

# 輸入燃料体検査申請書

関原発 第 484号

2020年 1月31日

原子力規制委員会 殿

大阪市北区中之島3丁目6番16号

関西電力株式会社

取締役社長 岩根 茂樹

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第43の3の12第4項の規定により次のとおり輸入燃料体の検査を受けたいので申請します。

□内は商業機密のため、公開できません。

核燃料物質の種類	ウラン・プルトニウム混合酸化物
初期濃縮度*	(1)ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料体 (燃料体平均)  □ wt% <sup>(注2)</sup> (核分裂物質質量) □ wt% <sup>(注2)</sup> (プルトニウム含有率) □ wt% <sup>(注2)</sup> (核分裂性プルトニウム富化度) 0.20 wt% <sup>(注3)</sup> (ウラン 235 濃度) 約 4.1wt%濃縮ウラン燃料相当以下 (約 4.1wt%濃縮ウラン燃料相当の燃料体平均プルトニウム含有率 <sup>(注1)</sup> :約 □ wt%)  プルトニウム含有率 高プルトニウム □ wt% <sup>(注2)</sup> (核分裂物質質量) □ wt% <sup>(注2)</sup> (プルトニウム含有率) □ wt% <sup>(注2)</sup> (核分裂性プルトニウム富化度) 0.20 wt% <sup>(注3)</sup> (ウラン 235 濃度) 中プルトニウム □ wt% <sup>(注2)</sup> (核分裂物質質量) □ wt% <sup>(注2)</sup> (プルトニウム含有率) □ wt% <sup>(注2)</sup> (核分裂性プルトニウム富化度) 0.20 wt% <sup>(注3)</sup> (ウラン 235 濃度) 低プルトニウム □ wt% <sup>(注2)</sup> (核分裂物質質量) □ wt% <sup>(注2)</sup> (プルトニウム含有率) □ wt% <sup>(注2)</sup> (核分裂性プルトニウム富化度) 0.20 wt% <sup>(注3)</sup> (ウラン 235 濃度)  ウラン 235 濃度は、全ウラン質量に対するウラン 235 質量の割合を示す。  (注1) MHI-NES-1001 改 1「PWR 向け MOX 燃料のプルトニウム富化度について」に基づき設定する。 (注2) 代表組成における 4.1wt%濃縮ウラン燃料相当の場合の値であり、公称値はペレットのプルトニウム同位体組成およびウラン 235 濃度の分析結果に基づき設定する。 (注3) 代表組成における 4.1wt%濃縮ウラン燃料相当のプルトニウム富化度を算出するに当たって設定した値であり、公称値は燃料体製造者からの通知に基づき設定する。

\* プルトニウム含有率はペレットの分析結果により得られたプルトニウム組成に基づき等価フィッサイル法でペレットロット毎に決定されるため、確定したプルトニウム含有率は補正申請段階で本文に記載する。

内は商業機密のため、公開できません。

<p>初期濃縮度</p>	<p>核分裂物質質量は、下式により定義される。</p> $\text{核分裂物質質量} = \frac{({}^{239}\text{Pu} + {}^{241}\text{Pu} + {}^{235}\text{U})\text{質量}}{\text{全プルトニウム質量}^* + \text{全ウラン質量}} \times 100 \text{ (wt\%)}$ <p>プルトニウム含有率(Put)は、下式により定義される。</p> $\text{Put} = \frac{\text{全プルトニウム質量}^*}{\text{全プルトニウム質量}^* + \text{全ウラン質量}} \times 100 \text{ (wt\%)}$ <p>核分裂性プルトニウム富化度 (Puf) は、下式により定義される。</p> $\text{Puf} = \frac{({}^{239}\text{Pu} + {}^{241}\text{Pu})\text{質量}}{\text{全プルトニウム質量}^* + \text{全ウラン質量}} \times 100 \text{ (wt\%)}$ <p>*: 全プルトニウム質量には <math>{}^{241}\text{Pu}</math> から壊変して生じる <math>{}^{241}\text{Am}</math> を含む。</p>						
<p>燃焼率</p>	<table> <tr> <td>(燃料体最高)</td> <td>45,000 MWd/t</td> </tr> <tr> <td>(燃料要素最高)</td> <td>53,000 MWd/t</td> </tr> <tr> <td>(ペレット最高)</td> <td>62,000 MWd/t</td> </tr> </table>	(燃料体最高)	45,000 MWd/t	(燃料要素最高)	53,000 MWd/t	(ペレット最高)	62,000 MWd/t
(燃料体最高)	45,000 MWd/t						
(燃料要素最高)	53,000 MWd/t						
(ペレット最高)	62,000 MWd/t						
<p>燃料材の種類、組成及び組織</p>	<p>(1) ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット</p> <p>(種類) ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット</p> <p>密度 理論密度の 95.0 ± <input type="text"/>%</p> <p>(組成) 酸素対ウラン・プルトニウム<sup>(注1)</sup>比 2.00 ± <input type="text"/></p> <p>ウラン・プルトニウム<sup>(注1)</sup> <input type="text"/> wt%以上</p> <p>炭素 <input type="text"/> wt%以下</p> <p>ふっ素 <input type="text"/> wt%以下</p> <p>水素 <input type="text"/> wt%以下</p> <p>窒素 <input type="text"/> wt%以下</p> <p>(組織) 焼結により作られた単一相からなる二酸化ウラン-二酸化プルトニウム固溶体多結晶組織</p> <p>(注1) プルトニウム質量には <math>{}^{241}\text{Pu}</math> から壊変して生じる <math>{}^{241}\text{Am}</math> を含む。</p>						



内は商業機密のため、公開できません。

燃料材及び燃料被覆材  
以外の部品の種類及び  
組成

(2)上部プレナムコイルばね

(種類) ステンレス鋼

(JIS )

(組成) ニッケル

wt%

クロム

wt%

wt%以下

wt%以下

wt%以下

炭素

wt%以下

wt%以下

鉄

残り

(3)下部プレナムコイルばね

(種類) 耐食耐熱ニッケル合金

(AMS 及びAMS )

(組成) ニッケル

wt%以上

クロム

wt%

wt%

wt%

wt%

wt%

wt%以下

wt%以下

wt%以下

wt%以下

wt%以下

wt%以下

wt%以下

□内は商業機密のため、公開できません。

燃料材及び燃料被覆材以外の部品の種類及び組成	(4)押さえ板(下部プレナムコイルばね用部品)																	
	(種類)	ステンレス鋼 (JIS □)																
	(組成)	<table border="0"> <tr> <td>ニッケル</td> <td>□ wt%</td> </tr> <tr> <td>クロム</td> <td>□ wt%</td> </tr> <tr> <td>□</td> <td>□ wt%以下</td> </tr> <tr> <td>□</td> <td>□ wt%以下</td> </tr> <tr> <td>□</td> <td>□ wt%以下</td> </tr> <tr> <td>炭素</td> <td>□ wt%以下</td> </tr> <tr> <td>□</td> <td>□ wt%以下</td> </tr> <tr> <td>鉄</td> <td>残り</td> </tr> </table>	ニッケル	□ wt%	クロム	□ wt%	□	□ wt%以下	□	□ wt%以下	□	□ wt%以下	炭素	□ wt%以下	□	□ wt%以下	鉄	残り
	ニッケル	□ wt%																
クロム	□ wt%																	
□	□ wt%以下																	
□	□ wt%以下																	
□	□ wt%以下																	
炭素	□ wt%以下																	
□	□ wt%以下																	
鉄	残り																	
(5)連結棒(下部プレナムコイルばね用部品)																		
(種類)	ステンレス鋼 (JIS □)																	
(組成)	押さえ板材に同じ																	
(6)制御棒案内シムル及び炉内計装用案内シムル																		
(種類)	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金 (ASTM B353 (2007) (2002) (2001) (2000) R60804)																	
(組成)	<table border="0"> <tr> <td>すず</td> <td>1.20 ~ 1.70 wt%</td> </tr> <tr> <td>鉄</td> <td>0.18 ~ 0.24 wt%</td> </tr> <tr> <td>クロム</td> <td>0.07 ~ 0.13 wt%</td> </tr> <tr> <td>鉄 + クロム</td> <td>0.28 ~ 0.37 wt%</td> </tr> <tr> <td>ジルコニウム</td> <td>残り</td> </tr> </table>	すず	1.20 ~ 1.70 wt%	鉄	0.18 ~ 0.24 wt%	クロム	0.07 ~ 0.13 wt%	鉄 + クロム	0.28 ~ 0.37 wt%	ジルコニウム	残り							
すず	1.20 ~ 1.70 wt%																	
鉄	0.18 ~ 0.24 wt%																	
クロム	0.07 ~ 0.13 wt%																	
鉄 + クロム	0.28 ~ 0.37 wt%																	
ジルコニウム	残り																	
(7)制御棒案内シムル用下部端栓及びカラー																		
(種類)	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金 (ASTM B351(2007) (2002) (2001) (1997) R60804)																	
(組成)	燃料被覆材端栓材に同じ																	

燃料材及び燃料被覆材 以外の部品の種類及び 組成	(8)支持格子 (種類) 耐食耐熱ニッケル基合金 [ AMS 5596K(2007)及び AMS 5596J(1999) ]  (組成) <table data-bbox="730 443 1401 1160"> <tr> <td>ニッケル</td> <td>50.00 ~ 55.00 wt%</td> </tr> <tr> <td>クロム</td> <td>17.00 ~ 21.00 wt%</td> </tr> <tr> <td>モリブデン</td> <td>2.80 ~ 3.30 wt%</td> </tr> <tr> <td>ニオブ</td> <td>4.75 ~ 5.50 wt%</td> </tr> <tr> <td>チタン</td> <td>0.65 ~ 1.15 wt%</td> </tr> <tr> <td>アルミニウム</td> <td>0.20 ~ 0.80 wt%</td> </tr> <tr> <td>炭素</td> <td>0.08 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>マンガン</td> <td>0.35 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>けい素</td> <td>0.35 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>りん</td> <td>0.015 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>いおう</td> <td>0.015 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>コバルト</td> <td>1.00 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>ほう素</td> <td>0.006 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>銅</td> <td>0.30 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>タンタル</td> <td>0.05 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>鉄</td> <td>残り</td> </tr> </table>	ニッケル	50.00 ~ 55.00 wt%	クロム	17.00 ~ 21.00 wt%	モリブデン	2.80 ~ 3.30 wt%	ニオブ	4.75 ~ 5.50 wt%	チタン	0.65 ~ 1.15 wt%	アルミニウム	0.20 ~ 0.80 wt%	炭素	0.08 wt%以下	マンガン	0.35 wt%以下	けい素	0.35 wt%以下	りん	0.015 wt%以下	いおう	0.015 wt%以下	コバルト	1.00 wt%以下	ほう素	0.006 wt%以下	銅	0.30 wt%以下	タンタル	0.05 wt%以下	鉄	残り
ニッケル	50.00 ~ 55.00 wt%																																
クロム	17.00 ~ 21.00 wt%																																
モリブデン	2.80 ~ 3.30 wt%																																
ニオブ	4.75 ~ 5.50 wt%																																
チタン	0.65 ~ 1.15 wt%																																
アルミニウム	0.20 ~ 0.80 wt%																																
炭素	0.08 wt%以下																																
マンガン	0.35 wt%以下																																
けい素	0.35 wt%以下																																
りん	0.015 wt%以下																																
いおう	0.015 wt%以下																																
コバルト	1.00 wt%以下																																
ほう素	0.006 wt%以下																																
銅	0.30 wt%以下																																
タンタル	0.05 wt%以下																																
鉄	残り																																

□内は商業機密のため、公開できません。

燃料材及び燃料被覆材  
以外の部品の種類及び  
組成

(9)上部ノズル及び下部ノズル(異物フィルター付)

(種類) ステンレス鋼鋳鋼

□

(組成) ニッケル  
クロム

□ wt%

□ wt%

□

□ wt%以下

□

□ wt%以下

□

□ wt%以下

炭素

□ wt%以下

□

□ wt%以下

□

□ wt%以下

鉄

残り

(10)上部ノズル押さえばね

(種類) 耐食耐熱ニッケル基合金

(AMS 5596K(2007)及び AMS 5596J(1999))

(組成) 支持格子材に同じ

(11)クランプスクリュー

(種類) ニッケル・クロム・鉄合金

□

(組成) ニッケル  
クロム  
鉄

□ wt%以上

□ wt%

□ wt%

□

□ wt%以下

□内は商業機密のため、公開できません。

燃料材及び燃料被覆材  
以外の部品の種類及び  
組成

(12)上部リングナット・シンプルスクリュー・ロックンクカップ

(種類) ステンレス鋼

(JIS □)

(組成) ニッケル

□ wt%

クロム

□ wt%

□

□ wt%以下

□

□ wt%以下

□

□ wt%以下

炭素

□ wt%以下

□

□ wt%以下

鉄

残り

(13)スリーブ

(種類) ステンレス鋼

( JIS □及び  
JIS □ )

(組成) JIS □及び JIS □は上部リング  
ナット・シンプルスクリュー・ロックンクカップ材に同じ

JIS □は以下の通り

ニッケル

□ wt%

クロム

□ wt%

□

□ wt%以下

□

□ wt%以下

□

□ wt%以下

炭素

□ wt%以下

□

□ wt%以下

鉄

残り

□内は商業機密のため、公開できません。

燃料材及び燃料被覆材 以外の部品の種類及び 組成	(14)リベット
	(種類) ステンレス鋼
	(JIS) □
	(組成) ニッケル
	□ wt%
	クロム
	□ wt%
	□
	□ wt%以下
	□
□ wt%以下	
炭素	
□	
□ wt%以下	
鉄	
□	
□ wt%以下	
残り	

## 燃料体の構造及び重量

### 1. 燃料体構造の概要

#### 燃料体

燃料体(B型燃料)は、上部ノズルと下部ノズル(異物フィルター付)各1個、支持格子9個、制御棒案内シムブル24本、炉内計装用案内シムブル1本及び燃料要素264本で構成されている。上部ノズルは上部リングナットにより、下部ノズルはシムブルスクリューにより制御棒案内シムブルとねじ結合され、燃料体の骨格を形成している。また、上部ノズル及び下部ノズルの対角方向2か所の隅には孔が設けられ、上部炉心板及び下部炉心板の燃料体案内ピンとかん合することで、原子炉内で燃料体が位置決めされる。

#### 上部ノズル

上部ノズルは、ステンレス鋼鋳鋼製で燃料体の最上部に位置し、燃料体の取扱時に取扱装置あるいは取扱治具とかん合する役割をする。また、上部ノズルの板部は、冷却材が上方向へ流れることを阻害しないように孔が設けられている。

上部ノズル押さえばねは、耐食耐熱ニッケル基合金製で上部ノズルにクランプスクリューにより固定され、燃料体の原子炉内における長さの増加を吸収するとともに、燃料体が冷却材の流れによって浮き上がることを防止する働きをする。

#### 下部ノズル

下部ノズルは、ステンレス鋼鋳鋼製で燃料体の最下部に位置し、冷却材を配分する役割をする。下部ノズルは、ストラクチャーの上面に異物フィルターを配置し、リベットにより結合されている。また、異物阻止性能向上のため、異物フィルターのすべての流水孔は、燃料要素と最下部支持格子に対応する配置となっている。

#### 支持格子

支持格子は、耐食耐熱ニッケル基合金製であり、燃料要素を17行17列型の正方格子状に配列するとともに、燃料要素間に所定の間げきを確保する役割をする。最上部支持格子は拡管法、最下部支持格子はかしめによりステンレス鋼製のスリーブを介して制御棒案内シムブルに固定されている。一方、中間部支持格子(最上部支持格子及び最下部支持格子以外)は、制御棒案内シムブルに固定されていないため、制御棒案内シムブルと燃料要素の間に熱膨張差及び照射成長差が生じて、中間部支持格子が燃料要素とともに移動することで、燃料要素の過度の曲がりを低減する働きをする。

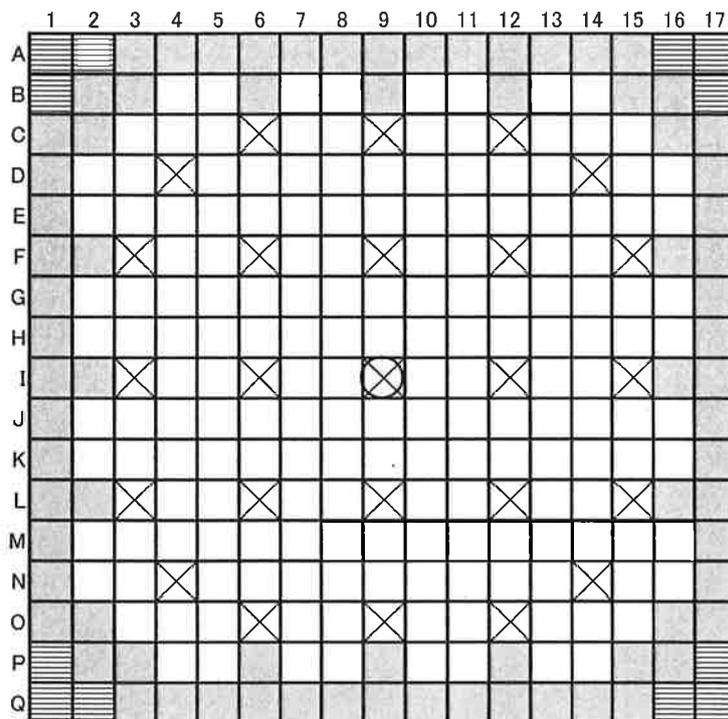
燃料体の構造及び重量	<p><b>制御棒案内シンプル</b></p> <p>制御棒案内シンプルは、Sn-Fe-Cr 系ジルコニウム合金製であり、原子炉内で上部ノズル側から挿入されるすべての内挿物に対して案内管の役割をする。制御棒案内シンプルは、下部側の径が細くなっており、内部の水の抵抗で制御棒落下時の衝撃を和らげる働きをする。</p> <p><b>炉内計装用案内シンプル</b></p> <p>炉内計装用案内シンプルは、Sn-Fe-Cr 系ジルコニウム合金製であり、原子炉内で下部ノズル側から挿入される可動型検出器に対して案内管の役割をする。炉内計装用案内シンプルには、中間部支持格子 7 個の各上下位置にスリーブが拡管で取り付けられており、中間部支持格子が上下方向に過度に動くことを防止する働きをする。</p> <p><b>燃料要素</b></p> <p>燃料要素は、Sn-Fe-Cr 系ジルコニウム合金製燃料被覆材にウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット、並びにステンレス鋼製上部プレナムコイルばね、耐食耐熱ニッケル合金製下部プレナムコイルばねが挿入され、Sn-Fe-Cr 系ジルコニウム合金製燃料被覆材端栓が両端に溶接されている。</p> <p>ペレットは、ウラン・プルトニウム混合酸化物粉末を円柱状に成型加工したものであり、ディッシュ及びチャンファが設けられている。燃料被覆材は、ペレットから放出される核分裂生成物の障壁となる。燃料被覆材が原子炉内で外圧により燃料寿命中にクリープコラプスを起こさないように、燃料要素の内部はヘリウムガスが加圧封入されている。また、燃料要素の上部及び下部には、核分裂生成ガスによる燃料要素内圧上昇を軽減するためプレナム部が設けられている。プレナム部に挿入されたコイルばねは、燃料の取扱い中にペレットが移動して割れや欠けが生じるのを防ぐとともに、燃焼中におけるペレット長さの増加を吸収する働きをする。</p>			
	<p>2. 燃料体の質量、寸法</p> <p>(1)質量</p> <table border="0"> <tr> <td>総質量</td> <td>約□ kg/体</td> </tr> <tr> <td>燃料材質量</td> <td>約□ kg/体</td> </tr> </table>	総質量	約□ kg/体	燃料材質量
総質量	約□ kg/体			
燃料材質量	約□ kg/体			

□内は商業機密のため、公開できません。

燃料体の構造及び重量	(2)寸法	全長	4,035.5 mm
		(下部ノズル下面より上部ノズル上部プレート上面までの長さ)	
		断面寸法(最大)	214.3mm × 214.3 mm
		燃料要素ピッチ	12.6 mm
		上部ノズル下面と燃料要素上端距離	□ mm
		燃料集合体直角度	□以下
	(3)燃料要素配列		17行 17列
	3. 各 부품の質量、寸法、数量等		
	3.1 燃料要素		
	(1)質量		
		総質量	約 □ kg
		燃料材質量	約 □ kg
	(2)寸法等		
		長さ	3,852.0 mm
		上部端栓頭部長さ	□ mm
		下部端栓頭部長さ	□ mm
		有効長さ	3,648.0 mm
		ペレット直径	8.050 mm
		ペレット長さ	11.5 mm
		燃料被覆材外径	9.50 mm
		燃料被覆材内径	8.22 mm
		燃料被覆材肉厚	0.64 mm
		偏肉率	□以下 (□ mm 以下)
		プレナム体積	□ cm <sup>3</sup>
		ヘリウム加圧量	□ MPa[abs] (□ MPa[gage])
	(3)数量		
		燃料体当たり	264 本
		〔高プルトニウム含有率燃料要素	176 本〕
		〔中プルトニウム含有率燃料要素	76 本〕
		〔低プルトニウム含有率燃料要素	12 本〕

燃料体の構造及び重量

燃料体内の配置



-  ・炉内計装用案内シンブル
-  ・制御棒案内シンブル
-  ・高プルトニウム含有率燃料要素
-  ・中プルトニウム含有率燃料要素
-  ・低プルトニウム含有率燃料要素

□内は商業機密のため、公開できません。

燃料体の構造及び重量	3.2 上部ノズル及び下部ノズル(異物フィルター付)		
	(1)質量		
	上部ノズル		約□ kg
	下部ノズル		約□ kg
	(2)寸法		
	上部ノズル		
	外寸法		213 mm×213 mm
	高さ(下面からパッド上端まで)		□ mm
	下部ノズル		
	外寸法		214 mm×214 mm
	高さ		□ mm
	(3)数量		
	上部ノズル	燃料体あたり	1個
	下部ノズル	燃料体あたり	1個
	3.3 制御棒案内シンプル		
	(1)質量		
			約□ kg
	(2)寸法		
	外径	(太径部)	12.24 mm
		(細径部)	10.90 mm
	肉厚	(太径部)	0.41 mm
		(細径部)	0.41 mm
	(3)数量		
		燃料体あたり	24本
	3.4 炉内計装用案内シンプル		
	(1)質量		
			約□ kg
	(2)寸法		
	外径		12.24 mm
	肉厚		0.41 mm
	(3)数量		
		燃料体あたり	1本

□内は商業機密のため、公開できません。

燃料体の構造及び重量	<b>3.5 支持格子</b>
	(1)質量 最上部 約□ kg 中間部 約□ kg 最下部 約□ kg
	(2)寸法 外寸法 214 mm×214 mm 高さ □ mm
	(3)数量 最上部 燃料体あたり 1 個 中間部 燃料体あたり 7 個 最下部 燃料体あたり 1 個
	<b>3.6 コイルばね</b>
	(1)質量 上部 約□ kg 下部 約□ kg
	(2)寸法等 コイル外径 上部 □ mm 下部 □ mm ばね定数 上部 □ N/cm 下部 □ N/cm
	(3)数量 上部 燃料体あたり 264 個 下部 燃料体あたり 264 個

燃料体の数	16 体 (燃料要素 4,224 本)
燃料体の製造者の名称 並びに製造工場の名称及 び所在地	燃料体の製造者の名称 オラノサイクル社  燃料体の製造工場の名称 メロックス工場  所在地 フランス国 シュスラン
燃料体を使用する発電用 原子炉を設置した工場 又は事業所の名称及び 所在地	発電所の名称 関西電力株式会社高浜発電所 所在地 福井県大飯郡高浜町田ノ浦
燃料体を使用する発電用 原子炉に係る発電用原子 炉施設の概要	型 式 濃縮ウラン燃料 ウラン・プルトニウム混合酸化物燃 料、軽水減速、軽水冷却、加圧水型 最高使用温度 343 °C 最高使用圧力 17.26 MPa[abs] 施設番号 第4号機
検査を受けようとする期日 及び場所	検査を希望する年月日 2020年1月31日～2021年12月31日 場所 原子力事業本部及び高浜発電所

添付書類一

燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐腐食性その他の性能に関する説明書

□内は商業機密のため、公開できません。

目次	頁
1. 概要.....	1-1
2. 燃料体の耐熱性.....	1-12
2.1 ウラン・プルトニウム混合酸化物.....	1-12
2.2 Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金(ジルカロイ-4).....	1-13
2.3 耐食耐熱ニッケル基合金(718合金).....	1-14
2.4 耐食耐熱ニッケル合金 □.....	1-14
2.5 ニッケル・クロム・鉄合金 □.....	1-14
2.6 ステンレス鋼.....	1-15
3. 燃料体の耐放射線性.....	1-22
3.1 ウラン・プルトニウム混合酸化物.....	1-23
3.1.1 スエリング.....	1-23
3.1.2 ペレットの焼きしまり.....	1-23
3.1.3 核分裂生成ガス放出.....	1-24
3.1.4 ヘリウム放出.....	1-25
3.1.5 ペレットリム組織化.....	1-26
3.2 Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金(ジルカロイ-4).....	1-26
3.3 耐食耐熱ニッケル基合金(718合金).....	1-27
3.4 耐食耐熱ニッケル合金 □.....	1-27
3.5 ニッケル・クロム・鉄合金 □.....	1-28
3.6 ステンレス鋼.....	1-28
4. 燃料体の耐腐食性.....	1-42
4.1 ウラン・プルトニウム混合酸化物.....	1-42
4.1.1 ウラン・プルトニウム混合酸化物とジルカロイ-4との反応.....	1-42
4.1.2 ウラン・プルトニウム混合酸化物と充てんガスとの反応.....	1-43
4.1.3 ウラン・プルトニウム混合酸化物と水との反応.....	1-43
4.2 Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金(ジルカロイ-4).....	1-43
4.2.1 冷却水による腐食.....	1-44
4.2.2 水素吸収.....	1-45
4.3 耐食耐熱ニッケル基合金(718合金).....	1-45
4.3.1 718合金と冷却水の反応.....	1-45

□内は商業機密のため、公開できません。

4.4	ニッケル・クロム・鉄合金 □	1-46
4.4.1	□と冷却水との反応	1-46
4.5	ステンレス鋼	1-46
4.5.1	ステンレス鋼と冷却水との反応	1-46
5.	その他の性能	1-55
5.1	耐摩耗性(フレッティング摩耗)	1-55
5.2	耐PCI性	1-55
5.3	放射線による変形	1-56
5.3.1	燃料棒の伸び	1-56
5.3.2	燃料集合体の伸び	1-56
5.3.3	上部ノズル燃料棒間げきの減少	1-56
5.3.4	上部ノズル押さえばね力	1-57
5.3.5	燃料棒曲がり	1-57
5.4	ペレットとのボンディング	1-58
5.5	核熱水力特性	1-58
5.5.1	核熱水力設計の基本方針	1-58
5.5.2	設計内容	1-59
6.	その他の考慮事項	1-71
6.1	ペレット焼結雰囲気について	1-71
6.2	ペレットの不純物について	1-71
6.3	燃料集合体直角度について	1-71
7.	参考文献	1-74

## 1. 概要

燃料体(以下、燃料集合体と称する)に使用する材料は、原子炉の通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における環境を十分考慮して選択した。構成部品とその使用材料は、第1-1表に示すとおりである。なお、各材料の化学成分について第1-2表に、機械特性について第1-3表に、そして耐食性及び水素化物方向性係数について第1-4表に示した。

以下に燃料集合体に使用する各材料の耐熱性、耐放射線性及び耐腐食性について述べ、燃料集合体構成材料の健全性について説明する。

□内は商業機密のため、公開できません。

第1-1表 構成部品及び構成材料(1/2)

構成部品	使用材料	備考
ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット*1	ウラン・プルトニウム混合酸化物	
燃料被覆材*2	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4)	JIS H4751(1998) ZrTN 804D 質別 SR
被覆管端栓	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4)	ASTM B351(2007)(2002) (2001)(1997)R60804 { JIS H4751(1998) } { ZrTN 804D 相当 }
上部プレナムコイルばね	ステンレス鋼	JIS □ □
下部プレナムコイルばね	耐食耐熱ニッケル合金 (□)	AMS □ AMS □
押さえ板	ステンレス鋼	JIS □ □
連結棒	ステンレス鋼	JIS □ □
制御棒案内シンプル 及び 炉内計装用案内シンプル	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4)	ASTM B353(2007)(2002) (2001)(2000)R60804
制御棒案内シンプル用 下部端栓 及び カバー	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4)	ASTM B351(2007)(2002) (2001)(1997)R60804

\*1 以下、焼結ペレットを単にペレットと称する

\*2 以下、被覆管と称する

□内は商業機密のため、公開できません。

第1-1表 構成部品及び構成材料(2/2)

構成部品	使用材料	備考
支持格子 及び 上部ノズル押さえばね	耐食耐熱ニッケル基合金 (718合金)	AMS 5596K(2007) AMS 5596J(1999)
上部ノズル 及び 下部ノズル	ステンレス鋼鋳鋼	ASTM □ □
クランプスクリュー	ニッケル・クロム・鉄合金 □	ASTM □ □ □
上部リングナット、 シンプルスクリュー 及び ロッキングカップ	ステンレス鋼	JIS □ □
スリーブ	ステンレス鋼	JIS □ □及び JIS □ □
リベット	ステンレス鋼	JIS □ □

□内は商業機密のため、公開できません。

第1-2表 燃料集合体主材料の化学成分(1/6)

構成部品	材料	主成分 (wt%)		不純物* (ppm)											
		U+Pu+ <sup>241</sup> Am	≥ □	□	≤	□	Al	≤	□	□	≤	□	□	≤	□
燃料材 (ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレット)	ウラン・プルトニウム混合酸化物	O/M (原子数比)	2.00 □	□	≤	□	□	≤	□	□	≤	□	C	≤	□
		Co	≤	□	Cr	≤	□	□	≤	□	□	≤	□		
		F	≤	□	Fe	≤	□	□	≤	□	□	≤	□		
		□	≤	□	□	≤	□	Ni	≤	□	□	≤	□		
		□	≤	□	N	≤	□	□	≤	□	□	≤	□		
		□	≤	□	□	≤	□	□	≤	□	□	≤	□		
		Si	≤	□	□	≤	□	□	≤	□	□	≤	□		
		□	≤	□	□	≤	□	□	≤	□	□	≤	□		
		□	≤	□	□	≤	□	□	≤	□	□	≤	□		
		□	≤	□	□	≤	□	□	≤	□	□	≤	□		
不純物の合計				□ ppm 以下											
ボロン当量				□ ppm 以下											
□				□ μl/gMO <sub>2</sub> 以下											
水素				□ ppm 以下											

\* (U+Pu+<sup>241</sup>Am)重量あたり

□内は商業機密のため、公開できません。

第1-2表 燃料集合体主材料の化学成分(2/6)

構成部品	材料	主成分(wt%)		不純物(ppm)					
被覆管	Sn-Fe-Cr系 ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4) JIS H4751 (1998) ZrTN 804D 質別 SR	Sn	1.20/1.70	Al	≦ 75	B	≦ 0.5	C	≦ 270
		Fe	0.18/0.24	Ca	≦ 30	Cd	≦ 0.5	Co	≦ 20
		Cr	0.07/0.13	Cu	≦ 50	H	≦ 25	Hf	≦ 100
		Fe+Cr	0.28/0.37	Mg	≦ 20	Mn	≦ 50	Mo	≦ 50
		O	□	N	≦ 80	Nb	≦ 100	Ni	≦ 70
		Zr	残り	Si	≦ 120	Ti	≦ 50	U	≦ 3.5
				W	≦ 100				
被覆管 管栓	Sn-Fe-Cr系 ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4) ASTM B351 (2007)(2002) R60804 (JIS H4751 (1998) ZrTN 804D 相当)	Sn	1.20/1.70	Al	≦ 75	B	≦ 0.5	C	≦ 270
		Fe	0.18/0.24	Ca	≦ 30	Cd	≦ 0.5	Co	≦ 20
		Cr	0.07/0.13	Cu	≦ 50	H	≦ 25	Hf	≦ 100
		Fe+Cr	0.28/0.37	Mg	≦ 20	Mn	≦ 50	Mo	≦ 50
		O	□	N	≦ 80	Nb	≦ 100	Ni	≦ 70
		Zr	残り	Si	≦ 120	Ti	≦ 50	U	≦ 3.5
				W	≦ 100				
	Sn-Fe-Cr系 ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4) ASTM B351 (2001)(1997) R60804 (JIS H4751 (1998) ZrTN 804D 相当)	Sn	1.20/1.70	Al	≦ 75	B	≦ 0.5	C	≦ 270
		Fe	0.18/0.24	W	≦ 100	Cd	≦ 0.5	Co	≦ 20
		Cr	0.07/0.13	Cu	≦ 50	H	≦ 25	Hf	≦ 100
		Fe+Cr	0.28/0.37	Mg	≦ 20	Mn	≦ 50	Mo	≦ 50
		O	□	N	≦ 80	Ti	≦ 50	Ni	≦ 70
		Zr	残り	Si	≦ 120	U	≦ 3.5		

□内は商業機密のため、公開できません。

第1-2表 燃料集合体主材料の化学成分(3/6)

構成部品	材料	成分(wt%)					
上部プレナム コイルばね	ステンレス鋼	Ni	□	Cr	□	□	≦□
	JIS□		≦□		≦□	C	≦□
	□		≦□	Fe	残り		
下部プレナム コイルばね	耐食耐熱 ニッケル合金	Ni	≧□	Cr	□	□	□
			□	□	□	□	□
	AMS□		≦□		≦□	□	≦□
	□		≦□		≦□	□	≦□
	□		≦□				

□内は商業機密のため、公開できません。

第1-2表 燃料集合体主材料の化学成分(4/6)

構成部品	材料	主成分(wt%)		不純物(ppm)						
制御棒案内 シンプル 及び	Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4)  ASTM B353 (2007)(2002) (2001) R60804	Sn	1.20/1.70	Al	≦ 75	B	≦ 0.5	C	≦ 270	
		Fe	0.18/0.24	Ca	≦ 30	Cd	≦ 0.5	Co	≦ 20	
		Cr	0.07/0.13	Cu	≦ 50	H	≦ 25	Hf	≦ 100	
		Fe+Cr	0.28/0.37	Mg	≦ 20	Mn	≦ 50	Mo	≦ 50	
		O	□	N	≦ 80	Nb	≦ 100	Ni	≦ 70	
		Zr	残り	Si	≦ 120	Ti	≦ 50	U	≦ 3.5	
			W	≦ 100						
	炉内計装用 案内シンプル	Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4)  ASTM B353 (2000) R60804	Sn	1.20/1.70	Al	≦ 75	B	≦ 0.5	C	≦ 270
			Fe	0.18/0.24	Cd	≦ 0.5	Co	≦ 20	Cu	≦ 50
			Cr	0.07/0.13	H	≦ 25	Hf	≦ 100	Mg	≦ 20
Fe+Cr			0.28/0.37	Mn	≦ 50	Mo	≦ 50	N	≦ 80	
O			□	Ni	≦ 70	Si	≦ 120	Ti	≦ 50	
Zr			残り	U	≦ 3.5	W	≦ 100			
制御棒案内 シンプル用 下部端栓 及び カラー	Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4)  ASTM B351 (2007)(2002) R60804	Sn	1.20/1.70	Al	≦ 75	B	≦ 0.5	C	≦ 270	
		Fe	0.18/0.24	Ca	≦ 30	Cd	≦ 0.5	Co	≦ 20	
		Cr	0.07/0.13	Cu	≦ 50	H	≦ 25	Hf	≦ 100	
		Fe+Cr	0.28/0.37	Mg	≦ 20	Mn	≦ 50	Mo	≦ 50	
		O	□	N	≦ 80	Nb	≦ 100	Ni	≦ 70	
		Zr	残り	Si	≦ 120	Ti	≦ 50	U	≦ 3.5	
			W	≦ 100						
	ASTM B351 (2001)(1997) R60804	Sn	1.20/1.70	Al	≦ 75	B	≦ 0.5	C	≦ 270	
		Fe	0.18/0.24	W	≦ 100	Cd	≦ 0.5	Co	≦ 20	
		Cr	0.07/0.13	Cu	≦ 50	H	≦ 25	Hf	≦ 100	
Fe+Cr		0.28/0.37	Mg	≦ 20	Mn	≦ 50	Mo	≦ 50		
O	□	N	≦ 80	Ti	≦ 50	Ni	≦ 70			
Zr	残り	Si	≦ 120	U	≦ 3.5					

□内は商業機密のため、公開できません。

第1-2表 燃料集合体主材料の化学成分(5/6)

構成部品	材料	成分 (wt%)					
		Ni		Cr			
上部ノズル 及び 下部ノズル	ステンレス鋼 鋳鋼	Ni	□	Cr	18.00/21.00	□	≦ □
			≦ □		≦ □	□	≦ □
			≦ □		≦ □	Fe	残り
支持格子 及び 上部ノズル 押さえばね	耐食耐熱 ニッケル基合金 (718合金)	Ni	50.00/55.00	Cr	17.00/21.00	Mo	2.80/3.30
		Nb	4.75/5.50	Ti	0.65/1.15	Al	0.20/0.80
		C	≦ 0.08	Mn	≦ 0.35	Si	≦ 0.35
		P	≦ 0.015	S	≦ 0.015	Co	≦ 1.00
		B	≦ 0.006	Cu	≦ 0.30	Ta	≦ 0.05
		Fe	残り				
クランプ スクリュー	ニッケル・クロム 鉄合金 (□)	Ni	≧ □	Cr	□	Fe	□
			≧ □		≦ □	□	≧ □
			≧ □		≦ □		

□内は商業機密のため、公開できません。

第1-2表 燃料集合体主材料の化学成分(6/6)

構成部品	材料	成分(wt%)					
		Ni		Cr		C	
押さえ板	ステンレス鋼 JIS□	Ni	□	Cr	□	□	≤□
	□	□	≤□	□	≤□	C	≤□
	□	□	≤□	Fe	残り		
連結棒	ステンレス鋼 JIS□	Ni	□	Cr	□	□	≤□
	□	□	≤□	□	≤□	C	≤□
	□	□	≤□	Fe	残り		
スリーブ	ステンレス鋼 JIS□	Ni	□	Cr	□	□	≤□
	□	□	≤□	□	≤□	C	≤□
	JIS□	□	≤□	Fe	残り		
	□	□	≤□	Cr	□	□	≤□
	□	□	≤□	□	≤□	C	≤□
	□	□	≤□	Fe	残り		
リベット	ステンレス鋼 JIS□	Ni	□	Cr	□	□	≤□
	□	□	≤□	□	≤□	C	≤□
	□	□	≤□	Fe	残り		
上部リングナット、 シンプルスクリュー 及び ロッキングカップ°	ステンレス鋼 JIS□	Ni	□	Cr	□	□	≤□
	□	□	≤□	□	≤□	C	≤□
	□	□	≤□	Fe	残り		

□内は商業機密のため、公開できません。

第1-3表 燃料集合体主材料の機械特性

項目	測定温度	基準値	
被覆管	高温 (385°C)	引張強さ 耐力 伸び	□以上 310 N/mm <sup>2</sup> 以上 □以上
被覆管端栓 <sup>(*1)</sup>	室温 <sup>(*2)</sup>	引張強さ 耐力 伸び	□以上 □以上 □以上
	高温	引張強さ 耐力 伸び	□以上 □以上 □以上
支持格子	室温 <sup>(*2)</sup>	引張強さ 耐力 伸び	□以上 □以上 □以上
制御棒案内シンプル	室温 <sup>(*2)</sup>	引張強さ 耐力 伸び	□以上 □以上 □以上
上部ノズルおよび下部ノズル	室温 <sup>(*2)</sup>	引張強さ 耐力 伸び	□以上 □以上 □以上

(\*1) 端栓の引張試験は室温もしくは高温のいずれかで実施する。

(\*2) 室温の定義は適用する引張試験規格で異なる。ASTM E8を適用する場合には10°C~38°C、JIS Z2241を適用する場合には10°C~35°Cである。

□内は商業機密のため、公開できません。

第1-4表 燃料集合体主材料の耐食性及び水素化物方向性係数

項目	基準値	
	水素化物方向性係数	耐食性
被覆管	JISH4751「ジルコニウム合金管」の「附属書三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□を超えないこと。	JISH4751「ジルコニウム合金管」の「附属書二腐食試験方法」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□日間で□ng/dm <sup>2</sup> 以下又は□日間で□ng/dm <sup>2</sup> 以下であること。
被覆管端栓		JISH4751「ジルコニウム合金管」の「附属書二腐食試験方法」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□日間で□ng/dm <sup>2</sup> 以下又は□日間で□ng/dm <sup>2</sup> 以下であること。

## 2. 燃料体の耐熱性

### 2.1 ウラン・プルトニウム混合酸化物

二酸化ウラン及び二酸化プルトニウムはいずれも蛍石型の結晶構造をもち、二酸化ウランと二酸化プルトニウムはウラン原子とプルトニウム原子が置き替わる形で全組成範囲にわたって固溶し、室温から溶融点まで単一相として存在する。

二酸化ウランペレットは溶融点まで金相学的に安定で、相変化を起こすことはない。

また、荷重を受けたときの二酸化ウランペレットには、1,000°C位までは変形でなく破壊が生じる。更に高温になると塑性変形を起こすようになり、約1,600°C以上では容易に塑性変形するとされている[1]。ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの破断応力、弾性限界応力の温度依存性は二酸化ウランペレットとほぼ同じとされており、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの変形挙動の温度依存性は二酸化ウランペレットと同様と考えられる[2]。

二酸化プルトニウムの溶融点は二酸化ウランのそれより低く、二酸化プルトニウムと二酸化ウランは完全に固溶することから、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの溶融点はプルトニウム含有率が増加するほど低下する。第 1-1 図[3]に状態図を示すが、固相線と液相線の間では固相と液相が混在しており、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの溶融点は固相線で表される。

未照射ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの溶融点は、第 1-1 図に示すように、二酸化ウランペレット(PuO<sub>2</sub> モル分率 0%)の溶融点を従来の設計で使用している 2,800°Cとし、二酸化プルトニウム含有による溶融点の低下として、W.L.Lyon 等の固相線に対するフィッティング式[4]を用いると、最大プルトニウム含有率制限 13wt%の未照射ウラン・プルトニウム混合酸化物では約 2,730°Cとなる。

ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの照射による溶融点の低下は、大森らによって測定されている。結果を第 1-2 図[5]に示す。これによると 50,000MWd/t までは溶融点の低下がなく、50,000MWd/t 以上では 10,000MWd/t 当たり 6°Cの低下であるが、二酸化ウランペレットと同様 10,000MWd/t あたり 32°C低下とする方が設計上安全側である。

そこで、設計上の溶融点は未照射ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットで 2,730°C、局所燃焼度 10,000MWd/t あたり 32°C低下するものとし、計算モデルの不確定性、製造時のばらつきを考慮しても、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの最高温度がこれを超えないように設計する。原子炉でウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの最高温度は、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時においても約 2,220°Cであり、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの溶融点より十分低い温度である。

□内は商業機密のため、公開できません。

なお、プルトニウム均一性については、プルトニウムスポットが存在した場合の燃料健全性の影響を確認するために、プルトニウムスポット径 400  $\mu\text{m}$ あるいは 1,100  $\mu\text{m}$ のスポット(いずれもプルトニウム濃度 100%)を有する試験試料をパルス照射した実験が NSRR (Nuclear Safety Research Reactor)で行われ、MOX燃料の破損に及ぼすプルトニウムスポットの影響がないことが報告されている[6]。

また、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットのクリープ速度は、プルトニウム含有率とともに増加するとされており、プルトニウム含有率 5wt%の増加に伴いクリープ速度は約 20%増加する[7]。ペレットクリープ速度が大きいとペレット-被覆管接触時にペレットが塑性変形し易くなるので、被覆管応力が緩和される方向となる。ペレット熱膨張による被覆管の応力は、周方向が最大となり、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの塑性変形による軸方向への逃げがないとした場合の方が厳しい評価となるため、燃料棒の設計にあたっては、安全側に塑性変形を考慮しないとした上で、被覆管応力等が設計基準を満足するようにする。

## 2.2 Sn-Fe-Cr 系ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4)

Sn-Fe-Cr 系ジルコニウム合金(以下、ジルカロイ-4 と称する)の融点約 1,780°Cである[8]。

ジルカロイ-4は、約 820°Cで $\alpha$ 相から( $\alpha + \beta$ )相へ、また、約 960°Cで( $\alpha + \beta$ )相から $\beta$ 相に変態し、その温度前後で腐食速度や機械的性質が変化する。ジルカロイ-4は、原子炉では被覆管、端栓、カラー、制御棒案内シンプル、炉内計装用案内シンプルとして使用されている。これらの部材の原子炉中での最高温度は、異常な過渡変化時のジルカロイ-4被覆管の最高温度の約□°Cであり、上記相変態温度より十分低い温度である。

ジルカロイ-4の機械的性質は、温度が上昇すると強度が低下し、伸び(延性)が増加する。また、加工方法及び熱処理方法によっても変化する。被覆管は機械的性質を重視して冷間加工応力除去焼きなまし材としており、室温での耐力が約 590N/mm<sup>2</sup>の被覆管は、運転時の異常な過渡変化時における最高の被覆管平均温度である約 385°Cでは約 360N/mm<sup>2</sup>となる。被覆管の機械的性質の温度による変化を第 1-3 図に示す。

被覆管以外のジルカロイ-4部材は照射成長を小さくするため冷間加工再結晶焼きなまし材としている。制御棒案内シンプルの機械的性質の温度による変化を第 1-4 図に示す。

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、上記部材に加わる応力は、温度による材料強度の低下を考慮しても耐力以下となるので、燃料集合体の健全性は確保される。

□内は商業機密のため、公開できません。

### 2.3 耐食耐熱ニッケル基合金(718 合金)

耐食耐熱ニッケル基合金(以下、718 合金と称する)は、1,260℃以上の溶融点を有し、高温で安定な上に強度及び耐腐食性に優れ、ばね材及び高温構造材として優れた性質を有している[9]。718 合金は、次に述べる□と類似の性質を有しているが、溶接性に優れているとされている。718 合金は、燃料集合体の支持格子及び上部ノズル押さえばねに使用されるが、これら構成部品の原子炉での最高温度は、被覆管外面の温度と同一と仮定しても約 350℃である。この程度の温度では機械的性質は緩やかに変化することが第 1-5 図より分かる。また、718 合金は析出硬化型の合金であり、約 1,000℃以上の使用温度では析出相が再固溶し、強度が低下することが考えられるが、原子炉内での最高温度は 350℃を超えないのでその影響はない。

### 2.4 耐食耐熱ニッケル合金(□)

耐食耐熱ニッケル合金(以下、□と称する)は、1,390℃以上の溶融点を有し、高温で安定な上に強度及び耐腐食性に優れ、718 合金と同じく、ばね材及び高温構造材として優れた性質を有している[10]。□は、燃料要素(以下、燃料棒と称する)下部プレナムコイルばねとして使用し、燃料棒下部に挿入されるが、この構成部品の原子炉での最高温度は、被覆管の温度と同一と仮定しても約□℃である。この程度の温度では機械的性質は緩やかに変化することが第 1-5 図より分かる。なお、□は析出硬化型の合金であり、約 1,000℃以上の使用温度では析出相が再固溶し、強度が低下することが考えられるが、原子炉内での最高温度は約□℃であるためその影響はない。

### 2.5 ニッケル・クロム・鉄合金(□)

ニッケル・クロム・鉄合金(以下、□と称する)は、1,350℃以上の溶融点を有し、高温で安定な上に強度及び耐腐食性に優れ、高温構造材として優れた性質を有している[11]。□は、クランプスクリューとして使用されるが、この構成部品の原子炉での最高温度は、被覆管外面の温度と同一と仮定しても約 350℃である。この程度の温度では、機械的性質は緩やかに変化することが第 1-5 図より分かる。

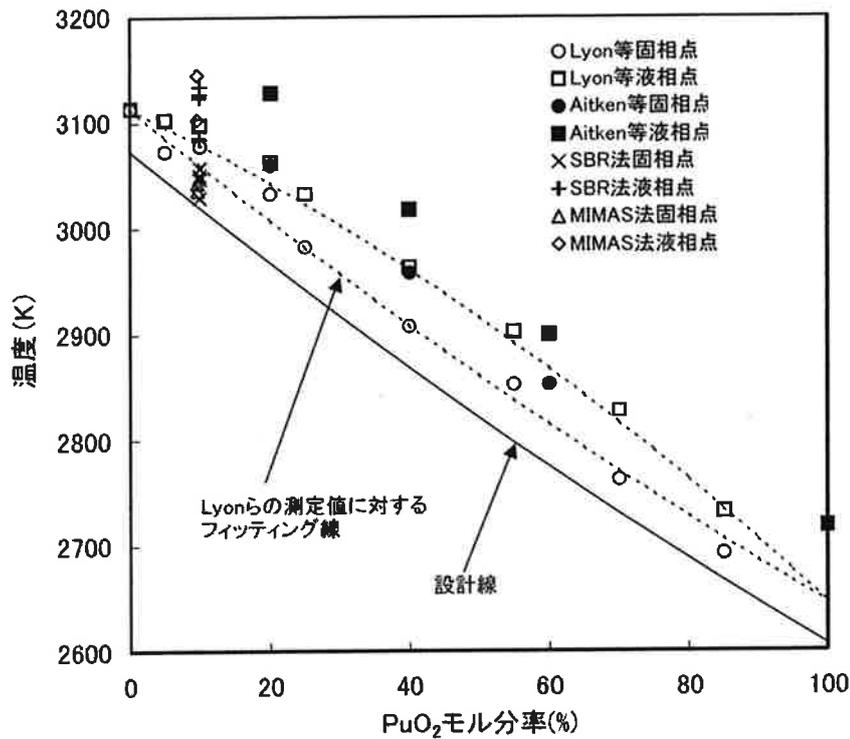
□内は商業機密のため、公開できません。

## 2.6 ステンレス鋼

使用しているステンレス鋼は、耐熱性に優れた SUS□ に代表される □ の鋼であり、1,400℃以上の融点を有している[12]。その他に使用しているステンレス鋼は、SUS□、SUS□ 及び □ があり、いずれも □ の鋼であるため、基本的な材料特性は同等である[12]。

これらステンレス鋼の差異は、次のとおりである。SUS□ は、粒界腐食に対する抵抗を増すために炭素量を □ 以下にした鋼である。SUS□ は、主要成分及び機械的性質も SUS□ と同じである線材用の鋼である。□ は、鋳物用の鋼であり、鋳造時の溶湯の流動性を増すために、□ が添加されている鋼である。

SUS□ がリベット、押さえ板及び連結棒用、SUS□ がスリーブ、上部リングナット、シンプルスクリュー及びロッキングカップ用、SUS□ が上部プレナムコイルばね用、□ が上部及び下部ノズル用として使用される。これら構成部品の原子炉での最高温度は、被覆管外面の温度と同一と仮定しても約 350℃である。この温度範囲においても十分な機械的強度を有していることが第 1-6 図[13]より分かる。



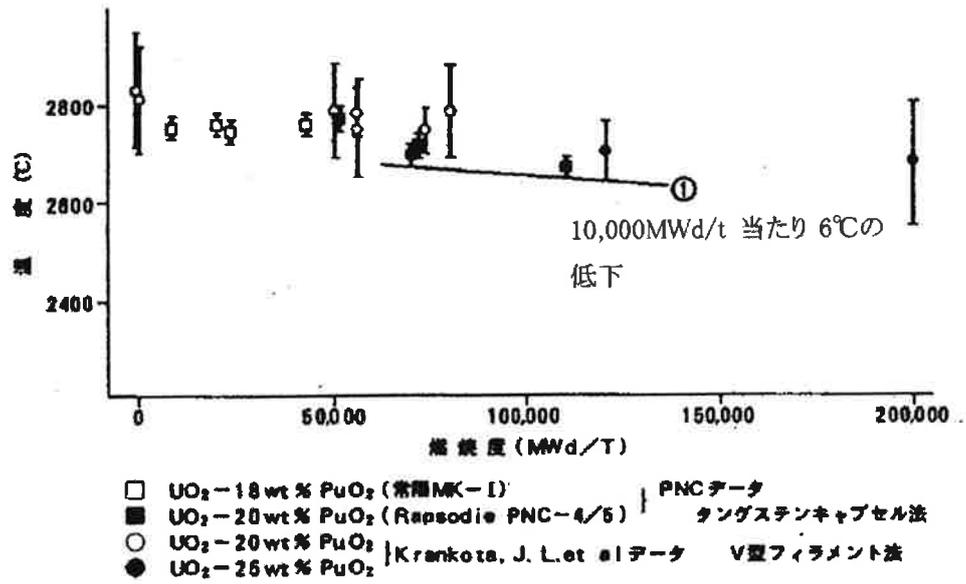
第 1-1 図 PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>の相変化[3]

MIMAS(Micronized Master Blending) :

二酸化ウラン粉末と二酸化プルトニウム粉末を混合するにあたり、2段階にて混合を行う方法であり、1段目はボールミルを使用して二酸化ウラン粉末と二酸化プルトニウム粉末を粉碎混合し、2段目にて、1次混合粉末に、さらに二酸化ウラン粉末を加えてスクリー方式により均一化混合を行う。

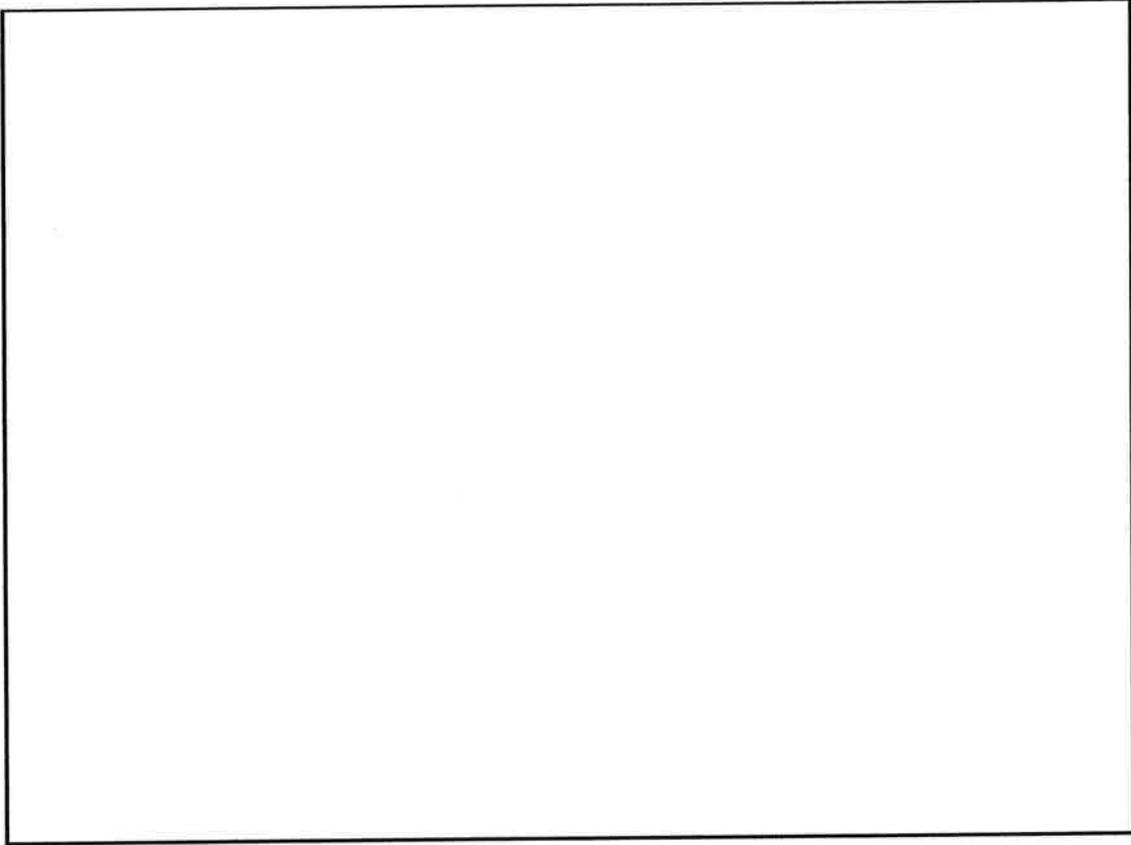
SBR(Short Binderless Route):

二酸化ウラン粉末と二酸化プルトニウム粉末の混合を1段階で行う方法である。均一性を確保するため、混合においてはアトリターミル(粉末と金属球を攪拌棒により強制的に攪拌する)を用いる。



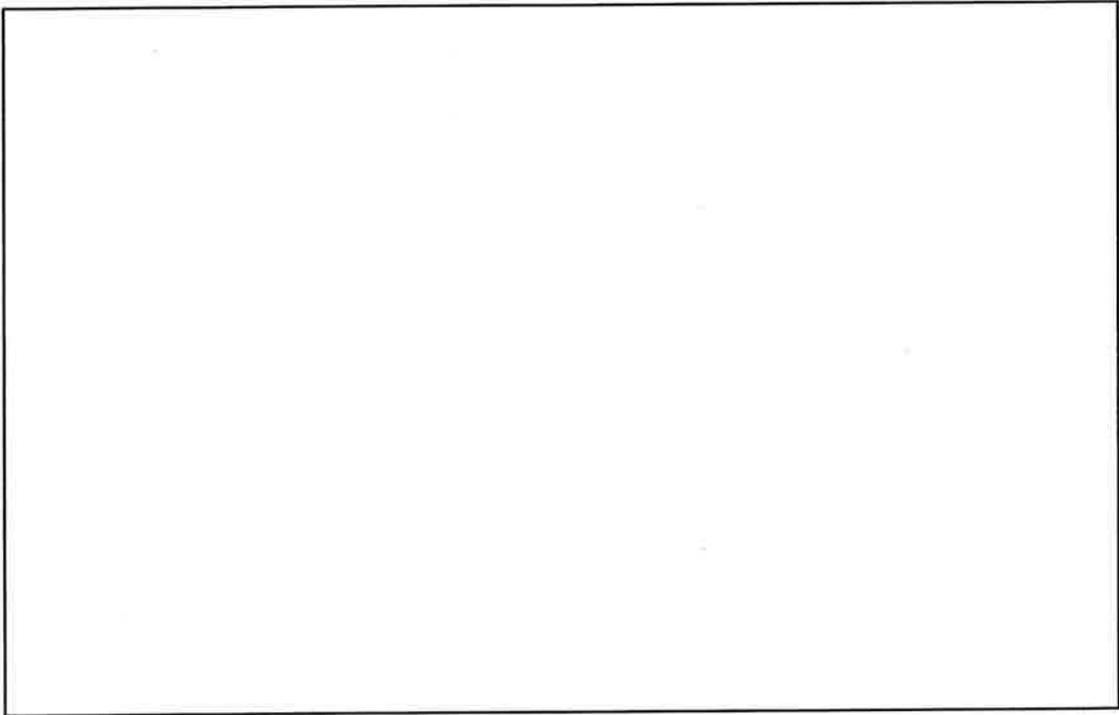
第1-2図 照射されたウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの融点[5]

内は商業機密のため、公開できません。



第1-3図 ジルカロイ-4 被覆管の機械的性質  
(原燃工の実施した引張試験結果)

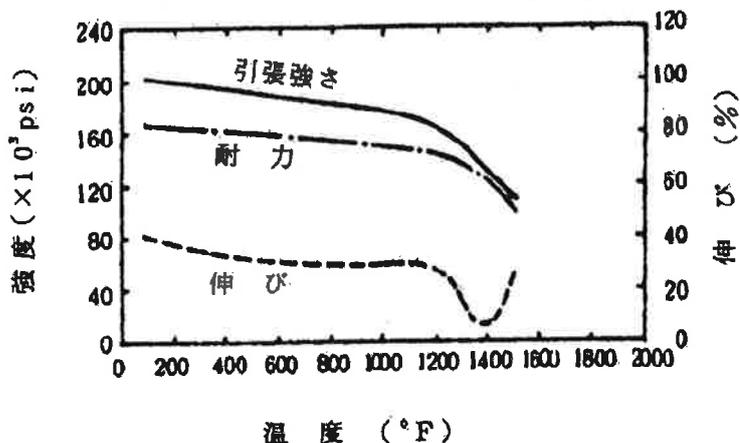
□内は商業機密のため、公開できません。



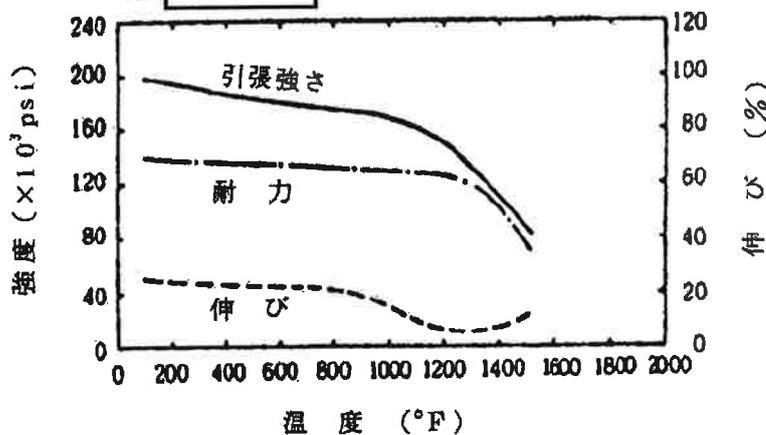
第1-4図 ジルカロイ-4 制御棒案内シンプルの機械的性質  
(原燃工の実施した引張試験結果)

(イ) 718 合金

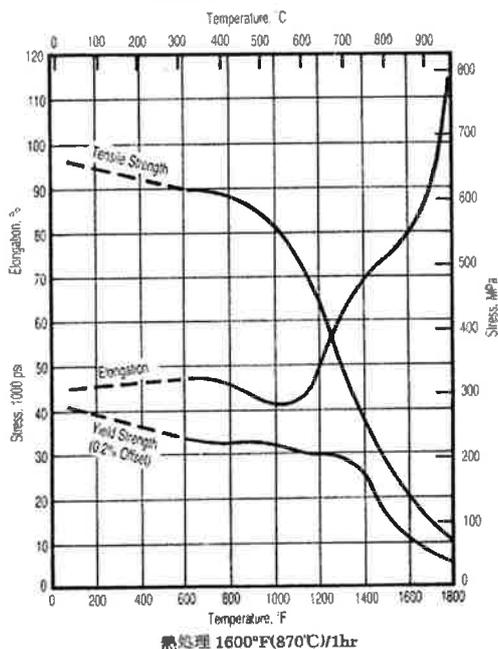
内は商業機密のため、公開できません。



(ロ) [Redacted]



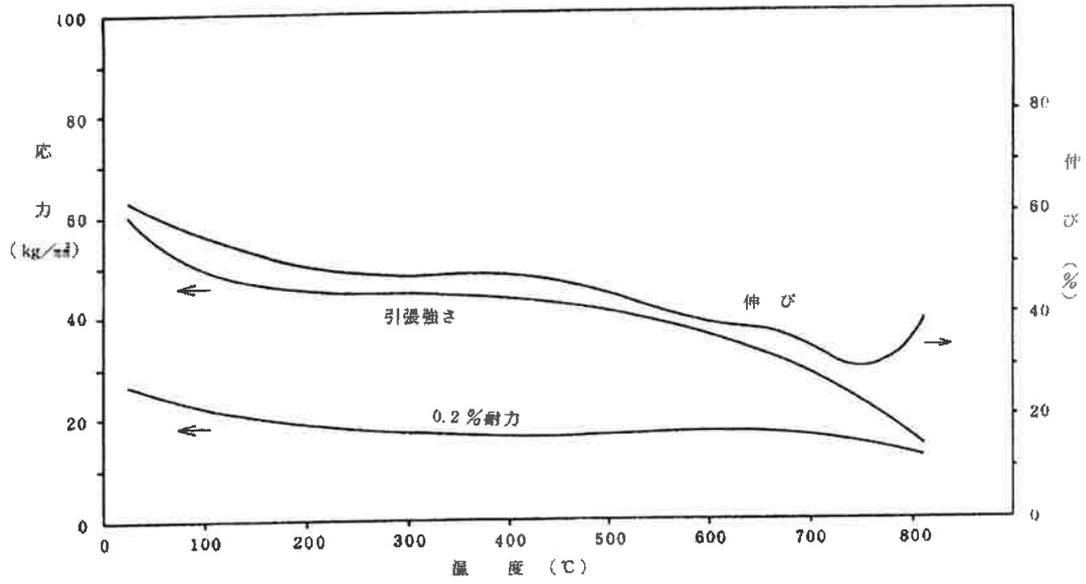
(ハ) [Redacted]



(662°F = 350°C)

第 1-5 図 718 合金 [Redacted] の機械的性質[9][10][11]

□内は商業機密のため、公開できません。



第1-6図 ステンレス鋼(SU □)の機械的性質[13]

### 3. 燃料体の耐放射線性

材料が放射線の照射を受け損傷することを放射線損傷といい、原子炉中では主に中性子により生じる。中性子線の効果には、原子のはじき出し、核分裂、核変換がある。中性子は電荷を持たないため、材料中で電氣的な相互作用によってエネルギーを失うことがなく、主として原子核との弾性衝突によって多数の原子を格子位置からはじき出す。このはじき出された原子は更にほかの原子をはじき出し、金属中に多数の格子欠陥を作り出す。ただし、材料構成原子の格子位置からはじき出しは、約 10eV 以上のエネルギーの中性子の衝突により起こる。

核分裂は、燃料材中の核分裂性ウランやプルトニウムに中性子が衝突することにより起こる。また核分裂生成物は反跳距離が約 10  $\mu\text{m}$  であるため、その多くが燃料材中にとどまり、ペレット表面近傍で発生した核分裂生成物の一部は、燃料棒の空き部へ放出される。

核変換には  $(n, \gamma)$ 、 $(n, \alpha)$ 、 $(n, p)$  などを考慮する必要がある。このうち、 $(n, \alpha)$ 、 $(n, p)$  反応は、中性子のエネルギーが高くなると、ほとんどの原子で起こる。したがって材料中で  $(n, \alpha)$  反応により生ずる He 原子などを考慮する必要がある。熱中性子で  $(n, \alpha)$  反応が起こるのは、ほう素 (B) とベリリウム (Be) で、他の元素はほとんど無視できる。これらは燃料には使用されていない。 $(n, \gamma)$  反応は、熱中性子によるものがほとんどである。 $\gamma$  線は有機物質のような、電子の励起を強く受ける物質に対しては大きな効果を与える。しかし、金属に対しては、 $\gamma$  線は熱的な効果を与える（いわゆるガンマ加熱）以外の効果はほとんどない。

以上をまとめれば、熱中性子は、ペレットの核分裂に対して効果があり、その他の材料への効果は高速中性子を考慮すればよいことになる。

以下に材料ごとに、放射線の効果を説明する。

### 3.1 ウラン・プルトニウム混合酸化物

#### 3.1.1 スエリング

ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレット中の<sup>239</sup>Pu、<sup>241</sup>Pu及び<sup>235</sup>Uは原子炉運転時、中性子を吸収し核分裂することにより炉心内の熱源となる。この核分裂によりウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの中に固体状核分裂生成物とガス状核分裂生成物が生成する。

核分裂生成物によるペレットの体積膨張をスエリングと称している。

スエリング速度は燃焼に伴う密度変化の減少こう配で表され、燃料棒内の酸素ポテンシャルに支配されるといわれている。

二酸化ウランペレットでは、固体状核分裂生成物によるスエリング速度は、Anselin[14]、Bellamy[15]、Warner[16]、Skavdahl[17]らによって核分裂あたり  $0.2 \sim 0.5\% (\Delta V/V)/10^{20} \text{cm}^{-3}$  であることが報告されている。

一方、ガス状核分裂生成物の一部は高温下では拡散によりペレットから燃料棒の空き部に放出されるが、残りはペレット内に滞留する。ガス状核分裂生成物は、温度が低い場合には粒内気泡として二酸化ウランペレットの結晶粒内に析出し、固体状核分裂生成物と同様の振る舞いをするが、温度が上昇するに従い粒界に移動し粒界気泡として析出する。これら気泡は、気泡同士の結合や成長によりスエリングをもたらす。ガス状核分裂生成物によるスエリングは温度の依存性が大きく[16][18]、温度が上昇するにつれて小さくなるが、結晶粒界に集積したガス状核分裂生成物が放出されるとスエリング速度は減少する。

以上のスエリング速度とペレット温度の関係を模式的に表すと第1-7図のようになる。

ガス状核分裂生成物によるスエリングはペレットに加わる外部拘束力により影響を受け、気泡の成長が抑制される。被覆管が強くペレットを拘束する状態では、ペレットの半径方向のスエリングがペレット中の気孔、ディッシュ、クラック等に吸収される[19]。

燃焼によるウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの密度変化を第1-8図[20][21]に示すが、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットと二酸化ウランペレットとでは明確な差が認められないことから、設計上は、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットのスエリングは上述した二酸化ウランペレットと同一とする。

#### 3.1.2 ペレットの焼きしまり

焼きしまりの原因となる気孔の消滅は、空孔の移動機構及び空孔の固溶機構の二つに

よると考えられている。空孔の移動機構は、空孔が拡散により移動し消滅するものである。一方、空孔の固溶機構とは、核分裂によってペレットのごく微少な部分が高温になり、空孔がこの部分に溶解して消滅する機構である。これらの機構による気孔の変化は、小さな気孔ほど起こりやすく、特に直径約  $5\mu\text{m}$  以下の気孔は速く消滅することが分かっている[22] [23]。

第 1-8 図[20] [21]に燃焼に伴う密度変化を示す。密度変化はスエリングによる低下と焼きしまりによる増加がある。照射による密度低下の傾向から燃焼度  $0\text{MWd/t}$  時点の密度を求めると製造時密度を上回っており、燃焼初期に密度がいったん増加し、焼きしまりが生じているといえる。また、焼きしまりによる密度増加は比較的低燃焼度で生じ、飽和する。燃料集合体に使用するペレットは、製造時のペレット密度や焼結条件が管理されており、照射中の焼きしまりによる寸法変化が小さいペレットとなっている。また、第 1-8 図に燃焼に伴う密度変化を示しているが、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットと二酸化ウランペレットとでは密度変化に明確な差が認められないことから、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの焼きしまりは二酸化ウランペレットと同等としている。

なお、過去には燃料棒が非加圧であり燃料棒の内外圧差が大きかったこと、並びにペレット焼きしまり現象と結びついて被覆管のつぶれ(クリープコラプス)を起こした事例がある。これを防ぐために、設計上照射中の寸法変化の小さいペレットを採用するとともに、燃料棒内部をヘリウム加圧している。

### 3.1.3 核分裂生成ガス放出

核分裂生成ガス(Xe, Kr)は、主にリコイル・ノックアウトによる放出及び高温で顕著となる拡散による放出とに分けることができる。

リコイル・ノックアウトによる放出とは、核分裂生成ガスが直接ペレット外へ放出、あるいは、核分裂生成物がペレット表面近傍の核分裂生成ガスをペレット外へはじき出す現象である。また、拡散による核分裂生成ガス放出とは、結晶粒内において発生した核分裂生成ガス(Xe, Kr)が拡散により結晶粒界へと移動し、粒界からペレット外へと放出される機構である。この拡散による核分裂生成ガス放出は、主にペレット温度や燃焼度に依存する。

また、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットでは、プルトニウムの均一性が悪い場合、ペレット中にプルトニウム濃度の高い部分(プルトニウムスポット)が多数存在することとなり、プルトニウムスポットで局所的に燃焼度が高くなるため、核分裂生成ガス放出率が高く

□内は商業機密のため、公開できません。

なる。そこで、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの製法は、均一度を高めるための改良が行われた。

本申請では、プルトニウム均一性を向上すべく、オラノサイクル社(旧アレバエヌシー社、旧コジェマ社)のカダラッシュ工場及びベルゴニュークリア社のデッセル工場で実績のある粉末混合方法(MIMAS 法\*)により製造し、□  
□以下のペレットを使用する。

なお、本製法により製造されたウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットにおけるプルトニウムスポット径については、その大半は数十 $\mu\text{m}$ 程度であり、最大で200 $\mu\text{m}$ 程度の結果が報告されている[24]。

このように近年の改良された製法によるウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの商業炉照射による核分裂生成ガス放出率の燃焼による変化を第1-9 図[25] [26]に示す。近年得られているウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの照射後の核分裂生成ガス放出率は、二酸化ウランペレットと同程度である[27]。ただし、設計上のウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの核分裂生成ガス放出率は、旧製法の核分裂生成ガス放出挙動を保守的に考慮し、二酸化ウランペレットのものよりも大きいとしている。

核分裂生成ガス放出率が大きくなると、燃料棒内圧が増加する。燃料設計では、燃料棒初期加圧量や燃料棒内自由体積を適切な設定としており、燃料寿命末期における燃料棒内圧が過大とならないようにしている。

#### 3.1.4 ヘリウム放出

ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットでは、超ウラン元素の $\alpha$ 崩壊によるヘリウムの生成を考慮する必要がある。これらヘリウムが燃料棒内の自由空間に放出されると燃料棒内圧が増加することになる。

ヘリウムの放出機構は核分裂生成ガスと同様、主に拡散によるものである。

第1-10 図 [28]にヘリウム放出率と核分裂生成ガス放出率を比較して示すが、ヘリウム放出率は核分裂生成ガスの放出率に比べて2倍程度大きいと報告されている。また、ベルゴニュークリア社による核分裂生成ガス放出率とヘリウム放出率の関係を第1-11

---

\* MIMAS(Micronized Master Blending) : 二酸化ウラン粉末と二酸化プルトニウム粉末を混合するにあたり、2段階にて混合を行う方法であり、1段目はボールミルを使用して二酸化ウラン粉末と二酸化プルトニウム粉末を粉碎混合し、2段目にて、1次混合粉末に、さらに二酸化ウラン粉末を加えてスクリー方式により均一化混合を行う。

図[29]に示すが、ヘリウム放出率には大きなばらつきがあるものの、核分裂生成ガス放出率との間には相関が見られる。

ヘリウム放出率が核分裂生成ガス放出率より大きい主な原因は、ヘリウム拡散速度が、核分裂生成ガスの Xe、Kr よりも大きいためである。

設計では、ヘリウムの放出は核分裂生成ガス放出率に依存するとして考慮し、燃料棒初期加圧量や燃料棒内自由体積を適切な設定としており、燃料寿命末期における燃料棒内圧が過大とならないようにしている。

### 3.1.5 ペレットリム組織化

ペレットの周辺部では、 $^{238}\text{U}$  の共鳴吸収によって生じた  $^{239}\text{Pu}$  が核分裂することから、高燃焼度では製造時と比較して結晶粒径が小さくなるとともに、その部分で多数の気泡が認められるようになる。これをリム組織と称している。

このリム組織は、核分裂片によりペレット内に生成した照射欠陥に起因して生成されると考えられ、二酸化ウランペレットでは温度が  $1,100^{\circ}\text{C}$  以下、局所燃焼度が  $45,000\text{MWd/t}$  を超えるようになると生成することが報告されている[30]。また、リム組織の幅は、燃焼とともに大きくなる。第1-12 図[31]に、燃焼によるリム組織幅及び気孔率の変化を示す。

リム組織化の影響として、粗大化気泡の形成に伴い核分裂生成ガス放出量が増加する可能性が考えられる。第1-13 図[32]に、ペレット径方向  $r/r_0^* \geq 0.7$  での核分裂生成ガス (Xe) 濃度の局所燃焼度による変化を示す。この報告から、局所燃焼度約  $75,000\text{MWd/t}$  までペレット周辺部での Xe 濃度は生成量とほぼ一致しており、リム組織から過剰な核分裂生成ガス放出が生じていないと推定される。したがって、リム組織からの核分裂生成ガスは、過度な燃料棒内圧増加をもたらさないと考えられる。

ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットでは、Walker 等により燃料集合体燃焼度約  $45,000\text{MWd/t}$  のウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットにおいて、リム組織の形成が始まっていることを観察し、これは二酸化ウランペレットのリム組織形成の開始点に相当するとしている[33]。このことから、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットのリム組織の生成機構は、二酸化ウランペレットと同じであると考えられる。

## 3.2 Sn-Fe-Cr 系ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4)

一般的にジルカロイ-4 は高速中性子の照射とともに耐力が増加する。例として、ジルカロ

---

\* $r_0$ : ペレット外径、 $r$ : 任意の径 (測定点の径)

□内は商業機密のため、公開できません。

イ-4 被覆管の照射による機械的性質の変化を第1-14 図[8]に、制御棒案内シンプルの照射による機械的性質の変化を第1-15 図[34]に示す。高速中性子の照射とともにジルカロイ-4 の引張強さ及び耐力は増加し、その後は照射量の増加に伴う大きな変化は見られない。したがって、燃料設計ではジルカロイ-4 の耐力として、未照射材の値を用いれば安全側である。

伸び(延性)は、高速中性子の照射とともに低下するが、その変化量は照射量の増加に伴い小さくなり、照射末期に相当する照射量においても健全性上必要な延性が保たれている。

ジルカロイ-4 被覆管はクリープにより外径が変化する。Halden 炉において照射された燃料棒の外径測定結果を第1-16 図[8]に示す。燃料棒の外径変化は、ペレットと被覆管が接触するまでは被覆管のクリープ変形により、接触後はペレットのスエリングにより支配される。そのため、低燃焼度域における燃料棒外径変化から被覆管のクリープ特性を確認することができる。設計では、ジルカロイ-4 被覆管の炉外クリープ試験結果や炉内燃料棒外径測定結果よりモデル化し、使用している。

未照射及び照射されたジルカロイ-4 被覆管の疲労試験結果を第1-17 図[8]に示す。疲労設計曲線は従来よりジルカロイ-4 被覆管での疲労設計曲線として使用されている Langer and O'Donnell 疲労曲線を使用する。

### 3.3 耐食耐熱ニッケル基合金(718 合金)

718 合金の照射による機械的性質の変化を第1-18 図[35] [36]に示す。耐力及び引張強さは、照射量  $6 \times 10^{26} \text{n/m}^2 (E > 1 \text{MeV})$  までほとんど変化は認められない。一方、伸び(延性)は照射量  $5 \times 10^{25} \text{n/m}^2 (E > 1 \text{MeV})$  までは大きく減少するが、その後は照射量  $6 \times 10^{26} \text{n/m}^2 (E > 1 \text{MeV})$  に至るまでほとんど変化していない。燃料集合体燃焼度 45,000MWd/t 相当の照射量約  $9 \times 10^{25} \text{n/m}^2 (E > 1 \text{MeV})$  (プルトニウムはウランより熱中性子吸収断面積が大きいことから、炉心の中性子スペクトルが硬化して高速中性子束の割合が増加することを考慮)においても5%程度の伸び(延性)があり、718 合金の延性は確保される。

### 3.4 耐食耐熱ニッケル合金(□)

□の照射による機械的性質の変化を第1-19 図[37]に示す。耐力及び引張強さは照射量約  $8 \times 10^{25} \text{n/m}^2 (E > 1 \text{MeV})$  までは増加し、その後減少するが高燃焼度域においても未照射材を下回ることはない。一方、伸び(延性)は照射量約  $8 \times 10^{25} \text{n/m}^2 (E > 1 \text{MeV})$  までは大きく減少するが、その後は照射量約  $6 \times 10^{26} \text{n/m}^2 (E > 1 \text{MeV})$  までほとんど変化してい

□内は商業機密のため、公開できません。

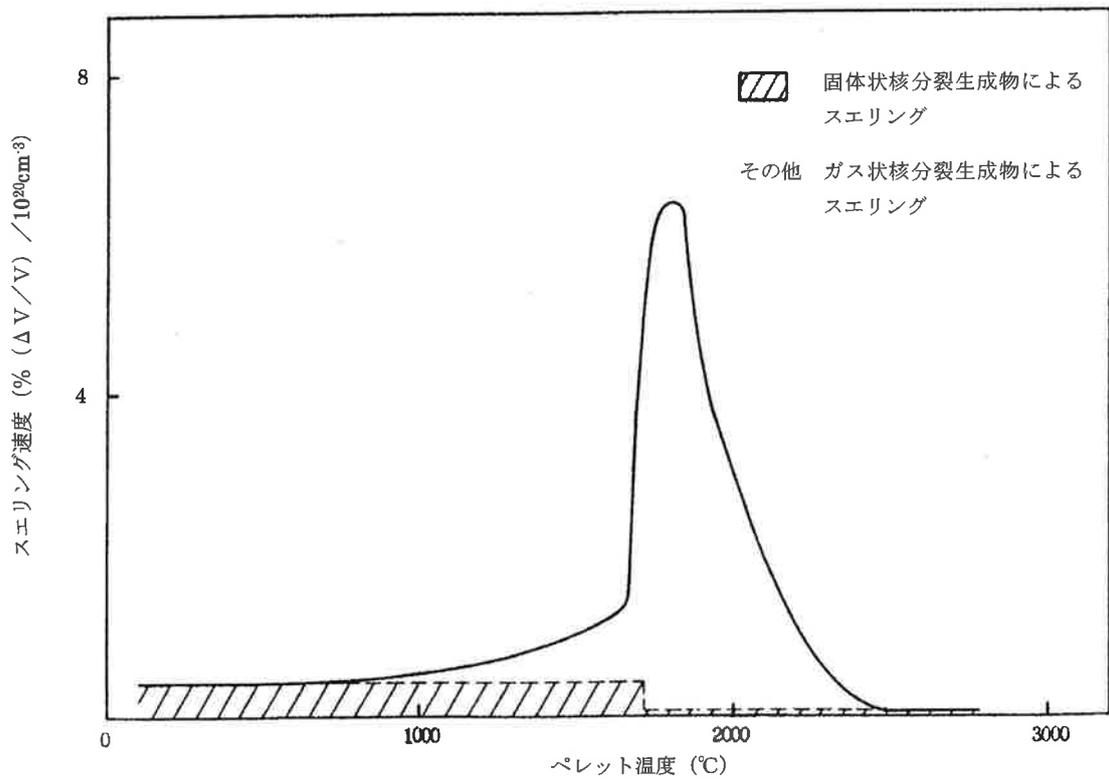
ない。燃料集合体燃焼度 45,000MWd/t 相当の照射量約  $9 \times 10^{25} \text{n/m}^2 (E > 1 \text{MeV})$  (プルトニウムはウランより熱中性子吸収断面積が大きいことから、炉心の中性子スペクトルが硬化して高速中性子束の割合が増加することを考慮)においても 5%程度の伸び(延性)があり、□の延性は確保される。

### 3.5 ニッケル・クロム・鉄合金 □

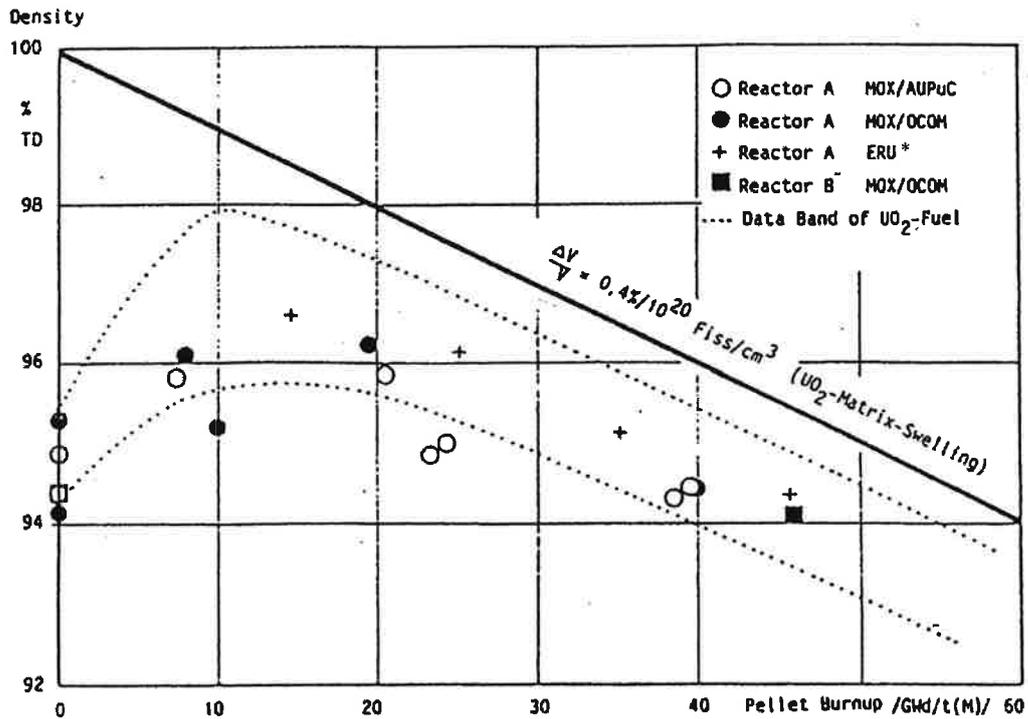
□の金属組織はステンレス鋼と同等であり、使用条件も同じであることから、照射による機械的性質への影響はステンレス鋼と同等と考えられる。

### 3.6 ステンレス鋼

ステンレス鋼の照射による機械的性質の変化を第1-20 図[38][39]に示す。耐力及び引張強さは増加するが、その後は照射量の増加に伴う大きな変化は見られない。一方、伸び(延性)は若干減少するが、軽水炉におけるステンレス鋼の使用条件から考えると、燃料集合体燃焼度 45,000MWd/t 相当の照射量約  $9 \times 10^{25} \text{n/m}^2 (E > 1 \text{MeV})$  (プルトニウムはウランより熱中性子吸収断面積が大きいことから、炉心の中性子スペクトルが硬化して高速中性子束の割合が増加することを考慮)においてもステンレス鋼の延性は確保される。

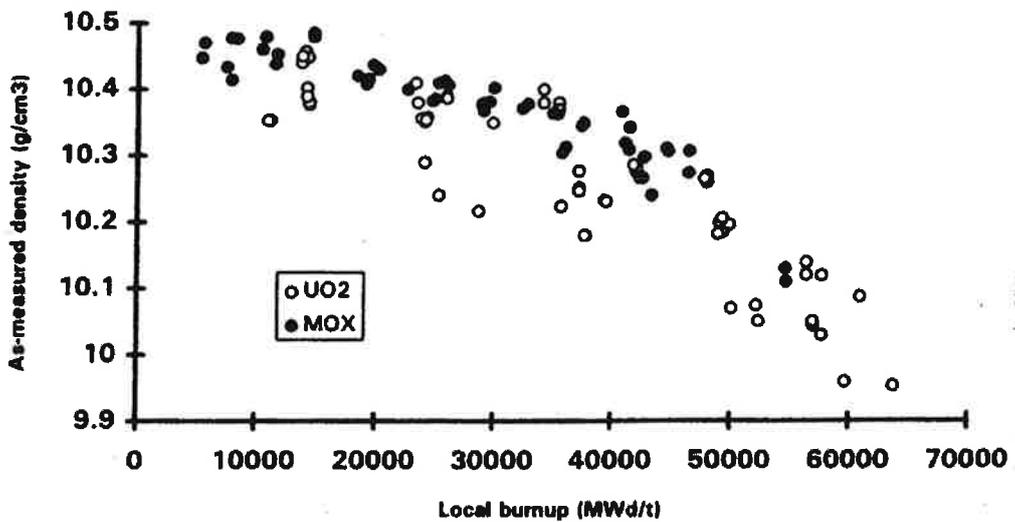


第1-7図 ペレットのスエリング速度

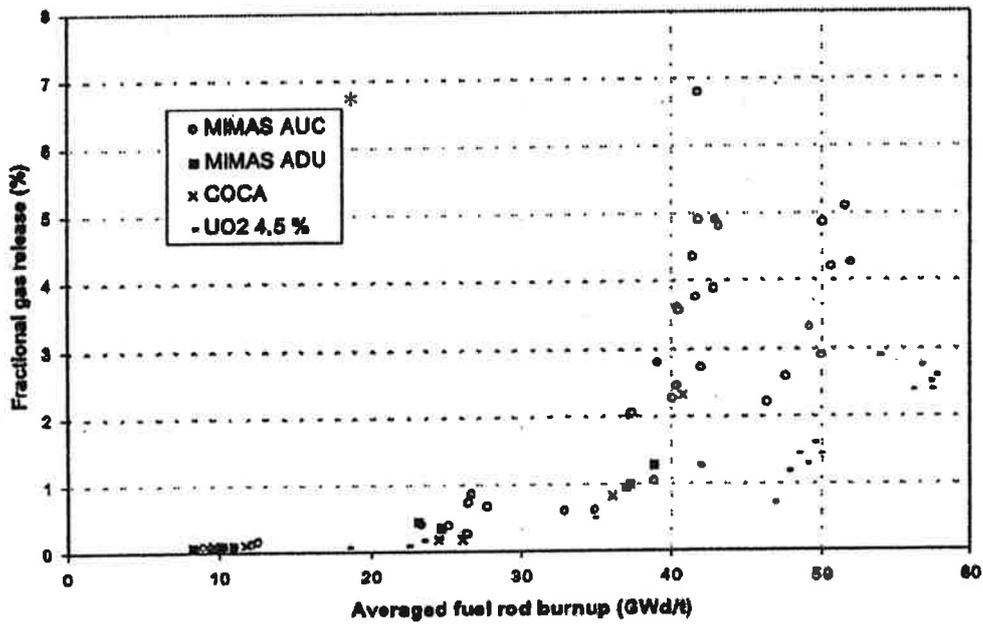


\* :ERU(Enriched Reprocessed Uranium)

第1-8 図(1) ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの照射による密度変化[20]

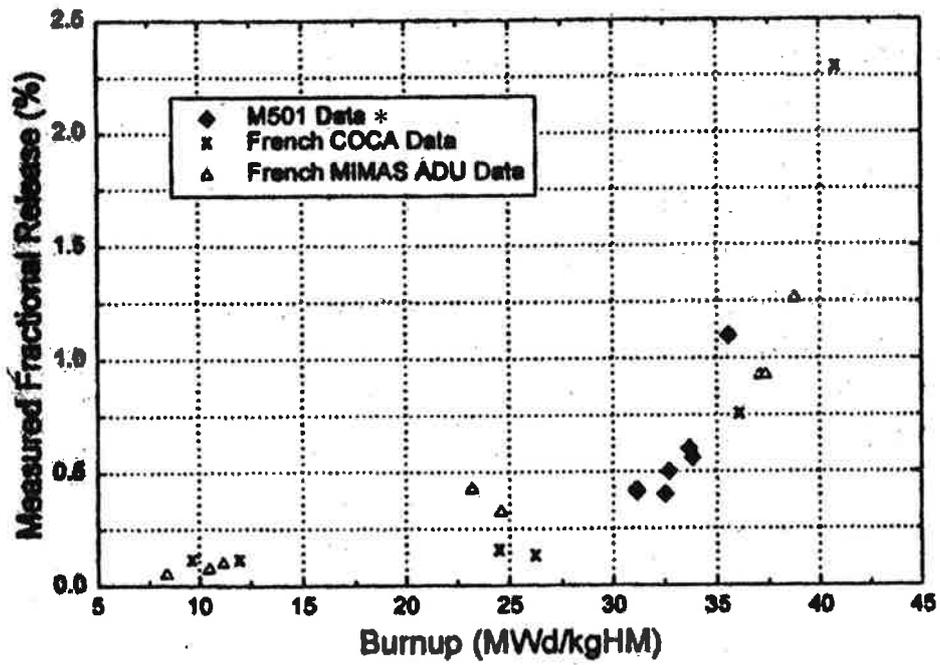


第1-8 図(2) ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの照射による密度変化[21]



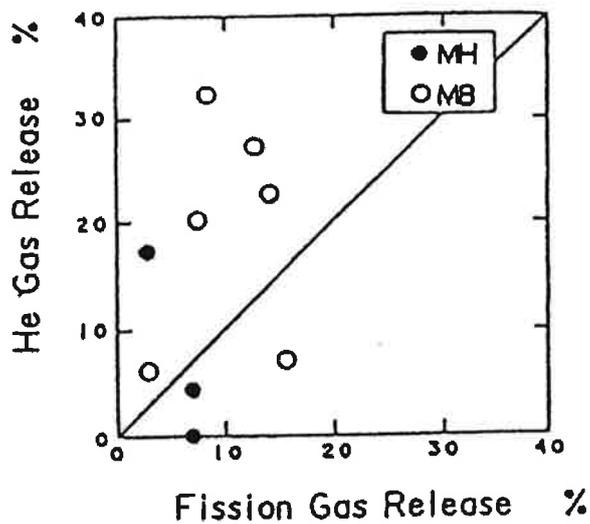
第1-9 図(1) 商業炉照射によるウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの核分裂生成ガス放出率[25]

\* 同程度の燃焼度におけるウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの核分裂生成ガス放出率は二酸化ウランペレットと比較が高いが、これは主にウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの照射中の出力が二酸化ウランペレットと比べて高かったためである。

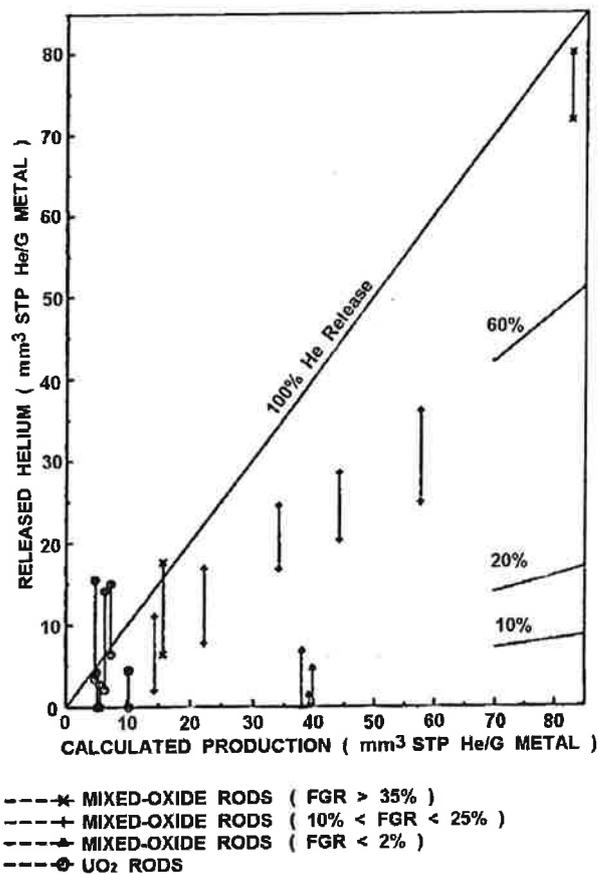


第1-9 図(2) 商業炉照射によるウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの核分裂生成ガス放出率[26]

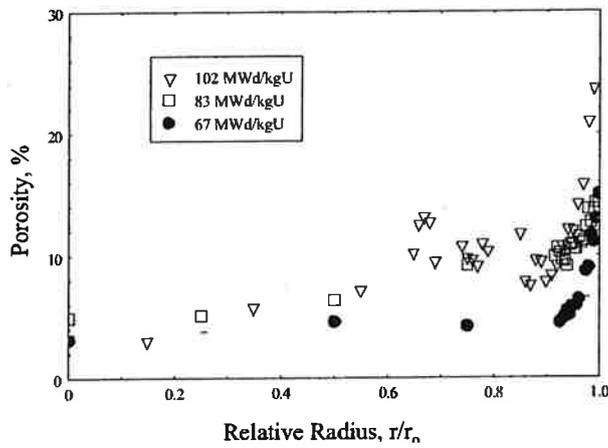
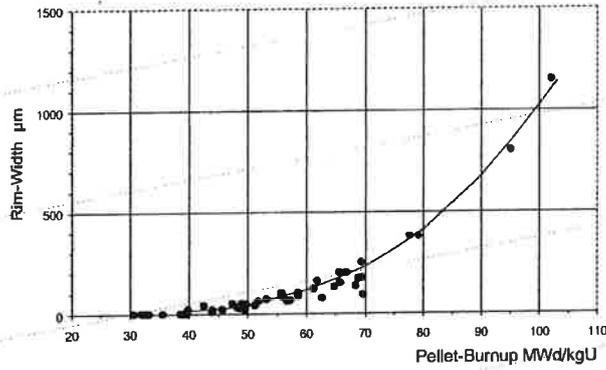
\* M501 Data も MOX 燃料のデータ



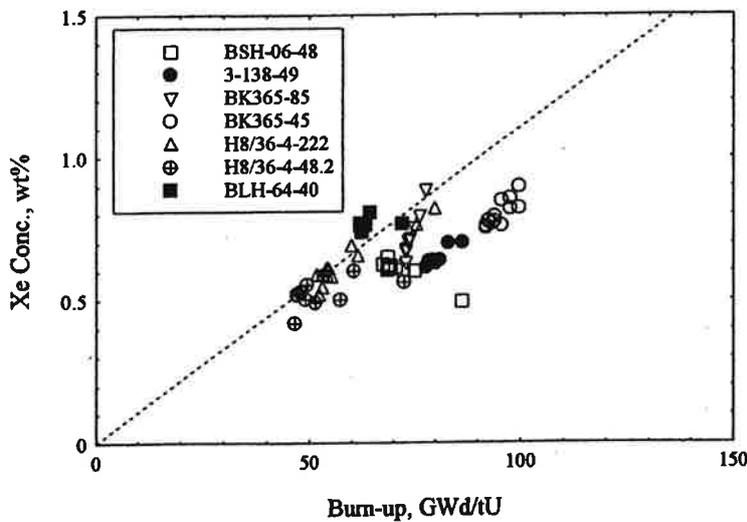
第1-10 図 ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットのヘリウム放出率と核分裂生成ガス放出率の比較[28]



第1-11 図 ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの核分裂生成ガス放出率とヘリウム放出率の関係[29]

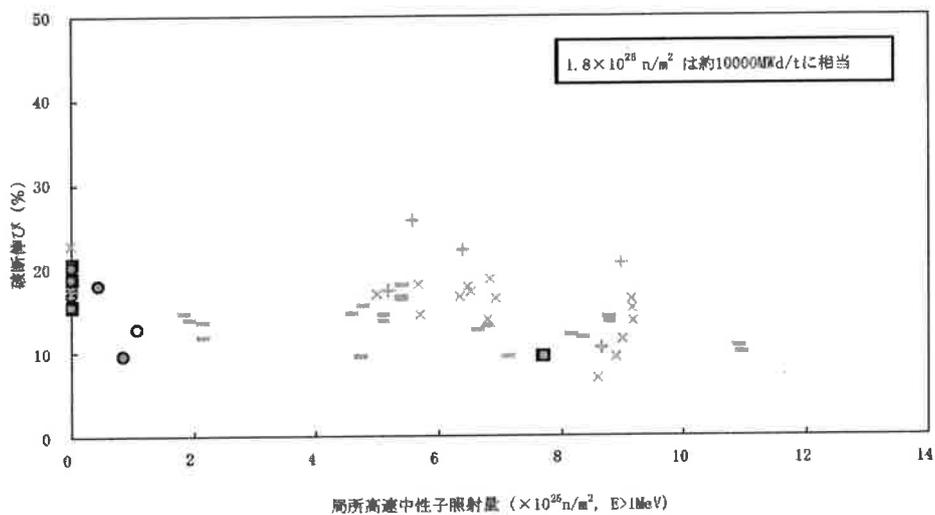
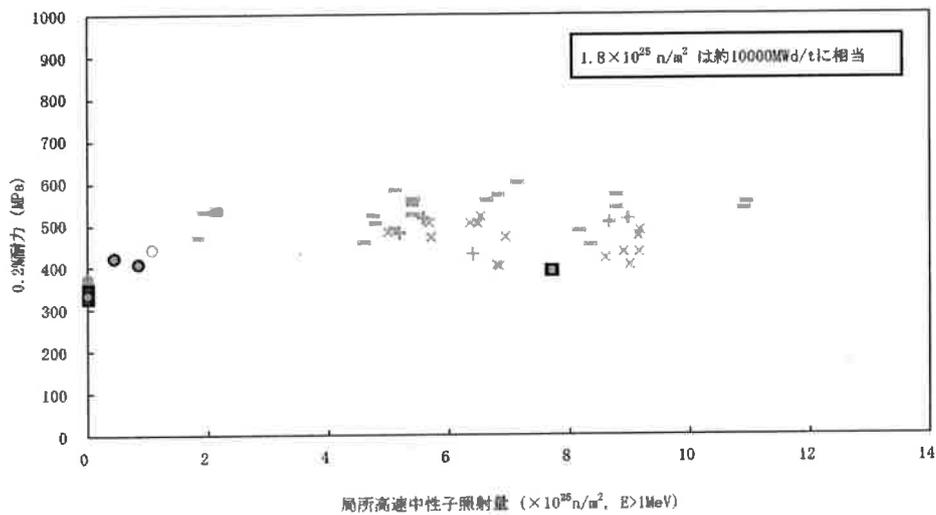
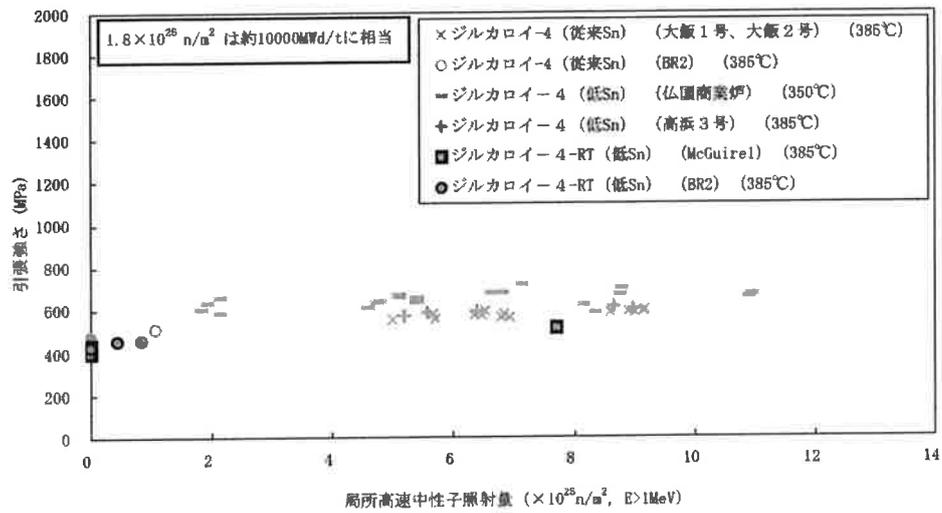


第1-12図 燃焼によるリム組織幅及び気孔率の変化[31]



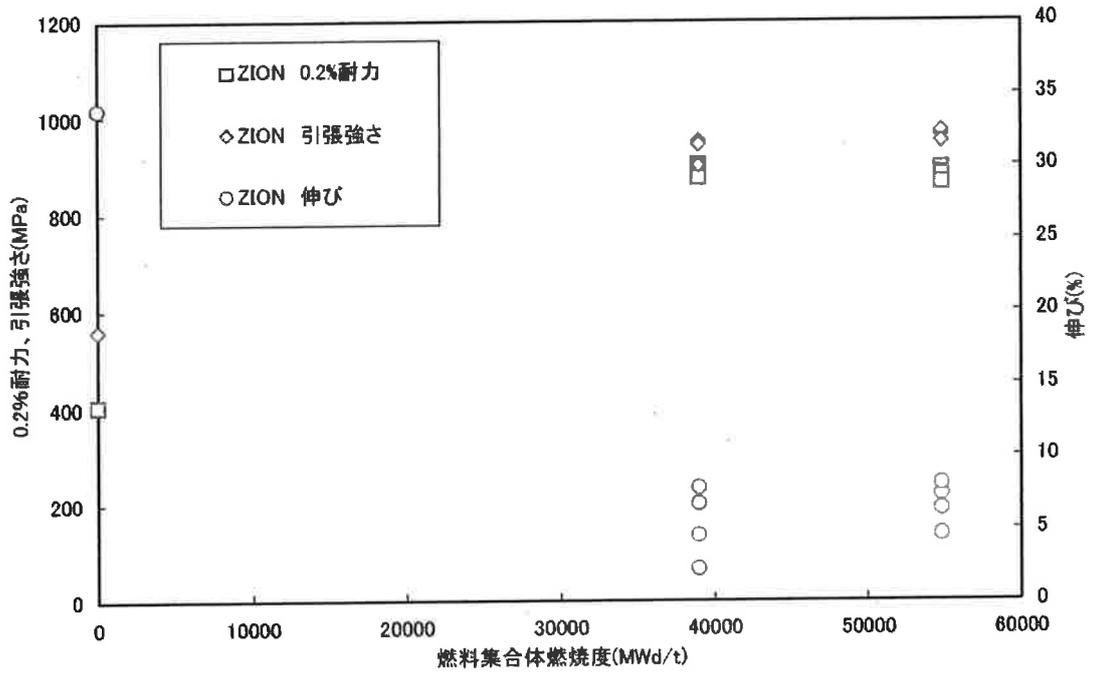
- ペレット径方向  $r/r_0 \geq 0.7$  での測定値
- 図中の破線は、核分裂生成ガス放出がないとした場合のXe生成量計算値
- H8/36はBWR照射ペレット、その他はPWR照射ペレット
- BLHは大粒径ペレットのため、リム組織が形成されにくい。
- BSH及びBLHは高濃縮ウランから成る結晶粒( $\sim 100 \mu\text{m}$ 程度)をペレット中に含んでいる。BSHではこの部分で燃焼が進み、核分裂生成ガス放出が大きくなっている。
- BKは中空ペレットである。局所燃焼度100GWd/t付近にプロットされているBK365-45では、ペレット全体に渡ってリム組織となっている。

第1-13図 局所燃焼度とXe濃度の関係[32]

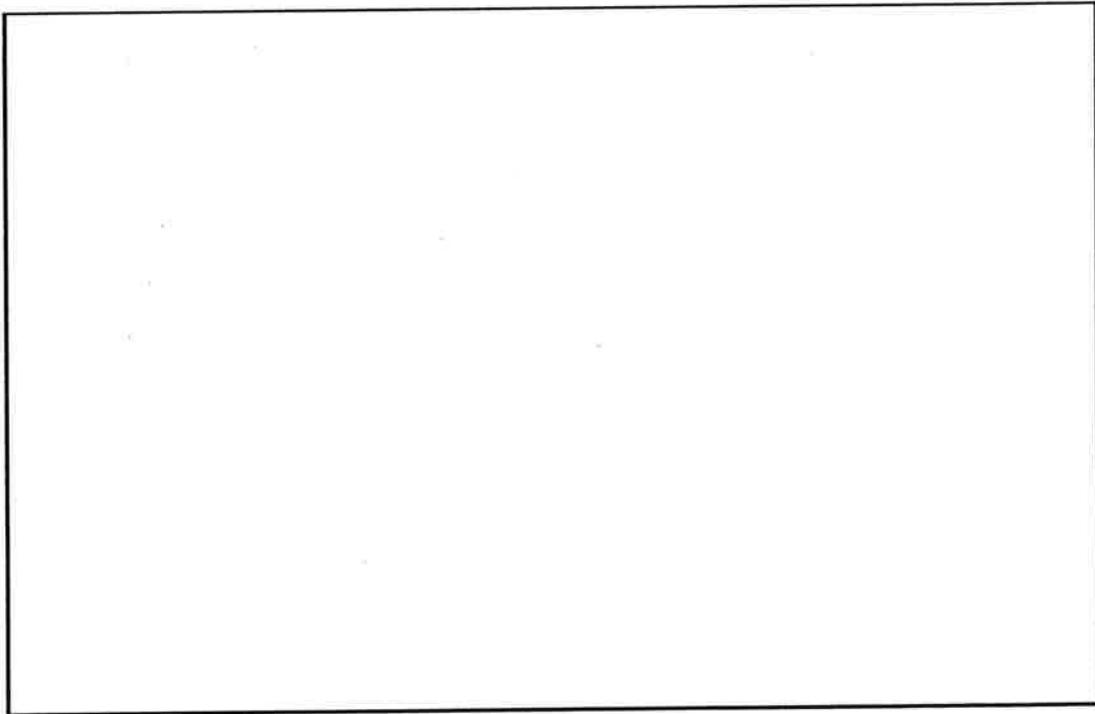


第1-14図 ジルカローイ-4 被覆管の照射による機械的性質の変化[8]

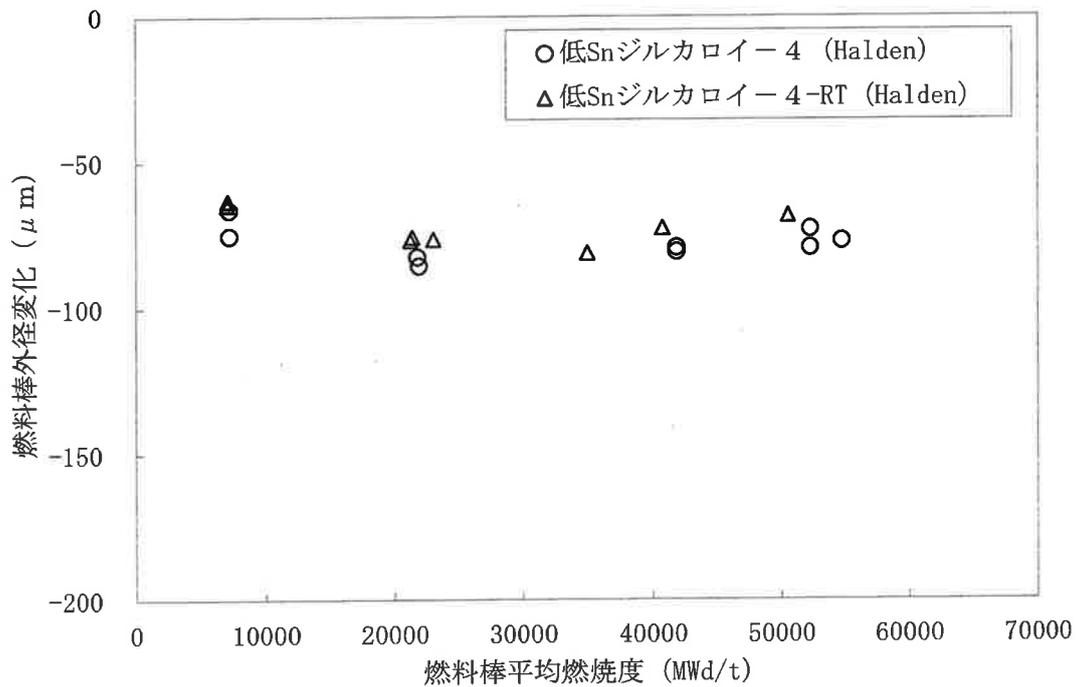
□内は商業機密のため、公開できません。



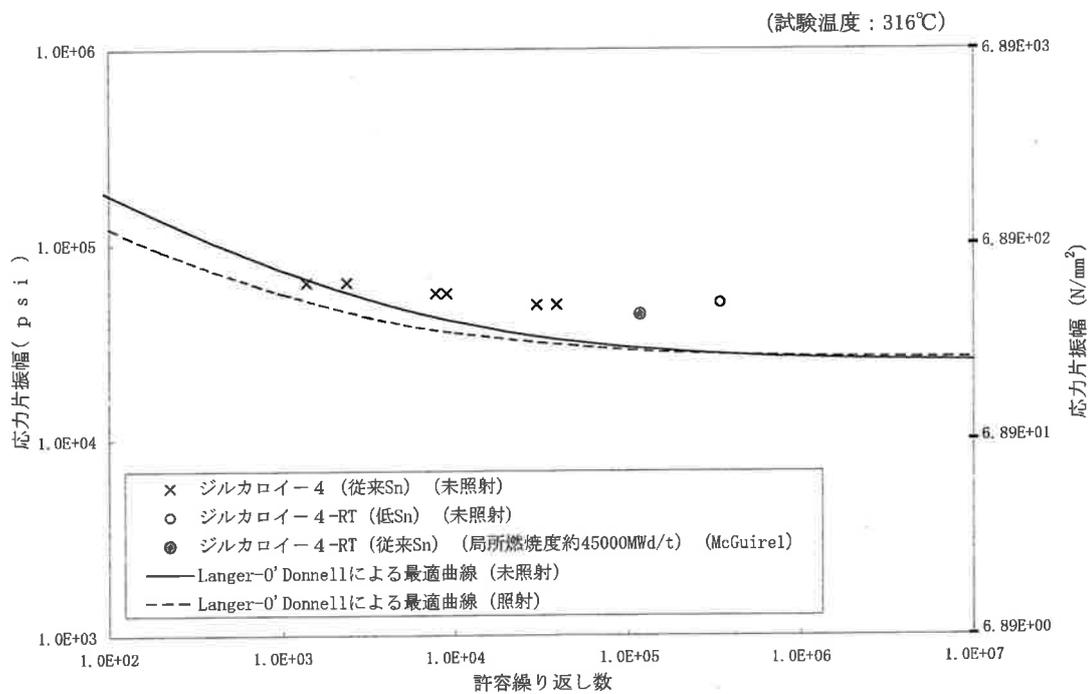
第1-15 図(a) 制御棒案内シンプルの照射による機械的性質の変化[34]



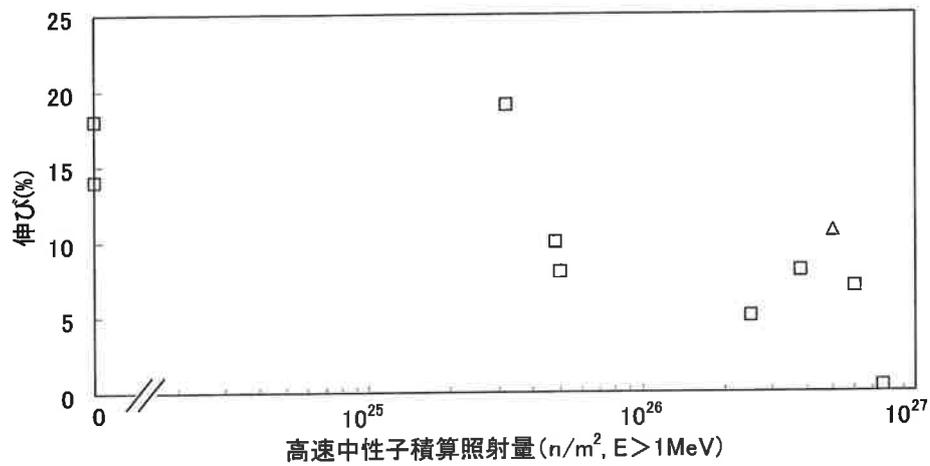
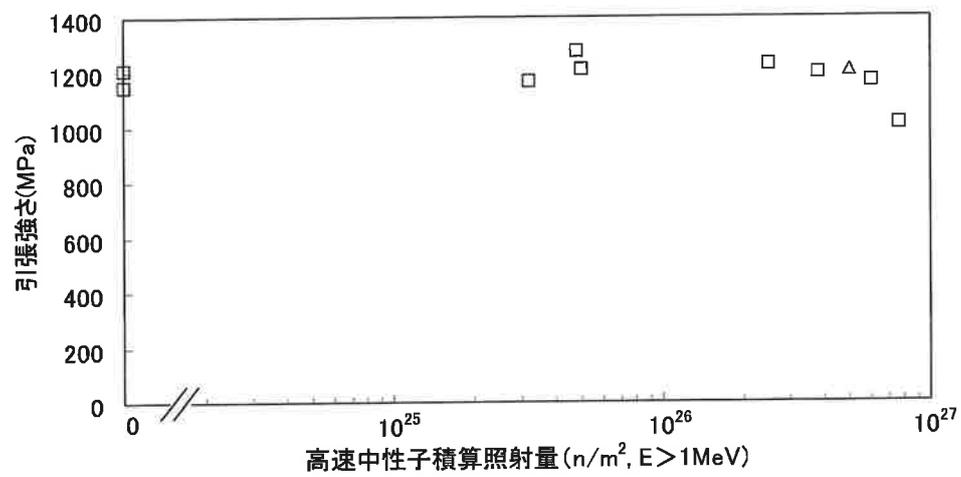
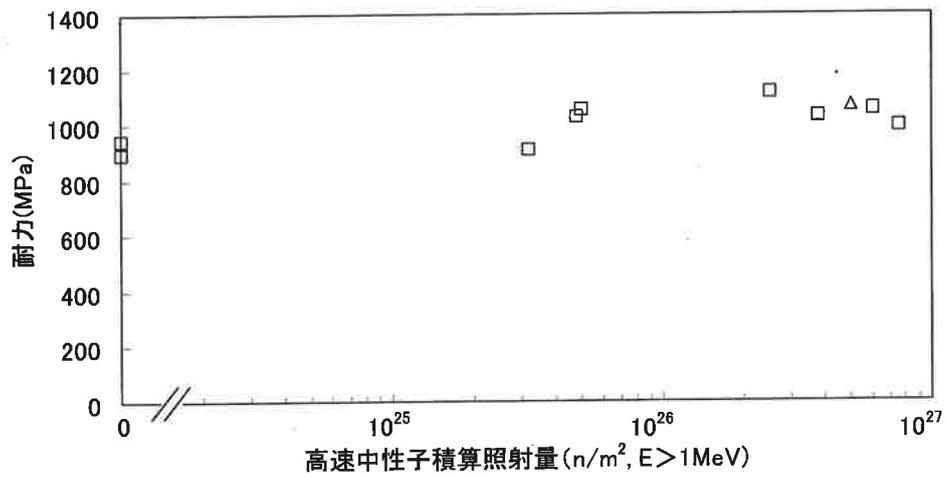
第1-15 図(b) 制御棒案内シンプルの照射による機械的性質の変化



第1-16図 ジルカローイ-4 被覆管の照射による外径変化[8]



第1-17図 ジルカローイ-4 被覆管の疲労特性[8]

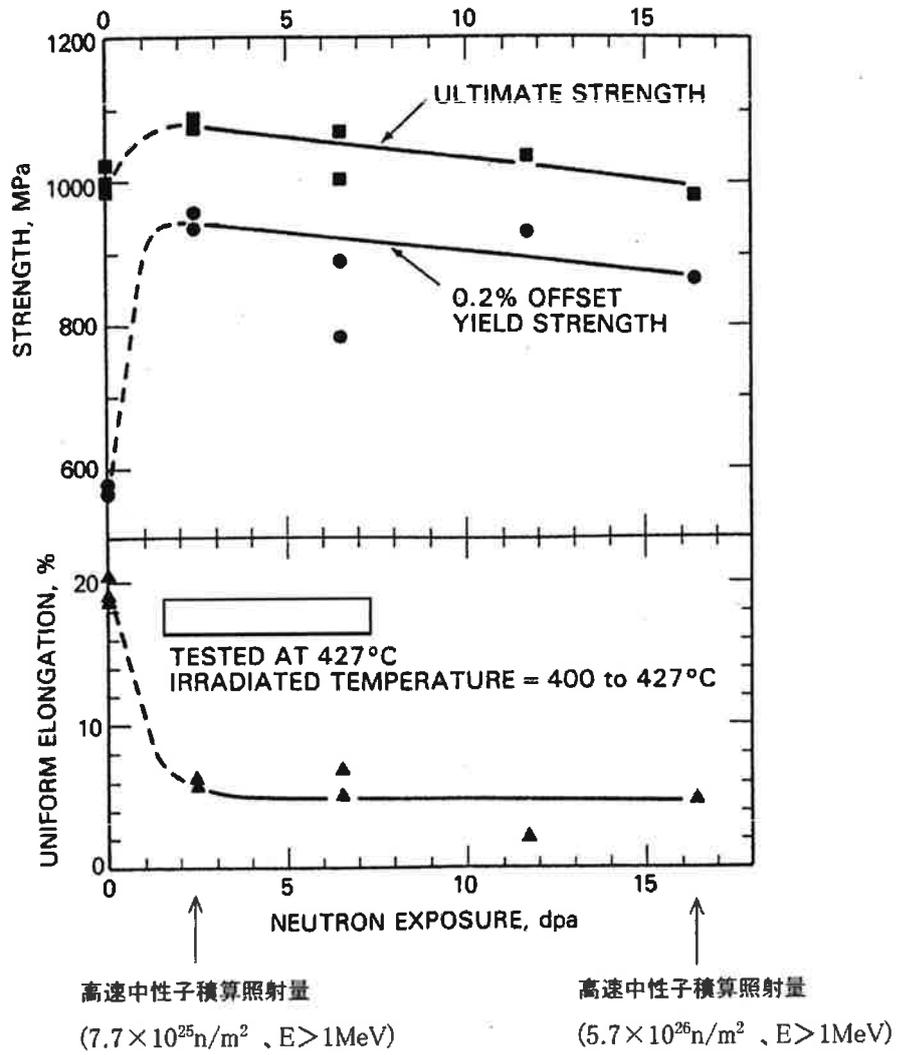


□:WH データ(試験温度 427°C)[36]

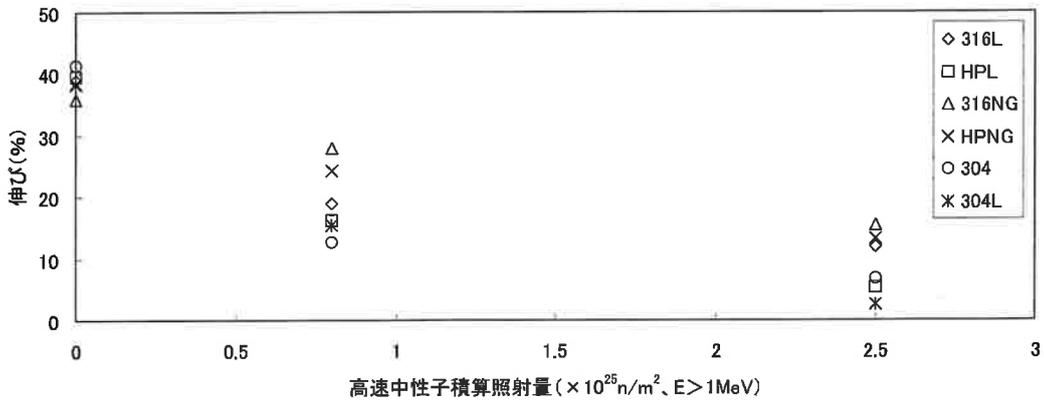
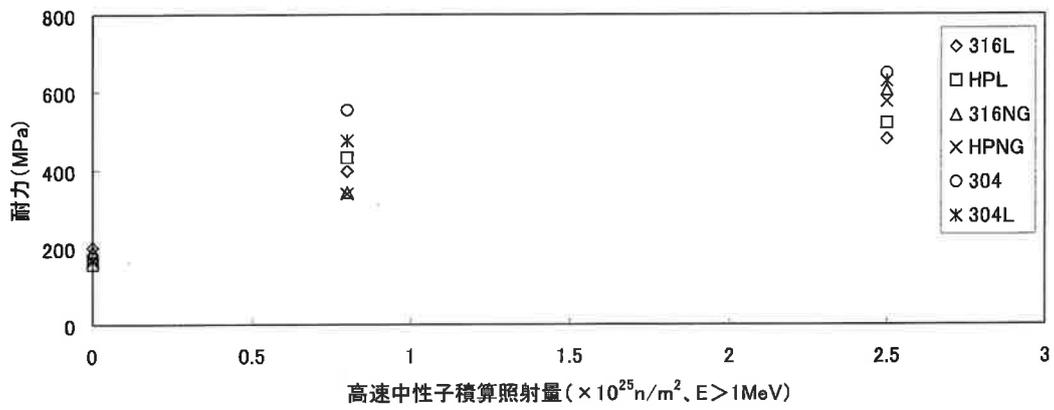
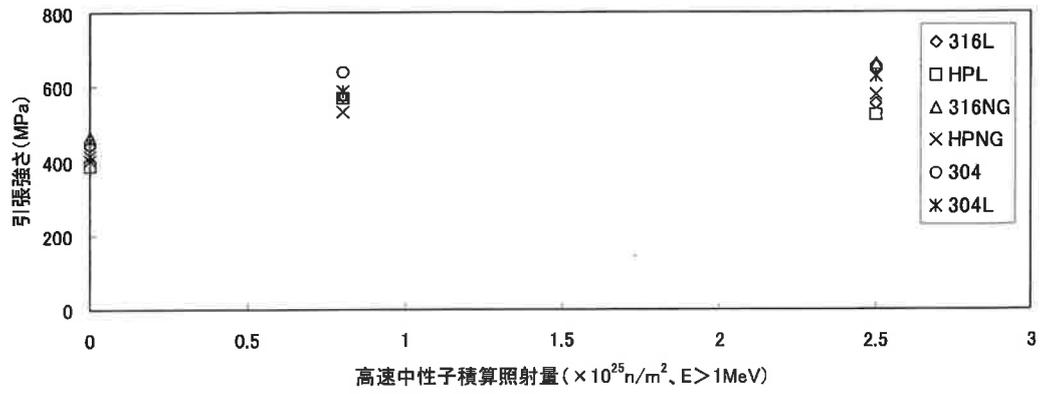
△:ORNL データ(試験温度 450°C)[35]

第 1-18 図 718 合金の機械的性質

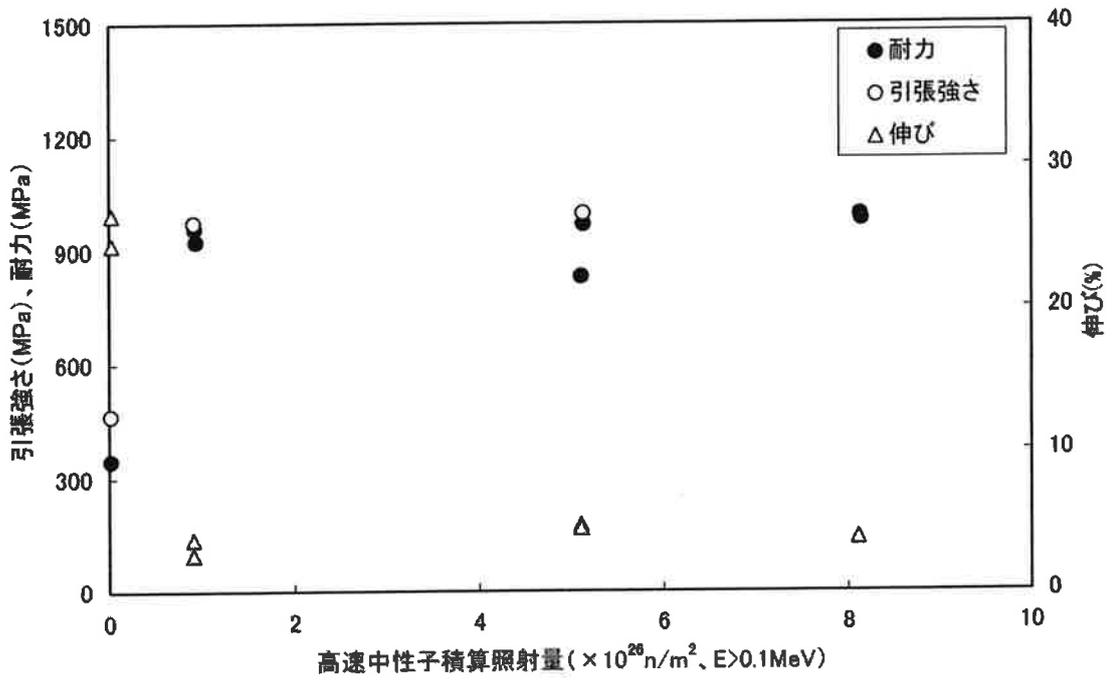
□内は商業機密のため、公開できません。



第1-19 図 □ の機械的性質 (試験温度 427°C) [37]



第 1-20 図(a) ステンレス鋼の機械的性質 (試験温度 288°C) [38]



第 1-20 図(b) ステンレス鋼(SUS316)の機械的性質(試験温度 320℃)[39]

#### 4. 燃料体の耐腐食性

##### 4.1 ウラン・プルトニウム混合酸化物

燃料棒に挿入されたペレットは、原子炉運転時にジルカロイ-4 被覆管及び充てんガス（ヘリウム）と接触する。また、被覆管に破損が生じた場合には、ペレットと冷却水との接触が生じる可能性がある。

第 1-21 図[40]にウラン、プルトニウムの標準生成自由エネルギーを示す。同図より、ウラン・プルトニウム混合酸化物は二酸化ウランに比較してより高い酸素ポテンシャル環境下においてその化学量論性を維持することから、ウラン・プルトニウム混合酸化物の耐食性は二酸化ウランよりも優れていると言える。

以下にジルカロイ-4 被覆管、充てんガス及び冷却水との反応について述べる。

なお、二酸化ウランペレットとステンレス鋼製の上部プレナムコイルばね及び下部プレナムコイルばねの押さえ板は接触しているが、この反応の報告はされていない。更に、Yankee 炉のステンレス鋼被覆管燃料棒についての報告でも、二酸化ウランペレットとステンレス鋼との反応は見られなかった[41]。また、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットにおいては、ステンレス鋼被覆管を用いている高速炉燃料における国内外の照射実績より、その内面腐食量は小さいことが知られており[42]、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットとペレット押さえ板とは安定に共存すると考えられる。

##### 4.1.1 ウラン・プルトニウム混合酸化物とジルカロイ-4 との反応

核分裂により生じた余剰酸素が被覆管と化学反応することにより、被覆管内面酸化膜が生成する。また、ペレットと被覆管が強固に接触するようになると、被覆管内面酸化膜と燃料との拡散層が形成され、ボンディングを生じる。

ウラン燃料について、燃料棒平均燃焼度約 69,000MWd/t まで照射されたジルカロイ-4 被覆管と燃料とは過大なボンディングは観察されていない[43]。

ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の被覆管内面酸化膜厚さを第 1-22 図[44]に示すが、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の内面酸化膜厚さは二酸化ウラン燃料と同程度である。

このことから、想定する燃焼度の範囲において、ジルカロイ-4 被覆管の内面酸化は燃料棒の健全性を確保する上で影響は小さいと考えられる。

#### 4.1.2 ウラン・プルトニウム混合酸化物と充てんガスとの反応

ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットと反応すると考えられるガスとしては酸素が挙げられる。燃料棒は、少量の空気にヘリウムが加圧される。燃料棒内のガス中には僅かに酸素が含まれるが、その酸素によってウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットが酸化されたと仮定しても、これに伴う O/M 比の増加は 0.00005 程度であり、ペレットの物性上問題とならない。燃料棒内に加圧封入されるヘリウムガスは不活性ガスであり、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットと反応することはない。また、ペレットに吸着した水分に由来する酸素についても、燃料棒製造段階まで水分を厳しく管理しているため、ウラン・プルトニウム混合酸化物に与える影響は無視できる。充てんガスのヘリウムの一部は照射中ペレットに吸収されることが知られているが、この効果は燃料棒の内圧を減少させる。

#### 4.1.3 ウラン・プルトニウム混合酸化物と水との反応

二酸化ウランペレットは、高温で脱ガスした中性又はアルカリ性の水中で安定である。炉外試験により二酸化ウランペレットを高温水(300℃以上)に約 1 年間放置した実験では質量はわずかに 0.03%増加したにすぎなかった[1]。

二酸化ウランペレットが水と直接接触するのは、被覆管に欠陥孔が生じた場合である。欠陥孔が 8mm の燃料棒を 1 年間照射しても二酸化ウランペレットの質量は 0.2g 減少したにすぎなかったという報告がある[45]。したがって、二酸化ウランペレットは高温水に対して安定である。

4.1 で述べた通りウラン・プルトニウム混合酸化物は二酸化ウランと比較し、反応しにくい。ため、二酸化ウランペレットと同様、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットは高温水に対し安定である。

実際に燃料が使用される冷却水中の溶存酸素は 5ppb 以下に管理しており、冷却水中においてウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットと反応しないと考えられる。

ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットと冷却水との化学反応における放射線による影響として、冷却水の放射性分解により発生する酸素がウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットとの反応を促進させる可能性が考えられるが、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ため、照射による反応促進への影響はない。

#### 4.2 Sn-Fe-Cr 系ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4)

ジルカロイ-4 被覆管及び制御棒案内シムプルは、原子炉運転中高温の冷却水と接して

□内は商業機密のため、公開できません。

いることから、 $Zr+2H_2O\rightarrow ZrO_2+2H_2$  の反応により酸化腐食が進行するとともに、酸化腐食反応から生ずる水素の吸収による脆化が予想される。以下にこれらの反応について説明する。

なお、ステンレス鋼の上部プレナムコイルばねは、従来から加圧水型炉燃料の燃料棒プレナム部に挿入されているが、ジルカロイ-4 と反応が起こったという報告はない。また、718 合金の支持格子、□の下部プレナムコイルばねは、原子炉での使用実績が多いが、ジルカロイ-4 と反応を起こした例はない。

#### 4.2.1 冷却水による腐食

一般に、高温高圧水とジルカロイ-4 の反応による腐食は、最初は時間に対し立方則に従い腐食量が増加し、黒色で緻密な酸化物を生じる。その後ある時間保持すると、腐食速度が比較的大きく一定になり、腐食量が時間に対し線形に増加する。この腐食速度の変化は遷移と呼ばれ、腐食増量が約  $30\text{mg}/\text{dm}^2$  (酸化膜厚さ約  $2\mu\text{m}$ ) に達したところで現れるといわれている。遷移の後、酸化物は徐々に褐色に変わっていき、かなり時間が経過すると酸化物にき裂を生じ、さらに時間が経過するとはく離を生じることがある。

炉内で照射されたジルカロイ-4 被覆管の最大酸化膜厚さ測定結果を第1-23 図[8]に示す。被覆管の酸化膜厚さは冷却水条件や出力履歴により影響を受けることから、全データを直接比較することはできないが、従来 Sn ジルカロイ-4 被覆管\*では燃料棒燃焼度約  $60,000\text{MWd}/\text{t}$  で約  $100\sim 120\mu\text{m}$  に達する場合がある。これに対して、低 Sn ジルカロイ-4 被覆管\*では最大でも約  $80\mu\text{m}$  と従来 Sn ジルカロイ-4 被覆管と比較して耐腐食性が改善されている。

被覆管の腐食を低 Sn ジルカロイ-4 被覆管の腐食速度で評価すると、燃料寿命末期における被覆管の腐食量は、被覆管の機械的性質に影響を及ぼさない範囲(目安値: 腐食による被覆管減肉量が肉厚の 10%以下\*\*)である。

制御棒案内シンプルは、発熱体ではないため温度が低く、第 1-24 図[34]に示すように酸化の進行による腐食速度の増加はみられない。したがって、燃料寿命末期での肉厚減少量は、機械的性質に影響を及ぼさない程度である。

---

\* ジルカロイ-4 被覆管の Sn 含有量については、従来の製品では 1.5wt% を中心にばらついていたが、近年、耐食性向上を狙って、規格の範囲内(1.20wt%~1.70wt%) で Sn 含有量を低下させ、含有量が 1.3wt% 近傍の製品が採用されている。一般的に、前者を従来 Sn ジルカロイ-4 被覆管、後者を低 Sn ジルカロイ-4 被覆管と称している。

\*\* 酸化膜厚さで  $108\mu\text{m}$  相当

#### 4.2.2 水素吸収

ジルコニウムと水との酸化腐食反応により発生した水素の一部は、被覆管及び制御棒案内シンプルに吸収される。炉内で照射された被覆管の水素吸収量の酸化膜厚さ依存性を第1-25 図[8]に示す。水素吸収が過度に大きくなり固溶限以上に吸収された水素は、水素化物として析出し被覆管の延性の低下をもたらす。しかし、水素吸収量が約800ppm までの照射済みジルカロイ-4 被覆管について、機械的性質を測定した結果、設計基準1%に対し十分な延性を確保していることが確認されている[46]。一方、燃料寿命末期(燃料棒平均燃焼度 $\sim 53,000\text{MWd/t}$ )における水素吸収量は、第1-23 図[8]及び第1-25 図[8]に示すように想定する照射量の範囲で約800ppm を下回っており、第1-26 図及び第1-27 図[8]に示すように機械的性質に影響を与えない程度である。

制御棒案内シンプルの水素吸収量の測定結果を第1-28 図(a)[34]に示す。制御棒案内シンプルは熱流束下にないため、燃焼に伴う水素吸収量の増加も線形であると考えられる。したがって、燃料集合体燃焼度 $45,000\text{MWd/t}$ 時の水素吸収量はジルカロイ-4 被覆管において機械的性質に影響を及ぼさない程度(目安値:約800ppm 以下)であると考えられる。

制御棒案内シンプルの0.2%耐力の水素吸収量依存性を第1-28 図(b)に示す。0.2%耐力は、水素吸収量によらずほぼ一定である。したがって、燃料集合体燃焼度 $45,000\text{MWd/t}$ においても制御棒案内シンプルの機械的性質が損なわれることはない。

#### 4.3 耐食耐熱ニッケル基合金(718 合金)

718 合金は、支持格子及び上部ノズル押さえばねに使用され、原子炉での使用中、ジルカロイ-4 被覆管と冷却水に接触している。

##### 4.3.1 718 合金と冷却水の反応

718 合金は、高温水に対して耐腐食性が非常に良い。第1-29 図 [47]に718 合金板及び棒の腐食試験結果を示す。718 合金板の腐食減量は、 $316^{\circ}\text{C}$ の高温水中5,000 時間で $19\text{mg/dm}^2$ となり、また腐食速度は最初1 か月あたり約 $4\text{mg/dm}^2$ であるのに対して5,000 時間で1 か月あたり約 $1\text{mg/dm}^2$ に減少し、それ以後腐食速度の大きな変化はない。したがって、約3.4 年間使用時\*の腐食減量は約 $53\text{mg/dm}^2$ となるが、これは約 $2\mu\text{m}$ の

---

\* 29,565 時間(13.5 ヶ月 $\times$ 3 サイクル)

□内は商業機密のため、公開できません。

板厚減少にすぎず、支持格子及び上部ノズル押さえばねの機械的性質に影響を及ぼさない程度である。

#### 4.4 ニッケル・クロム・鉄合金 □

□は上部ノズルのクランプスクリューに使用され、冷却水に接している。これらの反応について以下に述べる。

なお、□のクランプスクリューは、原子炉での使用実績が多いが、ステンレス鋼及び□との反応は報告されていない。

##### 4.4.1 □と冷却水との反応

□は、ステンレス鋼に比べて極めて優れた高温耐腐食性を有する材料である[12]。高温水による□の腐食は、溶存酸素、pH値、温度等により影響を受ける。

腐食速度を1か月あたり $2.1\text{mg}/\text{dm}^2$ とすると[48]、約3.4年間使用時\*の腐食減量は約 $85\text{mg}/\text{dm}^2$ となるが、これは約 $1\mu\text{m}$ の□の板厚減少にすぎず、燃料集合体構成部品に使用されている□の機械的性質に影響を及ぼさない程度である。

#### 4.5 ステンレス鋼

ステンレス鋼は主として上部及び下部ノズルに使用され、ジルカロイ-4の制御棒案内シンプル及び冷却水に接している。これらの反応について以下に述べる。

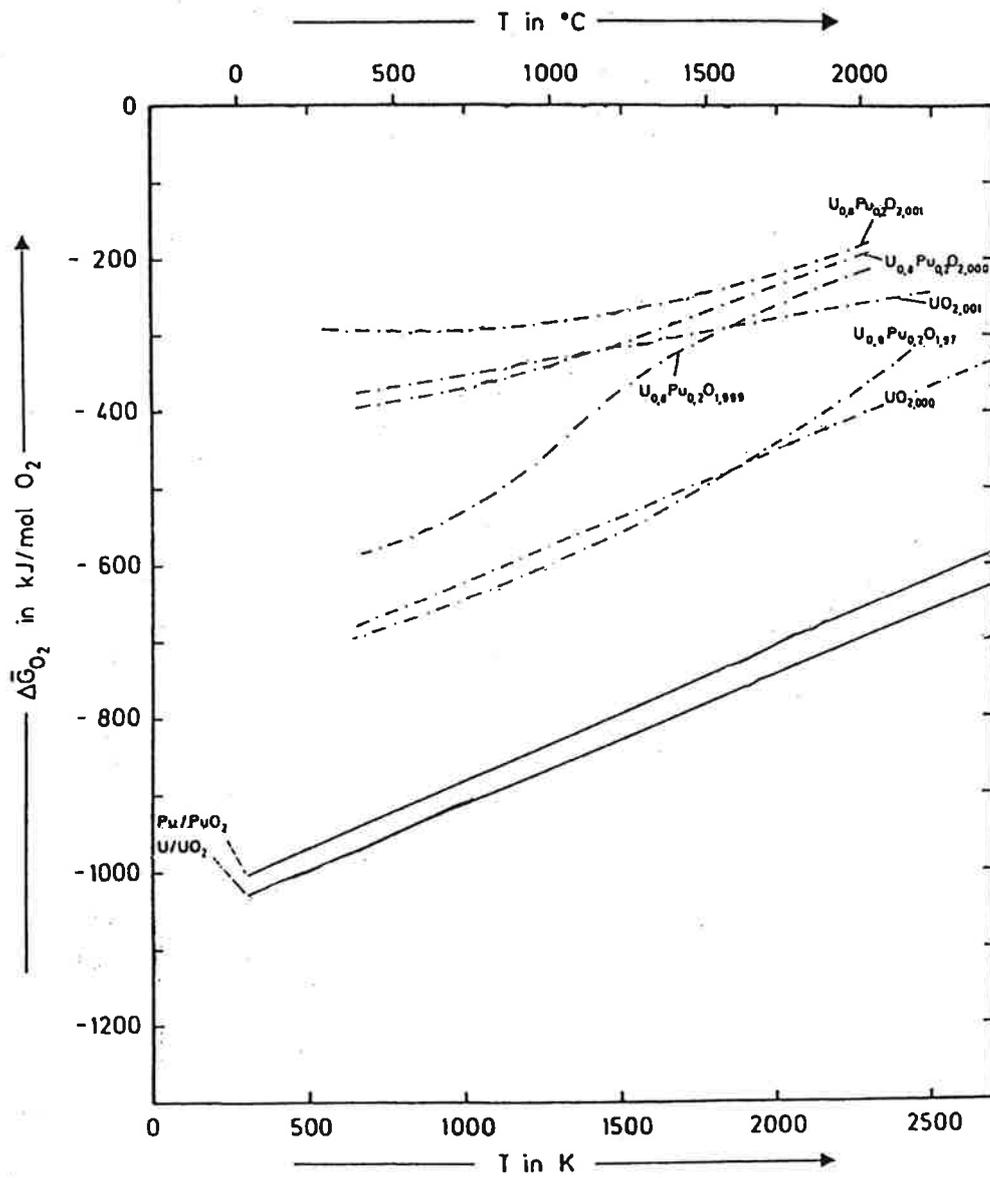
なお、ステンレス鋼は、原子炉での使用実績が多いが、ジルカロイ-4との反応は報告されていない。

##### 4.5.1 ステンレス鋼と冷却水との反応

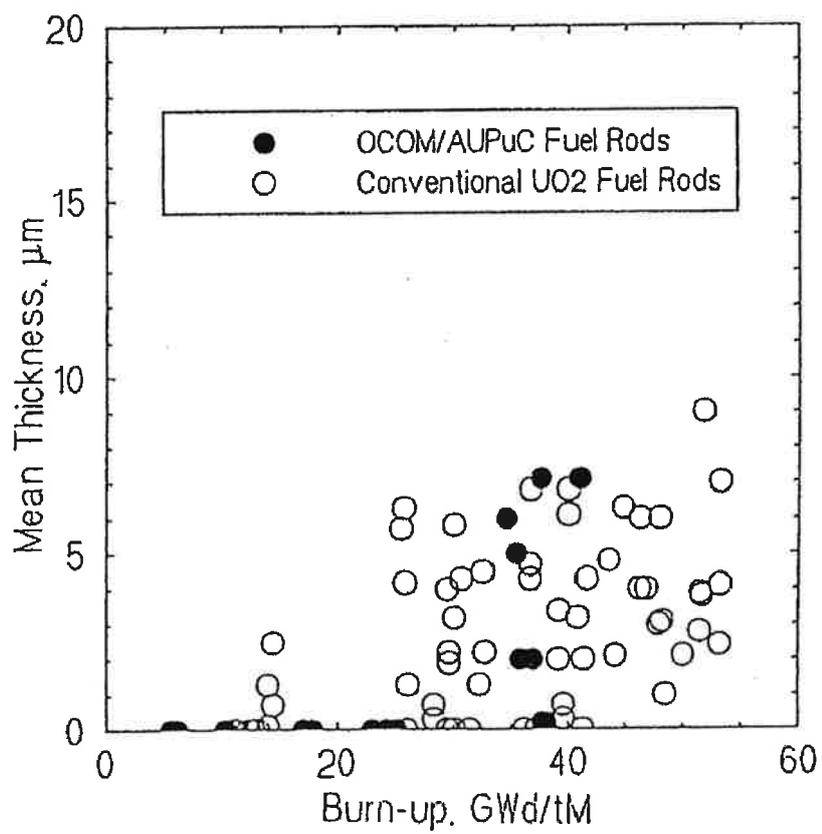
ステンレス鋼は、極めて優れた高温耐腐食性を有する材料である。高温水によるステンレス鋼の腐食は、溶存酸素、pH値、温度等により影響を受ける。腐食速度を1か月あたり $10\text{mg}/\text{dm}^2$ とすると[12]、約3.4年間使用時\*の腐食減量は約 $405\text{mg}/\text{dm}^2$ となるが、これは約 $11\mu\text{m}$ のステンレス鋼の板厚減少にすぎず、燃料集合体構成部品に使用されているステンレス鋼の機械的性質に影響を及ぼさない程度である。

---

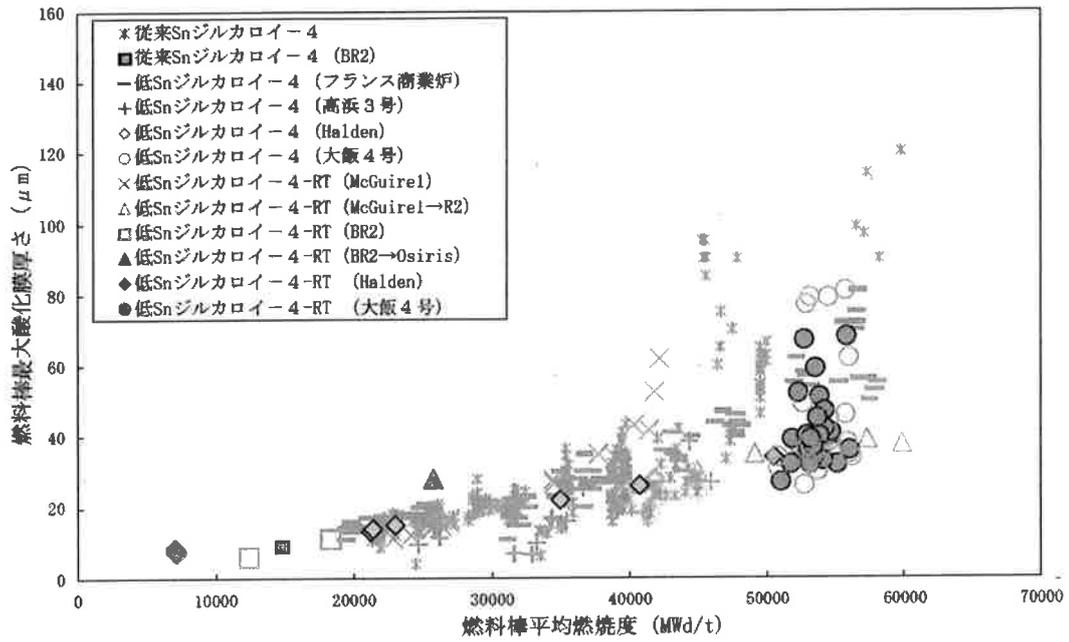
\* 29,565 時間(13.5 ヶ月×3 サイクル)



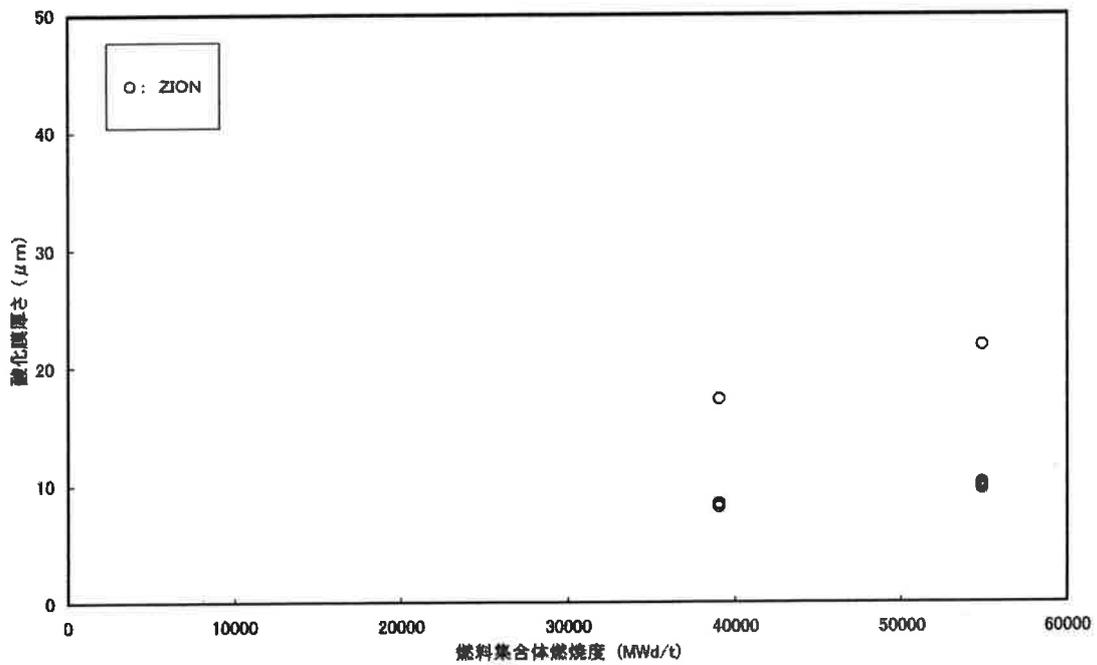
第1-21 図 ウラン及びプルトニウムの標準生成自由エネルギー[40]



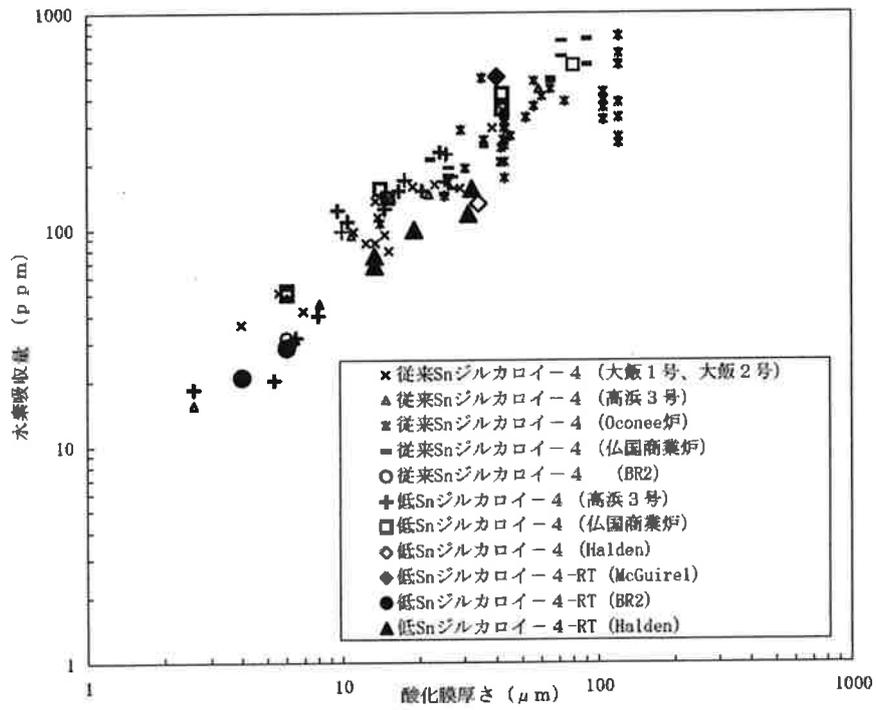
第1-22 図 ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の被覆管内面酸化膜厚さ[44]



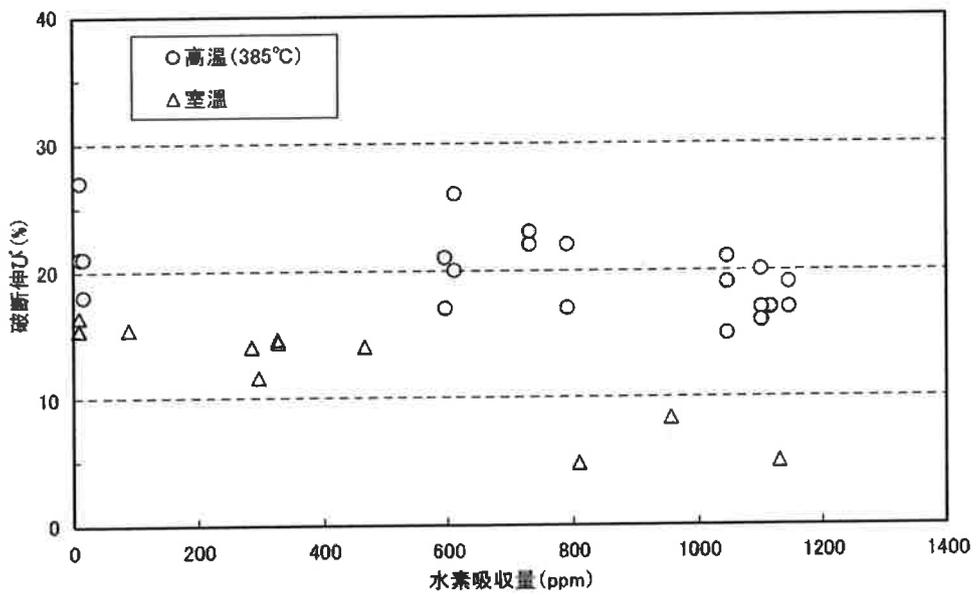
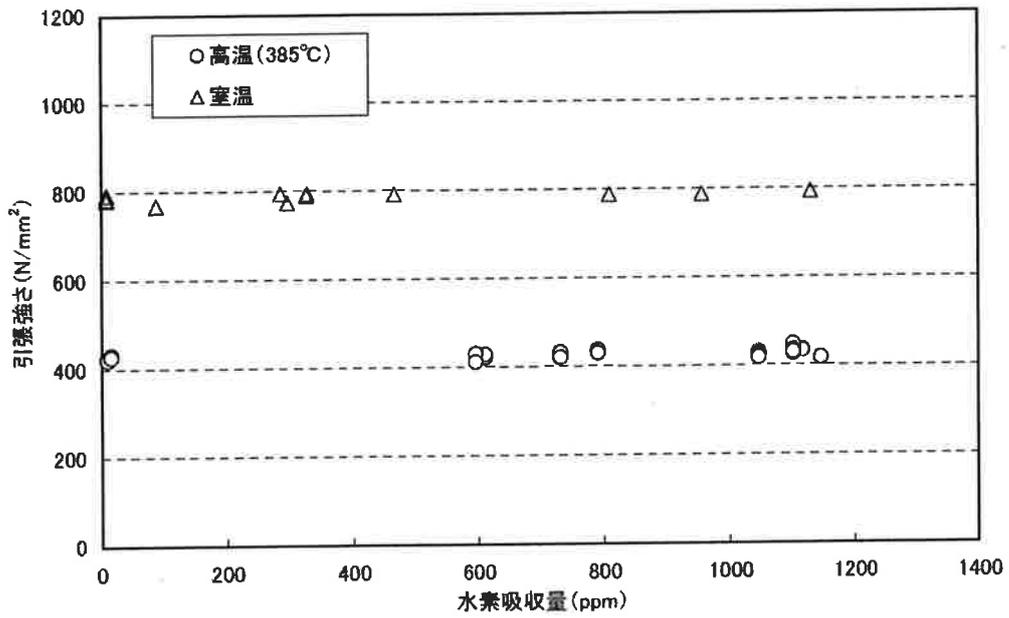
第1-23 図 ジルカローイ-4 被覆管の酸化膜厚さの燃焼による変化[8]



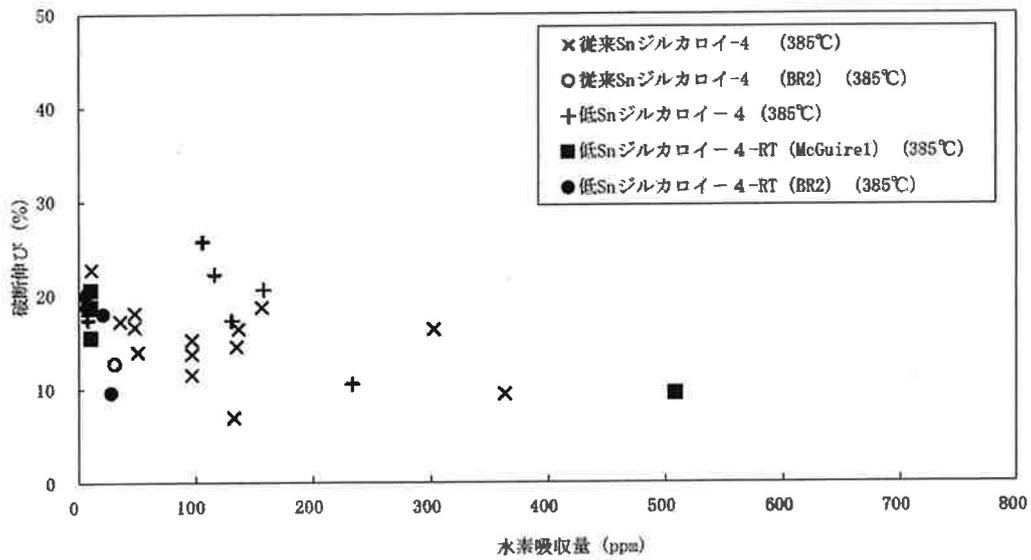
第1-24 図 制御棒案内シンプルの腐食[34]



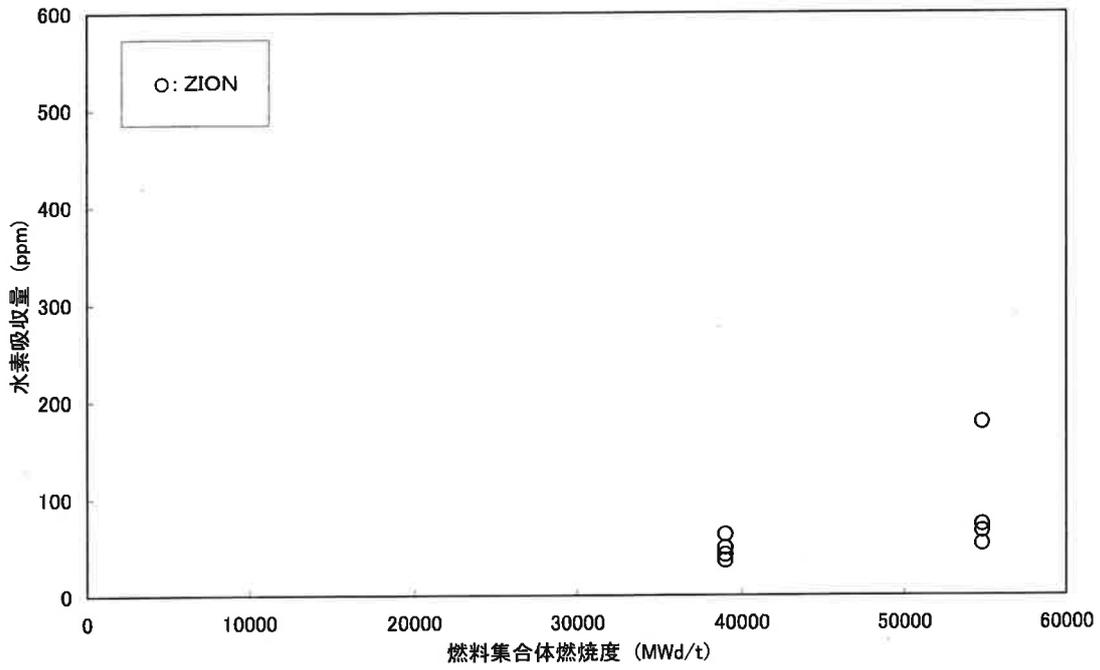
第1-25 図 ジルカローイ-4 被覆管の水素吸収特性[8]



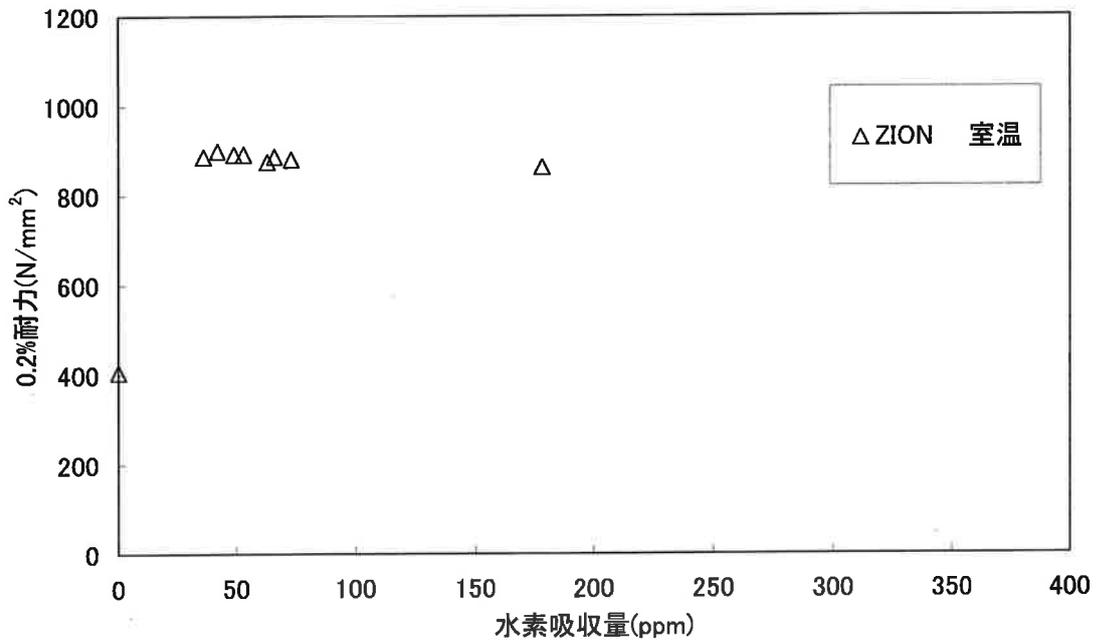
第 1-26 図 ジルカロイ-4 被覆管の機械的性質の水素吸収量依存性(未照射被覆管)



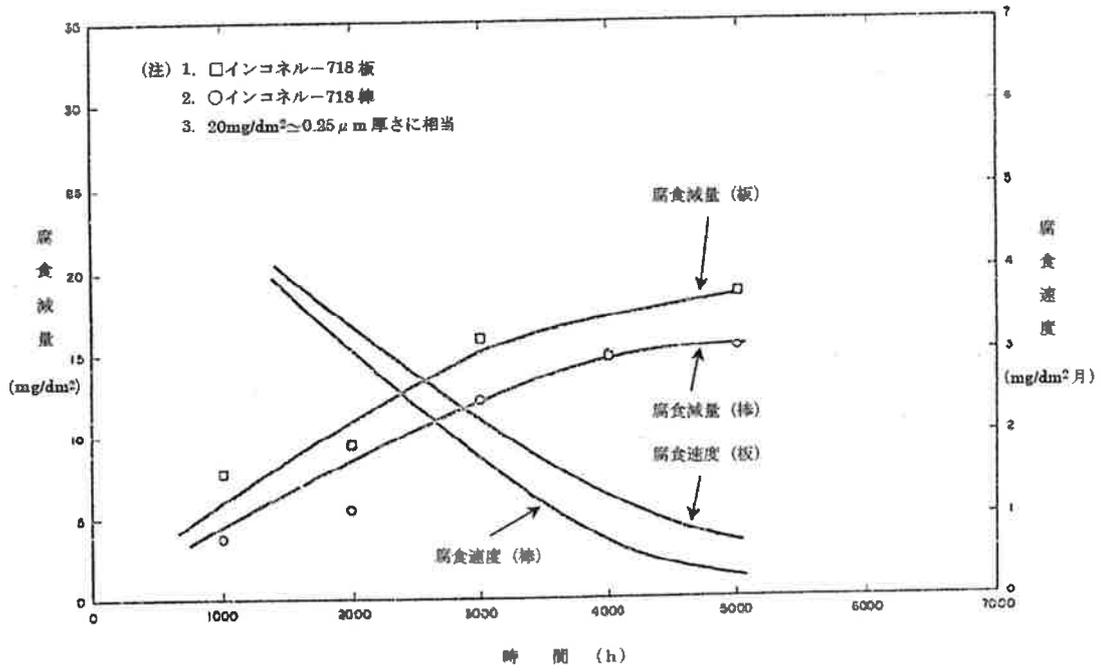
第 1-27 図 ジルカロイ-4 被覆管の炉内照射後破断伸びの水素吸収量依存性[8]



第 1-28 図(a) 制御棒案内シンプルの水素吸収[34]  
(燃焼度との関係)



第 1-28 図(b) 制御棒案内シンプルの水素吸収  
(0.2%耐力との関係:照射後試験結果)



第1-29 図 718 合金の腐食減量及び腐食速度:[316°C (600°F)][47]

## 5. その他の性能

### 5.1 耐摩耗性(フレッティング摩耗)

フレッティング摩耗は、互いに接触している面が、冷却水の水流によってごくわずかな相対運動を起こすことによって生じる。加圧水型炉の燃料集合体でフレッティング摩耗を起こす可能性のある部位は、支持格子と燃料棒の接触部である。以下に、フレッティング摩耗に対する燃料棒健全性を示す。

718 合金製の支持格子ばねは、中性子の照射により応力緩和するが、燃料棒と支持格子が接触していれば、フレッティング摩耗量を十分小さく保てることが、実機条件を模擬した炉外流水試験で分かっている。したがって、燃料寿命中燃料棒と支持格子が接触していれば良い。第 1-30 図[49][50]に支持格子拘束力緩和のデータを示す。これより、支持格子拘束力は燃焼初期に大きく緩和するものの、その後飽和傾向を示し、高燃焼度での支持格子拘束力緩和率は 1 を超える(非接触となる)ことはないと考えられる。

以上に述べたように、燃料集合体に用いている 718 合金製支持格子と燃料棒との接触は、燃料寿命末期においても保たれており、フレッティング摩耗は十分小さく燃料棒の健全性が損なわれることはない。

### 5.2 耐 PCI 性

ジルカロイ-4 被覆管の PCI\*損傷は、腐食性核分裂生成ガス(よう素、セシウム)雰囲気下で過大な応力が作用した時に生じる SCC 破損といわれている。

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。出力急昇試験結果を第1-31 図[8]に示すが、想定する照射量の範囲においてジルカロイ-4 被覆管の耐 PCI 性は維持される。また、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットは二酸化ウランペレットと比較し、クリープ速度が大きいとされており、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の耐 PCI 性能は二酸化ウラン燃料と同等以上であり、二酸化ウラン燃料に対する PCI 破損しきい値を適用して問題はない。

---

\* PCI: Pellet Cladding Interaction (ペレットと被覆管の相互作用)

### 5.3 放射線による変形

#### 5.3.1 燃料棒の伸び

ジルカロイ-4被覆管は、燃焼とともに軸方向に伸びる。ジルカロイ-4被覆管で認められる照射成長の支配因子は、 $\alpha$ -ジルコニウム中の稠密六方晶の結晶方位が比較的そろ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いわれている。

海外試験炉及び国内外商業炉で照射された被覆管の照射成長測定結果を第1-32図[8]に示す。ジルカロイ-4被覆管の照射成長は、想定する照射量の範囲に相当するデータが得られている。本燃料集合体の燃料棒設計及び燃料集合体設計における燃料棒伸びは、実測値に一致するような設計曲線を定めている。

#### 5.3.2 燃料集合体の伸び

燃料集合体の骨格を形成する制御棒案内シンプルは、照射成長のほかに燃料棒伸びが支持格子ばねを介して制御棒案内シンプルに伝わる軸方向上方への力により伸びる。燃料集合体が伸びて上部炉心板と干渉した場合、過大な応力が制御棒案内シンプルに発生するため、燃料寿命期間を通じて燃料集合体と上部炉心板とが干渉しないように設計する。

設計曲線及び48,000MWd/t二酸化ウラン燃料集合体の実績を第1-33図[51]に示す。なお、第1-33図には寸法公差および評価の不確定性を考慮した場合の設計曲線も併せて示している。

制御棒案内シンプルは、48,000MWd/t二酸化ウラン燃料集合体と同一の材料を用いていることから、その照射成長は48,000MWd/t二酸化ウラン燃料集合体と同じである。支持格子は48,000MWd/t二酸化ウラン燃料集合体と同じであることから、燃料棒伸びが制御棒案内シンプルの伸びへ与える影響も同じである。

以上より、本燃料集合体の伸びは、第1-33図に示すように、寸法公差および評価の不確定性を考慮した場合でも上部炉心板との干渉を防止できる。

#### 5.3.3 上部ノズル燃料棒間げきの減少

冷間加工応力除去焼きなまし材であるジルカロイ-4被覆管は、冷間加工再結晶焼きなまし材である制御棒案内シンプルよりも燃焼による伸びが大きくなる。このためジルカロイ-4被覆管の燃料棒と上部ノズルとの間げきが燃焼とともに減少する。燃料棒は下部ノ

ズルに接した設計としているため、上部ノズルー燃料棒間げきが無くなると、燃料棒の伸びを拘束することになり、燃料棒に過大な応力及び変形が生じる。

48,000MWd/t 二酸化ウラン燃料集合体の実績を第 1-34 図[51]に示す。なお、第 1-34 図中の制限値は、寸法公差および評価の不確定性を考慮して設定されたものである。

本燃料集合体の被覆管及び制御棒案内シンプルは、48,000MWd/t 二酸化ウラン燃料集合体と同一であることから、燃料棒伸び及び燃料集合体伸びは同一と考えられる。

したがって、本燃料集合体は第 1-34 図に示すように、上部ノズルと燃料棒の間げきは燃料寿命末期まで残存し、燃料棒と上部ノズルとの干渉を防止できる。

#### 5.3.4 上部ノズル押さえばね力

炉内使用中の上部ノズル押さえばねの押さえ力は、燃料集合体の伸びにより押さえばね強制変位量が増加することによる押さえ力の増加、及び高速中性子照射に伴うばねの応力緩和による押さえ力の減少が影響したものとなる。

押さえ力制限値及び 48,000MWd/t 二酸化ウラン燃料集合体の実績を第 1-35 図に示す。なお、押さえ力は照射後の押さえばね高さと燃料集合体全長の測定結果をもとに求め、制限値は自重の最小を考慮したものとしている。

本燃料集合体の上部ノズル押さえばね及び制御棒案内シンプルは、48,000MWd/t 二酸化ウラン燃料集合体と同一であることから、押さえ力及び燃料集合体伸びは同一と考えられる。

以上より、本燃料集合体は第 1-35 図に示すように、押さえ力の裕度は燃焼とともに増す傾向にあり、燃料寿命中押さえばねの機能は維持される。

#### 5.3.5 燃料棒曲がり

燃料棒の曲がり、原子炉内で燃料集合体が照射されているときに、種々の要因で曲げモーメントが燃料棒に働き、被覆管のクリープ変形を引き起こすためと考えられている[52]。種々の要因の中で主要因と考えられる項目を以下に示す。

- ① 初期支持格子拘束力及び初期曲がりの組合せ
- ② 被覆管の偏肉

熱膨張、クリープ及び照射成長によって燃料棒が軸方向に伸びる際に、支持格子の拘束による摩擦力により燃料棒軸力が発生する。また、支持格子位置では、燃料棒の回転

変位に対する支持格子からの反力が燃料棒に作用する。

本燃料集合体の支持格子は、48,000MWd/t 二酸化ウラン燃料集合体と同一であることから、初期支持格子拘束力は同一である。また、本燃料集合体の被覆管は、48,000MWd/t 二酸化ウラン燃料集合体と同一であることから、燃料棒の初期曲がり、偏肉及び機械的性質も同等である。

48,000MWd/t 二酸化ウラン燃料集合体の燃料棒曲がりの実績を第 1-36 図[53]に示す。燃料棒曲がりは、燃料寿命初期に進行するが、中性子照射にともなう支持格子拘束力の緩和により、燃料寿命末期では飽和傾向にある。

以上より、本燃料集合体は第 1-36 図に示すように、過度の燃料棒曲がりは発生しない。

#### 5.4 ペレットとのボンディング

核分裂により生じた余剰酸素が被覆管と化学反応することにより、被覆管内面酸化膜が生成する[54]。高燃焼度時では、ペレットと被覆管が強固に接触するようになる。その結果、被覆管内面酸化膜( $ZrO_2$ )と二酸化ウランとの拡散層が形成され、ボンディングを生じることが報告されている[55]。燃料棒平均燃焼度約 69,000MWd/t まで照射されたジルカロイ-4 被覆管において過大なボンディングは観察されていないことから[43]、想定する照射量の範囲において、ジルカロイ-4 被覆管のボンディングの影響は小さいと考えられる。ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の被覆管内面酸化膜厚さは二酸化ウラン燃料と同等と報告されており[44]、ボンディングの程度は二酸化ウラン燃料と同様と考えられる。

#### 5.5 核熱水力特性

発電用原子炉の設計では高い安全性を有し、かつ発電コストの安いことが要求される。その中で、核設計は厳しい条件下においても適切な反応制御が可能となるように、熱水力設計は被覆管と冷却水との間で適切な熱伝達が行われるように各設計項目が決定される。第 1-37 図に核熱水力設計の流れを示す。

##### 5.5.1 核熱水力設計の基本方針

本炉心の設計では、炉心熱出力を安全に出せることが要求される。

###### (1) 核設計上の基本方針

原子炉では、適切な反応度制御を行うために、制御棒クラスタ及び冷却水の可溶性中

性子吸収物(ほう酸)を使用している。また必要に応じてバーナブル・ポイズン又はガドリニア入り二酸化ウラン燃料集合体を炉心で使用する。このとき、最大の反応度効果を有する制御棒クラスタ1本が完全引抜位置に固着して挿入されない場合でも、高温停止状態で反応度停止余裕を持つこと、更にほう酸注入によって低温状態でも反応度停止余裕を維持できることが設計上要求される。また、本燃料集合体の最高燃焼度は45,000MWd/t以下となるように設計しなければならない。

## (2) 熱水力設計上の基本方針

第一に、通常運転時はもちろんのこと、運転時の異常な過渡変化時においても最小限界熱流束比(最小 DNBR)が許容限界値を下回らないことが要求される。第二に、ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの中心最高温度は、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において溶融点未満であることが要求される。

### 5.5.2 設計内容

核熱水力設計で評価された内容で、特に燃料集合体の特性に影響を与える項目について説明する。

#### (1) 通常運転時の出力分布

出力分布の状態を示すパラメータとして、アキシャルオフセットがある。アキシャルオフセットは、炉外中性子束検出器の上半分と下半分の指示値、 $\phi_t$ と $\phi_b$ を用いて次のように定義される。

$$\text{アキシャルオフセット} = \frac{\phi_t - \phi_b}{\phi_t + \phi_b}$$

種々の出力分布におけるアキシャルオフセットと熱流束熱水路係数との対応を整理した結果によると、アキシャルオフセットをある範囲内に保てば熱流束熱水路係数を設計値以下にすることができる。したがって、通常運転時は、アキシャルオフセットを監視し、必要があれば出力制御系を操作して、アキシャルオフセットを範囲内に抑える。

#### (2) 運転時の異常な過渡変化時における出力分布

運転時の異常な過渡変化時において、出力分布は通常運転時と異なった分布となる。出力分布に影響を与え、かつ燃料棒線出力密度が最も増大する運転時の異常な過渡変化としては、「ほう素の異常な希釈」及び「制御棒クラスタの異常な引き抜き」がある。「ほう素の異常な希釈」が発生すると、制御棒クラスタが自動の場合、炉心熱出力は一定

に保たれるが、通常運転時と異なった出力分布となる。また「制御棒クラスタの異常な引き抜き」が発生すると、炉心熱出力の上昇とともに出力分布が変化する。いずれの場合にも、出力分布の変化により、最大線出力密度は通常運転時に比べて増加する。

### (3) 限界熱流束及び限界熱流束比 (DNBR)

限界熱流束は、沸騰熱伝達の過程において、核沸騰からの離脱 (DNB) が起こるときの熱流束によって定義される。DNB が起こると、被覆管と冷却水の熱伝達特性が低下し、被覆管が損傷する可能性がある。DNB は、水力的条件と熱伝達現象の効果によって起こるもので、その場所での流量、圧力、蒸気質量率等の局所的条件のみならず、流路入口エンタルピ、流路長さ等の上流の条件や流路の形状等の影響を受ける。

限界熱流束比 (DNBR) は、NFI-1 相関式[56]で求めた軸方向各点の限界熱流束と、それらの点での実際の熱流束との比として定義され、DNB に対する余裕を示す指標となる。

一方、「発電用加圧水型原子炉の炉心熱設計評価指針」[57]において「最小 DNBR は通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時にあつては、許容限界値以上でなければならない。」を判断基準としており、統計的熱設計手法における最小 DNBR の許容限界値の算出方法を定めている。

第1-38図にDNB熱流束測定値と予測値の比較を示す。この結果を統計処理すると、95%の信頼度、95%の確率でDNBを起こさないDNBRは1.15となる。したがって、最小DNBRの許容限界値1.17を安全側に適用することができる。

### (4) ペレット最高温度

ペレット最高温度は、熱流束熱水路係数を考慮して求められる。

ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料棒のペレット中心最高温度の制限値は、実験結果から未照射状態の溶融点を評価し、その値に計算モデルの不確定性、燃料棒の製造公差及び燃焼に伴う10,000MWd/tあたり32℃の溶融点低下を考慮して決定する。

ペレット温度評価が最も厳しくなるのは、ペレット中心温度が最高となり、かつ、ペレット中心温度と制限値との温度差が最も小さくなる場合である。この最も厳しい状態は、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料棒で燃焼開始直後(局所燃焼度0MWd/t)に起こる。

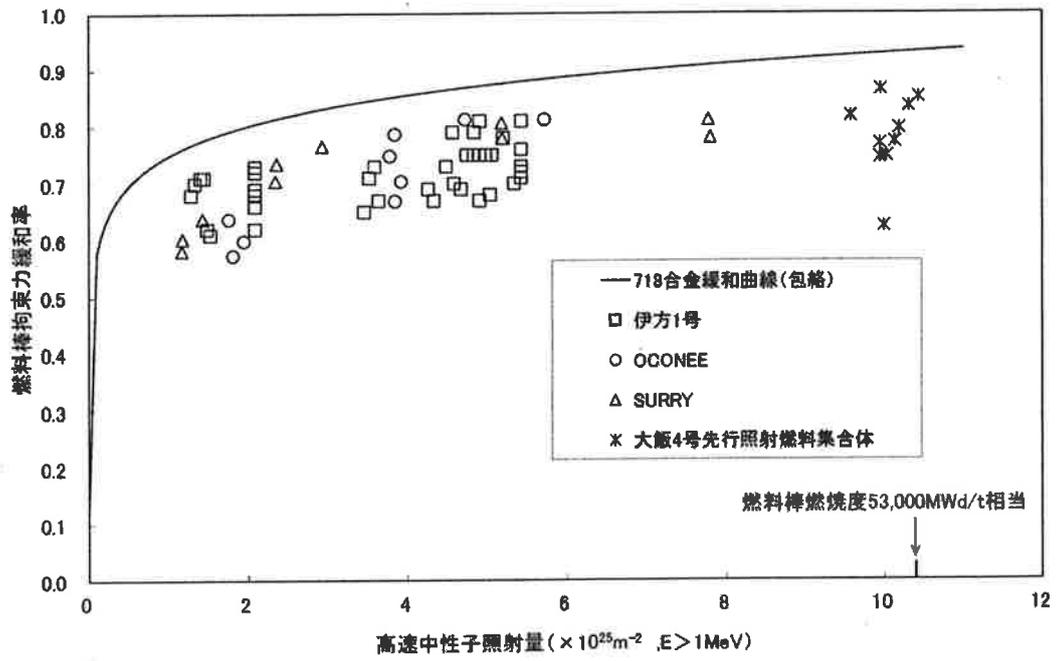
以下に、ペレット中心最高温度の設計上の制限値とその内容を示す。

ウラン・プルトニウム  
混合酸化物燃料棒

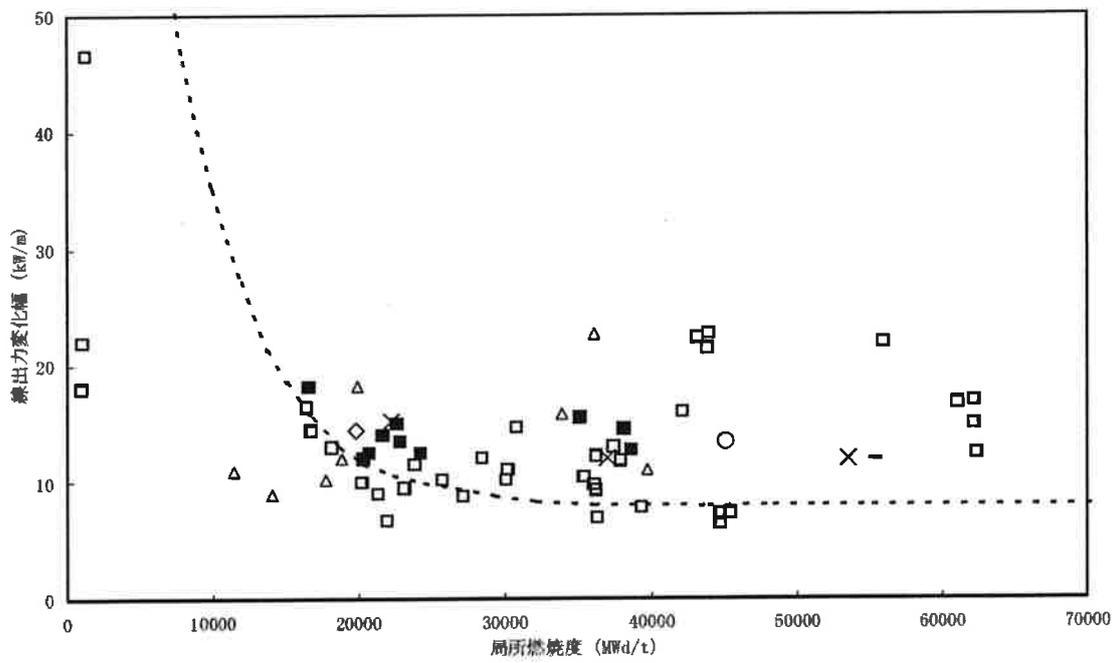
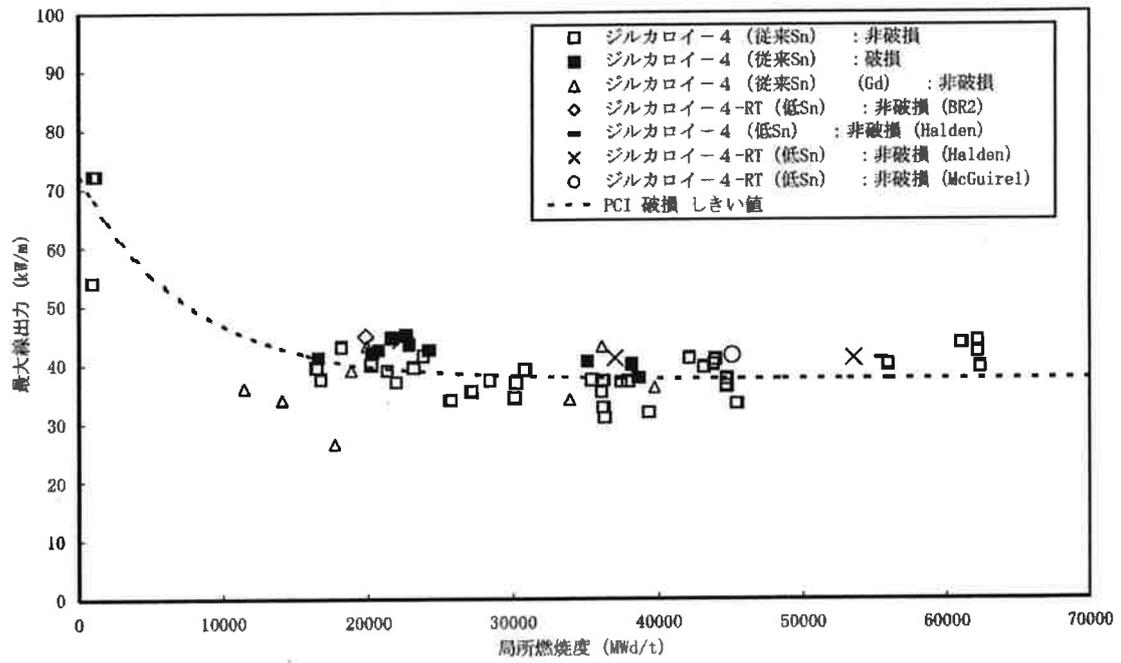
・未照射時融点	2,730℃
・照射による融点の低下	0℃
	(0MWd/t時)
・余裕	220
〔製造時の誤差、計算モデルの不確実性を含む〕	
・制限値	2510℃

ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレット最高温度は、局所燃焼度 0MWd/t のとき最大線出力密度 59.1kW/m\*時において 2,220℃となり、制限値 2,510℃よりも十分低い。

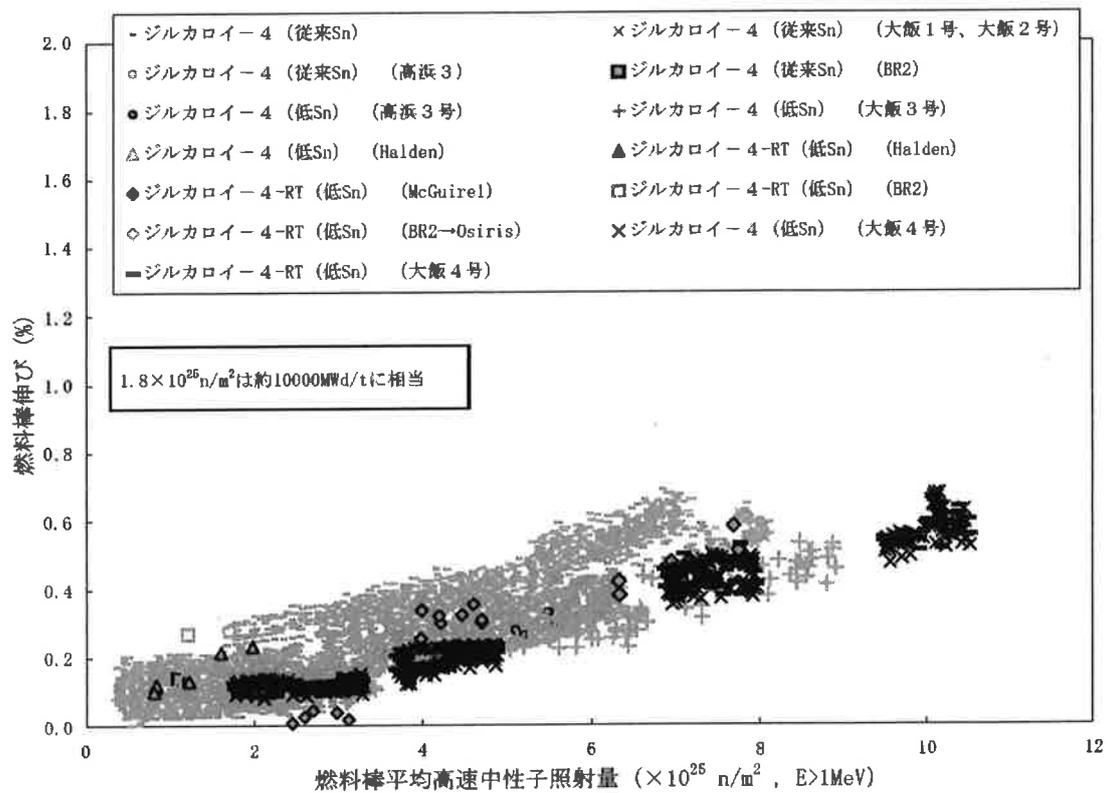
\* 燃料ペレット焼きしまりの効果を含む



第1-30 図 支持格子拘束力の緩和率実測データ[49] [50]

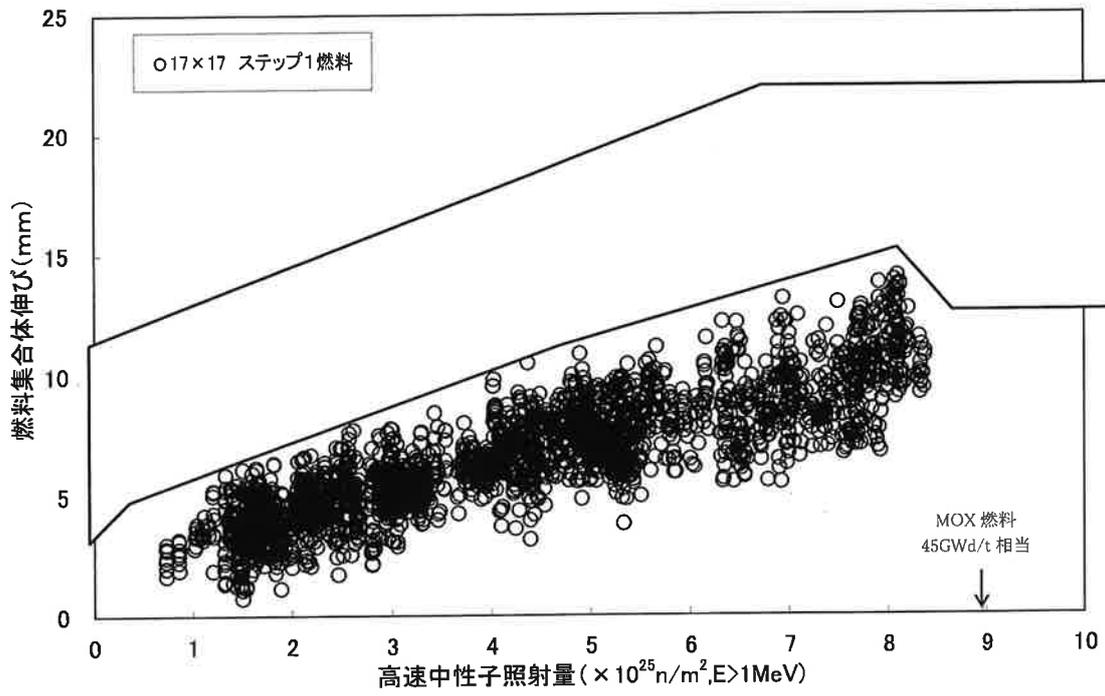


第1-31 図 ジルカロイ-4 被覆管の耐 PCI 特性[8]



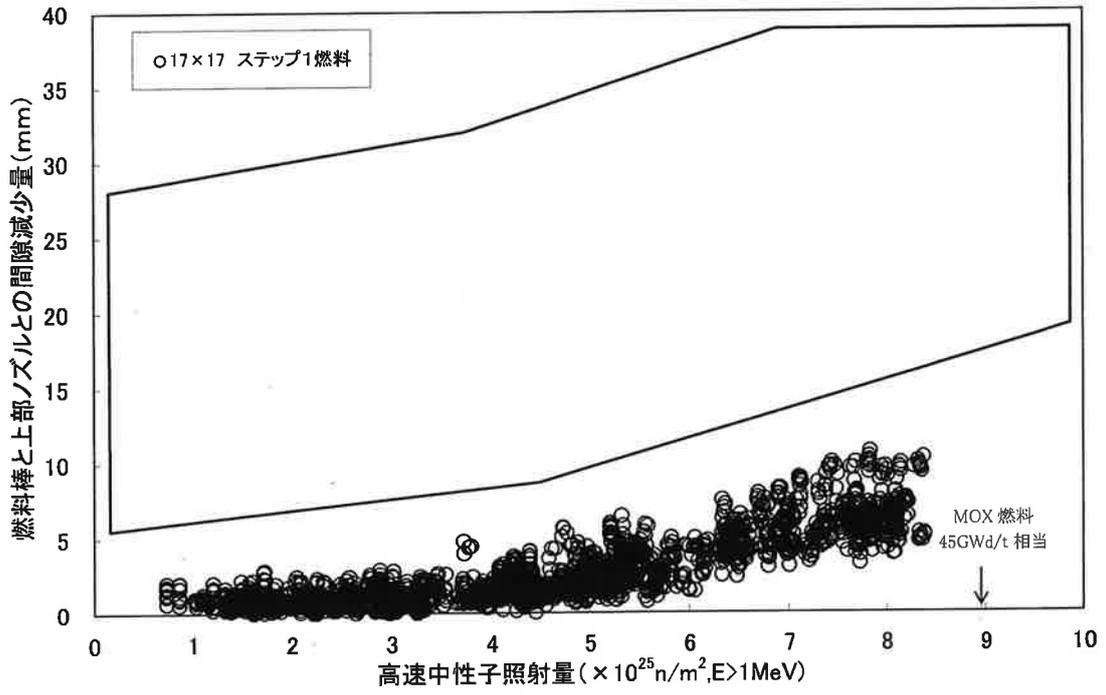
第1-32図 ジルカロイ-4被覆管の燃料棒伸び[8]

□内は商業機密のため、公開できません。



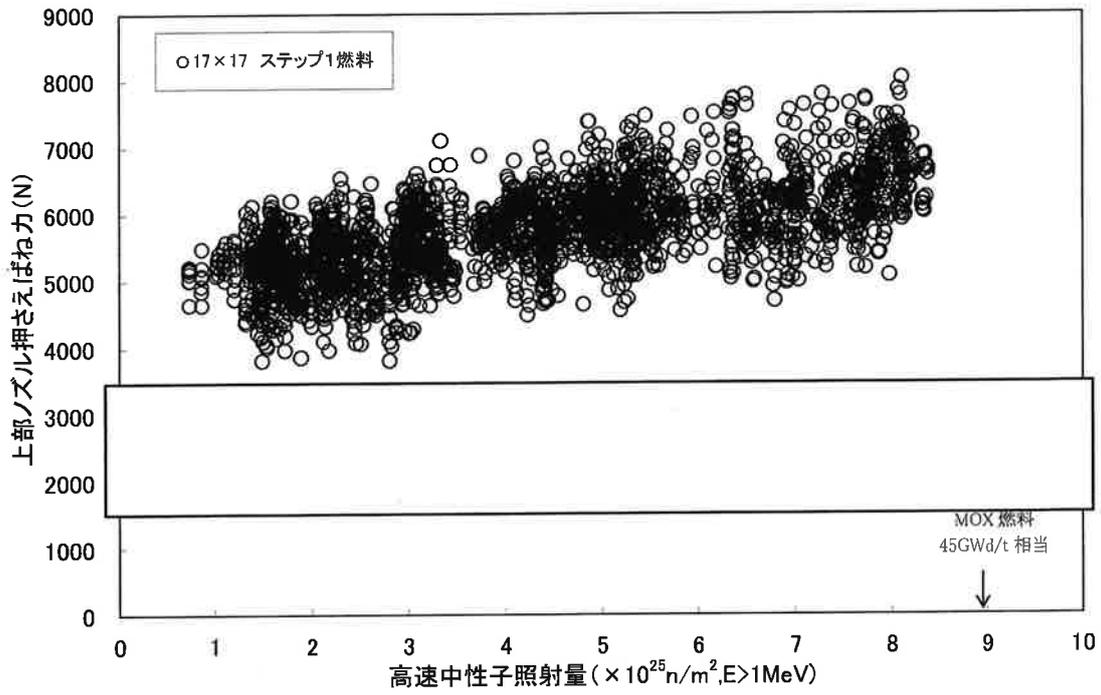
第1-33図 燃料集合体の伸び[51]

□ 内は商業機密のため、公開できません。



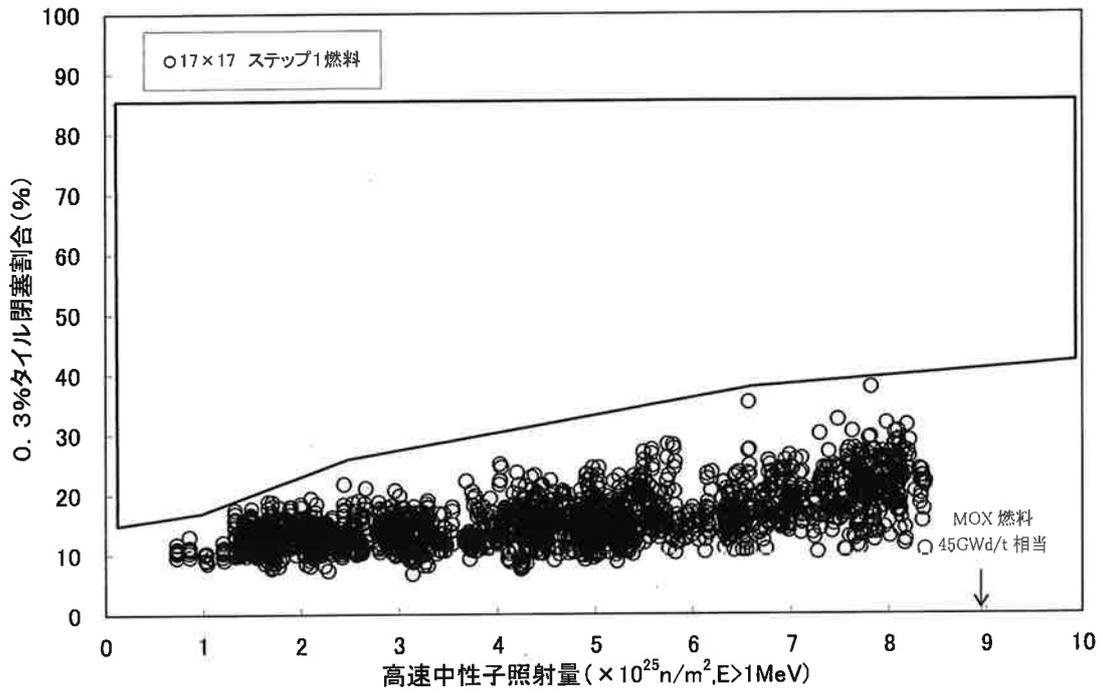
第 1-34 図 上部ノズル—燃料棒間げきの減少量 [51]

□ 内は商業機密のため、公開できません。

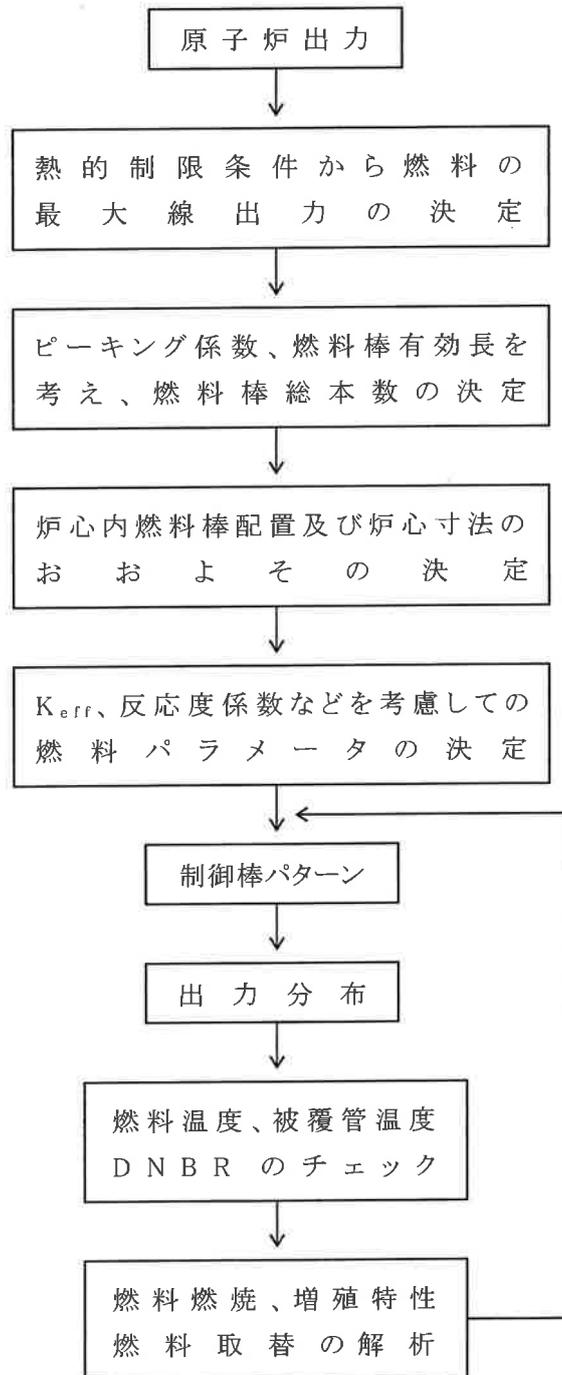


第1-35図 上部ノズル押さえばねの押さえ力

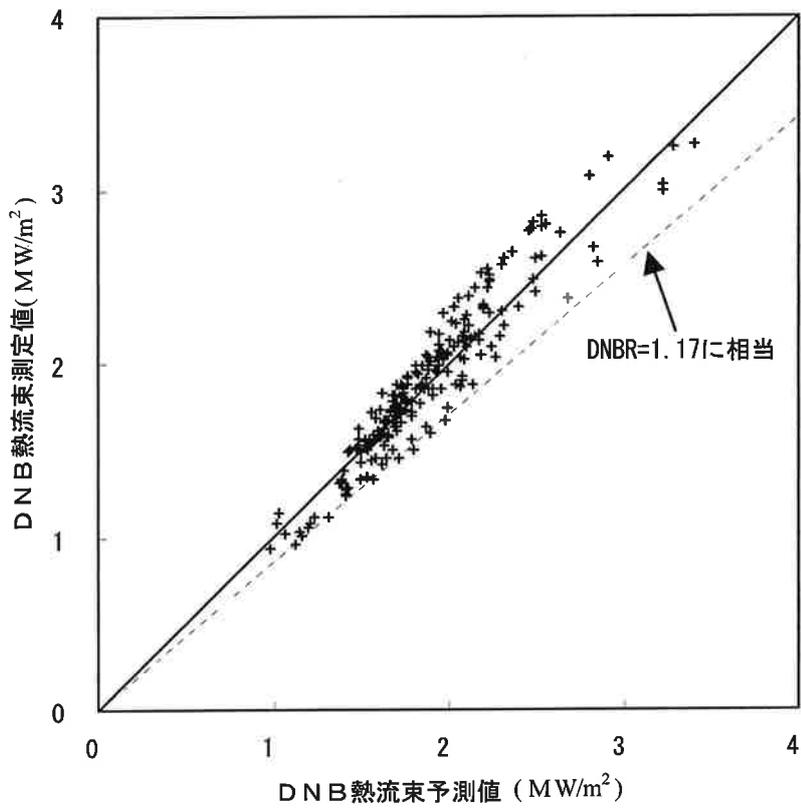
□ 内は商業機密のため、公開できません。



第 1-36 図 燃料棒曲がり[53]



第1-37図 核熱水力設計の流れ



第1-38図 DNB熱流束測定値と予測値の比較

□内は商業機密のため、公開できません。

## 6. その他の考慮事項

### 6.1 ペレット焼結雰囲気について

メロックス工場では焼結ガスは□を使用しており、還元反応への影響がないことから、焼結特性への影響はないと考えられる。また、ベルゴニュークリア社が主催したPRIMO (PWR Reference Irradiation of MOX Fuels)プログラムでも□で焼結したペレットを用いて照射試験が実施されており、二酸化ウラン燃料と比べて特異な照射挙動は認められていない[58]。

### 6.2 ペレットの不純物について

ウラン・プルトニウム混合酸化物ペレットの不純物規定値は、ウランペレットに準じ□  
□に応じて設定している。

このうち、不純物規定値を二酸化ウランペレットより緩和した元素については、第1-5表に示すように設定している。

### 6.3 燃料集合体直角度について

B型MOX燃料集合体の検査において燃料集合体直角度の仕様を逸脱した場合、調整後再測定をする必要があるなど、集合体に接近して作業をする必要があるため、作業員の被ばく低減の観点から、予め設計上許容できる範囲で、B型MOX燃料集合体の傾きの仕様を緩めている。

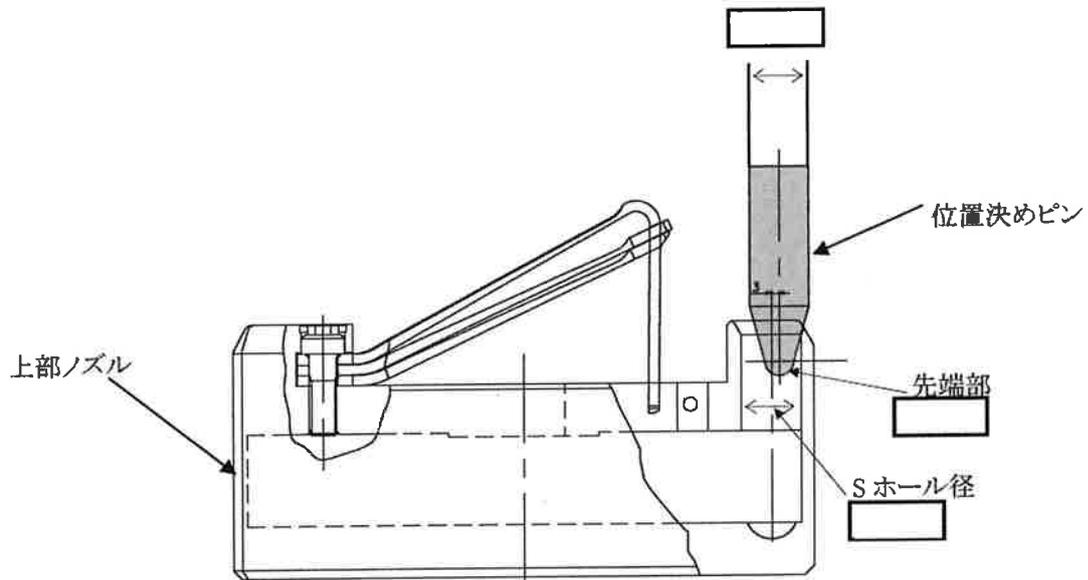
なお、燃料集合体の傾きの設計上の要求は『炉心内の燃料集合体の上部ノズル位置決め穴と上部炉心板の位置決めピンとが正しくかん合すること』である。上部ノズル位置決め穴(Sホール)の径は約□mmであり、上部炉心板の位置決めピンとのずれが□mmの場合でも第1-39図に示すように、十分にかん合が可能であり、仕様を緩めた場合においても性能上問題は無い。

□内は商業機密のため、公開できません。

第1-5表 二酸化ウランペレットより不純物規定値を緩和した元素

不純物	単位:ppm		評価
	MOX	ウラン	
Al	≦□	≦□	AlはMOXペレットのASTMの規定値(≦250ppm;重金属に対する含有率)に対して、□の実績を踏まえて規定している。
Co	≦□	≦□	CoはMOXペレットのASTMの規定値(≦100ppm;重金属に対する含有率)に対して、□の実績を踏まえて規定している。 Coは、熱中性子断面積が比較的大きく、中性子経済に影響する可能性があるが、その影響は別途ボロン当量として管理している。
□	≦□	≦□	□の実績を踏まえて規定している。□の融点は約□°Cであり、照射中に局部的に溶融し、ペレット寸法安定性に影響する可能性があるが、メロックスで製造されたMOXペレットには□ppmのものがあり健全に照射されたことから、規定値を□ppmとすることにより燃料健全性を損なうことはない。
□	≦□	≦□	□の実績を踏まえて規定している。□の融点は約□°Cであり、照射中に局部的に溶融し、ペレット寸法安定性に影響する可能性があるが、メロックスで製造されたMOXペレットには□ppmのものがあり健全に照射されたこと、技術基準およびASTMに規定のないこと、□ことから、メロックスで設定可能な下限値である□ppmを規定値とする。
ボロン当量	≦□	≦□	中性子経済に影響する可能性があるが、MOX燃料中のPuの中性子吸収断面積がウランよりも大きく、また、中性子スペクトルが硬くなるため、MOX燃料では不純物の中性子吸収効果が小さくなることを考慮して、ウラン燃料でのボロン当量による反応度効果の影響と同等以下になるよう、□を踏まえて規定している。

□内は商業機密のため、公開できません。



第1-39図 上部ノズル Sホールと位置決めピンのかん合性

## 7. 参考文献

- [1] J.Belle, "Uranium Dioxide, Properties and Nuclear Applications", USAEC (1961)
- [2] 日本金属学会編 "講座・現代の金属学材料編 8 原子力材料", (社) 日本金属学会 (1989)
- [3] 原子燃料工業, "MOX 燃料の機械設計", NFK-8100 改 3 (1998)
- [4] W.L.Lyon, "The Solid-Liquid Phase Diagram for the  $UO_2$ - $PuO_2$  System", J. Nucl. Mater. 22 (1967) 332-339
- [5] 大森 他, 『高速炉照射燃料( $U, Pu$ ) $O_2$  の融点測定Ⅲ』, (社)日本原子力学会「昭和 60 分科会」G-4 (1985)
- [6] NSRR 実験プログレスレポート17, JAERI-M89-097 (1989)
- [7] "Technical Report on Effects of Plutonium Utilization on the Performance of Light Water Reactors", WASH-1303 (1974)
- [8] 原子燃料工業, "原燃工製 PWR ステップ 2 燃料の改良因子について", NFK-8116 改 5 (2005)
- [9] Technical Bulletin "Inconel Alloy 718", Special Metals Co.
- [10]
- [11]
- [12] 長谷川正義監修 "ステンレス鋼便覧", 日刊工業新聞社(1973)
- [13] 森島淳好, 栗山 實, 原山泰雄, "第 1 集 燃料設計に必要な物性値及び計算図表(改訂第 2 版)" JAERI-M 4881 (1972)
- [14] F.Anselin, "The Role of Fission Products in the Swelling of Irradiated  $UO_2$  and ( $U, Pu$ )  $O_2$  Fuel", GEAP-5583 (1969)
- [15] R.G.Bellamy, J.B.Rich, "Grain-Boundary Gas Release and Swelling in High Burn-up Uranium Dioxide", J. Nucl. Mat., 33 (1969) 64-76
- [16] H.R.Warner, F.A.Nichols, "A Statistical Fuel Swelling and Fission Gas Release Model" Nucl. Appl. & Tech., 9 (1970) 148-166
- [17] R.E.Skavdahl et al. , "International Symposium on Plutonium Fuels Technology Nuclear Metallurgy", 13 457 (1967)
- [18] W.Chubb, V.W.Storhok, D.L.Keller, "Factors Affecting the Swelling of Nuclear Fuels at High Temperatures" Nucl. Tech., 18 (1973) 231-256
- [19] R.M.Berman, H.B.Meierman, P.W.Patterson, "Irradiation Behavior of Zircaloy of Zircaloy-Clad Fuel Rods-Containing Dished-End  $UO_2$  Pellets", WAPD-TM-629 (1967)

- [20] F.U.Schlemmer et al., "Status of Irradiation Experience with Recycled Fuel Materials in the FRG for Siemens. KWU Type Fuel Assemblies", IAEA TCM in Water Reactor Fuels, Cadarache, France (1989)
- [21] P.Blanpain et al., "Recent Results from the in Reactor MOX Fuel Performance in France and Improvement Program", International Topical Meeting on LWR Fuel Performance, Portland, Oregon (1997)
- [22] "Technical Report on Densification of Light Water Reactor Fuels", U.S.A.E.C. Report., Nov. 14 (1972)
- [23] M.D.Freshley, D.W.Brite, J.L.Daniel, P.E.Hart, "Irradiation-Induced Densification of UO<sub>2</sub> Pellet Fuel" J. Nucl. Mat., 62 (1976) 138-166
- [24] (財)原子力発電技術機構, "平成 12 年度 燃料集合体信頼性実証試験に関する報告書(1/3 炉心混合酸化物燃料照射試験編)"
- [25] Y.Guerin et al., "Microstructure Evolution and in Reactor Behaviour of MOX Fuel", International Topical Meeting on LWR Fuel Performance, Park City, Utah (2000)
- [26] R.J.White et al., "Measurement and analysis of fission gas release from BNFL's SBR MOX fuel", J. Nucl. Mat., 288 (2001) 43-56
- [27] 藤家 洋一 他, 『プルサーマルーその意義と安全性』, 日本原子力学会誌, Vol.44, No.3 (2002)
- [28] T.Mishima et al., "Thermal and Mechanical Behaviours of MOX Fuel Rods", IAEA TCM on Recycling of Plutonium and Uranium in Water Reactor Fuels, Cadarache, France (1989)
- [29] M.Billaux et al., "Production of Helium in UO<sub>2</sub>-PuO<sub>2</sub> Mixed Oxide Fuel", IWGFPT-32 (1989)
- [30] M.Kinoshita et al., "High Burnup Rim Project (V) - Completed scope and needs for further study-", ENLARGED HALDEN PROGRAMME GROUP MEETING, Lillehammer (2001)
- [31] R.Manzel and C.T.Walker, "HIGH BURNUP FUEL MICROSTRUCTURE AND ITS EFFECT ON FUEL ROD PERFORMANCE", International Topical Meeting on LWR Fuel Performance, Park City, Utah (2000)
- [32] M.Mogensen et al., "Behaviour of fission gas in the rim region of high burn-up UO<sub>2</sub> fuel pellets with particular reference to results from an XRF investigation", J. Nucl. Mat. 264 (1999) 99-112
- [33] C.T.Walker et al., "MOX Fuel Irradiation Behaviour: Results From X-ray Microbeam

- Analysis”, IAEA TCM on the Recycling of Plutonium and Uranium in Water Reactor Fuels, Lake Windermere, UK (1995)
- [34] W.A.Franks and L.Geller, “The Benefit of Extended Burnup in Fuel Cycle Cost”, SAND 86-7089 (1986)
- [35] A.F.Rowcliffe, J.A.Horak(ORNL),”Tensile Properties and Fracture Behavior of Irradiated Nickel Alloys”,Trans. Am. Nucl. Soc., Vol.38 (1981) 266-267
- [36] W.J.Mills,”Effect of Irradiation on the Fracture Toughness of Alloy 718 Plate and Weld”, J. Nucl. Mat., 199 (1992) 68-78
- [37]
- [38] 仲田清智、吉田寿美、正岡 功、斎藤 隆 , ”オーステナイトステンレス鋼の機械的性質に及ぼす 560K での中性子照射の影響”, 日本金属学会誌, VOL.52 (1988)
- [39] M.Nakano et al., “Effects of Material Property Changes on IASCC ” International Symposium on the Mechanism of Material Degradation and Non-Destructive Evaluation on Light Water Reactors, Japan (2002)
- [40] H.Kleykamp, “The Chemical State of the Fission Products in Oxide Fuels”, J. Nucl. Mat., 131 (1985) 221-246
- [41] J.E.Cunningham et al., TID-7546 (1958)
- [42] 「最新核燃料工学—高度化の現状と展望—」, 日本原子力学会編, pp198-200 (2001)
- [43] J.O.Barner, et al., “High Burnup Effects Program-Final Report”, HBEP-60 (1990)
- [44] C.T.Walker et al., “Further Observation on OCOM MOX Fuel: Microstructure in the Vicinity of the Pellet Rim Fuel-Cladding Interaction”, J. Nucl. Mat., 245 (1997) 169-178
- [45] F.Garzarolli, R.Manzel, H.Stehle, ”The Behaviour of Defective Fuel Rods Under Continued Reactor Operation” Kerntechnik, 10 (1978) 463-466
- [46] (財)原子力発電技術機構、”平成 11 年度軽水炉改良技術確証試験(高燃焼度等燃料に関するもの)に関する報告書”
- [47] W.A.Mizla, ”Corrosion Properties of Ni-Cr-Fe Alloy 718 and Microbraz-50 (BNi-7)”, WAPD-TM-1049 (1973)
- [48] J.N.Esposito et al., ”The Addition of Zinc to Primary Reactor Coolant for Enhanced PWSCC Resistance”,5th International Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactor (1992)

- [49] W.Arbitter, J.A.Kuszyk, "Surry Unit 2 End of Cycle 5 Onsite Examination of 17×17 Demonstration Fuel Assembly RD-2 After Four Cycles of Exposure", VOL 1, WCAP-10317 (1984)
- [50] P.H.KREYNS et al., "RADIATION-ENHANCED RELAXATION IN ZIRCALOY-4 AND Zr/2.5wt% Nb/0.5wt% Cu ALLOYS", J. Nucl. Mat., 26 (1968) 87-104
- [51] 原子燃料工業、"17×17B 型ジルカロイグリッド燃料の開発", NFK-8109 改 1 (2002)
- [52] 原子燃料工業、"燃料棒の曲りの評価", NFK-8014 改 3 (1981)
- [53] 原子燃料工業、"原燃工製 PWR ステップ 2 燃料の機械設計について(大飯 1,2,3,4 号)", NFK-8119 改 1 (2002)
- [54] (財)原子力発電技術機構、"平成 10 年度軽水炉改良技術確証試験(高燃焼度等燃料に関するもの)に関する報告書"
- [55] K.NOGITA,K.UNE,"Formation of Pellet-cladding Bonding Layer in High Burnup BWR Fuels" J. Nucl. Sci. Tech., 34 (1997) 679-686
- [56] 原子燃料工業、"原燃工新 DNB 相関式(NFI-1)について", NFK-8087 改 2 (2007)
- [57] 原子力安全委員会、"発電用加圧水型原子炉の炉心熱設計評価指針"(2000)
- [58] D.Haas, "Status of the PRIMO MOX Fuel Research and Development Programme", International Topical Meeting on LWR Fuel Performance, Avignon (1991)

添付書類二

燃料体(燃料要素の集合体である燃料体にあつては、燃料要素)の強度計算書

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	2-1
2. 設計条件 .....	2-2
3. 燃料棒の強度計算 .....	2-4
3.1 燃料棒の設計基準 .....	2-4
3.2 燃料棒の強度計算方法 .....	2-6
3.3 燃料棒設計計算コードの概要 .....	2-8
3.4 燃料棒の強度計算結果 .....	2-10
3.4.1 燃料棒の強度計算解析条件 .....	2-10
3.4.2 ペレット中心温度評価 .....	2-13
3.4.3 被覆管歪評価 .....	2-14
3.4.4 燃料棒内圧評価 .....	2-16
3.4.5 被覆管応力評価 .....	2-19
3.4.6 被覆管疲労評価 .....	2-24
4. 燃料集合体の強度計算 .....	2-28
4.1 燃料集合体の設計基準 .....	2-28
4.2 燃料集合体の強度計算方法 .....	2-31
4.3 燃料集合体の強度計算結果 .....	2-33
4.3.1 輸送時及び取扱い時における強度評価 .....	2-33
4.3.2 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における強度評価 .....	2-35
4.3.3 地震時における強度評価 .....	2-40
5. 参考文献 .....	2-103

## 1. 概要

本添付書類では、高浜発電所第4号機の取替燃料として使用されるウラン・プルトニウム混合酸化物燃料体(以下、燃料集合体と称する)の強度計算が適切に行われていることを示す。

高浜発電所第4号機の炉心は157体の燃料集合体で構成され、原子炉本体の設備との共存性を持ち、燃料の寿命中その健全性が維持されるように設計されている。

原子炉は炉心熱出力で、2,652MWを安全に出せるように設計され、取替燃料集合体は平均約40,000MWd/tの燃料集合体平均燃焼率(以下、燃焼度と称する)を達成できるように設計されている。

## 2. 設計条件

高浜発電所第4号機取替燃料集合体は、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時においても核・熱水力及び機械的に健全性を保つように以下の条件のもとに設計されている。

### (1) 燃焼度

本取替燃料集合体に対する燃焼度の設計値は次のとおりである。

ペレット最高	62,000MWd/t
燃料要素*1 最高	53,000MWd/t
燃料集合体最高	45,000MWd/t

### (2) 線出力密度

本取替燃料集合体に対する線出力密度の設計値は次のとおりである。

ウラン・プルトニウム混合酸化物\*2 燃料棒

平均燃料棒線出力密度	17.1kW/m
通常運転時の局所最大線出力密度	41.1kW/m*3
運転時の異常な過渡変化時の局所最大線出力密度	59.1kW/m*3

なお、出力分布に影響を与え、かつ、燃料棒出力密度が最も増大する運転時の異常な過渡変化としては、「原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈」及び「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」がある。

### (3) 一次冷却材の熱水力条件

高浜発電所第4号機の一次冷却材の熱水力パラメータのうち、燃料集合体設計に関する主なものは次のとおりである。

炉心熱出力	2,652MW
運転圧力	15.5MPa[abs]
定常運転時冷却材温度	
平均温度	302℃
入口温度	284℃

\*1 以下、燃料棒と称する。

\*2 以下、MOXと称する。

\*3 燃料ペレット焼きしまりの効果を含む。

出口温度	321℃
高温零出力時冷却材温度	286℃
流速(燃料集合体平均)	約 4.38m/s
熱水力等価直径	11.78mm

(4) 炉心設計条件\*1

水対燃料体積比	3.56
工学的熱流束熱水路係数( $F_Q^E$ )*2	1.04

\*1 燃料仕様に関連する炉心設計を行うための条件。

\*2 燃料製作上の公差が熱流束熱水路係数に与える影響を考慮する因子である。解析評価により、95%の信頼度、95%の確率で工学的熱流束熱水路係数は1.04を超えないことを確認している。

### 3. 燃料棒の強度計算

#### 3.1 燃料棒の設計基準

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、第 2-1 表に示す基準を満足するように燃料棒を設計する。

設計基準を設定するにあたっての基本的な考慮事項と設計基準を同表に示す。

なお、これらの基準は、原子力規制委員会規則第 5 号「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(平成 25 年 6 月 28 日)」、原子炉安全基準専門部会報告書「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)」、原子炉安全基準専門部会報告書「発電用軽水型原子炉施設に用いられる混合酸化物燃料について(平成 7 年 6 月 19 日)」及び原子炉安全専門審査会内規「加圧水型原子炉に用いられる 17 行 17 列型の燃料集合体について(昭和 51 年 2 月 16 日)」に記載されている考え方に基づいている。

第 2-1 表 燃料棒設計基準と基本的考慮事項

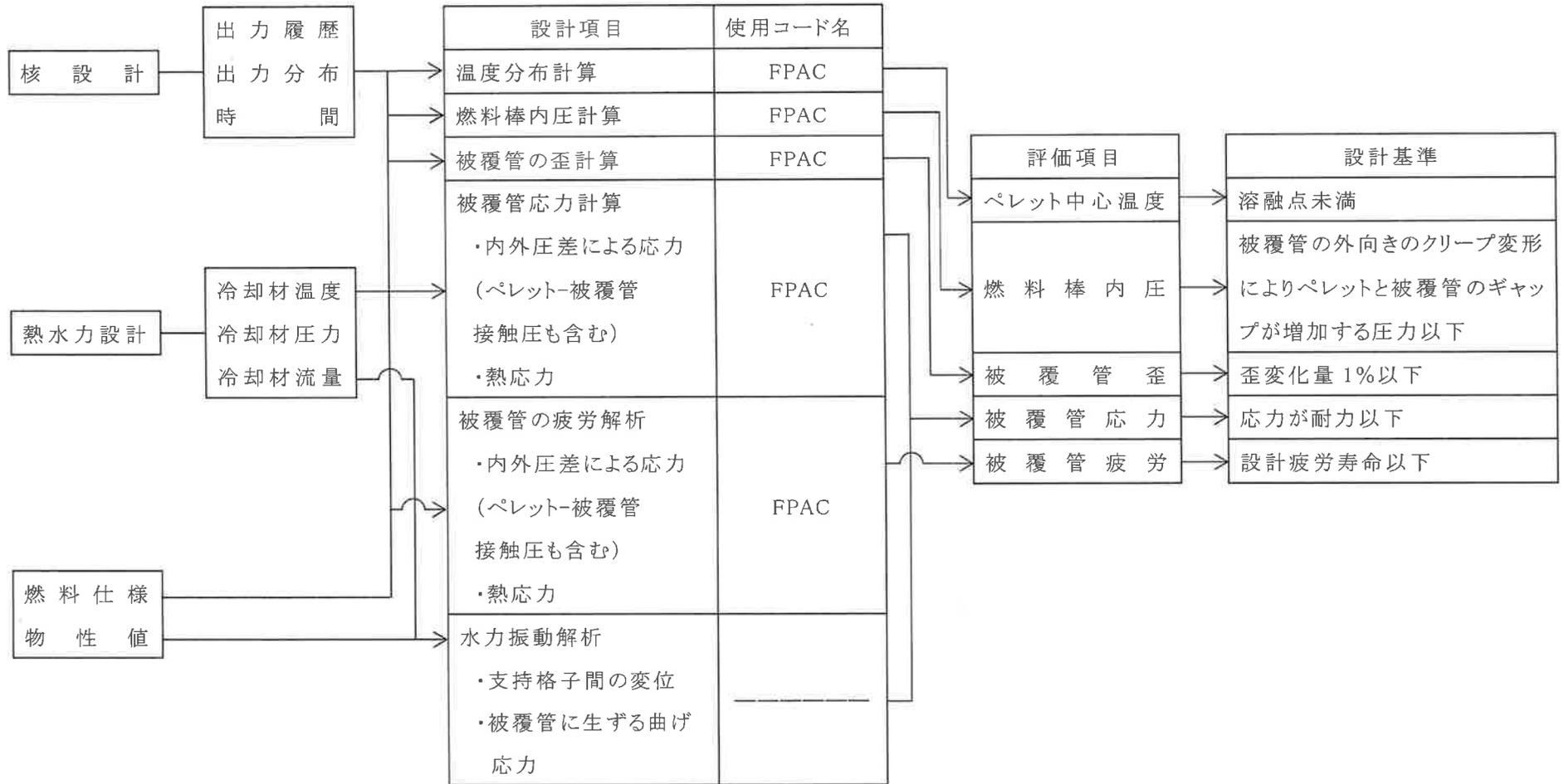
項目	基本的考慮事項	設計基準
ペレット中心温度	1)過大な膨張を防ぐ。 2)燃料スタックの不安定化を防ぐ。 3)核分裂生成物の過度の放出あるいは移動を防ぐ。 4)ペレットと被覆管の有害な化学反応を防ぐ。	ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレットの溶融点未満であること。
燃料棒内圧	ペレット中心温度の過大な上昇を防止する。	通常運転時において被覆管の外向きのクリープ変形によりペレットと被覆管のギャップが増加する圧力を超えないこと。
被覆管歪	通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時を通じて被覆管の健全性を確保する。	円周方向引張歪の変化量は各過渡変化に対して1%以下であること。
被覆管応力		ジルカロイ-4 の耐力 <sup>(注)</sup> 以下であること。
被覆管疲労	日間負荷変動を含む負荷追従運転を仮定しても被覆管が健全であること。	累積疲労サイクルは、設計疲労寿命以下となる設計とする。設計疲労曲線としては、Langer and O'Donnell の曲線を使用する。

(注)0.2%の塑性変形を起こす応力をいう。

### 3.2 燃料棒の強度計算方法

燃料棒の強度計算は 3.1 節で述べた各設計基準を満足することを確認するために行う。

燃料棒の強度計算のフローを使用計算コード、評価項目、設計基準とともに第 2-1 図に示す。



第2-1図 燃料棒の強度計算方法

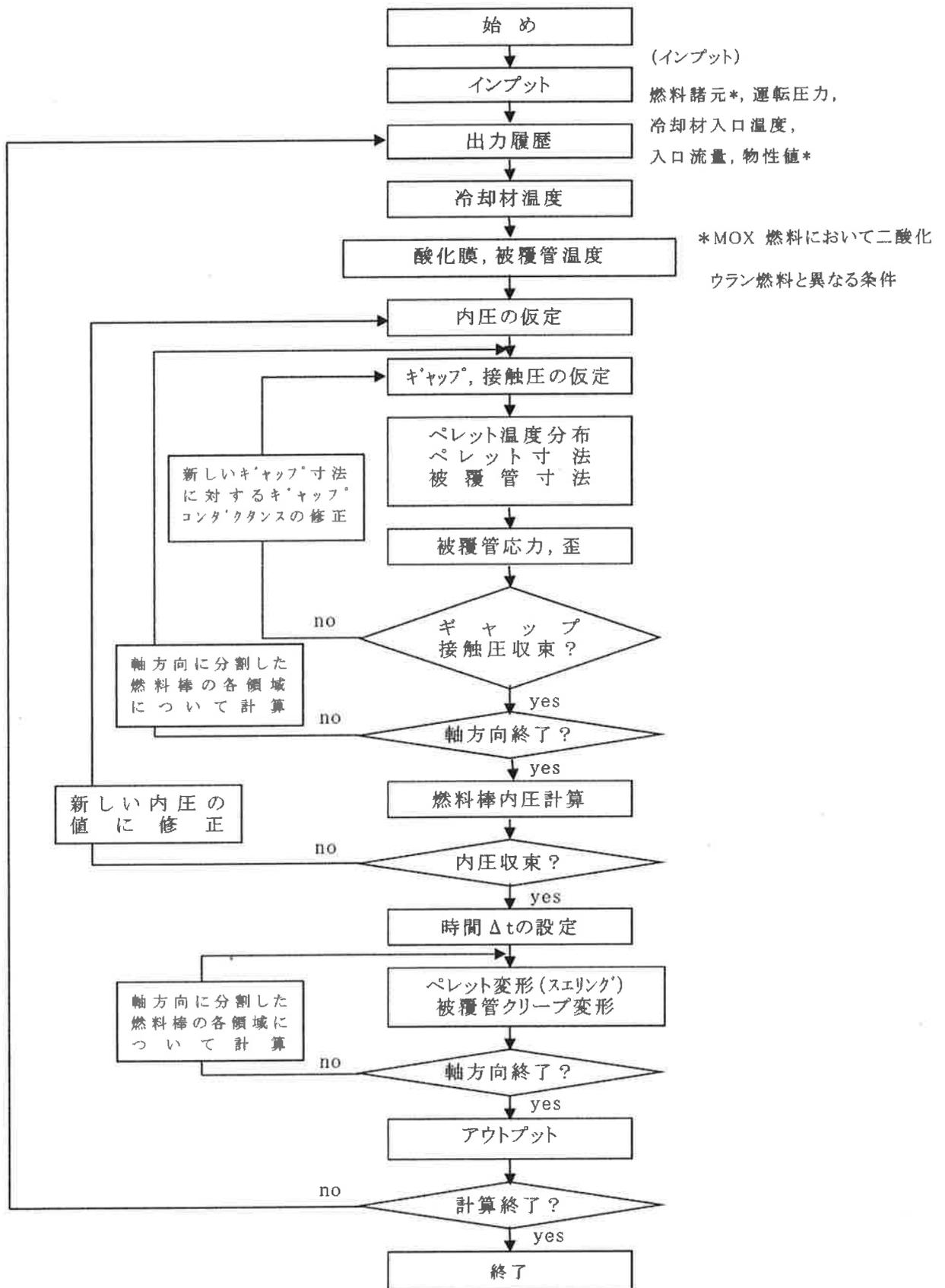
### 3.3 燃料棒設計計算コードの概要

現在の発電用軽水炉においては、二酸化ウラン粉末を焼結したペレット、二酸化ウラン粉末にガドリニア粉末を混合し焼結したペレット、あるいは劣化二酸化ウラン粉末に二酸化プルトニウム粉末を混合し焼結したペレット(以降、MOX ペレットと称する。)を、ジルコニウムを主成分とした合金被覆管の中に挿入した燃料棒が用いられる。

当社においてはこの燃料棒の性能評価を、二酸化ウランペレットやガドリニア混合二酸化ウランペレット及び MOX ペレットの照射挙動をモデル化し、あるいは、ジルカロイ-4 被覆管の照射挙動をモデル化した FPAC コード[1][2] (Fuel Performance Analysis Code)を用いて行う。

FPAC コードは、燃料棒が炉内で示す挙動(核分裂生成物(以下、FPと称する)の生成及び放出、ペレットの割れ、熱膨張、スエリング及び焼きしまり、被覆管の熱膨張、弾性変形、クリープ及び照射成長、ペレットと被覆管の相互作用など)をモデル化して、ペレット中心温度、燃料棒内圧、被覆管の応力、歪及び疲労等を計算することができる。

計算の流れの概要は、第 2-2 図に示すブロックダイアグラムで表される。



第 2-2 図 燃料棒の設計・計算ブロックダイアグラム

□内は商業機密のため、公開できません。

### 3.4 燃料棒の強度計算結果

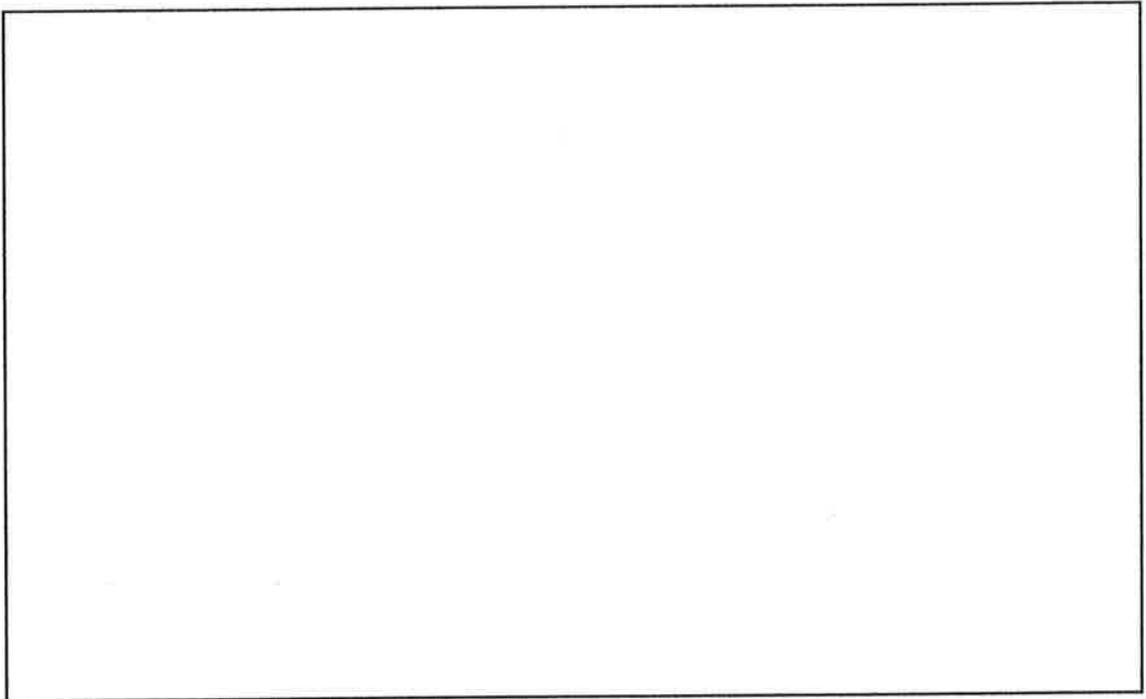
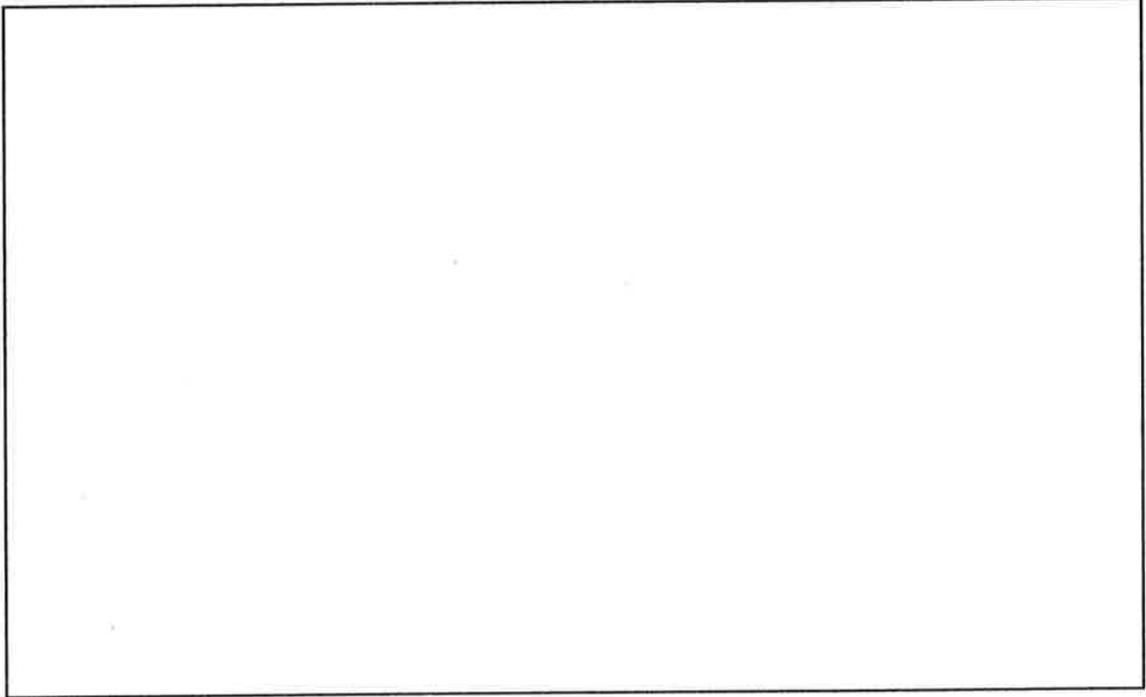
以下に燃料棒設計計算コードを用いて、高浜発電所第4号機取替燃料の性能評価を行った結果を示す。

#### 3.4.1 燃料棒の強度計算解析条件

高浜発電所第4号機の代表的な取替燃料を設計するのに使用した主要なインプットは次のとおりである。

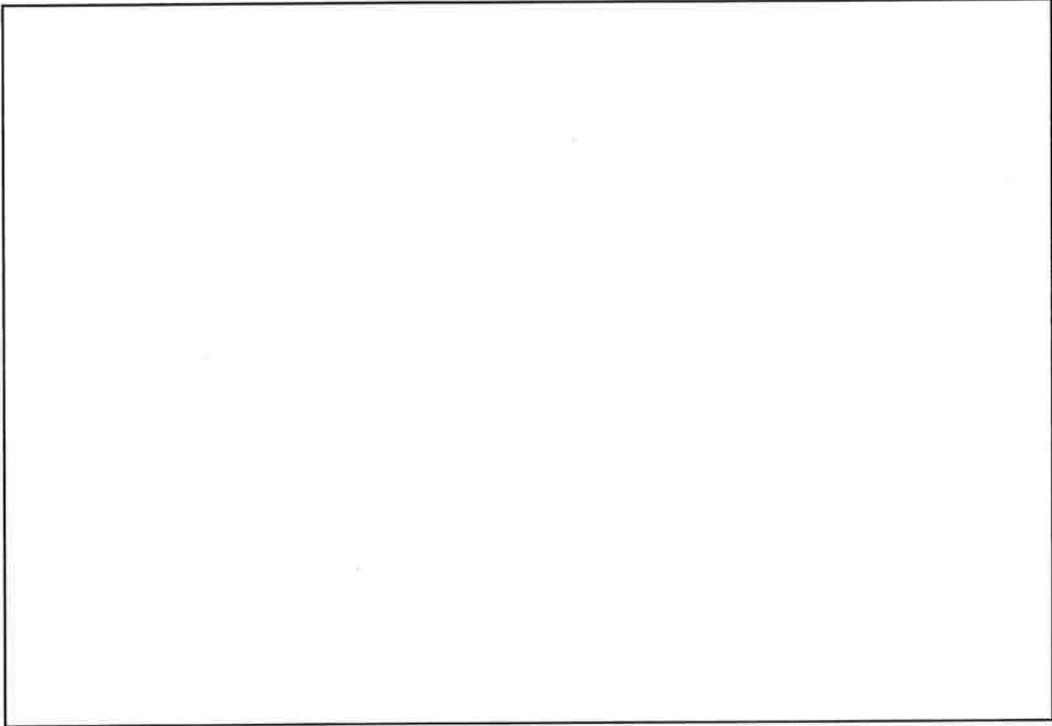
ペレット	プルトニウム含有率	□ wt%
	核分裂性プルトニウム富化度	□ wt%
	直径	8.05mm
	高さ	11.5mm
	形状	ディッシュ、チャンファ付き
	密度	理論密度の95%
	被覆管	材質
内径		8.22mm
肉厚		0.64mm
燃料棒	プレナム長さ	□ mm
	初期燃料要素内部圧力	□ MPa [abs]
	封入ガス	ヘリウム □
	スタック長さ	3,648mm
	冷却材 の条件	運転圧力
出力分布	入口温度	284°C
	入口流量	0.29kg/s
	熱水力等価直径	11.78mm
	平均線出力密度	17.1kW/m
	代表的な出力履歴	最大及び最小燃料棒燃焼度となる燃料棒並びに各サイクルで最大及び最小燃料棒平均線出力密度となるもの(第2-3図)
	軸方向出力分布(Fz)	燃料棒強度評価に用いた炉心平均のもの(第2-4図)

内は商業機密のため、公開できません。



第 2-3 図 MOX 燃料棒の出力履歴

内は商業機密のため、公開できません。



第 2-4 図 軸方向出力分布

### 3.4.2 ペレット中心温度評価

ペレット中心温度の評価が最も厳しくなる燃焼時点における評価結果を第2-2表に示す。これらの値は、計算モデルの不確定性、燃料の製造公差及び燃焼に伴う溶融点の低下を考慮して求めた設計基準(添付書類一による)に比べ、十分小さい。

第2-2表 ペレット中心温度

燃料の種類	条件	局所燃焼度 (MWd/t)	ペレット 中心温度 (℃)	判定	設計基準 (℃)
M O X ペ レ ッ ト	通常運転時 (41.1kW/m)* <sup>1</sup>	0	約 1,770	<	2,510
	過渡変化時 (59.1kW/m)* <sup>1</sup>	0	約 2,220		

\*<sup>1</sup> 燃料ペレット焼きしまりの効果を含む。

□内は商業機密のため、公開できません。

### 3.4.3 被覆管歪評価

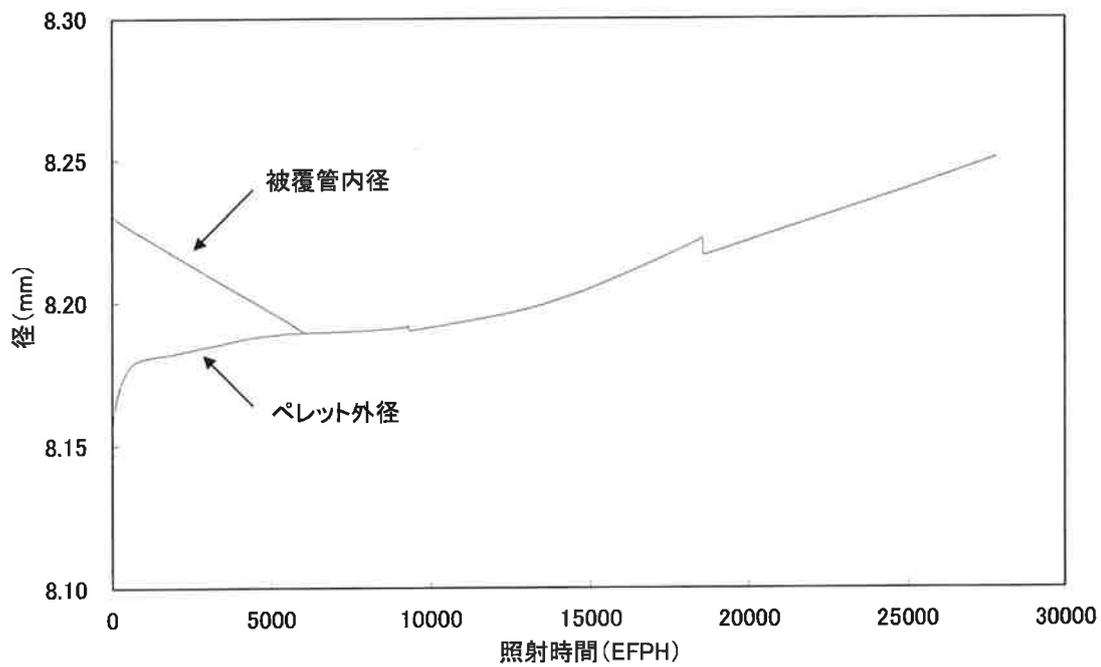
燃料寿命初期では、冷却材圧力による圧縮歪が作用し、被覆管の径が減少するが、燃焼が進行するとペレットと被覆管の間げき(ギャップ)が減少し、ついには両者の接触が起これ、引張方向歪が被覆管に生ずる。代表的な出力履歴に対する径の変化を第 2-5 図に示す。

MOX 燃料棒について、運転時の異常な過渡変化における被覆管歪の変化量が最も大きくなるのは、□においてである。評価結果を第 2-3 表に示すが、設計基準値より十分小さいので、被覆管の健全性は損なわれない。

第 2-3 表 被覆管歪評価

燃料の種類	局所燃焼度 (MWd/t)	被覆管歪 変化量 (%)	判定	設計基準値 (%)	設計比 <sup>(注)</sup>
MOX 燃料棒	□	0.44	<	1	0.44

(注) 設計基準値に対する評価値の比である。



第 2-5 図 燃料棒径の燃焼による変化

□内は商業機密のため、公開できません。

#### 3.4.4 燃料棒内圧評価

燃料棒の内圧は、製造時に封入したガス(He)以外に燃焼とともに FP ガスが蓄積するために増加する。そのため、高燃焼度域では内圧が外圧を超える可能性がある。このような状態では、被覆管外径が外向きのクリープ変形により増加し、いったん接触したペレットと被覆管にギャップが生ずる可能性がある。このギャップによりギャップコンダクタンスが低下し、ペレット中心温度が上昇すると、さらに FP ガスが放出され内圧が上昇し、その結果さらにギャップが広がるといったいわゆる“Thermal Feedback”を起こす可能性がある。

このような状態での燃料棒の使用は、ペレット中心温度の上昇を招くこととなり望ましい状況ではない。

この“Thermal Feedback”を避けるために、「燃料棒内圧は、通常運転時において、被覆管の外向きのクリープ変形によりペレットと被覆管のギャップが増加する圧力を超えないこと」としている。この基準値は、燃料棒設計計算コードで解析し、その不確実性も考慮して最も厳しくなるものとして 19.0MPa [abs] としている。

最大内圧を示す燃料棒の内圧変化を第 2-6 図に示す。内圧は、□  
□において最大となる。燃料棒内圧の評価結果を第 2-4 表に、評価に考慮している不確実性を第 2-5 表に示すが、燃料棒内圧は設計基準値以下である。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-4表 燃料棒内圧評価

燃料の種類	燃料棒平均 燃焼度 (MWd/t)	燃料棒内圧	判定	設計基準値	設計比 <sup>(注)</sup>
MOX 燃料棒	□	16.1	<	19.0	0.85

(注) 設計基準値に対する評価値の比である。

(単位:MPa [abs])

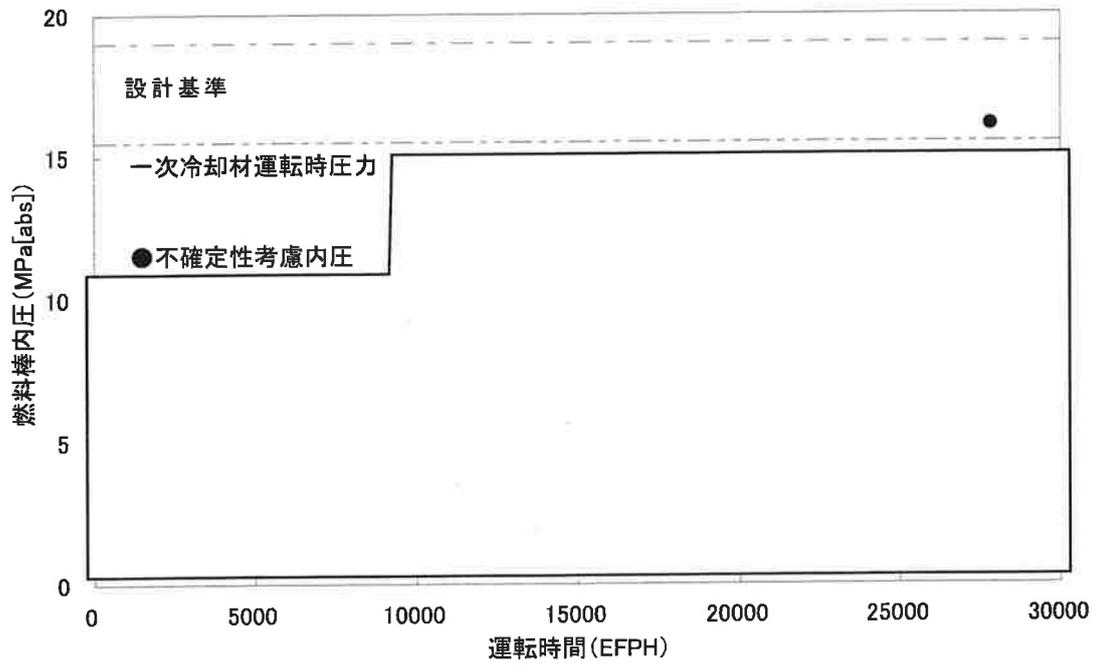
第2-5表 燃料棒内圧の不確定性

不確定性項目	MOX 燃料棒

(単位:MPa)

\* 不確定性合計は各不確定性の二乗和平方根

□ 内は商業機密のため、公開できません。



第 2-6 図 燃料棒の内圧の変化

### 3.4.5 被覆管応力評価

被覆管の応力評価は、次のような要因による応力を相当応力として求め、被覆管の耐力と比較することで行われる。

- (1) 内外圧差による応力(ペレット-被覆管の相互作用による応力も含む)
- (2) 熱応力
- (3) 水力振動による応力

以下に各項目の計算結果について記す。

#### (1) 内外圧差による応力

##### (a) 高温停止時及び通常運転時

燃料寿命初期はペレットと被覆管が接触していないため、外圧の方が大きく被覆管は圧縮応力を受ける。

燃焼が進むと、ペレットのスエリング、被覆管のクリープ変形のためにペレットと被覆管が接触するようになる。このため被覆管には引張応力が働くようになるが、クリープとスエリングがほぼつり合うためこの応力は小さなものである。

##### (b) 過渡変化時

ペレットと被覆管が接触していない燃料寿命初期は、過渡変化が発生しても燃料棒の内圧増加による応力の変化があるのみで、その量はわずかである。

一方ペレットと被覆管が接触している燃料寿命末期は、過渡変化時には内圧の増加のみならず、ペレットの熱膨張による応力が加わることになる。この変化は速いため被覆管のクリープによる応力緩和が生じず、応力は大きなものとなる。

以上より内外圧差による応力は、応力が大きくなる過渡変化時の評価を行う。

#### (2) 熱応力

- ・ 熱応力は、被覆管の内外面の温度差により発生する。過渡変化時には被覆管温度が増加するため、若干通常運転時より大きくなる。

□内は商業機密のため、公開できません。

(3) 水力振動による応力

水力振動は、冷却材の軸方向流れにより発生する。水力振動による応力は、振動による変位を燃料棒の中心部に与えたとき発生する応力として求める。

燃料棒は各支持格子で支持されているが、支持格子ではさまれた代表的な 1 スパンについて評価する。燃料棒の両端を単純支持と仮定すると、中立軸から  $d/2$  の位置の被覆管断面に生ずる応力は次式で与えられる。

$$\sigma_z = \pm \frac{M \cdot d}{2I} = \pm \frac{24d \cdot E \cdot \delta}{5L^2}$$

ここで、

M : 最大曲げモーメント  $\frac{W \cdot L^2}{8}$  N・mm

W : 等分布荷重  $\frac{384E \cdot I \cdot \delta}{5L^4}$  N/mm

d : 任意の直径

I : 断面 2 次モーメント  $\frac{\pi}{64}(d_o^4 - d_i^4)$  mm<sup>4</sup>

d<sub>o</sub> : 被覆管外径 9.50mm

d<sub>i</sub> : 被覆管内径 8.22mm

δ : 最大振幅(以下の Paidoussis の式より求めた値)  
0.08mm

L : スパン長さ □ mm

E : ヤング率 □ N/mm<sup>2</sup>

である。

冷却材による振動は、次の Paidoussis の式[3]により計算する。Paidoussis の式は、流体下の棒(管)の振動振幅の測定値を評価した実験式である。

$$\frac{\delta}{D} = \alpha^{-4} \left[ \frac{\mu^{1.6} \cdot \varepsilon^{1.8} \cdot Re^{0.25}}{1 + \mu^2} \right] \left( \frac{D_h}{D} \right)^{0.4} \left[ \frac{\beta^{\frac{2}{3}}}{1 + 4\beta} \right] \times [5 \times 10^{-4} K]$$

ここで、

D : 被覆管外径 9.50mm

δ : 最大振幅

D<sub>h</sub> : 熱水力等価直径 11.78mm

Re : レイノルズ数 =  $\frac{D_h \cdot U}{\nu}$

□内は商業機密のため、公開できません。

$$\mu : \left[ \frac{M}{E \cdot I} \right]^{\frac{1}{2}} U \cdot L$$

$$M : \text{単位長さあたりの流体の質量 } \frac{1}{4} \pi D^2 \rho \text{ (kg/mm)}$$

E : ヤング率

I : 断面 2 次モーメント  $1.76 \times 10^2 \text{mm}^4$

U : 燃料棒の軸方向に沿った平均流速  $4.75 \times 10^3 \text{mm/s}$

L : スパン長さ □ mm

$$\beta : = \frac{M}{(M+m)}$$

m : 単位長さあたりの燃料棒質量

$\rho$  : 流体の密度 □ kg/mm<sup>3</sup>

$\nu$  : 動粘性係数

$\varepsilon$  : =L/D

$$\alpha : \alpha^2 = \left[ \frac{(m+M)L^4}{E \cdot I} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \omega$$

$\omega$  : 燃料棒の固有角振動数

K : 流れの乱れのレベルを表す因子(実際の流れでは K=5)

である。

上式を計算すると、燃料棒の最大振幅は

$$\delta = \square \text{mm}$$

となる。

以上から、Paidoussis の式で評価された最大振幅を用いて燃料棒に発生する応力を評価すると、

$$\sigma_z = \square \text{N/mm}^2 \text{(被覆管内面)}$$

$$\sigma_z = \square \text{N/mm}^2 \text{(被覆管外面)}$$

となる。

□内は商業機密のため、公開できません。

(4) 被覆管の応力評価

MOX 燃料棒の被覆管に生ずる内外圧差による応力および熱応力は、□

□において過渡変化時に最大となる。

(1)～(3)の要因による応力の合計を相当応力として求めた被覆管応力の評価結果を第 2-6 表に示す。

上記計算値は設計基準値より十分小さいので、被覆管の健全性は損なわれな  
い。

□内は商業機密のため、公開できません。

第 2-6 表 MOX 燃料棒の被覆管応力評価(過渡変化時)

(単位:N/mm<sup>2</sup>)

項目		応力			相当応力				
		$\sigma_r$	$\sigma_\theta$	$\sigma_z$					
内外圧差による応力	内面	□	□	□					
	外面								
熱応力	内面								
	外面								
水力振動による応力	内面								
	外面								
応力の合計	内面								
	外面								
体積平均相当応力									
局所燃焼度 (MWd/t)									
設計基準値									
設計比 <sup>(注 2)</sup>									0.76
					0.76				

(注 1) 上段:水力振動による応力を引張方向にとった場合

下段:水力振動による応力を圧縮方向にとった場合

(注 2) 設計基準値に対する体積平均相当応力の比である。

\* Mises の相当応力:  $\sigma_g = \sqrt{\frac{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2}{2}}$

□内は商業機密のため、公開できません。

### 3.4.6 被覆管疲労評価

燃料棒は原子炉に装荷されてから取り出されるまでの間、出力変動及び圧力変動を受け、これにより繰り返し応力が被覆管に加わる。この繰り返し応力は、ASME Sec. IIIに基づいた方法により評価し、累積疲労サイクル数と設計疲労寿命との比として表される累積疲労損傷係数が 1 を超えないことを確認する。

#### (1) 疲労解析条件

疲労解析では、繰り返し応力の発生原因となる条件の回数を燃料において 14 か月 3 サイクル運転を仮定する。

##### (1.1) 起動・停止

起動・停止に応じて被覆管の応力は、低温停止状態から高温零出力時の値に変化する。

起動・停止は燃料寿命あたり□起こるとして評価する。応力の変動幅は燃料寿命初期が最も大きいので、燃料寿命中この値が繰り返されるものとして評価する。

##### (1.2) 日間負荷変化サイクル

通常の日間負荷変化に安全側にすべての高温零出力時と高温全出力時との間の出力変動及び 10%ステップ状変化と 1 ループにおける起動停止を安全側に考慮し、1 サイクルあたり□起こるとして評価する。

##### (1.3) その他の過渡変化

その他の過渡変化として、高温全出力時からの原子炉トリップ、1 次冷却材流量の部分喪失等をまとめて 1 サイクルあたり□起こるとして評価する。

上記(1.1)から(1.3)の回数を、燃焼サイクルごとに分けて、それぞれの繰り返し応力の振幅を計算する。

そして、各ケースの応力振幅に対応する設計許容繰り返し数  $N_1$ 、 $N_2$ 、……を設計疲労曲線から求め、これと応力の繰り返し数  $n_1$ 、 $n_2$ 、……とから累積疲労損傷係数  $\sum n_i/N_i$  を求める。

設計疲労曲線としては、照射したジルカロイ-4 材に関する第 2-7 図に示す Langer and O'Donnell のデータ[4]を使用する。

この設計疲労曲線は、実測データに対して試料寸法、表面状況及び環境等の影響及びデータのばらつきを十分補償できるように、交番応力値(時間の周期的な関数として変化する応力)についてはファクター2、繰返し数についてはファクター20の安全率をとって作成されたものである。

## (2)疲労解析結果

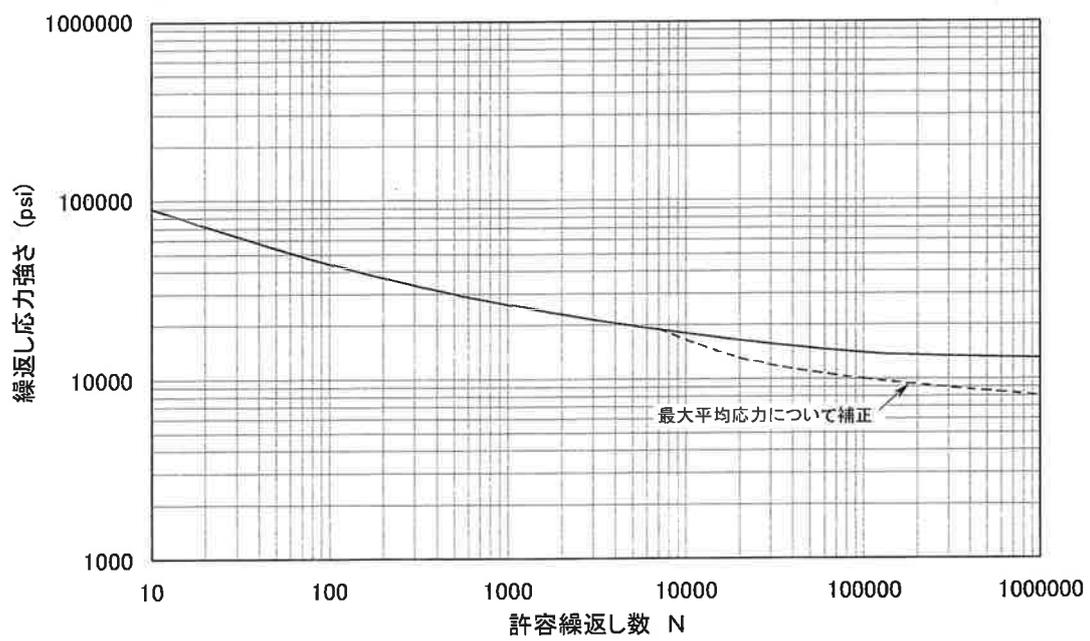
MOX 燃料棒の疲労評価結果を第 2-7 表に示す。応力振幅は最大応力と最小応力の差の 1/2 として定義される。各ケースの許容される繰返し数はこの応力振幅に対応して第 2-7 図の設計疲労曲線より求める。これらの結果より、MOX 燃料棒の累積疲労損傷係数は設計基準値の 1 よりも十分に小さく、被覆管の疲労破損は起こらない。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-7表 MOX燃料棒疲労解析結果

		疲 勞 損 傷 係 数	累 積 疲 勞 損 傷 係 数	許 容 累 積 疲 勞 損 傷 係 数	設 計 比 <sup>(注)</sup>
被 覆 管 内 面	低温停止状態 ↑↓ 高温零出力時	□	0.229	1	0.23
	高温零出力時 ↑↓ 高温全出力時 (日間負荷変化)				
	高温零出力時 ↑↓ 高温全出力時				
被 覆 管 外 面	低温停止状態 ↑↓ 高温零出力時	□	0.108	1	0.11
	高温零出力時 ↑↓ 高温全出力時 (日間負荷変化)				
	高温零出力時 ↑↓ 高温全出力時				

(注) 許容累積疲労損傷係数に対する累積疲労損傷係数の比である。



第 2-7 図 ジルカロイ-4 被覆管の設計疲労曲線[4]

## 4. 燃料集合体の強度計算

### 4.1 燃料集合体の設計基準

燃料集合体の健全性は、種々の荷重に基づく応力及び変形を制限することで確保する。また、燃料集合体がほかの構成部品の機能に影響を与えないようにする。このため、下記の方針で燃料集合体を設計する。

(1) ウラン燃料集合体と同一の構成部品を使用しているため、ウラン燃料集合体と同様、常温状態における輸送及び取扱時に燃料集合体に加わる荷重を軸方向について6G、また、横方向についても各支持格子部固定の条件で6Gと設計上設定し、構成要素がこの荷重に対して十分な強度を有し、燃料集合体としての機能が保持されるよう設計する。

(2) 原子炉内における使用期間中の通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において加わる荷重に対して、各構成要素がASME Sec.Ⅲの基準に基づいて十分な強度を有し、その機能が保持されるよう設計する。

ただし、MOX 新燃料集合体は、輸送中に高温となり、強度が低下することから、高温状態の燃料輸送及び取扱時の荷重を4Gと制限し、構成部品がこの荷重に対して、十分な強度を有し、燃料集合体としての機能が保持できることを確認する。

以上の設計基準設定に当たって考慮すべき基本的項目をまとめると第2-8表、第2-9表のようになる。

これらの基準は、原子力規制委員会規則第5号「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(平成25年6月28日)」、原子炉安全専門審査会内規「加圧水型原子炉に用いられる17行17列型の燃料集合体について(昭和51年2月16日)」及び原子炉安全基準専門部会報告書「発電用軽水型原子炉施設に用いられる混合酸化物燃料について(平成7年6月19日原子力安全委員会了承)」に記載されている考え方に基づいている。

第2-8表 輸送及び取扱時の燃料集合体強度評価許容値と考慮点

構成部分	考慮点	材料	応力	許容値
上部及び下部ノズル	アダプタプレート及び下部ノズルプレートの応力評価を行う。	ステンレス鋼鋳鋼	$P_L + P_b$	ASME Sec. IIIに基づいて設定された $S_m$ の1.5倍
制御棒案内シムブル	荷重分布を考慮し、応力評価を行う。	ジルカロイ-4	$P_m$	ASME Sec. IIIに基づいて設定された $S_m$
上部及び下部ノズル-制御棒案内シムブル結合部	荷重分布を考慮し、溶接部、結合部にかかる応力評価を行う。	ステンレス鋼 ジルカロイ-4		結合部の荷重変位曲線の弾性限界を許容値とする。
支持格子-制御棒案内シムブル結合部	荷重分布を考慮し、最上部、最下部支持格子について機械的結合部の強度評価を行う。	ジルカロイ-4 ステンレス鋼		結合部の荷重変位曲線の弾性限界を許容値とする。

$P_m$  : 一次一般膜応力

$P_L$  : 一次局部膜応力

$P_b$  : 一次曲げ応力

$S_m$  : 設計応力強さ(ASME Sec. IIIに従う。ただし、ジルカロイ-4については、0.2%耐力の2/3あるいは引張強さの1/3のいずれか小さい方)

第 2-9 表 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における  
燃料集合体評価許容値と考慮点

構成部分	考慮点	材料	応力	許容値
上部及び下部ノズル	スクラム時の衝撃力	ステンレス鋼 鋳鋼	$P_L + P_b$	ASME Sec. III に基づいて 設定された $S_m$ の 1.5 倍
上部ノズル押さえばね	設計流量時  ポンプオーバースピード時	718 合金		<ul style="list-style-type: none"> <li>・通常運転時は燃料集合体が浮き上がらないこと。</li> <li>・ポンプオーバースピード時は上部ノズル押さえばねの健全性が損なわれないこと。</li> </ul>
制御棒案内シムプル	熱膨張、照射成長、水力的揚力、ホールドダウン力、自重	ジルカロイ-4	$P_m$	ASME Sec. III に基づいて 設定された $S_m$
	制御棒落下時荷重		$P_L$	上記の $S_m$ の 1.5 倍

$P_m$  : 一次一般膜応力

$P_L$  : 一次局部膜応力

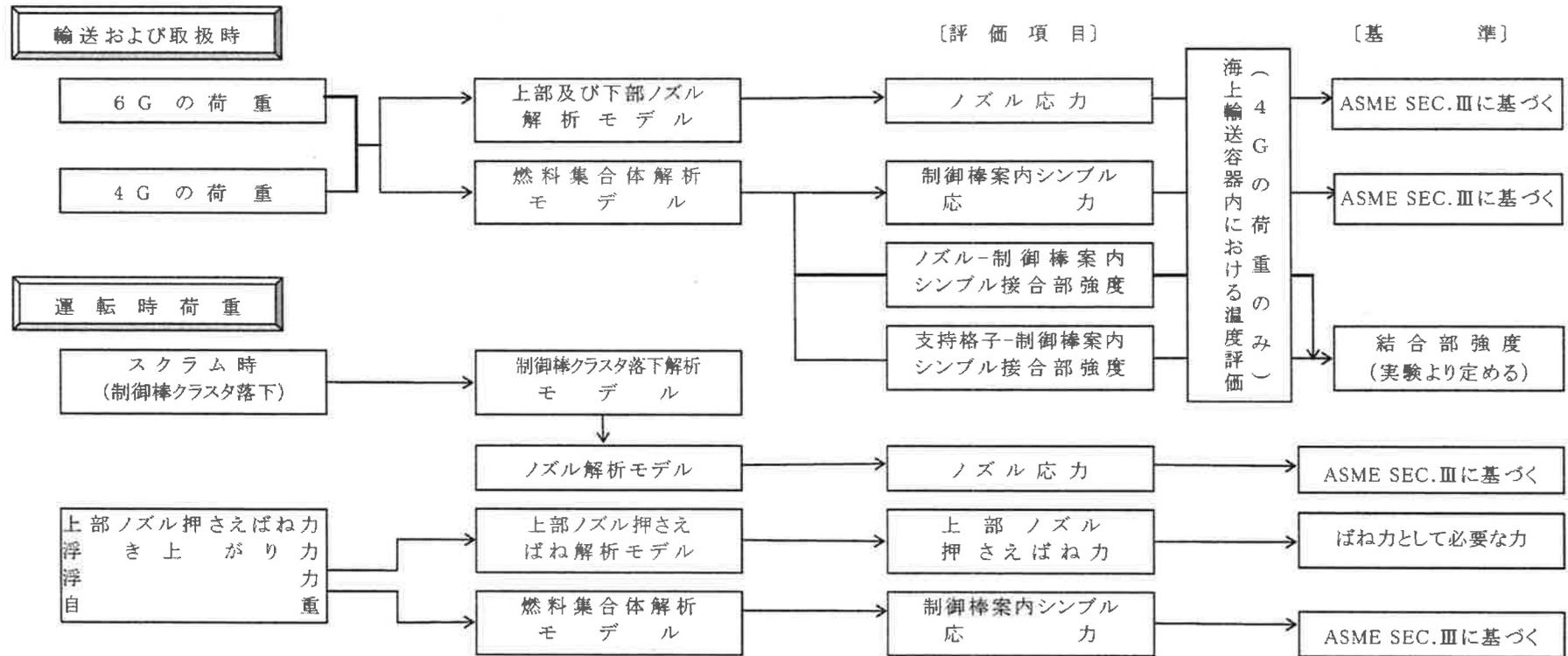
$P_b$  : 一次曲げ応力

$S_m$  : 設計応力強さ (ASME Sec. III に従う。ただし、ジルカロイ-4 については、0.2% 耐力の 2/3 あるいは引張強さの 1/3 のいずれか小さい方)

#### 4.2 燃料集合体の強度計算方法

前節で述べた設計基準を、本燃料集合体が満足することを確認するために燃料集合体の強度計算を行う。

燃料集合体の強度評価の方法を第 2-8 図に示す。



第2-8図 燃料集合体の解析

#### 4.3 燃料集合体の強度計算結果

燃料集合体の強度評価は、燃料輸送及び取扱い時に加わる設計荷重並びに通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において加わる荷重を考慮して行う。

##### 4.3.1 輸送時及び取扱い時における強度評価

取扱い時に予想される最大荷重は各種クレーンの特性に依存するが、3～4G以下であり、4Gの荷重は十分安全側の値である。また通常の輸送時に予想される荷重は、4Gよりも十分低いが、さらに輸送容器には加速度計が設けられ実際の荷重がこの設定値以下であることを確認する。

万一 4G以上の荷重の指示があった場合は、燃料集合体の健全性を確認する。

###### (1) 上部及び下部ノズル

有限要素法により計算した上部及び下部ノズルに発生する応力は第 2-10 表に示すように許容値以下であることから、健全性が損なわれることはない。

###### (2) 制御棒案内シンプル

有限要素法により計算した制御棒案内シンプルに発生する応力は第 2-10 表に示すように許容値以下であることから、健全性が損なわれることはない。

###### (3) ノズルー制御棒案内シンプル結合部

上部及び下部ノズルと制御棒案内シンプルの結合は、ネジ構造により行われている。ネジ有効断面積は制御棒案内シンプルの管断面積よりも大きく、この部分は制限因子とならない。

###### (4) 支持格子ー制御棒案内シンプル結合部

最上部、最下部の支持格子と制御棒案内シンプルが結合されているため、この部分の強度を評価する。

結果を第 2-10 表に示す。最上部、最下部の支持格子と制御棒案内シンプルの結合部の強度は許容値以下であることから、健全性が損なわれることはない。

横方向に 4G 荷重が作用した場合、各支持格子固定の条件で 4G の荷

□内は商業機密のため、公開できません。

重に対して被覆管に発生する応力は、約□ $\text{N/mm}^2$ と耐力(約 $310\text{N/mm}^2$ )に比べ十分小さい。また、支持格子のばねに作用する応力は約□ $\text{N/mm}^2$ であるのに対し、支持格子のばねの耐力は約□ $\text{N/mm}^2$ であるので、支持格子のばねに永久変形が生じることはなく、保持機能は確保される。

以上のように燃料輸送及び取扱い時に負荷される4Gの荷重に対して、燃料集合体としての機能が保持できることが確認できる。

上記(1)から(4)の項目について、常温における6Gの荷重に対する評価結果を第2-11表に示すが、いずれも許容値を満足している。横方向については、各支持格子固定の条件で6Gの荷重に対して被覆管に発生する応力は、約□ $\text{N/mm}^2$ と耐力(約 $310\text{N/mm}^2$ )に比べ十分小さい。また、支持格子のばねに作用する応力は約□ $\text{N/mm}^2$ であるのに対し、支持格子のばねの耐力は約□ $\text{N/mm}^2$ であるので、支持格子のばねに永久変形が生じることはない。

このように燃料輸送及び取扱い時に負荷される6Gの荷重に対して、燃料集合体としての機能が保持できることが確認できる。

□内は商業機密のため、公開できません。

#### 4.3.2 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における強度評価

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時には熱膨張、照射成長、水力的揚力、上部ノズル押さえばね力、自重及びスクラム時の荷重などを考慮して燃料集合体の強度を評価する。

##### (1) 上部及び下部ノズル

運転時の荷重としては、制御棒クラスタがスクラム時に落下して、ダッシュポットに入るとき及び上部ノズルと衝突するときの荷重を考える。

上部及び下部ノズルには、制御棒クラスタが高温で流量のない状態で落下するとき最も大きな衝撃力が加わる。このときに発生する応力を第 2-12 表に示す。これらの応力は許容値以下であることから、健全性が損なわれることはない。

##### (2) 上部ノズル押さえばね

上部ノズル押さえばねは、燃料集合体の照射や熱による膨張を吸収するとともに、一次冷却材による燃料集合体の浮き上がりを防止する働きをする。燃料集合体の浮き上がりは、機械設計流量で評価する。

通常運転時の燃料集合体浮き上がりの評価は、燃料寿命初期(燃料集合体燃焼度:0MWd/t)で行う。これは、上部ノズル押さえばね力の緩和を考慮しても、燃料集合体が照射成長するため、燃料寿命初期(燃料集合体燃焼度:0MWd/t)での上部ノズル押さえばね力が最も小さいからである。

評価の結果を第 2-13 表に示す。通常運転時において燃料集合体が浮き上がることはない。運転時の異常な過渡変化時の現象の一つであるポンプオーバースピード時は、□の流量で評価する。このとき燃料集合体は浮き上がるが、上部ノズル押さえばねの健全性は損なわれないことは試験により確認されている。

##### (3) 制御棒案内シムプル

制御棒案内シムプルに通常運転時に発生する応力は、上部ノズル押さえばねによる圧縮荷重及び燃料棒と制御棒案内シムプルの熱膨張差が、燃料棒一支持格子の相互作用を通じて制御棒案内シムプルに加える引張荷重を考慮して評価する。なお、制御棒案内シムプルの両端は上部及び下部ノズルに固定されているため、1次冷却材の流れによる振動振幅はわ

□内は商業機密のため、公開できません。

ずかであり、これによる発生応力も極めて小さいことから、水力振動による応力は考慮していない。

評価の結果を第 2-14 表に示す。いずれの評価条件においても、制御棒案内シムルに発生する最大応力は許容値以下であることから、健全性が損なわれることはない。

#### (4) 支持格子

支持格子のばねに作用する燃料棒の水力振動に伴う横方向荷重は約 1N で、そのときに生じる応力は□N/mm<sup>2</sup>あるのに対し、支持格子ばねの塑性変形が進行する応力は約□N/mm<sup>2</sup>であるので、燃料棒保持機能に及ぼす影響はない。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-10表 強度評価結果(4G相当荷重)

構成部分	荷重	評価値	許容値	設計比 <sup>(注)</sup>
上部ノズル	□N	□N/mm <sup>2</sup>	□N/mm <sup>2</sup>	0.53
下部ノズル	□N	□N/mm <sup>2</sup>	□N/mm <sup>2</sup>	0.62
制御棒案内シムル	—	□N/mm <sup>2</sup>	□N/mm <sup>2</sup>	0.94
支持格子-制御棒案内シムル結合部	—	□N	□N	0.45

(注) 許容値に対する評価値の比である。

第2-11表 常温における強度評価結果(6G相当荷重)

構成部分	荷重	評価値	許容値	設計比 <sup>(注)</sup>
上部ノズル	□N	□N/mm <sup>2</sup>	□N/mm <sup>2</sup>	0.80
下部ノズル	□N	□N/mm <sup>2</sup>	□N/mm <sup>2</sup>	0.80
制御棒案内シムル	—	□N/mm <sup>2</sup>	□N/mm <sup>2</sup>	0.86
支持格子-制御棒案内シムル結合部	—	□N	□N	0.68

(注) 許容値に対する評価値の比である。

第2-12表 上部及び下部ノズルの応力評価(制御棒落下時)

	荷重(N)	最大応力(N/mm <sup>2</sup> )	許容値(N/mm <sup>2</sup> )	設計比 <sup>(注)</sup>
上部ノズル	□	□	□	0.30
下部ノズル	□	□	□	0.15

(注) 許容値に対する最大応力の比である。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-13表 上部ノズル押さえばね

(単位:N)

条件	上方向の力		下方向の力		ばね力 (e)	流量の 余裕度 (%) (f) <sup>(注1)</sup>	評価	設計比
	浮き上がり力 (a)	浮力 (b)	自重 (c)	ばね力として必要な力 (d)= (a)+(b)-(c)				
高温全出力時							浮き上がらない。	0.49 <sup>(注4)</sup>
低温起動時							浮き上がらない。	0.60 <sup>(注4)</sup>
ポンプオーバースピード時 (高温)							浮き上がる。ただし上部ノズル押さえばねは塑性変形しない。	(0.67) <sup>(注5)</sup>

$$(注1) (f) = \left\{ \left( \frac{(e) - (b) + (c)}{(a)} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} \times 100$$

(注2) MOX燃料は公差下限を考慮した場合でも、上部ノズル押さえばね力は3,050Nであり、燃料集合体は浮き上がらない。

(注3) MOX燃料は公差下限を考慮した場合でも、上部ノズル押さえばね力は7,840Nであり、燃料集合体は浮き上がらない。

(注4) ばね力に対するばね力として必要な力の比である。

(注5) 弾性限界ばね力 □N)に対する浮き上がり時のばね力の比である。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-14表 制御棒案内シンプルの応力評価

条件	最大応力(N/mm <sup>2</sup> )	許容値(N/mm <sup>2</sup> )	設計比 <sup>(注1)</sup>
通常運転時	□	□	0.13[0.14]
制御棒落下時			[0.48]

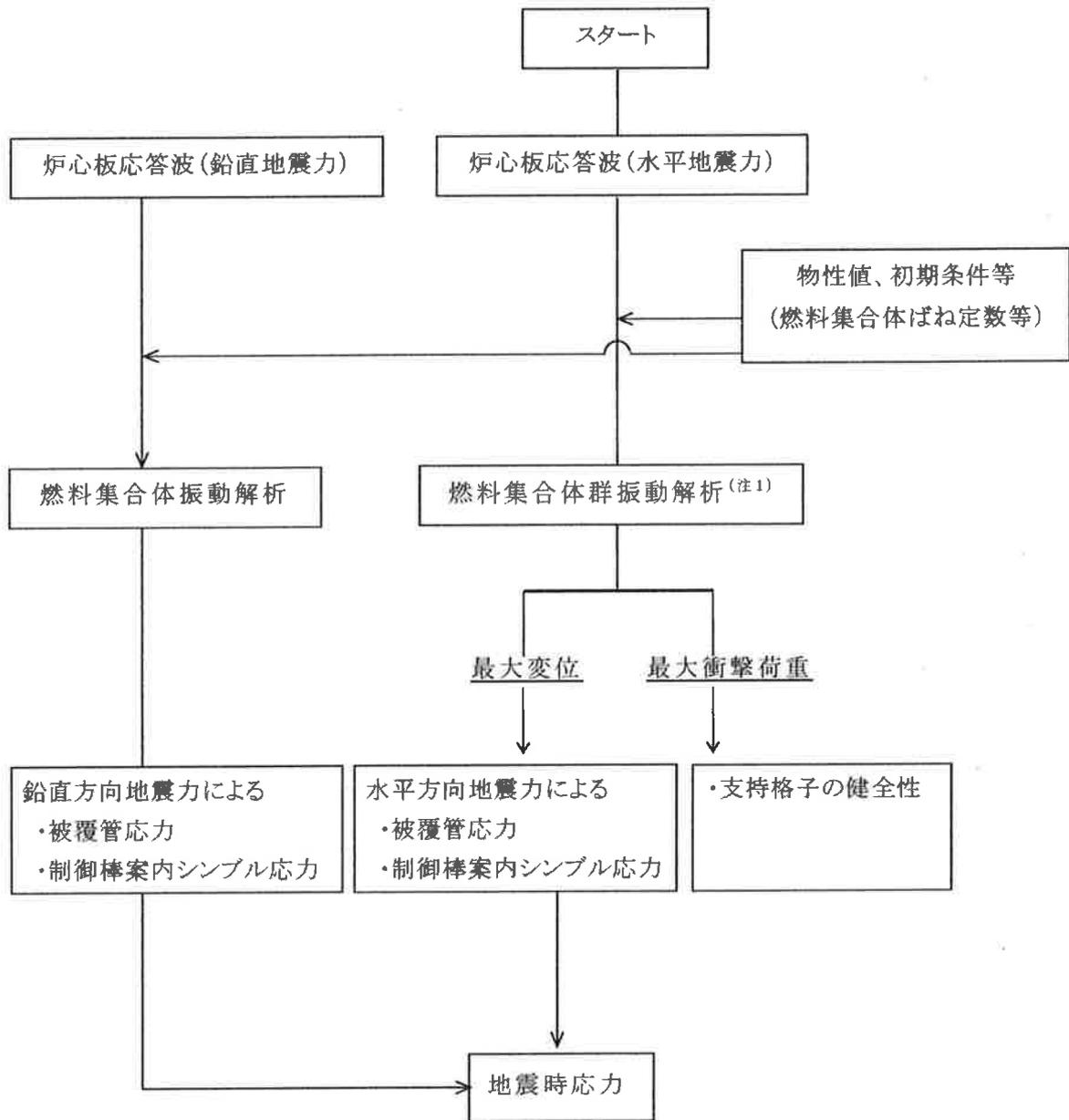
(注1) 許容値に対する最大応力の比である。

(注2) [ ]内はダッシュポット部応力を示す。

#### 4.3.3 地震時における強度評価

地震時における強度評価は次のように行う。燃料集合体を支持している炉心板の振動を入力として、原子炉内の燃料集合体群の動的応答を衝突現象も考慮して評価する。次に、この応答として得られた燃料集合体の変位量と鉛直方向地震力より被覆管応力と制御棒案内シンプル応力の評価を行う。また、最大衝撃荷重より支持格子の健全性の評価を行う。このような耐震計算の手順を第 2-9 図に示す。

以下に解析モデル並びに計算の入力及び結果について述べる。



(注1)鉛直方向の地震動が水平方向の振動特性へ及ぼす影響を考慮

第2-9図 耐震計算の手順

#### (1) 水平地震に対する解析モデル

群振動解析に当たって、最新知見の反映として、照射による耐震性への影響の程度を確認するため、運転期間中における照射の影響を取り込んで評価を行う。照射による影響の程度の確認においては、以下の影響を考慮する。

##### ①支持格子ばね力緩和

支持格子のばね力は照射により緩和し、これにより支持格子強度特性及び燃料集合体振動特性が変化する。

##### ②燃料被覆管及び制御棒案内シンプルの腐食

燃料被覆管及び制御棒案内シンプルは、照射により腐食が生じる。腐食により断面二次モーメントが低下することで、燃料集合体振動特性が変化する。

①及び②の照射の影響について、具体的には、試験によって得られたデータに基づき入力定数を設定し、評価を実施する。

##### (a) 最大変位解析モデル

原子炉容器に位置する燃料集合体群のうち、最も大きな動的応答が生じると考えられる第2-10図に示されるような燃料集合体の配列体数(N=15体)を有する一列(x-x軸上)にとり、この燃料集合体群が地震により、その配列方向に加振される場合について計算する。

計算は、第2-11図に示すモデルについて耐震設計計算コード(AQUARIUS)を用いて行う[5]。

炉心バツフルと上・下部炉心板は一列の集合体群と冷却水を格納する一つの剛なる閉じた容器(水槽)とみなし、また集合体の上下端は容器にピン支持されているとする。なお、燃料集合体の上下端の支持条件は同一とする。

燃料集合体間での衝突は、支持格子の位置で起こると考えられるため、この点には計算上、支持格子の衝撃挙動に対応したばね定数及びダンピング係数を考慮する。ただし、最上部及び最下部の支持格子は、上部及び下部のノズルに極めて近い位置にあり、衝突を生じ得ないと考えられるので省略している。

炉心内の水は付加質量として燃料集合体に加えており、また燃料集合体の振動特性(固有振動数、減衰定数)で考慮する。

燃料集合体は上・下支点(上部及び下部炉心板)から入力された地震

波により加振され、燃料集合体の振幅が燃料集合体間間隔(δ)より大きくなると、まず、炉心バッフルと燃料集合体の間に衝突が生じ、以後は複雑な衝撃を伴う振動性状を示す。したがって、応答計算は、衝突を考慮した時刻歴法により行う。

振動方程式を下記に示す。

$$M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{X}_0 + F$$

ここで、

- $\ddot{X}_0$  : 地震波加速度
- X : 節点の相対変位 (・は時間微分を表す)
- F : 衝突力又は支持反力
- M : 質量マトリックス
- K : 剛性マトリックス
- C : 粘性マトリックス

である。

$\ddot{X}_0$ は地震波加速度であり、上記方程式を時刻歴計算することにより各節点の変位及び衝撃力を時間の関数として求める。

また、支持格子の衝撃力が弾性限界荷重を上回った場合には、支持格子の変形を時間の関数として求め、さらに、その後の支持格子定数の変化を考慮する。

なお、K及びCは燃料集合体の変位により変化するものとして扱う。さらに、鉛直加速度に応じたKの低下をコード内部で考慮する。

#### (b) 応力解析モデル

応力計算モデルを第2-12図に示す。このモデルは制御棒案内シンプルと上部ノズル及び下部ノズル並びに最上部支持格子及び最下部支持格子は固定し、中間部支持格子とは摩擦要素とばね要素で結合しフローティングを模擬している。また、燃料棒と支持格子は摩擦要素、ばね要素及び回転ばね要素を用いて結合し、ソフトストップ及びハードストップを模擬したものである。

このモデルに地震応答解析により得られる各支持格子の最大変位を与えることによって、制御棒案内シンプルと燃料棒それぞれの応力を求める。

## (2) 鉛直地震に対する解析モデル

### (a) 最大軸力解析モデル

第 2-13 図に燃料集合体の解析モデルを示す。主要部材である燃料棒と制御棒案内シンプル(炉内計装用案内シンプル等を含む)を合わせて 1 本の 1 次元ばね要素で扱い、それらの質量を支持格子位置にて集中質量で与えている。

下部ノズルの質点の下側には下部ノズル剛性を模擬したばね要素を配している。一方、上部ノズルの質点上方のばね要素は、上部ノズル押さえばねを表わすものである。

上記の解析モデルを用いて、次の振動方程式を時刻歴により解く。

$$M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{X}_0 + F_L$$

ここで、

M : 質量マトリックス

K : 剛性マトリックス

C : 粘性マトリックス

$\ddot{X}_0$  : 地震波加速度

$F_L$  : 上部ノズル押さえばね力

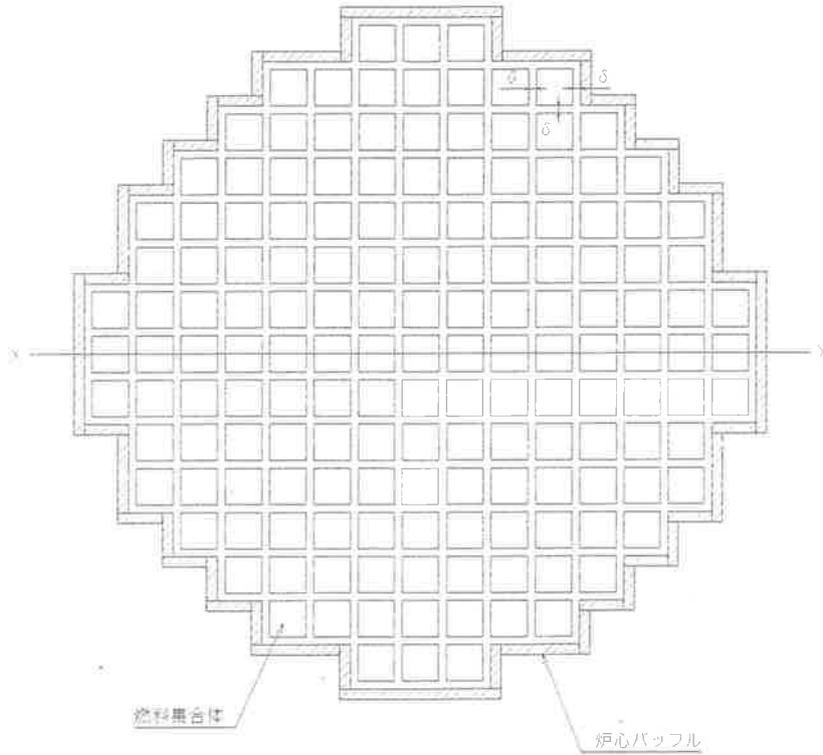
である。

### (b) 応力解析モデル

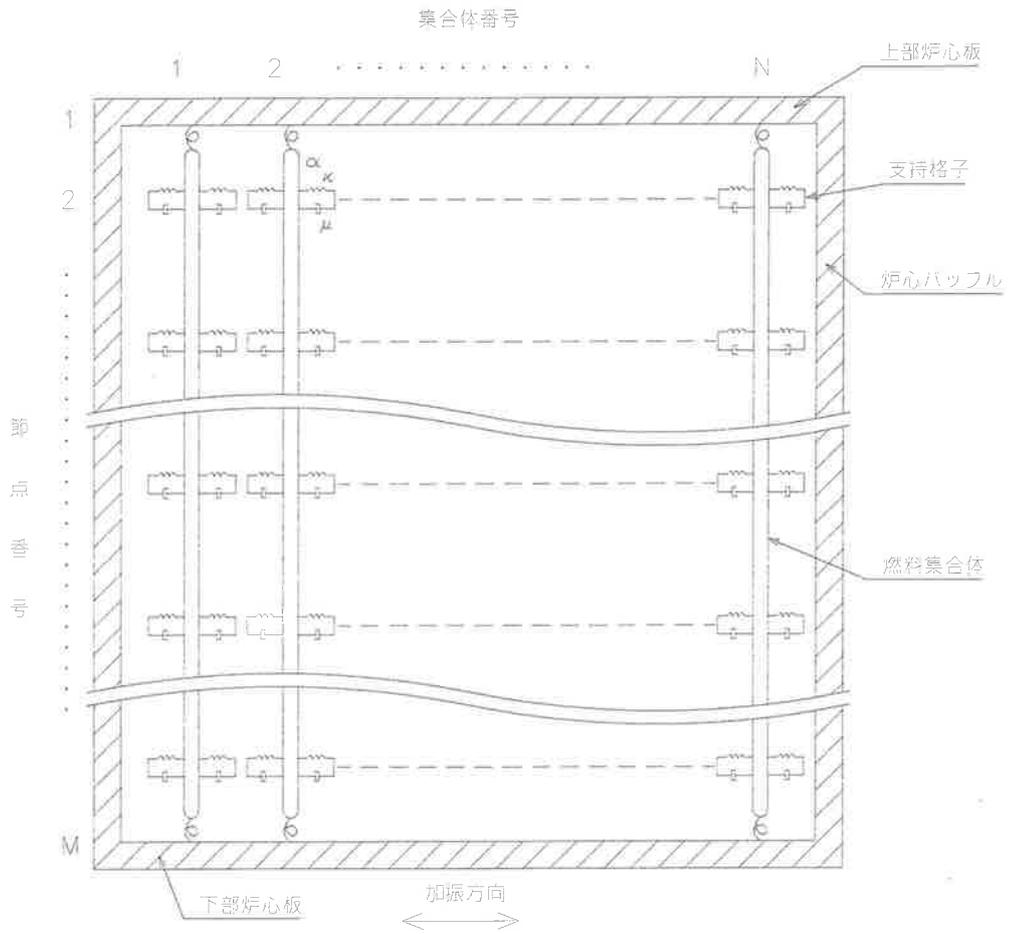
応力計算モデルを第 2-14 図に示す。このモデルは制御棒案内シンプルと上部ノズル及び下部ノズル並びに最上部支持格子及び最下部支持格子は固定し、中間部支持格子とは摩擦要素とばね要素で結合し、ローテイングを模擬している。また、燃料棒と支持格子は摩擦要素、ばね要素及び回転ばね要素を用いて結合し、ソフトストップ及びハードストップを模擬したものである。

このモデルに地震荷重を負荷したときの制御棒案内シンプルと燃料棒それぞれに加わる荷重を算出し応力を求める。

□内は商業機密のため、公開できません。



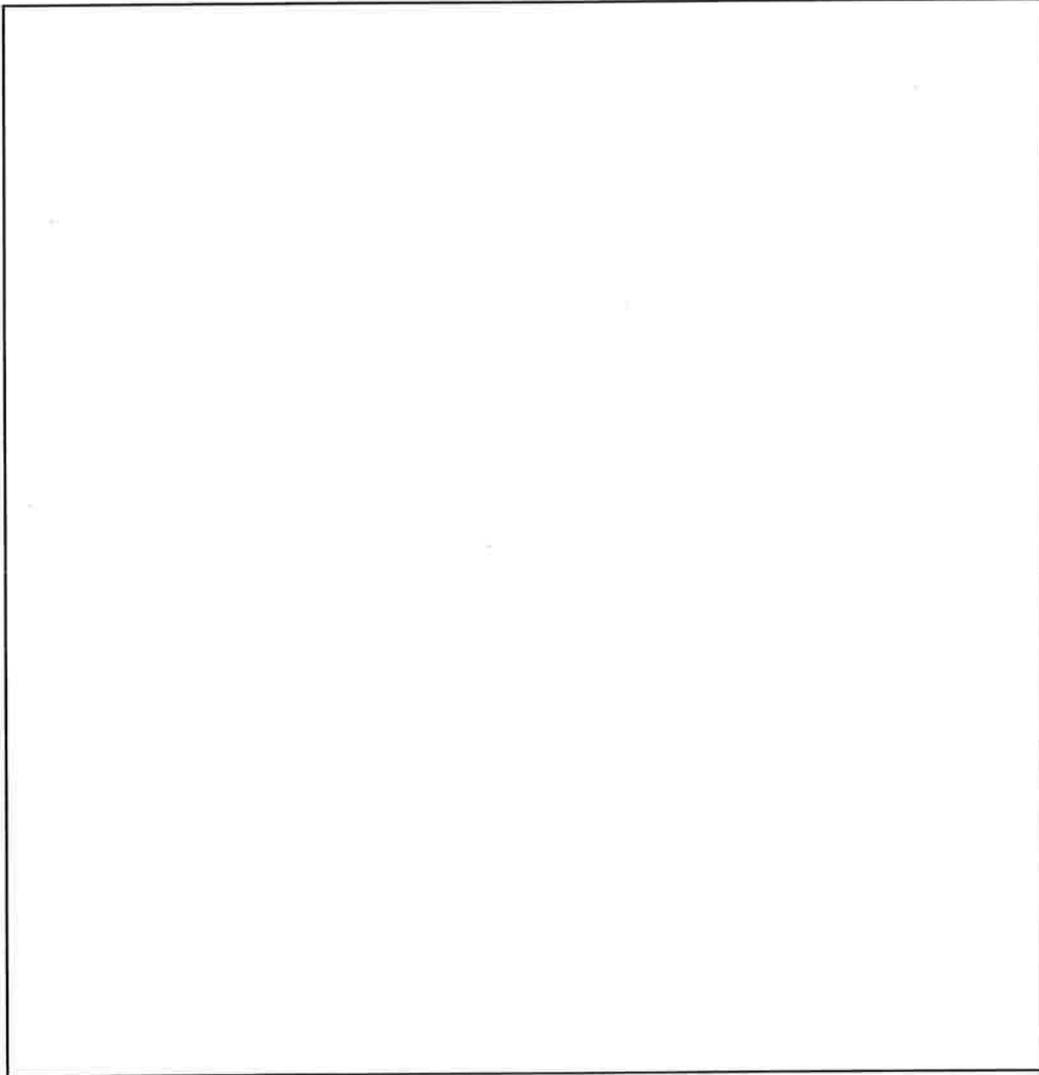
第 2-10 図 炉心断面図



$\alpha$  : 燃料集合体固定特性係数  
 $\kappa$  : 支持格子のばね定数  
 $\mu$  : 支持格子のダンピング係数

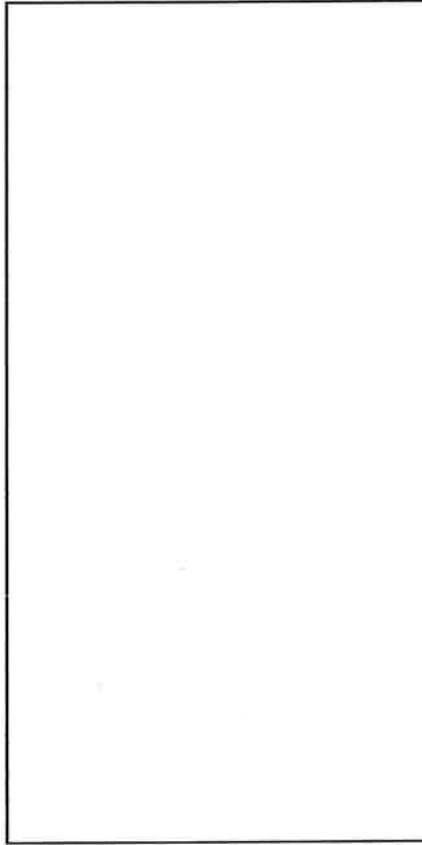
第 2-11 図 燃料集合体群振動解析モデル

□内は商業機密のため、公開できません。



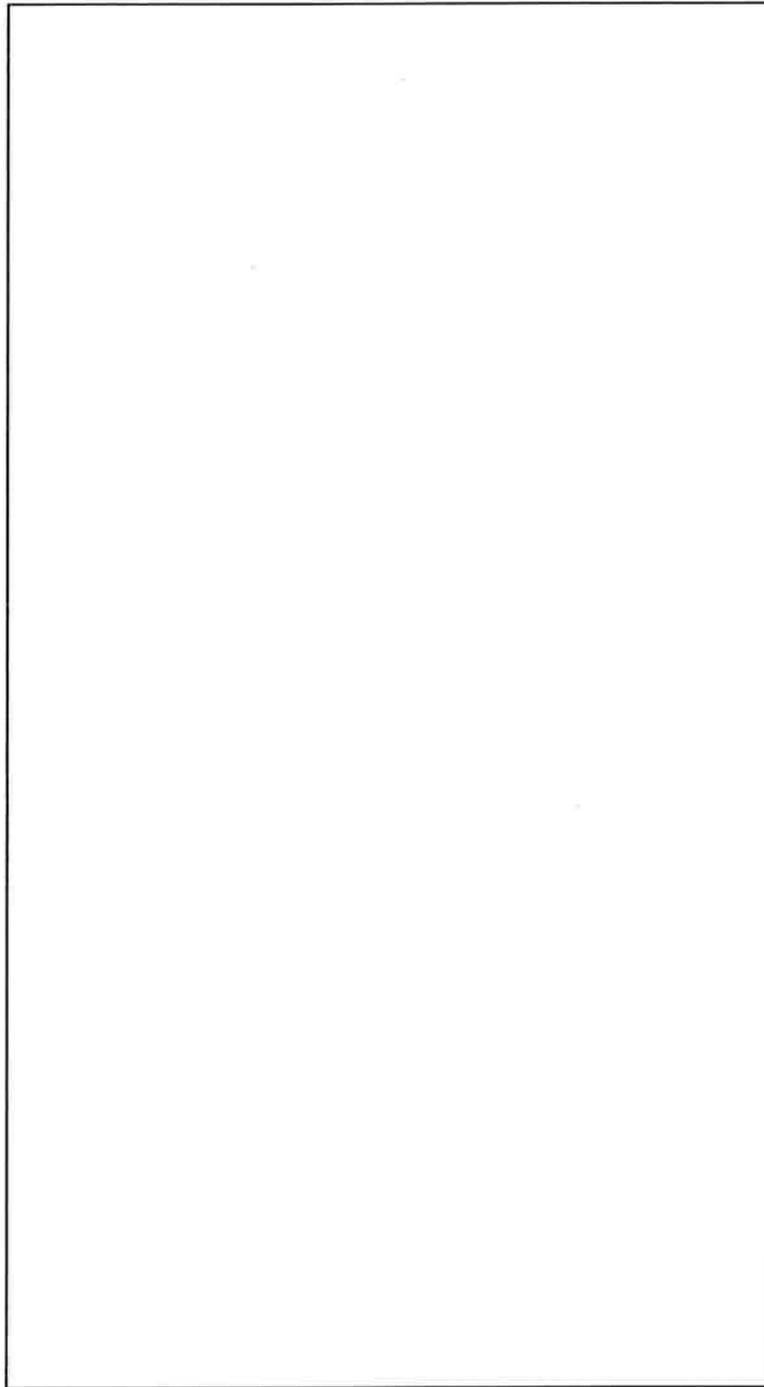
第 2-12 図 燃料集合体の水平方向応力計算モデル

内は商業機密のため、公開できません。



第 2-13 図 燃料集合体振動解析モデル

□内は商業機密のため、公開できません。



第 2-14 図 燃料棒及び制御棒案内シンプルの軸方向応力計算モデル図

□内は商業機密のため、公開できません。

(4) Ss 地震波に対する燃料集合体の耐震性評価

Ss 地震時において燃料集合体に要求されるのは、制御棒の挿入機能が確保されること、崩壊熱除去可能な形状及び被覆管の閉じ込め機能が維持されることである。

制御棒の挿入機能を阻害しないことについては、制御棒案内シンプルの応力評価により確認し、崩壊熱除去可能な形状については、燃料被覆管の応力評価により確認し、被覆管の閉じ込め機能の維持については、被覆管の応力評価及び疲労評価により確認する。

(1)項で述べた方法により、Ss 地震波に対する群振動解析を行い、燃料集合体の地震応答を求めた。群振動解析には、第 2-15 図～第 2-22 図に示す Ss 地震波に対する上部炉心板及び下部炉心板の応答加速度を用いる。第 2-15 表に解析結果を示す。

(2)項で述べた方法により、Ss 地震波に対する振動解析を行い、燃料集合体の地震応答を求めた。振動解析には、第 2-15 図～第 2-22 図に示す Ss 地震波に対する上部炉心板及び下部炉心板の応答加速度を用いる。第 2-16 表に解析結果を示す。

(a) 制御棒の挿入機能の確保

第 2-15 表に示す Ss 地震時の燃料集合体の最大変位により制御棒案内シンプルに発生する応力は、鉛直地震力による応力及び通常運転時の応力を重ね合わせた結果、第 2-17 表に示すように許容値以下である。

支持格子に生じる最大衝撃力が、弾性限界荷重を上回っており、支持格子には、最大□nm の変形が生じる。なお、Ss 地震時の制御棒挿入時間については、挿入規定時間(2.2 秒)以内に挿入できることを確認している。

(b) 崩壊熱除去可能な形状の維持

第 2-15 表に示す Ss 地震時の燃料集合体の最大変位により被覆管に発生する応力は、鉛直地震力による応力及び燃料寿命期間中における一次応力を重ね合わせた結果、第 2-18 表に示すように許容値以下である。

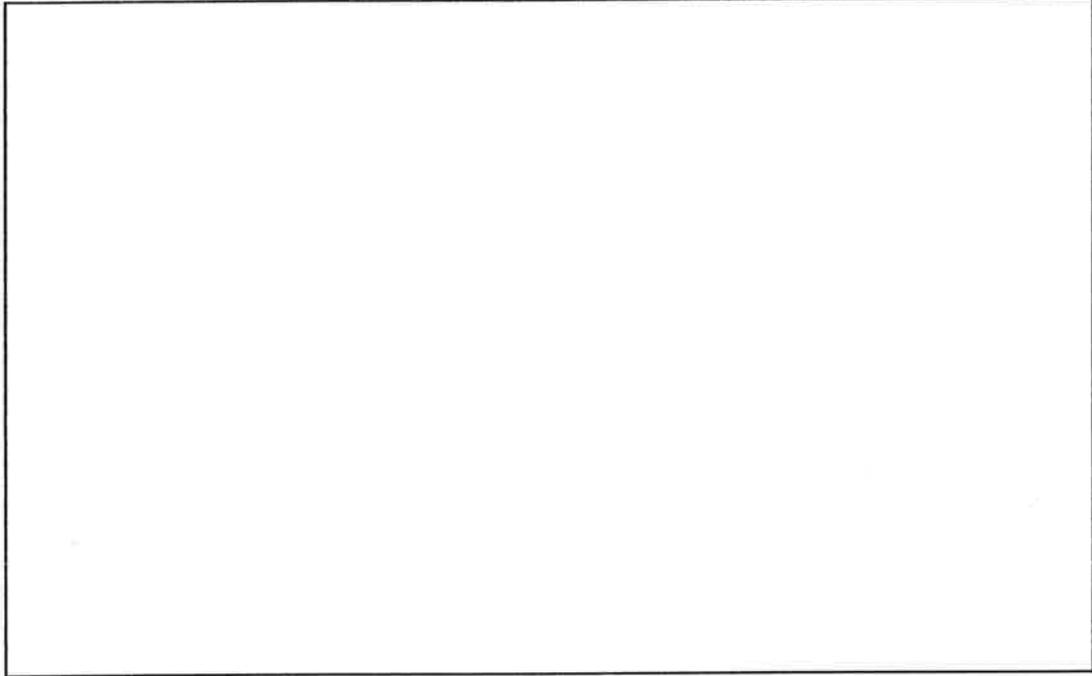
(c) 被覆管の閉じ込め機能の維持

第 2-15 表に示す  $S_s$  地震時の燃料集合体の最大変位により被覆管に発生する応力は、鉛直地震力による応力並びに燃料寿命期間中における一次応力及び二次応力を重ね合わせた結果、第 2-19 表に示すように許容値以下である。

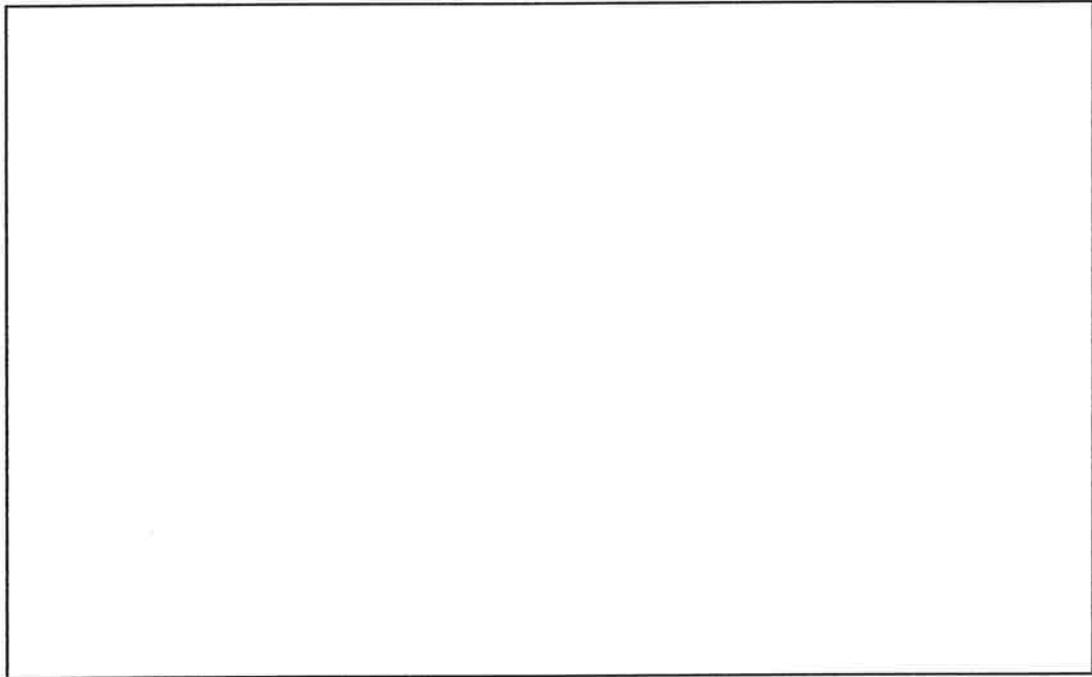
被覆管に発生する疲労は、地震により被覆管に発生する応力による疲労損傷係数と燃料寿命期間中における累積疲労損傷係数を足し合わせた結果、第 2-20 表に示すように許容値以下である。なお、地震時の被覆管疲労評価における繰り返し回数は 200 回としている。

以上から、 $S_s$  地震時において燃料集合体は、制御棒の挿入機能が確保され、崩壊熱除去可能な形状及び被覆管の閉じ込め機能が維持される。

内は商業機密のため、公開できません。

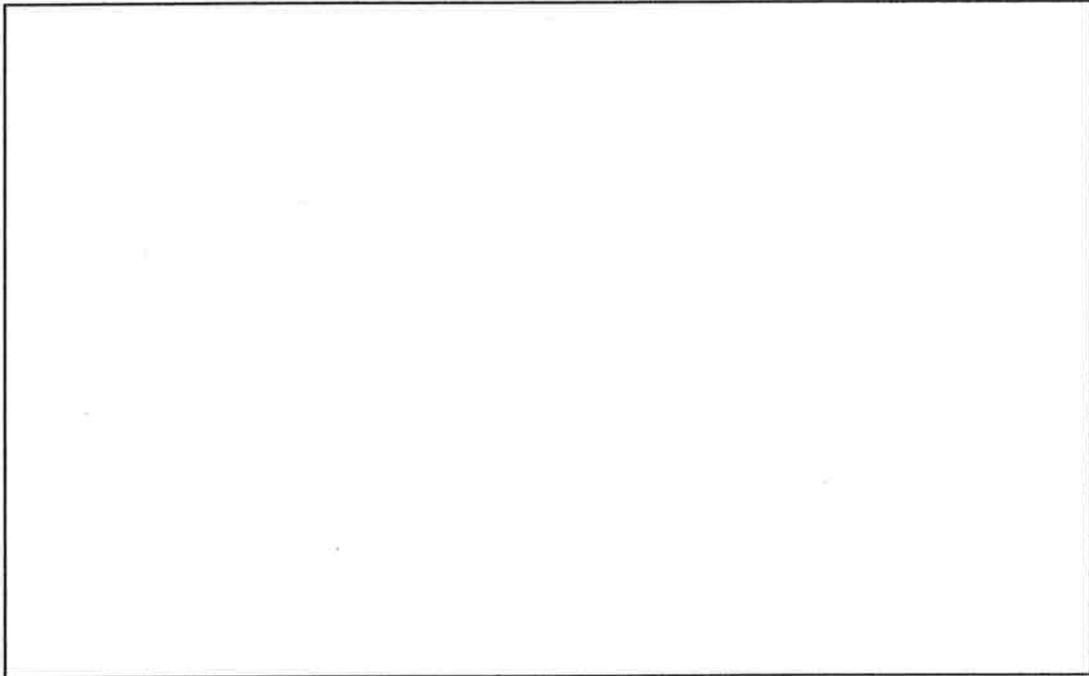


第 2-15 図(1) Ss-1 X 方向(上部炉心板応答波)

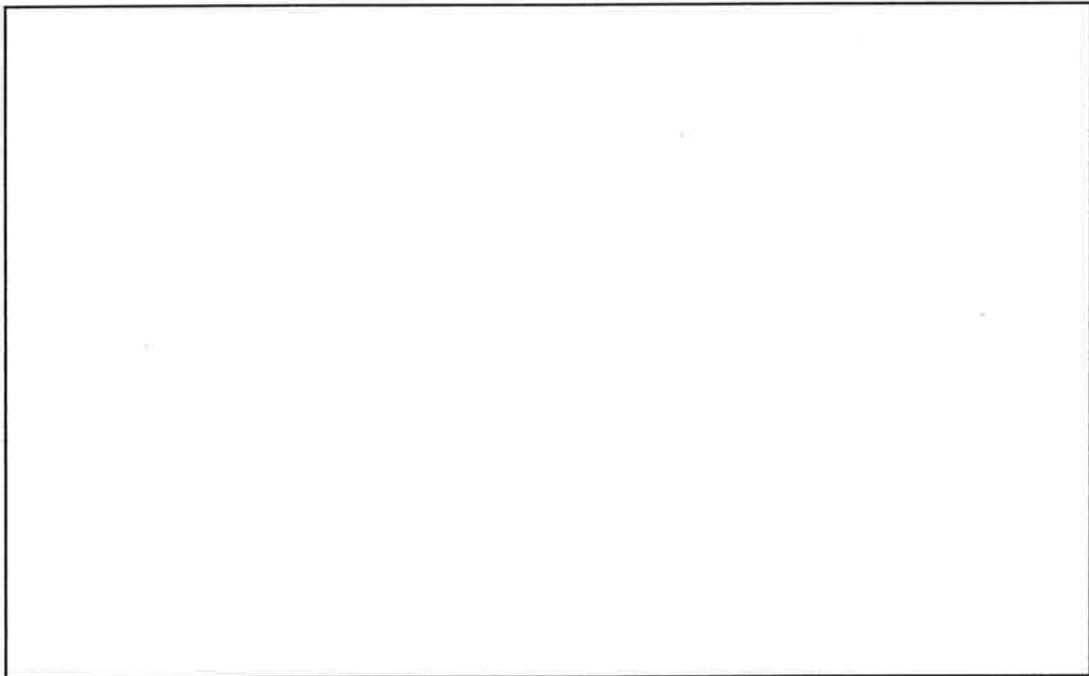


第 2-15 図(2) Ss-1 X 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

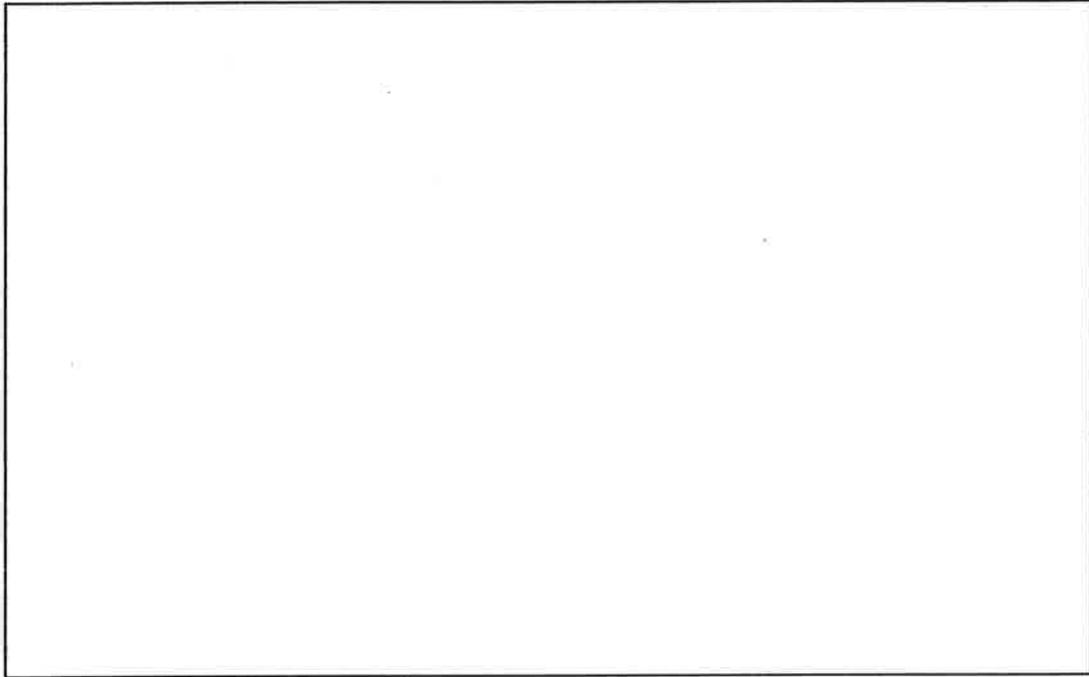


第 2-15 図(3) Ss-1 Y 方向(上部炉心板応答波)

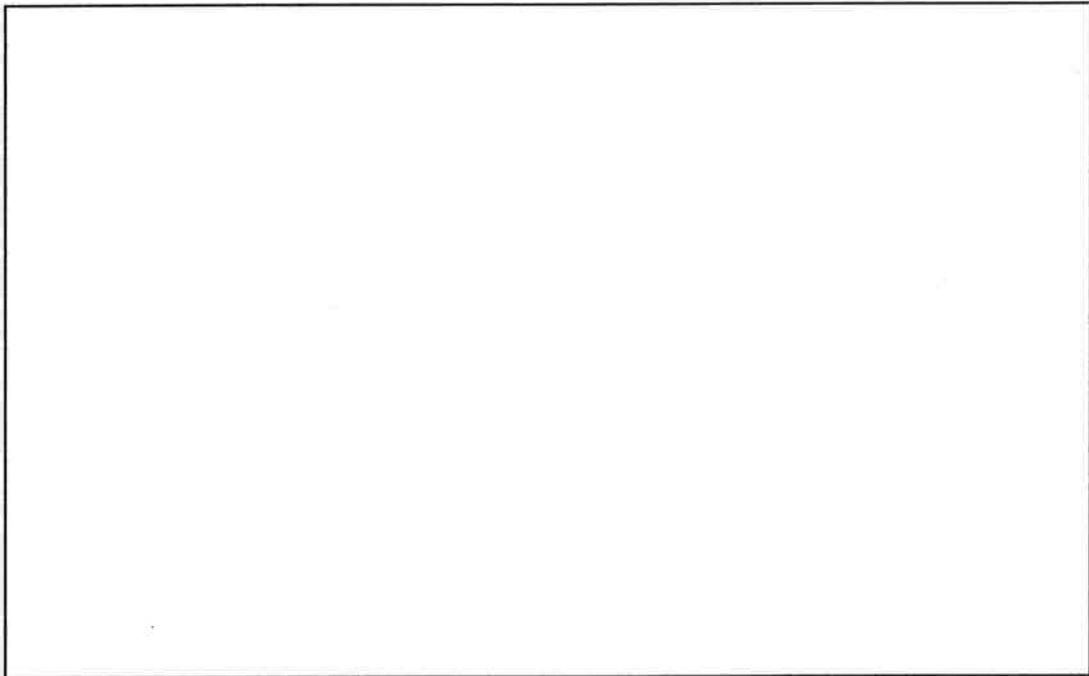


第 2-15 図(4) Ss-1 Y 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

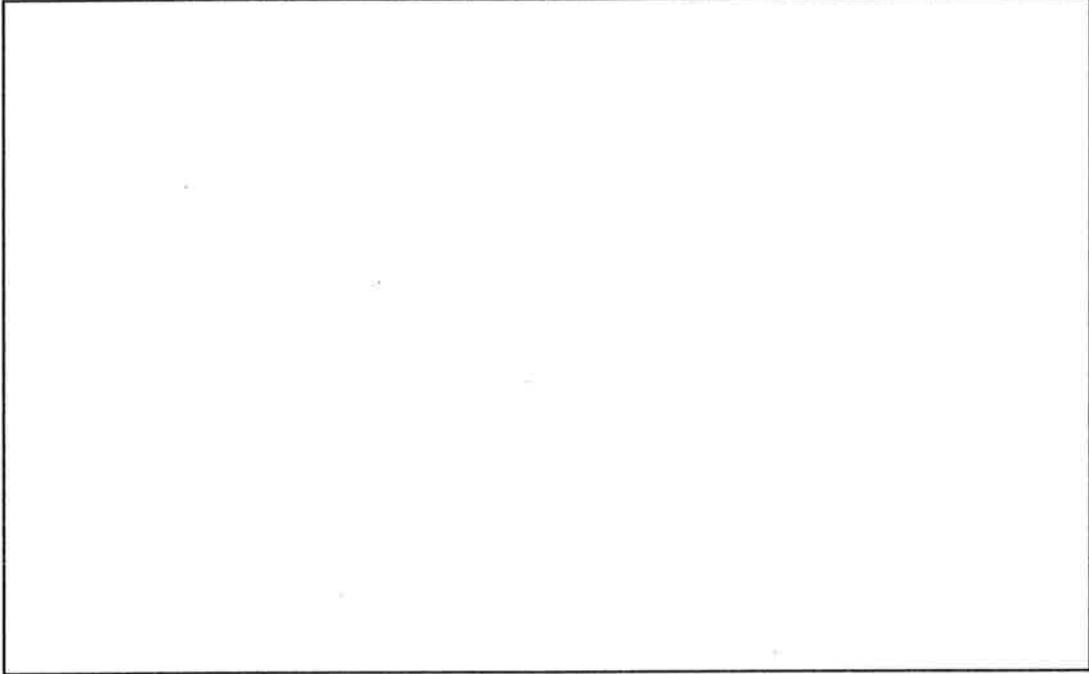


第 2-15 図(5) Ss-1 V+Xv 方向(上部炉心板応答波)

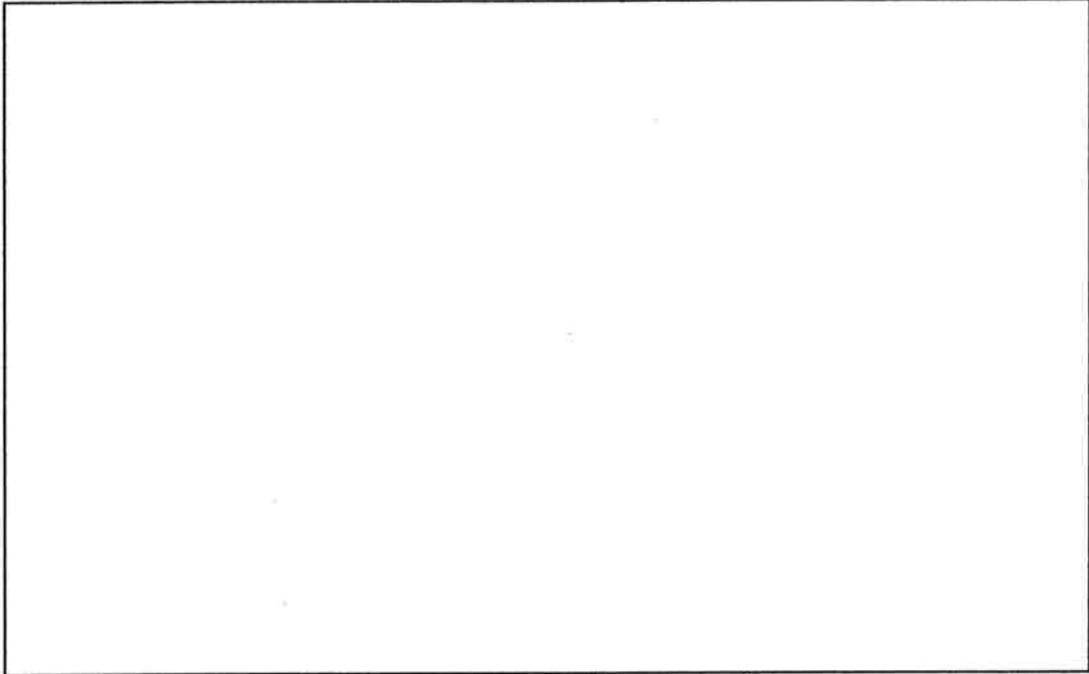


第 2-15 図(6) Ss-1 V+Xv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

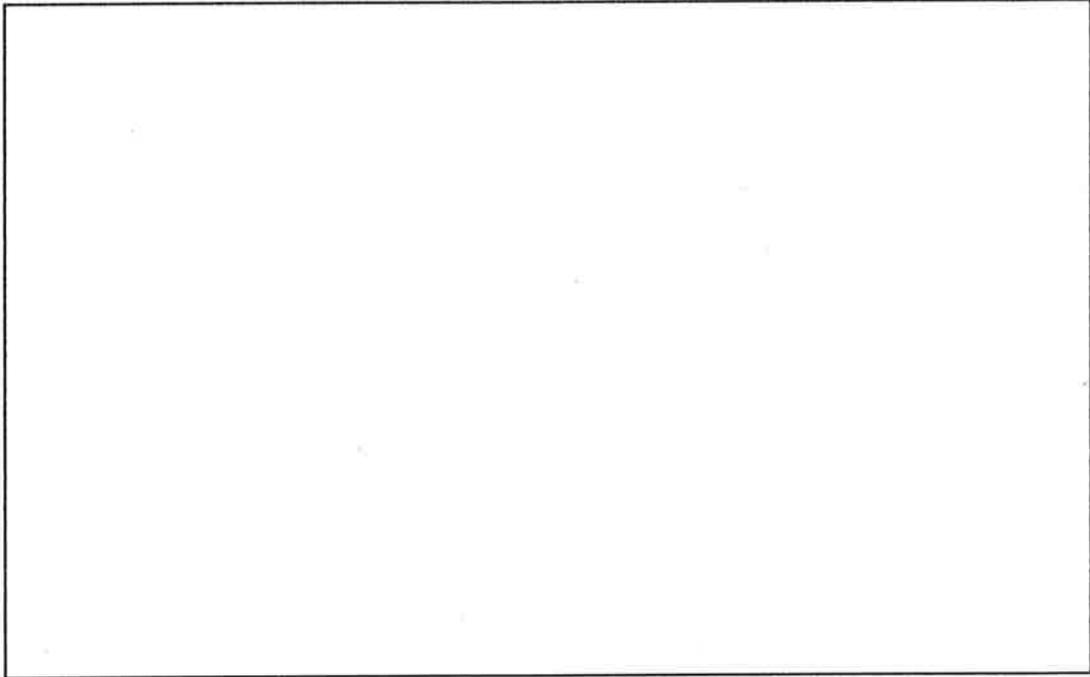


第 2-15 図(7) Ss-1 V-Xv 方向(上部炉心板応答波)

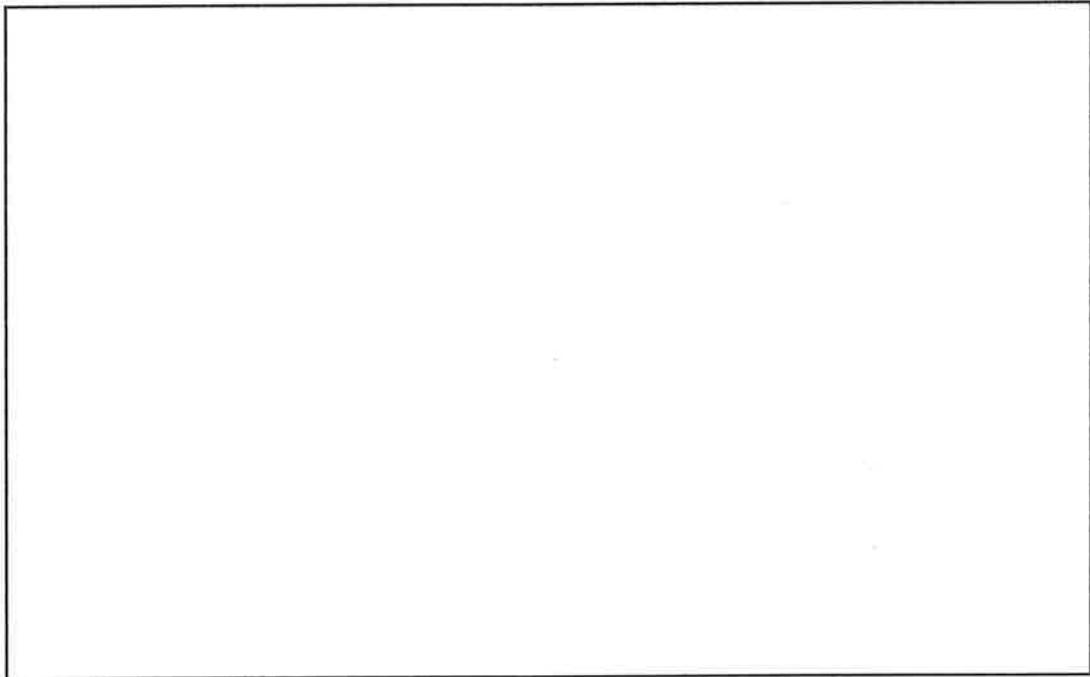


第 2-15 図(8) Ss-1 V-Xv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

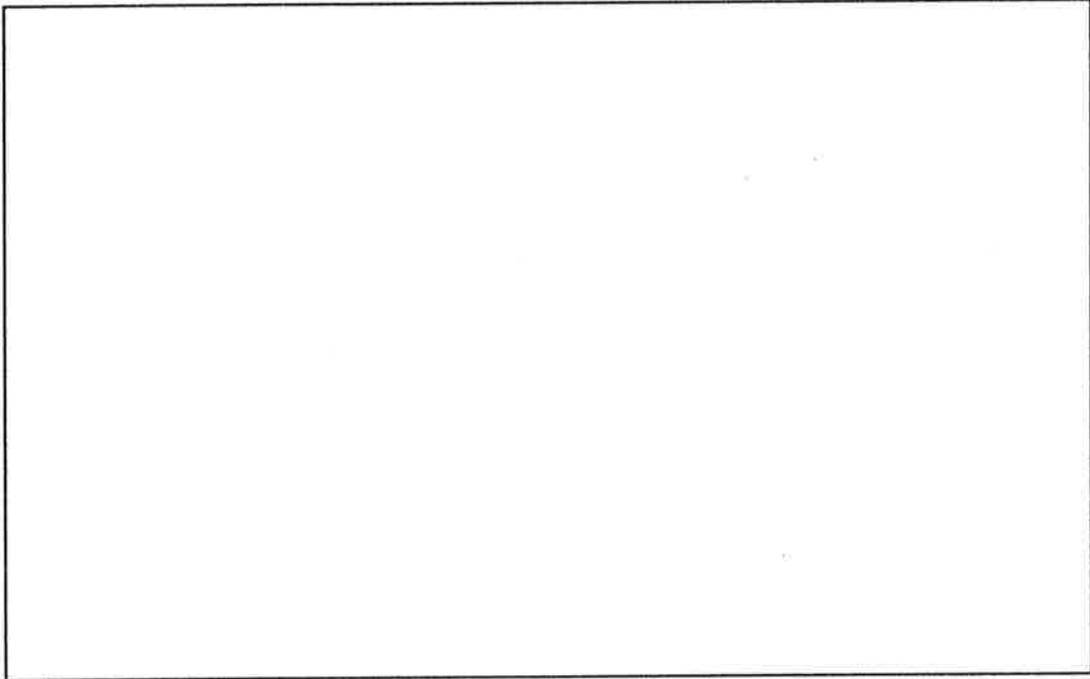


第 2-15 図(9) Ss-1 V+Yv 方向(上部炉心板応答波)

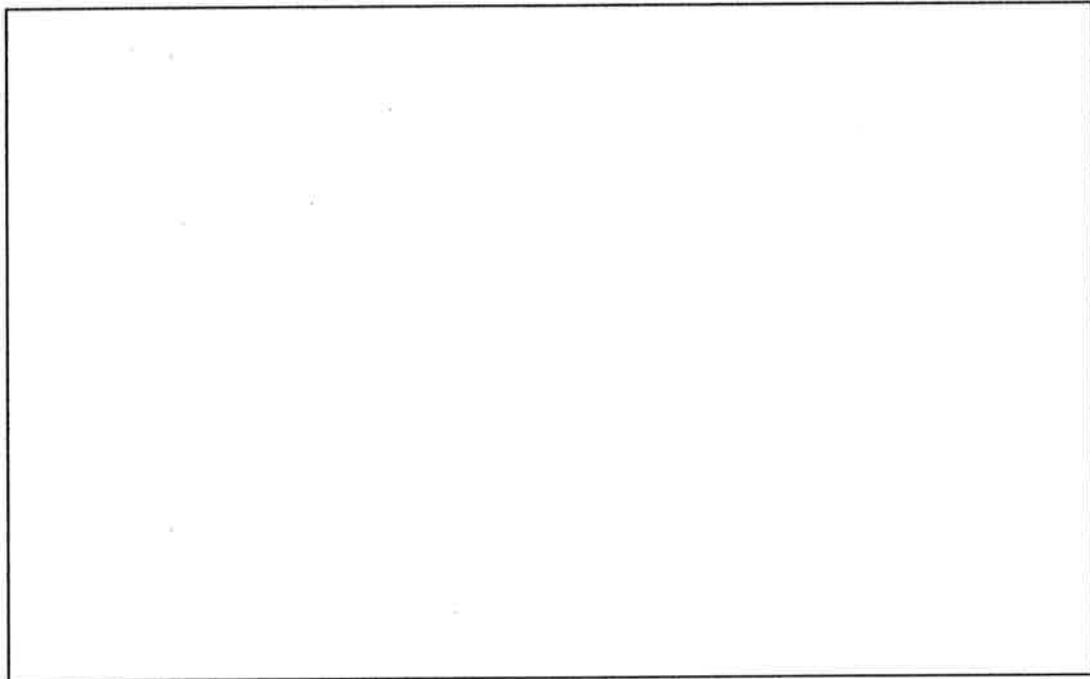


第 2-15 図(10) Ss-1 V+Yv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

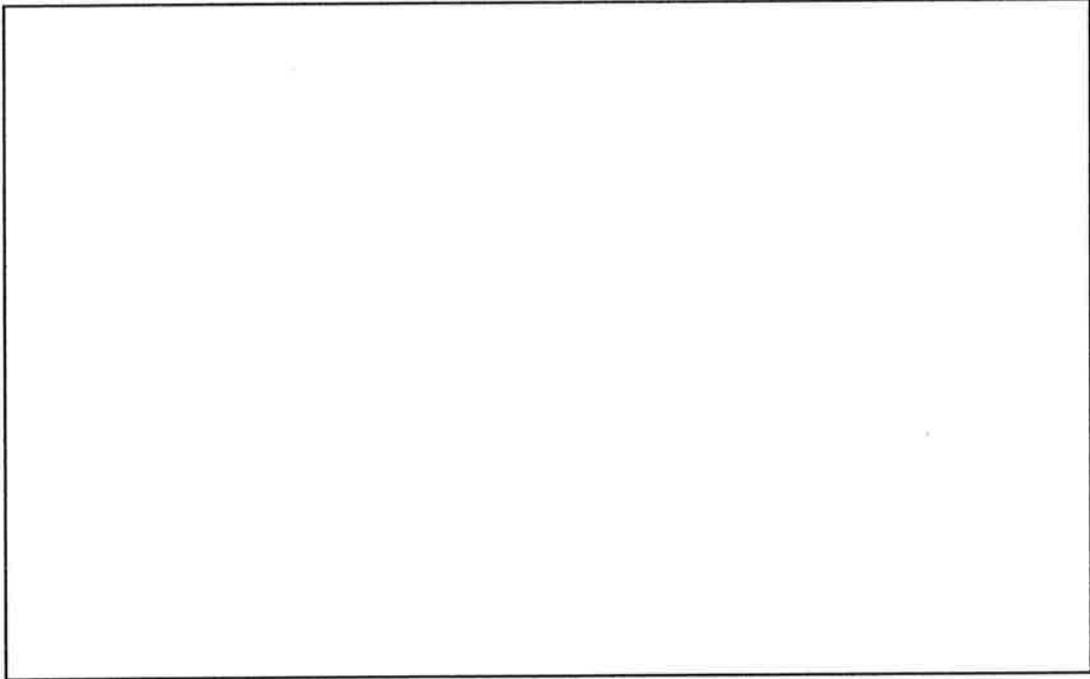


第 2-15 図(11) Ss-1 V-Yv 方向(上部炉心板応答波)

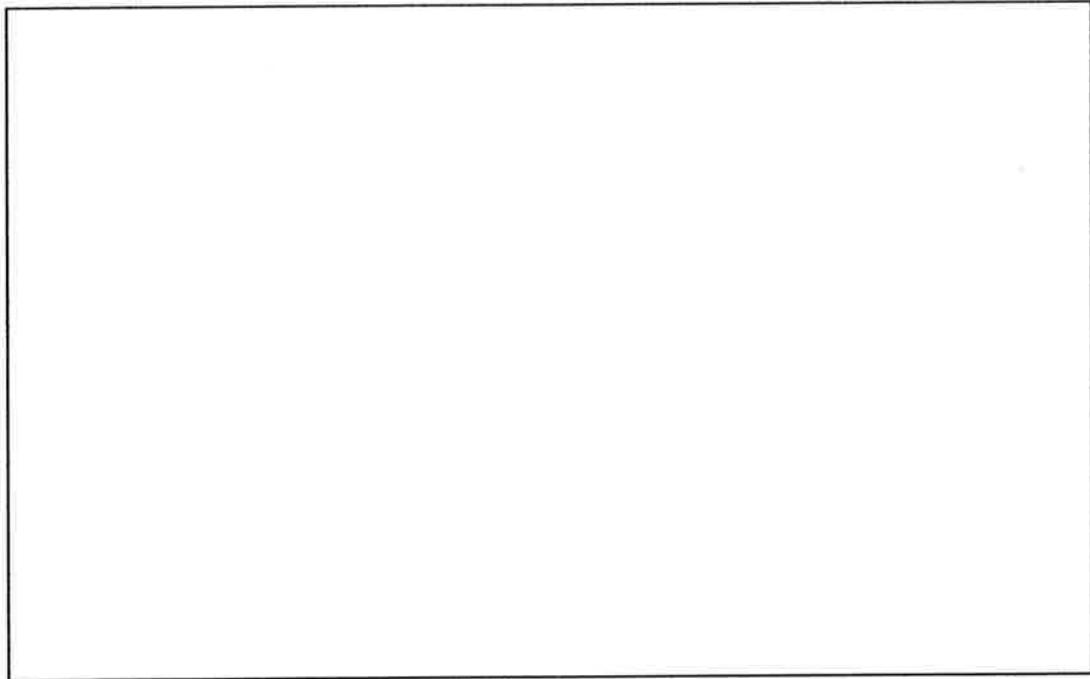


第 2-15 図(12) Ss-1 V-Yv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

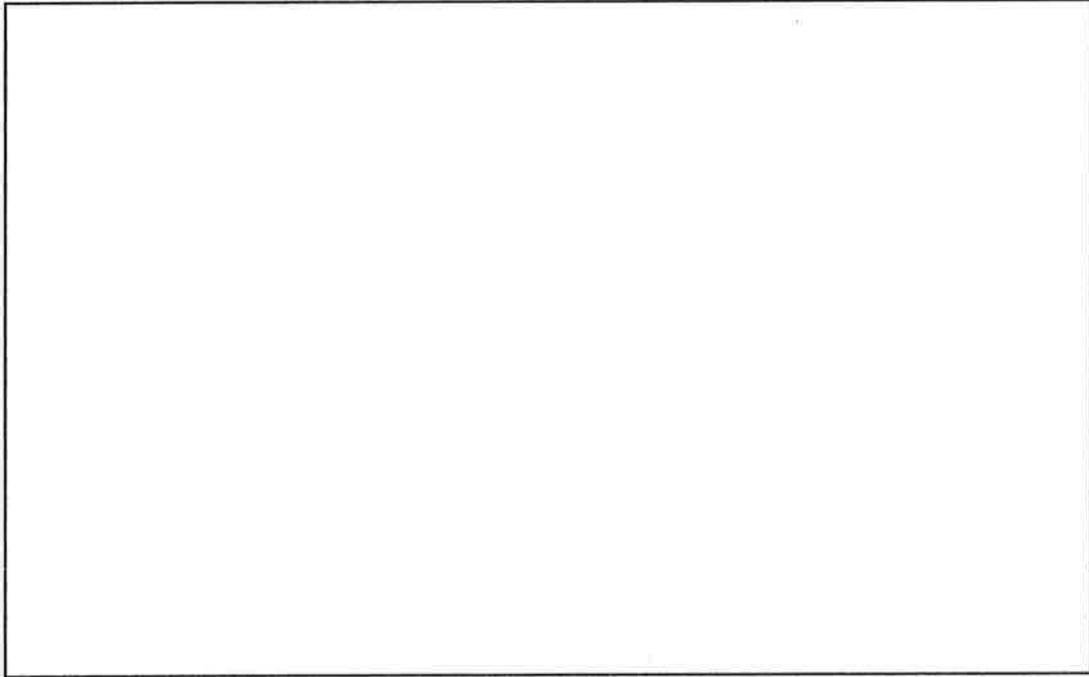


第 2-16 図(1) Ss-2 X 方向(上部炉心板応答波)

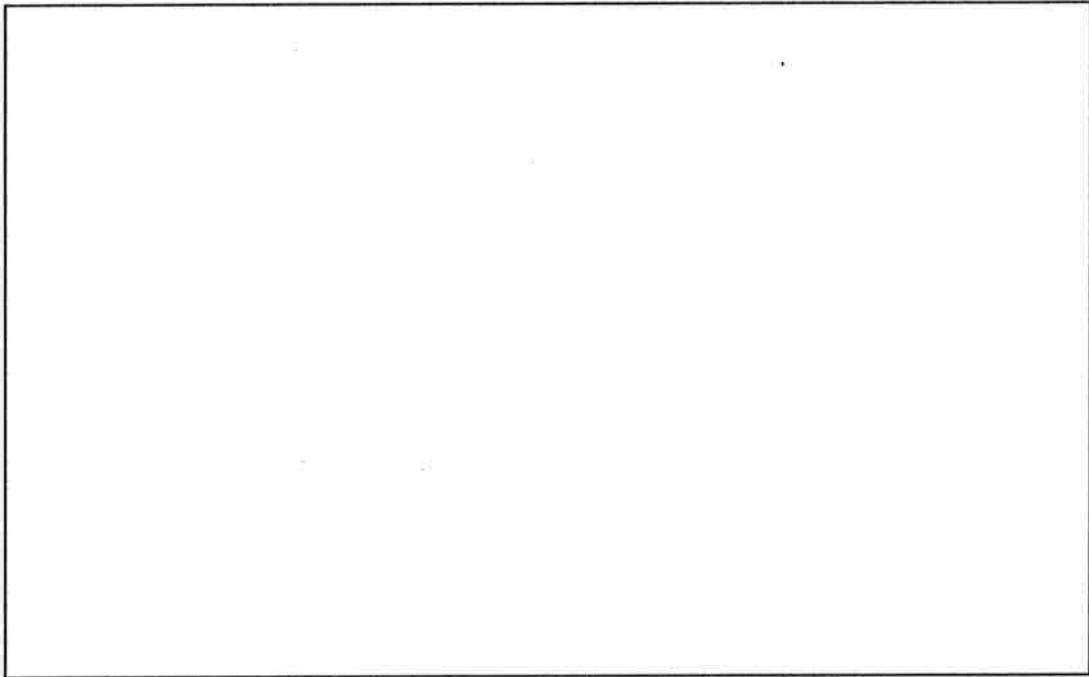


第 2-16 図(2) Ss-2 X 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

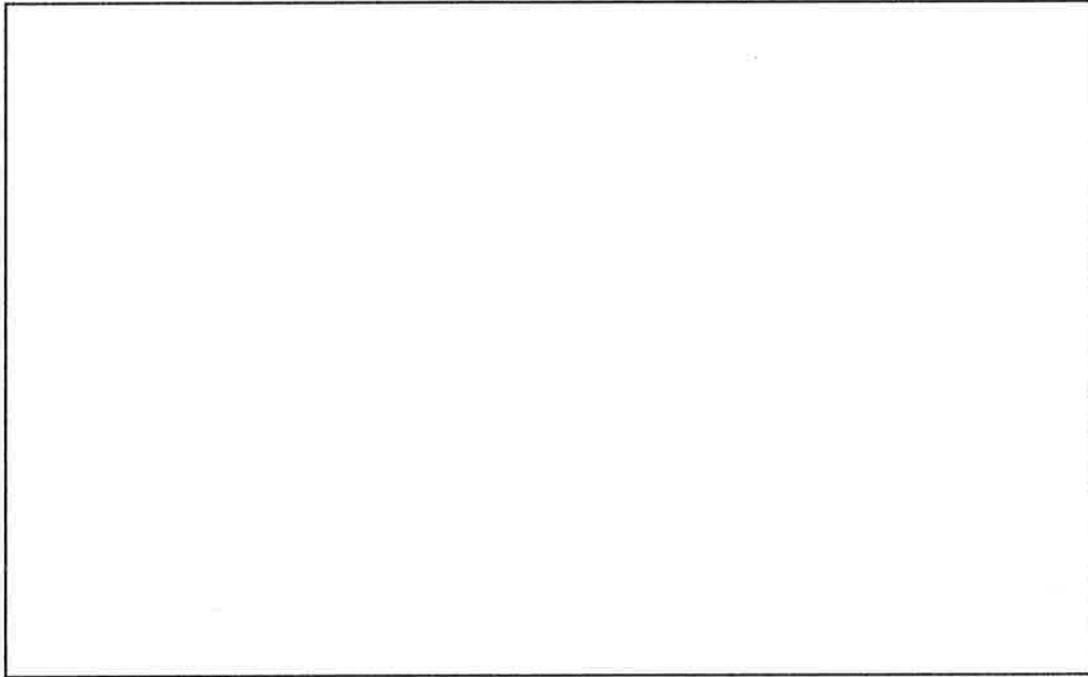


第2-16 図(3) Ss-2 Y 方向(上部炉心板応答波)

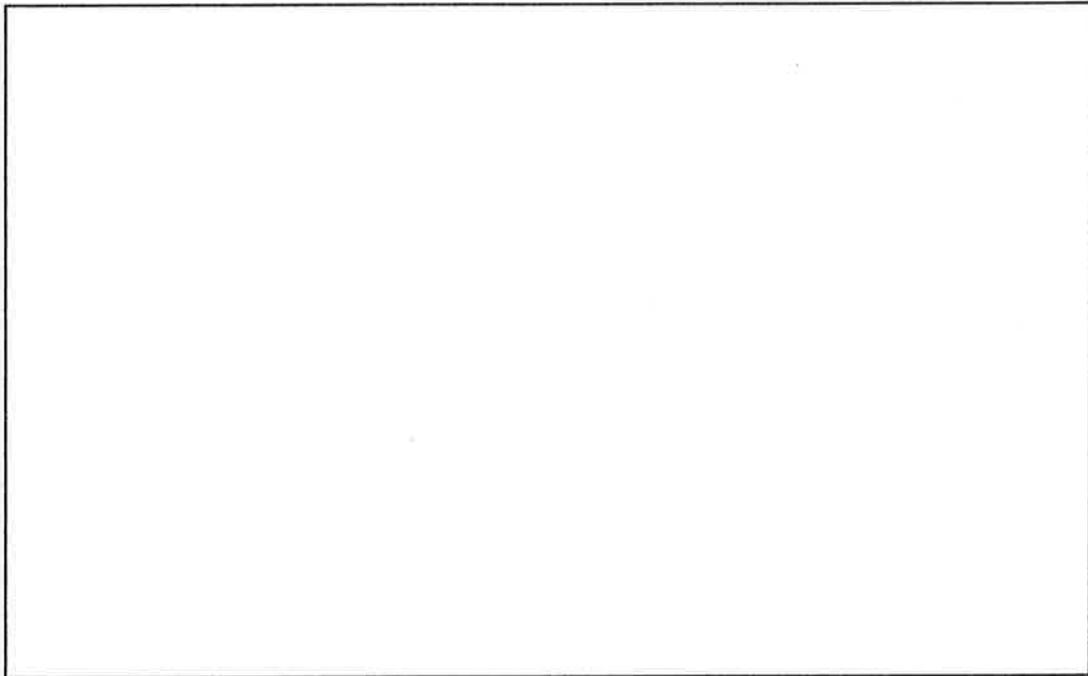


第2-16 図(4) Ss-2 Y 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

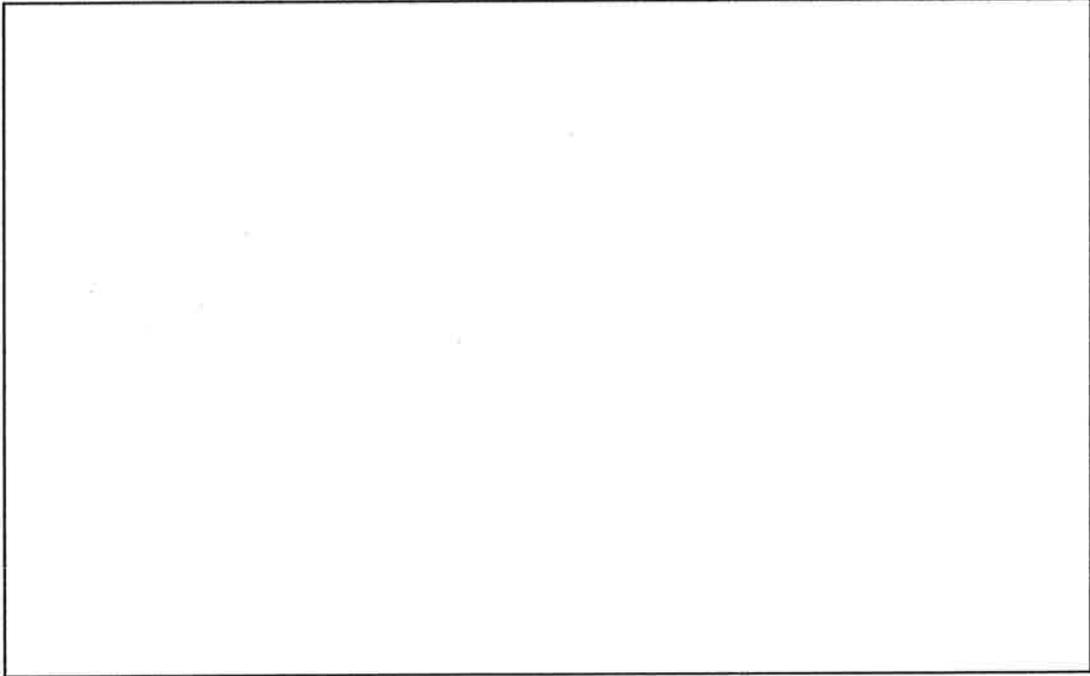


第2-16 図(5) Ss-2 V 方向(上部炉心板応答波)

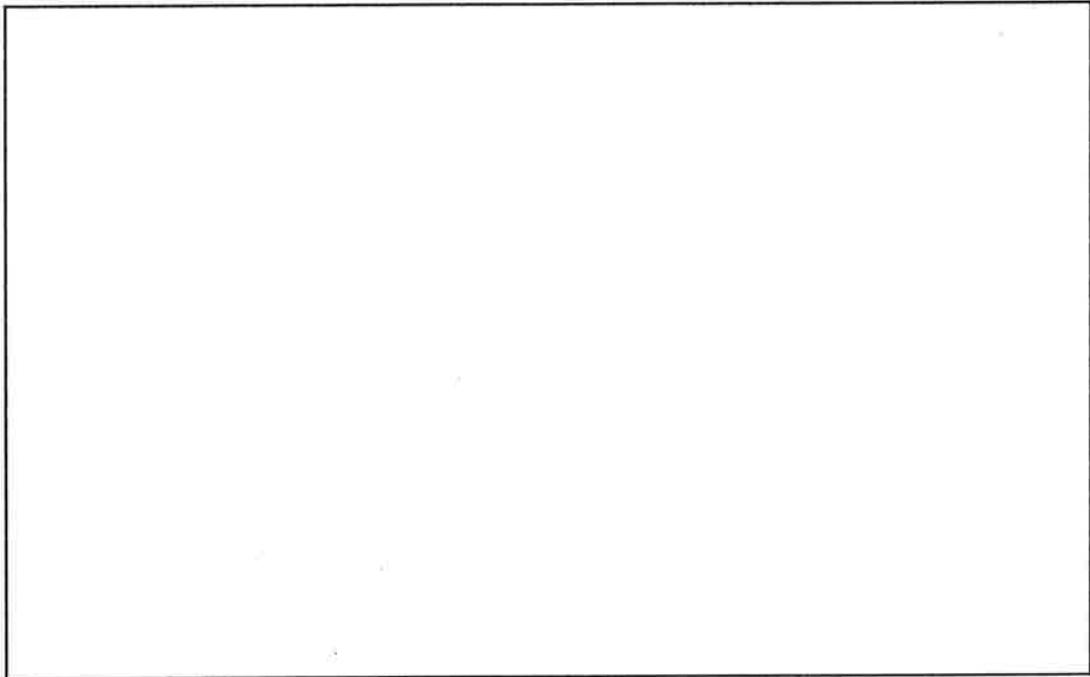


第2-16 図(6) Ss-2 V 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

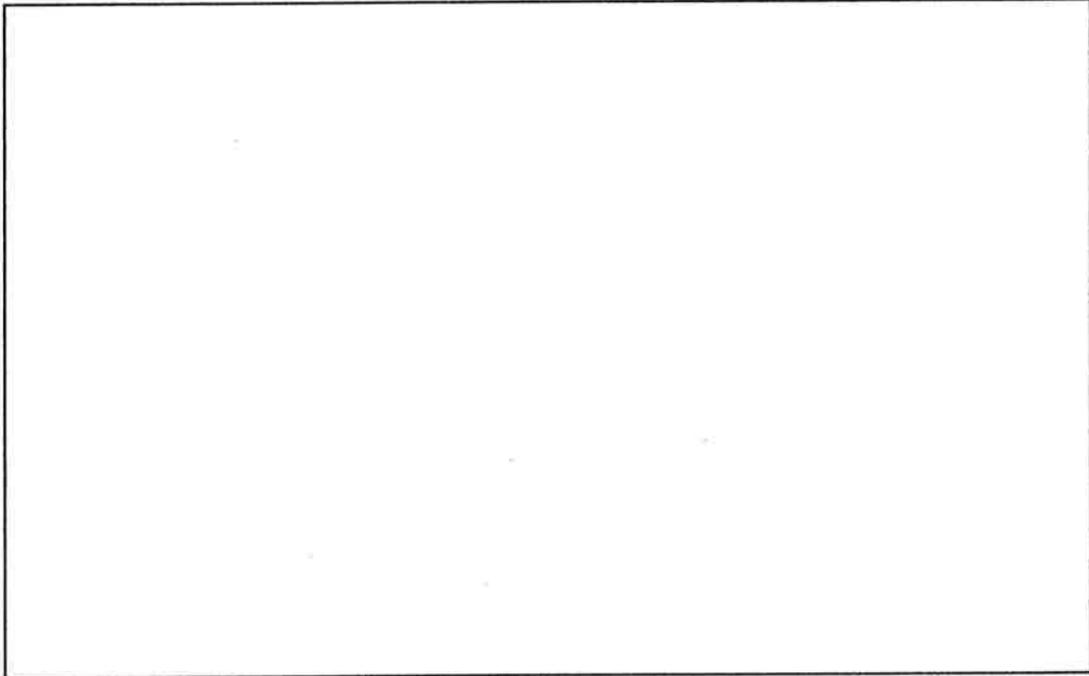


第 2-17 図(1) Ss-3 X 方向(上部炉心板応答波)

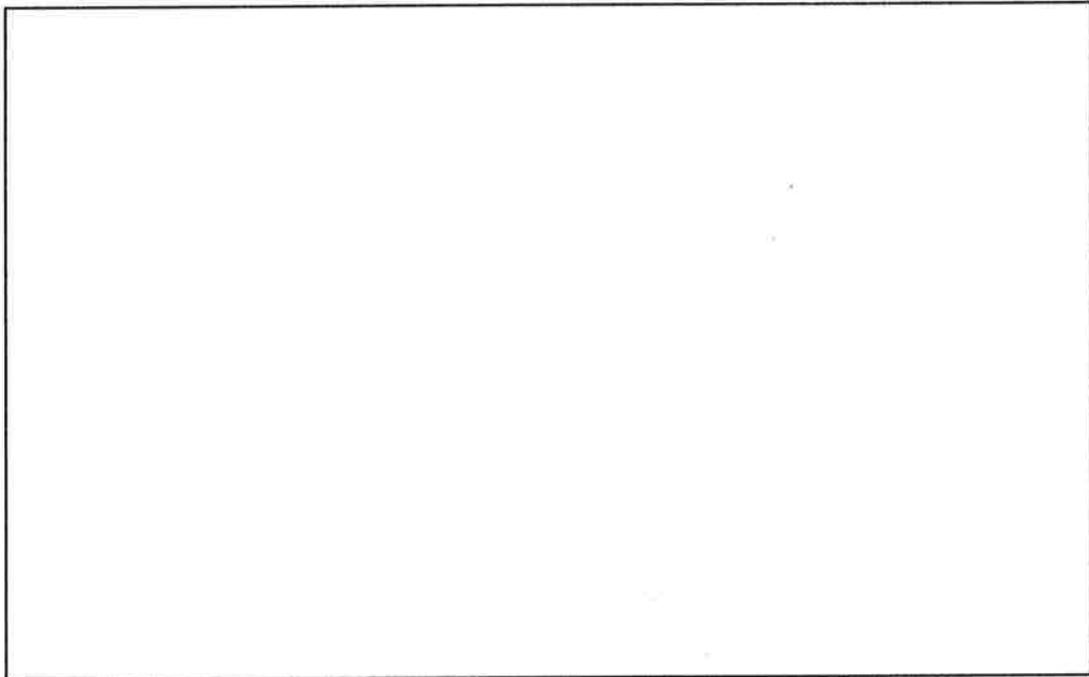


第 2-17 図(2) Ss-3 X 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

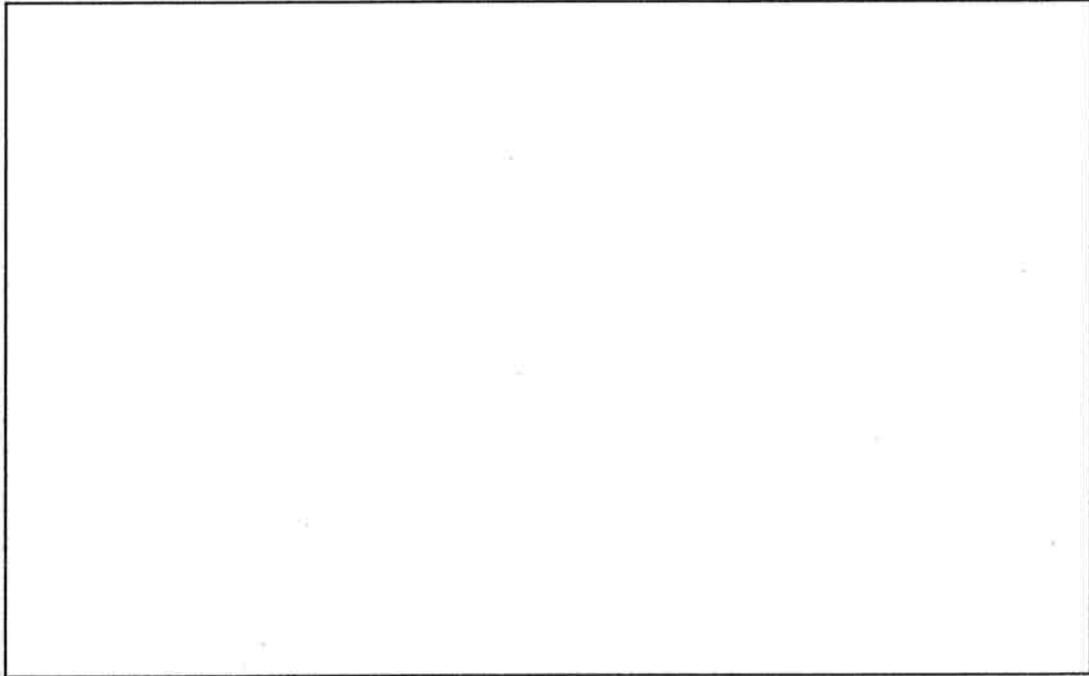


第2-17図(3) Ss-3 Y方向(上部炉心板応答波)

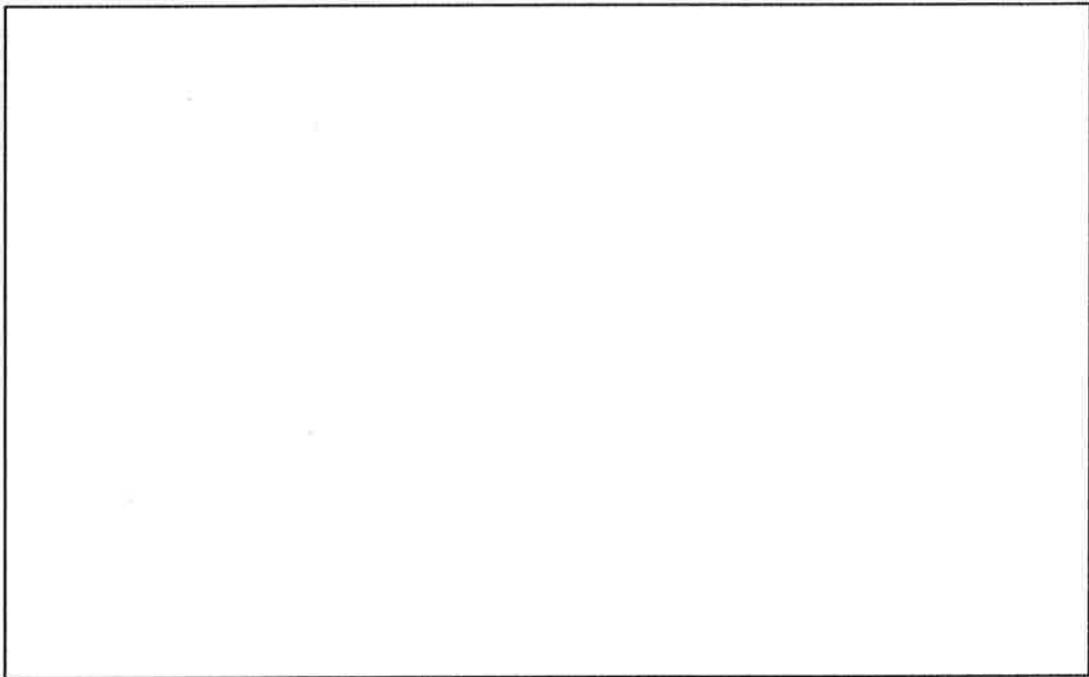


第2-17図(4) Ss-3 Y方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

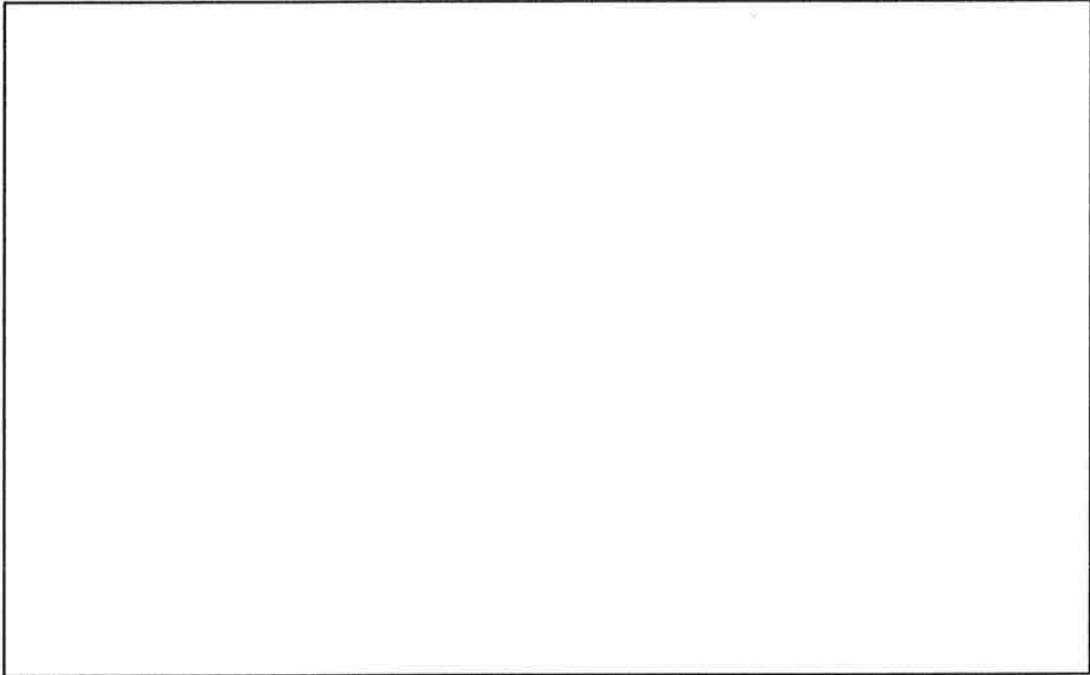


第2-17 図(5) Ss-3 V 方向(上部炉心板応答波)

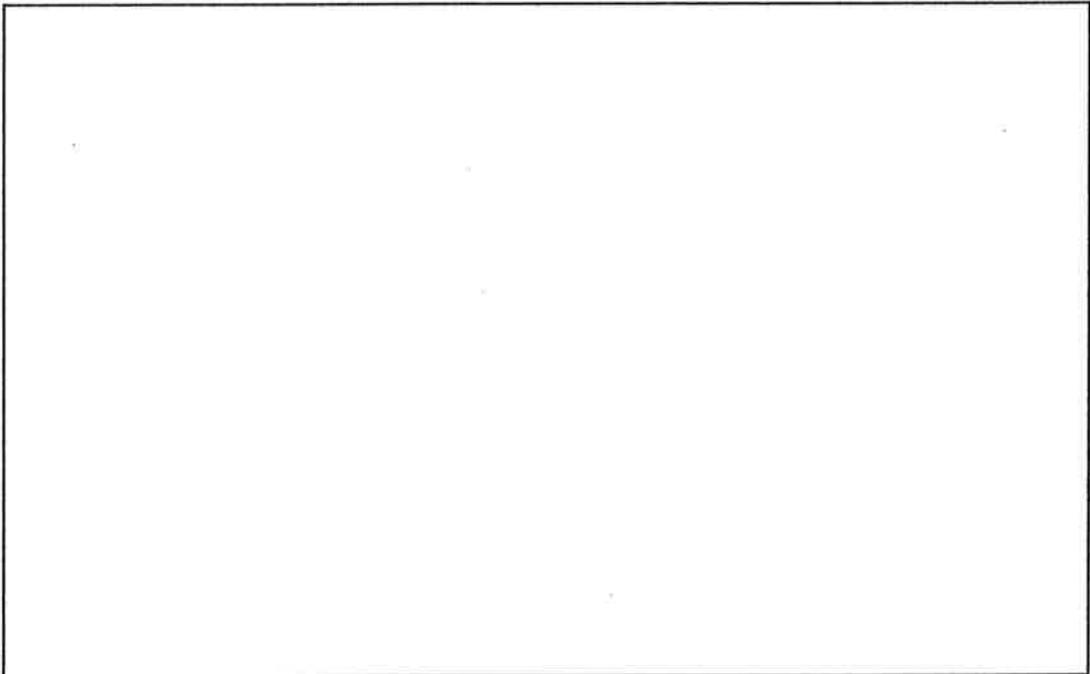


第2-17 図(6) Ss-3 V 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

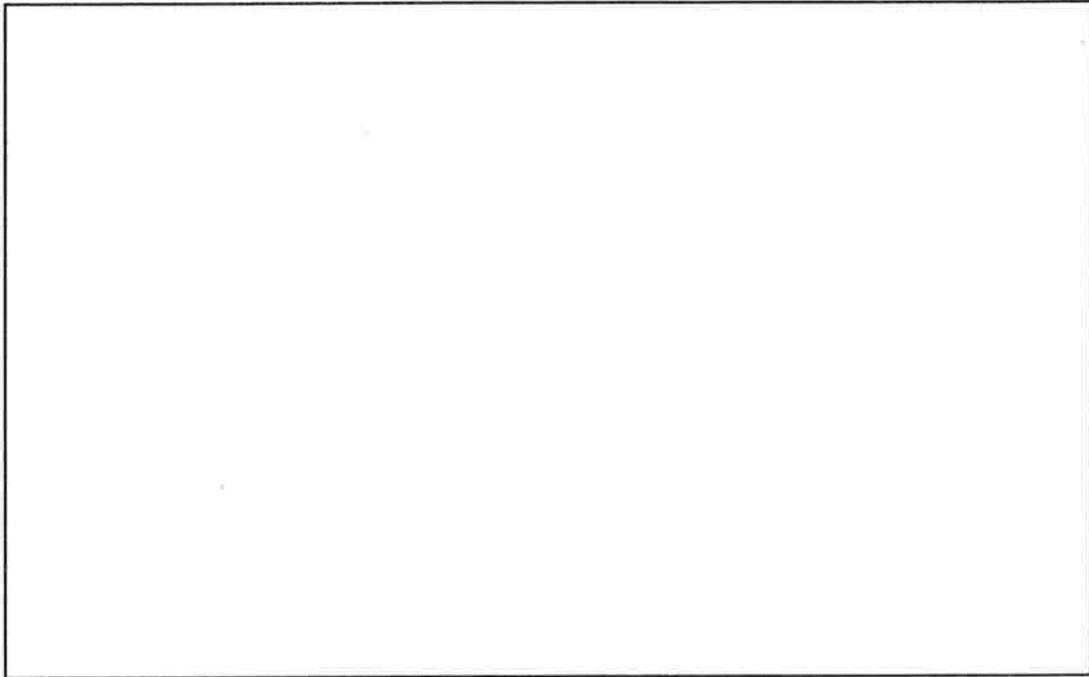


第 2-18 図(1) Ss-4 X 方向(上部炉心板応答波)

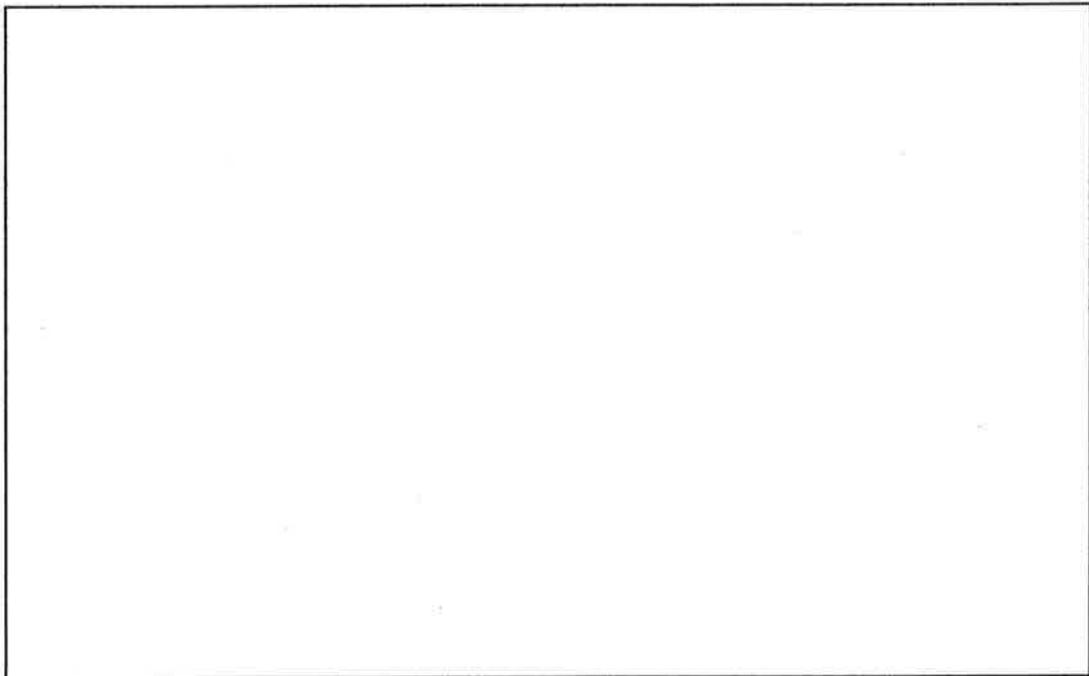


第 2-18 図(2) Ss-4 X 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

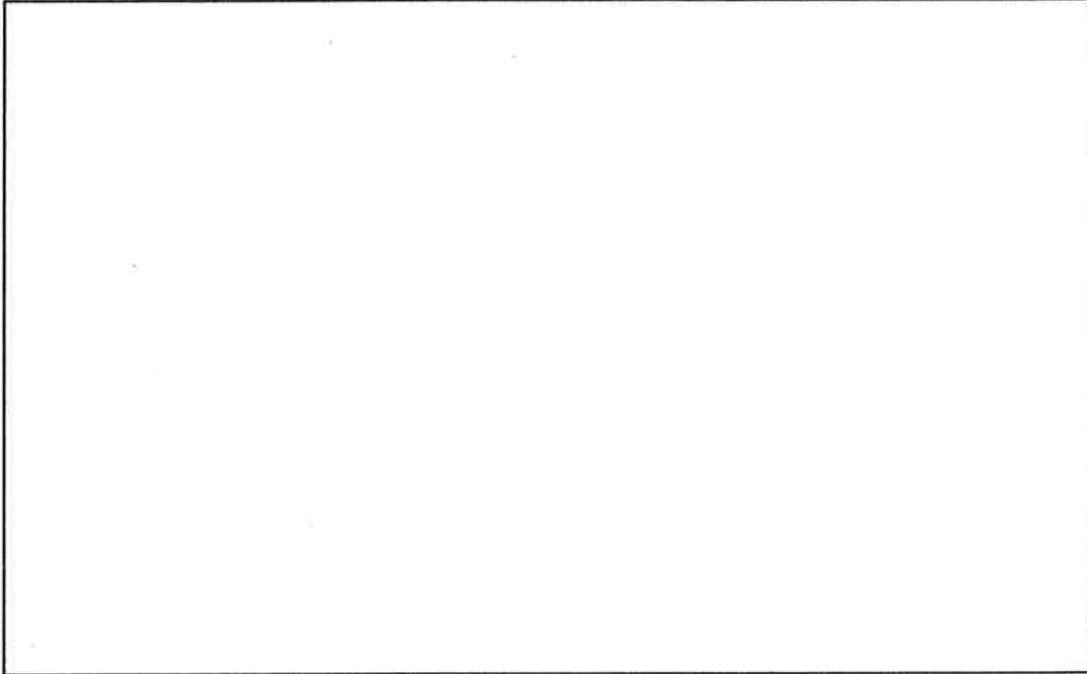


第2-18 図(3) Ss-4 Y 方向(上部炉心板応答波)

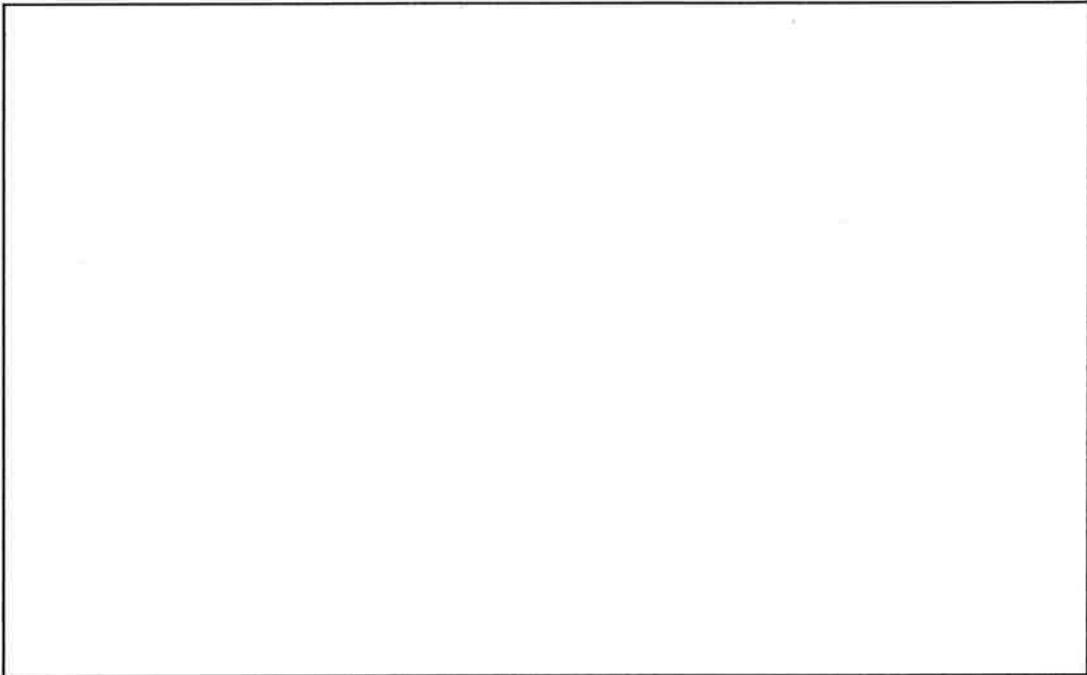


第2-18 図(4) Ss-4 Y 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

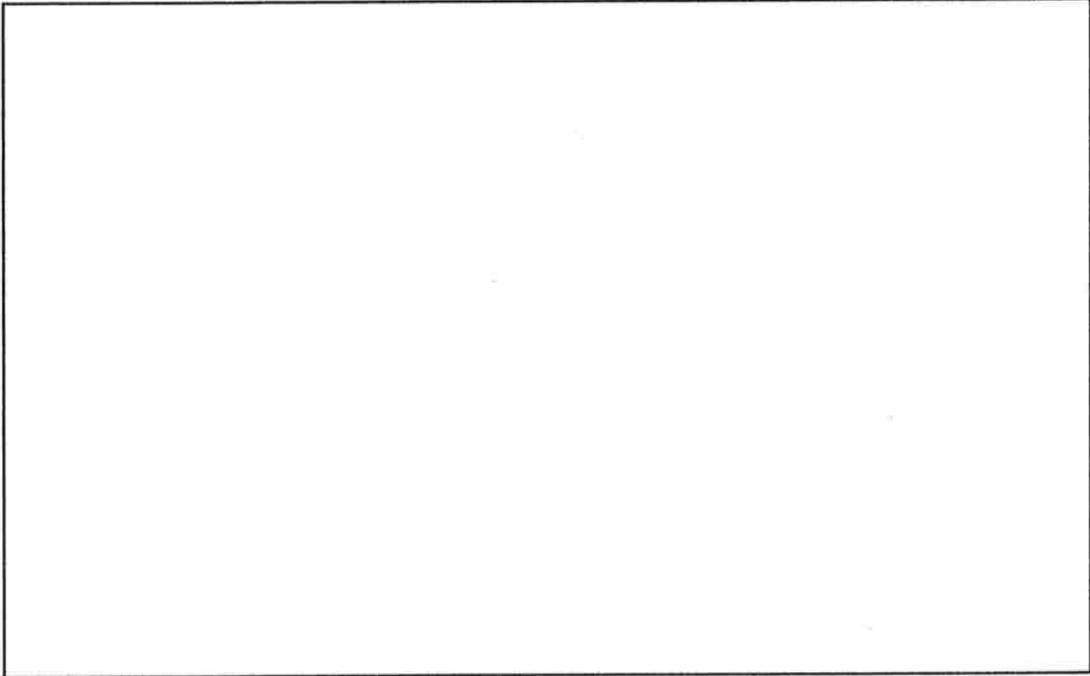


第2-18 図(5) Ss-4 V 方向(上部炉心板応答波)

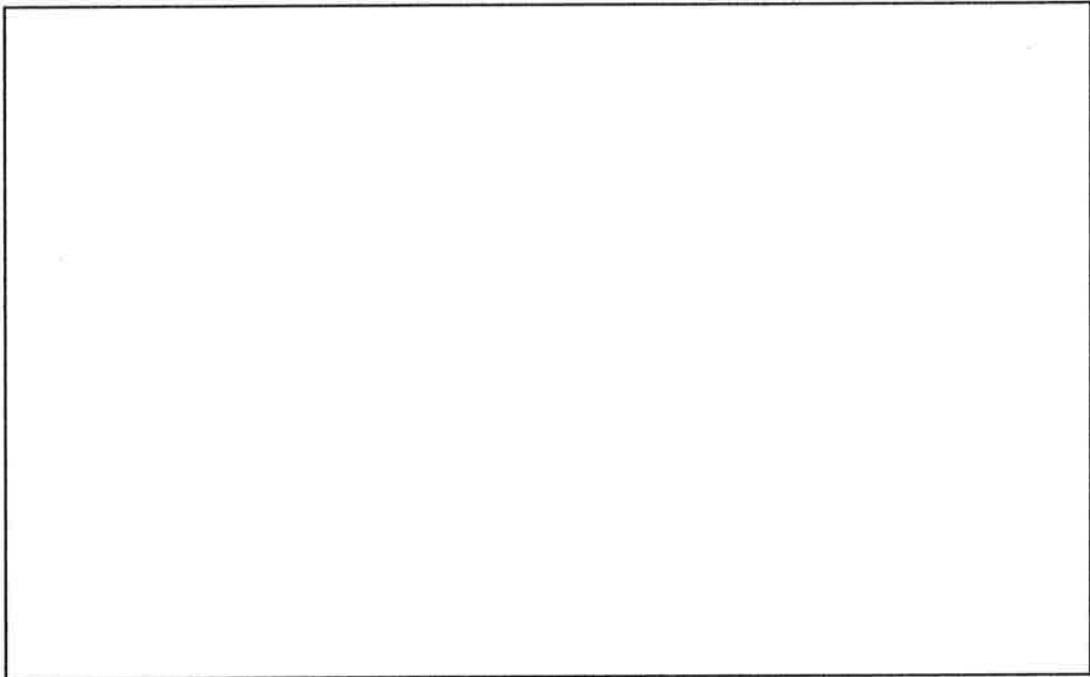


第2-18 図(6) Ss-4 V 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

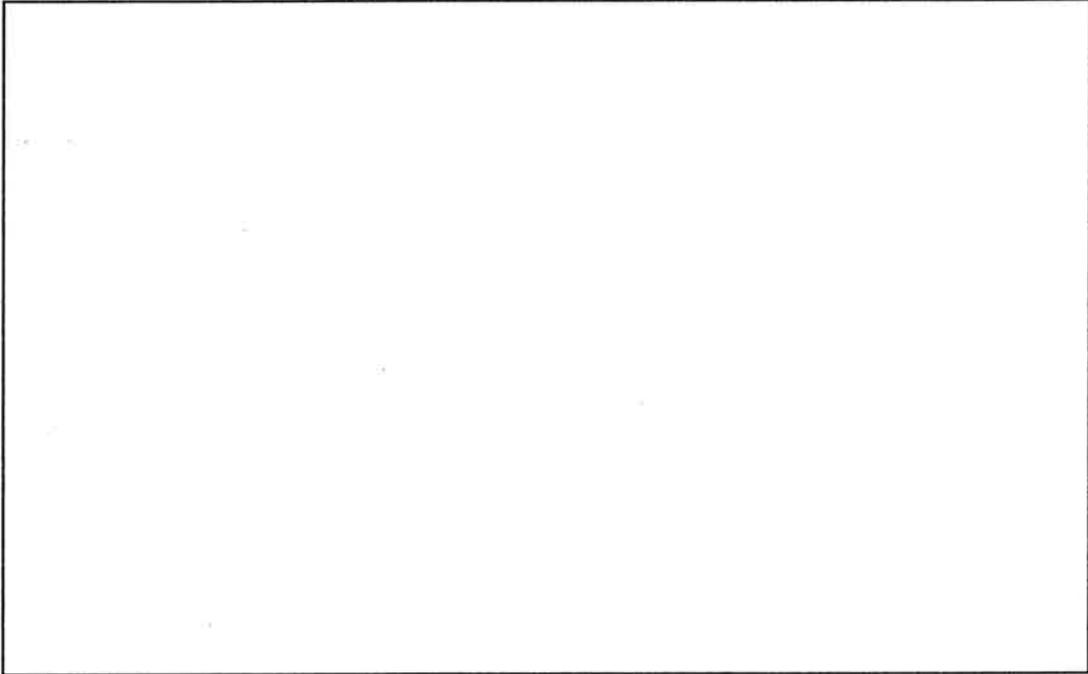


第2-19図(1) Ss-5 X方向(上部炉心板応答波)

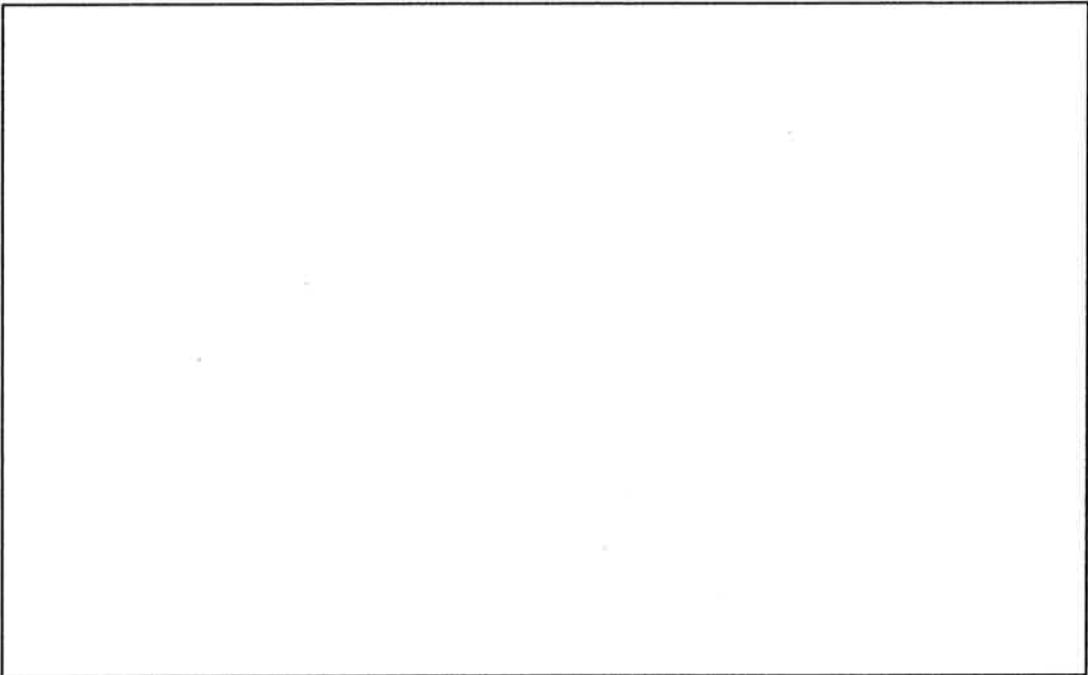


第2-19図(2) Ss-5 X方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

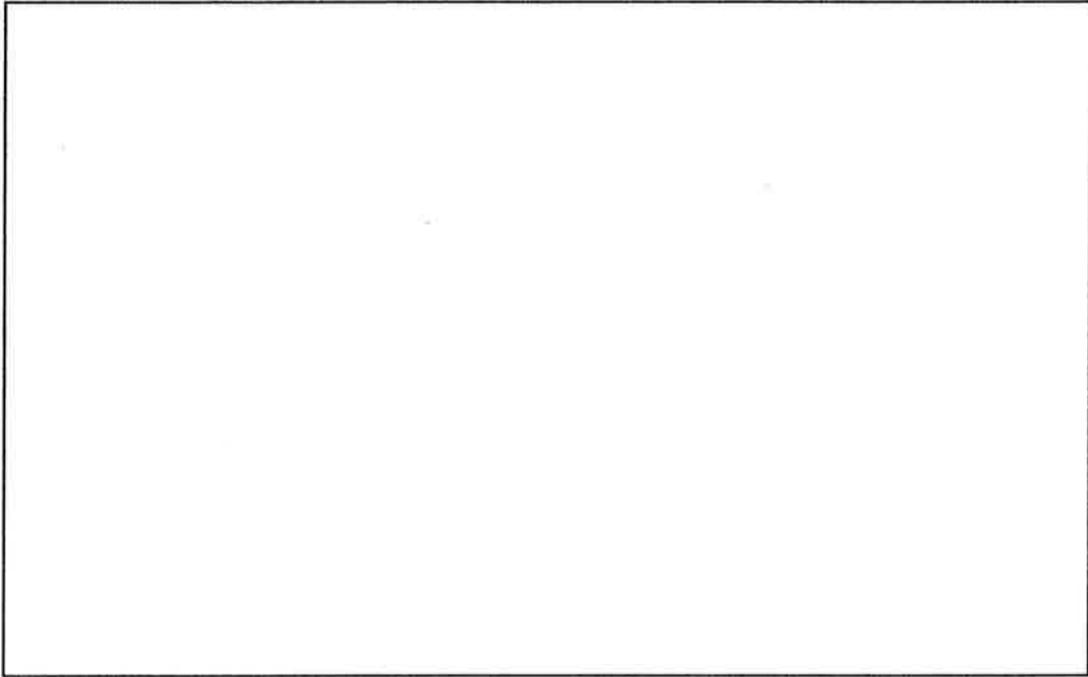


第2-19図(3) Ss-5 Y方向(上部炉心板応答波)

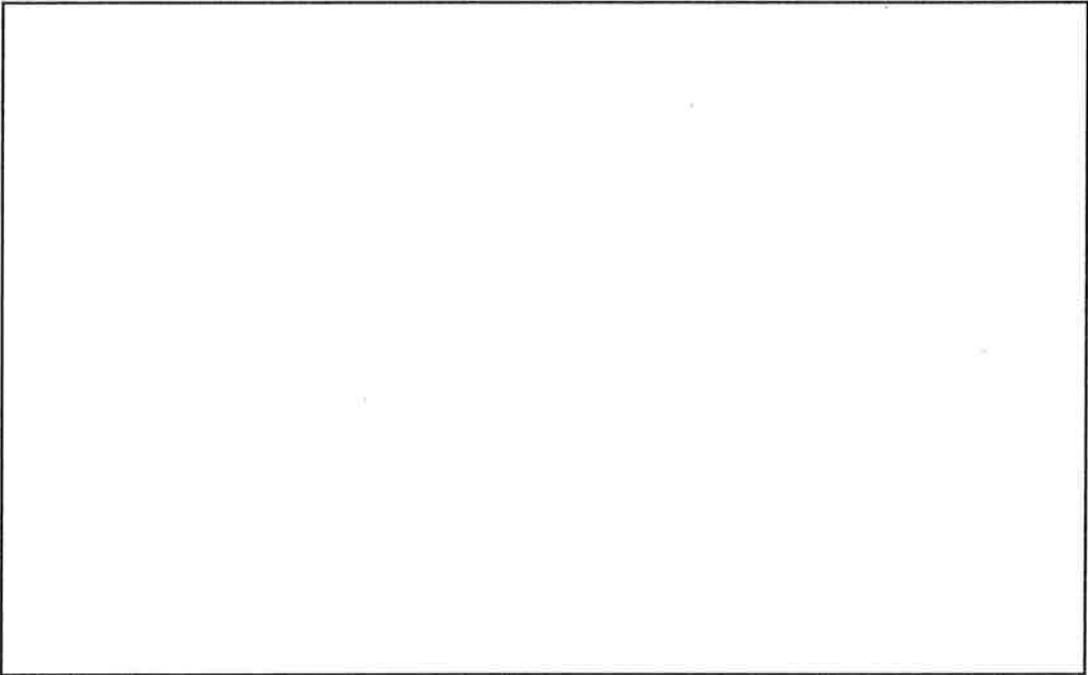


第2-19図(4) Ss-5 Y方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

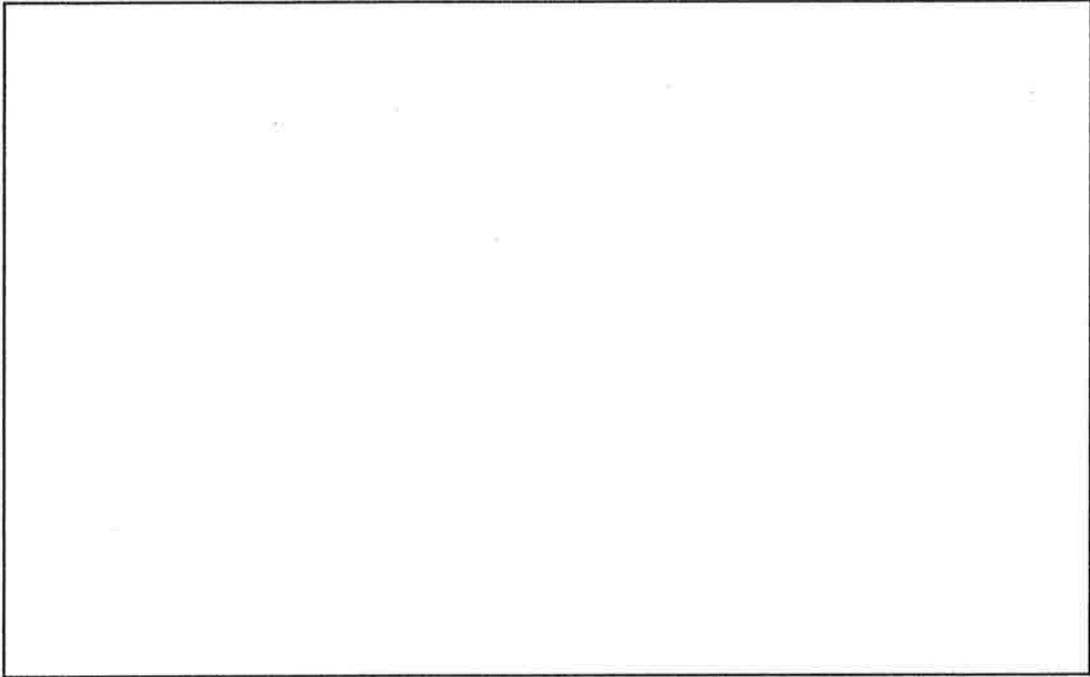


第2-19 図(5) Ss-5 V 方向(上部炉心板応答波)

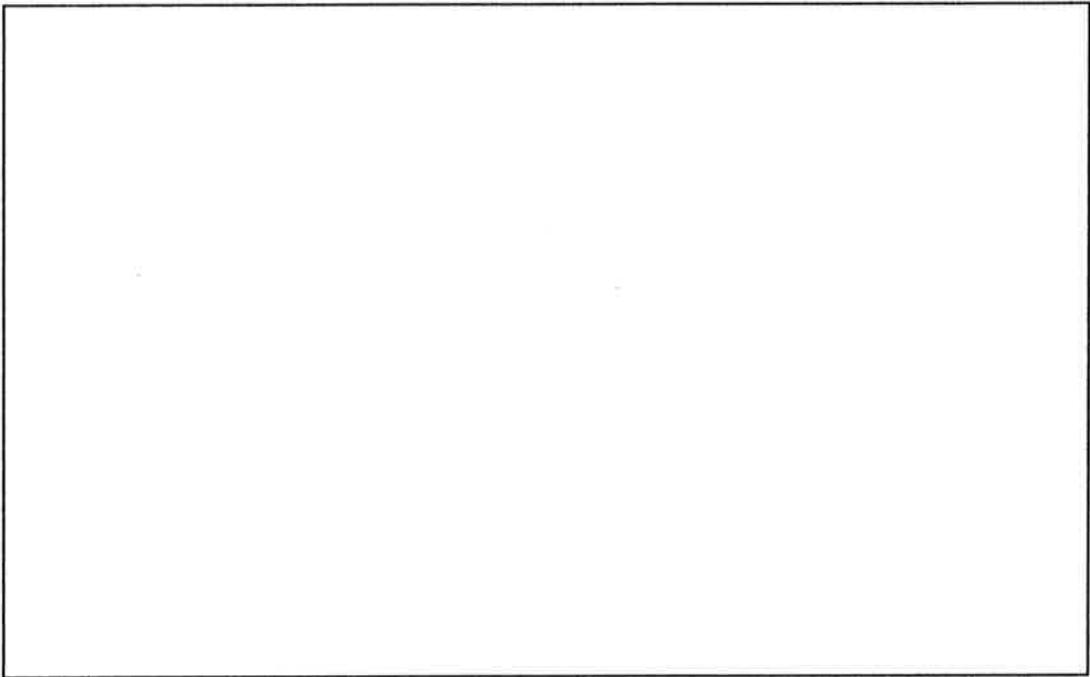


第2-19 図(6) Ss-5 V 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

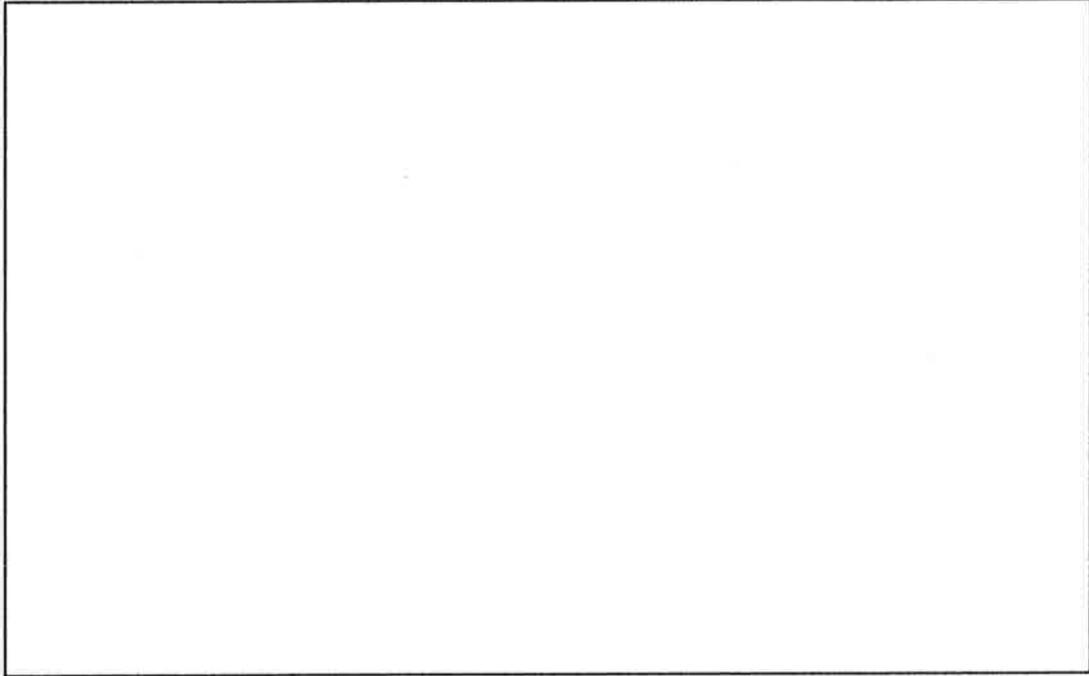


第2-20 図(1) Ss-6(EW) X 方向(上部炉心板応答波)

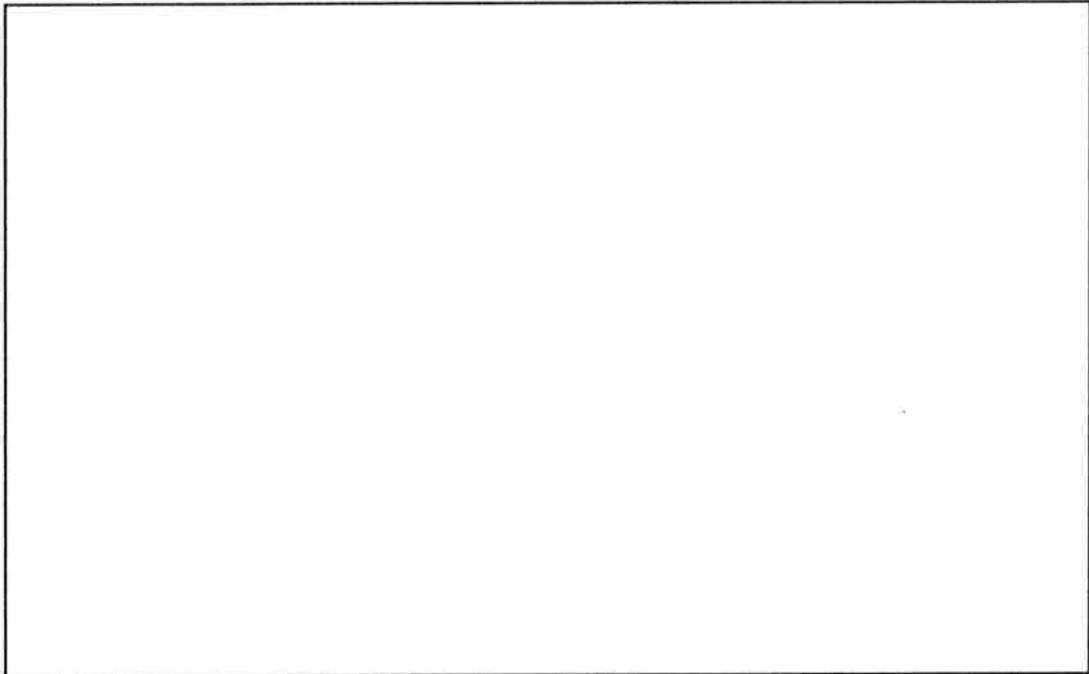


第2-20 図(2) Ss-6(EW) X 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

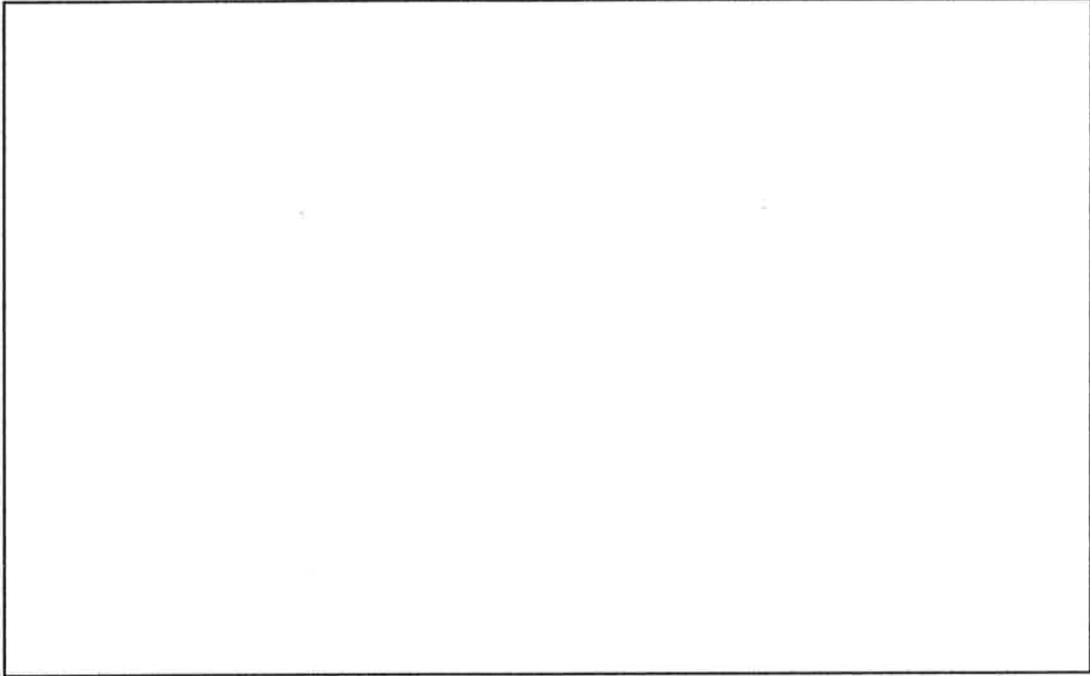


第2-20 図(3) Ss-6(EW) Y方向(上部炉心板応答波)

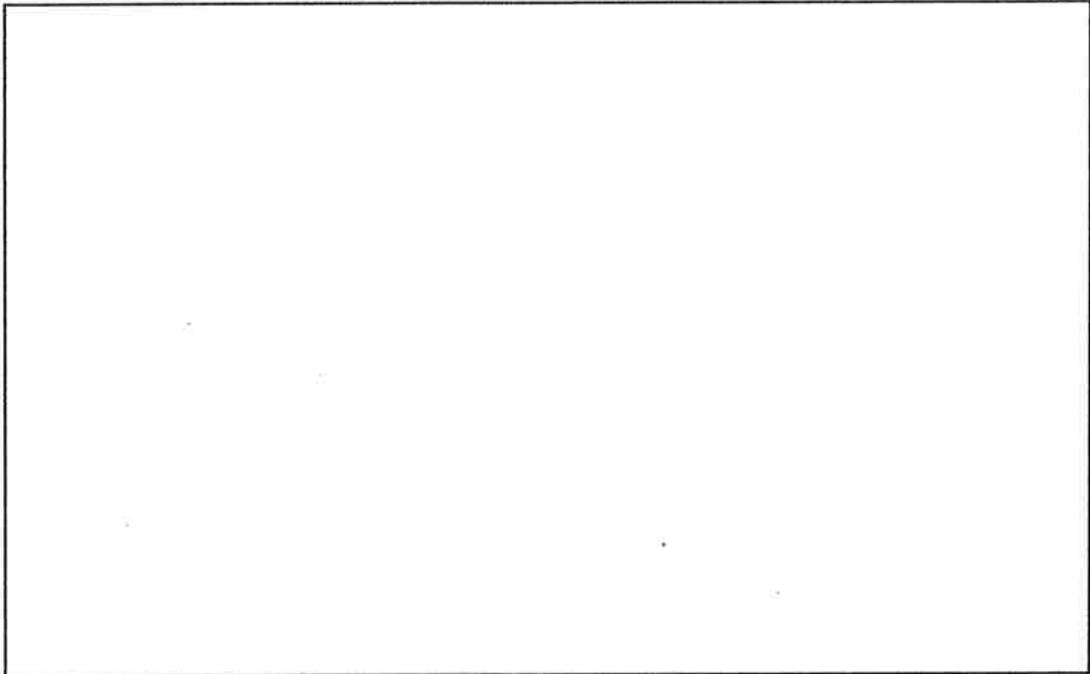


第2-20 図(4) Ss-6(EW) Y方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

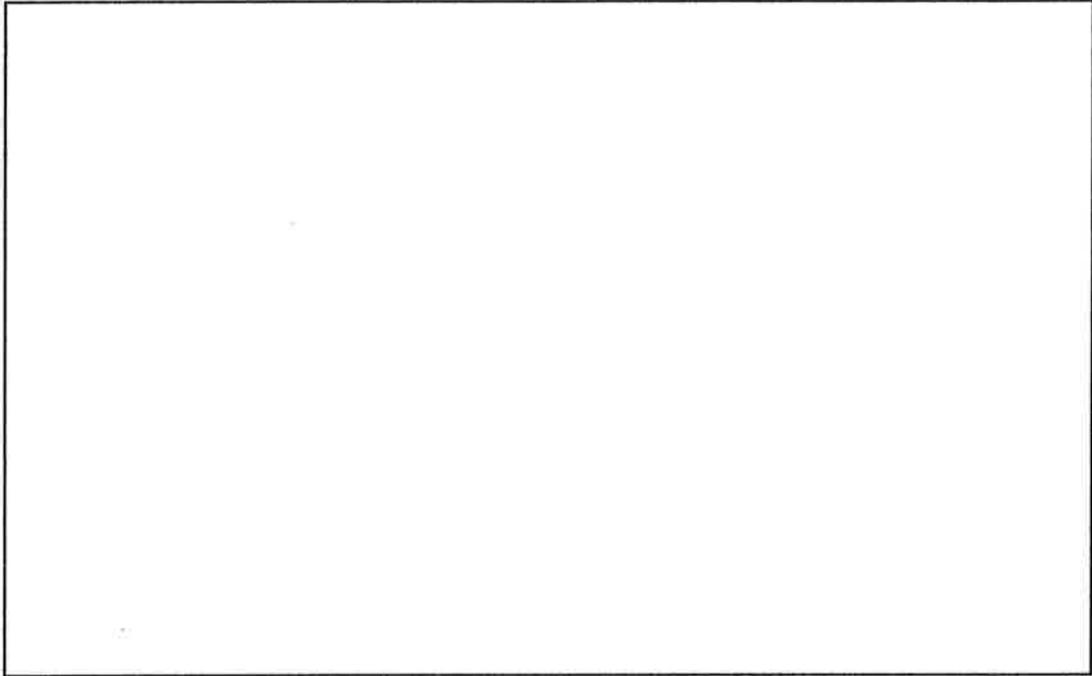


第2-20図(5) Ss-6(EW) V+Xv 方向(上部炉心板応答波)

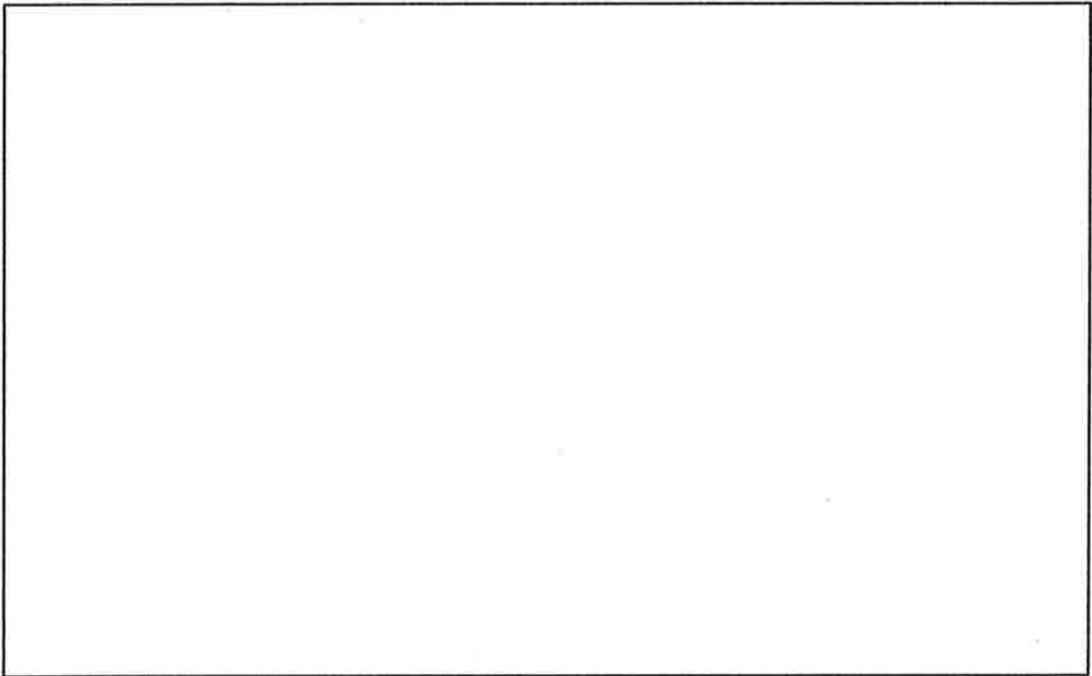


第2-20図(6) Ss-6(EW) V+Xv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

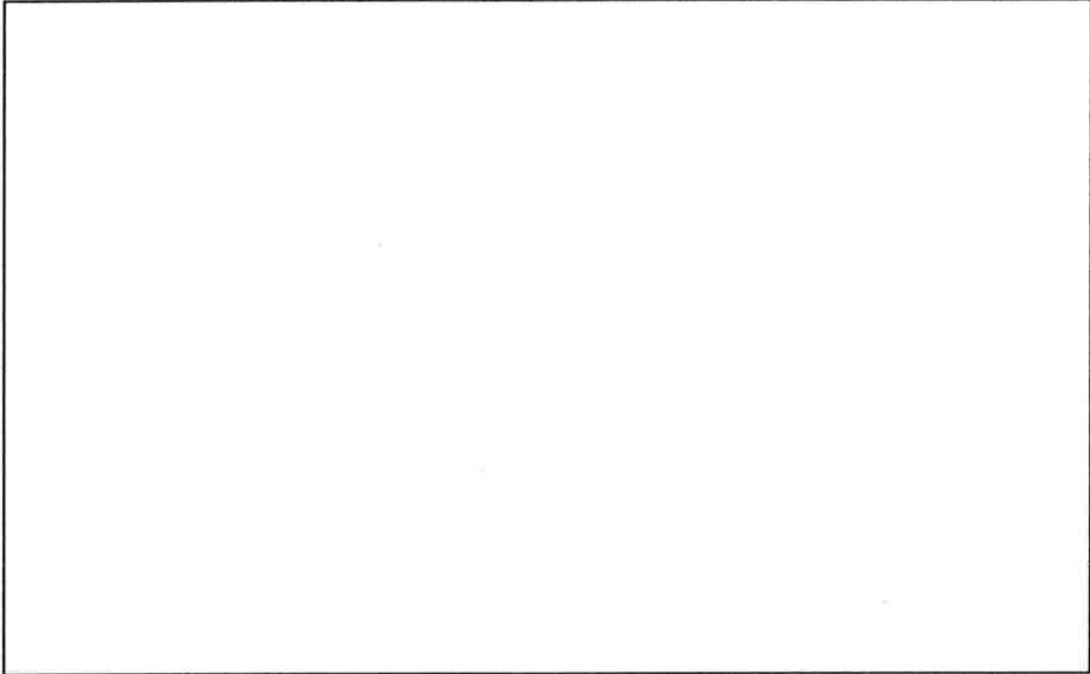


第2-20 図(7) Ss-6(EW) V-Xv 方向(上部炉心板応答波)

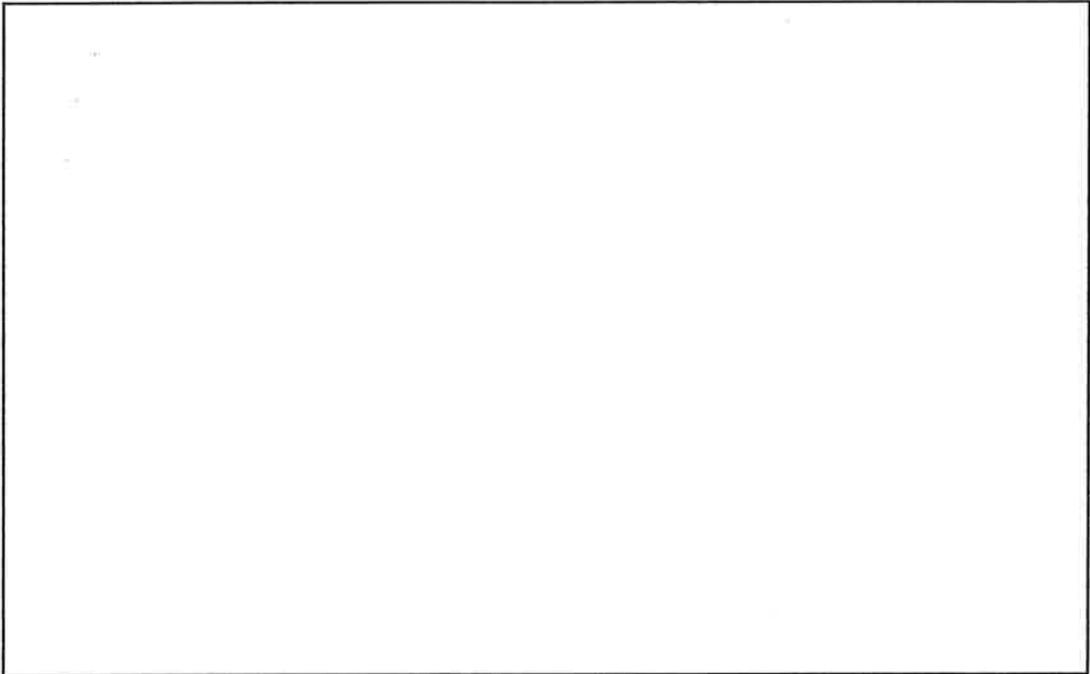


第2-20 図(8) Ss-6(EW) V-Xv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

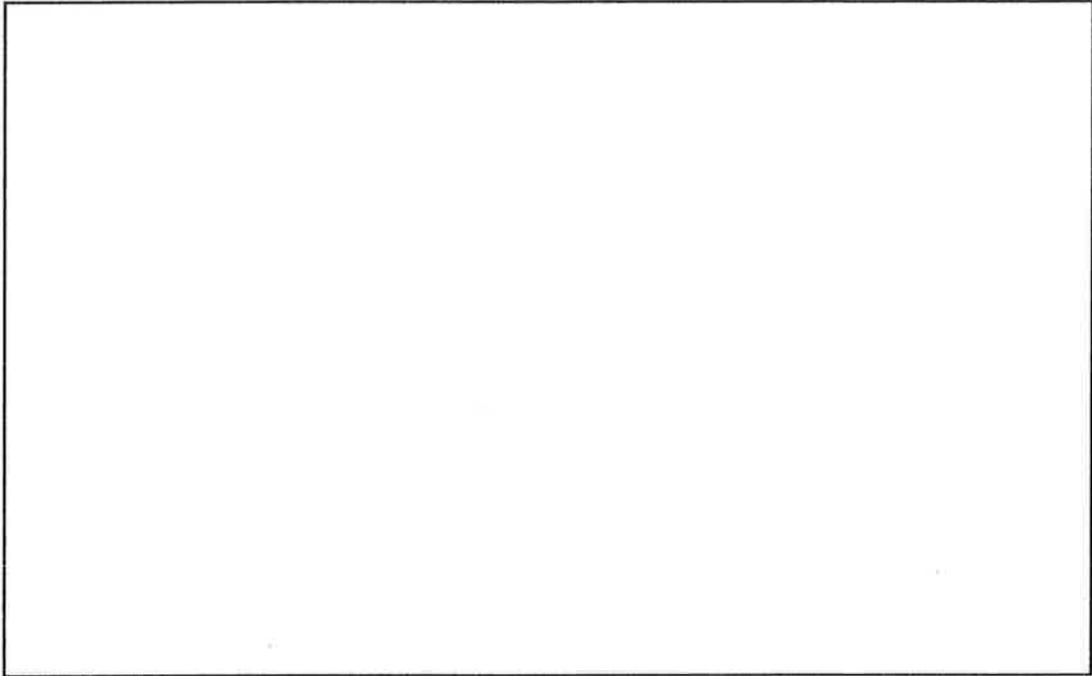


第2-20図(9) Ss-6(EW) V+Yv 方向(上部炉心板応答波)

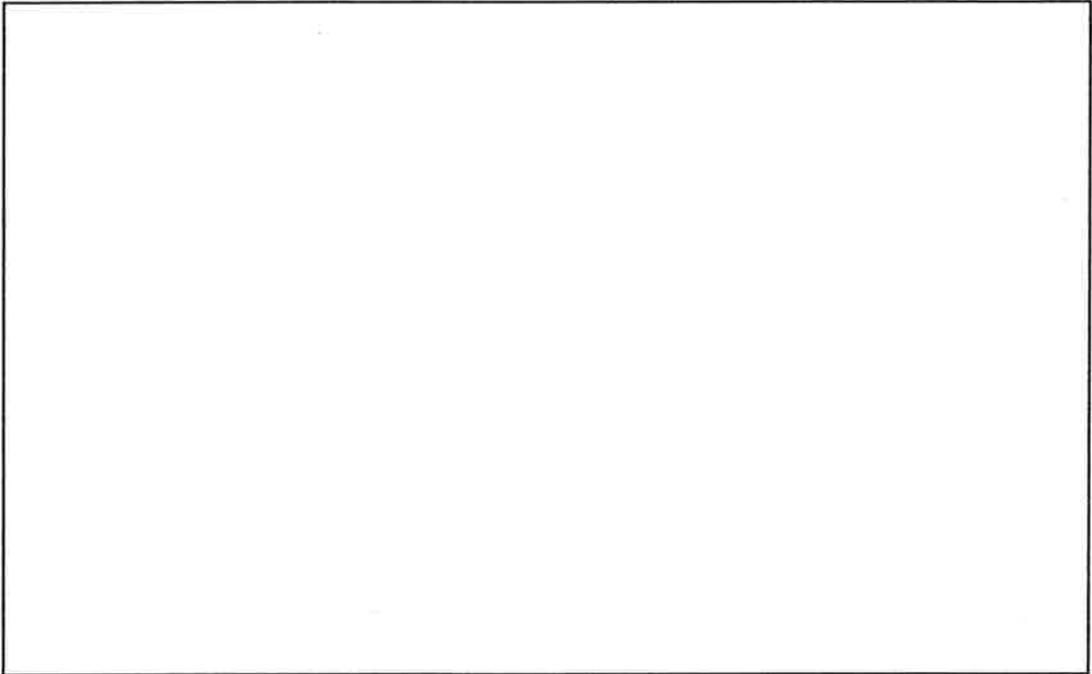


第2-20図(10) Ss-6(EW) V+Yv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

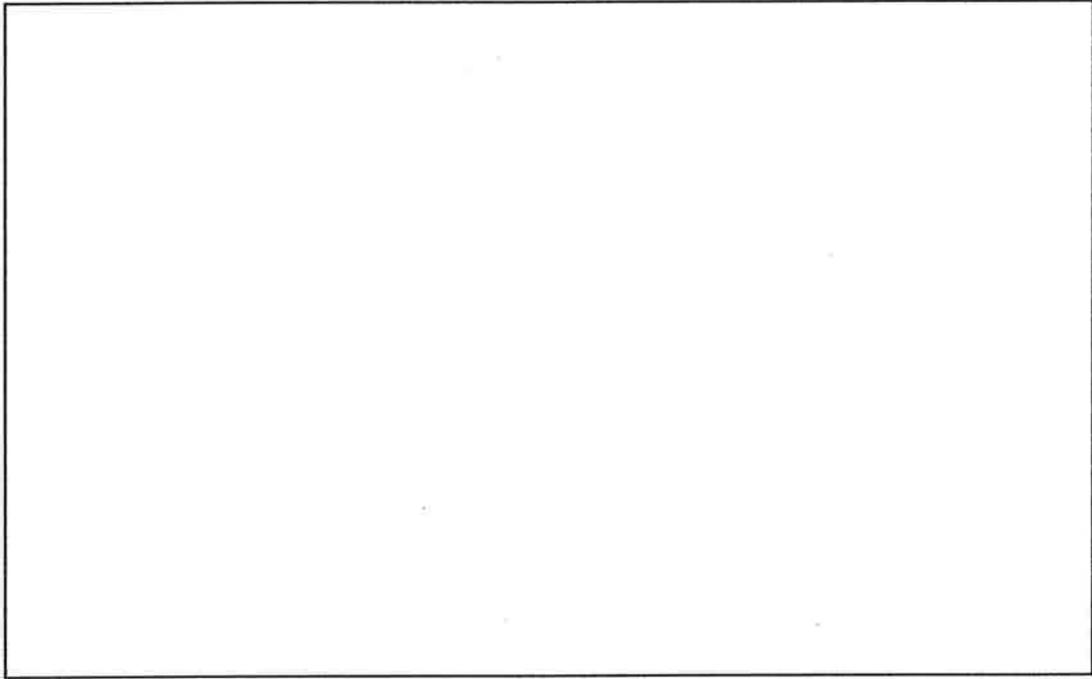


第2-20 図(11) Ss-6(EW) V-Yv 方向(上部炉心板応答波)

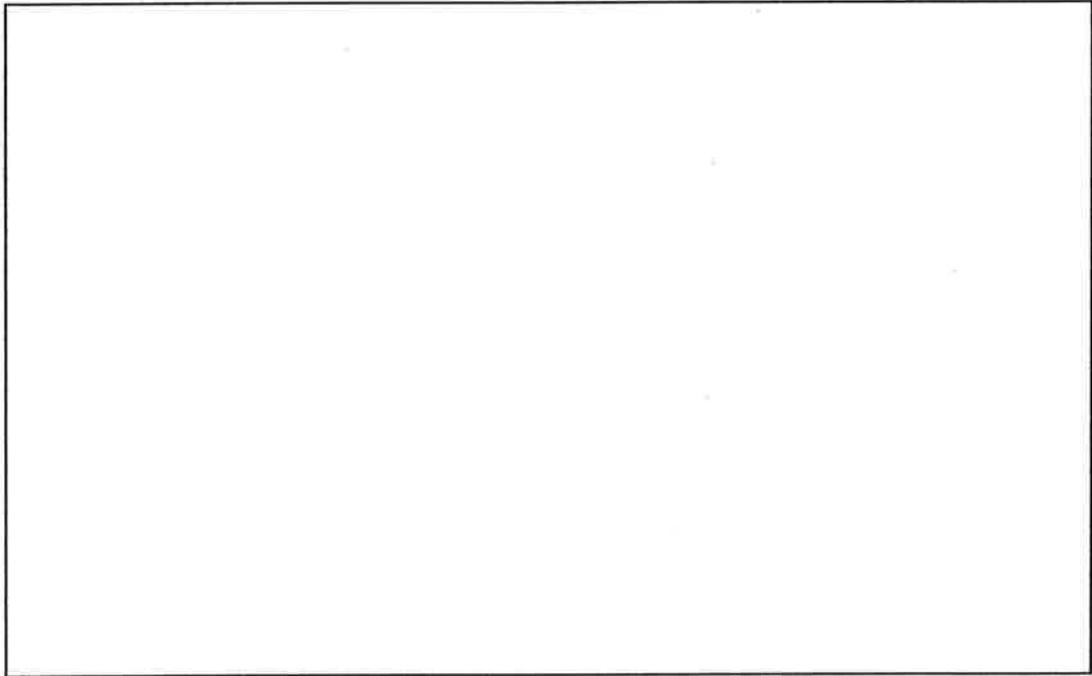


第2-20 図(12) Ss-6(EW) V-Yv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

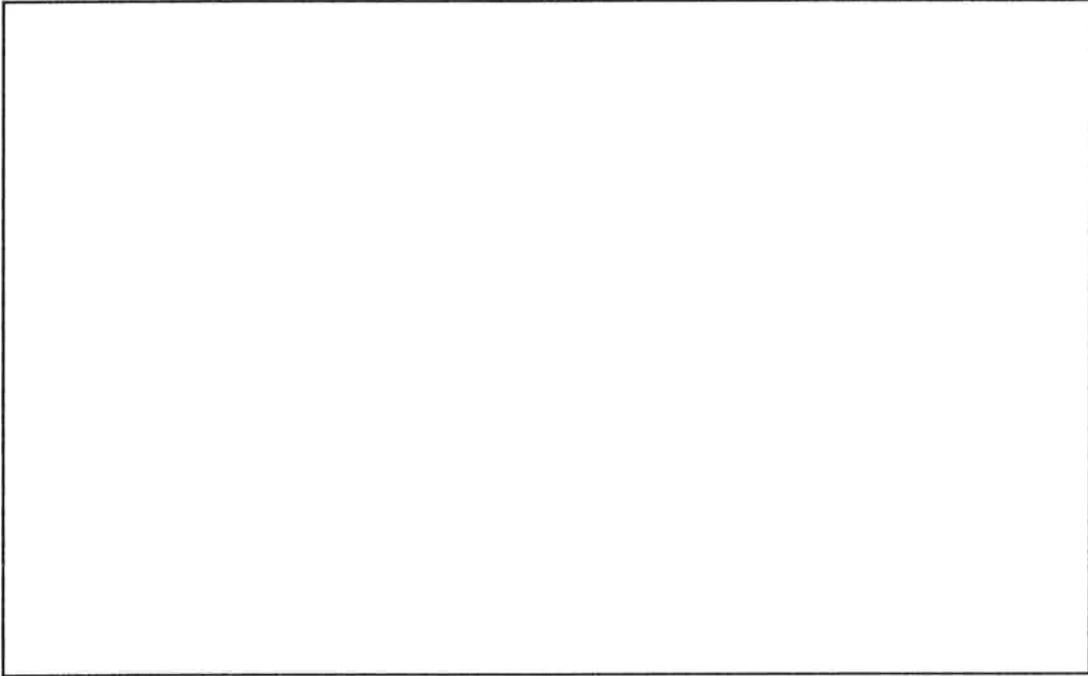


第 2-21 図(1) Ss-6(NS) X 方向(上部炉心板応答波)

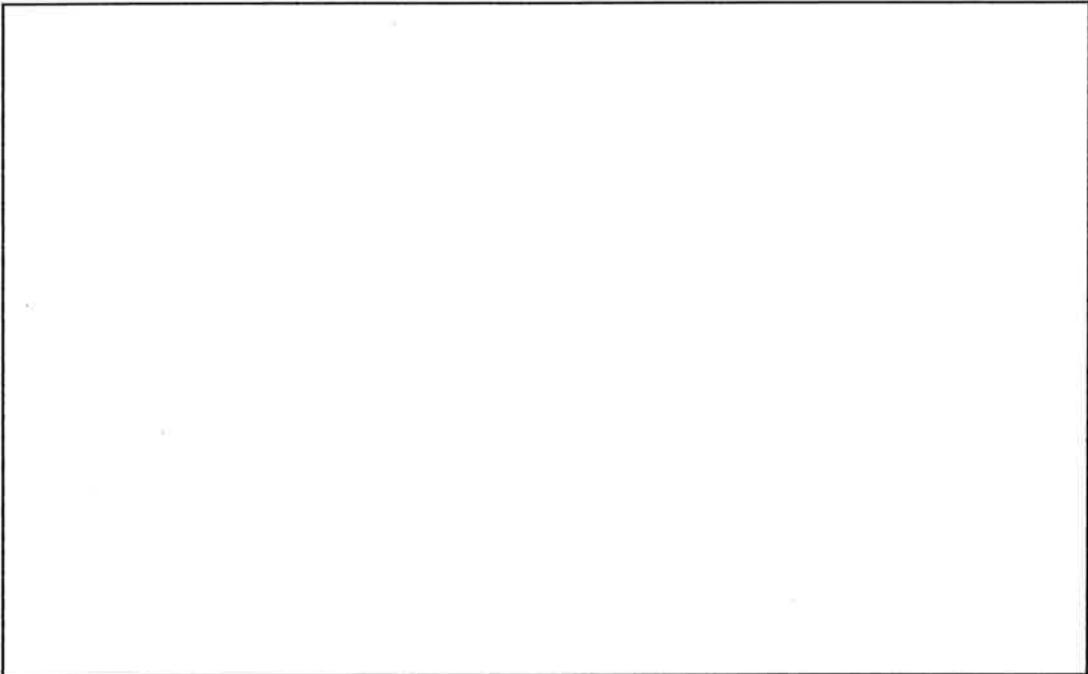


第 2-21 図(2) Ss-6(NS) X 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

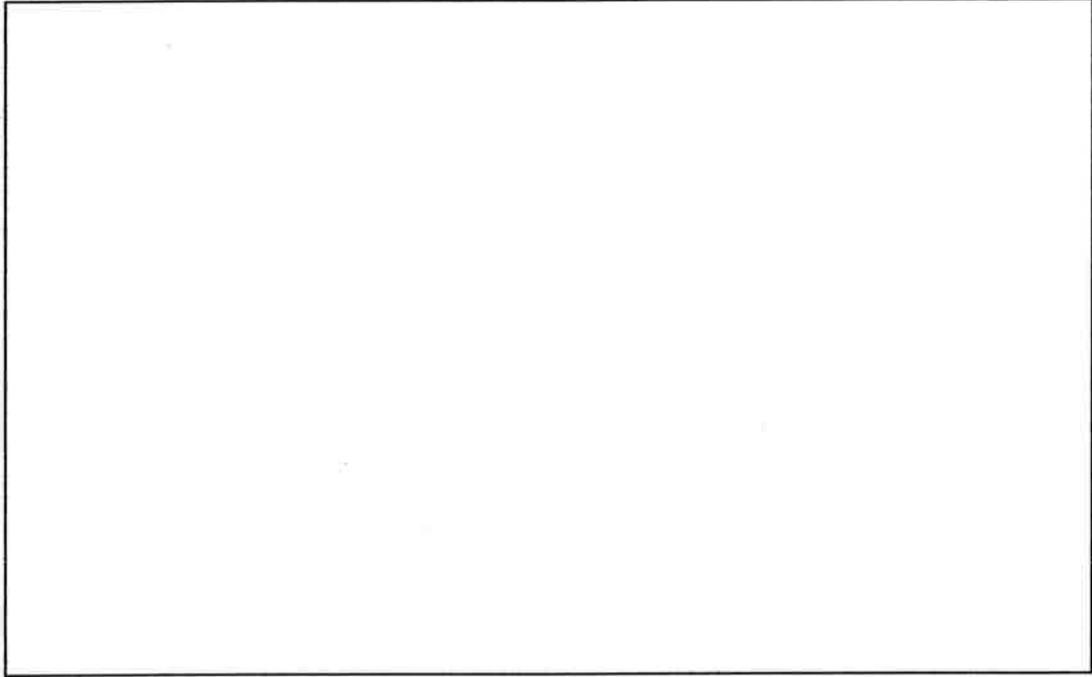


第2-21 図(3) Ss-6(NS) Y 方向(上部炉心板応答波)

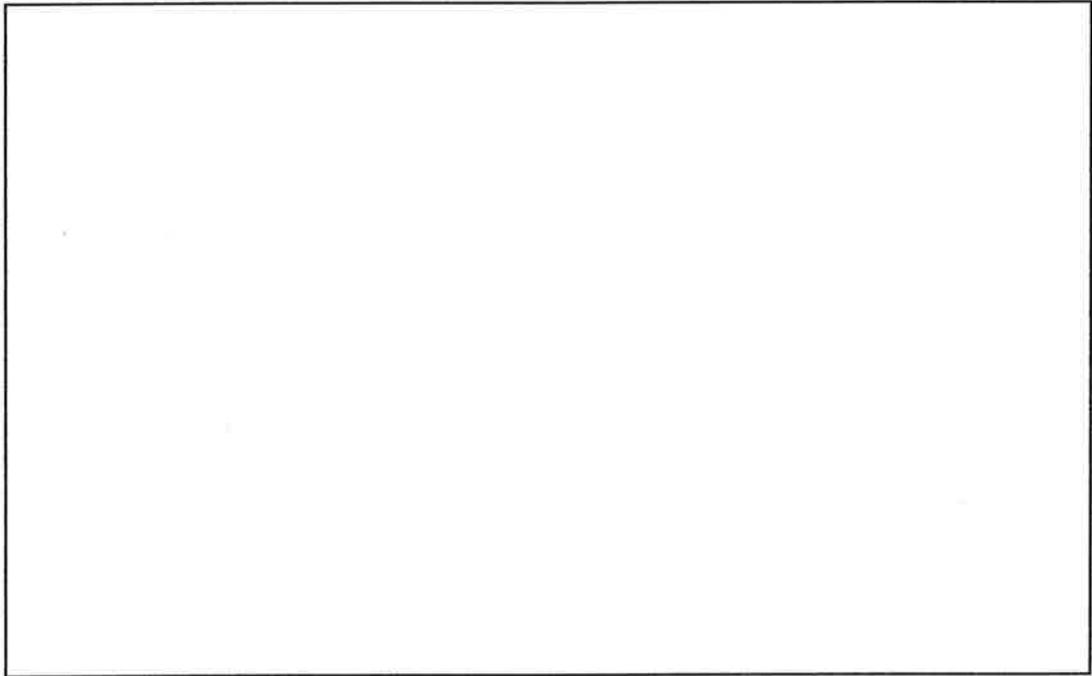


第2-21 図(4) Ss-6(NS) Y 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

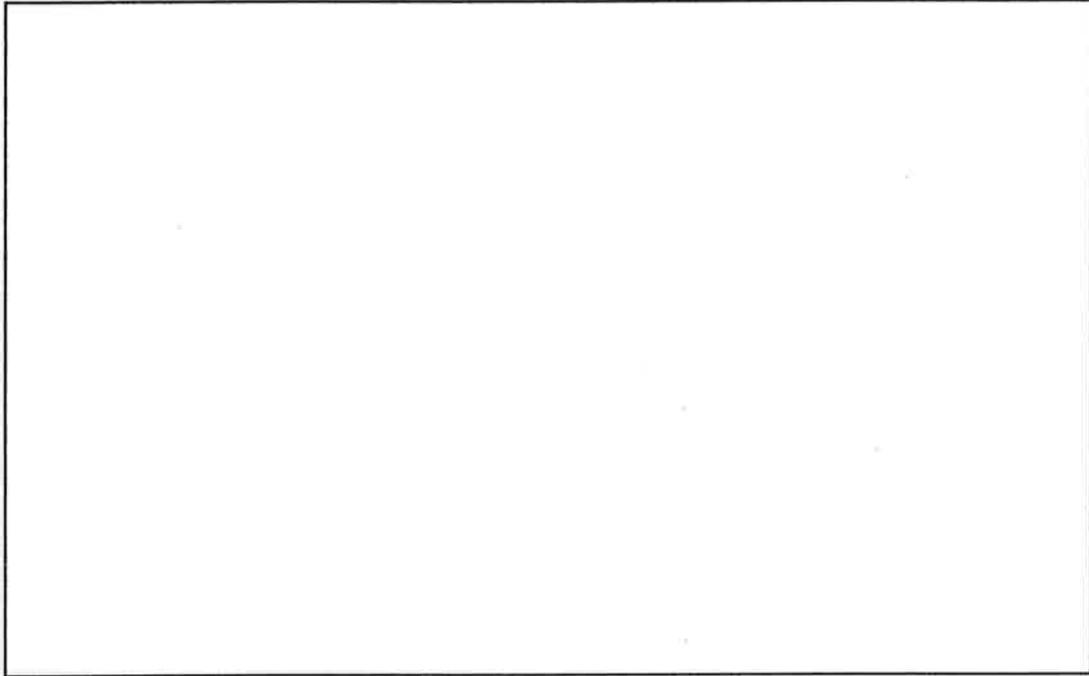


第2-21 図(5) Ss-6(NS) V+Xv 方向(上部炉心板応答波)

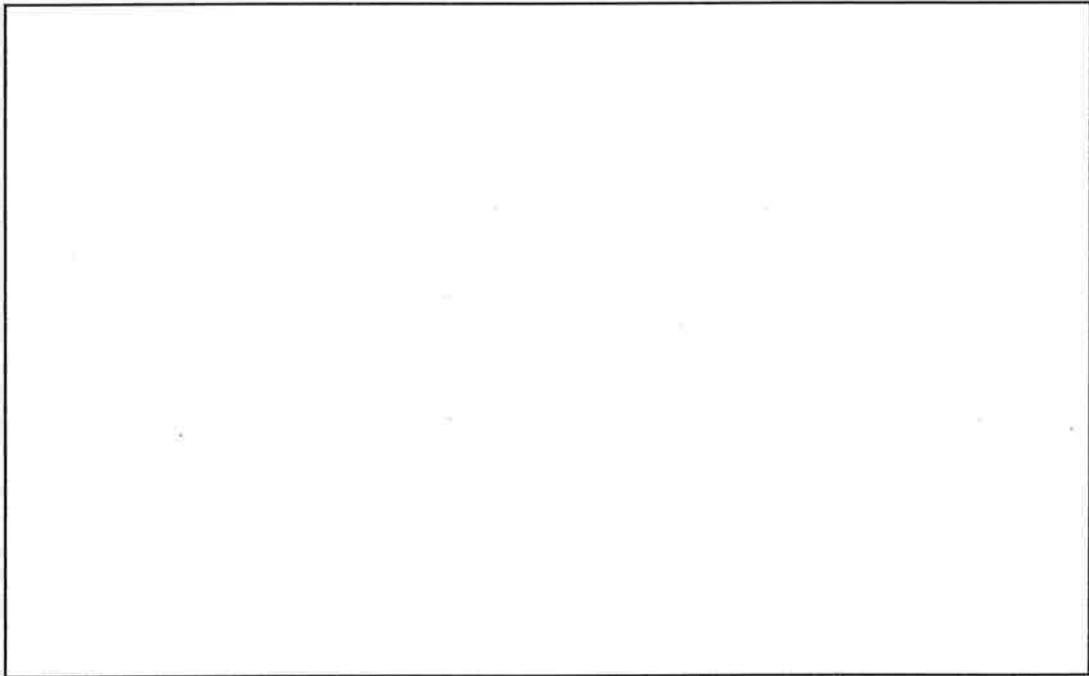


第2-21 図(6) Ss-6(NS) V+Xv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

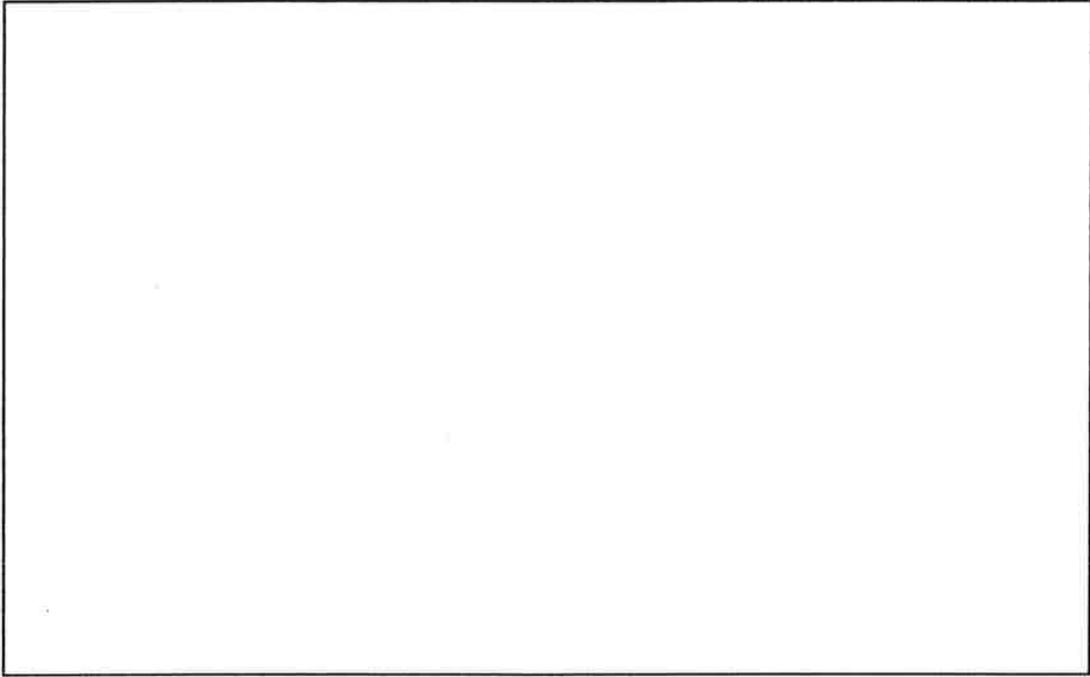


第2-21 図(7) Ss-6(NS) V-Xv 方向(上部炉心板応答波)

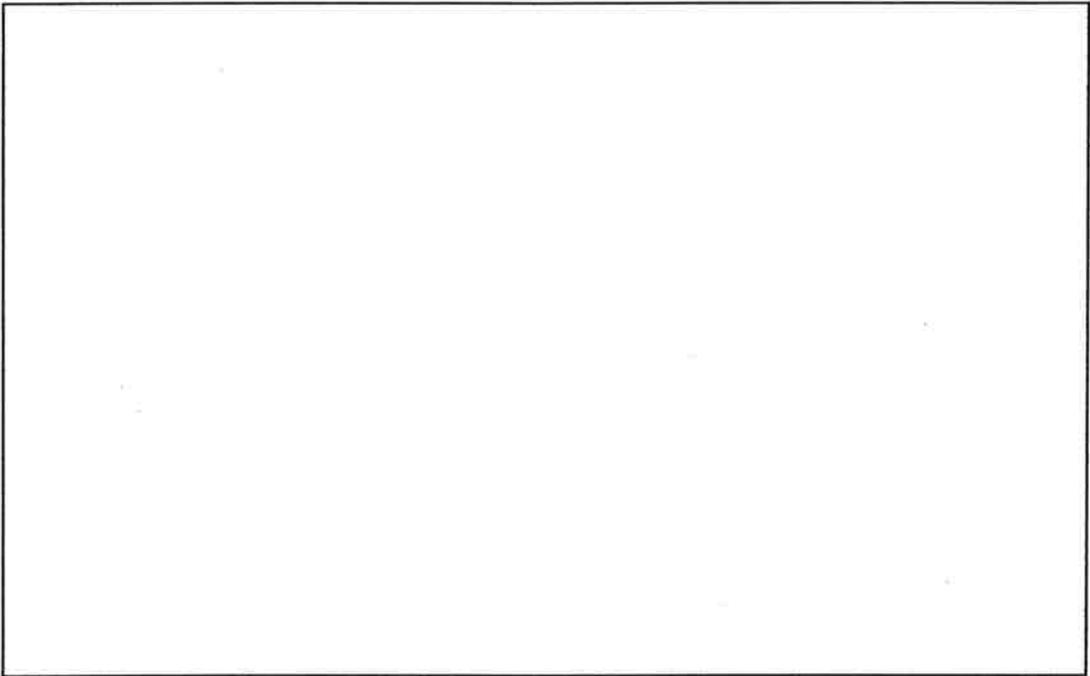


第2-21 図(8) Ss-6(NS) V-Xv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

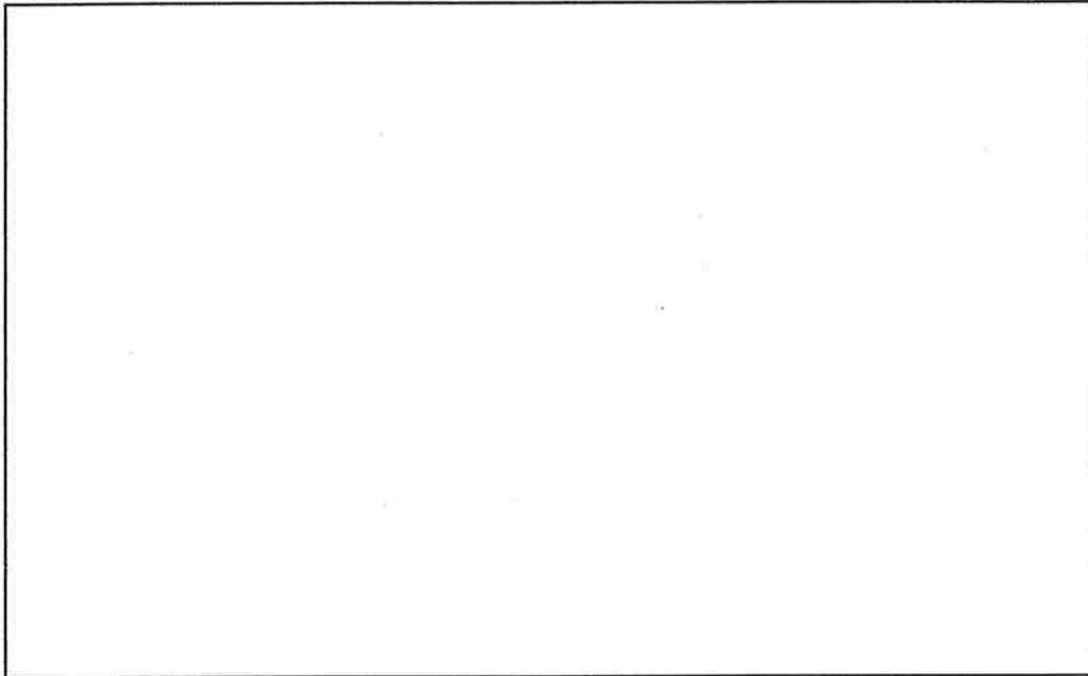


第2-21 図(9) Ss-6(NS) V+Yv 方向(上部炉心板応答波)

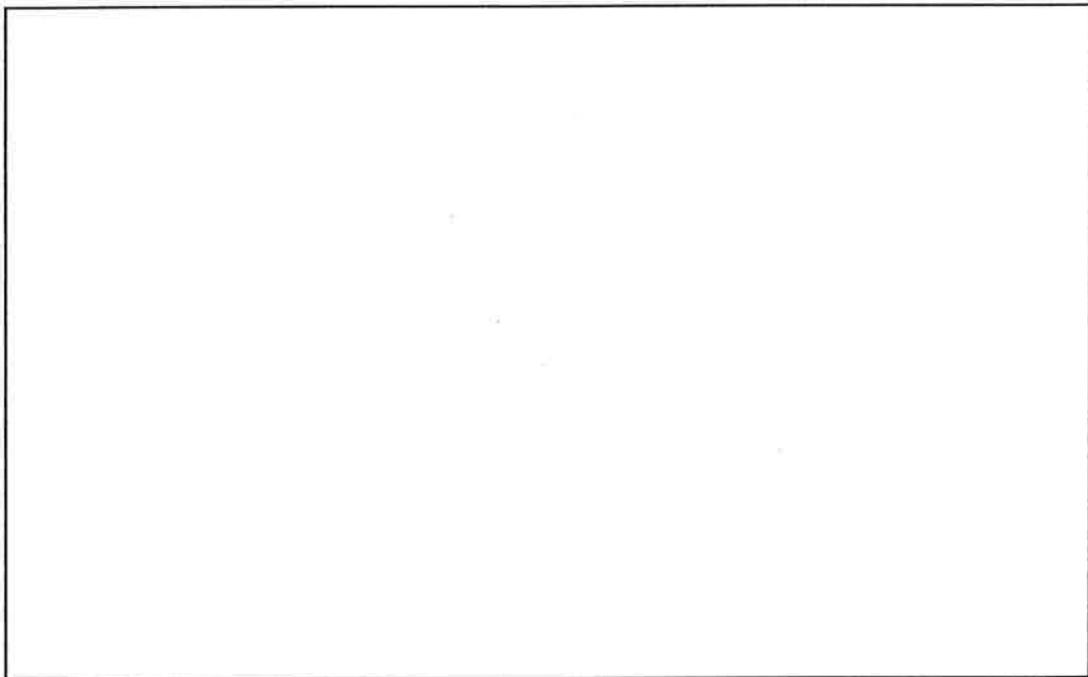


第2-21 図(10) Ss-6(NS) V+Yv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

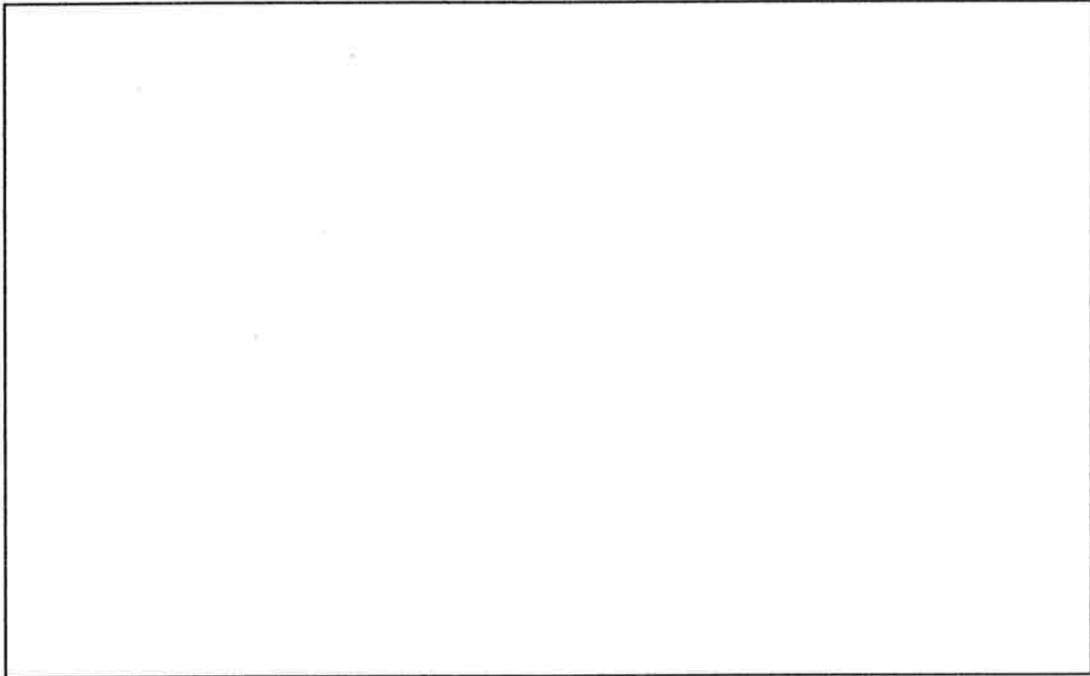


第 2-21 図(11) Ss-6(NS) V-Yv 方向(上部炉心板応答波)

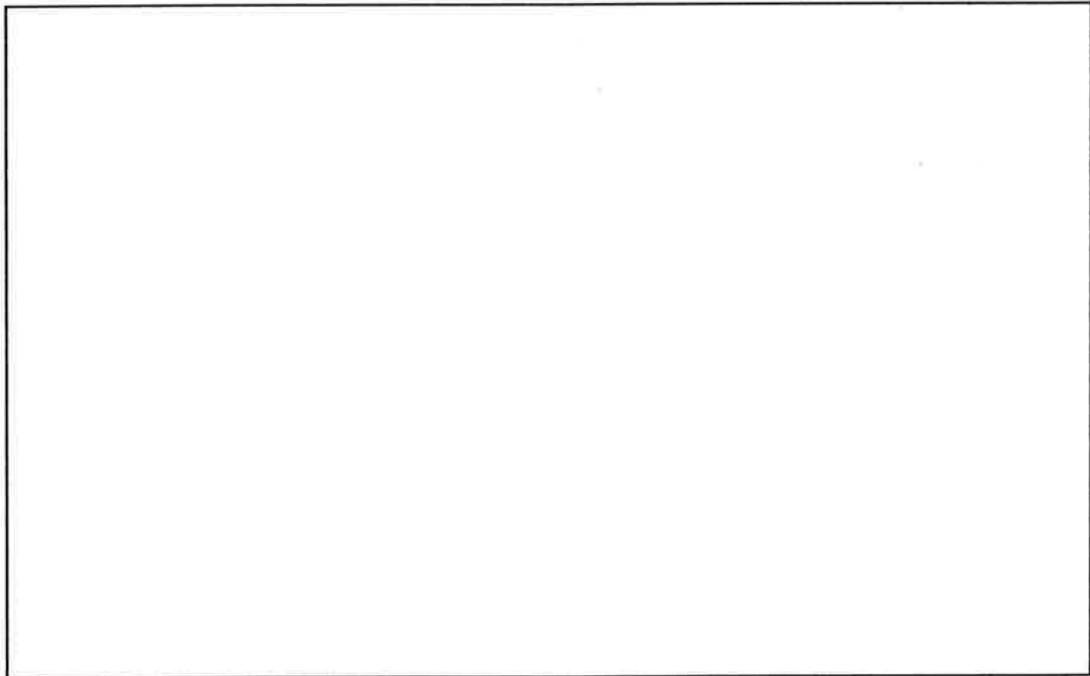


第 2-21 図(12) Ss-6(NS) V-Yv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

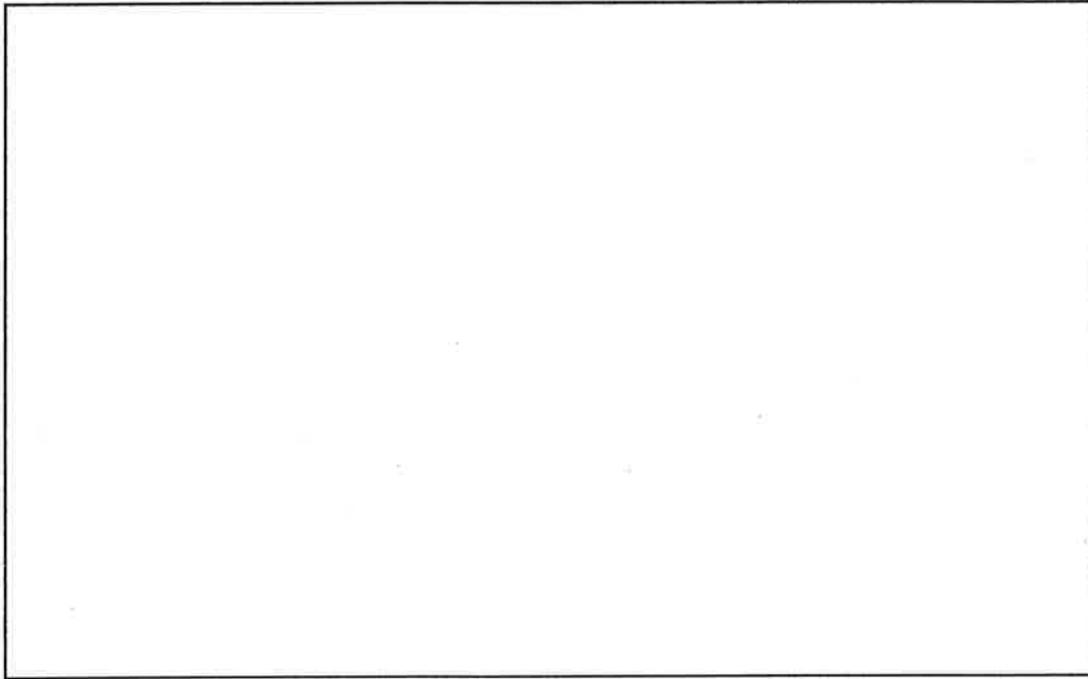


第 2-22 図(1) Ss-7 X 方向(上部炉心板応答波)

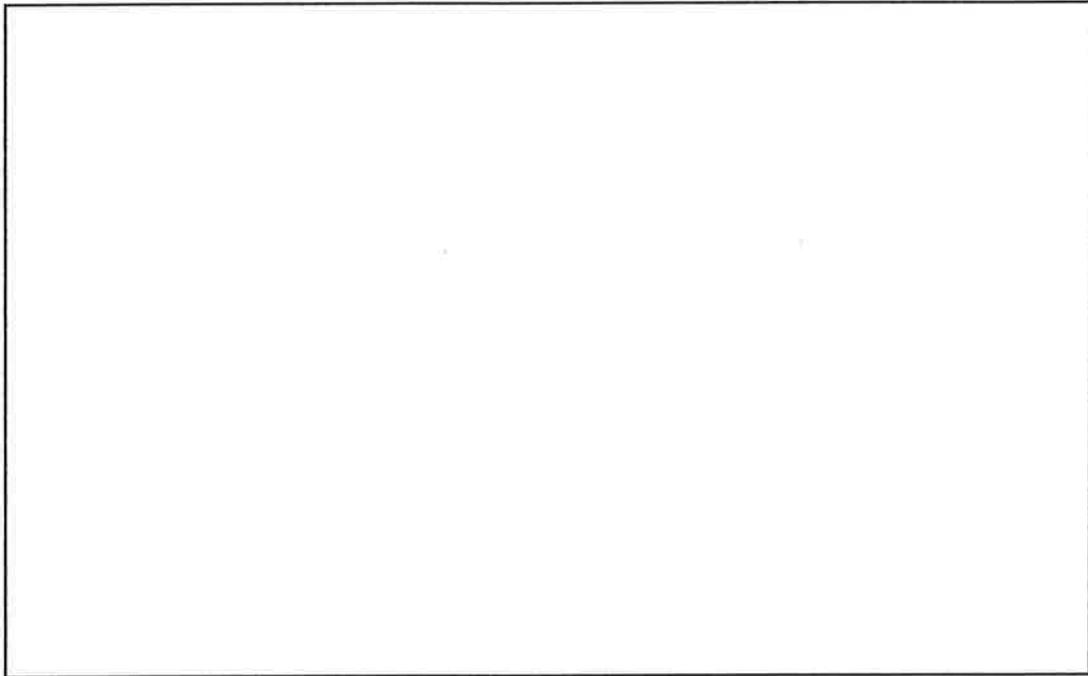


第 2-22 図(2) Ss-7 X 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

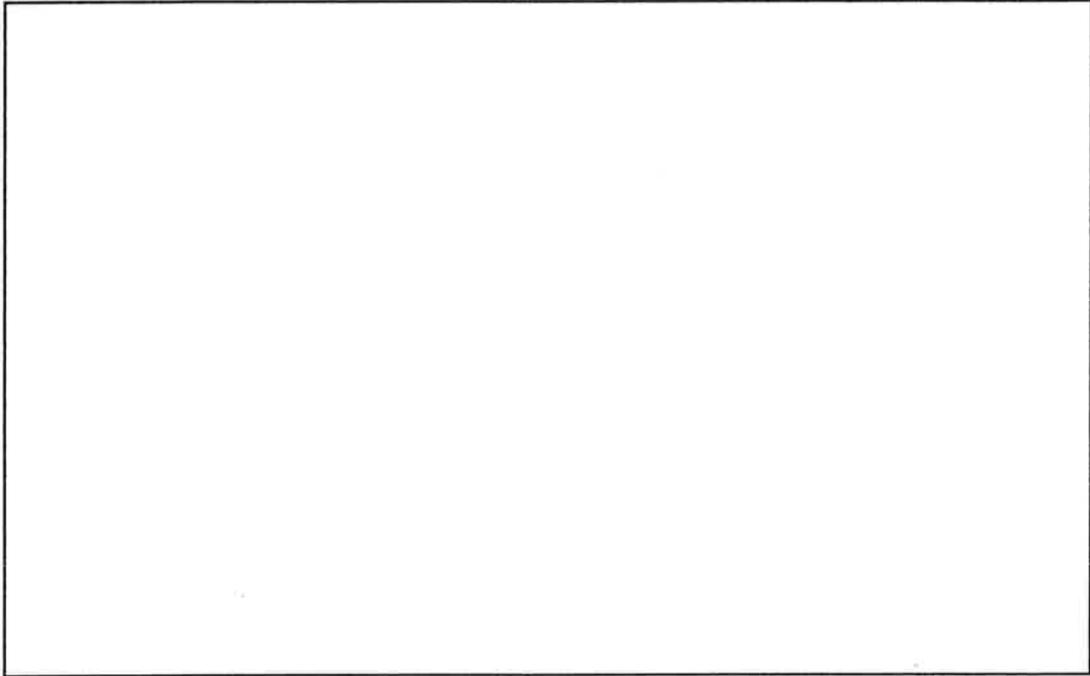


第2-22 図(3) Ss-7 Y 方向(上部炉心板応答波)

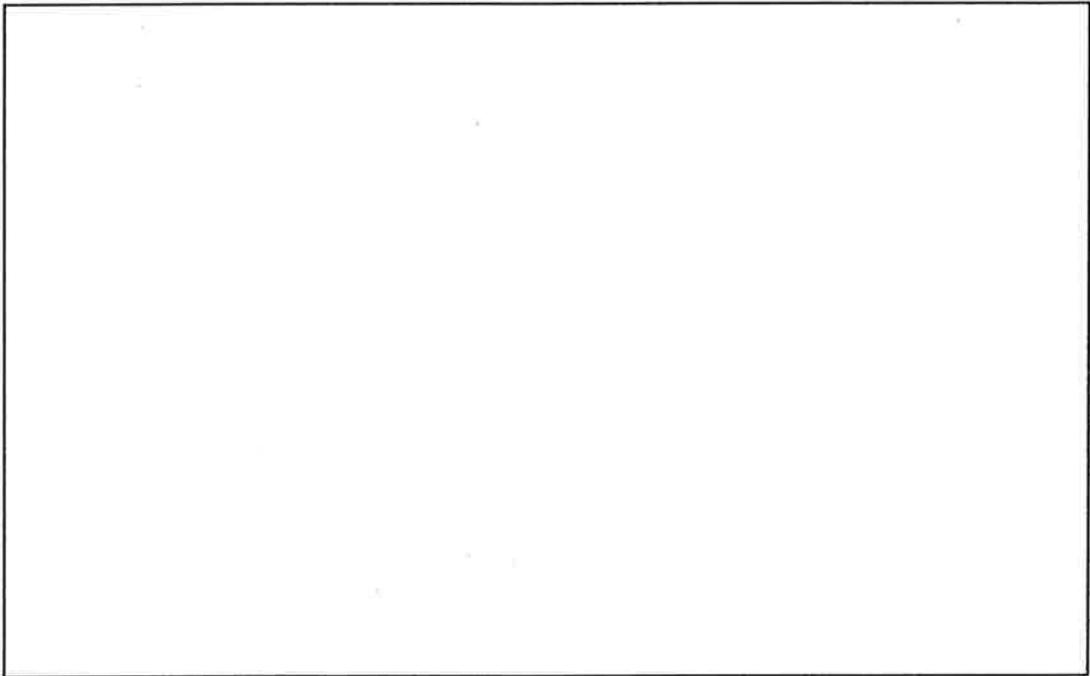


第2-22 図(4) Ss-7 Y 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

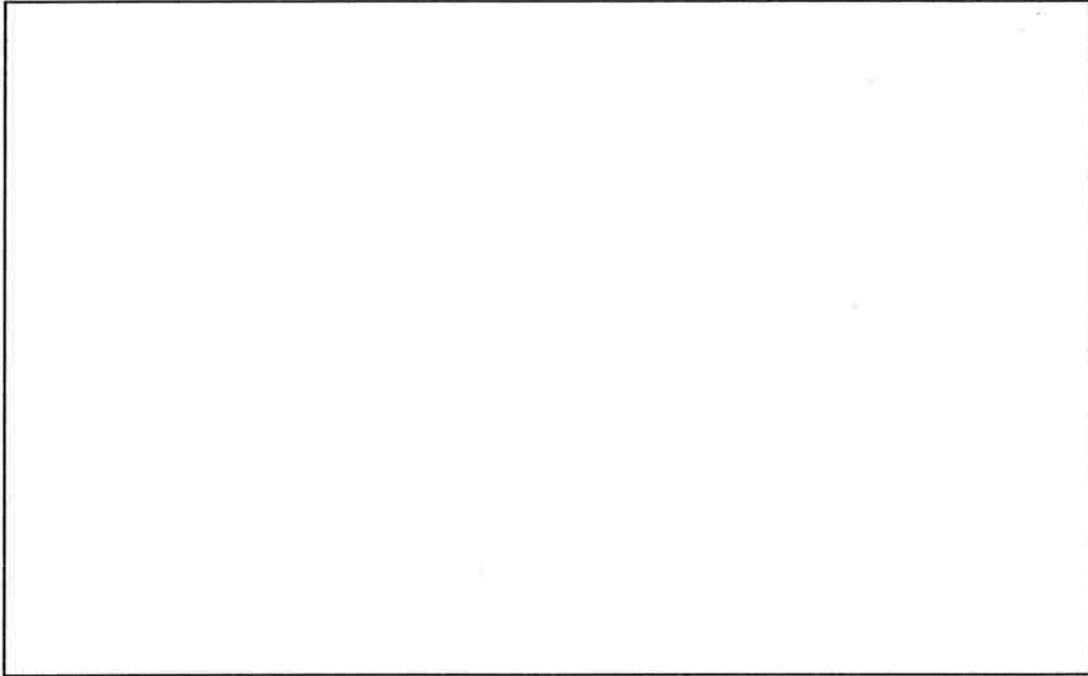


第2-22 図(5) Ss-7 V+Xv 方向(上部炉心板応答波)

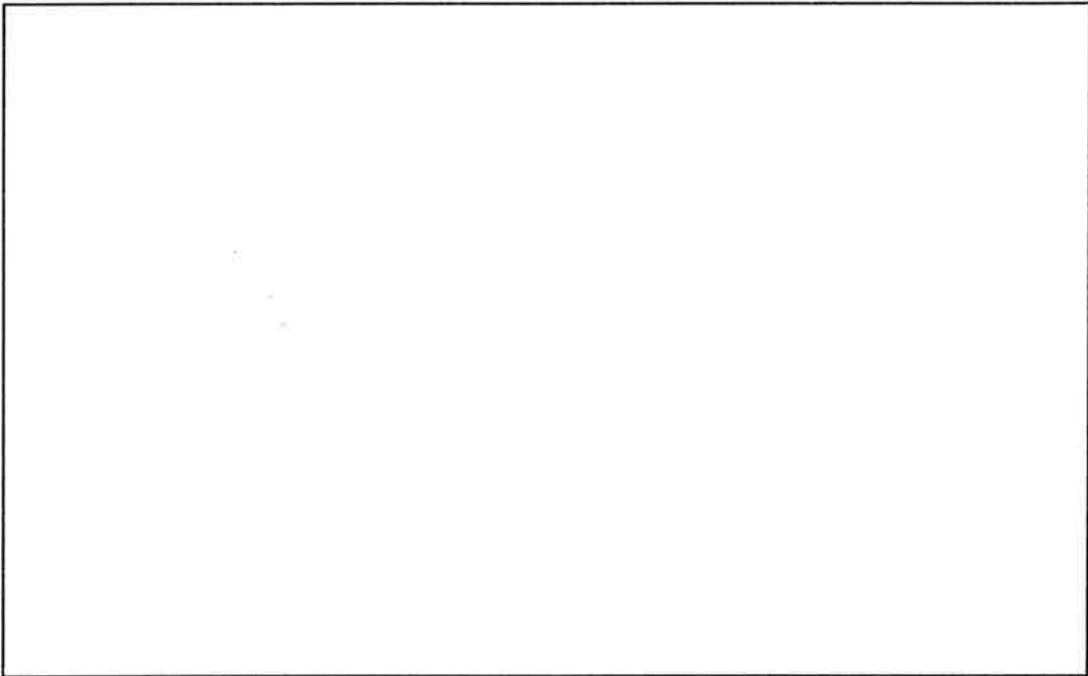


第2-22 図(6) Ss-7 V+Xv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

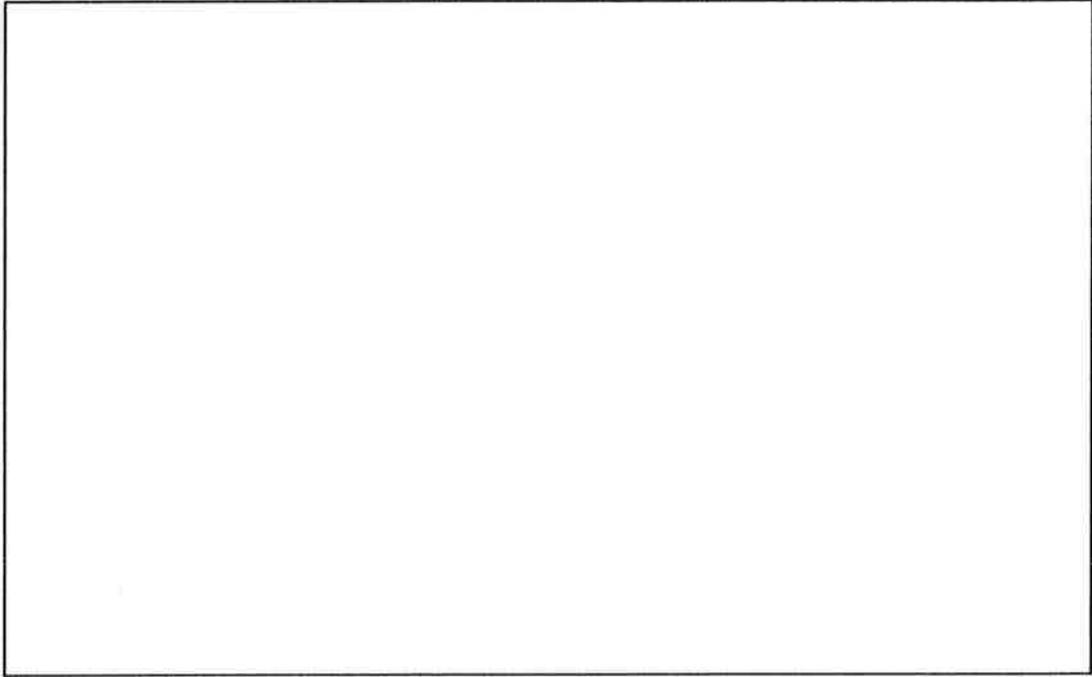


第2-22 図(7) Ss-7 V-Xv 方向(上部炉心板応答波)

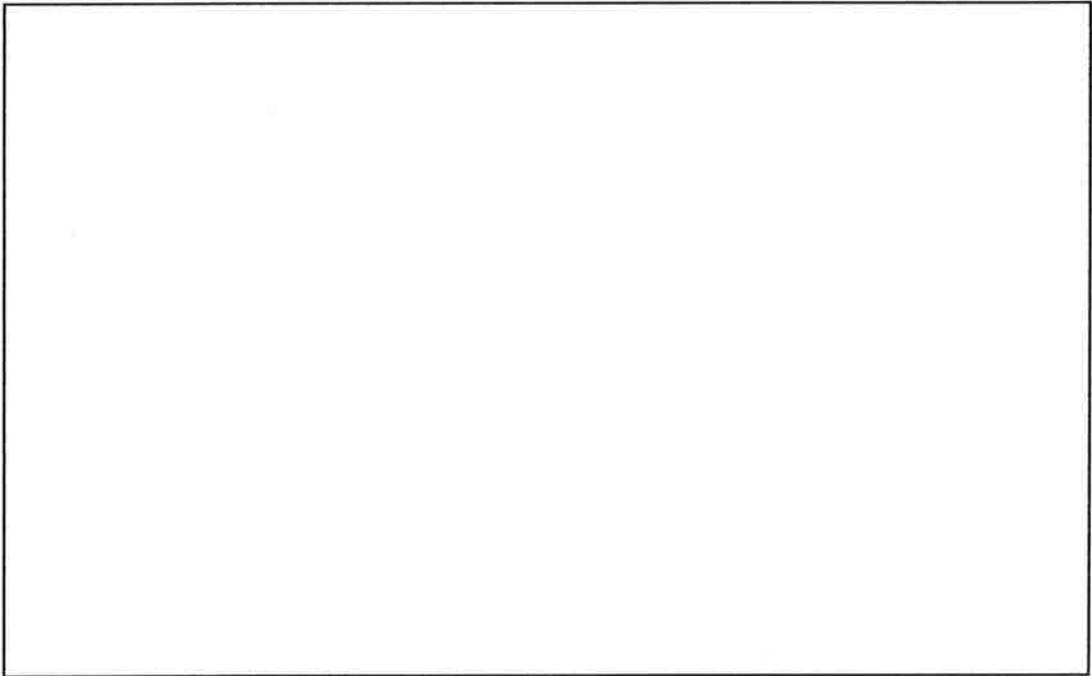


第2-22 図(8) Ss-7 V-Xv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。

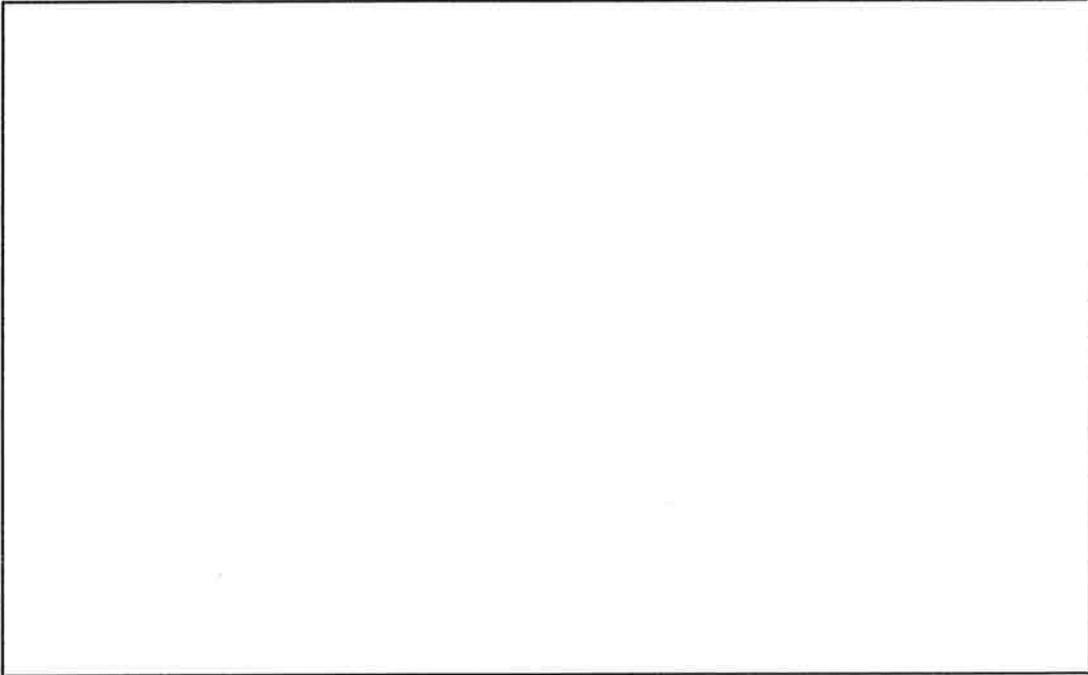


第2-22 図(9) Ss-7 V+Yv 方向(上部炉心板応答波)

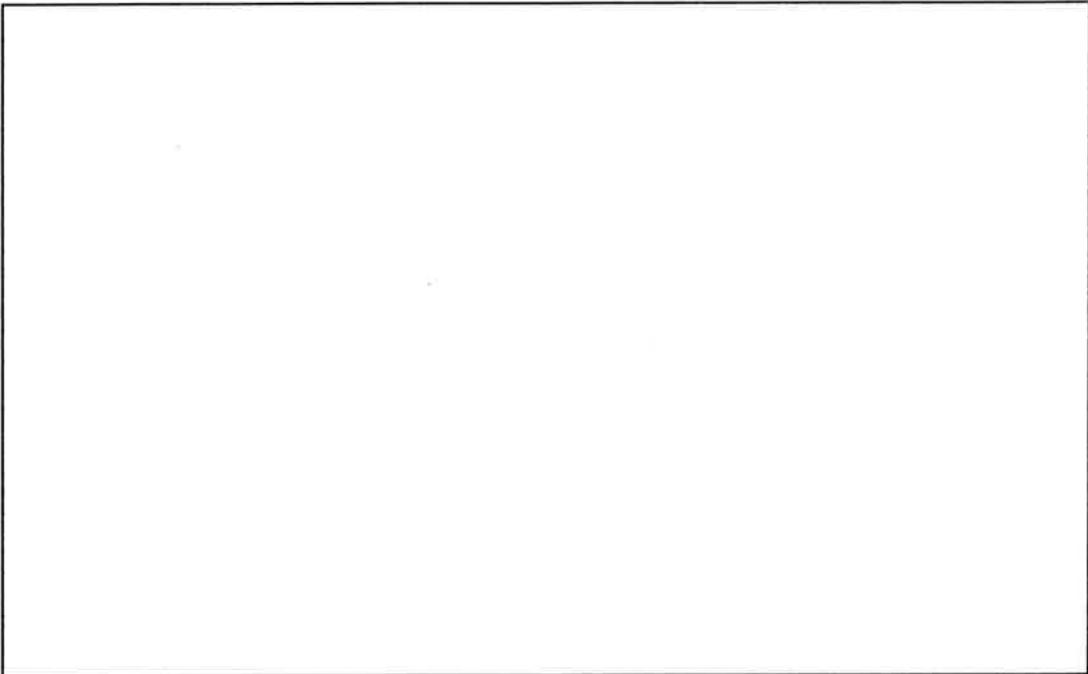


第2-22 図(10) Ss-7 V+Yv 方向(下部炉心板応答波)

内は商業機密のため、公開できません。



第 2-22 図(11) Ss-7 V-Yv 方向(上部炉心板応答波)



第 2-22 図(12) Ss-7 V-Yv 方向(下部炉心板応答波)

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-15表(1) 燃料集合体群振動解析結果

地震動 解析結果	単 位	Ss-1	
		X	Y
最大変位	mm		
時刻	S		
燃料集合体 番号	-		
支持格子番号	-		
(注1) 最大衝撃力	N		
時刻	S		
(注2) 燃料集合体 番号	-		
支持格子番号	-		

(注1) 支持格子の弾性限界荷重は □ N ( □ N ) である。

(注2) B は炉心バツフルを示す。

(注3) ( )内は照射の影響を考慮した値を示す。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-15表(2) 燃料集合体群振動解析結果

地震動 解析結果	単 位	Ss-2~Ss-5	
		X	Y
最大変位	mm		
時刻	S		
燃料集合体 番号	-		
支持格子番号	-		
(注1) 最大衝撃力	N		
時刻	S		
(注2) 燃料集合体 番号	-		
支持格子番号	-		

(注1) 支持格子の弾性限界荷重は□N(□N)である。

(注2) Bは炉心バップルを示す。

(注3) ( )内は照射の影響を考慮した値を示す。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-15表(3) 燃料集合体群振動解析結果

地震動 解析結果	単 位	Ss-6(EW)	
		X	Y
最大変位	mm		
時刻	S		
燃料集合体 番号	-		
支持格子番号	-		
(注1) 最大衝撃力	N		
時刻	S		
(注2) 燃料集合体 番号	-		
支持格子番号	-		

(注1) 支持格子の弾性限界荷重は□N(□N)である。

(注2) Bは炉心バブルを示す。

(注3) ( )内は照射の影響を考慮した値を示す。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-15表(4) 燃料集合体群振動解析結果

地震動 解析結果	単 位	Ss-6(NS)	
		X	Y
最大変位	mm		
時刻	S		
燃料集合体 番号	-		
支持格子番号	-		
(注1) 最大衝撃力	N		
時刻	S		
(注2) 燃料集合体 番号	-		
支持格子番号	-		

(注1) 支持格子の弾性限界荷重は □ N ( □ N ) である。

(注2) B は炉心バブルを示す。

(注3) ( )内は照射の影響を考慮した値を示す。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-15表(5) 燃料集合体群振動解析結果

地震動 解析結果	単 位	Ss-7	
		X	Y
最大変位	mm		
時刻	S		
燃料集合体 番号	-		
支持格子番号	-		
(注1) 最大衝撃力	N		
時刻	S		
(注2) 燃料集合体 番号	-		
支持格子番号	-		

(注1) 支持格子の弾性限界荷重は□N(□N)である。

(注2) Bは炉心バップルを示す。

(注3) ( )内は照射の影響を考慮した値を示す。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-16表(1) 燃料集合体振動計算結果

地震動 解析結果	単 位	Ss-1
最大軸力	N	□
時刻	s	
最大衝突速度	m/s	
時刻	s	

(注1) ( )内は照射の影響を考慮した値を示す。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-16表(2) 燃料集合体振動計算結果

地震動 解析結果	単 位	Ss-2~Ss-5
最大軸力	N	□
時刻	s	
最大衝突速度	m/s	
時刻	s	

(注1) ( )内は照射の影響を考慮した値を示す。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-16表(3) 燃料集合体振動計算結果

地震動 解析結果	単 位	Ss-6(EW)
最大軸力	N	□
時刻	s	
最大衝突速度	m/s	
時刻	s	

(注1) ( )内は照射の影響を考慮した値を示す。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-16表(4) 燃料集合体振動計算結果

地震動 解析結果	単 位	Ss-6(NS)
最大軸力	N	□
時刻	s	
最大衝突速度	m/s	
時刻	s	

(注1) □内は照射の影響を考慮した値を示す。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-16表(5) 燃料集合体振動計算結果

地震動	単	Ss-7
解析結果	位	
最大軸力	N	□
時刻	s	
最大衝突速度	m/s	
時刻	s	

(注1) ( )内は照射の影響を考慮した値を示す。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-17表 制御棒案内シンプル応力評価結果

条件		最大応力 (N/mm <sup>2</sup> )	許容値 (N/mm <sup>2</sup> )	設計比 <sup>(注1)</sup>
設計地震	Pm	□	□	0.09[0.10] (0.05[0.05])
	Pm+Pb			0.59[0.54] (0.35[0.32])

(注1) 許容値に対する最大応力の比である。

(注2) [ ]内はダッシュポット部応力を示す。

(注3) ( )内は照射の影響を考慮した値を示す。

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-18表 被覆管の応力評価結果(過渡変化時)  
(崩壊熱除去可能な形状の維持)

(単位:N/mm<sup>2</sup>)

項目		応力			相当応力*				
		$\sigma_r$	$\sigma_\theta$	$\sigma_z$					
内外圧差による応力	内面								
	外面								
水力振動による応力	内面								
	外面								
地震による応力	内面								
	外面								
応力の合計	内面								
	外面								
体積平均相当応力									
局所燃焼度 (MWd/t)									
設計基準値									
設計比 <sup>(注2)</sup>									0.32 (0.36) 0.32 (0.36)

(注1) 上段:地震、水力振動による応力を引張方向にとった場合

下段:地震、水力振動による応力を圧縮方向にとった場合

(注2) 設計基準値に対する体積平均相当応力の比である。

(注3) ( )内は地震による応力において照射の影響を考慮した場合に、体積平均相当応力の設計比が最も厳しくなる時の各々の値を示す。

$$* \text{ Mises の相当応力: } \sigma_g = \sqrt{\frac{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2}{2}}$$

□内は商業機密のため、公開できません。

第2-19表 被覆管の応力評価結果(過渡変化時)  
(被覆管の閉じ込め機能の維持)

(単位:N/mm<sup>2</sup>)

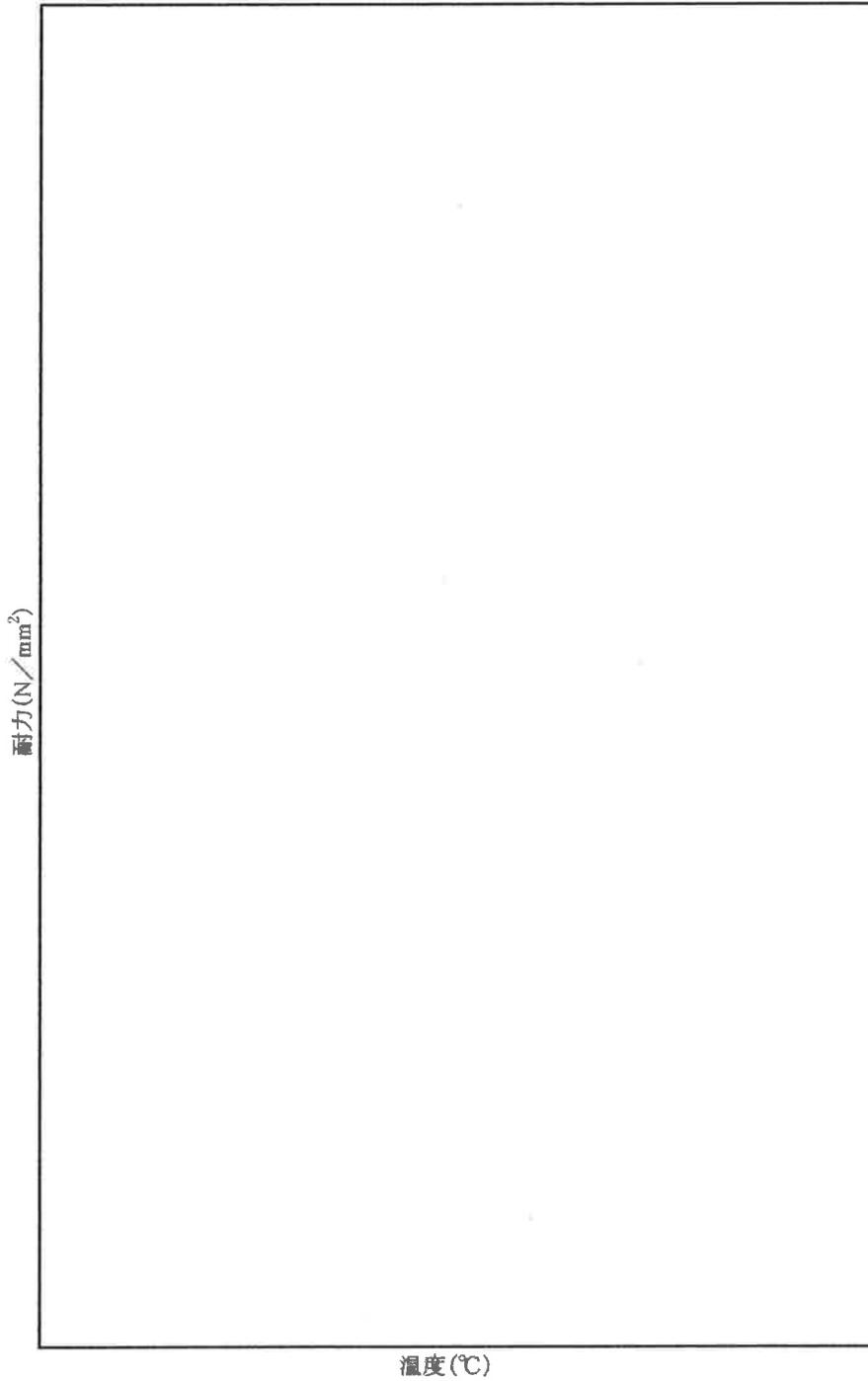
項目		応力			相当応力				
		$\sigma_r$	$\sigma_\theta$	$\sigma_z$					
内外圧差による応力	内面	□	□	□					
	外面								
熱応力	内面								
	外面								
水力振動による応力	内面								
	外面								
地震による応力	内面								
	外面								
応力の合計	内面								
	外面								
体積平均相当応力									
局所燃焼度(MWd/t)									
設計基準値									
設計比 <sup>(注2)</sup>									0.83
					0.83				

(注1) 上段:地震、水力振動による応力を引張方向にとった場合  
下段:地震、水力振動による応力を圧縮方向にとった場合

(注2) 設計基準値に対する体積平均相当応力の比である。

\* Mises の相当応力:  $\sigma_g = \sqrt{\frac{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2}{2}}$

□内は商業機密のため、公開できません。



第 2-23 図 被覆管の耐力(許容応力)

第 2-20 表 MOX 燃料棒の疲労評価結果

(被覆管の閉じ込め機能の維持)

燃料寿命中における累積 疲労損傷係数	地震による 疲労損傷係数	合計	許容値
0.23	0.02	0.25	1

## 5. 参考文献

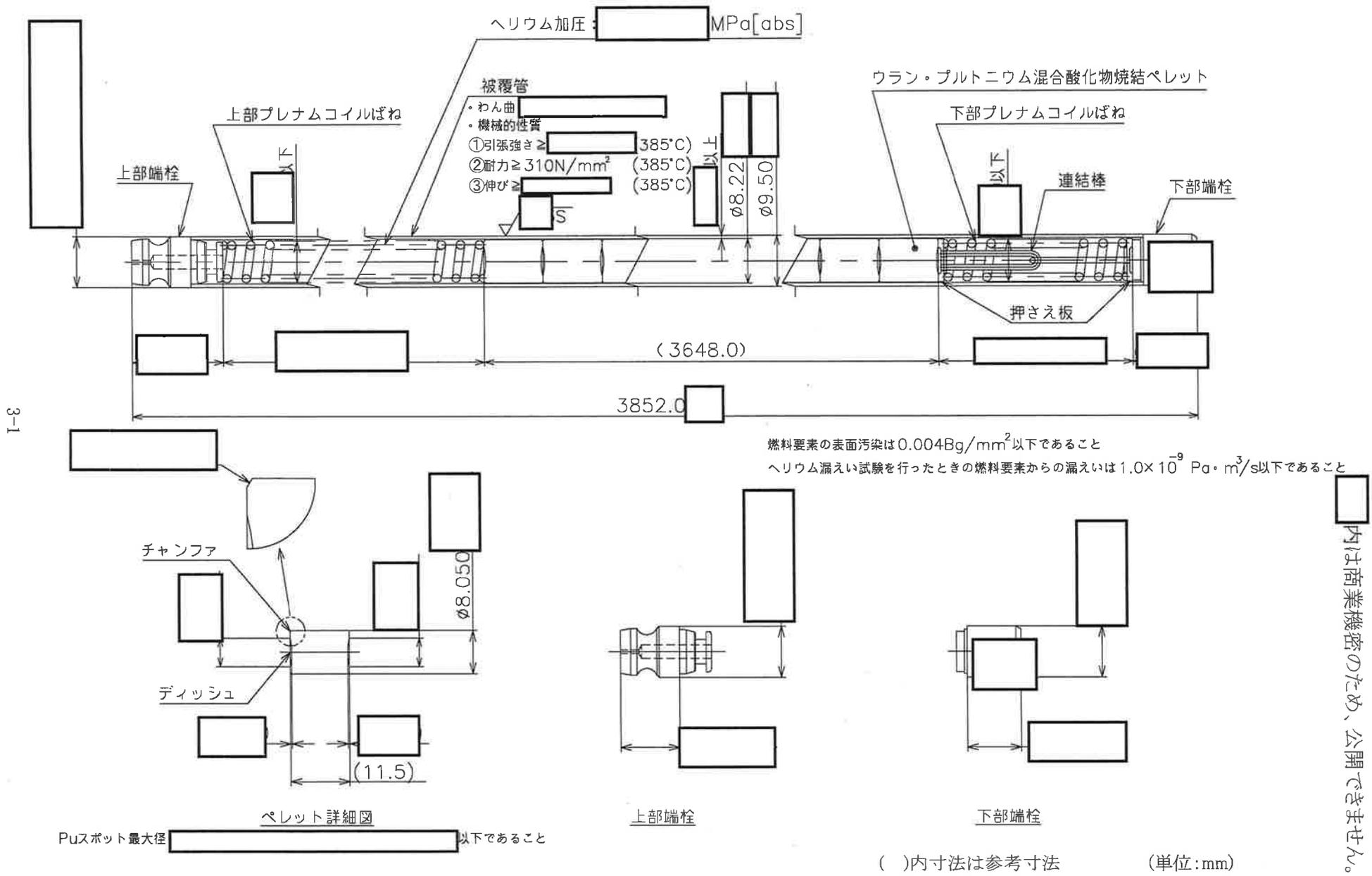
- [1] 原子燃料工業, “燃料棒性能解析コード (FPAC)”, NFK-8011 改 4, 1988
- [2] 原子燃料工業, “MOX 燃料の機械設計”, NFK-8100 改 3, 1998
- [3] M.P.Paidoussis; “An Experimental Study of Vibration of Flexible Cylinders Induced by Nominally Axial Flow”, Nucl. Sci. and Eng. 35 127-138(1969)
- [4] W.J.O'Donnell and B.F.Langer, “Fatigue Design Basis for Zircalloy Components”, Nucl.Sci.and Eng..20, 1964
- [5] 原子燃料工業, “PWR 用燃料耐震設計の概要”, NFK-8015 改 2, 1987

添付書類三

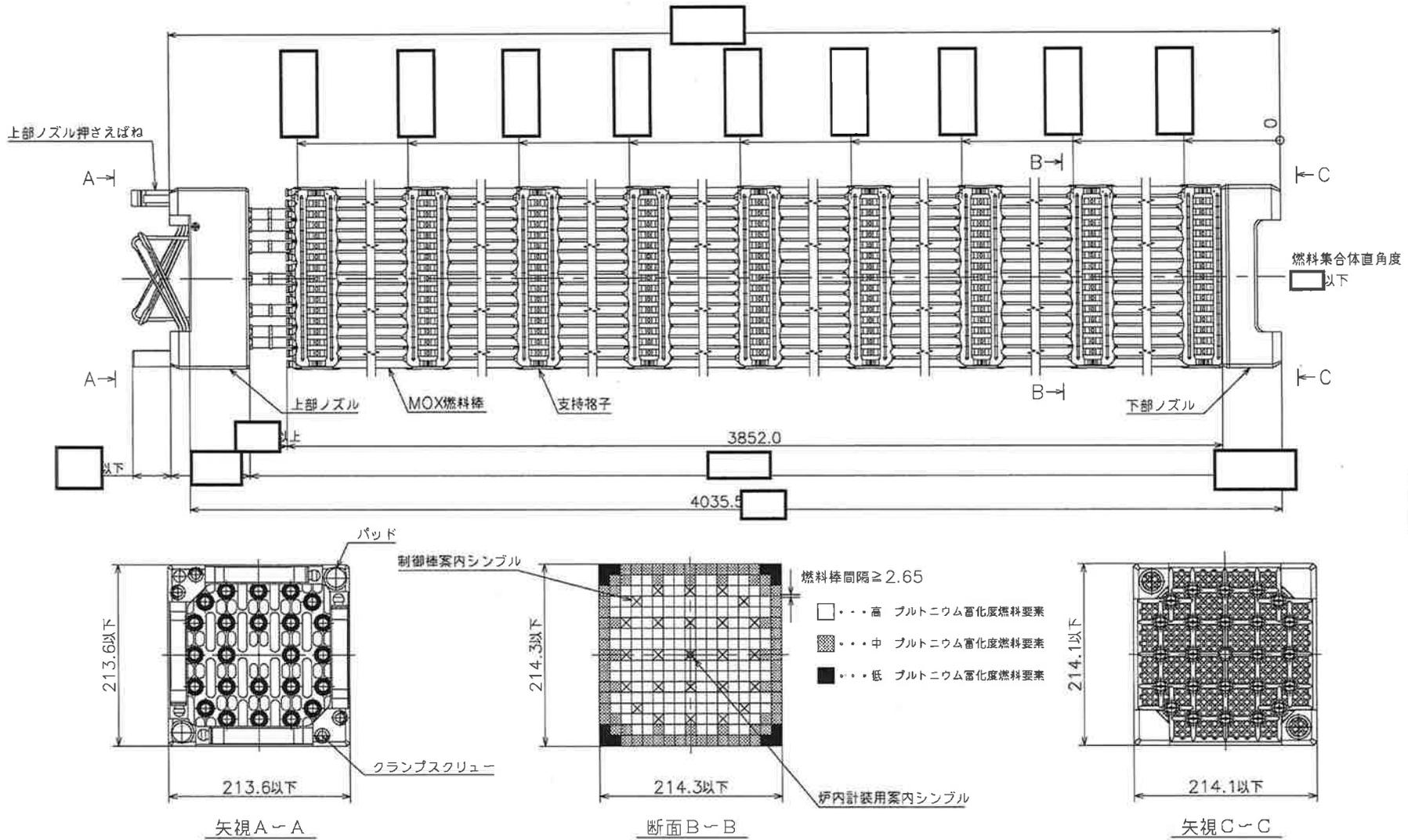
燃料体の構造図

## 燃料体構造図一覧

		頁
第 3-1 図	燃料要素構造図.....	3 - 1
第 3-2 図	燃料集合体構造図.....	3 - 2
第 3-3 図	制御棒案内シンプル構造図.....	3 - 3
第 3-4 図	上部ノズル構造図.....	3 - 4
第 3-5 図	下部ノズル構造図.....	3 - 5
第 3-6 図	上部、下部ノズルと制御棒案内シンプルの結合部構造図.....	3 - 6
第 3-7 図	中間部支持格子詳細図.....	3 - 7
第 3-8 図	最上部支持格子詳細図.....	3 - 8
第 3-9 図	最下部支持格子詳細図.....	3 - 9
第 3-10 図	炉内計装用案内シンプル詳細図.....	3 - 10



第 3-1 図 燃料要素構造図



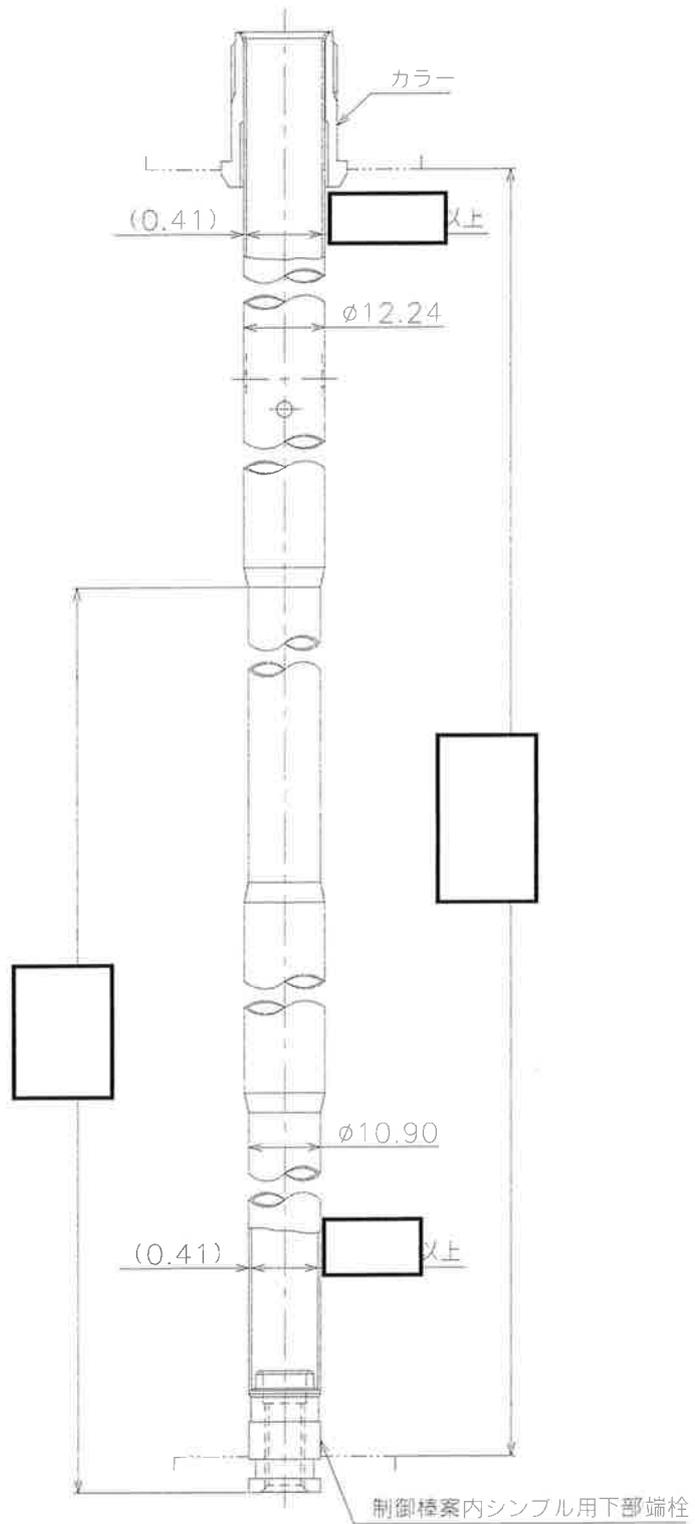
内は商業機密のため、公開できません。

第 3-2 図 燃料集合体構造図

( )内寸法は参考寸法

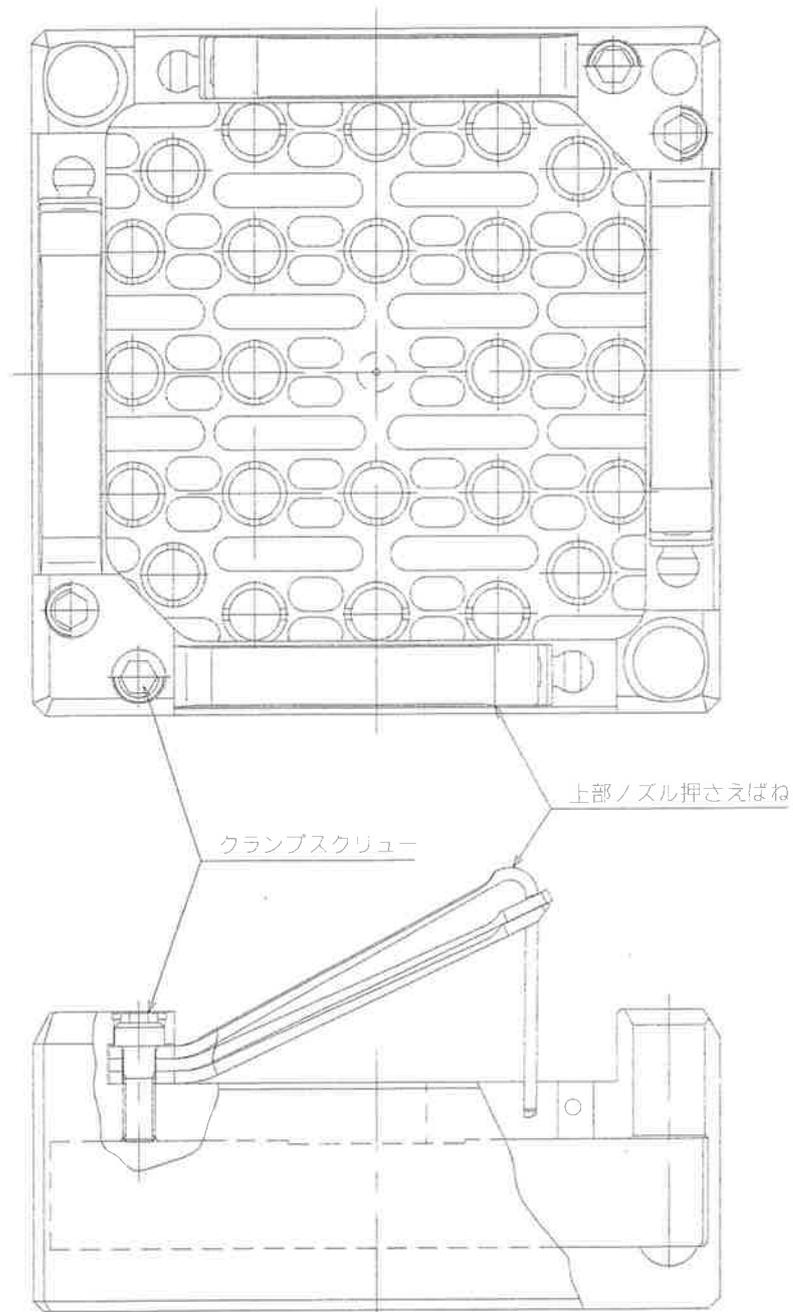
(単位:mm)

□内は商業機密のため、公開できません。

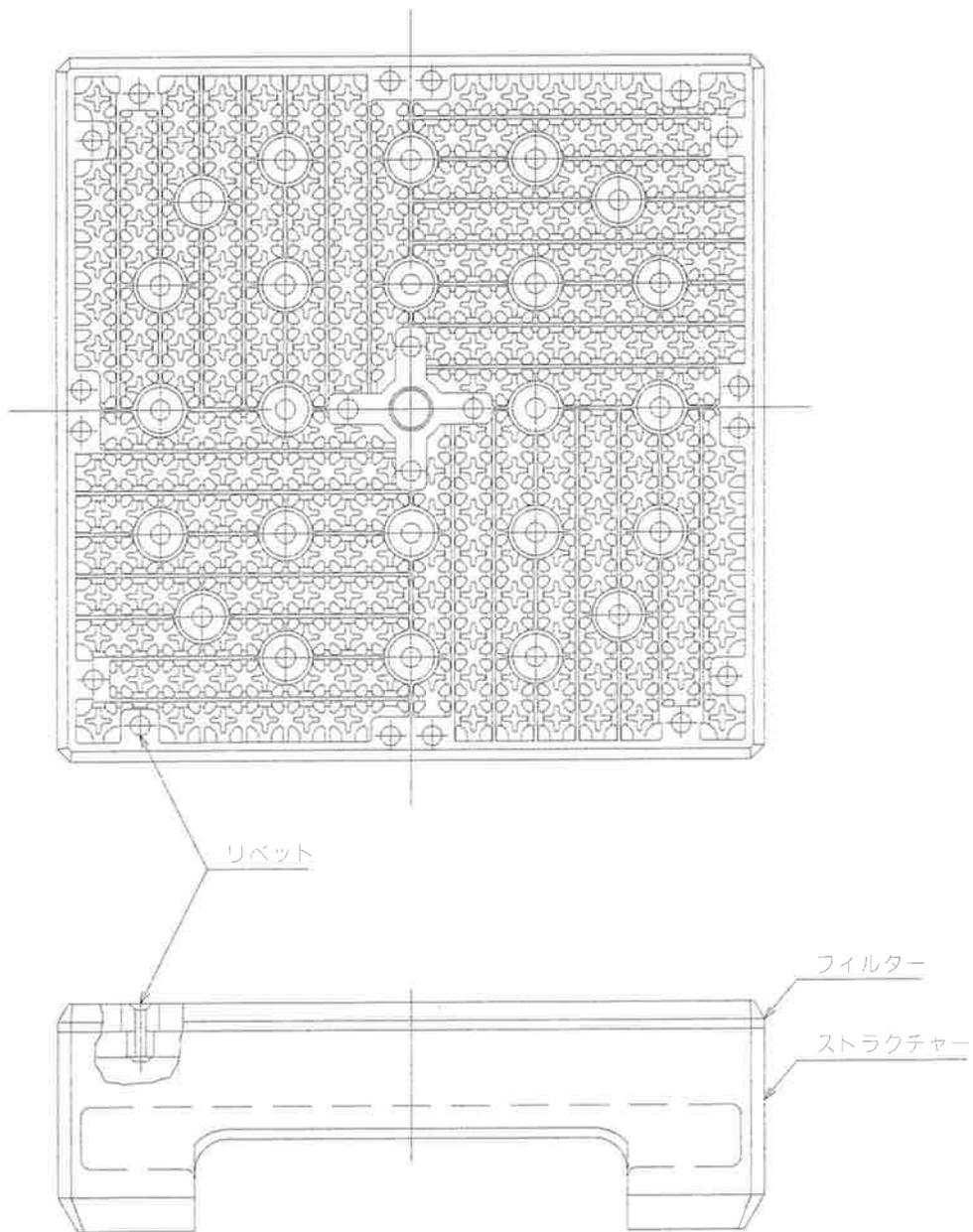


( )内寸法は参考寸法 (単位:mm)

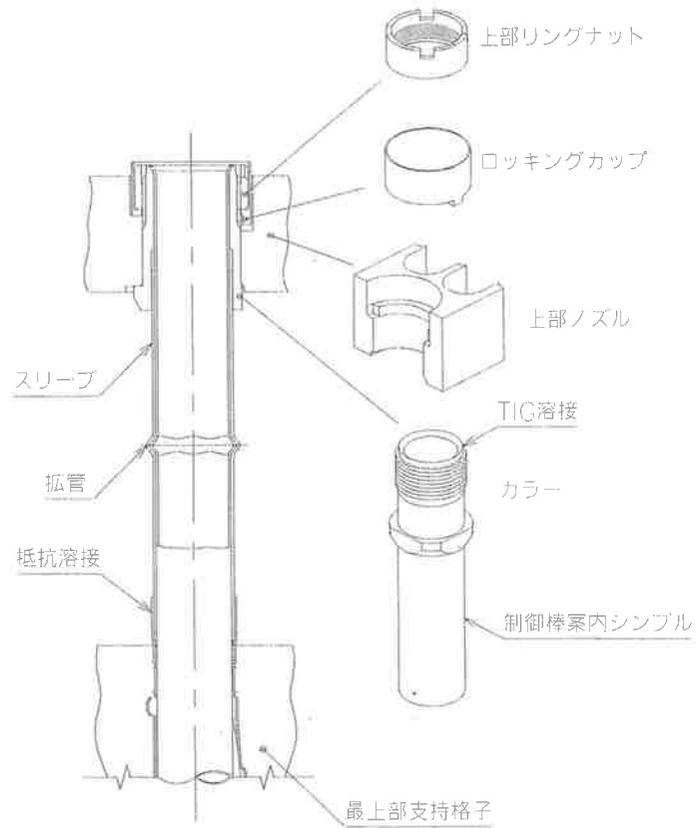
第3-3図 制御棒案内シンプル構造図



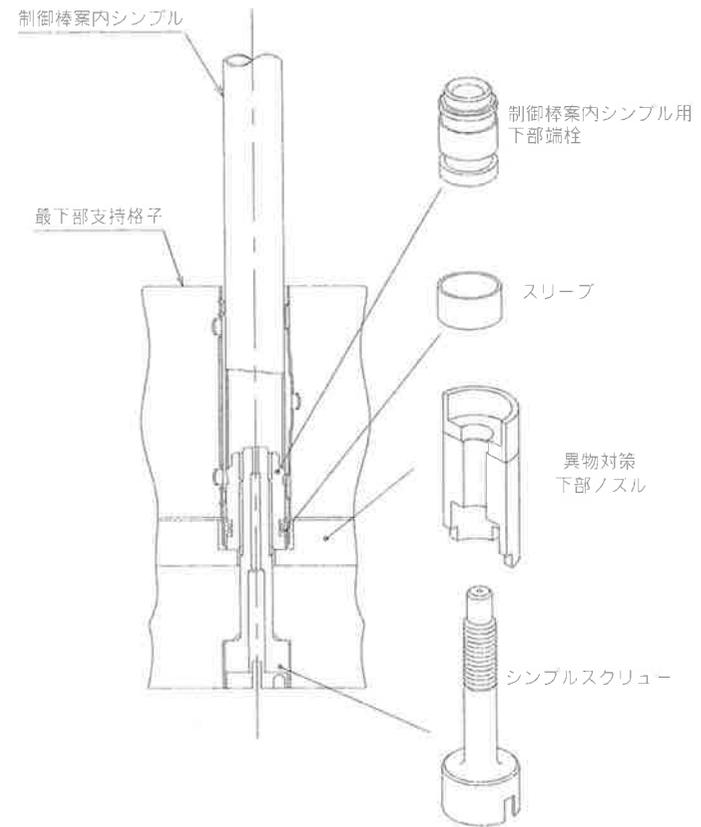
第 3-4 図 上部ノズル構造図



第 3-5 図 下部ノズル構造図



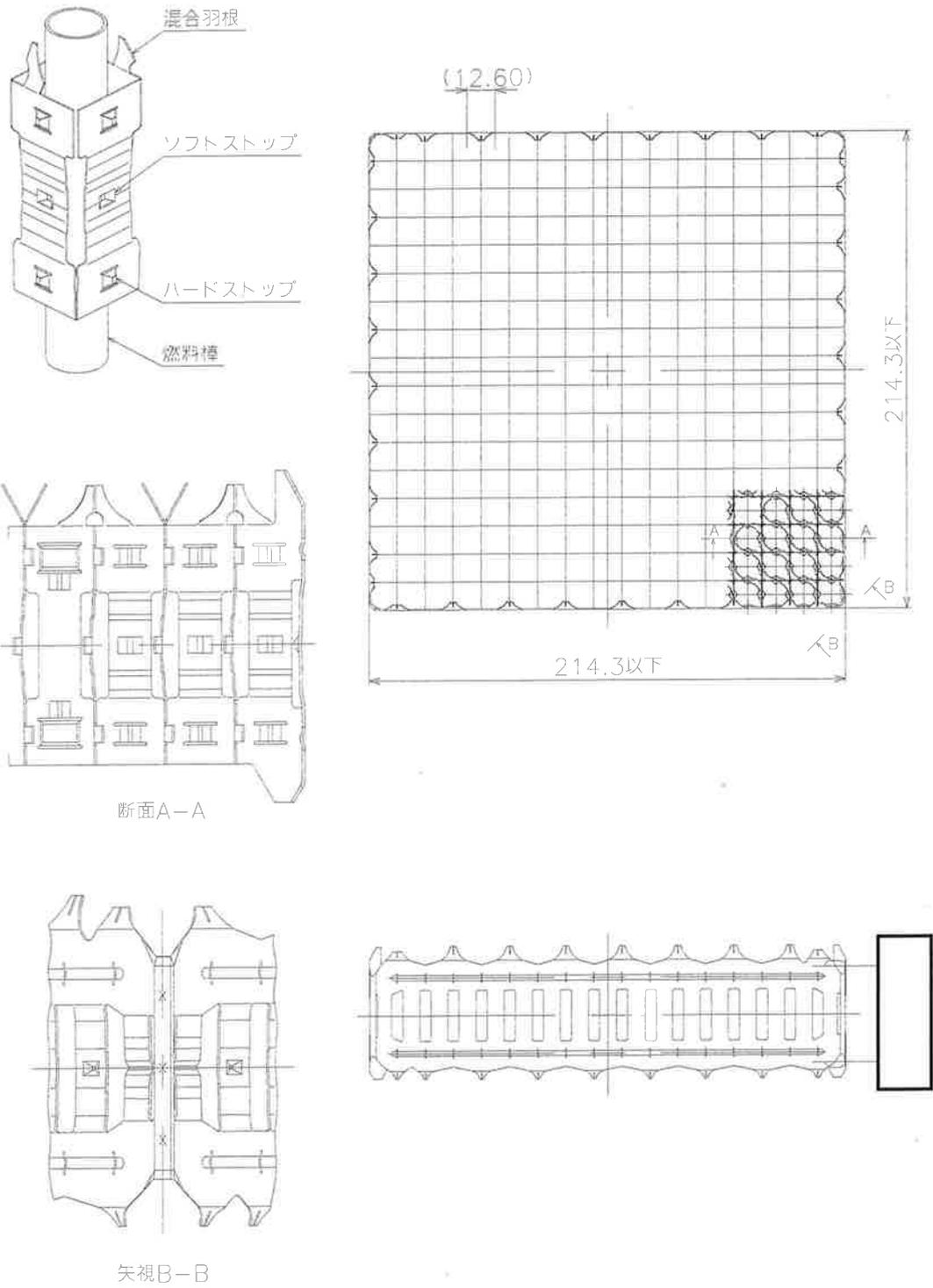
上部ノズルとの結合



下部ノズルとの結合

第3-6図 上部、下部ノズルと制御棒案内シムプルの結合部構造図

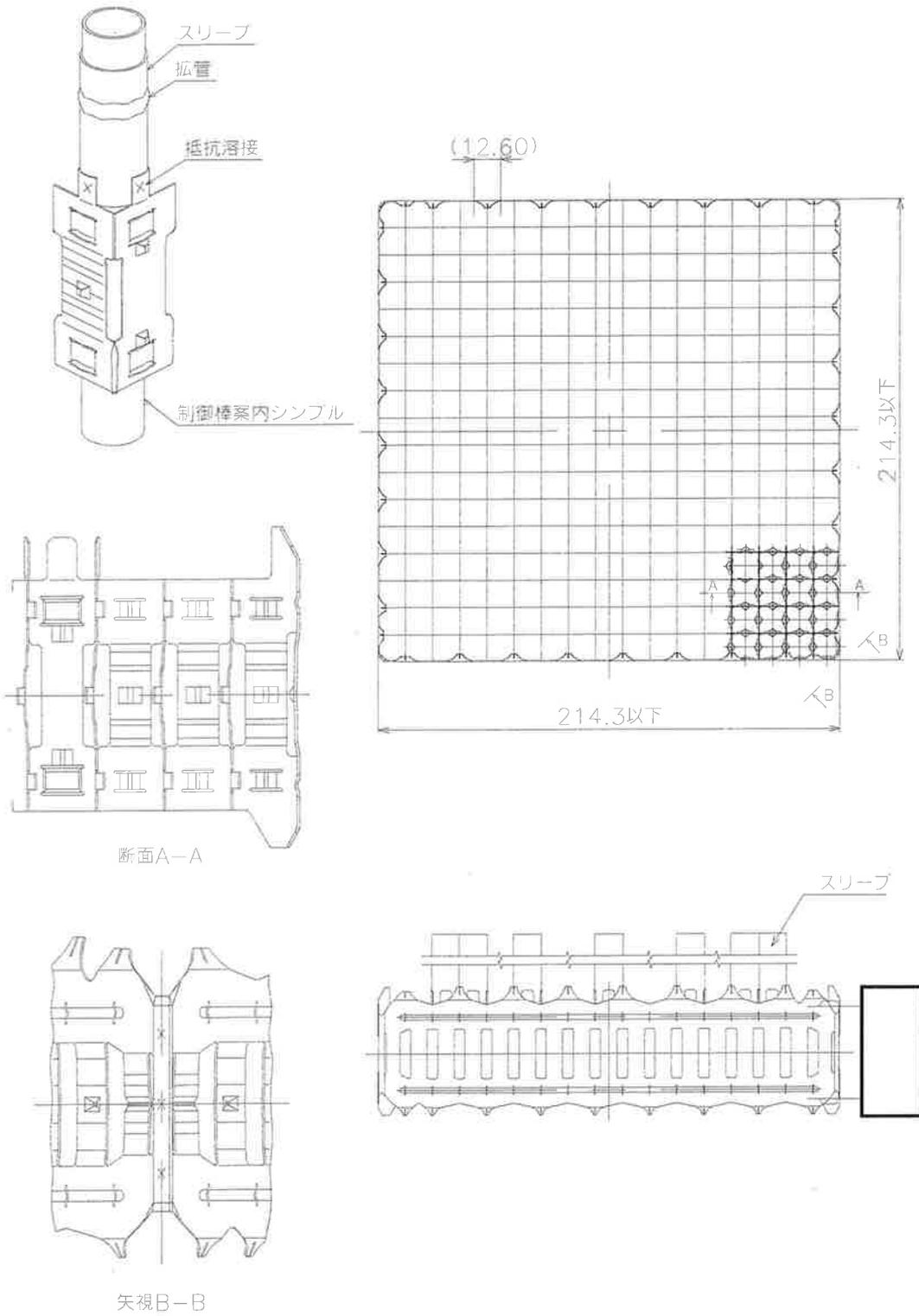
□内は商業機密のため、公開できません。



( )内寸法は参考寸法 (単位:mm)

第3-7図 中間部支持格子詳細図

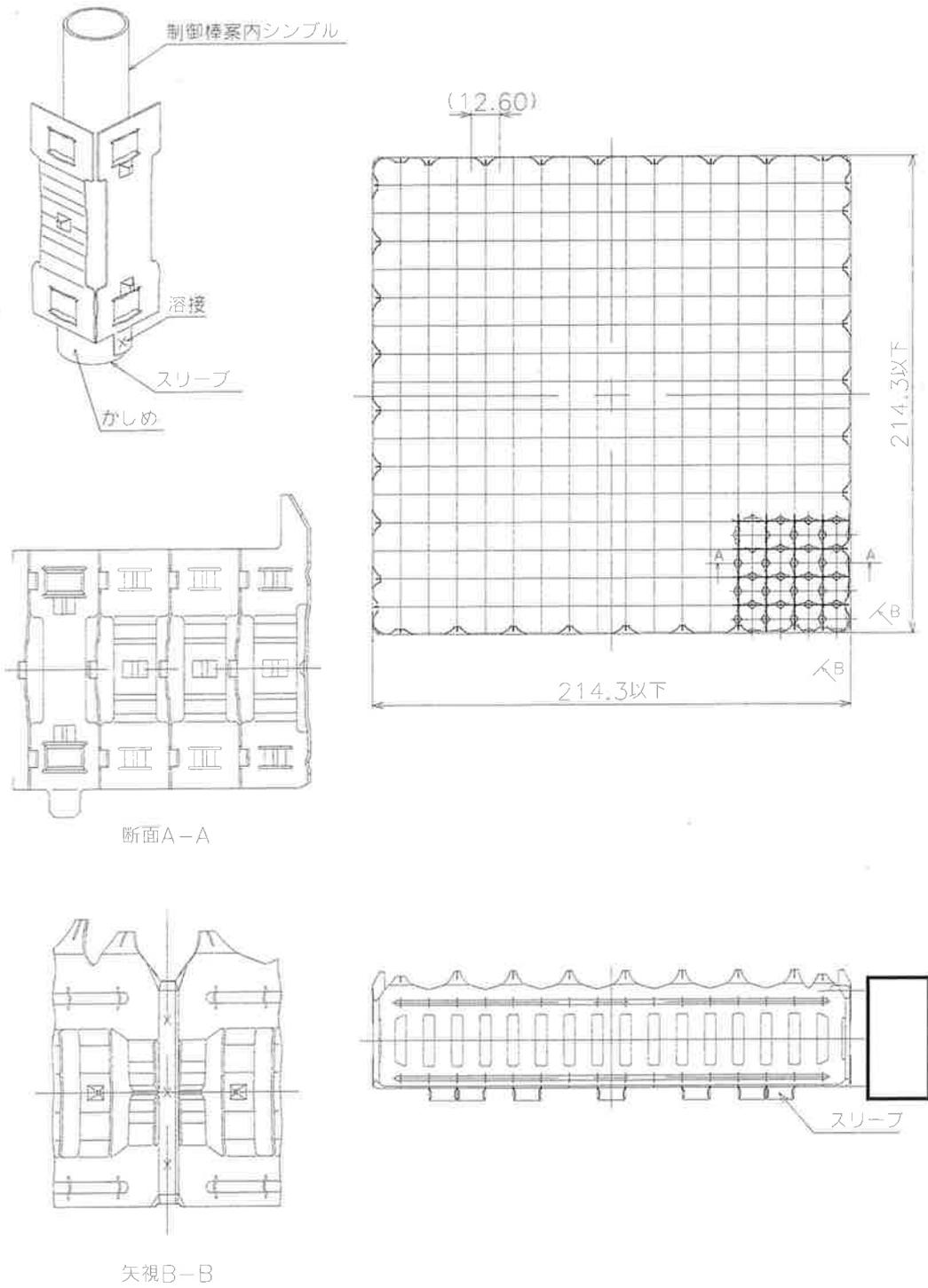
□内は商業機密のため、公開できません。



( )内寸法は参考寸法 (単位:mm)

第3-8図 最上部支持格子詳細図

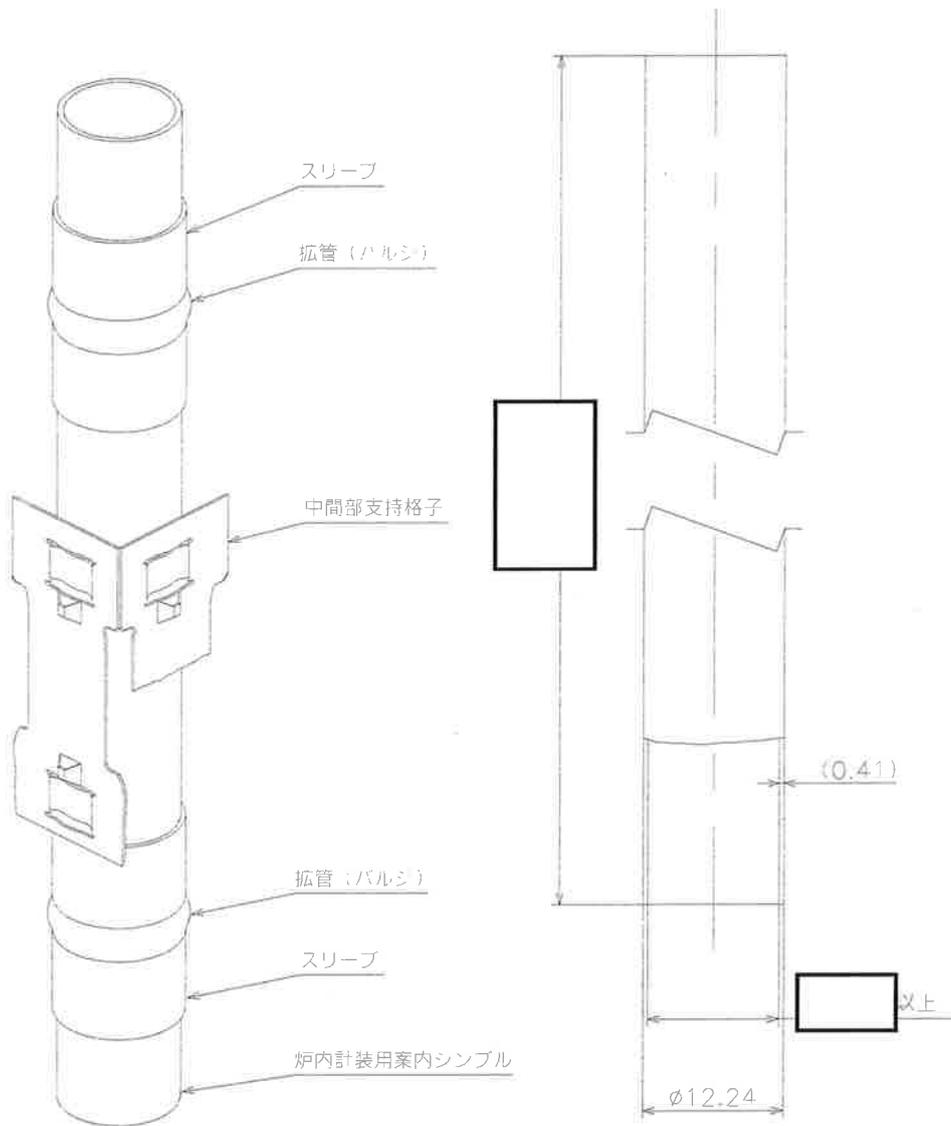
□内は商業機密のため、公開できません。



( )内寸法は参考寸法 (単位:mm)

第3-9図 最下部支持格子詳細図

□内は商業機密のため、公開できません。



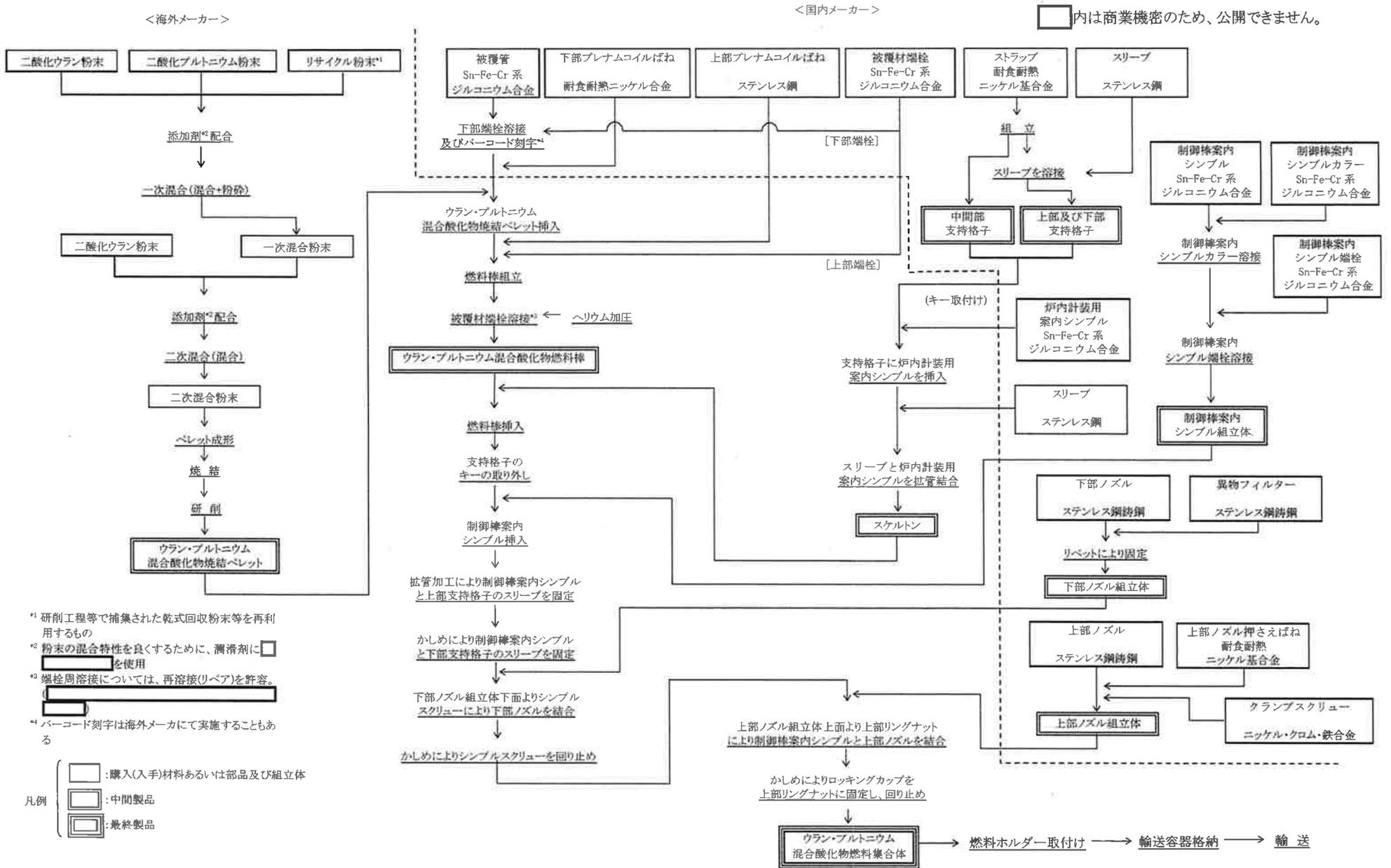
( )内寸法は参考寸法

(単位:mm)

第 3-10 図 炉内計装用案内シムル詳細図

添付書類四

加工のフローシート



第4-1図 燃料集合体の主要組立工程図

添付書類五

燃料材、燃料被覆材その他の部品の組成、構造、強度等に関する試験の計画に関する資料

## 目 次

	頁
1. はじめに .....	5-1
2. 検査の目的 .....	5-1
3. ロットの定義 .....	5-2
4. 検査項目と規定値及び検査方法 .....	5-3
5. 当社検査要領 .....	5-29

## 1. はじめに

本添付書類は、高浜発電所第4号機向けウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の調達にあたり、ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット、燃料要素、燃料体（以下、燃料集合体と称する）、その他の部品の組成、構造、強度等に関する試験の計画について記載したものである。

本ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料は、原子燃料工業株式会社（以下、原燃工と称する）で製造した部品を使用して、仏国オラノサイクル社のメロックス工場（以下、メロックスと称する）にて燃料集合体に加工される。

当社は、ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット、燃料要素並びに燃料集合体の製造期間中、メロックスによる品質管理活動を確認するために、当社検査員をメロックスに派遣し、加工の工程ごとに製品の抜取検査を実施する。また、予め当社から要求し、提出される品質記録の確認を実施する。

原燃工で製造するその他の部品については、原燃工による品質管理活動を確認するために、当社検査員を原燃工工場に派遣し、製品の抜取検査を実施する。また、予め当社から要求し、提出される品質記録の確認を実施する。

なお、本ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料16体については、別途申請する高浜発電所第3号機向け16体とともに、合計32体分の製造及び加工を連続して実施する。このため、製造工程及び加工工程において、それぞれに区別のできる燃料集合体については、本申請に係る16体を対象とした検査を実施し、区別のできないウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット、燃料要素及びその他の部品については、32体分を対象とした検査を実施する。補正申請における試験の結果としては、本申請に係る燃料集合体16体並びに同燃料集合体に使用されたウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット、燃料要素及びその他の部品について記載する。

## 2. 検査の目的

製造されたウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット、燃料被覆管、燃料被覆材端栓、燃料要素、燃料集合体及びその他の部品の検査を行うことにより、定められた仕様を満足していることを確認する。

### 3. ロットの定義

① 副ロットとはメロックス、原燃工、原燃工の調達先における生産又は品質管理に用いる単位としてのロットと同義で、当社の検査単位である主ロットに対し定義づけたものであり、部材ごとには下記のごとく規定している。

a. ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット

粉末製造工程において、均一に混合された粉末に対応したものをいう。

b. 燃料被覆管

被覆管製造工程において一回に焼鈍される量をいう。また、下部端栓の溶接後については、組立工程における管理単位をいう。

c. 燃料被覆材端栓

端栓の種類ごと、ヒートロットごとに仕分けられ、端栓に加工する際の管理単位をいう。

d. その他の部品

部品の種類ごとに仕分けられ、加工・組立工程における管理単位をいう。

e. 燃料要素

燃料要素製造工程における管理単位をいう。

f. 燃料集合体

燃料集合体ごとに定義する。

② 主ロットとは当社の検査単位上、便宜的に定義したもので、副ロットを集積した母集団であり、部材ごとには下記のごとく規定している。

a. ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット、燃料被覆管、燃料被覆材端栓、その他の部品及び燃料要素

高浜発電所第4号機向けウラン・プルトニウム混合酸化物燃料と連続して製造及び加工する高浜発電所第3号機向けウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の副ロットを集積した母集団をいう。

b. 燃料集合体

本申請に係る高浜発電所第4号機向けウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の副ロット（燃料集合体）を集積した母集団をいう。

#### 4. 検査項目と規定値及び検査方法

各検査項目に対し、メロックス、原燃工、原燃工の調達先の規定値、検査方法並びに検査頻度について、以下に示す。



□内は商業機密のため、公開できません。

(1) ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット (2/3)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
3. プルトニウム含有率 (全Pu質量*1) / (全U質量+全Pu質量*1)	公称値□ %相対値 (95 %×95 %)	蛍光X線分析法 及び質量分析法	ロットごと □ □又は □ (□)
4. プルトニウム同位体組成  238Pu 239Pu 240Pu 241Pu 242Pu 241Am	公称値□ wt% 公称値□ wt% 公称値□ wt% 公称値□ wt% 公称値□ wt% 公称値□ wt%	質量分析法 質量分析法 質量分析法 質量分析法 質量分析法 γ線スペクトル分析法	□/ロット
5. 核分裂性プルトニウム 富化度	≤□ wt%	蛍光X線分析法 及び質量分析法	ロットごと □ □ □ □
6. 寸法 ①直径  ②長さ	□ mm □  □ mm	デジタル測長法  デジタル測長法	ロットごと □ □又は □ (□) ロットごと □ □ □又は □ (□)
7. 密度	□ %T. D. □	寸法重量法	ロットごと □ □又は □ (□)
8. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	有害なものがないこと。 (第5-1図参照) 有害な付着物がないこと。	目視検査法  目視検査法	ロットごと □ □ □

\*1全Pu質量には 241Pu から壊変して生じる 241Am を含む。

内は商業機密のため、公開できません。

(1) ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット (3 / 3)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
9. 化学成分 ①ウラン・プルトニウム含有率*2 ②酸素対ウラン・プルトニウム比*2	$\geq$ <input type="text"/> wt% <input type="text"/>	計算法 酸化重量法	<input type="checkbox"/> ロット
10. プルトニウム均一性*3 プルトニウムスポット径	Pu スポット最大径 <input type="text"/> <input type="text"/> $\leq$ <input type="text"/> $\mu\text{m}$	$\alpha$ オートラジオグラフ法	<input type="checkbox"/> ロット

\*2 プルトニウムには  $^{241}\text{Pu}$  から壊変して生じる  $^{241}\text{Am}$  を含む。

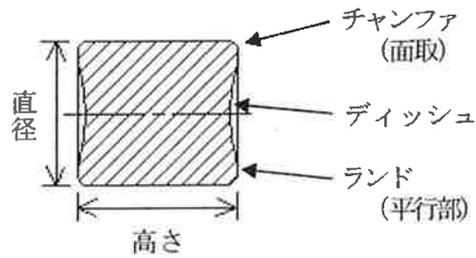
\*3

□内は商業機密のため、公開できません。

第5-1図 外観判定基準

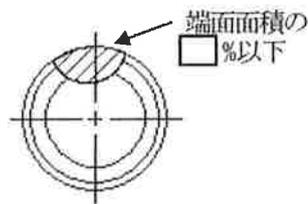
項目	かけ		クラック
	端面	円周面	
合格基準	端面面積の□%以下 □及び□ 面積の□%以下	□面積の□%以下	幅：□mm以下 ただし、□ の場合、□以下 であること。

ペレット解説図

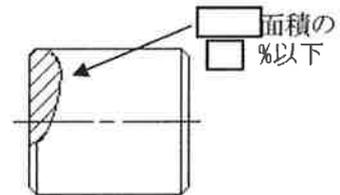


ペレットの外観限界の例

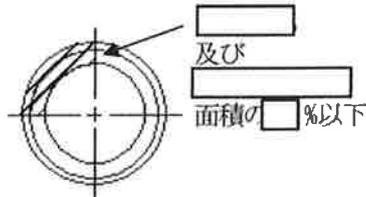
端面かけ (1)



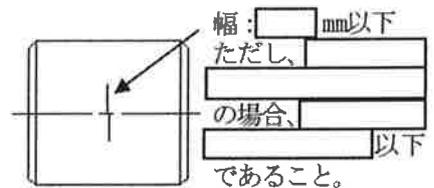
円周面かけ



端面かけ (2)



クラック



内は商業機密のため、公開できません。

(2) 燃料被覆管 (1 / 2)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 寸法 ①内径 ②外径 ③肉厚 ④偏肉率 ⑤溶接部外径* (下部)	<input type="text"/> mm <input type="text"/> mm <input type="text"/> mm <input type="text"/> % <input type="text"/> mm	超音波パルス反射法 超音波パルス反射法 超音波パルス反射法 超音波パルス反射法 限界ゲージ法	<input type="checkbox"/>
2. わん曲	著しく、わん曲して いないこと。	限界ゲージ法又は目視検査法	<input type="checkbox"/>
3. 化学成分 Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (JIS H 4751 ZrTN 804 D 質別 SR)		ガス成分 (O・H・N) は燃料被覆管 材、それ以外はインゴットでの評価	
Sn	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Fe	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Cr	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Fe+Cr	<input type="text"/> wt%	計算法	<input type="checkbox"/> / インゴット
O	<input type="text"/> wt%	熱伝導度分析法又は赤外線吸収法	<input type="checkbox"/> / ロット
Zr	残り	—	
4. 不純物			
Al	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
B	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法、吸光光度分析法 又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Ca	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Cd	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
C	<input type="text"/> ppm	赤外線吸収法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Co	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Cu	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Hf	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
H	<input type="text"/> ppm	熱伝導度分析法又は赤外線吸収法	<input type="checkbox"/> / ロット
Mg	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Mn	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Mo	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Ni	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
N	<input type="text"/> ppm	熱伝導度分析法	<input type="checkbox"/> / ロット
Nb	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Si	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
Ti	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
U	<input type="text"/> ppm	蛍光光度分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
W	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
<input type="text"/>	<input type="text"/> ppm	電位差滴定法又は蛍光 X 線分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
<input type="text"/>	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット
<input type="text"/>	<input type="text"/> ppm	発光分光分析法 又は吸光光度分析法	<input type="checkbox"/> / インゴット

\*下部端栓の溶接部については、下部端栓溶接後に確認する。

内は商業機密のため、公開できません。

(2) 燃料被覆管 (2/2)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
5. 水素化物方位 水素化物方向性係数	$F_n (40^\circ) \leq \square$	顕微鏡試験法 (顕微鏡写真測定法)	<input type="checkbox"/> ロット
6. 欠陥	標準欠陥* <sup>1</sup> に対し、 <input type="checkbox"/> %以下のものは合格とする。	超音波探傷試験法 (標準欠陥信号の <input type="checkbox"/> %を超えるものは、まず同方向で再検査し、同じ位置に信号を検出した場合、 <input type="checkbox"/> %を超えるものは不合格とし、 <input type="checkbox"/> %以下のものは方向を変えて再々検査する。再々検査にて <input type="checkbox"/> %以下であれば合格とする。)	<input type="checkbox"/>
7. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ ③表面の粗さ	深さ <input type="checkbox"/> mm を超えるきずのないこと。 有害な付着物がないこと。 <input type="checkbox"/> S	目視検査法  目視検査法 目視検査法	<input type="checkbox"/>
8. 耐食性	外観 表面に著しい白色又は褐色の酸化物の付着がないこと。  腐食質量増加 $\leq \square \text{ mg/dm}^2 / \square \text{ 時間}$ ただし、 $\leq \square \text{ mg/dm}^2 / \square \text{ 時間}$ であればよい。	目視検査法  腐食試験法 (オートクレーブ法)	<input type="checkbox"/> ロット
9. 機械的性質 応力除去焼きなまし材 ①引張強さ ②耐力 ③伸び	$\geq \square \text{ N/mm}^2$ $\geq 310 \text{ N/mm}^2$ $\geq \square \%$	引張試験法 (385 °C) 引張試験法 (385 °C) 引張試験法 (385 °C)	<input type="checkbox"/> ロット
10. 溶接部の健全性* <sup>2</sup> (下部)	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。 (第5-1表参照)	目視検査法及び放射線透過法	<input type="checkbox"/>

\*<sup>1</sup> 標準欠陥：長さ mm 以下、幅 mm 以下、深さ mm 以下の人工欠陥。

\*<sup>2</sup> 下部端栓の溶接部については、下部端栓溶接後に確認する。

内は商業機密のため、公開できません。

(3) 燃料被覆材端栓 (1 / 3)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 機械的性質 再結晶焼きなまし材 ①引張強さ ②耐力 ③伸び  又は ①引張強さ ②耐力 ③伸び	$\geq$ <input type="text"/> N/mm <sup>2</sup> $\geq$ <input type="text"/> N/mm <sup>2</sup> $\geq$ <input type="text"/> %  $\geq$ <input type="text"/> N/mm <sup>2</sup> $\geq$ <input type="text"/> N/mm <sup>2</sup> $\geq$ <input type="text"/> %	引張試験法 (室温) 引張試験法 (室温) 引張試験法 (室温)  引張試験法 (316 °C) 引張試験法 (316 °C) 引張試験法 (316 °C)	<input type="checkbox"/> ロット
2. 寸法 ①頭部長さ (長さ)        ②外径 (最大径)	(上部端栓) <input type="text"/> mm <input type="text"/>  (下部端栓) <input type="text"/> mm <input type="text"/>  (上部端栓) <input type="text"/> mm <input type="text"/>  (下部端栓) <input type="text"/> mm <input type="text"/>	ノギス法、デジタル測長法 又は光学式寸法測定法  ノギス法、デジタル測長法 又は光学式寸法測定法  マイクロメータ法、デジタル測長法 又は光学式寸法測定法  マイクロメータ法、デジタル測長法 又は光学式寸法測定法	ロットごと <input type="text"/> <input type="text"/>

内は商業機密のため、公開できません。

(3) 燃料被覆材端栓 (2 / 3)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
3. 化学成分 Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (ASTM B351 R60804・ JIS H 4751 ZrTN 804 D相当)		ガス成分 (O・H・N) は棒材、 それ以外はインゴットでの評価	
Sn	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Fe	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Cr	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Fe+Cr	<input type="text"/> wt%	計算法	<input type="checkbox"/> インゴット
O	<input type="text"/> wt%	赤外線吸収法	<input type="checkbox"/> ロット
Zr	残り	—	
4. 不純物			
Al	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
B	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法、吸光度分析法 又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Ca	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Cd	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
C	≦ <input type="text"/> ppm	赤外線吸収法	<input type="checkbox"/> インゴット
Co	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Cu	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Hf	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
H	≦ <input type="text"/> ppm	熱伝導度分析法	<input type="checkbox"/> ロット
Mg	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Mn	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Mo	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Ni	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
N	≦ <input type="text"/> ppm	熱伝導度分析法又は中和滴定法	<input type="checkbox"/> ロット
Nb	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Si	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Ti	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
U	≦ <input type="text"/> ppm	蛍光光度分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
W	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
<input type="text"/>	≦ <input type="text"/> ppm	電位差滴定法	<input type="checkbox"/> インゴット
<input type="text"/>	≦ <input type="text"/> ppm	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット

内は商業機密のため、公開できません。

(3) 燃料被覆材端栓 (3 / 3)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
5. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。	目視検査法 目視検査法	<input type="checkbox"/>
6. 耐食性	外観 表面に著しい白色又は褐色の酸化物の付着がないこと。  腐食質量増加 $\leq$ <input type="checkbox"/> mg/dm <sup>2</sup> / <input type="checkbox"/> 時間 ただし、 $\leq$ <input type="checkbox"/> mg/dm <sup>2</sup> / <input type="checkbox"/> 時間 であればよい。	目視検査法   腐食試験法 (オートクレーブ法)	<input checked="" type="checkbox"/> ロット

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品① (支持格子)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 寸法 ①外寸	<input type="text"/> mm (最大)	限界ゲージ法	<input type="text"/>
2. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。	目視検査法 目視検査法	<input type="text"/>
3. 化学成分 耐食耐熱 ニッケル基合金 (AMS 5596)			<input checked="" type="checkbox"/> ロット
Ni	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
Cr	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
Mo	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
Nb	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
Ti	<input type="text"/> wt%	又は発光分光分析法	
Al	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
C	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
Mn	<input type="text"/> wt%	赤外線吸収法	
Si	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
P	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
S	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法	
Co	<input type="text"/> wt%	赤外線吸収法	
B	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
Cu	<input type="text"/> wt%	又は発光分光分析法	
Ta	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法	
Fe	残り	発光分光分析法	
4. 機械的性質 ①引張強さ	$\geq$ <input type="text"/> N/mm <sup>2</sup>	引張試験法 (室温、時効処理後)	<input checked="" type="checkbox"/> ロット
②耐力	$\geq$ <input type="text"/> N/mm <sup>2</sup>	引張試験法 (室温、時効処理後)	
③伸び	$\geq$ <input type="text"/> %	引張試験法 (室温、時効処理後)	

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品② (上部ノズル, 下部ノズル)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 寸法 ①外寸  ②高さ	(上部ノズル) <input type="checkbox"/> 213.60 mm (下部ノズル) <input type="checkbox"/> 214.10 mm  (上部ノズル) <input type="checkbox"/> mm (下部ノズル) <input type="checkbox"/> mm	ノギス法、マイクロメータ法 又はデジタル測長法 ノギス法、マイクロメータ法 又はデジタル測長法  ノギス法、マイクロメータ法 又は三次元座標測定法 ノギス法、マイクロメータ法 又は三次元座標測定法	<input type="checkbox"/>
2. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ ③識別番号	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。 上部ノズルには規定通りの 刻印番号が付与されている こと。	目視検査法 目視検査法 目視検査法	<input type="checkbox"/>
3. 化学成分 ステンレス鋼 <input type="checkbox"/>  Ni Cr <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> wt% <input type="checkbox"/> wt%	蛍光X線分析法 蛍光X線分析法 蛍光X線分析法 蛍光X線分析法 赤外線吸収法 赤外線吸収法 蛍光X線分析法 蛍光X線分析法 蛍光X線分析法	<input checked="" type="checkbox"/> ロット
4. 機械的性質 ①引張強さ ②耐力 ③伸び	<input type="checkbox"/> N/mm <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> N/mm <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> %	引張試験法 (室温) 引張試験法 (室温) 引張試験法 (室温)	<input checked="" type="checkbox"/> ロット

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品③ (制御棒案内シンプル)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 寸法 ①外径 ②肉厚	(太径部) <input type="text"/> mm (細径部) <input type="text"/> mm (太径部) $\geq$ <input type="text"/> mm (細径部) $\geq$ <input type="text"/> mm	超音波パルス反射法 超音波パルス反射法 超音波パルス反射法 超音波パルス反射法	<input type="checkbox"/>
2. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。	目視検査法 目視検査法	<input type="checkbox"/>
3. 化学成分 Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (ASTM B353 R60804)  Sn Fe Cr Fe+Cr O  Zr	<input type="text"/> wt% <input type="text"/> wt% <input type="text"/> wt% <input type="text"/> wt% <input type="text"/> wt%  残り	ガス成分 (O) は製品管、 それ以外はインゴットでの評価  発光分光分析法又は質量分析法 発光分光分析法 発光分光分析法又は質量分析法 計算法 熱伝導度分析法 又は赤外線吸収法 —	<input type="checkbox"/> /インゴット <input checked="" type="checkbox"/> /インゴット <input checked="" type="checkbox"/> /インゴット <input checked="" type="checkbox"/> /インゴット <input checked="" type="checkbox"/> /ロット
4. 機械的性質 ①引張強さ ②耐力 ③伸び	$\leq$ <input type="text"/> N/mm <sup>2</sup> $\leq$ <input type="text"/> N/mm <sup>2</sup> $\leq$ <input type="text"/> %	引張試験法 (室温) 引張試験法 (室温) 引張試験法 (室温)	<input checked="" type="checkbox"/> /ロット

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品④ (上部プレナムコイルばね)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 寸法 ① コイル外径	$\leq$ <input type="text"/> mm	マイクロメータ法	ロットごと <input type="text"/> <input type="text"/>
2. ばね定数	<input type="text"/> N/mm	引張試験機 (ばね定数測定機)	ロットごと <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
3. 外観 ① 割れ、きず等 ② 表面の汚れ	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。	目視検査法 目視検査法	<input type="text"/>
4. 化学成分 ステンレス鋼 (JIS <input type="text"/> <input type="text"/> )  Ni  Cr  <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> C <input type="text"/>	<input type="text"/> wt%  <input type="text"/> wt%  $\leq$ <input type="text"/> wt% $\leq$ <input type="text"/> wt% $\leq$ <input type="text"/> wt% $\leq$ <input type="text"/> wt% $\leq$ <input type="text"/> wt%	発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 又は蛍光X線分析法 赤外線吸収法 赤外線吸収法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法	<input checked="" type="checkbox"/> ロット



□内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑤ (下部プレナムコイルばね\*) (2/2)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
②押さえ板 ステンレス鋼 (JIS □ □ □ Ni □ wt% Cr □ wt% □ ≦ □ wt% □ ≦ □ wt% □ ≦ □ wt% C □ wt% □ ≦ □ wt%	□ wt% □ wt% □ wt% □ wt% □ wt% □ wt% □ wt% □ wt%	発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 赤外線吸収法 赤外線吸収法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法	<input type="checkbox"/> ロット
③連結棒 ステンレス鋼 (JIS □ □)	□ wt% □ wt% □ wt% □ wt% □ wt% □ wt% □ wt% □ wt%	発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 赤外線吸収法 赤外線吸収法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法	<input type="checkbox"/> ロット

\*本表において、「下部プレナムコイルばね」はコイルばねと部品を組み立てたものをいう。

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑥ (炉内計装用案内シンプル)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 寸法 ①外径 ②肉厚	<input type="text"/> mm ≧ <input type="text"/> mm	超音波パルス反射法 超音波パルス反射法	<input type="text"/>
2. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。	目視検査法 目視検査法	<input type="text"/>
3. 化学成分 Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (ASTM B353 R60804)		ガス成分 (0) は製品管、 それ以外はインゴットでの評価	
Sn	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法又は質量分析法	<input type="checkbox"/> インゴット
Fe	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法	<input checked="" type="checkbox"/> インゴット
Cr	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法又は質量分析法	<input checked="" type="checkbox"/> インゴット
Fe+Cr	<input type="text"/> wt%	計算法	<input checked="" type="checkbox"/> インゴット
0	<input type="text"/> wt%	熱伝導度分析法 又は赤外線吸収法	<input checked="" type="checkbox"/> ロット
Zr	残り	—	

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑦ (制御棒案内シンプル用下部端栓, カラー)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。	目視検査法 目視検査法	<input type="checkbox"/>
2. 化学成分 Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (ASTM B351 R60804)		ガス成分 (O) は製品管、 それ以外はインゴットでの評価	
Sn	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法又は質量分析法	<input checked="" type="checkbox"/> インゴット
Fe	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法	<input checked="" type="checkbox"/> インゴット
Cr	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法又は質量分析法	<input checked="" type="checkbox"/> インゴット
Fe+Cr	<input type="text"/> wt%	計算法	<input checked="" type="checkbox"/> インゴット
O	<input type="text"/> wt%	赤外線吸収法	<input type="checkbox"/> ロット
Zr	残り	—	

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑧ (上部ノズル押さえばね)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。	目視検査法 目視検査法	<input type="checkbox"/>
2. 化学成分 耐食耐熱 ニッケル基合金 (AMS 5596)			<input type="checkbox"/> ロット
Ni	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
Cr	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
Mo	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
Nb	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
		又は発光分光分析法	
Ti	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
Al	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
C	<input type="text"/> wt%	赤外線吸収法	
Mn	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
Si	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
P	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
		又は発光分光分析法	
S	<input type="text"/> wt%	赤外線吸収法	
Co	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
		又は発光分光分析法	
B	<input type="text"/> wt%	発光分光分析法	
		又は吸光光度分析法	
Cu	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
Ta	<input type="text"/> wt%	蛍光X線分析法	
		又は発光分光分析法	
Fe	残り	—	

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑨ (クランプスクリュー)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。	目視検査法 目視検査法	<input type="checkbox"/>
2. 化学成分 ニッケル・クロム・鉄 合金 (ASTM <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> )  Ni Cr Fe <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	$\leq$ <input type="checkbox"/> wt% <input type="checkbox"/> wt% <input type="checkbox"/> wt% $\leq$ <input type="checkbox"/> wt%	蛍光X線分析法 蛍光X線分析法 蛍光X線分析法 蛍光X線分析法 赤外線吸収法 蛍光X線分析法 蛍光X線分析法 赤外線吸収法	<input type="checkbox"/> /ロット

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑩ (上部リングナット, シンプルスクリュー, ロッキングカップ)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。	目視検査法 目視検査法	<input type="checkbox"/>
2. 化学成分 ステンレス鋼 (JIS <input type="checkbox"/> )			<input checked="" type="checkbox"/> ロット
Ni	<input type="checkbox"/> wt%	発光分光分析法 又は蛍光X線分析法	
Cr	<input type="checkbox"/> wt%	発光分光分析法 又は蛍光X線分析法	
<input type="checkbox"/>	≦ <input type="checkbox"/> wt%	発光分光分析法 又は蛍光X線分析法	
<input type="checkbox"/>	≦ <input type="checkbox"/> wt%	発光分光分析法 又は蛍光X線分析法	
<input type="checkbox"/>	≦ <input type="checkbox"/> wt%	赤外線吸収法	
C	≦ <input type="checkbox"/> wt%	赤外線吸収法	
<input type="checkbox"/>	≦ <input type="checkbox"/> wt%	発光分光分析法 又は蛍光X線分析法	

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品① (スリーブ)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。	目視検査法 目視検査法	<input type="checkbox"/>
2. 化学成分 ステンレス鋼  (JIS <input type="text"/> )  Ni <input type="text"/> wt% Cr <input type="text"/> wt% <input type="text"/> <input type="text"/> wt% <input type="text"/> <input type="text"/> wt% <input type="text"/> <input type="text"/> wt% C <input type="text"/> wt% <input type="text"/> <input type="text"/> wt%  又は (JIS <input type="text"/> )  Ni <input type="text"/> wt% Cr <input type="text"/> wt% <input type="text"/> <input type="text"/> wt% <input type="text"/> <input type="text"/> wt% <input type="text"/> <input type="text"/> wt% C <input type="text"/> wt% <input type="text"/> <input type="text"/> wt%		発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 赤外線吸収法 又は発光分光分析法 赤外線吸収法 又は発光分光分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法  発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 赤外線吸収法 又は発光分光分析法 赤外線吸収法 又は発光分光分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法	<input checked="" type="checkbox"/> ロット

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑫ (リベット)

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。	目視検査法 目視検査法	<input type="checkbox"/>
2. 化学成分 ステンレス鋼 (JIS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> )  Ni  Cr  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  C  <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/> wt%  <input type="checkbox"/> wt%  <input type="checkbox"/> wt%  <input type="checkbox"/> wt%  <input type="checkbox"/> wt%  <input type="checkbox"/> wt%  <input type="checkbox"/> wt%	 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法 赤外線吸収法 又は発光分光分析法 赤外線吸収法 又は発光分光分析法 発光分光分析法 又は蛍光X線分析法	<input checked="" type="checkbox"/> ロット

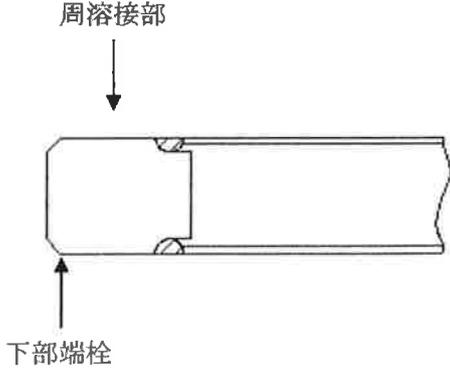
□内は商業機密のため、公開できません。

(5) 燃料要素

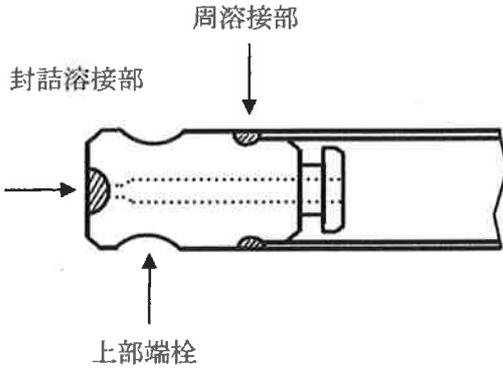
検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 寸法 ①全長	□ mm	デジタル測長法 又はマイクロメータ法	全数
②プレナム長さ	(上部プレナム) □ mm (下部プレナム) □ mm	渦電流法	
③溶接部外径 (上部)	≦ □ mm	放射線透過法 限界ゲージ法	
2. わん曲	≦ □ mm	デジタル測長法又は限界ゲージ法	全数
3. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ ③部品の欠如	被覆管部に深さ□ mmを 超えるきずのないこと。 有害な付着物がないこと。 部品の欠如がないこと。	目視検査法 目視検査法 目視検査法及び放射線透過法	全数
4. 表面汚染 α汚染	≦ □ Bq/cm <sup>2</sup>	ふきとり式放射性表面汚染測定法 (スミヤ法)	全数
5. ヘリウム漏えい	≦ □ Pa・m <sup>3</sup> /s	ヘリウム漏えい試験法	全数
6. 溶接部の健全性 (上部)	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。 (第5-2表参照)	目視検査法及び放射線透過法	全数
7. 初期ヘリウム圧力	□ MPa[gauge]	ゲージ法	全数

□内は商業機密のため、公開できません。

第5-1表 溶接部（下部）判定基準（透過写真）

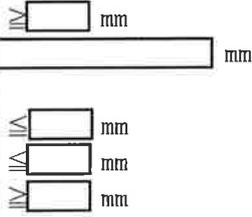
判定基準（透過写真の品質レベル：□）	
周溶接部	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. クラックのないこと。</li> <li>2. ポロシティー（含むブローホール）は、認められないこと。</li> <li>3. 肉厚は、□であること。</li> <li>4. 溶け込みは、□こと。</li> <li>5. タングステンは、□ mm以下であること。</li> <li>6. アンダーカットは、□ mm以下であること。</li> </ol>
	 <p>周溶接部</p> <p>下部端栓</p>

第5-2表 溶接部（上部）判定基準（透過写真）

判定基準（透過写真の品質レベル：□）	
周溶接部	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. クラックのないこと。</li> <li>2. ポロシティー（含むブローホール）は、□ mm以下であること。</li> <li>3. 肉厚は、□であること。</li> <li>4. 溶け込みは、□こと。</li> <li>5. タングステンは、□ mm以下であること。</li> <li>6. アンダーカットは、認められないこと。</li> </ol>
封詰溶接部	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. クラックのないこと。</li> <li>2. ポロシティー（含むブローホール）は、□ mm以下であること。</li> <li>3. 溶け込みは、□であること。</li> <li>4. タングステンは、□ mm以下であること。</li> </ol>
	 <p>周溶接部</p> <p>封詰溶接部</p> <p>上部端栓</p>

□内は商業機密のため、公開できません。

(6) 燃料集合体

検査項目	規定値	検査方法	検査頻度
1. 寸法 ①燃料要素間隔 ②全長  ③エンベロープ ④直角度 ⑤上部ノズル下面と燃料要素上端の間隔	 <p> <math>\leq</math> □ mm            □ mm   <math>\leq</math> □ mm  <math>\leq</math> □ mm  <math>\leq</math> □ mm         </p>	デジタル測長法 デジタル測長法又は デジタル測長法及びノギス法 デジタル測長法 デジタル測長法又は測量法 限界ゲージ法	全数
2. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ ③部品の欠如 ④燃料集合体番号  ⑤燃料要素配列・配置	有害なものがないこと。 有害な付着物がないこと。 部品の欠如がないこと。 燃料集合体には規定通りの 刻印番号が付与されている こと。 所定の位置に組み込まれて いること。	目視検査法 目視検査法 目視検査法 目視検査法  燃料要素組込位置記録の確認	全数
3. 総質量	□ kg	秤量法	全数

## 5. 当社検査要領

当社の実施する検査の検査項目、検査実施方法について、以下に示す。

内は商業機密のため、公開できません。

(1) ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット (1/2)

検査項目	検査実施方法	備考
<p>1. 不純物</p> <p>C</p> <p>F</p> <p>N</p> <p>H</p> <p><input type="checkbox"/></p> <p>Al</p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p>Co</p> <p>Cr</p> <p><input type="checkbox"/></p> <p>Fe</p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p>Ni</p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p>Si</p> <p><input type="checkbox"/></p> <p>ボロン当量</p>	<p>記録確認</p>	<p>副ロットごと</p>
<p>2. ウラン 235 濃度</p>	<p>記録確認</p>	<p>副ロットごと</p>

## (1) ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット (2/2)

検査項目	検査実施方法	備考
3. プルトニウム含有率 (全Pu質量 <sup>*1</sup> ) / (全U質量+全Pu質量 <sup>*1</sup> )	記録確認	副ロットごと
4. プルトニウム同位体組成  238Pu 239Pu 240Pu 241Pu 242Pu 241Am	記録確認	副ロットごと
5. 核分裂性プルトニウム 富化度	記録確認	副ロットごと
6. 寸法 ①直径 ②長さ	抜取検査  記録確認	主ロットごと 抜取数：外観検査で抜き取ったペレット数を母集団として、JIS Z 9015-1 水準Ⅱ・なみ検査判定基準：不適合品のないこと。  副ロットごと
7. 密度	抜取検査  記録確認	主ロットごと 抜取数：外観検査で抜き取ったペレット数を母集団として、JIS Z 9015-1 水準Ⅱ・なみ検査判定基準：不適合品のないこと。  副ロットごと
8. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	抜取検査  記録確認	主ロットごと 抜取数：JIS Z 9015-1 水準Ⅱ・なみ検査判定基準：不適合品のないこと。  副ロットごと
9. 化学成分 ①ウラン・プルトニウム 含有率 <sup>*2</sup> ②酸素対ウラン・プルト ニウム比 <sup>*2</sup>	記録確認	副ロットごと
10. プルトニウム均一性	記録確認	副ロットごと

\*1 全Pu質量には <sup>241</sup>Pu から壊変して生じる <sup>241</sup>Am を含む。

\*2 プルトニウムには <sup>241</sup>Pu から壊変して生じる <sup>241</sup>Am を含む。

(2) 燃料被覆管 (1 / 3)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 寸法 ① 内径 ② 外径 ③ 肉厚 ④ 偏肉率 ⑤ 溶接部外径* (下部)	抜取検査  記録確認	⑤について、主ロットごと 抜取数：JIS Z 9015-1 水準 I ・ なみ検査 判定基準：不適合品のないこと。  副ロットごと
2. わん曲	記録確認 (燃料要素で確認する。)	副ロットごと

\*下部端栓の溶接部については、下部端栓溶接後に確認する。

内は商業機密のため、公開できません。

(2) 燃料被覆管 (2/3)

検査項目	検査実施方法	備考
3. 化学成分 Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (JIS H 4751 ZrTN 804 D 質別 SR)  Sn Fe Cr Fe+Cr O Zr  4. 不純物 Al B Ca Cd C Co Cu Hf H Mg Mn Mo Ni N Nb Si Ti U W <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	記録確認	副ロットごと
5. 水素化物方位 水素化物方向性係数	記録確認	副ロットごと
6. 欠陥	記録確認	副ロットごと
7. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ ③表面の粗さ	記録確認 (燃料要素で確認する。)	副ロットごと

(2) 燃料被覆管 (3/3)

検査項目	検査実施方法	備考
8. 耐食性	記録確認	副ロットごと
9. 機械的性質 応力除去焼きなまし材 ①引張強さ ②耐力 ③伸び	記録確認	副ロットごと
10. 溶接部の健全性* (下部)	抜取検査          記録確認	溶接部の外観について、主ロットごと 抜取数：寸法検査で抜き取ったものについて 検査する。 判定基準：不適合品のないこと。   副ロットごと

\*下部端栓の溶接部については、下部端栓溶接後に確認する。

内は商業機密のため、公開できません。

(3) 燃料被覆材端栓 (1/2)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 機械的性質 再結晶焼きなまし材 ①引張強さ ②耐力 ③伸び	記録確認	副ロットごと
2. 寸法 ①頭部長さ (長さ) ②外径 (最大径)	記録確認	副ロットごと
3. 化学成分 Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (ASTM B351 R60804・ JIS H 4751 ZrTN 804 D相当)  Sn Fe Cr Fe+Cr O Zr  4. 不純物 Al B Ca Cd C Co Cu Hf H Mg Mn Mo Ni N Nb Si Ti U W <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	記録確認	副ロットごと

(3) 燃料被覆材端栓 (2/2)

検査項目	検査実施方法	備考
5. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	記録確認	副ロットごと
6. 耐食性	記録確認	副ロットごと

## (4) その他の部品① (支持格子)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 寸法 ①外寸	<p>抜取検査</p> <p>記録確認</p>	<p>主ロットごと</p> <p>抜取数：JIS Z 9015-1 水準 I ・ゆるい検査</p> <p>判定基準：不適合品のないこと。</p> <p>副ロットごと</p>
2. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	<p>抜取検査</p> <p>記録確認</p>	<p>主ロットごと</p> <p>抜取数：寸法検査で抜き取ったものについて検査する。</p> <p>判定基準：不適合品のないこと。</p> <p>副ロットごと</p>
3. 化学成分 耐食耐熱 ニッケル基合金 (AMS 5596)	記録確認	副ロットごと
<p>Ni</p> <p>Cr</p> <p>Mo</p> <p>Nb</p> <p>Ti</p> <p>Al</p> <p>C</p> <p>Mn</p> <p>Si</p> <p>P</p> <p>S</p> <p>Co</p> <p>B</p> <p>Cu</p> <p>Ta</p> <p>Fe</p>		
4. 機械的性質 ①引張強さ ②耐力 ③伸び	記録確認	副ロットごと

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品② (上部ノズル・下部ノズル)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 寸法 ①外寸 ②高さ	抜取検査           記録確認	①について主ロットごと 抜取数：JIS Z 9015-1 水準 I ・ なみ検査 判定基準：不適合品のないこと。 ②について主ロットごと 抜取数：JIS Z 9015-1 水準 I ・ なみ検査 判定基準：不適合品のないこと。  副ロットごと
2. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ ③識別番号	抜取検査           記録確認	主ロットごと 抜取数：寸法検査①で抜き取ったものについて 検査する。 判定基準：不適合品のないこと。  副ロットごと
3. 化学成分 ステンレス鋼(鋳鋼 <input type="text"/> )  Ni Cr <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> C <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	記録確認	副ロットごと
4. 機械的性質 ①引張強さ ②耐力 ③伸び	記録確認	副ロットごと

(4) その他の部品③ (制御棒案内シンプル)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 寸法 ①外径 ②肉厚	記録確認	副ロットごと
2. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	抜取検査  記録確認	主ロットごと 抜取数：JIS Z 9015-1 水準 I・ゆるい検査 判定基準：不適合品のないこと。  副ロットごと
3. 化学成分 Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (ASTM B353 R60804)  Sn Fe Cr Fe+Cr O Zr	記録確認	副ロットごと
4. 機械的性質 ①引張強さ ②耐力 ③伸び	記録確認	副ロットごと

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品④ (上部プレナムコイルばね)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 寸法 ①コイル外径	記録確認	副ロットごと
2. ばね定数	記録確認	副ロットごと
3. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	記録確認	副ロットごと
4. 化学成分 ステンレス鋼 (JIS <input type="text"/> ) <input type="text"/>  Ni Cr <input type="text"/> <input type="text"/>  C <input type="text"/>	記録確認	副ロットごと

□内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑤ (下部プレナムコイルばね\*) (1/2)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 寸法 ①コイル外径	記録確認	副ロットごと
2. ばね定数	記録確認	副ロットごと
3. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	記録確認	副ロットごと
4. 化学成分 ①コイルばね 耐食耐熱ニッケル合金 (AMS □)  Ni Cr □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	記録確認	副ロットごと
②押さえ板 ステンレス鋼 (JIS □) □  Ni Cr □ □ □  C □	記録確認	副ロットごと

\*本表において、「下部プレナムコイルばね」はコイルばねと部品を組み立てたものをいう。

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑤ (下部プレナムコイルばね\*) (2/2)

検査項目	検査実施方法	備考
③連結棒 ステンレス鋼 (JIS <input type="text"/> <input type="text"/>  Ni Cr <input type="text"/> <input type="text"/>  C <input type="text"/>	記録確認	副ロットごと

\*本表において、「下部プレナムコイルばね」はコイルばねと部品を組み立てたものをいう。

(4) その他の部品⑥ (炉内計装用案内シンプル)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 寸法 ①外径 ②肉厚	記録確認	副ロットごと
2. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	記録確認	副ロットごと
3. 化学成分 Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (ASTM B353 R60804)  Sn Fe Cr Fe+Cr O Zr	記録確認	副ロットごと

(4) その他の部品⑦ (制御棒案内シンプル用下部端栓, カラー)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	記録確認	副ロットごと
2. 化学成分 Sn-Fe-Cr 系 ジルコニウム合金 (ASTM B351 R60804)  Sn Fe Cr Fe+Cr O Zr	記録確認	副ロットごと

(4) その他の部品⑧ (上部ノズル押さえばね)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	記録確認	副ロットごと
2. 化学成分 耐食耐熱 ニッケル基合金 (AMS 5596)  Ni Cr Mo Nb Ti Al C Mn Si P S Co B Cu Ta Fe	記録確認	副ロットごと

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑨ (クランプスクリュー)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	記録確認	副ロットごと
2. 化学成分 ニッケル・クロム・鉄 合金 <input type="text"/> <input type="text"/>  Ni Cr Fe <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	記録確認	副ロットごと

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑩ (上部リングナット, シンプルスクリュー, ロッキングカップ)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	記録確認	副ロットごと
2. 化学成分 ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Ni Cr <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	記録確認	副ロットごと

□内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑩ (スリーブ)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	記録確認	副ロットごと
2. 化学成分 ステンレス鋼 (JIS □) □  Ni Cr □ □ □ C □  又は (JIS □) □  Ni Cr □ □ □ C □	記録確認	副ロットごと

内は商業機密のため、公開できません。

(4) その他の部品⑩ (リベット)

検査項目	検査実施方法	備考
1. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ	記録確認	副ロットごと
2. 化学成分 ステンレス鋼 (JIS <input type="text"/> )  Ni Cr <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> C <input type="text"/>	記録確認	副ロットごと

## (5) 燃料要素

検査項目	検査実施方法	備考
1. 寸法 ①全長 ②プレナム長さ ③溶接部外径 (上部)	抜取検査  記録確認	③について主ロットごと 抜取数：JIS Z 9015-1 水準Ⅱ・なみ検査 判定基準：不適合品のないこと。  副ロットごと
2. わん曲	記録確認	副ロットごと
3. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ ③表面粗さ ④部品の欠如	抜取検査  記録確認	主ロットごと 抜取数：寸法検査で抜き取ったものについて 検査する。 判定基準：不適合品のないこと。  副ロットごと
4. 表面汚染 α汚染	記録確認	副ロットごと
5. ヘリウム漏えい	記録確認	副ロットごと
6. 溶接部の健全性 (上部)	抜取検査  記録確認	主ロットごと 抜取数：JIS Z 9015-1 水準Ⅱ・なみ検査 判定基準：不適合品のないこと。  副ロットごと
7. 初期ヘリウム圧力	記録確認	副ロットごと

(6) 燃料集合体

検査項目	検査実施方法	備考
1. 寸法 ①燃料要素間隔 ②全長 ③エンベロープ ④直角度 ⑤上部ノズル下面と燃料要素上端の間隔	抜取検査           記録確認	⑤について主ロットごと 抜取数：JIS Z 9015-1 水準Ⅱ・なみ検査 判定基準：不適合品のないこと。          副ロットごと
2. 外観 ①割れ、きず等 ②表面の汚れ ③部品の欠如 ④燃料集合体番号 ⑤燃料要素配列・配置	抜取検査           記録確認	①、②、③、④について主ロットごと 抜取数：寸法検査で抜き取ったものについて 検査する。 判定基準：不適合品のないこと。          副ロットごと
3. 総質量	抜取検査           記録確認	主ロットごと 抜取数：JIS Z 9015-1 水準Ⅱ・なみ検査 判定基準：不適合品のないこと。          副ロットごと

添付書類六

品質保証の計画に関する説明書

## 目 次

	頁
1. はじめに .....	6-1
2. MOX燃料集合体の製造体制 .....	6-1
3. 品質保証に関する事項 .....	6-1
3.1 当社の品質保証活動 .....	6-1
3.2 MOX燃料集合体に係る品質保証活動 .....	6-1
3.2.1 MOX燃料集合体調達先の評価について .....	6-2
3.2.2 異常事態発生時の連絡について .....	6-5
3.2.3 検査・試験管理について .....	6-5
3.2.4 製造状況等の確認について .....	6-6
3.2.5 第三者機関の活用について .....	6-6
4. まとめ .....	6-7
別紙6-1 当社の品質保証について	
別紙6-2 MOX燃料集合体の調達に係る業務の基本プロセス	
別紙6-3 MOX燃料調達に関する定期監査結果	
別紙6-4 原燃工の品質保証について	
別紙6-5 メロックスの品質保証について	

## 1. はじめに

本添付書類では、高浜発電所第4号機向けウラン・プルトニウム混合酸化物燃料体（以下、MOX燃料集合体と称する）の調達に関する品質保証の計画について説明する。

## 2. MOX燃料集合体の製造体制

MOX燃料集合体の製造体制を第6-1図に示す。同図に示すように、MOX燃料集合体の製造は、国内の燃料設計・製造メーカーである原子燃料工業株式会社（以下、原燃工と称する）が元請企業となり、原燃工の下で仏国オラノサイクル社のメロックス工場（以下、メロックスと称する）において、ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット（以下、ペレットと称する）の製造、燃料要素（以下、燃料棒と称する）の製造及び燃料体（以下、燃料集合体と称する）の組み立てを行う。又、燃料集合体に組み込む部品は、原燃工からメロックスに供給される。

## 3. 品質保証に関する事項

### 3. 1 当社の品質保証活動

当社の品質保証活動の基本事項及び組織図を別紙6-1に示す。

当社は、「原子力発電所における安全のための品質保証規程（JEAC 4111-2009）」を適用規格とする品質マネジメントシステムを構築し、「原子力発電の安全に係る品質保証規程」を品質マニュアルと定め、品質保証活動を実施している。また、品質マネジメントシステムの有効性をマネジメントレビュー等により継続的に改善している。

MOX燃料集合体の調達に当たっては、この品質マネジメントシステムに基づき品質保証活動を実施している。

### 3. 2 MOX燃料集合体に係る品質保証活動

当社は、別紙6-2に示す「MOX燃料集合体の調達に係る業務の基本プロセス」を品質マネジメントシステムに定め、これに基づき高浜発電所第4号機向けMOX燃料集合体の調達に係る品質保証活動を実施している。

当社は、MOX燃料集合体の調達に係る要求事項をMOX燃料成型加工標準仕様書（以下、標準仕様書と称する）として明確にしており、これまでに、製造実績等の評価及び品質保証システム監査により、MOX燃料集合体の調達先が、標準仕様書に示す要求事項を満たす技術能力及び品質保証に係る能力を有していることを確認している。また、契約に基づき提出される書類の審査及び定期監査を通じて、当社の調達要求事項に基づきMOX燃料集合体の製造に係る品質保証活動が適切に実施されていることを確認している。定期監査の結果を別紙6-3に示す。

当社は、社員をメロックスに派遣し、工程毎に実施する工程監査と製造期間を通じて

実施する立会検査及び巡視により、製造状況及び品質保証活動を確認することとしている。立会検査については3. 2. 3に、工程監査と巡視については3. 2. 4に詳細を述べる。

### 3. 2. 1 MOX燃料集合体調達先の評価について

#### (1) 原燃工の評価

当社は、原燃工が元請企業としてメロックスを適切に管理する能力を有すること及び燃料集合体に組み込む部品の供給者としての能力を有することを、過去に実施したMOX燃料集合体の製造実績、ウラン燃料集合体の製造実績及び定期監査（至近は2019年6月11日から2019年6月13日に実施）の結果に基づき、以下の通り評価した。

評価の結果、原燃工はMOX燃料集合体の製造を適切に管理する能力、及びペレット以外の部品の供給する能力を有しているものと判断した。

なお、監査については、監査員及び検査員の両資格を社内承認された当社社員が実施した。

#### a. 原燃工の技術能力

原燃工は、1999年から2001年、2009年から2010年、及び2016年から2017年に実施したメロックスでの当社向け原燃工仕様MOX燃料集合体の製造において、ペレット以外の部品をメロックスに供給するとともに、メロックスを指導し、MOX燃料集合体を製造した実績を有している。

また、原燃工は、1974年に国内向けのPWR用ウラン燃料集合体の製造を開始し、2019年末までに9,984体のPWR用ウラン燃料集合体を製造し、良好な使用実績を示している。

#### b. 原燃工の品質保証活動

原燃工の品質保証活動の基本事項及び組織図を別紙6-4に示す。

原燃工は、品質保証システムをISO 9001:2015に基づき構築、維持、運用しており、1999年10月にロイド・レジスター・クオリティ・アシュアランスによりISO 9001:1994の認証取得以降、継続して認証を維持しており、2020年4月まで有効となるISO 9001:2015の認証を維持している。

MOX燃料集合体の製造において、原燃工は元請企業として、メロックスでのMOX燃料集合体製造を適切に管理するために、製造期間中の品質保証活動を含む実施計画を策定し、これに基づき、プロジェクト管理文書の作成、メロ

ックスに派遣される要員の育成、製造中の立会検査等を計画的に実施することとしている。

また、原燃工は、部品の供給者として、実績のある国内向けPWR用ウラン燃料集合体の製造に関する品質保証活動をもとに、部品の製造に係る品質保証活動を実施する。

## (2) メロックスの評価

当社は、メロックスがMOX燃料製造メーカーとして当社の要求事項を満たすMOX燃料集合体の製造を行う能力を有することを、MOX燃料集合体製造実績、過去に実施した当社向けMOX燃料集合体の製造実績及び定期監査（至近は2019年6月26日から7月1日にかけて実施）の結果に基づき、以下の通り評価した。

評価の結果、メロックスは当社の要求事項を満たすMOX燃料集合体の製造を行う能力を有しているものと判断した。

なお、監査は、監査員及び検査員の両資格を社内承認された当社社員が実施するとともに、ISOの認証等で豊富な実績を有する仏国の第三者機関としてビューローベリタス社が立会い、当社の監査が計画に従い適切に実施されたことを確認した。

### a. メロックスの技術能力

メロックスは、仏国のマルクールに所在し、195tHM/年のMOX燃料製造能力を有しており、主としてフランス電力公社(EDF)向けのPWR用MOX燃料集合体を製造しており、1995年に製造を開始し、2019年末までに5,969体のMOX燃料集合体を製造している。

また、メロックスは、1999年から2001年、2009年から2010年及び2016年から2017年に、原燃工の設計仕様のペレット、燃料棒の製造及び燃料集合体組立を実施した実績を有している。

### b. メロックスの品質保証活動

メロックスの品質保証活動の基本事項及び組織図を別紙6-5に示す。

メロックスは、品質保証システムをISO 9001:2015に基づき構築、維持、運用しており、1997年6月にアソシエーション・フランセス・プール・アシュアランス・ド・クアリテによりISO 9002:1994の認証を取得し、2003年9月にISO 9001:2000に移行、更に2009年6月にアフノール・サーティフィケーションによりISO 9001:2008の認証に移行して以降、継続して認証を維持しており、20

□内は商業機密のため、公開できません。

21年3月まで有効となるISO 9001:2015の認証を維持している。

メロックスにおける具体的な品質保証活動等については、以下のとおりである。

(a) 品質保証・品質管理の仕組みの確立と実施

メロックスでは、トップマネジメントが品質方針を明確にし、全従業員へ周知している。また、マネジメントレビューを定期的を実施し、品質マネジメントシステムが品質方針や品質目標を満足させることが出来るようにその有効性についての診断と必要な改善を行うとともに、計画的に内部監査を実施し、品質マネジメントシステムにおける潜在的な問題の抽出と解決を図っている。

(b) 品質保証に係る組織

メロックスでは、各部の責任と権限は各部単位で制定された組織規定により明確にされており、管理者から検査員・運転員に至る各作業員の責務を果たすための仕組みが確立されている。

(c) 従業員教育

メロックスでは、毎年作成する教育・訓練計画に基づき、従業員に対して安全文化、品質保証及びデータセキュリティ管理等に関する啓蒙教育を実施しており、実施状況は各部署の長により管理されている。

現場業務に関する教育については、製造工程毎に必要な力量が明確にされ、現場教育により力量が付与されている。また、外観検査、X線フィルム検査等の特殊な技能が要求される業務については、資格制度がとられている。これらの現場業務に係る力量及び資格は、一定期間当該業務を実施しない場合には、失効する仕組みとなっている。

(d) データのセキュリティ管理

メロックスでは、製造工程の管理及び品質データの保存を目的として、コンピュータによる工程管理システム□を導入しており、このコンピュータはセキュリティ確保のために入域が制限された部屋に設置されている。また、工程管理システムへのアクセスは、パスワード管理により制限されている。

自動検査装置等に付随する現場のコンピュータに対しても、同様なパスワード管理によりアクセスが制限されており、データのセキュリティは確

□内は商業機密のため、公開できません。

保されている。

(e) 異物管理

メロックスでは、

異物管理には十分な注意が払われている。

(f) 設備の自動化

メロックスでは、被ばく低減等の観点から、可能な限り製造及び検査工程の自動化を図っている。

ペレットの外径測定については、測定値が現場のコンピュータに自動で記録され、その判定結果は工程管理システムへ自動的に転送される。

(g) 製造状況の管理

メロックスでは、管理者が適宜現場の作業状況を監視し、手順書の履行状況の確認を実施している。また、各々の製品の特性値を統計的に監視し、品質の安定した製品が製造されていることの確認が行われている。

3. 2. 2 異常事態発生時の連絡について

メロックスは、当社MOX燃料集合体の品質保証に係る不適合（通常の不適合を超える異常な事態を含む）が発生した場合には、定められた方法及び体制に従って原燃工へ連絡することとしている。

また、原燃工は、品質保証に係る通常の不適合を超える異常な事態の発生について連絡を受けた場合には、定められた方法及び体制に従って当社へ連絡することとしている。

さらに、当社は、品質保証に係る通常の不適合を超える異常な事態の発生について連絡を受けた場合に規制当局へ連絡する方法及び体制について定めている。

3. 2. 3 検査・試験管理について

当社は、製造期間（メロックスでの当社向けMOX燃料集合体のための二次混合開始から全燃料集合体の組み立て後の検査完了までの期間）を通じて、監査員及び検査員の両資格を社内承認された社員を現地工場に駐在させる計画である。

駐在員は、MOX燃料集合体の製造の工程ごとに、製造前に定める検査要領に従

い、検査（立会検査、記録確認）を実施するとともに、製造時のデータを統計的に処理し、品質が適正に確保されていることを継続的に確認する。

また、当社のほか、元請企業である原燃工の社員も検査を実施する。

なお、MOX燃料集合体に組み込む部品に関する検査については、MOX燃料集合体に組み込む前に、適宜実施する。

### 3. 2. 4 製造状況等の確認について

当社の駐在員は、前項に記載した検査を実施するほか、MOX燃料集合体の製造状況及び品質保証活動を確認するために、工程監査及び巡視を行う。

また、元請企業である原燃工の社員も、当社とともに工程監査及び巡視を実施する。

規制当局の立ち入りについては、必要に応じて規制当局が原燃工及びメロックスに立ち入り、当社の品質保証活動の妥当性について調査を行うことができることを契約書に定めている。

#### (1) 工程監査

ペレット、燃料棒及び燃料集合体の工程毎に、適切な手順書に従い製造、検査が実施されていること、設備に適切な動作条件が設定されていること、作業員によって管理値が遵守されていること、必要な有資格者によって作業が実施されていること、及び品質記録が適切に作成されていること等について確認する。

#### (2) 巡視

ペレット、燃料棒及び燃料集合体の各工程現場を観察することにより、製造状況及び製造に係る品質保証活動があらかじめ定められた手順に従い実施されていることを確認する。

### 3. 2. 5 第三者機関の活用について

当社は、メロックスで工程監査及び立会検査を実施するにあたり、当社の審査能力を補完し、監査及び検査の信頼性を高めるために、1828年にフランス船級協会として設立された、第三者機関としてISOの認証等で豊富な実績を有する仏国のビューローベリタス社の確認を受けることとしている。

品質マネジメントシステム(ISO 9001)、環境マネジメントシステム(ISO 14001)等の認証において、世界30以上の公的機関より認証機関として認められており、船舶・航空機の国際登録を始め、エネルギー・プロセスプラント機械、土木建築、輸出入検査等、様々な分野の検査・認証業務を行う第三者機関であ

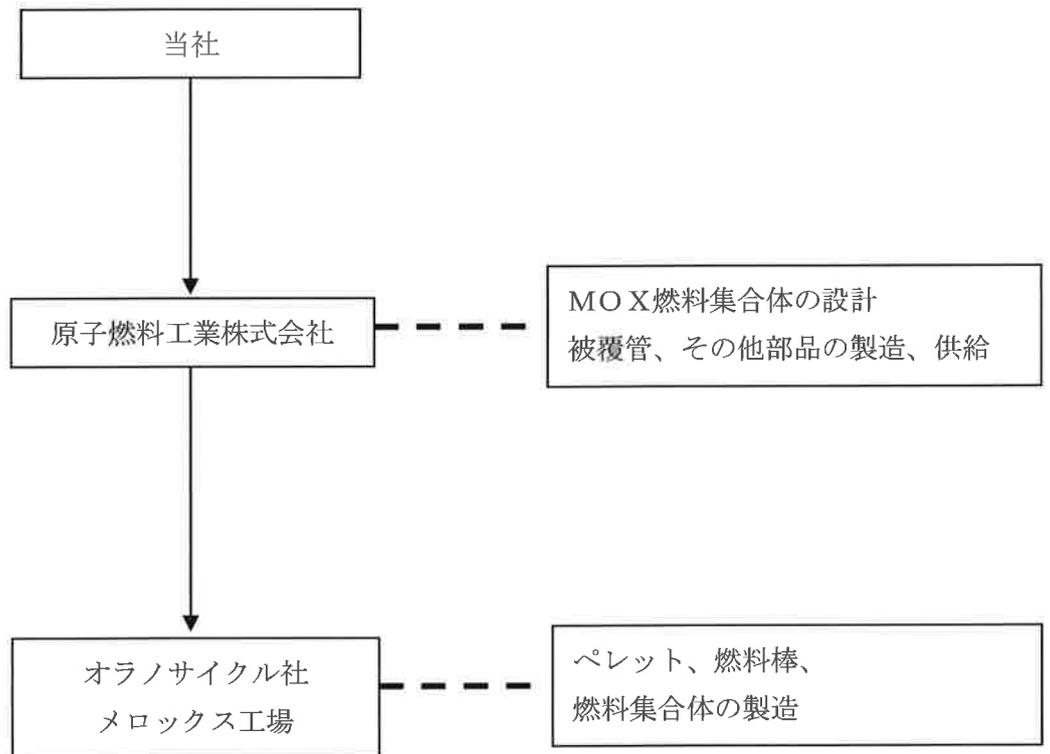
る。

同社の活動はフランス国内に留まらず、世界140ヶ国に1,500以上の事務所、約75,000名の社員を有する世界的企業である。また、原子力産業においても、燃料製造時の技術監査・立会検査など豊富な経験を有する。

#### 4. まとめ

以上により、当社は、原燃工及びメロックスとともに、三者一体となった品質保証活動により、当社の要求事項に適合した高浜発電所第4号機向けMOX燃料集合体を調達することとしている。

また、当社の製造期間中における品質保証活動については、第三者機関のビューローベリタス社の確認を受けることとしている。



第6-1図 MOX燃料集合体の製造体制

当社の品質保証について

## 目 次

	頁
0. まえがき .....	6-12
1. 品質管理監督システムの計画 .....	6-12
2. 目的 .....	6-12
3. 定義 .....	6-12
4. 品質マネジメントシステム .....	6-13
4.1 一般要求事項 .....	6-13
4.2 文書化に関する要求事項 .....	6-14
5. 経営者の責任 .....	6-15
5.1 経営者のコミットメント .....	6-15
5.2 原子力安全の重視 .....	6-16
5.3 品質方針 .....	6-16
5.4 計画 .....	6-16
5.5 責任・権限及びコミュニケーション .....	6-17
5.6 マネジメントレビュー .....	6-18
6. 資源の運用管理 .....	6-19
6.1 資源の提供 .....	6-19
6.2 人的資源 .....	6-19
6.3 原子炉施設及びインフラストラクチャー .....	6-19
6.4 作業環境 .....	6-20
7. 業務の計画及び実施 .....	6-20
7.1 業務の計画 .....	6-20
7.2 業務・原子炉施設に対する要求事項に関するプロセス .....	6-20
7.3 設計・開発 .....	6-21
7.4 調達 .....	6-23
7.5 業務の実施 .....	6-24
7.6 監視機器及び測定機器の管理 .....	6-25
8. 評価及び改善 .....	6-26
8.1 一般 .....	6-26
8.2 監視及び測定 .....	6-26
8.3 不適合管理 .....	6-28
8.4 データの分析 .....	6-28
8.5 改善 .....	6-29

9. 添付資料 ..... 6-30

第6-1-1図 組織図

第6-1-2図 品質マネジメントシステム体系図

第6-1-3図 品質マネジメントシステム文書体系図

第6-1-1表 品質保証計画関連条項と JEAC4111 の要求事項に基づき作成する社内標準との関係

第6-1-2表 品質保証計画関連条項と原子力部門が必要と決定した社内標準との関係

別添6-1-1 保安に関する職務

別添6-1-2 主任技術者の職務

## 0. まえがき

高浜発電所第4号機向けMOX燃料集合体の調達にあたり、以下のとおり品質保証計画を定める。

なお、本品質保証計画に関係する保安規定の変更があった場合、本調達の保安活動に当たっては、最新の保安規定の品質保証計画に基づき実施することとする。

## 1. 品質管理監督システムの計画

当社は、「原子力発電所における安全のための品質保証規程(JEAC 4111-2009)」(以下、「JEAC4111」という。)及び「実用発電用原子炉に係る発電用原子炉設置者の設計及び工事に係る品質管理の方法及びその検査のための組織の技術基準に関する規則」及び「同規則の解釈」に基づき、品質マネジメントシステム(安全文化を醸成するための活動を行うしくみを含む。以下、「品質マネジメントシステム」という。)を構築し、品質マニュアルとして、「原子力発電の安全に係る品質保証規程」を定めている。本品質管理監督システムの計画(以下「品質保証計画」という。)は、「原子力発電の安全に係る品質保証規程」に基づくものとして定め、高浜発電所第4号機のMOX燃料集合体の調達に適用する。

## 2. 目的

原子力発電所(以下、「発電所」という。)の安全を達成・維持・向上させるため、品質マネジメントシステムを確立し、実施し、評価確認し、継続的に改善することを目的とする。

## 3. 定義

本品質保証計画における用語の定義は、下記に定めるものの他 JEAC4111 に従う。

### (1) 原子力部門

第6-1-1 図に定める組織をいう。

### (2) 原子炉施設

原子力発電所を構成する構築物、系統及び機器等の総称をいう。(以下、関係法令における「発電用原子炉施設」のことをいう。)

### (3) 原子力情報公開ライブラリー

原子力施設の事故若しくは故障等の情報又は信頼性に関する情報を共有し、活用することにより、事故及び故障等の未然防止を図ることを目的として、一般社団法人 原子力安全推進協会が運営するデータベースのことをいう。(以下、「ニューシア」という。)

### (4) PWR 事業者連絡会

国内PWR(加圧水型軽水炉)プラントの安全安定運転のために、PWRプラントを所有する国内電力会社と国内PWRプラントメーカーの間で必要な技術検討の実施及び技術情報を

共有するための連絡会のことをいう。

#### 4. 品質マネジメントシステム

##### 4.1 一般要求事項

- (1) 原子力部門は、本品質保証計画に従って、品質マネジメントシステムを確立し、文書化し、実施し、維持する。また、その品質マネジメントシステムの有効性を継続的に改善する。
- (2) 原子力部門は、次の事項を実施する。
  - a) 品質マネジメントシステムに必要なプロセス及びそれらの原子力部門への適用を 4.2.1 項 b)、c)、d) 及び e) に示す文書で明確にする。
  - b) これらのプロセスの順序及び相互関係を第 6-1-2 図に示す。
  - c) これらのプロセスの運用及び管理のいずれもが効果的であることを確実にするために必要な判断基準及び方法を品質マネジメントシステムの文書にて明確にする。
  - d) これらのプロセスの運用及び監視を支援するために必要な資源及び情報を利用できることを確実にする。(6. 参照)
  - e) これらのプロセスを監視し、適用可能な場合には測定し、分析する。
  - f) これらのプロセスについて、計画どおりの結果を得るため、かつ、継続的改善を達成するために必要な処置をとる。
  - g) これらのプロセス及び原子力部門の体制を品質マネジメントシステムとの整合がとれたものとする。
  - h) 社会科学及び行動科学の知見を踏まえて、品質マネジメントシステムの運用を促進する。
- (3) 原子力部門は、品質マネジメントシステムの運用において、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」(以下、「重要度分類指針」という。)に基づく重要性に応じて、品質マネジメントシステム要求事項の適用の程度について、第 6-1-2 表の 4.1 項に係る社内標準に規定し、グレード分けを行う。また、これに基づき資源の適切な配分を行う。なお、グレード分けの決定に際しては、重要度分類指針に基づく重要性に加えて以下の事項を考慮することができる。
  - a) プロセス及び原子炉施設の複雑性、独自性、又は斬新性の程度
  - b) プロセス及び原子炉施設の標準化の程度や記録のトレーサビリティの程度
  - c) 検査又は試験による原子力安全に対する要求事項への適合性の検証可能性の程度
  - d) 作業又は製造プロセス、要員、要領、及び装置等に対する特別な管理や検査の必要性の程度
  - e) 運転開始後の原子炉施設に対する保守、供用期間中検査及び取替えの難易度
- (4) 原子力部門は、これらのプロセスを、本品質保証計画に従って運営管理する。
- (5) 原子力安全の達成に影響を与えるプロセスをアウトソースすることを原子力部門が決めた

場合には、原子力部門はアウトソースしたプロセスに関して管理を確実にする。これらのアウトソースしたプロセスに適用される管理の方式及び程度は、原子力部門の品質マネジメントシステムの文書に定める。

#### 4.2 文書化に関する要求事項

##### 4.2.1 一般

品質マネジメントシステムの文書には、次の事項を含める。品質マネジメントシステムの文書体系図を第6-1-3図に示す。

- a) 文書化した、品質方針及び品質目標の表明
- b) 「原子力発電の安全に係る品質保証規程」
- c) JEAC4111 の要求事項に基づき作成する第6-1-1表に示す社内標準及びこれらの社内標準の中で明確にした記録
- d) 原子力部門内のプロセスの効果的な計画、運用及び管理を確実に実施するために、原子力部門が必要と決定した第6-1-2表に示す社内標準及びこれらの社内標準の中で明確にした記録
- e) 原子力部門内のプロセスの効果的な計画、運用及び管理を確実に実施するために、原子力部門が必要と決定した文書（c）及びd）の社内標準を除く。）及びこれらの文書の中で明確にした記録

なお、b）、c）及びd）に示す社内標準以外の品質マネジメントシステムで必要とされる文書は、第6-1-1表、第6-1-2表で示す社内標準の中で、文書名又は作成し管理することを記載する。

また c）、d）及び e）の記録は、適正に作成する。

##### 4.2.2 品質マニュアル

原子力部門は、次の事項を含む品質マニュアルとして、「原子力発電の安全に係る品質保証規程」（本品質保証計画含む。）を作成し、維持する。

- a) 品質マネジメントシステムの組織に関する事項
- b) 品質マネジメントシステムの計画に関する事項
- c) 品質マネジメントシステムの実施に関する事項
- d) 品質マネジメントシステムの評価に関する事項
- e) 品質マネジメントシステムの改善に関する事項
- f) 品質マネジメントシステムの適用範囲（1.参照）
- g) 品質マネジメントシステムについて確立された社内標準（4.2.1参照）

- h) 品質マネジメントシステムのプロセス間の相互関係に関する記述(第6-1-2図参照)

#### 4.2.3 文書管理

- (1) 原子力部門は、保安活動の重要度に応じて、品質マネジメントシステムで必要とされる文書を管理する。ただし、記録は文書の一種ではあるが、4.2.4項に規定する要求事項に従って管理する。
- (2) 次の活動に必要な管理を規定するために、第6-1-1表の4.2.3項に係る社内標準を確立する。
  - a) 発行前に、適切かどうかの観点から文書をレビューし、承認する。
  - b) 文書をレビューする。また、必要に応じて更新し、再承認する。
  - c) 文書の変更の識別及び現在有効な版の識別を確実にする。
  - d) 該当する文書の適切な版が、必要なときに、必要なところで使用可能な状態にあることを確実にする。
  - e) 文書は、読みやすくかつ容易に識別可能な状態であることを確実にする。
  - f) 品質マネジメントシステムの計画及び運用のために原子力部門が必要と決定した外部からの文書を明確にし、その配付が管理されていることを確実にする。
  - g) 廃止文書が誤って使用されないようにする。また、これらを何らかの目的で保持する場合には、適切な識別をする。

#### 4.2.4 記録の管理

- (1) 原子力部門は、要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの効果的運用の証拠を示すために作成する記録の対象を明確にし、管理する。
- (2) 原子力部門は、記録の識別、保管、保護、検索、保管期間及び廃棄に関して必要な管理を規定するために、第6-1-1表の4.2.4項に係る社内標準を確立する。
- (3) 記録は、読みやすく、容易に識別可能かつ検索可能とする。

### 5. 経営者の責任

#### 5.1 経営者のコミットメント

社長は、品質マネジメントシステムの構築及び実施並びにその有効性を継続的に改善することに対するコミットメントの証拠を、次の事項によって示す。

- a) 法令・規制要求事項を満たすことは当然のこととして、原子力安全の重要性を原子力部門内に周知する。
- b) 品質方針を設定する。(5.3参照)
- c) 管理責任者を指揮し、品質目標が設定されることを確実にする。(5.4.1参照)

- d) マネジメントレビューを実施する。(5.6 参照)
- e) 管理責任者を指揮し、品質マネジメントシステムの確立と維持に必要な資源が使用できることを確実にする。(6. 参照)
- f) 安全文化を醸成するための活動を促進する。

## 5.2 原子力安全の重視

原子力安全を最優先に位置付け、社長は、業務・原子炉施設に対する要求事項が決定され、満たされていることを確実にする。(7.2.1 及び 8.2.1 参照)

## 5.3 品質方針

社長は、品質方針について、次の事項を確実にする。

- a) 原子力部門の目的に対して適切である。
- b) 要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの有効性の継続的な改善に対するコミットメントを含む。
- c) 品質目標の設定及びレビューのための枠組みを与える。
- d) 原子力部門全体に伝達され、理解される。
- e) 適切性の持続のためにレビューされる。
- f) 組織運営に関する方針と整合がとれている。

## 5.4 計画

### 5.4.1 品質目標

- (1) 社長は、原子力部門内のしかるべき部門及び階層で、業務・原子炉施設に対する要求事項を満たすために必要なものを含む品質目標(7.1 (3) a)参照)が設定されていることを確実にする。
- (2) 品質目標は、その達成度が判定可能で、品質方針との整合をとる。
- (3) 原子力部門は、品質目標に係る事項について、第6-1-2表の5.4項に係る社内標準を確立する。

### 5.4.2 品質マネジメントシステムの計画

社長は、次の事項を確実にする。

- a) 品質目標に加えて4.1項に規定する要求事項を満たすために、品質マネジメントシステムの構築と維持についての計画を策定する。
- b) 品質マネジメントシステムの変更を計画し、実施する場合には、その変更が品質マネジメントシステムの全体の体系に対して矛盾なく、整合が取れている。

## 5.5 責任、権限及びコミュニケーション

### 5.5.1 責任及び権限

社長は、別添6-1-1の保安に関する職務及び別添6-1-2の主任技術者の職務に定める責任（本品質保証計画に基づく活動について説明する責任を含む。）と権限が、原子力部門全体に周知されていることを確実にする。

### 5.5.2 管理責任者

- (1) 社長は、原子力事業本部長を原子力部門（経営監査室を除く。）の管理責任者とし、経営監査室長を経営監査室の管理責任者として任命する。
- (2) 管理責任者（原子力事業本部長）は、与えられている他の責任とかかわりなく、次に示す責任及び権限をもつ。
  - a) 品質マネジメントシステムに必要なプロセスの確立、実施及び維持を確実にする。
  - b) 品質マネジメントシステムの成果を含む実施状況及び改善の必要性の有無について、社長に報告する。
  - c) 原子力部門（経営監査室を除く。）全体にわたって、関係法令の遵守及び原子力安全についての認識を高めることを確実にする。
- (3) 経営監査室長は、与えられている他の責任とかかわりなく、次に示す責任及び権限をもつ。
  - a) 品質マネジメントシステムに必要なプロセスの確立、実施及び維持を確実にする。
  - b) 品質マネジメントシステムの成果を含む実施状況及び改善の必要性の有無について、社長に報告する。
  - c) 経営監査室全体にわたって、関係法令の遵守及び原子力安全についての認識を高めることを確実にする。

### 5.5.3 プロセス責任者

社長は、プロセス責任者に対し、所掌する業務に関して、次に示す責任及び権限を与える。

- a) プロセスが確立され、実施されるとともに、有効性を継続的に改善する。
- b) 業務に従事する要員の、業務・原子炉施設に対する要求事項についての認識を高める。
- c) 業務の成果を含む実施状況について評価する。（5.4.1及び8.2.3参照）
- d) 安全文化を醸成するための活動を促進する。

### 5.5.4 内部コミュニケーション

- (1) 社長は、原子力部門内にコミュニケーションのための適切なプロセスが確立されること

を確実にする。また、品質マネジメントシステムの有効性に関する情報交換が行われることを次の活動により確実にする。

- a) 会議（品質保証会議、原子力発電安全委員会、発電所レビュー、原子力発電安全運営委員会等）
  - b) 文書（電磁的記録媒体を含む。）による周知、指示及び報告
- (2) 原子力部門は、内部コミュニケーションに係る事項について、第6-1-2表の5.5.4項に係る社内標準を確立する。

## 5.6 マネジメントレビュー

### 5.6.1 一般

- (1) 社長は、原子力部門の品質マネジメントシステムが、引き続き、適切、妥当かつ有効であることを確実にするために、年1回（原則として年度末）以上品質マネジメントシステムをレビューする。
- (2) 発電所長は、発電所における品質マネジメントシステムを評価し、その結果を第6-1-2表の5.5.4項に係る社内標準に基づき管理責任者（原子力事業本部長）へ報告する。管理責任者（原子力事業本部長及び経営監査室長）は、これらの情報を含む自らが所管する品質マネジメントシステムに係る活動を評価し、その結果をマネジメントレビューへのインプットとする。
- (3) マネジメントレビューでは、品質マネジメントシステムの改善の機会の評価、並びに品質方針及び品質目標を含む品質マネジメントシステムの変更の必要性の評価も行う。なお、別添6-1-1の保安に関する職務の第1項(18)に定める関係する部門についてもマネジメントレビューの結果に基づいて社長が必要な業務の指示を行う。
- (4) マネジメントレビューの結果の記録は、維持する。(4.2.4参照)

### 5.6.2 マネジメントレビューへのインプット

マネジメントレビューへのインプットには、次の情報を含める。

- a) 監査の結果
- b) 原子力安全の達成に関する外部の受けとめ方(8.2.1参照)
- c) プロセスの成果を含む実施状況（品質目標の達成状況を含む。）並びに検査及び試験の結果(8.2.3及び8.2.4参照)
- d) 予防処置及び是正処置の状況(8.5.2及び8.5.3参照)
- e) 安全文化を醸成するための活動の実施状況
- f) 関係法令の遵守状況
- g) 前回までのマネジメントレビューの結果に対するフォローアップ(5.6.3参照)

- h) 品質マネジメントシステムに影響を及ぼす可能性のある変更
- i) 改善のための提案

### 5.6.3 マネジメントレビューからのアウトプット

マネジメントレビューからのアウトプットには、次の事項に関する決定及び処置すべてを含める。

- a) 品質マネジメントシステム及びそのプロセスの有効性の改善
- b) 業務の計画及び実施にかかわる改善
- c) 資源の必要性

## 6. 資源の運用管理

### 6.1 資源の提供

原子力部門は、原子力安全に必要な資源を第6-1-2表の6.1項、6.2項及び7.1項に係る社内標準において明確にし、提供する。

### 6.2 人的資源

#### 6.2.1 一般

原子力安全の達成に影響がある業務に従事する要員は、適切な教育、訓練、技能及び経験を判断の根拠として力量を有する。

#### 6.2.2 力量、教育・訓練及び認識

原子力部門は、第6-1-2表の5.4項及び6.2項に係る社内標準を確立し、次の事項を実施する。

- a) 原子力安全の達成に影響がある業務に従事する要員に必要な力量を明確にする。
- b) 必要な力量が不足している場合には、その必要な力量に到達することができるように教育・訓練を行うか、又は他の処置をとる。
- c) 教育・訓練又は他の処置の有効性を評価する。
- d) 原子力部門の要員が、自らの活動のもつ意味及び重要性を認識し、品質目標の達成に向けて自らがどのように貢献できるかを認識することを確実にする。
- e) 教育、訓練、技能及び経験について該当する記録を維持する。(4.2.4参照)

### 6.3 原子炉施設及びインフラストラクチャー

原子力部門は、原子力安全の達成のために必要な原子炉施設を第6-1-2表の7.1項に係る社内標準において明確にし、維持管理する。

また、原子力安全の達成のために必要なインフラストラクチャーを第6-1-2表の7.1項に係る社内標準において明確にし、維持する。

#### 6.4 作業環境

原子力部門は、原子力安全の達成のために必要な作業環境を第6-1-2表の7.1項に係る社内標準において明確にし、運営管理する。

### 7. 業務の計画及び実施

#### 7.1 業務の計画

- (1) 原子力部門は、第6-1-1表の4.2.3項に係る社内標準及び第6-1-2表の7.1項に係る社内標準に基づき、保安活動に関する業務に必要なプロセスを計画し、構築する。
- (2) 業務の計画は、品質マネジメントシステムのその他のプロセスの要求事項と整合をとる。  
(4.1 参照)
- (3) 原子力部門は、業務の計画に当たって、次の各事項について適切に明確化する。  
なお、d)については第6-1-2表の7.1項に係る社内標準において明確にする。
  - a) 業務・原子炉施設に対する品質目標及び要求事項
  - b) 業務・原子炉施設に特有な、プロセス及び文書の確立の必要性並びに資源の提供の必要性
  - c) その業務・原子炉施設のための検証、妥当性確認、監視、測定、検査及び試験活動並びにこれらの合否判定基準
  - d) 業務・原子炉施設のプロセス及びその結果が、要求事項を満たしていることを実証するために必要な記録(4.2.4 参照)
- (4) この計画のアウトプットは、原子力部門の運営方法に適した形式にする。

#### 7.2 業務・原子炉施設に対する要求事項に関するプロセス

##### 7.2.1 業務・原子炉施設に対する要求事項の明確化

原子力部門は、次の事項を業務の計画(7.1 参照)で明確にする。

- a) 業務・原子炉施設に適用される法令・規制要求事項
- b) 明示されていないが、業務・原子炉施設に不可欠な要求事項
- c) 原子力部門が必要と判断する追加要求事項すべて

##### 7.2.2 業務・原子炉施設に対する要求事項のレビュー

- (1) 原子力部門は、業務・原子炉施設に対する要求事項をレビューする。このレビューは、その要求事項を適用する前に実施する。

- (2) レビューでは、次の事項を確実にする。
  - a) 業務・原子炉施設に対する要求事項が定められている。
  - b) 業務・原子炉施設に対する要求事項が以前に提示されたものと異なる場合には、それについて解決されている。
  - c) 原子力部門が、定められた要求事項を満たす能力をもっている。
- (3) このレビューの結果の記録、及びそのレビューを受けてとられた処置の記録を維持する。  
(4.2.4 参照)
- (4) 業務・原子炉施設に対する要求事項が、書面で示されない場合には、原子力部門はその要求事項を適用する前に確認する。
- (5) 業務・原子炉施設に対する要求事項が変更された場合には、原子力部門は、関連する文書として業務の計画を修正する。また、変更後の要求事項が、関連する要員に理解されていることを確実にする。

#### 7.2.3 外部とのコミュニケーション

原子力部門は、原子力安全に関して外部とのコミュニケーションを図るための効果的な方法を第6-1-2表の7.2.3項に係る社内標準において明確にし、実施する。

### 7.3 設計・開発

原子力部門は、第6-1-2表の7.3項に係る社内標準を確立し、次の事項を実施する。

#### 7.3.1 設計・開発の計画

- (1) 原子力部門は、原子炉施設の設計・開発の計画を策定し、管理する。
- (2) 設計・開発の計画において、原子力部門は、次の事項を明確にする。
  - a) 設計・開発の段階
  - b) 設計・開発の各段階に適したレビュー、検証及び妥当性確認
  - c) 設計・開発に関する責任（保安活動の内容について説明する責任を含む。）及び権限
- (3) 原子力部門は、効果的なコミュニケーション並びに責任及び権限の明確な割当てを確実にするために、設計・開発に関与するグループ間のインタフェースを運営管理する。
- (4) 設計・開発の進行に応じて、策定した計画を適切に更新する。

#### 7.3.2 設計・開発へのインプット

- (1) 原子炉施設の要求事項に関連するインプットを明確にし、記録を維持する。(4.2.4 参照)  
そのインプットには、次の事項を含める。
  - a) 機能及び性能に関する要求事項
  - b) 適用される法令・規制要求事項

- c) 適用可能な場合には、以前の類似した設計から得られた情報
  - d) 設計・開発に不可欠なその他の要求事項
- (2) 原子炉施設の要求事項に関連するインプットについては、その適切性をレビューし、承認する。要求事項は、漏れがなく、あいまいでなく、相反することがないようにする。

### 7.3.3 設計・開発からのアウトプット

- (1) 設計・開発からのアウトプットは、設計・開発へのインプットと対比した検証を行うのに適した形式とする。また、リリースの前に、承認を受ける。
- (2) 設計・開発からのアウトプットは、次の状態とする。
- a) 設計・開発へのインプットで与えられた要求事項を満たす。
  - b) 調達、業務の実施（原子炉施設の使用を含む。）に対して適切な情報を提供する。
  - c) 関係する検査及び試験の合否判定基準を含むか、又はそれを参照している。
  - d) 安全な使用及び適正な使用に不可欠な原子炉施設の特性を明確にする。

### 7.3.4 設計・開発のレビュー

- (1) 設計・開発の適切な段階において、次の事項を目的として、計画されたとおりに(7.3.1参照)体系的なレビューを行う。
- a) 設計・開発の結果が、要求事項を満たせるかどうかを評価する。
  - b) 問題を明確にし、必要な処置を提案する。
- (2) レビューへの参加者には、レビューの対象となっている設計・開発段階に関連する部門を代表する者及び当該設計・開発に係る専門家を含める。このレビューの結果の記録、及び必要な処置があればその記録を維持する。(4.2.4参照)

### 7.3.5 設計・開発の検証

- (1) 設計・開発からのアウトプットが、設計・開発へのインプットで与えられている要求事項を満たしていることを確実にするために、計画されたとおりに(7.3.1参照)検証を実施する。
- この検証の結果の記録、及び必要な処置があればその記録を維持する。(4.2.4参照)
- (2) 設計・開発の検証は、原設計者以外の者又はグループが実施する。

### 7.3.6 設計・開発の妥当性確認

- (1) 結果として得られる原子炉施設が、指定された用途又は意図された用途に応じた要求事項を満たし得ることを確実にするために、計画した方法(7.3.1参照)に従って、設計・開発の妥当性確認を実施する。

- (2) 実行可能な場合にはいつでも、原子炉施設の使用前に、妥当性確認を完了する。
- (3) 妥当性確認の結果の記録、及び必要な処置があればその記録を維持する。(4.2.4 参照)

#### 7.3.7 設計・開発の変更管理

- (1) 設計・開発の変更を明確にし、記録を維持する。(4.2.4 参照)
- (2) 変更に対して、レビュー、検証及び妥当性確認を適切に行い、その変更を実施する前に承認する。
- (3) 設計・開発の変更のレビューには、その変更が、当該の原子炉施設を構成する要素及び関連する原子炉施設に及ぼす影響の評価（当該原子炉施設を構成する材料又は部品に及ぼす影響の評価を含む。）を含める。
- (4) 変更のレビューの結果の記録、及び必要な処置があればその記録を維持する。(4.2.4 参照)

### 7.4 調達

原子力部門は、第6-1-2表の7.4項に係る社内標準を確立し、次の事項を実施する。

#### 7.4.1 調達プロセス

- (1) 原子力部門は、規定された調達要求事項に、調達製品が適合することを確実にする。
- (2) 供給者及び調達製品に対する管理の方式及び程度は、調達製品が、原子力安全に及ぼす影響に応じて定める。
- (3) 原子力部門は、供給者が原子力部門の要求事項に従って調達製品を供給する能力を判断の根拠として、供給者を評価し、選定する。選定、評価及び再評価の基準を定める。
- (4) 評価の結果の記録、及び評価によって必要とされた処置があればその記録を維持する。(4.2.4 参照)
- (5) 原子力部門は、調達製品の調達後における、維持又は運用に必要な保安に係る技術情報の取得及びそれらを他の原子炉設置者と共有する場合に必要な措置に関する管理方法を定める。

#### 7.4.2 調達要求事項

- (1) 調達要求事項では、調達製品に関する要求事項を明確にし、次の事項のうち該当するものを含める。
  - a) 製品、手順、プロセス及び設備の承認に関する要求事項
  - b) 要員の適格性確認に関する要求事項
  - c) 品質マネジメントシステムに関する要求事項
  - d) 不適合の報告及び処理に関する要求事項

- e) 安全文化を醸成するための活動に関する必要な要求事項
- (2) 原子力部門は、供給者に伝達する前に、規定した調達要求事項が妥当であることを確実にする。
- (3) 原子力部門は、調達製品を受領する場合には、調達製品の供給者に対し、調達要求事項への適合状況を記録した文書を提出させる。

#### 7.4.3 調達製品の検証

- (1) 原子力部門は、調達製品が、規定した調達要求事項を満たしていることを確実にするために、必要な検査又はその他の活動を定めて、実施する。
- (2) 原子力部門が、供給者先で検証を実施することにした場合には、原子力部門は、その検証の要領及び調達製品のリリースの方法を調達要求事項の中で明確にする。

### 7.5 業務の実施

原子力部門は、業務の計画（7.1 参照）に基づき、次の事項を実施する。

#### 7.5.1 業務の管理

原子力部門は、業務を管理された状態で実施する。管理された状態には、次の事項のうち該当するものを含める。

- a) 原子力安全との係わりを述べた情報が利用できる。
- b) 必要に応じて、作業手順が利用できる。
- c) 適切な設備を使用している。
- d) 監視機器及び測定機器が利用でき、使用している。
- e) 監視及び測定が実施されている。
- f) 業務のリリースが実施されている。

#### 7.5.2 業務の実施に関するプロセスの妥当性確認

- (1) 業務の実施の過程で結果として生じるアウトプットが、それ以降の監視又は測定で検証することが不可能で、その結果、業務が実施された後でしか不具合が顕在化しない場合には、原子力部門は、その業務の該当するプロセスの妥当性確認を行う。
- (2) 妥当性確認によって、これらのプロセスが計画どおりの結果を出せることを実証する。
- (3) 原子力部門は、これらのプロセスについて、次の事項のうち該当するものを含んだ手続きを確立する。
  - a) プロセスのレビュー及び承認のための明確な基準
  - b) 設備の承認及び要員の適格性確認
  - c) 所定の方法及び手順の適用

- d) 記録に関する要求事項(4.2.4 参照)
- e) 妥当性の再確認

### 7.5.3 識別及びトレーサビリティ

- (1) 必要な場合には、原子力部門は、業務の計画及び実施の全過程において、適切な手段により、業務・原子炉施設を識別する。
- (2) 原子力部門は、業務の計画及び実施の全過程において、監視及び測定の要求事項に関連して、業務・原子炉施設の状態を識別する。
- (3) トレーサビリティが要求事項となっている場合には、原子力部門は業務・原子炉施設について一意の識別を管理し、記録を維持する。(4.2.4 参照)

### 7.5.4 原子力部門外の所有物

原子力部門は、原子力部門外の所有物について、それが原子力部門の管理下にある間、注意を払い、必要に応じて記録を維持する。(4.2.4 参照)

### 7.5.5 調達製品の保存

- (1) 原子力部門は、調達製品の検証後、受入から据付(使用)までの間、要求事項への適合を維持するように調達製品を保存する。この保存には、該当する場合、識別、取扱い、包装、保管及び保護を含める。保存は、取替品、予備品にも適用する。
- (2) 原子力部門は、調達製品の保存に係る事項について、第6-1-2表の7.5.5項に係る社内標準を確立する。

## 7.6 監視機器及び測定機器の管理

原子力部門は、業務の計画(7.1 参照)に基づき、次の事項を実施する。

- (1) 業務・原子炉施設に対する要求事項への適合性を実証するために、原子力部門は、実施すべき監視及び測定を第6-1-2表の7.1項及び8.2.4項に係る社内標準において明確にする。また、そのために必要な監視機器及び測定機器を第6-1-2表の7.6項に係る社内標準において明確にする。
- (2) 原子力部門は、監視及び測定の要求事項との整合性を確保できる方法で監視及び測定が実施できることを確実にするプロセスを第6-1-2表の7.1項に係る社内標準において確立する。
- (3) 測定値の正当性が保証されなければならない場合には、測定機器に関し、次の事項を満たす。
  - a) 定められた間隔又は使用前に、国際又は国家計量標準にトレーサブルな計量標準に照

らして校正若しくは検証、又はその両方を行う。そのような標準が存在しない場合には、校正又は検証に用いた基準を記録する。(4.2.4 参照)

- b) 機器の調整をする、又は必要に応じて再調整する。
- c) 校正の状態を明確にするために識別を行う。
- d) 測定した結果が無効になるような操作ができないようにする。
- e) 取扱い、保守及び保管において、損傷及び劣化しないように保護する。

さらに、測定機器が要求事項に適合していないことが判明した場合には、原子力部門は、その測定機器でそれまでに測定した結果の妥当性を評価し、記録する。(4.2.4 参照)

原子力部門は、その機器、及び影響を受けた業務・原子炉施設すべてに対して、適切な処置をとる。校正及び検証の結果の記録を維持する。(4.2.4 参照)

- (4) 規定要求事項にかかわる監視及び測定にコンピュータソフトウェアを使う場合には、そのコンピュータソフトウェアによって意図した監視及び測定ができることを確認する。この確認は、最初に使用するのに先立って実施する。また、必要に応じて再確認する。

## 8. 評価及び改善

### 8.1 一般

- (1) 原子力部門は、次の事項のために必要となる監視、測定、分析及び改善のプロセスを計画し、実施する。
  - a) 業務・原子炉施設に対する要求事項への適合を実証する。
  - b) 品質マネジメントシステムの適合性を確実にする。
  - c) 品質マネジメントシステムの有効性を継続的に改善する。
- (2) これには、統計的手法を含め、適用可能な方法、及びその使用の程度を決定することを含める。

### 8.2 監視及び測定

#### 8.2.1 原子力安全の達成

原子力部門は、品質マネジメントシステムの成果を含む実施状況の測定の一つとして、原子力安全を達成しているかどうかに関して外部がどのように受けとめているかについての情報を監視する。この情報の入手及び使用の方法を第6-1-2表の8.2.1項に係る社内標準に定める。

#### 8.2.2 内部監査

原子力部門は、第6-1-1表の8.2.2項に係る社内標準を確立し、次の事項を実施する。

- (1) 品質マネジメントシステムの次の事項が満たされているか否かを明確にするために、あ

らかじめ定められた間隔で、客観的な評価を行うことができる組織が内部監査を実施する。

- a) 品質マネジメントシステムが、業務の計画(7.1 参照)に適合しているか、JEAC4111 の要求事項に適合しているか、及び原子力部門が決めた品質マネジメントシステム要求事項に適合しているか。
  - b) 品質マネジメントシステムが効果的に実施され、維持されているか。
- (2) 監査の対象となるプロセス及び領域の状態及び重要性、並びにこれまでの監査結果を考慮して、監査プログラムを策定する。監査の基準、範囲、頻度及び方法を規定する。監査員の選定及び監査の実施においては、監査プロセスの客観性及び公平性を確保する。ただし、監査員は、自らの業務を監査しない。
  - (3) 監査の計画及び実施、記録の作成及び結果の報告に関する責任及び権限、並びに要求事項を規定する。
  - (4) 監査及びその結果の記録を維持する。(4.2.4 参照)
  - (5) 監査された領域に責任をもつ管理者は、検出された不適合及びその原因を除去するために遅滞なく、必要な修正及び是正処置すべてがとられることを確実にする。フォローアップには、とられた処置の検証及び検証結果の報告を含める。(8.5.2 参照)
  - (6) 監査のプログラム及び結果について、管理責任者に報告する。
  - (7) 経営監査室は、原子力事業本部及び発電所が実施した内部監査を評価する。その結果、経営監査室長が必要と判断した場合には、原子力事業本部、発電所に内部監査の実施を指示する。
  - (8) 原子力事業本部及び発電所は、経営監査室長から内部監査の実施について指示がある場合は内部監査を実施する。

#### 8.2.3 プロセスの監視及び測定

- (1) 原子力部門は、品質マネジメントシステムのプロセスの監視、及び適用可能な場合に行う測定には、適切な方法を適用する。
- (2) これらの方法は、プロセスが計画どおりの結果を達成する能力があることを実証するものとする。
- (3) 計画どおりの結果が達成できない場合には、適切に、品質目標及び文書の修正並びに是正処置をとる。

#### 8.2.4 検査及び試験

- (1) 原子力部門は、原子炉施設の要求事項が満たされていることを検証するために、第6-1-2表の8.2.4項に係る社内標準を確立し、原子炉施設を検査及び試験する。検査及

び試験は、業務の計画(7.1 参照)に従って、適切な段階で実施する。検査及び試験の合否判定基準への適合の証拠を維持する。(4.2.4 参照)

- (2) 検査及び試験要員の独立の程度を定める。
- (3) リリース(次工程への引渡し)を正式に許可した人を、記録する。(4.2.4 参照)
- (4) 業務の計画(7.1 参照)で決めた検査及び試験が完了するまでは、当該原子炉施設を据え付けたり、運転したりしない。ただし、当該の権限をもつ者が承認したときは、この限りではない。

### 8.3 不適合管理

原子力部門は、第6-1-1表の8.3項に係る社内標準を確立し、次の事項を実施する。

- (1) 原子力部門は、業務・原子炉施設に対する要求事項に適合しない状況が放置されることを防ぐために、それらを識別し、管理することを確実にする。
- (2) 不適合の処理に関する管理並びにそれに関連する責任及び権限を規定する。
- (3) 該当する場合には、原子力部門は、次の一つ又はそれ以上の方法で、不適合を処理する。
  - a) 検出された不適合を除去するための処置をとる。
  - b) 当該の権限をもつ者が、特別採用によって、その使用、リリース、又は合格と判定することを正式に許可する。
  - c) 本来の意図された使用又は適用ができないような処置をとる。
  - d) 外部への引渡し後又は業務の実施後に不適合が検出された場合には、その不適合による影響又は起こり得る影響に対して適切な処置をとる。
- (4) 不適合に修正を施した場合には、要求事項への適合を実証するための再検証を行う。
- (5) 不適合の性質の記録、及び不適合に対してとられた特別採用を含む処置の記録を維持する。(4.2.4 参照)
- (6) 原子力部門は、原子炉施設の保安の向上に役立たせる観点から、公開基準に従い、不適合の内容をニューシアへ登録することにより、情報の公開を行う。

### 8.4 データの分析

- (1) 原子力部門は、品質マネジメントシステムの適切性及び有効性を実証するため、また、品質マネジメントシステムの有効性の継続的な改善の可能性を評価するために第6-1-2表の8.4項に係る社内標準において適切なデータを明確にし、それらのデータを収集し、分析する。この中には、監視及び測定の結果から得られたデータ並びにそれ以外の該当する情報源からのデータを含める。
- (2) データの分析によって、次の事項に関連する情報を提供する。
  - a) 原子力安全の達成に関する外部の受けとめ方(8.2.1 参照)

- b) 業務・原子炉施設に対する要求事項への適合(8.2.3及び8.2.4参照)
- c) 予防処置の機会を得ることを含む、プロセス及び原子炉施設の、特性及び傾向(8.2.3及び8.2.4参照)
- d) 供給者の能力(7.4参照)

## 8.5 改善

### 8.5.1 継続的改善

原子力部門は、品質方針、品質目標、監査結果、データの分析、是正処置、予防処置及びマネジメントレビューを通じて、品質マネジメントシステムの有効性を継続的に改善する。

### 8.5.2 是正処置

原子力部門は、第6-1-1表の8.5.2項に係る社内標準を確立し、次の事項を実施する。

- (1) 原子力部門は、再発防止のため、不適合の原因を除去する処置をとる。
- (2) 是正処置は、検出された不適合のもつ影響に応じたものとする。
- (3) 次の事項に関する要求事項(JEAC4111 附属書「根本原因分析に関する要求事項」を含む。)を規定する。
  - a) 不適合のレビュー
  - b) 不適合の原因の特定
  - c) 不適合の再発防止を確実にするための処置の必要性の評価
  - d) 必要な処置の決定及び実施
  - e) とった処置の結果の記録(4.2.4参照)
  - f) とった是正処置の有効性のレビュー

### 8.5.3 予防処置

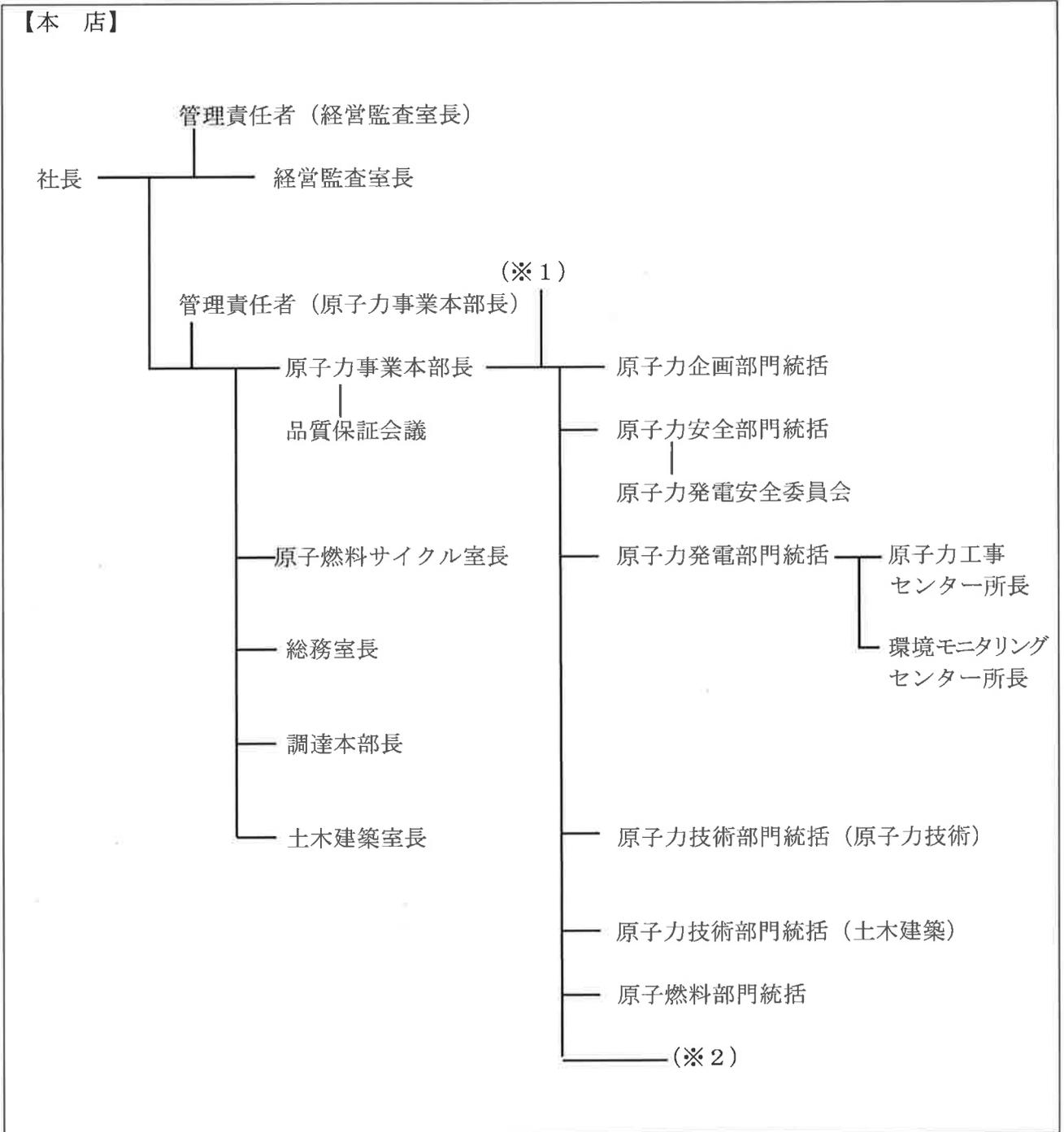
原子力部門は、第6-1-1表の8.5.3項に係る社内標準を確立し、次の事項を実施する。

- (1) 原子力部門は、起こり得る不適合が発生することを防止するために、保安活動の実施によって得られた知見(良好事例を含む。)及び他の施設から得られた知見(PWR事業者連絡会で取り扱う技術情報及びニューシア登録情報を含む。)の活用を含め、その原因を除去する処置を決める。この活用には、原子力安全に係る業務の実施によって得られた知見を他の原子炉設置者と共有することも含む。
- (2) 予防処置は、起こり得る問題の影響に応じたものとする。
- (3) 次の事項に関する要求事項(JEAC4111 附属書「根本原因分析に関する要求事項」を含む。)を規定する。
  - a) 起こり得る不適合及びその原因の特定

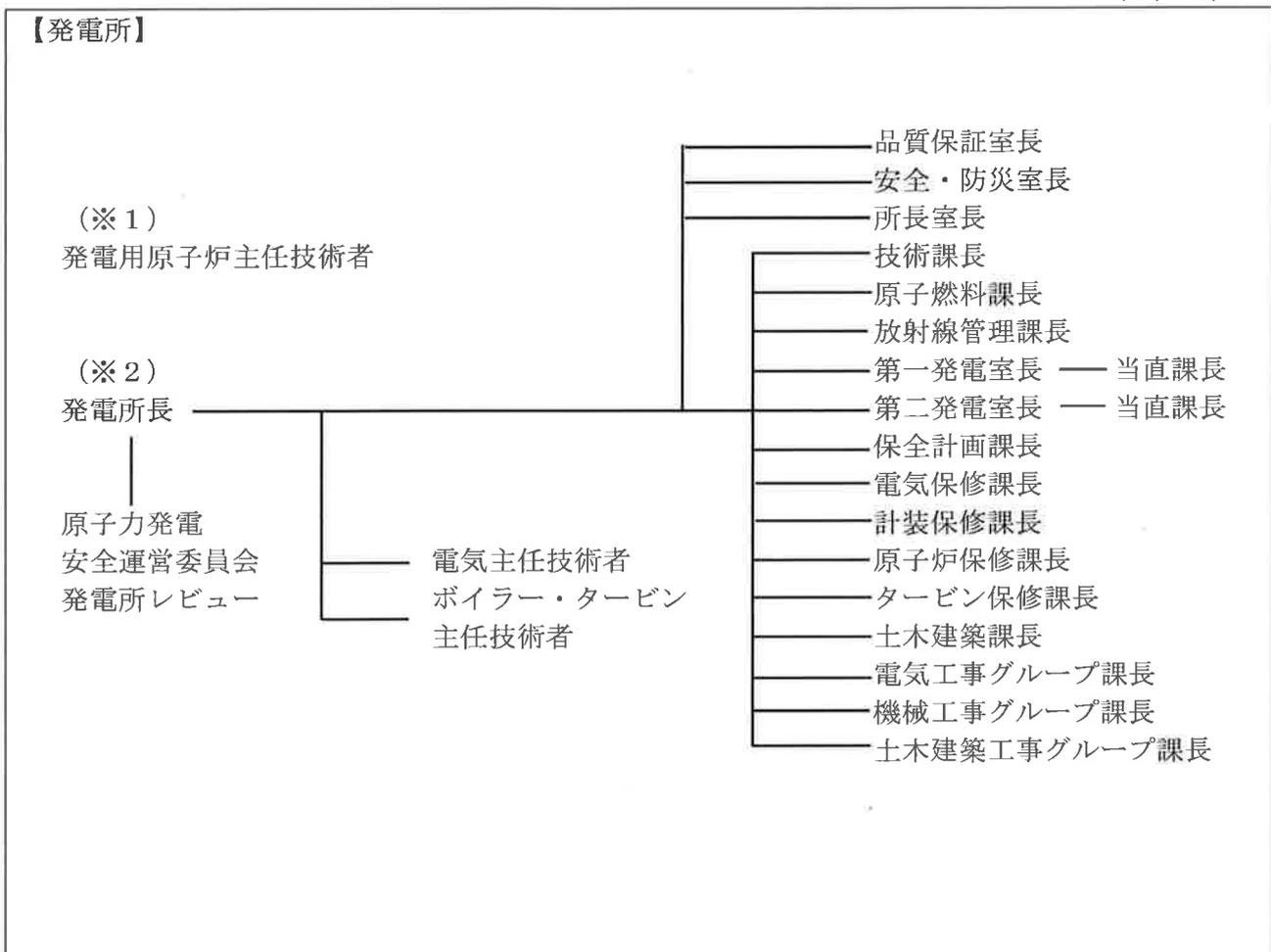
- b) 不適合の発生を予防するための処置の必要性の評価
- c) 必要な処置の決定及び実施
- d) とった処置の結果の記録(4.2.4 参照)
- e) とった予防処置の有効性のレビュー

## 9. 添付資料

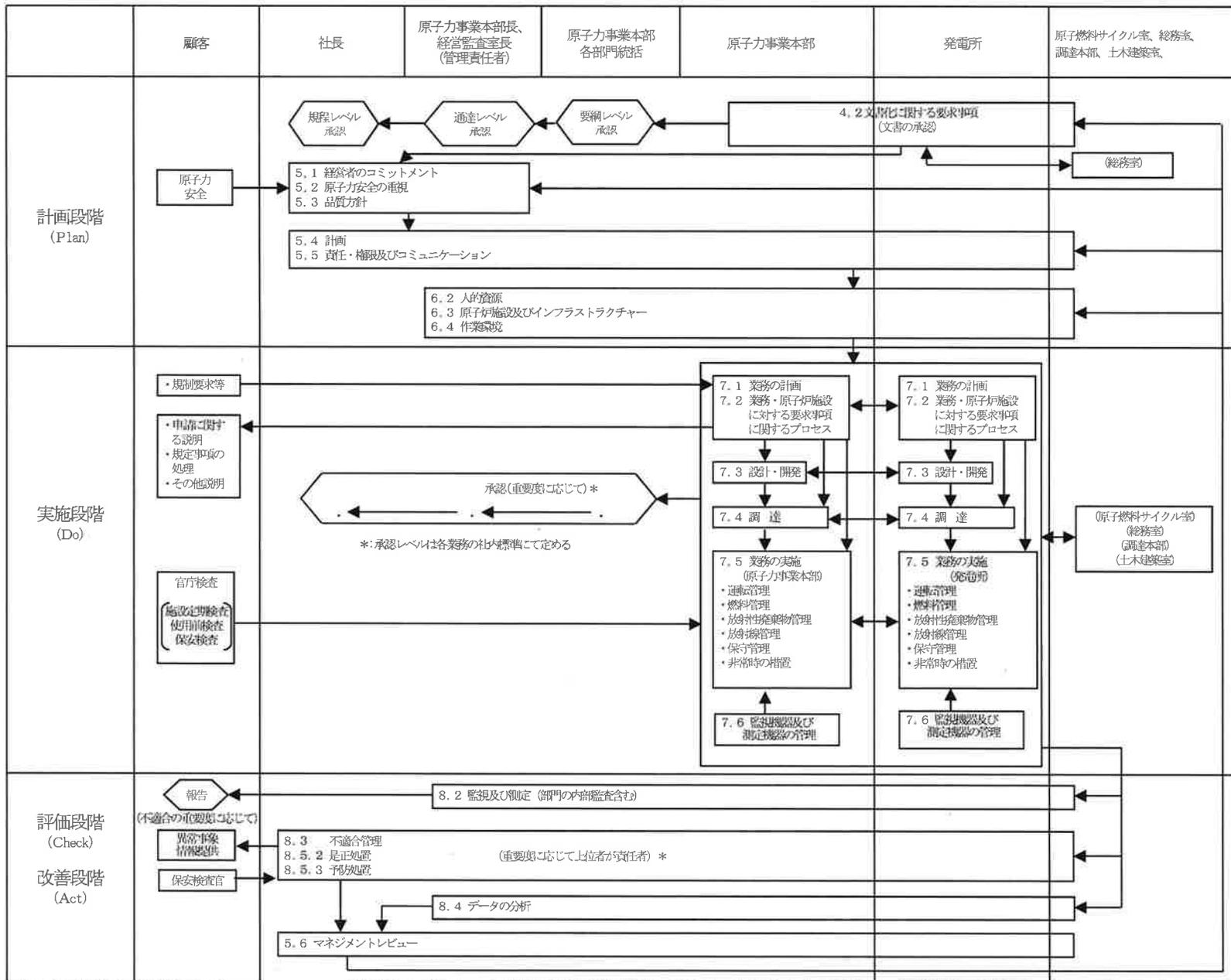
- 第6-1-1 図 組織図
- 第6-1-2 図 品質マネジメントシステム体系図
- 第6-1-3 図 品質マネジメントシステム文書体系図
- 第6-1-1 表 品質保証計画関連条項と JEAC4111 の要求事項に基づき作成する社内標準との関係
- 第6-1-2 表 品質保証計画関連条項と原子力部門が必要と決定した社内標準との関係
- 別添6-1-1 保安に関する職務
- 別添6-1-2 主任技術者の職務



第6-1-1図 組織図



第6-1-1図 組織図

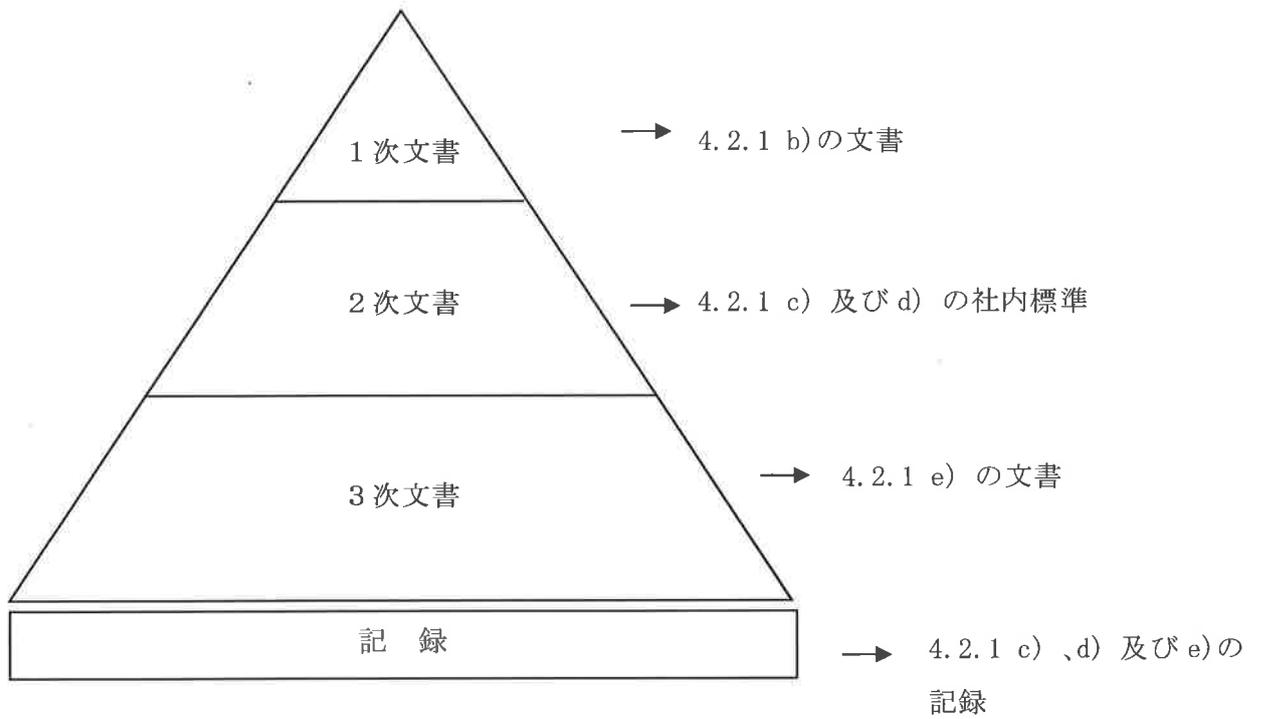


(注1) 本図は、品質マネジメントシステムを構成するプロセスの関連を規格要求事項に着目し、整理した上でPDCAに分類して示している。

業務の詳細は各社内標準にて定める。

(注2) 原子力事業本部各部門統括とは、原子力企画部門統括、原子力安全部門統括、原子力発電部門統括、原子力技術部門統括(原子力技術)、原子力技術部門統括(土木建築)、原子燃料部門統括のいずれかを指す。

第6-1-2図 品質マネジメントシステム体系図



第6-1-3図 品質マネジメントシステム文書体系図

第6-1-1表 品質保証計画関連条項と JEAC4111 の要求事項に基づき作成する社内標準との関係

品質保証 計画関連条項	項目	社内標準名		所管箇所	文書番号
		1次 文書	2次文書		
4. 2. 3 4. 2. 4	文書管理 記録の管理	原子力発電の安全に係る品質保証規程※1	原子力部門における文書・記録管理通達	原子力事業本部 原子力企画部門	平成18 原総通達 第3号
8. 2. 2	内部監査		原子力部門における内部監査通達	経営監査室	平成18 経営原通達 第1号
8. 3 8. 5. 2	不適合管理 是正処置		不適合管理及び是正処置通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原品証通達 第1号
8. 5. 3	予防処置		予防処置通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原発電通達 第2号

※1：原子力発電の安全に係る品質保証規程の所管箇所は、原子力事業本部、総務室及び経営監査室であり、文書番号は平成15規程第5号とする。

第6-1-2表 品質保証計画関連条項と原子力部門が必要と決定した社内標準との関係

品質保証 計画関連条項	項目	社内標準名		所管箇所	文書番号
		1次文書	2次文書		
4. 1	重要度分類	原子力発電の安全に係る品質保証規程※1	グレード分け通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原品証通達 第2号
4. 1	安全文化		安全文化通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成25 原品証通達 第1号
5. 4 5. 5. 3 6. 2. 2	品質目標		品質目標通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原品証通達 第3号
5. 5. 3	プロセス責任者		原子力部門における 文書・記録管理通達	原子力事業本部 原子力企画部門	平成18 原総通達第 3号
5. 5. 4 5. 6	内部コミュニケーション		内部コミュニケーション通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原品証通達 第4号
6. 1	資源の提供		要員・組織計画通達	原子力事業本部 原子力企画部門	平成18 原原企通達 第1号
6. 1 6. 2	力量、教育・訓練及び認識		教育・訓練通達	原子力事業本部 原子力企画部門	平成18 原原企通達 第2号
6. 1 6. 3 6. 4 7. 1 7. 2 7. 5 7. 6 8. 2. 4	運転管理		運転管理通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原発電通達 第1号
	燃料管理		原子燃料管理通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原燃保通達 第1号
	放射性廃棄物管理		放射性廃棄物管理通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原放管通達 第1号
	放射線管理		放射線管理通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原放管通達 第2号
	保守管理		保守管理通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原保修通達 第1号
	非常時の措置		非常時の措置通達	原子力事業本部 原子力安全部門	平成26 原危管通達 第1号
	その他		安全管理通達	原子力事業本部 原子力安全部門	平成26 原安管通達 第1号
			原子燃料サイクル通達	原子力事業本部 原子燃料部門	平成18 原燃品通達 第1号
			火災防護通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成27 原発電通達 第1号
			原子力技術業務要綱	原子力事業本部 原子力技術部門	平成17 原プ技要綱 第2号

※1:原子力発電の安全に係る品質保証規程の所管箇所は、原子力事業本部、総務室及び経営監査室であり、  
文書番号は平成15規程第5号とする。

第6-1-2表 品質保証計画関連条項と原子力部門が必要と決定した社内標準との関係 (続き)

品質保証 計画関連条項	項目	社内標準名		所管箇所	文書番号
		1次 文書	2次文書		
7. 2. 2 7. 2. 3 8. 2. 1	外部との コミュニ ケーシ ョン 原子力安 全の達成	原子力発電の安全に係る品質保証規程 <sup>※1</sup>	外部コミュニケーション通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原発電通 達 第3号
7. 3	設計・開発		設計・開発通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原保通 達 第2号
7. 4 7. 5. 5	調達 調達製品 の保存		原子力部門における 調達管理通達	調達本部	平成27 調原通 達 第1号
7. 6	監視機器 及び測定 機器の管 理		監視機器・測定機器管 理通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原保通 達 第3号
8. 2. 3	プロセス の監視及 び測定		品質目標通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原品証通 達 第3号
7. 6 8. 2. 4	検査及び 試験		原子力部門における 内部監査通達	経営監査室	平成18 経営原通 達 第1号
7. 6 8. 2. 4	検査及び 試験		検査・試験通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原保通 達 第4号
8. 4	データの 分析		データ分析通達	原子力事業本部 原子力発電部門	平成18 原品証通 達 第5号

※1:原子力発電の安全に係る品質保証規程の所管箇所は、原子力事業本部、総務室及び経営監査室であり、  
文書番号は平成15規程第5号とする。

1. 本店における保安に関する職務は次のとおり。

- (1) 社長は、保安活動を統括する。
- (2) 経営監査室長は、原子力部門の経営監査に係る、年度計画及び要員の教育並びに経営監査の実施に関する業務を行う。
- (3) 原子力事業本部長は、第1項(5)から(10)に定める各部門統括を指導監督し、原子力業務を統括する。また、安全文化の醸成のための活動の統括及びコンプライアンス意識の向上のための活動の統括の職務を行う。
- (4) 原子力事業本部長代理及び第1項(5)から(10)に定める各部門統括は、原子力事業本部長を補佐する。
- (5) 原子力企画部門統括は、要員・組織計画及び要員教育（原子力部門の経営監査に係る要員の教育及び運転員の教育・訓練を除く。）並びに文書管理に関する業務を統括する。
- (6) 原子力安全部門統括は、原子力発電所の安全管理及び原子力発電施設の安全評価に関する業務を統括する。
- (7) 原子力発電部門統括は、原子力発電の品質保証活動及び原子力発電所の運転保守（運転員の教育・訓練を含む。）、放射線管理、放射性廃棄物管理並びに原子力発電施設の設計・保全に関する業務を統括する。
- (8) 原子力技術部門統括（原子力技術）は、原子力発電施設の設計・保全（原子力技術部門統括（土木建築）及び原子力発電部門統括が所管する業務を除く。）及び高経年対策に関する技術的業務を統括する。
- (9) 原子力技術部門統括（土木建築）は、原子力発電施設の土木設備、建築物に係る設計・保全（原子力発電部門統括が所管する業務を除く。）に関する技術的業務を統括する（その他自然災害発生時等の体制の整備に関する業務を含む）。
- (10) 原子燃料部門統括は、原子燃料サイクル（原子燃料サイクル室長所管業務を除く。）及びその品質保証活動に関する業務を統括する。
- (11) 原子燃料サイクル室長は、原子燃料サイクルの契約に関する業務を行う。
- (12) 総務室長は、「原子力発電の安全に係る品質保証規程」の制定・改廃を所管するとともに、社印の管理に関する業務を行う。
- (13) 調達本部長は、契約及び貯蔵品管理に関する業務を行う。
- (14) 土木建築室長は、原子力部門に係る土木設備、建築物の改良及び修繕に関する業務を行う。
- (15) 原子力工事センター所長は、原子力事業本部長が指定した保守、修理及び検査に関する業務を行う。
- (16) 環境モニタリングセンター所長は、環境放射能に係るデータの収集、分析及び評価に関する業務を行う。
- (17) 第1項(5)から(16)に定める各職位は、所属員を指示・指導し、所管業務を遂行する。また、各所属員は、その指示・指導に従い業務を実施する。
- (18) その他関係する部門は、別途定められた「職制規程」に基づき所管業務を遂行する。

## 2. 発電所における保安に関する職務は次のとおり。

- (1) 発電所長（以下、「所長」という。）は、発電所の課（室）長等を指導監督し、発電所における保安活動を統括する。
- (2) 原子力安全統括、副所長及び運営統括長は、所長を補佐する。
- (3) 品質保証室長は、原子力発電に関する品質保証活動の統括に関する業務を行う。
- (4) 品質保証室課長は、品質保証室長を補佐する。
- (5) 安全・防災室長は、原子炉施設の管理運用に関する安全評価、その他技術安全の総括、原子力防災対策及び原子炉施設の出入管理に関する業務並びに火災発生時、内部溢水発生時、火山影響等発生時、その他自然災害発生時等、重大事故等発生時及び大規模損壊発生時の体制の整備に関する業務の総括に関する業務を行う。
- (6) 安全・防災室課長は、安全・防災室長を補佐する。
- (7) 所長室長は、発電所の運営に関する総括、文書管理と記録管理の総括、教育・訓練の総括、調達先管理、契約及び貯蔵品管理に関する業務を行う。
- (8) 所長室課長（総務）は、所長室長を補佐する。
- (9) 技術課長は、発電所の技術関係事項の総括に関する業務を行う。
- (10) 原子燃料課長は、原子燃料管理及び炉心管理に関する業務を行う。
- (11) 放射線管理課長は、放射性廃棄物管理、放射線管理（環境モニタリングセンター所長所管業務を除く。）、被ばく管理及び化学管理に関する業務を行う。
- (12) 第一発電室長は1号炉及び2号炉、第二発電室長は3号炉及び4号炉に係る原子炉施設の運転に関する業務を行う。
- (13) 当直課長は、原子炉施設の運転に関する当直業務を行う。
- (14) 定検課長は、発電室長の原子炉施設の運転に関する業務のうち、施設定期検査に関する業務の補佐を行う。
- (15) 保全計画課長は、原子炉施設の保守、修理の総括に関する業務を行う。
- (16) 電気必修課長は、原子炉施設の電気設備に係る保守、修理（電気工事グループ課長所管業務を除く。）に関する業務を行う。
- (17) 計装必修課長は、原子炉施設の計装設備に係る保守、修理（電気工事グループ課長所管業務を除く。）に関する業務を行う。
- (18) 原子炉必修課長は、原子炉施設の機械設備（タービン設備を除く。）に係る保守、修理（機械工事グループ課長所管業務を除く。）に関する業務を行う。
- (19) タービン必修課長は、原子炉施設の機械設備（タービン設備）に係る保守、修理（機械工事グループ課長所管業務を除く。）に関する業務を行う。
- (20) 土木建築課長は、原子炉施設の土木設備及び建築物に係る保守、修理（機械工事グループ課長及び土木建築工事グループ課長の所管業務を除く。）に関する業務を行う。

- (21) 電気工事グループ課長は、原子炉施設の電気設備及び計装設備に係る保守、修理及び高経年対策の推進のうち、所長が指定したものに関する業務を行う。
- (22) 機械工事グループ課長は、原子炉施設の機械設備、土木設備及び建築物に係る保守、修理及び高経年対策の推進のうち、所長が指定したものに関する業務を行う。
- (23) 土木建築工事グループ課長は、原子炉施設の土木設備及び建築物に係る保守、修理及び高経年対策の推進のうち、所長が指定したものに関する業務を行う。
- (24) 発電所課長は、所長の指示する範囲の業務を行う。
- (25) 第2項(3)から(24)に定める各職位（以下、「各課（室）長」という。）は、所管業務に基づき非常時の措置、保安教育並びに記録及び報告を行う。
- (26) 各課（室）長は、課（室）員を指示・指導し、所管業務を遂行する。また、各課（室）員は、その指示・指導に従い業務を実施する。

1. 発電用原子炉主任技術者の職務

- (1) 発電用原子炉主任技術者は、原子炉施設の運転に関し保安の監督を誠実に、かつ、最優先に行うことを任務とし、次の職務を遂行する。
- a. 原子炉施設の運転に関し保安上必要な場合は、運転に従事する者（発電所長を含む。）へ指示する。
  - b. 「高浜発電所原子炉施設保安規定」に定める事項について、発電所長の承認に先立ち確認する。
  - c. 「高浜発電所原子炉施設保安規定」に定める事項について、各課（室）長からの報告内容等を確認する。
  - d. 「高浜発電所原子炉施設保安規定」に示す記録の内容を確認する。
  - e. その他原子炉施設の運転に関し保安の監督に必要な職務を行う。
- (2) 発電用原子炉主任技術者は次の場合において原子力事業本部長に報告を行う。
- a. 前項a. の職務を遂行すべき状況が生じた場合
  - b. 「高浜発電所原子炉施設保安規定」に定める事項について、各課（室）長より報告を受けた場合

2. 電気主任技術者及びボイラー・タービン主任技術者の職務

電気主任技術者及びボイラー・タービン主任技術者は、電気工作物の工事、維持及び運用に関し保安の監督を誠実に、かつ、最優先に行うことを任務とし、次の職務を遂行する。

- a. 電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安のための諸計画の立案に当たっては、必要に応じて工事、維持及び運用に従事する者（発電所長を含む。）に対し指示、指導・助言する。
- b. 電気工作物の工事、維持及び運用に関し、保安上必要な場合には、工事、維持及び運用に従事する者に対し指示、指導・助言する。
- c. 溶接事業者検査及び定期事業者検査において、あらかじめ定めた区分に従って検査の指導監督を行う。
- d. 電気事業法に基づき行う立入検査には、原則として立ち会う。
- e. 電気事業法及び原子炉等規制法に基づき行う使用前検査、施設定期検査には、あらかじめ定めた区分に基づき検査への立会い又は検査記録の確認を行う。

MOX燃料集合体の調達に係る業務の基本プロセス

業務フロー	基本プロセス	業務分担
MOX燃料 集合体調達	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">契約準備</div>	本店 (原子力事業本部)
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">契約 (ホールドポイント)</div>	本店 (原子燃料サイクル室)
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">書類審査・定期監査</div>	本店 (原子力事業本部)
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">輸入燃料体検査申請</div>	本店 (原子力事業本部)
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">製造 (ホールドポイント)</div>	本店 (原子力事業本部)
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">輸入燃料体検査補正申請 ・ 欧州内陸上輸送</div>	本店 (原子力事業本部)
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">海上輸送 (ホールドポイント)</div>	本店 (原子力事業本部)
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">発電所受入</div>	本店 (原子力事業本部)
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">輸入燃料体検査</div>	本店 (原子力事業本部)
運用管理	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">燃料運用・管理</div>	発電所

MOX燃料調達に関する定期監査結果

## 目 次

	頁
1. はじめに .....	6-45
2. 監査における確認事項 .....	6-45
(1) 品質マネジメントシステムに関する確認事項 .....	6-45
(2) 製造管理及び製造の業務プロセスに関する確認事項 .....	6-46
(3) BNF L問題再発防止対策に関する確認事項 .....	6-46
(4) 輸入燃料体検査制度への適合に関する確認事項 .....	6-46
3. 原燃工態取に対する定期監査について .....	6-47
(1) 監査範囲 .....	6-47
(2) 実施時期及び場所 .....	6-47
(3) 実施体制 .....	6-47
(4) 監査結果 .....	6-47
(5) 定期監査の結論 .....	6-51
4. メロックスに対する定期監査について .....	6-51
(1) 監査範囲 .....	6-51
(2) 実施時期及び場所 .....	6-51
(3) 実施体制 .....	6-51
(4) 監査結果 .....	6-52
(5) 定期監査の結論 .....	6-55

## 1. はじめに

当社は、2017年7月31日に高浜発電所第3、4号機で使用するMOX燃料32体の調達に関する加工契約を原子燃料工業株式会社（以下、「原燃工」という）と締結した。

加工契約では、MOX燃料の製造体制は1、2回目の調達と同じく元請会社を原燃工、海外MOX燃料加工メーカを仏国オラノサイクル社とした。

本資料では、輸入燃料体検査申請に先立ち、原子燃料工業株式会社熊取事業所（以下、「原燃工熊取」という）及び仏国オラノサイクル社のメロックス工場（以下、「メロックス」という）に対して定期監査を実施した結果を示す。

今回の定期監査では、前回のMOX燃料調達における定期監査（2016年3月）及び前回MOX燃料製造（2016年8月～2017年3月）で確認した結果を踏まえ、品質保証システムが継続的に改善され、維持されており、その品質保証システムに基づき、品質保証活動が適切に実施されており、当社の要求事項を満たしたものであることを確認することとした。

なお、前回のMOX燃料調達における定期監査と同様に、原子力部門から独立した組織である経営監査室が、今回の定期監査が適切に実施されたことを確認した。

## 2. 監査における確認事項

当社は、BNFL問題における反省及び2009年に制定された品質保証に係る基準（JEAC 4111-2009）に基づき、MOX燃料調達を実施するための要求事項を明確にしている。

定期監査においては、原燃工及びメロックスで行なわれている当社向けMOX燃料製造に係る品質保証活動が、当社の以下の四項目の品質保証に関する要求事項に基づき実施されているかを確認することとした。

- ・品質マネジメントシステムに関する要求事項（ISO 9001:2015等）
- ・製造管理及び製造の業務プロセスに関する要求事項
- ・BNFL問題再発防止対策に関する要求事項
- ・輸入燃料体検査制度への適合に関する要求事項

上記の要求事項に基づく具体的な確認内容は、以下のとおりである。

### （1）品質マネジメントシステムに関する確認事項

当社は、原燃工熊取及びメロックスに対して、ISO 9001:2015の規格に合致した品質保証システムであること、及びJEAC 4121-2015[2018年追補版]の追加要求事項を要求事項としており、これら要求事項に基づき確認することとした。

## (2) 製造管理及び製造の業務プロセスに関する確認事項

MOX燃料調達には、当社と原燃工との契約及び原燃工とオラノサイクル社との契約に基づいて行われる。原燃工の主な役割は、MOX燃料の設計、部品の調達及びメロックスに対する製造管理であり、メロックスの主な役割は、原燃工の管理下におけるMOX燃料製造である。

このため、原燃工熊取がメロックスを管理・指導するための品質保証活動を適切に実施していること、また、メロックスが原燃工の要求事項を満たすMOX燃料を製造するための品質保証活動を適切に実施していることを確認することとした。

確認に当たっては、原燃工熊取の製造管理の業務プロセス及びメロックスの製造の業務プロセスを以下のフェーズに分けることとした。

### (原燃工熊取)

- (1) 実施計画策定フェーズ
- (2) 要求仕様策定フェーズ
- (3) 加工契約前調達先確認フェーズ
- (4) 加工契約後調達先確認フェーズ
- (5) 製造管理フェーズ

### (メロックス)

- (1) 顧客要求事項の明確化フェーズ
- (2) 製品実現の計画フェーズ
- (3) 製造フェーズ

## (3) BNF L問題再発防止対策に関する確認事項

当社は、原燃工熊取及びメロックスに対して、BNF L問題の再発防止対策を要求事項としており、この再発防止対策を反映した品質保証活動が適切に実施されていることを確認することとした。

## (4) 輸入燃料体検査制度への適合に関する確認事項

当社は、原燃工熊取及びメロックスに対して、輸入燃料体検査制度に適合する品質保証体制であることを要求事項としており、この要求事項を反映した品質保証活動が適切に実施されていることを確認することとした。

具体的には、原子力規制庁の輸入燃料体検査制度に関する要領のうち、元請会社及び海外MOX燃料加工メーカーへ展開すべき項目及び電気事業審議会基本政策部会の「BNF L

社製MOX燃料データ問題検討委員会報告」の提言のうち、異常時の連絡体制の確保等の元請会社及び海外MOX燃料加工メーカーへ展開すべき項目について、確認することとした。

### 3. 原燃工熊取に対する定期監査について

#### (1) 監査範囲

原燃工熊取を対象組織とし、当社が発注したMOX燃料製造に関する業務を対象範囲とした。

#### (2) 実施時期及び場所

2019年6月11日(火) 12日(水)、13日(木) 原燃工熊取

#### (3) 実施体制

監査リーダー1名、監査員2名

(いずれも監査員の社内承認及び検査員の社内承認の両資格を有する当社社員)

#### (4) 監査結果

##### a. 品質マネジメントシステムの確認結果

品質マネジメントシステムについては、当社が要求しているISO 9001:2015等の要求事項を満足する品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを確認した。各要求項目の確認結果を以下に示す。

なお、原燃工熊取は、定期的に外部機関の審査を受けており、2020年4月まで有効なISO 9001:2015の認証を取得している。

##### (a) 組織の状況

ISO 9001:2015「4 組織の状況」の要求事項に係る品質マネジメントシステムを構築し、適切に実施していることを管理文書及び記録により確認した。

具体例としては、社会・顧客の動向及び社内のパフォーマンス結果の監視等を踏まえてマネジメントレビューでレビューし、これらを考慮した上で、品質マネジメントシステムの適用範囲を品質マニュアルで明確にしている。

##### (b) リーダーシップ

ISO 9001:2015「5 リーダーシップ」の要求事項に示される要求事項に対しては、品質マネジメントシステムに関するリーダーシップ及びコミットメント、品質方針並

びに組織の役割・権限を定めた品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを管理文書、記録及び原燃工熊取事業所長へのインタビューにより確認した。

具体例としては、MOX燃料製造プロジェクトの全体調整、進捗度管理等を行う「プロジェクト総括」を任命し、業務標準に基づき作成する「MOX燃料成型加工工事プロジェクト計画書」で責任と権限を明確にしている。

#### (c)計画

ISO 9001:2015「6 計画」の要求事項に示される要求事項に対しては、リスク及び機会への取組み、品質目標及びそれを達成するための計画策定並びに品質マネジメントシステム変更の計画を定めた品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを、管理文書及び記録により確認した。

具体例としては、取り組む必要があるリスク及び機会を決定し、品質目標に落とし込んでいる。また、各部において、MOX燃料製造に関連する事項を含む品質目標をロードマップとして設定し、品質目標を達成するための実施事項等を示している。

#### (d)支援

ISO 9001:2015「7 支援」の要求事項に示される要求事項に対しては、資源の提供、力量管理、及び内部コミュニケーションを定めた品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを管理文書及び記録により確認した。

具体例としては、必要な資源をロードマップで明確にし、提供している。また、MOX燃料製造に必要な力量と教育方法を業務標準で定め、管理している。

#### (e)運用

ISO 9001:2015「8 運用」の要求事項に示される要求事項に対しては、運用の計画・管理、顧客要求事項の明確化等の顧客とのコミュニケーション、設計・開発の管理、外部から提供されるプロセス・製品・役務の管理、製造管理、製品・役務のリリース及び不適合製品の管理を定めた品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを管理文書、記録及び現場確認により確認した。

具体例としては、製造工程及び調達に関する管理手順を業務標準に定めるとともに、業務標準に基づき作成するプロジェクト計画書により全体スケジュールを明確にし、管理している。また、MOX燃料の設計管理手順を業務標準に定めている。

#### (f)パフォーマンス評価

ISO 9001:2015「9 パフォーマンス評価」の要求事項に示される要求事項に対して

は、顧客満足の分析・評価、内部監査、データ分析及びマネジメントレビューを定めた品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを管理文書及び記録により確認した。

具体例としては、定期的に内部監査を実施し、組織の活動が ISO 9001:2015 及び手順書・マニュアルに適合しているか、有効に実施されているかを確認している。

また、マネジメントレビューを定期的に行い、品質マネジメントシステムをレビューし、必要な処置を決定している。

#### (g) 改善

ISO 9001:2015「10 改善」の要求事項に示される要求事項に対しては、不適合・是正処置及び継続的改善を定めた品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを管理文書及び記録により確認した。

具体例としては、不適合発生状況、品質監査、是正処置、予防処置等の情報の収集及びマネジメントレビューの結果得られた改善の機会に対し、必要な取り組みを実施している。

#### b. 製造管理の業務プロセスの確認結果

製造管理の業務プロセスについては、管理文書に従い、メロックスを管理・指導するための品質保証活動が適切に実施されていることを確認した。各フェーズの確認結果を以下に示す。

##### (a) 実施計画策定フェーズ

MOX燃料調達の実施計画策定については、MOX燃料成型加工工事プロジェクト計画書（実施計画）が作成され、MOXプロジェクト会議で検証されていることを管理文書及び記録により確認した。

##### (b) 要求仕様策定フェーズ

当社の要求事項を含むメロックスへの要求仕様については、設計会議でレビューされた上で、技術仕様書として作成、審査、承認されていることを管理文書及び記録により確認した。

##### (c) 加工契約前調達先確認フェーズ

原燃工熊取の要求事項を実現させるために、監査体制、監査項目、監査基準等を明確にして、メロックスに対する品質マネジメントシステムの監査が計画され、

実施されていることを管理文書及び記録により確認した。

(d) 加工契約後調達先確認フェーズ

契約後、製造工程及び検査装置に関してメロックスから提出される認定報告書の審査及び承認が実施されていることを管理文書及び記録により確認した。

(e) 製造管理フェーズ

製造段階において、工程監査、巡視及び検査によりMOX燃料の製造状況及び品質保証活動が確認されることを管理文書及び記録により確認した。

c. BNF L問題再発防止対策の確認結果

BNF L問題再発防止対策については、以下の事項を実施するための仕組みが整備され、これに基づく品質保証活動が適切に実施されていることを管理文書及び記録により確認した。

- ・海外MOX燃料加工メーカーに対する組織的な指導・監督が行える品質保証体制である。
- ・海外MOX燃料加工メーカーと良好なコミュニケーションを図る。
- ・製造段階において、的確な監査を実施し、指導・監督を行う。
- ・製造期間中に加工の工程毎に、検査計画に基づき、立会検査を行う。
- ・製造期間中に品質管理状況や作業状況の実態に応じた指導・監督ができるよう、要員の長期滞在等の措置を講じる。
- ・品質管理データを適宜統計処理することによって工程能力が維持されていることを確認する。
- ・異常事象等発生時の通報連絡方法、連絡体制が整備され機能することを確認する。

d. 輸入燃料体検査制度への適合の確認結果

輸入燃料体検査制度への適合については、以下の事項を実施するための仕組みが整備され、これに基づく品質保証活動が適切に実施されていることを管理文書及び記録により確認した。

- ・品質保証に係る通常の不適合を超える異常な事態が発生した場合に、当社へ連絡する方法及び体制について定める。
- ・品質保証内容を満たさない製品が納入された場合の不適合管理について定める。

また、以下の事項が原燃工からメロックスへの要求事項として技術仕様書に明記され、要求されていることを確認した。

- ・規制当局が必要に応じ、メロックスに立ち入り、当社の品質保証活動を調査することを受け入れる。
- ・当社が製造時の品質保証活動の確認等を実施する場合に第三者機関を活用することを受け入れる。
- ・製造期間を通じてメロックスに派遣される当社社員がメロックスの製造状況及び品質保証活動について確認することを受け入れる。
- ・品質保証に係る不適合が発生した場合に、原燃工へ連絡する方法及び体制について定める。
- ・品質保証内容を満たさない製品が納入された場合の不適合管理について定める。

#### (5) 定期監査の結論

監査において、不適合に該当するものはなく、原燃工熊取のMOX燃料製造に係る品質保証システムは、継続的に改善が行われ、維持されており、この品質保証システムに基づき、品質保証活動が適切に実施されており、当社の要求事項を満たしたものであることを確認した。

### 4. メロックスに対する定期監査について

#### (1) 監査範囲

メロックスを対象組織とし、当社が発注したMOX燃料製造に関する業務を対象範囲とした。

#### (2) 実施時期及び場所

2019年6月26日（水）、27日（木）、28日（金）、7月1日（月）  
オラノサイクル社メロックス工場

#### (3) 実施体制

監査リーダー1名、監査員3名

（いずれも監査員の社内承認及び検査員の社内承認の両資格を有する当社社員）

なお、当社の審査能力を補完し品質保証システム監査の信頼性を高めるため、現地の第三者機関としてビューローベリタスが参加した。

#### (4) 監査結果

##### a. 品質マネジメントシステムの確認結果

品質マネジメントシステムについては、当社が要求している ISO 9001:2015 等の要求事項を満足する品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを確認した。各要求項目の確認結果を以下に示す。

なお、メロックスは、定期的に外部機関の審査を受けており、2021年3月まで有効な ISO 9001:2015 の認証を取得している。

##### (a) 組織の状況

ISO 9001:2015「4 組織の状況」の要求事項に示される要求事項に対しては、MOX燃料製造を確実に実施するために、メロックスは、メロックス及びその状況の理解、内外の問題、並びに利害関係者のニーズ及び関連する期待の理解に必要とされる品質マネジメントシステムを構築し、適切に実施していることを管理文書及び記録により確認した。

##### (b) リーダーシップ

ISO 9001:2015「5 リーダーシップ」の要求事項に対しては、品質マネジメントシステムに関するリーダーシップ及びコミットメント、品質方針、並びに組織の役割・権限を定めた品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを管理文書、記録及びメロックスの代表者へのインタビューにより確認した。

具体例としては、トップマネジメントはBNFL問題を認識し、そこから学んだ教訓について従業員の間で意識を高めることの重要性を強調している。

##### (c) 計画

ISO 9001:2015「6 計画」の要求事項に示される要求事項に対しては、リスク及び機会への取組み、品質目標及び品質マネジメントシステム変更の計画を定めた品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを管理文書及び記録により確認した。

具体例としては、今回の加工に関して、リスク分析会議が開催され、加工開始時期、燃料集合体の取り扱い、プルトニウム輸送などに関するリスクが議論されている。

##### (d) 支援

ISO 9001:2015「7 支援」の要求事項に示される要求事項に対しては、資源の提供、力量管理及び内部コミュニケーションを定めた品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを管理文書及び記録により確認した。

具体例としては、それぞれの業務に必要な担当者の力量を特定し、熟練した要員が講師になって実施するOJT教育を通じて、業務に必要な力量を適切に付与している。

#### (e)運用

ISO 9001:2015「8 運用」の要求事項に示される要求事項に対しては、運用の計画・管理、顧客要求事項の明確化等の顧客とのコミュニケーション、外部から提供されるプロセス・製品・役務の管理、製造管理、製品・役務のリリース及び不適合製品の管理を定めた品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを管理文書、記録及び現場確認により確認した。

具体例としては、品質管理データのセキュリティについては、ペレット寸法検査データがコンピュータに自動的に登録され、検査員が変更できない仕組みが構築されている。

#### (f)パフォーマンス評価

ISO 9001:2015「9 パフォーマンス評価」の要求事項に示される要求事項に対しては、顧客満足の分析・評価、内部監査、データ分析及びマネジメントレビューを定めた品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを管理文書及び記録により確認した。

具体例としては、マネジメントレビューでは、メロックス工場長が品質マネジメントシステムの有効性を評価し、改善の機会、品質マネジメントシステムを変更する必要性、及び資源の配分を決定している。

#### (g)改善

ISO 9001:2015「10 改善」の要求事項に示される要求事項に対しては、不適合・是正処置及び継続的改善を定めた品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを管理文書及び記録により確認した。

具体例としては、不適合が発生した場合は、不適合の原因を調査し、再発を防止するための措置を講じるとともに、不適合処置の有効性を評価し、また、不適合に関する記録は、コンピュータシステムで管理されている。

#### b. 製造の業務プロセスの確認結果

製造の業務プロセスについては、管理文書に従い、原燃工の要求事項を満たすMOX燃料を製造するための品質保証活動が適切に実施されていることを確認した。各フェーズの確認結果を以下に示す。

(a) 顧客要求事項の明確化フェーズ

契約前の顧客要求事項については、原燃工から提示される技術的要求事項及び品質保証上の要求事項がメロックス内で実現できることを確認するために、トップマネジメントを含めたメンバーによりレビューされていることを管理文書及び記録により確認した。

(b) 製品実現の計画フェーズ

原燃工の要求事項を達成するために、製造・検査に関するプロセス計画書を策定して原燃工の承認を得た上で、現場で使用する製造手順書に反映されていることを管理文書及び記録により確認した。

(c) 製造フェーズ

原燃工の承認を得た上で製造を開始し、製造手順書に従って製造及び検査が実施されているとともに、工程管理用コンピュータを用いたオンラインシステムによって、誤った製造手順書の適用や作業ステップ間違い等の人的ミス防止が実施されていることを管理文書及び記録により確認した。

c. BNF L問題再発防止対策の確認結果

BNF L問題再発防止対策については、以下の事項を実施するための仕組みが整備され、これに基づく品質保証活動が適切に実施されていることを管理文書、記録及び現場確認により確認した。

- ・経営者の責任、従業員に対する品質に関する教育、管理者による検査等の現場作業のチェック、内部監査等の品質保証・品質管理の仕組みを確立する。
- ・要求仕様に適合した製品を製造することに対して適切な加工工程であり、また、設備の自動化等の不正防止策を図る。
- ・品質管理データのセキュリティが厳格に確保される。
- ・各組織の責任と権限が明確である。特に、検査員に対する管理者の監督が適切である。
- ・品質保証に係る通常の不適合を超える異常な事態発生時には、速やかに元請会社へ通報連絡するとともに、連絡体制を整備する。
- ・当社が製造期間中に実施する現場確認、データチェック等の活動に協力する。

d. 輸入燃料体検査制度への適合の確認結果

輸入燃料体検査制度への適合については、以下の事項を実施するための仕組みが整備

され、これに基づく品質保証活動が適切に実施されていることを管理文書及び記録により確認した。

- ・規制当局が必要に応じ、メロックスに立ち入り、当社の品質保証活動を調査することを受け入れる。
- ・当社が製造時の品質保証活動の確認等を実施する場合の第三者機関の活用を受け入れる。
- ・製造期間を通じてメロックスに派遣される当社社員がメロックスの製造状況及び品質保証活動について確認することを受け入れる。
- ・品質保証に係る不適合が発生した場合に、原燃工へ連絡する方法及び体制について定める。
- ・品質保証内容を満たさない製品が納入された場合の不適合管理について定める。

#### (5) 定期監査の結論

監査において、不適合に該当するものはなく、メロックスのMOX燃料製造に係る品質保証システムは、継続的に改善が行われ、維持されており、この品質保証システムに基づき、品質保証活動が適切に実施されており、当社の要求事項を満たしたものであることを確認した。

原燃工の品質保証について

# 目 次

	頁
0. まえがき	6-59
1. 組織の状況	6-59
1.1 組織及びその状況の理解	6-59
1.2 利害関係者のニーズ及び期待の理解	6-59
1.3 品質マネジメントシステムの適用範囲の決定	6-59
1.4 品質マネジメントシステム及びそのプロセス	6-60
2. リーダーシップ	6-61
2.1 リーダーシップ及びコミットメント	6-61
2.2 方針	6-61
2.3 組織の役割、責任及び権限	6-62
3. 計画	6-62
3.1 リスク及び機会への取組み	6-62
3.2 品質目標及びそれを達成するための計画策定	6-62
3.3 変更の計画	6-63
4. 支援	6-63
4.1 資源	6-63
4.2 力量	6-64
4.3 認識	6-65
4.4 コミュニケーション	6-65
4.5 文書化した情報	6-65
5. 運用	6-66
5.1 運用の計画及び管理	6-66
5.2 製品及び役務に関する要求事項	6-66
5.3 製品及び役務の設計・開発	6-67
5.4 外部から提供されるプロセス、製品及び役務の管理	6-69
5.5 製造及び役務の提供	6-71
5.6 製品及び役務のリリース	6-73
5.7 不適合なアウトプットの管理	6-73
6. パフォーマンス評価	6-74
6.1 監視、測定、分析及び評価	6-74
6.2 内部監査	6-74

6.3	マネジメントレビュー .....	6-75
7.	改善 .....	6-75
7.1	一般 .....	6-75
7.2	不適合及び是正処置 .....	6-75
7.3	継続的改善 .....	6-76
8.	添付資料 .....	6-76
	第6-4-1図 プロセス体系図	
	第6-4-2図 品質保証組織図	
	第6-4-3図 文書体系図	

## 0. まえがき

本資料では、高浜発電所第3，4号機向けMOX燃料集合体の製造に関する原子燃料工業株式会社熊取事業所（以下、「原燃工」という）の品質保証活動の基本事項を示す。

なお、今後品質マネジメントシステムが見直された際には、見直された品質マネジメントシステムに基づき、品質保証活動が行われる。

## 1. 組織の状況

### 1.1 組織及びその状況の理解

原燃工において、自らの目的及び戦略的な方向性に関連し、かつ、その品質マネジメントシステムの意図した結果を達成する自らの能力に影響を与える、外部及び内部の課題は次のとおりであり、これらの外部及び内部の課題に関する情報を監視し、レビューしている。

- a. 原子力産業に対する国内外、地方又は地域の社会的動向
- b. 顧客の動向
- c. 社内のQMSに関連するパフォーマンスの結果

### 1.2 利害関係者のニーズ及び期待の理解

(1) 原燃工は、顧客要求事項及び適用される法令・規制要求事項を満たした製品及び役務を一貫して提供する原燃工の能力に影響又は潜在的影響を与えるため、次の事項を明確にしている。

- a. 品質マネジメントシステムに密接に関連する利害関係者
- b. 品質マネジメントシステムに密接に関連するそれらの利害関係者の要求事項

(2) 原燃工は、これらの利害関係者及びその関連する要求事項に関する情報を監視し、レビューしている。

### 1.3 品質マネジメントシステムの適用範囲の決定

(1) 原燃工は、品質マネジメントシステムの適用範囲を定めるために、その境界及び適用可能性を決定している。

(2) この適用範囲を決定するとき、次の事項を考慮している。

- a. 1.1に規定する外部及び内部の課題
- b. 1.2に規定する、密接に関連する利害関係者の要求事項
- c. 自社の製品及び役務

(3) 品質マネジメントシステムの適用範囲は、文書として利用可能な状態にし、維持している。

#### 1.4 品質マネジメントシステム及びそのプロセス

- (1) 原燃工は、ISO 9001:2015 の要求事項に従って、必要なプロセス及びそれらの相互作用を含む、品質マネジメントシステムを確立し、実施し、維持し、かつ、継続的に改善している。また、次の事項を実施している。
  - a. これらのプロセスに必要なインプット、及びこれらのプロセスから期待されるアウトプットを明確にしている。
  - b. これらのプロセスの順序及び相互作用を明確にしている。(第6-4-1図 参照)
  - c. これらのプロセスの効果的な運用及び管理を確実にするために必要な判断基準及び方法(監視、測定及び関連するパフォーマンス指標を含む。)を決定し、適用している。
  - d. これらのプロセスに必要な資源を明確にし、及びそれが利用できることを確実にしている。
  - e. これらのプロセスに関する責任及び権限を割り当てている。
  - f. 「3.1 リスク及び機会への取組み」で決定したとおりにリスク及び機会に取り組んでいる。
  - g. これらのプロセスを評価し、これらのプロセスの意図した結果の達成を確実にするために必要な変更を実施している。
  - h. これらのプロセス及び品質マネジメントシステムを改善している。
- (2) 製品品質に影響がある仕事に従事する人々に対し、安全文化を醸成するための必要な活動を定め、活動している。
- (3) 原燃工は、必要な程度まで、次の事項を実施している。
  - a. プロセスの運用を支援するための文書を維持している。
  - b. プロセスが計画どおりに実施されたと確信するための記録を保持している。
- (4) 原燃工は、次の事項を含む品質マニュアルとして、「PWR燃料品質マニュアル」を作成し、維持している。
  - a. 品質マネジメントシステムの適用範囲
  - b. 品質マネジメントシステムについて確立された管理規定類又はそれらを参照する情報
  - c. 品質マネジメントシステムのプロセス間の相互関係に関する記述(第6-4-1図 参照)

## 2. リーダーシップ

### 2.1 リーダーシップ及びコミットメント

#### 2.1.1 一般

熊取事業所長は、次に示す事項によって、品質マネジメントシステムに関するリーダーシップ及びコミットメントを実証している。

- a. 品質マネジメントシステムの有効性に説明責任を負っている。
- b. 全社品質指針に基づき品質マネジメントシステムに関する品質方針を年度毎に提示し、それが原燃工の状況及び戦略的な方向性と両立することを、設定時に確認するとともに、定期的に進捗状況を確認することで確実にしている。
- c. 原燃工の事業プロセスへの品質マネジメントシステム要求事項の統合を確実にしている。
- d. プロセスアプローチ及びリスクに基づく考え方の利用を促進している。
- e. 品質マネジメントシステムに必要な資源が利用可能であることを確実にしている。
- f. 法令・規制要求事項並びに顧客要求事項を満たすこと、有効な品質マネジメントシステム及び品質マネジメントシステム要求事項への適合の重要性を品質方針など通して関係各部内に伝達している。
- g. 品質マネジメントシステムがその意図した結果を達成することを確実にしている。
- h. 品質マネジメントシステムの有効性に寄与するよう人々を積極的に参加させ、指揮し、支援している。
- i. 改善を促進している。
- j. その他の関連する管理層がその責任の領域においてリーダーシップを実証するよう、管理層の役割を支援している。
- k. 安全文化を醸成するための活動を促進している。

#### 2.1.2 顧客重視

熊取事業所長は、顧客要求事項を明確にすることを確実にするとともに、マネジメントレビューにおいて顧客満足度評価結果をレビューすることにより、顧客満足の向上に取り組んでいる。

### 2.2 方針

#### 2.2.1 品質方針の確立

熊取事業所長は、次の事項を満たす品質方針を確立し、実施し、維持している。

- a. 全社品質指針に即しており、原燃工の目的及び状況に対して適切であり、原燃工の戦略的な方向性を支援する。

- b. 品質目標の設定のための枠組みを与えている。
- c. 適用される要求事項を満たすことへのコミットメントを含む。
- d. 品質マネジメントシステムの継続的改善へのコミットメントを含む。

### 2.2.2 品質方針の伝達

原燃工は、品質方針を熊取事業所内の主要な個所に掲示している、あるいは人々に携帯させることにより、原燃工内に伝達し、理解し、適用している。

### 2.3 組織の役割、責任及び権限

- (1) 熊取事業所長は、品質マネジメントシステムにおける責任及び権限を品質マニュアル等の文書として維持し、それらを配付することで、これらの責任と権限が熊取事業所内に伝達され、理解されることを確実にしている。(第6-4-2図参照)
- (2) 熊取事業所長は、社長がコミットメントした安全文化醸成活動について、熊取事業所の責任者としてその活動を促進している。
- (3) 熊取事業所長は、品質保証部長を管理責任者として任命し、管理責任者は、与えられている他の責任とかかわりなく次に示す責任及び権限を有している。
  - a. 品質マネジメントシステムの必要なプロセスの確立、実施及び維持を確実にする。
  - b. 品質マネジメントシステムの実施状況及び改善の必要性の有無について経営者に報告する。
  - c. 熊取事業所全体にわたって、顧客要求事項に対する認識を高めることを確実にする。
  - d. 品質マネジメントシステムを変更する場合には、品質マネジメントシステムが“完全に整っている状態”を維持している。

## 3. 計画

### 3.1 リスク及び機会への取組み

- (1) 熊取事業所長は、品質目標及び 1.1 に規定する要求事項を満たす品質マネジメントシステムを策定しており、1.1 に規定する課題及び 1.2 に規定する要求事項を考慮し、次の事項のために取り組む必要があるリスク及び機会を決定している。
  - a. 品質マネジメントシステムが、その意図した結果を達成できるという確信を与えている。
  - b. 望ましい影響を増大する。
  - c. 望ましくない影響を防止又は低減する。
  - d. 改善を達成する。

- (2) 原燃工は、次の事項を計画している。
- a. 上記によって決定したリスク及び機会への取組み
  - b. 次の事項を行う方法
    - 1) その取組みの品質マネジメントシステムプロセスへの統合及び実施
    - 2) その取組みの有効性の評価
- (3) リスク及び機会への取組みは、製品及び役務の適合への潜在的な影響と見合ったものとしている。

### 3.2 品質目標及びそれを達成するための計画策定

- a. 熊取事業所長は、品質方針に基づき、品質目標を年度初めに設定させ、以降四半期毎に品質目標の達成状況を監視している。
- b. 品質目標は、その達成度が測定可能であるように設定されている。

### 3.3 変更の計画

原燃工は、品質マネジメントシステムを変更する場合は、その変更は、次の事項を考慮して、計画的な方法で行うこととしている。

- a. 変更の目的、及びそれによって起こり得る結果
- b. 品質マネジメントシステムの“完全に整っている状態” (integrity)
- c. 資源の利用可能性
- d. 責任及び権限の割当て又は再割当て

## 4. 支援

### 4.1 資源

#### 4.1.1 一般

原燃工は、品質マネジメントシステムの確立、実施、維持及び継続的改善に必要な資源を明確にし、提供している。

#### 4.1.2 人々

原燃工は、品質マネジメントシステムの効果的な実施、並びにそのプロセスの運用及び管理のために必要な人々を明確にし、提供している。

#### 4.1.3 インフラストラクチャ

原燃工は、必要なインフラストラクチャを明確にし、提供し、維持管理している。

#### 4.1.4 プロセスの運用に関する環境

原燃工は、必要な環境を明確にし、提供し、維持管理している。

#### 4.1.5 監視及び測定のための資源

- (1) 原燃工は、製品が規定要求事項に適合していることを実証するために、実施すべき監視及び測定を明確にしている。また、そのために必要な監視機器及び測定機器を明確にし、監視及び測定のための資源が目的と合致している証拠として、その記録を保持している。
- (2) 原燃工は、用意した資源が次の事項を満たすことを確実にしている。
  - a. 実施する特定の種類の監視及び測定活動に対して適切である。
  - b. その目的に継続して合致することを確実にするために維持している。
- (3) 必要な監視機器及び測定機器は次の事項を満たしている。
  - a. 監視機器及び測定機器が国際計量標準又は国家計量標準にトレース可能な基準器又は第三者により保証された基準器によって定期的に校正し、記録として保持している。
  - b. 状態を明確にするために識別を行うとともに、校正の状態及びそれ以降の測定機器の結果が無効になってしまうような調整、損傷又は劣化から保護する。
- (4) 原燃工は、監視機器及び測定機器の校正の結果、正確さが許容範囲外であるとわかった場合には、原燃工は、測定、検査又は試験の妥当性を評価し、記録として保持するとともに、影響を受けた製品に対して、必要に応じて、適切な処置をとることとしている。
- (5) 原燃工は、監視機器及び測定機器にコンピュータソフトウェアを使う場合、そのコンピュータソフトウェアによって意図した監視及び測定ができることを確認している。この確認は、最初に使用するのに先立って実施し、必要に応じて再確認している。

#### 4.1.6 組織の知識

- (1) 原燃工は、プロセスの運用に必要な知識、並びに製品及び役務の適合を達成するために必要な知識を明確にしている。
- (2) この知識を維持し、必要な範囲で利用できる状態にしている。
- (3) 変化するニーズ及び傾向に取り組む場合、現在の知識を考慮し、必要な追加の知識及び要求される更新情報を得る方法又はそれらにアクセスする方法を決定している。

#### 4.2 力量

原燃工は、次の事項を実施している。

- a. 品質マネジメントシステムのパフォーマンス及び有効性に影響を与える業務をその管理下で行う人（又は人々）に必要な力量を明確にしている。
- b. 適切な教育、訓練又は経験に基づいて、それらの人々が力量を備えていることを確実にしている。
- c. 該当する場合には、必ず、必要な力量を身に付けるための処置をとり、とった処置の有効性を評価している。
- d. 力量の証拠として、適切な記録を保持している。

#### 4.3 認識

原燃工は、その管理下で働く人々が、次の事項に関して認識をもつことを確実にしている。

- a. 品質方針
- b. 関連する品質目標
- c. 品質目標の達成に向け、パフォーマンスの向上によって得られる便益を含む、品質マネジメントシステムの有効性に対する自らの貢献
- d. 品質マネジメントシステム要求事項に適合しないことの意味

#### 4.4 コミュニケーション

原燃工は、各種会議の開催手順を確立し、実施している。また、会議体、文書による指示、報告等により、品質マネジメントシステムの有効性に関する情報交換を行っている。

#### 4.5 文書化した情報

品質マネジメントシステムにおける文書化した情報として適用すべきものを第6-4-3図に示す。これらの文書化した情報（電子情報を含む）に対しては、以下の管理を行っている。

##### 4.5.1 文書管理

品質マネジメントシステム及び ISO 9001:2015 規格で要求されている文書は、作成、審査、識別、改訂、配付、保管等に関して必要な管理規定類を定めて管理している。

##### 4.5.2 記録の管理

適合の証拠として保持する記録は、意図しない改変から保護している。また、品質記録の詳細と保管部署、保管期限及び保管期限の切れた品質記録の廃棄について管理規定類を定めている。なお、品質記録は、読みやすく、容易に識別可能で、検

索可能な状態で、かつ、保管期間の間、品質記録の劣化、損傷を防ぎ、又は紛失を防ぐために適した保管場所で保管するとともに、必要な場合、試験材料及び試験サンプルなどについても品質記録として保管管理している。

## 5. 運用

### 5.1 運用の計画及び管理

- (1) 原燃工は、次に示す事項の実施によって、品質マネジメントシステムの要求事項を満たすため、並びに「3. 計画」で決定した取組みを実施するために必要なプロセスを計画し、実施し、かつ、管理している。
  - a. 製品及び役務に関する要求事項の明確化
  - b. 次の事項に関する基準の設定
    - 1) プロセス
    - 2) 製品及び役務の合否判定
  - c. 製品及び役務の要求事項への適合を達成するために必要な資源の明確化
  - d. b. の基準に従った、プロセスの管理の実施
  - e. 次の目的のために必要な程度の、文書化した情報の明確化、維持及び保持
    - 1) プロセスが計画どおりに実施されたという確信をもつ。
    - 2) 製品及び役務の要求事項への適合を実証する。
- (2) 原燃工は、計画した変更を管理し、意図しない変更によって生じた結果をレビューし、必要に応じて、有害な影響を軽減する処置をとることとしている。
- (3) 原燃工は、外部委託したプロセスが管理されていることを確実にしている。
- (4) 原燃工は、MOX燃料成型加工工事の実施に当たって品質に影響を与えるような無理なスケジュールとならないように「4.4 コミュニケーション」のプロセスを通じて社内調整を実施している。

### 5.2 製品及び役務に関する要求事項

#### 5.2.1 顧客とのコミュニケーション

原燃工は、顧客からのフィードバック等に関して顧客とのコミュニケーションを図るため、顧客との打合せを実施している。

#### 5.2.2 製品及び役務に関する要求事項の明確化

- (1) 原燃工は、顧客が要求する技術上、品質保証上の要求事項を見積仕様書、技術仕様書等において明確にしている。
- (2) 原燃工は、製品に関連する法令・規制要求事項を明確にしている。

### 5.2.3 製品及び役務に関する要求事項のレビュー

- (1) 原燃工は、顧客に提供する製品及び役務に関する要求事項を満たす能力をもつことを確実にしている。また、製品及び役務を顧客に提供することをコミットメントする前にレビューが行われている。
- (2) 原燃工は、契約又は注文の要求事項が以前に定めたものと異なる場合には、それが解決されていることを確実にしている。
- (3) 顧客がその要求事項を書面で示さない場合には、顧客要求事項を受諾する前に確認している。
- (4) 原燃工は、該当する場合には、必ず、レビューの結果、製品及び役務に関する新たな要求事項に関する記録を保持している。

### 5.2.4 製品及び役務に関する要求事項の変更

製品及び役務に関する要求事項が変更されたときには、原燃工は関連する文書を変更することを確実にしている。また、変更後の要求事項が、関連する人々に理解されていることを確実にしている。

## 5.3 製品及び役務の設計・開発

### 5.3.1 一般

原燃工は、以降の製品及び役務の提供を確実にするために適切な設計・開発プロセスを確立し、実施し、維持している。

### 5.3.2 設計・開発の計画

- (1) 設計者は設計・開発の計画を「設計計画書」として策定し、設計責任者がそれを承認している。
- (2) 「設計計画書」においては、次の事項を考慮している。
  - a. 設計・開発活動の性質、期間及び複雑さ
  - b. 要求されるプロセス段階(適用される設計・開発のレビューを含む)
  - c. 要求される、設計・開発の検証及び妥当性確認活動
  - d. 設計・開発プロセスに関する責任及び権限
  - e. 製品及び役務の設計・開発のための内部資源及び外部資源の必要性
  - f. 設計・開発プロセスに関与する人々間のインターフェースの管理の必要性
  - g. 設計・開発プロセスへの顧客の参画の必要性
  - h. 以降の製品及び役務の提供に関する要求事項
  - i. 顧客及びその他の密接に関連する利害関係者によって期待される、設計・開発プロセスの管理レベル
  - j. 設計・開発の要求事項を満たしていることを実証するために必要な記録

### 5.3.3 設計・開発へのインプット

- (1) 原燃工は、製品要求事項に関連するインプットを「要求品質展開表」として明確にし、記録として保持している。要求品質展開表では次の事項を考慮している。
  - a. 機能及び性能に関する要求事項
  - b. 以前の類似の設計・開発活動から得られた情報
  - c. 法令・規制要求事項
  - d. 原燃工が実施することとしている標準又は規範
  - e. 製品及び役務の性質に起因する失敗により起こり得る結果
- (2) 「要求品質展開表」は、設計・開発の目的に対して適切で、漏れがなく、曖昧でなく、かつ、相反することがないように作成している。

### 5.3.4 設計・開発の管理

- (1) 原燃工は、次の事項を確実にするために、設計・開発プロセスを管理している。
  - a. 達成すべき結果を定める。
  - b. 設計・開発の結果の、要求事項を満たす能力を評価するために、設計計画書等に従って体系的なレビューが行う。
  - c. 設計・開発からのアウトプットが、インプットの要求事項を満たすことを確実にするために、設計計画書等に従って検証活動が行う。
  - d. 結果として得られる製品及び役務が、指定された用途又は意図された用途に応じた要求事項を満たすことを確実にするために、設計計画書等に従って妥当性確認活動が行う。
  - e. レビュー、又は検証及び妥当性確認の活動中に明確になった問題に対して必要な処置がとる。
  - f. これらの活動については会議録等の記録を保持する。
- (2) レビューは書類の審査、あるいは別途手順を定める設計会議で行われる。なお、設計会議には、各設計・開発段階に関連する社内関連部を代表する者及び当該設計に係る力量を有している人々を専門家として参画させている。
- (3) 設計・開発の検証は、原設計者以外の者又はグループが実施している。また、検証の方法は、要求される検証の程度に応じたものとしている。

### 5.3.5 設計・開発からのアウトプット

- (1) 原燃工は、設計・開発のアウトプットとして図面、仕様書、及びこれらの基礎となる設計書や製造要領書等を作成している。
- (2) 設計のインプットと対比して検証が出来るように設計・開発のアウトプットを別途、要求品質確認表等としてまとめている。
- (3) 設計責任者は次の段階に進める前にそれらを承認している。なお、設計・開発か

らのアウトプットは次の状態としている。

- a. インプットで与えられた要求事項を満たす。
  - b. 製品及び役務の提供に関する以降のプロセスに対して適切である。
  - c. 必要に応じて、監視及び測定の要求事項、並びに合否判定基準を含むか、又はそれらを参照している。
  - d. 意図した目的並びに安全で適切な使用及び提供に不可欠な、製品及び役務の特性を規定している。
- (4) 原燃工は、設計・開発からのアウトプットをインプットと対比した検証を行うのに適した様式で作成し、次の段階に進める前に承認している。設計・開発のアウトプットについて、記録を保持している。

#### 5.3.6 設計・開発の変更

- (1) 原燃工は、要求事項への適合に悪影響を及ぼさないことを確実にするために必要な程度まで、製品及び役務の設計・開発の間又はそれ以降に行われた変更を識別し、管理している。
- (2) 原燃工は、次の事項に関する記録を保持している。
  - a. 設計・開発の変更
  - b. レビューの結果
  - c. 変更の許可
  - d. 悪影響を防止するための処置
- (3) 設計・開発の変更は、原設計に適用された方法と同じ設計・開発の管理の方法により実施している。
- (4) 設計・開発の変更のレビューは、原則として原設計のレビューを実施したグループ又は部門が実施している。

#### 5.4 外部から提供されるプロセス、製品及び役務の管理

##### 5.4.1 一般

- (1) 原燃工は、外部から提供される製品及び役務が規定された購買要求事項に適合することを確実にしている。
- (2) 供給者及び提供される製品に対する管理の方式と程度は、購買製品がその後の製品実現のプロセス又は最終製品に及ぼす影響に応じて定めている。
- (3) 原燃工は、MOX燃料集合体及びMOX燃料集合体に組み込む部品の発注先が、必要な要求事項に従って製品を供給する能力を財務、技術能力、品質保証能力の面から評価し、選定している。選定、評価及び再評価の基準を定めている。
- (4) 評価の結果の記録及び評価によって必要とされた処置があればその記録を維持している。

#### 5.4.2 管理の方式及び程度

- (1) 原燃工は、MOX燃料集合体及びMOX燃料集合体に組み込む部品が要求事項に適合していることを、発注先における立会検査等で検証することとしている。また、MOX燃料集合体については、製造期間を通じて必要な人員を海外発注先に駐在させ、要求事項について満たされていることを確認することとしている。
- (2) MOX燃料集合体及びMOX燃料集合体に組み込む部品の立会検査要領及び出荷許可の方法については、要求事項の中で明確にしている。

#### 5.4.3 外部提供者に対する情報

- (1) MOX燃料集合体及びMOX燃料集合体に組み込む部品の購買情報では、技術仕様に関する要求事項の他に、品質マネジメントシステムに関する要求事項を明確にしている。要求事項には、次の事項を含めている。
  - a. 製品、手順、プロセス及び設備の承認に関する要求事項
  - b. 人々の適格性確認に関する要求事項
  - c. 調達製品を顧客に引き渡す場合における調達要求事項への適合の証拠となる文書の提出に関する事項
  - d. 不適合の報告及び処理(情報連絡含む)に関する事項
  - e. 安全文化を醸成するための活動に関する必要な事項
  - f. 製品の引渡し後における製品の維持又は運用に必要な保安に係る技術情報の提供及びそれらを他の組織と共有する場合に必要な処置に関する事項
- (2) 要求事項は、必要に応じ関係各部の審査を経て、発行前に承認されている。

#### 5.4.4 MOX燃料集合体発注先の管理

原燃工は、MOX燃料集合体の発注先の管理について、次のとおり確実にしている。

##### a. 資格審査と加工契約

発注候補先が調達要求事項に適合したMOX燃料集合体を製造する能力を有していることを、財務、技術能力及び品質マネジメントシステムの観点から資格審査する。調達要求事項を満たしている場合、MOX燃料集合体発注先として認定し、加工契約を締結する。

##### b. 製造・検査計画書の承認

加工契約締結後、契約に従って発注先から提出されるMOX燃料集合体の製造・検査計画書の審査を行い、承認する。

##### c. 定期監査

製造開始前に発注先において、原燃工仕様のMOX燃料集合体を製造するために必要な計画及び実施状況を監査により確認する。

d. 現地における管理

MOX燃料集合体の製造期間を通じて、専門知識を有する人々を現地に駐在させ、品質管理状況及び作業状況の実態に応じた指導・監督を行う。

e. 製造の管理

製造開始後、事前に承認した製造・検査計画書に基づいて工程管理が実施されていることを工程監査により確認する。製造期間中、巡視活動などを通じて工程内の品質管理状況及び作業状況を確認する。また、製造品の立会検査を実施し、要求事項に適合していることを確認する。

f. 顧客の所有物

顧客の所有物である二酸化プルトニウムについて、MOX燃料集合体の発注先における管理を確実にする。

g. 監視機器及び測定機器の管理

監視機器及び測定機器の管理方法について、資格審査及び定期監査により確認する。また、その実施状況については、MOX燃料集合体の製造期間中に確認する。

h. MOX燃料集合体製造に関する不適合製品の管理

不適合製品の管理方法について、資格審査及び定期監査により確認する。また、その実施状況については、MOX燃料集合体の製造期間中に確認する。

i. 是正処置の管理

是正処置の管理方法及び品質マネジメントシステムの実施状況について、資格審査及び定期監査により確認する。また、MOX燃料集合体製造における実施状況については、都度確認するとともに、是正処置の内容が妥当なものになるように不適合の原因の究明及び是正処置の立案についても関与する。

j. 予防処置の管理

予防処置の管理方法及び実施状況について、資格審査及び定期監査により確認する。

## 5.5 製造及び役務の提供

### 5.5.1 MOX燃料集合体に組み込む部品の製造

原燃工は、MOX燃料集合体に組み込む部品の製造について、次の事項を含めた、管理された状態で実行している。

- a. その製品の特性を述べた情報が含まれ、その妥当性と有効性が審査された、適切な作業手順が利用できるようにしている。
- b. 適切な保全が行われた装置、設備を使用し、製造工程ごとに監視及び測定に必要な資源を配置し、使用している。監視機器及び測定機器を、適切に点検又は校正している。

- c. 適切な適格性を含め、力量を備えた人々を任命し、ヒューマンエラーを防止する処置を実施している。
- d. 製造工程中に主要なホールドポイントを設け、規定された製品要求事項を検証した後に、次工程へ払い出すよう管理している。
- e. 特殊工程を定め、当該プロセスが計画どおりの結果を出せることを確認している。確認に当たっては、当該プロセスの実施に必要な人々、設備及び作業条件などに関する基準を含む認定計画を策定している。
- f. プロセスの妥当性確認に関する記録を作成し、保持している。

#### 5.5.2 識別及びトレーサビリティ

原燃工は、MOX燃料集合体に組み込む部品の管理に当たって、図面番号（改訂番号含む）又は購入番号、購入先のロット番号をつけて識別している。また、検査又は試験の状態等を適時記録し、トレーサビリティを維持している。

#### 5.5.3 顧客又は外部提供者の所有物

- (1) 原燃工は、知的財産及び企業情報などを含む顧客又は外部提供者の所有物について、それが管理下にある間、又はそれを使用している間は、注意が払われ、識別、検証及び保護・防護を実施している。
- (2) 顧客若しくは外部提供者の所有物を紛失若しくは損傷した場合、又はその他これらが使用に適さないと判断した場合には、原燃工は、その旨を顧客又は外部提供者に報告し、発生した事柄について記録を保持することとしている。

#### 5.5.4 保存

原燃工は、MOX燃料集合体に組み込む部品の保存を定められた場所で適切な環境及び方法により実施し、保存中に品質劣化、紛失を防止している。また、梱包、出荷及び輸送についても、これらの劣化、損傷、腐食をもたらさず、かつ、識別が容易に行われる方法を定め実施している。

#### 5.5.5 引渡し後の活動

原燃工は、製造又は役務提供に関連する引渡し後の活動に関する要求事項を満たしている。

#### 5.5.6 変更の管理

- (1) 原燃工は、製造又は役務提供に関する変更を、要求事項への継続的な適合を確実にするために必要な程度まで、レビューし、管理している。
- (2) 原燃工は、変更のレビューの結果、変更を正式に許可した人（又は人々）及びレ

ビューから生じた必要な処置を記載した記録を保持している。

#### 5.6 製品及び役務のリリース

- (1) 原燃工は、MOX燃料集合体の発注先が実施するMOX燃料集合体製造における検査及び試験の管理を確実に実施することとしている。
- (2) 原燃工は、MOX燃料集合体に組み込む部品に関して、製造した製品が製品要求事項を満たすことを検証するために、検査及び試験を社内基準に従って計画的に実施している。
- (3) 検査及び試験は、燃料製造部とは独立した品質保証部の資格認定された検査員が実施している。
- (4) これら検査及び試験の結果は、次工程への払出しを許可した者も含めて、記録を保持している。また、計画された検査及び試験が全て完了するまで顧客への納品を含み、次工程へ払い出さないよう管理している。

#### 5.7 不適合なアウトプットの管理

- (1) 原燃工は、MOX燃料集合体に組み込む部品の製造において、製品要求事項に適合しない製品が誤って使用されたり、又は引き渡されたりすることを防ぐために、不適合製品を識別し、管理している。不適合の処理に関する管理及びそれに関連する責任及び権限を管理規定類に定めている。なお、識別された不適合製品については、次の事項のいずれかの方法で処置している。
  - a. 修正、再加工（役務・役務における「やり直し」を含む）
  - b. 不採用、廃棄
  - c. 再格付け
  - d. 選別
  - e. 製品及び役務の分離、散逸防止、返却又は供給停止
  - f. 顧客への通知
  - g. 特別採用による受入の正式な許可の取得
- (2) 不適合製品をそのまま使用する場合、あるいは不適合製品を再加工して使用する場合は、その技術的妥当性を文書化することとしている。また、不適合製品のうち上記の処置が不可能と判断されたものは、製造工程から排除し、これを製品として使用しないこととしている。
- (3) 不適合の性質の記録及び不適合に対してとられた特別採用を含む処置の記録を保持している。
- (4) 不適合製品に修正を施した場合には、要求事項への適合性を実証するための再検証を行っている。
- (5) 顧客への報告を必要とする不適合の範囲を定めるとともに、当該不適合が発生し

た場合は顧客へ報告することとしている。

## 6. パフォーマンス評価

### 6.1 監視、測定、分析及び評価

#### 6.1.1 一般

- (1) 原燃工は、次の事項を決定している。
  - a. 監視及び測定が必要な対象
  - b. 妥当な結果を確実にするために必要な、監視、測定、分析及び評価の方法
  - c. 監視及び測定の実施時期
  - d. 監視及び測定の結果の、分析及び評価の時期
- (2) 原燃工は、品質マネジメントシステムのパフォーマンス及び有効性を評価している。
- (3) 原燃工は、この結果の証拠として、適切な記録を保持している。

#### 6.1.2 顧客満足

原燃工は、顧客満足に関する情報を入手し、分析している。また、マネジメントレビューにおいてその結果を報告している。

#### 6.1.3 分析及び評価

原燃工は、監視及び測定からの適切なデータ及び情報を分析し、評価している。分析の結果は、次の事項を評価するために用いている。

- a. 製品及び役務の適合
- b. 顧客満足度
- c. 品質マネジメントシステムのパフォーマンス及び有効性
- d. 計画が効果的に実施されたかどうか。
- e. リスク及び機会への取組みの有効性
- f. 外部提供者のパフォーマンス
- g. 品質マネジメントシステムの改善の必要性

### 6.2 内部監査

- (1) 原燃工は、品質マネジメントシステムが要求事項に適合し、効果的に実施されていることを確認するために、あらかじめ定めた間隔で内部監査を実施している。
- (2) 原燃工は、監査の基準、範囲、頻度、方法を管理規定類の中で明確にしている。また、監査の対象となるプロセス及び領域の状態と重要性、並びにこれまでの監査結果を考慮して、監査プログラムを策定している。なお、監査員には自らの業務を監

査させない等、監査員の選定及び監査の実施においては、監査プロセスの客観性及び公平性を確保している。

- (3) 被監査部署の責任者は、発見された不適合に対して是正処置を検討し、不適合の修正と是正処置を実施している。不適合の修正と是正処置の実施状況については、品質保証部において検証が実施され、結果はマネジメントレビューで報告されている。
- (4) 内部監査に関わる記録を保持している。

### 6.3 マネジメントレビュー

- (1) 熊取事業所長は、品質マネジメントシステムが、引き続き、適切、妥当かつ有効で更に自社の戦略的な方向性と一致していることを確実にするために、四半期ごとに品質マネジメントシステムをレビューしている。
- (2) マネジメントレビューでは、「顧客からの情報」、「品質目標の実施状況」、「品質マネジメントシステムの実施状況、評価、適切性」、「内部監査、顧客の監査、第三者機関による監査結果」、「予防処置、是正処置の状況」、「前回のマネジメントレビューの結果」、「品質マネジメントシステムに影響を及ぼす可能性のある変更」、「改善のための提案」、「リスク及び機会への取組みの有効性」等の評価が行われている。
- (3) マネジメントレビューでの評価を通じ、品質マネジメントシステムの有効性の改善、顧客要求事項への適合に必要な製品の改善及び資源の必要性に関する必要な処置を決定している。
- (4) マネジメントレビューの結果の証拠として、記録を保持している。

## 7. 改善

### 7.1 一般

原燃工は、顧客要求事項を満たし、顧客満足を向上させるために、改善の機会を明確にし、選択し、必要な取り組みを実施している。

### 7.2 不適合及び是正処置

#### 7.2.1 是正処置

原燃工は、管理規定類に従って、発生した不適合の内容の確認、不適合の原因の特定、必要に応じて不適合のもつ影響に見合った再発防止策の検討及び処置を実施している。再発防止策の実施及びその効果の確認に関する記録を保持している。

#### 7.2.2 予防処置

原燃工は、管理規定類に従って、不適合、内部監査の記録、その他の品質記録の情

報などから発生が想定される不適合の特定、必要に応じて起こり得る不適合に見合った予防策の検討及び処置を実施することとしている。予防策の実施及びその効果の確認に関する記録を保持している。

### 7.3 継続的改善

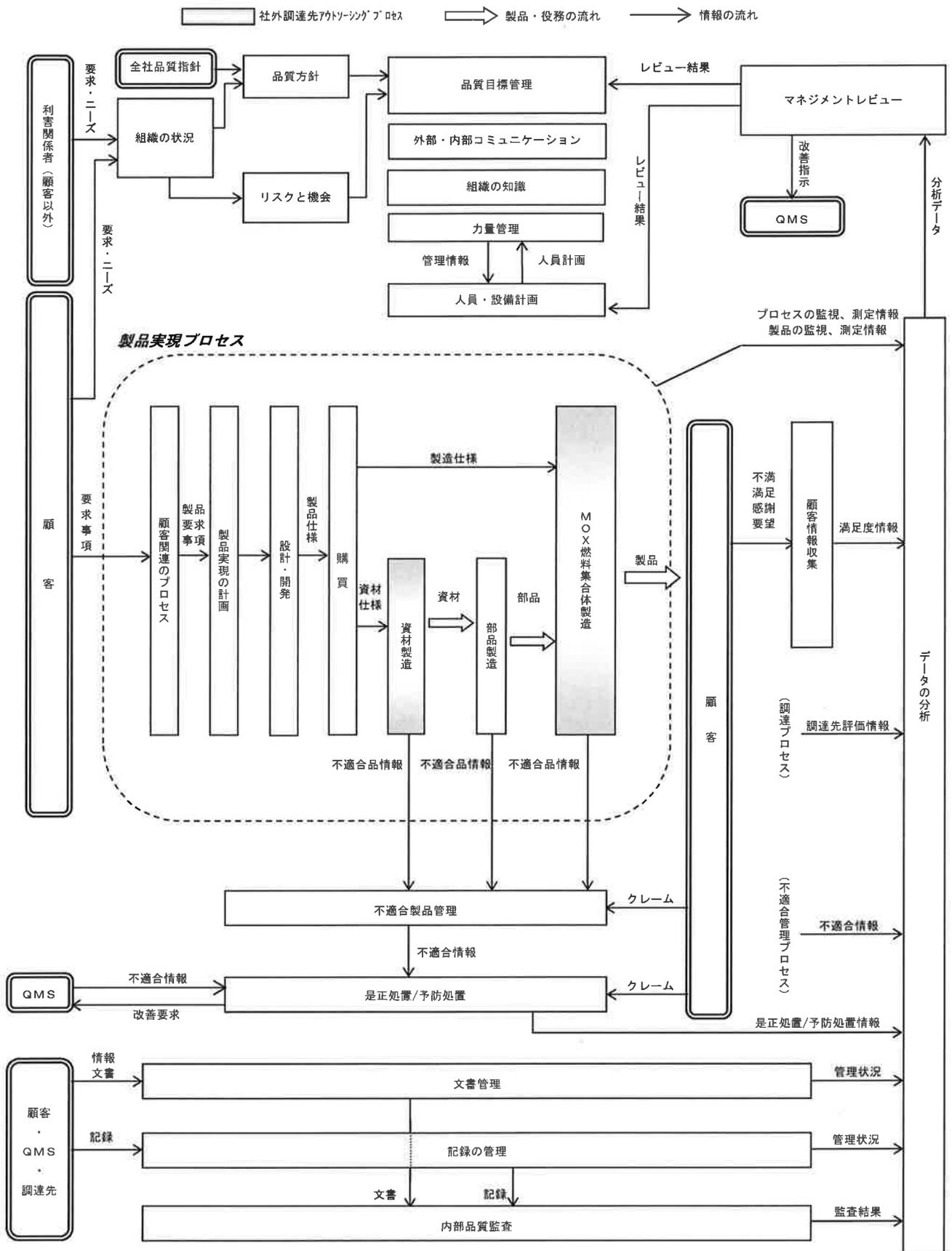
原燃工は、品質マネジメントシステムの適切性、妥当性及び有効性を継続的に改善している。

## 8. 添付資料

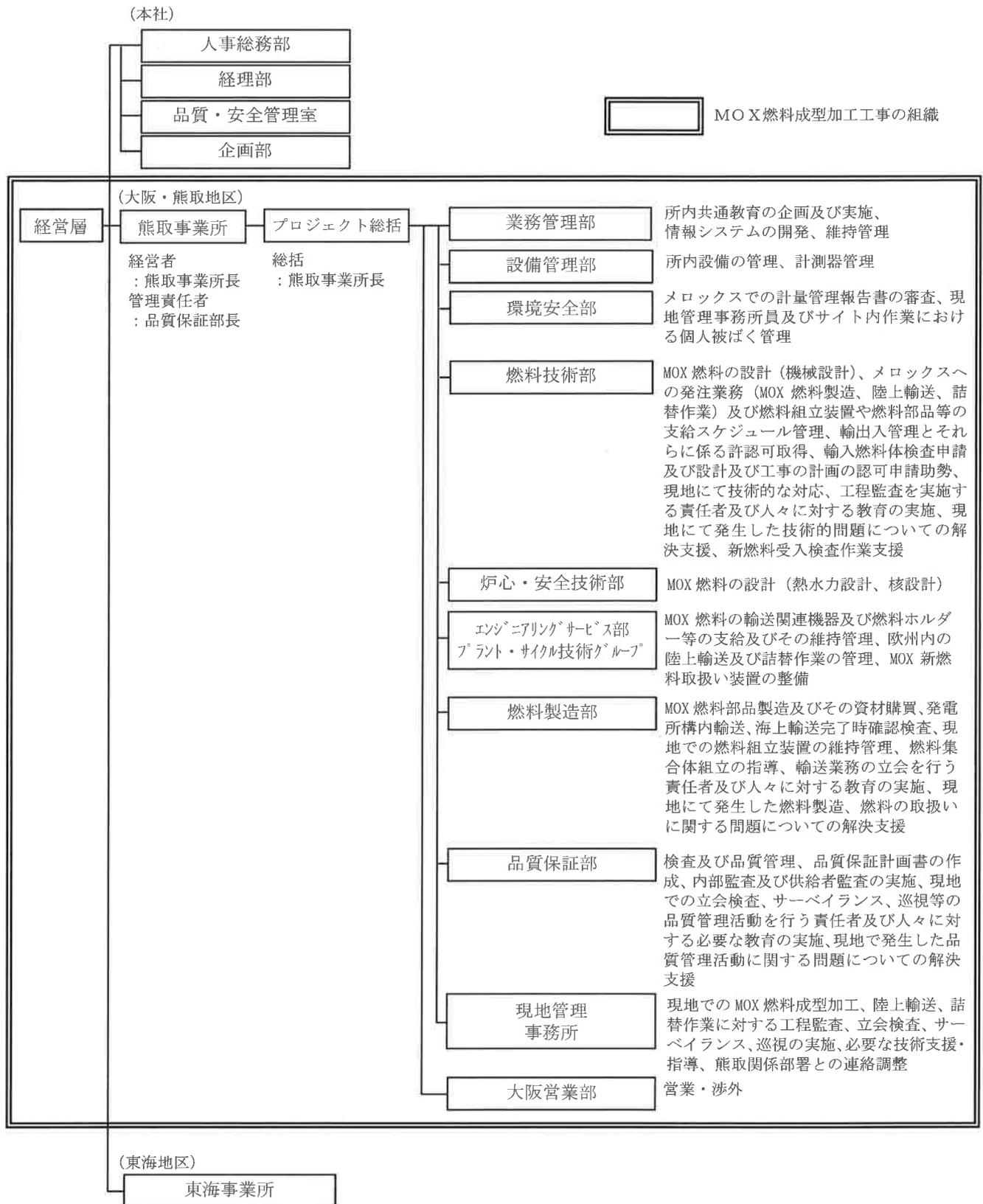
第6-4-1図 プロセス体系図

第6-4-2図 品質保証組織図

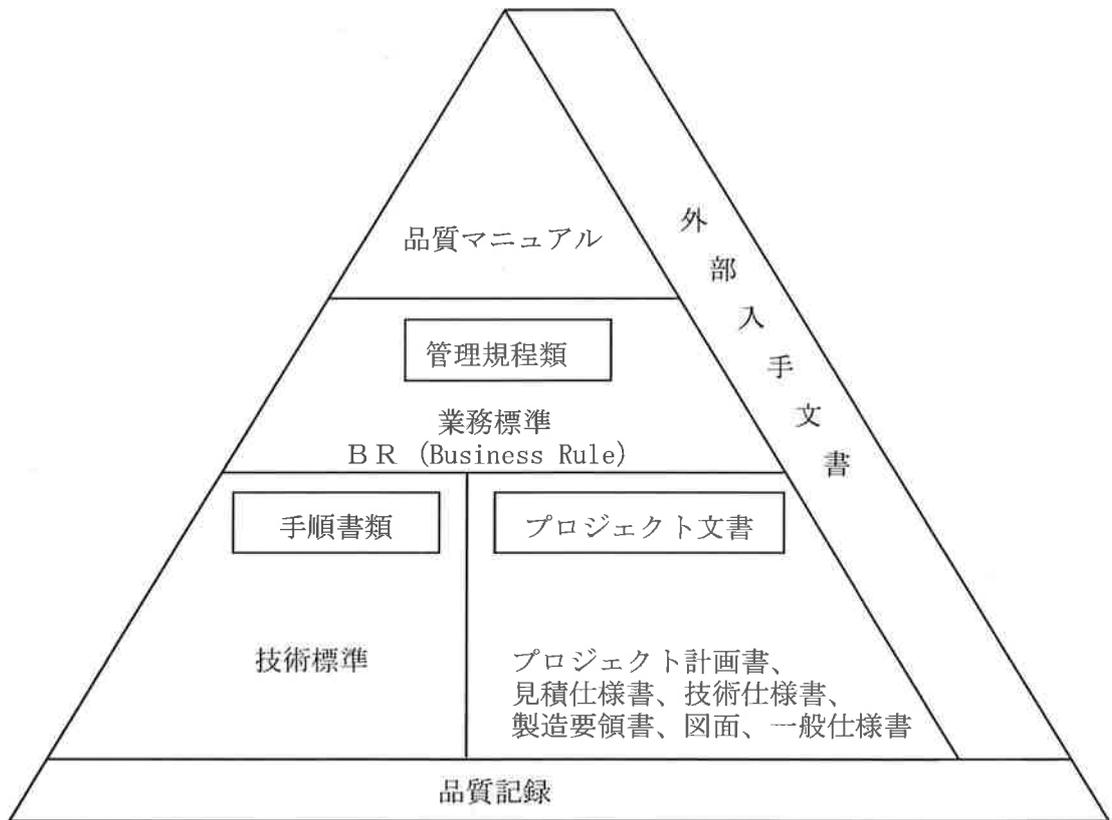
第6-4-3図 文書体系図



第6-4-1図 プロセス体系図



第6-4-2図 品質保証組織図



第6-4-3図 文書体系図

メロックスの品質保証について

# 目 次

	頁
0. まえがき .....	6-83
1. 組織の状況 .....	6-83
1.1 組織及びその状況の理解 .....	6-83
1.2 利害関係者のニーズ及び期待の理解 .....	6-83
1.3 品質マネジメントシステムの適用範囲の決定 .....	6-83
1.4 品質マネジメントシステム及びそのプロセス .....	6-84
2. リーダーシップ .....	6-84
2.1 リーダーシップ及びコミットメント .....	6-84
2.2 方針 .....	6-85
2.3 組織の役割、責任及び権限 .....	6-85
3. 計画 .....	6-86
3.1 リスク及び機会への取組み .....	6-86
3.2 品質目標及びそれを達成するための計画策定 .....	6-86
3.3 変更の計画 .....	6-87
4. 支援 .....	6-87
4.1 資源 .....	6-87
4.2 力量 .....	6-88
4.3 認識 .....	6-88
4.4 コミュニケーション .....	6-89
4.5 文書化した情報 .....	6-89
5. 運用 .....	6-90
5.1 運用の計画及び管理 .....	6-90
5.2 製品及び役務に関する要求事項 .....	6-90
5.3 製品及び役務の設計・開発 .....	6-91
5.4 外部から提供されるプロセス、製品及び役務の管理 .....	6-91
5.5 製品及び役務の提供 .....	6-92
5.6 製品及び役務のリリース .....	6-94
5.7 不適合なアウトプットの管理 .....	6-94
6. パフォーマンス評価 .....	6-95
6.1 監視、測定、分析及び評価 .....	6-95
6.2 内部監査 .....	6-95

6.3	マネジメントレビュー .....	6-96
7.	改善 .....	6-97
7.1	一般 .....	6-97
7.2	不適合及び是正処置 .....	6-97
7.3	継続的改善 .....	6-97
8.	添付資料 .....	6-98
	第6-5-1図 プロセス体系図	
	第6-5-2図 品質保証組織図	
	第6-5-3図 文書体系図	

## 0. まえがき

本資料では、高浜発電所第3，4号機向けMOX燃料集合体の製造に関する仏国オラノサイクル社のメロックス工場（以下、「メロックス」）の品質保証活動の基本事項を示す。

なお、今後品質マネジメントシステムが見直された際には、見直された品質マネジメントシステムに基づき、品質保証活動が行われる。

## 1. 組織の状況

### 1.1 組織及びその状況の理解

- (1) メロックスは、メロックスの目的及び戦略的方向性に関連し、その品質マネジメントシステムの意図した結果を達成する自らの能力に影響を与える、外部及び内部の課題を明確にしている。
- (2) メロックスは、これらの外部及び内部の課題に関する情報を監視し、レビューしている。

### 1.2 利害関係者のニーズ及び期待の理解

- (1) メロックスは、次の事項を明確にしている。
  - a. 品質マネジメントシステムに密接に関連する利害関係者
  - b. 品質マネジメントシステムに密接に関連するそれらの利害関係者の要求事項
- (2) メロックスは、これらの利害関係者及びその関連する要求事項に関する情報を監視し、レビューしている。

### 1.3 品質マネジメントシステムの適用範囲の決定

- (1) メロックスは、品質マネジメントシステムの適用範囲を定めるために、その境界及び適用可能性について、次の事項を考慮して決定している。
  - a. 1.1項に規定する外部及び内部の課題
  - b. 1.2項に規定する、密接に関連する利害関係者の要求事項
  - c. メロックスの製品及び役務
- (2) メロックスは、次の事項を含む品質マニュアルとして「Orano MELOX PLANT MANAGEMENT MANUAL」を作成し、利用可能な状態にし、維持している。
  - a. 品質マネジメントシステムの適用範囲  
ただし、MOX燃料集合体の設計開発は、設計会社を実施するため適用除外
  - b. 品質マネジメントシステムについて確立された社内標準又はそれらを参照する情報
  - c. 品質マネジメントシステムのプロセス間の相互関係に関する記述（第6－5－1図参照）

#### 1.4 品質マネジメントシステム及びそのプロセス

- (1) メロックスは、ISO 9001:2015 の要求事項に従って、必要なプロセス及びそれらの相互作用を含む、品質マネジメントシステムを確立し、実施し、維持し、かつ、継続的に改善している。
- (2) メロックスは、品質マネジメントシステムに必要なプロセス及びそれらのメロックス全体にわたる適用を決定している。また、次の事項を実施している。
  - a. これらのプロセスに必要なインプット、及びこれらのプロセスから期待されるアウトプットを明確にしている。
  - b. これらのプロセスの順序及び相互作用を明確にしている。
  - c. これらのプロセスの効果的な運用及び管理を確実にするために必要な判断基準及び方法（監視、測定及び関連するパフォーマンス指標を含む。）を決定し、適用している。
  - d. これらのプロセスに必要な資源を明確にし、及びそれが利用できることを確実にしている。
  - e. これらのプロセスに関する責任及び権限を割り当てている。
  - f. 3.1 の要求事項に従って決定したとおりにリスク及び機会に取り組んでいる。
  - g. これらのプロセスを評価し、これらのプロセスの意図した結果の達成を確実にするために必要な変更を実施している。
  - h. これらのプロセス及び品質マネジメントシステムを改善している。
- (3) メロックスは、製品品質に影響のある仕事に従事する人々に対し、安全文化を醸成するための必要な活動を定め、活動している。
- (4) メロックスは、必要な程度まで、次の事項を実施している。
  - a. プロセスの運用を支援するための文書を維持している。
  - b. プロセスが計画どおりに実施されたと確信するための記録を保持している。

## 2. リーダーシップ

### 2.1 リーダーシップ及びコミットメント

#### 2.1.1 一般

メロックス工場長は、次に示す事項によって、品質マネジメントシステムに関するリーダーシップ及びコミットメントを実証している。

- a. 品質マネジメントシステムの有効性に説明責任を負う。
- b. 品質方針及び品質目標を確立し、それらがメロックスの状況及び戦略的な方向性と両立することを確実にする。
- c. 事業プロセスへの品質マネジメントシステム要求事項の統合を確実にする。
- d. プロセスアプローチ及びリスクに基づく考え方の利用を促進する。
- e. 必要な資源（人、設備）の提供を行う。

- f. 有効な品質マネジメントシステム及び品質マネジメントシステム要求事項への適合の重要性を伝達している。
- g. 品質マネジメントシステムがその意図した結果を達成することを確実にする。
- h. 品質マネジメントシステムの有効性に寄与するよう人々を積極的に参加させ、指揮し、支援する。
- i. 改善を促進する。
- j. その他の関連する管理層がその責任の領域においてリーダーシップを実証するよう、管理層の役割を支援する。
- k. 安全文化を醸成するための活動を促進している。

### 2.1.2 顧客重視

メロックス工場長は、次の事項を確実にすることによって、顧客重視に関するリーダーシップ及びコミットメントを実証している。

- a. 顧客要求事項及び適用される法令・規制要求事項を明確にし、理解し、一貫してそれを満たしている。
- b. 製品及び役務の適合並びに顧客満足を向上させる能力に影響を与え得る、リスク及び機会を決定し、取り組んでいる。
- c. 顧客満足向上の重視が維持されている。

## 2.2 方針

### 2.2.1 品質方針の確立

メロックス工場長は、次の事項を満たす品質方針を確立し、実施し、維持している。

- a. メロックスの目的及び状況に対して適切であり、メロックスの戦略的な方向性を支援する。
- b. 品質目標の設定のための枠組みを与える。
- c. 適用される要求事項を満たすことへのコミットメントを含む。
- d. 品質マネジメントシステムの継続的改善へのコミットメントを含む。

### 2.2.2 品質方針の伝達

品質方針は、次に示す事項を満たしている。

- a. 文書化した情報として利用可能な状態にされ、維持される。
- b. メロックス内に伝達され、理解され、適用される。
- c. 必要に応じて、密接に関連する利害関係者が入手可能である。

## 2.3 組織の役割、責任及び権限

メロックス工場長は、次の事項に対して、各部の責任と権限を品質マニュアル等の文書に明文化して、それらを配付することによりメロックス内に周知している。

(第6-5-2図参照)

- a. 品質マネジメントシステムが、ISO 9001:2015 の要求事項に適合することを確実にする。
- b. プロセスが、意図したアウトプットを生み出すことを確実にする。
- c. 品質マネジメントシステムのパフォーマンス及び改善の機会をメロックス工場長に報告する。
- d. メロックス全体にわたって、顧客重視を促進することを確実にする。
- e. 品質マネジメントシステムへの変更を計画し、実施する場合には、品質マネジメントシステムを“完全に整っている状態”に維持することを確実にする。

### 3. 計画

#### 3.1 リスク及び機会への取組み

- (1) メロックスは、品質マネジメントシステムの計画を策定しており、1.1 に規定する課題及び1.2 に規定する要求事項を考慮し、次の事項のために取り組み必要があるリスク及び機会を決定している。
  - a. 品質マネジメントシステムが、その意図した結果を達成できるという確信を与える。
  - b. 望ましい影響を増大する。
  - c. 望ましくない影響を防止又は低減する。
  - d. 改善を達成する。
- (2) メロックスは、次の事項を計画している。
  - a. 上記によって決定したリスク及び機会への取組み
  - b. 次の事項を行う方法
    - 1) その取組みの品質マネジメントシステムプロセスへの統合及び実施
    - 2) その取組みの有効性の評価

#### 3.2 品質目標及びそれを達成するための計画策定

- (1) メロックスは、品質方針に基づき、次の事項を満たした各部に品質目標を設定している。マネジメントレビューで品質目標の達成状況を監視している。
  - a. 品質方針と整合している。
  - b. 測定可能である。
  - c. 適用される要求事項を考慮に入れる
  - d. 製品及び役務の適合、並びに顧客満足の向上に関連している。
  - e. 監視する。
  - f. 伝達する。
  - g. 必要に応じて、更新する。

(2) 品質目標をどのように達成するかについて計画する場合は、次に示す項目を決定している。

- a. 実施事項
- b. 必要な資源
- c. 責任者
- d. 実施事項の完了時期
- e. 結果の評価方法

### 3.3 変更の計画

メロックスは、品質マネジメントシステムの変更の必要性を決定したとき、その変更を次の事項を考慮して計画的な方法で行うこととしている。

- a. 変更の目的、及び逸れによって起こり得る結果
- b. 品質マネジメントシステムの“完全に整っている状態”
- c. 資源の利用可能性
- d. 責任及び権限の割当て又は再割当て

## 4. 支援

### 4.1 資源

#### 4.1.1 一般

メロックスは、品質マネジメントシステムの確立、実施、維持及び継続的改善に必要な資源を次の事項を考慮して明確にし、提供している。

- a. 既存の内部資源の実現能力及び制約
- b. 外部提供者から取得する必要があるもの

#### 4.1.2 人々

メロックスは、品質マネジメントシステムの効果的な実施、並びにそのプロセスの運用及び管理のために必要な人々を明確にし、提供している。

#### 4.1.3 インフラストラクチャー

メロックスは、プロセスの運用に必要なインフラストラクチャー、並びに製品及び役務の適合を達成するために必要なインフラストラクチャーを明確にし、提供し、維持している。

#### 4.1.4 プロセスの運用に関する環境

メロックスは、プロセスの運用に必要な環境、並びに製品及び役務の適合を達成するために必要な環境を明確にし、提供し、維持している。

#### 4.1.5 監視及び測定のための資源

- (1) メロックスは、MOX燃料集合体が、妥当で信頼できるものであることを確実にするために必要な資源を明確にし、提供している。
- (2) メロックスは、用意した資源が次の事項を満たすことを確実にしている。
  - a. 実施する特定の種類の監視及び測定活動に対して適切である。
  - b. その目的に継続して合致することを確実にするために維持されている。
- (3) メロックスは、監視及び測定のための資源が目的と合致している証拠として、記録を保持している。
- (4) 測定機器のトレーサビリティが要求事項となっている場合、又はメロックスがそれを測定の結果の妥当性に信頼を与えるための不可欠な要素とみなす場合には、メロックスは、測定機器に関し、次の管理を行うこととしている。
  - a. 国家標準もしくは検証に用いた基準との関係を明確にする。
  - b. 校正、妥当性の確認を所定の頻度で行い、実施の内容及び結果を記録する。
  - c. 個別に識別すると共に、校正の有効期限を表示する。
  - d. 監視、測定機器のリストを作成し、校正状態を管理する。

#### 4.1.6 組織の知識

- (1) メロックスは、プロセスの運用に必要な知識、並びに製品及び役務の適合を達成するために必要な知識を明確にしている。
- (2) この知識を維持し、必要な範囲で利用できる状態にしている。
- (3) 変化するニーズ及び傾向に取り組む場合、現在の知識を考慮し、必要な追加の知識及び要求される更新情報を得る方法又はそれらにアクセスする方法を決定している。

#### 4.2 力量

メロックスは、次の事項を実施している。

- a. 品質マネジメントシステムのパフォーマンス及び有効性に影響を与える業務をその管理下で従事する人々に必要な力量を明確にする。
- b. 適切な教育、訓練又は経験に基づいて、それらの人々が力量を備えていることを確実にしている。
- c. 該当する場合には、必ず、必要な力量を身に付けるための処置をとり、とった処置の有効性を評価している。
- d. 力量の証拠として、記録を保持している。

#### 4.3 認識

メロックスは、その管理下で従事する人々が、次の事項に関して認識をもつことを確実にしている。

- a. 品質方針
- b. 関連する品質目標
- c. パフォーマンスの向上によって得られる便益を含む、品質マネジメントシステムの有効性に対する自らの貢献
- d. 品質マネジメントシステム要求事項に適合しないことの意味

#### 4.4 コミュニケーション

メロックスは、コミュニケーションの内容、実施時期、対象者等含む、品質マネジメントシステムに関連する内部及び外部のコミュニケーションを決定している。

#### 4.5 文書化した情報

##### 4.5.1 一般

メロックスの品質マネジメントシステムでは、次の事項を含んでいる。なお、品質マネジメントシステムの文書体系図を第6-5-3図に示す。

- a. 規格が要求する文書化した情報
- b. 品質マネジメントシステムの有効性のために必要であるとメロックスが決定した、文書化した情報

##### 4.5.2 作成及び更新

文書化した情報を作成及び更新する際、メロックスは、次の事項を確実にしている。

- a. 適切は識別及び記述
- b. 適切な形式
- c. 適切性及び妥当性に関する、適切なレビュー及び承認

##### 4.5.3 文書化した情報の管理

(1) メロックスは、品質マネジメントシステム及びこの ISO 9001:2015 で要求されている文書化した情報について、必要なときに、必要なところで、入手可能かつ利用に適した状態であり、十分に保護されるように管理を行っている。

(2) メロックスは、文書化した情報に管理に当たって、該当する場合には次の項目について取り組んでいる。また、品質マネジメントシステムの計画及び運用のために必要な外部からの文書化した情報は、必要に応じて識別し、管理しなっている。

- a. 配布、アクセス、検索及び利用
- b. 読みやすさが保たれることを含む、保管及び保存
- c. 変更の管理
- d. 保持及び廃棄

## 5. 運用

### 5.1 運用の計画及び管理

- (1) メロックスは、次に示す事項の実施によって、製品及び役務の提供に関する要求事項を満たすため、並びに「3. 計画」で決定した取組みを実施するために必要なプロセスを、計画し、実施し、かつ、管理している。
  - a. 製品及び役務に関する要求事項の明確化
  - b. 次の事項に関する基準の設定
    - 1) プロセス
    - 2) 製品及び役務の合否判定
  - c. 製品及び役務の要求事項への適合を達成するために必要な資源の明確化
  - d. b. の基準に従った、プロセスの管理の実施
  - e. 次の目的のために必要な程度の、文書化した情報の明確化、維持及び保持
    - 1) プロセスが計画どおりに実施されたという確信をもつ。
    - 2) 製品及び役務の要求事項への適合を実証する。
- (2) メロックスは、この計画のアウトプットを組織の運用に適したものとしている。
- (3) メロックスは、計画した変更を管理し、意図しない変更によって生じた結果をレビューし、必要に応じて、有害な影響を軽減する処置をとっている。
- (4) メロックスは、外部委託したプロセスが管理されていることを確実にしている。

### 5.2 製品及び役務に関する要求事項

#### 5.2.1 顧客とのコミュニケーション

メロックスは、顧客からのフィードバック等に関して顧客とのコミュニケーションを図るため、顧客との打ち合わせを実施している。

#### 5.2.2 製品及び役務に関する要求事項の明確化

- (1) メロックスは、次の事項を定めている。
  - a. MOX燃料集合体に関連する法令・規制要求事項
  - b. 顧客が要求する技術上、品質保証上の要求事項
  - c. メロックスが必要とみなすもの
- (2) メロックスは、提供する製品及び役務に関して主張していることを満たすことができることを確実にしている。

#### 5.2.3 製品及び役務に関する要求事項のレビュー

- (1) メロックスは、顧客に提供する製品及び役務に関する要求事項を満たす能力をもつことを確実にしている。
- (2) メロックスは製品及び役務を顧客に提供することをコミットメントする前に、次の事項を含め、レビューを行っている。

- a. 顧客が規定した要求事項
  - b. 顧客が明示してはいるが、指定された用途又は意図された用途が既知である場合、それらの用途に応じた要求事項
  - c. メロックスが規定した要求事項
  - d. 製品及び役務に適用される法令・規制要求事項
  - e. 以前に提示されたものと異なる、契約又は注文の要求事項
- (3) メロックスは、契約又は注文の要求事項が以前に定めたものと異なる場合には、それが解決されていることを確実にしている。
- (4) 顧客がその要求事項を書面で示さない場合には、メロックスは、顧客要求事項を受諾する前に確認している。
- (5) メロックスは、該当する場合には、次の事項に関する記録を保持している。
- a. レビューの結果
  - b. 製品及び役務に関する新たな要求事項

#### 5.2.4 製品及び役務に関する要求事項の変更

製品及び役務に関する要求事項が変更されたときには、メロックスは関連する文書を変更することを確実にしている。

また、変更後の要求事項が、関連する人々に理解されていることを確実にしている。

#### 5.3 製品及び役務の設計・開発

製品設計は設計会社から提供されるため、該当するプロセスはない。

#### 5.4 外部から提供されるプロセス、製品及び役務の管理

##### 5.4.1 一般

- (1) メロックスは、外部から提供されるプロセス、製品及び役務が要求事項に適合していることを確実にしている。
- (2) 次の事項に該当する場合には、外外部から提供されるプロセス、製品及び役務に適用する管理を定めている。
  - a. 外部提供者からの製品及び役務が、組織自身の製品及び役務に組み込むことを意図したものである場合
  - b. 製品及び役務が、組織に代わって、外部提供者から直接顧客に提供される場合
  - c. プロセス又はプロセスの一部が、メロックスの決定の結果として、外部提供者から提供される場合
- (3) メロックスは、要求事項に従ってプロセス又は製品・役務を提供する外部提供者の能力に基づいて、外部提供者の評価、選択、パフォーマンスの監視、及び再評価を行うための基準を決定し、適用しなければならない。
- (4) メロックスは、これらの活動及びその評価によって生じる必要な処置について、

の記録を保持している。

#### 5.4.2 管理の方式及び程度

- (1) メロックスは、外部から提供されるプロセス、MOX燃料集合体及び役務が顧客に一貫して適合したMOX燃料集合体を引き渡す能力に悪影響を及ぼさないことを確実にしている。
- (2) メロックスは、次の事項を実施している。
  - a. 外部から提供されるプロセスをメロックスの品質マネジメントシステムの管理下にとどめることを、確実にしている。
  - b. 外部提供者に適用するための管理、及びそのアウトプットに適用するための管理の両方を定めている。
  - c. 次の事項を考慮に入れている。
    - 1) 外部から提供されるプロセス、製品及び役務が、顧客要求事項及び適用される法令・規制要求事項を一貫して満たすメロックスの能力に与える潜在的な影響
    - 2) 外部提供者によって適用される管理の有効性
  - d. 外部から提供されるプロセス、製品及び役務が要求事項を満たすことを確実にするために必要な検証又はその他の活動を明確にしている。

#### 5.4.3 外部提供者に対する情報

- (1) メロックスは、外部提供者に伝達する前に、要求事項が妥当であることを明確にしている。要求事項には、次の事項を含めている。
  - a. 提供されるプロセス、製品及び役務
  - b. 製品、役務、方法、プロセス、設備及び製品・役務のリリースの承認に関する要求事項
  - c. 人々の適格性確認に関する要求事項を含む力量
  - d. メロックスと外部提供者との相互作用
  - e. メロックスが適用する、外部提供者のパフォーマンスの管理及び監視
  - f. メロックス又はその顧客が外部提供者先での実施を意図している検証又は妥当性確認活動

### 5.5 製品及び役務の提供

#### 5.5.1 製品及び役務提供の管理

メロックスは、MOX燃料集合体の製造にあたって、次に示す管理を実施している。

- a. 作業手順、製造管理パラメータ及び検査等の実施に関する文書を定め、製造期間を通じこれを遵守する。
- b. 製造及び検査の実施状況を工程管理システムにより一元的に管理する。

- c. 製造及び検査現場において作業手順書が遵守されていることを確認する。
- d. 製造及び検査に使用する機器の保全を行い、機器を所定の状態に維持する。
- e. 監視機器及び測定機器が利用できる状態に管理し、これを使用する。
- f. 製品の適合性が確認されたものを次工程へ払い出すよう管理する。
- g. 特殊工程を定め、当該プロセスが計画どおりの結果を出せることを確認している。
- h. 当該プロセスの実施に必要な人々、設備及び作業条件などに関する基準を含む認定計画を策定している。
- j. プロセスの妥当性確認に関する記録を作成し、維持している。
- k. 特殊工程は、定められた期間経過後、再認定されている。

#### 5.5.2 識別及びトレーサビリティ

- (1) メロックスは、製造工程の適用状況、検査の実施状況及び合否、部品の組み合わせの情報等の製品の状態を工程管理システムにより識別管理している。
- (2) メロックスは、工程管理システムにより製造、検査の状況等を適時記録し、トレーサビリティを維持している。

#### 5.5.3 顧客又は外部提供者の所有物

メロックスは、顧客の所有物については、受け入れ時の確認の手順を定める取り扱い及び保管の方法を定め、適切に管理している。

#### 5.5.4 保存

メロックスは、製品の保存を定められた場所で適切な環境及び方法により実施し、保存中に品質劣化、紛失を防止している。製品及び部品は、工程管理システムにより識別管理している。

#### 5.5.5 引渡し後の活動

- (1) メロックスは、MOX燃料集合体又は役務に関連する引渡し後の活動に関する要求事項を満たしている。
- (2) 要求される引渡し後の活動の程度を決定するに当たって、メロックスは、次の事項を考慮している。
  - a. 法令・規制要求事項
  - b. 製品及び役務に関連して起こり得る望ましくない結果
  - c. 製品及び役務の性質、用途及び意図した耐用期間
  - d. 顧客要求事項
  - e. 顧客からのフィードバック

#### 5.5.6 変更の管理

- (1) メロックスは、製造又は役務提供に関する変更を、要求事項への継続的な適合を確実にするために必要な程度までレビューし、管理している。
- (2) メロックスは、変更のレビューの結果、変更を正式に許可した人（又は人々）及びレビューから生じた必要な処置を記載した記録を保持している。

#### 5.6 製品及び役務のリリース

- (1) メロックスは、MOX燃料集合体の製品要求事項が満たされていることを検証するために、作業手順書に従って製品の特性を監視し、測定している。
- (2) 製品の監視及び測定を行う人々の独立の程度を定めている。
- (3) 製品に関する試験検査の結果は、検査の対象とした製品、判定基準、測定値、試験検査手順書、合否判定及び合否の判定者を記録した報告書に記載されている。
- (4) 個別製品は、定められた手順に基づき作業が行われ、製品に対する要求事項が満足されていることを示す記録が全て整っていることが確認されるまで次工程へ払い出さないよう管理されている。

#### 5.7 不適合なアウトプットの管理

- (1) メロックスは、要求事項に適合しないアウトプットが誤って使用されること又は引き渡されることを防ぐために、それらを識別し、管理している。
- (2) メロックスは、不適合の性質、並びにそれが製品及び役務の適合に与える影響に基づいて、適切な処置をとることとしている。
- (3) メロックスは、次の一つ以上の方法で、不適合なアウトプットを処理することとしている。
  - a. 修正
  - b. 製品及び役務の分離、散逸防止、返却又は提供停止
  - c. 顧客への通知
  - d. 特別採用による受入の正式な許可の取得
- (4) メロックスは、次の事項を満たす記録を保持している。
  - a. 不適合が記載されている。
  - b. とった処置が記載されている。
  - c. 取得した特別採用が記載されている。
  - d. 不適合に関する処置について決定する権限をもつ者を特定している。

## 6. パフォーマンス評価

### 6.1 監視、測定、分析及び評価

#### 6.1.1 一般

- (1) メロックスは、次の事項を決定している。
  - a. 監視及び測定が必要な対象
  - b. 妥当な結果を確実にするために必要な、監視、測定、分析及び評価の方法
  - c. 監視及び測定の実施時期
  - d. 監視及び測定の結果の、分析及び評価の時期
- (2) メロックスは、品質マネジメントシステムのパフォーマンス及び有効性を評価している。
- (3) メロックスは、この結果の証拠として、適切な記録を保持している。

#### 6.1.2 顧客満足

メロックスは、顧客満足にかかる調査等の情報を入手し、分析している。また、マネジメントレビューにおいてその結果を報告している。

#### 6.1.3 分析及び評価

- (1) メロックスは、監視及び測定からの適切なデータ及び情報を分析し、評価している。
- (2) 分析の結果は、次の事項を評価するために用いている。
  - a. 製品及び役務の適合
  - b. 顧客満足度
  - c. 品質マネジメントシステムのパフォーマンス及び有効性
  - d. 計画が効果的に実施されたかどうか。
  - e. リスク及び機会への取組みの有効性
  - f. 外部提供者のパフォーマンス
  - g. 品質マネジメントシステムの改善の必要性

### 6.2 内部監査

- (1) メロックスは、品質マネジメントシステムが要求事項に適合し、効果的に実施されていることを確認するために、監査の年度計画を立てて内部監査を実施している。
- (2) メロックスは、プロセスの重要度、前回の監査結果等を考慮の上、監査の年度計画を策定している。監査の基準、範囲、頻度、方法を監査計画で明確にしている。なお、監査計画の策定に当たっては、監査員には自らの仕事を監査させない等により、監査員の選定及び監査の実施において監査プロセスの客観性及び公平性を確保している。

- (3) メロックスは、内部監査の社内標準を定め、監査の年度計画、実施計画の作成、監査員の選定、監査報告書の作成、監査結果の評価、是正処置の実施、是正処置のフォローについて規定している。
- (4) 被監査部署の責任者は、発見された不適合に対して是正処置を検討し、不適合の修正と是正処置を実施している。不適合の修正と是正処置の実施状況については、品質安全環境管理部門において検証されている。
- (5) 内部監査に関わる記録を維持している。

### 6.3 マネジメントレビュー

#### 6.3.1 一般

メロックス工場長は、メロックスの品質マネジメントシステムが、引き続き、適切、妥当かつ有効で更にメロックスの戦略的な方向性と一致していることを確実にするために、年1回品質マネジメントシステムをレビューしている。

#### 6.3.2 マネジメントレビューへのインプット

マネジメントレビューは、次の事項を考慮して計画し、実施されている。

- a. 前回までのマネジメントレビューの結果とった処置の状況
- b. 品質マネジメントシステムに関連する外部及び内部の課題の変化
- c. 次に示す傾向を含めた、品質マネジメントシステムのパフォーマンス及び有効性に関する情報
  - 1) 顧客満足及び密接に関連する利害関係者からのフィードバック
  - 2) 品質目標が満たされている程度
  - 3) プロセスのパフォーマンス、並びに製品及び役務の適合
  - 4) 不適合及び是正処置
  - 5) 監視及び測定の結果
  - 6) 監査結果
  - 7) 外部提供者のパフォーマンス
- d. 資源の妥当性
- e. リスク及び機会への取組みの有効性 (6.1 参照)
- f. 改善の機会

#### 6.3.3 マネジメントレビューからのアウトプット

- (1) マネジメントレビューからのアウトプットには、次の事項に関する決定及び処置を含めている。
  - a. 改善の機会
  - b. 品質マネジメントシステムのあらゆる変更の必要性
  - c. 資源の必要性

(2) メロックスは、マネジメントレビューの結果の記録を保持している。

## 7. 改善

### 7.1 一般

メロックスは、顧客要求事項を満たし、顧客満足を向上させるために、改善の機会を明確にし、選択し、また、次の事項を含めて必要な取り組みを実施している。

- a. 要求事項を満たすため、並びに将来のニーズ及び期待に取り組むための、製品及び役務の改善
- b. 望ましくない影響の修正、防止又は低減
- c. 品質マネジメントシステムのパフォーマンス及び有効性の改善

### 7.2 不適合及び是正処置

(1) メロックスは、苦情から生じたものを含め、不適合が発生した場合、次の事項に関する社内標準を定め、実施している。

- a. その不適合に対処し、該当する場合には、必ず、次の事項を行う。
  - 1) その不適合を管理し、修正するための処置をとる。
  - 2) その不適合によって起こった結果に対処する。
- b. その不適合が再発又は他のところで発生しないようにするため、次の事項によって、その不適合の原因を除去するための処置をとる必要性を評価する。
  - 1) その不適合をレビューし、分析する。
  - 2) その不適合の原因を明確にする。
  - 3) 類似の不適合の有無、又はそれが発生する可能性を明確にする。
- c. 必要な処置を実施する。
- d. とった全ての是正処置の有効性をレビューする。
- e. 必要な場合には、計画の策定段階で決定したリスク及び機会を更新する。
- f. 必要な場合には、品質マネジメントシステムの変更を行う。

(2) メロックスは、不適合の性質及びそれに対してとったあらゆる処置及び是正処置の結果の記録を保持している。

### 7.3 継続的改善

メロックスは、継続的改善の一環として取り組まなければならない必要性又は機会があるかどうかを明確にするために、分析及び評価の結果並びにマネジメントレビューからのアウトプットを検討している。

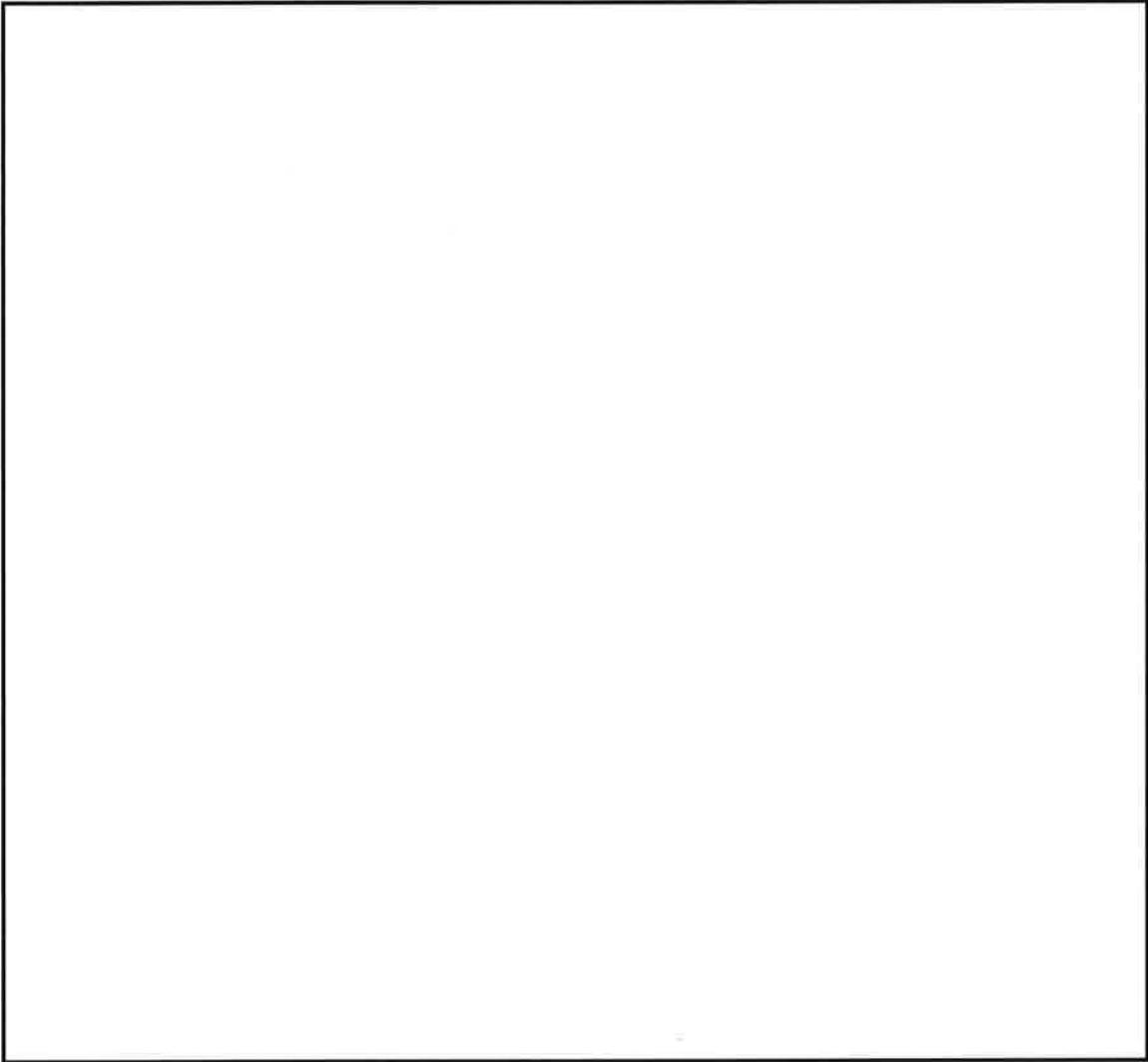
8. 添付資料

第6-5-1図 プロセス体系図

第6-5-2図 品質保証組織図

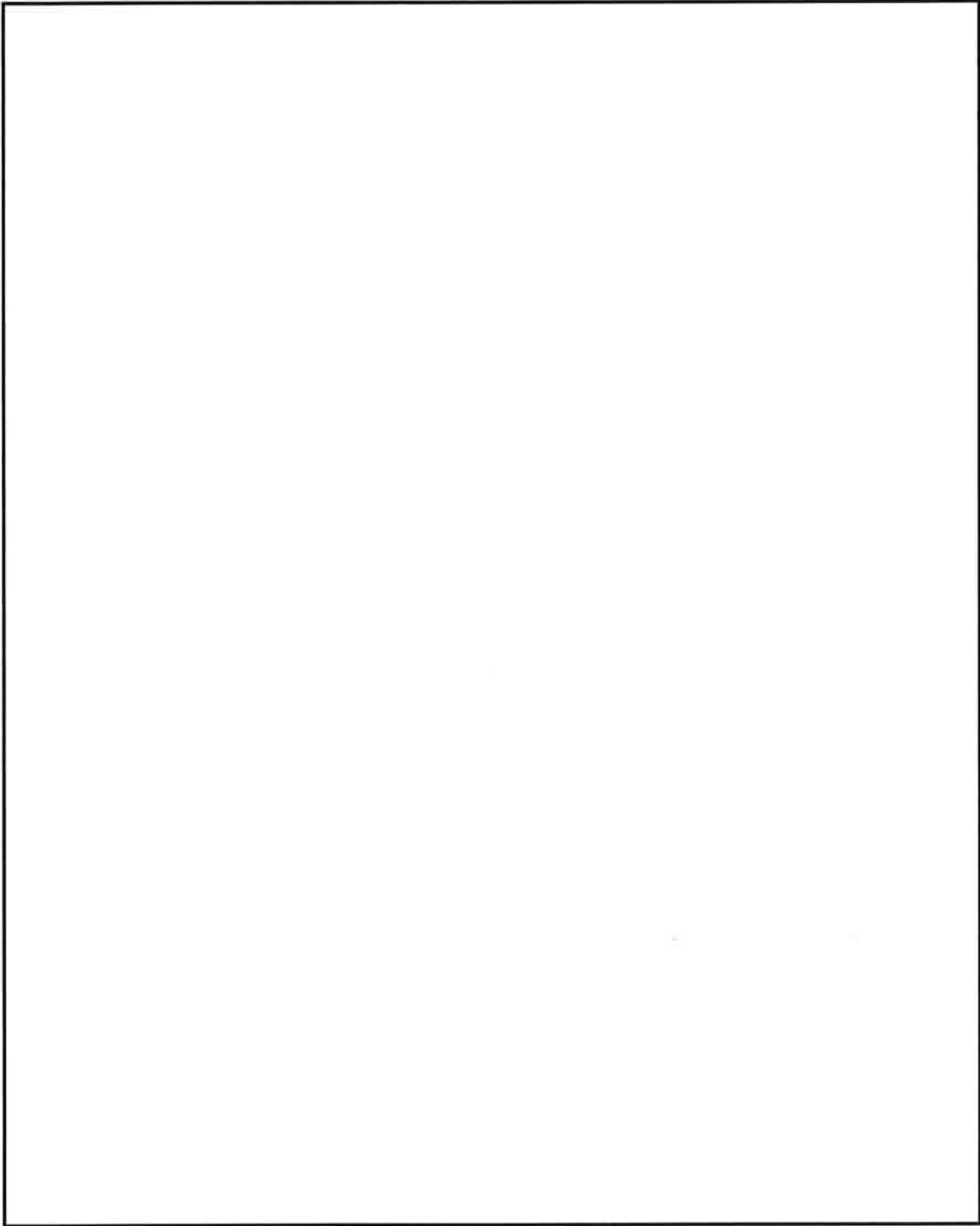
第6-5-3図 文書体系図

内は商業機密のため、公開できません。

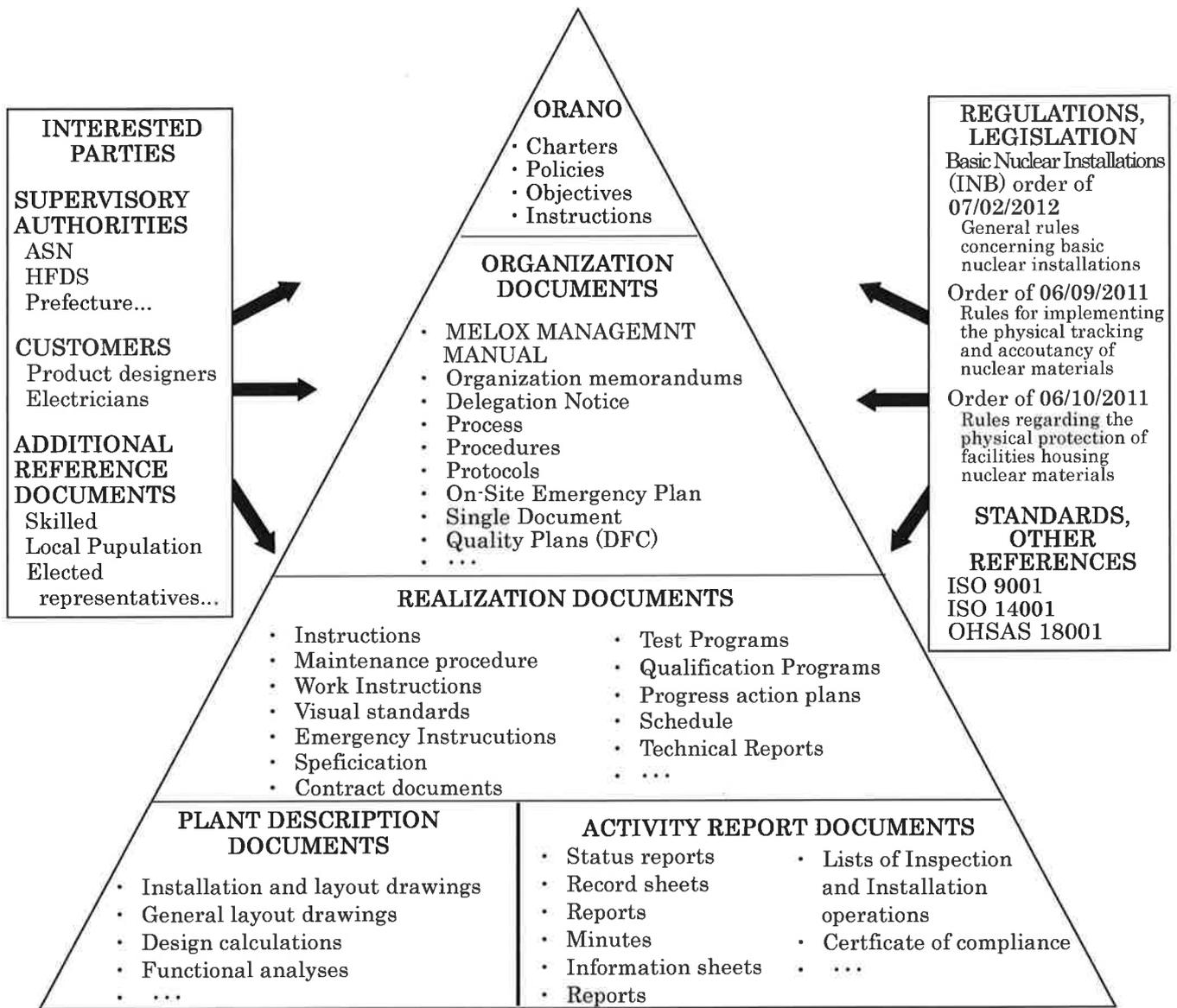


第6-5-1図 プロセス体系図

内は商業機密のため、公開できません。



第6-5-2図 品質保証組織図



第 6 - 5 - 3 図 文書体系図