

本資料は 年 2001. 6. - 6 日付で登録区分、
変更する。

[技術情報室]

JMTRにおける高速炉燃料基礎照射試験 I

70F-8P, 9P, 12P, TR カプセル用燃料ピンの設計と製造

Capsule Irradiation Testing of Fast Reactor Fuels in JMTR

Design and Fabrication of 70F-8P, 9P, 12P and TR Fuel Pins

1972年8月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

範囲
/ス
制限
引

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

T
SN 841-72-27
(1972・8・22)

JMTRにおける高速炉燃料基礎照射試験 I
70F-8P, 9P, 12P, TR カプセル用燃料ピンの設計と製造



実施責任者 小泉益通
報告者 小松純治, 横内洋二
梶谷幹男, 照沼俊弘

期間 1971年10月～1972年3月

目的 高速増殖炉用混合酸化物燃料の照射による熱特性変化, 被覆管と燃料の両立性, 照射初期における燃料の組織変化等を調べるため, JMTRを利用して基礎照射を行なう。

要旨 原子炉の熱効率を上げる最大因子の一つに, 燃料要素(ピン)の熱伝導の改良とそのはあくがある。また高燃焼度での燃料・材料の両立性, 照射初期の組織変化を調べるための基礎照射試料作成とその問題点をここにまとめて報告する。カプセル照射に必要な核計算, 燃料ペレット製造データ, その測定値, 溶接加工記録, 完成ピン検査データ, 等をまとめた。また今回照射カプセルを実験目的に合わせ, 計画設計し, 燃料ピン加工組立の最終までのすべてのデータをのせ, 照射燃料ピン製造工程とその各作業単位の位置付け, 内容・問題点を記した。これらの製造工程は, どの一つを捉えてもそれぞれ独立して重要である。また現在, 各工程検査基準の基礎背景もすべて実験的理論的に, 完全なものではなく, 今後取りくむ必要性も多い。このような点について“まとめ, あとがき”として加えた。

目 次

要 旨

1. 目 的	1
2. 試 料	1
3. 核熱計算	5
(1) 計算体系	6
(2) 計算に使用した数値	7
(3) 計算結果の整理	8
(4) 出力計算の概略	26
(5) まとめ	27
4. 燃料ビン製造	29
(1) ペレット	30
(2) 溶 接	38
(3) 燃料ビン測定結果	39
i) 重量寸法測定	39
A 70F-8Pカプセル用燃料試料測定結果	40
B 70F-9Pカプセル用燃料試料測定結果	44
C 70F-12Pカプセル用燃料試料測定結果	49
D TRカプセル用燃料試料測定結果	54
ii) X線オートラジオグラフ	62
A 70F-8P用金相, オートラジオグラフ, X線回折	63
B 70F-9PおよびTR用, 金相, オートラジオグラフ, X線回折	65
C 70F-12P用, 金相, オートラジオグラフ, X線回折	67
(4) まとめ	82
5. あとがき	85
附録 I キャプセル70F-8P, 9P, 12Pに使用したフラックス, モニタ	86
" II 水カラビットに使用したフラックスモニタ	87
" III JMTR-TC, CM, TR に使用した燃料同位体元素比その他インシュレータ ペレット	88
" IV 核燃料物質確定重量	89
" V JMTR 中性子束図 (50MW用)	90

1. 目 的

高速炉用混合酸化物燃料の照射による熱特性変化，被覆管との両立性，照射初期の燃料挙動等をしらべるため，JMTRを利用し基礎照射を行なう。

照射は，その目的から3つのシリーズに別れている。

1) JMTR-TC シリーズ (カプセル名 70F-8P, 70F-9P)

ペレット密度の相違に依存する熱伝導率の変化

燃料，ペレット間ギャップの大きさに依存するギャップ熱伝達率の変化

これらの因子が，燃料カプセル内温度分布に与える影響を調べる。

2) JMTR-CM シリーズ (カプセル名 70F-12P)

被覆管と燃料の両立性を調べることが目的である。

50,000MWD/T 80,000MWD/T 120,000MWD/T の燃焼度においてそれぞれ生成される量の模擬核分裂生成元素 (Fission Product) をペレットの中にあらかじめ加えて (模擬燃焼度ペレットを作成した。) F.P 元素の被覆管に与える影響 (燃料ペレットと被覆管の両立性) を調べる。

3) JMTR-TR シリーズ (カプセル名 TR-0, TR-1, 2, 3, 4, 5)

照射初期の燃料組織変化を調べる。

時間をパラメーターにとって，組織変化を連続的に把握する。

TC シリーズ，CM シリーズ，TR シリーズのそれぞれの照射目的を満たすために，燃料密度ペレット，被覆材間ギャップ，固体核分裂生成物量 (燃焼度に依存) 等をパラメーターを選んで合計14ピン照射する。

2. 料 料

表1に，本照射試験に使用した燃料試料の概要を示す。

表1 試料および照射条件概要

キャプセル名	70F-8P		70F-9P		70F-12P									
燃料ピン名	TC-P-1	TC-P-2	TC-P-6	TC-P-4	CM-P-1	CM-P-2	CM-P-3	CM-P-4	TR-P-1	TR-P-2	TR-P-3	TR-P-4	TR-P-5	TR-P-0
燃料 PuO ₂ %	20.0	20.0	20.0	20.0	18.0	18.0	18.0	18.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	0.0
ウラン濃縮度%	89.89	89.89	89.89	89.89	60.00	60.00	60.00	60.00	89.89	89.89	89.89	89.89	89.89	19.95
ペレット密度	89.7%TD	90.2%TD	83.1%TD	83.5%TD	10.19 g/cc	9.60 g/cc	9.37 g/cc	9.41 g/cc	82.73%TD	82.88%TD	83.58%TD	83.70%TD	83.73%TD	93.98%TD
スミヤク密度	87.0%TD	84.7%TD	77.1%TD	81.0%TD	10.03 g/cc	9.38 g/cc	9.12 g/cc	9.10 g/cc	79.83%TD	80.40%TD	81.08%TD	80.76%TD	80.79%TD	91.47%TD
ペレット径 mm	5.50	5.41	5.38	5.50	5.54	5.52	5.51	5.49	5.50±0.01	5.50±0.02	5.50±0.00	5.50±0.01	5.50±0.01	5.51
燃料 O/M	1.987	1.987	1.985	1.985	参考値 1.97	参考値 1.97	参考値 1.95	参考値 1.94	1.985	1.985	1.985	1.985	1.985	
被覆管内径 (mm)	5.584	5.584	5.584	5.584	5.584	5.584	5.584	5.584	5.599	5.584	5.584	5.599	5.599	5.585
外径 (mm)	6.301	6.301	6.301	6.301	6.301	6.301	6.301	6.301	6.321	6.301	6.301	6.321	6.321	6.301
ダイアメラルギャップ (mm)	0.084	0.174	0.204	0.084	0.044	0.064	0.074	0.094	0.099±0.01	0.084±0.02	0.084±0.00	0.099±0.01	0.099±0.01	0.075
燃料ピン全長 (mm)	161.50	161.40	161.40	161.40	100.00	99.85	99.80	99.95	80.00	80.00	80.10	79.80	79.7	80.0
燃料アクティブ長さ (mm)	78.4	79.2	80.2	81.6	41.2	40.6	39.6	39.1	36.4	36.8	36.8	36.7	36.8	38.1
スタック長さ (mm)	98.4	99.2	100.2	101.6	51.8	50.3	49.3	48.8	46.4	46.8	46.8	46.7	46.8	46.1
ブレナム長さ (mm)	30	30	30	30	20	20	20	20	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
燃料ピン全重量 (g)	37.03	36.69	35.19	36.44	22.60	22.04	21.71	21.73	17.82	17.64	17.77	17.70	17.74	18.79
PuO ₂ -UO ₂ 重量 (g)	18.480	18.150	16.733	17.936	10.125	9.289	8.817	8.698	7.728	7.861	7.906	7.873	7.920	9.337
Pu重量 (g)	3.260	3.202	2.952	3.164	1.607	1.475	1.400	1.381	1.363	1.387	1.395	1.389	1.397	0
U重量 (g)	13.025	12.792	11.793	12.641	7.315	6.710	6.370	6.284	5.447	5.540	5.572	5.549	5.582	8.226
U ²³⁵ 重量 (g)	11.708	11.499	10.601	11.363	4.389	4.026	3.822	3.770	4.896	4.980	5.009	4.988	5.018	1.641
NUO ₂ (インシュレーター)重量 (g)	4.920	4.920	4.920	4.920	2.610	2.380	2.380	2.300	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	1.984
スプリング重量 (g)									ステンレス ウール	ステンレス ウール	ステンレス ウール	ステンレス ウール	ステンレス ウール	ステンレス ウール
端栓重量 (g)	第1 第2 2.85 2.56	第1 第2 2.70 2.86	第1 第2 2.70 2.85	第1 第2 2.69 2.85	第1 第2 2.72 2.21	第1 第2 2.90 2.25	第1 第2 2.89 2.25	第1 第2 2.88 2.32	第1 第2 1.31 1.32	第1 第2 1.32 1.34	第1 第2 1.32 1.33	第1 第2 1.31 1.29	第1 第2 1.31 1.29	第1 第2 1.34 1.33
被覆管重量 (g)	7.41	7.65	7.65	7.40	4.50	4.49	4.66	4.64	3.90	3.89	3.90	3.91	3.89	3.90
被覆管材質	SUS 32	SUS 32	SUS 32	SUS 32	SUS 32	SUS 32	SUS 32	SUS 32	SUS 32	SUS 32	SUS 32	SUS 32	SUS 32	SUS 32
被覆管 供給元														
予定線出力 (W/cm)	4.50	4.50	4.50	4.50	~4.50	~4.50	~4.50	~4.50	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
燃焼度														
照射時間	1 Reactor cycle	1 Reactor cycle	1 Reactor cycle	1 Reactor cycle	数 Reactor Cycle	数 Reactor Cycle	数 Reactor Cycle	数 Reactor Cycle	1時間	3時間	10時間	30時間	100時間	20分

3. 核熱計算

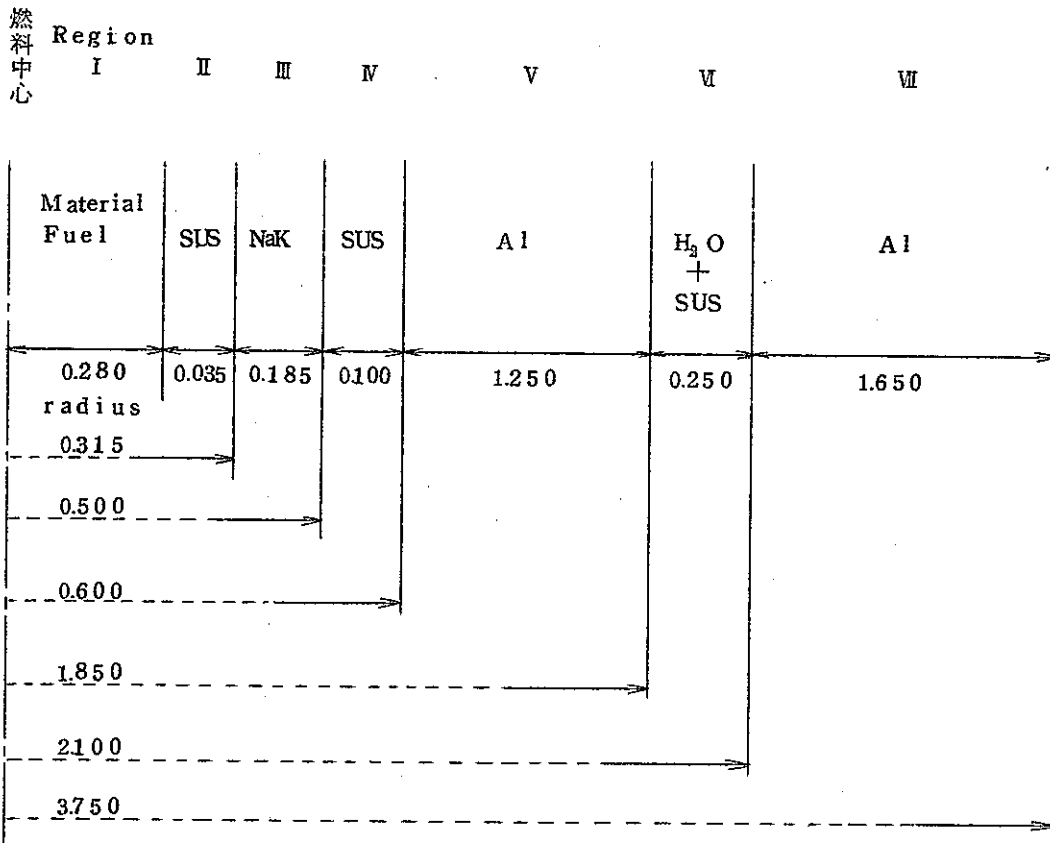
JMTR 70F-8P, 70F-9P, 70F-12Pカプセルの核計算

PNC Thermos コードを使用して各カプセルについての中性子束分布, 出力, その他の計算をおこなった。

核熱計算に関してPNC Thermos と JMTR Thermos の計算コードの比較検討を行なった。数回にわたる核定数, 体系の調整を経て, ほぼ一致した結果を得た。その後更によりエネルギーレベルの高い中性子を扱えるPNC Thermos の計算結果を採用した。

(1) 計算体系

PNC Thermos コードによる 70F-8P, 70F-9P, 70F-12Pカプセルの Flux 分布計算概要。カプセルの体系は3カプセル共に同じである。TRシリーズについては体系が異なる。(燃料ピンの外側が特に異なる。)



各 Material の Number Density (各々の値は単位として $\times 10^{24}$ が付加している。)

	Na : K 22 : 78					
材 質	304(SUS)	304(SUS)	2713(Al)	168(O)	2713(Al)	
原子密度	8476×10^{-2}	8476×10^{-2}	6.025×10^{-2}	1.389×10^{-2}	6.025×10^{-2}	($\times 10^{24}$)
	2311(Na)			18(H)		
	4.879×10^{-3}			27785×10^{-2}		
	3.919(K)			304(SUS)		
	1.0172×10^{-2}			4.9567×10^{-2}		

(2) 計算に使用した数値

この計算に使った各カプセルの燃料領域の Number Density (単位 $\times 10^{24}$)

ピン名	70F-8P	70F-9P	70F-12P (0)	70F-12P (5)	70F-12P (8)	70F-12P (12)
U 23592	1.540×10^{-2}	1.429×10^{-2}	1.130×10^{-2}	1.022×10^{-2}	9.720×10^{-3}	9.530×10^{-3}
U 23892	1.732×10^{-3}	1.607×10^{-3}	7.590×10^{-3}	6.860×10^{-3}	6.530×10^{-3}	6.310×10^{-3}
Pu 23994	3.863×10^{-3}	3.595×10^{-3}	3.620×10^{-3}	3.270×10^{-3}	3.120×10^{-3}	3.059×10^{-3}
Pu 24094	3.635×10^{-4}	3.381×10^{-4}	3.434×10^{-4}	3.000×10^{-4}	2.900×10^{-4}	2.895×10^{-4}
Pu 24194	4.022×10^{-5}	3.742×10^{-5}	4.780×10^{-5}	4.000×10^{-5}	4.000×10^{-5}	4.030×10^{-5}
Pu 24294	2.007×10^{-6}	1.867×10^{-6}	3.940×10^{-6}	3.500×10^{-6}	3.390×10^{-6}	3.300×10^{-6}
O 168	4.315×10^{-2}	3.993×10^{-2}	4.585×10^{-2}	4.142×10^{-2}	3.946×10^{-2}	4.234×10^{-2}
Nd 14460				2.054×10^{-4}	3.320×10^{-4}	5.197×10^{-4}
Pr 14159				6.771×10^{-5}	1.085×10^{-4}	1.741×10^{-4}
Rh 10345				5.129×10^{-5}	9.374×10^{-5}	1.332×10^{-4}

FP入のペレット [70F-12P (5), 70F-12P (8), 70F-12P (12)] の中には Sr, Y, Zr, Mo, Ru, Rh, Pb, Ba, La, Ce, Pr, Nd が混入してある。(これらの各元素についての量は, JMTR-CM シリーズ照射試料ピン製造仕様書にデータを乗せてある。)

これらの中でピン内の中性子スペクトルに特に影響があると考えられる Nd, Pr, Rh を計算体系内に入れた。(FPとしての量が多く, 吸収断面積大)

又この Number Density の計算には被覆管, ペレットギャップの大小は考慮してある。その方法は, ペレットが熱膨張等でギャップの空隙を満たし, 密度 Number Density がそれだけ低下したものと計算している。

(3) 計算結果の整理 以下に計算結果の整理したグラフ，表を示す。

Fig 1	70F-8P	(TC-P-1)	中性子束カプセル内分布	GAP-0.1 ⁷³⁷
Fig 2	70F-8P	(TC-P-2)	"	GAP-0.2 ⁷³⁷
Fig 3	70F-9P	(TC-P-4)	"	GAP-0.1 ⁷³⁷
Fig 4	70F-9P	(TC-P-6)	"	GAP-0.2 ⁷³⁷
Fig 5	70F-12P	(CM-P-1)	"	
Fig 6	70F-12P	(CM-P-2)	"	50,000MWD/T
Fig 7	70F-12P	(CM-P-3)	"	80,000 "
Fig 8	70F-12P	(CM-P-4)	"	120,000 "
Fig 9	70F-8P	(TC-P-1)	ペレット内出力分布表	
Fig10	70F-8P	(TC-P-2)	"	
Fig11	70F-9P	(TC-P-4)	"	
Fig12	70F-9P	(TC-P-6)	"	
Fig13	70F-12P	(CM-P-1)	"	
Fig14	70F-12P	(CM-P-2)	"	
Fig15	70F-12P	(CM-P-3)	"	
Fig16	70F-12P	(CM-P-4)	"	
Fig17	中性子束，出力，グラフ			

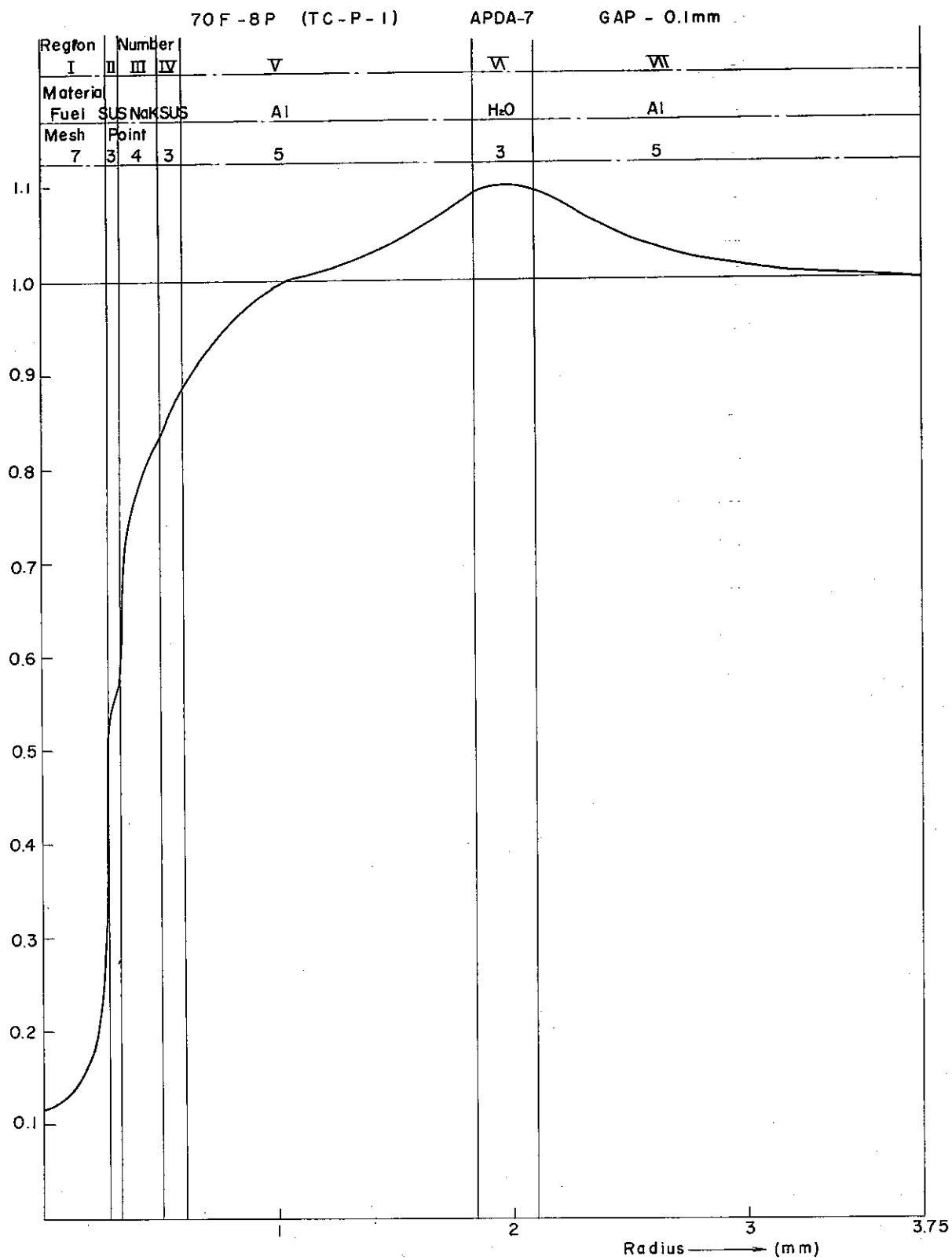


Fig. 1 キャプセル内中性子束分布

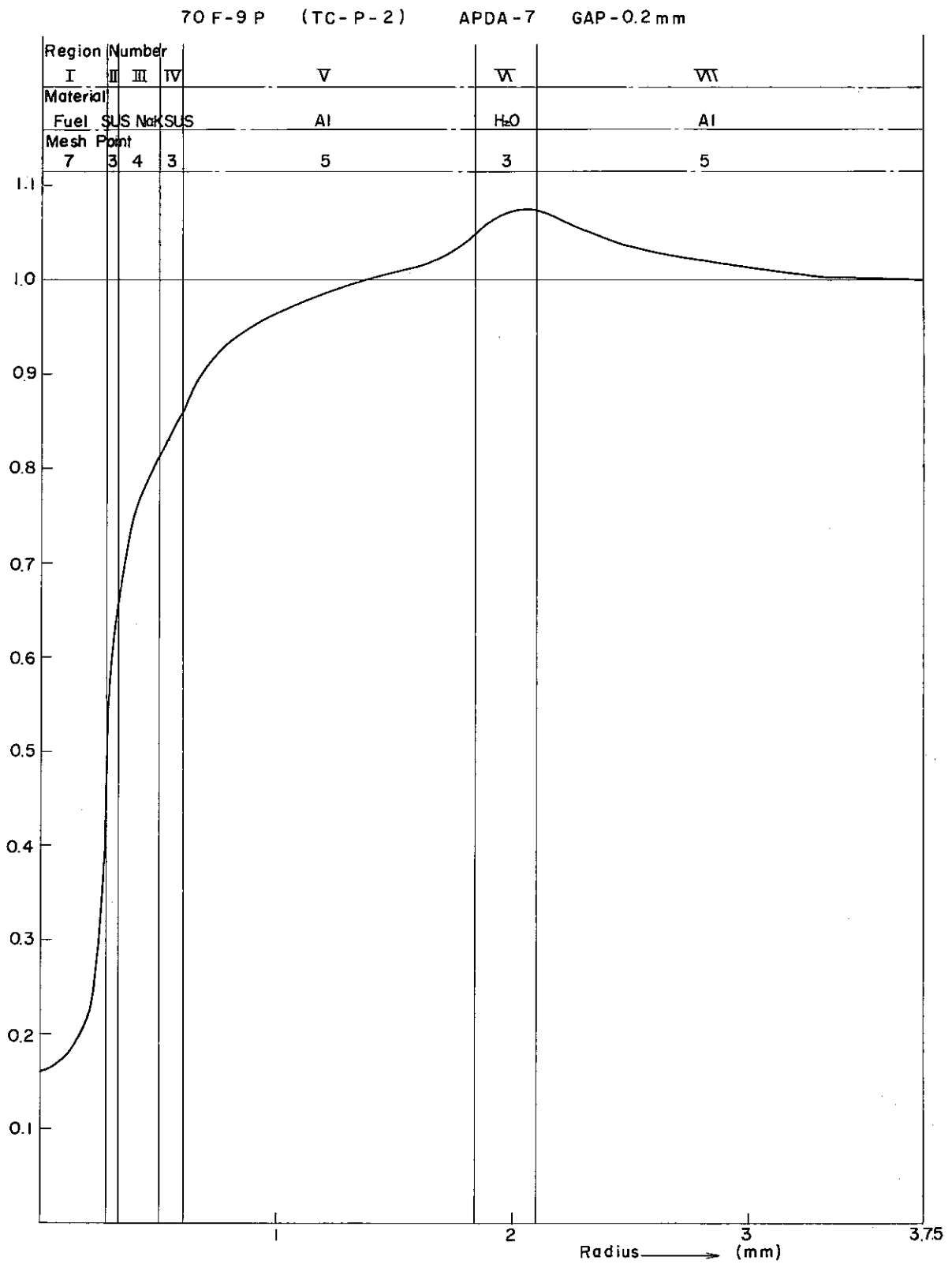


Fig. 2 キャプセル内中性子束分布

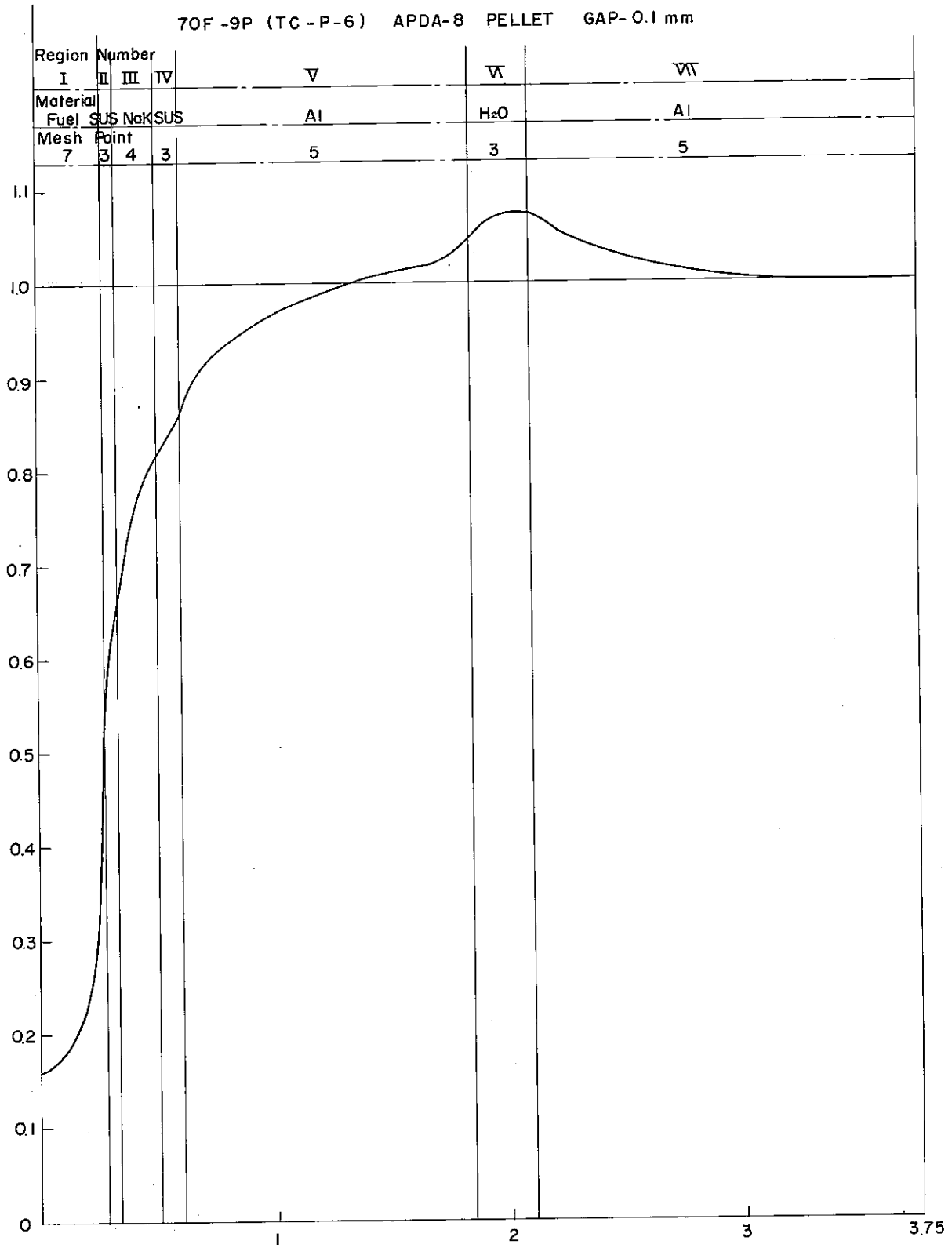


Fig. 3 キャプセル内中性子束分布

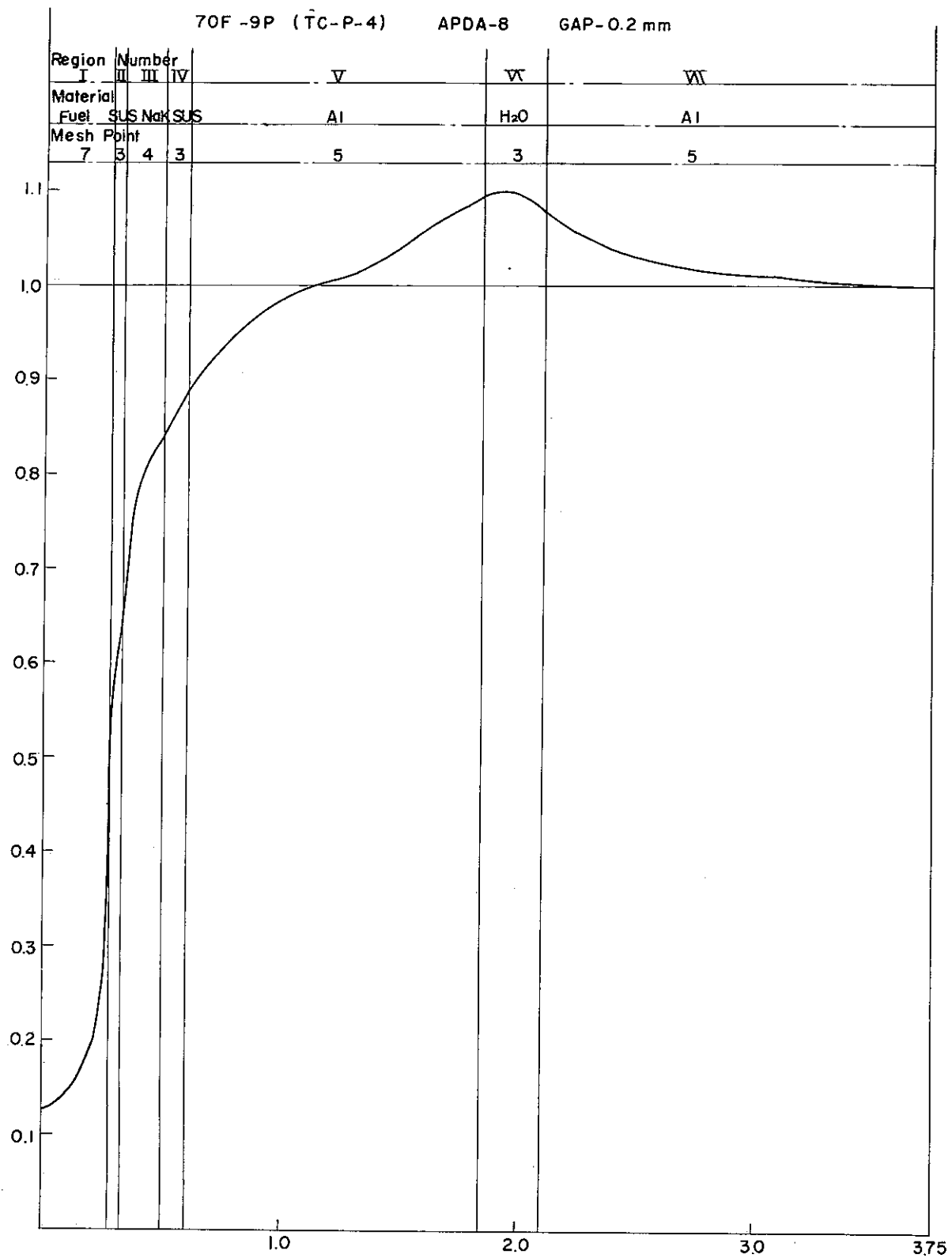


Fig. 4 キャプセル内中性子束分布

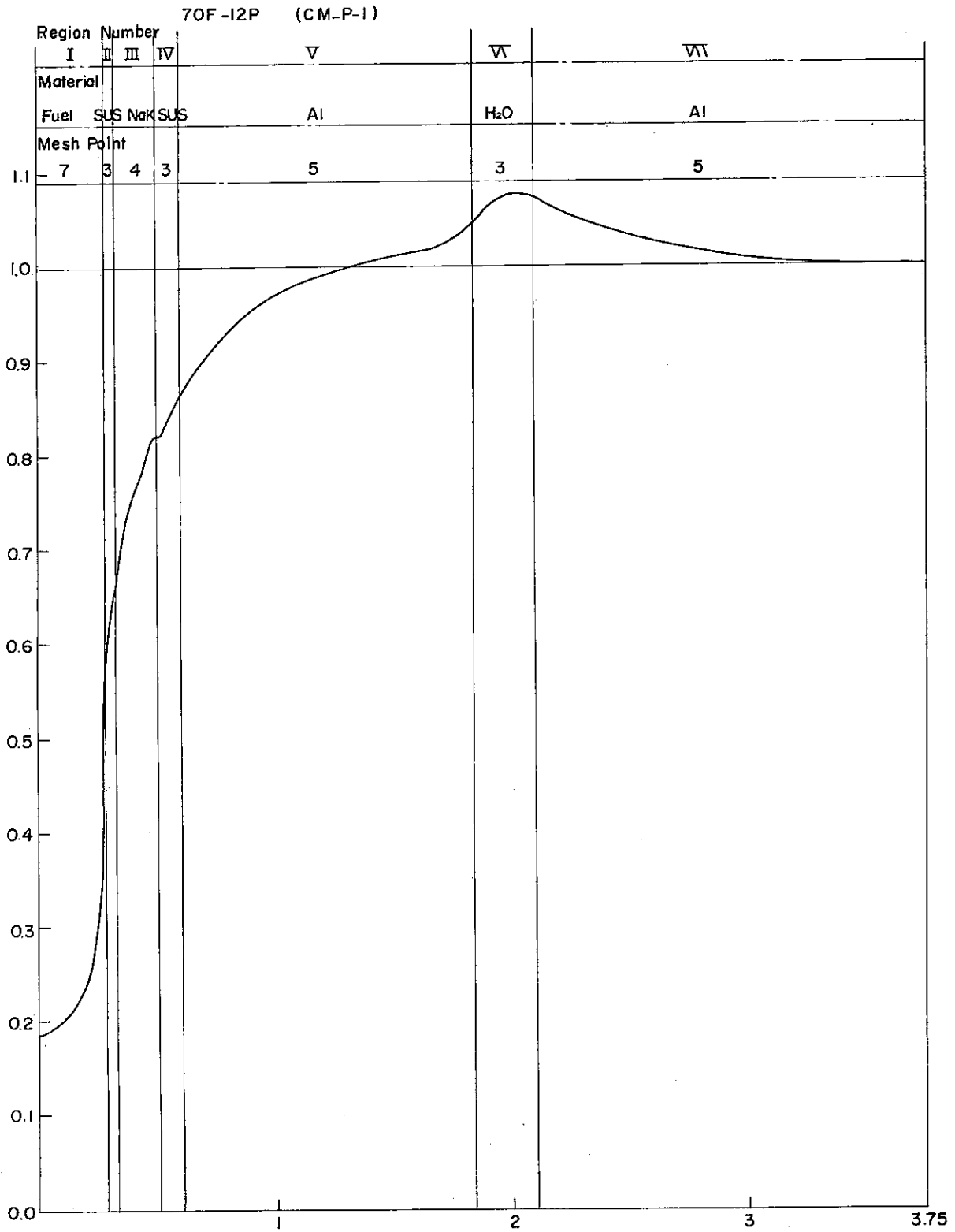


Fig. 5 キャプセル内中性子束分布

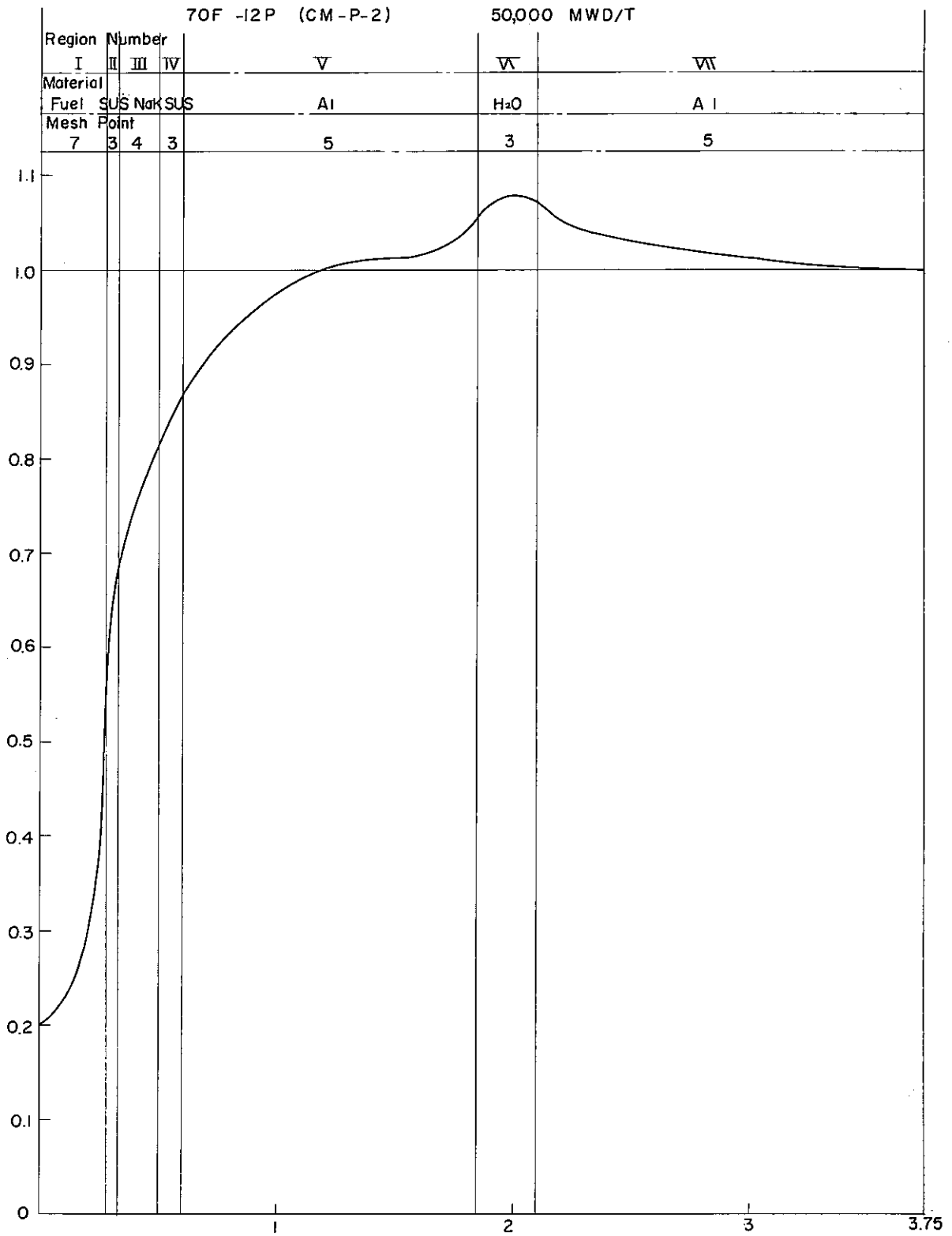


Fig. 6 キャプセル内中性子束分布

70F-12 P (CM -P-3) 80,000 MWD/T

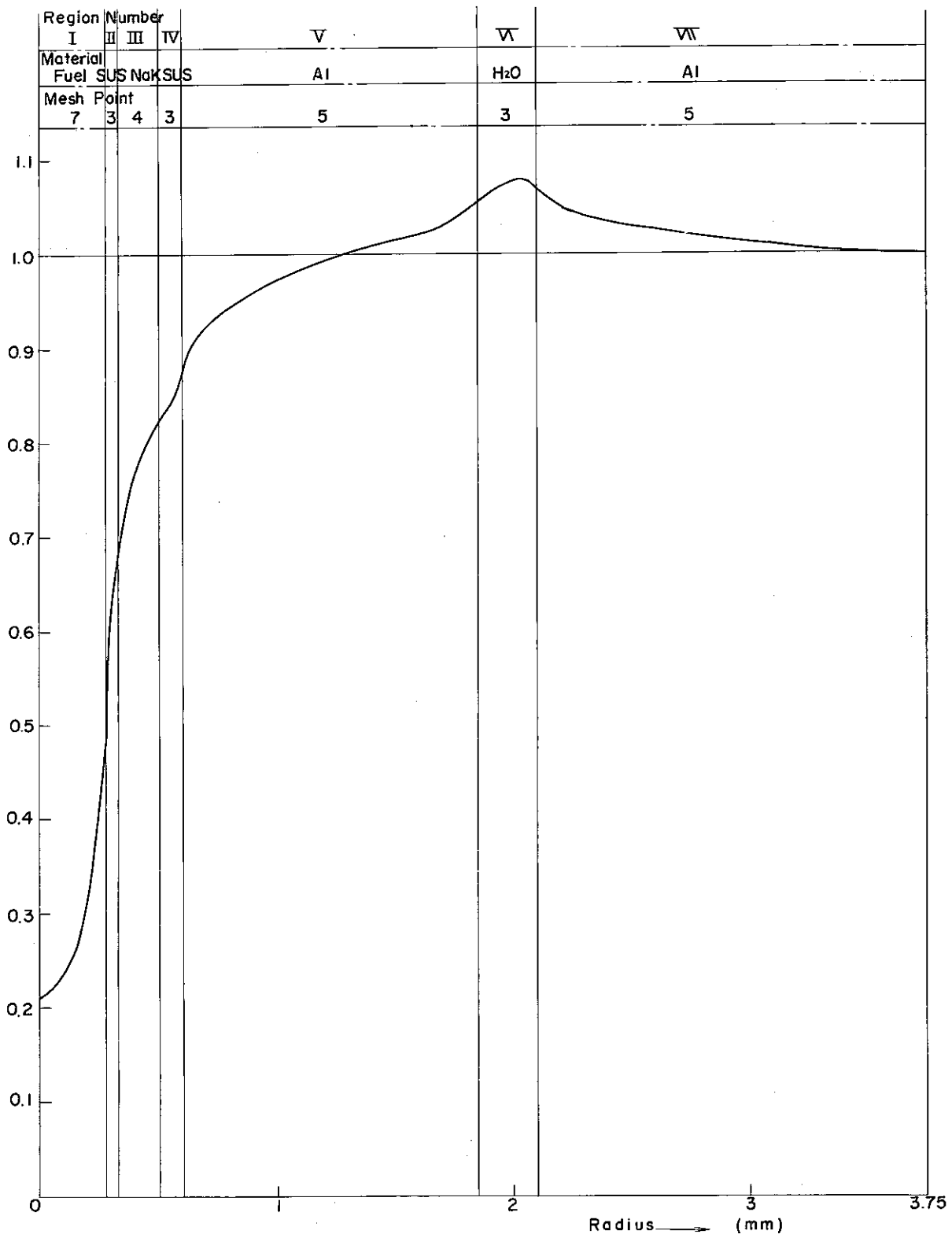


Fig. 7 キャプセル内中性子束分布

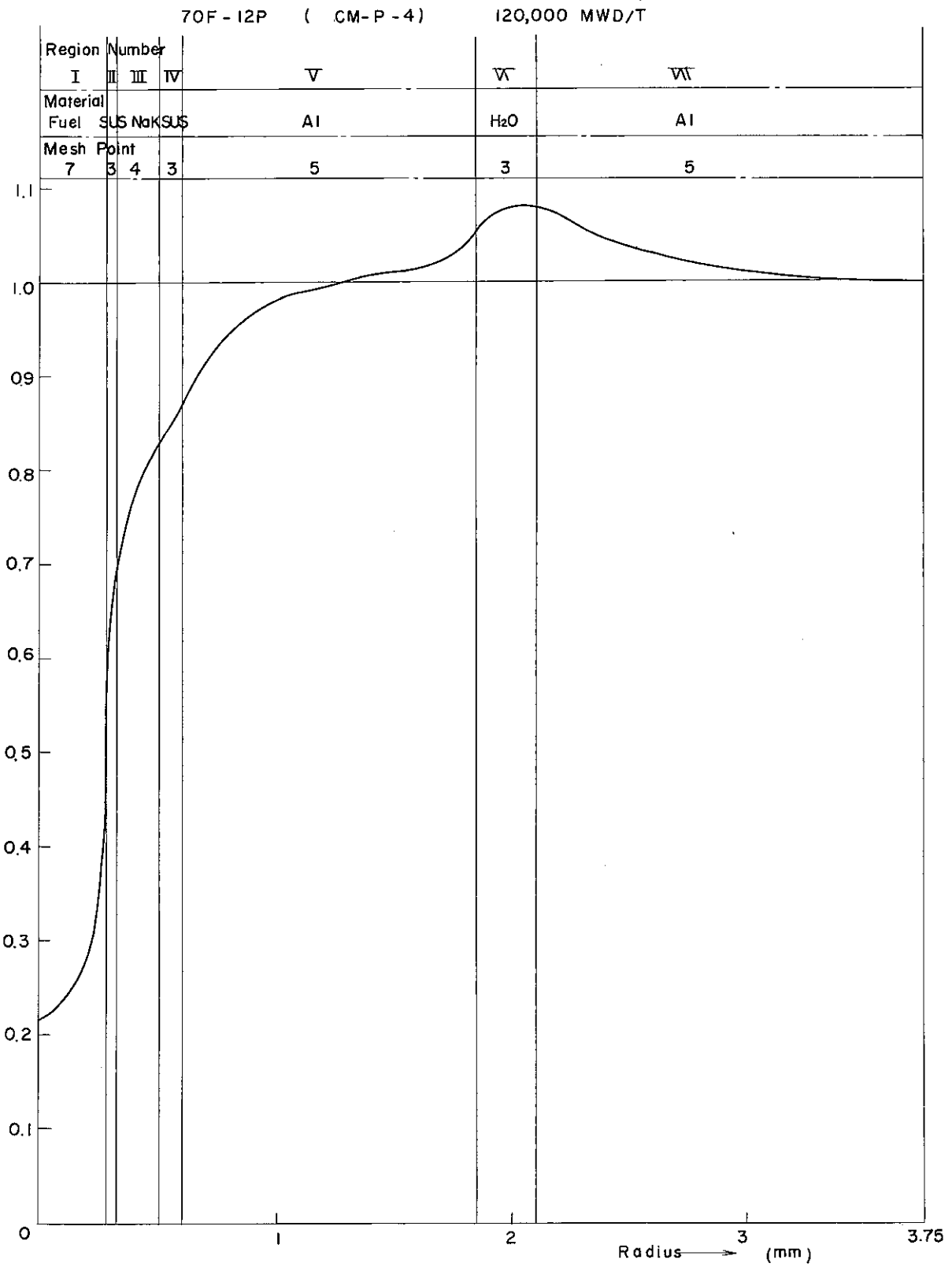


Fig. 8 キャプセル内中性子束分布

Power Distribution Function

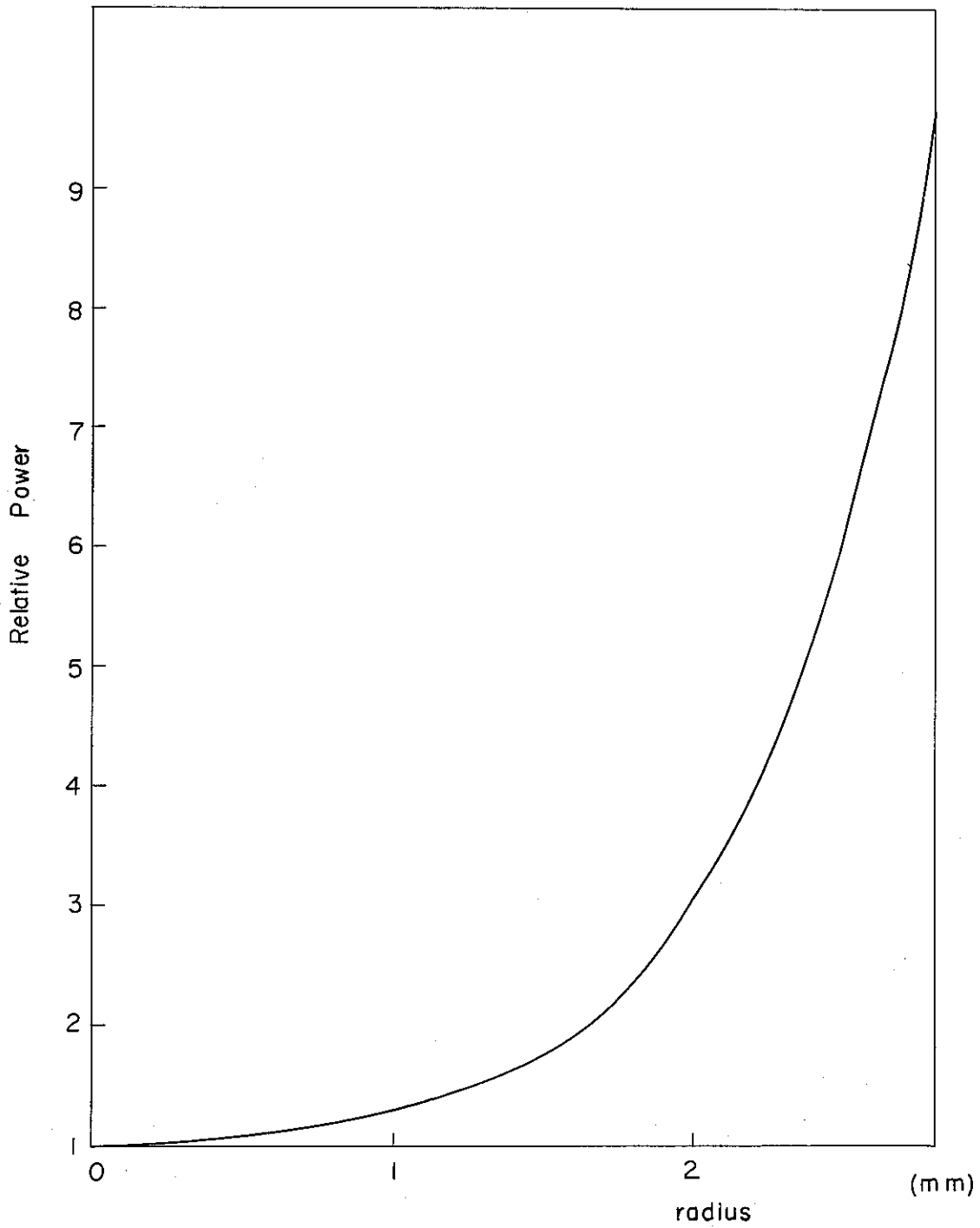


Fig. 9 ベレット内出力分布表
70F-8P (TC-P-1) JMTR, TC, APDA-7, GAP-0.1mm

Power Distribution Function

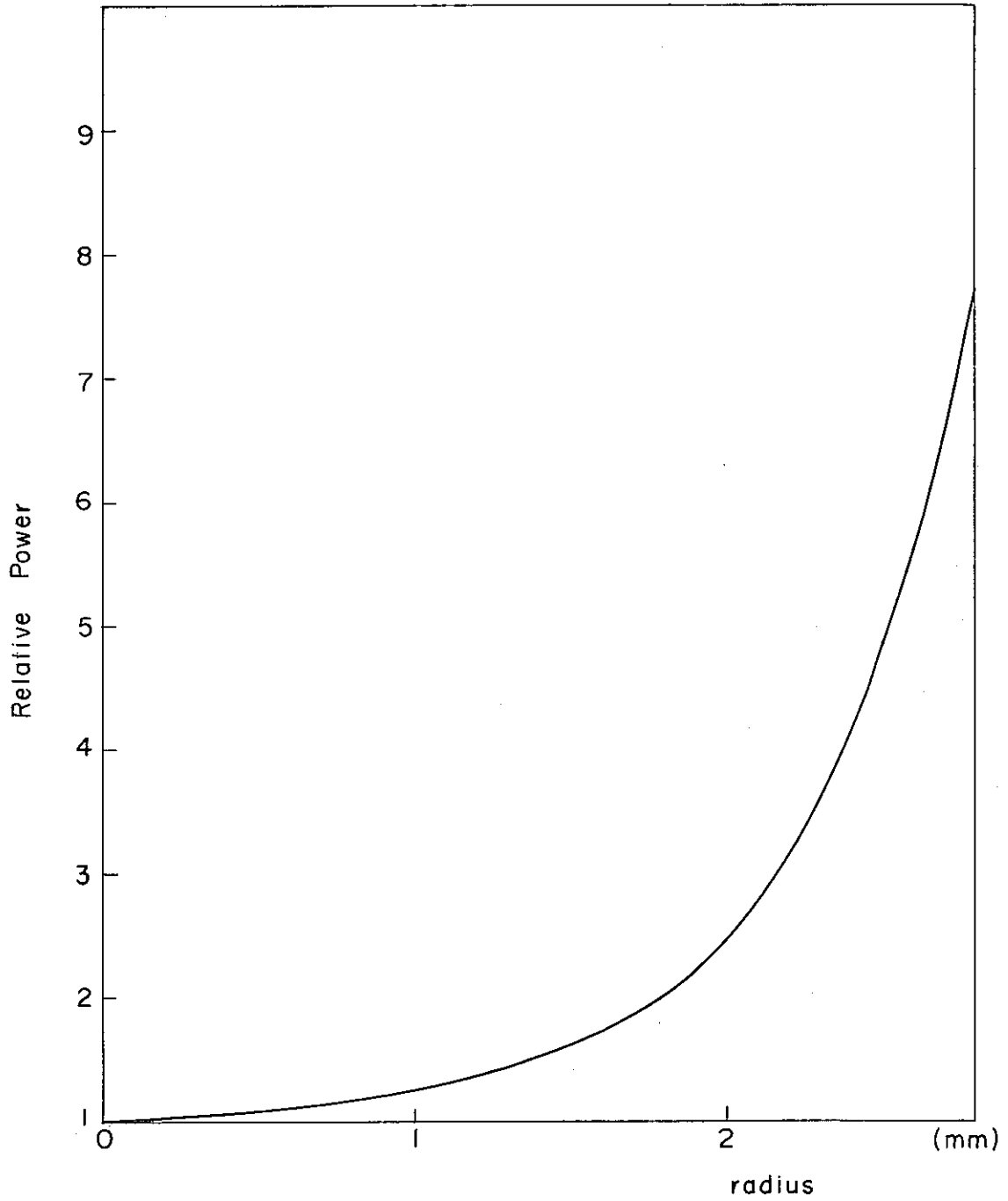


Fig. 10 ベレット内出力分布表
70F-8P (TC-P-2) JMTR, TC, APDA-7, GAP-0.2mm

Power Distribution Function

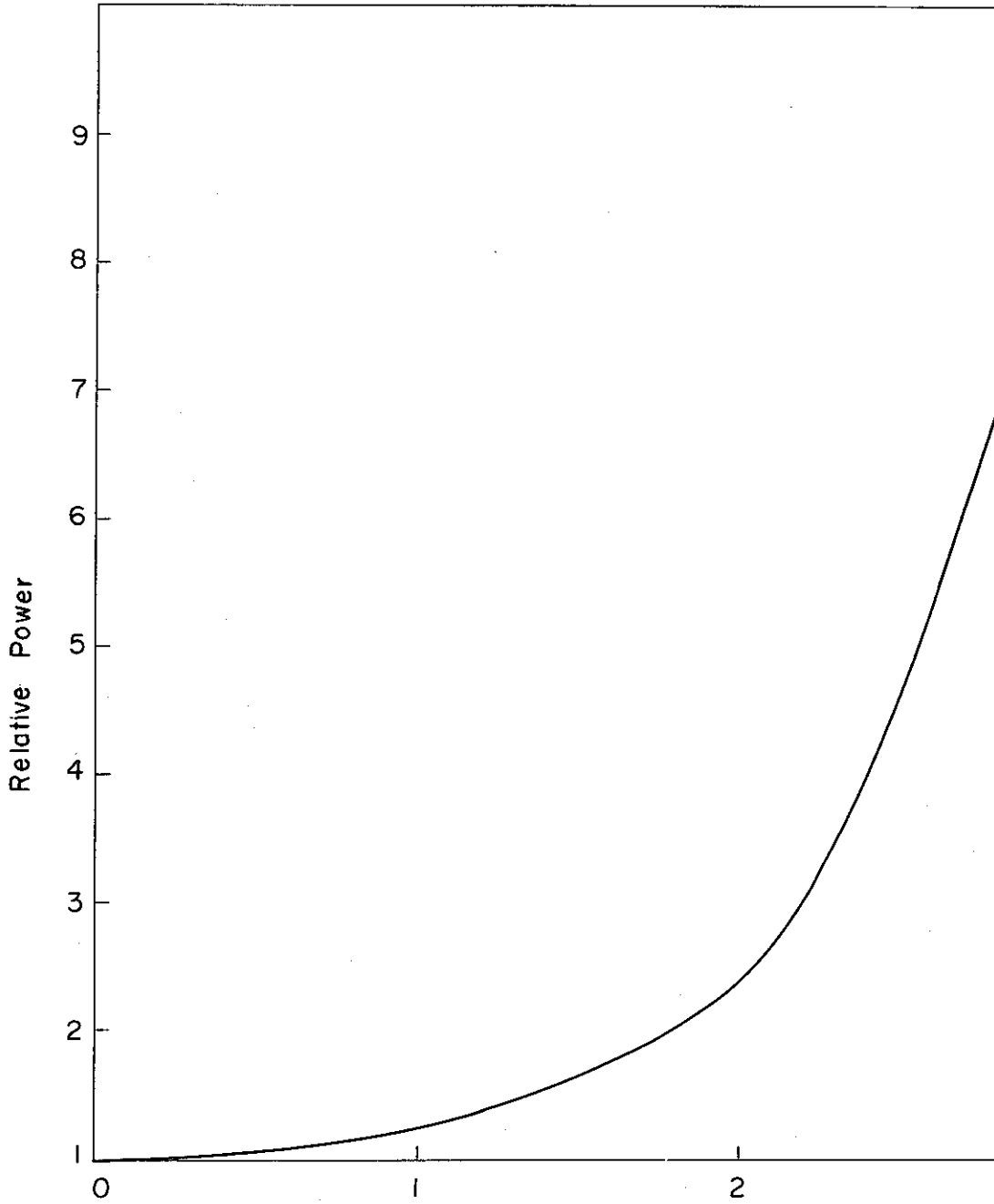


Fig. 11 ベレット内出力分布表

70F-9P (TC-P-6) JMTR TC APDA-8 GAP-0.2 PDF

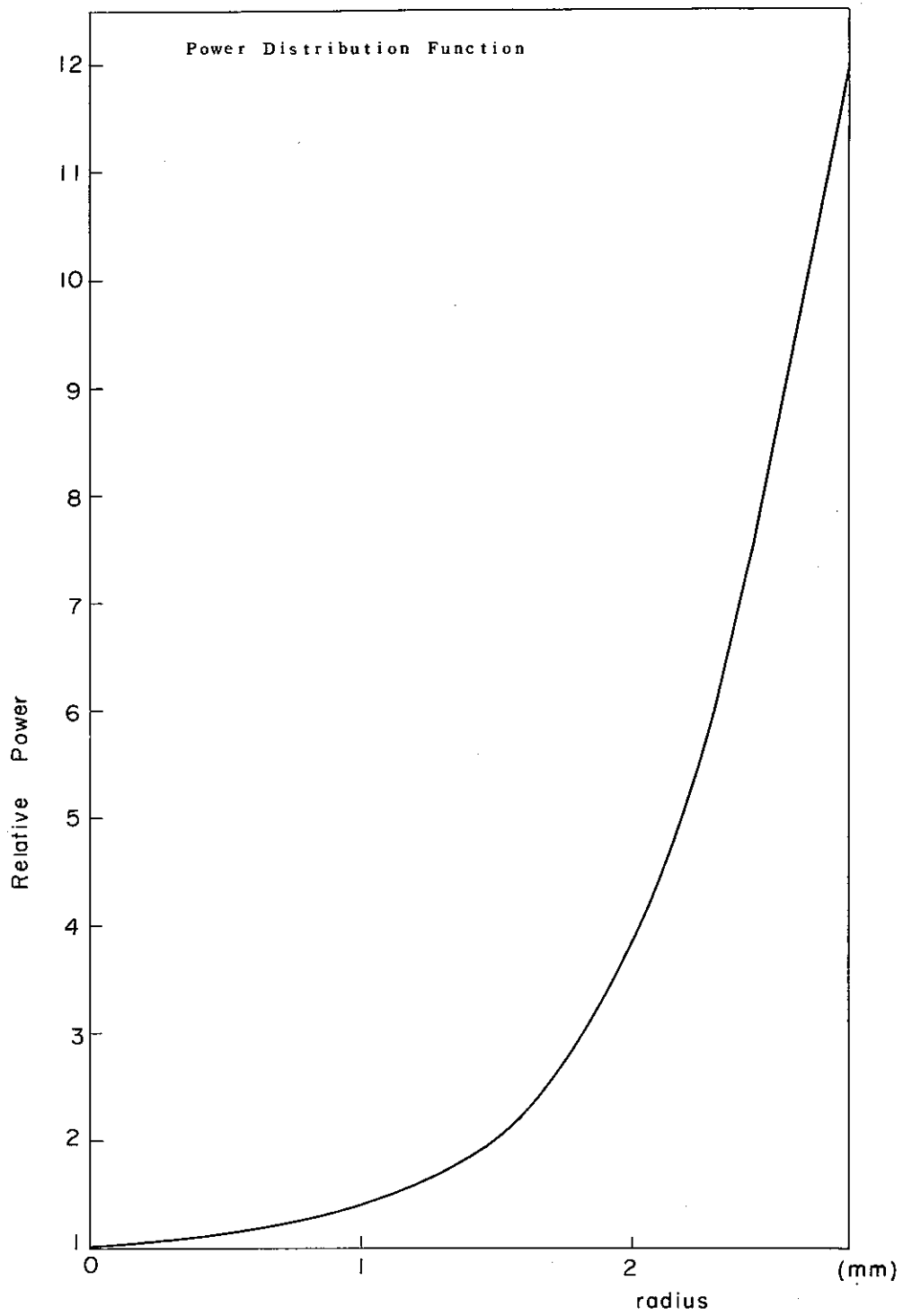


Fig. 12 ベレット内出力分布表

70F-9P (TC-P-4) JMTR TC APDA-8 GAP-0.1

Power Distribution Function

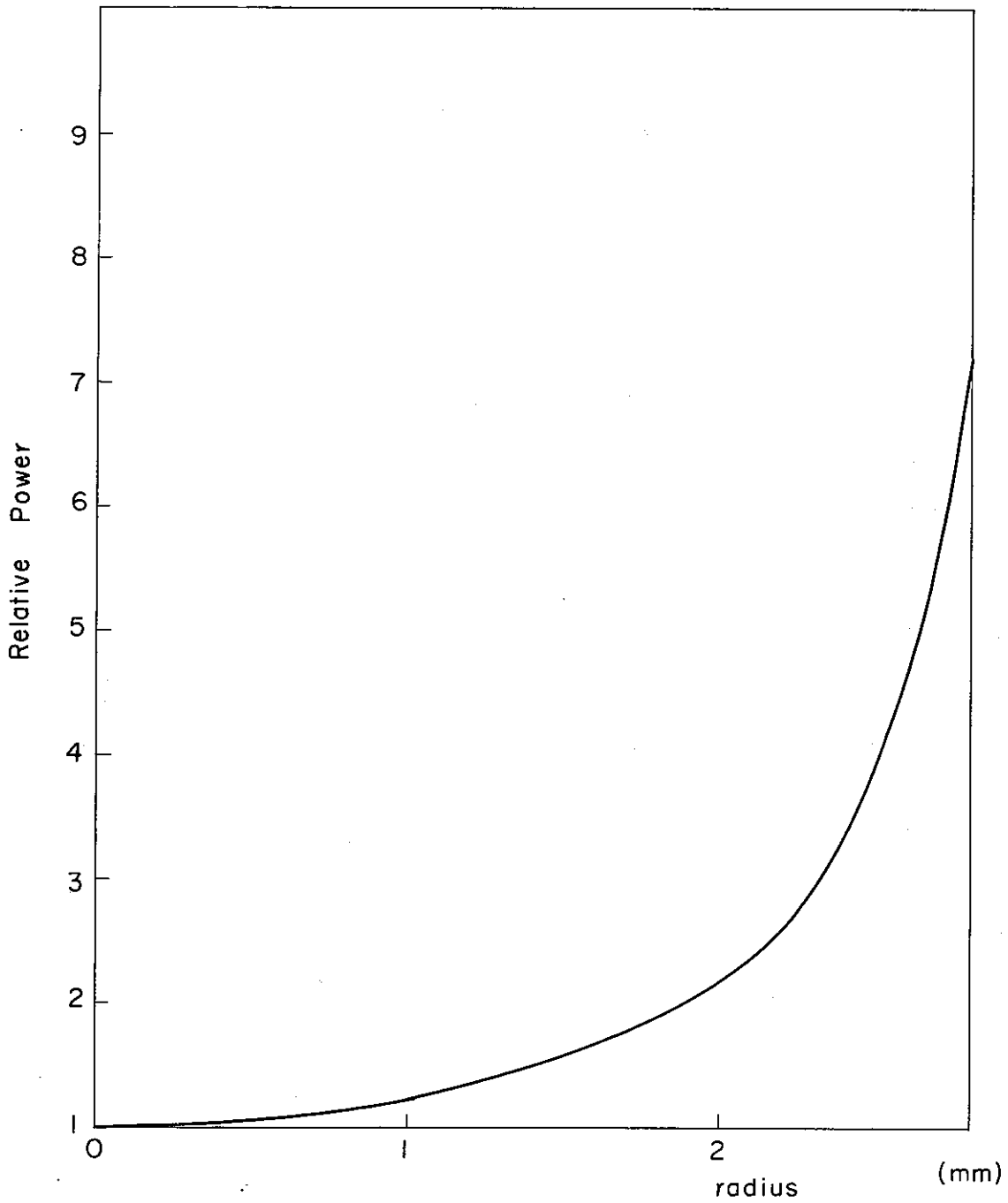


Fig. 13 ベレット内出力分布表
70F-12P (CM-P-1) JMTR CM

Power Distribution Function

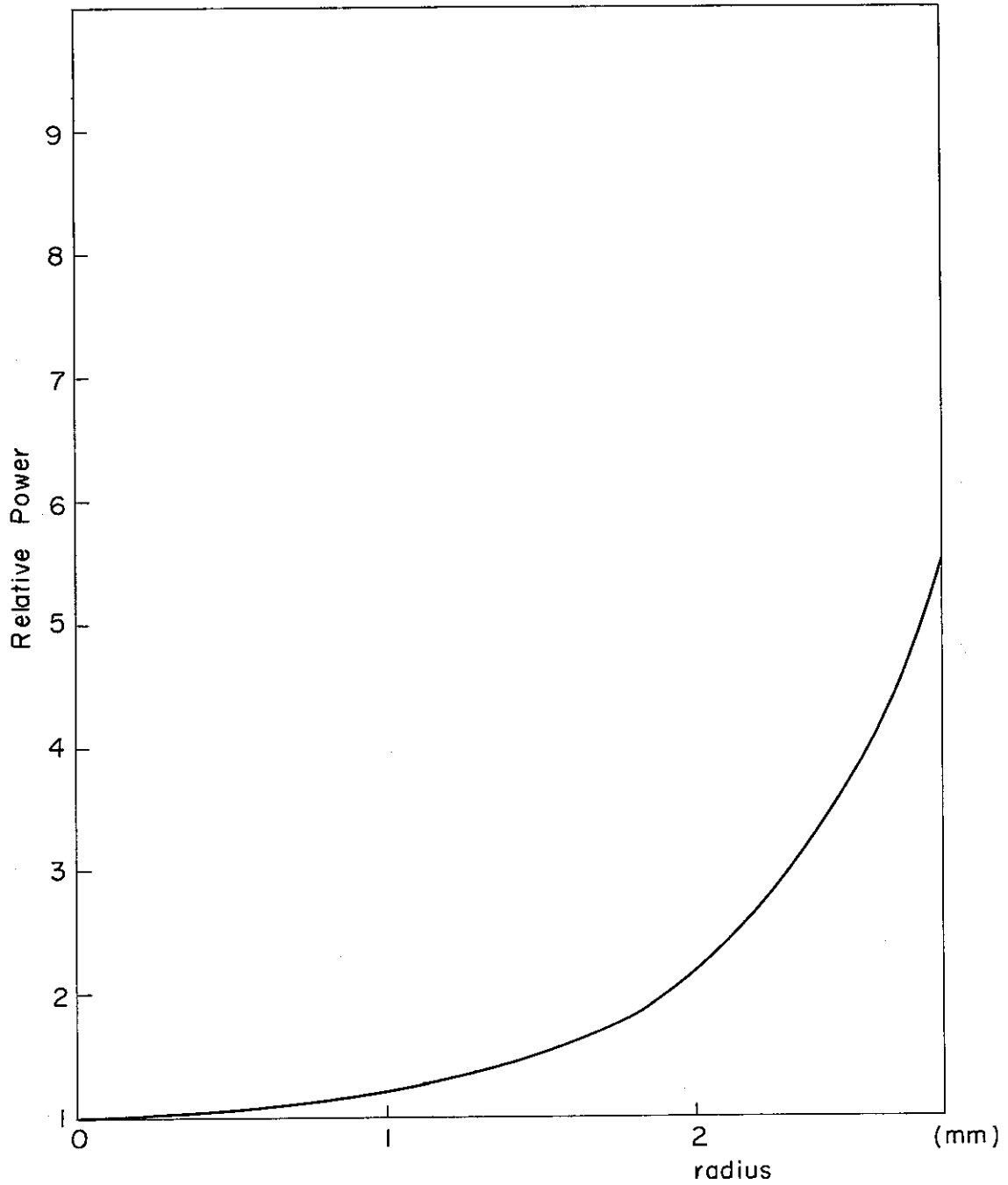


Fig. 14 ベレット内出力分布表

70F-12P (CM-P-2) JMTR CM 50,000MWD/T

Power Distribution Function

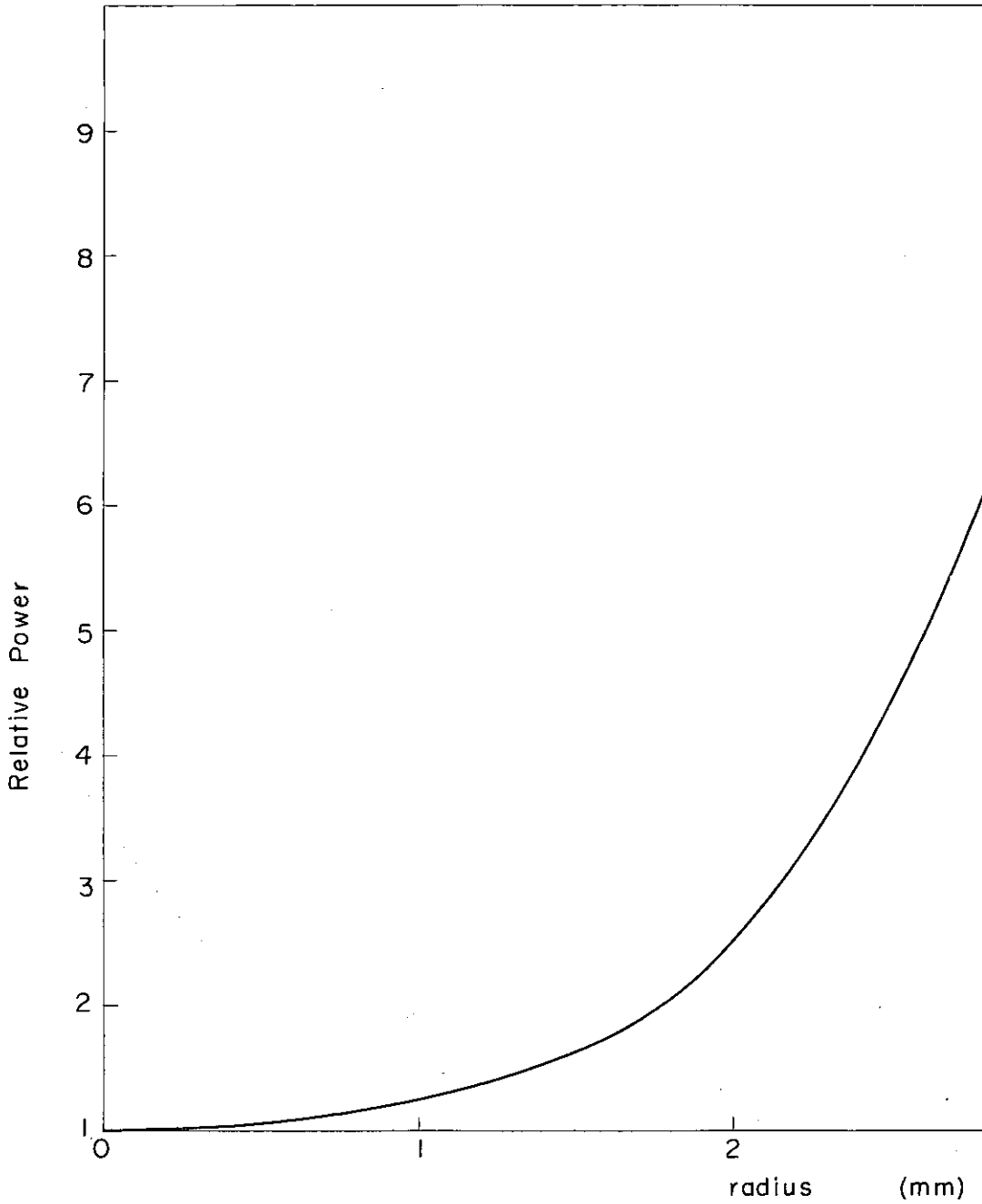


Fig. 15 ベレット内出力分布表

70F-12P (CM-P-3) JMTR-CM 80,000MWD/T

Power Distribution

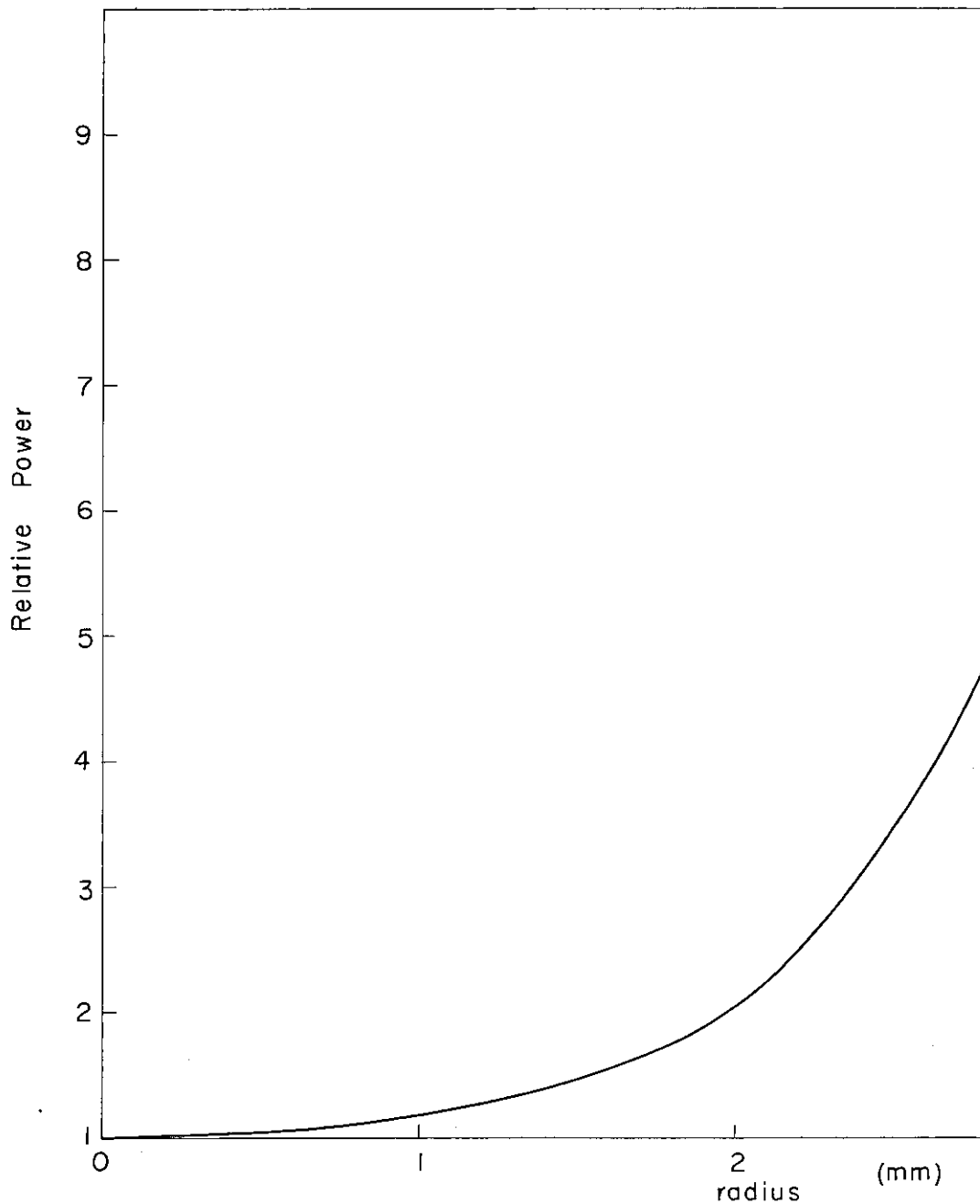


Fig. 16 ペレット内出力分布表

70F-12P (CM-P-4) JMTR CM 120.000 MWD/T

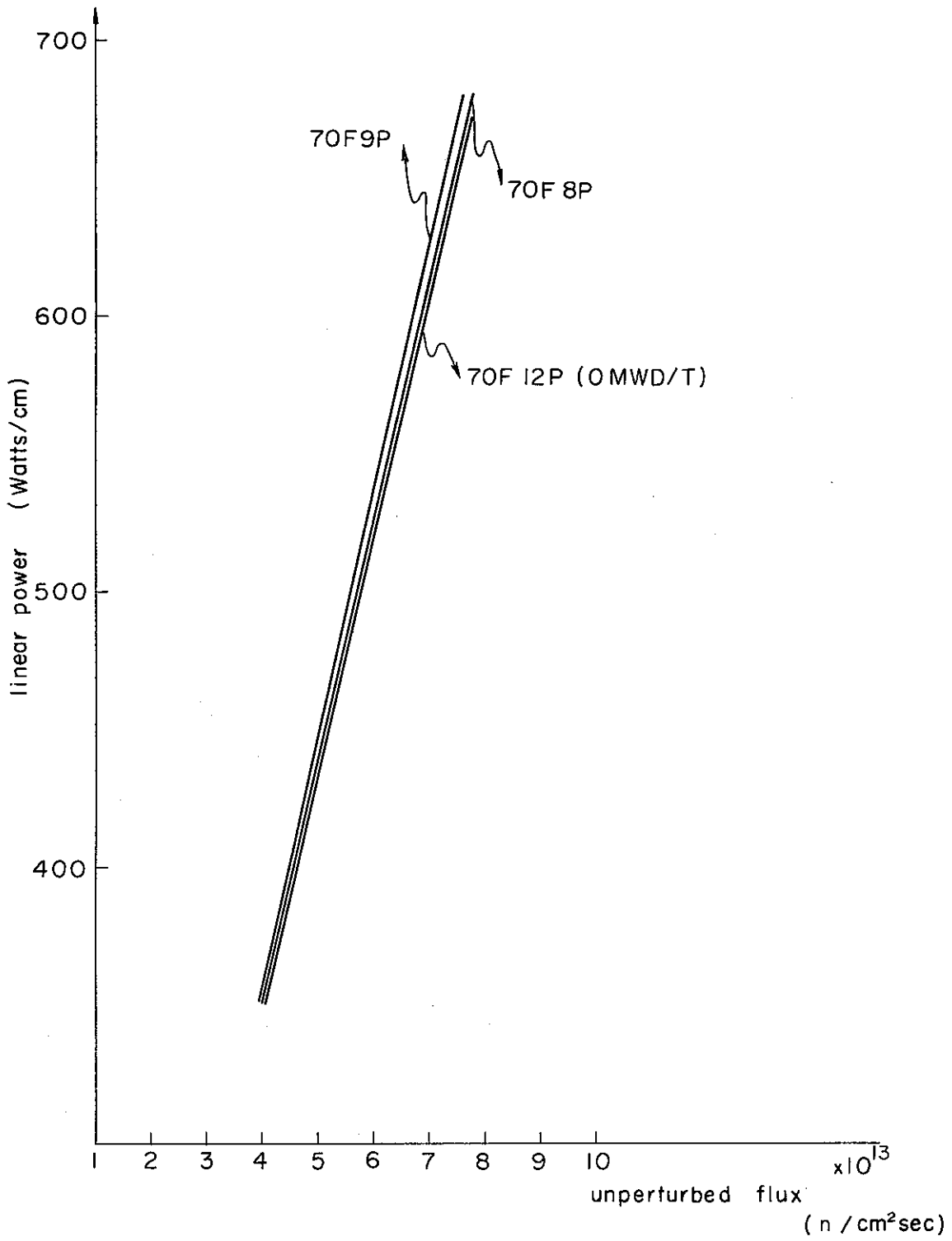


Fig. 17 中性子束, 出力グラフ

(4) 出力計算の概略

70F-8P, 70F-9P, 70F-12P カプセル線出力計算

(TC-P-1) (TC-P-4)

燃料ペレットと被覆管のギャップは、いずれも 0.1mm (diametral) で扱った。

	70F-8P	70F-9P	70F-12P (0)	70F-12P (5)	70F-12P (8)	70F-12P (12)
d_f	0.2158	0.2682	0.2895	0.3093	0.3183	0.3214
Σ_f^t	5.255	4.2889	3.8975	3.6085	3.4822	3.4350
πr^2	0.2463	0.2463	0.2463	0.2463	0.2463	0.2463
W/ϕ	0.8796×10^{-11}	0.8920×10^{-11}	0.8749×10^{-11}	0.8656×10^{-11}	0.8597×10^{-11}	0.8563×10^{-11}

 d_f ; depression factor Σ_f^t ; $\Sigma_f^{235} + \Sigma_f^{239} + \Sigma_f^{241}$ πr^2 ; ペレット断面積 W ; $3.15 \times 10^{-11} \times d_f \times \pi r^2 \times \Sigma_f^t \times \phi$ (W/cm) ϕ ; unperturbed flux

上の表にまとめられた値から中性子束に応じて線出力が求められるが、これは中性子エネルギーを 1.83 eV までのもので計算してあり、これ以外にエネルギーレベルの高い中速、高速中性子の効果が出る。出力は数パーセント～15パーセント程度の上昇が考えられる。

(6) ま と め

Fig 1～8 に中性子束のカプセル内分布を示した。

Fig 1, 2 のグラフの相違は、ギャップの相違が密度に減少をもたらし、この密度減少の効果が中性子束の depression を小さくしている。

この傾向は、Fig 3, 4 も同傾向を示している。

Fig 6, 7, 8 は核分裂生成物の入ったペレットを使った場合の中性子分布を示す。核分裂生成物 (F, P 元素) が Fig 6, 7, 8 の順に多く添加してある。この F, P 元素の中には、中性子吸収断面積の大きくて、その量から核的に無視出来ないと判断される Nd (ネオジウム) Pr (プラセオジウム) Rh (ロジウム) を計算体系に加えた。Fig 6, 7, 8 の中性子束分布曲線にわずかな違いがみられるのは、ペレット密度の影響と F, P 元素添加による中性子束に及ぼす効果の和である。

中性子束；出力表において

70F-8P, 70F-9P, 70F-12P の各カプセルによる出力の相違が少ないことが注目される。

ペレット密度の差は 8.3% 前後のペレットと 9.1% 近くのものがある。にもかかわらずその差が出力に大きく出ていない。

これは密度が大きいペレットでは、表面と中心での中性子束の値がかなりの差があるのに対して、ペレット密度の小さなものでは、表面と中心での中性子束が前者に比較してより平らになっており、中性子束の落ちこみ (depression) が少ないと考えられる。一方単位体積当りにある核分裂物質 (U-235, Pu-239) は密度の大きさに比例する。

これらの相反する傾向が打ち消しあって、前頁 (22 ページ) のグラフになっていると考えられる。

以上の核計算から照射孔を選択する。しかし中性子束と出力から照射孔を決定してもカプセル内の熱計算から材料の温度が許容温度を超えると照射孔を選びなおさなければならない。

今回は、燃料ペレット中心温度を 2,650℃ に出来るだけ近づける様に高くし熱伝導度の実験をすることが目的である。しかし、この時にカプセルの材料の強度が許容の条件を満足しなければならぬ。

JMTR 側としては、核計算も、材料強度の計算も本来は JMTR 照射責任者が実行していた。今回は、その業務を動燃側が代行した。

従って出力、材料の熱計算等 JMTR と動燃で数回の会合を持ち照射孔を決定した。

(Nuclear Mock Up のフラックスパターン のデータも照射に先だち実験で求めて照射孔選びに使用する。)

今回材料の熱計算は PNC Cap Tep Mark II コードを使って計算したが、その結果については照射孔選びが、遅れたので、この報告書には乗せないことにした。第 II 報以降に乘せる予定である。

今後に残された問題点として Thermos の改良 (中性子エネルギーをもっと高くまで扱える様にする。) Cap Tep Mark II の中で γ ヒーティング、カプセル材料の熱膨張によるギャップコンダクタンスの変化を計算体系に組み込むように改良することが望ましい。

4. 燃料ピン製造

燃料ピン製造の流れ図を Fig 18 に示した。

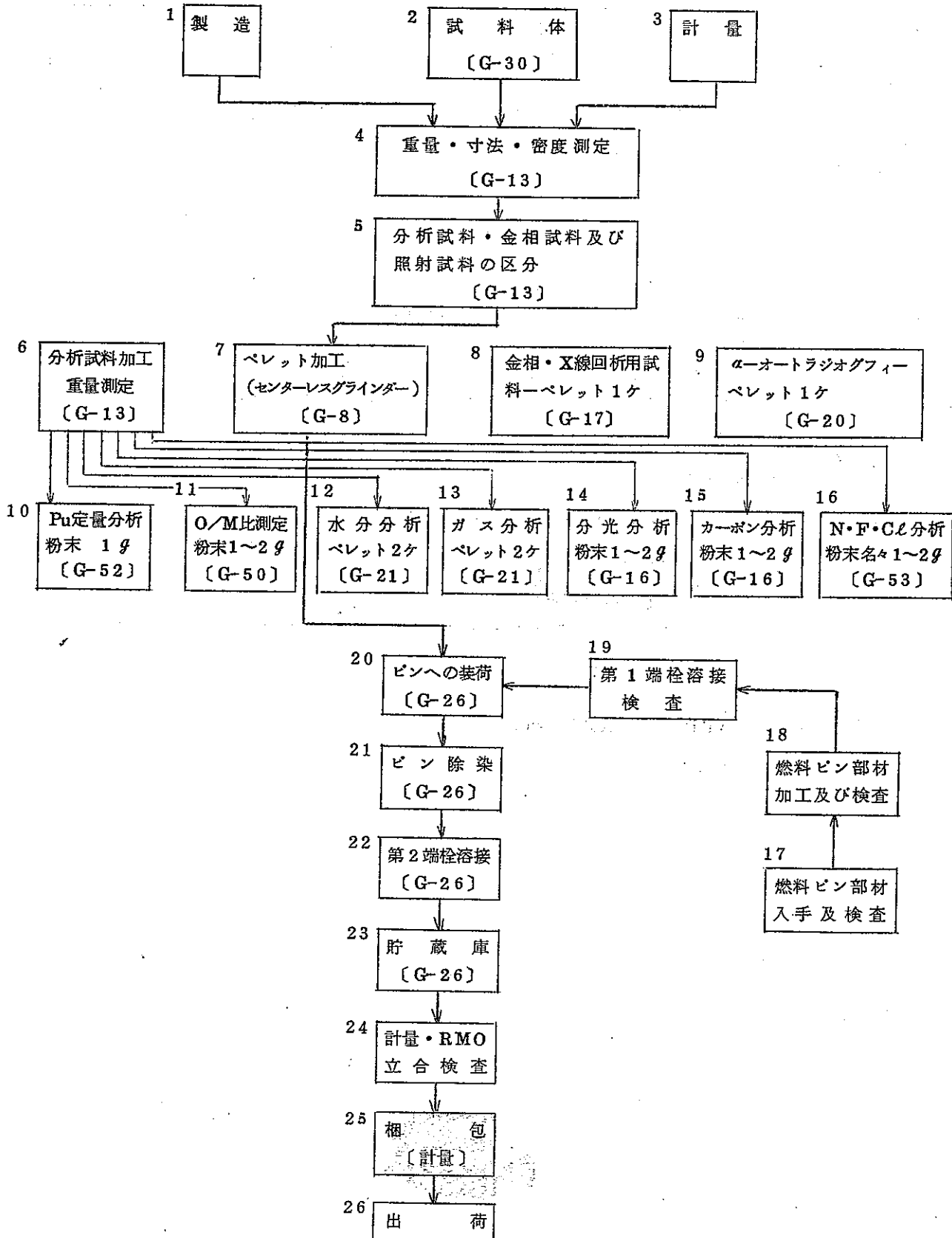


Fig 18 燃料ピン製造工程

(1) ペレット

今回の照射用燃料ビンに使ったペレットは以下に示す通りである。

カプセル名	ビン名	ペレットの種類
TR	TR-P-0	原研大洗が貸与した濃縮ウランペレット
	TR-P-1	APDA-VI型ペレット(83%TD)
	TR-P-2	"
	TR-P-3	"
	TR-P-4	"
	TR-P-5	"
70F-8P	TC-P-1	APDA-VI型ペレット(91%TD)
	TC-P-2	"
70F-9P	TC-P-6	APDA-VI型ペレット(83%TD)
	TC-P-4	"
70F-12P	CM-P-1	
	CM-P-2	模擬FP元素入りペレット
	CM-P-3	"
	CM-P-4	"

以下、APDA-VI, APDA-VII 型ペレットの簡単な製造記録

固体FP入ペレットの製造のアウトラインを記す。

APDA照射試料 type VII, VIIIは限られた時間内に高燃焼度を達成させ、高出力高燃焼度時の照射に対する安全性を確かめ、照射挙動についての知見を得る為製造された試料である。従って20% PuO₂-80% UO₂ (90%濃縮ウラン)という高い fissile material 密度を有し、気孔率は type VIIで10±1%, type VIIIで17±20%の二通りになっている。

type VII, VIIIペレットは以下の仕様に従って製造された。

燃料の型	VII	VIII
密度 (% T. D)	90±1	83±20
PuO ₂ 濃度 (w/o)	20±1	20±1
UO ₂ 濃縮度%	90	90
ペレット径 (mm)	5.50±0.01	5.50±0.01
ペレット長さ (mm)	9.00±1.00	9.00±1.00
O/M	2.00+0.01 -0.02	
不純物 (ppm)	C < 150	Ca < 25
	CC < 25	F < 25
	Mg < 25	N < 75
	Moisture < 100	
全ガス放出量	0.2 CCS. T. P. /g of fuel at 1,700°C	
Homogeneity	50ミクロン以上のPuO ₂ 粒がないこと。	

この製造仕様に基づいてAPDA型VII, VIIIのペレットが作られた。

APDA VII, VIIIペレットは、1969年に作られたものであり、詳しい報告書が出ているので参考にされたい。(SN843-70-08)

次員にこの中から今回の重要と考えられるものを乗せておく。

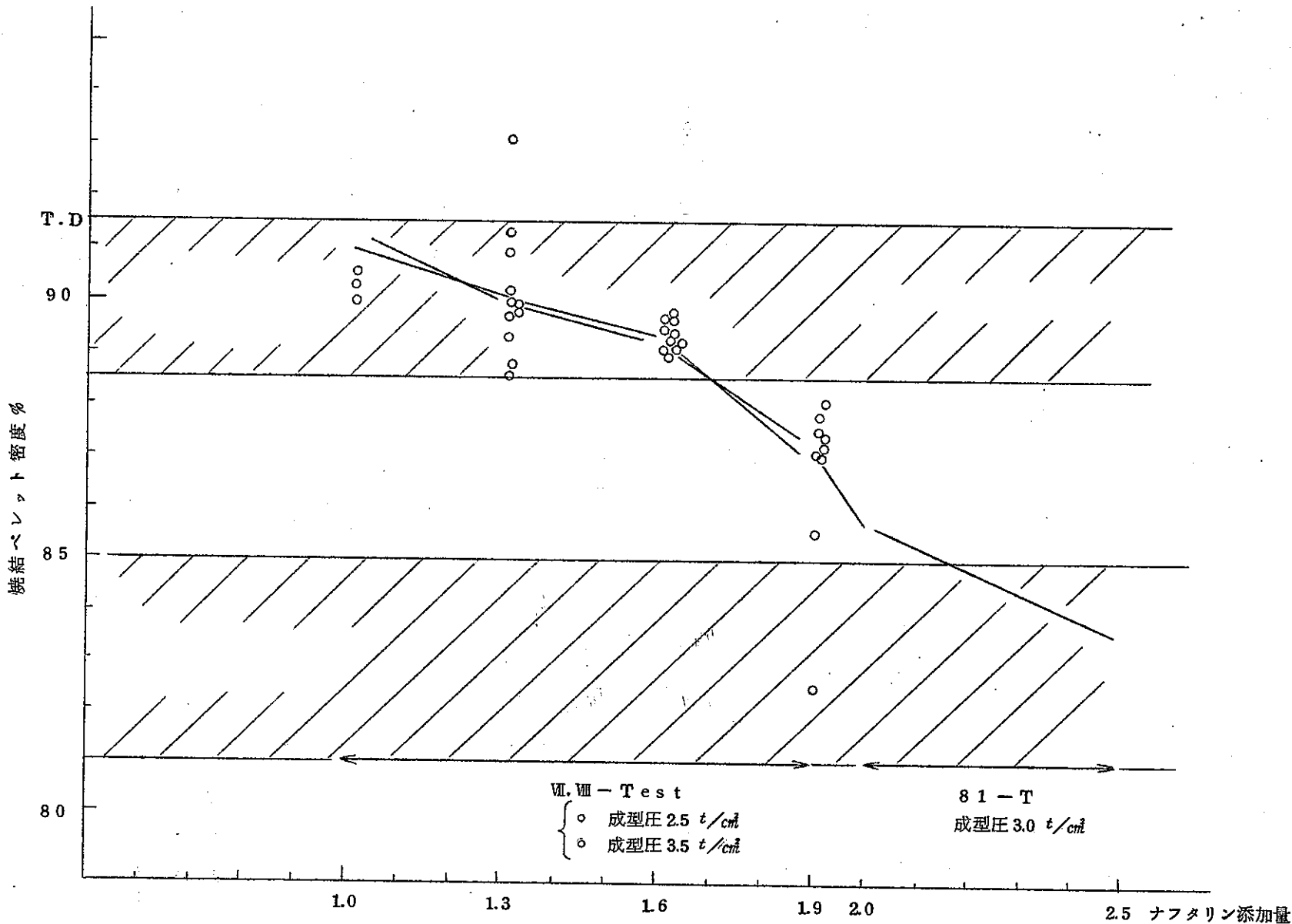


Fig.19 製造テスト結果 (VII VIII-Test, 81-T)

表-2 密度, 重量, 高さ, (直径) のデータ

lot 号	完全ベレット	不 合 格	合 格	密度合格率
70	44ケ	1ケ	43ケ	97.73%
71	174 "	0 "	174 "	100.00 "
72	215 "	0 "	215 "	100.00 "
73	203 "	19 "	184 "	90.64 "
TYPE VI	636ケ	20ケ	616ケ	96.86%
81-T-2	23ケ	3ケ	20ケ	86.96%
81	157 "	3 "	154 "	98.09 "
82	215 "	23 "	192 "	89.30 "
83	232 "	35 "	197 "	84.91 "
84	80 "	28 "	52 "	65.00 "
TYPE VII	707ケ	92ケ	615ケ	86.99%

表-3

		密 度		高 さ		重 量	
		規格 90.0 ± 1% T.D.		9 ± 1 mm		g	
		平均 \bar{x}	標準偏差 σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
TYPE VI	lot 70	90.97	0.19	8.60	0.02	2.0469	0.0010
	71	90.72	0.11	9.09	0.03	2.1538	0.0022
	72	90.35	0.07	8.49	0.02	2.0039	0.0014
	73	91.10	0.11	9.10	0.06	2.1659	0.0031
TYPE VII		規格 83.0 ± 2.0%		9 ± 1 mm		g	
		平均 \bar{x}	標準偏差 σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
	81-T-2	84.47	0.12	9.39	0.01	2.0754	0.0008
	81	84.00	0.30	9.17	0.03	2.0116	0.0017
	82	83.73	0.98	9.26	0.05	2.0258	0.0031
	83	84.43	0.30	9.08	0.02	2.0044	0.0013
84	84.89	0.19	9.47	0.02	2.1045	0.0014	

表-4 APDA VII・VIII 試驗結果

分析種	單位	VII・VIII-T	70	71	72	73	81-T	81
Pu	(w/o)	1765	1765	1746	1761	178 ₁	178 ₁	173 ₉
PuO ₂	(w/o)	2001	2001	1980	1997	201 ₉	201 ₉	201 ₀
U	(w/o)	712 ₂	712 ₂					
UO ₂	(w/o)	809 ₃	809 ₃					
O/M			199 ₈	199 ₈	198 ₉	198 ₇	198 ₈	198 ₈
C	(ppm)		145	65	30	67		
N	"		<30	<30	<30	<30		<30
Ca	"	<1		14	11	9		8
Cd	"	<0.5		<0.5	<0.5	<0.5		<0.5
Ag	"	<0.10		<0.10	0.17	<0.2		<0.2
Al	"	170		142	24	10		465
B	"	<0.20		0.32	<0.20	<0.3		<0.2
Co	"	<10		<10	<10	<10		<10
Cr	"	22		23	<5	44		15
Cu	"	10		0.6	7.8	<3		<1
Fe	"	162		145	17	27		110
Mg	"	16		16	6	2		30
Mn	"	2		2	<1	<6		3
Ni	"	69		70	32	<10		90
Si	"	32		38	12	14		80
V	"	<3		<3	<3	<3		<10
Zn	"	<50		<50	<50	<50		<50
Cl	"		<5	<5	5	<5		
F	"		<5	<5	6	<5		<5
Total gas	μL/g		270	X	211	145	330	160
Moisture	μL/g		351		109	36	40	20
Antoradiography		A O.K.	C	X	C	X	B	X
Metallography		O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.

表-5 APDA VII・Ⅷ試驗結果

分 析 種	单 位	8 2	8 3	8 4
Pu	(w/o)	17.7 ₄	17.9 ₂	17.9 ₇
PuO ₂	(w/o)	20.1 ₁	20.3 ₂	20.3 ₈
U	(w/o)			
UO ₂				
O/M		1.98 ₆	1.98 ₈	1.98 ₉
C	(ppm)			
N	"	<30		
Ca	"	13	10	11
Cd	"	<0.5	<0.5	<0.5
Ag	"	<0.2	0.2	<0.2
Al	"	150	135	110
B	"		0.2	<0.2
Co	"	<10	<10	<10
Cr	"	30	10	15
Cu	"	1	1	2
Fe	"	85	25	25
Mg	"	30	10	8
Mn	"	3	3	3
Ni	"	65	40	65
Si	"	105	35	30
V	"	<10	<10	<10
Zn	"	<50	<50	<50
Cl	"	8	<5	
F	"	5.4	<5	11.2
Total gas	μl/g	95	<112	106
Moisture	μl/g		<30	70
Autoradiography		A	O.K.	
Metallography			O.K.	

固体FP模擬ペレット製造工程

FPの添加は、La, Ce, Pr, Nd, Y, Sr, Ba, Zr, Mo, Ru, Rh, Pd の12元素を酸化物の形で混合、FPの酸化物の粉をボールミルでPuO₂, UO₂ 粉に混合。

製造工程

原料混合酸化物 (ペレット及び粉末)

酸化 600℃ 60min air 5ℓ/min

還元 600℃ 60min NHガス

酸化 600℃ 60min air 5ℓ/min

還元 600℃ 60min NHガス X線回折

BM粉砕 (ボールミル粉砕)

V型Blender 混合

酸化物粉末 ----- (Pu分析
BET

計量

F.P粉末

計量

V型Blender 混合 30min

BM粉砕混合 -----> BET サブレーブ

12hr 2~3 1μ

}なることを確める。

これはFP無添加のものでやる。

予備プレス 1t/cm

粉砕

プレス 3t/cm

予備焼結 650℃ 5~8hr

NHガス

焼結 1600℃ 2hr

JMTR-CM (固体FP入ペレット)

焼結後ペレット内に含まれている固体FPの化学的状態

Mo, Ru, Rh, Pdがmetalであるとして

$(Pu-U)O_{2.00} + FPoxide + Metal FP = (ペレット)$ として考える。

MoO_3 から O_3 がとぶと考えて $Mo/MoO_3 = 95.94 / (95.94 + 16 \times 3) = 0.6665$

RuO_2 O_2 $Ru/RuO_2 = 101.07 / (101.07 + 16 \times 2) = 0.7595$

Rh_2O_3 O_3 $Rh/RhO_{1.5} = 102.905 / (102.905 + 16 \times 1.5) = 0.8109$

PdO O $Pd/PdO = 106.4 / (106.4 + 16) = 0.869$

焼結後混入されていると推定されるFPoxideとmetallic FPの量は

	5万MWD/T	8万MWD/T	12万MWD/T
SrO	0.545	0.817	1.164
Y ₂ O ₃	0.291	0.439	0.627
ZrO ₂	2.697	3.966	5.077
Mo	1.630	2.584	2.753
Ru	1.893	2.882	3.883
Rh	0.307	0.508	0.765
Pd	0.577	0.938	1.422
BaO	0.713	1.098	1.616
La ₂ O ₃	0.923	1.422	2.026
CeO ₂	1.866	2.755	3.848
Pr ₂ O ₁₁	1.072	1.705	2.593
Nd ₂ O ₃	2.240	3.825	5.653
計	14.754	22.939	31.427

$\frac{(Pu-U)O_2}{(Pu-U)O_2 + F.Poxide + FPmetal}$ の値

5万 $(380 / (380 + 14.754)) = 0.962624$

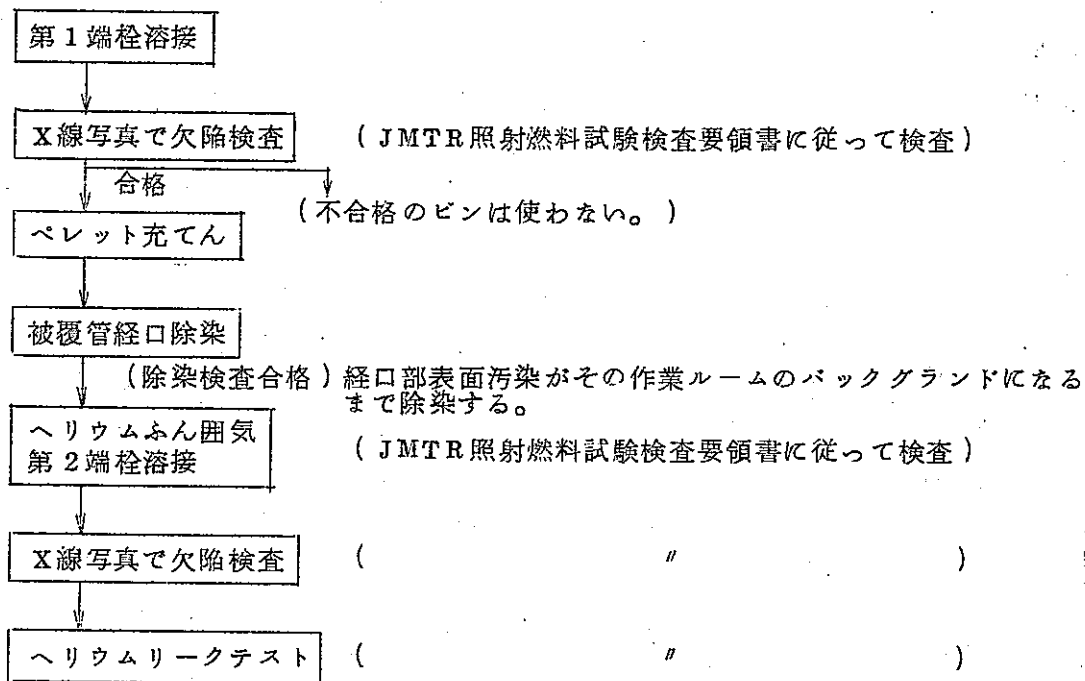
8万 $(370 / (370 + 22.939)) = 0.941622$

12万 $(360 / (360 + 34.426)) = 0.912719$

(2) 溶 接

溶接は第1端栓溶接と燃料充てん後の第2端栓溶接がある。今回一部燃料ビンの第1端栓溶接を検査課に依頼した。

溶接作業の流れは以下に従った。



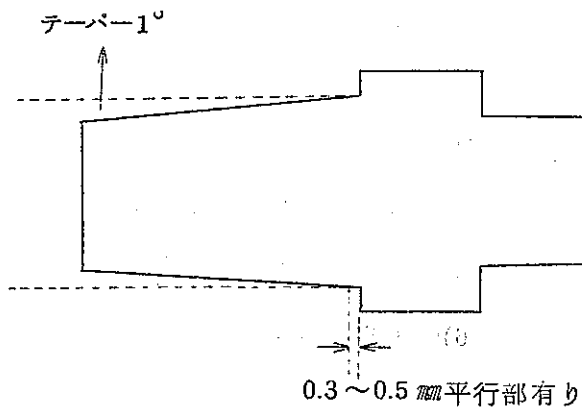
(注) 1) 部材加工は全て加工歩留りを考えて依頼すること。

溶接部第1端栓時加工歩留り

” 第2端栓 ”

を考慮して、被覆管、端栓を準備すること。

又端栓の仕上げ精度について、今回は以下に従った。



溶接条件、端栓部仕上げ精度についての実験的裏付けデータは、今のところ確立されていない。上のテーパ-1°、0.3~0.5mm 平行部の形状は、過去の経験に基づいた。

(注) ii) 今回の溶接条件として

	第 I 端栓 (検査課)	第 II 端栓 (プル燃試料係)
溶接電流	13~14 A	14~16 A
溶接時間	9 s	6 s
回転数	10 RPM	13.5 RPM
ふん囲気	ヘリウム	ヘリウム

溶接電圧が不明であるが、電圧が解れば溶接入熱 ($H = \frac{60EI}{v}$) が出る。

($E \sim 15V$) 冷し金は使っていない。

(注) iii) X線写真による欠陥判定は、現在の溶接部欠陥探傷法としては最も進んだ方法とされている。しかし今回の様に高速炉用燃料被覆管の肉厚が 0.35 mm と大変薄いものにとこまで信頼出来るのか疑問も残る。X線写真フィルムの陰影により 0.20 mm の欠陥は識別出来る。しかしこれ以下ともなると相当の経験者でも注意を必要とし正確に材料の欠陥とフィルム上のキズ感光薬の不均一性と判別が出来ない。従って実際に欠陥 (ブローホール) とそのX線フィルムの対応データをそろえて、実験的裏付けに基づいてX線による欠陥探傷法を確立しておく必要がある。

さらに溶接欠陥と端栓溶接の機械的強度の関係を把握したもとのスペック検討が是非必要である。

(3) 燃料ビン測定結果

i) 重量, 寸法, 化学分析値, 測定データ

以下各カプセル用燃料試料についてのペレット重量測定値, 化学分析値, 各ビンの寸法測定値, 等を記す。

A) 70F-8P カプセル用燃料試料測定結果

B) 70F-9P "

C) 70F-12P "

D) TRカプセル用燃料試料測定結果

なお、部材等のミルシートは同じロットのものが多く1例のみ載せておく。

これらはいずれも、カプセル燃料試料検査成績書としてJ M T R側へ提出したものである。

A 70F-8P カプセル用燃料試料測定結果

1. 燃料ペレット測定

(1) 外観，寸法，重量，密度測定

結果を表1に示す。

表 - 1

ピン名称	ピン番号	スタック 表	ペレット 径	直径 mm	長さ mm	重量 g	密度 %T. D.	外観 検査	ペレット 種類
TC-P-1	C-1	784	1	5.50	10.00	2.460	94.6	合格	Nat UO ₂
			2	5.49	8.65	2.045	90.3	"	20%PuO ₂ -EUO ₂
			3	5.51	8.66	2.038	89.3	"	"
			4	5.51	8.65	2.038	89.3	"	"
			5	5.51	8.65	2.034	89.3	"	"
			6	5.51	8.61	2.038	89.8	"	"
			7	5.50	8.54	2.019	90.0	"	"
			8	5.51	9.11	2.155	89.9	"	"
			9	5.50	8.98	2.105	89.2	"	"
			10	5.50	8.54	2.008	89.6	"	"
			11	5.50	10.00	2.460	94.6	"	Nat UO ₂
TC-P-2	C-2	792	1	5.50	10.00	2.460	94.6	合格	Nat UO ₂
			2	5.42	9.16	2.095	89.7	"	20%PuO ₂ -EUO ₂
			3	5.41	9.07	2.085	90.6	"	"
			4	5.40	8.58	1.948	89.7	"	"
			5	5.40	7.99	1.816	89.7	"	"
			6	5.41	8.77	2.004	90.0	"	"
			7	5.42	9.07	2.078	89.8	"	"
			8	5.41	8.91	2.030	89.7	"	"
			9	5.41	8.50	2.009	92.9	"	"
			10	5.41	9.12	2.085	90.0	"	"
			11	5.50	10.00	2.460	94.6	"	Nat UO ₂

(2) 燃料組成化学分析値

表-2に結果を示す。

表 - 2

項目	単位	結果
Pu	w/o	17.65
PuO ₂	w/o	20.01
ガス	μℓ/g	50
水分	μℓ/g	4.2
O/M		1.987
不純物元素		
C	ppm	77
Ca	"	8
Cl	"	<5
F	"	<5
Mg	"	17
N	"	<30

分析方法 Ca Mg : 分光分析法 O : カーボン分析法
Cl, F, N 調色法

2. 被覆管検査結果

(1) 外観, 寸法, 重量結果

表-3に結果を示す。

表 - 3

ピン 名称	ピン 番号	外観 検査	重量 (g)	寸 法 検 査						
				全 長 (mm)	外 径 (mm)		内 径 (mm)		厚 肉 (mm)	
					Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
TC-P-1	C-1	合格	7.41	141.50	6.306	6.296	5.586	5.583	0.37	0.34
TC-P-2	C-2	"	7.65	141.45	"	"	"	"	"	"

(2) 素材組成検査

別添 (1)

(3) 欠陥検査

合 格

3. 端栓材検査

(1) 外観，寸法，重量測定

表-4に示す。

表 - 4

ピン名称	ピン番号	端栓	全長 (mm)	直径 (mm)	重量 (g)	外観
TC-P-1	C-1	第1	14.97	6.285	2.85	合格
		第2	15.12	6.286	2.56	"
TC-P-2	C-2	第1	15.05	6.277	2.70	合格
		第2	15.01	6.285	2.86	"

(2) 素材組成検査

別添 (2)

4. 燃料棒検査結果

(1) 外観，寸法，重量測定

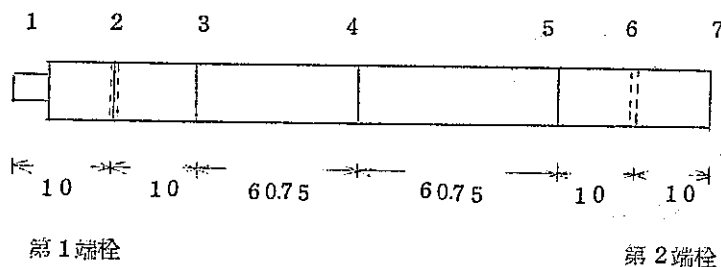
表-5～表-7に示す。

表 - 5

ピン名称	ピン番号	全長 (mm)		全重量 (g)	外観
		含ボス	不含ボス		
TC-P-1	C-1	161.50	156.45	37.03	合格
TC-P-2	C-2	161.40	151.30	36.69	"

表 - 6

ピン名称	ピン番号	方向	1	2	3	4	5	6	7
			TC-P-1	C-1	X	6.285	6.400	6.285	6.280
Y	6.285	6.337			6.280	6.290	6.290	6.362	6.296

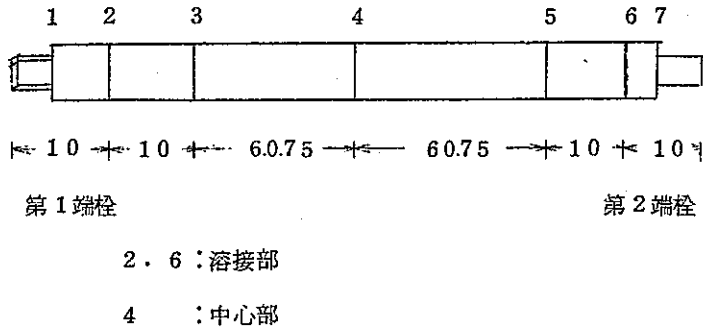


2・6 : 溶接部

4 : 中心部

表 - 7

ピン名称	ピン番号	方向	1	2	3	4	5	6	7
TC-P-2	C-2	X	X 6.282	6.462	6.314	6.300	6.312	6.380	6.285
		Y	Y 6.272	6.361	6.314	6.305	6.302	6.365	6.285



(2) 溶接部検査

表 - 8

ピン名称	ピン番号	外観	端栓ビード巾				端栓ビード高				X線検査
			第1		第2		第1		第2		
			Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	
TC-P-1	C-1	合格	2.47	2.40	2.05	1.90	6.40	6.34	6.38	6.36	合格
TC-P-2	C-2	"	2.03	1.78	1.84	1.64	6.46	6.36	6.38	6.37	"

(3) ヘリウムリークテスト

表 - 9

ピン名称	ピン番号	リーク率(cc/sec)	判定
TC-P-1	C-1	7.1×10^{-9}	合格
TC-P-2	C-2	"	"

(4) 表面汚染検査

表 - 10

ピン名称	ピン番号	スミヤ測定結果(c.p.m)	表面放射線強度(c.p.m)		判定
			第1端栓	第2端栓	
TC-P-1	C-1	0	<10	80	合格
TC-P-2	C-2	0	<10	10	"

(5) 外観写真

別添 (3)

B 70F-9P カプセル用燃料試料測定結果

1. 燃料ペレット測定

(1) 外観, 寸法, 重量, 密度測定

結果を表1に示す。

表 - 1

ピン名称	ピン番号	スタック長 (mm)	ペレット No.	直径 (mm)	長さ (mm)	重量 (g)	密度 %TD	外観 検査	ペレット種類
TC-P-6	C-6	80.2	1	5.50	10.00	2.460	94.6	合格	Nat. UO ₂
			2	5.39	8.38	1.762	83.4	"	20%PuO ₂ -EUO ₂
			3	5.38	9.41	1.942	82.2	"	"
			4	5.38	8.58	1.803	83.6	"	"
			5	5.38	9.27	1.945	83.5	"	"
			6	5.37	9.61	1.995	82.8	"	"
			7	5.38	9.32	1.933	82.7	"	"
			8	5.38	8.75	1.835	83.6	"	"
			9	5.37	8.43	1.765	83.6	"	"
			10	5.39	8.40	1.753	82.8	"	"
			11	5.50	10.00	2.460	94.6	"	Nat. UO ₂
TC-P-4	C-4	81.6	1	5.50	10.00	2.460	94.6	合格	20%PuO ₂ -EUO ₂
			2	5.51	9.14	2.023	83.9	"	"
			3	5.49	8.95	1.973	84.2	"	"
			4	5.50	9.16	1.981	82.2	"	"
			5	5.51	9.02	1.960	82.4	"	"
			6	5.51	9.41	2.097	84.6	"	"
			7	5.52	9.17	2.028	83.6	"	"
			8	5.49	8.79	1.898	82.3	"	"
			9	5.51	8.97	2.000	84.7	"	"
			10	5.51	8.97	1.976	83.6	"	"
			11	5.50	10.00	2.460	94.6	"	Nat. UO ₂

(2) 燃料組成化学分析値

表-2に結果を示す。

表 - 2

項 目	単 位	結 果
Pu	w/o	17.74
PuO ₂	w/o	20.11
ガ ス	μl/g	95
水 分	μl/g	<30
O/M		1.985
不純物元素		
C	ppm	65
Ca	"	13
Cl	"	8
F	"	5.4
Mg	"	30
N	"	<30

分析方法 Ca Mg : 分光分析法
 C : カーボン分析法
 Cl, F, N : 調色法

2. 被覆管検査結果

(1) 外観, 寸法, 重量測定

表-3に結果を示す。

表 - 3

ピン名称	ピン 番号	外観 検査	重量 (g)	寸 法 検 査						
				全 長 (mm)	外径 (mm)		内径 (mm)		肉厚 (mm)	
					Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
TC-P-6	C-6	合格	7.65	14.155	6.306	6.296	5.586	5.583	0.37	0.34
TC-P-4	C-4	"	7.40	14.155	"	"	"	"	"	"

(2) 素材組成検査

別 添 (1)

(3) 欠陥検査

合 格

3. 端栓材検査

(1) 外観, 寸法, 重量測定

表-4 に示す。

表 - 4

ピン名称	ピン番号	端栓	全長(mm)	直径(mm)	重量(g)	外観
TC-P-6	C-4	第1	15.05	6.296	270	合格
		第2	15.11	6.270	285	"
TC-P-4	C-4	第1	15.03	6.278	269	合格
		第2	15.03	6.291	285	"

(2) 素材組成検査

別添(2)

4. 燃料棒検査結果

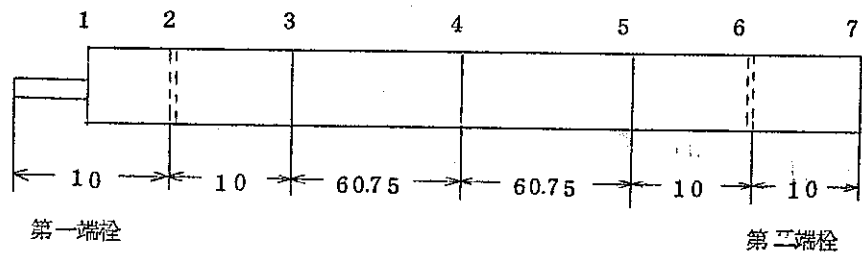
(1) 外観，寸法，重量，測定

表 - 5

ピン名称	ピン番号	全長 (mm)		全重量 (g)	外観
		含ボス	不含ボス		
TC-P-6	C-6	161.4	151.3	35.19	合格
TC-P-4	C-4	161.4	156.3	36.44	"

表 - 6

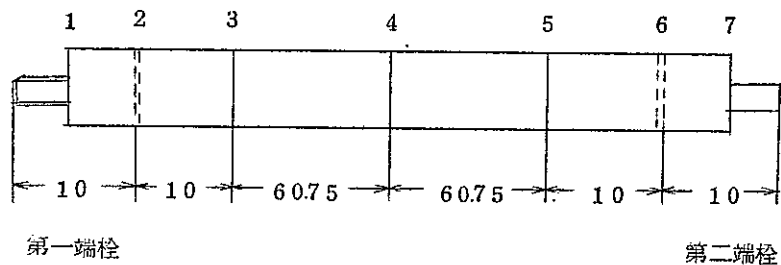
ピン名称	ピン番号	方向	1	2	3	4	5	6	7
TC-P-4	C-4	X	6278	6450	6283	6290	6290	6385	6292
		Y	6277	6336	6280	6280	6290	6356	6290



2.6 ; 溶接部
4 ; 中心部

表 - 7

ピン名称	ピン番号	方向	1	2	3	4	5	6	7
TC-P-6	C-6	X	6297	6455	6310	6309	6307	6385	6270
		Y	6294	6355	6307	6316	6315	6385	6270



2.6 ; 溶接部
4 ; 中心部

(2) 溶接部検査

表 - 8

ピン名称	ピン番号	外観	端栓ビード巾				端栓ビード高				X線検査
			第1		第2		第1		第2		
			Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	
TC-P-6	C-6	合格	1.90	1.77	1.96	1.74	6.46	6.36	6.39	6.39	合格
TC-P-4	C-4	"	2.07	1.91	2.08	1.84	6.45	6.34	6.39	6.36	"

単位 mm

(3) ヘリウムリークテスト

表 - 9

ピン名称	ピン番号	リーク率 (cc/sec)	判定
TC-P-6	C-6	7.1×10^{-9}	合格
TC-P-4	C-4	"	"

(4) 表面汚染検査

表 - 10

ピン名称	ピン番号	スマイヤー測定結果 (cpm)	表面放射線強度 (cpm)		判定
			第一端線	第二端栓	
TC-P-6	C-6	0	<10	<10	合格
TC-P-4	C-4	0	<10	<10	"

(5) 外観写真

別添 (5)	180	660	1400	7
(5)	180	660	1400	7

C 70F-12P カプセル用燃料試料測定結果

1. 燃料ペレット測定

(1) 外観, 寸法, 重量, 密度測定

結果を表-1に示す。

表 - 1

ピン名称	ピン番号	スタック長 (mm)	ペレット No.	直径 (mm)	長さ (mm)	重量 (g)	密度 g/cc	外観 検査	ペレット種類
CM-P-1	M-1	41.2	1	5.50	5.30	1.305	94.6 %T.D.	合格	Nat. UO ₂
			2	5.55	9.84	2.435	10.25	"	PuO ₂ -UO ₂
			3	5.55	10.16	2.534	10.33	"	"
			4	5.54	10.91	2.676	10.18	"	"
			5	5.55	10.26	2.480	10.00	"	"
			6	5.50	5.30	1.305	94.6 %T.D.	"	Nat. UO ₂
CM-P-2	M-2	40.6	1	5.50	4.34	1.190	94.6 %T.D.	合格	Nat. UO ₂
			2	5.52	10.10	2.306	9.57	"	PuO ₂ -UO ₂
			3	5.52	10.80	2.464	9.55	"	"
			4	5.51	9.29	2.174	9.84	"	"
			5	5.51	10.41	2.345	9.46	"	"
			6	5.50	4.84	1.190	94.6 %T.D.	"	Nat. UO ₂
CM-P-3	M-3	39.6	1	5.50	4.84	1.190	94.6 %T.D.	合格	Nat. UO ₂
			2	5.51	9.54	2.108	9.27	"	PuO ₂ -UO ₂
			3	5.51	10.10	2.237	9.31	"	"
			4	5.51	10.05	2.254	9.44	"	"
			5	5.50	9.86	2.218	9.47	"	"
			6	5.50	4.84	1.190	94.6 %T.D.	"	Nat. UO ₂
CM-P-4	M-4	39.1	1	5.50	4.67	1.151	94.6 %T.D.	合格	Nat. UO ₂
			2	5.51	9.34	2.092	9.39	"	PuO ₂ -UO ₂
			3	5.48	9.62	2.136	9.43	"	"
			4	5.49	10.11	2.250	9.40	"	"
			5	5.49	9.98	2.220	9.42	"	"
			6	5.50	4.67	1.150	94.6 %T.D.	"	Nat. UO ₂

SN 841-72-27

(2) 燃料組成化学分析値

別添

2. 被覆管検査結果

(1) 外観，寸法，重量測定

表 - 2

ピン名称	ピン番号	外観検査	重量 (g)	寸法検査						
				全長 (mm)	外径(mm)		内径(mm)		肉厚(mm)	
					Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
CM-P-1	M-1	合格	4.50	85.55	6.306	6.296	5.586	5.583	0.37	0.34
CM-P-2	M-2	"	4.49	85.55	6.306	6.296	5.586	5.583	0.37	0.34
CM-P-3	M-3	"	4.66	85.55	6.306	6.296	5.586	5.583	0.37	0.34
CM-P-4	M-4	"	4.64	85.55	6.306	6.296	5.586	5.583	0.37	0.34

(2) 素材組成検査

別添(1)

(3) 欠陥検査

合格

3. 端栓材検査

(1) 外観，寸法，重量測定

表 - 3

ピン名称	ピン番号	端栓	端栓長 (mm)	直径 (mm)	重量 (g)	外観
CM-P-1	M-1	1	15.06	6.270	2.72	合格
		2	13.62	6.270	2.21	"
CM-P-2	M-2	1	15.12	6.280	2.90	合格
		2	13.66	6.270	2.25	"
CM-P-3	M-3	1	15.10	6.294	2.89	合格
		2	13.73	6.286	2.25	"
CM-P-4	M-4	1	15.14	6.270	2.88	合格
		2	13.65	6.272	2.32	"

(2) 素材組成検査

別添 (2)

4. 燃料棒検査結果

(1) 外観，寸法，重量測定

表 - 4

ピン名称	ピン番号	全長 (mm)		全重量 (g)	外観
		含ボス	不含ボス		
CM-P-1	M-1	100.00	91.90	22.60	合格
CM-P-2	M-2	99.85	95.80	22.04	"
CM-P-3	M-3	99.80	95.80	21.71	"
CM-P-4	M-4	99.95	95.80	21.73	"

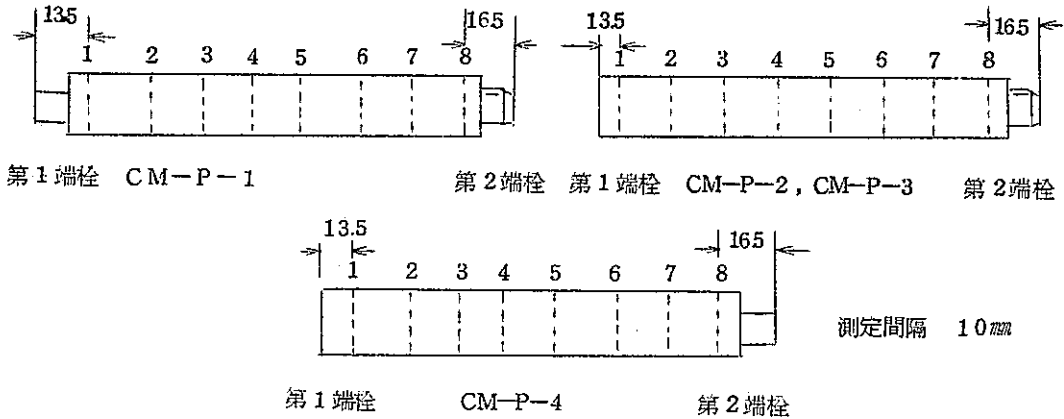


表 - 5

ピン名称	ピン番号		1	2	3	4	5	6	7	8
CM-P-1	M-1	Max. (mm)	6.295	6.293	6.293	6.296	6.295	6.294	6.293	6.294
		Min. (mm)	6.291	6.290	6.291	6.291	6.290	6.290	6.290	6.292
CM-P-2	M-2	Max. (mm)	6.294	6.294	6.295	6.296	6.295	6.295	6.292	6.293
		Min. (mm)	6.292	6.290	6.292	6.295	6.290	6.291	6.290	6.290
CM-P-3	M-3	Max. (mm)	6.296	6.295	6.295	6.295	6.294	6.295	6.294	6.290
		Min. (mm)	6.291	6.293	6.293	6.292	6.291	6.292	6.292	6.293
CM-P-4	M-4	Max. (mm)	6.321	6.324	6.320	6.318	6.320	6.324	6.323	6.323
		Min. (mm)	6.316	6.320	6.318	6.315	6.317	6.323	6.321	6.320

(2) 溶接部検査

表 - 6

ピン名称	ピン番号	外観	第1端栓ピート巾		第2端栓ピート巾		第1端栓ピート高		第2端栓ピート高		X線検査
			Max. (mm)	Min. (mm)	Max. (mm)	Min. (mm)	Max. (mm)	Min. (mm)	Max. (mm)	Min. (mm)	
CM-P-1	M-1	合格	2.00	1.70	2.60	1.65	6.37	6.34	6.37	6.34	合格
CM-P-2	M-2	"	3.35	2.50	2.40	1.75	6.52	6.42	6.38	6.34	"
CM-P-3	M-3	"	2.60	1.85	2.00	1.45	6.52	6.43	6.39	6.37	"
CM-P-4	M-4	"	2.75	1.90	2.45	1.45	6.55	6.45	6.39	6.37	"

(3) ヘリウムリークテスト

表 - 7

ピン名称	ピン番号	リーク率 (cc/sec)	判定
CM-P-1	M-1	5.0×10^{-9}	合格
CM-P-2	M-2	"	"
CM-P-3	M-3	"	"
CM-P-4	M-4	"	"

(4) 表面汚染検査

表 - 8

ピン名称	ピン番号	スミヤ測定結果 (c.p.m)	表面放射線強度 (c.p.m)		判定
			第1端栓	第2端栓	
CM-P-1	M-1	0	<10	<10	合格
CM-P-2	M-2	"	"	"	"
CM-P-3	M-3	"	"	"	"
CM-P-4	M-4	"	"	"	"

(5) 外観写真

別添 (3)

FP入パレット分析データ (JMTR-CMシリーズ照射に使用。FPの挙動追跡実験)

分析値	スペック値	70F-12P 0 (Bu)	70F-12P 50,000MWD/T	70F-12P 80,000MWD/T	70F-12P 120,000 MWD/T
Gas 蒸発性不純物	<150	54 (800°C 30分)	45 (800°C 30分)	74 (800°C 30分)	72 (800°C 30分)
Moisture	<150 $\mu\text{L/g}$	< 50 $\mu\text{L/g}$	< 50 $\mu\text{L/g}$	< 50 $\mu\text{L/g}$	< 50 $\mu\text{L/g}$
C (炭素)	<150	100 ppm	70 ppm	100 ppm	80 ppm
Cl (塩素)	< 25	< 10	43*	44*	52*
F (フッ素)	< 25	7 ppm	8 ppm	2 ppm	3 ppm
Mg	< 25 ppm	4 ppm	12 ppm	8 ppm	19 ppm
N	< 75	26 ppm	25 ppm	10 ppm	17 ppm
Pu (PuO ₂ %)		16.06 (18.21)	15.67 (17.77)	15.68 (17.78)	15.43 (17.49)
O/M	197~200	1.97	1.97	1.95*	1.94*
				* 検討中	

D TRカプセル用燃料試料測定結果

1. 燃料ペレット測定

(1) 外観，寸法，重量，密度測定

結果を表-1に示す。

表 - 1

ピン名称	ピン番号	スタック長 (mm)	ペレット No	直径 (mm)	長さ (mm)	重量 (g)	密度 (%T.D.)	外観 検査	ペレット種類
TR-P-1	R-1	364	1	5.50	5.00	1.230	94.6	合格	Nat. UO ₂
			2	5.51	9.02	1.984	83.6	"	20%PuO ₂ -EUO ₂
			3	5.49	9.04	1.945	82.2	"	"
			4	5.38	9.05	1.880	82.7	"	"
			5	5.38	9.28	1.919	82.4	"	"
			6	5.50	5.00	1.230	94.6	"	Nat. UO ₂
TR-P-2	R-2	368	1	5.50	5.00	1.230	94.6	合格	Nat. UO ₂
			2	5.52	9.16	2.018	83.4	"	20%PuO ₂ -EUO ₂
			3	5.51	9.17	1.991	82.4	"	"
			4	5.38	9.25	1.931	83.0	"	"
			5	5.38	9.25	1.921	82.7	"	"
			6	5.50	5.00	1.230	94.6	"	Nat. UO ₂
TR-P-3	R-2	368	1	5.50	5.00	1.230	94.6	合格	Nat. UO ₂
			2	5.50	8.90	1.950	83.3	"	20%PuO ₂ -EUO ₂
			3	5.50	8.96	2.005	85.2	"	"
			4	5.38	9.47	1.967	82.6	"	"
			5	5.38	9.51	1.984	83.2	"	"
			6	5.50	5.00	1.230	94.6	"	Nat. UO ₂
TR-P-4	R-4	367	1	5.50	5.00	1.230	94.6	合格	Nat. UO ₂
			2	5.50	9.18	2.027	84.0	"	20%PuO ₂ -EUO ₂
			3	5.49	9.06	1.992	83.9	"	"
			4	5.37	9.26	1.933	83.3	"	"
			5	5.37	9.16	1.921	83.6	"	"
			6	5.50	5.00	1.230	94.6	"	Nat. UO ₂
TR-P-5	R-5	368	1	5.50	5.00	1.230	94.6	合格	Nat. UO ₂
			2	5.51	9.21	2.039	84.0	"	20%PuO ₂ -EUO ₂
			3	5.49	9.18	2.027	84.3	"	"
			4	5.38	9.18	1.924	83.6	"	"
			5	5.38	9.25	1.930	83.0	"	"
			6	5.50	5.00	1.230	94.6	"	Nat. UO ₂
TR-P-0	R-0	381	1	5.51	4.00	0.989	94.5	合格	Nat. UO ₂
			2	5.51	9.60	2.349	93.7	"	20%PuO ₂ -EUO ₂
			3	5.51	9.47	2.331	94.3	"	"
			4	5.51	9.38	2.317	94.6	"	"
			5	5.51	9.60	2.340	93.3	"	"
			6	5.51	4.00	0.995	95.0	"	Nat. UO ₂

(2) 燃料組成化学分析値

表-2に結果を示す。

表 - 2

項 目	単 位	結 果
Pu	W/O	17.74
PuO ₂	W/O	20.11
ガ ス	μL/g	95
水 分	μL/g	<30
O/M		1.985
不純物元素		
C	ppm	65
Ca	"	13
Cl	"	8
F	"	5.4
Mg	"	30
N	"	<30

分析方法 Ca Mg ; 分光分析法

C カーボン分析法

Cl, F, N; 調色法

2. 被覆管検査結果

(1) 外観, 寸法, 重量測定

表-3に結果を示す。

表 - 3

ビン名称	ビン番号	外観検査	重量 (g)	寸 法 検 査						
				全 長 (mm)	外 径 (mm)		内 径 (mm)		肉 厚 (mm)	
					Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
TR-P-1	R-1	合格	3.90	74.0	63.30	63.13	5.605	5.594	0.36	0.36
TR-P-2	R-2	"	3.89	74.1	63.06	62.96	5.586	5.583	0.37	0.34
TR-P-3	R-3	"	3.90	74.2	63.06	62.96	5.585	5.583	0.37	0.34
TR-P-4	R-4	"	3.91	74.0	63.30	63.13	5.605	5.594	0.36	0.36
TR-P-5	R-5	"	3.89	74.0	63.30	63.13	5.605	5.594	0.36	0.36
TR-P-0	R-0	"	3.90	74.2	63.06	62.96	5.586	5.583	0.37	0.34

(2) 素材組成検査

別添 (1)

(3) 欠陥検査

合格

3. 端栓材検査

(1) 外観, 寸法, 重量測定

表-4に示す。

表 - 4

ピン名称	ピン番号	端 栓	全長 (mm)	直径 (mm)	重量 (g)	外 観
TR-P-1	R-1	第 1	6.05	6.290	1.31	合格
		第 2	5.90	6.280	1.32	"
TR-P-2	R-2	第 1	6.06	6.271	1.32	"
		第 2	5.93	6.293	1.34	"
TR-P-3	R-3	第 1	6.06	6.291	1.32	"
		第 2	5.93	6.279	1.33	"
TR-P-4	R-4	第 1	6.09	6.300	1.31	"
		第 2	5.94	6.300	1.29	"
TR-P-5	R-5	第 1	6.03	6.280	1.31	"
		第 2	5.94	6.310	1.29	"
TR-P-0	R-0	第 1	6.06	6.286	1.34	"
		第 2	5.93	6.286	1.33	"

(2) 素材組成検査

別添 (2)

4. 燃料棒検査結果

(1) 外観，寸法，重量測定

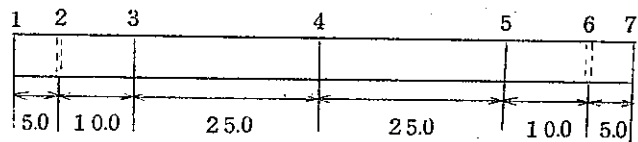
表-5，表-6に示す。

表 - 5

ピン名称	ピン番号	全長 (mm)	全重量 (g)	外観
TR-P-1	R-1	80.0	1782	合格
TR-P-2	R-2	80.0	1764	"
TR-P-3	R-3	80.1	1777	"
TR-P-4	R-4	79.8	1770	"
TR-P-5	R-5	79.7	1774	"
TR-P-0	R-0	80.0	1879	"

表 - 6

ピン名称	ピン番号	方向	1	2	3	4	5	6	7
TR-P-1	R-1	X	6290	6460	6320	6320	6320	6360	6280
		Y	6290	6380	6320	6320	6320	6350	6280
TR-P-2	R-2	X	6270	6358	6285	6285	6285	6365	6294
		Y	6272	6386	6282	6280	6284	6420	6291
TR-P-3	R-3	X	6285	6323	6290	6290	6283	6326	6274
		Y	6297	6342	6290	6283	6285	6346	6284
TR-P-4	R-4	X	6300	6400	6320	6320	6320	6360	6300
		Y	6300	6370	6320	6320	6320	6350	6300
TR-P-5	R-5	X	6280	6360	6320	6320	6320	6390	6310
		Y	6280	6360	6320	6320	6320	6340	6310
TR-P-0	R-0	X	6282	6372	6295	6295	6283	6381	6286
		Y	6290	6347	6286	6282	6284	6341	6285



第1端栓

第2端栓

2. 6 ; 溶接部

4 ; 中心部

(2) 溶接部検査

表-7に示す。

表-7

ピン名称	ピン番号	外観	端栓ピード巾				端栓ピード高				X線検査
			第 1		第 2		第 1		第 2		
			Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	
TR-P-1	R-1	合格	2.45	1.86	2.45	2.10	6.46	6.38	6.36	6.35	合格
TR-P-2	R-2	"	2.05	1.86	2.61	2.07	6.39	6.36	6.42	6.37	"
TR-P-3	R-3	"	2.70	2.47	1.62	1.44	6.34	6.32	6.35	6.33	"
TR-P-4	R-4	"	2.50	2.10	2.50	2.15	6.40	6.37	6.36	6.35	"
TR-P-5	R-5	"	2.30	2.20	2.40	2.00	6.36	6.36	6.39	6.34	"
TR-P-0	R-0	"	2.58	1.87	2.78	2.38	6.37	6.35	6.38	6.34	"

単位 mm

(3) ヘリウムリークテスト

表-8に示す。

表-8

ピン名称	ピン番号	リーク率(cc/sec)	判定
TR-P-1	R-1	1.68×10^{-10}	合格
TR-P-2	R-2	7.50×10^{-9}	"
TR-P-3	R-3	"	"
TR-P-4	R-4	1.68×10^{-10}	"
TR-P-5	R-5	"	"
TR-P-0	R-6	7.50×10^{-9}	"

(4) 表面汚染検査

表-9に示す。

表-9

ピン名称	ピン番号	スミヤー測定 結果(c.p.m)	表面放射線強度(c.p.m)		判定
			第1端栓	第2端栓	
TR-P-1	R-1	0	<10	<10	合格
TR-P-2	R-2	"	"	"	"
TR-P-3	R-3	"	"	"	"
TR-P-4	R-4	"	"	"	"
TR-P-5	R-5	"	"	"	"
TR-P-0	R-0	"	"	"	"

(FBR 被覆管)

Certificate of Test Results

KOBE STEEL, LTD.
 NORTH CHOFU PLANT
 2. MINATOMACHI, CHOFU, SHIMONOSEKI
 YAMAGUCHI-PREF. JAPAN
 HEAD OFFICE
 36-1,1-CHOME WAKINOHAMA-CHO, FUKIAI-KU, KOBE

CABLE ADDRESS
 KOBE STEEL KOBE

No. S - 69 - 8(2)

DATE '69 - 6 - 10

CUSTOMER 動力炉核燃料開発事業団		KIND OF MATERIAL Stainless Steel Seamless Tubes, for Nuclear Reactor				
CUST. SPEC. ASTM A450	GRADE	CONDITION 冷間材			SHIPPING DATE '69 - 5 - 8	
Manufacture No.	Charge No.	Lot No.	Size mm	Pieces	Weight kg	Remarks
SV41701	TPC9178	1	6.3 O.D x 0.35 t x 2,000 L K1 ~ K100	100	10.3	

CHEMICAL ANALYSIS					MECHANICAL PROPERTIES				
	Spec.	トリベ	チェック	チェック	Lot Position	Spec.			
C %	0.06 0.08	0.071	0.061	0.061	Tensile Temp.				
Si	0.75	0.56	0.58	0.56	UTS	kg/mm ²			
Mn	2.00	1.56	1.56	1.51	YS 0.2% offset	kg/mm ²	報告済		
P	0.03	0.010	0.026	0.026	Elongation	%in mm			
S	0.03	0.015	0.012	0.012					
Ni	11.00- 14.00	12.01	12.06	12.11	Flare	%OD Expansion			
Cr	16.00- 18.00	16.20	16.58	16.14	Flatten	% of OD			
Co	0.10	0.020	0.030	0.030	Burst	kg/cm ²	800	1025	1025
Mo	2.00- 3.00	2.42	2.43	2.45	降伏圧力	kg/cm ²	650	950	955
B	0.001	0.001			Grain Size	ASTM No.			
N	0.035	0.022	0.022	0.020					
Fe	Bal				Surface Roughness				

SUPPLEMENTAL INFORMATION			CORROSION TESTS			
◦ 参考分析値 (チェック) Sn: 0.011 0.013 Nb: 0.011 0.011 Ti: 0.047 0.047 V: 0.008 0.008 Cu: 0.070 0.066 As: ◦ 非鉄金属介在物 管材 B Alumina Type THIN - 1 O " " THIN - 1 製品 B Alumina Type THIN - 1			hours	°C	kg/cm ²	Run No.
			Lot Position	Spec.		
			Gain	mg/dm ²		
			Appearance			
			Intercrystalline Corrosion			
			NON DESTRUCTIVE TEST			
			Ultrasonic			
			Hydrostatic	kg/cm ²		
			REMARKS			
			◦ 腐食関係一連は試験中 ◦ 高温引張は試験中			

It is herewith certified that the above materials are satisfactory in compliance with the requirements specified in the contract.

KOBE STEEL, LTD.
 NORTH CHOFU PLANT

FBR 被覆管

Certificate of Test Results

KOBE STEEL, LTD.

NORTH CHOFU PLANT

2. MINATOMACHI, CHOFU, SHIMONOSEKI

YAMAGUCHI-PREF. JAPAN

HEAD OFFICE

36-1,1-CHOME WAKINOHAMA-CHO, FUKUAI-KU, KOBE

CABLE ADDRESS

KOBE STEEL KOBE

No. S - 69 - 8

DATE '69 - 6 - 10

CUSTOMER 動力炉核燃料開発事業団			KIND OF MATERIAL Stainless Steel Seamless Tubes, for Nuclear Reactor			
CUST. SPEC. ASTM A450		GRADE	CONDITION 冷間材		SHIPPING DATE '69 - 5 - 8	
Manufacture No.	Charge No.	Lot No.	Size mm	Pieces	Weight kg	Remarks
SV41701	TPC9178	1	6.3 O.D x 0.35 t x 2,000 L K1 ~ K100	100	10.3	

CHEMICAL ANALYSIS				MECHANICAL PROPERTIES			
	Spec.			Lot Position	Spec.		
C %				Tensile			
Si				UTS Temp. R.T.	60	75.5	76.5
Mn				YS 0.2% offset kg/mm ²	45	61.1	61.8
P				Elongation %in mm	25	31.6	30.8
S				Flare °/%OD Expansion	21	* 54	* 52
Ni				Flatten % of OD	H=2.6	密着	密着
Cr				Burst kg/mm ²	800	1025	1025
Co				Grain Size ASTM No.	6	8.8	8.8
					65		
				Surface Roughness 内面	65	0.8	1.0
				外面	"	1.8	2.2

SUPPLEMENTAL INFORMATION	CORROSION TESTS			
	hours	°C	kg/cm ²	Run No.
	Lot Position	Spec.		
	Gain mg/dm ²			
Appearance				
Intercrystalline Corrosion				
NON DESTRUCTIVE TEST	合格			
	Ultrasonic			
	Hydrostatic kg/cm ²	合格		
ケイコウ探傷				
REMARKS	仕様書 5-1, 5-13, 5-14, 5-15 及び高温引張については現在試験中。			

It is herewith certified that the above materials are satisfactory in compliance with the requirements specified in the contract.

KOBE STEEL, LTD
NORTH CHOFU PLANT

FBR 被覆管

Certificate of Test Results

KOBE STEEL, LTD.
 NORTH CHOFU PLANT
 2. MINATOMACHI, CHOFU, SHOMONSEKI
 YAMAGUCHI-PREF. JAPAN
 HEAD OFFICE

No. S - 69 - 9

36-1,1-CHOME WAKINOHAMA-CHO, FUKUI-KU, KOBE

KOBE STEEL KOBE

DATE '69 - 6 - 10

CUSTOMER 動力伊核燃料開発事業団		KIND OF MATERIAL Stainless Steel Seamless Tubes, for Nuclear Reactor			
CUST. SPEC. ASTM A450		GRADE	CONDITION 冷間加工材	SHIPPING DATE '69 - 6 - 2	
Manufacture No.	Charge No.	Lot No.	Pieces	Weight kg	Remarks
SV41702	TPC9178	1	399	30.9	
			6.3 O.D x 0.35 t x 2,000 L K101 ~ K400		

CHEMICAL ANALYSIS					MECHANICAL PROPERTIES							
	Spec.				Lot Position	Spec.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
C %	0.06-0.08	0.071	0.061	0.061	Tensile Temp. R.T.							
Si	0.75	0.56	0.56	0.56	UTS kg/mm ²	60	80.7	78.1	77.0	79.5	77.8	83.0
Mn	2.00	1.56	1.56	1.51	YS 0.2% offset kg/mm ²	45	65.9	61.5	61.7	66.7	60.0	67.0
P	0.03	0.010	0.026	0.026	Elongation %in mm	25	29.0	36.0	34.0	30.0	40.0	30.0
S	0.03	0.015	0.012	0.012								
Ni	11.00-14.00	12.01	12.06	12.11	Flare %OD Expansion	21	49.0	55.0	50.0	51.0	48.0	52.
Cr	16.00-18.00	16.20	16.58	16.14	Flatten % of OD	H=26	密着	密着	密着	密着	密着	密着
Co	0.10	0.02	0.030	0.030	Burst kg/cm ²	800	1200	1125	1035	1025	1030	10
Mo		2.42	2.43	2.45	降伏強度	650	1140	1065	1000	965	980	995
B	0.001	0.001	分析中		Grain Size ASTM No.	6	9.0	9.0	9.0	8.3	9.2	9.0
N	0.035	0.022	0.022	0.020	表面検査							
Fe	Bal				Surface Roughness 内面	68	0.9	1.0	0.8	1.2	1.4	
					外面	65	1.0	1.6	1.2	1.0	1.8	1.4

SUPPLEMENTAL INFORMATION

○ 参考分析値 (チェック)

Sn: 0.011 0.013
 Nb: 0.011 0.011
 Ti: 0.047 0.047
 V: 0.008 0.008
 Cu: 0.070 0.066
 As: 分析値

○ 非金属介在物

管材
 B Alumina Type THIN - 1
 O " " THIN - 1
 製品
 B Alumina Type THIN - 1

CORROSION TESTS

hours	°C	kg/cm ²	Run No.
Lot Position	Spec.		
Gain mg/dm ²			
Appearance			試験中
Intercrystalline Corrosion			

NON DESTRUCTIVE TEST

Ultrasonic	合格
Hydrostatic kg/cm ²	
螢光探傷	合格

REMARKS
 腐食関係一連は試験中、高温引張試験中
 ※ 腰くだけ

It is herewith certified that the above materials are satisfactory in compliance with the requirements specified in the contract.

KOBE STEEL, LTD.
 NORTH CHOFU PLANT

II) X線, オートラジオグラフ

- 金相・オートラジオ・X線回折 70F-8P カプセル
- " 70F-9P "
- JMTR-CM カプセル用燃料金相X線データ
- 部材, 燃料ビンの写真
- 70F-8P, 70F-9P カプセル用燃料ビン
- 70F-12P "
- TR "

(注釈)

金相写真は, 燃料ペレットを研磨し化学エッチ後光学顕微鏡で写した組織である。

製造時のポイドの大きさ, 分布等は観察出来る。

相対的な燃料の組織データとして, 照射前に一応必要欠くべからざるものである。

照射後金相写真と対比して観察する事に特に意味がある。

α オートラジオグラフ写真は, $UO_2 - PuO_2$ 混合燃料ペレット内に分布しているプルトニウムから発する α 線を感光板に感光させたものである。

この感光板の明暗の均一さから $UO_2 - PuO_2$ の固溶の良さを知る。

定量的数値は出てこないが, 直接測定データとして意味がある。

次に説明する X線回折グラフと併用すべきである。

X線回折グラフ $K\alpha_1, K\alpha_2$ を試料表面に当て回折線の強度を記録しあらかじめ手もとにある面間距離を使って ($UO_2 - PuO_2$ の各成分の面間距離), 固溶度の相対値を知る。

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (\text{ブラッグの条件})$$

λ 使用する X線の波長, 今は Cu の $K\alpha_1, K\alpha_2$

θ ブラッグの反射角

回折グラフからピークが, それぞれ何度か分かる。

グラフから 2θ が求まる。

これより面間距離 d が求まり, 固溶度が相対的に求まる。

プルトニウム燃料部品質管理課では, これらを数量的に取りあつかって, 固溶度を数値で出せるように計算方法を改善している。

A 70F-8P, (TC-P-1, TC-P-2) 用金相, オートラジオ, X線回折

20% PuO_2 - EvO_2

ペレット密度: 91.0% T D, ウラン濃縮度: 89.89%

金相

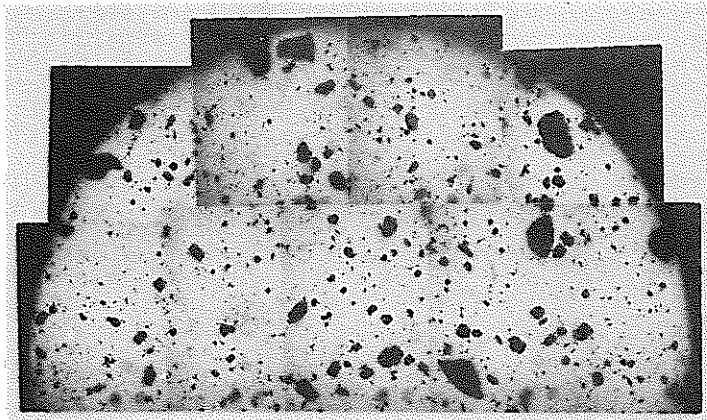


写真 1-1

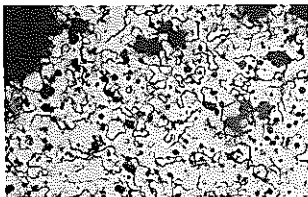


写真 1-2

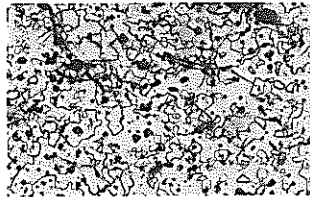


写真 1-3

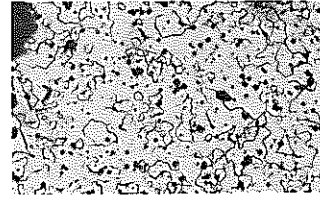


写真 1-4

40 μ

オートラジオグラフ

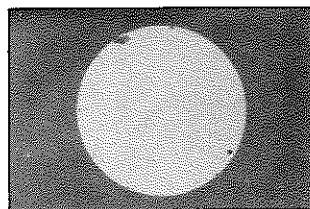


写真 2-1

2mm

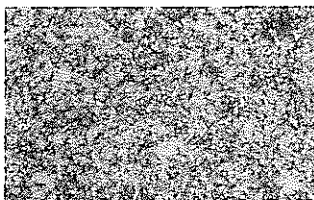


写真 2-2

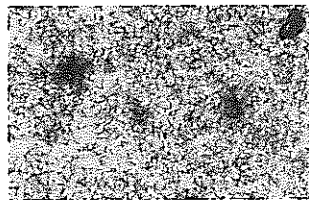


写真 2-3

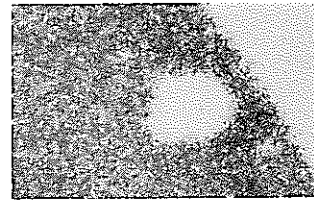
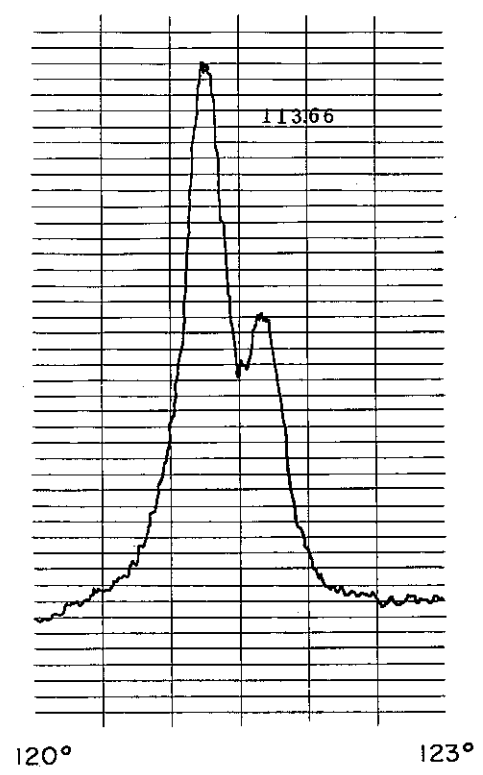


写真 2-4

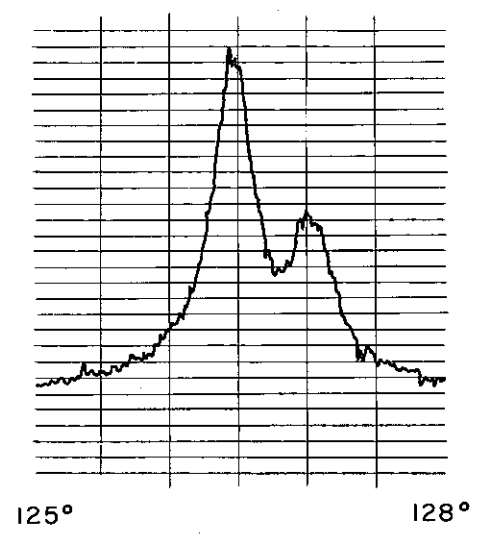
100 μ

X線回折チャート

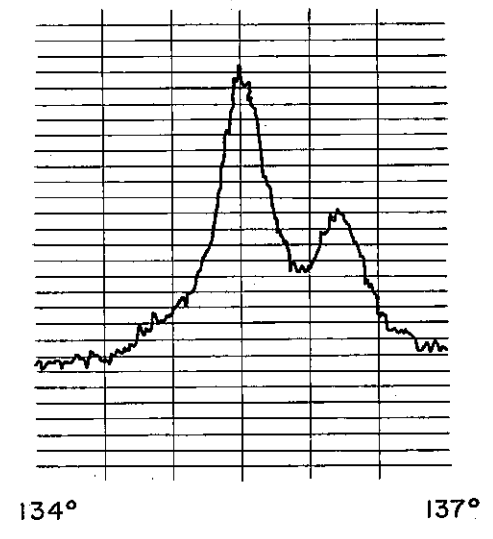
[- 1]



1-2



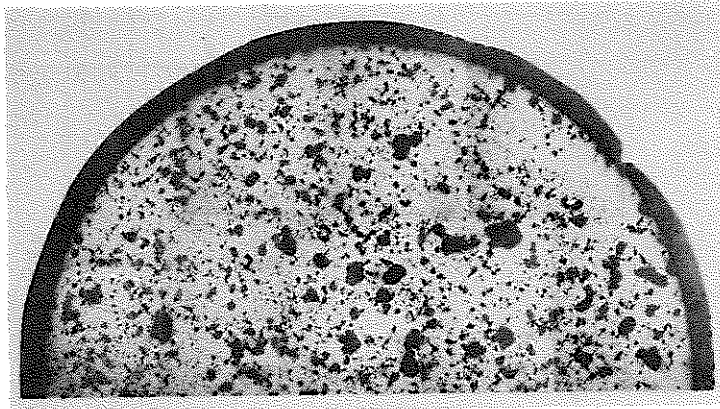
1-3



B 70F-9P, (TC-P-6, TC-P-4) およびTR用金相, オートラジオ, X線回折

20% $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$

ペレット密度: 84.0% T D, ウラン濃縮度: 89.89%



500 μ

写真 3-1 金 相

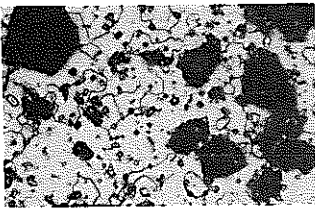


写真 3-2

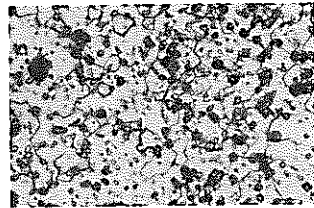


写真 3-3

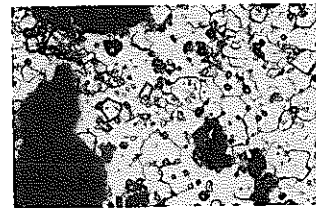
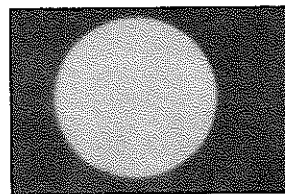


写真 3-4

40 μ



2 mm

写真 4-1 オートラジオグラフ

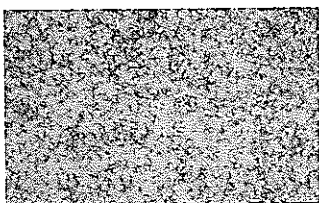


写真 4-2

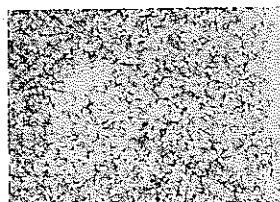


写真 4-3

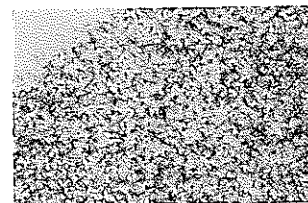
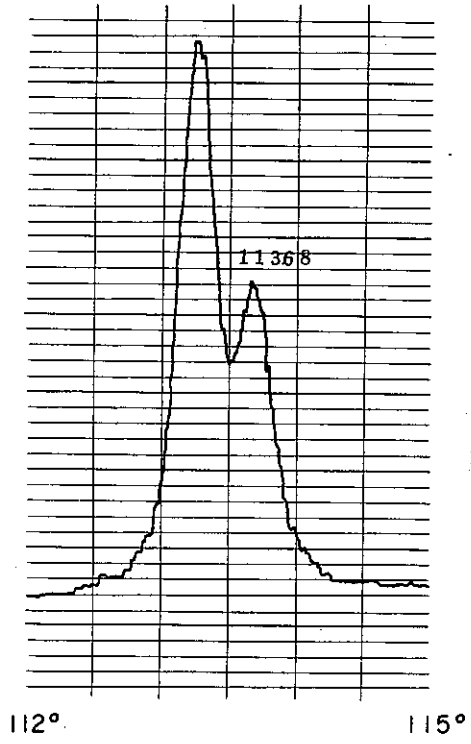


写真 4-4

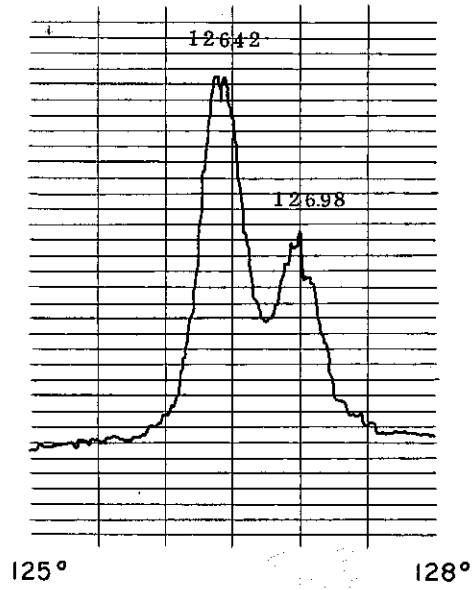
100 μ

X線回折

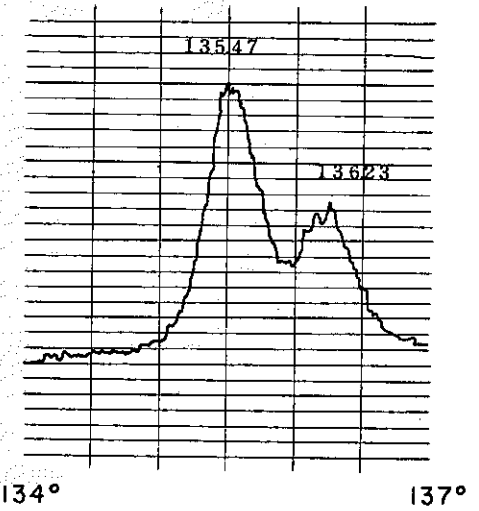
2-1



2-2



2-3



C 70F-12P (CM-P-1, CM-P-2, CM-P-3, CM-P-4) 用金相・X線データ
JMTR X線回折結果

1. 測定試験

- 1) Lot 0万 MWD/T
- 2) " 5万 MWD/T
- 3) " 8万 MWD/T
- 4) " 12万 MWD/T

2. 回折結果

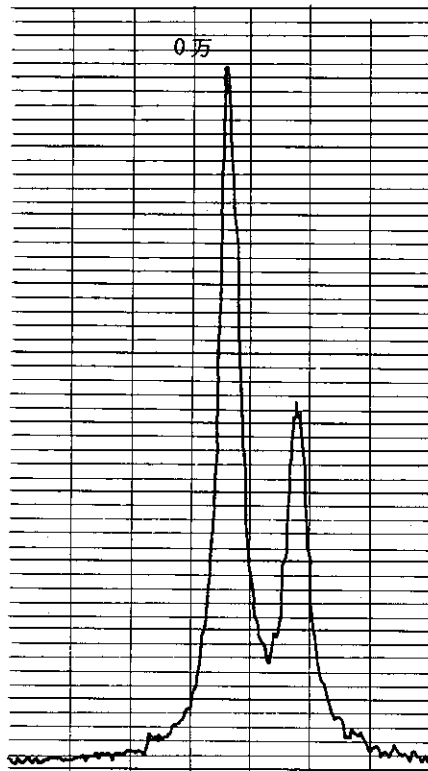
図-1, 2に示す様に, 0万, 5万, 8万, 12万ともに (U, Pu)O₂ の一相だけのシャープな K α ₁, K α ₂による分離も良い回折線が得られている。Lot 12万 に於いてややブロードなピークにはなっている。

固溶に関しては全試料とも100%固溶である。格子定数は, Peakの位置からみて Lot 0万が他の3試料に比べやや小さくなっている程度で他は大体一致した値になっている程度で他は大体一致した値になっているものと思われる。なお, 計算値は後で報告致します。

FP's に関しては微量なため, 回折線は得られていない。

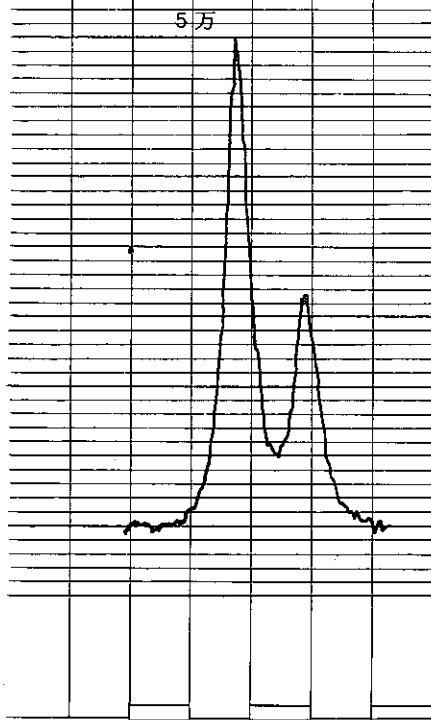
以 上

X線回折 3



J·M·T·R
Lot 0 MWD/T

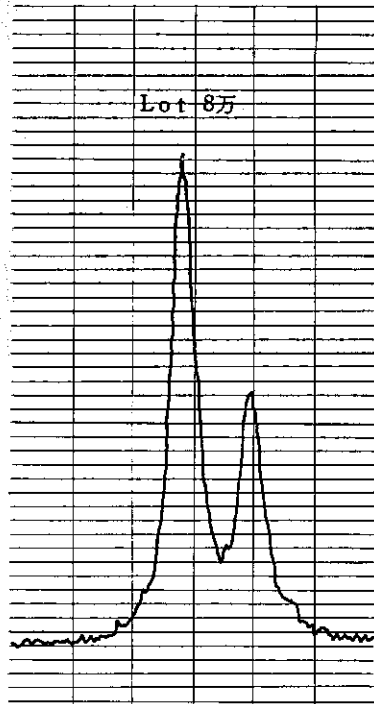
X線回折 4



J·M·T·R
Lot 5 MWD/T

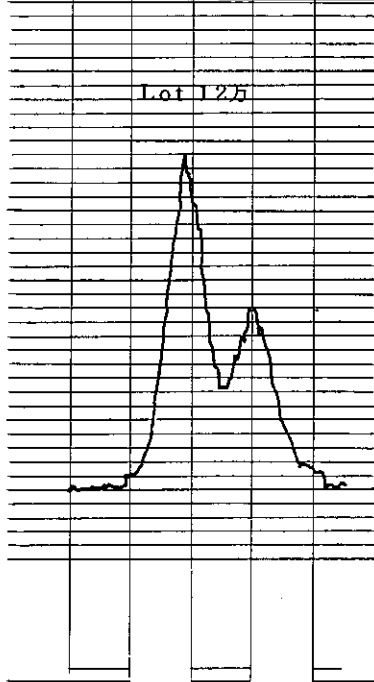
125.5°

X線回折 5



JMTR
Lot 8万 MWD/T

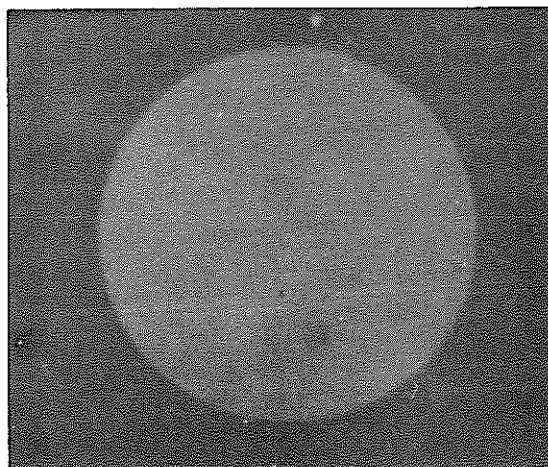
X線回折 6



JMTR
Lot 12万MWD/T

125.5°

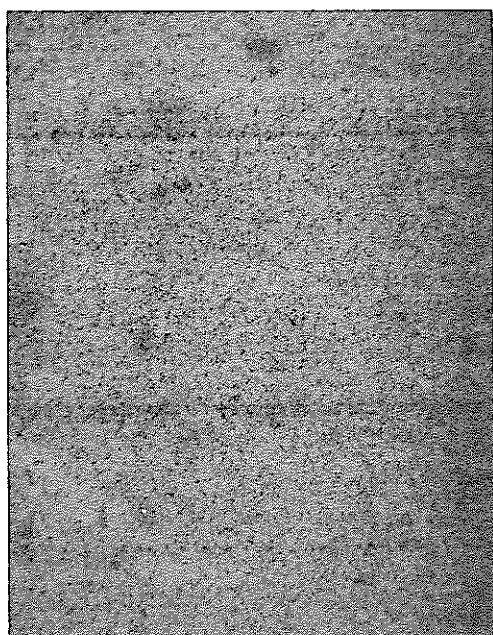
J M T R 0万MWD/T 70F-12Pキャプセル CM-P-1ピン
オートラジオグラフ



AP 0530
Exp. 20 sec

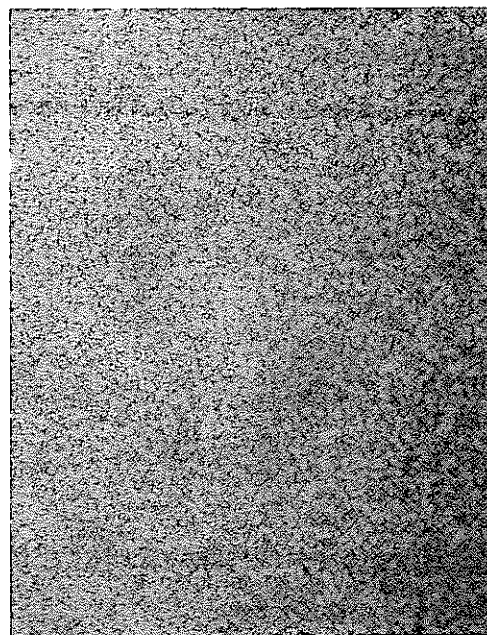
1 mm

写真 5-1



500μ

写真 5-2

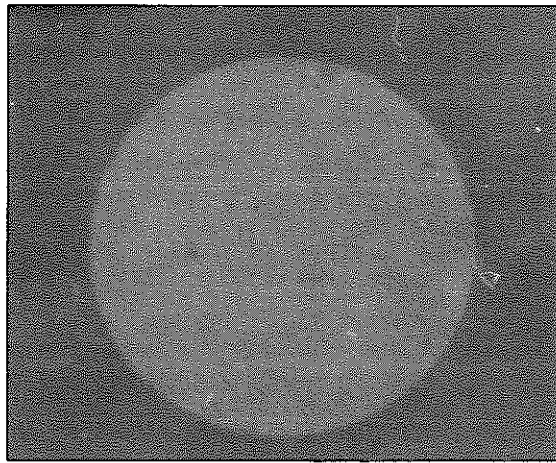


500μ

写真 5-3

JMTR 5万MWD/T 70E-12Pキャプセル CM-P-2ピン

オートラジオグラフ



AP 0531
Exp. 20 sec

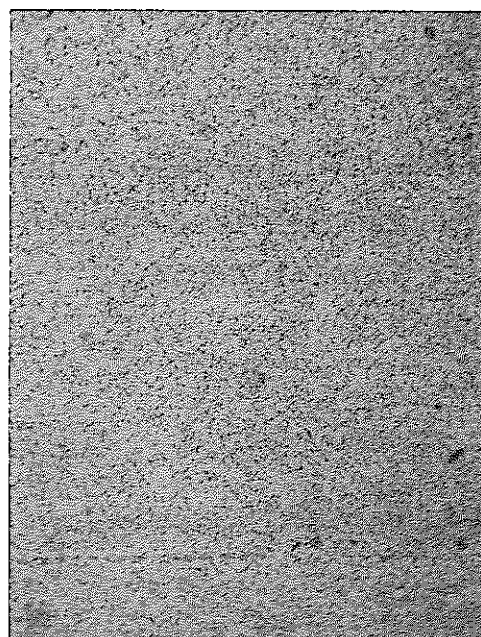
1 mm

写真 6-1



500 μ

写真 6-2

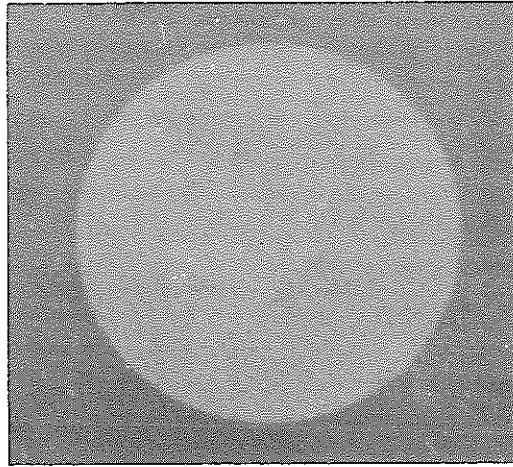


500 μ

写真 6-3

J M T R 8万MWD/T 70F-12Pキャプセル CM-P-3ピン

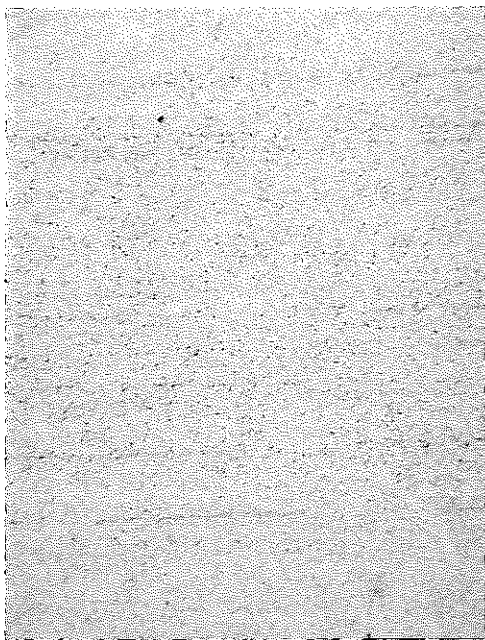
オートラジオグラフ



AP 0532
Exp. 20 sec

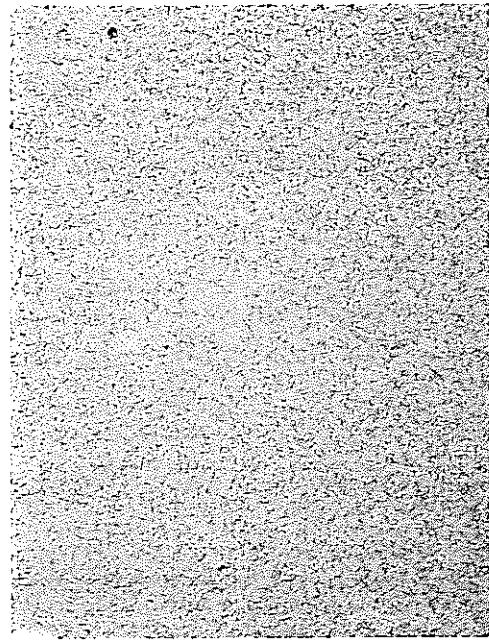
1 mm

写真 7-1



500μ

写真 7-2

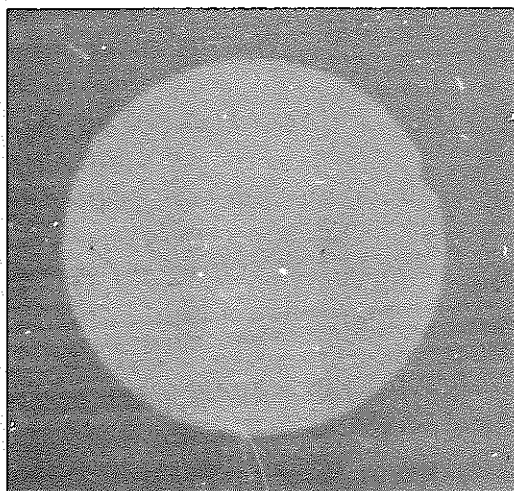


500μ

写真 7-3

J M T R 12万MWD/T 70 F-12 P キャプセル CM-P-4 ピン

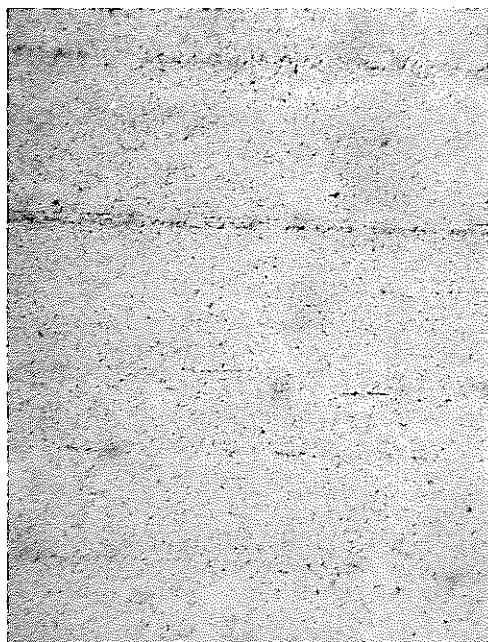
オートラジオグラフ



AP 0533
Exp. 20 sec

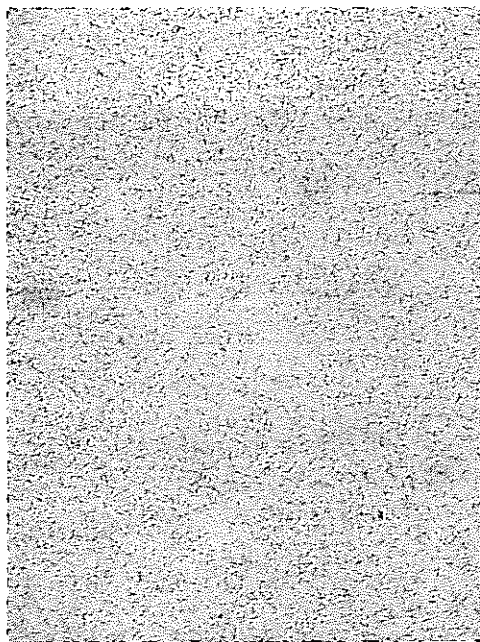
1 mm

写真 8-1



500 μ

写真 8-2



500 μ

写真 8-3

J M T R 0 万 M W D / T 7 0 F - 1 2 P (C M - P - 1)

金 相

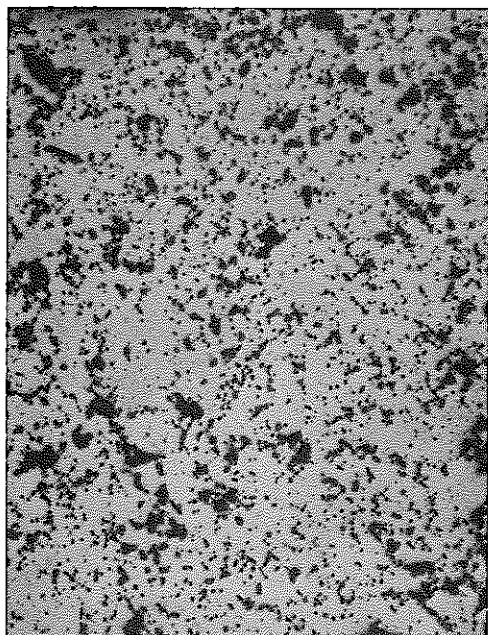


写真 9-1

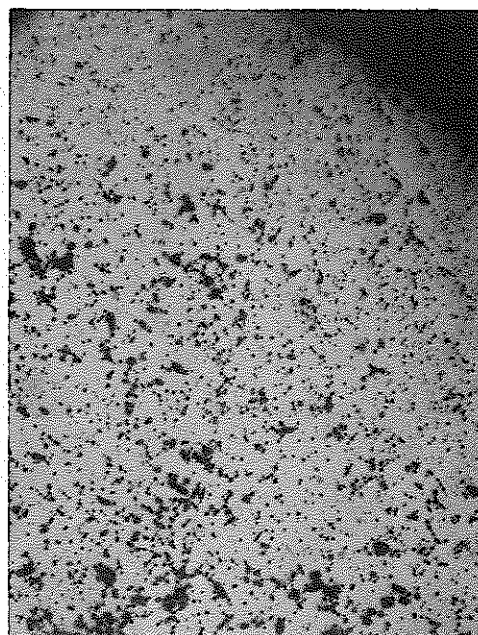


写真 9-2

100 μ

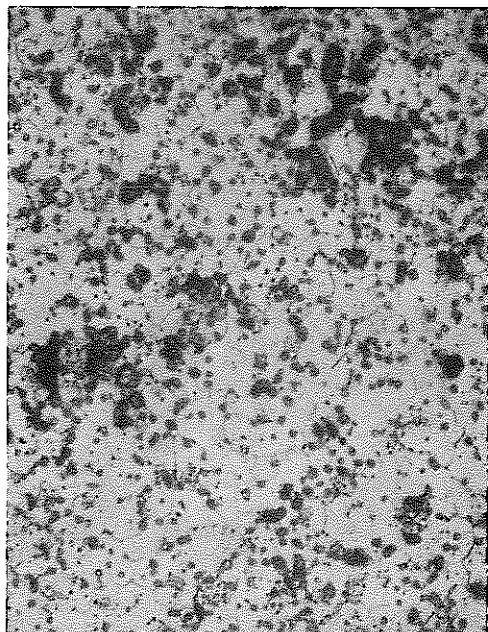


写真 9-3

50 μ

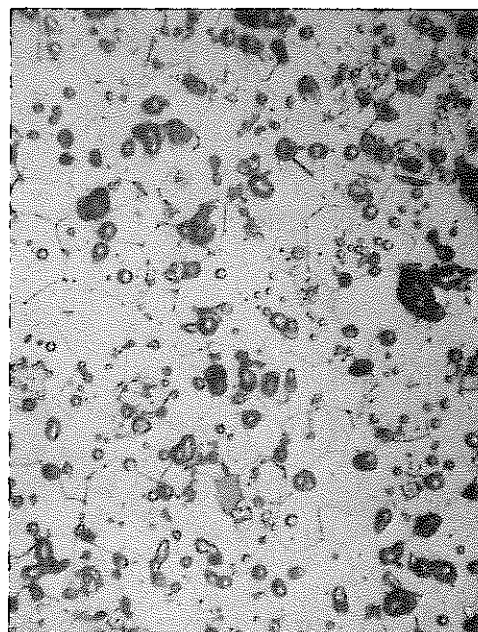


写真 9-4

25 μ

J MTR 5万MWD/T 70F-12P (CM-P-2)

金相

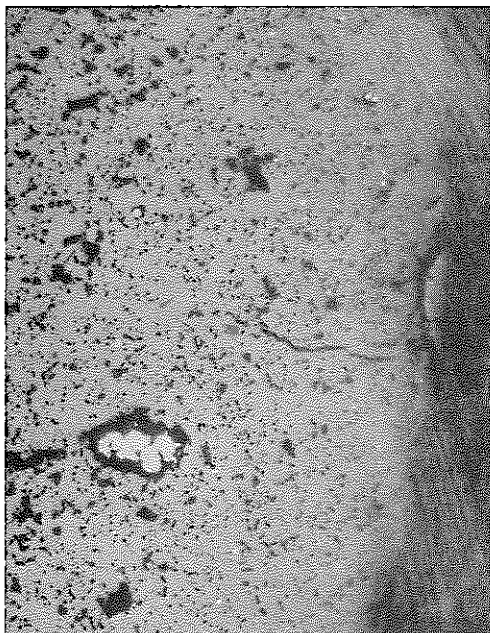


写真 10-1

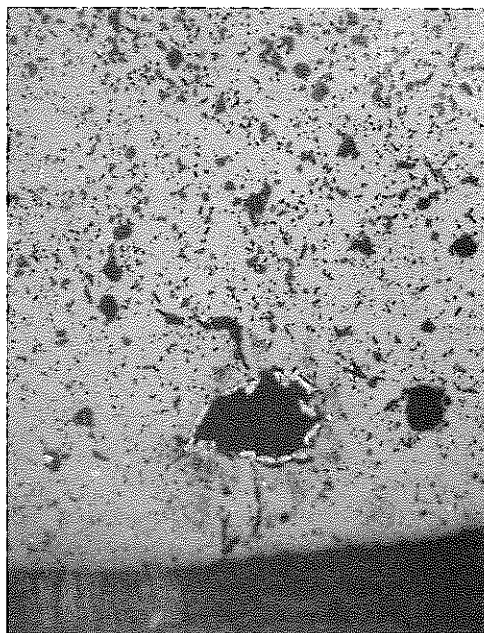


写真 10-2

100μ

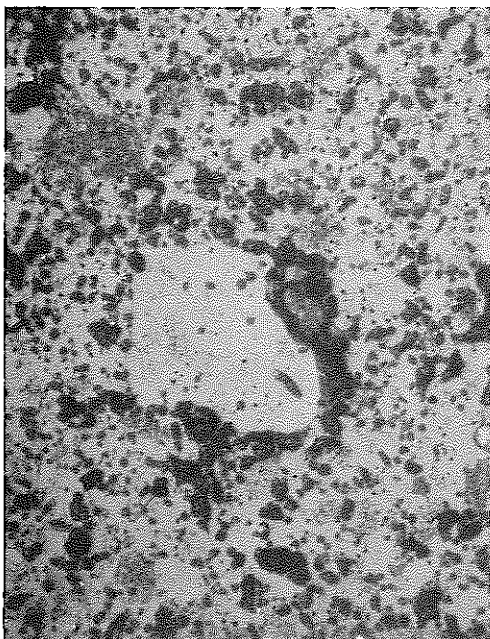


写真 10-3

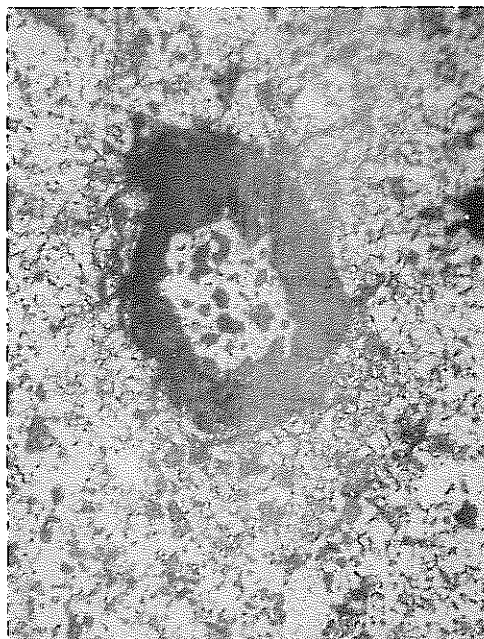


写真 10-4

50μ

J M T R 8 万 M W D / T 7 0 F - 1 2 P (C M - P - 3)

金 相

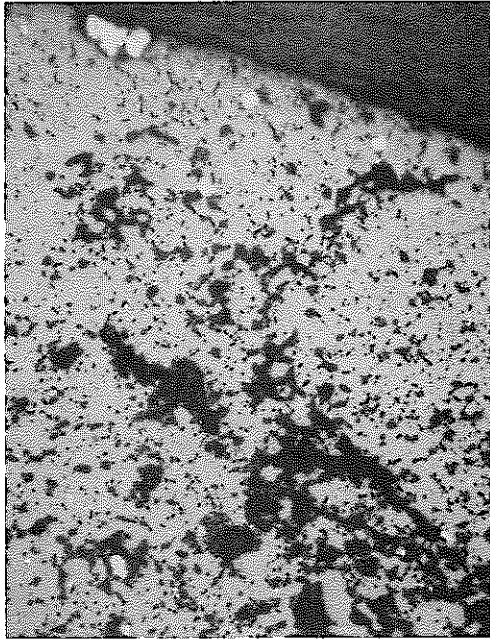


写真 11-1

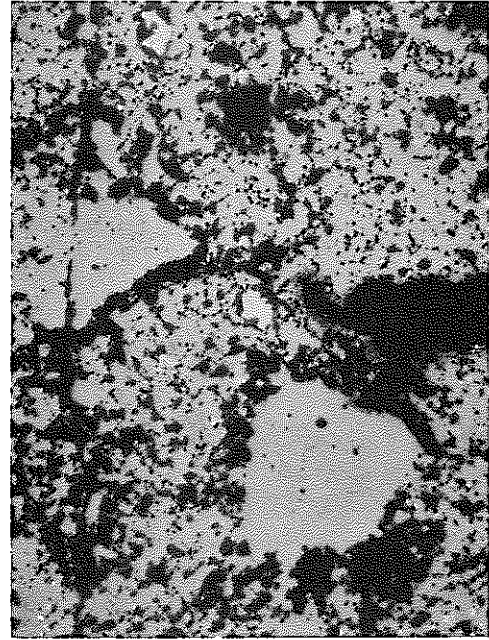


写真 11-2

100 μ

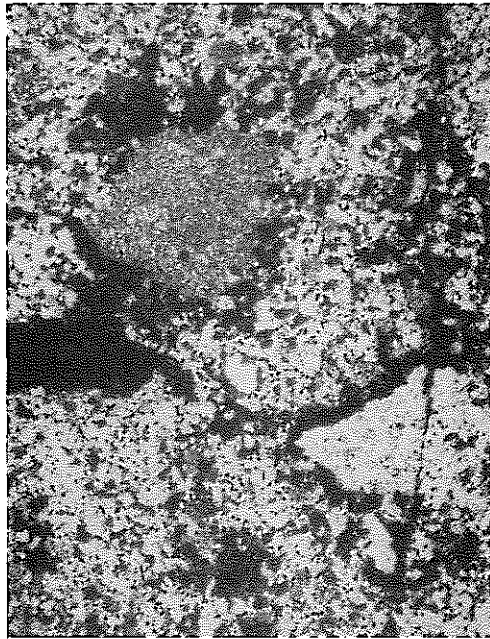


写真 11-3

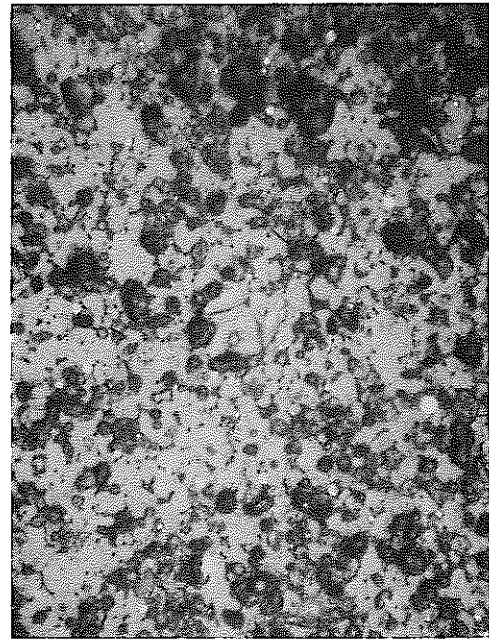


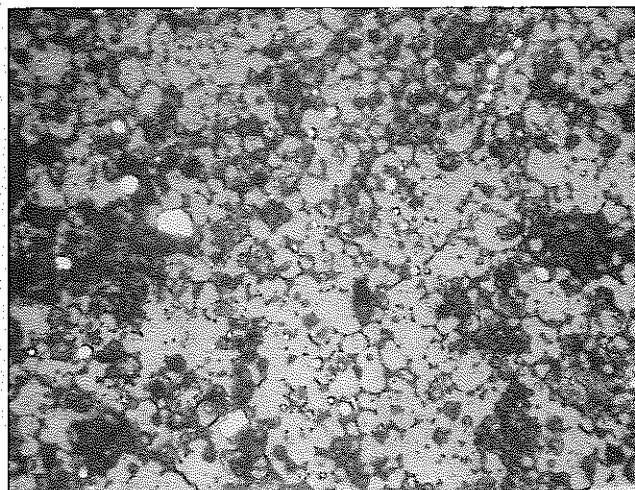
写真 11-4

100 μ

25 μ

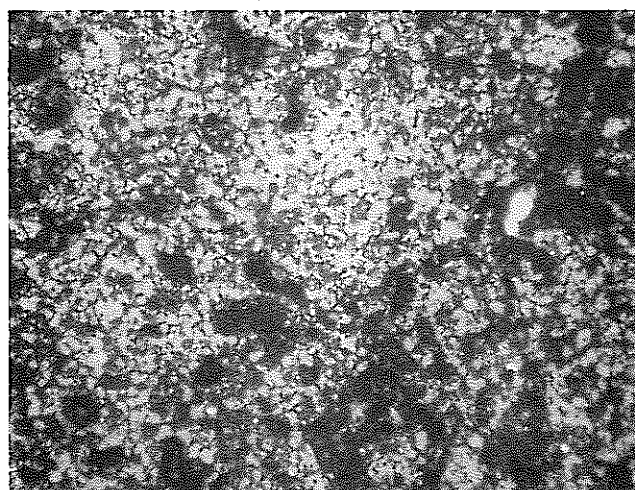
JMTR 8万MWD/T 70F-12P (CM-P-3)

金 相



50 μ

写真 12-1



100 μ

写真 12-2

JMTR Lot 12万MWD/T. 70F-12P (CM-P-4)

金 相

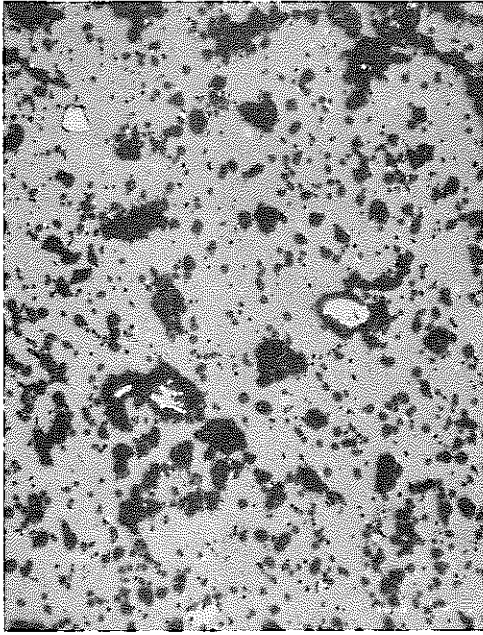


写真 13-1

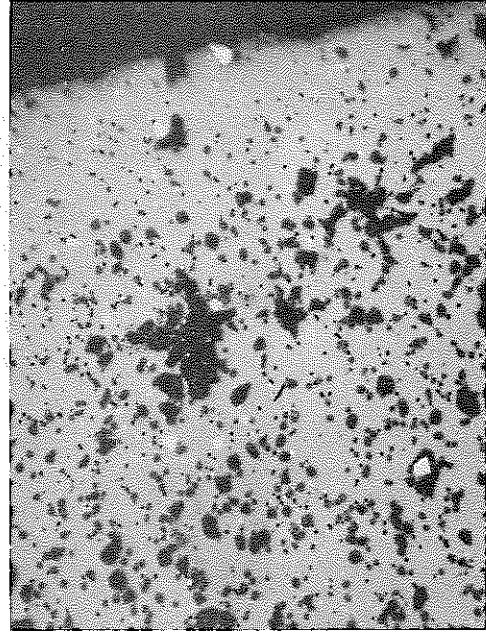


写真 13-2

100μ

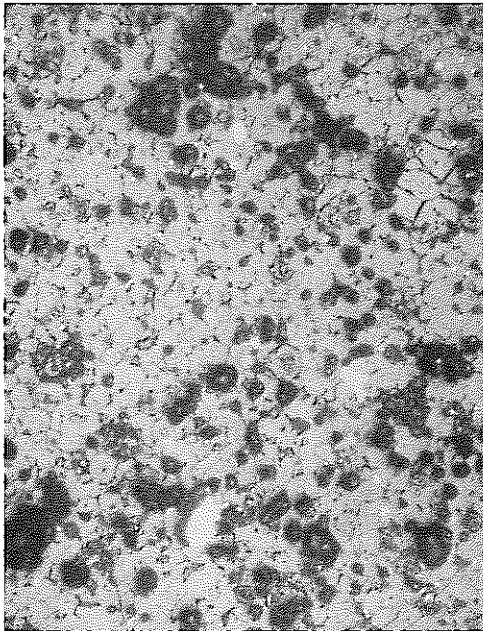


写真 13-3

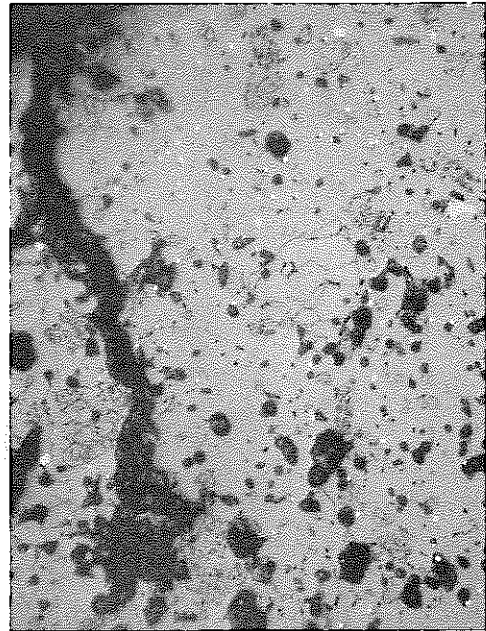


写真 13-4

1. 70F-8P. 70F-9P キャブセル用燃料ピン

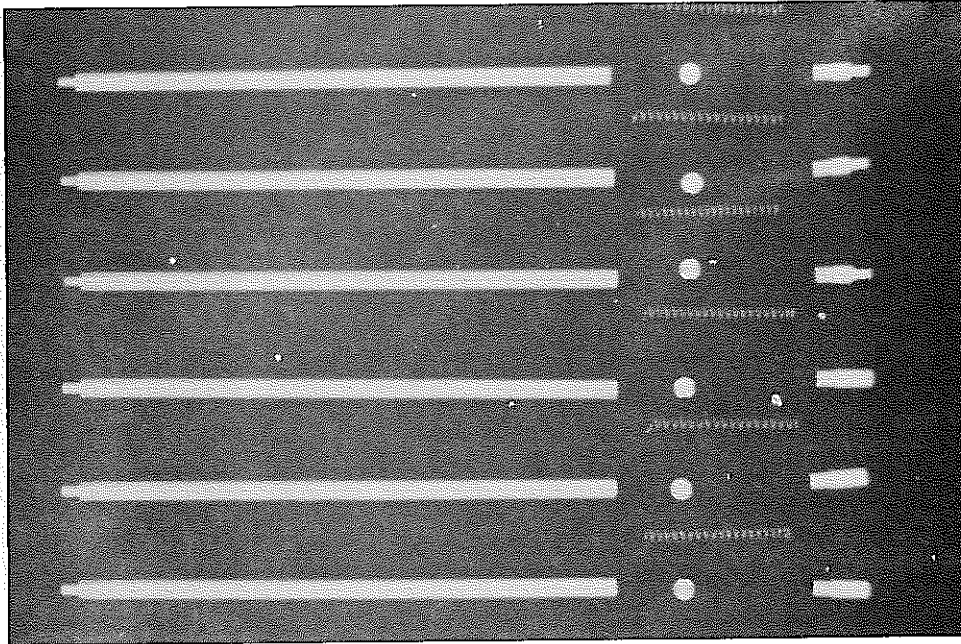


写真 14

部品写真 J M T R - T C



写真 15

2. 70 F-12 P キャプセル用燃料ピン

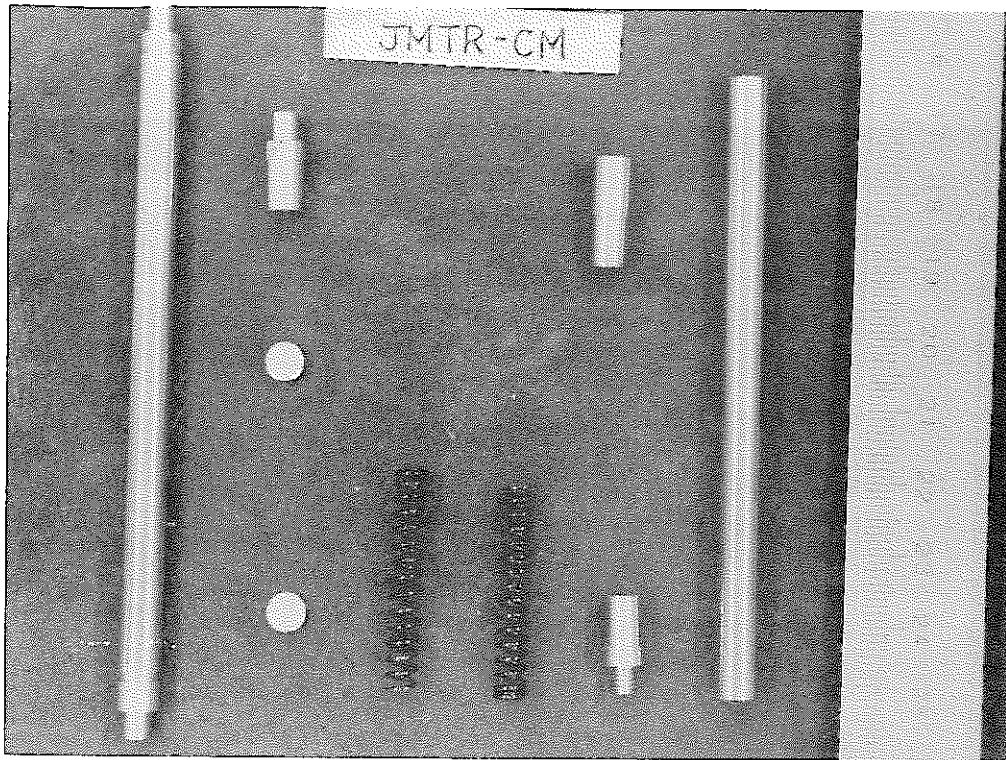


写真 16 部品写真

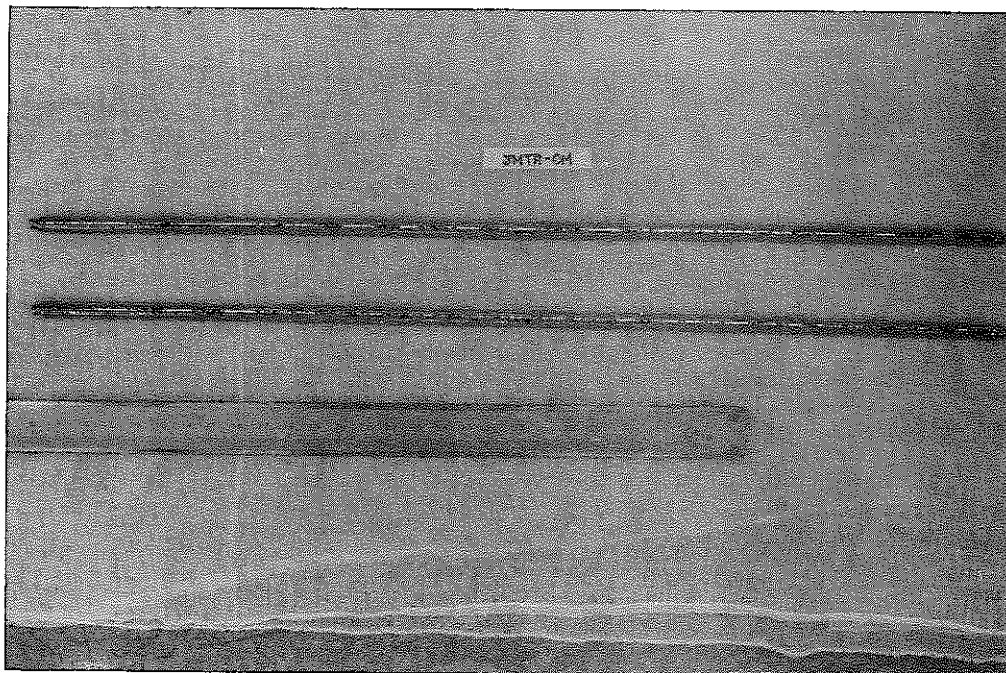


写真 17

3. TRキャプセル用燃料ピン

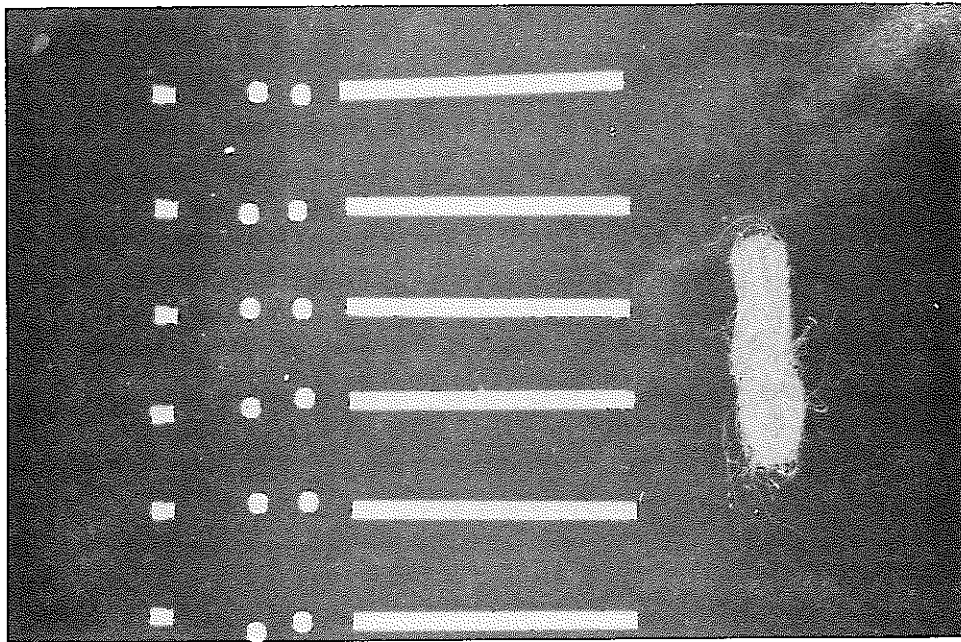


写真 18 部品写真

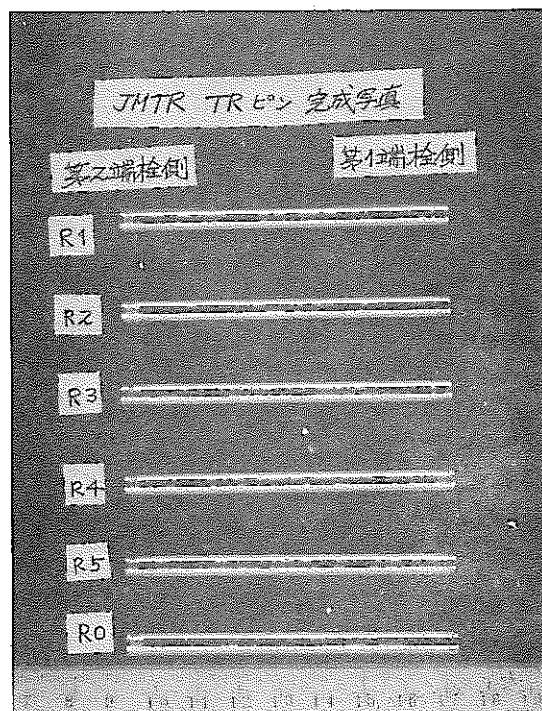


写真 19

(4) ま と め

燃料ビン製作にあたって2～3の問題点をまとめた。

燃料ビン製造は、カプセル製作の中でも最も仕事量も多く、多くの製造過程が有機的に結びついて良い結果の出るものである。

Fig-18に燃料ビン製造工程図を乗せてあるが、この数多いボックスの中がそれぞれかなりの仕事量を持っており、核燃料を照射燃料ビンに加工する技術者はまずこの全体的流れを頭に入れる必要がある。

又このボックス内の所定の業務の1つでも不満足であるならば、燃料としては不合格である。(この製造工程のボックスが鎖の1つの輪となっている。)

又燃料の製造加工に従事する技術者は、この製造ボックスの各々の内容とその要求される精度、条件の背景となっている理論、計算、実験的裏付けに絶えず注意しておくことが大切である。又その内容を理解し、納得出来ていることが望ましい。この立場にたって今回の製造加工作業において気がついた点を記す。

1) 重量・寸法・密度測定

密度の測定は、寸法・重量法で行なった。寸法測定はマイクロメーター・重量測定は、メトラータ秤を使用。マイクロメーターは、読みちがいを起しやすいので十分に注意すること。測定記録用紙は前もって記録違いのないように注意すること。

2) 分析試験・金相試験及び照射試料の区分

伝票移動、試料移動が頻繁になるので、伝票記入法や試料移動時の確認などに、十分な注意を要する。

3) 燃料ピン部材の入手及び加工

部材のミルシートや納入元のはっきりしたものを使用すること。加工は、工務課工作室に依頼する。

4) 燃料ピンへの燃料装荷

カプセル照射実験に用いる燃料ピンは、長さが短いものが多い。各1本々々のピンが条件のちがったものを作るので、非常に混乱しやすいので十分な検討をし、慎重に行なうこと。

今回の場合同ピンの中で条件のちがったものや、スプリングの部分にステンレスウールを使用したピンも有り、非常に混乱の起きやすい試料が多かった。ステンレスウールを用いた場合は非常に困難な作業の一つであろう。押込んでも必ず1本～2本は、飛出てくる。1本～2本飛出した場合、押え金がピン内に入っていないか、長い作業時間となる。ステンレスウールなどを用いる場合などは、このような経験を参考にできれば幸いである。

5) 製造条件と UO_2-PuO_2 固溶度、不純物等

製造サイドから判断すれば UO_2-PuO_2 の固溶度はあくまでも完全に、Moisture、不純物は少ないペレット、燃料を作る製造条件を確立し改善すべきである。

しかしいたずらに無意味な目標に力を注ぐことは、経済的立場から許されない。

- i) 固溶度については具体的に段階的な PuO_2 スポットをもつペレットでの照射試験も必要である。又各種ガス、不純物の照射中の挙動についても何らかの方法で実験的に研究することが必要である。

これらの結果を製造スペックにフィード・バックするという態度と実行が大切である。

- ii) ペレットの型状についても角の欠け、ポイド、寸法、密度バラッキ等について各種のデータ、(特に実験データ)に基づいたスペックを確立す

ることが望ましい。

例えば、炉心の中心部と外周領域の核的な条件は100倍近くの差がある。燃焼度に関してもそうである。これだけ条件の差があるにもかかわらず、製造サイドで全て同一条件を固持する理由は何もない。

各種の実験的裏付けに基づいたスペック決定が特に望まれる。

6) ビン加工の問題

この項目に関しても、1)の内容と同じ傾向にある。

- i) 端栓形状、溶接条件等は数量的把握が、困難なことが多いこともあり各技術者が経験に基づいて決定している。この経験に基づいた条件の実験的意味づけをして、より普遍的条件をとらえておく必要がある。
- ii) 溶接部のポイド検査について

第1にX線フィルム検査からポイド径を判定する方法が、検査方法として確立していない。検査担当者の経験にたよる所があり、個人差がある。従ってこの問題についてもやはり金相実験、その他レプリカか何かポイドを具体的に測定してX線フィルムと対応させて確認する必要がある。

第2にポイドが内在することで、どのような欠陥が出てくるのか。欠陥の大きさ、数についてのスペックは何の理論的、実験的裏付けもなく、ただX線によるフィルムの感光の精度限界から決定したスペックを全てうけ入れている。

欠陥の大きさと溶接条件の関係の把握も大切であるが、欠陥の数、大きさと強度の関係について理論、実験的データの裏付けが望ましい。

これらの問題も原子炉の中でどの条件で使用するか、大きく影響する。これらについて実験的裏付けがあれば製造歩留り、経済性の改良が進められる。

内圧バースト試験による欠陥を持った溶接部の試験からも必ずしも欠陥があることで強度は落ちていないという結果もある。

5. あとがき

今回の JMTR-TC, CM, TR シリーズ照射燃料ビン製造については、開発課が主体となり行なった。第2開発室発足とともに、経験者の少なくなった組織の中で T. C. A 燃料製造というきついスケジュールの中に納期のきまった本照射試料の製作を入れたため作業が非常にきつく製作上多少の混乱を生じた。今回の経験を通じ今後の参考としたい点をあげるとつぎのようである。

(I) 実験目的と照射条件 (照射孔)

核熱計算, PNC Thermos を高速中性子まで含めて扱えるコードに改良する。

CAP TEP MARK II にヒーティング, ギャブコンダクタンス変化をより正確に組み込む。

照射孔選択, 従事者は各炉のフラックス分布と照射孔の中性子束その他実験目的を満たすことが出来るか否か判断して照射孔を選択しなければならない。

(II) ペレット製造と各種寸法分析データ

燃料製造 (ペレット) サイドから製造条件と物性値との対応, 分析データとの対応を正確につけておく必要がある。

蒸発性ガスについて, 加熱温度, その他の不純物で分析法による実験データのバラツキが出るが, これらについてのプルトニウム燃料部の統一の扱い方の確立が急がれるべきである。

又分析値については実験データと統計的意味付けを背景とする態度が必要である。加えて実験データと理論計算から各種ガス, 不純物のスペック背景を正確に把握しておくべきである。

以上の態度はペレット寸法形状欠陥についても, 同様であり実験的及び理論的背景を理解した上で製造すべきである。

(III) ビン加工について

X線フィルム判定の欠陥検査の信頼性を高めなければならない。

それにはブローホールの標準欠陥と金属組織写真, X線フィルム写真の実証データをそろえることである。これが不可能ならば別の方法を探すべきである。

又, 欠陥を内在する溶接部の炉外強度, 炉内強度の実験データを取り解析することである。

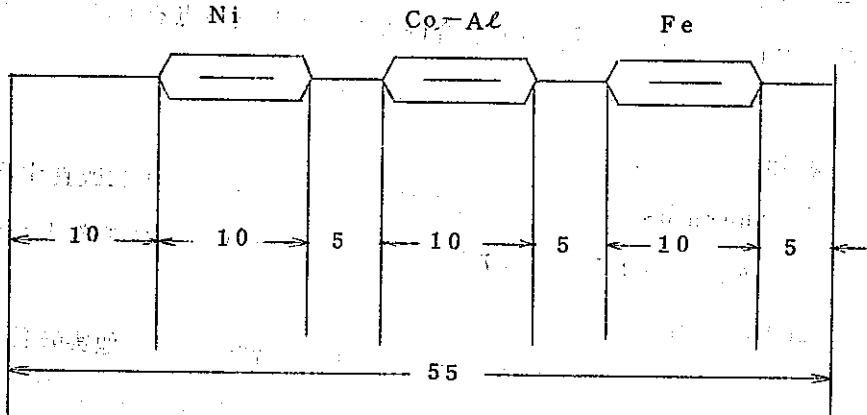
(IV) 燃料ビン製造工程

Fig. 18 の流れがより, 速やかに, 合理的にゆくように工程, 人員の条件をととのえることが必要である。

最後に, Fig. 19 の燃料ビン製造工程図は, その各々のボックスが技術と知識の集約結晶したものであり, その従事者は全体的流れ, 各責任分担を完全に果す様努力すべきである。

附録 I 70F-8P, 9P, 70F-12Pに使用したフラックスモニター

印示



FM No.	Ni		Co-Al		Fe	
	%	重量 m ϕ	%	重量 m ϕ	%	重量 m ϕ
70	7	1,222	7	2,604	7	1,041
71	8	1,217	8	2,610	8	1,099
72	9	1,242	9	2,609	9	1,126
73	10	1,249	10	2,595	10	1,038
74	11	1,242	11	2,625	11	1,068
75	12	1,209	12	2,600	12	1,092
76	13	1,238	13	2,600	13	1,091
77	14	1,206	14	2,602	14	1,064
78	15	1,208	15	2,547	15	0,976
79	16	1,226	16	2,575	16	1,091
80	17	1,210	17	2,554	17	1,054
81	18	1,225	18	2,594	18	1,060
82	19	1,200	19	2,605	19	1,088
83	20	1,131	20	2,599	20	0,975
84	21	1,204	21	2,620	21	1,021

Co-Al ϕ 0.5mm (0.020") 0.17% Co

Fe 0.2 (0.008")

Ni 0.2 (0.008")

附 録 III

JMTR TC, CM, TRに使用した核燃料の同位体元素比

TRに関しては(R-0)ピンを除いてTCシリーズ(70F-9P)と同じである。

※カプセル 同位体元素 (ピン名)	70F-8P (C-1, C-2)	70F-9P (C-4, C-6)	70F-12P (M-1~M-4)
Pu 238			0.038%
Pu 239	90.498%	91.30%	90.142%
Pu 240	8.513%	7.884%	8.533%
Pu 241	0.942%	0.780%	1.189%
Pu 242	0.047%	0.035%	0.098%
U ₂₃₅ 濃縮度	89.89%	89.89%	60.00%

R-0 ピン内の燃料は原研支給ペレットで、19.95%EUO₂を使用している。

インシュレーターとして使用したNUO₂の不純物分析値を以下に示す。

元素名	仕様	(単位 ppm)			
Al	200	14 ~ 14	U 分	88.08%	
B	10	0.2 ~ 0.2		88.09%	
C	150	16 ~ 18		O/U	2.007
Ca	25	10 ~ 10			2.008
Cd	20	0.3 ~ 0.3		蒸発性不純物 (μL/g)	2
Cl	25	10 ~ 10			7
Cr	200	8 ~ 8			
F	25	10 ~ 10			
Fe	200	70 ~ 70			
H	5	5 ~ 5			
Mg	25	6 ~ 6			
N	150	21 ~ 25			
Na	200	5 ~ 5			
Ni	200	10 ~ 10			
V	200	3 ~ 3			
Cu Zn Si Ti	600	83.4 ~ 83.4			
Ag Mn Sn Mo Pb	200	9.1 ~ 9.1			

附 録 IV

核燃料物質確定重量

J M T R用燃料ピン重量内訳表

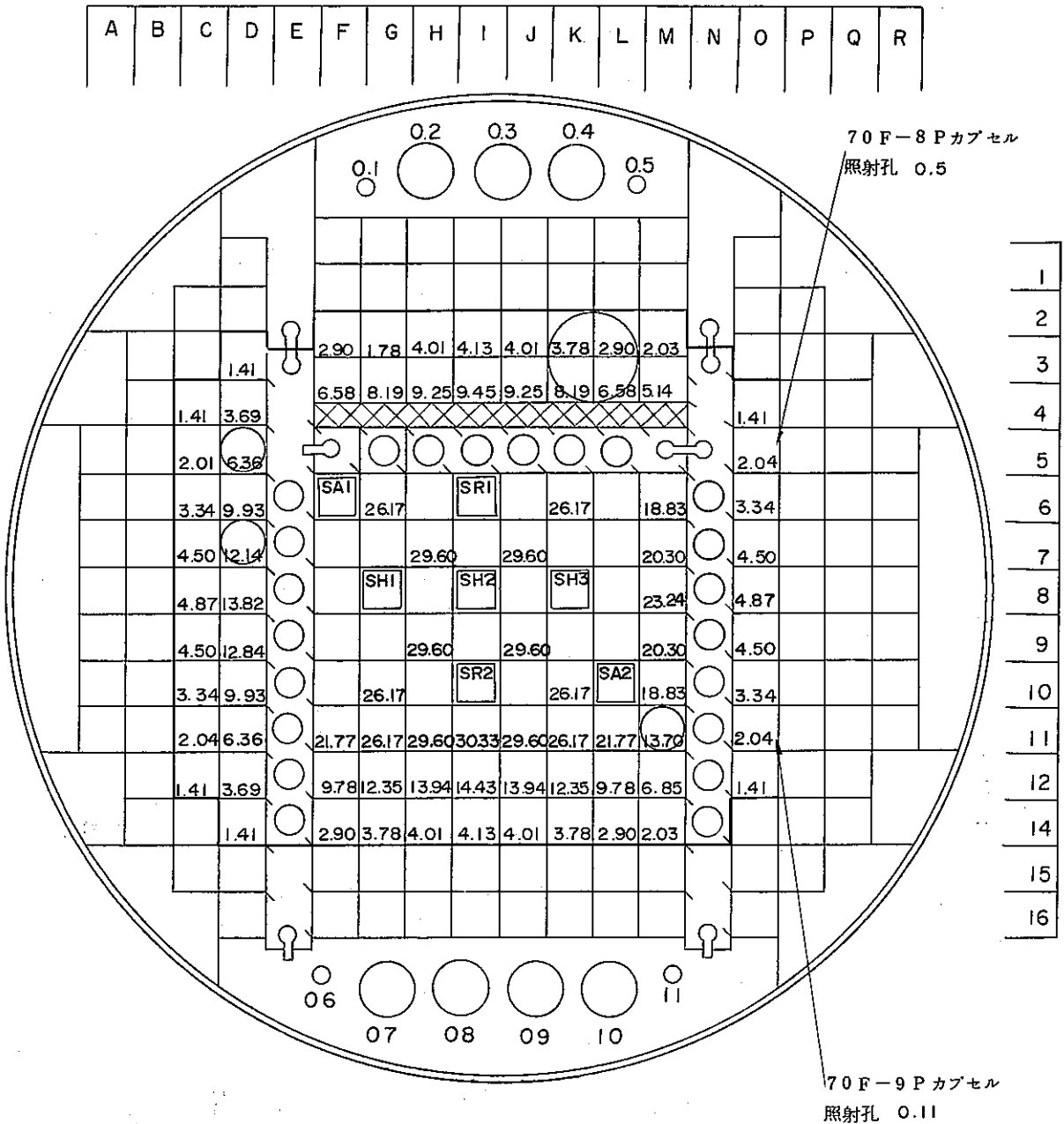
47. 1. 13

SN 841-72-27

F U E L											I N S U L A T O R	
カプセル 名 称	ピン番号	PuO ₂ - UO ₂	系 数 混合率×含有率×不純物	g, Pu	同位元素 (239+241)	% Pu fissil	系 数 混合率×含有率×不純物	g, U	濃縮度 %	g, U ²³⁵	天然ウラン UO ₂ g _u	
70F-8P	C-1	1848	20%×88.2%	326	91.44	2.98	80%×88.1%	1302	89.89%	1171	492	4.33
	C-2	1815	" × "	320	"	2.93	" × "	1279	"	1150	492	4.33
計		3663		646		5.91		2581		2321	984	8.66
70F-9P	C-6	1673	20%×88.2%	295	92.081	2.72	80%×88.1%	1179	89.89%	1060	492	4.33
	C-4	1794	" × "	3.16	"	2.91	" × "	12.64	"	1137	4.92	4.33
計		34.67		6.11		5.63		24.43		21.97	9.84	8.66
70F-12P	M-1	10.13	18%×88.2%	1.61	91.331	1.47	82%×88.1%	7.32	60.00%	4.39	2.61	2.30
	M-2	9.29	" × " ×9588	1.41	"	1.29	" × ×9588%	6.43	"	3.86	2.38	2.10
	M-3	8.82	" × " ×9358	1.31	"	1.20	" × ×9358"	5.96	"	3.58	2.38	2.10
	M-4	8.70	" × " ×9128	1.26	"	1.15	" × ×9128"	5.74	"	3.44	2.30	2.03
計		36.94		5.59		5.11		25.45		15.27	9.67	8.53
合 計		108.24		181.6		16.65		75.69		60.45	29.35	25.85

F U E L											I N S U L A T O R	
カプセル 名 称	ピン番号	PuO ₂ - UO ₂	系 数 混合率×品位	g, Pu	fissile(%) (239+241)	fissile g, Pu	系 数 混合率×品位	g, U	濃縮度 (%)	g, U ²³⁵	天然ウラン UO ₂ g _u	
TR-P-1	R-1	7.73	K 0.2×0.882	1.36	92.081	1.26	K 0.8×0.881	5.45	89.89	4.90	2.46	2.17
TR-P-2	R-2	7.86	"	1.39	"	1.28	"	5.54	"	4.98	2.46	2.17
TR-P-3	R-3	7.91	"	1.40	"	1.28	"	5.57	"	5.01	2.46	2.17
TR-P-4	R-4	7.87	"	1.39	"	1.28	"	5.55	"	4.99	2.46	2.17
TR-P-5	R-5	7.92	"	1.40	"	1.29	"	5.58	"	5.02	2.46	2.17
計		39.29		6.94		6.39	"	27.69		24.90	12.30	10.85
TR-P-6	R-6	-	-	-	-	-	UO ₂ 93.4	82.3	9.95	1.64	1.98	1.74

附録 V



炉心: JMTR Fa炉心

熱心力: 50 MW

熱中性子束: 単位 $\times 10^{13}$ nv

附録 VI

J M T R 照射燃料試験検査要領書

(70F-8P, 9P, 12P, 水カラビット)

昭和46年9月25日動燃東海事業所技術部検査課

I 概 要

本試験要領書は、日本原子力研究所材料試験所(JMTR)の試用期間照射の70F-8P, 9P, 12P, 水カラビットの燃料試料に関するものである。

II 燃料試料の試験と検査

仕様書によって製作された燃料試料について下記の要領に基づいた試験および検査を行なう。

1. 核燃料物質(ペレット)試験検査

(1) 寸法検査[※] (ただし[※]印の項目については、断熱用UO₂ペレットも含む。ただし判定規準からは除く。)

(1)-1 方 法

ペレット長さ; マイクロメータで1方向を測定する。ただし測定精度は1/100mmとする。

ペレット直径; マイクロメータで1方向を測定する。ただし測定精度は1/100mmとする。

スタック長さ; V型のトイ上にペレットを並べてノギスで測定する。ただし測定精度は1/10mmとする。

(1)-2 判定基準

仕様書あるいは図面記載通りの寸法であること。

(1)-3 類 度

全 数

(1)-4 報 告

測定値を記載する。

(2) 密度測定[※]

(2)-1 方 法

各ペレットについて寸法重量法により測定する。

(2)-2 判定基準

仕様書に記載通りであること。

(2)-3 頻 度

全 数

(2)-4 報 告

測定値を記載する。

(3) 燃料組成

(3)-1 方 法

直接電位差滴定法による Pu の定量分析を行なう。

(3)-2 判定基準

仕様書記載通りであること。

(3)-3 頻 度

ロット毎に行なり。

(3)-4 報 告

PuO₂ の分析値を記載する。

(4) O/M 比測定

(4)-1 方 法

酸化還元重量法によって行なり。

(4)-2 判定基準

仕様書記載通りであること。

(4)-3 頻 度

ロット毎に行なり。

(4)-4 報 告

O/M 比の測定値を記載する。

(5) 外観検査※

(5)-1 方 法

各ペレットについて目視によって外表面の検査を行なり。

(5)-2 判定基準

仕様書記載通りであること。

又、ペレットの角に けがないこと。

(5)-3 頻 度

全 数

(5)-4 報 告

検査したものが合格していることを証する。

(6) 蒸発性不純物※

(6)-1 方 法

高温真空抽出法および電解電量測定水分分析法によって行なり。

(6)-2 判定基準

仕様書記載通りであること。

(6)-3 頻 度

ロット毎に行なり。

(6)-4 報 告

分析値を記載する。

(7) 重量測定※

(7)-1 方 法

ペレット重量；直示天秤で測定する。ただし測定精度は0.1mgとする。

スタック重量；天秤で測定する。ただし測定精度は0.05gとする。

(7)-2 頻 度

全 数

(7)-3 報 告

測定値を報告する。

(8) 不純物測定（参考）

不純物については、動燃東海事業所プルトニウム燃料部において行なっている方法で測定し、その分析方法と測定値を参考として報告する。

2. 被覆管の試験検査

(1) 外観検査

(1)-1 方 法

外表面の欠陥については目視による。また表面アラサは「JIS B 0659 表面アラサ標準片」と比較して目視によって行なり。

(1)-2 判定基準

1) 外表面の欠陥については有害な欠陥（肉厚の10%以上の深さの庇）が認められないこと。また十分に清浄であること。

2) 表面アラサは、3S以下であること。

(1)-3 頻 度

全 数

(1)-4 報 告

検査したものが合格していることを証する。

(2) 寸法検査

(2)-1 方法

外内径；エアー・マイクロメータで直角2方向を測定する。ただし測定精度は $1/100$ mmとする。

肉厚；マイクロメータにより両端部の各4個所を測定する。ただし測定精度は $1/100$ mmとする。

長さ；ノギスにより測定する。

真直度；定盤基準法による。

(2)-2 判定基準

外内径；仕様書または図面記載通りの寸法であること。

肉厚；仕様書または図面記載通りの寸法であること。

長さ；燃料試料の長さが図面記載通りの長さになれる寸法であること。

真直度；仕様書または図面記載通りの真直度であること。

(2)-3 頻度

全数

(2)-4 報告

測定値を記載する。

(3) 欠陥検査

(3)-1 方法

水浸式探傷法により標準欠陥と比較して欠陥を検出する。

(3)-2 判定基準

欠陥は探傷チャートを標準欠陥チャート信号と比較して欠陥が肉厚の10%以下であると認められたときは、これを合格とする。

(3)-3 頻度

全数

(3)-4 報告

検査したものが合格していることを証する。

(4) 素材組成検査

素材組成検査については、素材製造者の検査成績表で示す。

(5) 重量測定

(5)-1 方法

直示天秤によって測定する。ただし測定精度は $0.01g$ とする。

(5)-2 頻 度

全 数

(5)-3 報 告

測定値を記載する。

3. 端栓の試験検査

(1) 外観検査

(1)-1 方 法

外表面の欠陥については目視によって行なう。

(1)-2 判定基準

外表面の欠陥については欠陥が認められないこと。また十分清浄であること。

(1)-3 頻 度

全 数

(1)-4 報 告

検査したものが合格していることを証する。

(2) 寸法検査

(2)-1 方 法

マイクロメータまたはノギスにより測定する。

(2)-2 判定基準

燃料試料の寸法が図面記載通りにできる寸法であること。

(2)-3 頻 度

全 数

(2)-4 報 告

検査したものが合格していることを証する。

(3) 素材組成検査

素材組成検査については素材製造者の検査成績表で示す。

(4) 重量測定

(4)-1 方 法

直示天秤によって測定する。ただし測定精度は0.01gとする。

(4)-2 頻 度

全 数

(4)-3 報 告

測定値を記載する。

4. 燃料棒の試験検査

(1) 外観検査

(1)-1 方 法

外表面の欠陥を目視によって検査する。

(1)-2 判定基準

外表面に欠陥が認められないこと。また十分に清浄であること。

(1)-3 頻 度

全 数

(1)-4 報 告

検査したものが合格していることを証する。

(2) 寸法検査

(2)-1 方 法

- 1) 全長，両端ボスを含まぬ長さ，両端ボス長さ，外径をマイクロメータおよびノギスで測定する。ただし，マイクロメータで測定した場合の測定精度は $1/100 \text{ mm}$ にし，ノギスで測定した場合の測定精度は $1/10 \text{ mm}$ とする。

- 2) 真直度は定盤基準法によって測定する。

(2)-2 判定基準

仕様書または図面記載通りの寸法であること。

(2)-3 頻 度

全 数

(2)-4 報 告

測定値を記載する。

(3) 溶接部検査

(1) 外観検査

1)-1 方 法

外表面の欠陥について目視または拡大鏡により行なう。

1)-2 判定基準

溶接部に割れ，きず等で有害なものがないこと。

1)-3 頻 度

全 数

1)-4 報 告

検査したものが合格していることを証する。

2) ビード巾および高さ測定

2)-1 方 法

ビード巾測定はノギス等を用いてビード巾の最大値と最小値を測定する。ビード高さ測定はマイクロメータ等を用いてビードを含む直径の最大値と最小値を測定する。

2)-2 頻 度

全 数

2)-3 報 告

測定値を記載する。

3) X線検査

3)-1 方 法

JIS Z3104 「銅溶接部の放射線透過試験法」を参考とし、この方法に準ずる。

3)-2 判定基準

撮影したX線フィルムで約0.2mm以上の欠陥が3ヶ以上認められないこと。

3)-3 頻 度

全 数

3)-4 報 告

検査したものが合格していることを証する。X線フィルムを提出する。

(4) ヘリウム・リーク試験

(4)-1 方 法

質量分析型ヘリウム・リーク検出装置を用いて、ベルジャヤ法などでおこなう。

(4)-2 判定基準

ヘリウムのもれ速度が 1×10^{-8} atm cc/sec 以下であること。

(4)-3 頻 度

全 数

(4)-4 報 告

測定値を記載する。

(5) 重量測定

(5)-1 方 法

直示天秤で測定する。ただし測定精度は0.01%とする。

(5)-2 頻 度

全 数

(5)-3 報 告

測定値を記載する。

(6) 表面汚染検査

(6)-1 方 法

移動性の α 汚染はスミヤ法を用い、ZnS スケータ、又はこれと同等の測定器で測定する。また溶接部等に固定した汚染は α -サーベメータで測定する。

(6)-2 判定基準

スミヤ測定では10 dpm/100cm²以下、固定した汚染は全表面のうち最高1,000dpm以下とする。

(6)-3 頻 度

全 数

(6)-4 報 告

測定値を記載する。

(7) 外観写真の撮影および構造部X線透過試験

1) 写 真

1)-1 方 法

組立前；燃料物質、被覆管その他の構造部材を適当な位置に配置し、それらの全体と関係位値で明確に判るような外観写真をとる。

組立後；燃料試料について特に識別マークが判るような外観写真をとる。ただし写真の大きさはキャビネ版とする。

1)-2 頻 度

全 数

1)-3 報 告

撮影した写真を提供する。

2) 構造部X線透過試験

2)-1 方 法

JIS Z 3104 「鋼溶接部の放射線透過試験方法」に準じて行なう。

2)-2 判定基準

内部構造が明確に識別できること。TRに関しては、ステンレスウールの弾性が保持されていること。

2)-3 頻 度

全 数

2)-4 報 告

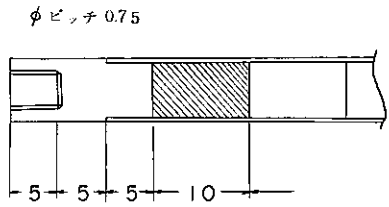
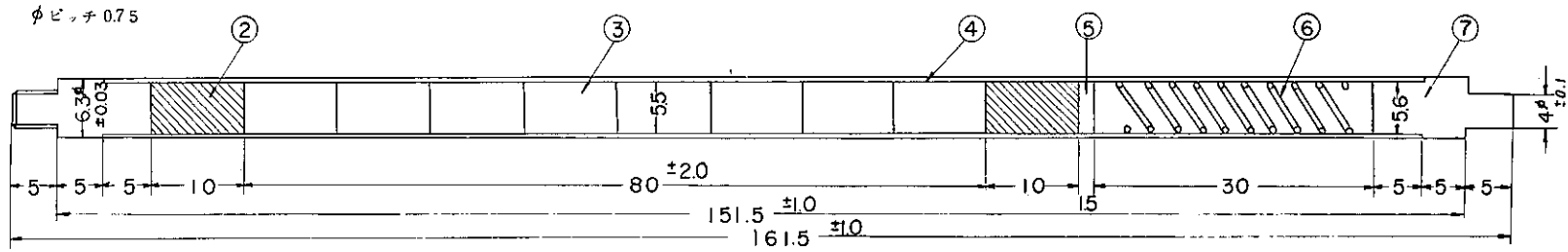
撮影したフィルムを提供する。

日本原子力研究所

大洗材料試験炉の立合検査について

全項目について立合検査を行なう。これに従って取扱う。

工程の都合等で立合検査が実施できない項目については、事前にその処理について連絡すること。



7	END PLUG II	SUS-32 S.T
6	SPRING	SUP-4
5	DISK	SUS-32 S.T
4	CLAD (63.0D / 5.61D)	SUS-32 S.T 10% C.W
3	FUEL PELLETT	PuO ₂ -UO ₂ (APDAMI-APDAMI)
2	THERMAL INSULATOR	Nat UO ₂
1	END PLUG I	SUS-32 S.T
ITEM: NAME		MATERIALS
JMTR-TC		
TC-P-1, TC-P-2, TC-P-3, TC-P-4		
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION		

(キャプセル名 8P, 9P)

JMTR-CMシリーズ 照射試料ピン
(TC-P-1, TC-2, TC-P-4)

製 造 仕 様 書

昭和46年10月

動力炉・核燃料開発事業団

1 名 称

JMTR-TC シリーズ照射燃料ビン

(TC-P-1, TC-P-2, TC-P-6, TC-P-4)

2 目 名

JMTR-TC シリーズの照射は、照射時に用いる高速炉燃料ビン内の温度分布、ギャップ熱伝達率等の熱的特性の把握を目的としている。

3 概 要

本仕様書に規定する JMTR-TC シリーズ照射燃料ビンには、TC-P-2, TC-P-3, TC-P-4 の 4 本である TC-P-1 と TC-P-2 とは一本に連絡され 70F-8P ギャップに封入される。また TC-P-3 と TC-P-4 とは、やはり一本に連絡され、70F-9P キャプセルに封入される。いずれのビンも、プルトニウム密化度 20% (ウラン濃縮度 89.89%) の混合酸化物ペレットが装荷されるが、それぞれ以下のような相違点を持つ。

カプセル名称	70F-8P		70F-9P	
	TC-P-1	TC-P-2	TC-P-6	TC-P-4
ペレット・被覆管ギャップ(mm)	0.1	0.2	0.2	0.1
ペレット密度(%T.D.)	91	91	84	84

4 仕 様

特にビン名称をことわらない項目は各ビンに共通とする。

1) PuO_2 - UO_2 ペレット

① 寸法, 密度, 燃料組成

ビン名称	TC-P-1	TC-P-2	TC-P-6	TC-P-4
ペレット外径(mm)	5.5 ± 0.03	5.4 ± 0.03	5.4 ± 0.03	5.5 ± 0.03
ペレット長さ(mm)	9.0 ± 1.0	9.0 ± 1.0	9.0 ± 1.0	9.0 ± 1.0
スタック長さ(mm)	80.0 ± 2.0	80.0 ± 2.0	80.0 ± 2.0	80.0 ± 2.0
ペレット密度(%T.D.)	91.0 ± 2.0	91.0 ± 2.0	84.0 ± 2.0	84.0 ± 2.0
$\text{PuO}_2/\text{PuO}_2 + \text{UO}_2$ (wt%)	20.0 ± 0.5	20.0 ± 0.5	20.0 ± 0.5	20.0 ± 0.5

- ② C/M 比 1.97~2.00
- ③ 外 観 目視観察により外表面に有害な傷またはクラックが認められないこと。
- ④ 蒸発性不純物 $<150 \mu\ell/g \text{PuO}_2, \text{UO}_2$
- ⑤ 不 純 物

ペレット中の各不純物は下に示す値以下とする。

また全不純物量は、3,000 ppm 以下とする。

不純物元素	含有率 (ppm)
C	150
Ca	25
Cl	25
F	25
Mg	25
N	75
Mokture	150

2) 被 覆 管

① 材 質 SUS-32

② 寸 法 添付図面参照

{	外径	6.3 ± 0.03 mm
	内径	5.6 ± 0.03 mm
	肉厚	0.35 ± 0.03 mm

3) 端 栓

① 材 質 SUS-32

② 寸 法 添付図面参照

4) スプリング

① 材 質 SUP4

② 寸 法 線径 0.55 mm

直径 4.95 mm

③ バネ圧力 弾性係数 $21 \times 10^8 \text{ Kg/mm}$

5) 断 熱 材

① 材 質 Nat (UO₂ ペレット)

② 寸 法 { 外径 5.5 ± 0.05 mm
高さ 1.00 ± 1.0 mm

6) 押 込 板

- ① 材 質 SUS-32
- ② 寸 法 肉厚 $1.5 \pm 0.1 \text{ mm}$
 直径 $5.5 \pm 0.05 \text{ mm}$

7) 燃料ピン全般

- ① 寸 法 添付図面参照
- ② 真 直 度 各ピンの真空度は $1/1.000$ 以下
- ③ 被覆管内ふん囲気
 1 atm 純度 99.99% 以上のヘリウムを充填
- ④ ヘリウム・リーク率 標準状態が 10^8 cc/sec 以下
- ⑤ 溶 接 部
 X線透過写真で 0.2 mm 以上の欠陥が 3ヶ以上認められないこと。
- ⑥ 表面汚染度 { スミヤ測定で $10 \text{ dpm}/100 \text{ cm}^2$ 以下
 { 固定した汚染は全表面の最高のところで $1,000 \text{ dpm}$ 以下

(キャプセル名 70F-12P)

JMTR-CMシリーズ 照射試料ピン
(CM-P-1, CM-P-2, CM-P-4)

製 造 仕 様 書

昭和46年10月

動力炉・核燃料開発事業団

1 名 称

JMTR-CMシリーズ照射試料ビン
(CM-P-1, CM-P-2, CM-P-3, CM-P-4)

2 概 要

JMTR-CMシリーズ照射試料は、FPを含む混合酸化物燃料とステンレス被覆管との両立性を調べるために使用されるものである。CM-P-1~CM-P-4の4本の試料ビンは、1本に連結され、70F-12Pキャプセルに封入される。CM-P-2, CM-P-3 およびCM-P-4には、それぞれ、50,000, 80,000, 120,000 MWD/Tの燃焼度に相当する固体模擬FPを混入した燃料ペレットが封入される。

3 仕 様 (特にビン名称をことわらない項目は各ビンに共通とする)

1) PuO₂-UO₂ ペレット

- ① ペレット寸法

{	ペレット外径	5.5 ± 0.05 mm
	ペレット長さ	10.0 ± 1.0 mm
	スタック長さ	40.0 ± 2.0 mm
- ② ペレット密度 10.0 ± 0.5
- ③ O/M 比 1.97 ~ 2.00
- ④ 燃料組成

{	PuO ₂ /PuO ₂ +UO ₂	18.0 ± 0.5 Wt%
	ウラン濃縮度	60%
- ⑤ 外 観 目視により外表面に有害な傷またはクラックのないこと。
- ⑥ 固体模擬FP濃度

単位; mg/g (Pu+U)

ビン名称 模擬燃焼度 FP元素	CM-P-1 0	CM-P-2 50,000 MWD/T	CM-P-3 80,000 MWD/T	CM-P-4 120,000 MWD/T
Sr		1.40	2.16	3.16
Y		690 × 10 ⁻¹	1.07	1.57
Zr		5.11	8.13	12.1
Mo		4.80	7.90	12.1
Ru		4.35	6.74	9.87
Rh		9.13 × 10 ⁻¹	1.71	2.42
Pd		1.72	2.87	4.47
Ba		1.92	3.04	4.54
La		1.96	3.13	4.69
Ce		4.59	6.96	10.1
Pr		1.65	2.71	4.33
Nd		5.11	8.48	13.2

⑦ 不純物

ペレット中の不純物濃度は、上述の模擬FP元素を除いて、下に示す値以下とする。

不純物元素	含有率 (ppm)
C	150
Cl	25
F	25
Mg	25
N	75
Moisture	150

⑧ 蒸発性不純物 $<150 \mu\ell/g \text{PuO}_2 - \text{UO}_2$
(at 800°C 30分)

2) 被覆管

① 材質 SUS-32

② 寸法 添付図面参照

{ 外径 6.3 ± 0.03 mm
 { 内径 5.6 ± 0.03 mm
 { 肉厚 0.35 ± 0.03 mm

3) 端栓

① 材質 SUS-32

② 寸法 添付図面参照

4) スプリング

① 材質 SUP-4

② 寸法 線径 0.55 φ mm

スプリング直径 4.95 mm

③ 弾性係数 $21 \times 10^8 \text{ Kg/mm}^2$

5) 断熱材

① 材質 Natl UO_2 ペレット

② 寸法 外径 5.5 ± 0.05 mm

高さ 5.0 ± 0.5 mm

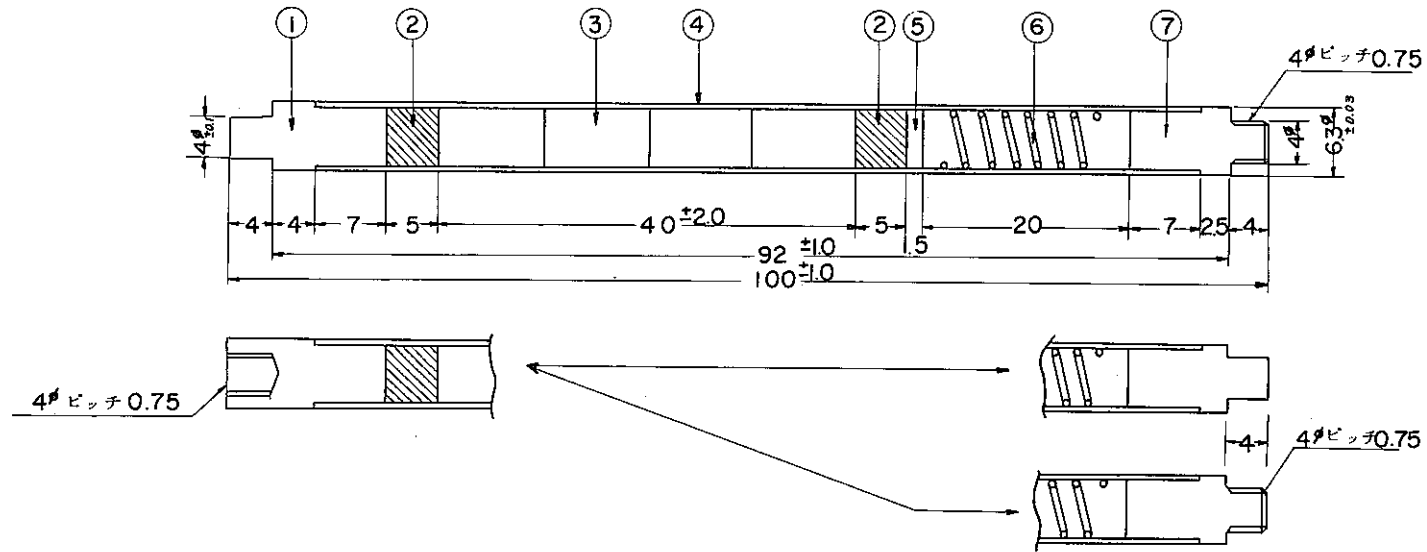
6) 押え板

① 材質 SUS-32

- ② 寸 法 肉厚 $1.5 \pm 0.1 \text{ mm}$
 直径 $5.5 \pm 0.05 \text{ mm}$

7) 燃料ピン全般

- ① 寸 法 添付図面参照
- ② 真直度 各ピンの真直度は $1/1000$ 以下
- ③ 被覆管内ふん囲気
 1 atm 純度 99.99% 以上のヘリウムを充填
- ④ ヘリウム・リーク率 標準状態で 10^{-8} cc/sec 以下
- ⑤ 溶 接 部 X線透過写真で 0.2 mm 以上の欠陥が 3ヶ以上認められないこと。
- ⑥ 表面汚染度 { スミヤ測定で $10 \text{ dpm}/100 \text{ cm}^2$ 以下
 { 固定した汚染は全表面の最高のところで, $1,000 \text{ dpm}$ 以下



7	END PLUG (II)	SUS-32 S.T
6	SPRING	SUP-4
5	DISK	SUS-32 S.T
4	CLADDING (63.0D 5.61D)	SUS-32 S.T 10% C.W.
3	FUEL PELLETT	PuO ₂ -UO ₂
2	THERMAL INSULATOR	Na t UO ₂
1	END PLUG (I)	SUS-32 S.T
ITEM	NAME	MATERIAL
JMFR-CM CM-P-1 ~ CM-P-4		
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION		

〔水カラビット用燃料試料〕

JMTR-TRシリーズ 照射試料ピン
(TR-P-0, TR-P-1, TR-P-2
TR-P-3, TR-P-4, TR-P-5)

製 造 仕 様 書

昭和46年10月

動力炉・核燃料開発事業団

- ② ベレット密度 $84.0 \pm 2.0 \%TD$
- ③ PuO_2/PuO_2-UO_2 $20.0 \pm 0.5 wt\%$
- ④ ウラン濃縮度 $90.0 \pm 0.5 wt\%$
- ⑤ O/M 比 $1.97 \sim 2.00$
- ⑥ 外 観 目視観察により外表面に有害な傷またはクラックが認められないこと。
- ⑦ 不 純 物

ベレット中の各不純物量は下に示す値以下とする。また全不純物量は 3,000 ppm 以下とする。

不純物元素	含有率 (ppm)
C	150
Ca	25
Cl	25
F	25
Mg	25
N	75
Moisture	150 ($\mu l/g$)

- ⑧ 蒸発性不純物 $< 150 \mu l/g PuO_2-UO_2$

2) 濃縮ウランベレット (TR-P-0 ピン用)

日本原子力研究所大洗研究所より貸与されるものを使用する。

ウラン濃縮度	20%	} (参考値)
ベレット外径	5.5 mm	
ベレット密度	~94%	
スタック長さ	38 mm	

3) 被 覆 管

- ① 材 質 SUS-32
- ② 寸 法 添付図面参照

}	外径	$6.3 \pm 0.03 mm$
	内径	$5.6 \pm 0.03 mm$
	肉厚	$0.35 \pm 0.03 mm$

4) 端 栓

- ① 材 質 SUS-32
- ② 寸 法 添付図面参照

5) 緩 衝 材

- ① 材 質 SUS ウール
- ② 規 格 日本スチールウール K K 製 standard
または medium
(0.035~0.05 mmφ)

6) 断 熱 材

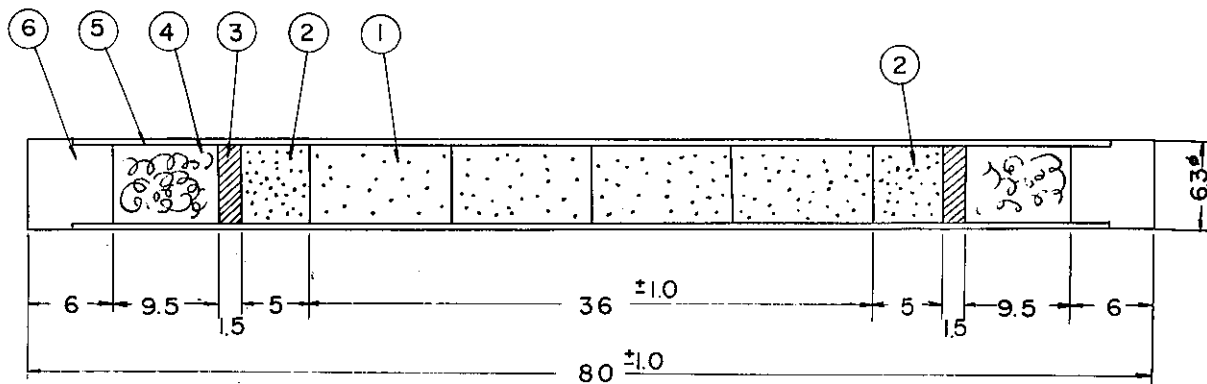
- ① 材 質 Natt UO₂ ペレット
- ② 寸 法 外径 5.5±0.05 mm
高さ 5.0±0.5 mm

7) 押 え 板

- ① 材 質 SUS-32
- ② 寸 法 肉厚 1.5±0.1 mm
外径 5.5φ±0.05 mm

8) 燃料ビン全般

- ① 寸 法 添付図面参照
- ② 真 直 度 ビンの曲りは 1/1,000 以下
- ③ 被覆管内ふん囲気
1 atm 純度 99.99% 以上のヘリウムを充填
- ④ ヘリウム・リーク率 標準状態で 10⁻⁸ cc/sec 以下
- ⑤ 溶 接 部 X線透過写真で 0.2 mm 以上の欠陥が 3ヶ以上認められないこと。
- ⑥ 表面汚染度 { スミヤ測定で 10 dpm/100cm² 以下
 { 固定した汚染は全表面の最高のところで 1,000 dpm 以下

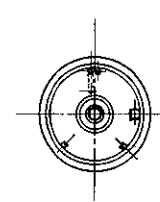
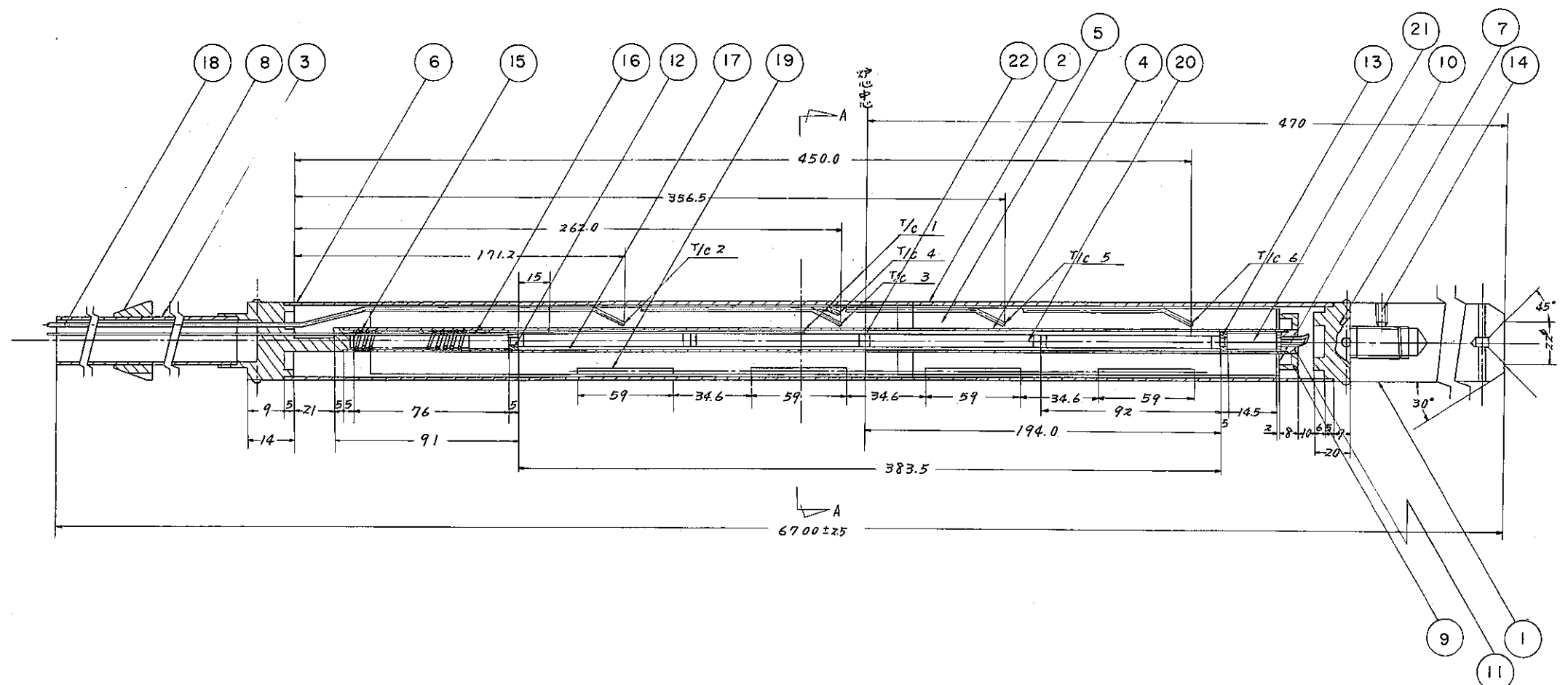


7		
6	END PLUG	SUS-32
5	CLAD { 6.30.D 5.61.D	SUS-32
4	SUS-WOOL	SUS-32
3	DISK	SUS-32
2	THERMAL INSULATOR	Na t UO ₂
1	FUEL PELLETT	PuO ₂ -UO ₂ (APDA VIII)
ITEM	NAME	MATERIAL
JMTR-TR TR-P-1 ~ TR-P-5		
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION		

SN 841-72-27.

付録Ⅷ

70P, 9P, 12P, カプセル図面



A-A断面図

22	燃料ピンスペーサ	SUS 27	1		6	外筒端栓 (上)	SUS 27	1	
21	ブロック	SUS 27	1	(8.5φ×26)	5	熱媒体	A5052	1	} 共引
20	燃料ピン		4		4	内筒	SUS 27	1	
19	フラックスモーター		8	(2.5φ×50)	3	保護管		1	
18	熱電対	C-A	6	1/16 (1.0φ)・1/16 (1.6φ)	2	外筒	SUS 27	1	
17	NaK				1	スペーサブロック	A1100	1	
16	調整カラー	SUS 27	1		ITEM NAME MATERIAL SUPL NO REMARKS				
15	スプリング	インコネル	1		TITLE				
14	止メネジ	SUS 27	1		FBR 燃料照射用カプセル完成図				
13	燃料ピン支持リング (下)		1		(20F-12P)				
12	燃料ピン支持リング (上)		1		SCALE 1/2				
11	内筒端栓 (下)		1		ANGLE				
10	断熱材		1		DWG NO				
9	スペーサ受け		1		POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION				
8	ツバ		1		TOKAI-JAPAN				
7	外筒端栓 (下)		1		DATE				
					DESIGN --				
					DWG --				
					CHECK --				
					APPR --				