

川内原子力発電所第 2 号機

設計及び工事計画認可申請書

【A 型燃料集合体】

補足説明資料

令和 3 年 4 月

九州電力株式会社

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。

【凡例】

□ : 今回ご提示する資料

(赤字) : 新規追加資料

目 次

補足説明資料 1	設計及び工事計画認可申請における適用条文等の整理について
補足説明資料 2	設計及び工事計画認可申請書に添付する書類の整理について
補足説明資料 3	燃料体設計認可申請書と設計及び工事計画認可申請書の記載に関する補足説明資料
補足説明資料 4	基本設計方針の確認方法に関する補足説明資料
補足説明資料 5	工事の方法に関する補足説明資料
補足説明資料 6	強度に関する補足説明資料
補足説明資料 7	特殊加工認可申請書との整合性に関する補足説明資料

補足説明資料 4

基本設計方針の確認方法に関する補足説明資料

目 次

	頁
1. 概 要	1
2. 基本設計方針における燃料体に関する要求事項の確認方法の整理結果	1

1. 概 要

本資料は、令和2年4月の「原子力利用における安全対策の強化のための核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律等の一部を改正する法律」及び関連規則等（以下「改正法等」という。）の施行を踏まえ、基本設計方針に燃料体に関する要求事項を追加したことから、当該事項の確認方法について整理する。

2. 基本設計方針における燃料体に関する要求事項の確認方法の整理結果

基本設計方針における燃料体に関する要求事項の確認方法の整理結果を下表に示す。

川内・基本設計方針	別記-10	確認方法								
炉心等の設計については以下のとおりとし、その際、燃料体の物理的性質、化学的性質及び強度等については「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について(昭和63年5月12日原子力安全委員会了承)」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」における「燃料体に関する要求事項(別記-10)」若しくは、これらと同等で「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」の要求を満たすことが確認された方法に従い設計する。	技術基準規則第23条第1項の規定に対応する燃料体に関する要求事項については、以下のとおりとする。この場合において、以下の規定は、法第43条の3の11第2項に定める使用前事業者検査の確認を行うまでの間適用する。	—								
	1. 二酸化ウラン燃料材 二酸化ウラン燃料材は、次の(1)～(5)のいずれにも適合すること。	—								
	(1) 次の表の左欄に掲げる元素を含有する場合における当該元素の含有量のウランの含有量に対する百分率の値は、それぞれ同表の右欄に掲げる値であること。 <table border="1" data-bbox="596 792 976 943"> <tbody> <tr> <td>炭素</td> <td>0.010 以下</td> </tr> <tr> <td>ふっ素</td> <td>0.0015 以下</td> </tr> <tr> <td>水素</td> <td>0.0002 以下</td> </tr> <tr> <td>窒素</td> <td>0.0075 以下</td> </tr> </tbody> </table>	炭素	0.010 以下	ふっ素	0.0015 以下	水素	0.0002 以下	窒素	0.0075 以下	申請書 ・要目表 ・添付資料 4 ・添付図面 検査
	炭素	0.010 以下								
	ふっ素	0.0015 以下								
	水素	0.0002 以下								
窒素	0.0075 以下									
(2) ウラン 235 の含有量のウランの含有量に対する百分率の値の偏差は、著しく大きくないこと。	申請書 ・要目表 ・添付図面 検査									
(3) ペレット型燃料材にあつては、ペレットが次に適合すること。 ①各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。 ②密度の偏差は、著しく大きくないこと。 ③表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。 ④表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。	申請書 ・要目表 ・添付図面 検査									
(4) ガドリニウムを添加していないものにあつては、次に適合すること。 ①ウランの含有量の全重量に対する百分率の値は、87.7 以上であること。 ②酸素の原子数のウランの原子数に対する比率の値は、1.99 以上 2.02 以下であること。	申請書 ・要目表 ・添付資料 4 ・添付図面 検査									
(5) ガドリニウムを添加したものにあつては、次に適合すること。 ①ウランの含有量の全重量に対する百分率の値は、実用上差し支えがないものであること。 ②酸素の原子数のウランの原子数に対する比率の値は、実用上差し支えがないものであること。 ③ガドリニウムの含有量の全重量に対する百分率の値の偏差は、著しく大きくないこと。 ④ガドリニウムの均一度は、実用上差し支えがないものであること。	申請書 ・要目表 ・添付資料 4 ・添付図面 検査									

川内・基本設計方針	別記-10	確認方法
<p>炉心等の設計については以下のとおりとし、その際、燃料体の物理的性質、化学的性質及び強度等については「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について(昭和63年5月12日原子力安全委員会了承)」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」における「燃料体に関する要求事項(別記-10)」若しくは、これらと同等で「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」の要求を満たすことが確認された方法に従い設計する。</p>	<p>2. ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料材 ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料材は、次の(1)～(5)のいずれにも適合すること。</p> <p>(1)各元素の含有量の全重量に対する百分率の値の偏差は、著しく大きくないこと。</p> <p>(2)酸素の原子数のウラン及びプルトニウムの原子数の合計に対する比率の値は、実用上差し支えないものであること。</p> <p>(3)ウラン 235、プルトニウム 239 及びプルトニウム 241 の含有量の合計のウラン及びプルトニウムの含有量の合計に対する百分率の値の偏差は、著しく大きくないこと。</p> <p>(4) プルトニウムの均一度は、実用上差し支えないものであること。</p> <p>(5) ペレット型燃料材にあつては、ペレットが次に適合すること。</p> <p>①各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。 ②密度の偏差は、著しく大きくないこと。 ③表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。 ④表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。</p>	<p>申請対象外</p>

川内・基本設計方針	別記-10	確認方法
炉心等の設計については以下のとおりとし、その際、燃料体の物理的性質、化学的性質及び強度等については「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について(昭和63年5月12日原子力安全委員会了承)」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」における「燃料体に関する要求事項(別記-10)」若しくは、これらと同等で「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」の要求を満たすことが確認された方法※に従い設計する。	3. ジルコニウム合金燃料被覆材 ジルコニウム合金燃料被覆材は、次の(1)～(11)のいずれにも適合すること。	—
	(1) 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。	申請書 ・要目表 ・添付図面 検査
	(2) 被覆材の軸は、著しく湾曲していないこと。	申請書 ・添付図面 検査
	(3) 各元素の含有量の全重量に対する百分率の値は、日本産業規格 H4751 (2016)「ジルコニウム合金管」の「4 品質」の表 2 及び表 3 に規定する値であること。 [*]	申請書 ・要目表 ・添付資料 4 ・添付図面 検査
	(4) 日本産業規格 H4751 (2016)「ジルコニウム合金管」の「附属書 C 水素化物方位試験方法」又はこれと同等の方法によって水素化物方位試験を行ったとき、水素化物方向性係数が 0.45 を超えないこと。	申請書 ・添付図面 検査
	(5) 日本産業規格 H4751 (2016)「ジルコニウム合金管」の「附属書 D 超音波探傷試験方法」又はこれと同等の方法によって超音波探傷試験を行ったとき、対比試験片の人工傷からの欠陥信号と同等以上の欠陥信号がないこと。	検査
	(6) 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。	検査
	(7) 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。	検査
(8) 表面の粗さの程度は、実用上差し支えがないものであること。	検査	

※：別記-10に規定されているジルコニウム合金管（JIS H4751「ジルコニウム合金管」）と類似の材料で、機械的性質、物理的性質等が同等である Sn-Fe-Cr-Nb 系ジルコニウム基合金及び Sn-Fe-Nb 系ジルコニウム基合金を使用する設計としており、各元素の含有量の全重量に対する百分率の値については、添付資料 4 の第 2-1 表「燃料集合体の主な構成部品の材料及び各材料の化学成分(2/5)」に規定する値であることを確認する。なお、Sn-Fe-Cr-Nb 系ジルコニウム基合金及び Sn-Fe-Nb 系ジルコニウム基合金の技術基準規則第 23 条第 1 項への適合性を別紙に示す。

川内・基本設計方針	別記-10	確認方法
<p>炉心等の設計については以下のとおりとし、その際、燃料体の物理的性質、化学的性質及び強度等については「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について(昭和63年5月12日原子力安全委員会了承)」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」における「燃料体に関する要求事項(別記-10)」若しくは、これらと同等で「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」の要求を満たすことが確認された方法に従い設計する。</p>	<p>(9)日本産業規格 H4751 (2016)「ジルコニウム合金管」の「附属書 B 腐食試験方法」又はこれと同等の方法によって腐食試験を行ったとき、表面に著しい白色又は褐色の酸化物が付着せず、かつ、腐食質量増加が3日間で22ミリグラム毎平方デシメートル以下又は14日間で38ミリグラム毎平方デシメートル以下であること。</p>	<p>申請書 ・添付資料4 検査</p>
	<p>(10)再結晶焼きなましを行ったものにあつては、次に適合すること。 ①日本産業規格 H4751 (2016)「ジルコニウム合金管」の「附属書 A 結晶粒度試験方法」又はこれと同等の方法によって結晶粒度試験を行ったとき、結晶粒度が結晶粒度番号7と同等又はこれより細かいこと。 ②日本産業規格 Z2241 (2011)「金属材料引張試験方法」又はこれと同等の方法によって引張試験を行ったとき、引張強さ、耐力及び伸びが日本産業規格 H4751 (2016)「ジルコニウム合金管」の「4 品質」の表4に規定する値であること。</p>	<p>申請対象外</p>
	<p>(11)応力除去焼きなましを行ったものにあつては、日本産業規格 Z2241 (2011)「金属材料引張試験方法」又はこれと同等の方法によって引張試験を行ったとき、引張強さ、耐力及び伸びが必要な値であること。</p>	<p>申請書 ・添付資料4 検査</p>

川内・基本設計方針	別記-10	確認方法																			
<p>炉心等の設計については以下のとおりとし、その際、燃料体の物理的性質、化学的性質及び強度等については「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について(昭和63年5月12日原子力安全委員会了承)」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」における「燃料体に関する要求事項(別記-10)」若しくは、これらと同等で「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」の要求を満たすことが確認された方法に従い設計する。</p>	4. ジルコニウム合金端栓	—																			
	<p>(1)再結晶焼きなましを行ったジルコニウム合金端栓は、日本産業規格 Z2241 (2011)「金属材料引張試験方法」、ASTM International 規格 ASTM B 351 「Standard Specification for Hot-Rolled and Cold-Finished Zirconium and Zirconium Alloy Bars, Rod, and Wire for Nuclear Application」又はこれと同等の方法によって次の表の上欄に掲げるいずれかの試験温度において引張試験を行ったとき、引張強さ、耐力及び伸びが同欄に掲げる試験温度の区分に応じ、それぞれ同表の下欄に掲げる値であること。端栓とは、燃料被覆材の両端を密封するために成形された金属部品をいう。</p> <table border="1" data-bbox="576 860 1189 1189"> <thead> <tr> <th rowspan="2">温度</th> <th colspan="3">引張試験</th> </tr> <tr> <th>引張強さ</th> <th>耐力</th> <th>伸び</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>ニュートン 毎平方 ミリメー トル</td> <td>ニュートン 毎平方 ミリメー トル</td> <td>パーセン ト</td> </tr> <tr> <td>室温</td> <td>415 以上</td> <td>240 以上</td> <td>14 以上</td> </tr> <tr> <td>316 度</td> <td>215 以上</td> <td>105 以上</td> <td>24 以上</td> </tr> </tbody> </table>	温度	引張試験			引張強さ	耐力	伸び		ニュートン 毎平方 ミリメー トル	ニュートン 毎平方 ミリメー トル	パーセン ト	室温	415 以上	240 以上	14 以上	316 度	215 以上	105 以上	24 以上	<p>申請書 ・添付資料 4</p> <p>検査</p>
	温度		引張試験																		
引張強さ		耐力	伸び																		
	ニュートン 毎平方 ミリメー トル	ニュートン 毎平方 ミリメー トル	パーセン ト																		
室温	415 以上	240 以上	14 以上																		
316 度	215 以上	105 以上	24 以上																		
<p>(2)応力除去焼きなましを行ったジルコニウム合金端栓は、日本産業規格 Z2241 (2011)「金属材料引張試験方法」又はこれと同等の方法によって引張試験を行ったとき、引張強さ、耐力及び伸びが必要な値であること。</p>	申請対象外																				
<p>(3)前記「3. ジルコニウム合金燃料被覆材」(2)、(4)、(5)、(8)、(10)及び(11)を除く。)の規定は、ジルコニウム合金端栓に準用する。ただし、(3)の日本産業規格 H4751 (2016)「ジルコニウム合金管」の「4 品質」の表 3 に掲げるニオブ及びカルシウムを除く。</p>	<p>申請書 ・要目表 ・添付資料 4 ・添付図面</p> <p>検査</p>																				

川内・基本設計方針	別記-10	確認方法
炉心等の設計については以下のとおりとし、その際、燃料体の物理的性質、化学的性質及び強度等については「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について(昭和63年5月12日原子力安全委員会了承)」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」における「燃料体に関する要求事項(別記-10)」若しくは、これらと同等で「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」の要求を満たすことが確認された方法に従い設計する。	5. その他の部品 燃料材、燃料被覆材及び端栓以外の燃料体の部品は、次の(1)～(4)のいずれにも適合すること。	—
	(1)各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。	申請書 ・要目表 ・添付図面 検査
	(2)表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。	検査
	(3)表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。	検査
	(4)支持格子、上部支持板、下部支持板、ウォータロッド、制御棒案内シムルにあつては、次に適合すること。 ①各元素の含有量の全重量に対する百分率の値の偏差は、著しく大きくないこと。 ②日本産業規格 Z2241 (2011)「金属材料引張試験方法」又はこれと同等の方法によって引張試験を行ったとき、引張強さ、耐力及び伸びが必要な値であること。	申請書 ・要目表 ・添付資料 4 ・添付図面 検査

川内・基本設計方針	別記-10	確認方法
<p>炉心等の設計については以下のとおりとし、その際、燃料体の物理的性質、化学的性質及び強度等については「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について(昭和63年5月12日原子力安全委員会了承)」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」における「燃料体に関する要求事項(別記-10)」若しくは、これらと同等で「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」の要求を満たすことが確認された方法に従い設計する。</p>	<p>6. 燃料要素 燃料要素は、次の(1)～(8)のいずれにも適合すること。</p>	<p>—</p>
	<p>(1)各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。</p>	<p>申請書 ・要目表 ・添付図面 検査</p>
	<p>(2)燃料要素の軸は、著しく湾曲していないこと。</p>	<p>申請書 ・添付図面 検査</p>
	<p>(3)表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。</p>	<p>検査</p>
	<p>(4)表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。</p>	<p>検査</p>
	<p>(5)日本産業規格 Z4504 (2008)「放射線表面汚染の測定方法—β線放出核種(最大エネルギー0.15MeV以上)及びα線放出核種」における間接測定法又はこれと同等の方法によって測定したとき、表面に付着している核燃料物質の量が0.00004ベクレル毎平方ミリメートルを超えないこと。</p>	<p>申請書 ・添付図面 検査</p>
	<p>(6)ヘリウム漏えい試験を行ったとき、漏えい量が1億分の304メガパスカル立方ミリメートル毎秒を超えないこと。</p>	<p>申請書 ・添付図面 検査</p>
	<p>(7)溶接部にブローホール、アンダーカット等で有害なものがないこと。</p>	<p>検査</p>
<p>(8)部品の欠如がないこと。</p>	<p>検査</p>	

川内・基本設計方針	別記-10	確認方法
炉心等の設計については以下のとおりとし、その際、燃料体の物理的性質、化学的性質及び強度等については「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について(昭和63年5月12日原子力安全委員会了承)」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」における「燃料体に関する要求事項(別記-10)」若しくは、これらと同等で「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」の要求を満たすことが確認された方法に従い設計する。	7. 燃料体 燃料体は、次の(1)～(4)のいずれにも適合すること。	—
	(1)各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。	申請書 ・要目表 ・添付図面 検査
	(2)表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。	検査
	(3)表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。	検査
	(4)部品の欠如がないこと。	検査

燃料被覆材の技術基準規則第 23 条第 1 項への適合性について

燃料体については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第 23 条（炉心等）第 1 項において、必要な物理的及び化学的性質を保持することが要求されており、技術基準規則の解釈における別記－10（以下、「別記－10」という。）にその具体的な仕様が規定されている。

本設工認申請対象の燃料被覆材には別記－10 の「3.ジルコニウム合金燃料被覆材」に規定されていない Sn-Fe-Cr-Nb 系ジルコニウム基合金及び Sn-Fe-Nb 系ジルコニウム基合金（以下「ジルコニウム基合金」という。）を使用する設計としていることから、この燃料被覆材に関する技術基準規則第 23 条第 1 項への適合性について、以下に示す。

本設工認申請書添付資料 4 において、ジルコニウム基合金は、別記－10 「3.ジルコニウム合金燃料被覆材」に規定されているジルコニウム合金管（日本産業規格 H4751（2016））（以下「ジルカロイ－4」という。）と類似の材料であり、同等の物理的性質、化学的性質を有することを説明している。表 1 に添付資料 4 におけるジルコニウム基合金とジルカロイ－4 との同等性確認内容の概要を当該資料の説明項目毎に示す。本内容は平成 22 年 11 月 10 日付け平成 22・10・12 原第 17 号にて特殊加工認可を受けた内容と同様のものである。

なお、本設工認申請対象の燃料被覆材は、別記－10 「3.ジルコニウム合金燃料被覆材」のうち、(3)以外の要求事項については当該要求に従った設計としており、(3)の要求事項については当該要求によらないものの、ジルコニウム基合金の化学成分値を添付資料 4 の第 2-1 表「燃料集合体の主な構成部品の材料及び各材料の化学成分」（以下「第 2-1 表」という。）に規定し、各元素の含有量の全重量に対する百分率の値が第 2-1 表を満足する設計としている。

したがって、本設工認申請における燃料被覆材であるジルコニウム基合金は別記－10 によらないものの、物理的性質、化学的性質がジルカロイ－4 と同等であり、技術基準規則第 23 条第 1 項において要求される必要な物理的及び化学的性質を保持しているものであり、当該要求を満足していることを確認している。

表1 添付資料4のうちジルコニウム基合金の性質を説明している項目及び確認内容

項目	確認内容
5. ジルコニウム基合金	
5.1 耐熱性	ジルコニウム基合金は、約 98wt%のジルコニウムを主成分としているため、材料物性がジルカロイ-4 と同等であること、及び溶融点及び相変態温度の測定結果より燃料被覆材の溶融点及び相変態温度が異常な過渡変化時の最高温度よりも高いことを確認。
5.2 耐放射線性	
5.2.1 機械的性質	照射材並びに水素吸収させた未照射材及び照射材での引張試験結果よりジルコニウム基合金の機械特性がジルカロイ-4 と同等であることを確認。
5.2.2 疲労特性	未照射材及び照射材の疲労試験結果よりジルコニウム基合金の疲労特性がジルカロイ-4 と同等であることを確認。
5.2.3 クリーブ特性	実機で照射された燃料棒の外径変化より、ジルコニウム基合金のクリープ特性がジルカロイ-4 と同等以上であることを確認。
5.2.4 照射成長	各材料の照射成長の結果より、ジルコニウム基合金の照射成長がジルカロイ-4 に比べて、小さくなることを確認。
5.3 耐食性	
5.3.1 酸化腐食による影響	原子炉内腐食データよりジルコニウム基合金の腐食速度がジルカロイ-4 に比べ低減することを確認。
5.3.2 水素吸収による影響	燃料被覆材の原子炉内での酸化膜厚さと水素吸収量及び吸収率の関係からジルコニウム基合金の水素吸収量がジルカロイ-4 に比べ低減することを確認。
5.4 その他性能	
5.4.1 耐 PCI 性	試験炉における出力急昇試験結果よりジルコニウム基合金耐 PCI 性がジルカロイ-4 と同等以上であることを確認。
5.4.2 耐摩耗性	被覆材硬さの測定結果よりジルコニウム基合金の硬さはジルカロイ-4 と同等であり、支持格子と被覆材の接触による摩耗は被覆材によらず同等であることを確認。
5.4.3 高温特性	昇温内圧破裂試験結果及び高温時のジルコニウム-水反応の試験結果よりジルコニウム基合金の高温破裂特性及び高温酸化挙動はジルカロイ-4 と同等であることを確認。

以上

補足説明資料 6

強度に関する説明書に関する補足説明資料

【凡例】

: 今回ご提示する資料

(赤字) : 新規追加資料

目 次

補足説明資料 6-1 強度に関する補足説明資料

補足説明資料 6-2 解析コードに関する補足説明資料

補足説明資料 6-2

解析コードに関する補足説明資料

目 次

	頁
1. 概 要	1
2. 解析コードの概要	1
3. 今回の設工認での使用バージョン及び使用内容	1
4. ABAQUS のバージョンについて	1
5. 今回の設工認での使用コードの妥当性について	2

1. 概要

本資料は、川内原子力発電所 1,2 号機 A 型燃料集合体の上部ノズル及び下部ノズルの応力解析に使用している解析コード (ABAQUS) について示すものである。

2. 解析コードの概要

米国 HKS 社によって開発され、現在はダッソー・システムズ (株) によって保守されている有限要素法による構造解析用汎用コードである。

応力解析、熱応力解析及び伝熱解析等を行うことができ、特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、多くの民間・国立研究所、大学及び産業界で利用されている実績を持つ。

3. 今回の設工認での使用バージョン及び使用内容

今回の設工認での使用バージョン及び使用内容を表 1 に示す。

表 1 ABAQUS 整理表 (今回の設工認での使用バージョン及び使用内容)

今回設工認での使用バージョン	対象設備	使用内容
Ver.6.7-1	A 型燃料集合体	下部ノズルの 3 次元有限要素法 (ソリッド要素) による応力解析
Ver.6.7-2		上部ノズルの 3 次元有限要素法 (ソリッド要素) による応力解析

4. ABAQUS のバージョンについて

1) 既設工認の使用実績

既設工認で使用実績のあるバージョン及び使用内容を表 2 に示す。

表 2 ABAQUS 整理表 (既設工認使用実績バージョン及び使用内容)

既設工認での使用バージョン	当該設工認件名	使用内容
Ver.6.6-3	九州電力 (株) 玄海 3,4 号機 新規制基準適合性工認 (2017 年) 炉心支持構造物の耐震計算	3 次元有限要素法 (ソリッド要素) による応力解析
Ver.6.8-1	九州電力 (株) 玄海 3,4 号機 新規制基準適合性工認 (2017 年) 1 次冷却材ポンプの耐震計算・強度計算	

2) バージョン変更履歴

既設工認で実績のある Ver.6.6 から Ver.6.7 の応力解析に関するプログラムの変更履歴を表 3 に示す。また、参考として Ver.6.7 から Ver.6.8 の変更履歴についても示す。

下表に示す通り、使用している解析機能に対し、解析結果に影響を及ぼす変更がないことを確認している*。

*なお、Ver.6.6-3 のように、- 以下はリリース番号で、バグフィックスなどの小さな変更時の番号を示すため、記載を省略している。

表3 ABAQUS バージョン変更履歴

バージョン	説明
Ver 6.6	<p>既設工認実績バージョン <u>(玄海 3,4 号機 新規制基準適合性工認 炉心支持構造物)</u></p>
Ver 6.7	<p>今回の設工認に使用したバージョン</p> <p>Ver 6.6 より以下の変更がされているが、A 型燃料集合体の上部ノズル及び下部ノズルの応力解析には使用しない機能であり、解析結果に影響を与える変更ではない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・多くの層を含む繊維を強化した複合部品の改良 ・高性能のモードベースの線形力学の提供 ・コンタクトモデリングのために性能、頑強性、使用性、および生産性を改善 ・準静的問題を安定させるための自動安定化メカニズムの追加 ・部分構造化のための新しい機能と改良 ・協調シミュレーションの強化 ・材料モデルの拡張 ・要素ライブラリの増強 ・境界条件のモデル化に対する能力改善 ・*DISTRIBUTION のインプットデータの変更 <p>以下の変更については、使用メモリーの削減や計算のスピードアップに関する改善であり、数値解に影響はない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・解析の生産性を改善
Ver 6.8 (参考)	<p>既設工認実績バージョン <u>(玄海 3,4 号機 新規制基準適合性工認 1 次冷却材ポンプ)</u></p> <p>Ver 6.7 より以下の変更がされているが、A 型燃料集合体の上部ノズル及び下部ノズルの応力解析には使用しない機能であり、解析結果に影響を与える変更ではない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ User subroutines の機能追加 ・直接周期解法を用いた低サイクル解析での延性材料の損傷と破壊の追加 ・機械的な接触解析における表面ベースの粘着挙動特性の追加 ・大変形下の線形連続要素の改善 (安定性とロバスト性) ・パフォーマンス向上 ・*CONTACT PAIR のインプットデータの変更 ・*INTERACTION OUTPUT と*INTERACTION PRINT は利用不可能 ・*PRINT のインプットデータの変更 ・出力変数 FTF が利用不可能

5. 今回の設工認での使用コードの妥当性について

今回の設工認申請では、既設工認時使用バージョンとは異なるバージョンを適用するが、バージョンアップにおいて、今回使用している解析機能に影響が生じていないことを確認している。

なお、Ver 6.7 に上述の変更を加えた Ver 6.8 については、既設工認において使用実績があるものである。

以上

補足説明資料 7

特殊加工認可申請書との整合性に関する
補足説明資料

目 次

	頁
1. 概 要	1
2. 整理結果	1

1. 概 要

本資料は、令和2年4月の「原子力利用における安全対策の強化のための核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律等の一部を改正する法律」及び関連規則等（以下「改正法等」という。）の施行を踏まえ、特殊加工認可申請書（平成22年11月10日付け平成22・10・12原第17号にて認可）（以下「特認」という。）と設計及び工事計画認可申請書（以下「設工認」という。）の記載事項の関連を整理したものである。

2. 整理結果

以下に特認の構成を示す。このうち特認の具体的な申請内容である資料1及び資料2について設工認との比較を表1に示す。

特認の構成

1. 申請燃料体
2. 申請理由
3. 加工方法

資料1 特殊加工認可申請範囲

資料2 ジルコニウム基合金被覆材の説明書

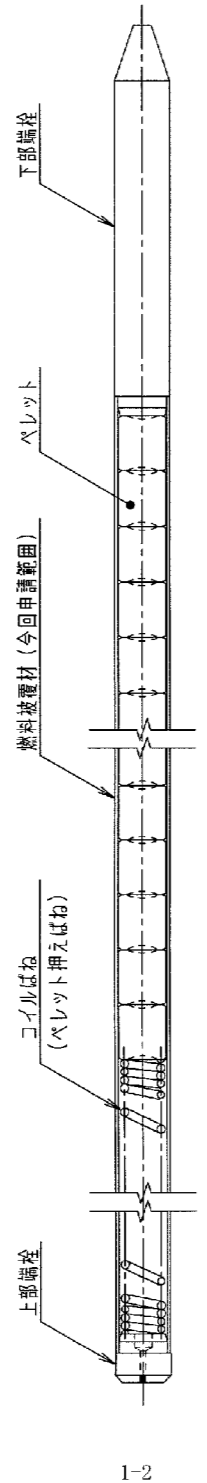
下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考				
<p style="text-align: center;">特 殊 加 工 認 可 申 請 範 囲</p> <div data-bbox="617 1705 1142 1801" style="border: 1px solid black; margin: 20px auto; padding: 5px;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td style="padding: 2px;">特 殊 加 工 認 可 申 請 書</td> <td style="padding: 2px;">資 料 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px; text-align: center;">川 内 原 子 力 発 電 所 第 1, 2 号 機</td> </tr> </table> </div>	特 殊 加 工 認 可 申 請 書	資 料 1	川 内 原 子 力 発 電 所 第 1, 2 号 機		—	
特 殊 加 工 認 可 申 請 書	資 料 1					
川 内 原 子 力 発 電 所 第 1, 2 号 機						

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>1. 特殊加工認可申請範囲</p> <p>特殊加工認可申請範囲は、川内原子力発電所第1、2号機の取替燃料体（最高燃焼率55,000MWd/t）のうち以下の部分である。</p> <p>(1) 燃料被覆材（図1参照）</p> <p style="text-align: center;">1-1</p>	—	<p>特認の申請範囲を示している ものであり、比較対象外。</p>

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
 <p style="text-align: center;">燃料要素(燃料棒)</p> <p style="text-align: center;">図 1 特殊加工認可申請範囲</p>	<p style="text-align: center;">—</p>	<p>特認の申請範囲を示している ものであり、比較対象外。</p>

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考				
<p style="text-align: center;">ジルコニウム基合金被覆材の説明書</p> <div data-bbox="611 1688 1139 1780" style="border: 1px solid black; width: fit-content; margin: 0 auto; padding: 5px;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">特殊加工認可申請書</td> <td style="padding: 2px;">資料 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px; text-align: center;">川内原子力発電所第 1, 2 号機</td> </tr> </table> </div>	特殊加工認可申請書	資料 2	川内原子力発電所第 1, 2 号機		—	
特殊加工認可申請書	資料 2					
川内原子力発電所第 1, 2 号機						

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
目 次		
<ul style="list-style-type: none"> 1. MDA及びZIRLO被覆管の概要2-1 2. MDA及びZIRLO被覆管の特性2-2 <ul style="list-style-type: none"> 2.1 耐熱性2-2 2.2 耐放射線性2-2 <ul style="list-style-type: none"> 2.2.1 機械的性質2-3 2.2.2 疲労特性2-3 2.2.3 クリーブ特性2-4 2.2.4 照射成長2-4 2.3 耐腐食性2-4 <ul style="list-style-type: none"> 2.3.1 酸化腐食による影響2-5 2.3.2 水素吸収による影響2-5 2.4 その他の性能2-6 <ul style="list-style-type: none"> 2.4.1 耐PCI性2-6 2.4.2 耐摩耗性2-6 2.4.3 高温特性2-7 2.4.4 被覆管とペレットの反応特性2-7 3. MDA及びZIRLO被覆管の品質及び検査方法等2-8 <ul style="list-style-type: none"> 3.1 品質2-8 3.2 寸法許容差2-8 3.3 製造方法2-9 3.4 試験2-9 3.5 検査2-9 3.6 表示2-10 4. 参考文献2-11 	—	

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>1. MDA及びZIRLO被覆管の概要</p> <p>(1) MDA及びZIRLOについて</p> <p>ジルコニウムは、熱中性子吸収断面積が極めて小さいため、中性子経済上有利である。ただし、機械的強度や耐食性等が劣ることから、添加元素によってこれらの点を補うべく、ジルコニウム合金の開発が行われた。このような1950年代に行われたジルコニウム合金の研究の中で、加圧水型軽水炉（以下「PWR」と称す。）用燃料被覆材（以下、被覆管と称す。）としてジルコニウムにSn、Fe及びCrを加えた“ジルカロイ-4”が開発された。</p> <p>“ジルカロイ-4”は、PWRの1次系水中の条件下において、優れた耐食性を有しており、PWR燃料被覆管の材料として適している。Snの含有量については、従来の製品では1.5wt%程度であったが、近年、耐食性向上を狙って規格の範囲内（1.20～1.70wt%）でSnの含有量を低下させ、1.3wt%程度の製品が採用されている。しかし、燃料体（以下燃料集合体と称す。）の最高燃焼率（以下、燃焼度と称す。）を55,000MWd/tとする高燃焼度燃料（以下「ステップ2燃料」）に使用する場合には、更に耐食性を向上させるとともに、水素吸収量を低減させる必要がある。そこで、PWRにおいては、「耐食性の向上」と「水素吸収量の低減」を目的として開発された以下の新合金をステップ2燃料の被覆管として使用することとしている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・豊富な照射実績を持つジルカロイ-4をベースに耐食性向上のためにSn含有量を低下させ、機械的強度を向上させるため、Nbを微量添加したSn-Fe-Cr-Nb系ジルコニウム基合金（以下、MDAと称す。） ・耐食性が良好なZr-Nb系合金に機械的強度を向上させるため、SnとFeを添加したSn-Fe-Nb系ジルコニウム基合金（ZIRLO™） <p>(2) MDA及びZIRLOの仕様</p> <p>MDA及びZIRLOの化学成分と不純物に関する仕様をジルカロイ-4と比較して表1-1及び表1-2に示す。</p>	<p>(添付資料 4)</p> <p>2. 構成材料の概要</p> <p>燃料集合体の材料は、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時を含むプラントの使用条件の下で、燃料寿命中その健全性が維持されるよう選定している。燃料集合体の主な構成部品の材料及び各材料の化学成分を第2-1表に示す。また、燃料集合体の主な構成部品の材料の機械的性質を第2-2表に示す。</p> <p>第2-1表 燃料集合体の主な構成部品の材料及び各材料の化学成分</p> <p>(表省略)</p> <p>(注1) 以下「二酸化ウランペレット」という。</p> <p>(注2) 以下「ガドリニア入り二酸化ウランペレット」という。</p> <p>(注3) タイプBはガドリニア濃度10wt%を示す。タイプCはガドリニア濃度6wt%を示す。</p> <p>(注4) 不純物の総中性子吸収をボロン量で換算したもの。</p> <p>(注5) 豊富な照射実績を持つジルカロイ-4をベースに耐食性向上のためにSn含有量を低下させ、機械的強度を向上させるため、Nbを微量添加したSn-Fe-Cr-Nb系ジルコニウム基合金。以下「MDA」という。</p> <p>(注6) 耐食性が良好なZr-Nb系合金に機械的強度を向上させるため、SnとFeを添加したSn-Fe-Nb系ジルコニウム基合金。この合金は米国ウエスティングハウス社により「ZIRLO®」として商標登録されたものである。以下「ZIRLO」という。</p> <p>(注7) 以下「ジルカロイ-4」という。なお、燃料被覆材端栓の材料は、JIS H4751 ZrTN 804Dの規定からNb及びCaの化学成分を除外して、JIS H4751 ZrTN 804D相当と記載している。</p> <p>(注8) 以下「718合金」という。なお、718合金のうち支持格子の材料は「インコネル-718」という。</p>	<p>ジルカロイ-4に対する一般論であるため、設工認申請書には記載していない。（ジルカロイ-4は本申請対象の燃料被覆材には使用されていない）</p>

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1号機 A型燃料集合体）	備考
<p>2. MDA及びZIRLO被覆管の特性 <u>MDA及びZIRLO被覆管をステップ2燃料に使用する場合には、以下に示すこれらの特性を適切に反映して燃料集合体の設計を行う必要がある。</u></p> <p>2.1 耐熱性 <u>MDA及びZIRLOは、ジルカロイ-4同様、約98wt%のジルコニウム（Zr）を主成分としているため、それらの材料物性はジルカロイ-4とほぼ同等である。</u> <u>MDA及びZIRLOの溶融点及び相変態温度の測定結果を表2.1-1及び表2.1-2に示すように、MDA及びZIRLOの溶融点は約1840℃、α相から（α+β）相及び（α+β）相からβ相への相変態温度はそれぞれ約770～780℃及び約940～960℃であり、いずれも燃料被覆管の異常な過渡変化時の最高温度（約□℃）よりもかなり高いので、溶融あるいは相変態は生じない。</u></p>	<p>（添付資料 4） 5. ジルコニウム基合金 MDA及びZIRLO被覆管は「実用発電用原子炉に使用する燃料体の技術基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第7号）」（以下「原子力規制委員会規則第7号」という。）第8条に規定されていない材料であったことから、原子力規制委員会規則第7号第3条の規定に基づき、特殊加工認可を取得している（平成22年11月10日、平成22・10・12原第17号）。 <u>MDA及びZIRLO被覆管を本申請の燃料集合体に使用する場合には、以下に示すこれらの特性を適切に反映して燃料集合体の設計を行う必要がある。</u> なお、本添付資料中に示すジルコニウム基合金被覆管の照射挙動データには、ジルコニウム基合金とジルコニウム基合金-RTの2種類のデータがあり、前者は通常組織管、後者は集合組織調整管を指している。集合組織調整管は、被覆管の圧延工程を調整することによって、ジルコニウムの稠密六方晶C軸（注1）の径方向への配向割合を、通常組織管よりも僅かに高めた被覆管であるが、本章で示す被覆管の各特性は同等である。そのため、本申請においては両者を区別しない。</p> <p>5.1 耐熱性 ジルカロイ-4の溶融点は1,825℃であり、結晶構造が820℃でα相から（α+β）相へ、また、970℃で（α+β）相からβ相に変態する。 <u>MDA及びZIRLOは、ジルカロイ-4同様、約98wt%のジルコニウム（Zr）を主成分としているため、それらの材料物性はジルカロイ-4とほぼ同等である。</u> <u>MDA及びZIRLOの溶融点及び相変態温度の測定結果を第5-1表及び第5-2表に示すように、MDA及びZIRLOの溶融点は約1,840℃、α相から（α+β）相及び（α+β）相からβ相への相変態温度はそれぞれ約770～780℃及び約940～960℃であり、いずれも被覆管の異常な過渡変化時の最高温度（約□℃）よりもかなり高いので、プラントの使用条件の下で溶融あるいは相変態が生じることはない。したがって、プラントの使用条件の下で溶融あるいは相変態が生じることはないので、当該の挙動を設計評価では考慮していない。</u></p>	

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>2.2 耐放射線性</p> <p><u>MDA及びZIRLO被覆管は、二酸化ウラン燃料と接触して原子炉内に置かれるので、α線、β線、γ線、核分裂片及び中性子の影響を受ける。</u></p> <p><u>α線及びβ線のような荷電粒子は、金属中を通り抜けるとき、電気的な相互作用によって原子の軌道電子を引き離すイオン化作用を起こす。また、γ線も軌道電子を原子から引き離す作用を起こす。このようにα線、β線、γ線は、主に金属原子の軌道電子と作用してエネルギーを消失していくので、MDA及びZIRLO被覆管の照射損傷に与える影響は軽微である。</u></p> <p><u>核分裂片は、その飛程が限定された近距離にしか及ばないため、二酸化ウラン燃料の表面で起こった核分裂だけが被覆管の内表面にしか作用せず、事実上の照射損傷を与えない。</u></p> <p><u>中性子は電荷を持たないので、金属中での電気的な相互作用によってエネルギーを失うことがなく、そのエネルギーは主として原子核との弾性衝突により多数の原子を格子位置からはじき出す作用によって消失される。この結果、金属の結晶格子内あるいは結晶粒界などに空孔あるいは格子間原子の存在が認められるようになり、この微視的欠陥が材料の巨視的な物性値に変化をもたらすことになる。中性子が金属中を通り抜けるとき形成される格子欠陥の濃度は、中性子のエネルギーに比例するため、MDA及びZIRLO被覆管の照射損傷に最も大きな寄与をするのは高速中性子である。</u></p> <p><u>したがって、MDA及びZIRLO被覆管の放射線損傷の影響を受ける以下の特性においては、高速中性子の影響に着目すればよい。</u></p>	<p>(添付資料 4)</p> <p>5.2 耐放射線性</p> <p><u>MDA及びZIRLO被覆管は、二酸化ウラン燃料と接触して原子炉内に置かれるので、α線、β線、γ線、核分裂片及び中性子の影響を受ける。</u></p> <p><u>α線及びβ線のような荷電粒子は、金属中を通り抜けるとき、電気的な相互作用によって原子の軌道電子を引き離すイオン化作用を起こす。また、γ線も軌道電子を原子から引き離す作用を起こす。このようにα線、β線、γ線は、主に金属原子の軌道電子と作用してエネルギーを消失していくので、MDA及びZIRLO被覆管の照射損傷に与える影響は軽微である。</u></p> <p><u>核分裂片は、その飛程が限定された近距離にしか及ばないため、二酸化ウラン燃料の表面で起こった核分裂だけが被覆管の内表面にしか作用せず、事実上の照射損傷を与えない。</u></p> <p><u>中性子は電荷を持たないので、金属中での電気的な相互作用によってエネルギーを失うことがなく、そのエネルギーは主として原子核との弾性衝突により多数の原子を格子位置からはじき出す作用によって消失される。この結果、金属の結晶格子内あるいは結晶粒界などに空孔あるいは格子間原子の存在が認められるようになり、この微視的欠陥が材料の巨視的な物性値に変化をもたらすことになる。中性子が金属中を通り抜けるときに形成される格子欠陥の濃度は、中性子のエネルギーに比例するため、MDA及びZIRLO被覆管の照射損傷に最も大きな寄与をするのは高速中性子である。</u></p> <p><u>したがって、MDA及びZIRLO被覆管の放射線損傷の影響を受ける以下の特性においては、高速中性子の影響に着目すればよい。</u></p>	

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>2.2.1 機械的性質 <u>機械特性への影響因子としては、照射脆化と水素脆化が考えられる。照射脆化は照射欠陥の蓄積（濃度）によるが、これは高速中性子束、被覆管温度、時間に依存する。実機炉内照射では高速中性子束と被覆管温度は定常運転状態ではほぼ一定であり、欠陥の蓄積と温度による回復が平衡状態になるため、ある照射量以上では照射脆化の著しい変化はないと考えられる。MDA及びZIRLO被覆管の引張試験結果を図2.2-1に示す。引張強さ及び耐力は、照射初期において増加した後、照射量によらず著しい変化が見られず、ジルカロイ-4被覆管と同等である。破断伸びは、照射初期に低下した後は照射量によらず著しい変化がなく、ジルカロイ-4被覆管と同等である。</u> <u>なお、ジルカロイ-2材ではあるが、高速中性子照射量27～32×10²⁵n/m²(E>1MeV)まで十分な延性が確保されているとの報告例がある。</u> <u>また、水素脆化については、水素を吸収させた未照射材での引張試験結果を図2.2-2に示すが、ジルカロイ-4被覆管と同様に水素吸収量が少なくとも約800ppmまでMDA及びZIRLO被覆管の機械特性は変わらない。照射材については、図2.2-3に示すとおりジルカロイ-4被覆管で約800ppmまでは破断伸びが1%以上あり、延性が確保されていること、MDA及びZIRLO被覆管は上述のとおり、未照射材で水素吸収による機械特性への影響がジルカロイ-4被覆管と同等であることから、照射材についてもジルカロイ-4被覆管と同様にステップ2燃料の使用範囲まで機械特性は変わらない。</u></p> <p>2.2.2 疲労特性 <u>MDA及びZIRLO被覆管の疲労試験結果と、ジルカロイに対するLanger and O' Donnellの疲労試験結果を図2.2-4に示す。一般に疲労特性は機械特性に依存するが、2.2.1節で述べたとおり、MDA及びZIRLO被覆管の機械特性はジルカロイ-4被覆管と同等であるため、MDA及びZIRLO被覆管の疲労特性は、ジルカロイ-4被覆管と同等となる。</u></p>	<p>(添付資料 4)</p> <p>5.2.1 機械的性質 <u>機械特性への影響因子としては、照射脆化と水素脆化が考えられる。照射脆化は照射欠陥の蓄積（濃度）によるが、これは高速中性子束、被覆管温度及び時間に依存する。実機原子炉内照射では高速中性子束と被覆管温度は通常運転状態ではほぼ一定であり、欠陥の蓄積と温度による回復が平衡状態になるため、ある照射量以上では照射脆化の著しい変化はないと考えられる。MDA及びZIRLO被覆管の引張試験結果を第5-1図に示す。引張強さ及び耐力は、照射初期において増加した後、照射量によらず著しい変化が見られず、ジルカロイ-4被覆管と同等である。また、破断伸びは、照射初期に低下した後は照射量によらず著しい変化がなく、ジルカロイ-4被覆管と同等である。その他の材料物性においても、原子炉安全小委員会においてジルカロイ-4被覆管と同等であることが確認されている。</u> <u>なお、ジルカロイ-2材ではあるが、高速中性子照射量27～32×10²⁵n/m²(E>1MeV)まで十分な延性が確保されているとの報告例もある。</u> <u>また、水素脆化については、水素を吸収させた未照射材での引張試験結果を第5-2図に示すが、ジルカロイ-4被覆管と同様に水素吸収量が少なくとも約800ppmまでMDA及びZIRLO被覆管の機械特性は変わらない。照射材については、第5-3図に示すとおりジルカロイ-4被覆管で約800ppmまでは破断伸びが1%以上あり、延性が確保されていること、MDA及びZIRLO被覆管は上述のとおり、未照射材で水素吸収による機械特性への影響がジルカロイ-4被覆管と同等であることから、照射材についてもジルカロイ-4被覆管と同様に本申請の燃料集合体の使用範囲まで機械特性は変わらない。以上より、MDA及びZIRLO被覆管の応力及びひずみに対する設計基準や材料物性はジルカロイ-4被覆管と同じとして設計評価する。</u></p> <p>5.2.2 疲労特性 <u>MDA及びZIRLO被覆管の疲労試験結果と、ジルカロイに対するLanger and O'Donnellの疲労試験結果を第5-4図に示す。一般に疲労特性は機械特性に依存するが、5.2.1項で述べたとおり、MDA及びZIRLO被覆管はジルカロイ-4被覆管と同等であるため、MDA及びZIRLO被覆管の疲労特性は、ジルカロイ-4被覆管と同等となる。以上より、MDA及びZIRLO被覆管の設計疲労曲線はジルカロイ-4被覆管と同じとする。</u></p>	

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>2.2.3 クリープ特性 燃料被覆管は内外圧差に基づくクリープによって外径が減少していくが、ペレットと被覆管が接触した後は、ペレットの外径変化に依存して被覆管外径が増加する。実機PWR燃料棒の照射後の外径変化を図2.2-5に示すが、約20,000MWd/t程度までの低燃焼度域の外径減少より、MDA及びZIRLO被覆管は、ジルカロイ-4被覆管に比べて、外径減少が小さく、クリープがしにくくなっている。これは、クリープが転位（材料に元々ある結晶格子ずれ）の移動によるものであり、Zr中に固溶しているSn、特にNbが転位を捕獲してその動きを抑制するため、Nbを含まないジルカロイ-4被覆管に比べて、Nbを含むMDA及びZIRLO被覆管のクリープがしにくくなったためである。</p> <p>2.2.4 照射成長 照射成長の支配要因は、Zr中の稠密六方晶（α相）の向きが比較的揃った組織において中性子照射で生じる格子欠陥のうち、空孔は六方晶底面へ、格子間原子は柱面へ選択的に集まるためと言われている。図2.2-6に示すように、MDA及びZIRLO被覆管とジルカロイ-4被覆管の照射成長は、ともに高速中性子照射量にほぼ比例し、ジルカロイ-4被覆管については高燃焼度領域でもこの傾向が認められる。また、MDA及びZIRLO被覆管の照射成長はジルカロイ-4被覆管と比較して小さくなっており、この傾向は比較的高燃焼度領域まで認められる。これは固溶Sn、特にNbが照射欠陥の動きを抑制するため、Nbを含まないジルカロイ-4被覆管と比較して、Nbを含むMDA及びZIRLO被覆管の照射成長が小さくなるためと考えられる。</p> <p>したがって、ジルカロイ-4被覆管と比較してMDA及びZIRLO被覆管の照射成長は、ステップ2燃料の使用範囲まで照射成長量が小さくなると考えられる。</p>	<p>(添付資料 4)</p> <p>5.2.3 クリープ特性 被覆管は内外圧差に基づくクリープによって外径が減少していくが、ペレットと被覆管が接触した後は、ペレットの外径変化に依存して被覆管外径が増加する。実機PWR燃料棒の照射後の外径変化を第5-5図に示すが、約20,000MWd/t程度までの低燃焼度域の外径減少より、MDA及びZIRLO被覆管は、ジルカロイ-4被覆管に比べて、外径減少が小さく、クリープがしにくくなっている。これは、クリープが転位（材料に元々ある結晶格子ずれ）の移動によるものであり、Zr中に固溶しているSn、特にNbが転位を捕獲してその動きを抑制するため、Nbを含まないジルカロイ-4被覆管に比べて、Nbを含むMDA及びZIRLO被覆管のクリープがしにくくなったためである。以上より、これらの挙動を計算モデルに組み込んで（添付資料3「強度に関する説明書」の3.2.2項(2)c.に示す。）設計評価に反映している。</p> <p>5.2.4 照射成長 照射成長の支配要因は、Zr中の稠密六方晶（α相）の向きが比較的揃った組織において中性子照射で生じる格子欠陥のうち、空孔は六方晶底面へ、格子間原子は柱面へ選択的に集まるためと言われている。第5-6図に示すように、MDA及びZIRLO被覆管とジルカロイ-4被覆管の照射成長は、ともに高速中性子照射量にほぼ比例し、ジルカロイ-4被覆管については高燃焼度領域でもこの傾向が認められる。また、MDA及びZIRLO被覆管の照射成長はジルカロイ-4被覆管と比較して小さくなっており、この傾向は比較的高燃焼度領域まで認められる。これは固溶Sn、特にNbが照射欠陥の動きを抑制するため、Nbを含まないジルカロイ-4被覆管と比較して、Nbを含むMDA及びZIRLO被覆管の照射成長が小さくなるためと考えられる。</p> <p>したがって、ジルカロイ-4被覆管と比較してMDA及びZIRLO被覆管の照射成長は、本申請の燃料集合体の使用範囲まで照射成長量が小さくなると考えられ、これらの挙動を計算モデルに組み込んで（添付資料3「強度に関する説明書」の3.2.2項(2)c.に示す。）設計評価に反映している。</p>	

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>2.3 耐腐食性</p> <p>MDA及びZIRLO被覆管が1次冷却水と接触すると、ジルカロイ-4被覆管と同様に、</p> $\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2$ <p>の反応により酸化腐食が進むとともに、発生した水素の一部を吸収する。</p> <p>実機では放射線照射下で冷却水の放射線分解により発生する酸素により、ジルカロイの腐食が放射線照射のない環境に比べて加速される可能性があるが、PWRでは冷却水に水素注入を行い酸素の発生を抑制している。実機の腐食は以下に示すとおりである。</p> <p>2.3.1 酸化腐食による影響</p> <p>ジルカロイ被覆管外面には、炉内使用条件下で高温の1次冷却水との反応により酸化膜が形成される。一般に、ジルカロイ被覆管の腐食速度は、酸化膜と被覆管金属母材の界面温度についてのアレニウス型温度依存性を示す。また、その腐食増量（酸素による質量増加）の時間変化を図2.3-1に示すが、初期の段階では時間に対して立方則（時間の3乗根に比例）に従って増加し、酸化膜厚が2～3μm（遷移点）を超えた後は時間に対して直線的に増加する。炉内での被覆管酸化膜を図2.3-2に示す。炉内では滞在期間が長くなり酸化膜が厚くなるに従って、形成された酸化膜と金属母材の境界温度が上昇するため、燃焼度の進行に伴って酸化膜厚さは増大する傾向になる。更に腐食が進行すると腐食量の急激な増加が見られるが、これは酸化により発生する水素のうち、被覆管に吸収された水素が被覆管外面に析出し、この析出物が腐食に起因すると考えられている。</p> <p>図2.3-2から分かるように、ジルカロイ-4被覆管の炉内腐食データは、高燃焼度領域まで取得されている。また、MDA及びZIRLO被覆管については、腐食速度の低減が認められるとともに、ジルカロイ-4被覆管と同様、腐食の進行に伴う腐食量の急激な増加が認められる。炉外での被覆管腐食速度の水素吸収量依存性を図2.3-3に示すが、水素化物により腐食が急激に増加する領域においても、ジルカロイ-4被覆管に比較して MDA及びZIRLO被覆管の腐食速度の低減が認められる。</p> <p>したがって、MDA及びZIRLO被覆管の腐食挙動はジルカロイ-4被覆管と同様であり、腐食が急激に増加する領域でも耐食性の向上が維持されることから、ステップ2燃料の使用範囲までMDA及びZIRLO被覆管の耐食性の向上が維持されると考えられる。</p>	<p>(添付資料 4)</p> <p>5.3 耐食性</p> <p>MDA及びZIRLO被覆管が1次冷却材と接触すると、ジルカロイ-4被覆管と同様に、</p> $\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2$ <p>の反応により酸化腐食が進むとともに、発生した水素の一部を吸収する。</p> <p>実機では放射線照射下で1次冷却材の放射線分解により発生する酸素により、ジルカロイの腐食が放射線照射のない環境に比べて加速される可能性があるが、PWRでは1次冷却材に水素注入を行い酸素の発生を抑制している。実機の腐食は以下に示すとおりである。</p> <p>5.3.1 酸化腐食による影響</p> <p>ジルカロイ被覆管外面には、原子炉内使用条件下で高温の1次冷却材との反応により酸化膜が形成される。一般に、ジルカロイ被覆管の腐食速度は、酸化膜と被覆管金属母材の界面温度についてのアレニウス型温度依存性を示す。また、その腐食増量（酸素による質量増加）の時間変化を第5-7図に示すが、初期の段階では時間に対して立方則（時間の3乗根に比例）に従って増加し、酸化膜厚が2～3μm（遷移点）を超えた後は時間に対して直線的に増加する。原子炉内での被覆管酸化膜を第5-8図に示す。原子炉内では滞在期間が長くなり酸化膜が厚くなるに従って、形成された酸化膜と金属母材の境界温度が上昇するため、燃焼度の進行に伴って酸化膜厚さは増大する傾向になる。更に腐食が進行すると腐食量の急激な増加が見られるが、これは酸化により発生する水素のうち、被覆管に吸収された水素が被覆管外面に析出し、この析出物が腐食に起因すると考えられている。</p> <p>第5-8図から分かるように、ジルカロイ-4被覆管の原子炉内腐食データは、高燃焼度領域まで取得されている。また、MDA及びZIRLO被覆管については、腐食速度の低減が認められる。</p> <p>したがって、MDA及びZIRLO被覆管の腐食挙動はジルカロイ-4被覆管と同様であり、腐食が急激に増加する領域でも耐食性の向上が維持されることから、本申請の燃料集合体の使用範囲までMDA及びZIRLO被覆管の耐食性の向上が維持されると考えられ、これらの挙動を計算モデルに組み込んで(添付資料3「強度に関する説明書」の3.4.3項に示す。)設計評価に反映している。</p>	<p>腐食が急激に増加する領域においてもMDA及びZIRLO被覆管の耐食性が向上していることは前述（添付資料4第5-8図）にて説明している。</p>

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>2.3.2 水素吸収による影響 <u>ジルコニウムと水との反応で発生した水素の一部は、被覆管に吸収される。被覆管の炉内での水素吸収量と酸化膜厚さの関係を図2.3-4に示すが、MDA及びZIRLO被覆管の水素吸収量と酸化膜厚さとはジルカロイ-4被覆管と同様に良い相関がある。酸化膜厚さと水素吸収率（酸化反応で生じた水素量に対する被覆管金属部に吸収された水素量の割合）の関係を図2.3-5に示す。ジルカロイ-4被覆管の水素吸収率は、被覆管10%減肉相当の酸化膜厚さ程度まで酸化膜厚さによらずほぼ一定の水素吸収率となっている。また、MDA及びZIRLO被覆管についても、酸化膜厚さ50μm程度まで酸化膜厚さによらずジルカロイ-4被覆管と同等の水素吸収率となっている。これは酸化膜を透過する水素量及び金属部に吸収される水素吸収量が被覆管の種類（ジルカロイ-4被覆管、MDA及びZIRLO被覆管）によらないためと考えられる。</u> <u>したがって、MDA及びZIRLO被覆管の腐食量が、ステップ2燃料の使用範囲においてジルカロイ-4被覆管に比較して低減すること、及び水素吸収率が酸化膜厚さによらずジルカロイ-4被覆管と同等であることから、MDA及びZIRLO被覆管の水素吸収量は、ステップ2燃料の使用範囲までジルカロイ-4被覆管に比較して低減すると考えられる。</u></p>	<p>(添付資料 4) 5.3.2 水素吸収による影響 <u>ジルコニウムと水との反応で発生した水素の一部は、被覆管に吸収される。被覆管の原子炉内での水素吸収量と酸化膜厚さの関係を第5-9図に示すが、MDA及びZIRLO被覆管の水素吸収量と酸化膜厚さとはジルカロイ-4被覆管と同様に良い相関がある。酸化膜厚さと水素吸収率（酸化反応で生じた水素量に対する被覆管金属部に吸収された水素量の割合）の関係を第5-10図に示す。ジルカロイ-4被覆管の水素吸収率は、被覆管10%減肉相当の酸化膜厚さ程度まで酸化膜厚さによらずほぼ一定の水素吸収率となっている。また、MDA及びZIRLO被覆管についても、酸化膜厚さ50μm程度まで酸化膜厚さによらずジルカロイ-4被覆管と同等の水素吸収率となっている。これは酸化膜を透過する水素量及び金属部に吸収される水素吸収量が被覆管の種類（ジルカロイ-4被覆管、MDA及びZIRLO被覆管）によらないためと考えられる。</u> <u>したがって、MDA及びZIRLO被覆管の腐食量が、本申請の燃料集合体の使用範囲においてジルカロイ-4被覆管に比較して低減すること、及び水素吸収率が酸化膜厚さによらずジルカロイ-4被覆管と同等であることから、これらの挙動を計算モデルに組み込んで（添付資料3「強度に関する説明書」の3.4.3項に示す。）設計評価に反映している。</u> <u>また、MDA及びZIRLO被覆管の水素吸収量は、本申請の燃料集合体の使用範囲までジルカロイ-4被覆管に比較して低減すると考えられる。</u></p>	

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>2.4 その他の性能</p> <p>2.4.1 耐PCI性</p> <p>被覆管は、腐食性FPガス雰囲気下において、出力急昇によりペレットが熱膨張して被覆管との機械的相互作用（PCMI）を生じ、被覆管に過大な応力が作用した場合、応力腐食割れ（SCC）による破損（PCI破損）を起こす。このPCI破損におけるSCCは、Zr中の稠密六方晶（α相）の底面にほぼ平行な面上を伝播するが、現行の被覆管製法においては、この底面がPCMI時の発生応力方向、すなわち周方向に配向（C軸を径方向に配向）されており、PCI破損の抑制が図られている。</p> <p>被覆管の耐PCI性を把握するため、試験炉において出力急昇試験が実施されており、最大線出力密度及び線出力密度変化幅について同時にある値（PCI破損しきい値）を超えた場合にPCI破損が起こることが経験的に知られている。</p> <p>MDA及びZIRLO被覆管の耐PCI性を図2.4-1に破損しきい値とともに示す。この図ではC軸を径方向に現行より更に配向させた集合組織調整管のデータも示されているが、合金の相違、集合組織調整の有無に係わらず、PCI破損しきい値に対して十分余裕がある。この余裕は局所燃焼度が約40,000MWd/t程度以上では燃焼とともに増加する傾向が見られることから、ステップ2燃料の使用範囲まで高い耐PCI性能を有すると考えられる。</p>	<p>(添付資料 4)</p> <p>5.4 その他の性能</p> <p>5.4.1 耐PCI性</p> <p>被覆管は、腐食性FPガス雰囲気下において、出力急昇によりペレットが熱膨張して被覆管との機械的相互作用(PCMI)を生じ、被覆管に過大な応力が作用した場合、応力腐食割れ(SCC)による破損（PCI破損）を起こす。このPCI破損におけるSCCは、Zr中の稠密六方晶（α相）の底面にほぼ平行な面上を伝播するが、現行の被覆管製法においては、この底面がPCMI時の発生応力方向、すなわち周方向に配向（C軸を径方向に配向）されており、PCI破損の抑制が図られている。</p> <p>被覆管の耐PCI性を把握するため、試験炉において出力急昇試験が実施されており、最大線出力密度及び線出力密度変化幅について同時にある値（PCI破損しきい値）を超えた場合にPCI破損が起こることが経験的に知られている。</p> <p>MDA及びZIRLO被覆管の耐PCI性を第5-11図にPCI破損しきい値とともに示す。この図ではC軸を径方向に現行より更に配向させた集合組織調整管のデータも示されているが、合金の相違、集合組織調整の有無に係わらず、PCI破損しきい値に対して十分余裕がある。この余裕は局所燃焼度が約40,000MWd/t程度以上では燃焼とともに増加する傾向が見られることから、本申請の燃料集合体の使用範囲まで高い耐PCI性能を有すると考えられる。以上より、MDA及びZIRLO被覆管のPCI破損しきい値はジルカロイ-4被覆管と同じとする。</p>	

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>2.4.2 耐摩耗性</p> <p>①原子炉内では、燃料棒の流動振動による支持格子との接触部で、被覆管の摩耗が発生する可能性があるが、②ジルカロイ-4被覆管での摩耗は被覆管肉厚に比較して十分小さく健全性上影響ないことが確認されている。①被覆管の硬さの測定結果を表2.4-1に示す。この表から分かるようにMDA及びZIRLO被覆管の硬さはジルカロイ-4被覆管の硬さと同じであり、支持格子と被覆管の接触による摩耗は被覆管材料（ジルカロイ-4被覆管、MDA及びZIRLO被覆管）によらず同等である。</p>	<p>(添付資料 4)</p> <p>5.4.2 耐摩耗性</p> <p>①原子炉内では、燃料棒の流動振動による支持格子との接触部で、被覆管の摩耗が発生する可能性がある。被覆管の硬さの測定結果を第5-3表に示す。この表から分かるようにMDA及びZIRLO被覆管の硬さはジルカロイ-4被覆管の硬さと同じであり、支持格子と被覆管の接触による摩耗は被覆管材料（ジルカロイ-4被覆管、MDA及びZIRLO被覆管）によらず同等である。以上より、MDA及びZIRLO被覆管の摩耗はジルカロイ-4被覆管と同じとする。</p> <p>(添付資料3)</p> <p>3.4.6 フレッシング摩耗 (省略)</p> <p>(1) ジルカロイ-4 被覆管とインコネル-718 支持格子のフレッシング摩耗 流水試験結果によると、②ジルカロイ-4被覆管とインコネル-718支持格子の間でのフレッシング摩耗は、燃料寿命末期での支持格子ばね力においても発生しないが、それ以下あるいはばね力がない場合にはわずかながら発生していることを確認している。この試験結果を基に、全寿命を4サイクルとし、評価上はサイクル1のばね力を[]に、また、サイクル2、3、4のばね力を[]と安全側に仮定して被覆管の摩耗減肉量を求めると、②約[]mmであり被覆管肉厚の10%より小さいことから、被覆管の健全性は確保される。 なお、下部支持格子部におけるフレッシング摩耗については、本設計では寿命中下部支持格子が下部端栓を支持する設計となっており、摩耗が発生したとしても被覆管が貫通に至ることはなく問題ない。</p> <p>(2) ジルカロイ-4 被覆管とジルカロイ-4 支持格子のフレッシング摩耗 流水試験によると、②ジルカロイ-4被覆管とジルカロイ-4支持格子の間でのフレッシング摩耗は、上記と同様の結果であることを確認している。この試験結果を基に全寿命を4サイクルとし、評価上はサイクル1のばね力を[]に、また、サイクル2、3、4のばね力を[]と安全側に仮定して被覆管の摩耗減肉量を評価すると、②[]mm以下と被覆管肉厚の10%より小さいことから、被覆管の健全性は確保される。</p>	

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>2.4.3 高温特性 被覆管の相変態（α相からβ相に変化）が生じるような高温時においては、MDA及びZIRLO被覆管は、ジルカロイ-4被覆管同様、約98wt%のジルコニウムを主成分としているため、それらの主要な特性はジルカロイ-4と同等である。冷却材喪失事故にて考慮する昇温内圧破裂試験結果、高温時のジルコニウムと水反応の試験結果をそれぞれ図2.4-2及び図2.4-3に示す。MDA及びZIRLO被覆管の高温破裂特性及び、高温酸化挙動は、ジルカロイ-4被覆管と同等である。</p> <p>2.4.4 被覆管とペレットの反応特性 ジルカロイと二酸化ウランが接触した場合、照射により過剰になった二酸化ウラン中の酸素がジルカロイ中に拡散し、被覆管内面酸化膜（ZrO₂）が形成される。さらに、両者が強く接触するようになるとジルコニウム酸化層へのウランの拡散により、ジルコニウム酸化層は（Zr,U）O₂固溶体となり、これがボンディング層を形成して、強固なペレット-被覆管の固着の原因となる。これらは、被覆管の腐食及びPCIへ影響を及ぼす可能性が考えられる。 MDA及びZIRLO被覆管は、ジルカロイ-4被覆管同様、約98wt%のジルコニウムを主成分としているため、これらの反応はジルカロイ-4被覆管と同等であり、海外商業炉で照射された約60,000MWd/tまでのMDA及びZIRLO被覆管の燃料棒では被覆管内面酸化及びボンディングが認められるが、その反応層は高々10～20μmと小さい。</p>	<p>(添付資料 4)</p> <p>5.4.3 高温特性 被覆管の相変態（α相からβ相に変化）が生じるような高温時においては、MDA及びZIRLO被覆管は、ジルカロイ-4被覆管同様、約98wt%のジルコニウムを主成分としているため、それらの主要な特性はジルカロイ-4と同等である。1次冷却材喪失事故(LOCA)にて考慮する昇温内圧破裂試験結果、高温時のジルコニウム-水反応の試験結果をそれぞれ第5-12図及び第5-13図に示す。第5-12図及び第5-13図に示すとおり、MDA及びZIRLO被覆管の高温破裂特性及び高温酸化挙動はジルカロイ-4被覆管と同等である。</p> <p>3.3.1 二酸化ウランペレットとジルコニウム基合金被覆管との反応 ジルコニウム基合金と二酸化ウランが接触した場合、照射により過剰になった二酸化ウラン中の酸素がジルカロイ中に拡散し、被覆管内面酸化膜(ZrO₂)が形成される。さらに、両者が強く接触するようになるとジルコニウム酸化層へのウランの拡散により、ジルコニウム酸化層は(Zr,U)O₂固溶体となり、これがボンディング層を形成して、強固なペレット-被覆管の固着の原因となる。これらは、被覆管の腐食及びPCIへ影響を及ぼす可能性が考えられる。 しかしながら、二酸化ウランペレットとジルコニウムを密着させ510℃で約500日以上保持した場合においても反応は生じないことが報告されている。通常運転中においてペレットと被覆管及び燃料被覆材端栓の接触面の温度が長期間にわたって500℃を超えないことから、反応は小さいと考えられる。 また、海外商業炉で照射された約60,000MWd/tまでのMDA及びZIRLO被覆管の燃料棒では被覆管内面酸化及びボンディングが認められるが、その反応層は高々10～20μmと小さく、被覆管応力への影響は小さい。さらに、第5-11図に見られるように約30,000～40,000MWd/tにおいてPCI破損が認められる出力レベルでも、約60,000MWd/t程度の上記燃料棒はPCI破損していないことから、この程度の反応層であればPCIへの影響はない。 なお、MDA及びZIRLO被覆管と二酸化ウランペレットの反応は、前記のとおりウラン原子及びジルコニウム原子の拡散によって生ずるものであるため、ペレット密度にはほとんど影響しない。 同様に、二酸化ウランペレットと燃料被覆材端栓との反応についても、PWR燃料の照射後試験により反応は認められていないことから、二酸化ウランペレットと燃料被覆材端栓とは安定に共存する。したがって、いずれも有意な反応が認められていないことから、それらの反応を設計評価では考慮していない。</p>	<p>MDA及びZIRLO被覆管とペレットの反応については、海外商業炉における検証結果にて反応が小さいことを説明している。</p>

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>3. MDA及びZIRLO被覆管の品質及び検査方法等</p> <p>MDA及びZIRLO被覆管の品質及び検査方法等については、ジルカロイ-4での規格であるJIS H4751(1998) ZrTN 804D SRに基本的に従うこととしている。なお、MDA及びZIRLOはNbを合金成分としているため化学成分分析における許容変動値は、ASTM B 350 に従っている。以下に、MDA及びZIRLO被覆管の品質及び検査方法等について示す。</p> <p>3.1 品質</p> <p>MDA及びZIRLO被覆管の品質は、以下のとおりとしている。</p> <p>a) 被覆管の軸は、著しくわん曲していないこと。</p> <p>b) 被覆管表面に割れ、きず等で有害なものがないこと。</p> <p>c) 被覆管表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。</p> <p>d) 被覆管表面の粗さの程度は、実用上差し支えないものであること。</p> <p>e) 被覆管の化学成分は、表 1-1 による。また、不純物は、表 1-2 による。</p> <p>f) 被覆管は、3.4 b) 又はこれと同等の方法によって引張試験を行ったとき、引張強さ、耐力及び伸びが設計上必要な値であること。</p> <p>g) 被覆管は、3.4 c) 又はこれと同等の方法によって腐食試験を行った場合、3 3 6 時間で 38 mg/dm^2 以下の腐食質量増加でなければならない。ただし、7 2 時間を経過した時点で腐食質量増加が 22 mg/dm^2 以下であった場合には、それ以後の試験は行わない。また、腐食試験後の試験片表面には、著しい白色又は褐色の酸化物の付着があってはならない。</p> <p>h) 被覆管は 3.4 d) 又はこれと同等の方法によって水素化物方位試験を行った場合、水素化物方向性係数 F_n 値は 0.45 を超えてはならない。</p> <p>i) 被覆管は 3.4 e) 又はこれと同等の方法によって超音波探傷試験を行った場合、対比試験片の人工きずからの信号と同等、又はそれより大きい欠陥信号があってはならない。</p> <p>3.2 寸法許容差</p> <p>被覆管の寸法許容差は、設計上必要な値としている。</p> <p style="text-align: center;">2-8</p>	—	<p>左記記載のうち品質については、「実用発電用原子炉及びその付属施設の技術基準に関する規則の解釈」における「燃料体に関する要求事項（別記-10）の記載事項と同じ内容であり、本設工認においては基本設計方針にて、それら要求事項に従う旨を記載している。また、検査方法等については、本設工認における工事の方法にて、全施設を網羅するように工事の手順、使用前事業者検査の方法等を記載している。以上のことから、当該記載については比較対象外。</p>

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>3.3 製造方法</p> <p>被覆管は、消耗電極式アーク炉によって真空中で溶製したインゴットから継ぎ目なく製造した原管を用い、これを冷間加工した後、適当な熱処理及び矯正を行う。</p> <p>3.4 試験</p> <p>試験は、次による。</p> <p>a) 化学成分及び不純物の分析試験方法並びに許容変動値は、表 3.4-1 による。</p> <p>b) 引張試験は、JIS Z 2241(1998)による。この場合の試験片は、JIS Z 2201 の 11 号試験片とする。ただし、荷重を加える速度は、耐力まではひずみ増加率 0.003～0.007mm/mm・min、耐力以降破断まではクロスヘッド速度で約 0.05 mm/mm・min まで増加することができる。</p> <p>引張試験に使用する心金の形状は図 3.4-1 とする。</p> <p>c) 腐食試験は、JIS H4751（1998）の附属書 2 による。</p> <p>d) 水素化物方位試験は、JIS H4751（1998）の附属書 3 による。</p> <p>e) 超音波探傷試験は、JIS H4751（1998）の附属書 4 による。</p> <p>3.5 検査</p> <p>検査は、次による。</p> <p>a) 被覆管は、外観、寸法を検査するとともに、第 3.4 節によって試験を行い、第 3.1 節及び第 3.2 節の規定に適合しなければならない。</p> <p>b) 酸素、水素及び窒素については、同一インゴットを用い、同一加工条件で同時熱処理を施した一組の管から任意に 2 本の供試管をとって、それぞれの管から分析試験片をとる。</p> <p>酸素、水素及び窒素以外の元素については、同一インゴット又は中間製品からそのインゴットの上部、中央部、下部又はこれに対応する位置から各々 1 個の分析試験片をとる。</p> <p>c) 引張試験及び腐食試験の試験片は、同一インゴットを用い、同一加工条件で同時熱処理を施した一組の管から任意に 2 本の供試管をとって、それぞれの管から引張試験及び腐食試験の試験片を各 1 個とる。</p> <p style="text-align: center;">2-9</p>	—	<p>前頁と同じ。</p>

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>d) 水素化物方位試験の試験片は、同一インゴットを用い、同一加工条件で同時熱処理を施した一組の管から任意に1本の供試管をとって、その管から水素化物方位試験の試験片を1個とる。</p> <p>e) 寸法試験及び超音波探傷試験は、全長にわたり行う。</p> <p>f) そのほかの一般事項は、JIS H0321による。</p> <p>3.6 表示</p> <p>被覆管は、1束ごと又は1包装ごとに適切な方法によって識別を行い、管理することとしている。</p> <p style="text-align: center;">2-10</p>	—	<p>前頁と同じ。</p>

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<p>4. 参考文献</p> <p>[1] 原子力安全・保安部会 原子炉安全小委員会, “PWR 燃料の高燃焼度化（ステップ2）及び燃料の高燃焼度化に係る安全研究の現状と課題について”, 平成 13 年 12 月 7 日</p> <p>[2] 三菱原子燃料株式会社, “三菱 PWR 高燃焼度化ステップ 2 燃料の機械設計”, MNF-1001 改 0, 平成 21 年 6 月</p> <p>[3] S.T Mahmood et al., “Post-Irradiation Characterization of Ultra-High-Fluence Zircaloy-2 Plate”, ASTM STP 1354, 2000</p> <p>[4] (財)原子力発電技術機構、平成 13 年度 高燃焼度等燃料安全試験に関する報告書（PWR 高燃焼度燃料 総合評価編）、平成 14 年 3 月</p> <p>[5] (財)原子力安全研究協会 “軽水炉燃料のふるまい” 実務テキストシリーズ No.3 平成 10 年 7 月</p>	<p>—</p>	<p>特認の参考文献を示している ものであり、比較対象外。</p>

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所

表 1

特認 (川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体)	設工認 (川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体)	備考																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
<p style="text-align: center;">表 1-1 化学成分</p> <p style="text-align: right;">単位：wt%</p> <table border="1" data-bbox="270 390 1056 716"> <thead> <tr> <th>合金名 化学成分</th> <th>MDA</th> <th>ZIRLO</th> <th>ジルカロイ-4 *1 (参考)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Sn</td><td>0.70~0.90</td><td>0.90~1.30</td><td>1.20~1.70</td></tr> <tr><td>Fe</td><td>0.18~0.24</td><td>0.08~0.12</td><td>0.18~0.24</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0.07~0.13</td><td>---</td><td>0.07~0.13</td></tr> <tr><td>Fe+Cr</td><td>0.28~0.37</td><td>---</td><td>0.28~0.37</td></tr> <tr><td>Nb</td><td>0.45~0.55</td><td>0.80~1.20</td><td>---</td></tr> <tr><td>O</td><td>■</td><td>■</td><td>■ *2</td></tr> <tr><td>Zr</td><td>残部</td><td>残部</td><td>残部</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">表 1-2 不純物</p> <p style="text-align: right;">単位：wt%</p> <table border="1" data-bbox="270 806 1056 1528"> <thead> <tr> <th>合金名 不純物</th> <th>MDA</th> <th>ZIRLO*3</th> <th>ジルカロイ-4 *1 (参考)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Al</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.0075 以下</td></tr> <tr><td>B</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.00005 以下</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.0030 以下</td></tr> <tr><td>Cd</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.00005 以下</td></tr> <tr><td>C</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.027 以下</td></tr> <tr><td>Co</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.0020 以下</td></tr> <tr><td>Cu</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.0050 以下</td></tr> <tr><td>Hf</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.010 以下</td></tr> <tr><td>H</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.0025 以下</td></tr> <tr><td>Mg</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.0020 以下</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.0050 以下</td></tr> <tr><td>Mo</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.0050 以下</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.0070 以下</td></tr> <tr><td>N</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.0080 以下</td></tr> <tr><td>Nb</td><td>---</td><td>---</td><td>0.0100 以下</td></tr> <tr><td>Si</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.0120 以下</td></tr> <tr><td>Ti</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.0050 以下</td></tr> <tr><td>U</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.00035 以下</td></tr> <tr><td>W</td><td>■ 以下</td><td>■ 以下</td><td>0.010 以下</td></tr> </tbody> </table> <p>*1 JIS H4751 (1998) ZrTN 804D *2 酸素は、JIS H4751 (1998) ZrTN 804D では規定されていない。 *3 ZIRLO: Cr は ■ wt%以下</p>	合金名 化学成分	MDA	ZIRLO	ジルカロイ-4 *1 (参考)	Sn	0.70~0.90	0.90~1.30	1.20~1.70	Fe	0.18~0.24	0.08~0.12	0.18~0.24	Cr	0.07~0.13	---	0.07~0.13	Fe+Cr	0.28~0.37	---	0.28~0.37	Nb	0.45~0.55	0.80~1.20	---	O	■	■	■ *2	Zr	残部	残部	残部	合金名 不純物	MDA	ZIRLO*3	ジルカロイ-4 *1 (参考)	Al	■ 以下	■ 以下	0.0075 以下	B	■ 以下	■ 以下	0.00005 以下	Ca	■ 以下	■ 以下	0.0030 以下	Cd	■ 以下	■ 以下	0.00005 以下	C	■ 以下	■ 以下	0.027 以下	Co	■ 以下	■ 以下	0.0020 以下	Cu	■ 以下	■ 以下	0.0050 以下	Hf	■ 以下	■ 以下	0.010 以下	H	■ 以下	■ 以下	0.0025 以下	Mg	■ 以下	■ 以下	0.0020 以下	Mn	■ 以下	■ 以下	0.0050 以下	Mo	■ 以下	■ 以下	0.0050 以下	Ni	■ 以下	■ 以下	0.0070 以下	N	■ 以下	■ 以下	0.0080 以下	Nb	---	---	0.0100 以下	Si	■ 以下	■ 以下	0.0120 以下	Ti	■ 以下	■ 以下	0.0050 以下	U	■ 以下	■ 以下	0.00035 以下	W	■ 以下	■ 以下	0.010 以下	<p style="text-align: center;">(添付資料4)</p> <p style="text-align: center;">第 2-1 表 燃料集合体の主な構成部品の材料及び各材料の化学成分(2/5)</p> <table border="1" data-bbox="1380 422 2231 1465"> <thead> <tr> <th rowspan="2">構成部品</th> <th rowspan="2">材料の種類</th> <th colspan="2">主成分(wt%)</th> <th colspan="8">不 純 物(ppm)</th> </tr> <tr> <th>Sn</th> <th>Fe+Cr</th> <th>Al</th> <th>B</th> <th>Ca</th> <th>Cd</th> <th>C</th> <th>Co</th> <th>Cu</th> <th>Hf</th> <th>Mg</th> <th>Mn</th> <th>Ni</th> <th>Nb</th> <th>Si</th> <th>Ti</th> <th>U</th> <th>W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">燃料被覆材</td> <td rowspan="7">Sn-Fe-Cr-Nb系ジルコニウム合金 (注5)</td> <td>Sn</td> <td>0.70/0.90</td> <td>Al</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Cu</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>N</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Hf</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Si</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Ti</td> <td>≦</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>0.18/0.24</td> <td>B</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Hf</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>N</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Si</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Ti</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>U</td> <td>≦</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>Cr</td> <td>0.07/0.13</td> <td>Ca</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>H</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Si</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Ti</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>U</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>W</td> <td>≦</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>Fe+Cr</td> <td>0.28/0.37</td> <td>Cd</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Mg</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Ti</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>U</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>W</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nb</td> <td>0.45/0.55</td> <td>C</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Mn</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>U</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>W</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>■</td> <td>Mo</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>W</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zr</td> <td>残部</td> <td>Co</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Ni</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">Sn-Fe-Nb系ジルコニウム合金 (注6)</td> <td>Sn</td> <td>0.90/1.30</td> <td>Al</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Cr</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Ni</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>0.08/0.12</td> <td>B</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Cu</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>N</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nb</td> <td>0.80/1.20</td> <td>Ca</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Hf</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Si</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>■</td> <td>Cd</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>H</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Si</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zr</td> <td>残部</td> <td>C</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Mg</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td>Ti</td> <td>≦</td> <td>■</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="6">制御棒案内 炉内計装用 案内 シンプル 中間部 スリーブ</td> <td rowspan="6">Sn-Fe-Cr系 ジルコニウム 合金 (注7) (ASTM B353 Grade R60804)</td> <td>Sn</td> <td>1.20/1.70</td> <td>Al</td> <td>≦</td> <td>75</td> <td>Hf</td> <td>≦</td> <td>100</td> <td>Nb</td> <td>≦</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>0.18/0.24</td> <td>B</td> <td>≦</td> <td>0.5</td> <td>H</td> <td>≦</td> <td>25</td> <td>Si</td> <td>≦</td> <td>120</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cr</td> <td>0.07/0.13</td> <td>Ca</td> <td>≦</td> <td>30</td> <td>Mg</td> <td>≦</td> <td>20</td> <td>Ti</td> <td>≦</td> <td>50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fe+Cr</td> <td>0.28/0.37</td> <td>Cd</td> <td>≦</td> <td>0.5</td> <td>Mn</td> <td>≦</td> <td>50</td> <td>U</td> <td>≦</td> <td>3.5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>■</td> <td>C</td> <td>≦</td> <td>270</td> <td>Mo</td> <td>≦</td> <td>50</td> <td>W</td> <td>≦</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zr</td> <td>残部</td> <td>Co</td> <td>≦</td> <td>20</td> <td>Ni</td> <td>≦</td> <td>70</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="6">燃料被覆材 端 栓</td> <td rowspan="6">Sn-Fe-Cr系 ジルコニウム 合金 (注7) (ASTM B351 Grade R60804, JIS H4751 ZrTN 804D 相当)</td> <td>Sn</td> <td>1.20/1.70</td> <td>Al</td> <td>≦</td> <td>75</td> <td>Hf</td> <td>≦</td> <td>100</td> <td>Nb</td> <td>≦</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>0.18/0.24</td> <td>B</td> <td>≦</td> <td>0.5</td> <td>H</td> <td>≦</td> <td>25</td> <td>Si</td> <td>≦</td> <td>120</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cr</td> <td>0.07/0.13</td> <td>Ca</td> <td>≦</td> <td>30</td> <td>Mg</td> <td>≦</td> <td>20</td> <td>Ti</td> <td>≦</td> <td>50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fe+Cr</td> <td>0.28/0.37</td> <td>Cd</td> <td>≦</td> <td>0.5</td> <td>Mn</td> <td>≦</td> <td>50</td> <td>U</td> <td>≦</td> <td>3.5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>■</td> <td>C</td> <td>≦</td> <td>270</td> <td>Mo</td> <td>≦</td> <td>50</td> <td>W</td> <td>≦</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zr</td> <td>残部</td> <td>Co</td> <td>≦</td> <td>20</td> <td>Ni</td> <td>≦</td> <td>70</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	構成部品	材料の種類	主成分(wt%)		不 純 物(ppm)								Sn	Fe+Cr	Al	B	Ca	Cd	C	Co	Cu	Hf	Mg	Mn	Ni	Nb	Si	Ti	U	W	燃料被覆材	Sn-Fe-Cr-Nb系ジルコニウム合金 (注5)	Sn	0.70/0.90	Al	≦	■	Cu	≦	■	N	≦	■	Hf	≦	■	Si	≦	■	Ti	≦	■	Fe	0.18/0.24	B	≦	■	Hf	≦	■	N	≦	■	Si	≦	■	Ti	≦	■	U	≦	■	Cr	0.07/0.13	Ca	≦	■	H	≦	■	Si	≦	■	Ti	≦	■	U	≦	■	W	≦	■	Fe+Cr	0.28/0.37	Cd	≦	■	Mg	≦	■	Ti	≦	■	U	≦	■	W	≦	■				Nb	0.45/0.55	C	≦	■	Mn	≦	■	U	≦	■	W	≦	■							O	■	Mo	≦	■	W	≦	■													Zr	残部	Co	≦	■	Ni	≦	■													Sn-Fe-Nb系ジルコニウム合金 (注6)	Sn	0.90/1.30	Al	≦	■	Cr	≦	■	Ni	≦	■										Fe	0.08/0.12	B	≦	■	Cu	≦	■	N	≦	■										Nb	0.80/1.20	Ca	≦	■	Hf	≦	■	Si	≦	■										O	■	Cd	≦	■	H	≦	■	Si	≦	■										Zr	残部	C	≦	■	Mg	≦	■	Ti	≦	■										制御棒案内 炉内計装用 案内 シンプル 中間部 スリーブ	Sn-Fe-Cr系 ジルコニウム 合金 (注7) (ASTM B353 Grade R60804)	Sn	1.20/1.70	Al	≦	75	Hf	≦	100	Nb	≦	100									Fe	0.18/0.24	B	≦	0.5	H	≦	25	Si	≦	120									Cr	0.07/0.13	Ca	≦	30	Mg	≦	20	Ti	≦	50									Fe+Cr	0.28/0.37	Cd	≦	0.5	Mn	≦	50	U	≦	3.5									O	■	C	≦	270	Mo	≦	50	W	≦	100									Zr	残部	Co	≦	20	Ni	≦	70												燃料被覆材 端 栓	Sn-Fe-Cr系 ジルコニウム 合金 (注7) (ASTM B351 Grade R60804, JIS H4751 ZrTN 804D 相当)	Sn	1.20/1.70	Al	≦	75	Hf	≦	100	Nb	≦	100									Fe	0.18/0.24	B	≦	0.5	H	≦	25	Si	≦	120									Cr	0.07/0.13	Ca	≦	30	Mg	≦	20	Ti	≦	50									Fe+Cr	0.28/0.37	Cd	≦	0.5	Mn	≦	50	U	≦	3.5									O	■	C	≦	270	Mo	≦	50	W	≦	100									Zr	残部	Co	≦	20	Ni	≦	70												<p>ジルカロイ-4は本申請対象の燃料被覆材には使用されていないため、設工認申請書には記載していない。</p>
合金名 化学成分	MDA	ZIRLO	ジルカロイ-4 *1 (参考)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Sn	0.70~0.90	0.90~1.30	1.20~1.70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Fe	0.18~0.24	0.08~0.12	0.18~0.24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Cr	0.07~0.13	---	0.07~0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Fe+Cr	0.28~0.37	---	0.28~0.37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Nb	0.45~0.55	0.80~1.20	---																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
O	■	■	■ *2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Zr	残部	残部	残部																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
合金名 不純物	MDA	ZIRLO*3	ジルカロイ-4 *1 (参考)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Al	■ 以下	■ 以下	0.0075 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
B	■ 以下	■ 以下	0.00005 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Ca	■ 以下	■ 以下	0.0030 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Cd	■ 以下	■ 以下	0.00005 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
C	■ 以下	■ 以下	0.027 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Co	■ 以下	■ 以下	0.0020 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Cu	■ 以下	■ 以下	0.0050 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Hf	■ 以下	■ 以下	0.010 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
H	■ 以下	■ 以下	0.0025 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Mg	■ 以下	■ 以下	0.0020 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Mn	■ 以下	■ 以下	0.0050 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Mo	■ 以下	■ 以下	0.0050 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Ni	■ 以下	■ 以下	0.0070 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
N	■ 以下	■ 以下	0.0080 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Nb	---	---	0.0100 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Si	■ 以下	■ 以下	0.0120 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Ti	■ 以下	■ 以下	0.0050 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
U	■ 以下	■ 以下	0.00035 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
W	■ 以下	■ 以下	0.010 以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
構成部品	材料の種類	主成分(wt%)		不 純 物(ppm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		Sn	Fe+Cr	Al	B	Ca	Cd	C	Co	Cu	Hf	Mg	Mn	Ni	Nb	Si	Ti	U	W																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
燃料被覆材	Sn-Fe-Cr-Nb系ジルコニウム合金 (注5)	Sn	0.70/0.90	Al	≦	■	Cu	≦	■	N	≦	■	Hf	≦	■	Si	≦	■	Ti	≦	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		Fe	0.18/0.24	B	≦	■	Hf	≦	■	N	≦	■	Si	≦	■	Ti	≦	■	U	≦	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		Cr	0.07/0.13	Ca	≦	■	H	≦	■	Si	≦	■	Ti	≦	■	U	≦	■	W	≦	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		Fe+Cr	0.28/0.37	Cd	≦	■	Mg	≦	■	Ti	≦	■	U	≦	■	W	≦	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		Nb	0.45/0.55	C	≦	■	Mn	≦	■	U	≦	■	W	≦	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		O	■	Mo	≦	■	W	≦	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
		Zr	残部	Co	≦	■	Ni	≦	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	Sn-Fe-Nb系ジルコニウム合金 (注6)	Sn	0.90/1.30	Al	≦	■	Cr	≦	■	Ni	≦	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Fe	0.08/0.12	B	≦	■	Cu	≦	■	N	≦	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Nb	0.80/1.20	Ca	≦	■	Hf	≦	■	Si	≦	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
O		■	Cd	≦	■	H	≦	■	Si	≦	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Zr	残部	C	≦	■	Mg	≦	■	Ti	≦	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
制御棒案内 炉内計装用 案内 シンプル 中間部 スリーブ	Sn-Fe-Cr系 ジルコニウム 合金 (注7) (ASTM B353 Grade R60804)	Sn	1.20/1.70	Al	≦	75	Hf	≦	100	Nb	≦	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Fe	0.18/0.24	B	≦	0.5	H	≦	25	Si	≦	120																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Cr	0.07/0.13	Ca	≦	30	Mg	≦	20	Ti	≦	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Fe+Cr	0.28/0.37	Cd	≦	0.5	Mn	≦	50	U	≦	3.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		O	■	C	≦	270	Mo	≦	50	W	≦	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Zr	残部	Co	≦	20	Ni	≦	70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
燃料被覆材 端 栓	Sn-Fe-Cr系 ジルコニウム 合金 (注7) (ASTM B351 Grade R60804, JIS H4751 ZrTN 804D 相当)	Sn	1.20/1.70	Al	≦	75	Hf	≦	100	Nb	≦	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Fe	0.18/0.24	B	≦	0.5	H	≦	25	Si	≦	120																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Cr	0.07/0.13	Ca	≦	30	Mg	≦	20	Ti	≦	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Fe+Cr	0.28/0.37	Cd	≦	0.5	Mn	≦	50	U	≦	3.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		O	■	C	≦	270	Mo	≦	50	W	≦	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Zr	残部	Co	≦	20	Ni	≦	70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

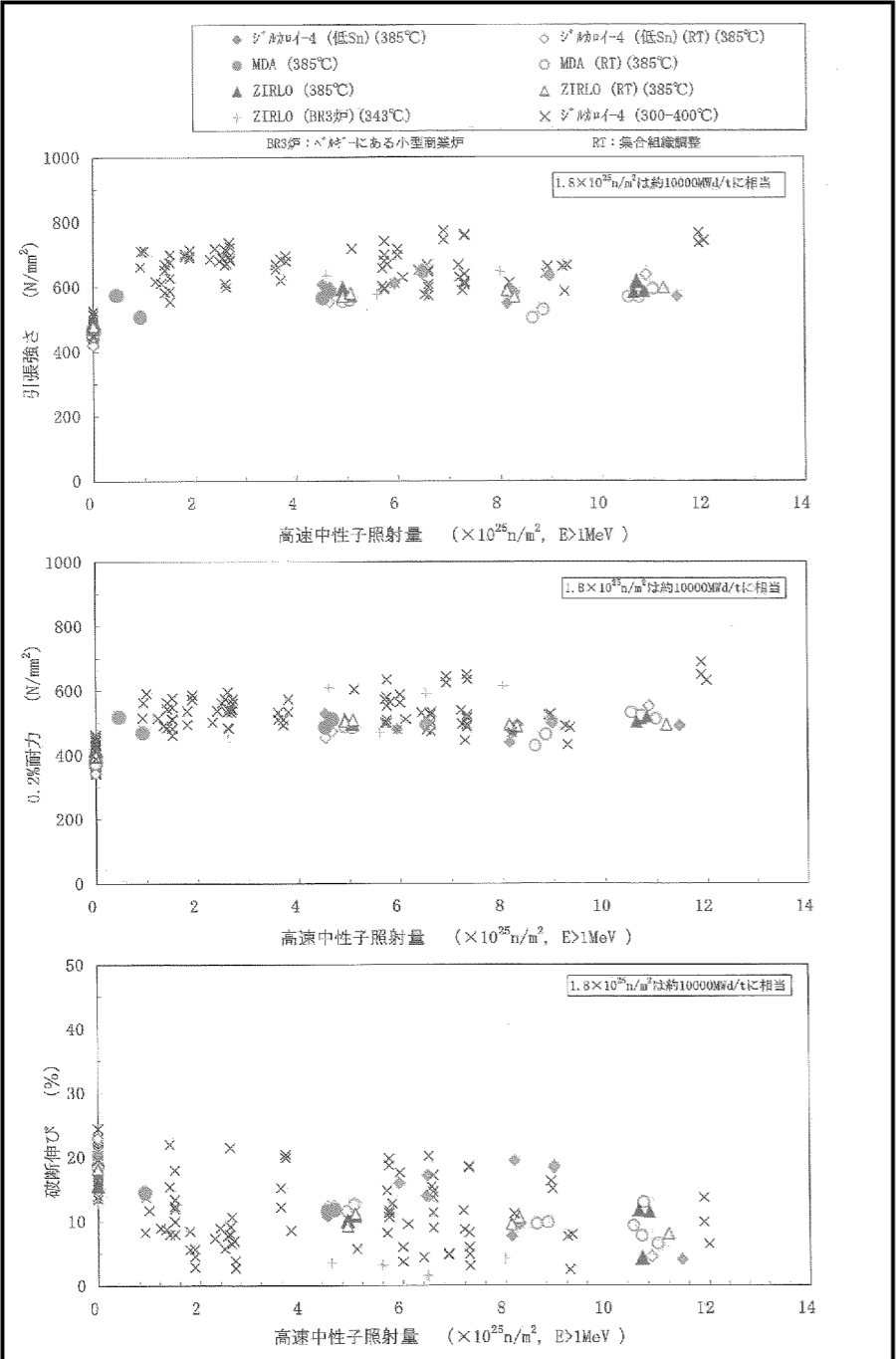
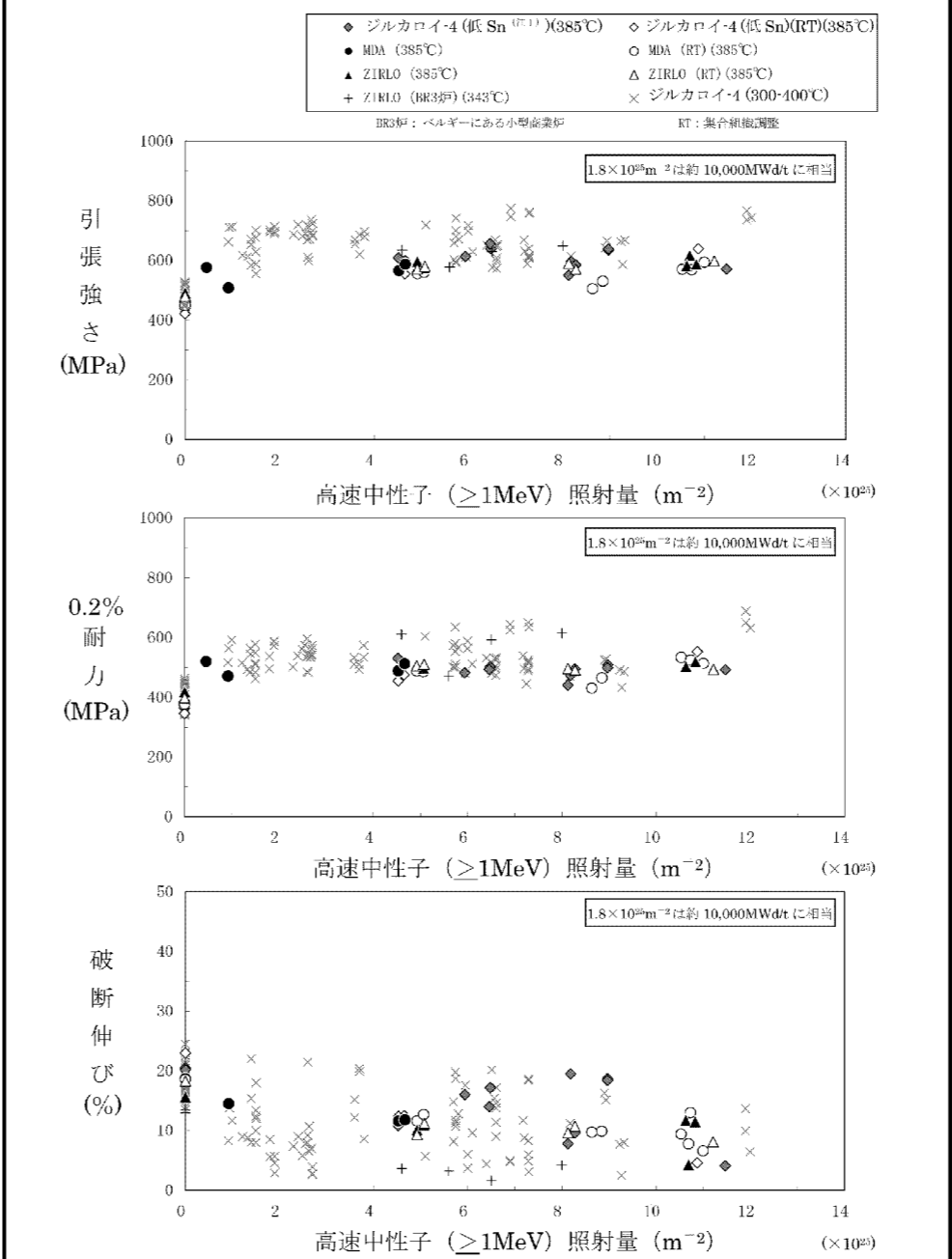
特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考																																																								
<p>表 2. 1-1 MDA及びZIRLOの溶融点測定結果^[1,2] 単位：℃</p> <table border="1" data-bbox="418 415 923 688"> <thead> <tr> <th>種類</th> <th>溶融点測定結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDA</td> <td>1,844</td> </tr> <tr> <td>ZIRLO</td> <td>1,842</td> </tr> <tr> <td>ジルカロイ-4（参考）</td> <td>1,825</td> </tr> </tbody> </table> <p>表 2. 1-2 MDA及びZIRLOの相変態温度測定結果^[2] 単位：℃</p> <table border="1" data-bbox="368 856 973 1094"> <thead> <tr> <th>種類</th> <th>$\alpha \rightarrow \alpha + \beta$</th> <th>$\alpha + \beta \rightarrow \beta$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDA</td> <td>780</td> <td>960</td> </tr> <tr> <td>ZIRLO</td> <td>770</td> <td>940</td> </tr> <tr> <td>ジルカロイ-4（参考）</td> <td>820</td> <td>970</td> </tr> </tbody> </table> <p>表 2. 4-1 MDA及びZIRLO被覆管の硬さの測定結果^[2] 単位：HK（ヌープ硬さ値）</p> <table border="1" data-bbox="451 1213 902 1465"> <thead> <tr> <th>種類</th> <th>平均値 (HK 0.1^[注1])</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDA</td> <td>206</td> </tr> <tr> <td>ZIRLO</td> <td>205</td> </tr> <tr> <td>ジルカロイ-4（参考）</td> <td>204</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1 HK0.1: ヌープ硬さ試験力 0.9807N</p>	種類	溶融点測定結果	MDA	1,844	ZIRLO	1,842	ジルカロイ-4（参考）	1,825	種類	$\alpha \rightarrow \alpha + \beta$	$\alpha + \beta \rightarrow \beta$	MDA	780	960	ZIRLO	770	940	ジルカロイ-4（参考）	820	970	種類	平均値 (HK 0.1 ^[注1])	MDA	206	ZIRLO	205	ジルカロイ-4（参考）	204	<p>(添付資料4)</p> <p>第 5-1 表 MDA 及び ZIRLO の溶融点測定結果⁽⁶⁾⁽⁴²⁾ (単位：℃)</p> <table border="1" data-bbox="1561 422 2086 695"> <thead> <tr> <th>種類</th> <th>溶融点測定結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDA</td> <td>1,844</td> </tr> <tr> <td>ZIRLO</td> <td>1,842</td> </tr> <tr> <td>ジルカロイ-4（参考）</td> <td>1,825</td> </tr> </tbody> </table> <p>第 5-2 表 MDA 及び ZIRLO の相変態温度測定結果⁽⁶⁾ (単位：℃)</p> <table border="1" data-bbox="1531 835 2119 1066"> <thead> <tr> <th>種類</th> <th>$\alpha \rightarrow \alpha + \beta$</th> <th>$\alpha + \beta \rightarrow \beta$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDA</td> <td>780</td> <td>960</td> </tr> <tr> <td>ZIRLO</td> <td>770</td> <td>940</td> </tr> <tr> <td>ジルカロイ-4（参考）</td> <td>820</td> <td>970</td> </tr> </tbody> </table> <p>第 5-3 表 MDA 及び ZIRLO 被覆管の硬さの測定結果⁽⁶⁾ (単位：HK（ヌープ硬さ値）)</p> <table border="1" data-bbox="1623 1203 2062 1455"> <thead> <tr> <th>種類</th> <th>平均値 (HK 0.1^(注1))</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MDA</td> <td>206</td> </tr> <tr> <td>ZIRLO</td> <td>205</td> </tr> <tr> <td>ジルカロイ-4（参考）</td> <td>204</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) HK 0.1: ヌープ硬さ試験力 0.9807N</p>	種類	溶融点測定結果	MDA	1,844	ZIRLO	1,842	ジルカロイ-4（参考）	1,825	種類	$\alpha \rightarrow \alpha + \beta$	$\alpha + \beta \rightarrow \beta$	MDA	780	960	ZIRLO	770	940	ジルカロイ-4（参考）	820	970	種類	平均値 (HK 0.1 ^(注1))	MDA	206	ZIRLO	205	ジルカロイ-4（参考）	204	
種類	溶融点測定結果																																																									
MDA	1,844																																																									
ZIRLO	1,842																																																									
ジルカロイ-4（参考）	1,825																																																									
種類	$\alpha \rightarrow \alpha + \beta$	$\alpha + \beta \rightarrow \beta$																																																								
MDA	780	960																																																								
ZIRLO	770	940																																																								
ジルカロイ-4（参考）	820	970																																																								
種類	平均値 (HK 0.1 ^[注1])																																																									
MDA	206																																																									
ZIRLO	205																																																									
ジルカロイ-4（参考）	204																																																									
種類	溶融点測定結果																																																									
MDA	1,844																																																									
ZIRLO	1,842																																																									
ジルカロイ-4（参考）	1,825																																																									
種類	$\alpha \rightarrow \alpha + \beta$	$\alpha + \beta \rightarrow \beta$																																																								
MDA	780	960																																																								
ZIRLO	770	940																																																								
ジルカロイ-4（参考）	820	970																																																								
種類	平均値 (HK 0.1 ^(注1))																																																									
MDA	206																																																									
ZIRLO	205																																																									
ジルカロイ-4（参考）	204																																																									

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所

表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考																																																				
<p>表 3. 4-1 化学成分及び不純物の分析試験方法並びに許容変動値</p> <p style="text-align: right;">単位：wt%</p> <table border="1" data-bbox="290 470 994 1304"> <thead> <tr> <th>化学成分 不純物</th> <th>分析試験方法</th> <th>許容変動値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Sn</td><td>JIS H 1659 又は JIS H 1669</td><td>0.050</td></tr> <tr><td>Fe</td><td>JIS H 1654 又は JIS H 1669</td><td>0.020</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>JIS H 1656 又は JIS H 1669</td><td>0.010</td></tr> <tr><td>Fe+Cr</td><td>—</td><td>0.020</td></tr> <tr><td>Nb</td><td>JIS H 1668-71</td><td style="border: 2px solid black;">0.010</td></tr> <tr><td>O</td><td>JIS H 1665</td><td>0.020</td></tr> <tr><td>Al</td><td>JIS H 1661</td><td rowspan="16" style="border: 2px solid black;"></td></tr> <tr><td>B</td><td>JIS H 1670-82</td></tr> <tr><td>C</td><td>JIS H 1663</td></tr> <tr><td>Cd</td><td>JIS H 1671-82</td></tr> <tr><td>Co</td><td>JIS H 1658</td></tr> <tr><td>Cu</td><td>JIS H 1657</td></tr> <tr><td>Hf</td><td>JIS H 1667</td></tr> <tr><td>H</td><td>JIS H 1664</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>JIS H 1652</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>JIS H 1655 又は JIS H 1669</td></tr> <tr><td>N</td><td>JIS H 1653</td></tr> <tr><td>Si</td><td>JIS H 1660</td></tr> <tr><td>Ti</td><td>JIS H 1662</td></tr> <tr><td>U</td><td>JIS H 1672-82</td></tr> <tr><td>W</td><td>JIS H 1674-92</td></tr> </tbody> </table> <p>備考 1. 許容変動値とは、注文者が管の受入分析試験を行った場合、規格値の上限又は下限を超えて許容される値をいう。</p> <p>2. 日本工業規格以外の分析試験方法を適用する場合は、上記の許容変動値を満足する分析試験方法を適用する。</p> <p>3. MDA及びZIRLO被覆管のNb許容変動値は、0.010に従う。</p> <p>4. MDA及びZIRLO被覆管のNi許容変動値は、0.010</p> <p>5. ZIRLO被覆管のCr許容変動値は、0.010</p>	化学成分 不純物	分析試験方法	許容変動値	Sn	JIS H 1659 又は JIS H 1669	0.050	Fe	JIS H 1654 又は JIS H 1669	0.020	Cr	JIS H 1656 又は JIS H 1669	0.010	Fe+Cr	—	0.020	Nb	JIS H 1668-71	0.010	O	JIS H 1665	0.020	Al	JIS H 1661		B	JIS H 1670-82	C	JIS H 1663	Cd	JIS H 1671-82	Co	JIS H 1658	Cu	JIS H 1657	Hf	JIS H 1667	H	JIS H 1664	Mn	JIS H 1652	Ni	JIS H 1655 又は JIS H 1669	N	JIS H 1653	Si	JIS H 1660	Ti	JIS H 1662	U	JIS H 1672-82	W	JIS H 1674-92	—	<p>検査方法等については、本設工認における工事の方法にて、全施設を網羅するように工事の手順、使用前事業者検査の方法等を記載している。以上のことから、当該記載については比較対象外。</p>
化学成分 不純物	分析試験方法	許容変動値																																																				
Sn	JIS H 1659 又は JIS H 1669	0.050																																																				
Fe	JIS H 1654 又は JIS H 1669	0.020																																																				
Cr	JIS H 1656 又は JIS H 1669	0.010																																																				
Fe+Cr	—	0.020																																																				
Nb	JIS H 1668-71	0.010																																																				
O	JIS H 1665	0.020																																																				
Al	JIS H 1661																																																					
B	JIS H 1670-82																																																					
C	JIS H 1663																																																					
Cd	JIS H 1671-82																																																					
Co	JIS H 1658																																																					
Cu	JIS H 1657																																																					
Hf	JIS H 1667																																																					
H	JIS H 1664																																																					
Mn	JIS H 1652																																																					
Ni	JIS H 1655 又は JIS H 1669																																																					
N	JIS H 1653																																																					
Si	JIS H 1660																																																					
Ti	JIS H 1662																																																					
U	JIS H 1672-82																																																					
W	JIS H 1674-92																																																					

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
 <p>図 2.2-1 MDA及びZIRLO被覆管の機械特性^[1,2]</p> <p>2-15</p>	<p>(添付資料4)</p>  <p>第 5-1 図 MDA 及び ZIRLO 被覆管の機械特性⁽¹⁰⁾⁽¹³⁾⁽¹⁵⁾⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾⁽⁴²⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾⁽⁴⁶⁾</p> <p>(注 1) 仕様内で Sn 含有量を下限近くまで下げたもの。</p>	

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<div data-bbox="231 359 1101 1669"> <p>試験温度：360℃</p> <p>未照射材</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ シルカロイ-4 ● MDA ▲ ZIRLO <p>引張強度 (N/mm²)</p> <p>0.2%耐力 (N/mm²)</p> <p>破断伸び (%)</p> <p>水素濃度 (ppm)</p> <p>図 2-2-2 未照射被覆管の機械的特性と水素濃度の関係 [2]</p> <p>2-16</p> </div>	<div data-bbox="1389 344 2258 1707"> <p>(添付資料4)</p> <p>試験温度：360℃</p> <p>未照射材</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ シルカロイ-4 ● MDA ▲ ZIRLO <p>引張強度 (MPa)</p> <p>0.2%耐力 (MPa)</p> <p>破断伸び (%)</p> <p>水素濃度(ppm)</p> <p>第 5-2 図 未照射被覆管の機械的特性と水素濃度の関係④</p> </div>	

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）

設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）

備考

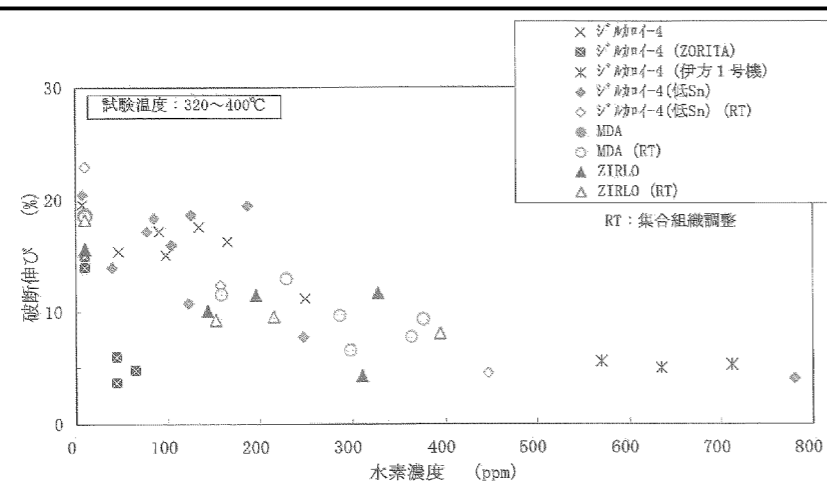
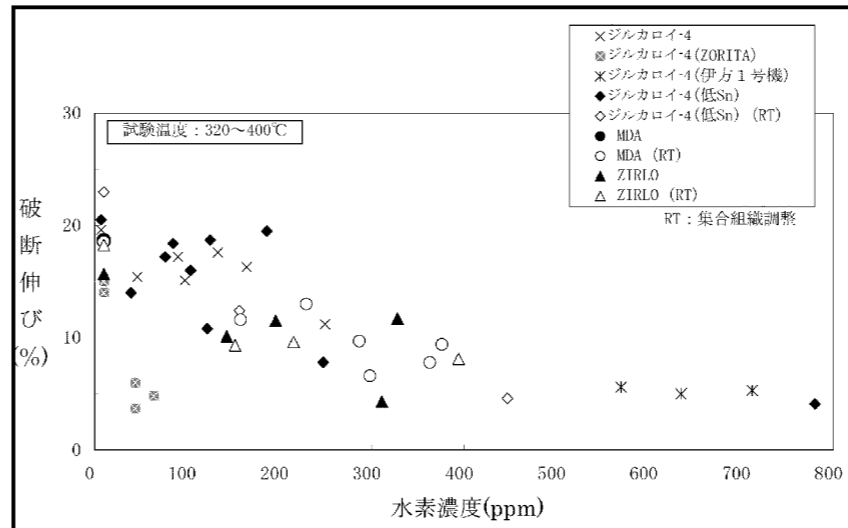


図 2.2-3 被覆管水素濃度と破断伸びの関係^[2]

(添付資料4)



第 5-3 図 被覆管水素濃度と破断伸びの関係⁽⁶⁾

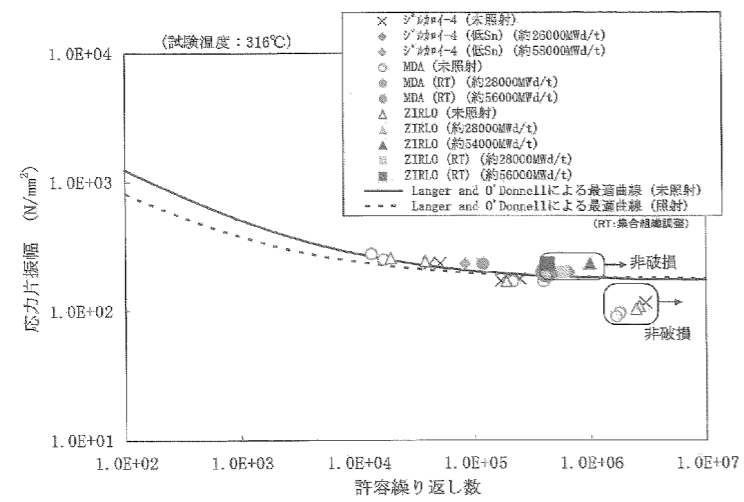
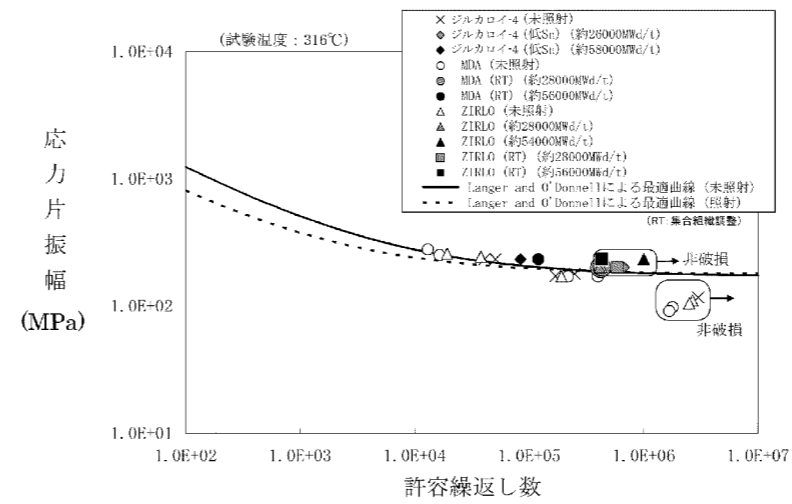


図 2.2-4 MDA及びZIRLO被覆管の疲労強度^[1,2]



第 5-4 図 MDA 及び ZIRLO 被覆管の疲労強度⁽²⁶⁾⁽¹²⁾⁽¹⁷⁾⁽⁴⁸⁾

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）

設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）

備考

(添付資料4)

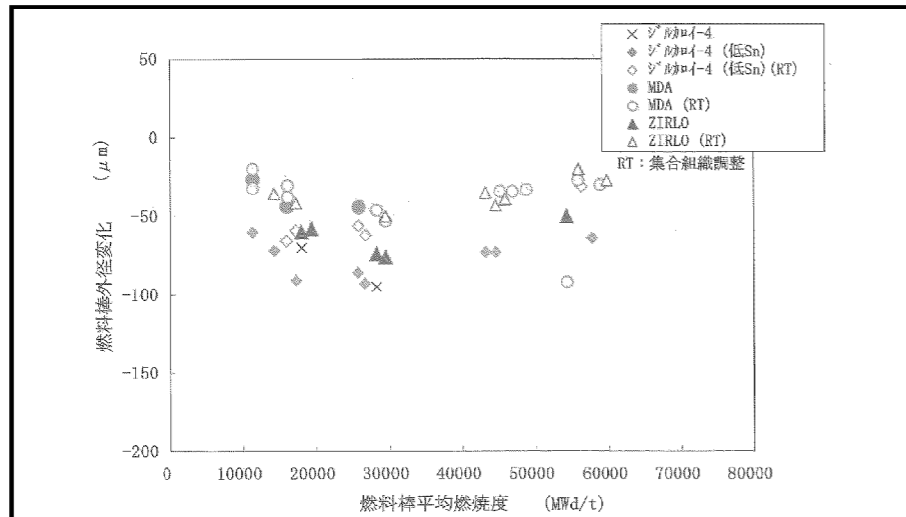
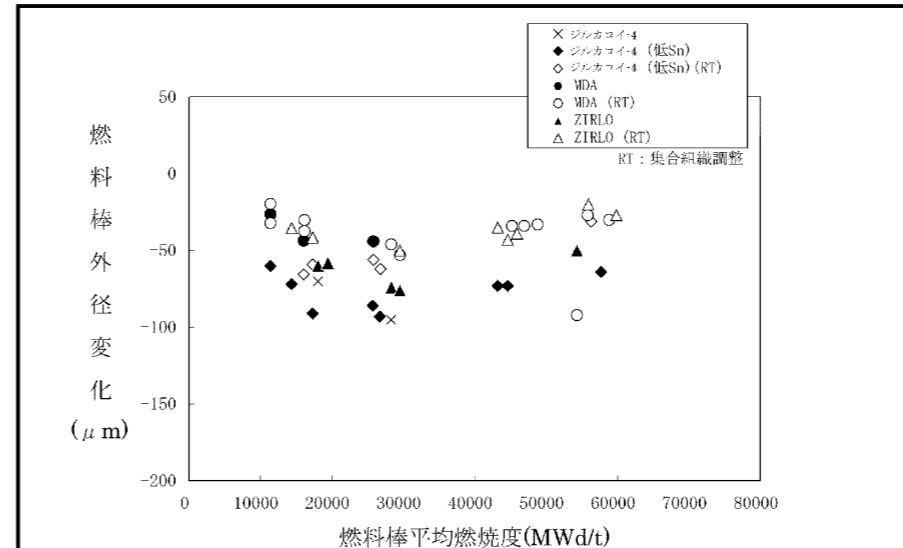


図 2.2-5 燃料棒外径変化（実機照射セグメント燃料棒） [1,2]



第 5-5 図 燃料棒外径変化（実機照射セグメント燃料棒） (26)(42)(49)

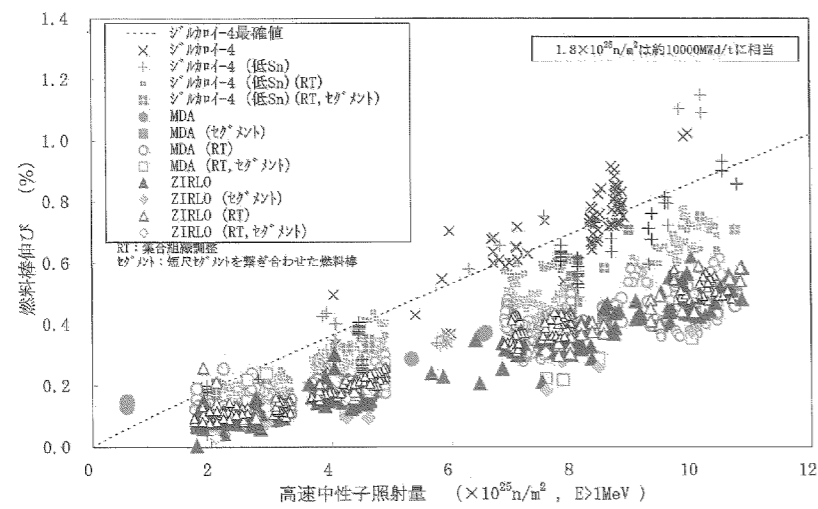
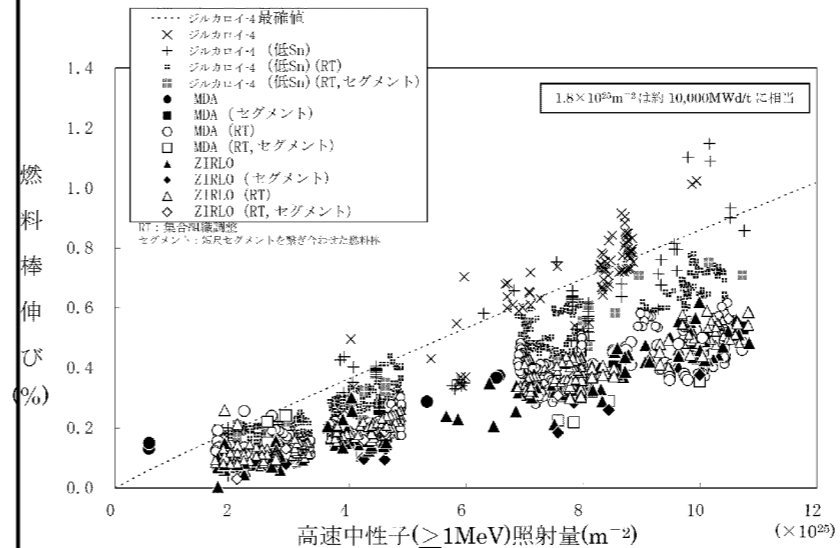


図 2.2-6 MDA及びZIRLO被覆管の照射成長 [2]



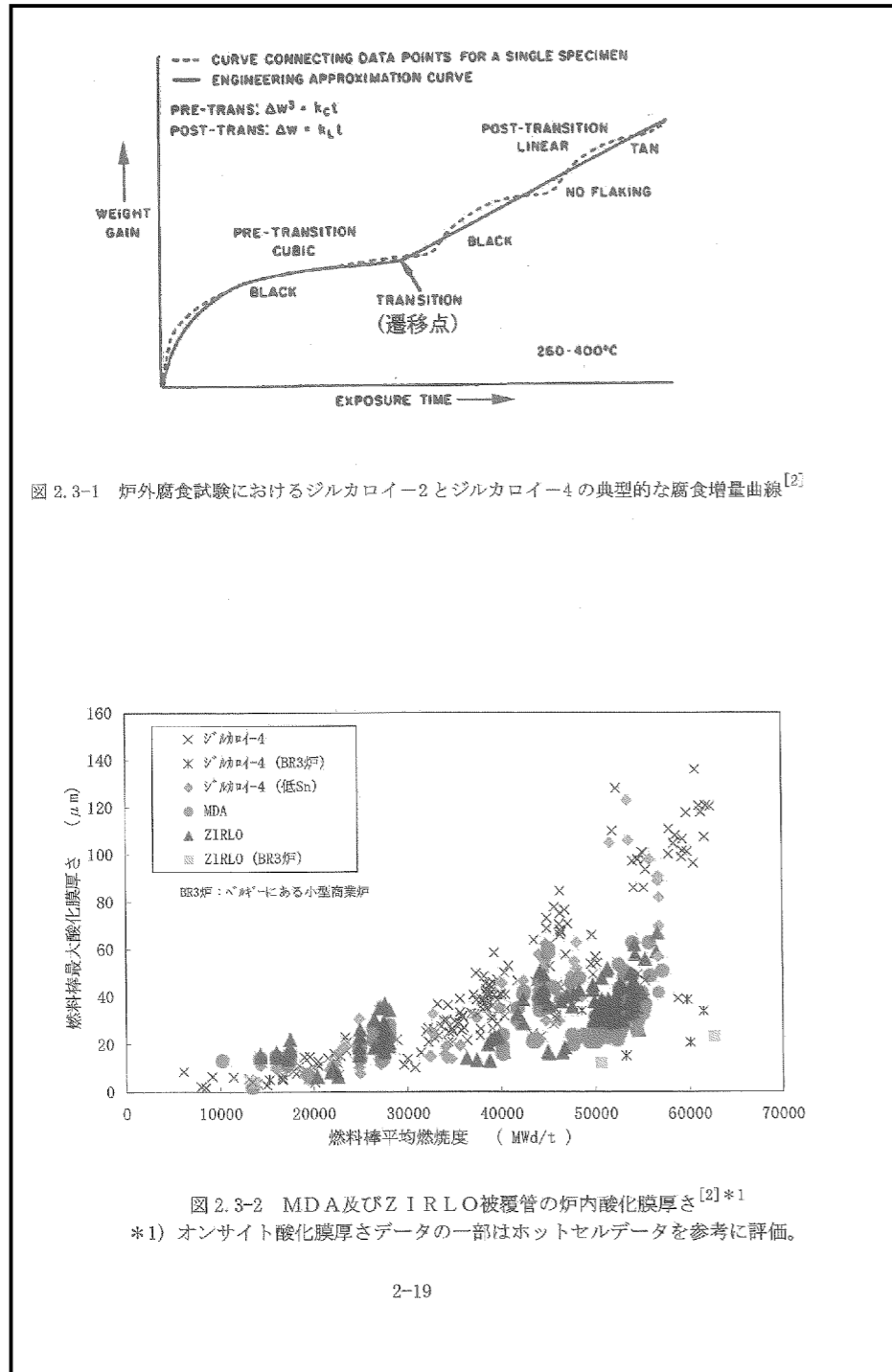
第 5-6 図 MDA 及び ZIRLO 被覆管の照射成長 (10)(13)(25)(50)(51)(52)(53)(54)(55)

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

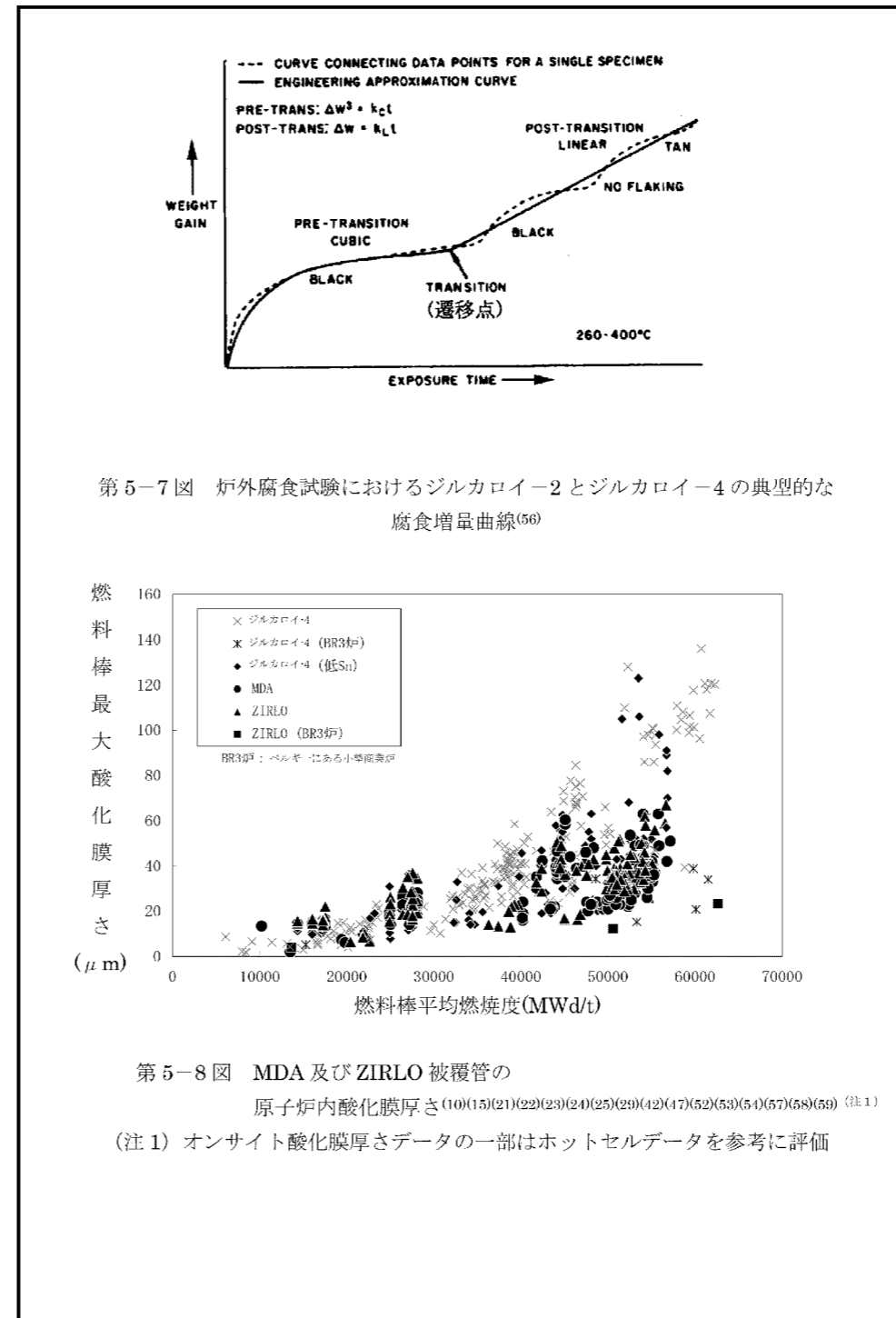
特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）

設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）

備考



(添付資料4)



下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<div data-bbox="296 378 949 840" data-label="Figure"> <p>360°C, 純水中</p> <p>○MDA ■ZIRLO ◇ジロコイ-4</p> <p>腐食速度 (mg/dm²/day)</p> <p>初期水素濃度 (ppm)</p> </div> <div data-bbox="445 850 890 892" data-label="Caption"> <p>図 2.3-3 水素吸収させた被覆管の炉外腐食速度^[2]</p> </div>		<div data-bbox="2404 357 2834 556" data-label="Text"> <p>腐食が急激に増加する領域においてもMDA及びZIRLO被覆管の耐食性が向上していることは前述（添付資料4第5-8図）にて説明している。</p> </div>

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）

設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）

備考

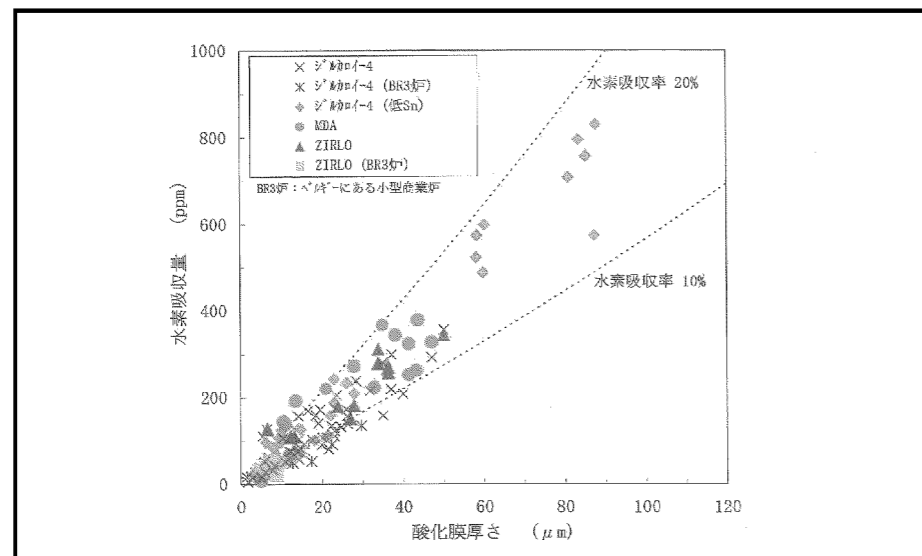
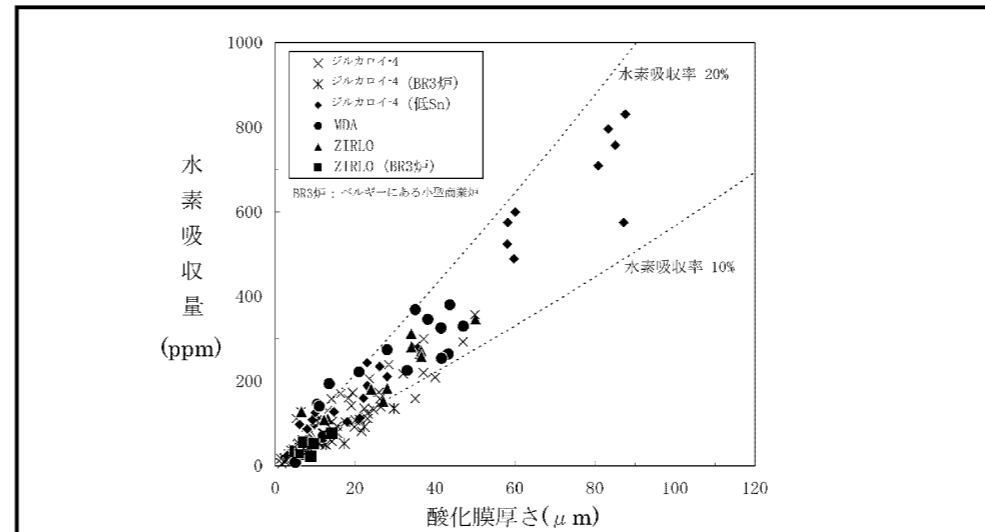


図 2.3-4 MDA及びZIRLO被覆管の炉内酸化膜厚さと水素吸収量の関係^[2]

(添付資料4)



第5-9図 MDA及びZIRLO被覆管の原子炉内酸化膜厚さと水素吸収量の関係(15)(21)(22)(24)(25)(26)(50)

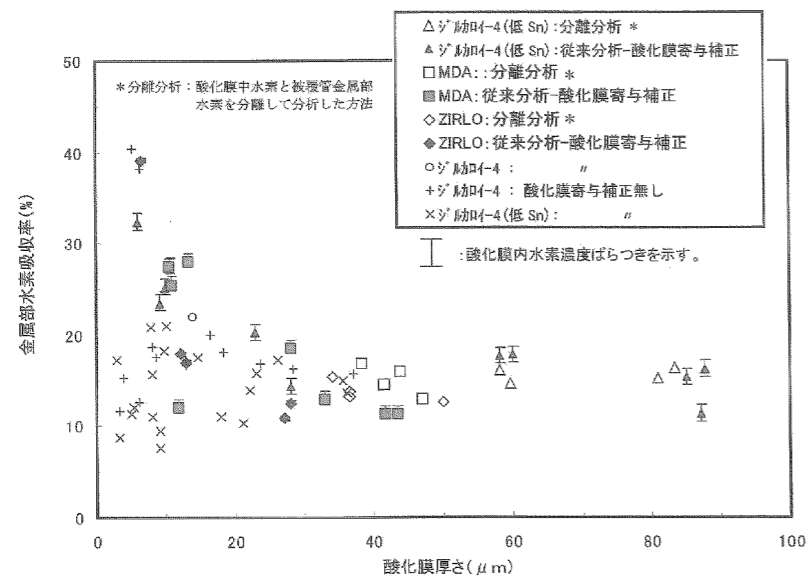
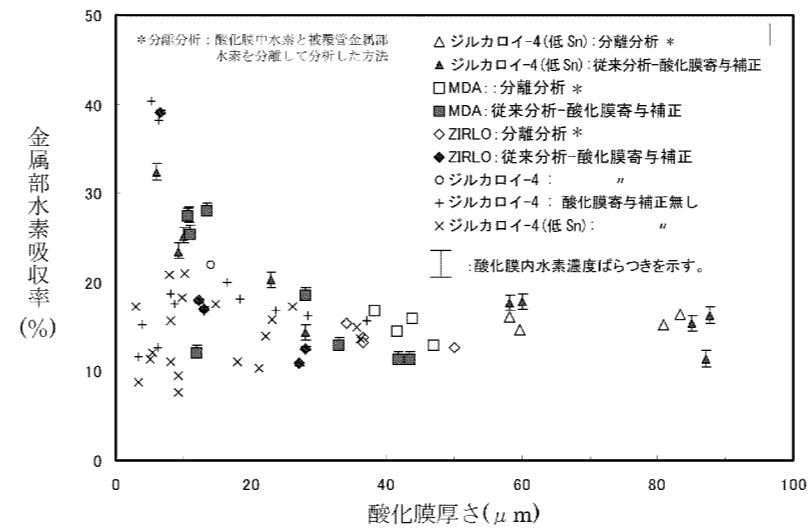


図 2.3-5 MDA及びZIRLO被覆管の酸化膜厚さと水素吸収率の関係^[4]



第5-10図 MDA及びZIRLO被覆管の原子炉内酸化膜厚さと水素吸収率の関係⁽¹²⁾

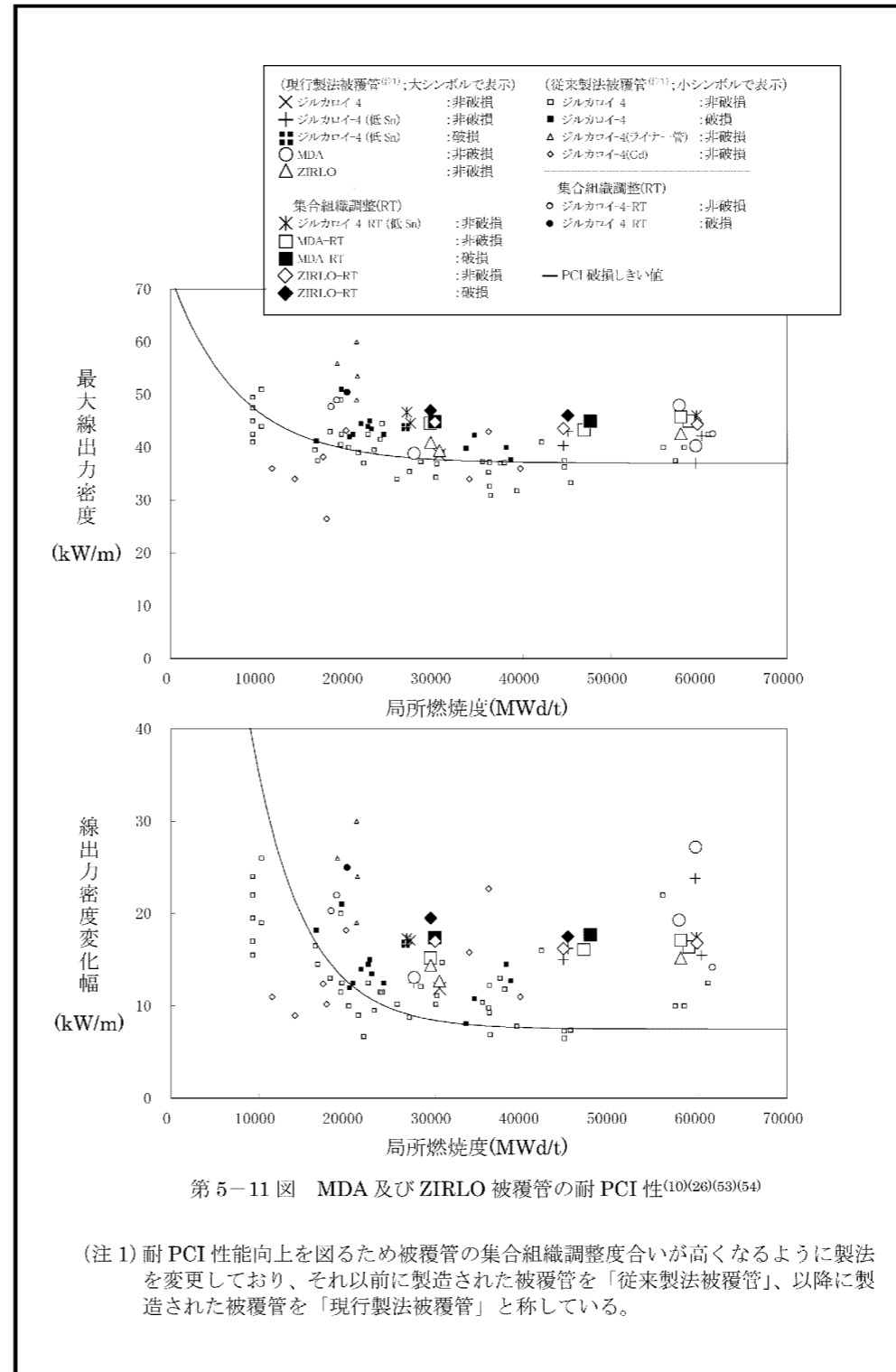
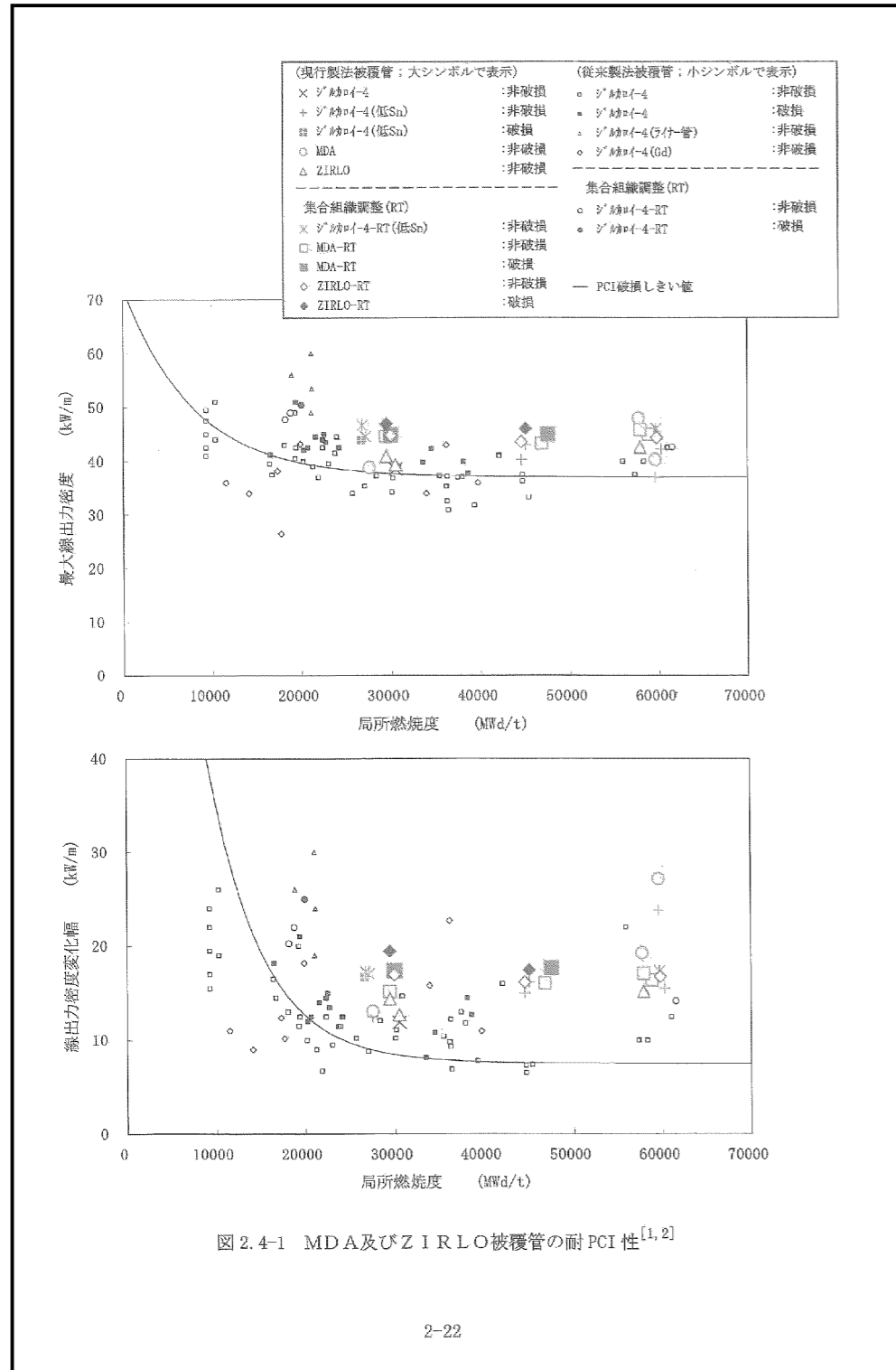
下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）

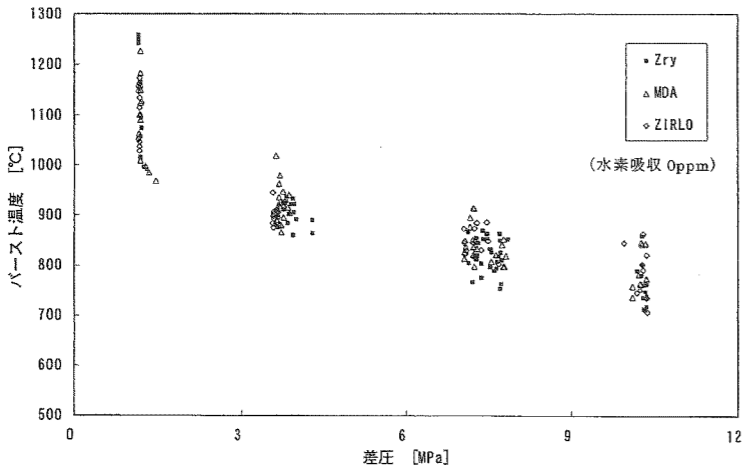
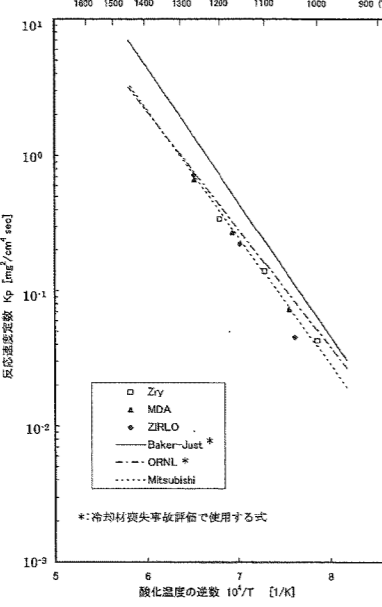
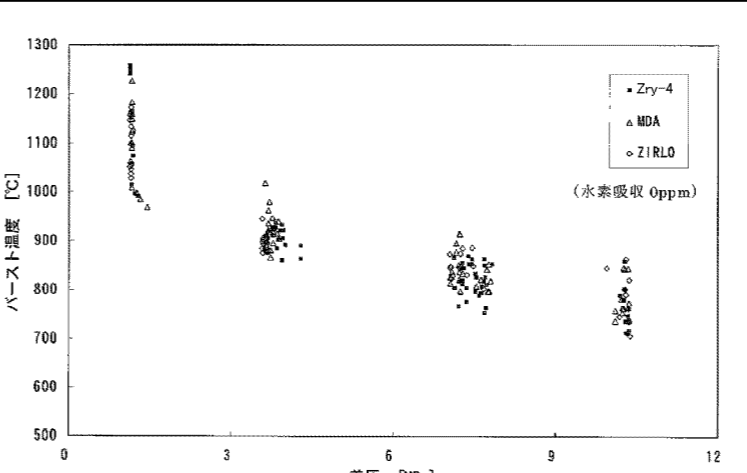
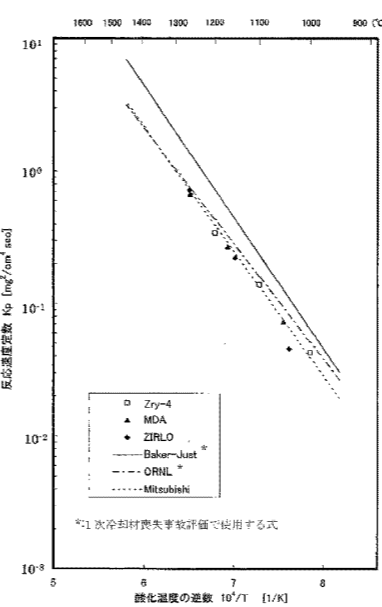
設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）

備考

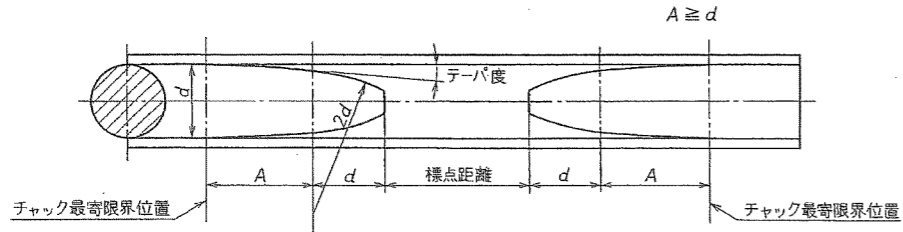
(添付資料4)



下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
<div data-bbox="189 310 1113 1669" style="border: 1px solid black; padding: 10px;">  <p data-bbox="400 829 875 850">図 2.4-2 未照射管のLOCA時破裂挙動試験結果（受取管）^[2]</p>  <p data-bbox="430 1533 875 1554">図 2.4-3 未照射管のジルコニウム-水反応速度定数（受取管）^[2]</p> <p data-bbox="623 1606 697 1627">2-23</p> </div>	<p data-bbox="1276 304 1424 325">(添付資料4)</p> <div data-bbox="1380 346 2300 1690" style="border: 1px solid black; padding: 10px;">  <p data-bbox="1513 829 2151 850">第 5-12 図 未照射管の LOCA 時破裂挙動試験結果（受取管）^[6]</p>  <p data-bbox="1498 1533 2166 1554">第 5-13 図 未照射管のジルコニウム-水反応速度定数（受取管）^[6]</p> </div>	

下線部及び黒枠部：特認と設工認の整合箇所、ハッチング部：備考欄に説明を追記している箇所
表 1

特認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	設工認（川内原子力発電所第1,2号機 A型燃料集合体）	備考
 <p data-bbox="566 779 765 804">図 3.4-1 心金の形状</p>	<p data-bbox="1825 1087 1855 1108">—</p>	<p data-bbox="2412 331 2831 598">検査方法等については、本設工認における工事の方法にて、全施設を網羅するように工事の手順、使用前事業者検査の方法等を記載している。以上のことから、当該記載については比較対象外。</p>