PNC TN841—82—48

配布限定

本資料は 2001年 6月 6日付けで登録区分、
変更する。
[技術情報室]

「もんじゅ」用混合転換燃料のJRR-2照射試験(1)

～燃料製造からキャプセル製作まで～

Irradiation Program of「Monju」Type co-conversion fuel in JRR-2 (1)

1982年 9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

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

けに配
お，こ

Ⓐ

配　布　限　定
PNC ZN841-82-48
1 9 8 2 年 9 月

登録区分
2001. 6. 8
変更表示

「もんじゅ」用混合転換燃料のJRR-2照射試験(1)
～燃料製造からキャプセル製作まで～

Irradiation Program of「Monju」Type co-conversion fuel in JRR-2 (1)

実施責任者　金子洋光 ※-3(前期)
　　横内洋二 ※-1(後期)
報告者　山口俊弘 ※-4
　　衣笠　学 ※-2
　　堀井信一 ※-2
　　青木義一 ※-2

期間　1979年7月1日～1981年6月30日

目的　高速原型炉「もんじゅ」に使用される混合転換燃料の確性照射試験

要旨　高速原型炉「もんじゅ」に使用される燃料は混合脱硝法で得られた粉末を原料にして製造される。このような方法で製造されたペレットは従来のペレットと物性的に違いは少ない。本試験は照射において直脱粉より作ったペレットがどの様な挙動を示めすのか確証するために行う。この照射試験の結果は製造側へ貴重なデーターを提供してくれるものと考えられる。

※-1　プルトニウム燃料部設計開発課長
※-2　プルトニウム燃料部設計開発課燃料開発係
※-3　(現)プルトニウム燃料部製造第一課長
※-4　(現)プルトニウム燃料部品質管理課

目　　次

1. 概　　要 …… 1
2. ペレット製造記録 …… 3
2.1 ペレット仕様 …… 3
2.2 ペレット製造 …… 3
2.3 ペレット分析結果 …… 8
2.4 金相試験結果 …… 9
2.5 オートラジオグラフ …… 19
2.6 焼しまり試験 …… 20
3. 燃料ピン製造記録 …… 22
3.1 燃料ピン仕様 …… 22
3.2 部材検査記録 …… 24
3.3 燃料ピン加工要領 …… 42
3.4 燃料ピン検査要領 …… 48
4. キャプセル製造記録 …… 53
4.1 設計条件 …… 53
4.2 構造設計 …… 53
4.3 製　　作 …… 55
4.4 検　　査 …… 59
5. 核・熱計算と安全解析 …… 61
5.1 核・熱計算 …… 61
5.2 キャプセル強度計算 …… 77
5.3 生成放射能 …… 79
5.4 遮蔽計算 …… 80
6. 謝　　辞 …… 83
参考文献
参考資料 1. VOF13Hキャプセル
製作要領書・承認図
2. VOF13Hキャプセル
検査要領書

1 概　　要

高速原型炉「もんじゅ」に使用される燃料は，再処理工場より混合抽出されるプルトニウム－ウラン硝酸溶液を動燃が独自の技術で開発したマイクロ波加熱直接脱硝法で得られた粉末を原料にして作られることになっている。

直脱粉で製造されたペレットは物性的には従来のペレットと違いはなかったが，照射した場合の挙動に対する疑問が指適され，実際照射して確認することが決定された。これを受けてＡＴＲ TypeはＨＡＬＤＥＮで，「もんじゅ」TypeをＪＲＲ－２で照射し確認することが決定した。

本試験に用いられた燃料ピンは混合転換粉を製造するテスト中に出来た粉を用い，Ｐｕ燃部で最初に製作したペレットが入っており，このピンで異常がなければ従来の製法で製造したペレットと何ら変りないと言うことができる。なお，このペレットは現在，混合転換粉で製造しているペレットよりも品質（外観，寸法等）は悪いものである。

本照射試験の結果は製造側へ貴重なデータを提供してくれるものと考えられる。

Table １－１に照射試験の諸元を示す。

本試験においてペレット製造，燃料ピン製造はプルトニウム燃料部で実施し，キャプセル製作，キャプセル安全解析は日本原子力研究所へ委託した。

Table 1－1 「もんじゅ」用混合転換燃料の照射試験諸元

項目		
1.	キャプセル名称	VOF－13Hキャプセル
2.	目　的	「もんじゅ」用混合転換燃料の照射挙動試験
3.	照射試験	30W/o PuO_2－70W/o UO_2ペレット（スタック長さ＝150mm） 断熱ペレット：天然UO_2 ペレット SUS－316被覆燃料ピン（ペレット外形：5.36mmφ，被覆管サイズ：6.5 $\phi_{O\cdot D}$，5.6 $\phi_{I\cdot D}$，t＝0.45mm）
4.	Pu及びU重量	Pu：　9.62g U　：26.43g（^{235}U量：0.18g）
5.	キャプセル構造	NaK管封入アルミ熱媒体，アルミ外筒製 3重気密構造の計装キャプセル
6.	キャプセル形状 寸法及び計装	外形φ40×本体部長さ700mm， 全長3,472mm VT－10孔用インコア型キャプセル
7.	計　装	CA熱電対　5本（シース外径0.5φ（NaK管内）2本，シース外径1.0φ　3本） 中性子束モニタ　4本（Aℓ/Coワイヤ，　）
8.	照射孔	JRR－2，VT－10孔（C.C＋350mm上方試料中心位置）
9.	照射サイクル	4サイクル
10.	照射時間	約1,070時間
11.	熱中性子束	7.5×10^{13}（n/cm²・sec）C.C＋275mm位置
12.	線出力密度	最大　500W/cm
13.	ペレット中心最高温度	約2,300℃
14.	キャプセル全発熱量	約6.0Kw
15.	予定燃焼度	平均　約8,316MWD/T（4サイクル，400W/cm平均） 最高　10,400　〃　（　〃　，500W/cmで）
16.	予想試料反応度	約－0.2%△K/K
17.	アラーム，スクラム	アラーム：NaK温度550℃ スクラム：NaK温度600℃

2 ペレット製造記録

2.1 ペレット仕様

ペレット仕様をTable 2－1に示す。

Table 2－1 ペレット仕様

Pu富化度	30±1 wt%（PuO_2）	
密度	93±2%TD	
O／M比	1.98±0.02	
ペレット外径	5.40±0.05mm	
ペレット高さ	10±1 mm	
不純物	Al	＜500
	B	＜ 20
	C	＜150
	Ca	＜ 80
	Cd	＜ 20
	Cl	＜ 25
	Cr	＜500
	F	＜ 25
	Mg	＜ 25
	N	＜200
	Fe	＜800
	Ni	＜500
	V	＜500
	Cu, Zn, Si	＜700
	Ag, Mn, Mo, Pb, Sn	＜200
	total	＜3000（ppm）
水分		＜ 30μℓ／g
蒸発性不純物		＜100μℓ／g

2.2 ペレット製造

ペレット製造はFig. 2－1に示す製造フローチャートで行われた。原料粉末は5つのLotで調整された。Table.2－2に脱硝条件，粉末調整条件を示す。ペレットはこの5つのLotの原料粉末より製造された。Table.2－3に製造されたペレットの寸法，重量をリストアップして示す。

Table.2－2　脱硝条件，原料粉末調整条件

Lot名 / 条件	ク	ヲ	ツ	ヤ	ケ
マイクロ波出力 kW	12	16	12	16	12
50% PuO_2 脱硝粉 焙焼温度（℃） air,2hr	700	700	800	700	800
50% PuO_2 脱硝粉 還元温度（℃） 5%H_2—N_2，4hr	700	700	700	700	700
30% PuO_2 粉 焙焼温度（℃）	900	—	900	850	800
希釈用 UO_2 粉 焙焼温度（℃）	—	900	—	—	—

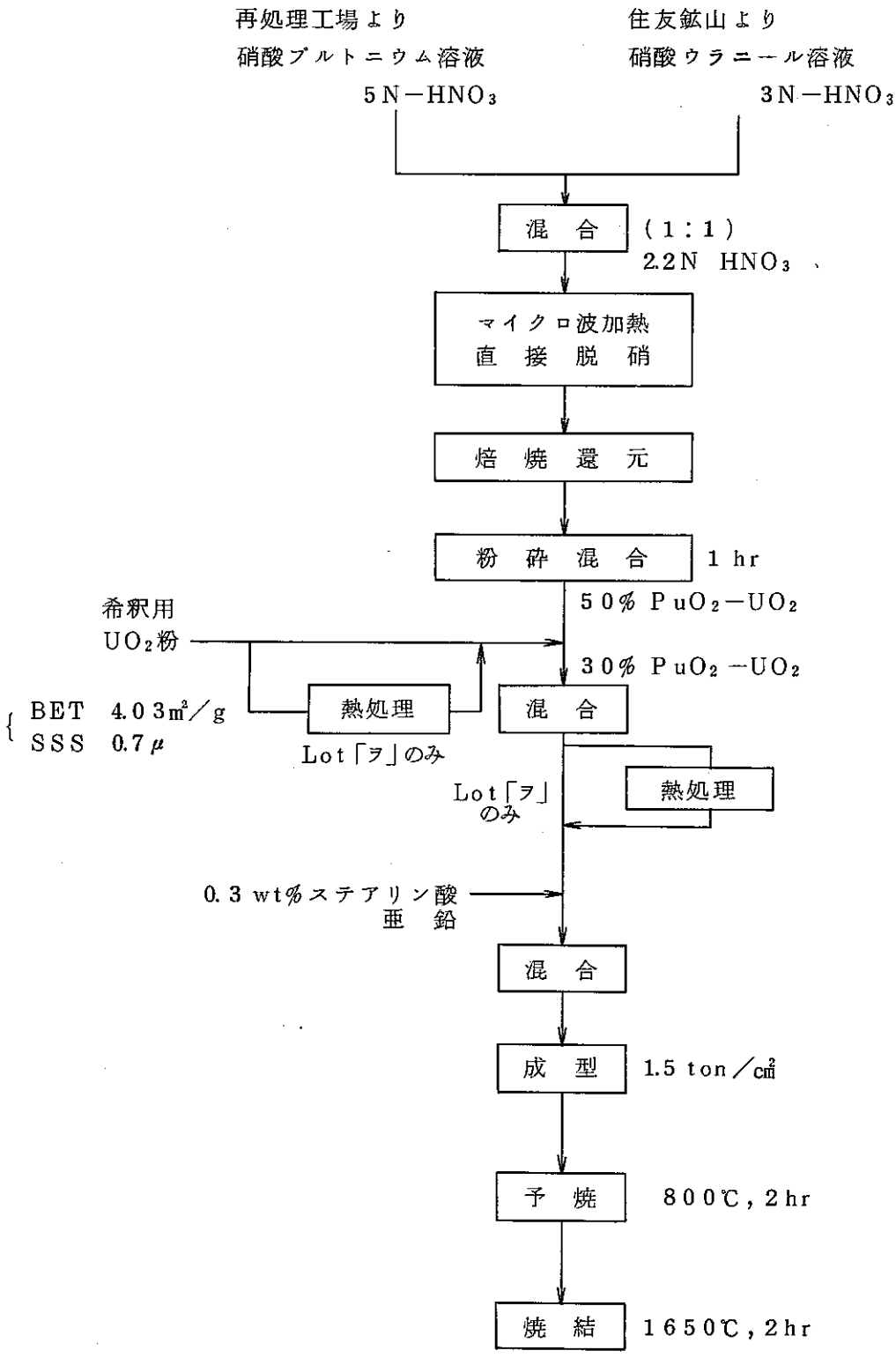


Fig.2−1 ペレット製造フローチャート

Table.2-3 JRR-2 VOF-13H pin 用ペレット(1)

昭和57年7月2日

No.	外径 (mm) 上	中	下	高 (mm)	Lot 名	重量 (g)	ρ.T.D.(%)	備考
①		5.35		6.55	ク	1.59	97.44	
②		5.365		6.845	ク	1.66	96.81	
③		5.35		6.685	ク	1.61	96.68	
4					ク		96.1	金相 Photo.2-2
⑤		5.41		6.29	ヲ	1.51	94.24	
⑥		5.36		6.17	ヲ	1.46	94.64	
⑦		5.39		6.24	ヲ	1.51	95.71	
8					ヲ		94.4	金相 Photo.2-3
9		5.365		6.64	ツ	1.59	95.59	Pu同位体測定
⑩		5.40		6.59	ツ	1.60	95.67	
⑪		5.37		6.60	ツ	1.57	94.78	
12		5.37		6.625	ツ	1.60	96.23	
⑬		5.36		6.64	ツ	1.61	96.97	
⑭		5.44		6.62	ツ	1.59	93.55	
15		5.315		4.405	ツ	1.02	94.18	
⑯		5.36		6.585	ツ	1.60	97.18	
⑰		5.38		6.54	ツ	1.58	95.90	
⑱		5.38		6.415	ツ	1.54	95.30	
19		5.40		6.72	ツ	1.61	94.40	
20		5.355		6.53	ツ	1.57	96.34	
X								
S								

備考

○：燃料ピンに用いたペレット

測定者 ； 衣笠

記録者 ； 川又

マイクロメータの仕様

；

Table・2－3 JRR－2 VOF－13H pin用ペレット(2)

昭和55年7月7日

No.	外径 (mm) 上	中	下	高(mm)	Lot 名	重量(g)	ρ・T・D.(%)	備考
21		5.33		6.775	ヤ	1.65	98.50	水分分析サンプル
22		5.43		6.02	ヤ	1.67	92.70	Gas分析サンプル
㉓		5.335		6.735	ヤ	1.64	98.30	
㉔		5.335		6.42	ヤ	1.56	98.09	
㉕		5.325		6.67	ヤ	1.62	98.42	
26		5.455	(フクレ)	6.795	ヤ	1.64	93.19	金相 Photo.2-1
㉗		5.33		6.65	ヤ	1.61	97.92	
㉘		5.335		6.77	ヤ	1.65	98.39	
㉙		5.325		6.58	ヤ	1.61	99.15	
10		5.335		6.86	ヤ	1.68	98.86	
㉑		5.35		6.61	ヤ	1.61	97.78	
㉒		5.35		6.61	ケ	1.60	97.17	
㉓		5.345		6.35	ケ	1.55	98.17	
24		5.36		6.67	ケ	1.63	97.74	金相 Photo.2-4
㉕		5.335		6.555	ケ	1.59	97.92	
X								
S								

備考

○：燃料ピンに用いたペレット

測定者 ； 衣笠

記録者 ； 川又

マイクロメータの仕様

；

2.3 ペレット分析結果

ペレットの(1) PuO_2富化度，(2)O／M比，(3)水分，(4)不純物，(5)蒸発性不純物，分析結果をTable.2－4に示す。

(6)Pu同位体分析結果をTable.2－5に示す。

Table.2－4 ペレット分析結果

項　　目	規格値	分析結果	分析ペレットNo.
1. PuO_2 富化度	30±1W/o	29.30W/o	
2. O／M比	1.98±0.02	1.95	
3. 水　分	＜30μℓ／g	5μℓ／g	21
4. 不純物			
C	＜150ppm	65ppm	
Ag		＜ 1	
Aℓ	＜500	＜ 50	
B	＜ 20	＜ 1	
Ca	＜ 80	＜ 5	Lot「ヲ」の
Cr	＜500	＜ 55	ペレット
Cu		3	
Fe	＜800	600	
Mg	＜ 25	15	
Mn		15	
Ni	＜500	60	
Si		360	
V	＜500	＜ 50	
Zn		＜100	
Mo		＜ 20	
Pb		＜ 20	
Sn		＜ 20	
N	＜200	＜ 50	
F	＜ 25	＜ 10	
Cℓ	＜ 80	＜ 10	
全不純物量	＜3000ppm	＜ 1510ppm	
5. 蒸発性不純物	＜100μℓ／g	12μℓ／g	22

(6) プルトニウム同位体分析結果

Table・2－5 プルトニウム同位体組成比分析結果

同位体	分析値 (W/o)
^{238}Pu	0.44
^{239}Pu	73.31
^{240}Pu	18.35
^{241}Pu	6.25
^{242}Pu	1.65

2.4 金相試験結果

5つのLotで製造したペレットの内4つのLot のペレット各1コを選び金相試験を行った。ただしその内の1つは縦割りの金相を調べた。試料としたペレットをTable・2－6に示す。

Table・2－6 金相試料

ペレット№	Lot名	密度 (%TD)	備考
26	ヤ	93.19	縦割り(やや焼ぶくれたペレット) Photo 2－1
4	ク	96.1	Photo 2－2
8	ヲ	94.4	Photo 2－3
24	ケ	97.74	Photo 2－4

また，金相試験条件は次の通りである。

研　磨：研磨紙 #400，#800

ダイヤモンド 6μ，1μ，1／4μ

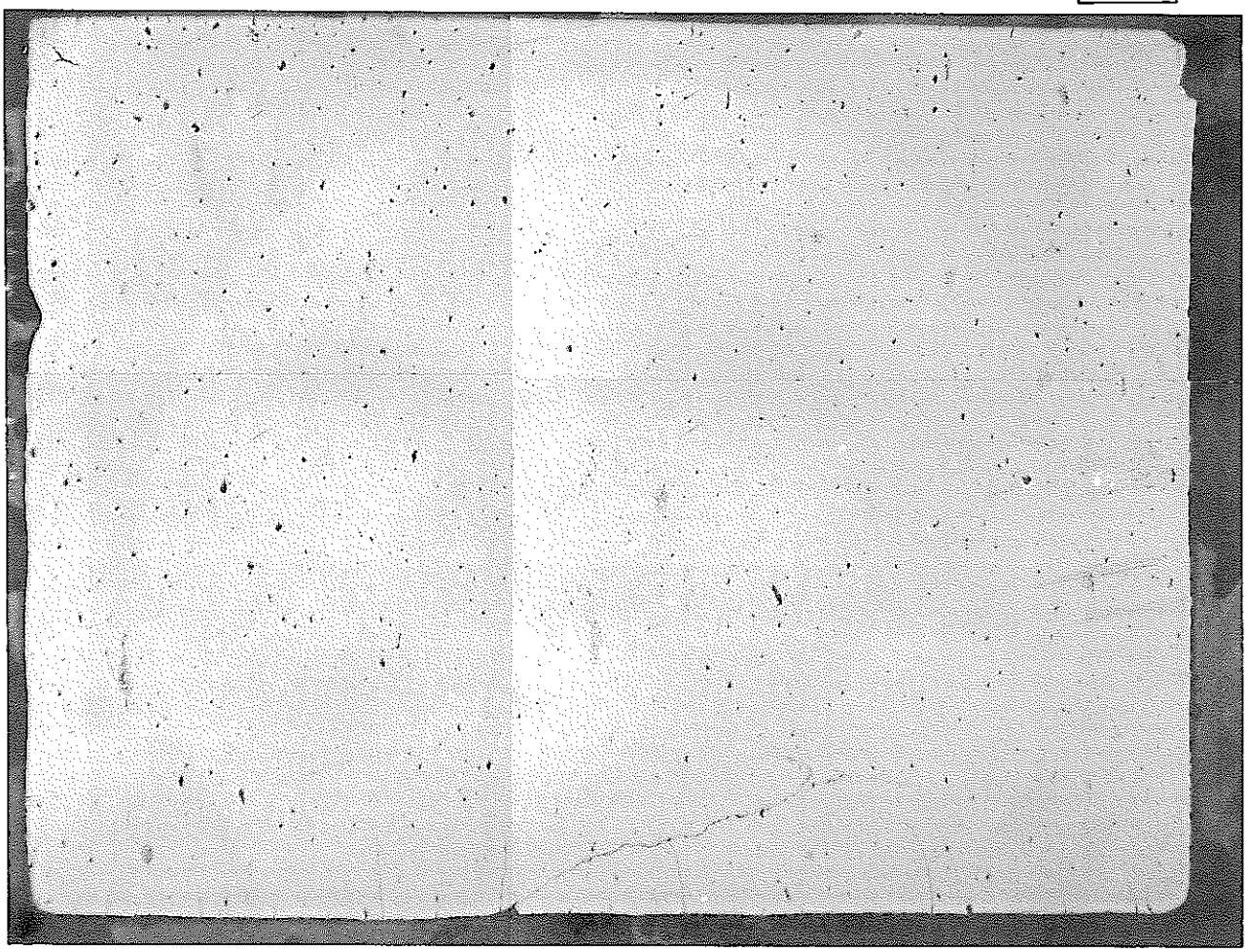
C.V.E：3kV 5×10^{-10} Torr 5分1回

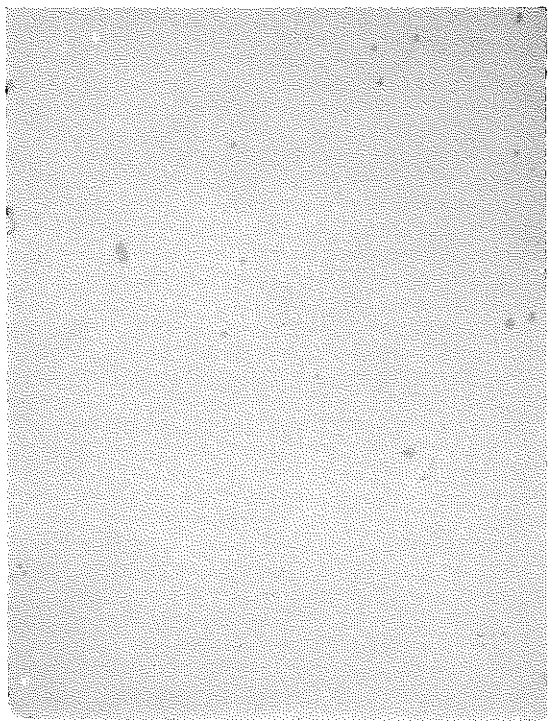
金相試験結果をTable・2－7に示す。また金相写真をPhoto・2－1～4に示す。これらによると空孔分布状態，空孔形状はLotに関係なくほぼ同じであり，また最大空孔径もLotに関係なく40μm前後，平均空孔径もLotに関係なく25μm前後であるが，結晶粒径は，Lot「ヲ」「ケ」のペレットでは粒径が非常に小さくほとんど粒成長を起していないことが観察される。

Table 2－7　金相試験結果

ペレット No.	Lot名	空孔分布	空孔形状	最大空孔径（μm）	平均空孔（μm）	結晶粒径（μm）	備　　考
26	ヤ	均一	球，だ円	－	－	－	縦割り ペレット側面から30.5mm程度のクラック発生が見られる。
4	ク	均一	球	35	27	8～20	結晶粒が大きい。
8	ヲ	均一	球	40	22	＜5	結晶粒径が小さく粒成長を起していない。
24	ケ	均一	球	42	24	2～3	空孔から三方にクラック（100～200μ程度）の発生が見られる。 結晶粒径が小さくほとんど粒成長を起してない。

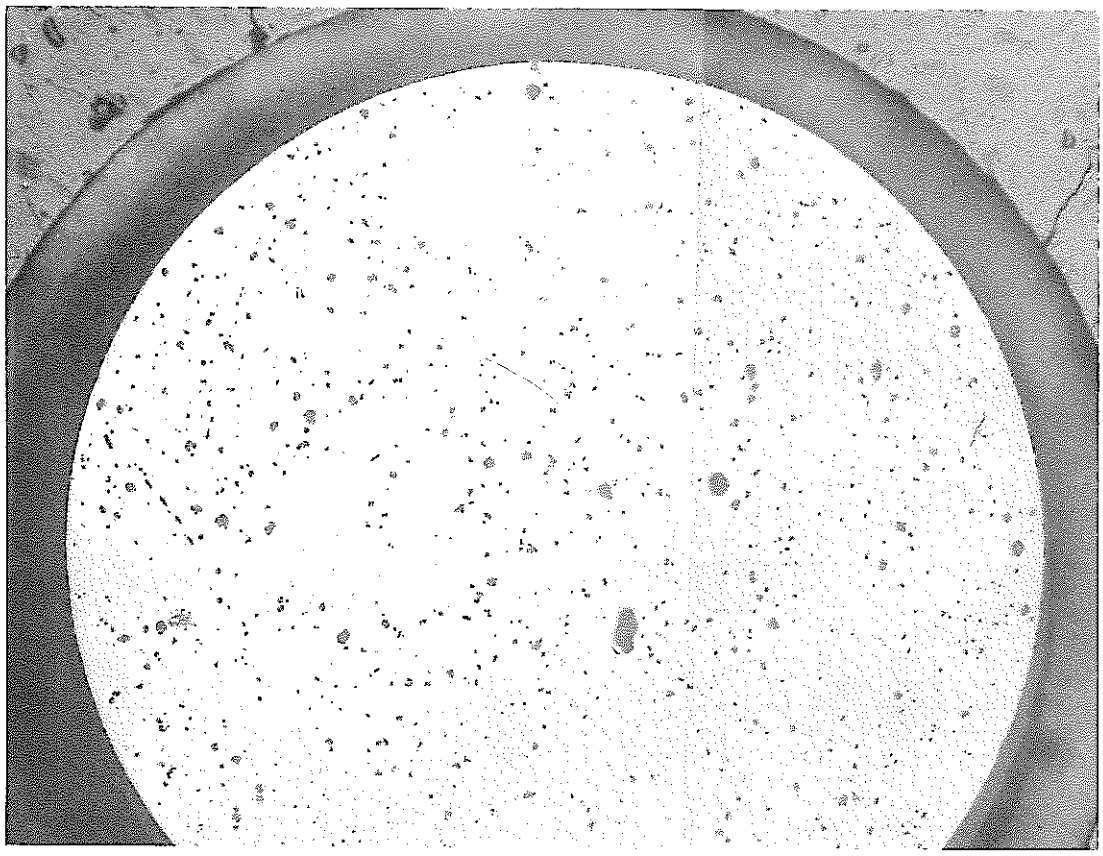
500μ





100μ　　25μ

Photo.2－1　焼結ペレットの金相写真　Lot「ヤ」



500μ

100μ

25μ

Photo.2－2　焼結ペレットの金相写真　Lot「ク」(1)

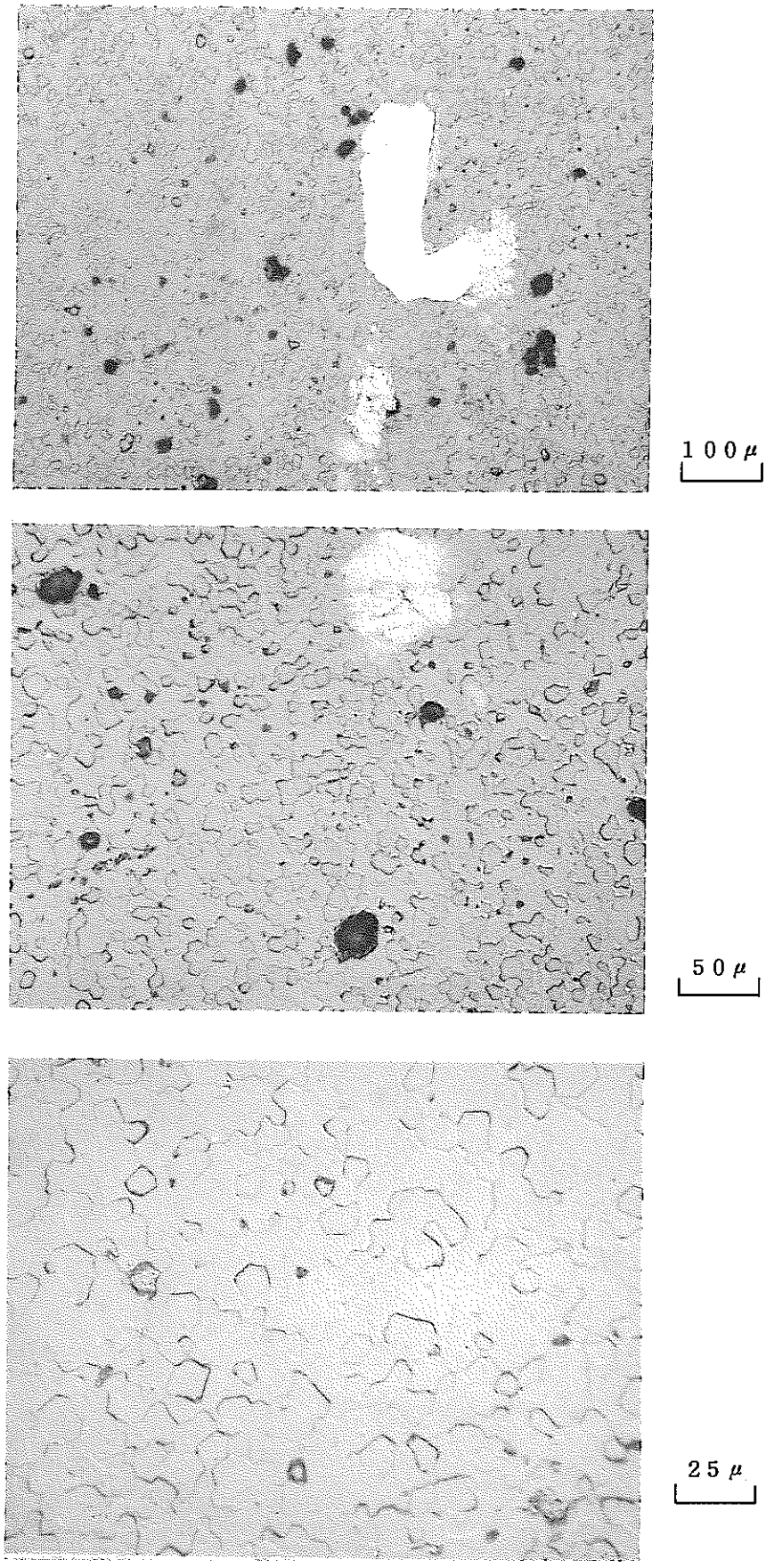
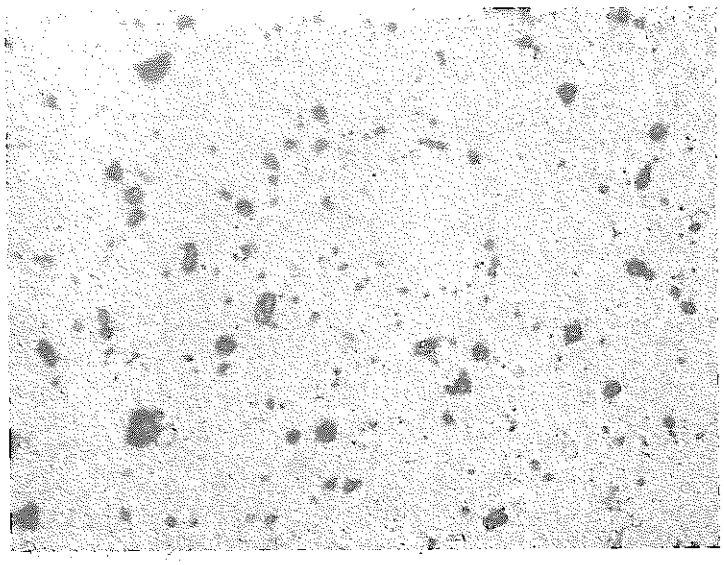
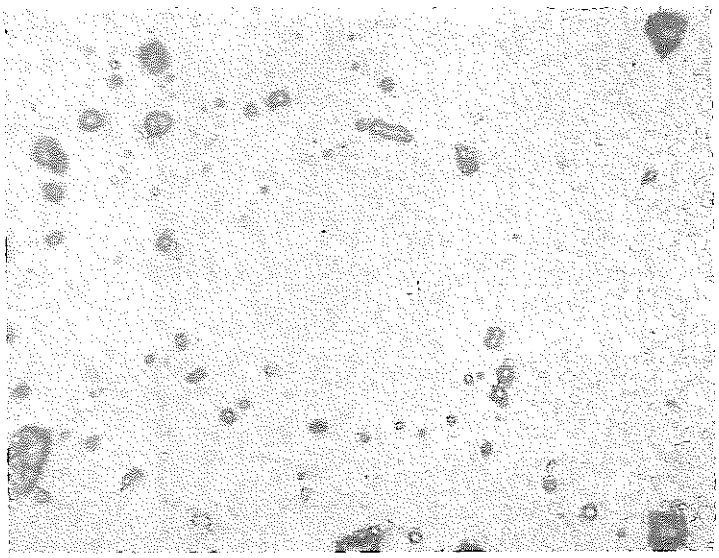


Photo. 2-2 焼結ペレットの金相写真 Lot「ク」(2)



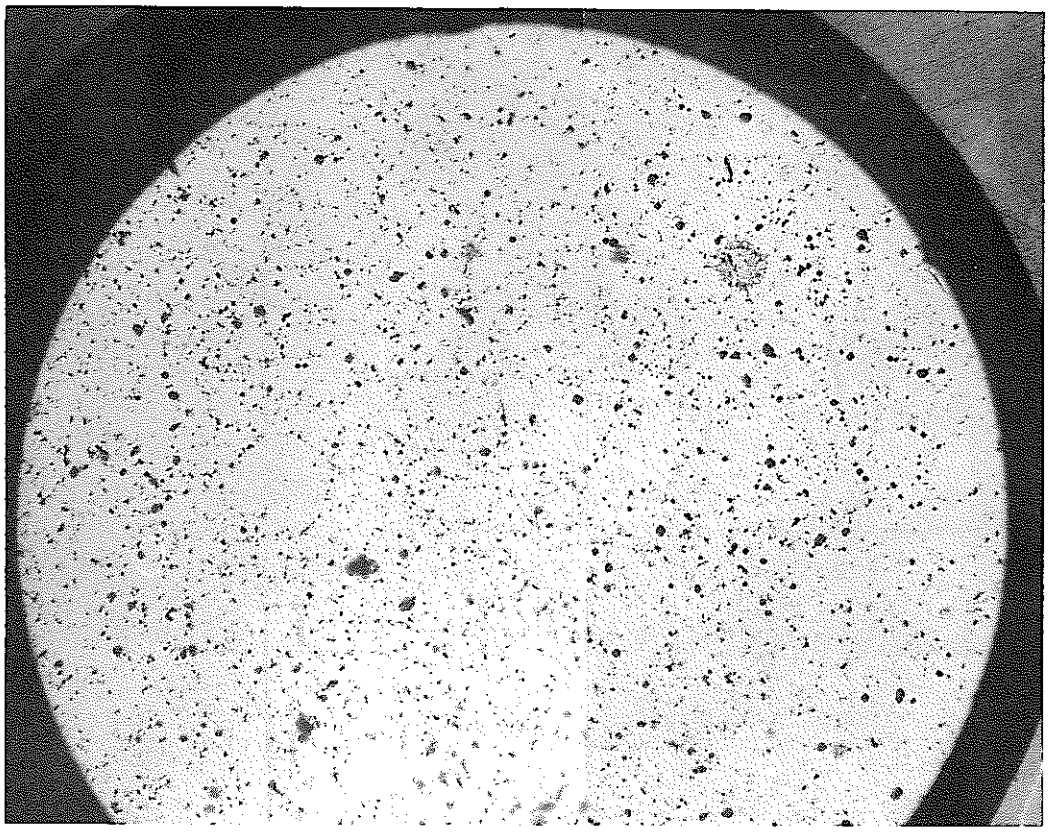
100μ



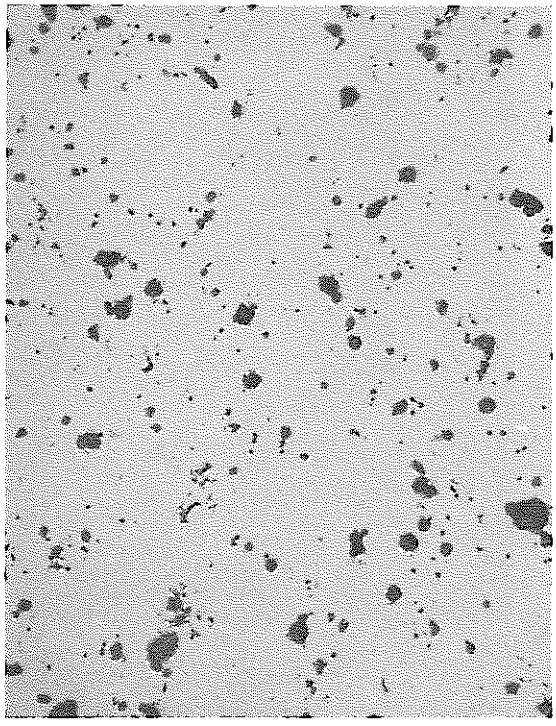
50μ

25μ

Photo.2－3 焼結ペレットの金相写真 Lot「ヲ」(1)



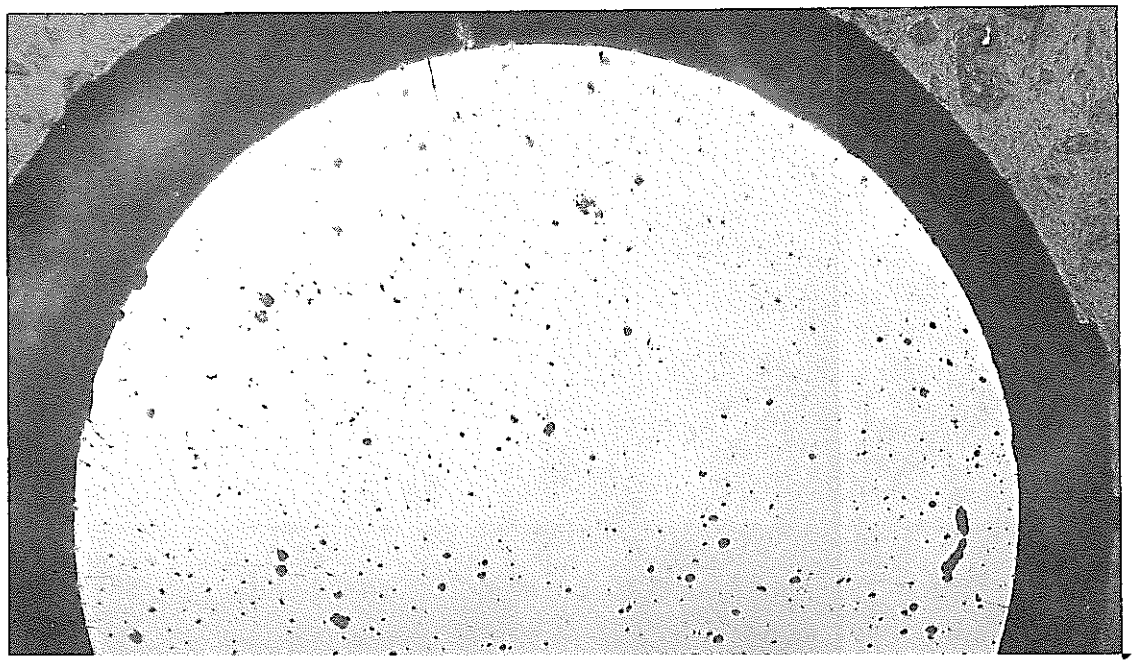
500μ



100μ

25μ

Photo・2－3　焼結ペレットの金相写真　Lot「ヲ」(2)



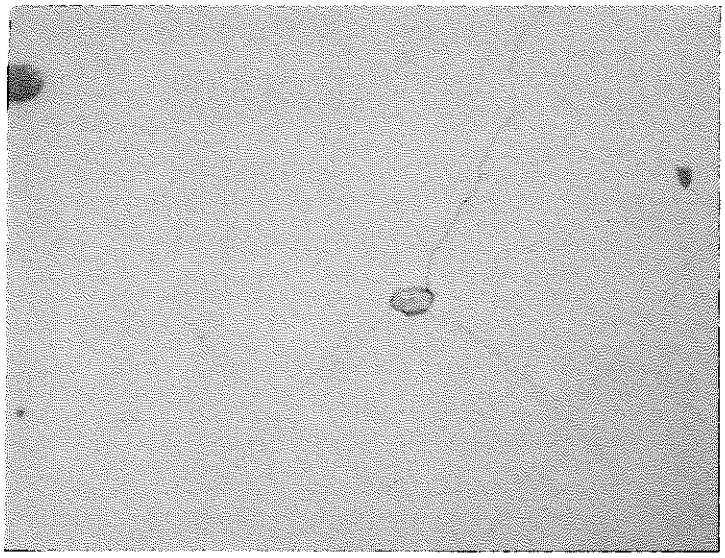
500μ

100μ

25μ

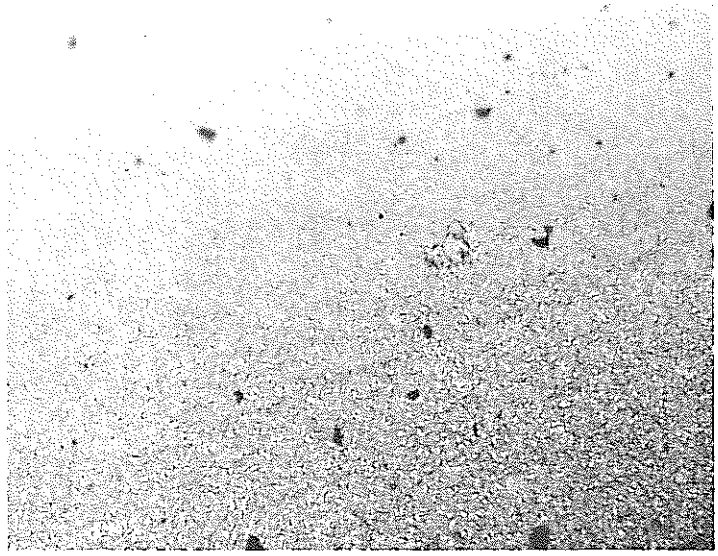
Photo. 2－4　焼結ペレットの金相写真　Lot「ケ」(1)

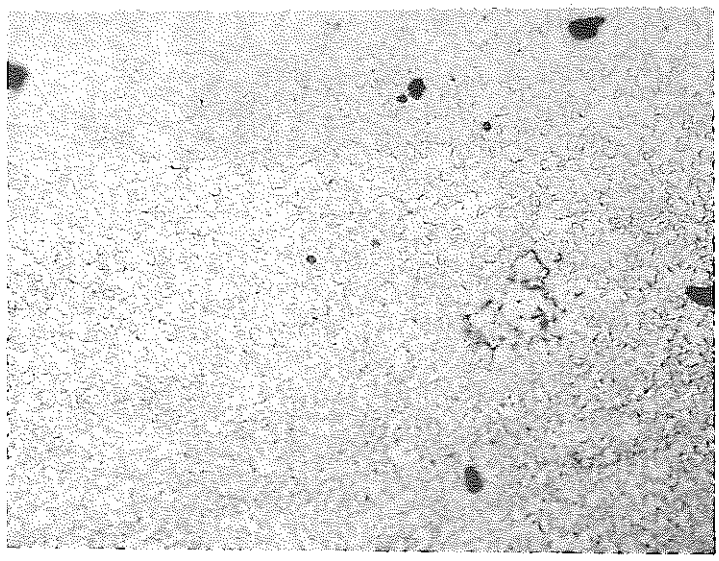
100μ



25μ

Photo. 2－4　焼結ペレットの金相写真　Lot「ケ」(2)





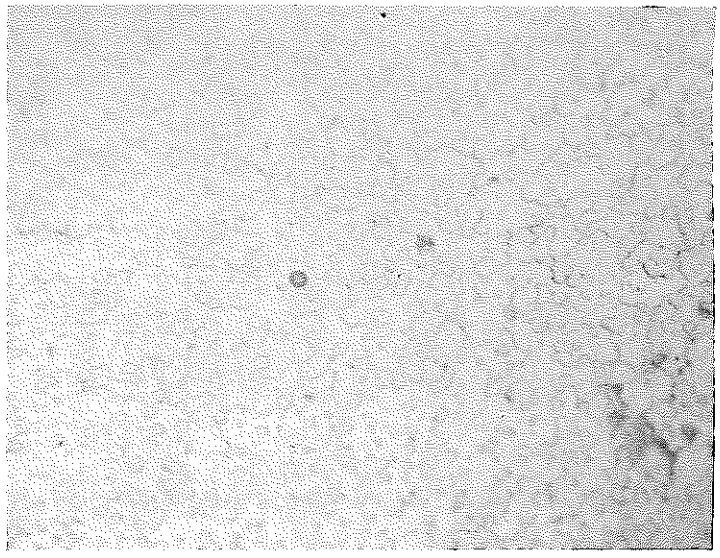
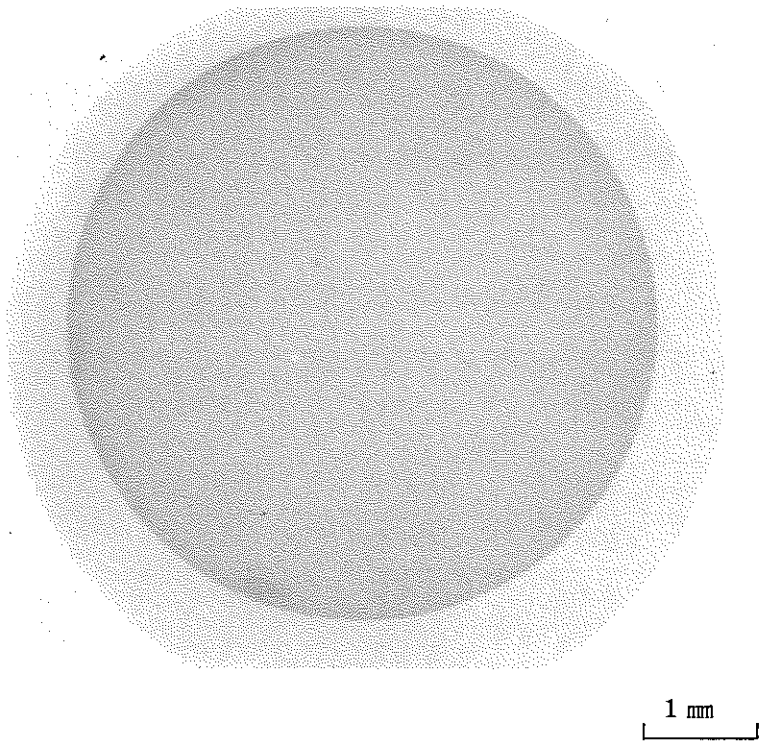


Photo. 2−4　焼結ペレットの金相写真　Lot「ケ」(3)

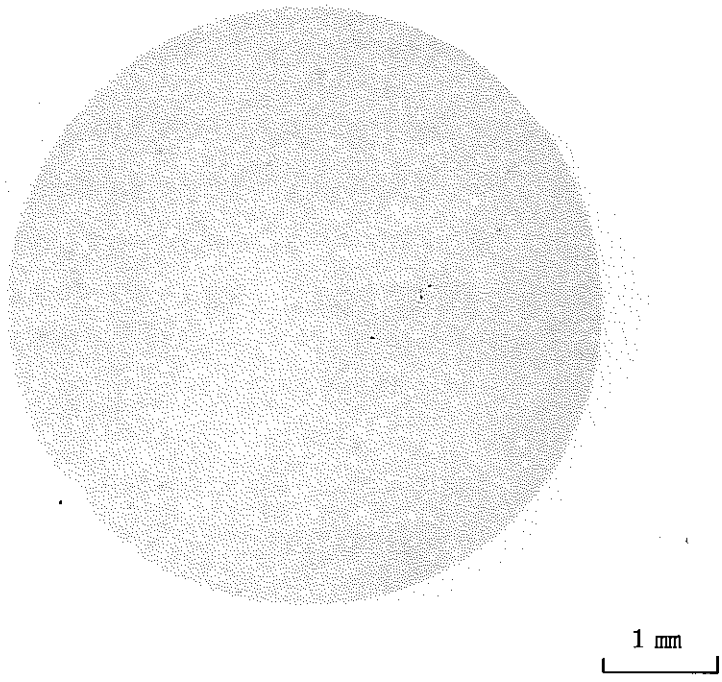
2.5 オートラジオグラフィー

金相試験に用いた試料の一部のオートラジオグラフを調べた。

これをPhoto.2-5に示す。



(a) ペレット№8 Lot「ヲ」 94.4%TD



(b) ペレット№4 Lot「ク」 96.1%TD

Photo.2-5 オートラジオグラフィー

Photo.2－5によると両サンプルともに混合性に問題はない。Lot「ク」のペレットでは所々Puスポットが見られるが大きさは最大50μほどであり，この値は「もんじゅ」用燃料の最大許容Puスポット径100μより十分小さい。

2.6 焼しまり試験

Lot「ク」及び「ヤ」の1650℃，2hr焼結ペレットの内数個のペレットを用い1700℃，24hr再焼結を行い焼しまり挙動を調べた。この結果をTable.2－8及びFig.2－2に示す。

Table.2－8 焼しまり試験

再焼結条件 / ペレットLot名	As* received	1700℃ 8hr	1700℃ 16hr	1700℃ 24hr	焼しまり量 **
ク	96.7	96.4	93.8	—	—
	96.4	96.2	—	—	—
ヲ	94.0	93.2	95.5	93.2	−0.8
	94.8	94.2	94.9	95.2	+0.4
	94.7	93.6	94.3	93.5	−1.2

（単位%TD）

* 1650℃，2hr焼結後

** Ds(1700℃，24hr)−Ds(As received)

Table.2－8によれば最大焼しまり量は＋0.4～1.2%TDの範囲にあり，焼しまりに対しては問題は少ないと考えられる。逆にLot「ヲ」のペレットではやや焼ぶくれる傾向がみられ，特に8～12hrの間で一時的に焼ぶくれることが認められた。これは原料粉が高O／Mでしかも細粒であるため活性で焼結が早く進行し，低温域で早く開空孔の閉そくが起こったためではないかと思われる。

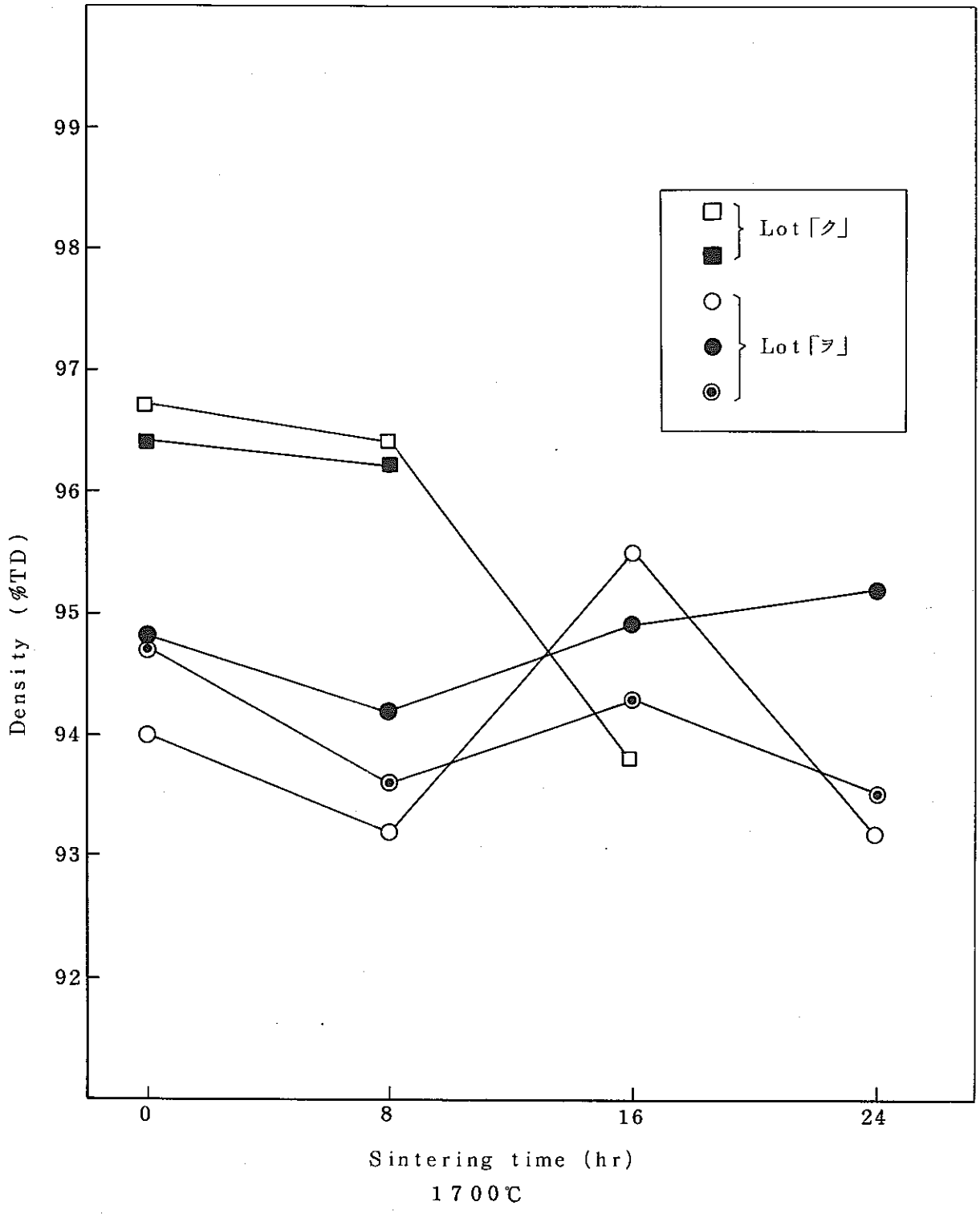


Fig.2－2 Densification test at 1700℃

3. 燃料ピン製造記録

3.1 燃料ピン仕様

3.1.1 被覆管

材　質　：　SUS−316

外　径　：　φ6.50±0.03mm

内　径　：　φ5.60±0.03mm

長　さ　：　210±1mm

3.1.2 端　栓

材　質　　SUS−316

3.1.3 スプリング

材　　質　：　SWPA

自 由 長　：　36±1mm

取付長さ　：　30mm

3.1.4 インシュレーターペレット

U濃縮度　：　天然ウラン

O／M比　：　$2.00^{+0.02}_{-0.01}$

外　　径　：　φ5.30±0.1mm

高　　さ　：　10±1mm

個　　数　：　2個

不 純 物　：　C　<150　　(ppm)

Cu　<　80

Cl　<　25

F　<　25

Mg　<　25

N　<200

水　　分　：　<10μℓ／g.

3.1.5 燃料スタック（インシュレーターを除く）

ペレット個数　：　23

スタック長　　：　150±2mm

3.1.6 燃料要素

全　　長　：　230±2mm

溶接ビード高さ：　0.2mm以下

Heリーク　：　$<1\times10^{-8}$ atm•cc／sec.

Fig. 3−1に燃料ピンの概観図を示す。

⚠ 訂正 56・7・20 大部

19

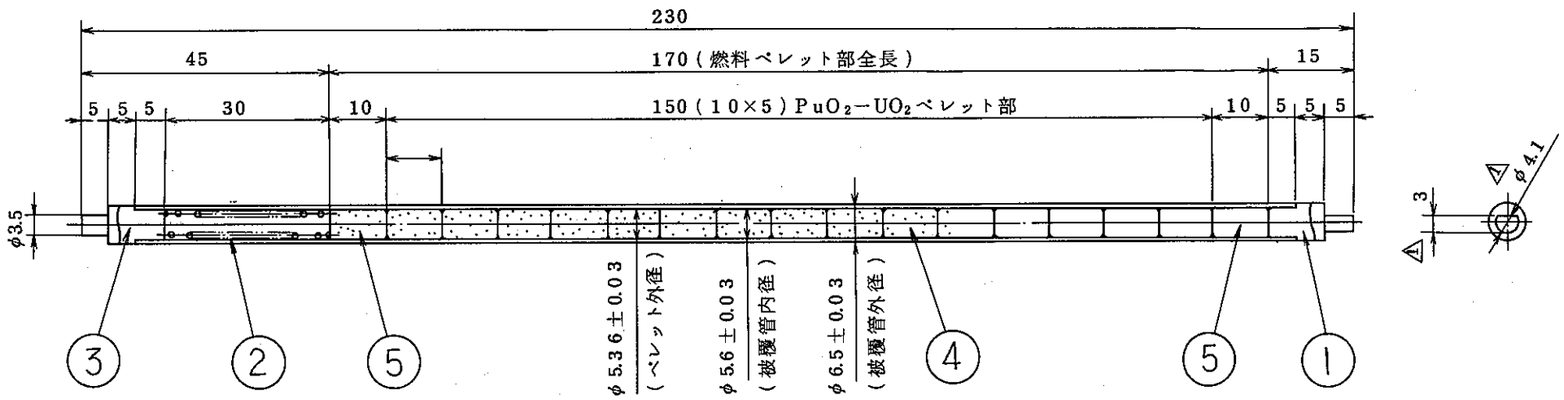


Fig. 3−1 「もんじゅ」用混合転換燃料照射試験用 PuO_2-UO_2（高富化）燃料ピン

<注> 1. 本品ハＰＮＣ製作（完成品）支給品デアル

品番	部品名	個数（一台分）	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
5	燃料ペレット	2	UO_2			
4	燃料ペレット	15	PuO_2-UO_2			
3	上部端栓	1	SUS316			
2	スプリング	1	SWPA			
1	下部端栓	1	SUS316			

RM−3100

名称	燃料ピン（VOF−13H）	画法	三角	尺度	1/1（ ）
		設計	椿谷	― ―	承認
		製図		― ―	
仕上重量（一台分kg）		審査	宮本	― ―	
日本原子力研究所		MD−8774−1			

3.2 部材検査記録

3.2.1 被覆管

(1) 化学成分

Table.3-1 Cladding Composition (%)

Element	Specification	Measured
C	0.04～0.08	0.043
Si	≦0.75	0.50
Mn	1.50～2.00	1.52
P	≦0.03	0.019
S	≦0.01	0.007
Ni	12.00～14.00	13.10
Cr	16.00～18.00	17.40
Co	≦0.10	0.01
Mo	2.00～3.00	2.50
B	≦0.001	0.0001
N	≦0.001	0.0001
Ti		
Nb	≦0.05	0.002
Tatal		

(2) 機械的強度

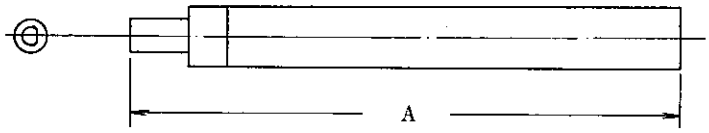
Table.3-2 Mechanical Properties of cladding

Item	Specification	Measured
Tensile Strength (kg/mm²)		
At Room Temp.	≧60	80.9
At 650℃	≧30	45.5
Yield Strength (kg/mm²)		
At Room Temp.	≧40	69.6
At 650℃	≧20	40.3
Elongation (%)		
At Room Temp.	≧25	21
At 650℃	≧15	15
Hardness	≧20.0 Hv	27.9 Hv
Hydrostatic Strenght (kg/cm²)		
Rupture Pressure		
Yield Pressure		

Table. 3-3

部品名　被覆管

下部側



課題　JRR-2

図面

材質　SUS-316

昭和55年 9 月16日

測定者　石川(敬)

ロットの大きさ(　　)　抜取数(　　)

No.	項目									
	規格	A		重量(下部	端栓付き)		外観			
	測定具	ノギス		天秤						
1.										
2.	1	220.0mm		16.98g			合			
3.										
4.										
5.										
6.										
7.										
8.										
9.										
10.										
11.										
12.										
13.										
14.										
15										
16.										
17.										
18.										
19.										
20.										
21.										
22.										
23.										
24.										
25.										
26.										
27.										
28.										
29.										
30.										
31.										
32.										
33.										
34.										
35.										

DATA SHEET (1)

ミルシート No. MS-R0-0007

製造LOT No.	SEQ
S002	01

材料コード	略号	炉名	本数	材料	炉心	区分	識別
CL	SM	O	R&D	3	A	2	新規 / 追加修正

製造年月日 年	月	日	製造コード No.	ヒート No.	仕様 No.	製造元仕様 No.	PNC 仕様 No.
50	05	30	TTT9001	T7092	A-NB5821		

SEQ	材料	製品(リール) No.	加工条件	試料 No. — 1						試料 No. — 2
		加工No. / 材料No.	温度 / 時間 / 加工度	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	インゴットNo. / 素材No.
02	10645.0	5183	1020 / 15 / 21	51.07	51.23	51.07	51.23	51.07	51.23	V7092 / SEU98060Z

化学成分 %

SEQ	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	B	H	Al	As	Cu	Nb+Ta	Ti	V	O
	0.14~0.18	≤0.75	1.50~2.00	≤0.03	≤0.09	11.00~14.00	16.00~18.00	2.00~3.00	≤0.10	≤0.001	≤0.0005	—	—	—	—	—	—	—
	0.01~0.05	≤0.75	1.50~2.00	≤0.03	≤0.09	11.00~14.00	16.00~18.00	2.00~3.00	≤0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
03	0.0546	0.50	1.52	0.018	0.007	13.5	17.45	2.50	0.1	0.001	0.0058	0.12	0.02	0.08	0.002	0.002	0.002	0.0012
04	0.0542	0.50	1.52	0.018	0.005	13.1	17.30	2.54	0.1	0.001	0.0054	0.12	0.02	0.08	0.002	0.002	0.002	0.0015
05	0.0543	0.50	1.53	0.019	0.008	13.0	17.60	2.50	0.1	0.001	0.0078	0.11	0.02	0.08	0.002	0.002	0.002	0.0013

SEQ	残留 A T	A H	B T	B H	C T	C H	D T	D H	製品 A T	A H	B T	B H	C T	C H	D T	D H	製品 A T	A H	B T	B H	C T	C H	D T	D H
06									15	0	10	0	0	0	20	0								

SEQ	外観	検査項目	検査項目(NO.6より抽出)	硬さ Hv (平均値) ≤200						光学顕微鏡	顕微鏡	押拡げ	曲げ
				1. 中心			2. コーナー						
				平均値	MAX	MIN	平均値	MAX	MIN				
07	①② / ①② / 合格 / 2 2 不合格	1 1 / 2 2 合格 / 不合格	≤5.6 / 1 2	— / 75	— / 75		278	280	276	1 1 / 2 2 合格 / 不合格	1 1 / 2 2 合格 / 不合格	1 1 / 2 2 合格 / 不合格	1 1 / 2 2 合格 / 不合格

高温引張試験

SEQ	(1) A・軸 抗張力	0.2%耐力	伸び	絞り	B・軸 抗張力	0.2%耐力	伸び	絞り	C 絞り	(2) A・軸 抗張力	0.2%耐力	伸び	絞り	B・軸 抗張力	0.2%耐力	伸び	絞り	C 絞り
	≥60	≥40	≥65	—	—	—	—	—	—	≥60	≥40	≥65	—	—	—	—	—	—
	≤52	≤21	≤45	—	—	—	—	—	≤60	≤52	≤21	≤45	—	—	—	—	—	—
	55~80	—	≥30	—	—	—	—	—	—	55~80	—	≥30	—	—	—	—	—	—
	≤55	≤35	≤18	—	≤55	≤35	≤14	—	—	≤55	≤35	≤18	—	≤55	≤35	≤14	—	—
08	809	696	21	A						825	711	19	B					

内圧破裂試験

(1) 破裂圧力	0.2%耐力	伸び	(2) 破裂圧力	0.2%耐力	伸び
≤610	≤500	—	≤610	≤500	—
≤430	≤350	—	≤430	≤350	—

高温引張試験

SEQ	(1) A・軸 抗張力	0.2%耐力	伸び	絞り	B・軸 抗張力	0.2%耐力	伸び	絞り	C 絞り	(2) A・軸 抗張力	0.2%耐力	伸び	絞り	B・軸 抗張力	0.2%耐力	伸び	絞り	C 絞り
	≥60	≥40	≥65	—	—	—	—	—	—	≥60	≥40	≥65	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	455	403	15	A						460	391	14	B					

高温引張試験

(1) 破裂圧力	0.2%耐力	伸び	(2) 破裂圧力	0.2%耐力	伸び
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—

住友金属

3.2.2 端 栓.

(1) 化学成分

Table.3-4 End plug Composition. (%)

Element	Specification	Measured
C	0.04～0.08	0.06
Si	≦0.75	0.53
Mn	≦2.00	1.54
P	≦0.03	0.02
S	≦0.03	0.01
Ni	11.00～14.00	12.9
Cr	16.00～18.00	16.4
Co	≦0.10	0.04
Mo	2.00～3.00	2.3
N	≦0.035	0.022
B	≦0.001	0.0003

(2) 機械的強度

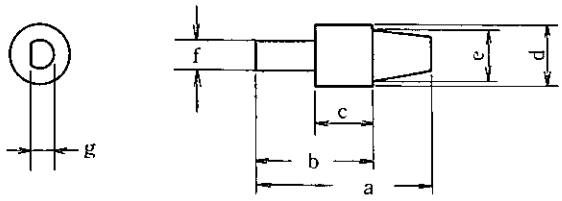
Table.3-5 Mechanical Propaties of end plug.

Item	Specification	Measured
Tensile Strength (kg/mm²)		
At Rom Temp		58.9
At 650℃		39.5
Yield Strength (kg/mm²)		
At Room Temp		33.2
At 650℃		18.2
Elongation (%)		
At Room Temp		50
At 650℃		21.0

(3) 寸法検査

Table. 3-6

部品名　端　栓



課題　JRR-2

図面

材質　SUS-316

昭和55年 9 月16日

測定者　石川(敬)

ロットの大きさ(　　)　抜取数(　　)

No.	項目 / 規格 / 測定具	a	b	c	d	e	f	g	外観	重量
	測定具	マイクロメーター	同左	同左	同左	同左	同左	同左		天秤
1.	下部端栓	14.95	10.03	4.92	6.50	5.61	4.0	3.0	合	2.76
2.							(4.12)	(3.07)		
3.										
4.						( )	内56'7/16	検査立会時	測定値	
5.										
6.										
7.										
8.										
9.										
10.	項目	a	b	c	d	e	f		外観	重量(g)
11.										
12.	測定具	マイクロメーター	同左	同左	同左	同左	同左			天秤
13.										
14.	上部端栓	15.00	9.99	5.01	6.49	5.61	3.95		合	2.78
15.										
16.										
17.										
18.										
19.										
20.										
21.										
22.										
23.										
24.										
25.										
26.										
27.										
28.										
29.										
30.										
31.										
32.										
33.										
34.										
35.										

47. 3. 24 入荷.

FBR
もんじゅ
炉心 端栓棒
SUS-32

KOBE STEEL, LTD.

Certificate of Test Results

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-72-5
DATE '72-3-21

CUSTOMER: 動力炉・核燃料開発事業団

KIND OF MATERIAL: Stainless Steel Seamless ~~Tubes~~ Bar for Nuclear Reactor

CUST. SPEC.	GRADE	CONDITION	SHIPPING DATE
	SUS32	熱間仕上材	

Manufacture No.	Charge No.	Lot No.	Size mm	Pieces	Weight kg	Remarks
SVY 0941	TH0363	1	8 φ × 1,000 ℓ	250	99	
			KM001 ~ KM250			

CHEMICAL ANALYSIS

	Spec.	レードル
C %	0.04~0.08	0.06
Si	<0.75	0.53
Mn	<2.00	1.54
P	<0.03	0.02
S	<0.03	0.01
Ni	11.0~14.0	12.9
Cr	16.0~18.0	16.4
Co	<0.10	0.04
Mo	2.0~3.0	2.3
N	<0.035	0.022
B	<0.001	0.0003

MECHANICAL PROPERTIES

Lot Position	Spec.				
Tensile Temp. RT					
UTS kg/mm²		58.9			
YS 0.2% offset kg/mm²		33.2			
Elongation % in 50 mm		54.0			
Flare °/%OD Expansion					
Flatten % of OD					
Burst kg/cm²					
Grain Size ASTM No.		5.0			
Hardness		~~167~~ 167			
~~Surface Roughness~~					

SUPPLEMENTAL INFORMATION

(1) 高温引張

	350℃	650℃
UTS	48.8	32.5
YS	20.5	18.2
E	45.0	21.0

(2) 腐食試験

ASTM A262— Practice C

平均値 0.00256 ipm.
0.00328 ipm.

CORROSION TESTS

hours ℃ kg/cm² Run No.

Lot Position	Spec.				
Gain mg/dm²					
Appearance					
Intercrystalline Corrosion					

NON DESTRUCTIVE TEST

Ultrasonic	
Hydrostatic kg/cm²	
寸法・真直度	全数合格
表面状況	全数合格

REMARKS

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

K. Takaishi
Manager of Technical Section.

3.2.3 スプリング

(1) 化学成分

Table.3－7 Spring Composition (%)

Element	Specification	Measured
C	0.60～0.85	0.81
Si	0.12～0.32	0.25
Mn	0.30～0.90	0.41
P	＜0.025	0.019
S	＜0.030	0.015
Cu	＜0.20	0.03

(2) 材　質　　ピアノ線

(3) 寸法・重量

自由長　36㎜

外　径　4.9㎜

重　量　0.98g

分析試験書

依頼者　(有) 平沼精器　殿

依頼事項　ピアノ線材分析

規格

試験年月日　昭和48年11月14日

昭和48年11月14日

茨城県工業試験所

試験結果は下記のとおりです。

	C	Sl	Nn	P	S	Cu					備考
Sample	0.81	0.25	0.41	0.019	0.015	0.03		(%)			
			以	下	余	白					

3.2.4 インシュレーターペレット

(1) 性　質

Table.3-8 Propaties of Insulator pellet

Item	Specification	Measured
U-235 Enrichment	天然ウラン	天然ウラン
O/M Ratio	2.00±0.02	2.01
Absorbed Gas Volume(μℓ/g)	<150	<10
Moisture (ppm)	< 10	<10

(2) 不純物

Table.3-9 Impurity of Insulator Pellet

Impurity (ppm)		
Element	Spec.	Measured
N	<200	<50
Mg	< 25	< 2
C	<150	<35
Ca	< 80	<10
Cl	< 25	<10
F	< 25	<10
Fe	< 25	<10

(3) 寸法・重量測定結果

Table.3-10

	直 径(mm)	高 さ(mm)	重 量(g)	密 度(%TD)
上部側UO_2ペレット	5.240	10.415	2.30	92.41
下部側UO_2ペレット	5.250	10.440	2.32	92.64

3.2.5 燃料スタック

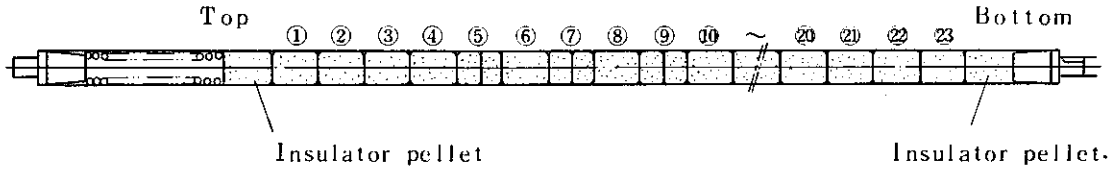
ペレットのO／M比，Pu同位体組成，Pu富化度，不純物分析結果等は「2ペレット製造」に述べてある。

(1) ペレット配列

Table.2−3にリストアップしたペレットの中から外観が良好なものを選び燃料ピン内に配列するペレットとした。

Table.3−11にペレット配列順にそのペレットの寸法，重量密度，ロット名を示す。またFig.3−2にペレットの外径及び密度をグラフで示す。

Table. 3-11 ペレット配列順



(Top)

No.	径 (mm)	高 (mm)	体積 (cm³)	重量 (g)	密 度	T.D. (%)	Lot 名
1	5.533	6.735		1.54		98.30	ツ
2	5.335	6.420		1.56		98.09	ツ
3	5.325	6.670		1.62		98.42	ツ
4	5.330	6.650		1.61		97.92	ツ
5	5.350	6.550		1.59		97.44	ケ
6	5.565	6.845		1.66		96.81	ケ
7	5.350	6.685		1.61		96.68	ケ
8	5.410	6.290		1.51		94.24	ヤ
9	5.360	6.170		1.46		94.64	ヤ
10	5.390	6.240		1.51		95.71	ヤ
11	5.400	6.590		1.60		95.67	ツ
12	5.370	6.600		1.57		94.78	ツ
13	5.360	6.640		1.61		96.97	ツ
14	5.335	6.770		1.65		98.39	ヲ
15	5.325	6.580		1.61		99.15	ヲ
16	5.350	6.610		1.61		97.78	ヲ
17	5.350	6.610		1.60		97.17	ク
18	5.345	6.350		1.55		98.17	ク
19	5.335	6.555		1.59		97.92	ク
20	5.440	6.620		1.59		93.25	ヤ
21	5.360	6.585		1.60		97.18	ヤ
22	5.380	6.540		1.58		95.90	ヤ
23	5.380	6.415		1.54		95.30	ヤ
	(Bottom)						

ペレット		ペレット	
平均外径	5.369 mm	平均密度	96.78 %TD
標準偏差	0.045 mm	標準偏差	1.53 %TD
スタック長	150.35 mm	燃料重量	36.37 g

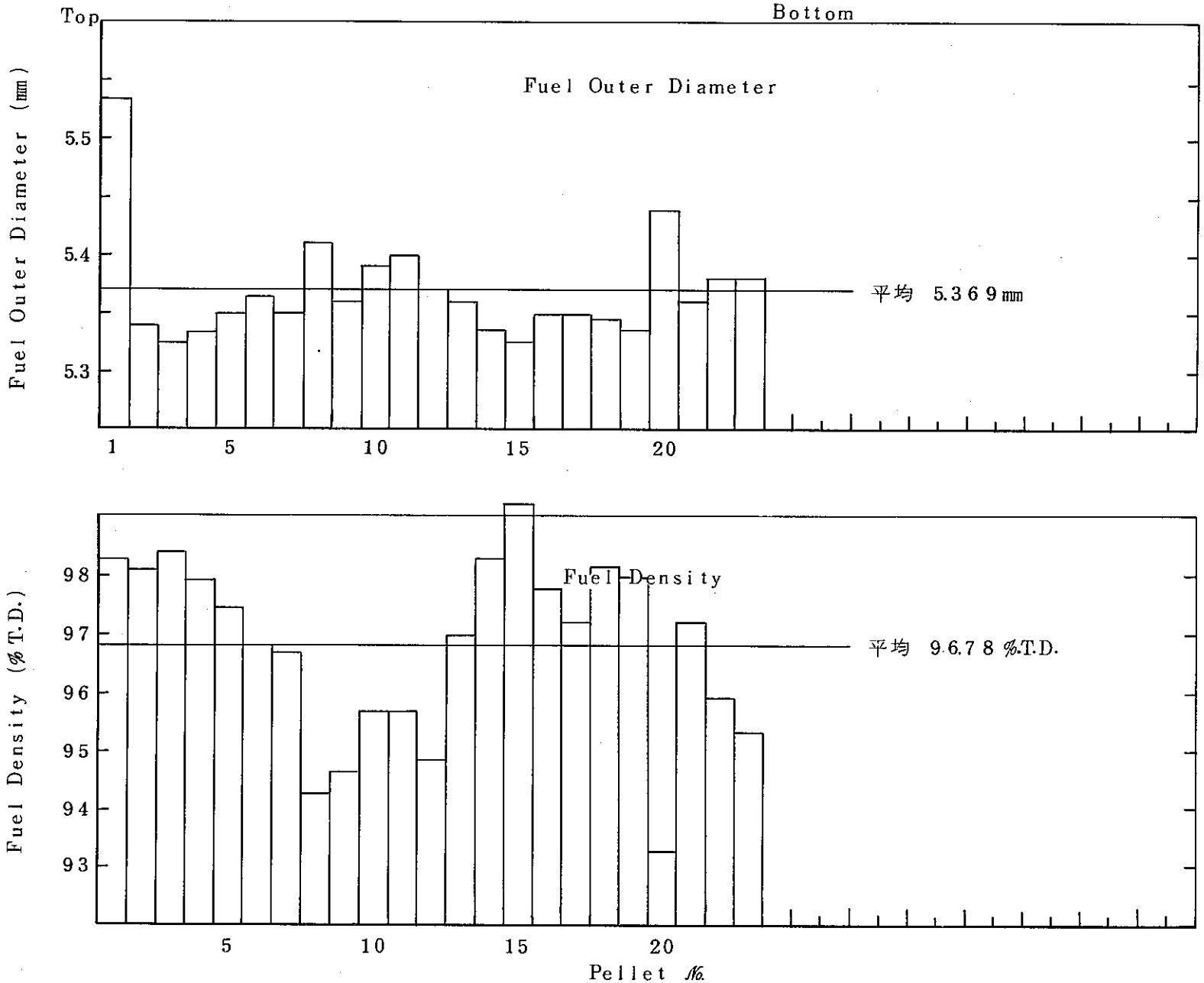


Fig. 3－2　燃料Pin内に配列したペレットの外径及び密度

3.2.6 燃料要素

(1) 寸法・重量測定結果

Table. 3-12

	Specification	Mesuared
全長 (mm)	230±2	229.98
全長 (end plugを除く) (mm)		220.00
重量 (g)		61.8

外径測定結果はTable. 3-15に示す。

Fig. 3-3はTable. 3-13のデータをグラフ化したものである。またTable.3-16に核物質重量を示す。

(2) 表面汚染

Table. 3-13

	測定方法	Specification	Mesuared
ルーズ	スミヤー法	< 10	< 5
フィックス	直接α測定法	<600	32

単位dpm

(3) Heリーク試験結果

Table. 3-14

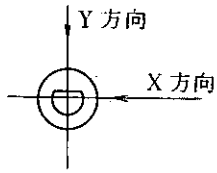
Specification	Mesuared
$<1\times10^{-8}$	6×10^{-10}

単位 atm・cc/sec

Table. 3−15

部品名　燃料要素(2)

外径測定結果　１０㎜間隔



課題

図面

材質

昭和　年　月　日

測定者

ロットの大きさ（　　）　抜取数（　　）

No.	項目			X方向	Y方向					
	規格									
	測定具			マイクロメーター						
1.			下部ビード	6.540	6.537					
2.				6.490	6.501					
3.				6.490	6.491					
4.				6.494	6.494					
5.				6.490	6.492					
6.				6.492	6.490					
7.				6.492	6.496					
8.				6.498	6.495					
9.				6.492	6.490					
10.				6.496	6.490					
11.				6.491	6.491					
12.				6.493	6.491					
13.				6.491	6.502					
14.				6.498	6.498					
15.				6.500	6.517					
16.				6.491	6.500					
17.				6.514	6.506					
18.				6.496	6.497					
19.				6.493	6.495					
20.				6.503	6.497					
21.				6.492	6.504					
22.			上部ビード	6.562	6.480					
23.										
24.										
25.										
26.										
27.										
28.										
29.										
30.										
31.										
32.										
33.										
34.										
35.										

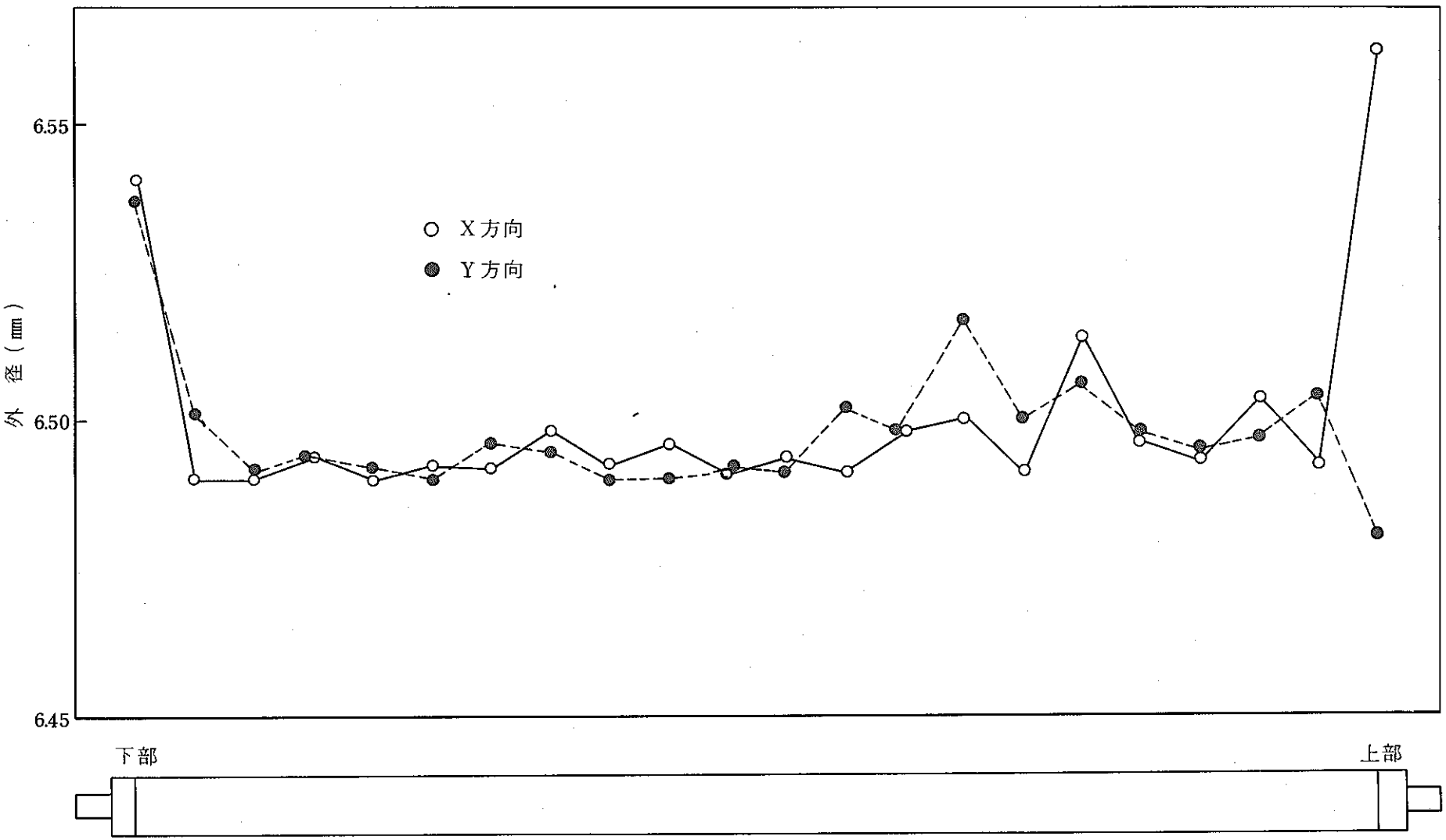


Fig. 3−3　外径測定結果

Table 3-16 Weight of fuel material (VOF-13H)

Core						Insulator	
MOx (g)	PuO_2 (g)	Pu (g)	Pu fiss. (g)	N. UO_2 (g)	NU (g)	N. UO_2 (g)	NU (g)
36.37	10.91	9.62	7.66	25.46	22.43	4.62	4

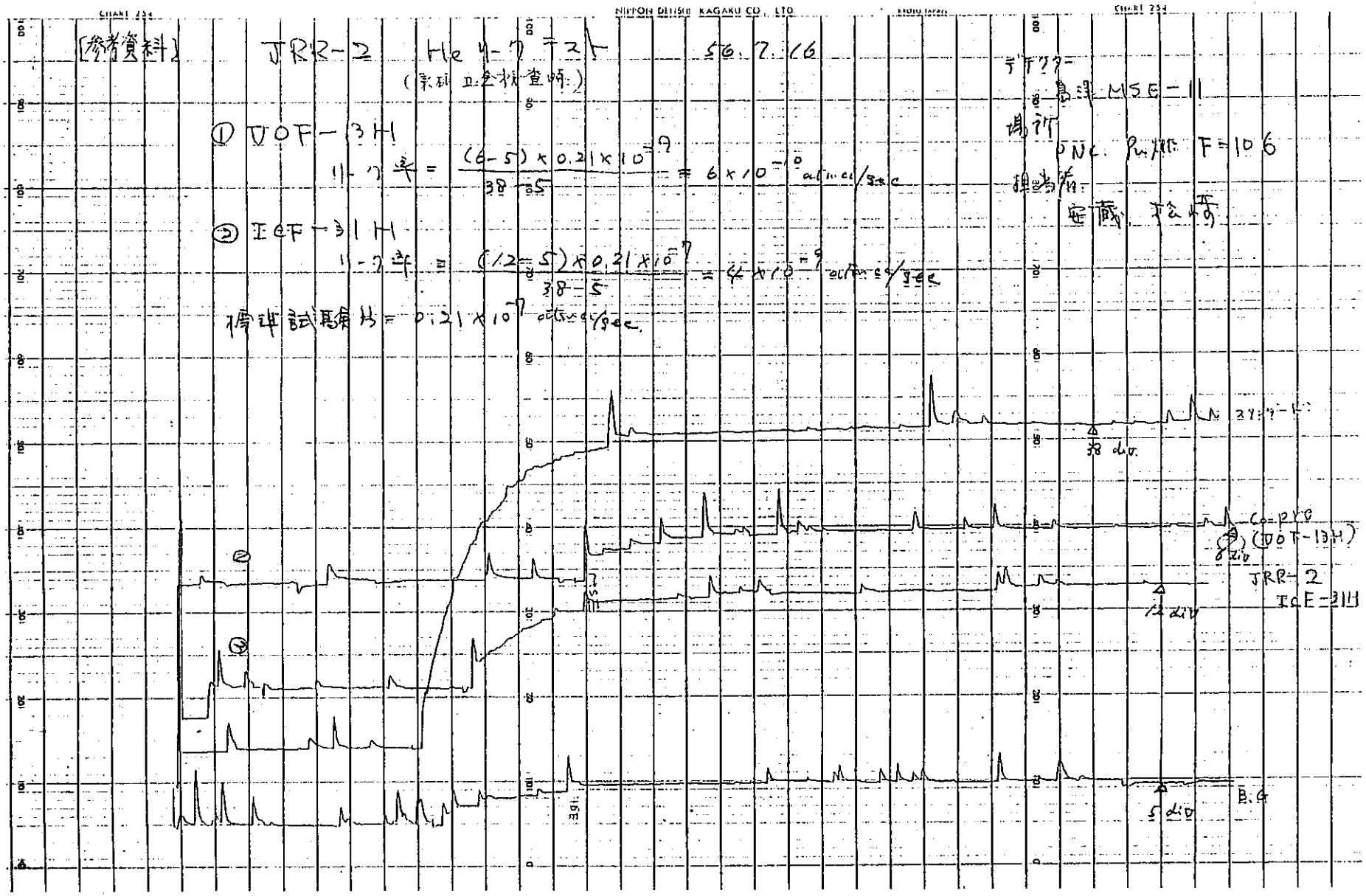


CHART 254
NIPPON DENSHI KAGAKU CO., LTD.
[参考資料]
JRR-2 He リークテスト
56.7.16
(系列 立会検査時)
① VOF-13H
リーク率 = (6-5)×0.21×10^-7 / 38-5 ≒ 6×10^-10 atm.cc/sec
② IOF-31H
リーク率 = (12-5)×0.21×10^-7 / 38-5 ≒ 4×10^-9 atm.cc/sec
停止試験片 = 0.21×10^-7 atm.cc/sec
デテクター
島津 MSE-11
場所
PNC Pu燃 F-106
担当者
安藤 孫
38 div.
Co-pyo
(VOT-13H)
8 div
JRR-2
IOE-31H
12 div
B.G
5 div

3.3 燃料ピン加工要領

3.3.1 一般的注意事項

1) グローブボックス作業

安全作業基準に基ずいて全ての作業を実施する。なかでもペレット充塡作業は，被覆管のボックス取付け取外しが，特殊なパック交換作業なので慎重におこなう。また，開口部除染作業は，オープンポートボックスで行なうので燃料ピン支持台が倒れないよう注意を払う。

2) 材料，製品の取扱い

(1) 材料，製品等は厳重な製法および検査を経て来たものであり，傷，曲げ等を与えぬ様ていねいに取扱わなければならない。

(2) 手あか等の不純物をつけない様素手で取扱ってはならない。手あかや他の不純物が付着したと認められる場合は，エチルアルコール等で洗浄する。

3.3.2 製造工程

製造工程の概略は下記の通りである。

1) 部材の洗浄，乾燥
2) 下部端栓の溶接
3) 下部端栓溶接部のX線検査
4) ペレット充塡準備
5) ペレット充塡
6) 開口部除染
7) 上部端栓の溶接
8) 燃料棒表面除染
9) 上部端栓溶接部のX線検査
10) Heリーク試験
11) 溶接部の汚染検査（Fix測定）
12) 重量，寸法測定

1) 部材の洗浄，乾燥，仮番号

(1) 装　置

- 超音波洗浄器　USC－100F28S型　（超音波工業KK）
- 乾　燥　器　MK－107　（富波製作所製）

(2) 方　法

(イ) 上，下端栓，スプリングは超音波洗浄器でアセトン，エチルアルコールの順に洗浄し乾燥器で強制乾燥する。

(ロ) 被覆管洗浄はアセトン，エチルアルコールの順に行ない，開口部はブラシを使用

して洗浄する。乾燥は乾燥器で強制乾燥する。

(ハ) 仮番号は短冊型に切断した紙に被覆管番号を記入し，セロテープで被覆管に貼る。

2) 下部端栓溶接

(1) 装　置

- 溶接装置　　大亜真空㈱製
- 溶接電源　　LPS 15／50H（大変製）
- 溶接チャンバは一種のドライボックスで $1\sim5\times10^{-5}$ Torr まで真空後，He，Ar ガスが給気される構造になっている。

(2) 方　法

(イ) 被覆管に端栓を圧入し，溶接チャンバ内に入れる。

(ロ) チャンバを油回転ポンプ，油拡散ポンプで排気し真空度を 5×10^{-5} Torr 以下にする。

(ハ) He，Arガスを大気圧になる迄導入する（He：Ar＝3：7）

(ニ) 端栓突合せ部を所定の方法で溶接し，溶接時間，電流，電圧等を記録する。
溶接部を目視で観察，溶接が満足すべきものであったかを確認する。

3) 下部端栓溶接部のX線検査

(1) 装　置

- 島津製作所製X線装置
- X 線 管：THF−200
- 最大加電圧：200KVP

(2) 撮影の方法

(イ) 所定のマスクに燃料棒の端栓溶接部を挿入し両端にはベネトラメータを併置する。
端栓溶接部以外はフィルムが感光しないように，鉛板でしゃへいする。
以上の準備が終ったら隣室へ出てX線発生コントローラにより，一定の電圧で一定時間X線を照射し撮影する。

(ロ) カセットにフィルム1枚を入れ，1本の燃料棒につき120°回転の3方向から撮影する。

4) ペレット充塡準備

(1) 装　置

(イ) 天　秤：ザウトリウス社製（独）1104型

最大秤量　1000gr

秤量感度　0.1gr

(ロ) ノギス：最大測定長　300mm

測定精度　1／20mm

(2) 被覆管準備

(イ) 上部端栓を溶接した被覆管の開口部に長さ３２㎜の管口マスクを粘着アルミホイルテープで巻きつけることにより固定する。

(ロ) 汚染防止のため被覆管の開口部側１００㎜にわたってビニールテープを巻きつける。

(ハ) ビニールテープを巻きつけた処へ，二股ビニールバックを取りつける。（ビニールテープで固定する。）

(ニ) ボックス取付用ビニールバックに被覆管を取付ける。

(3) スタック長調整

(イ) 硬質塩化ビニール製の充塡用トイの上に，ペレットを密接して並べる。

(ロ) 密接したペレットの長さをノギスで測定する。

(ハ) 上記の長さがスペックに入らない場合は，調整用ペレットと交換して全体の長さを調整する。

(4) スタック重量の測定

ペレットを上皿天秤の上にのせて全重量を測定する。

5) ペレット充塡

(1) 方　法

(イ) バックの取付け

被覆管を取付けたビニールバックを，グローブボックスのバックボードにビニールバック交換作業と同様の方法で取付ける。この場合注意しなければならないのは，ビニールバックの取付けに際して通常のバック交換の様にバングが使用出来ないことである。特殊バックの交換に際しては２名の作業者が協力し，新しいバッグを両方から引張り合う様にしてボートに取付ける。他は安全作業基準のバック交換に従がう。

(ロ) ペレットの被覆管への充塡

- ペレットを並べた充塡用トレイをバックボートより挿入した被覆管に付けて並べる。
- 並べたペレットの他端を押し棒でおして被覆管に挿入する。その際静かに押し棒を取扱かい完全にペレットをピンの底まで到達させる。
- 全部のペレットの挿入が終ったら押し棒を被覆管内部に挿入し，ペレットスタックの上端から被覆管開口部端までの長さを測定する。その長さが所定の通りあれば充塡したペレットは誤りなく挿入され，ペレット充塡中にペレットを落ちこぼしたりしなかったことが確認される。

(ハ) 一時保管

充塡が終ったらビニールバックの途中をシーラでシール切断し，被覆管をボートより分離する。切離したらビニールバックのついた方を上にして燃料棒を持ち，一時保管庫に収納する。

6) 開口部除染

(1) 装　置

Aloka Universal Scaler

(2) 方　法

(イ) オーブンボートボックス内へ，ペレット充塡済燃料棒をビニールバックの付いた一端から約15cm挿入し，燃料棒を備えつけの架台の上にのせる。

(ロ) 管口部に付いたビニールバック，汚染防止用に巻きつけてあるテープを取除く。

(ハ) ノギスを使用して，ペレットから被覆管開口部端までの距離（プレナム長）を測定する。

(ニ) オーブンボード内に挿入した被覆管表面，管口部の内部を，脱脂綿，綿棒，エチルアルコール，アルミナ紛等を用いて除染する。除染は開口部がスミヤ法で2cpm以下になるまで行なう。

(ホ) 除染を終了した管口部には，別に用意した仮栓を挿入し，ビニールテープで被覆管に固定し，一時保管庫に入れる。

この作業の従事者は半面マスクを着用する。

7) 下部端栓の溶接

(1) 装　置

- 溶接装置　JH−805型（大変㈱製）
- 溶接電源　YC−105TD−2T135（松下電器㈱製）
- 溶接チャンバーは一種のドライボックスで $1\sim5\times10^{-5}$ Torr まで直空引後，Heガスが供給される構造になっている。

(2) 方　法

(イ) 管口部除染後仮栓をつけた燃料棒（数本）および各燃料棒に挿入するスプリング，スリーブを1組にしてビニール袋に入れたものを溶接本数に応じた組数だけチャンバ内に入れる。

(ロ) チャンバを油回転ポンプ，油拡散ポンプで排気する。油拡散ポンプでの排気はチャンバ内の真空度が 5×10^{-5} Torr 以下になるまでおこない2〜3時間その真空度で排気を継続する。

(ハ) Heガスを大気圧になる迄ガスボンベよりチャンバ内に供給する。（Heガス純度：A級）

(ニ) 燃料棒をロータに取付け，仮栓を取り除き，スプリング，下部端栓の順に挿入，圧入する。

(ホ) 所定の条件で溶接を行ない，溶接時間，溶接電流，電圧を記録する。

目視で溶接部の溶接具合，着色等を観察する。再溶接可能な欠陥は再溶接し補修する。

溶接部が著しく着色していたら雰囲気ガスが不純になったためであるから，溶接を中止し，(ロ)の項より再操作する。

(ヘ) チャンバ内に装荷した燃料ピン全部の溶接が終了したら，ボートより取り出す。取取り出す際には，ビニールバックに入れシールし，フードに移動する。

8) 燃料棒表面除染

(1) 装　置

Alaka Universal Scaler 放射能測定装置

(2) 方　法

(イ) この作業に際しては外科用手袋を2重にし，半面マスクを着用して行なう。

(ロ) 第2端栓溶接済みの燃料棒をエチルアルコールで浸した脱脂綿で拭いながら除染する。

(ハ) 除染の完了はスミヤ法で確認する。（2cpm以下）

9) 下部端栓溶接部のX線検査

装　置：方法は上部端栓の場合と同様である。

10) Heリーク試験

(1) 装　置

ティテクタ：CEC製　24－120B型

チャンバ　：大亜真空製

(2) 方　法

(イ) 試験器の系 5×10^{-5} Torr 以下の真空度に排気し，その後標準リーク試験片で器の感度調整をおこなう。

(ロ) チャンバ内へ燃料棒を入れる。

(ハ) チャンバ及び排気系を 5×10^{-5} Torr 以下に排気した後，リーク率を測定する。

(ニ) もし，リーク率が 1×10^{-8} atm cc／sec 以上であれば，チャンバへ入れた燃料ピンの半数，更にその半数と分けて試験を行ない，どの燃料棒がリークをしているかをみつける。

11) 溶接部の汚染検査（Fix検査）

(1) 方　法

(イ) カウンタを溶接部に密着するくらい近づけ（5㎜以内）1分間静止して測定する。

(ロ) 測定ケ所としては溶接ビードテイル部を含む場所を始めとし被覆管を回転させて120°離れた3ケ所を測定する。

(ハ) 別に標準試料で計数効率を測定し，3ケ所の測定結果の総和が1000dpm以下であれば合格とする。

12) 重量，寸法，真直度の測定

(1) 装　置

- 定　盤
- ノギス
- 天秤（メトラP1200N型）　最大秤量1200gr　　感量0.01gr
- マイクロメータ
- シックネスゲージ

(2) 方　法

(イ) 長　　さ：MAX　2000㎜のノギスで全長を測定する。

(ロ) ビート高さ：マイクロメータでα，β90°2方向測定

(ハ) 重　　量：天秤の上に燃料棒を置いて測定する。

(ニ) 真　直　度：定盤上で燃料ピンを回転させ，シックネスゲージにより測定する。

JRR－2照射用燃料ピンの検査要領（VOF－13H）

S.55. 7. 7. yamaguchi

区分	項目	品質規格	試験検査方法	社内		使用者検査		備考
				抜取	表示		表示	
1. 被覆管	1. 素材組成	SUS－316	ミルシート確認				ミルシート提出	
	2. 寸法検査 (1) 外径 (2) 内径 (3) 肉厚 (4) 長さ	 6.50±0.03mmφ 5.60±0.03mmφ 0.45±0.03mmφ 210±1mm	内，外径及び肉厚については，マイクロメータを用いて，1／100mm以上の測定精度で測定する。長さについてはノギスを用いて，1／10mm以上の測定精度で測定する。		測定値		測定値記載	外径，内径，肉厚ともに管口部，両端のみ・90°2方向。ただし，肉厚は，各々独立に測定すること。
	3. 外観検査	○ 表面は清浄であること。 ○ 有害な欠陥が認められないこと。	目視	全数	合，否		合，否	
	4. 重量		直示天秤法	全数	0.01g		測定値記載	
2. 端栓	1. 素材組成	SUS－316	ミルシート確認				ミルシート提出	
	2. 寸法検査	図面記載通り	マイクロメーター又はノギス	全数	0.01mm		測定値記載	主要箇所のみ行なう。
	3. 外観検査	○ 表面は清浄であること。 ○ 有害な欠陥が認められないこと。	目視	全数	合，否		合，否	
	4. 重量検査		直示天秤法	全数	0.01g			

区　分	項　目	品質規格	試験検査方法	社　内		使用者検査		備　考
				抜取	表示	抜取	表示	
3. スプリング	1. 素材組成及び材料試験	ピアノ線	ミルシート確認				ミルシート提出	
	2. 線　径 3. コイル外径 4. 有効巻数 5. 総巻数 6. バネ定数 7. 自由長	36±1mm					試験成績書提出	
4. 断　熱ペレット(UO_2)	1. 天然(UO_2)							
	2. 寸法検査 (1) 外　径 (2) 高　さ (3) 重　量 (4) 密　度 (5) 外　観	 φ5.30±0.1mm 10±1mm ○ 有害なかけわれのないこと。	 マイクロメーター 〃 直示天秤法 寸法重量法 目　視		 0.01mm 〃 0.1g 1%T.D.		測定値記載	
	3. 化学分析 (1) O／U (2) 蒸発性不純物	 $2.00^{+0.02}_{-0.01}$ ≦10μℓ／g (水分も含む)	 酸化還元重量法 高温真空抽出法	1／ロット	 0.01 1μℓ／g		測定値記載	

区　分	項　目	品質規格	試験検査方法	社　内		使用者検査		備　考
				抜　取	表　示	抜　取	表　示	
5. $(U,Pu)O_2$ 燃料ペレット	1. PuO_2富化度	30±1wt%	電位差滴定法					
	2. O／M比	1.98±0.02	酸化還元重量法					
	3. 水　分	＜30μℓ／g	電気滴定法					
	4. 蒸発性不純物	＜100μℓ／g	高温真空抽出法					*1700℃，30分で抽出。
	5. 不純物	(PPm)						
	Fe	≦800		1／ロット	1ppm		測定値記載	
	Al	≦500			〃			
	B	≦20			〃			
	F	≦25			〃			
	Cl	≦80			〃			
	C	≦150			〃			
	N	≦200			〃			
	全不純物量	＜3000			〃			
	6. 外観検査	○ ペレットに有害な割れ，ピットのないこと。 ○ ペレット側面積の10%以上のかけがないこと。 ○ 表面は清浄であること。	目　視	全　数	合，否		合，否	

区　分	項　目	品質規格	試験検査方法	社内		使用者検査		備　考
				抜取	表示	抜取	表示	
	7. 寸法検査 (1) 外　径 (2) 高　さ (3) 重　量 (4) 密　度	 5.40±0.05mm 10±1mm 93±2%T.D.	 マイクロメーター 〃 直示天秤法 寸法重量法	全数	 0.01mm 〃 0.01g 0.1%T.D.			
	8. ペレットスタック検査 (1) スタック長 (2) スタック重量	 150±2mm	 ノ　ギ　ス 天　秤　法	全数	 0.1mm 0.1g		測定値記載	
8. 燃料要素	1. 寸法検査 (1) 全　長 (2) 真直度 (3) ブレナム長	 230±2	 ノ　ギ　ス 定盤基準法 ノギス					真直度は，シックネスゲージにより測定。
	2. 外観検査 (1) 燃料要素全体 (2) 溶接部	 ○ 表面に欠陥のないこと。 ○ 十分に清浄であること。 ○ 溶接部に割れ，きず等で有害なものがない事。	 X線透過法	全数	合，否		合，否 X線フィルム提出	

区　分	項　目	品質規格	試験検査方法	社　内		使用者検査		備　考
				抜　取	表　示	抜　取	表　示	
	3. 洩れ試験	1×10^{-8}atm cc/sec 以下	Heリーク試験	全　数	測定値		測定値記載	
	4. X線検査	○ 0.2mm≧のブローホール，インクルージョンが認められないこと。	X線透過法	全　数	合，否 X　線 フィルム		合，否 X線フィルム提出	
	5. 重　量		直示天秤法	全　数	0.01g		測定値記載	
	6. 表面汚染 (1) ルーズ (2) フィックス	10dpm/1本以下。 600dpm/1本以下。	スミヤー法 直接の測定法	全　数	測定値		測定値記載	
	7. 全体X線検査	内部構造に異常が認められないこと。		全　数	合，否 X　線 フィルム		合，否 X線フィルム提出	内部構造が明確に識別できるように撮影。
	8. 燃料ピン外径検査	溶接部ビードから10mm間隔で測定。	マイクロメーター	全　数	測定値		測定値記載	90°2方向

4. キャプセル製造記録

4.1 設計条件

4.1.1 設計仕様

VOF−13Hキャプセルは，混合転換法により製造された30 w/o 高富化PuO_2−UO_2 混合酸化物燃料ペレットを用いた「もんじゅ」タイプの燃料ピンを照射試料とする計装キャプセルである。試料燃料ピンはSUS−316被覆管を用いた外径6.5㎜，全長230㎜のもので，PuO_2−UO_2 ペレット部のスタック長さは150㎜である。

本キャプセルの構造は，燃料ピンをNaK 管内に収容し，熱媒体，外筒にアルミニウムを用いたいわゆる3重気密構造キャプセルである。

設計条件は，試料燃料ピンの線出力密度目標値500 watt/㎝，到達燃焼度10,000 MWD/T である。燃料ペレットのプルトニウム富化度が30 w/o と高く，ペレット内の熱中性子デプレッションが大きいため，核分裂出力量及びペレット中心温度の正確な評価が難しく，さらに照射孔が反射体領域に近いVT−10孔であるため原子炉運転中の熱中性子束変動がインコア照射孔に比べて大きいことから，設計条件のその他の項目については後で述べる設計計算の結果をもとにして照射孔の高さ方向の照射位置を決定して最終的に決める方法をとった。

4.1.2 燃料ピン

照射試料となる燃料ピンは，PuO_2 − UO_2 燃料ペレットの製造から燃料ピン完成体まで全てPNCで製造，検査された。（3. 燃料ピン製造記録参照）

4.1.3 照 射 孔

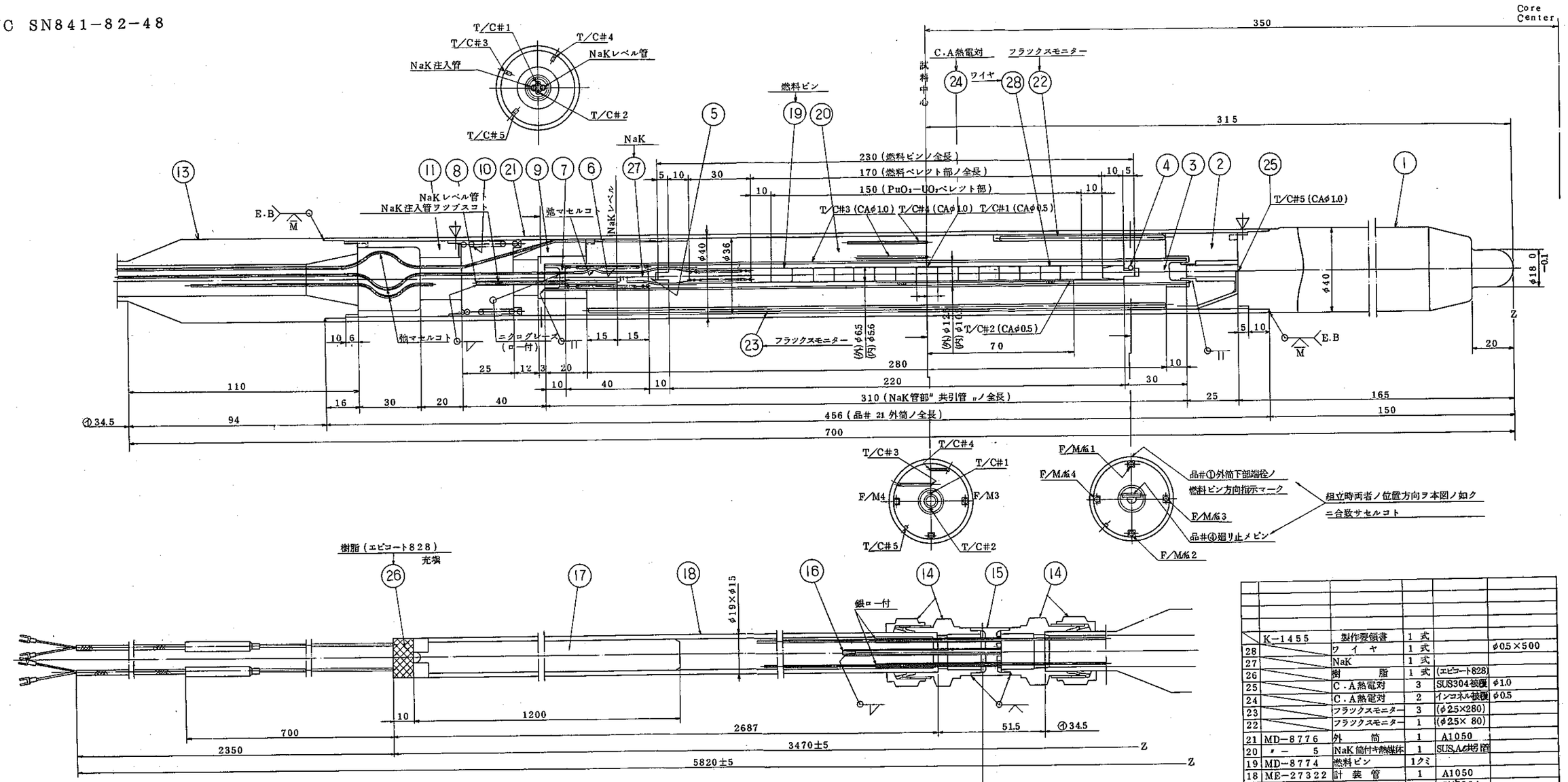
VOF−13Hキャプセルの照射試験にはJRR−2VT−10孔を使用する。VT−10孔の炉心中心位置での熱中性子束は1.0×10^{14}（n/㎠・sec）であるが設計計算の結果，本キャプセルの照射位置は炉心中心より350㎜上方を予定した。

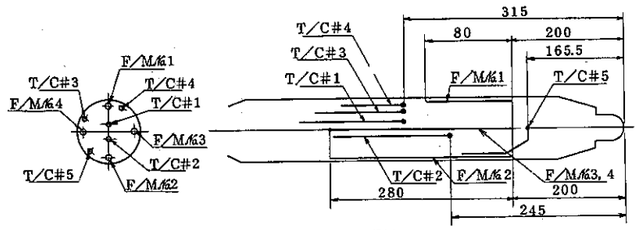
4.2 構造設計

4.2.1 キャプセル構造

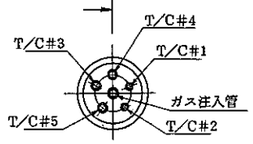
Fig 4−1にVOF−13H キャプセルの全体構造を示す。

PNC SN841-82-48





熱電対及ビフラックスモニター配置図



注

(1) 品#㉑外筒ノ表面ニキヤプセル名称番号ヲ設ケルコト

(2) ▽印ノ個所ニ切断マークヲ設ケルコト

(3) 品#⑳熱媒体内部ニ品#㉗NaKヲNaKレベルマデ注入後高純度(He)ガスヲ1気圧充塡スル（リーク量(He) 1×10^{-8} atm cc/sec以下）

(4) 品#㉑外筒内部ニ高純度(He)ガスヲ1気圧充塡スル（リーク量(He) 1×10^{-8} atm cc/sec以下）

(5) 品#㉘ワイヤハ品#⑲燃料ピントT/C#2ヲ縛リ又品⑲トT/C#1, 2ヲ同時ニ縛ルコト

(6) 真直度 $\overset{0.3}{700}$ mm以内

(7) 洗浄 ㊱

(8) T/C#1, 2, 3, 4ハ一直線上ニ合致サセルコト（本資料中心部ノ断面図参照）

品番	図番	部品名	材質	備考
	K−1455	製作要領書	1式	
28		ワイヤ	1式	φ0.5×500
27		NaK	1式	
26		樹脂	1式	(エピコート828)
25		C.A熱電対	3	SUS304被覆 φ1.0
24		C.A熱電対	2	インコネル被覆 φ0.5
23		フラックスモニター	3	(φ25×280)
22		フラックスモニター	1	(φ25×80)
21	MD−8776	外筒	1	A1050
20	〃−5	NaK筒付キ熱媒体	1	SUS,Al共引管
19	MD−8774	燃料ピン	1クミ	
18	ME−27322	計装管	1	A1050
17	〃−1	シールドプラグ	1	SUS304
16	〃−20	プラグ	1	SUS316
15	〃−9	端栓	1	SUS316
14	〃−8	スウエージロック	2クミ	SUS316
13	ME−27317	外筒上部端栓	1	A1050
12		(欠番)		
11	ME−27315	スペーサー	1	A1050
10	〃−4	スプリング	1	インコネル600
9	〃−3	熱媒体	1	A1050
8	〃−2	プラグ	2	SUS316
7	〃−1−1	NaK筒上部端栓	1	SUS316
6	〃−10	スプリング	1	インコネル600
5	〃−9	ガイドピース	1	SUS316
4	〃−8	廻り止メピン	1	SUS316
3	〃−7	NaK筒下部端栓	1	SUS316
2	〃−6	熱媒体	1	A1050
1	ME−27305	外筒下部端栓	1	A1050

RM−3100

名称	VOF−13Hキャプセル 組立図	画法	三角	尺度 1/1 (/)
	仕上重量（一台分kg）	設計	椿谷	承認
		製図		
		審査	宮本	
	日本原子力研究所	MB−2948−1		

キャプセルの構造は，NaK管及びアルミ熱媒体部はSUS−316とA1050の共引管を用いており，NaK44の使用と共にキャプセルの除熱効果を良くする構造とし，アルミ外筒と共引管の寸法公差も可能な程度に小さくした。NaK管内及びキャプセルの間隙及び空間内には高純度ヘリウムガス（1atm cc／sec）を充塡した。

キャプセルの計装としてはキャプセル内各部の温度測定用熱電対5本と中性子束モニタ4本を配置することとした。

4.2.2 熱電対配置

計測線としてクロメル−アルメル熱電対5本を配置した。NaK管内の燃料ピン表面には試料中央部と最下部ペレット部の2箇所に外径0.5㎜の熱電対を用いており，これらはそれぞれ燃料ピンの外周にステンレス製の細線により縛りつけることにより固定し，NaK管の上部から外に引き出されてい　。また熱媒体内に線出力評価用として2本，さらにNaK管下端空間部にNaK漏洩検出用1本の都合3本を外径1.0㎜の熱電体を用いて取付けた。

Fig.4−2にキャプセル本体部の構造と計装線の取付状況を示す。

4.2.3 中性子束モニタ仕様

中性子束モニタとして熱媒体内に4本のアルミニウム−コバルト合金線を配置した。これは熱中性子束評価用として用いるもので，コバルト含有率0.024％の外径0.5㎜のワイヤを用いており，外径2.4㎜のアルミシース管に入れ，熱媒体内各90°方向に取付けた。

Fig.4−3に中性子束モニタの明細を示す。

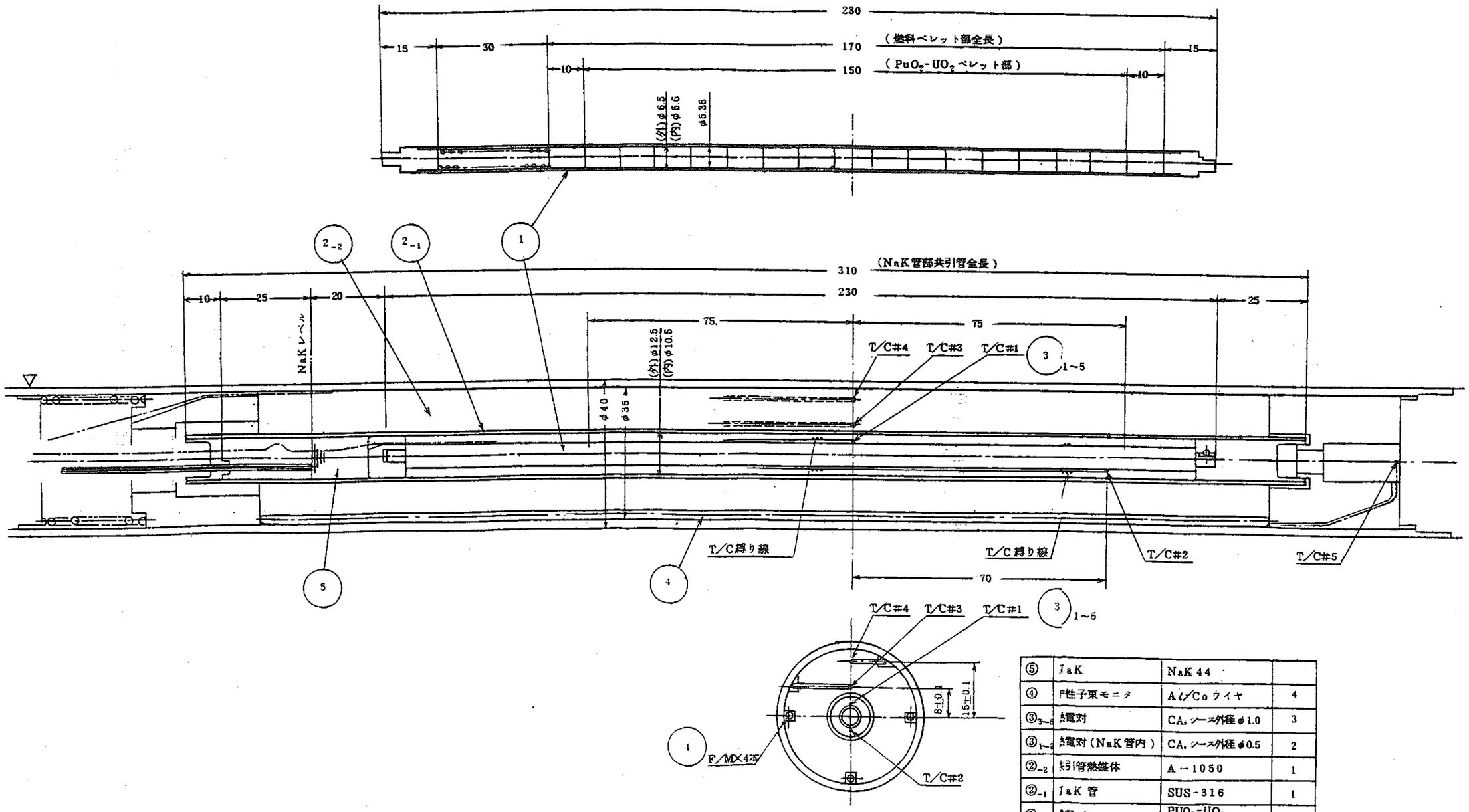
4.3 製　作

4.3.1 製作仕様

キャプセルの製作は日本原子力研究所東海研究所技術部工作課に於いて実施したが，製作に先立ちキャプセルの基本設計を研究炉利用課が行い，製作・検査仕様書を作成した。

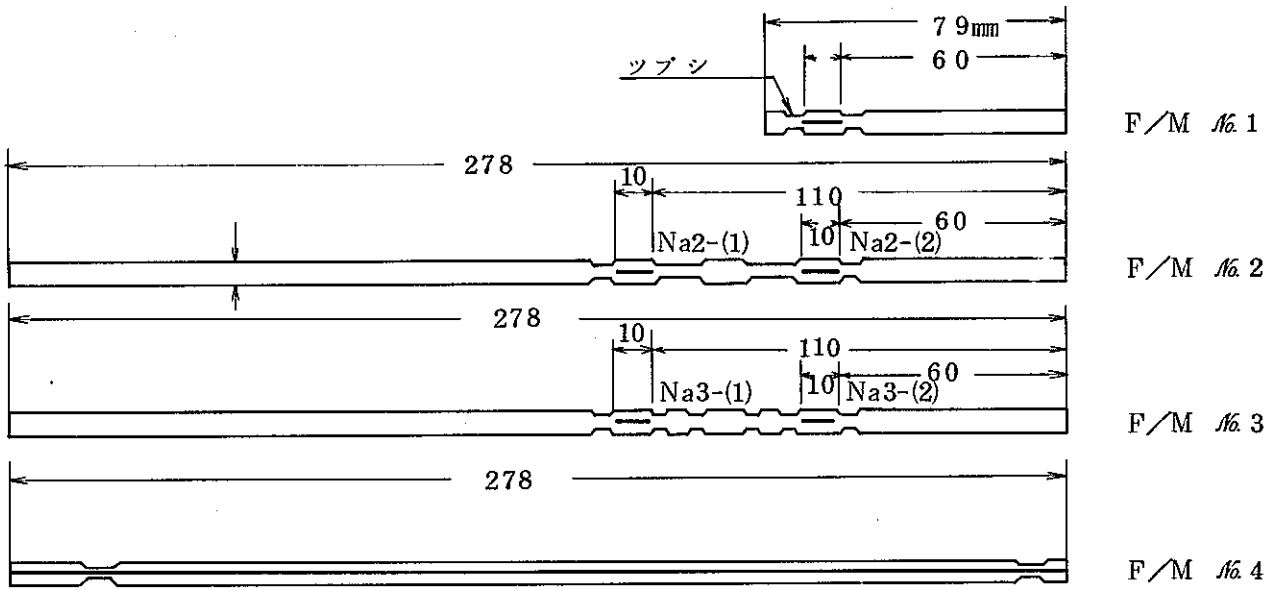
4.3.2 製作工程

キャプセル製作の工程については，Table4−1に示す通りであり，56年10月下旬に完成した。



No	部名	材質	員数
⑤	NaK	NaK 44	
④	中性子束モニタ	Al/Coワイヤ	4
③3~5	熱電対	CA. シース外径φ1.0	3
③1~2	熱電対(NaK管内)	CA. シース外径φ0.5	2
②-2	共引管熱媒体	A-1050	1
②-1	NaK管	SUS-316	1
①	燃料ピン	PUO_2-UO_2 SUS-316	1

Fig. 4-2 YOF-13Hキャプセル本体部構造及び計装取付図



仕様：

1. F／MとしてAℓ−Co（0.024％）φ0.5ワイヤを使用する。
2. シースとしてAℓ管φ2.4O.D./φ1.2 I.D. を使用する。
3. F／M№1〜№4の区別は上図の如くツブシの違いによること。
4. VOF−13Hキャプセル内のF／M4本，Aℓ／Coワイヤ試料数は6個である。

記　　号	F／M長さ	Aℓ／Coワイヤ重量	備　　考
F／M №1	10 (mm)	0.00525 (g)	
F／M №2−(1)	10	0.00531	
№2−(2)	10	0.00526	
F／M №3−(1)	10	0.00527	
№3−(2)	10	0.00526	
F／M №4	278	0.14623	

Fig. 4−3　中性子束モニタ明細図

RM-3100

VOF-13H

Table.4-1 製作工程表

日本原子力研究所
工作課

項目 ＼ 期日	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
技術打合												
設計												
承認												
部品加工，検査												
試料受入												
組立												
完成検査												
こん包												

4.4 検　査

4.4.1 検査概要

VOF−13Hキャプセル製作に係る諸検査のうち，試料となる燃料ピンについてはPNCが実施した。

工作課におけるキャプセルの製作及び検査に関しては「東海研究所キャプセル設計・製作基準」及び「東海研究所キャプセル検査基準」に従って実施され，その結果は「VOF−13Hキャプセル検査成績書（56年10月）」に記録されている。

4.4.2 試料燃料ピンの検査

PuO_2-UO_2 燃料ペレット及び燃料ピン完成体に関して検査結果が規格値にそれぞれ合致していることを確認し，さらに燃料ピンの原研への支給時にヘリウム漏洩検査，表面汚染度検査その他核燃料物質の移動に伴う諸検査を実施していずれも基準値以内であり問題ないことを確認した。

4.4.3 キャプセルの検査

VOF−13Hキャプセル検査成績書により，各検査項目に関する検査結果を確認した。主な項目についての検査結果は次の通りである。

(1) 材料検査

素材メーカ提出のミルシートによりJISまたは相当規格に合致していることを確認した。

(2) 寸法，重量検査

燃料ピン，キャプセル部材および組立終了後のキャプセルについて，寸法及び重量検査を実施し，承認記載の許容寸法公差内に合致していることを確認した。NaKレベルについては基準レベル位置に対して−1㎜であり問題はなかった。キャプセルの完成後の全重量は5.1㎏である。

(3) 溶接部非破壊検査

NaK管端栓溶接部，外筒溶接部等についてX線透過写真法による検査結果はJIS規格による判定に合格していることを確認した。

(4) ヘリウム漏洩検査

キャプセルの組立中及び完成時に行った真空法による検査結果は，$2.0\sim2.4\times10^{-10}$ atm cc／sec であった。

(5) 表面汚染密度検査

キャプセル完成体についてのα汚染に関する測定結果は，ふきとり検査法で20dpm／100㎠以下，ガスフローTDC−501による測定結果は2.1dpm／100㎠以下（検出限界値以下であり問題ないことを確認した。

(6) 熱電対検査

熱電対の購入時単体についてはメーカの試験成績書の記録，キャプセルの完成時の検査については工作検査成績書により，それぞれ絶縁抵抗及び導通試験結果が正常な指示値であることを確認した。

4.4.4 検査結果

以上の検査の結果，ＶＯＦ－１３Ｈキャプセルの試料燃料ピン及びキャプセル完成体は基準及び規格に合格しており，照射試験を実施するに当り問題となることはない。

5. 核・熱計算と安全解析[1)]

5.1 核・熱計算

5.1.1 「THERMOS」コードによるセル核計算

VOF-13Hキャプセルは VT-10孔による照射試験を予定しており，この照射孔の熱中性子束，高速中性子束及びカドミウム比は特性試験結果として照射試料が装荷されていない状態での値が得られている。照射キャプセルが装荷された場合の中性子束分布の変化と試料部の熱中性子束分布を知り，さらに PuO_2-UO_2 ペレットによる核分裂断面積等の核定数を求めるために「THERMOS」コードによる単一セル核計算を行った。

Fig.5-1 及び Fig.5-2 にそれぞれ VT-10孔の試料キャプセル装荷及び未装荷状態をモデルとした「THERMOS」コード入力データを示す。

5.1.2 熱中性子束デプレッションファクタ

Fig.5-3に「THERMOS」コードによる VT-10孔の熱中性子束分布計算結果を示す。

キャプセルの装荷時および未装荷時の熱中性子束分布から，体系の最外層で規格化し燃料ペレット部に相当するセル中央部の両者の中性子束比を求めて，これを熱中性子束デプレッションファクタ（DF）と定義する。

図中にも示した通り，DFの値は0.265と求められた。これはキャプセルの装荷時に未装荷時即ち特性試験時の熱中性子束が26.5%に落ち込むことを意味しており，VOF-13H キャプセルの PuO_2-UO_2 燃料ペレットが30%とプルトニウム富化度が高いことによるデプレッション効果の大きいことを示している。

5.1.3 マクロ核分裂断面積

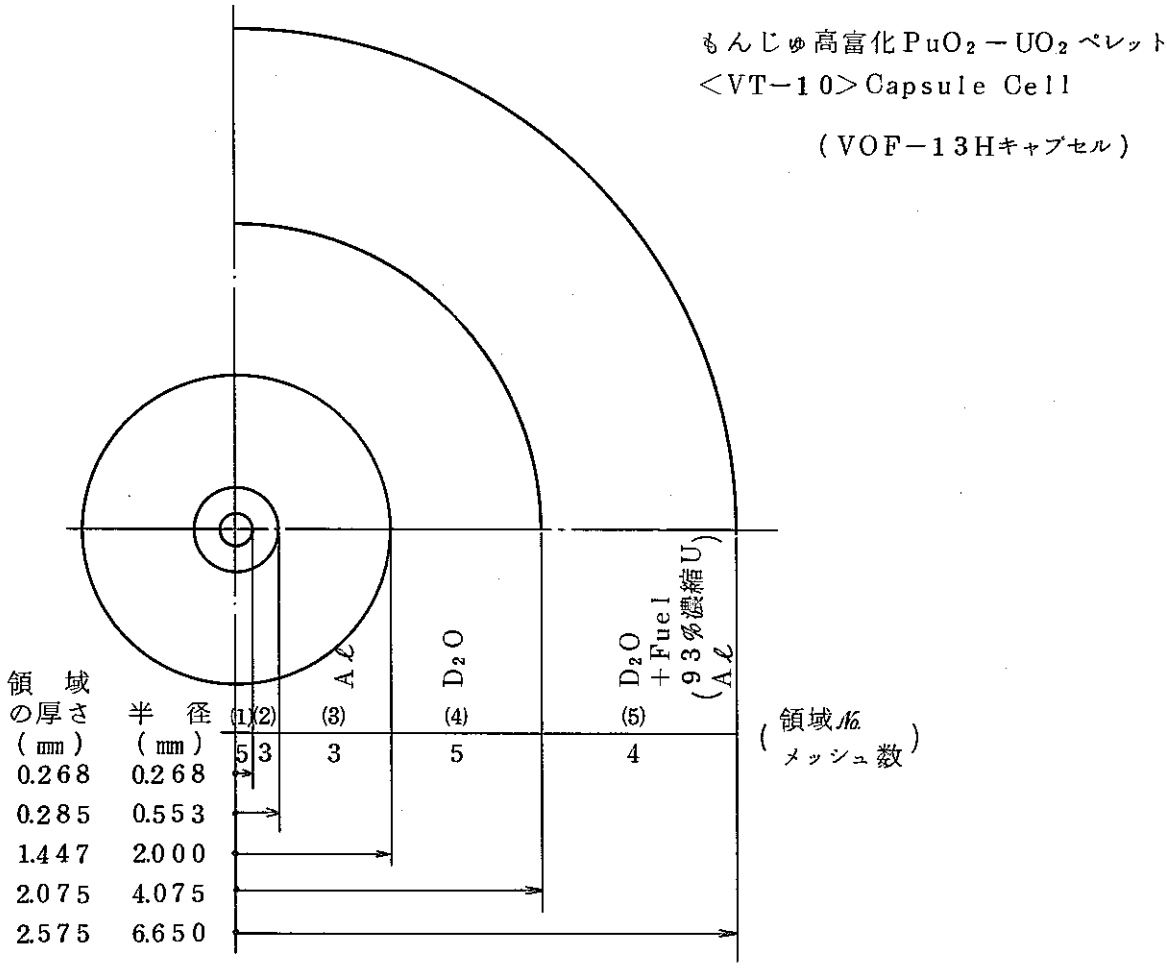
「THERMOS」コードの計算結果から，キャプセル装荷時の PuO_2-UO_2 ペレットの核分裂性核種によるマクロ断面積（Σ_f）を求めた。

Σ_f は2.89（cm^{-1}）である。

5.1.4 実効中性子束比

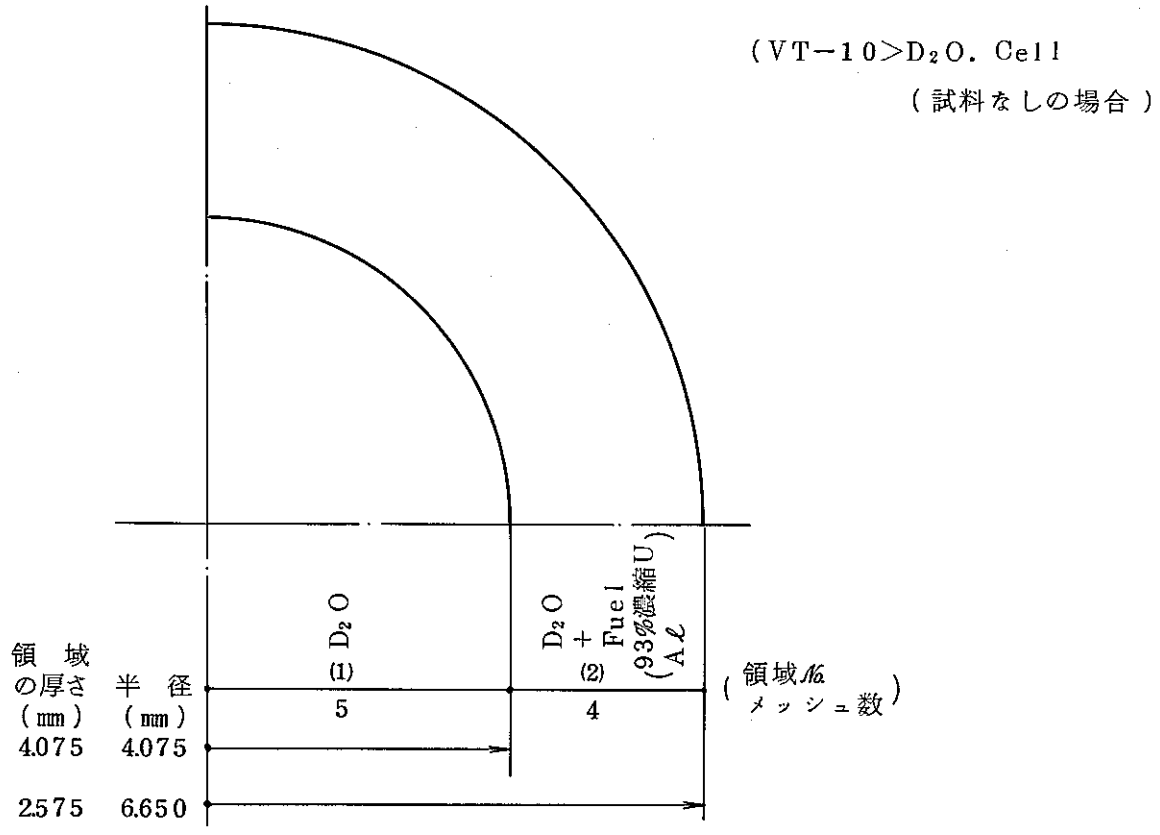
「THERMOS」コードで取扱う中性子エネルギーの範囲は 6.4×10^{-4}～0.785eV の範囲である。この熱中性子エネルギー範囲外の熱外中性子による核分裂の効果を考慮に入れるために実効中性子束を求める方法を採用した。

実効中性子束は次式により定義される。



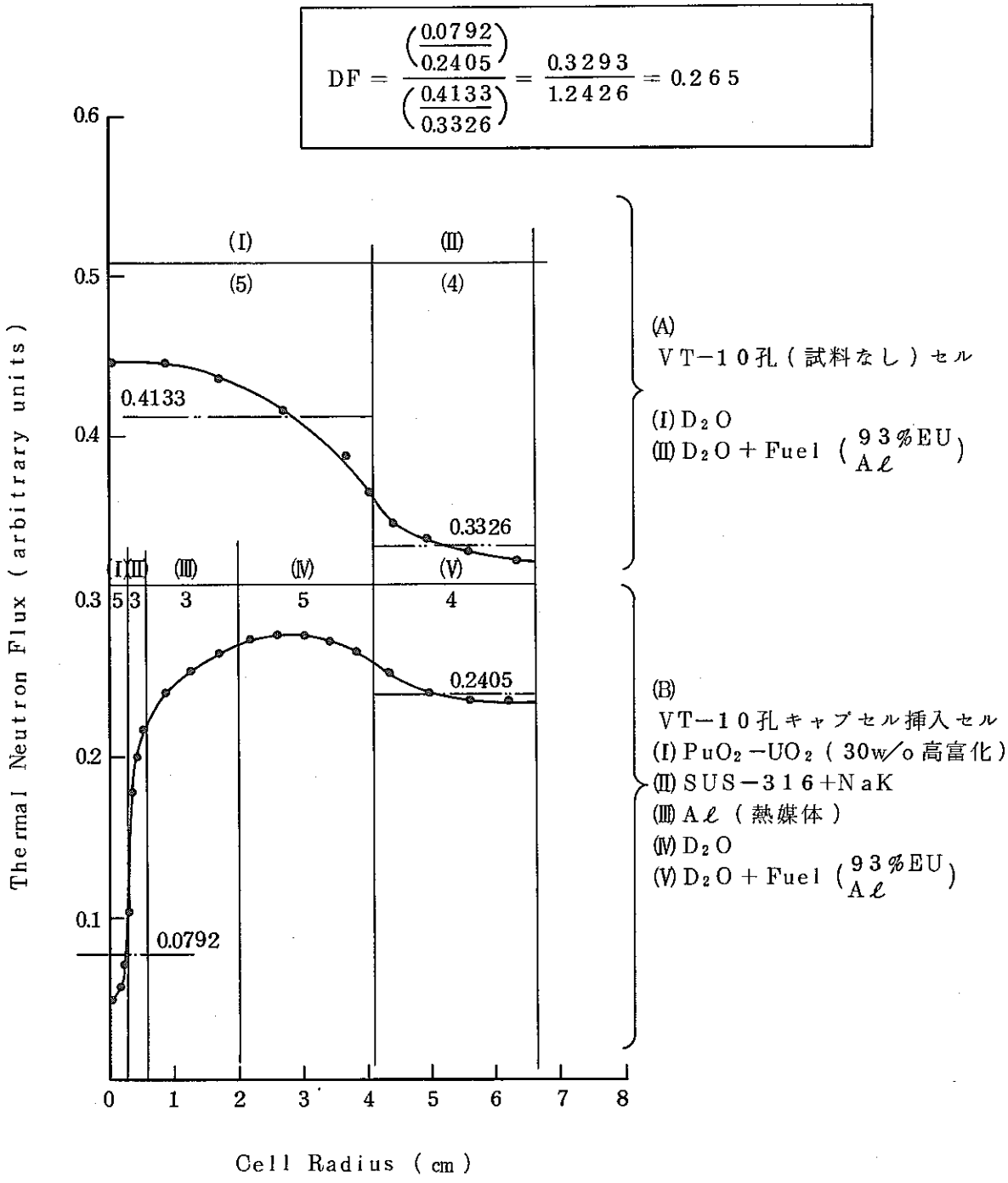
元素	物質記号 (THERMOS コード)	原子個数密度 領域(1) Mix. 1	〃 (2) Mix. 2	〃 (3) Mix. 3	〃 (4) Mix. 4	〃 (5) Mix. 5	備考
^{235}U	23592－2	0.110 -03				0.96038-04	
^{238}U	23892－2	0.156 -01				0.10625-04	
^{239}Pu	23994－2	0.488 -02					
^{240}Pu	24094－1	0.126 -02					
^{241}Pu	24194－1	0.2294-03					
^{242}Pu	24294－1						
^{16}O	168－2	0.440 -01			0.33100-01	0.24116-01	
Ni	5298－2		0.30670-02				
Cr	5224－2		0.77906-02				
Mn	5525－2		0.81924-03				
Fe	5626－2		0.29013-01				
Na	2311－2		0.13012-01				NaK
K	3919－2		0.60117-02				NaK
Al	2713－2			0.60225-01		0.33020-01	
D	21－11				0.64000-01	0.46720-01	
H	18－22				0.22060-02	0.16115-02	

Fig. 5－1 「THERMOS」コード入力データ（VOF－13Hキャプセル）



元素	物質記号 (THERMOSコード)	原子個数密度 領域(1) Mix. 1	〃 (2) Mix. 2				備考
^{235}U	23592− 2		0.96038-04				
^{238}U	23892− 2		0.10625-04				
^{239}Pu	23994− 2						
^{240}Pu	24094− 1						
^{241}Pu	24194− 1						
^{242}Pu	24294− 1						
^{16}O	168− 2		0.24116-01				
Ni	5298− 2						
Cr	5224− 2						
Mn	5525− 2						
Fe	5626− 2						
Na	2311− 2						
K	3919− 2						
Al	2713− 2		0.33020-01				
D	21− 11		0.46720-01				
H	18− 22		0.16115-02				

Fig. 5−2 「THERMOS」コード入力データ(VT−10孔試料なし)



使用コード：THERMOSコード

Fig. 5−3　VT−10（11〜12）孔
30w/oPuO2−UO2燃料キャプセルのセル核計算結果

$$\phi_{ef}=\int_{6.4\times10^{-4}}^{0.785}\left\{\phi_{th}\frac{E}{(KT)^2}\cdot\exp\left(-\frac{E}{KT}\right)+\phi_{epi}\cdot\frac{\triangle}{E}\right\}dE$$

$$\phi_{epi}=\phi_{th}\cdot\frac{\sqrt{\frac{\pi}{2}}\cdot\sigma_0\cdot g\cdot\sqrt{\frac{293.6}{T}}}{(Rcd-Fcd)\cdot S_{epi}\cdot\int_{Ecd}^{\infty}\sigma(E)\frac{dE}{E}}$$

$$\triangle=\frac{1}{\left\{1-\frac{0.26}{1+(2.131\cdot E)^5}\right\}\left\{1+\left(\frac{4.95KT}{E}\right)^7\right\}}$$

ここで，　ϕ_{ef}　：実効中性子束（n，cm²・sec）

ϕ_{th}　：熱中性子束（　〃　）（実測値を用いる。Fig. 5－4参照）

ϕ_{epi}　：熱外中性子束（　〃　）

E　：中性子エネルギー（eV）

K　：ボルツマン定数（eV／K）

T　：中性子温度（K）

△　：結合関数

さらに熱中性子束測定時に使用した金箔及びカドミウムカバーに対する値を用いると以下の通りである。

σ_0　：金（Au）の放射化断面積＝98.86 barn（中性子速度＝2,200m／sec）

$\sigma(E)$：Cdの放射化断面積$\int_{Ecd=0.55\,eV}^{\infty}\sigma(E)dE=1,585$ barn

g　：gファクタ＝1.0064

R_{cd}　：カドミウム比＝（実測値）

F_{cd}　：カドミウム比補正引子＝1.08

S_{epi}　：熱中性子に対する自己遮蔽係数＝0.46

上記の各式にそれぞれの数値を代入してϕ_{ef}を求めると，ϕ_{ef}はRcd の関数として整理することができる（式省略）。

ここで，以下の核分裂発熱量計算の便利のために実効中性子束（ϕ_{ef}）と熱中性子束（ϕ_{th}）の比を「実効中性子束比（α）」と定義する。

即ち

$$\text{実効中性子束比}(\alpha)=\frac{\phi_{ef}}{\phi_{th}}$$

このように整理することにより照射孔の熱中性子束分布とカドミウム比の分布からαが計算され照射位置毎の核分裂量の計算が容易となる。

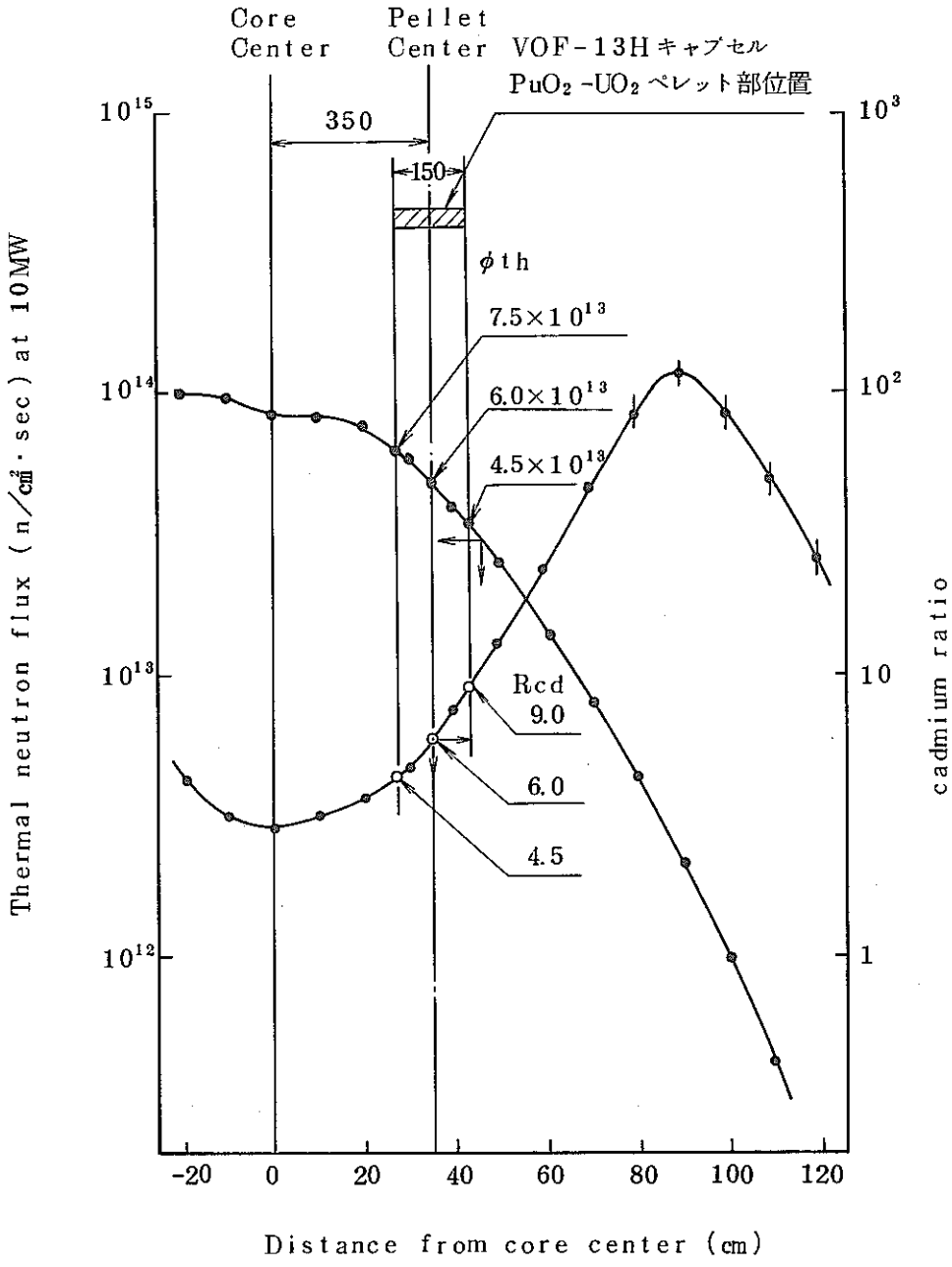


Fig. 5-4 Thermal neutron flux distribution of VT-10

Fig. 5-4 にVT-10孔の熱中性子束及びカドミウム比の分布を示す。

VOF-13Hキャプセルの照射位置を炉心中央から350mm上方にとると熱中性子束は6.0×10^{13} (n/cm²・sec)，カドミウム比は6.0となり，この位置でのαの値は

$$\alpha = 1.12$$

と求められる。

カドミウム比が10以下の場合はϕ_{ef}に対するR_{cd}の差の効果は小さいので，VT-10孔のこの照射位置に対するαの値は以後1.12を使うこととする。

5.1.5 高速中性子束核分裂効果

プルトニウム富化度が高くなり，プルトニウム・フィッサイル同位体比率が高くなるとウランに対するプルトニウムによる核分裂比率は大きくなる。ここで，プルトニウム核分裂効果を定量的に把握する一つの方法として単一セル燃焼計算コード「LASER[3]」を用いて，本キャプセルと近似した体系におけるプルトニウム対ウランの核分裂比率を求め，合わせて高速中性子束による核分裂効果を求めた。

Table. 5-1に計算結果を示す。

この結果，30 w/o PuO_2-UO_2 燃料ペレットではプルトニウムの核分裂比が98.6%，ウランがわずかに1.4%と求められ，高富化ペレットのプルトニウム核分裂比率の高いことがわかる。さらに熱中性子と高速及び熱外中性子の核分裂比率は，それぞれ96.4%と3.6%となっており熱外中性子を含む高速中性子の核分裂効果は4%弱となっている。この結果から，重水核子内の熱中性子体系における高富化混合酸化物燃料ペレットはプルトニウムによる核分裂で支配的に占められていることがわかる。

Table. 5-2 にはプルトニウム富化度の差による比較をするため，富化度6 w/o の場合の計算例を同時に示す。

5.1.6 核分裂発熱量

PuO_2-UO_2 燃料ペレット部からの核分裂発熱量は，前項まで記したそれぞれの値を用いて，次式により求めた。

$$\boxed{Q = 3.15\times10^{-11}\cdot\Sigma_f\cdot\alpha\cdot\phi_{th}\cdot DF\cdot\pi r^2\ (\mathrm{watt/cm})}$$

ここで，Q ： ペレットの線出力密度 (watt/cm)

3.15×10^{-11}: エネルギー換算係数 (watt・sec/fission)

Σ_f ： ペレットのマクロ核分裂断面積 (cm^{-1})

α ： 実効中性子束比

ϕ_{th} ： 熱中性子束 (n/cm²・sec)

Table. 5−1 LASERコードによる
VOF−13Hキャブセル単一セルにおける核分裂比率計算値

(1) Isotopic Fission Rate／Cell Total Fission −Rate

	もんじゅ（30w／o高富化）		参考計算（6w／o低富化）	
^{235}U	0.014191	0.014476 (1.4%)	0.086269	0.087781 (8.8%)
^{238}U	0.000285		0.001512	
^{239}Pu	0.92641	0.98552 (98.6%)	0.85855	0.912223 (91.2%)
^{240}Pu	0.000168		0.000135	
^{241}Pu	0.058938		0.053535	
^{242}Pu	0.000004		0.000003	

(2) Isotopic (thermal / epi-thermal / fast) fission rates (fissions／cm・sec) [上段 500W／cm / 下段 400W／cm]

	th	epi	fast	th	epi	fast
^{235}U	0.20119+12 0.16095+12	0.83009+10 0.66407+10	0.59863+09 0.47891+09	0.1233 +13 0.98633+12	0.4414 +11 0.35313+11	0.3209 +10 0.25674+10
^{238}U	0. 0.	0. 0.	0.42184+10 0.33747+10	0. 0.	0. 0.	0.2244 +10 0.17951+11
^{239}Pu	0.13242+14 0.10594+14	0.44269+12 0.35415+12	0.30395+11 0.24316+11	0.1237 +14 0.98927+13	0.3511 +12 0.2805 +12	0.2412 +11 0.19298+11
^{240}Pu	0.16187+09 0.12950+09	0.19281+09 0.15425+09	0.21312+10 0.17050+10	0.1639 +09 0.13109+09	0.1522 +09 0.12174+09	0.1687 +10 0.13496+10
^{241}Pu	0.82554+12 0.66043+12	0.44945+11 0.35956+11	0.20586+10 0.16469+10	0.7576 +12 0.60605+12	0.3527 +11 0.28215+11	0.1634 +10 0.18074+10
^{242}Pu	0. 0.	0.56898+07 0.45519+07	0.52523+08 0.42018+08	0. 0.	0.4033 +07 0.32261+07	0.4154 +08 0.33235+08
(Energy-wise fractional Power)	0.96384 0.96384	0.03351 0.03351	0.00265 0.00265)	0.96748 0.96748	0.02900 0.02900	0.00352 0.00352
Power Rate	96.4%	3.6%		96.7%	3.3%	

Table. 5－2　VOF－13Hキャプセルの核的定数値

項　　目	数　値	算出根拠
核分裂マクロ断面積　Σ_f	2.89 cm^{-1}	TEERMOSコード
デプレッションファクタ　DF	0.265	(Fig. 5－2)
中効中性子束係数　α	1.12	Cd比＝6.0
ペレット内出力比率 半径　0～0.89mm 0.89～1.79mm 1.79～2.68mm	 1.00 1.50 2.00	LASERコード (Fig. 5－4)

Table. 5－3　VT－10孔における燃料ペレット部の核分裂発熱量

	下　端	中　央	上　端
位　置	C.C.－75mm	Core Center	C.C.＋75mm
エネルギー換算係数	3.15×10^{-11}	3.15×10^{-11}	3.15×10^{-11}
Σ_f (cm^{-1})	2.89	2.89	2.89
α	1.12	1.12	1.12
ϕ_{th} ($n/cm^2\cdot sec$)	7.5×10^{13}	6.0×10^{13}	4.5×10^{13}
DF	0.265	0.265	0.265
πr^2 (cm^2)	0.2256	0.2256	0.2256
Q (Watt/cm)	457.2	365.7	274.3
Q_{total} (kW)	平均値を用いて5.486 kW／燃料ピン全長 (PuO_2-UO_2)		
ペレット中心温度 (GENGTCコードによる Fig. 5－6参照)	約 2,200℃	約 1,800℃	約 1,300℃

DF ： 熱中性子束デプレッションファクタ

r ： 燃料ペレットの半径（cm）

πr^2： 単位長さ当りのペレット体積 （cm^3／cm）

Table.5−2 に線出力密度算出用定数一覧を示す。

Table.5−3 にキャプセルのVT−10孔照射位置毎のペレット線出力密度の計算値を示す。

5.1.7 ペレット内出力分布

Fig. 5−5に「LASER」コードによるPuO_2-UO_2ペレット内の熱中性子束分布を示す。

計算体系は「THERMOS」コードに比べて単純化されているが，熱群から高速群までの中性子エネルギー範囲を一挙に取扱えることから，入力パラメータとなる線出力密度から逆に熱中性子束の概略値を把握することができる。さらに計算メッシュのとり方により燃料ペレット内の熱中性子束分布を把握できる。

Fig. 5−5 から線出力400w／cm，500w／cmの場合セル境界での熱中性子束はそれぞれ約5.0×10^{13}，6.5×10^{13}となりVT−10孔の値にほぼ近い値となる。

また，ペレット内熱中性子分布もTHERMOS コード分布に近い。このペレット内熱中性子束分布はペレット内出力分布に近いと考えられることから，次項のキャプセル温度計算において，ペレット内出力分布として使用する。この出力比率をTable. 5−2 に同時に示す。

5.1.8 ガンマ発熱量

VT−10孔におけるガンマ発熱量は炉心中心から上方300mm位置の範囲で，1.0〜1.5w／cmと考えられる。キャプセル熱計算に於いては1.5w／cmを用いた。

5.1.9 「GENGTC」コードによるキャプセル温度計算

前項までに検討してきた核的な検討結果を踏まえて，「GENGTC」コードによるキャプセル温度分布の計算を行った。

計算条件のうち主なものは次の通りである。

① 冷却材温度 ＝60℃

② キャプセル表面熱伝達係数＝25,800（kcal／m^2・h・℃）〔＝3.000w／cm^2・℃〕

③ ペレット−被覆管ギャップコンダクタンス＝1,300（BTU／ft^2・hr・℉）〔＝0.738w／cm^2・℃〕

④ ガンマ発熱量＝1.5w／g

⑤ PuO_2-UO_2熱伝導率の式＝Baily & Asamotoの式（GENGTCコード内蔵注*)）

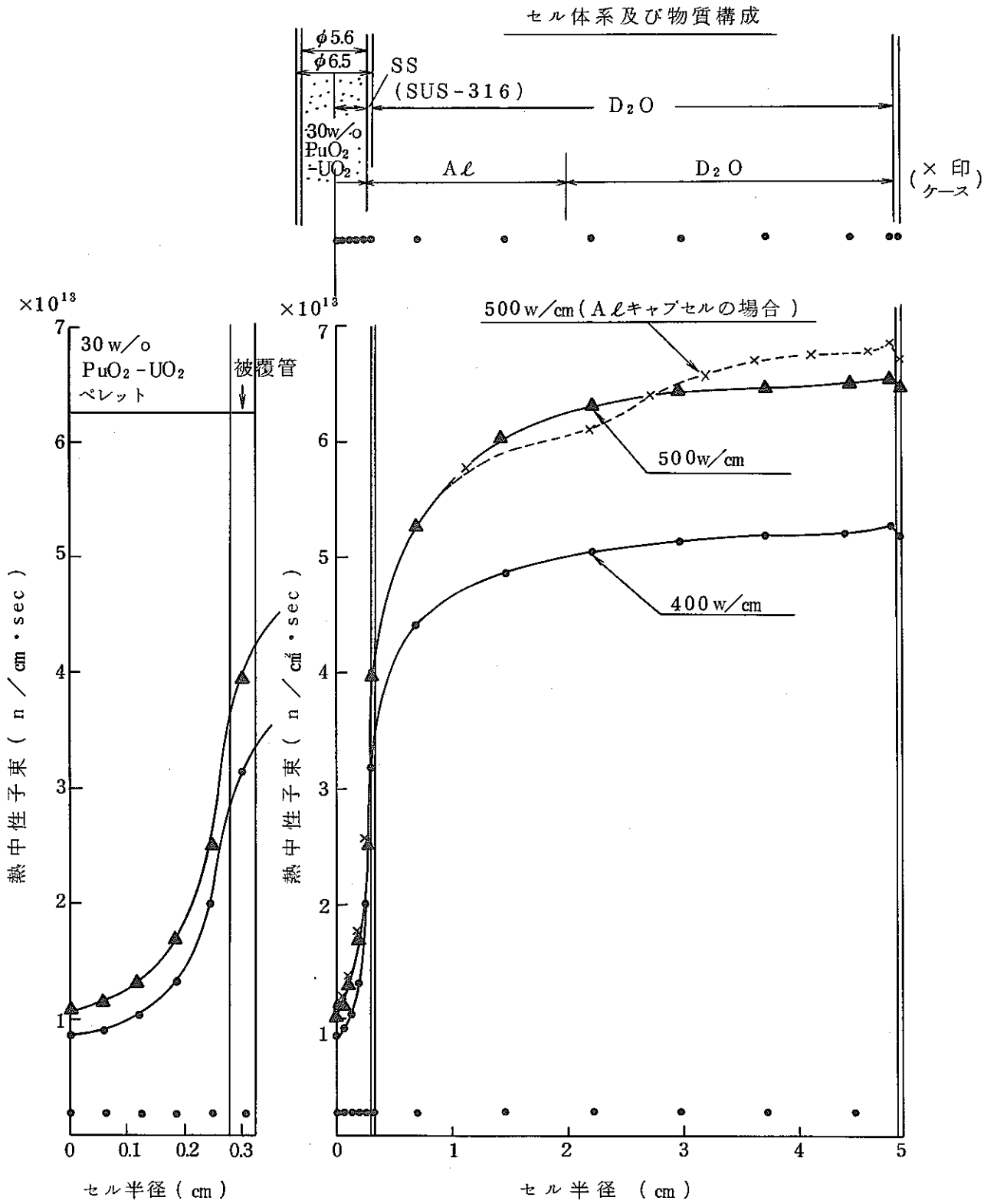
⑥ ペレット内出力分布＝考慮（3領域1：1.5：2.0「LASER」コードφ分布参照）

Fig. 5−6 にキャプセル各部温度分布計算結果を示す。

注*） GENGTC コード内で燃料ペレット中心温度計算に使用されている熱伝導率は，$(U_{0.8}Pu_{0.2})O_2$ ペレットに対してBaily & Asamotoの次式を使用している。

$$K=0.0110+\frac{1}{T(0.4848-0.4465\cdot D)}\ [w/cm℃]$$

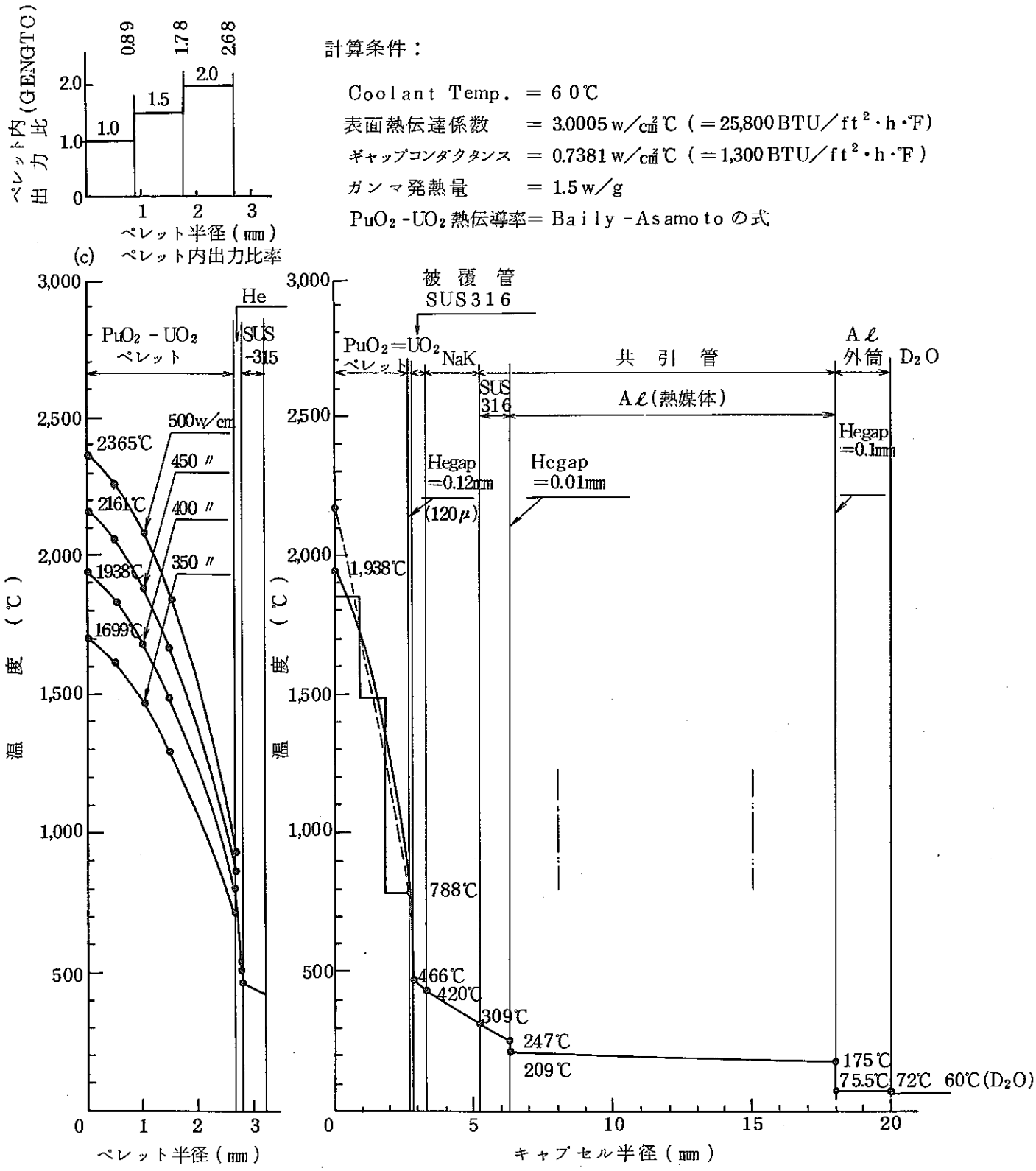
T：〔℃〕
D：理論密度に対するペレットの密度の割合〔$\% \times \frac{1}{100}$〕



(b) ペレット部詳細　　(a) セル内熱中性子束分布

Pu富化度＝30w/o

Fig. 5－5　LASERコードによる
PuO_2-UO_2ペレット内熱中性子分布



注)……はペレット内出力一定とした場合を示す。

Fig. 5-6 VOF-13Hキャプセル
温度分布計算結果(GENGTCコードによる)

GENGTC コードで燃料ペレット内出力分布を考慮することにより，均一出力とした場合に比べ約２００℃程度ペレット中心温度は低い値となるが，他の計算コードで計算した[(4)]例と比較してみるとペレット内温度分布計算結果はほぼ妥当な値となっていると考えられる。

Fig. 5−7 にＶＴ−１０孔の照射位置による燃料ペレット中心温度の変化を示す。

以上の結果から，ＶＴ−１０孔の炉心中央から３５０㎜上方の照射位置におけるペレット中心温度はTable. 5−2 に示す通り約1,８００℃となり，燃料ピン下端で約2,２００℃，上端で約1,３００℃と計算された。

5.1.10 ＮaＫ温度及び被覆管内外温度

キャプセル中央部の４００ｗ／㎝の線出力の位置において，ＮaＫ温度は４２０℃から３０９℃と計算されている。キャプセル下側ではより高温に，またキャプセル上側ではより低温になり，半径方向伝熱のほか一部対流効果が生じると思われ，結果的にはこの中央部での計算値近傍のＮaＫ温度で落ち着くものと予想される。

また，ＳＵＳ−３１６被覆管の内外面温度は線出力４００ｗ／㎝のペレット中央部で４６６℃と４２０℃，内外温度差で４６℃と計算された。

5.1.11 熱 膨 張

PuO_2-UO_2 燃料ペレットの平均温度（単純平均）に対してPuO_2-UO_2 ペレットの線膨張係数10.9×10^{-6}（／℃）を用いて計算した$\triangle L/L_0$ は約1.５％であり，径方向の熱膨張量で被覆管内面に達しない。また長さ方向の伸びは2.２５㎜程度となるがプレナム内のスプリングによって吸収される。被覆管の平均温度は約４４４℃であるが内部のペレットに対しても，外のＮaＫに対しても拘束を考慮する必要はない。軸方向に対してもＮaＫプレナム用スプリングで吸収するので問題とならない。

またＮaＫ管の内側ＳＵＳ−３１６管は，その外側のアルミ熱媒体と接触部でほぼ同一程度の熱膨張量となり拘束されないが，仮りに拘束があった場合は除熱効果を高める方向に作用し，キャプセル温度を下げ拘束を解く方向に働くと考えられるので問題とはならない。

その他，ＮaＫ管内に取付けた熱電対は熱膨張等でロウ付け部を損傷する等の問題が生じないよう弛みを設けて取付けることとした。従って本キャプセルは熱膨張による機械的相互作用を生じない構造となっている。

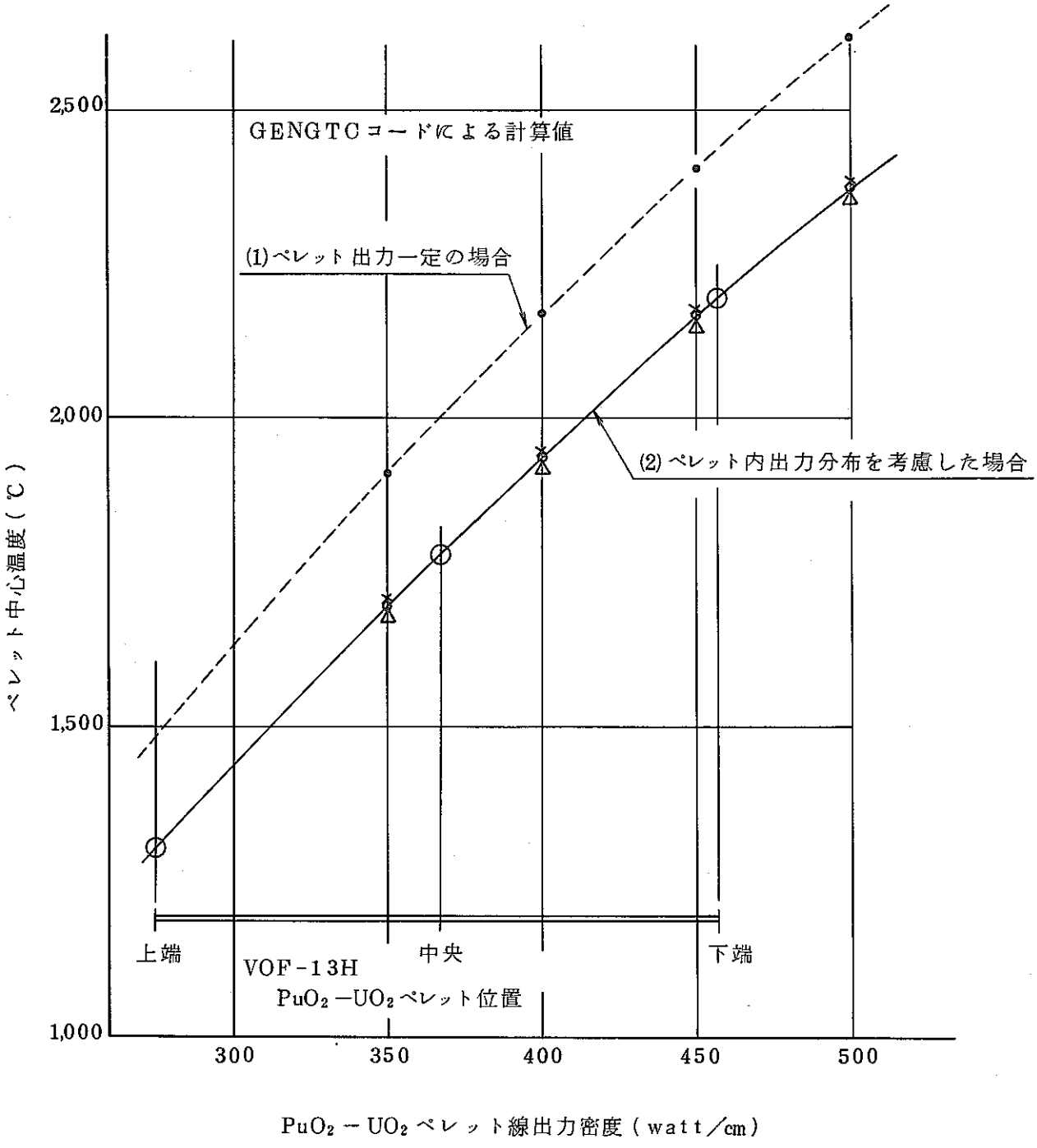


Fig. 5−7　PuO_2-UO_2 ペレット部線出力密度とペレット中心温度

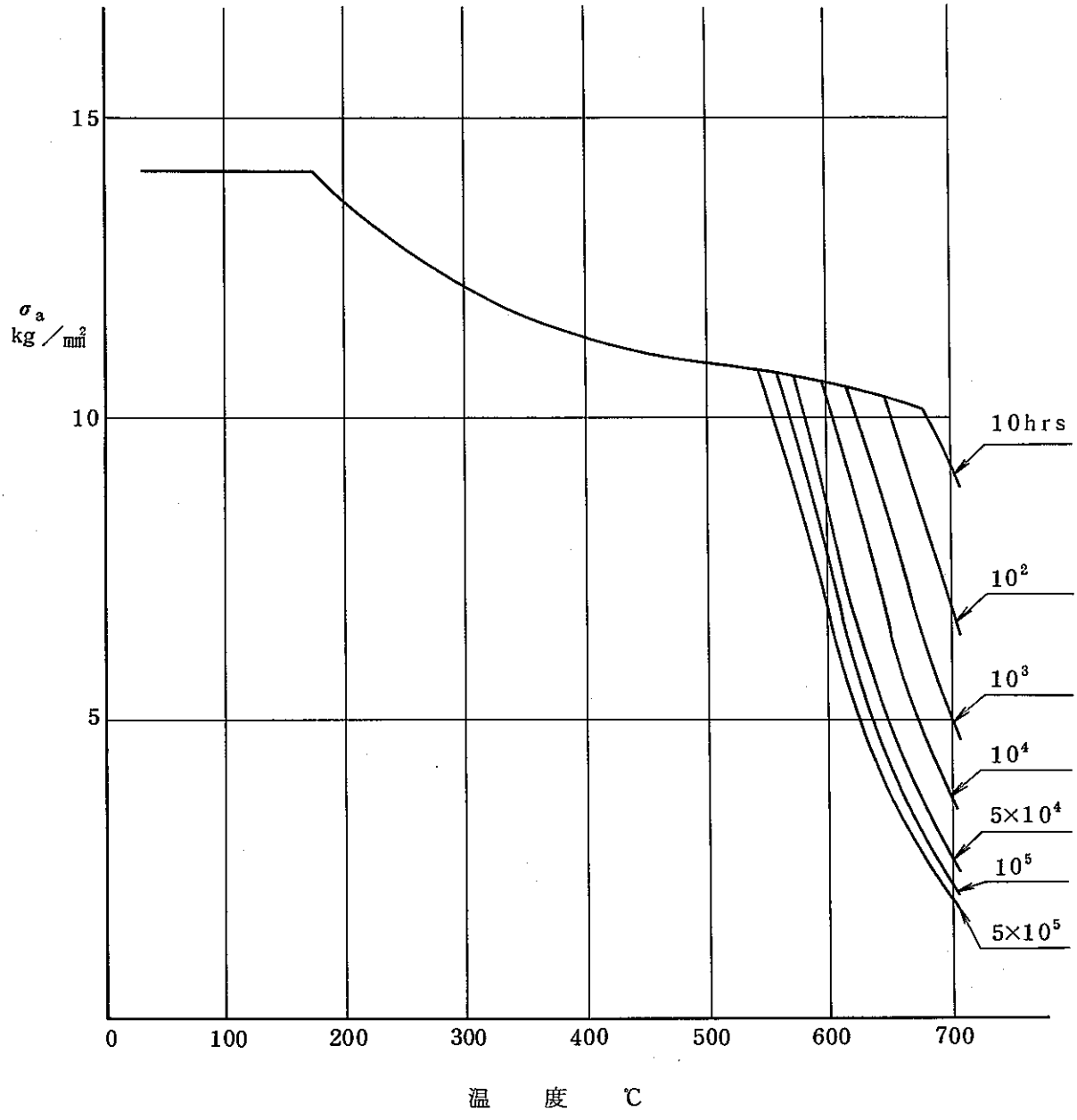


Fig. 5－8 SUS316の許容応力

高温では設計使用時間に対応した値を用いること

5.2 キャプセル強度計算

5.2.1 被覆管強度

(1) 被覆管内圧（P_0）；

$$P = CR\frac{N}{\int_V \frac{1}{T}\,dV} = CRT_{av}\cdot\frac{N}{V}$$

$$N = \frac{\rho_i V}{M_i} + \frac{C_r\cdot\rho_f\cdot V'_f}{M_r} + R_5\cdot P_{fg}\cdot B_u\cdot C_u\cdot\rho_f\cdot V_f\times 10^{-6}$$

により被覆管内圧を求めた。[5)]

式の各記号の定義，使用数値及び結果をTable．5−5に示す。

上記各数値を用いて計算すると，

$N = 8.15\times 10^4$（g・cm／g・mole ℃）

$P_0 =$ 51.617（kg／cm²）＝0.516（kg／mm²）となる。

(2) 被覆管内圧応力（σ_p）；

$$\sigma_p = \frac{P_0\cdot D}{2\cdot t_{min}}$$

D：被覆管外径（cm）

t：被覆管肉厚（cm）

により求める。ここでD＝0.65cm，t＝0.045cmを用いる。従ってσ_p＝372.8（kg／cm²）＝3.73（kg／mm²）である。

(3) 被覆管熱応力（σ_t）；

$$\sigma_t = \frac{\alpha\cdot\triangle T\cdot E}{2(1-\nu)}$$

により求める。ここで

α　：線膨張係数＝1.78×10^{-6}（／℃）

△T：被覆管内外温度差（℃）

E　：ヤング率（SUS−316）＝16.8×10^5（kg／cm²）

ν　：ポアソン比　（SUS−316）＝0.320

被覆管内側温度＝466℃

〃　外側温度＝420℃

〃　平均温度＝444℃を用いて計算すると

σ_t ＝1011.46（V_f／cm²）＝10.11（kg／mm²）となる。

5.2.2 NaK管（SUS−316）強度

(1) NaKプレナムの温度上昇による内圧（P_n）

$$P_n = P_0 \frac{V_{GO}}{V_G} \times \frac{(273+T_G)}{(273+T_O)}$$

$$= P_0 \times \left(\frac{\rho_{R.T.} - \rho_{400}}{\rho_{400℃}}\right) \times V_G \times \left(\frac{273+T_G}{273+T_O}\right)$$

$$= 11.43\ (kg/cm^2)$$

$$= 0.114\ (kg/mm^2)$$

ここで，P_n ：照射中のNaKプレナム圧力（kg／cm²）

Table．5−5 被覆管内圧計算における使用数値

記号	定義	数値
V ：	プレナム体積	0.73 (cm³)
V'_f ：	燃料ペレット体積（インシュレータを含む）	3.836 (cm³)
V_f ：	〃 （インシュレータを含まない）	3.385 (cm³)
ρ_i ：	封入ガス（He）密度	1.8×10^{-4} (g／cm³)
M_i ：	〃 （〃）の分子量	4.0 (g／mol)
Cr／Mr ：	蒸発性不純物量	6.7×10^{-6} (mol／g)
ρ_f ：	燃料密度	10.74 (g／cm³)
R_s ：	FPガス放出率	1.0
P_{fg} ：	〃 生成率	1.35×10^{-3} (g•mole／MWD)
Bu ：	燃焼度	8.316 (MWD／T／4 cy)
Cu ：	Pu，U含有率	0.8812
C ：	気体定数補正係数	1.08
R ：	気体定数	8.15×10^{4} (g•cm／mol•℃)
T_{av} ：	平均温度	673 (℃) (=400℃)

P_0 ： NaK封入時プレナム圧力（kg／cm²）＝1 atm(He)

V_G ： プレナム体積（cm³）

V_{GO} ： NaK体積（cm³）

ρ_{RT} ：NaK密度（室温＝20℃）＝0.867

$\rho_{400℃}$ ： 〃 （照射温度＝400℃）＝0.772

(2) NaK管内圧による応力（σ'_p））

$$\sigma'_p = \frac{P_N \cdot D_n}{2t}$$

ここで

$t_{SUS-316}$＝278℃（平均値）として

α：17.3×10^{-6}（／℃） <D−697[11]>

E：18.2×10^{15}（kg／cm²） <D−686[11]>

ν：0.298 <D−688[11]>

のそれぞれの値を使用すると，σ'_p＝0.714（kg／mm²）となる。

5.2.3 応力評価

次の式を満足することを確認する。

$$\sigma < \sigma_a$$

$$\sigma + \sigma_t < 3\sigma_a$$

Fig.5−3 にSUS−316の許容応力，σ_a を示す。

(1) SUS−316被覆管の応力評価

σ（3.73kg／mm²）＜σ_a（11.1kg／mm²）$_{at\,440℃}$

σ（3.73kg／mm²）＋σ_t（10.11kg／mm²）＜3×σ_a（＝33.33kg／mm²）

従って応力評価基準を満足する。

(2) NaK管の応力評価

σ（0.714kg／mm²）＜σ_a（12.5kg／mm²）

σ（0.714kg／mm²）＋σ_t（13.9kg／mm²）＜3×σ_a（＝37.5kg／mm²）

従って応力評価基準を満足しており，安全上問題はない。

5.3 生成放射能

5.3.1 核分裂生成物

核分裂生成核種計算コード「FP−γ」[6]により燃料ペレットの核分裂に伴う核分裂生成物（FP）の生成量及び放出ガンマ線スペクトルを求めた。

VOF−13Hキャプセルの照射試験は4サイクル連続照射後炉外へ取出すこととなる。FP量の計算条件はキャプセル核分裂出力を5.486KWとし，冷却時間を24時間とした。

求められたFP量は2,765キュリー（Ci）である。

5.3.2 キャプセル部材の誘導放射能

キャプセル本体部の使用部材に関する炉心内照射による誘導放射能は，次式により求めた。

$$A = \sum_{i=1}^{n} N_i \sigma_i \phi \left(1 - e^{-\lambda t_0}\right) \cdot e^{-\lambda t_c}$$

ここで A ：放射化による誘導放射能（ci）

t_0 ：照射時間（＝11.1 d×4サイクル＝44.4 days）

t_c ：冷却時間（＝2 days）

ϕ ：中性子束 $= \phi_{th} = 1.0 \times 10^{14}$（n／cm²・sec）

$= \phi_f = 0.73 \times 10^{13}$（n／cm²・sec）

σ_i ：放射化断面積（構成元素 i）

Ni：原子数 （ 〃 i）

Table. 5−5 にキャプセル構成部材の重量及び構成元素比率を示す。

Table. 5−6 にキャプセル部材の誘導放射能量を示す。

5.4 遮 蔽

照射後のキャプセルのハンドリングにはVT−1キャスクを使用する。キャプセルをキャスクに収容した場合のキャスク遮蔽評価を行う。

5.4.1 線 源

線源は5.3.1で求めた8群のガンマ線スペクトルに，5.3.2で求めた各核種からの放出ガンマ線束を8群エネルギー群に分割して加えたものとし，さらに線源の形状を点状線源として取り扱うこととする。

Table. 5−7 に8群のガンマ線スペクトル及びガンマ線束を示す。

5.4.2 キャスク遮蔽計算

照射後のキャプセルの取出し，搬出にはVT−1キャスクを使用する。キャスクの鉛遮蔽体は外径60cm，鉛厚25cmの円筒形状である。

キャスク外表面の線量率は次式により求めた。

$$D = \sum_{i=1}^{n} \frac{S_i}{4\pi a^2} \cdot K_i \left\{ B_i \cdot \exp(-\mu, t) \right\}$$

ここで，D ：線量率（R／hr）

S_i ：エネルギーグループ i の放出光子数（photons／sec）

a ：線源−測定点間の距離（cm）

K_i ：線量換算係数（R／nr／photon／cm²・sec）

B_i : ビルドアップ係数

μ_i : 鉛の線吸収係数 (cm^{-1})

t : 鉛の厚さ (cm)

Table. 5−5 キャプセル部材の構成元素及び重量

材　質	重　量	成　分　比　率
SUS−316	219 (g)	Cr (16.7), Ni (12.8), Mo (2.1), Mn (1.7), Fe (Balc)
Aℓ	963 (g)	Fe (0.15), Cu (0.01), Zn (0.01), Aℓ (Balc)
NaK	12.2 (g)*	Na (56), K (44)

注＊） 14.06 cc × 0.867 g／cc

Tablc. 5−7 材料の放射能

核　種	半　減　期	放射能 (ci)
^{51}Cr	27.8 d	295
^{58}Co	71.3 d	9.90
^{59}Fe	45.6 d	4.60
^{65}Zn	245 d	0.09
^{99}Mo	66.7 hr	3.09
^{24}Na	14.96 hr	7.77
^{42}K	12.36 hr	0.28
合　計	−	320.73 Ci

Table. 5−7 γ線源スペクトル及びガンマ線束

エネルギー群	エネルギー（MeV）	ガンマ線束（Photons／sec）
1	0.10～0.40	3.69×10^{13}
2	0.40～0.90	5.87×10^{13}
3	0.90～1.35	3.69×10^{12}
4	1.35～1.80	1.09×10^{13}
5	1.80～2.20	2.76×10^{11}
6	2.20～2.60	4.36×10^{11}
7	2.60～3.00	9.22×10^{11}
8	3.00以上	2.52×10^{10}

ビルドアップ係数はTaylor型近似により求めた。[7)]

計算の結果，キャスクの表面に於ける線量率Dは，

D＝30.8 mR／hr

となり，キャスク表面線量率規制値200mR／hr に対して十分低い値であり，ハンドリング上の問題はない。

6. 謝　　辞

本試験を行うにあたり，御協力をいただいた日本原子力研究所，東海研究所　研究炉管理部研究炉利用課，技術部工作課の皆様に深く感謝いたします。

また「2.ペレット製造」で製造データの提供及び助言をいただいたプルトニウム燃料部転換技術開発班，高信修氏にお礼を申し上げます。

参　考　文　献

(1) 金田，一色他　「もんじゅ」用混合転換燃料の照射試験（I）
JAERI－memo　9891　（1981）

(2) JRR－2管理課，研究炉利用課，"JRR－2改修後の特性測定"，JAERI－M　6943（1977）

(3) Poncelet, C.G., "LASER－A Depletion Program for Lattice Calculations Based on MUFT and THERMOS", WCAP－6073（1966）

(4) 原山泰雄，泉文男，他　"FREG－4：照射履歴に従った燃料ペレット－被覆管ギャップ熱伝達率評価プログラム"，JAERI－M　9631（8目，1981）

(5) 森島淳好，他　"燃料設計第2集・計算式"，JAERI－memo　3352（公開）（1969）

(6) 笹本宣雄，田坂完二，小山謹二　"核分裂生成物によるX線スペクトル計算コード「FP－γ」"，JAERI－memo　3776（公開）（1969）

(7) Rockwell Ⅲ, T., "Reactor Shielding Design Manual", Mc Graw Hill Pub. Co., Ltd（1956）

PNC SN841−82−48

参考資料1.

製作要領書

承認図

VOF−13Hキャプセル

製 作 要 領 書
（VOF−13H）

1. 一般事項

1.1 概　要

本要領書は，動力炉核燃料開発事業団から 原研 が受託して実施するもんじゅ用混合転換燃料の照射試験用照射キャプセル「VOF−13H」の製作に関するものである。

照射試料は，もんじゅ用PuO_2-UO_2ペレット（高富化度30w／oの高富化度）で，ステンレス製被覆管に容封されている燃料ピン完成体としてPNCから支給される。

1.2 製作工程

製作工程のフローダイヤフラムを別添図に示します。

1.3 製作数量

VOF−13H（添付図MB−2948−1）…… 1体

2. 製作方法

2.1 キャプセル製作文法の概要

全ての構成部品は別紙「VOF−13Hキャプセルフローダイヤフラム」のように各種素材より製作図面に従って加工され，加工後は各部の寸法が検査され，図示指定公差値内であるものを合格とし使用されます。これらは検査完了後，アセトンによって洗浄を施し清浄にされ乾燥されたものが組立てに供されます。組立ては組立て図面およびその他資料を基礎資材とし，必要に応じて依頼元者の立合により手順よく組立てられます。

2.2 溶接作業

NaK管および外筒の上下端栓部分の溶接および保護管の溶接はTiG溶接とします。

2.3 ロー付作業

NaK管上部端栓部固定シールは高周波誘導加熱装置により真空中でニクロブレーズロー付を行ないます（ニクロブレース#125）。また，計装管の端栓部に設けた熱電対取出保護管との固定シールはアセチレンガスによる大気中加熱で銀ロー付（UTP#30）を行います。ロー付作業時は照射試料および熱電対には悪影響を与えないよう十分な対策して行います。

2.4 NaKおよびガス（He）の注入密封作業

NaKは非常に活性であるため，キャプセル内を真空引き（到達真空度：1×10^{-3} Torr以下）ガス置換いの繰り返し操作5回以上の脱ガスを行い，清掃な雰囲気を作ります。次に定量のNaKをレベルまで注入し，注入後高純度ヘリウムガス（99.999％以上）1気圧充填して，注排管を油圧プレス式工具を使用完全に押潰し，さらに先端部にプラグを押込みTiG溶接により完全密封します。

2.5 部品の洗浄，乾燥方法

加工，検査後の部品類はすべてアセトンにより洗浄し，清潔なガーゼにより拭き取り自然乾燥させます。これら洗浄済み部品類は再び汚損しないようにデシケータなどの中に入れ清浄な雰囲気で保管します。組立て時にはこれらを取出し，再び清浄なガーゼによりアセトン洗浄を行います。

2.6 組み立て作業

組み立てについては，試料，構成部品等に疵，汚れなどのないように，また，キャプセル内部に異物の混入のないように十分注意を払い，素手にて部品類に絶対触れないよう薄手袋を着用して行い，組み立て中は随時必要な検査を自主的に行います。

2.7 外筒内部へのヘリウム封入作業

組み立て完了後，外筒内部を真空引き（到達真空度1×10^{-3} Torr以下）ヘリウム置き換えの繰り返し操作5回以上の脱ガスを行い，封入を行います（ヘリウムガス純度99.999％以上，1気圧充填）。

2.8 支給品の取扱い

照射試料は核燃料保管庫に入れ管理保管します。その他の支給品については，デシケータの中に保管します。

3. 品質管理

材料購入，部品製作，組み立ておよび検査納入に関し，品質管理には細心の注意を払って行います。

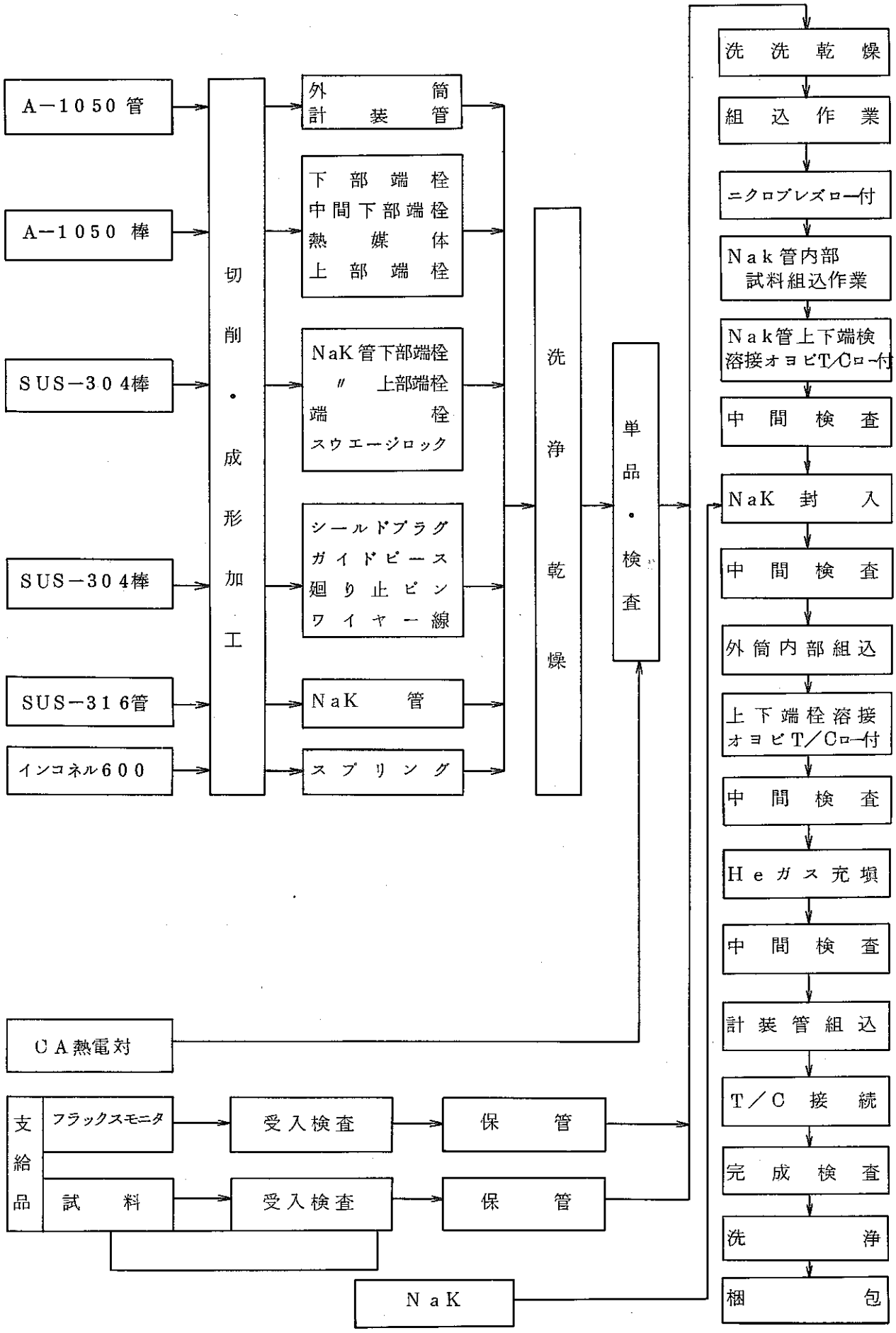
4. 検　査

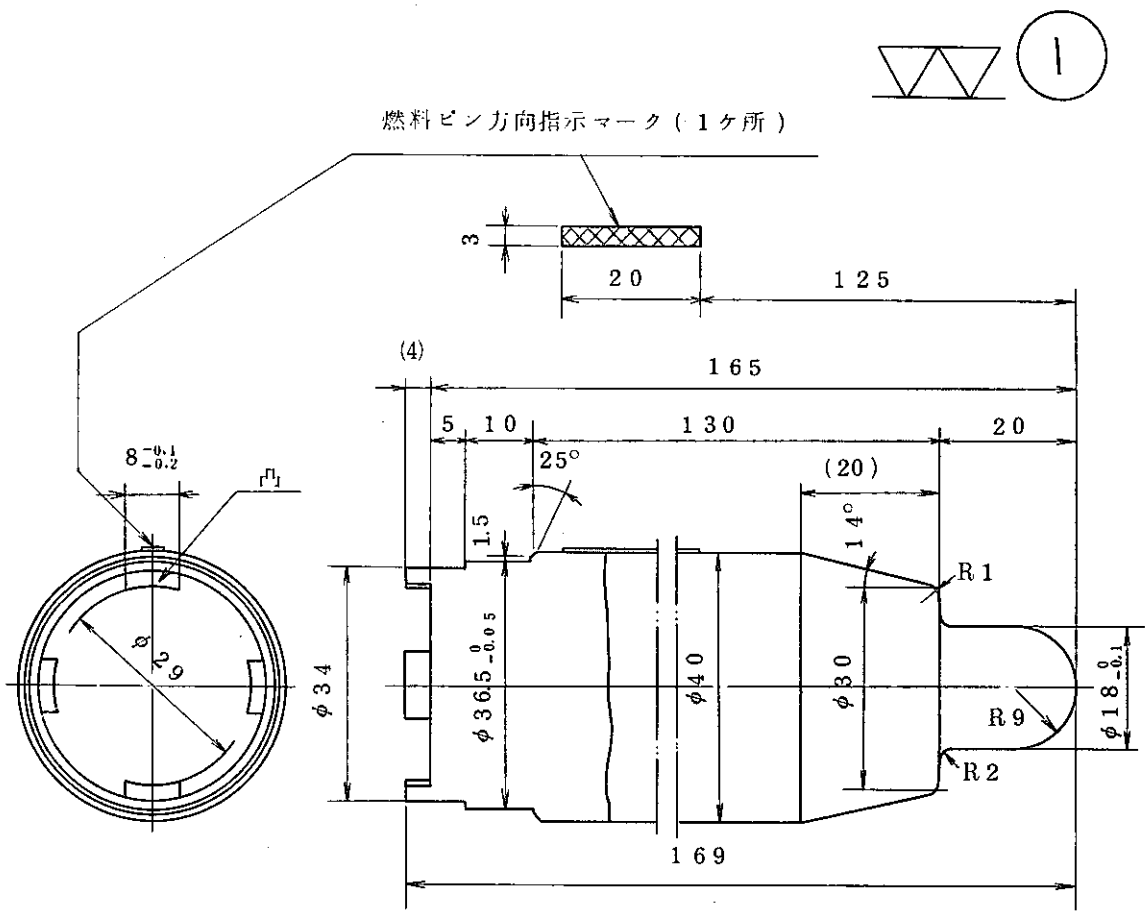
部品および完成品の検査については別に発行する検査要領書に従って行います。

5. 梱　包

完成したキャプセルは清浄度が十分保たれ衝撃を与えないように梱包します。

VOF-13Hフローダイヤフラム





ヴアイブロツールヲ利用シテ外周ノ線方向ニ燃料ピン指示マークヲ刻印ノコト

（線長２０㎜深さ０.０５㎜以内）

洗　浄　㊞

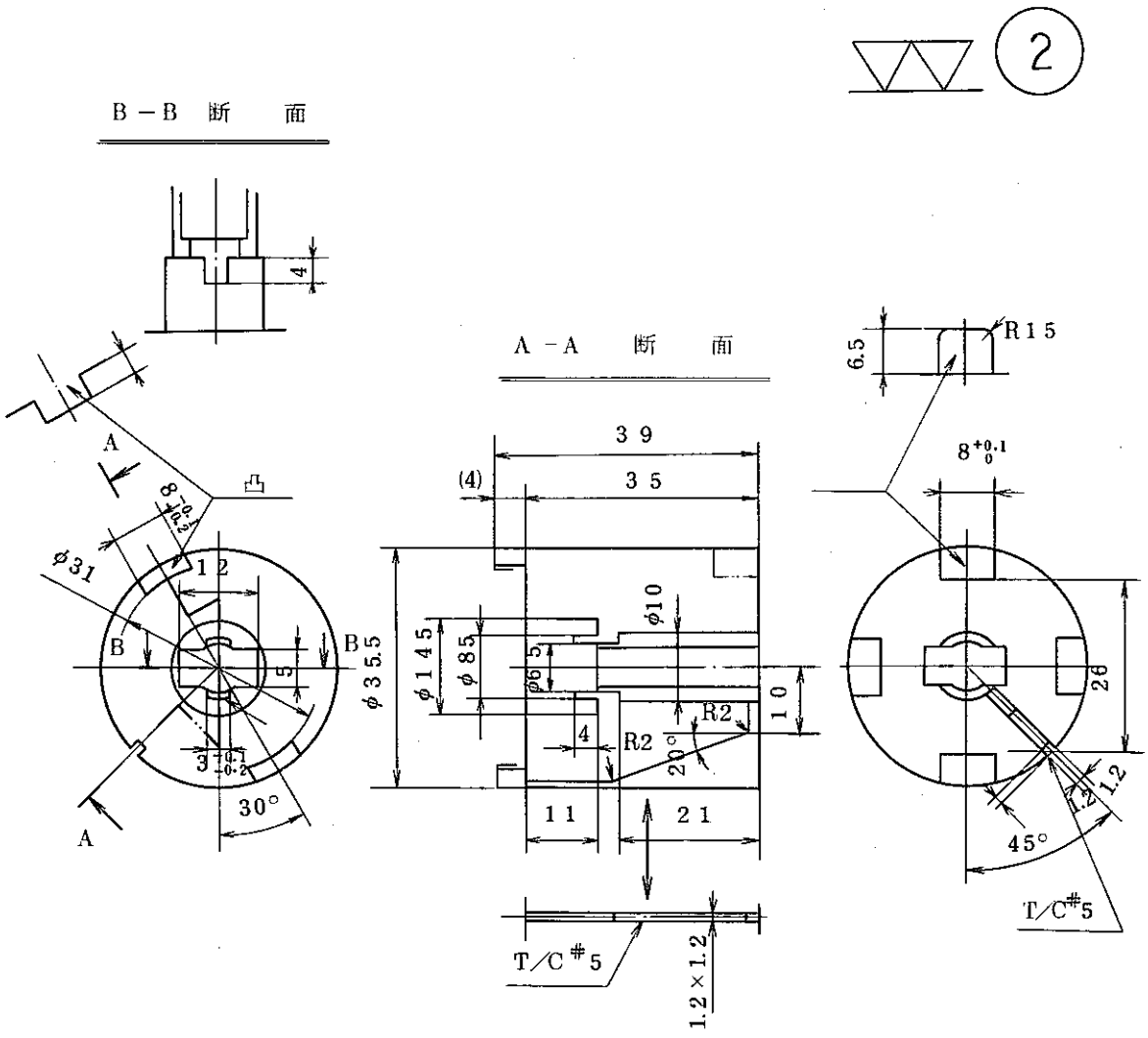
品番	部品名	個数（一台分）	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
1	下部端栓	1	A1050	φ50×185		

名称	外筒下部端栓（VOF−13H）	画法	三角	尺度	1/1（　）
		設計	椿谷		
		製図			
仕上重量（一台分kg）		審査	宮本		

承認

日本原子力研究所　　ME−27305

RM−3100

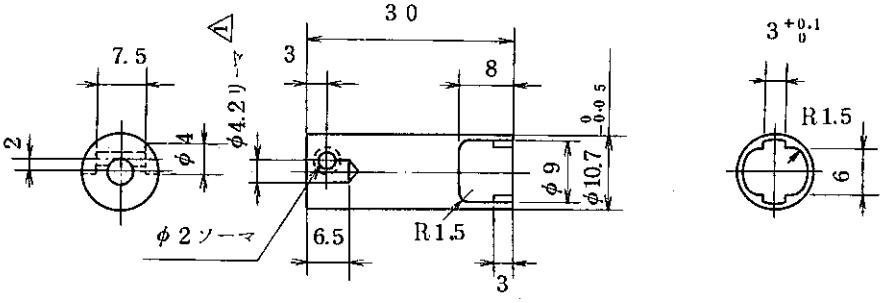


品番	部品名	個数(一台分)	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
1	熱媒体	1	A1050	φ50×55		

名称	熱媒体 (VOF－13H)	画法	三角	尺度	1/1 ( )
		設計	椿谷	承認	－ －
		製図			－ －
作	仕上重量(一台分kg)	審査	宮本		－ －
	日本原子力研究所		ME－27306		

RM－3100

△1訂正 56.7.20 大部

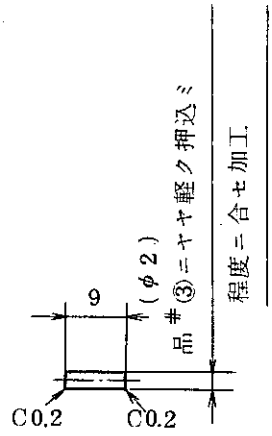


1	下部端栓	1	SUS316	φ30×45			
品番	部品名	個数（一台分）	材質	素材寸法	単重(kg)	備考	

名称	NaK 筒下部端栓	画法	三角	尺度	1/1 ( )
	(VOF−13H)	設計		− −	承認
		製図		− −	
仕上重量（一台分kg）		審査		− −	
日本原子力研究所		ME −27307			

RM−3100

番 作

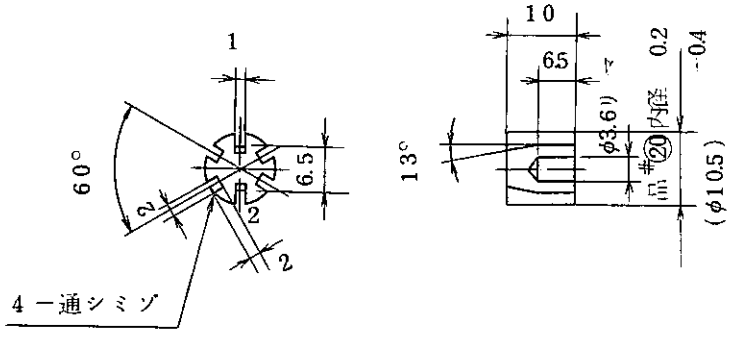


洗浄 ㊦

1	ピン	1	3US316	φ13×25		
品番	部品名	個数(一台分)	材質	素材寸法	単重(kg)	備考

名称	廻り止メピン (VOF-13H)	画法	三角	尺度	1/1 ( )
		設計	椿谷	− −	承認
		製図		− −	
仕上重量(一台分kg)		審査	宮本	− −	

RM−3100	番作	日本原子力研究所	ME−27308



洗浄 ㊞

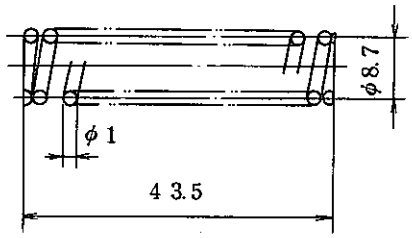
1	ガイドピース	1	SUS316	φ13×25			
品番	部品名	個数(一台分)	材質	素材寸法	単重(kg)	備考	

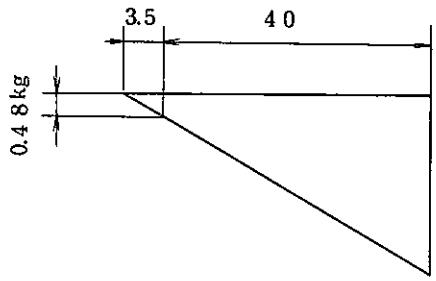
名称	ガイドピース (UOF−13H)	画法	三角	尺度	1/1 ( )	
		設計	椿谷	− −	承認	
		製図		− −		
仕上重量(一台分kg)		審査	宮本	− −		
日本原子力研究所		ME−27309				

RM−3100 番作

6

$$W = \frac{7200 \times 1^4 \times 3.5}{64 \times 4.35^3 \times 10} = \frac{25200}{52672} = 0.48\ (\mathrm{kg})$$





コイルばね仕様	
材質	インコネル600
線経 mm	1
平均直径 mm	8.7
総巻数	11.5
有効巻数	10
巻方向	右
自由長 mm	43.5
ばね常数kg・mm	0.137
表面処理	

洗浄 ㊞

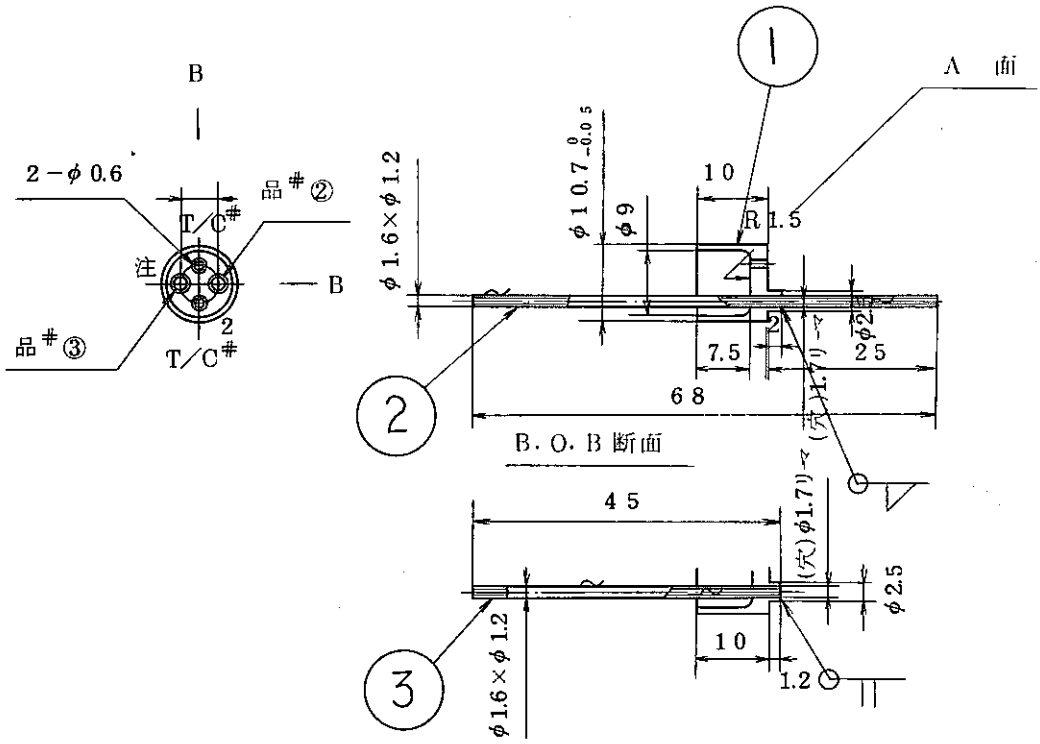
品番	部品名	個数(一台分)	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
1	スプリング	1	インコネル600	φ1×560		

名称	スプリング (VOF-13H)	画法	三角	尺度	1/1 ( )
		設計	椿谷	− −	承認
		製図		− −	
仕上重量(一台分kg)		審査	宮本	− −	
日本原子力研究所		ME−27310			

RM−3100 番 作

形状寸法訂正　6／10　大部

A面側ノミC 0.5メントリ，T／C#1.2（φ0.5）ニクロブレーズロー付



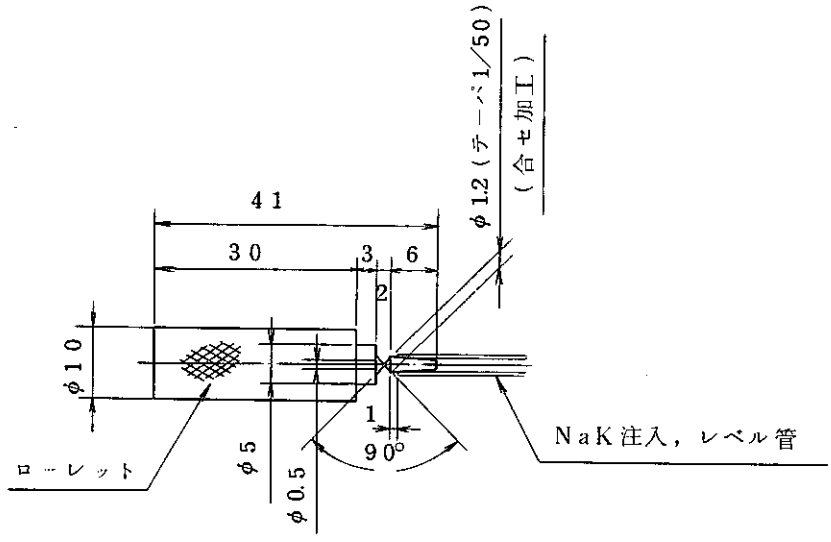
洗浄　㊦

3	NaK注入管	1	SUS304	φ1.6×φ1.2×60			
2	NaKレベル管	1	SUS304	φ1.6×φ1.2×85			
1	上部端栓	1	SUS316	φ30×30			
品番	部品名	個数（一台分）	材質	素材寸法	単重(kg)	備考	

名称	NaK筒上部端栓	画法	三角	尺度	1／1（　）	
	（VOF−13H）	設計	椿谷	−	−	承認
		製図		−	−	
仕上重量（一台分kg）		審査	宮本	−	−	
日本原子力研究所		ME−27311−1				

RM−3100　番　作

8



品＃ 7/2　7/3 ニ打込ミ後1㎜出張ル

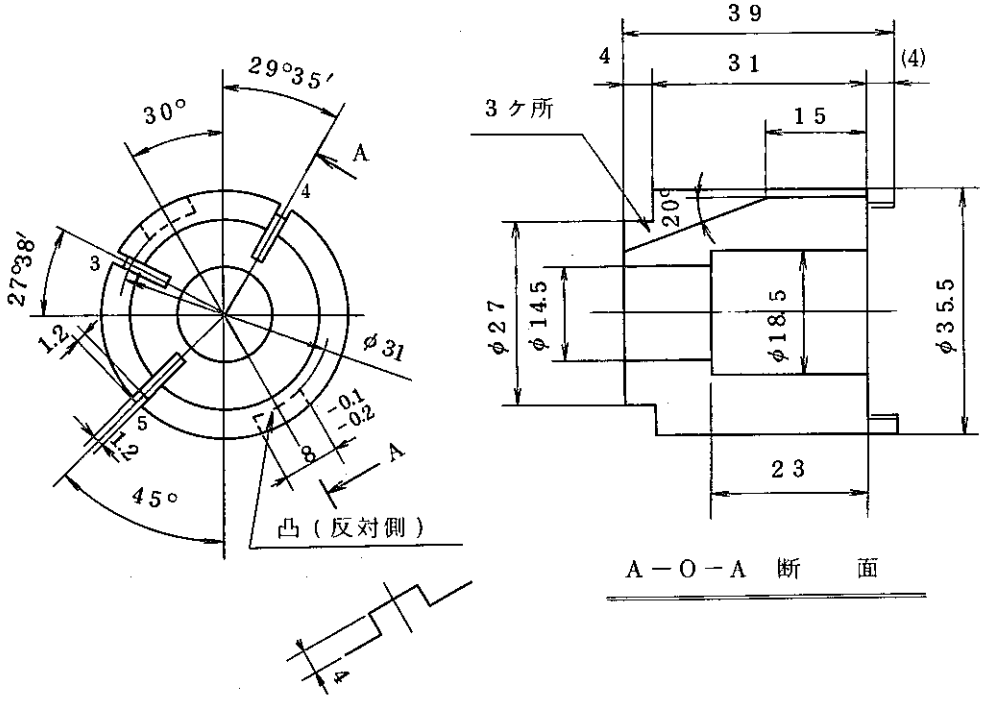
程度ニ夫々合セ加工ノコト

洗　浄　㊀

品番	部品名	個数（一台分）	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
1	プラグ	2	SUS304	φ12×55		

名称	プラグ（VOF−13H）	画法	三角	尺度	1/1（　）
		設計	椿谷	承認	
		製図			
仕上重量（一台分kg）		審査	宮本		
日本原子力研究所		ME−27312			

RM−3100　番　作



洗 浄 ㊦

品番	部品名	個数（一台分）	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
1	熱媒体	1	A1050	φ50×55		

名称	熱媒体 (VOF－13H)	画法	三角	尺度	1/1 ( )
		設計		－	－
		製図		－	－
仕上重量（一台分kg）		審査		－	－

承認

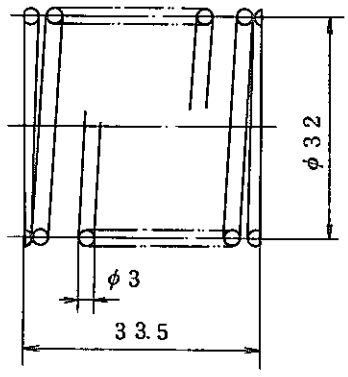
日本原子力研究所

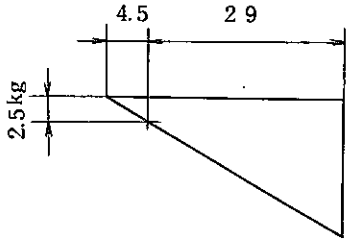
ME－27313

RM－3100

10

$$W = \frac{7200 \times 3^4 \times 4.5}{64 \times 16^3 \times 4} = \frac{2624400}{1048576} = 2.5\ (\mathrm{kg})$$





コイルばね仕様	
材質	インコネル600
線径 mm	3
平均直径 mm	32
総巻数	5.5
有効巻数	4
巻方向	右
自由長 mm	33.5
ばね常数kg.mm	0.555
表面処理	

洗浄 ㊞

品番	部品名	個数(一台分)	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
1	スプリング	1	インコネル600	φ3×1000		

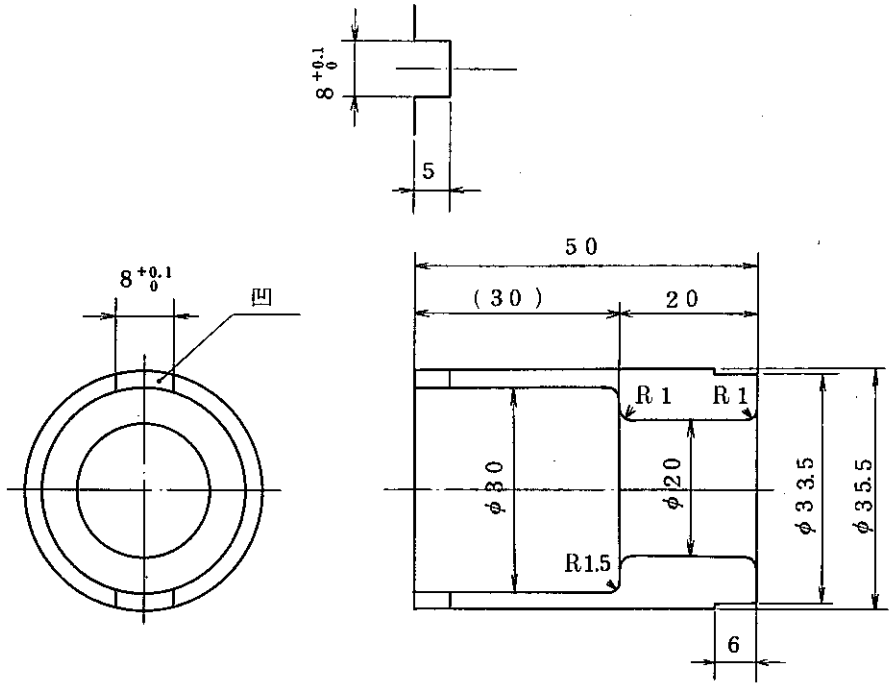
名称	スプリング (VOF-13H)	画法	三角	尺度	1/1 ( )
		設計	椿谷		承認
		製図			
仕上重量(一台分kg)		審査	宮本		

日本原子力研究所

ME-27314

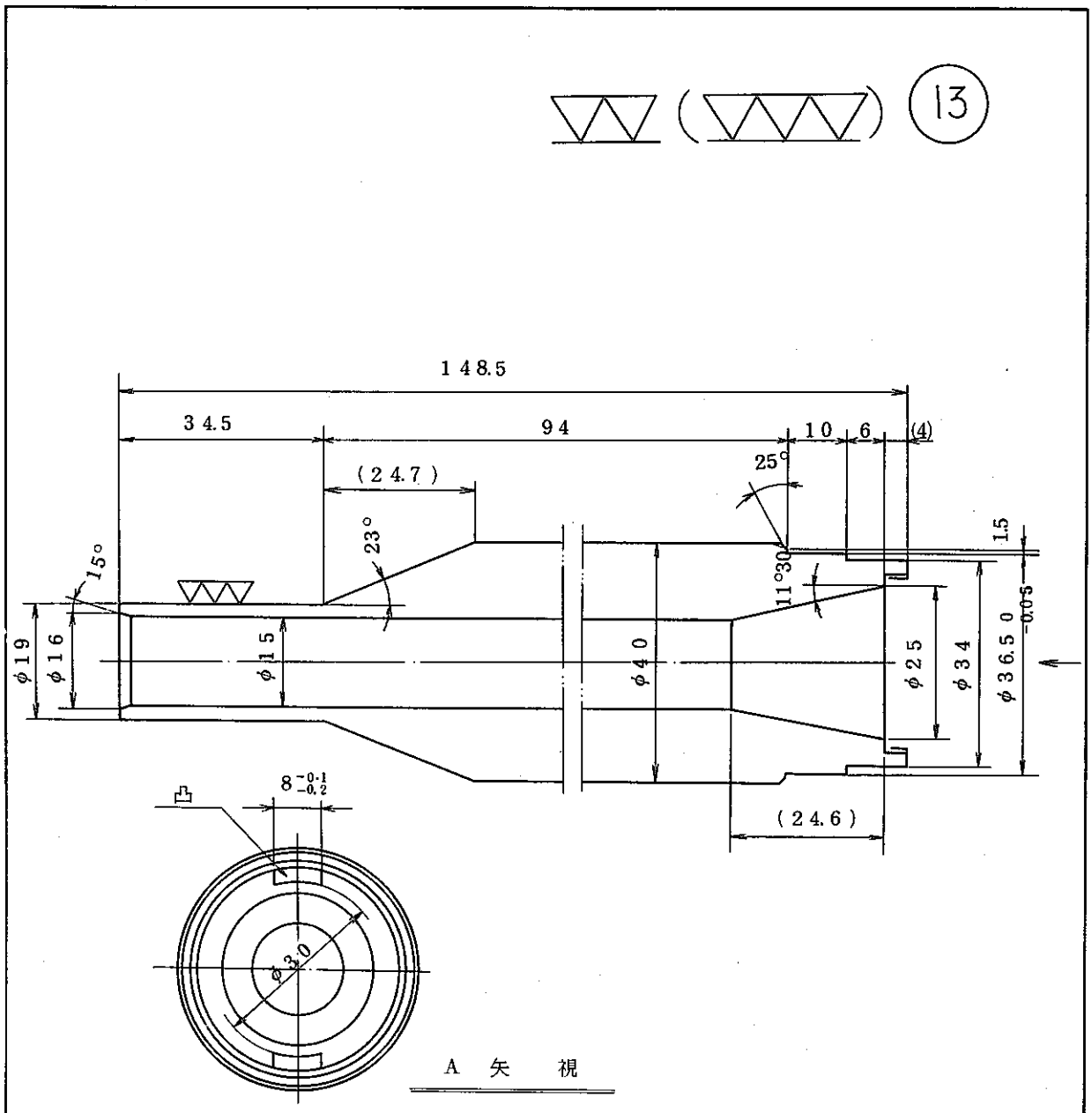
RM-3100

略作



洗浄 ㊀

		番	1	スペーサー	1	A1050	φ50×65	
			品番	部品名	個数(一台分)	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
	RM-3100	作	名称	スペーサー (VOF-13H)	画法	三角	尺度	1/1 ( )
					設計	椿谷	− −	承認
					製図		− −	
			仕上重量(一台分kg)		審査	宮本	− −	
			日本原子力研究所		ME-27315			



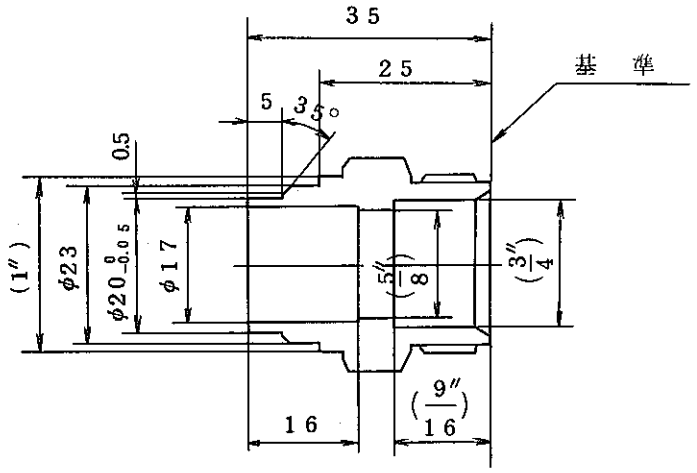
洗 浄 (炉)

品番	部品名	個数(一台分)	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
1	上部端栓	1	A1050	φ50×165		

名称	外筒上部端栓 (VOF−13H)	画法	三角	尺度	1/1 ( )
		設計	椿谷	− −	承認
		製図		− −	
仕上重量(一台分kg)		審査	宮本	− −	
日本原子力研究所		ME−27317			

RM−3100

14



1) ( )内寸法ハスウエージロックノ現物寸法ヲ示ス

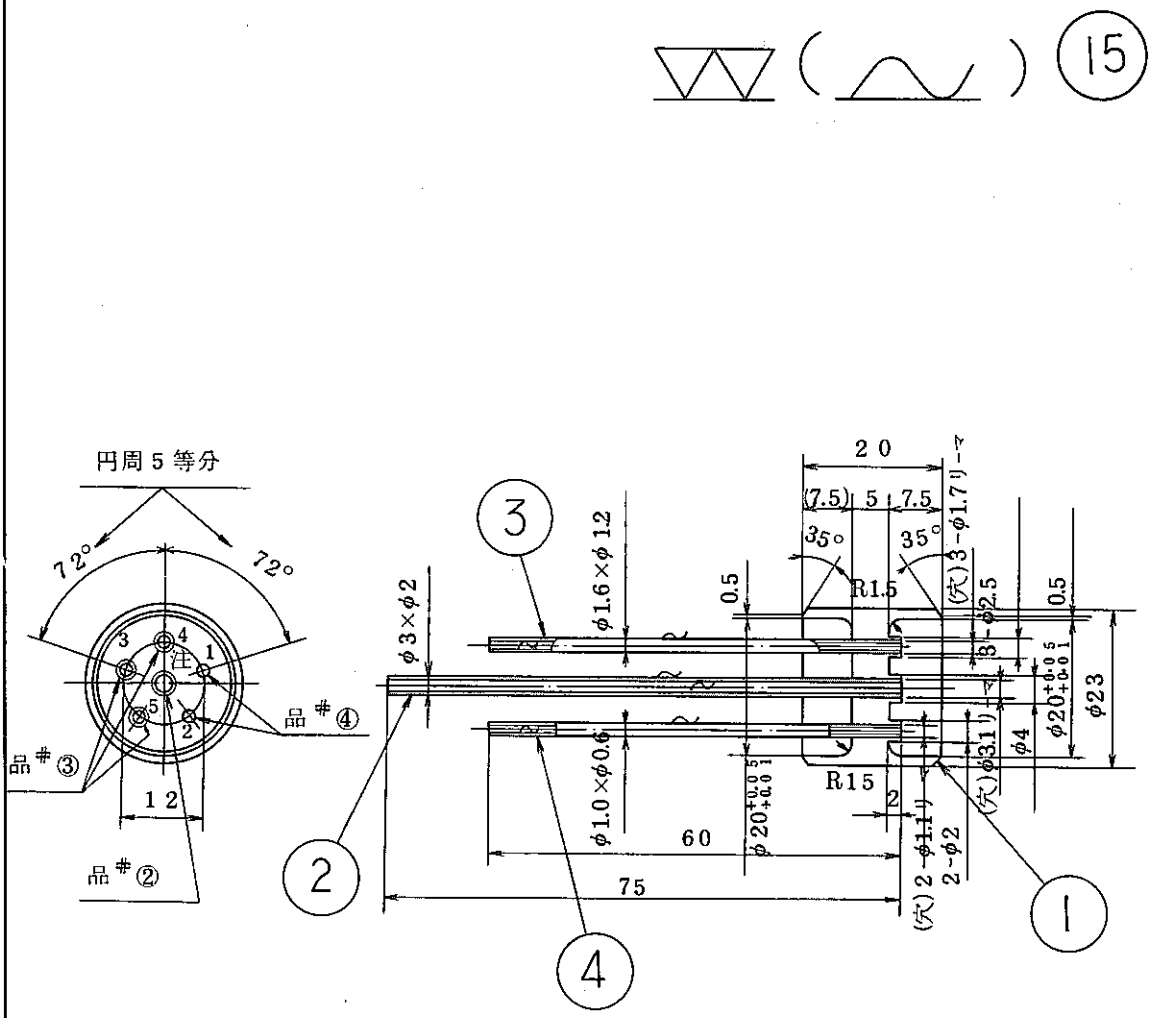
2) ( )ナシノ寸法ハスウエージロックノ現物ヲ加工スルコト

洗浄 (炉)

品番	部品名	個数(一台分)	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
1	スウエージロック	2クミ	SUS316	(#1210-1-12)		

名称	スウエージロック (VOF-13H)	画法	三角	尺度	1/1 ( )
		設計	椿谷	- -	承認
		製図		- -	
仕上重量(一台分kg)		審査	宮本	- -	
日本原子力研究所		ME-27318			

RM-3100 番 作



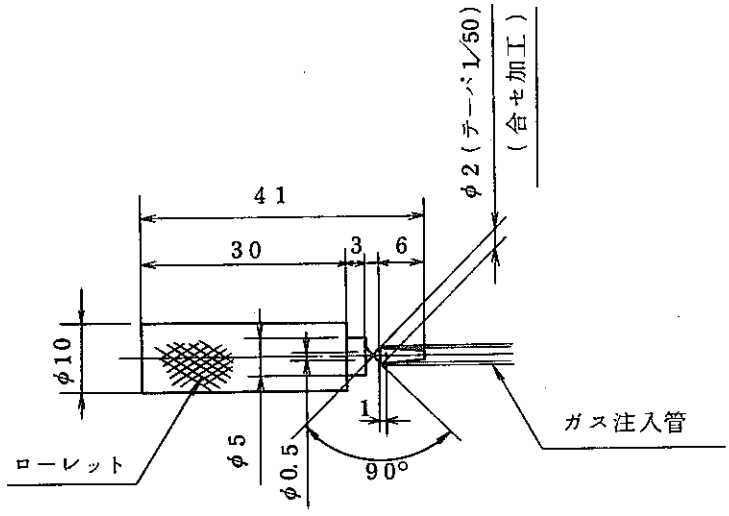
溶接ハ原研工作課実施

洗浄 ㊞

		4	T/C 保護管	2	SUS304	φ1.0×φ0.6×75		
RM-3100	番	3	T/C 保護管	3	SUS304	φ1.6×φ1.2×75		(継目無シ管)
		2	ガス注入管	1	SUS304	φ3×φ2×90		
		1	端栓	1	SUS304	φ30×35		
		品番	部品名	個数(一台分)	材質	素材寸法	単重(kg)	備考

名称	端栓 (VOF-13H)	画法	三角	尺度	1/1 ( )	
		設計			- -	承認
		製図			- -	
作	仕上重量(一台分kg)	審査			- -	
日本原子力研究所		ME-27319				

16



品＃ 15/2 ニ打込ミ後，1㎜出張ル

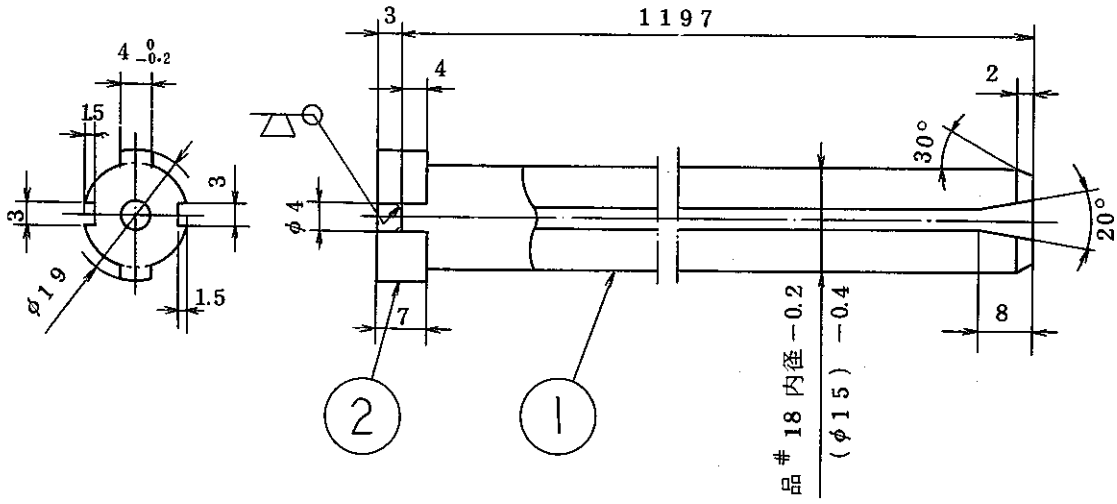
程度ニ合セ加工ノコト

洗 浄 ㊞

品番	部品名	個数（一台分）	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
1	プラグ	1	SUS304	φ12×55		

名称	プラグ（VOF−13H）	画法	三角	尺度	1/1（ ）
		設計	椿谷	− −	承認
		製図		− −	
仕上重量（一台分kg）		審査	宮本	− −	
日本原子力研究所		ME−27320			

RM−3100



溶接ハ業者実施

洗浄 炉

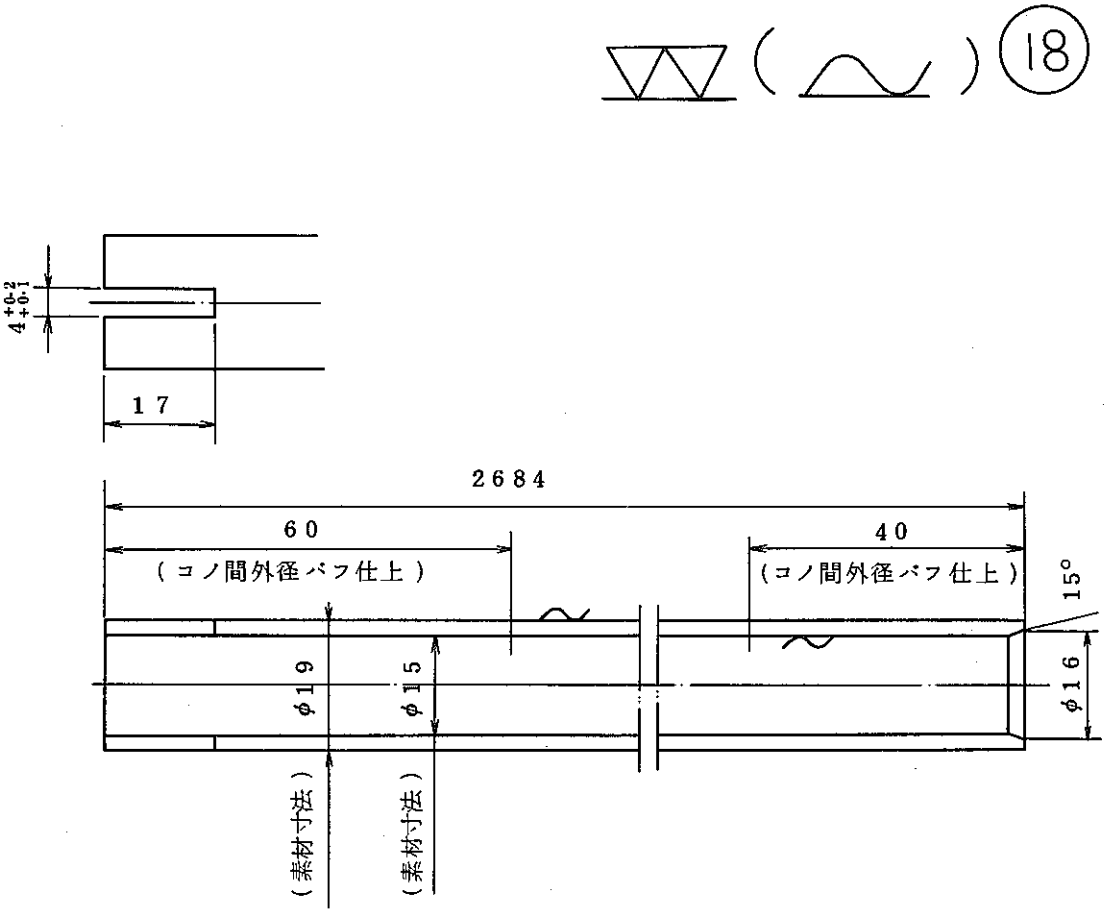
品番	部品名	個数(一台分)	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
2	ツバ	1	SUS304	φ20×25		
1	シールドプラグ	1	SUS304	φ15.2×1215		

名称	シールドプラグ (VOF-13H)	画法	三角	尺度	／( )
		設計	椿谷		承認
		製図			
仕上重量(一台分kg)		審査	宮本		

日本原子力研究所

ME-27321

RM-3100



洗浄 ㊤

品番	部品名	個数(一台分)	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
1	計装管	1	A1050	φ19×φ15×4000		

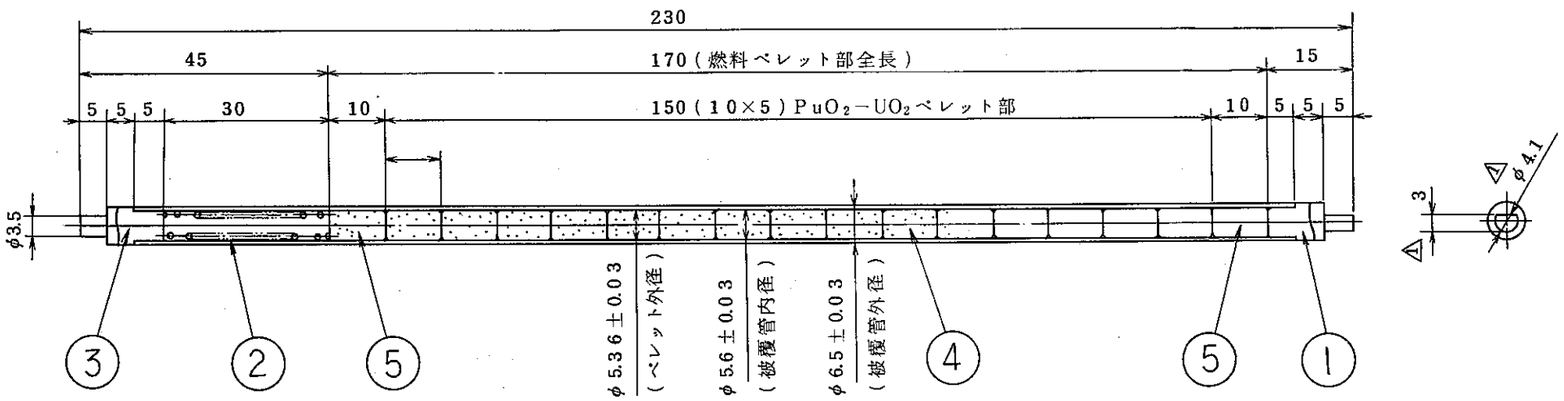
名称	計装管 (VOF−13H)	画法	三角	尺度	1/1 ( )
		設計	椿谷	− −	承認
		製図		− −	
仕上重量(一台分kg)		審査	宮本	− −	

日本原子力研究所 | ME−27322

RM−3100 番 作

⚠ 訂正 56.7.20 大部

19

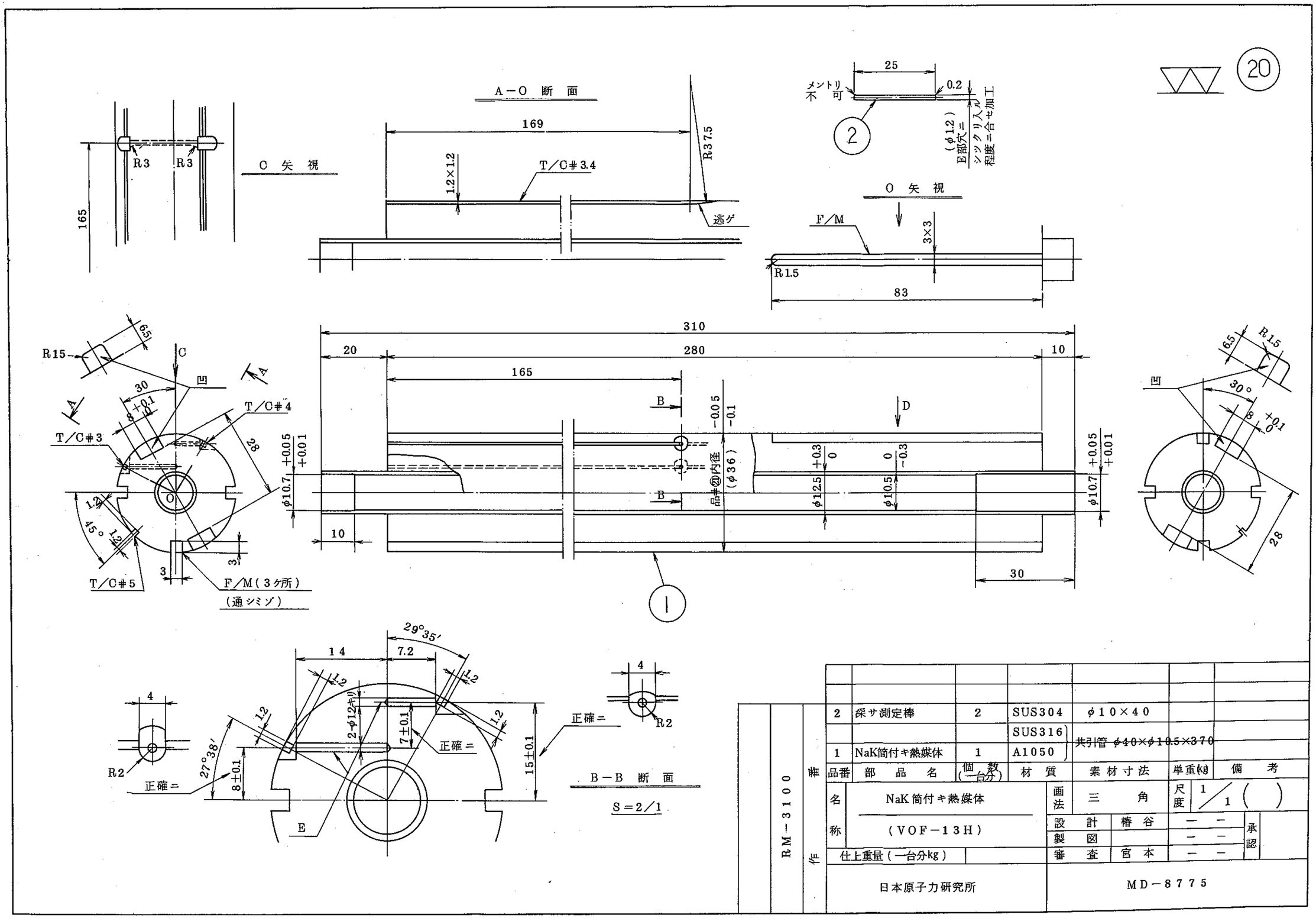


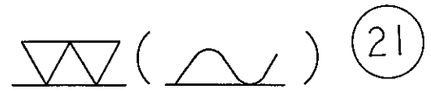
<注> 1. 本品ハＰＮＣ製作（完成品）支給品デアル

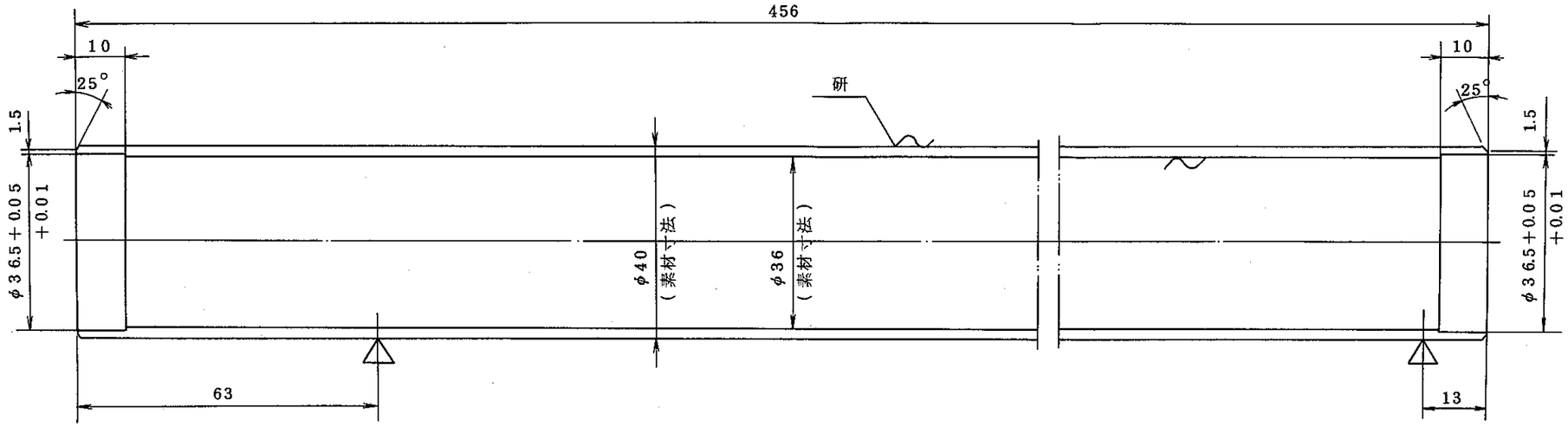
品番	部品名	個数（一台分）	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
5	燃料ペレット	2	UO_2			
4	燃料ペレット	15	PuO_2-UO_2			
3	上部端栓	1	SUS316			
2	スプリング	1	SWPA			
1	下部端栓	1	SUS316			

名称	燃料ピン（VOF−13H）	画法	三角	尺度	1/1（ ）
		設計	椿谷	― ―	承認
		製図		― ―	
仕上重量（一台分kg）		審査	宮本	― ―	
日本原子力研究所		MD−8774−1			

RM−3100


20
A－O 断 面
C 矢 視
O 矢 視
B－B 断 面
S＝2／1
メントリ不可
(φ1.2) E部穴ニシックリ入ル程度ニ合セ加工
F／M
T／C#3.4
T／C#3
T／C#4
T／C#5
F／M（3ヶ所）（通シミゾ）
品番②内径 (φ36)
正確ニ
NaK筒付キ熱媒体
(VOF－13H)
RM－3100
2 探サ測定棒 2 SUS304 φ10×40
SUS316
1 NaK筒付キ熱媒体 1 A1050
共引管 φ40×φ10.5×370
品番 部品名 個数（一台分） 材質 素材寸法 単重(kg) 備考
名称
画法 三角
尺度 1／1
設計 椿谷
製図
審査 宮本
承認
仕上重量（一台分kg）
日本原子力研究所
MD－8775





(1) ▽位置ニヴアイブロツールヲ利用シテ円周状ニ切断Tマークヲ設ケルコト（線巾3㎜，深サ0.05㎜以内）

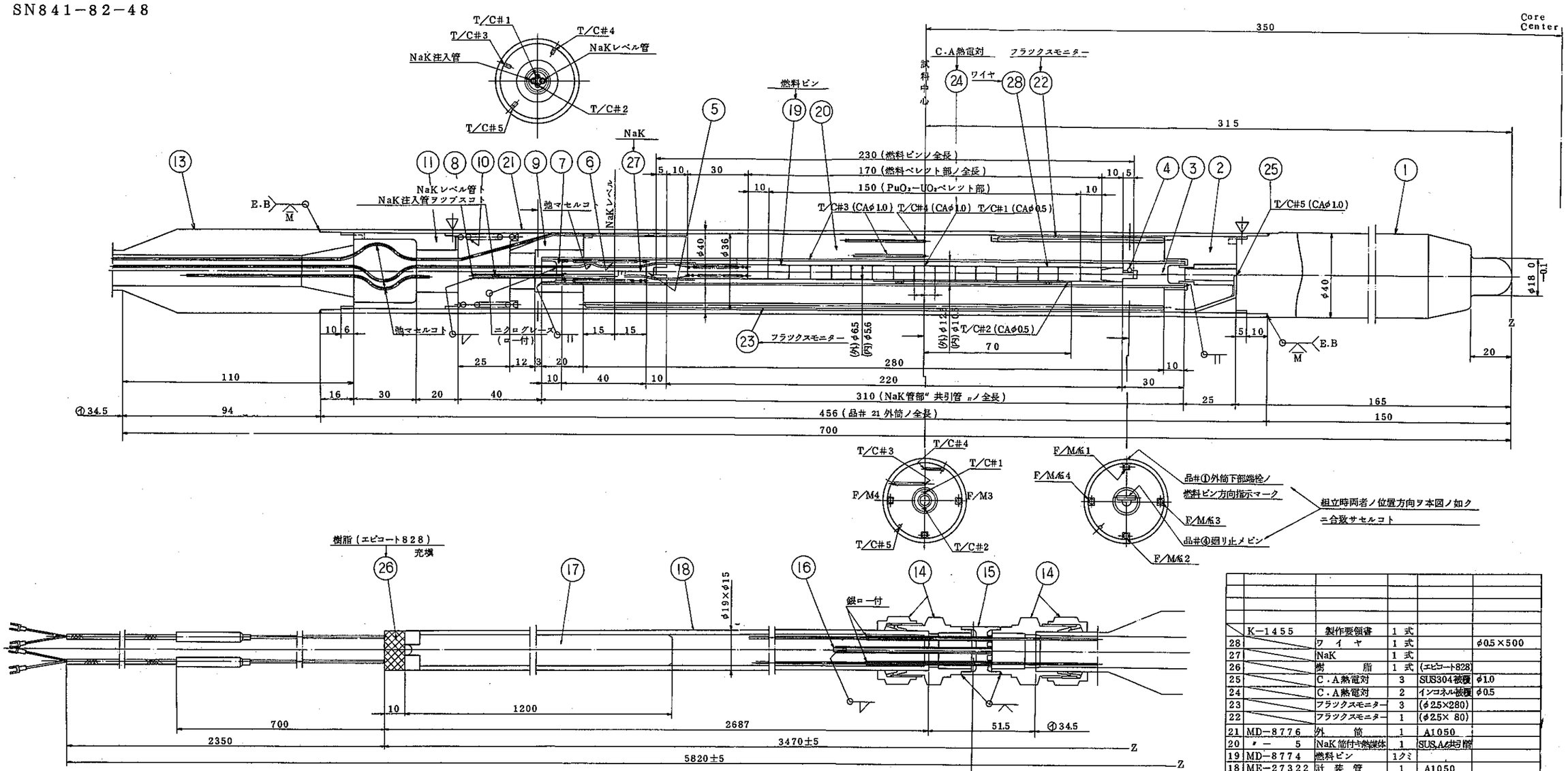
(2) 外筒外径中央水平方向ニヴアイブロツールヲ利用シテキャブセル名称番号〝VOF−13H〟ト刻字ノコト（文字ノ大キサ25㎜カク，総巾3㎜，深サ0.05㎜以内）

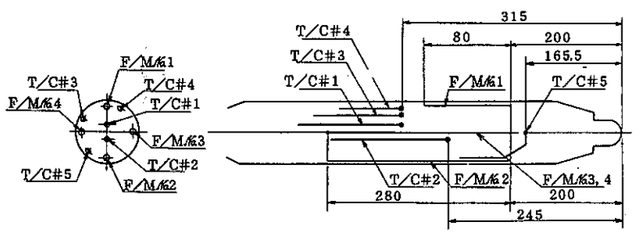
(3) 真直度 $\overset{0.3}{456}$㎜以内

品番	部品名	個数（一台分）	材質	素材寸法	単重(kg)	備考
1	外筒	1	A1050	φ40×φ36×1000		

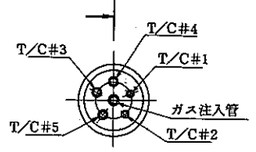
名称	外筒 (VOF−13H)	画法	三角	尺度	1/1 ( )
		設計	椿谷		− −
		製図			− −
仕上重量（一台分kg）		審査	宮本		− −
日本原子力研究所		MD−8776			

RM−3100





熱電対及ビフラックスモニター配置図



注

(1) 品# ㉑ 外筒ノ表面ニキヤプセル名称番号ヲ設ケルコト
(2) ▽印ノ個所ニ切断マークヲ設ケルコト
(3) 品# ⑳ 熱媒体内部ニ品# ㉗ NaKヲNaKレベルマデ注入後高純度（He）ガスヲ1気圧充塡スル（リーク量（He）1×10^{-8} atm cc/sec以下）
(4) 品# ㉑ 外筒内部ニ高純度（He）ガスヲ1気圧充塡スル（リーク量（He）1×10^{-8} atm cc/sec以下）
(5) 品# ㉘ ワイヤハ品# ⑲ 燃料ピントT/C#2ヲ縛リ又品 ⑲ トT/C#1，2ヲ同時ニ縛ルコト
(6) 真直度 $\overset{0.3}{700}$ mm以内
(7) 洗浄 ㊁
(8) T/C#1，2，3，4ハ一直線上ニ合致サセルコト（本資料中心部ノ断面図参照）

品番	図番	部品名	材質	個	備考
	K−1455	製作要領書	1 式		
28		ワイヤ	1 式		φ0.5×500
27		NaK	1 式		
26		樹脂	1 式	(エピコート828)	
25		C・A熱電対	3	SUS304被覆	φ1.0
24		C・A熱電対	2	インコネル被覆	φ0.5
23		フラックスモニター	3	(φ2.5×280)	
22		フラックスモニター	1	(φ2.5× 80)	
21	MD−8776	外筒	1	A1050	
20	〃 − 5	NaK筒付ヶ熱媒体	1	SUS,A1050	
19	MD−8774	燃料ピン	1クミ		
18	ME−27322	計装管	1	A1050	
17	〃 − 1	シールドプラグ	1	SUS304	
16	〃 − 20	プラグ	1	SUS316	
15	〃 − 9	端栓	1	SUS316	
14	〃 − 8	スウエージロック	2クミ	SUS316	
13	ME−27317	外筒上部端栓	1	A1050	
12		(欠番)			
11	ME−27315	スペーサー	1	A1050	
10	〃 − 4	スプリング	1	インコネル600	
9	〃 − 3	熱媒体	1	A1050	
8	〃 − 2	プラグ	2	SUS316	
7	〃 − 1−1	NaK筒上部端栓	1	SUS316	
6	〃 − 10	スプリング	1	インコネル600	
5	〃 − 9	ガイドピース	1	SUS316	
4	〃 − 8	廻り止メピン	1	SUS316	
3	〃 − 7	NaK筒下部端栓	1	SUS316	
2	〃 − 6	熱媒体	1	A1050	
1	ME−27305	外筒下部端栓	1	A1050	

名称	VOF−13Hキヤプセル 組立図	画法	三角	尺度	1/1 (/)
		設計	櫛谷	− −	承認
		製図		− −	
材上重量（一台分Kg）		審査	宮本	− −	
日本原子力研究所		MB−2948−1			

RM−3100 作番

PNC SN841-82-48

参考資料2.

検　査　要　領　書

ＶＯＦ－１３Ｈキャプセル

検 査 要 領 書

1. 概　要

本試験検査要領書は，VOF−13Hキャプセルの製作に関する試験検査要領書である。

本試験検査要領書は，試料容器，および部品の単品検査，組立中検査並びに完成検査について記述している。

試験検査方法は「東海研究所キャプセル等検査基準」（53.3.31）に基づいて行う。

2. 試験検査方法

2.1 単品検査

(1) 外観検査

方　法　目視により，表面の有害なキズ，附着物の有無および表面仕上精度を確認。

判　定　表面に有害なキズ，附着物がないこと。表面アラサは25s以下であること。

(2) 寸法検査

方　法　治具，測定器を用いて図面記載寸法を測定。

判　定　図面記載寸法値内であること。

(3) 真直度検査

方　法　定盤基準法により測定器を用いて測定。

判　定　図面記載値内であること。

(4) 素材組成および材料試験

方　法　素材メーカーのミルシートによる確認。

判　定　JIS規格品についてはその値，その他については指示値を満足する値であることを確認する。

(5) 重量測定　主要部品の重量については1／10grの測定精度で測定する。

2.2 組立中検査

(1) 外観検査　2.1(1)に準ずる。

(2) ヘリウムリーク検査

方　法　真空法によりHeリークデデクターを用いてHeリーク量を測定する。

判　定　1×10^{-6} atmcc／sec以下であること。

(3) 溶接部検査

方　法　目視により，溶接部のビード幅，ビード高さ，アンダーカットなどを検査し，更に放射線透過写真撮影による欠陥の有無を確認する。

判　定　有害な欠陥がなく，ビード幅，高さが均一であること。放射線透過試験は

ステンレスについては，JISZ3106「ステンレス鋼溶接部の放射線透過試験方法および透過写真の等級分類方法」，アルミについては，JISZ3105「アルミニウム溶接部の放射線透過試験方法および透過写真の等級分類方法」に準じ2級以上であること。

2.3 完成検査

(1) 外観検査　2.1(1)に準ずる。

(2) 寸法検査　2.1(2)に準ずる。

(3) 真直度検査　2.1(3)に準ずる。

(4) ヘリウムリーク検査　2.2(2)に準ずる。

(5) 溶接部検査　2.2(3)に準ずる。

(6) 熱電対およびヒーター検査

方　法　測定器を用いて絶縁抵抗測定，導通測定および寸法が図面上の指示値であることの確認。

判　定　絶縁抵抗測定は使用電圧の尖頭値の1.2倍以上の電圧にて1MΩ以上であること。

導通測定は，測定値を3桁以上で表わす。

寸法測定は図面指示値以下であること。

2.4 その他の確認

(1) 印字の確認

印字の確認は外観検査に含み確認

(2) 写　真

単品および完成検査時に識別マークが判るような外観写真を撮り，キャビネ版又はポラロイドカメラ版にて検査成績書に添付する。

(3) 全体放射線透過写真

キャプセル内部構造が識別できる全体放射線透過写真1部を検査成績書に添付する。

(4) 試料位置の確認

キャプセル組立時試料位置を確認する。

(5) NAKレベルの確認

NAKレベル規定値の±5㎜以内にあることを確認する。

(6) 表面汚染度検査

方　法　核燃料試料キャプセルについて外筒表面の汚染検査票により確認。

判　定　α線20dpm／100㎠以下であること。

〔別　添〕

一般公差表（機械加工精度）

寸法区分	公差	備考
～ 20㎜	±0.1	
20～ 50	±0.2	
50～ 100	±0.3	
100～ 500	±0.5	
500～1,000	±0.8	
1,000～2,000	±1.2	
2,000～3,000	±1.8	
3,000～	±（1.8＋0.6M）	M＝全長－3,000㎜

無記号公差表（溶接部を含む場合）

寸法区分	公差	備考
0～ 300㎜	±3.0	
300～1,000	±5.0	
1,000～	±7.0	