

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。 2001. 6. -6

[技術情報室]

JRR-2照射試験(中心溶融共同研究) I

IT-1, IT-2カプセル用燃料ピンの設計と製造
Capsule Irradiation Testing in JRR-2 (Central Melting)
Design and Fabrication of IT-1, IT-2 Capsule Fuel Pins.

1973年1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

目次

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

1973年1月17日

JRR-2照射試験(中心溶融共同研究) I

IT-1, IT-2カプセル用燃料ピンの設計と製造



実施責任者 小泉益通(プルトニウム燃料部)

報告者※小松純治()

横内洋二()

梶谷幹男()

照沼俊弘()

宮坂靖彦(原研 JRR-2)

期間 1971年4月1日 ~ 1972年11月30日

目的 JRR-2 円筒燃料要素を使用し、照射カプセルによる照射を行ない、燃料の高出力照射およびこれに伴う中心溶融時の燃料挙動をはあくする。

実験で求めたデータを、今後の燃料設計、挙動解析に役だてる。

要旨 実験に使用した試料は、濃縮度5.9%、理論密度95%である。この燃料を2本のカプセルに計装して(IT-1, IT-2)照射実験を行なった。この報告書は、(1)試料、(2)核熱計算、(3)安全解析計算、(4)燃料ペレットの金相、化学分析値および被覆管等のデータ、(5)カプセル計装加工に必要な項目とデータ、(6)カプセル照射条件をできるだけ詳細な点までまとめた。

照射前に必要な項目は一応全部整理しており、照射解析と今後の照射実験に有意義であると考えている。

目 次

まえがき	
燃料設計及び製造	
1. 試料	1
2. 核熱計算	2
2-1 計算体系及び原子密度 (Number Density)	2
(1) 計算体系	2
(2) 原子密度の計算方法と結果	3
(3) 線出力 (Rod power) の計算及び結果	5
(4) 中性子束 (Unperturbed flux) と線出力との関係	6
(5) 計算結果の整理	7
3. 安全解析	19
3-1 内圧応力計算	19
3-2 応力解析	21
3-3 Nak カプセル内圧計算結果	22
4. 燃料試料	25
4-1 照射用カプセル製造工程	25
4-2 燃料ペレット試験	26
(1) 外観・寸法・密度測定	26
(2) 燃料組成化学分析値測定	26
(3) 金 相	27
4-3 被覆管及びその他の部品	27
1) 被 覆 管	27
(1) 外観・寸法・重量測定	27
(2) 素材組成	27
(3) 欠陥検査	27
2) 端 栓 材	27
(1) 外観・寸法測定	27
(2) 素材組成	27
4-4 燃料棒検査	28
(1) 外観・寸法及重量測定	28
4-5 スプリング	28

(1) 寸法・重量測定	28
(2) 材 質	28
(3) バネ物性値	28
4-6 ディスク	29
(1) 材 質	29
(2) 寸法・重量測定	29
4-7 燃料ビン内ペレット	29
(1) M-1 ビン	29
(2) M-2 ビン	29
5. カプセル部材及び加工	33
5-1 計測用部材	33
(1) 熱電対	33
(2) 補償導線	33
(3) 熱電対加工	33
(4) 熱電対のカプセルへの組込み	33
(5) 照射カプセル用熱電対仕様	33
(6) 検査成績書	34
(7) フラックスモニターワイヤー	34
(8) フラックスモニターワイヤーのカプセル組立て	34
(9) フラックスモニターワイヤーの線量計算	38
5-2 カプセル用部材	39
6. カプセル照射条件	66
7. ま と め	71

まえがき

原子炉の高出力運転時に、燃料中心部で熔融が生じる可能性があるが、本照射試験の目的は燃料中心部を故意に熔融させ、その時の燃料挙動を把握することである。燃料中心部熔融が生じた場合の重要な燃料挙動としては、燃料の膨張、スランピング、被覆管寸法変化等が考えられる。

なお、燃料中心熔融実験は、本実験が国内で初めてであり、またこれはJRR-2による中心熔融をおこさせる照射条件を把握することを目的の一つである。

今回の実験の燃料試料に UO_2 (5.9 wt% U^{235} 濃縮) を使用したが本来混合酸化物 (PuO_2 - UO_2) で行なう予定であったが、照射後試験施設の利用が困難であるため次回に延期された。

本報告書は、照射目的の他に、今後のJRR-2照射試験のマニュアルになれば幸いと思い設計計算方法などを記載した。

1. 試料

今回の実験に使用した試料を表-1に示す。

中心溶融の目的を実現するために、ギャップを変化させた。単位長さ当りに使用した U^{235} の量は、約 $1.4 g/cm$ でJRR-2許容量以内である。

表-1 照射燃料試料データ

カプセル名	ピン名	スタック長(mm)	ペレットNo.	直径(mm)	長さ(mm)	重量(g)	密度(%TD)	濃縮度(%)	燃料・被覆管のギャップ dia-	外観	ペレット種類
IT-1	M-1	80.15	1	9.80	10.00	6.97	—	—	0.2	合格	Nat. UO_2 (中空)
			2	9.80	16.05	12.59	94.85	5.9	"	"	E UO_2
			3	9.81	16.07	12.60	94.67	"	"	"	"
			4	9.80	15.98	12.51	94.72	"	"	"	"
			5	9.80	16.00	12.58	95.14	"	"	"	"
			6	9.80	16.05	12.58	94.81	"	"	"	"
			7	9.80	9.91	7.05	—	—	"	"	Nat. UO_2 (中空)
AV(インシュレーターペレットは除く)				9.80	16.00	12.57	94.84	5.9	0.2		
IT-2	M-3	80.35	1	9.68	10.09	6.96	—	—	0.3	合格	Nat. UO_2 (中空)
			2	9.70	16.18	12.43	94.88	5.9	"	"	E UO_2
			3	9.70	16.11	12.34	94.60	"	"	"	"
			4	9.69	16.15	12.37	94.77	"	"	"	"
			5	9.69	16.02	12.26	94.66	"	"	"	"
			6	9.70	15.89	12.15	94.38	"	"	"	"
			7	9.80	10.07	7.07	—	—	0.2	"	Nat. UO_2 (中空)
AV(インシュレーターペレットは除く)				9.70	16.07	12.31	94.66	5.9	0.3		

2. 核 熱 計 算

P・N・C Thermos コード, P・D・Fコード, CAPTEP MARK-4 コードを使用し、IT-1, IT-2カプセルの中性子束分布, 出力分布, 温度分布, その他の計算を行なった。以下に簡単に, 計算の経過を記して, 後の研究の参考とする。

2-1 計算体系および原子密度 (Number Density)

JRR-2には, 照射孔条件として3種類ある。中性子束の高い順に(VT-1)(6C, 6D), (VT-2, ……9)となっている。(図-2参照)

今回は円筒燃料照射孔6Cを利用した。円筒燃料照射孔は, 熱中性子束約 5×10^{18} nV/10MW 高速中性子束約 $(3 \sim 4) \times 10^{18}$ nV/10MWであり, 中性子束分布が平坦であるために燃料照射試験にきわめて有利である。(JAERI-memo 4052 P30~35参照)

次の頁に計算体系と各計算に使用した数値を整理した。

カプセルの特徴

- 1) 領域ⅢにNaKを使用し, 燃料ピンの除熱能力を高めた。
- 2) 領域Ⅳ(SUS)と, 領域Ⅴの内側のAIは共引き加工をした。これは接触熱伝達を良くするためである。

IT-1とIT-2カプセルでは, 燃料ピン内のペレット被覆管ギャップがダイアメトルで0.2mmと0.3mmと違うので, この相異が燃料内のナンバーデンシティの相異となって出ている。これは中性子束, 出力分布, 温度分布に多少影響している。

(図-3, 図-4, 図-5, 図-6参照。)

(I) 計算体系

円筒燃料照射孔を使用して, カプセル計装燃料を照射する時, カプセル内の各領域の中性子束分布を, PNC Thermosコードによって求める。PNC Thermosコードに必要な入力データと計算体系を図-1に示す。各領域のナンバーデンシティは表-3に示す。

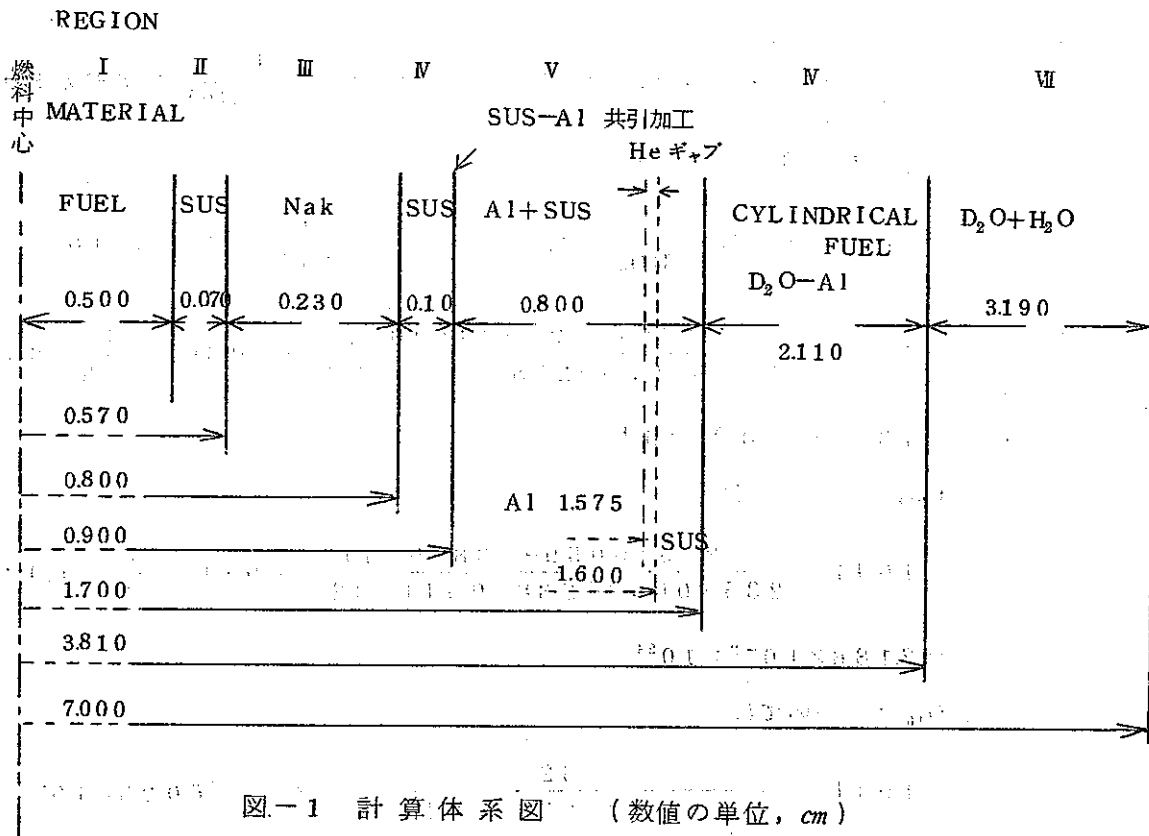


図-1 計算体系図 (数値の単位, cm)

領域 (Region) は 7 領域あり, 単一領域内の物質の原子数は均質として計算する。又単一領域内に各種物質が混合する場合もある。

上の図で V, VI, VII 領域は, それぞれアルミニウム (Al) とステンレス (SUS) 及び重水 (D₂O) とアルミニウム (Al) 及び重水 (D₂O) と水 (H₂O) の混合物となっている。

又この計算に使われる中性子エネルギーレベルは, 熱中性子 (0.025 eV) から 1.855 eV までのものを扱っている。これ以上のエネルギーを持つ中性子の影響は考えていない。従って燃料全体の発熱量としては, 高いエネルギーを有する中性子による核分裂とガンマ線による発熱 (γ heating) の効果を加えた量が Thermos 計算から出た発熱量に加わる。これらの間の割合については各原子炉, 照射孔により中性子スペクトルが異なることから, まちまちであるが, 今回使用する JRR-2 の 6C, 6D 照射孔に関しては過去の経験より, 熱中性子束から求めた発熱量の 10% 前後と考えられる。

(2) 原子密度 (Number Density) の計算方法及び結果

今回使用したペレットの密度は, 平均 10.41 g/cm³ であり, U₂₃₅, U₂₃₈, O₁₆ のナンバーデンシティを計算すると以下の様になる。ギャップの効果は, 考慮してない。

(計算式)

$$\text{Number Density (個/cm}^3\text{)} = \text{密度 (g/cm}^3\text{)} \times \frac{1}{\text{原子量 (g)}} \times \text{アボガドロ数}$$

今回の [U₂₃₅] については

$$1.041 \text{ (g/cm}^3\text{)} \times \frac{U}{UO_2} \times (\text{濃縮度}) \times \frac{1}{\text{原子量}} \times 6.023 \times 10^{23}$$

$$= 1.041 \times \frac{235 \times 0.059 + 238 \times 0.941}{235 \times 0.059 + 238 \times 0.941 + 32} \times 0.059 \times \frac{1}{235} \times 6.023 \times 10^{23}$$

$$= 1.3881 \times 10^{-3} \times 10^{24}$$

[U₂₃₈] については

$$1.041 \times \frac{235 \times 0.059 + 238 \times 0.941}{235 \times 0.059 + 238 \times 0.941 + 32} \times 0.941 \times \frac{1}{238} \times 6.023 \times 10^{23}$$

$$= 2.186 \times 10^{-2} \times 10^{24}$$

[O₁₆] については

$$1.041 \times \frac{32}{235 \times 0.059 + 238 \times 0.941 + 32} \times \frac{1}{16} \times 6.023 \times 10^{23}$$

$$= 4.643 \times 10^{-2} \times 10^{24}$$

以上求めたナンバーデンシティに M-1 ビンの場合 $(\frac{0.490}{0.500})^2$, M-2 ビンの場合 $(\frac{0.485}{0.500})^2$ を乗じて, 燃料ペレット, 被覆管ギャップの空隙の効果を考えて表-2の様になる。

表 - 2

ビン名称	U ₂₃₅	U ₂₃₈	O ₁₆	
M-1 ビン	1.3331 × 10 ⁻³	2.0994 × 10 ⁻²	4.4591 × 10 ⁻²	ただしこの数値に 10 ²⁴ を乗ずる。
M-3 ビン	1.3061 × 10 ⁻³	2.0568 × 10 ⁻²	4.3686 × 10 ⁻²	

IT-1, IT-2 カプセルの各領域の Number Density (単位 × 10²⁴) を表-3 に示す。

表-3 各領域の原子密度 (Number Density)

カプセル名	領域 No	材 質	原子密度 (Number Density)	
IT-1	I	EUO ₂	U ₂₃₅₉₂	1.3331 × 10 ⁻²
			U ₂₃₈₉₂	2.0994 × 10 ⁻²
			O	4.4591 × 10 ⁻²
IT-2	I	EUO ₂	U ₂₃₅₉₂	1.3061 × 10 ⁻²
			U ₂₃₈₉₂	2.0568 × 10 ⁻²
			O	4.3686 × 10 ⁻²
IT-1, 2	II	SUS	304SUS	8.476 × 10 ⁻²
IT-1, 2	III	Na,K	2311Na	4.879 × 10 ⁻³
			3979K	1.0172 × 10 ⁻²
IT-1, 2	IV	SUS	304SUS	8.476 × 10 ⁻²
IT-1, 2	V	Al-SUS	2713Al	5.067 × 10 ⁻²
			304SUS	1.339 × 10 ⁻²
IT-1, 2	VI	CYLINDRICAL FUEL D ₂ O+Al	U ₂₃₅₉₂	1.1096 × 10 ⁻⁴
			U ₂₃₈₉₂	1.2232 × 10 ⁻⁵
			D	3.0044 × 10 ⁻²
			H	3.8032 × 10 ⁻⁴
			O	1.5325 × 10 ⁻²
IT-1, 2	VII	D ₂ O+H ₂ O	Al	2.9130 × 10 ⁻²
			D	6.574 × 10 ⁻²
			H	8.322 × 10 ⁻⁴
			O	3.3286 × 10 ⁻²

(3) 線出力 (Rod power) の計算及び結果

発熱量 q (w/cm) は、次式で求められる。

$$q = 3.15 \times 10^{-11} \times df \times (\pi r^2) \times \Sigma_{total} \times \Phi_u$$

- 3.15 × 10⁻¹¹ : 出力定数 (w · sec/fission)
- df : depression factor
- Φ_u : Unperturbed flux (n/cm² sec)
- Σ_{total} : Σ_{f₂₃₅} + Σ_{f₂₃₉} + Σ_{f₂₄₁} Σ_f = Σ_a - Σ_s
- π r² : ペレット面積

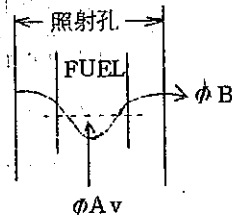
したがって、IT-1 (M-1ピン) カプセルの場合の

1) Σ_{total} は Thermos out put データより

$$\Sigma f = \Sigma a - \Sigma s = 0.54426 - 0.020019 = 0.52424$$

$$\Sigma_{total} = \Sigma f_{235} (+\Sigma f_{239} + \Sigma f_{241}) = 0.52424 \text{ (barn)}$$

2) df: depression factor は



$$df = \frac{\phi_{AV}}{\phi_B} \text{ であるから}$$

Thermos out put データより

$$df = \frac{0.47474}{22,570/22,496} = 4.7323 \times 10^{-1}$$

よって、発熱量 (q w/cm) は

$$q = 3.15 \times 10^{-11} \times df \times (\pi r^2) \times \Sigma_{total} \times \phi_u$$

$$= 0.58938 \times 10^{-11} \phi_u \text{ (w/cm)}$$

IT-2 (M-3ピン) カプセルも IT-1 カプセルと同様に計算し、発熱量 (q w/cm) は、

$$q = 0.56987 \times 10^{-11} \phi_u \text{ (w/cm)}$$

となる。

(4) ϕ_u (unperturbed flux) n/cm² sec と線出力との関係

ϕ_u は、q (w/cm) を求める式より

$$\phi_u = \frac{q}{3.15 \times 10^{-11} \times \Sigma_{total} \times (\pi r^2) \times df} \text{ で求められる。}$$

q を、予想線出力、500, 550, 600, 650 w/cm の範囲とし計算すると表-4のようになる。

表-4 ϕ_u の計算値

カプセル名	ピン名	線出力 (w/cm)	15%増の線出力 (w/cm)	ϕ_u (n/cm ² sec) $\times 10^{14}$
IT-1	M-1	500	575.0	0.8483
		550	632.5	0.9332
		600	690.0	1.0180
		650	747.5	1.1029
IT-2	M-3	500	575.0	0.8774
		550	632.5	0.96513
		600	690.0	1.0529
		650	747.5	1.1406

以上のような単純な計算から求めた線出力は、熱中性子束のみによる発熱を計算しているが、燃料内の発熱は、これに加えて高速中性子による fission と γ ヒーティングによるものとを加えたものが総発熱量となる。

これらの影響を過去の経験から推定すると、6C孔では熱中性子のみの計算値の15%増の発熱量(最大)と考えているので、上記表の中に15%増の Rod power を、計算してあるのは、このためである。

(5) 計算結果の整理

計算結果を整理したものを表-5に示す。

表 - 5

図番号	カプセル名	ピン名	内 容
3	IT-1	M-1	カプセル内中性子束分布
4	IT-2	M-3	"
5	IT-1	M-1	ペレット内出力分布
6	IT-2	M-3	"
7	IT-1	M-1	中性子束と出力
8	IT-2	M-3	"
9	IT-1	M-1	カプセル内温度分布
10	IT-2	M-3	"
11			ウラン含有量と線出力密度

図-11のウラン含有量と線出力密度のデータは、JRR-2より借用したものである。JRR-2での U^{235} の含有量の基準は、 $0.38g/cm$ であるが、今回のIT-1、IT-2カプセルに使用している燃料ペレットの U^{235} の含有量は $0.40g/cm$ である。

(JRR-2の安全審査は合格した。)

前頁のNumber Densityの値と図-2、図-3の中性子束分布を対照させてみるとM-1ピンとM-2ピンで U^{235} の値が約2%の相違を示している。

温度分布計算に用いた物性値を以下に示す。

1) M-1ピン (5.9%濃縮度 UO_2 95%T・D, 燃料径9.8mm ϕ)

ペレット・被覆管熱伝達率

(GAP CONDUCTANCE) : $0.5678 w/cm^2 C$ (1.000 BTU)

ダイアメトラルギャップ

(DIAMETRAL GAP) : $0.20mm$

Al-SUS熱伝達率

(GAP CONDUCTANCE) : $0.5678 \text{ w/cm}^2\text{C}$ (1.000 BTU)

(between Al and SUS)

熱伝導度式

(THERMAL CONDUCTIVITY) : Baily-Asamotoの式を使用

(SUMMARY OF (U, Pu)O₂ PROPERTIES AND FABRICATION METHODS GEAP-13682参照)

冷却水温度

COOLANT TEMPERATURE : 50C (JRR-2より)

2) M-3ピン (5.9% Enrichment UO₂ 95% T.D. FUEL DIAMETER $9.7 \text{ mm}\phi$)

ペレット, 被覆管熱伝達率

(GAP CONDUCTANCE) : $0.3975 \text{ w/cm}^2\text{C}$ (700 BTU)

ダイアメトラルギャップ

(DIAMETRAL GAP) : 0.30 mm

Al-SUS熱伝達率

(GAP CONDUCTANCE) : $0.5678 \text{ w/cm}^2\text{C}$ (1.000 BTU)

(between Al and SUS)

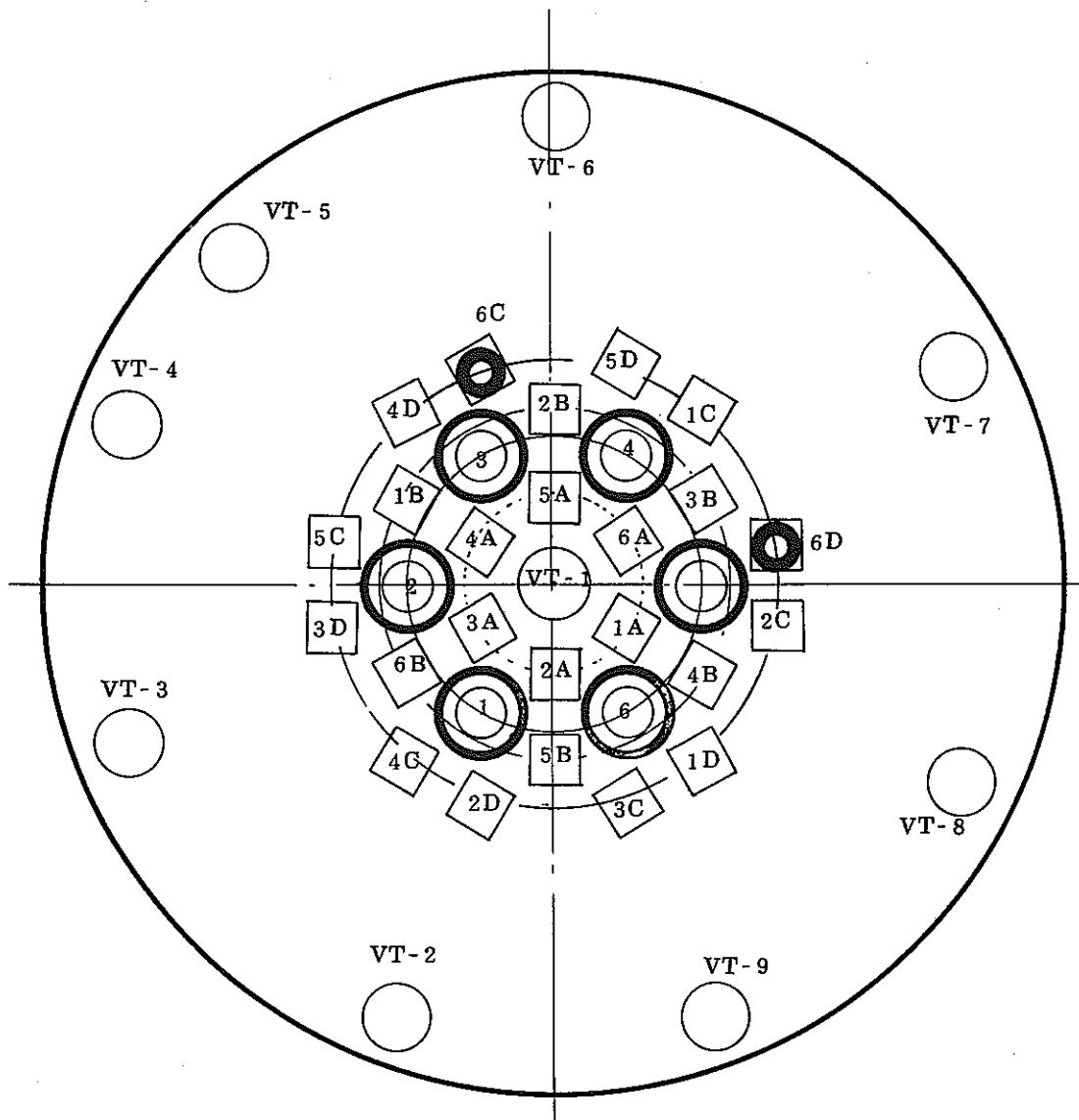
熱伝導度式

(THERMAL CONDUCTIVITY) : Baily-Asamotoの式

(参考文献は, M-1ピンと同じ)

冷却水温度

(COOLANT TEMPERATURE) : 50C (JRR-2より)







-  JRR-2 Type Fuel
-  Cylindrical Fuel
-  Control Rod
-  Vertical Exp Tube

图-2 JRR-2 照射孔

M-1ピン (FUEL DIAMETER 9.8mmφ)

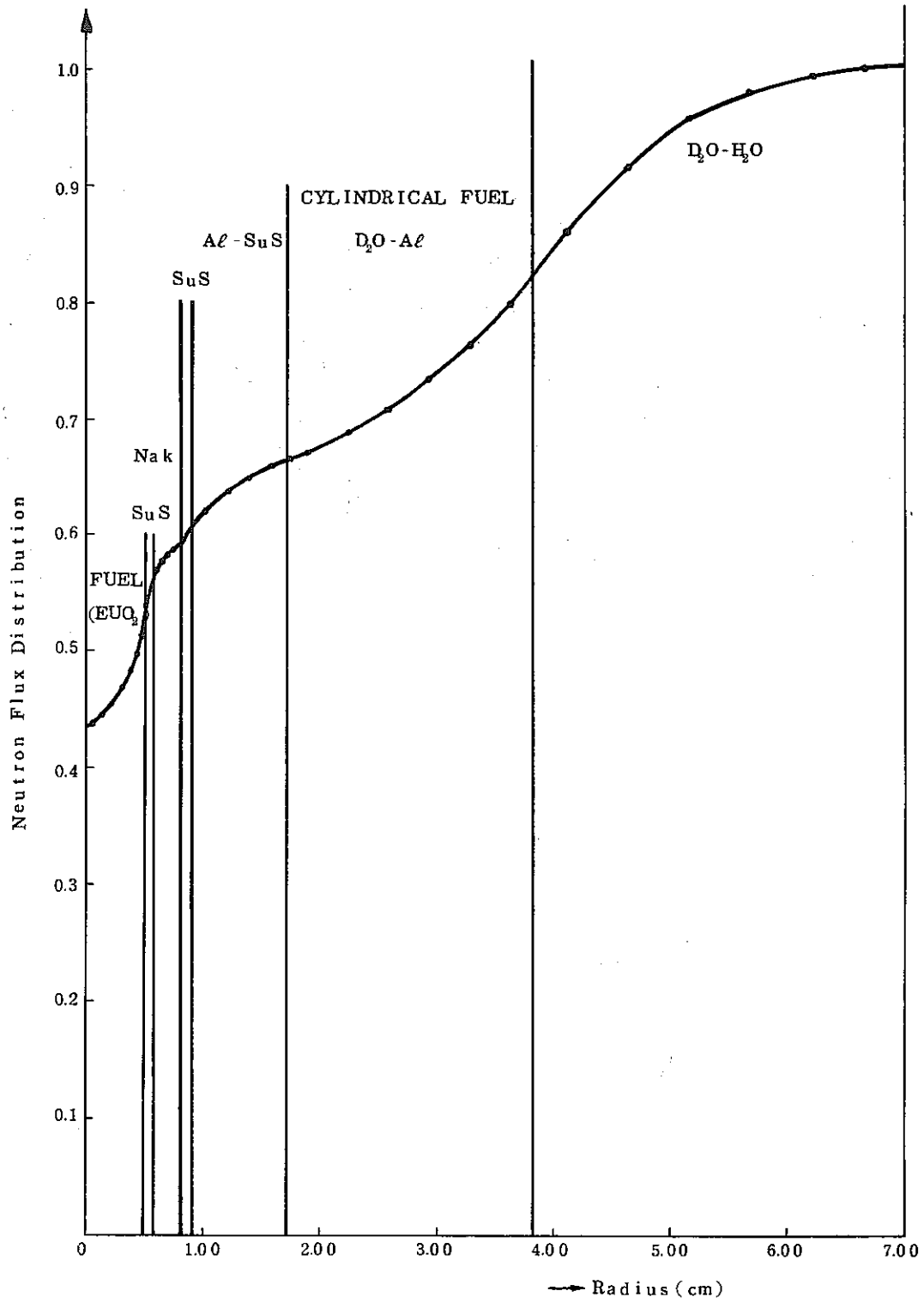


図-3 カプセル内中性子束分布

M-3ピン (FUEL DIAMETER 9.7mmφ)

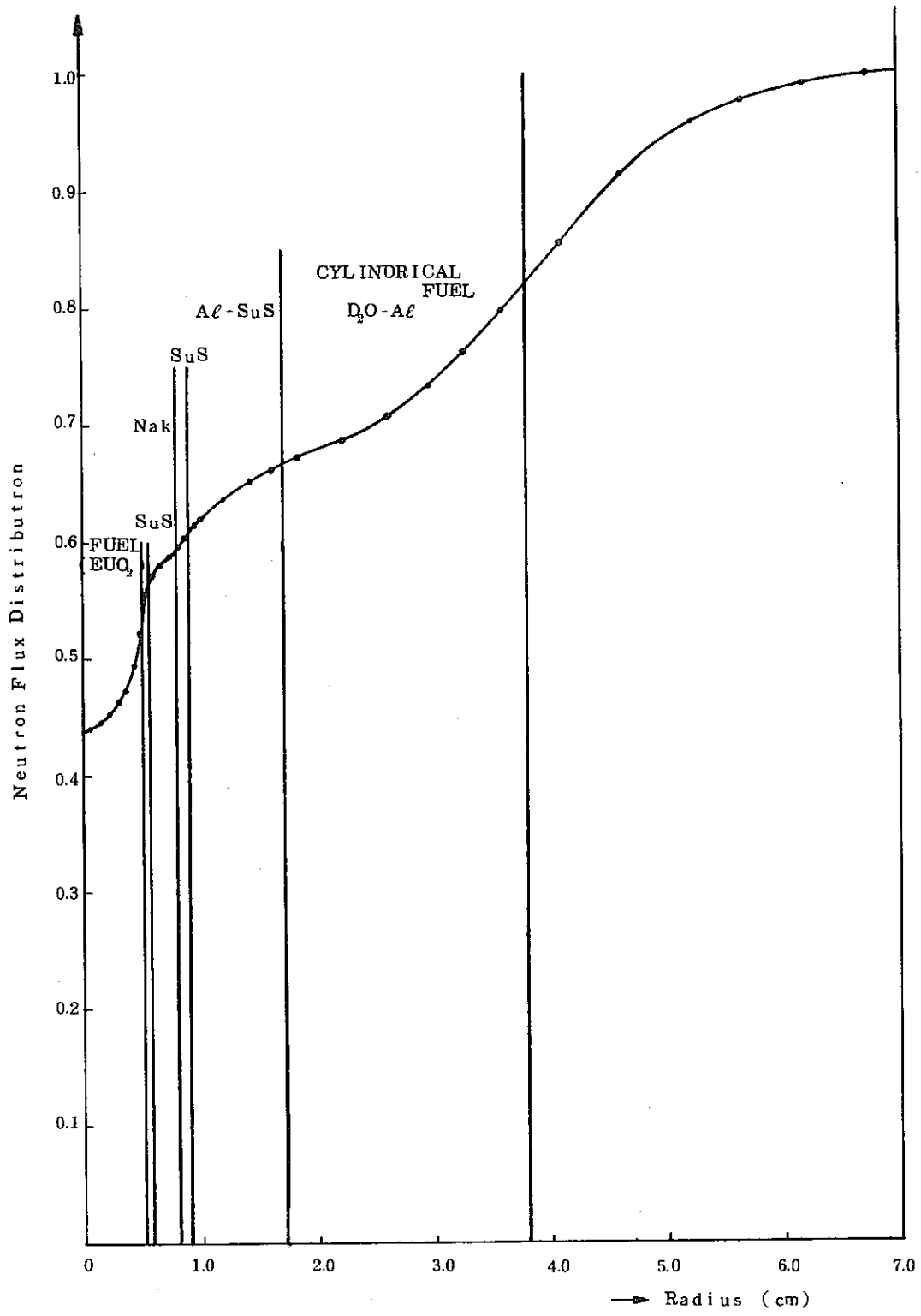


図-4 カプセル内中性子束分布

POWER GENERATION DISTRIBUTION

(FUEL DIAMETER 9.8mmφ)

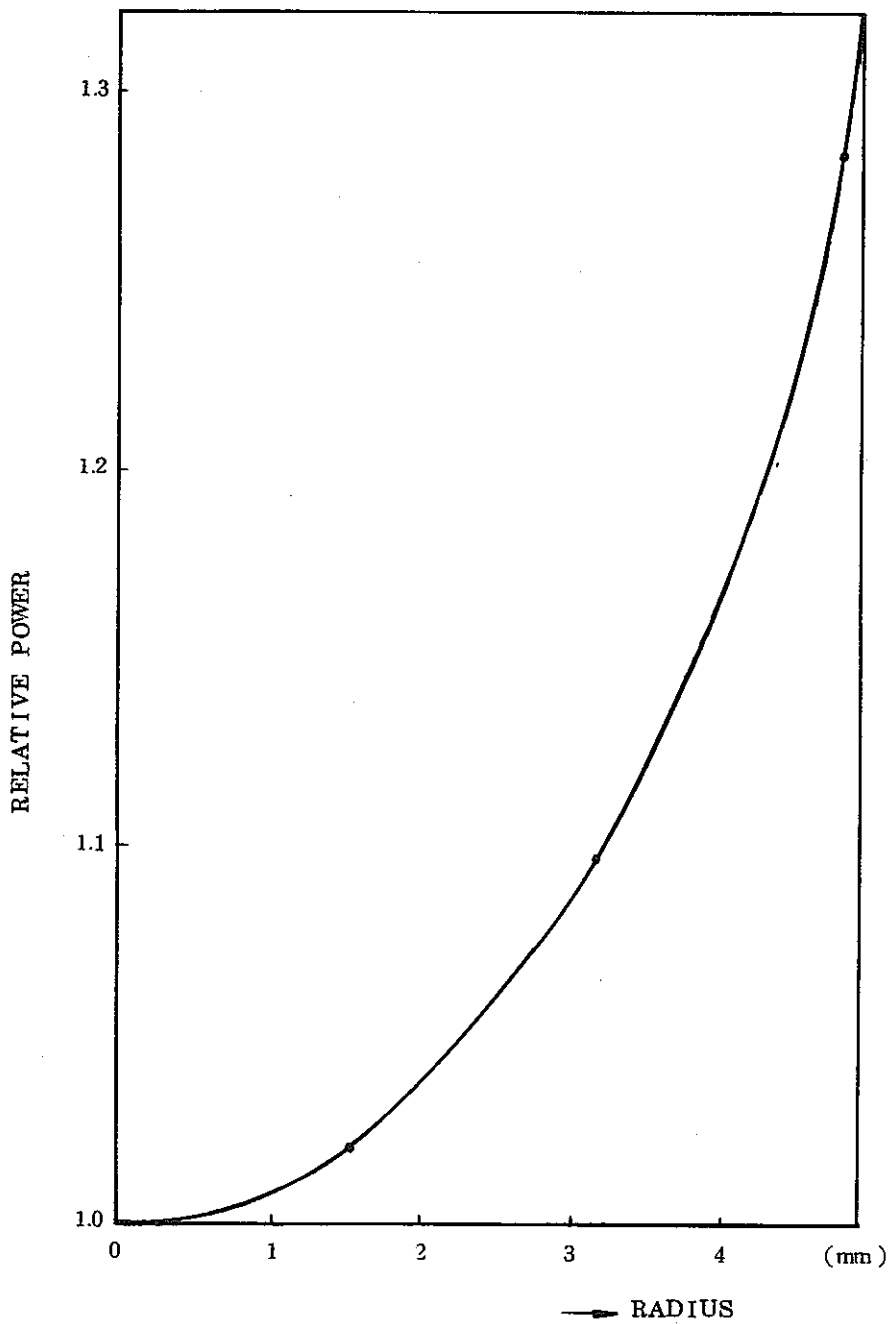


図-5 ペレット内出力分布

POWER GENERATION DISTRIBUTION

(FUEL DIAMETER 9.7mm ϕ)

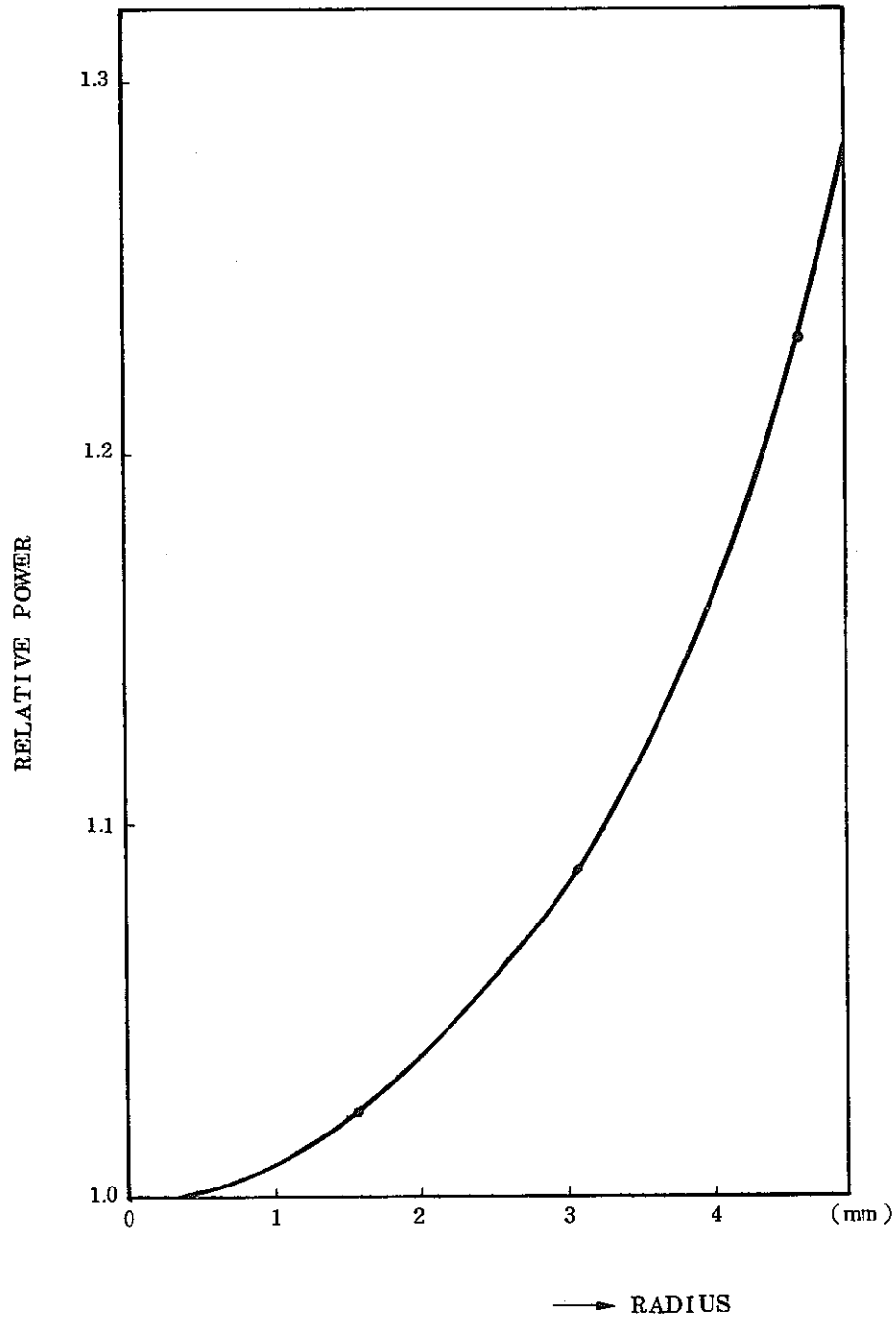


図-6 ペレット内出力分布

M-1ピン (FUEL DIAMETER 9.8mmφ 95%T.D 5.9%EUQ₃)

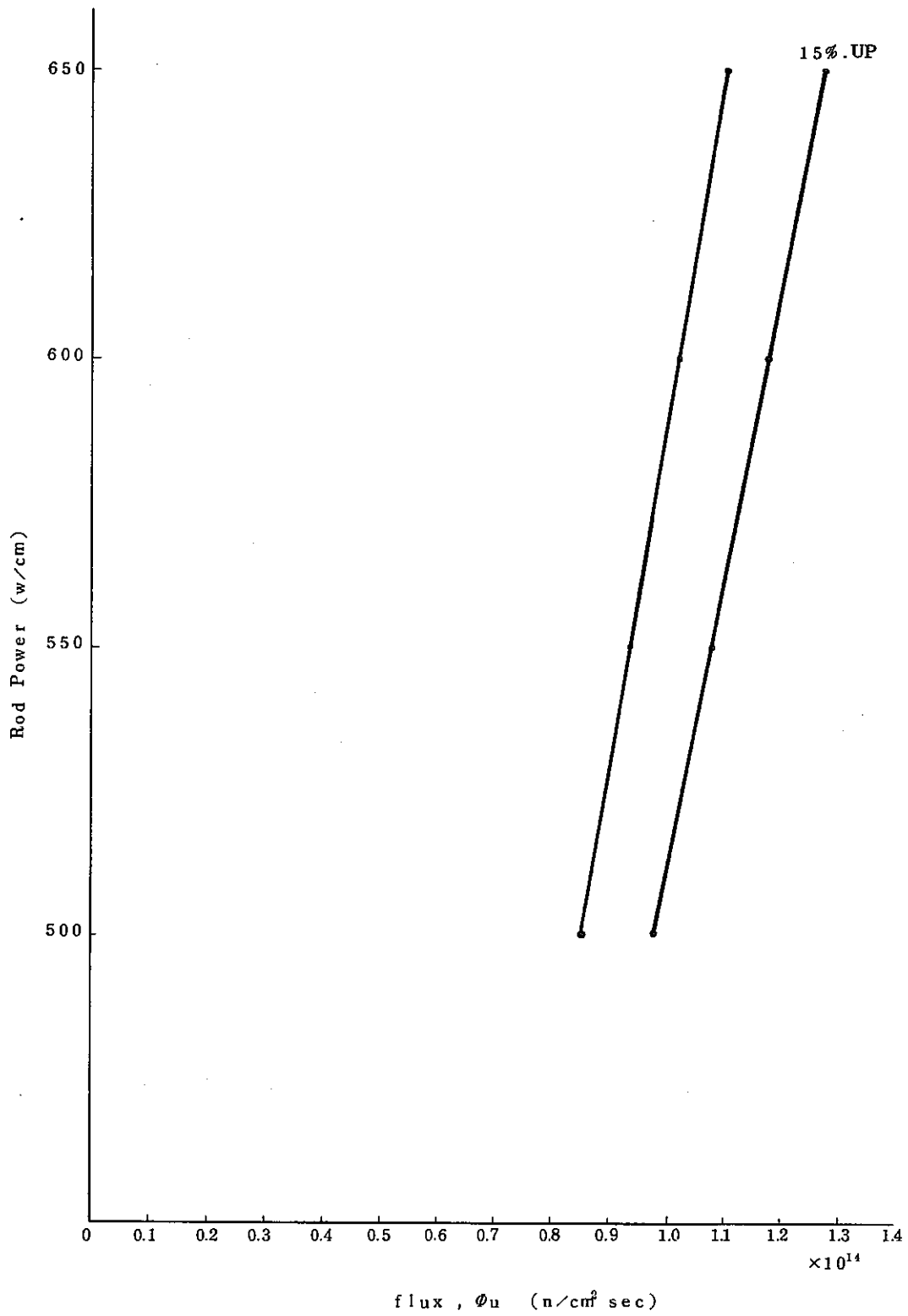


図-7 中性子束と出力

M-3ピン (FUEL DIAMETER 9.7mmφ 95%T.D.5.9%EUO₂)

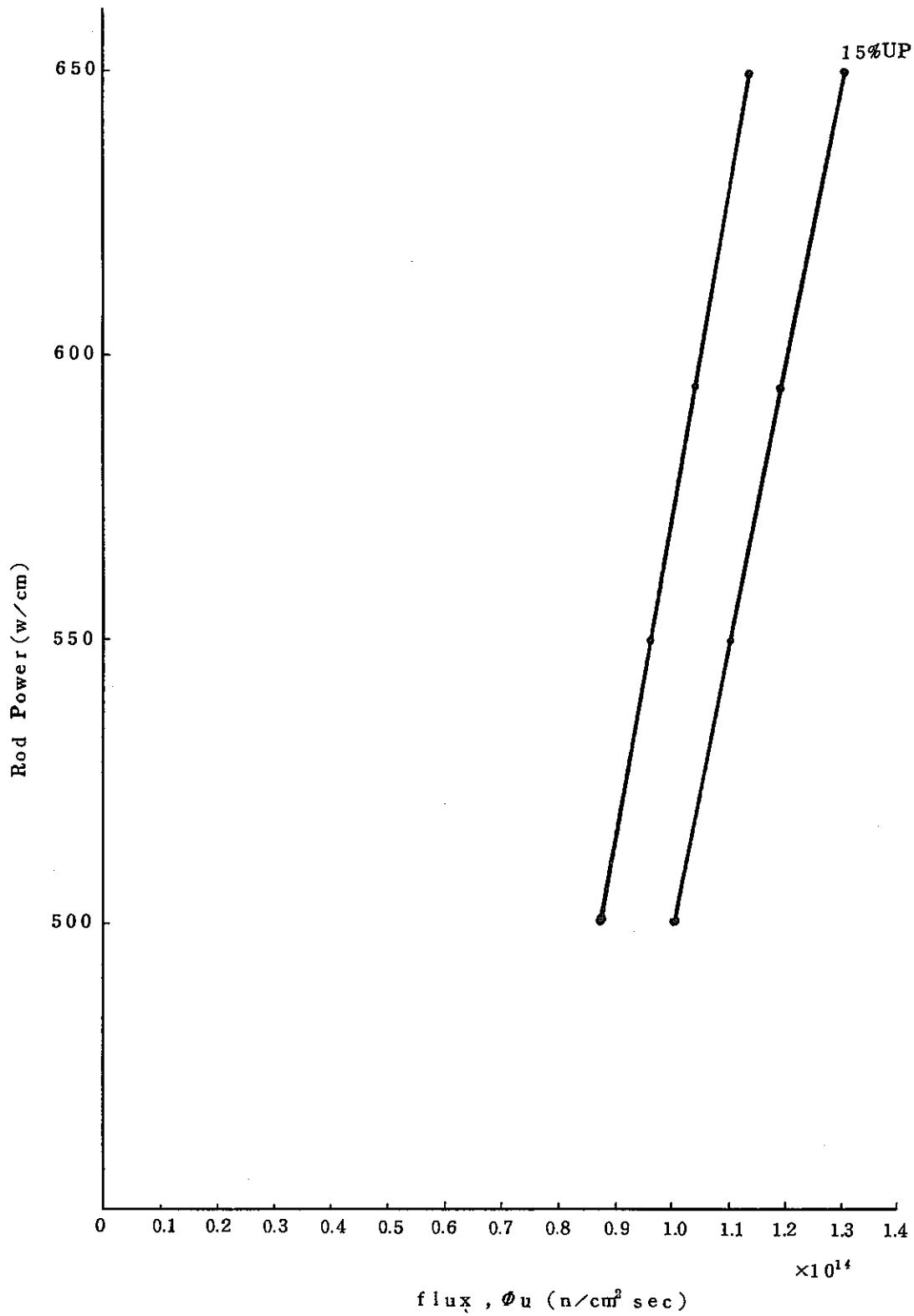


図-8 中性子束と出力

(IT-1カプセル PIN № M-1)

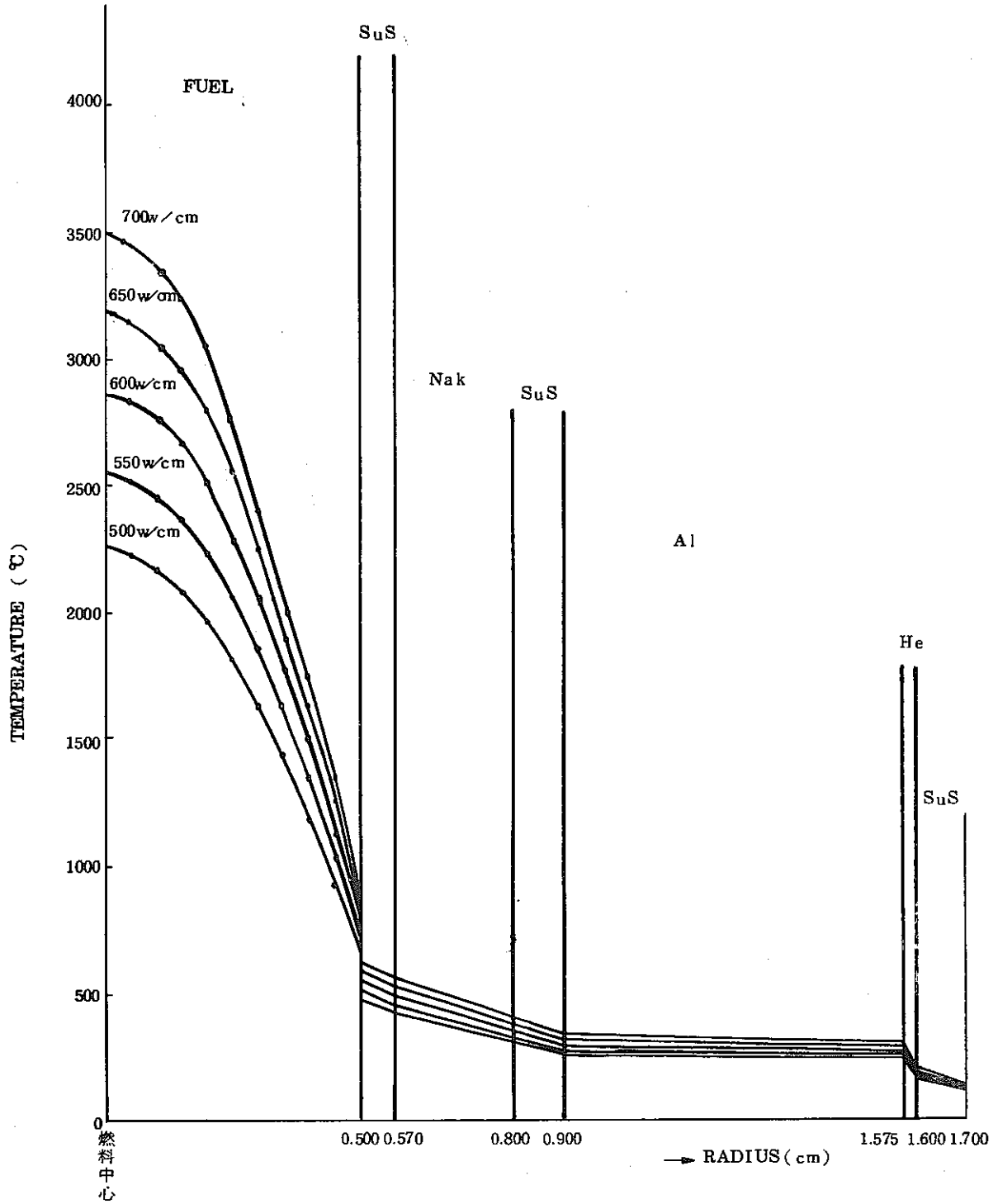


図-9 カプセル内温度分布

(IT-2カプセル PIN #6 M-3)

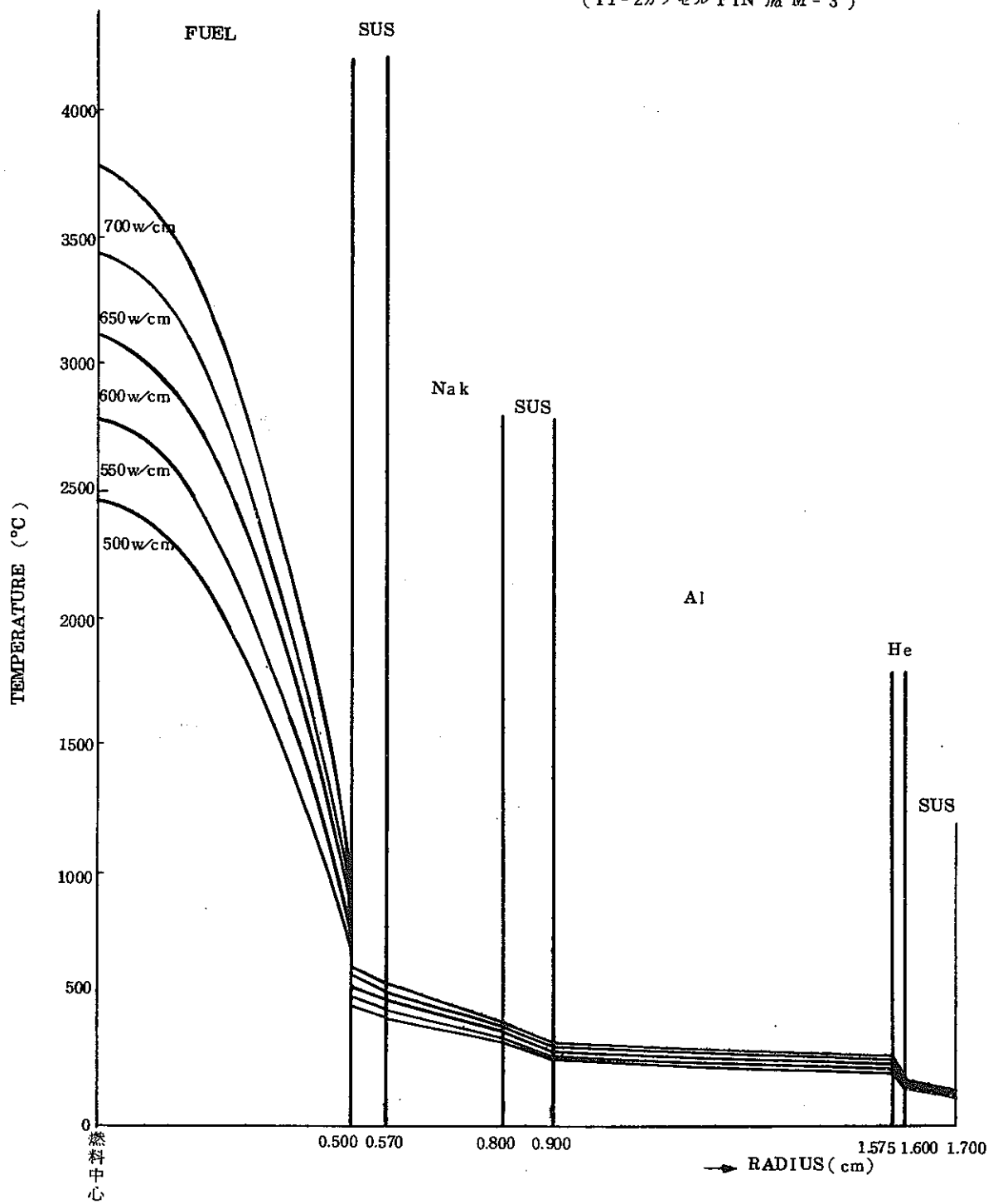
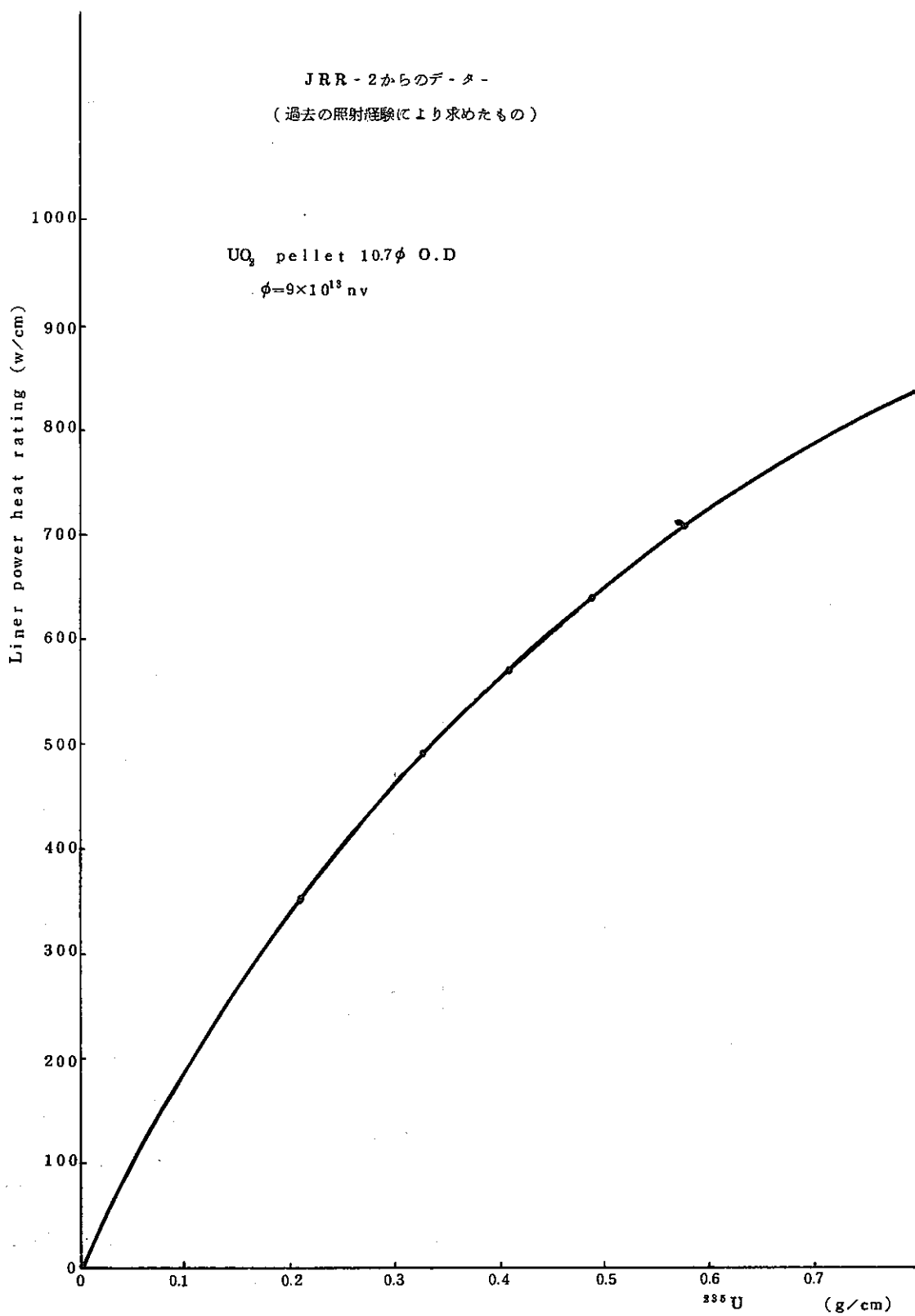


図-10 カプセル内温度分布



(カプセル部材での変動はある)

図-11 ウラン含有量と線出力密度

3. 安全解析

安全解析計算は J R R-2 が規定している項目，方法に従った。(JAERI-memo 4052 参照)

3-1 内圧応力計算

燃料外径 ; 9.7 mm φ

燃料密度 ; 9.5 % T.D.

$$\sigma_p = \frac{D_o}{2t} P$$

{

σ_p : 内圧応力 (Kg/cm²)

D_o : 被覆管外径 (mm)

P : 圧力 (Kg/mm²)

t : 被覆管内厚 (mm)

圧力 P

$$P \cdot V = nRT$$

$$\therefore P = nRT/V$$

$$R = 84.78 \text{ Kg-cm/mole-}^\circ\text{K}$$

T = 温度

V = プレナム体積

$$n = \text{ガスモル数} (n = n_{\text{He}} + n_{\text{ABS}} + n_{\text{F.P.}})$$

(i) プレナム体積 (V)

$$V = \pi r^2 \times h - G \cdot F \quad (G \cdot F = \text{プレナム内スプリング体積})$$

$$G \cdot F = (\pi r^2 \times 2 \pi r' \times n) = \left(\frac{0.1}{2}\right)^2 \pi \times 2 \pi \left(\frac{0.95}{2}\right) \times 15$$

$$= 0.3516 \text{ (cm}^3\text{)}$$

外径 : 9.5 mm φ

線径 : 1.0 mm φ

$$\therefore V = \left(\frac{1.0}{2}\right)^2 \pi \times 3.6 - 0.3516 = 2.4758 \text{ (cm}^3\text{)}$$

(ii) ガスモル数 (h = n_{He} + n_{abs.} + n_{F.P.})

n_{He} : 1 気圧で充填しているため，プレナム体積に同じと仮定 = 2.4758 cc

(プレナムポリウムは，ペレットの GAP 分は無視)

$$n_{\text{He}} = \frac{2.4758}{22.4 \times 10^3} = 1.105 \times 10^{-4} \text{ (mole)}$$

n_{abs.} : 吸着ガス量を q = 200 μℓ/g とすると

$$n_{abs} = \frac{q}{22.4 \times 10^3} \times W$$

W = ペレット重量 (g)
[インシュレーターペレット
含む]

$$= \frac{200}{22.4} \times 10^{-3} \times 10^{-3} \times 76.88$$

$$= 6.8642 \times 10^{-4} \text{ (mole)}$$

n.F.P :

F・Pガスの生成率を 1.35×10^{-8} mole/MWD, 燃焼度を, 1.000, 3.000, 5.000 MWD/Tとすると, F・Pガス生成量 (F・P・G)は,

$$F \cdot P \cdot G = 1.35 \times 10^{-8} \times B \cdot W \quad ; \quad W; \text{試料重量 (TON)}$$

F・Pガス放出率を

0.5%	$T \leq 1.650^\circ\text{C}$
20.0%	$1.650^\circ\text{C} \leq T \leq 1.900^\circ\text{C}$
100.0%	$1.900^\circ\text{C} < T$

として燃焼度放出ガス量 (R・F・P)を計算する。

		(半径)	(体積)
0.5%	$T \leq 1.650^\circ\text{C}$	4.85~4.00 (mm)	2.3630 (cm ³)
20.0%	$1.650^\circ\text{C} \leq T \leq 1.900^\circ\text{C}$	4.00~3.65 (mm)	0.8420 (cm ³)
100.0%	$1.900^\circ\text{C} < T$	3.65~0.00 (mm)	4.184 (cm ³)

(※ペレット長 10 mm, ペレット数 10ヶ)

[各温度による半径は, 9.7 mmφ, 600 w/cmの Temperature distribution を参照)

$$R \cdot F \cdot P = 1.35 \times 10^{-8} \times B \times W \times [(2.3630 \times 0.005 + 0.8420 \times 0.2 + 4.184 \times 1.0) / 7.3890]$$

$$= 1.35 \times 10^{-8} \times B \cdot W \times 0.5906$$

$$= 1.35 \times 10^{-8} \times 7.688 \times 10^{-5} \times 0.5906 \times B$$

$$= 6.1301 \times 10^{-8} \times B$$

(B=1.000, 3.000, 5.000 MWD/T)

$$B_u = 1.000 \text{ (MWD/T)}$$

$$R \cdot F \cdot P = 6.1301 \times 10^{-8} \times 1 \times 10^3 = 6.1301 \times 10^{-5} \text{ (mole)}$$

$$B_u = 3.000 \text{ (MWD/T)}$$

$$R \cdot F \cdot P = 6.1301 \times 10^{-8} \times 3 \times 10^3 = 1.8390 \times 10^{-4} \text{ (mole)}$$

$$Bu = 5,000 \text{ (MWD/T)}$$

$$R \cdot F \cdot P = 6.1301 \times 10^{-8} \times 5 \times 10^8 = 3.0651 \times 10^{-4} \text{ (mole)}$$

したがって、燃焼度を 5,000 MWD/T とした時の Total n は、

$$\begin{aligned} n &= n_{\text{He}} + n_{\text{ABS}} + n_{\text{F}\cdot\text{P}} \\ &= 0.7196 \times 10^{-4} + 6.8642 \times 10^{-4} + 3.0651 \times 10^{-4} \\ &= 1.0649 \times 10^{-3} \text{ (mole)} \end{aligned}$$

∴ 圧力 P はフリーボリウム中温度を 700℃ としたとき

$$\begin{aligned} P &= nRT/V \\ &= 1.0649 \times 10^{-3} \times 84.78 \times 973 / 2.4758 \\ &= 35.480 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

∴ 内圧応力 σ_p は

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{D_o}{2t} P = \frac{11.40}{2 \times 0.70} \times 35.480 \times 10^{-2} \\ &= 2.889 \text{ (Kg/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

3-2 応力解析

a) 被覆管 316SUS

(1) 熱応力 σ_t

$$\sigma_t = \frac{\alpha \cdot E \cdot \Delta T}{2(1-\nu)} \quad (\text{Kg/mm}^2)$$

- α : 熱膨張係数 (1/℃)
- E : ヤング率
- ν : ポアソン比
- ΔT : 被覆管内外表面温度差 (Rod power にて変化)

[燃料径 9.7 mm ϕ 線出力 600 w/cm の温度分布参照]

316SUS

$$T(\text{outer}) = 485.5^\circ\text{C} \quad T(\text{inner}) = 548.0^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 62.5^\circ\text{C}$$

$$T(\text{av}) = 516.8^\circ\text{C}$$

316SUS の α , E の値は T_{av} で次の通りである。

$$\alpha = 18.16 \times 10^{-6} \text{ (1/}^\circ\text{C)} \quad (\text{PNCPU-MEMO-023 より})$$

$$E = \frac{\nu}{\epsilon} = \frac{1.502 \times 10^8}{2 \times 10^{-3}} \times 10^{-2} = 7.510 \times 10^8 \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$$

(PNCPU-MEMO-023 より)

516.8℃でのポアソン比 ν は

$$\nu = 0.3$$

516.8℃での offset Yield Strength σ_y は

$$\sigma_y = 15.02 \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$$

$$\therefore \sigma_y = \frac{18.76 \times 10^{-6} \times 7.510 \times 10^8 \times 62.5}{2(1-0.3)} = 6.088 \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$$

燃料被覆管の許容範囲は、下式を満足することである。

$$i) \frac{1}{4} \sigma_t + \sigma_p < \sigma_y$$

$$ii) \sigma_t < 2\sigma_y$$

$$iii) \sigma_p < \frac{3}{4} \sigma_y$$

i), ii), iii) の条件について

$$i) \frac{1}{4} \times 6.088 + 2.889 = 4.411 < 15.02 \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$$

$$ii) 6.088 < 30.04 \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$$

$$iii) 2.889 < \frac{3}{4} \times 15.02 = 11.27 \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$$

よって以上の計算より被覆材の熱応力・内圧応力に対する強度は充分である。

3-3 Nakカプセル内圧計算及び結果

NaKカプセル内圧力は、次式より求める。

$$P = nRT/V$$

よって

$$nR = \frac{PV}{T} \text{ となる}$$

$$n_1 R_1 = \frac{P_1 V_1}{T_1}, \quad n_2 R_2 = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

ここで nR を一定とすると

$$nR = n_1 R_1 = n_2 R_2$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \text{ の式が成立つ。}$$

[T : 温度 (°K), V : プレナム体積]

NaK (77.2 wt% K) の物性値は、表-6に示す。

表-6 NaK (77.2wt%K) の物性値

Temp (°C)	Density (calc.) g/cc
20	0.867
100	0.848
300	0.802
400	0.772
500	0.754
600	0.732

(参考文献: LIQUID METAL HANDBOOK Chapter 1. P. 1. 6)

以上のことから、NaK の膨張した量を計算し、各々の温度に対する、ブレンラム体積を計算する。例えば

20°CのときのNaK量が1.8 ccの場合、100°CのときのNaK量は

$$1.8 \times \frac{0.867}{0.848} = 1.84 \text{ cc となる。}$$

よって、NaKの増加した量は

$$1.84 - 1.80 = 0.04 \text{ cc}$$

であるから、20°Cのときのブレンラム体積を5 ccとすると100°Cでのブレンラム体積は、

$$5.0 - 0.04 = 4.96 \text{ cc}$$

となる。

したがって、100°CでのNaKカプセルの内圧は、(20°Cで1気圧とすると)

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \text{ の式に代入して}$$

$$\frac{1 \times 5}{20 + 273} = \frac{P \times 4.96}{100 + 273}$$

になり、圧力(P)は、

$$P = \frac{5 \times 373}{4.96 \times 293} = 1.38 \text{ (気圧)}$$

となる。

以上の様な計算を、300°C、400°C、500°C、600°Cで行なう。また、NaK量を変えて、同様な方法で計算をする。その結果を表-7に示す。

表 - 7

プレナム長さ(mm) 20℃の時	プレナム体積(ml) 20℃の時	TEMP. (°C)	Density(calc.)g/cc	気圧(P)
20	3.0 (Nak量:20.1cc)	20	0.867	1.0
		100	0.848	1.5
		300	0.802	4.2
		400	0.772	13.8
		500	0.754	—
		600	0.732	—
25	5.0 (Nak量:18.1cc)	20	0.867	1.0
		100	0.848	1.4
		300	0.802	2.5
		400	0.772	4.1
		500	0.754	5.7
		600	0.732	8.8
30	6.0 (Nak量:17.1cc)	20	0.867	1.0
		100	0.848	1.4
		300	0.802	2.6
		400	0.772	3.5
		500	0.754	4.7
40	8.1 (Nak量:15.0cc)	600	0.732	6.4
		20	0.867	1.0
		100	0.848	1.3
		300	0.802	2.3
		400	0.772	3.0
		500	0.754	3.6
		600	0.732	4.6

(Nakカプセル内容積: 23.1cc)

Nak 封入の際は、上記の表のデータをもとに温度と圧力に注意し、Nak量を、決定する。

4 燃料 試 料

4-1 照射用カプセル製造工程

カプセル完成までの工程を図-12に示す。

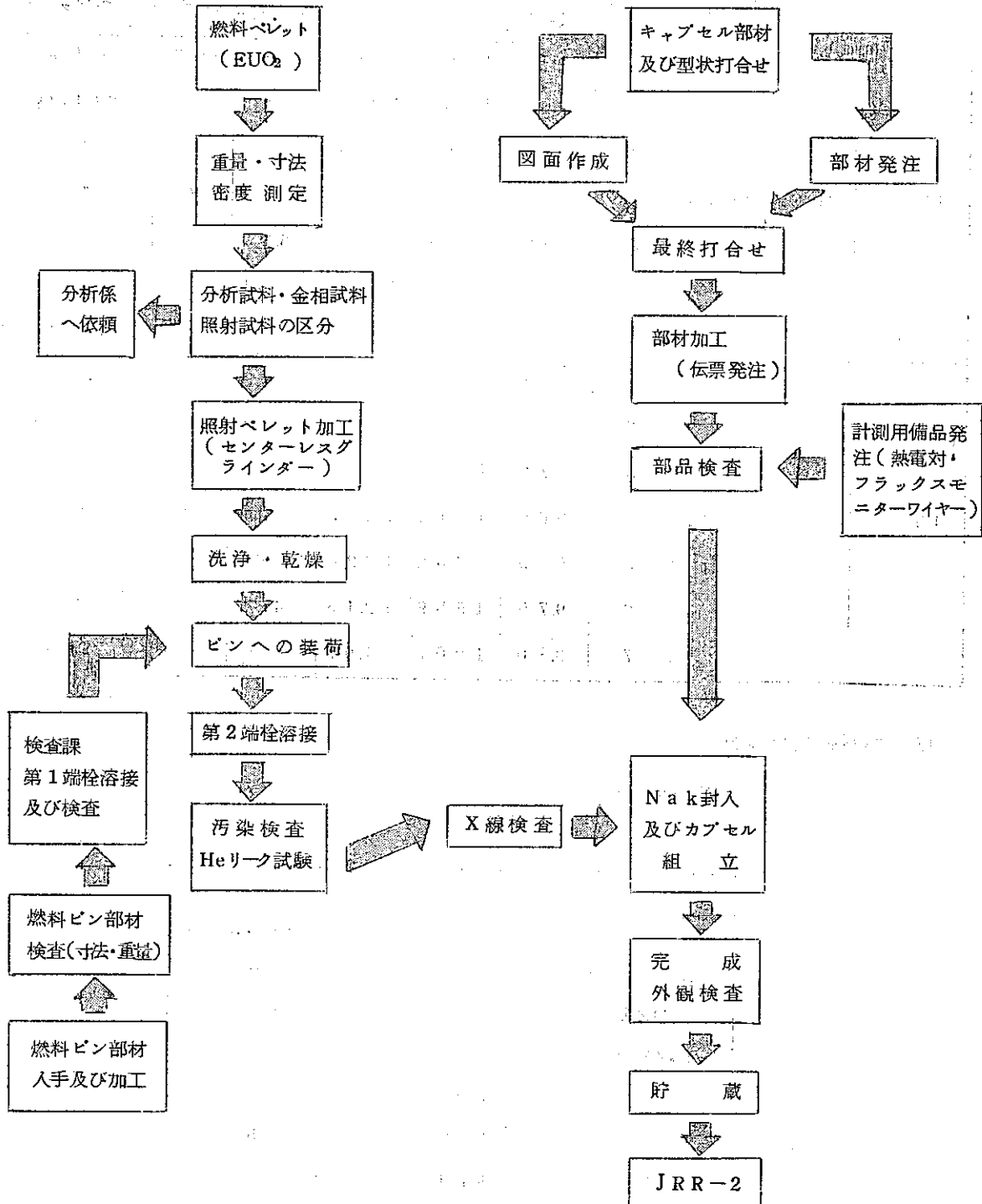


図-12 燃料ピン製造工程フローチャート

4-2 燃料ペレット試験

(1) 外観・寸法・重量・密度測定

測定結果を表-8に示す。

表-8 外観・寸法・重量・密度測定結果

カプセル名称	ビン名称	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	ペレット種類
IT-1	M-1	80.15	1	9.80	10.00	6.97	—	合格	Nat. UO ₂ (中空)
			2	9.80	16.05	12.59	94.85	"	5.9% EUO ₂
			3	9.81	16.07	12.60	94.67	"	"
			4	9.80	15.98	12.51	94.72	"	"
			5	9.80	16.00	12.58	95.14	"	"
			6	9.80	16.05	12.58	94.81	"	"
			7	9.80	9.91	7.05	—	"	Nat. UO ₂ (中空)
IT-1	M-3	80.35	1	9.68	10.09	6.96	—	合格	Nat. UO ₂ (中空)
			2	9.70	16.18	12.43	94.88	"	5.9% EUO ₂
			3	9.70	16.11	12.34	94.60	"	"
			4	9.69	16.15	12.37	94.77	"	"
			5	9.69	16.02	12.26	94.66	"	"
			6	9.70	15.89	12.15	94.38	"	"
			7	9.80	10.07	7.07	—	"	Nat. UO ₂ (中空)

(2) 燃料組成化学分析測定

測定結果を表-9に示す。

表-9 分析値結果

項目	単位	結果
ガス	$\mu\text{L/g}$	17(1700°C・30分)
水分	$\mu\text{L/g}$	< 20
O/U		2.003
不純物元素		
C	ppm	15
Cl	ppm	< 5
F	ppm	< 1
Mg	ppm	< 2
N	ppm	< 4

(3) 金相

金相写真を写真-1に示す。

4-3 被覆管及びその他の部品

1) 被覆管

(1) 外観・寸法・重量測定

測定結果を表-10に示す。

表-10 外観・寸法・重量測定結果

カプセル 名称	ピン名称	外観	重量 (g)	寸法			
				全長 (mm)	外径 (mm)	内径 (mm)	肉厚 (mm)
IT-1	M-1	合格	26.79	144.0	11.40	10.00	0.70
IT-2	M-3	"	26.78	"	"	"	"

(2) 素材組成

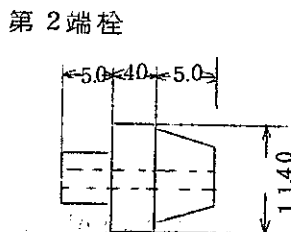
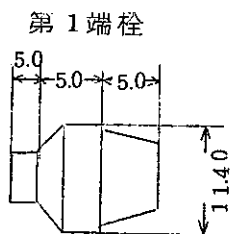
ミルシートを図-13に示す。

(3) 欠陥検査

合格

2) 端栓材

(1) 外観・寸法



製作：動燃工作室

溶接：動燃検査果

製作：中島製作所

溶接：原研工作室

(電子ビーム溶接)

(2) 素材組成

ミルシートを図-14に示す。

4-4 燃料棒検査

(1) 外観・寸法・重量測定

測定結果を表-11に示す。

表-11 外観・寸法・重量測定

カプセル名称	ピン名称	全長 (mm)	全重量 (g)	外観
IT-1	M-1	163.6	121.6	合格
IT-2	M-3	163.6	120.4	"

4-5 スプリング

(1) 寸法・重量測定

測定結果を表-12に示す。

表-12 寸法・重量測定結果

ピン名称	全長 (mm)	線径 (mm)	コイル径 (mm)	有効巻数	重量 (g)
M-1	32	1	9.7	6	2.18
M-3	"	"	"	"	2.10

(2) 材質

インコネル X

(3) バネ物性値

※ バネ定数

$$= Gd^4 / 64nr^3 = \frac{7.7 \times 10^8 \times 1^4}{64 \times 6 \times 4.35^3} = 0.2436 \text{ Kg/mm}$$

G = 横弾性係数
 d = 素線直径
 r = コイル平均半径
 n = コイルバネの有効巻数

※ バネ指数

$$= D/d = \frac{4.35}{1} = 4.35$$

D = コイル平均
 d = 材料線径

4-6 デスク検査

(1) 材 質

SUS 32 (端栓材より切出し)

(2) 寸法・重量測定

測定結果を表-13に示す。

表-13 寸法・重量測定結果

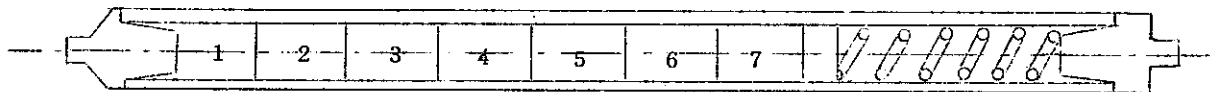
ピン名称	肉 厚 (mm)	直 径 (mm)	重 量 (g)
M-1	2.04	9.79	1.19
M-3	2.03	9.79	1.20

4-7 燃料ピン内ペレット配列順

(1) M-1 ピン

図-15に示す。

図-15 M-1ピンペレット配列順

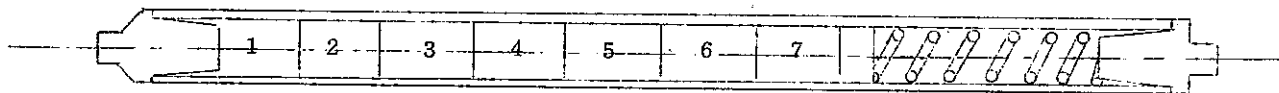


	1	2	3	4	5	6	7	デ ス ク	スプリング	備 考
直径(mm)	980	981	981	980	980	980	980		全 長: 32mm 線 径: 1mm	1,7は中空
長さ(mm)	10.00	16.05	16.07	15.98	16.00	16.05	9.91		コイル径: 9.7mm 有効巻数: 6	ペレット(イ ンシュレータ)
重量(g)	6.97	12.59	12.60	12.51	12.58	12.58	7.05		重 量: 2.18g	

(2) M-3 ピン

図-16に示す。

図-16 M-3ピンペレット配列順



	1	2	3	4	5	6	7	デ ス ク	スプリング	備 考
直径(mm)	9.68	9.70	9.70	9.69	9.69	9.70	9.80		全 長: 32mm 線 径: 1mm	1,7は中空
長さ(mm)	10.09	16.18	16.11	16.15	16.15	15.89	10.07		コイル径: 9.7mm 有効巻数: 6	ペレット(イ ンシュレータ)
重量(g)	6.96	12.43	12.34	12.37	12.26	12.15	7.07		重 量: 2.10g	

NORTH CHOFU PLANT
 2. MINATOMACHI CHOFU, SHIMONOSEKI
 YAMAGUCHI-PREF, JAPAN
 HEAD OFFICE
 36-1, 1-CHOME WAKINOHAMACHO, FUKIAIKU, KOBE

CABLE ADDRESS № S-70-21
 KOBE STEEL KOBE DATE 70-6-17

CUSTOMER 日本原子力研究所	KIND OF MATERIAL S stainless S steel Seamless Tubes, Box for Nuclear Reactor
----------------------	---

CUST. SPEC	GRADE AISI 316	CONDITION 10%冷間加工材	SHIPPING DATE 70-6-15
------------	-------------------	-----------------------	--------------------------

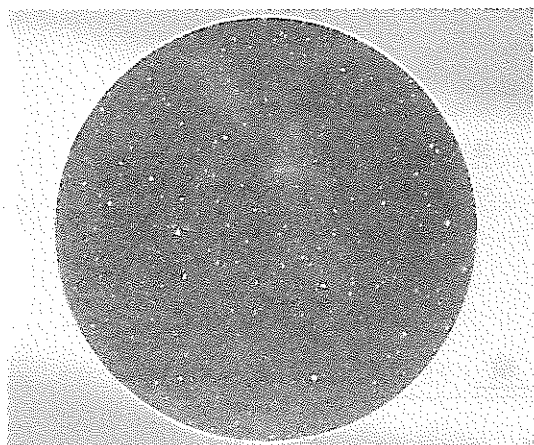
Manufacture №	Charg №	Lot №	Size	Pieces	Weight kg	Remarks
	GB4024	1	1 0.0 ID x 0.7 t x 1,0 0 0 L	10	1.86	

CHEMICAL ANALYSIS				MECHANICAL PROPERTIES			
	Spec	トリベ	チエッタ	Lot Position	Spec	(1)	(2)
C %	0.055 0.065	0.060	0.059	Tensile Temp R.T.			
Si	0.5 0.7	0.75	0.71	UTS Kg/mm ²	≥66	70.5	71.2
Mn	1.5- 1.7	1.73	1.79	YS 0.2% offset Kg/mm ²	≥45	51.9	51.9
P	≤0.03	0.028	0.025	Elongation % in	≥25	40	39
S	≤0.03	0.018	0.021				
Ni	1.30- 14.0	13.22	13.19	Flare %OD Expansion			
Cr	16.0- 17.0	16.98	17.06	Flatten % of OD		3.2	2.5
Co	-		0.23	Burst Kg/at	≥737	試	中
Mo	2.00- 3.00	2.52	2.39				
Cu		0.17	0.18	Grain Size ASTM №	6-9	67.5	67.5
B	≤0.004		0.001				
N	≤0.027		0.024	Surface Roughness (内)	≤6S	0.8	0.7
				(外)	≤6S	1.5	1.5
				Surface Appearance			

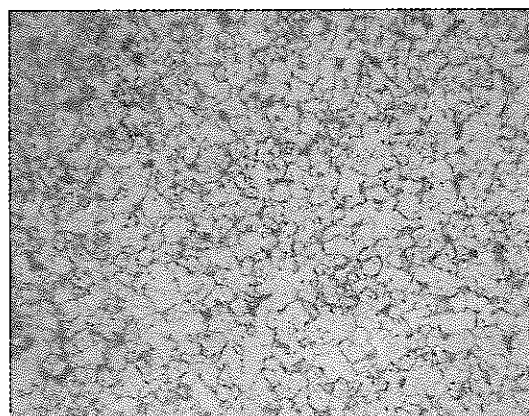
SUPPLEMENTAL INFORMATION 1. Sn, Ti, Nb, V, O, As 分析中 2. Tensile Temp, 650°C Spec. (1) U. T. S. ≥35Kg/mm ² 462 Y. S. ≥10Kg/mm ² 40.1 E. ≥10% 22.7	CORROSION TESTS			
	hourly		°C	
	Lot Position		Kg/od Rou №	
	Gain mg/dm ²			
	Appearance			
	Intercrystalline Corrosion			
	NON DESTRUCTIVE TEST			
	Ultrasonic ≤0.070mm		全数合格	
	Hydrostatic Kg/cm ²			
	表面状況		全数合格	
REMARKS 一部のSpec.については協議の上変更御承認済				

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

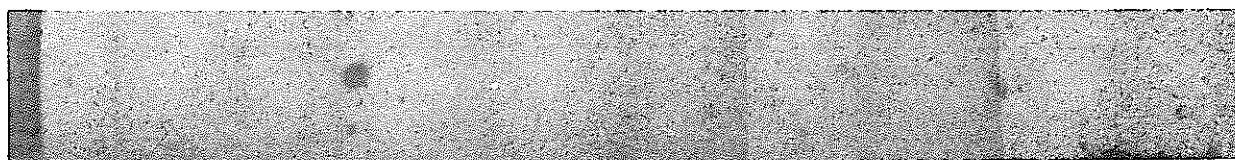
KOBE STEEL LTD
 NORTH CHOFU PLANT



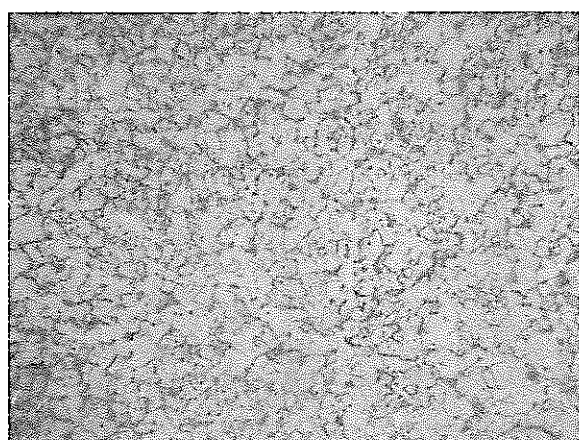
2 mm



[中心部] ↑

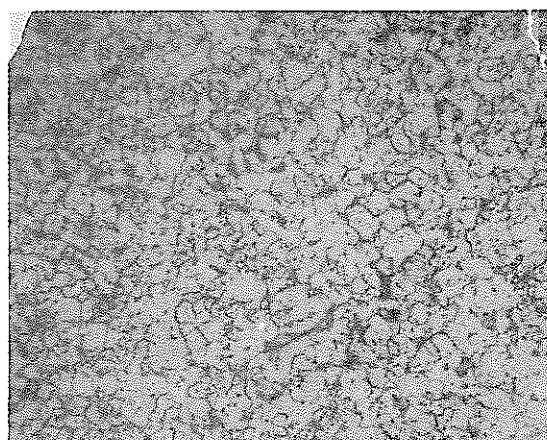


200 μ



[外周部]

20 μ



[中間部]

写真-1 金相写真

5. カプセル部材及び加工

5-1 計測用部材

(1) 熱電対

IT-1, IT-2カプセルに使用した熱電対数は、各々5本(1.0mmφ-4本, 1.6mmφ-1本)である。熱電対は、後記のような仕様で発注し、スリーブ部と補償導線の接続は、カプセル完成後、原研工作において、経験のある業者に依頼し行なう。熱電対の絶縁抵抗は、10MΩ以上でなければならない。熱電対を切断した場合切断部のシールをすること。シールを施ないと、絶縁抵抗は、2~3MΩ以下になってしまう。

(2) 補償導線

補償導線は、カプセルより記録計までの距離が長い為、素線と同質のものを使用すると良い。IT-1, IT-2及びJRR-2での照射カプセルは、全て熱電対素線と同質の補償導線を用いている。

(3) 熱電対加工

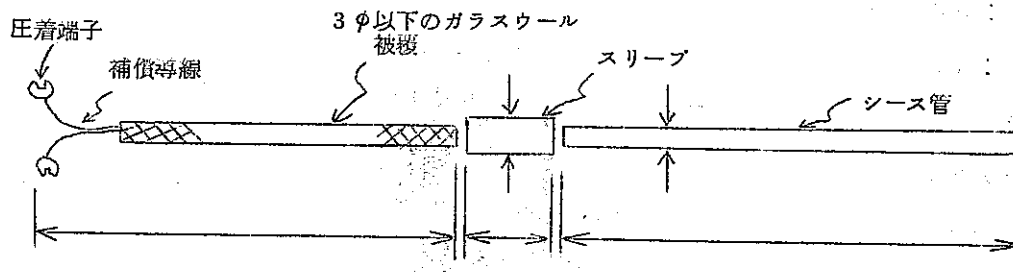
照射カプセル用熱電対の加工は、原研工作室と助川電機の協力で、現在行なわれている。(カプセルと熱電対との溶接特許は、原研が取得している。)

(注) 今回の熱電対の検査表には、5MΩ以上となっているが、全品10MΩ以上であるので、次回より仕様を10MΩ以上の基準に変更する。

(4) 熱電対のカプセルへの組込み

今回のようにNakを用いる場合特に注意すべき点は、熱電対先端部の位置をしっかりと固定しておかないと、記録計の振れや、後の計算に誤差を生じる。

(5) 照射カプセル用熱電対仕様



1. 素線
2. シース管外径：1.0mmφ, 1.6mmφ
3. シース管材質：SUS
4. 熱接点の種類：非接地型

5. 冷接点側の形状：T-35
6. 温度測定範囲：0～℃
7. 絶縁物：MgO。（純度99.1%以上）
8. スリーブ端部で、三つに分割し納品すること。但し切断端部には、ストレージシールを施し、ビニールチューブを被せ、ビニールテープを巻いて防湿処理を行なうこと。
9. 下記の検査，試験を行ない，その成績書を各2部提出すること。

1) 絶縁低抗試験

5 MΩ以上（10 MΩ以上に変更。）

2) 導通試験

3) 起電力検査

a I S A規格通りのこと。

b ～℃までの較正表を提出すること。

4) X線透過写真検査

5) Heリーク試験

a 許容リーク量…… 1×10^{-6} atm cc/sec

b 本試験は原研工作室で行なう。

6) シース管のタイチェック試験

10. 納期

(6) 検査成績書

図-17, 18, 19に示す。

(7) フラックスモニターワイヤー

IT-1, IT-2カプセルに使用した数は、各々3本である。ワイヤーは、原研より借用したものである。

材質：0.66%Co-Al

長さ：150mm/本

フラックスモニターワイヤーを使用する場合は、照射後試験施設の測定条件を知っておかなければならない。ここでは、原研ホットラボの例を記載する。作業上、最大線量（フラックスモニターワイヤー1本分）は、線源より1cm離れたところで100mR/hr以下とする。最低線量は、表面線量で10mR/hr以上であれば測定可能である。フラックスモニターワイヤーは、不純物の少ないものを使用すること。線量計算方法及び結果は後に記載する。計算方法は、フラックスモニターワイヤーを点線源とし計算した。実際作業する時には、計算結果より低くなる。

(8) フラックスモニターワイヤーのカプセル組立て



動力炉核燃料開発事業団
東海事業所 御中

試験成績書

No. 46 / 1

昭和47年7月29日

助川電気工業株式会社

品名	Nimbloxシース形熱電対		種類	C.A.S.-D	規格	ASA:ST'D, SPL JIS: 0.75級	
シース外径	1.0%	シース材質	AISI,SUS 316		熱接点	非接地型	
注 冊	641050		員 数	12 (24本中)			
室 温	16 °C			検 査			
湿 度	73.0%						

区分 内容 基準熱起電力値 製品番号	熱 起 電 力				計器番号	長 サ L %	絶縁抵抗 大地間 >5 MΩ	導体抵抗 往復線 Ω
	100°C	200°C	300°C	400°C 500°C				
	9.10 mv	8.13 mv	12.21 mv	16.42 / 20.69 mv				
A	9.10	8.14	12.22	16.42 / 20.69				
A JJ666					2000	78	68.75	
A JJ667					"	"	69.25	
A JJ668					"	"	69.01	
A JJ669					"	"	69.81	
A JJ670					"	"	68.90	
A JJ671					"	"	68.41	
A JJ672					"	"	69.31	
A JJ673					"	"	69.10	
A JJ674					"	"	69.00	
A JJ675					"	"	69.90	
A JJ676					"	"	69.00	
A JJ677					"	"	68.60	
A			以下 本 身					
A								

備考

熱起電力値はロット毎にこの試験値

手配#

16523

図-17 熱電対試験成績表

試験成績書

No. 2 ⁴⁷

電力炉核燃料用材料
東海事業所 御中

昭和47年2月29日
助川電気工業株式会社

品名	Nimbloxシース形熱電対	種類	CAS-D	規格	ASA:ST'D, SPL HS: 0.75級
シース外径	1.6 mm	シース材質	AISI, SUS 316	熱接点	非接地型
注 号	641050		員 数	12 (24本中)	
室 温	16 °C		検 査		
湿 度	23 %				

区分 内容 基準熱起電力値 製品番号	熱 起 電 力				計器番号	長 サ	絶縁抵抗	導体抵抗
	100 °C	200 °C	300 °C	370 °C		L %	大地間	往復線
	4.10	8.20	12.30	16.40			>5 MΩ	Ω
A	4.11	8.14	12.23	16.40				
A 33678						2000	良	28.85
A 33679						"	"	28.84
A 33680						"	"	28.90
A 33681						"	"	28.92
A 33682						"	"	28.60
A 33683						"	"	28.74
A 33684						"	"	28.99
A 33685						"	"	28.93
A 33686						"	"	28.87
A 33687						"	"	28.91
A 33688						"	"	28.90
A 33689						"	"	28.84
A								以下 空白
A								

備考
 上記熱起電力値はコソトエにての試験です
 手配# 16523

図-18 熱電対試験成績表

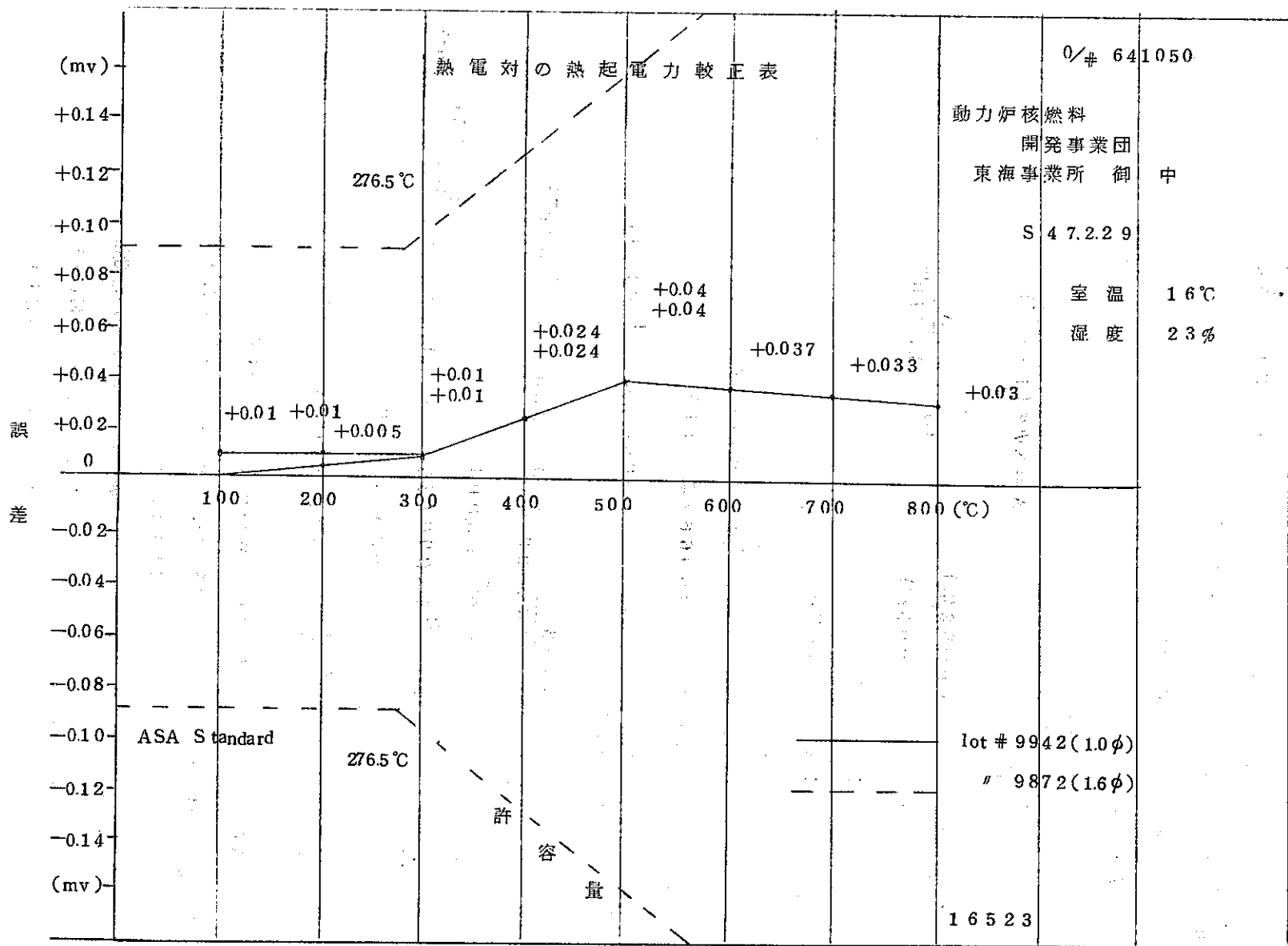


図-19 熱電対の熱起電力較正表

フラックスモニターワイヤーを組込む時に、カプセルの上・下の区別を明確にしておくこと。IT-1, IT-2カプセルの場合は図-20のように組込んである。

フラックスモニターワイヤーのミルシートを図-21に示す。

(9) フラックスモニターワイヤー線量計算

N : Number Density

ϕ : flux ($\times 10^{18}$)

σ : Cross Section

$$\lambda t = \frac{0.693}{T} \times t$$

$$A = N\phi\sigma(1 - e^{-\lambda t})$$

T : 半減期 (Co-5.2年)

t : 照射時間 (300 hr)

$$Ci = \frac{A}{3.7 \times 10^{10}}$$

線径 : 0.76 mm ϕ

材質 : Al-0.66% Co

長さ : 150 mm

Number Density 計算 (Al-0.66 w/o Co)

$$27 \times 0.9934 + 59 \times 0.0066 = 27.2112$$

$$N = \frac{1}{27.2112} \times 6.023 \times 10^{23} \times 0.0066 = 0.001461 \times 10^{23}$$

$$\lambda t = \frac{0.693}{5.2 \times 365 \times 24 \times 3600} \times 300 \times 3600 = 0.457 \times 10^{-2}$$

$$1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-0.457 \times 10^{-2}} = 0.00456$$

$$\therefore A = N\phi\sigma(1 - e^{-\lambda t}) = 0.001461 \times 10^{23} \times 10^{18} \times 38 \times 10^{-24} \times 4.56 \times 10^{-8} \\ = 0.25316 \times 10^9$$

$$\ast Ci = \frac{2.5316 \times 10^8}{3.7 \times 10^{10}} = 0.6842 \times 10^{-2} \text{ (Ci/cm)}$$

Al-0.66% Co Monitor Wire 1本分でのCi数は

$$Ci = 0.6842 \times 10^{-2} \times 6.94 \times 10^{-2} = 4.748 \times 10^{-4} \text{ (Ci)} \\ = 0.4748 \text{ (mci)}$$

4.748×10^{-4} (Ci) の線源より 1 cm 離れたところの r 線量は

$$r = \frac{0.55 \cdot E \cdot C}{R^2}$$

$$\left[\begin{array}{l} E : \text{エネルギー (MeV)} \\ C : \text{チェーリー数 (Ci)} \\ R : \text{距離 (m)} \end{array} \right]$$

$$r = \frac{0.55 \times 2.5 \times 4.748 \times 10^{-4}}{(1 \times 10^{-2})^2} \div 6.6 \text{ mR/hr}$$

照射後試料の冷却期間を3ヶ月にすると、 $A=N\phi\sigma(1-e^{-\lambda t})e^{-\lambda t'}$ の式を用いて、
 (t' = 冷却時間)

$$A = 0.001461 \times 2.3^8 \times 10^{18} \times 38 \times 10^{-24} \times 4.37 \times 10^{-3} \\ = 0.24261 \times 10^9$$

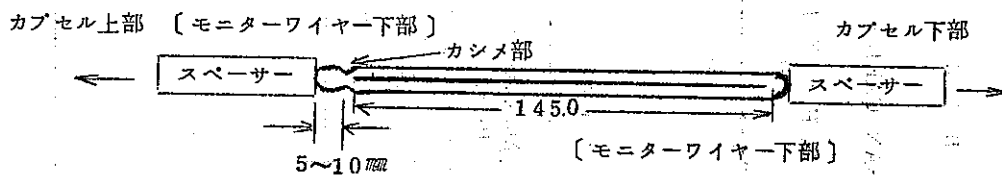
$$Ci = \frac{0.24261 \times 10^9}{3.7 \times 10^{10}} = 0.6557 \times 10^{-2} \text{ (Ci/cm)}$$

Monitor Wire 1本分での Ci 数は

$$0.6557 \times 10^{-2} \times 6.94 \times 10^{-2} = 4.551 \times 10^{-4} \text{ (Ci)}$$

4.551×10^{-4} (Ci) の線源より 1cm 離れたところの r 線量は

$$r = \frac{0.55 \times 2.5 \times 4.551 \times 10^{-4}}{(1 \times 10^{-2})^2} \div 6.3 \text{ mR/hr}$$



(※ モニターワイヤーはカシメないこと。)

図-20 モニターリングのワイヤーの上下識別図

5-2 カプセル用部材

検査結果を図-22~図-41に示す。

組立完成写真は、写真2、に示す。X線透過写真は、写真3、4に示す。

カプセル図面は、図-42に示す。

REACTOR EXPERIMENTS INC.

R/EX

963 TERMINAL WAY SAN CARLOS, CALIFORNIA 94070

MATERIAL DATA SHEET

Material: 0.66% Cobalt-Aluminum Thickness: ----- Purity: 99.918%

Catalog #: 604-C
 Length: 7.5m (25 feet)

CHEMICAL ANALYSIS

Impurity	Maximum Percent	Impurity	Maximum Percent	Impurity	Maximum Percent	Impurity	Maximum Percent
Mg	0.001						
Si	0.03						
V	0.001						
Cr	0.001						
Mn	0.002						
Fe	0.04						
Ni	0.005						
Cu	0.002						

☒-21 モニタリングワイヤーミルシート

No. 1		製品検査成績表								工作課 検査係		文 47.925 司			
作番	RM-5271	仕様													
図番	MB-2318-1														
品名	IT-1キャプセル														
数量	1														
検査の種類		外観・寸法・真直度検査・重量測定													
		1	2	3	4	5	6	7	$D_1 \phi$	$D_2 \phi$	L_1	L_2			
基準					$33.8\phi^{+0}_{-0.1}$				19ϕ	$18\phi^{+0.05}_{-0}$	669	1,468			
X	33.78	33.74	33.77	33.80	33.77	33.74	33.79	18.96	18.03	669.0	1,484				
Y	33.79	33.80	33.76	33.76	33.77	33.79	33.79	18.96	18.03						
	外観	真直度	重量										熱電対試験		
基準	W25S	1/1,500	- gr										T/C #	絶縁抵抗	導通試験
	良	0.18	859.8										1	0.1 $\mu\Omega$	72 Ω
													2	2.0 "	70 "
													3	0.1 "	74 "
													4	12 "	75 "
													5	0.2 "	28 "
判定	合格	記事													

図-22 製品検査成績表

昭和 年 月 日													
工作課 検査係													
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;"> 文 47.925 司 </div>													
No	2												
作番	RM-5271												
図番	MB-2318-1												
数量	1												
品名	IT-1 キップセル												
仕様	1. 試験機器 質量分析型リークデクター 2. 検出感度 $3.1 \times 10^{-10} \text{atrn cc/Sec}$ 3. 試験方法 真空法 基準リーク量 $1 \times 10^{-6} \text{atrn cc/Sec}$												
検査の種類	Heリーク試験												
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">メータの振れ</th> <th style="width: 25%;">B.G</th> <th style="width: 25%;">スタンダードリークの振れ</th> <th style="width: 25%;">検出リーク量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">10×10</td> <td style="text-align: center;">$3.1 \times 10^{-10} \text{atrn cc/Sec}$</td> </tr> <tr> <td colspan="4">スタンダードリーク量 $3.1 \times 10^{-8} \text{atrn cc/Sec}$</td> </tr> </tbody> </table>	メータの振れ	B.G	スタンダードリークの振れ	検出リーク量	0	0	10×10	$3.1 \times 10^{-10} \text{atrn cc/Sec}$	スタンダードリーク量 $3.1 \times 10^{-8} \text{atrn cc/Sec}$			
メータの振れ	B.G	スタンダードリークの振れ	検出リーク量										
0	0	10×10	$3.1 \times 10^{-10} \text{atrn cc/Sec}$										
スタンダードリーク量 $3.1 \times 10^{-8} \text{atrn cc/Sec}$													
判定	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">合格</td> <td style="width: 80%;">記</td> </tr> <tr> <td></td> <td>事</td> </tr> </table>	合格	記		事								
合格	記												
	事												

SN841-73-01

文
47.925
司

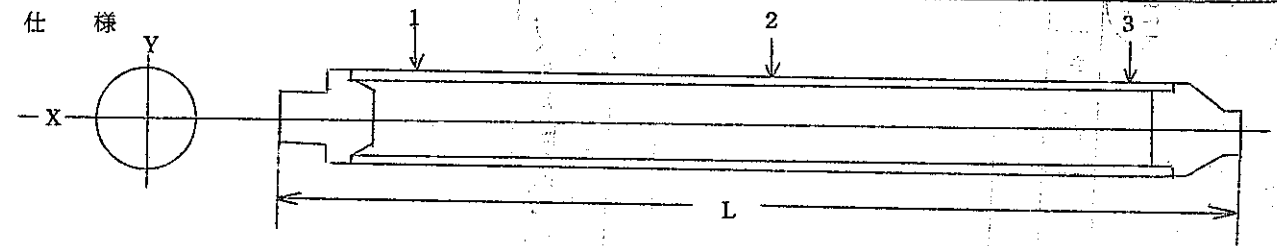
製品検査成績表

工作課 検査係

№ 3

作番 RM-5271
 図番 #23 MD-6152-1
 品名 燃料ピン(完成)
 (№ 1)
 数量 1

仕様

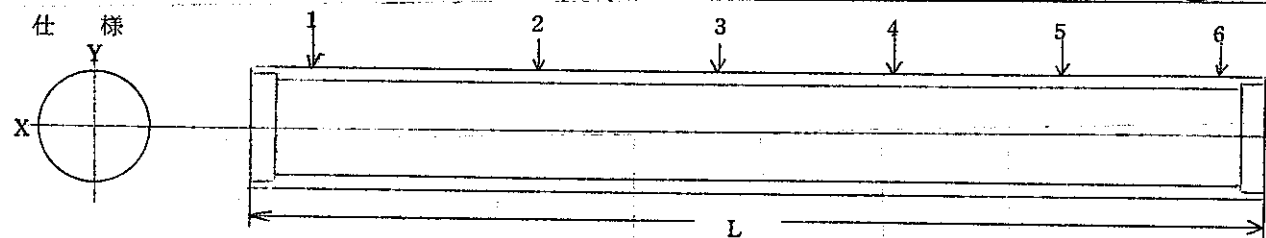


検査の種類	外観・寸法・真直度検査・重量測定										
	1	2	3	L	外観	真直度	重量				
		12.2φ		163	—	1/1500	— gr				
X	11.40	11.40	11.39	163.6	良	001	12.16				
Y	11.39	11.39	11.39								

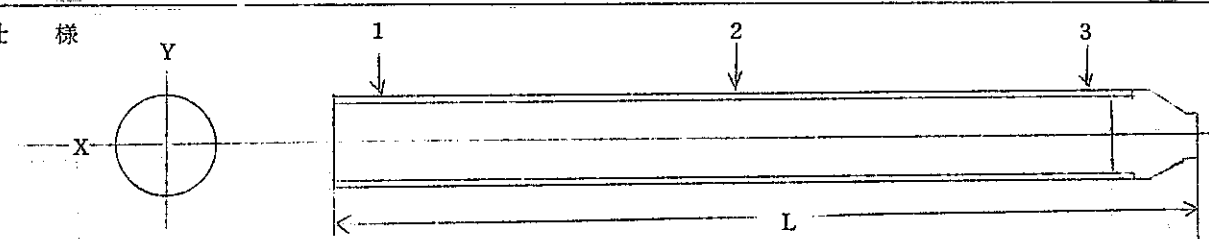
判定	合格	記事	
----	----	----	--

No. <u>4</u>		製品検査成績表		昭和 年 月 日
				工作課 検査係
				文 47.925 司
作 番	RM-5271	図 番		数 量
				1
品 名	燃料ピン (IT-1)			
仕 様	<p>1. 試験機器 質量分析型リークデテクター</p> <p>2. 検出感度 3.1×10^{-8} atn cc/Sec</p> <p>3. 試験方法 真空ベルジャ法</p> <p style="text-align: center;">基準リーク 1×10^{-8} atn cc/Sec</p>			
検査の種類	Heリーク試験			
	メータの振れ	B. G	スタンダード リークの振れ	検出リーク量
	0	0	10×10	3.1×10^{-10} atn cc/Sec
	スタンダードリーク量 3.1×10^{-8} atn cc/Sec			
判 定	合 格	記 事		

文
47.9.25
司

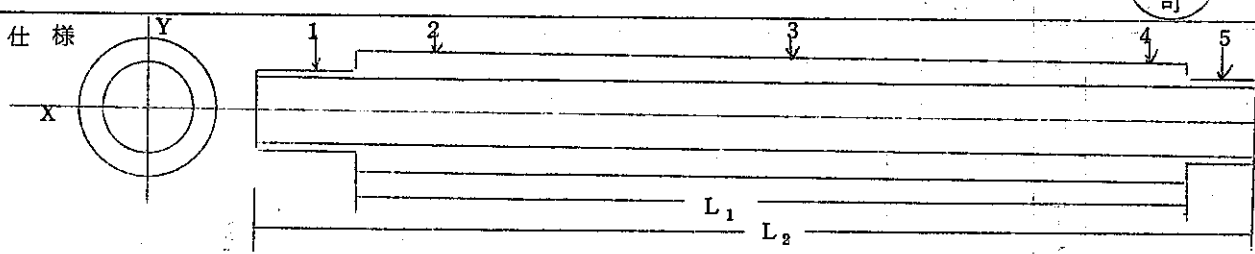
No 5		製品検査成績表						工作課 検査係					
作番	RM-5271	仕様 											
図番	#25 MD-6153-1												
品名	外筒 (No 1)												
数量													
検査の種類		外観・寸法・真直度検査・重量測定											
		1	2	3	4	5	6	L	外観	真直度	重量	肉	厚
基準			外径=33.8φ ⁺⁰ _{-0.1}	内径=31φ			587	W25S	1/1,500	- gr	1側	6側	
外径	X	33.78	33.75	33.77	33.80	33.77	33.77	587.3	良	0.10	680.7	X 1.43	1.44
	Y	33.77	33.80	33.76	33.76	33.77	33.76					X' 1.48	1.47
内径	X	30.87	30.85	30.86	30.88	30.87	30.87					Y 1.48	1.46
	Y	30.87	30.89	30.87	30.86	30.87	30.87					Y' 1.43	1.45
判定	合格	記事											

SN841-73-01

No. 6		製品検査成績表						工作課 検査係		<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px; display: inline-block;"> 文 47.925 司 </div>			
作番	RM-5271	仕様 											
図番	#23 MD-6152-1												
品名	燃料ピン (No. 1)												
数量	1												
検査の種類		外観・寸法・真直度検査・重量測定											
		外 径			内 径			L	外 観	真直度	重 量		
		1	2	3	1	2	3						
基準			172φ			-		154	-	1/1,500	- gr		
X		11.39	11.39	11.38	10.00	10.00		153.9	良	0.01	34.3		
Y		11.39	11.39	11.39	10.00	10.00							
判 定	合 格	記 事											

-46-

図 - 27

No. 7		製品検査成績表					工作課 検査係					文 47.9.25 司	
作番	RM-5271	仕様 											
図番	#22 MD-6151-1												
品名	熱媒体 (No. 1)												
数量	1												
検査の基準		外観・寸法・真直度検査・重量測定											
		外 径					内 径					L ₁	L ₂
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
基準		18φ	30.69φ~3.075φ			18φ			16φ			197	230
X		18.04	30.71	30.71	30.72	17.99	16.03		16.01		16.02	197.0	230.0
Y		18.02	30.71	30.71	30.72	17.99	16.03		16.01		16.02		
	外 観	真直度	重 量	肉 厚									
基準	W25S	1/1,500	- gr	1 側	5 側								
X	良	0.01	331.6	X 1.01 X' 1.00	1.00 0.99								
Y				Y 1.00 Y' 1.00	1.00 1.00								
判 定	合 格	記 事											

—47—

図 - 28

№ 8

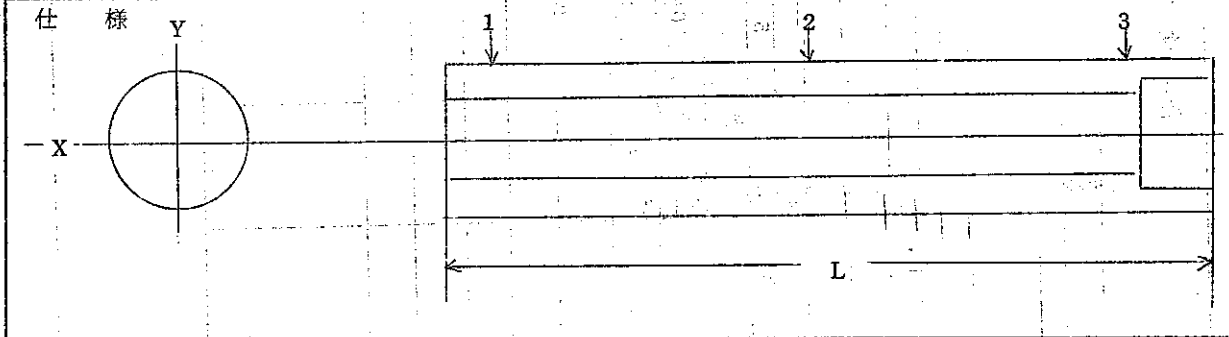
製品検査成績表

工作課 検査係

支
47.925
司

作 番	RM-5271	図 番	#6 ME-16872-1	数 量	1
-----	---------	-----	---------------	-----	---

品 名	スペーサー (No. 1)
-----	---------------



検査の種類	外 観 ・ 寸 法 ・ 真 直 度 検 査 ・ 重 量 測 定						
	外 径			内 径			L
	1	2	3	1	2	3	
基準		30.5φ			1.4φ		113
X	30.49	30.49	30.49	14.02	14.03	14.03	112.9
Y	30.49	30.49	30.49	14.02	14.03	14.02	

	肉 厚		外 観	真 直 度	重 量
	1 側	3 側			
	基準				
X	8.24	8.24	良	0.01	162.6
Y	8.23	8.23			
X	8.24	8.24			
Y	8.24	8.24			

判 定	合 格	記 事	
-----	-----	-----	--

昭和 年 月 日

№ 9

製品検査成績表

工作課 検査係

文
47925
司

作 番	RM-5271	図 番	#12 ME-16878-1	数 量	1		
品 名	スペーサー (№ 1)						
仕 様							
検査の種類	外観・寸法・真直度検査・重量測定						
	1	2	3	L	外 観	真直度	重 量
基準		30.5φ		178	W25S	1/1,500	- gr
№ 1 X	30.52	30.51	30.51	1780			
Y	30.52	30.51	30.51				
判 定	合 格		記 事				

昭和 年 月 日
 工作課 検査係

№ 10

製品検査成績表

文
47.9.25
司

作番	RM-5271	図番		数量	
品名	IT-1				
仕様	部品関係				
検査の種類	外観・寸法検査・重量測定				
品名	図番	数量	外観	寸法	重量 gr
スペーサブロック	ME-16867-1	1	良	良	151.9
下部端栓	"-16869-1	1	"	"	36.1
端栓	"-16873-1	1	"	"	10.4
スペーサ	"-16874-1	1	"	"	6.0
端栓	"-16875-1	1	"	"	6.6
スペーサ	"-16876-1	1	"	"	7.7
"	"-16877-1	1	"	"	25.1
"	"-16879-1	1	"	"	27.0
端栓	"-16880-1	1	"	"	38.6
パイプ	"-16881-1	1	"	"	167.2
スペーサ	"-16882-1	1	"	"	2.6
スプリング	"-16883-1	1	"	"	33.5
"	"-16884-1	1	"	"	17.6
スエージロック	"-16885-1	1	"	"	225.8
"	"-16886-1	1	"	"	105.0
ワイヤー #1	"-16234-1	3	"	"	各 0.1
#2	"	3	"	"	" 0.3
判定	合格	記事			

SN841-73-01

文
47.10.25
司

No. 1		製品検査成績表						工作課 検査係					
作番	RM-5272	仕様											
図番	MB-2318-1												
品名	IT-2 キャプセル												
数量	1												
検査の種類		外観・寸法・真直度検査・重量測定											
		1	2	3	4	5	6	7	$D_1 \phi$	$D_2 \phi$	L_1	L_2	
基準					$338 \begin{smallmatrix} +0 \\ -0.1 \end{smallmatrix}$				19ϕ	$18\phi \begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0 \end{smallmatrix}$	669	145.0	
X	3376	3376	3378	3382	3375	3376	3378	1895	18.03	668.4	1,451.5		
Y	3377	3379	3376	3378	3378	3378	3378	1895	18.03				
	外観	真直度	重量								熱電対試験		
基準	W25S	1/1,500	- gr								T/C #	絶縁抵抗	導通試験
	良	0.1	2,773.0								1	1.8 MΩ	90 ℓ
											2	0.5 "	"
											3	0.2 "	"
											4	0.3 "	"
											5	0.9 "	37 Ω
判定	合格	記事											

図 - 32

- 51 -

昭和 年 月 日

№ 2

製品検査成績表

工作課 検査係

文
471025
司

作 番	RM-5271	図 番	MB-2318-1	数 量	1
品 名	IT-2 キャプセル				
仕 様	<p>1. 試験機器 質量分析型リークデテクター</p> <p>2. 検出感度 3.1×10^{-10} atrn cc/Sec</p> <p>3. 試験方法 真空法</p> <p>基準リーク量 1×10^{-6} atrn cc/Sec</p>				
検査の種類	Heリーク試験				
	メーターの振れ	B. G	スタンダードリークの振れ	検出リーク量	
	0	0	10×10	3.1×10^{-10} atrn cc/Sec	
	スタンダードリーク量 3.1×10^{-8} atrn cc/Sec				
判 定	合 格	記 事			

SN841-73-01

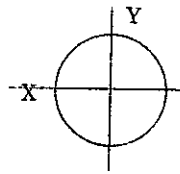
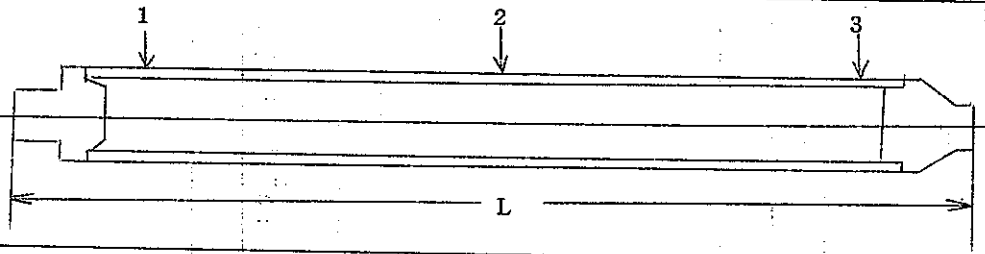
No. 3		製品検査成績表						工作課 検査係		<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; display: inline-block;"> 文 47.10.25 司 </div>				
作番	RM-5271	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> 仕様  </div>  </div>												
図番	#23 MD-6152-1													
品名	燃料ピン(完成) (No. 2)													
数量	1													
検査の種類		外観・寸法・真直度検査・重量測定												
		1	2	3	L	外観	真直度	重量						
基準			122φ		163	-	1/1,500	- gr						
X	11.39	11.39	11.38	163.6	良	0.01	120.4							
Y	11.39	11.39	11.39											
判定	合格	記事												

図 - 34

昭和 年 月 日

№ 4

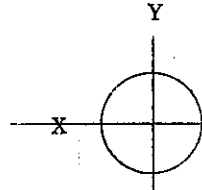
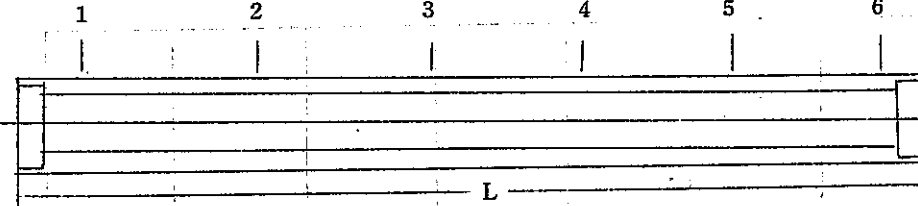
製品検査成績表

工作課 検査係

文
47.10.25
司

作 番	RM-5271	図 番		数 量	1
品 名	燃料ピン (No. 2)				
仕 様	<p>1. 試験機器 質量分析型リークデテクター</p> <p>2. 検出感度 3.1×10^{-10} atn cc/Sec</p> <p>3. 試験方法 真空ベルジャ法</p> <p>基準リーク量 1×10^{-8} atn cc/Sec</p>				
検査の種類	Heリーク試験				
	メーターの振れ	B. G	スタンダードリークの振れ	検出リーク量	
	0	0	10×10	3.1×10^{-10} atn cc/Sec 以下	
	スタンダードリーク量 3.1×10^{-8} atn cc/Sec				
判 定	合 格	記 事			

SN841-73-01

No. 5		製品検査成績表								工作課 検査係		<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; display: inline-block;"> 文 47.10.25 司 </div>	
作番	RM-5271	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 20px;">  </div> <div style="margin-right: 20px;">仕 様</div> <div style="margin-right: 20px;">  </div> </div>											
図番	#25 MD-6153-1												
品名	外筒 (No. 2)												
数量	1												
検査の種類		外觀・寸法・真直度検査・重量測定											
		1	2	3	4	5	6	L	外觀	真直度	重量	肉	厚
No. 基準		外径=33.8 ϕ ⁺⁰ / _{-0.1}		内径=31 ϕ			587	W25S	1/1,500	- gr	1 側	6 側	
— 外 — 徑	X	33.76	33.76	33.76	33.80	33.76	33.77	587.3	良	0.09	680.6	X 1.51	1.47
	Y	33.77	33.79	33.77	33.74	33.78	33.77					X' 1.40	1.43
	Y	33.77	33.79	33.77	33.74	33.78	33.77					Y 1.42	1.45
	Y'											Y' 1.47	1.46
— 内 — 徑	X	30.87	30.87	30.88	30.89	30.86	33.88						
	Y	30.88	30.88	30.89	30.85	30.88	30.87						
判 定	合 格	記 事											

- 55 -

SN841-73-01

No. 6		製品検査成績表						工作課 検査係		<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; display: inline-block;"> 文 47.10.25 司 </div>			
作番	RM-5271	仕様 											
図番	#23 MD-6152-1												
品名	燃料ピン (No. 2)												
数量	1												
検査の種類		外観・寸法・真直度検査・重量測定											
		外 径			内 径			L	外 観	真直度	重 量		
		1	2	3	1	2	3						
			122φ					154		1/1500	— gf		
X		1139	1139	1140	1000	1000		1540	良	0.01	344		
Y		1139	1139	1138	1000	1000							
判定		合格											
記事													

—56—

図 - 37

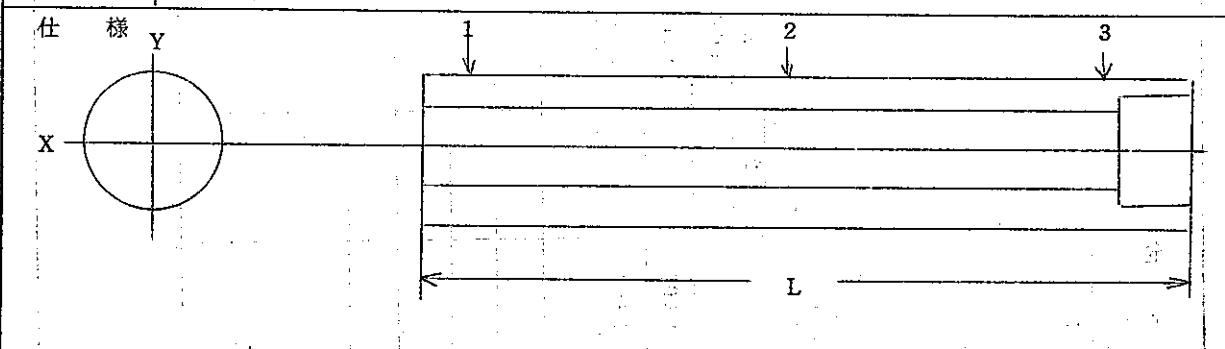
No. 7		製品検査成績表										工作課 検査課		文 47.10.25 司
作番	RM-5271	仕 様 Y X												
図番	#22 MD-6151-1													
品名	熱媒体 (No. 2)													
数量	1													
検査の種類		外観・寸法・真直度検査・重量測定												
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	L ₁	L ₂	
基準	18φ	30.69φ~30.75φ			18φ			16φ				197	230	
X	18.01	30.70	30.70	30.69	18.02	16.02		16.00			16.01	196.9	230.0	
Y	18.02	30.70	30.70	30.69	18.02	16.01		16.00			16.01			
	外観	真直度	重量	肉	厚									
基準	W25S	1/1500	- gr	1側	5側									
X	良	0.01	3314	X 0.96 X' 1.04	0.95 1.05									
Y				Y 0.99 Y' 1.03	0.97 1.04									
判定	合格	記事												

昭和 年 月 日
 工作課 検査係

規 8

文
 47.10.25
 司

作 番	RM-5271	図 番	#6 ME-16872-1	数 量	1
品 名	スペーサー (規 2)				



検査の種類	外 観 ・ 寸 法 ・ 真 直 度 検 査 ・ 重 量 測 定					
	外 径			内 径		
	1	2	3	1	2	3
基準		30.5φ			14φ	113
X	30.51	30.51	30.51	14.03	14.04	14.04
Y	30.50	30.51	30.51	14.03	14.04	14.04
	肉	厚	外 観	真 直 度	重 量	
基準	1 側	3 側	W25S	1/1,500	- gr	
X	8.23	8.23	良	0.01	162.7	
X'	8.24	8.23				
Y	8.25	8.24				
Y'	8.24	8.24				

検査結果の記載欄

判 定	合 格	記 事	
-----	-----	-----	--

№ <u>9</u>		製品検査成績表			昭和 年 月 日 工作課 検査係		
文 47.10.25 司							
作番	RM-5271	図番	#12 ME-16878-1	数量	1		
品名	スペーサー (№ 2)						
仕様							
検査の種類	外観・寸法・真直度検査・重量測定						
	1	2	3	L	外観	真直度	重量
基準		30.5φ		178	W25S	1/1,500	- gr
№ 2 X	30.53	30.51	30.50	178.0	良	0.04	23.73
Y	30.53	30.51	30.49				
判定	合格		記事				

No. 10

製品検査成績表

昭和 年 月 日
 工作課 検査係

文
 47.10.25
 司

作 番	RM-5271			
品 名	IT-2			

仕 様

部 品 関 係

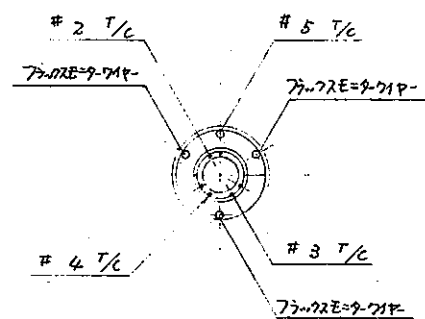
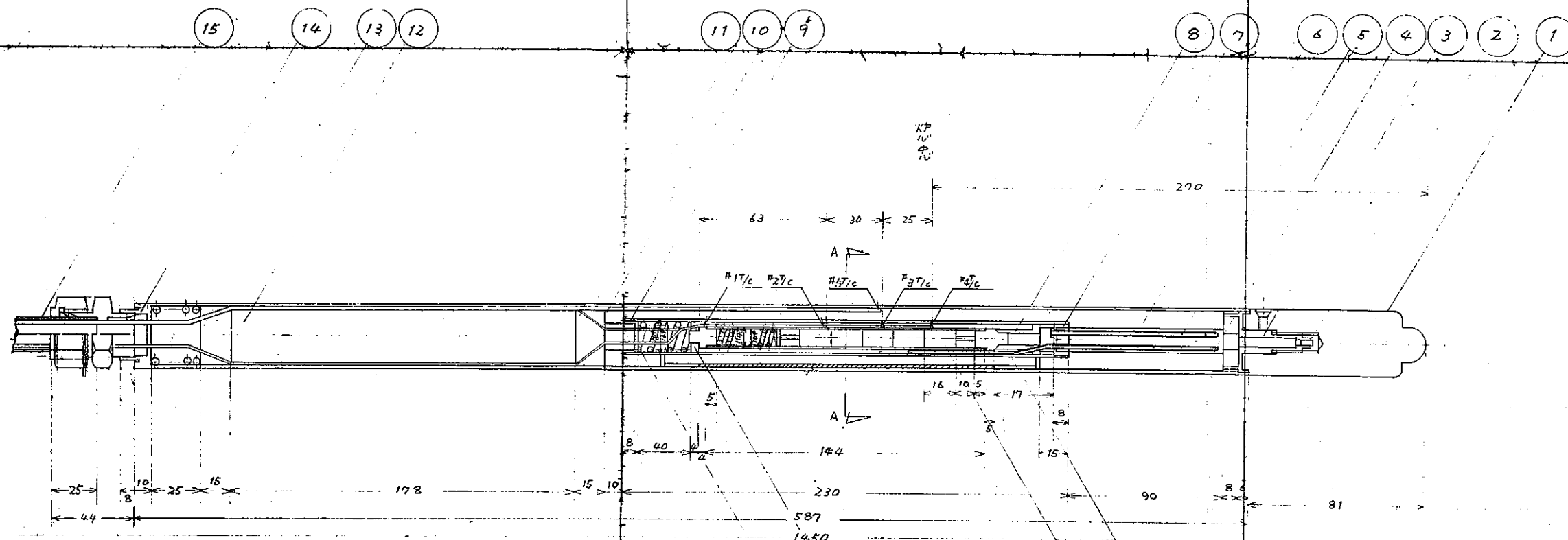
検査の種類

外観・寸法検査・重量測定

品 名	図 番	数 量	外 観	寸 法	重 量 gr
スペーサーブロック	ME-16867-1	1	良	良	151.9
下部端栓	"-16869-1	1	"	"	35.6
端 栓	"-16873-1	1	"	"	10.3
スペーサー	"-16874-1	1	"	"	6.0
端 栓	"-16875-1	1	"	"	6.6
スペーサー	"-16876-1	1	"	"	7.6
"	"-16877-1	1	"	"	25.2
"	"-16879-1	1	"	"	27.0
端 栓	"-16880-1	1	"	"	39.2
バ イ プ	"-16881-1	1	"	"	167.3
スペーサー	"-16882-1	1	"	"	2.6
スプリング	"-16883-1	1	"	"	33.6
"	"-16884-1	1	"	"	17.5
スエージロック	"-16885-1	1	"	"	234.4
"	"-16886-1	1	"	"	104.1
ワイヤー #1	"-16234	3	"	"	各 0.1
" #2	"	3	"	"	" 0.3

判
定

記
事



A-A 断面天視

19 18 17 16

15	熱管体	Al SUS 32	1
14	上部端栓	SUS 32	1
13	スリット	AIB 1	1
12	スリット	AIB 1	1
11	スリット	AIB 1	1
10	スリット	AIB 1	1
9	端栓	SUS 32	1
8	スリット	SUS 32	1
7	端栓	SUS 32	1
6	スリット	AIB 1	1
5	スリット	SUS 27	1
4	スリット	SUS 27	1
3	下部端栓	SUS 27	1
2	スリット	SUS 27	1
1	スリット	AIB 3	1

品番	部品名	材質	数量 (台分)	備考
名 IT-1, IT-2, IT-3		画法 三角 尺度 1/2 ()		
設計 (JRR-2炉運転実験)		製図 然江 67-9-3		
検図		承認		

19	スリット	1:2キル	1
18	スリット	SUS 32	1
17	スリット	5.9% EVO2	1

動力炉・核燃料開発事業団

図番

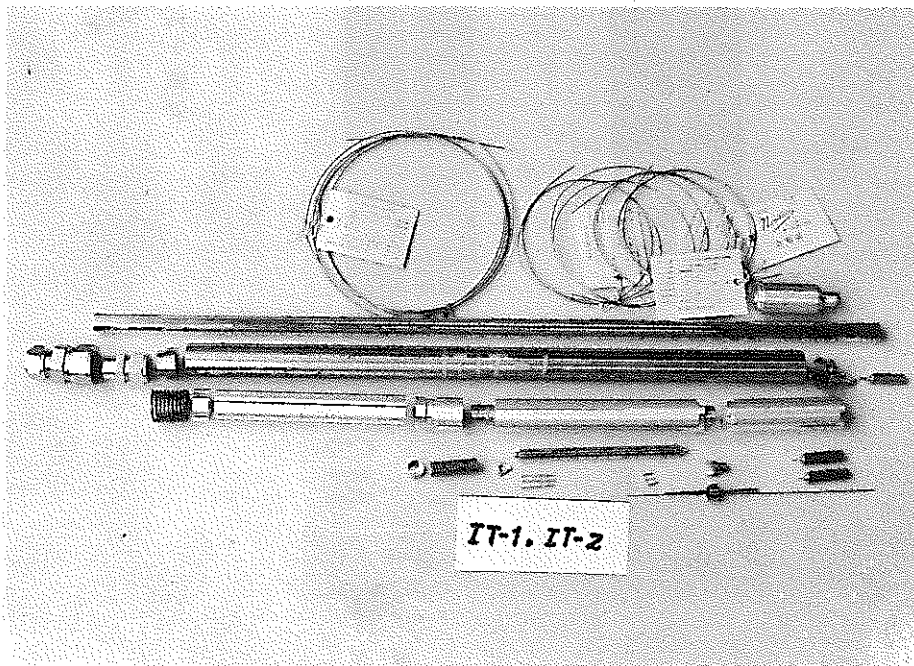
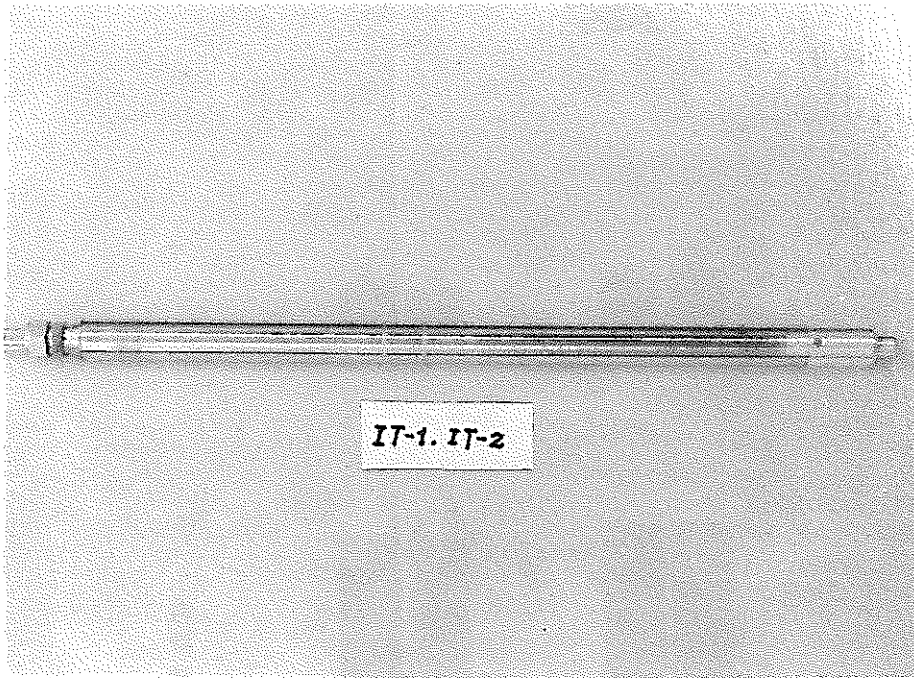


写真-2 外觀写真



写真-3 燃料ピンX線写真

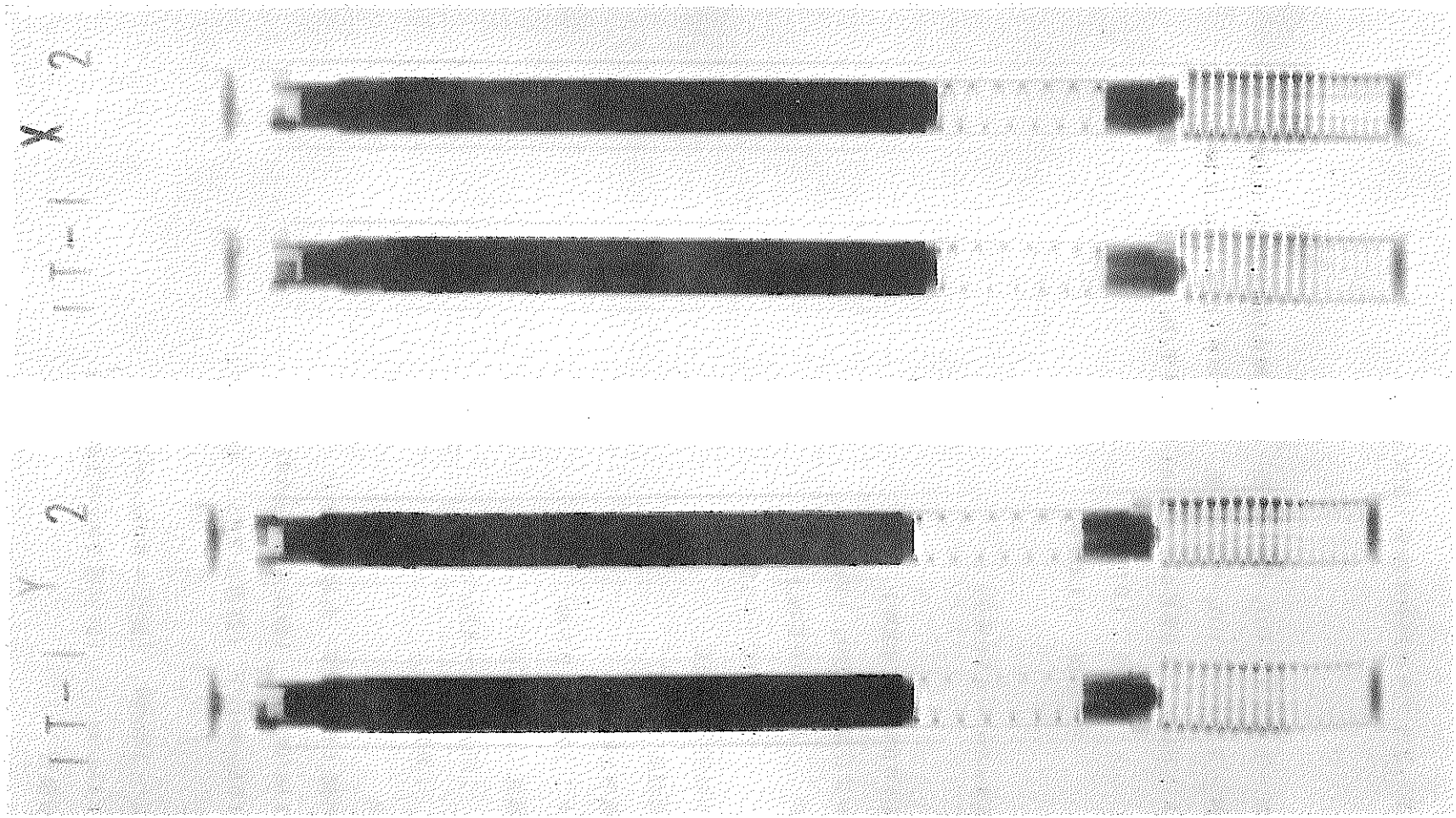


写真-4 Nakカプセルと燃料ピン

6. カプセル照射条件

IT-1, IT-2 カプセル照射条件を下記に示す。

1) 試料

寸法

IT-1 (M-1ピン) : UO_2 ペレット径 $9.8\text{mm}\phi$ (dia. gap 0.2mm)

IT-2 (M-3ピン) : UO_2 ペレット径 $9.7\text{mm}\phi$ (dia. gap 0.3mm)

燃料ペレット : EUO_2 (5.9% Enrichment) 95% T.D.

シース内径 : $10.0\text{mm}\phi$

" 外径 $11.4\text{mm}\phi$

2) 線出力

予想値 : $550\text{w/cm} \sim 650\text{w/cm}$

3) 全発熱量

$550 \times 8 = 4,400\text{W}$ (4.4 KW)

4) カプセル内および試料 (UO_2) 内温度

燃料中心温度 : $2,800^\circ\text{C}$ 以上

Nak 温度 : $340^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$

アルミ部表面温度 : 260°C

カプセル表面温度 : 70°C

5) Nak 容器及 Nak 条件

Nak レベル : 上端より 25mm

Nak 平均温度 : 400°C 以下

推定内圧 : 照射中 $2 \sim 3\text{Kg/cm}^2$

耐圧設計値 : 80Kg/cm^2

6) 強度計算結果

(1) カプセル外筒 (SUS27 肉厚 1.5mm)

内圧 : 1Kg/cm^2 以下 (耐圧 $\div 90\text{Kg/cm}^2$)

熱応力 : 10Kg/mm^2 以下 (許容値 $2\sigma_y = 40\text{Kg/mm}^2$)

(2) Nak 容器

内圧 : $2 \sim 3\text{Kg/cm}^2$ (耐圧 $= 80\text{Kg/cm}^2$)

熱応力 : 14Kg/mm^2 (許容値 $2\sigma_y = 36\text{Kg/mm}^2$)

(3) 燃料ピン被覆管

内圧 : 35.48Kg/cm^2 (耐圧 106Kg/cm^2)

SN841-73-01

Burn up 5,000MWD/T プレナム温度700℃に相当

熱応力：6,088Kq/m² (許容値 $2\sigma_y=30Kq/m^2$)

7) 燃 焼 度：1,000MWD/T

8) 計 装

C・A熱電対：位値は，図-43参照のこと。

9) アラーム，スクラム点

T/C[#]1～4までNaKφ：アラーム，600℃ スクラム，700℃

T/C[#]5外筒内側：アラーム，400℃

10) 結線状態

IT-1の時の状態を図-44～図-46に示す。

(1) 計装カプセル

カプセル名	試料	構造	T/C 本数	アラーム値	スクラム値	照射温度
CM-3H (VT-1)	SiO ₂ 31.6φ SiC 2.8φ	Al 外筒 Gr 内筒	3 本	500℃ (2本)		試料 450℃ Cr 350℃
IT-1 (6C)	5.9% E.U 6.29φ N.U 14.0φ	インコパ型 (NaK封入) SUS 外筒	5 本	600℃ (4本)	700℃ (4本)	NaK 340~450 Al SPACER 260℃
IS-3 (6D)	S 240φ	インコパ型 Al 外筒	1 本	300℃ (1本)		カプセル表面 ~100℃

(2) 結線状態

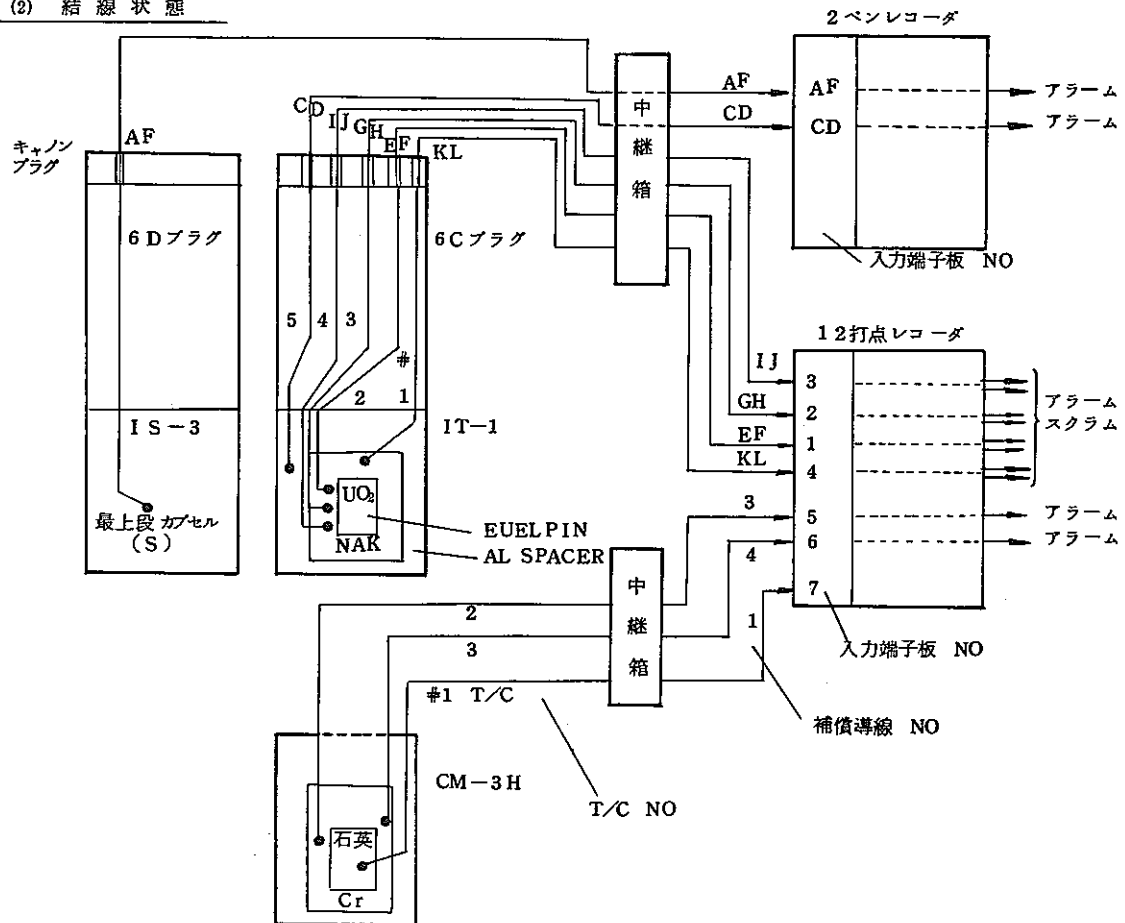
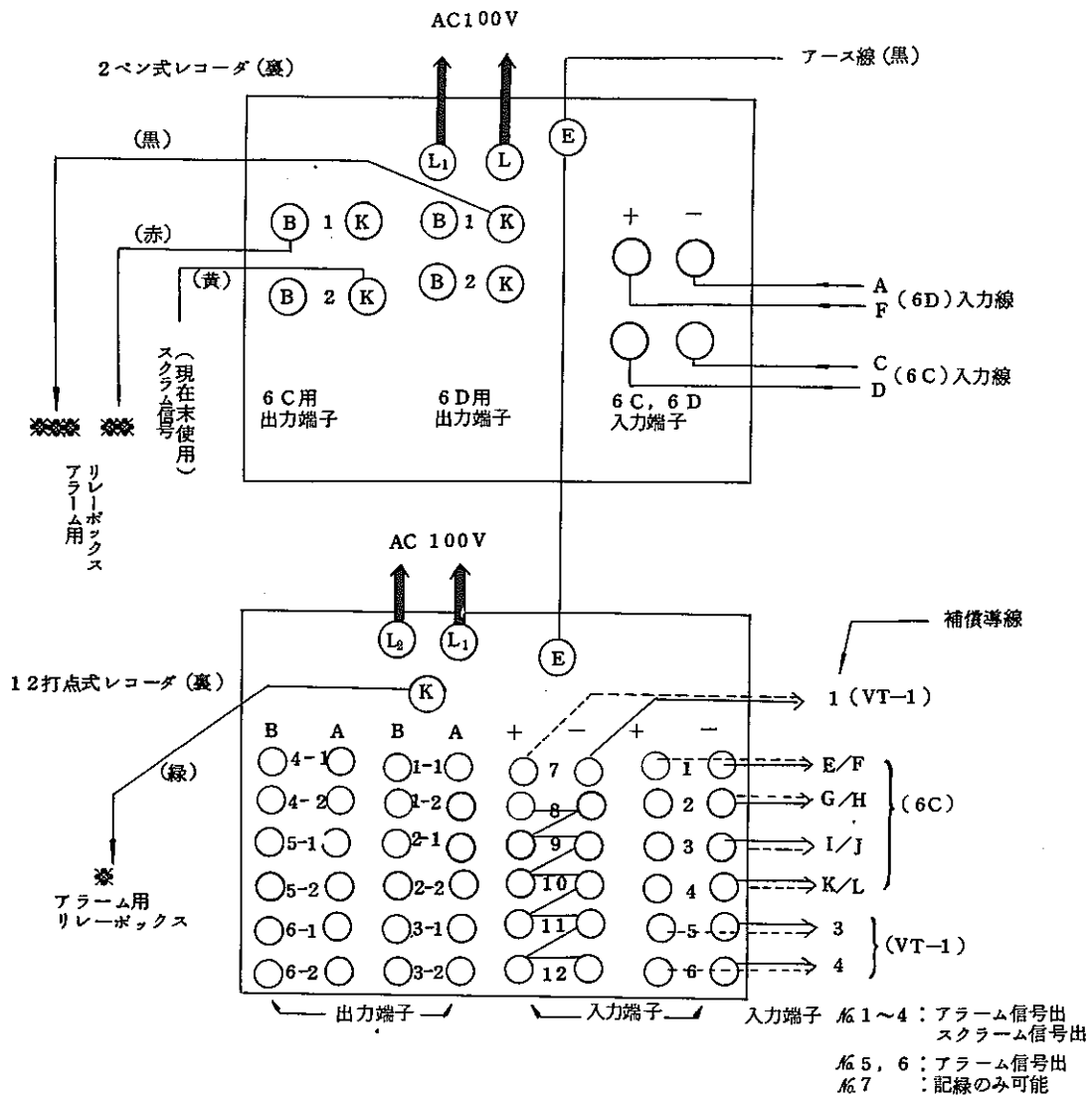


図 43 記録計への配線図



6C IT-1 (スクラム, アラーム) T/C 5本
6D

図 44

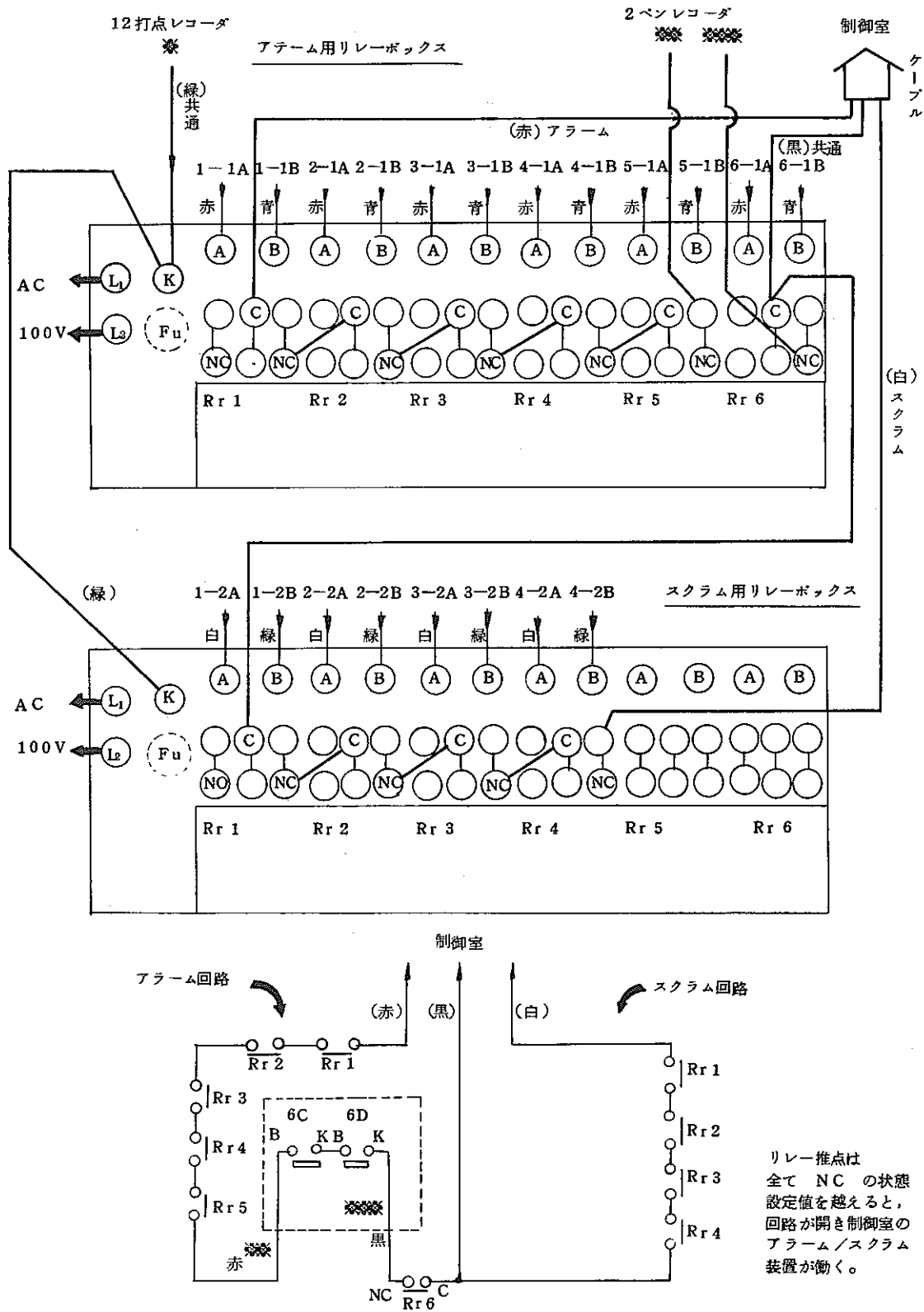


図 45 記録計の配線図

7. ま と め

今回の照射試験（共同研究）に用いた燃料ペレットは、原研より借用し燃料ビンを製造した。製造工程のフローチャートを図-12に示したが、燃料ビン製造から照射までの工程には、数多くの作業があるので、一つ一つ整理しながら、消化していくことが重要である。この報告書には、JRR-2照射試験に必要な技術的内容を可能な限り詳細に記載したので、今後のカプセル照射に参考になると考える。

中心溶融実験の目的で行なう照射試験は、国内炉で最初の試みであるので、照射条件の設定が難しく、信頼性のある実験結果を得るためには、この照射試験を基盤に今後2～3シリーズの照射試験が必要であろう。

今回の燃料ペレットは UO_2 であるが、本来は混合酸化物（ PuO_2-UO_2 ）ペレットで行なう予定であった。しかし照射後試験施設の利用上、困難であるため次回に延期になった。プルトニウム燃料部では、混合酸化物の基礎照射を行ないたいので、次回の照射試験までには、照射後施設の利用がスムーズになるよう願うものである。

IT-1, IT-2カプセルの燃料製造にあたっては、原研核燃料部の市川氏や原研工作課の皆様御援助及び御指導をいただき厚く御礼申し上げます。