・HfFの熱的クリープと照射クリープをあわせて炉内の挙動として検証したものであることを追記すること。 ・HfFの合金成分の表にジルカロイ-4も併せて記載すること。 | |
| (6) 品質保証 計画 | | 5. 品質保証 | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ・品質保証計画、解析コードのデザインレビューの記録が残され継続的に実施されることを記述 ・新しい知見の設計・評価への反映等、本トピカルレポートを更新する要件の記述 | <ol style="list-style-type: none"> 1. トピカルレポートが、品質保証計画の下で品質が維持されること。 2. 品質保証計画において、設計管理、文書管理、入出力データ管理、ソフトウェア管理及びこれらの是正措置が適切に規定されること。 3. 新たな知見が評価され、設計や設計評価手法に反映される仕組みが記載されること。 | | <ul style="list-style-type: none"> ・品質マネジメントシステムが構築され、機能していることを説明すること。 ・コーディングが適切に実施されていることの確認について説明すること。 ・新たな知見が評価され、必要に応じトピカルレポート及びコードに反映される仕組みについて説明すること。 | <ul style="list-style-type: none"> ・東海事業所長をトップとした品質保証体制を構築し、計画、実施、評価、改善という一連のPDCAサイクルが機能していることについて説明を受け、トピカルレポートに反映された。 ・設計コードの開発のため、計画、開発、検証及び妥当性に至るまでの一連のプロセスが構築され、各段階において、レビューが実施されること、CARO-NAコードの開発においては、力量が高い設計員を含む複数の設計員で開発されていること、設計コード開発時に不適合事象が発生した場合は、適切に処置されることについて説明を受け、トピカルレポートに反映された。 ・新たな知見については、設計コードの開発に携わる設計員が日々の業務や新たに公開された論文等から情報を収集し、所定の手続きを経た後、必要の応じ、トピカルレポート及びコードへ反映する説明を受け、トピカルレポートに反映された。 |

**燃料ワーキンググループ(燃料トピカルレポート)
コメント回答(CARO-NA コード)**

添付表 - 2 燃料ワーキンググループ(燃料トピカルレポート)コメント回答(CARO-NA コード)

1/6

| No. | 資料No. | コメント内容 | コメント回答 |
|-----|------------------------|---|--|
| 1 | 第3回WG 資料1 付録資料-1 | 図4-2, 4-3の照射量の条件を明確にすること。 | 図の測定データの高速中性子照射量を明示した。 (付録資料2の3頁) |
| 3 | 第3回WG 資料1 付録資料-1 | 図4-4は解析コード上の取り扱いだが、設計評価時の降伏応力はどのように扱っているか？ | 設計評価時(応力評価時)の降伏応力モデルの取り扱いを以下のとおり確認した。 設計評価時(応力評価時)の降伏応力には、CARO-NAコードと同一モデルが用いられる。 なお、設計評価では統計的評価手法が用いられ、降伏応力の統計的ばらつきが考慮される。 (付録資料2の4頁) |
| 5 | 第3回WG 資料1 付録資料-1 | 図4-2, 4-3では、降伏応力を高温領域で未照射の値に戻しているが、その根拠は何か？ | 高温領域での降伏応力の取り扱いを以下のとおり確認した。 照射された被覆管の降伏応力は、高温になると照射欠陥の回復で低下する。CARO-NAでは文献データに基づき降伏応力の低下をモデル化しているが、データが取得されている範囲以上の温度領域では、未照射材と同じ値としている。 (付録資料2の5頁) |

| No. | 資料 No. | コメント内容 | コメント回答 |
|-----|-------------------------|--|---|
| 2 | 第3回 WG 資料1 付録資料-1 | 図 5-3 で、燃料溶融後のペレットの熱伝導度の扱いはどうなっているか？ | 燃料溶融後のペレットの熱伝導度の扱いを以下のとおり確認した。 溶融後のペレット熱伝導度は、溶融前の固体のペレット熱伝導度の式を用いて評価され、これは、文献による液相ペレットの熱伝導度実測値のレビュー結果と比較して妥当なものとしている。(付録資料2の6~7頁) |
| 4 | 第3回 WG 資料1 付録資料-1 | リム幅はEPMA データを用いているが、気泡率はどのような測定で求めているか？ | リム幅と気泡率の測定方法を以下のとおり確認した。 リム幅は、金相及び EPMA による測定結果の内、リム幅を大きく、保守的に評価している EPMA の結果に基づいている。 気泡率は、金相写真及び SEM 写真からそれぞれ画像解析により求めている。 (付録資料2の8~9頁) |
| 6 | 第3回 WG 資料1 付録資料-1 | FP ガス放出モデルの係数 K(燃焼度と温度の関数)の具体的な表記、関数を説明すること。なお、合わせて結晶粒内の保有 FP ガス量 m についても具体的な表記、関数を説明すること。 | FP ガス放出モデルの放出係数 K 及び結晶粒内保持 FP ガス量 m の設定の考え方と具体的な設定手順を以下のとおり確認した。 結晶粒内で生成される FP ガスの粒界への移動は、温度が高いほど速く、経過時間が長い(燃焼度が進む)ほど多くなる。したがって、粒内の保持 FP ガス量 m は、温度と燃焼度に依存するモデルとして与え、具体的には燃焼が進むと温度に応じて一定の割合に漸近 |

| No. | 資料 No. | コメント内容 | コメント回答 |
|-----|------------------------|--|---|
| | | | <p>するものとしている。(付録資料2の10、11、14、15頁)</p> <p>一方、粒界に移動した FP ガスはガスバブルとして蓄積し、ガスバブルの成長・連結に伴い自由空間(ギャップ)に放出される。ガスバブルの成長・連結は、粒界での FP ガスが多いほど、また、温度が高いほど促進される。したがって、粒界からの FP ガス放出係数 K は、温度が高いほど放出される FP ガスが多くなるように設定されている。(付録資料2の10、11、14、15頁)</p> <p>これらの結晶粒内の保持 FP ガス量 m 及び粒界からの FP ガス放出係数 K の温度依存性及び燃焼度依存性はそれぞれ、実測データに基づいて測定値と計算値のばらつきが小さくなるように設定されている。(付録資料2の12、15、16頁)</p> |
| 13 | 第3回WG 資料1 付録資料-4 | FP ガス放出モデルの係数K(付録資料-1、第7章)の内挿および外挿の方法について説明すること。また、外挿についてはその妥当性について説明すること。 | <p>結晶粒内の保持 FP ガス量 m 及び粒界からの FP ガス放出係数 K の内挿及び外挿の方法について以下のとおり確認した。</p> <p>係数 m と K の燃焼度依存性は、低温から高温までの温度範囲内で特定の温度に対して与えられている。各温度間では、係数 m と K は直線内挿で求めている。</p> <p>なお、係数 m と K は与えられた温度の範囲外で外挿は</p> |

| No. | 資料 No. | コメント内容 | コメント回答 |
|-----|--------------------|--|---|
| | | | <p>していない。これは、低温側については FP ガス放出率が低く温度依存性もほとんどないことによる。また、高温側については燃焼度の進んだ領域では、FP ガス放出率は 100% に達するモデルとしており、係数 m と K を外挿する必要がないこと、低燃焼度では FP ガスの生成量が少なく、またガス放出量も低いため影響が小さいことによる。</p> <p>(付録資料2の 12、13、15～17 頁)</p> |
| 14 | 第 4 回 WG 付録資料 2 | 付録資料2「CARO-NA コードに関するコメント回答」のコメント No.6(10～15 頁)15 頁の図 の(c)で、燃焼度ゼロ近傍で FP ガス放出率が急激に増加する傾向が見られるが、その理由を説明すること。 | <p>CARO-NA コードの FP ガス放出モデルでは、燃焼開始直後から結晶粒内で発生した FP ガスの一部は結晶粒界へ移動し、FP ガスの飽和濃度(m)に応じた FP ガス放出率になるとしているため、燃焼度ゼロ近傍で FP ガス放出率が急激に増加する傾向が見られている。</p> <p>一方、同モデルでは、FP ガスの飽和濃度(m)について、生成される FP ガス量が少ない低燃焼度では生成される FP ガスの多くが結晶粒内に保持されるが、ある燃焼度(しきい燃焼度)を超えると粒界へ移動する FP ガスの割合が急激に大きくなるとしている。これにより CARO-NA コードの FP ガス放出率は、燃焼初期において低く抑えられ、ある燃焼度(しきい燃焼度)から急激に立ち上がる傾向を示している。</p> |

| No. | 資料No. | コメント内容 | コメント回答 |
|-----|------------------------|--|--|
| | | | これらのことから、CARO-NA コードの FP ガス放出率は、図に示すような傾向となっている。 |
| 7 | 第3回WG 資料1 付録資料-1 | 定常時の PCMI 計算方法の記述と説明がなかった。追記のこと。 | 定常時の PCMI 計算方法を以下のとおり確認した。定常時の PCMI 計算モデルでは、ペレットと被覆管が接触した後は、被覆管はペレットに追従して変形するものとして扱われる。 (付録資料2の18頁) |
| 8 | 第3回WG 資料1 付録資料-2 | 図1-1(付録資料-2)の70GWd/t 付近の測定データ(水素吸収率)は、酸化膜厚さのデータはないのか？ | 図1-1のデータに対応する金相酸化膜厚さのデータを確認した。なお、酸化膜厚さと水素吸収率とで試料数が異なり、一部のデータは酸化膜厚さのみとなっている。 (付録資料2の20頁) |
| 9 | 第3回WG 資料1 付録資料-2 | 図3-4のHiFiデータが、付録資料-1の図4-4には抜けている。横軸のスケールを合わせてプロットを追加すること。また、HiFiは中性子フルーエンス依存性に差が見られるが、これをどう考えるか？ | 付録資料-1の図4-4にHiFiのデータを追加したものを確認した。(付録資料2の21頁) また、中性子フルーエンス依存性は、HiFiとZry-2とでは差がなく、クーポン材と被覆管とで差が見られている。クーポン材の場合、被覆管と比較して水素吸収量が多いため、水素化物の析出による強度増加が差の要因として考えられている。 (付録資料2の21頁) |

| No. | 資料No. | コメント内容 | コメント回答 |
|-----|------------------------|---|--|
| 10 | 第3回WG 資料1 付録資料-2 | データベースであるべきなのに、測定項目によってあるいはグラフによって載っているデータが異なる場合があるように見える。(全体を通じて確認し適正なものにすべきであるとともに不整合なものがある場合は理由を明確にすべき。) | 該当する箇所として、付録資料-2の図1-1に示す水素吸収率データと図1-2の腐食特性データのデータベースが異なっているがこれらは測定方法の違いによるものである。(前者は破壊試験、後者は非破壊試験の結果である) 図1-2に図1-1と同じデータベースによる酸化膜厚さデータ(金相によるもの)の図を追加した。 なお、付録資料-1の被覆管降伏応力の図に付録資料-2に示すHiFiのデータがプロットされていないのは、前者がZry-2を基に設定したCARO-NAのモデルを、後者がCARO-NAのモデルがHiFiに適用できることを示すため、資料を区別して示しているものである。 (付録資料2の22頁) |
| 11 | 第3回WG 資料1 付録資料-2 | 図4-2の「エラーバー」という表現を見直すこと。また、図中に注記すること。 | 図中のデータは、HiFi被覆管及びジルカロイ-2被覆管の各燃料集合体における平均値、並びにその最大値及び最小値を示しており、その注記を図中に入れた。 (付録資料2の23頁) |
| 12 | 第3回WG 資料1 付録資料-3 | 外挿性について基本的な考え方を説明し、それに基づきGdの外挿性について論理的な説明を行うこと。 | 外挿領域でのコードの適用性について、評価する項目毎に外挿領域で挙動を支配する要因について影響評価を行い、外挿の妥当性を確認した。 (付録資料2の24～28頁) |