

# 「常陽」MK-II B型特殊燃料集合体 (PFB020) の照射後試験

— 燃料要素の破壊試験 —



1990年3月

区分変更	
変更後資料番号	PNC-TN9410 90-186
決裁年月日	平成 13年 7月 31日

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

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)

# 「常陽」MK-II B型特殊燃料集合体 (PFB020) の照射後試験



— 燃料要素の破壊試験 —

筆者氏名\* 吉川勝則\* 桑島幸夫\* 滑川卓志\*\*  
川澄清一\* 橋口正弘\*\*\* 吉持 宏\*  
横内洋二\*

## 要 旨

「常陽」MK-II B型特殊燃料集合体PFB020(集合体平均燃焼度約4,830 MWd/t)は、「もんじゅ」初装荷(低燃焼度炉心,平均燃焼度:約5,500 MWd/t,ペレット最高燃焼度:約8,600 MWd/t)の燃料ピン照射挙動を把握するため照射後試験に供されたものである。照射燃料試験室(AGS)では,3本の燃料ピンを対象に,被覆管硬さ,被覆管密度及び燃焼率測定試験を実施した。結果を以下にまとめて示す。

- (1) 被覆管の硬さは,照射範囲(中性子照射量 $2 \sim 6.4 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ,  $E \geq 0.1 \text{ MeV}$ , 照射温度 $530 \sim 590 \text{ }^\circ\text{C}$ )で最大約12%の硬化が認められた。また, MK-IとMK-IIの照射温度依存性を比較すると, MK-Iシリーズは,照射温度が約 $525 \text{ }^\circ\text{C}$ で加工硬化の回復が見られるのに対して, MK-IIにおいては,照射温度が約 $580 \text{ }^\circ\text{C}$ 前後においても加工硬化の回復点が見られなかった。
- (2) 被覆管の密度に有意な変化は認められず, スウェリングの発生は認められなかった。
- (3) 燃焼率は, A101ピン6.42 atom%, A106ピン6.19 atom%であり, これら実測値は, 計算値より4%~5%低かった。

---

\* 燃料材料開発部, 照射燃料試験室  
\*\* 東海事業所, プラント設計開発室  
\*\*\* 三菱重工(株)名古屋航空機製作所

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 燃料ピン .....	2
3. 照射条件 .....	3
4. 照射後試験 .....	4
4.1 被覆管硬さ測定試験 .....	4
4.1.1 測定方法 .....	4
4.1.2 測定結果 .....	4
4.2 被覆管密度測定試験 .....	4
4.2.1 試料調製及び測定方法 .....	4
4.2.2 測定結果 .....	5
4.3 燃焼率測定試験 .....	5
4.3.1 試料調製方法 .....	5
4.3.2 測定結果 .....	5
5. まとめ .....	7

List of Table

Table 1	Fuel pin fabrication parameters -----	8
Table 2	Detailed microhardness condition and position -----	9
Table 3	Summary of cladding microhardness measurement of "JoYo" MK-II PFB020 -----	10
Table 4	Summary of density measurement -----	11
Table 5	Summary of burnup measurement by Nd-method for PFB020 -----	12
Table 6	Calculation of effective fission yield for Al0161 (example) -----	13
Table 7	Composition of spike solution and natural neodymium -----	14
Table 8	Result of isotope analysis and burnup calculation for PFB020 Al0161 sample -----	15
Table 9	Result of isotope analysis and burnup calculation for PFB020 Al0651 sample -----	16

List of Figures

Fig. 1	Schematic drawing of fuel pin -----	17
Fig. 2	Irradiation position of PFB020 subassembly in "JoYo" MK-II core -----	18
Fig. 3	Fuel pin position in PFB020 subassembly -----	19
Fig. 4	Fluence and cladding temperature distribution of "JoYo" MK-II PFB020 (Al01pin) -----	20
Fig. 5	Fuel temperature distrubution of "JoYo" MK-II PFB020 (Al01pin) -----	21
Fig. 6	Linear heat rate distribution of "JoYo" MK-II PFB020 (Al01pin) -----	22
Fig. 7	Burnup distribution of "JoYo" MK-II PFB020 (Al02pin) -----	23
Fig. 8	Fluence and cladding temperature distribution of "JoYo" MK-II PFB020 (Al02pin) -----	24
Fig. 9	Fluence and cladding temperature distribution of "JoYo" MK-II PFB020 (Al04pin) -----	25

Fig. 10	Fluence and cladding temperature distribution of "JoYo" MK-II PFB020 (Al06pin) -----	26
Fig. 11	Sampling of specimens (PFB020) -----	27
Fig. 12	Relation between hardness, cladding temperature and fluence at various position for "JoYo" MK-II PFB020 -----	28
Fig. 13	Effect of irradiation temperature on hardness of "JoYo" MK-II claddings -----	29
Fig. 14	Temperature dependance of hardness -----	30
Fig. 15	Cladding density change of "JoYo" MK-II PFB020 (Al06pin) -----	31
Fig. 16	Cladding density change of "JoYo" MK-II PFB020 (Al02pin) -----	32
Fig. 17	Cutting diagram of PFB020 fuel pins for burnup measurement -----	33
Fig. 18	Specimen preparation process for burnup measurement in AGF -----	34

## 1. ま え が き

「常陽」MK-II B型特殊燃料集合体は、炉心方向をE面方向として、炉内位置3C2で100 MW第3サイクルから100 MW第10サイクルまで照射された集合体であり、集合体の平均燃焼度は約48,300 MWd/tである。

照射後試験の目的は、「もんじゅ」初装荷（低燃焼度炉心）の燃料及び被覆管の照射挙動を把握することである。

照射燃料試験室（AGS）での燃料ピンの破壊試験が終了したので、その結果を報告する。対象となった燃料ピンは下記の4本である。

- (1) A101ピン（コンパートメントNaC1, NaSTO177 Pin S社製被覆管）
- (2) A102ピン（コンパートメントNaC1, NaKT0209 Pin K社製被覆管）
- (3) A104ピン（コンパートメントNaC1, NaKT0212 Pin K社製被覆管）
- (4) A106ピン（コンパートメントNaC2, NaST0172 Pin S社製被覆管）

上記のピンについて、照射後試験として(a)被覆管硬さ測定、(b)被覆管密度測定、(c)燃焼率測定を実施した。

## 2. 燃 料 ピ ン

PFB020集合体のうち、今回の照射後試験に供された燃料ピンの仕様をTable1 に示し、またその形状、寸法をFig.1 に示す。



### 3. 照射条件

本集合体の炉心装荷位置を Fig. 2 に示す。また破壊試験を実施した燃料ピンの集合体内装荷位置を Fig. 3 に示す。さらに集合体の照射条件を以下に記す。

- ① 燃焼度（集合体平均）：約 48,300 MWd/t  
（「もんじゅ」低燃焼度炉心の設計燃焼度：平均燃焼度約 55,000 MWd/t，燃料要素最高燃焼度約 69,000 MWd/t，ペレット最高燃焼度約 86,000 MWd/t）
- ② 照射サイクル：100MW 第3サイクル～100MW 第10サイクル
- ③ 集合体ピークフルエンス（ $E \geq 0.1 \text{ MeV}$ ）： $7.95 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$
- ④ 線出力（集合体平均）：265W/cm（EOL）
- ⑤ 照射位置：3C2（Fig. 2 を参照）

試験に供した各燃料ピンの燃焼度分布，中性子照射量分布，温度分布及び線出力について燃材部 MK-II 照射情報検索システムの出力結果を Fig. 4～Fig. 10 に示す。

## 4. 照射後試験

AGSで実施した照射後試験項目とその試料採取位置をFig.11に示す。

### 4.1 被覆管硬さ測定試験

#### 4.1.1 測定方法

測定はL-2セル設置の遠隔操作型微小硬さ計(マイクロ・ビッカース法)により行った。硬さ測定試験に供した試料は、A10181、A101B1及びA104C1の3試料である。Table 2に硬さ測定の測定条件及び測定位置を示す。

#### 4.1.2 測定結果

Table 3にピン軸方向硬さと照射前硬さの比較を示す。Fig. 12に軸方向硬さ分布と照射量及び照射温度との関係を示す。図に示すように、ほぼ同じ照射履歴の試料とを比較した場合、照射温度が高い試料ほど照射硬化幅は小さい。

Fig. 13に硬さと照射温度の関係を示す。被覆管の硬さは中性子照射量が約 $3 \times 10^{22}$  n/cm<sup>2</sup> ( $E \geq 0.1$  MeV)以上になると照射量に依存せず温度のみに依存することが知られている。図中の実線は本試験結果及び現在までに得られている「常陽」MK-II被覆管硬さを直線回帰式を用いて近似したものである。硬さの温度に対する傾きは $-0.4$  Hv/°Cであり、ゆるやかな温度依存性を示している。また、比較のために「常陽」MK-I(10%冷間加工材)と「常陽」MK-II(20%冷間加工材)の硬さの温度依存性をFig. 14に示す。MK-IIの硬さの温度に対する傾きはMK-Iの同傾き( $-0.8$  Hv/°C)よりゆるやかである。MK-Iの場合には、照射温度が約 $525$  °C付近で加工硬化の回復が見られるが、MK-IIにおいては、 $580$  °C前後では未だに回復による屈折点が見られない。この回復領域は高温側に移行しており、前述の照射温度範囲では、被覆管硬さはまだ照射硬化温度依存領域と思われる。この差は、被覆管製造時の冷間加工度の違いによるものと推定される。

### 4.2 被覆管密度測定試験

被覆管の密度測定は、A102ピン及びA106ピンの燃料中央部より各1個ずつ試料を採取して行った。Fig. 15, 16に照射条件とともに試料採取位置を示す。

#### 4.2.1 試料調製及び測定方法

試料調製及び測定方法は、下記のとおりである。

##### 1) 試料切断

マイクロソーを用いて試料を約 $20$  mmに切断した。

##### 2) 脱ミート

脱ミート装置を用いて被覆管内の燃料を除去した。

## 3) 被覆管端面研磨

被覆管の切断端面を耐水研磨紙を用いて研磨した。研磨条件は#120, #240, #600の各研磨紙にて各5分間研磨した。

## 4) 被覆管酸洗浄及び乾燥

8モル硝酸90℃中で15分間酸洗した後、純水による超音波洗浄を15分間行い、その後自然乾燥した。

## 5) 最終洗浄及び乾燥

測定直前にアセトン、アルコールの順で各1分間ずつの脱脂洗浄を行い、その後自然乾燥した。

## 6) 測定

読み取り限度1 $\mu$ gの電子天秤により、空気中での秤量及び界面活性剤入りの純水中での秤量をくり返し測定した。

## 7) 密度計算

測定データを測定温度及び気圧等の条件により補正し密度値を計算した。

## 4.2.2 測定結果

密度はA102ピンで、0.03%、A106ピンで、0.04%の増加を示したが、いずれも測定誤差の範囲(±0.2%)内にあり有意差は認められなかった。各測定試料及びレファレンス材の密度測定結果をTable 4に示す。また、照射条件と共に密度測定結果をFig. 15及び16に示す。

SUS316のスウェリングは $1.9\sim 2.0\times 10^{22}$  n/cm<sup>2</sup>以上で発生することがわかっており、今回の照射量でスウェリングがおきないのは予想通りである。

## 4.3 燃焼率測定試験

<sup>148</sup>Ndを指標核種とした同位体希釈法により燃焼率を求めた。

## 4.3.1 試料調製方法

試料の採取位置をFig. 17に、また試料の調製方法及び手順をFig. 18に示す。

## 4.3.2 測定結果

今回得られた測定データとESPRIT-Jコードによる計算値をまとめた結果をTable 5に示す。燃焼率計算で使用した<sup>148</sup>Nd、<sup>146</sup>Nd及び<sup>145</sup>Ndの実効核分裂収率の計算例(試料NoA10161)をTable 6に示す。今回の同位体希釈分析計算に使用したスパイク液の濃度及び組成のデータ(質量分析値)をTable 7に示す。また質量分析から得られた同位体組成及び同位体希釈分析から得られた各同位体原子数さらにこれらのデータを基にして得られた燃焼率等の計算結果をTable 8~9に示す。

以上の結果から以下のことを確認した。

PFB020特殊燃料集合体の燃焼率は、A101ピン(試料NoA10161)6.42atom% (60,500MWd/t), A106ピン(試料NoA10651)6.19atom% (58,400MWd/t)であった。また実測値とESPRIT-Jコード計算値の比較では、実測値がESPRIT-Jコード計算値に対して4~5%低くなっている。この実測値と計算値との差は、誤差範囲内と考えられる。

## 5. ま と め

「常陽」MK-II B型特殊燃料集合体PFB020は、「もんじゅ」の炉心燃料要素とほぼ同一仕様ピンによって構成され、「もんじゅ」低燃焼度炉心に近い条件で照射された。AGSでは、4本の燃料ピンを対象に照射後試験を実施した。以下に得られた結果を述べる。

### 1) 被覆管硬さ測定試験

測定試料の中性子照射量範囲 ( $E \geq 0.1 \text{ MeV}$   $2 \sim 6.4 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ) では、未照射材の硬さに対して、照射温度  $530^\circ\text{C}$  の試料で、約12%、 $580^\circ\text{C}$  の試料で、約6%、 $590^\circ\text{C}$  の試料で、約11%の硬化が認められた。

今までに得られた硬さデータから、MK-I (10% CW材) とMK-II (20% CW材) の照射温度依存性 (中性子照射量  $E \geq 0.1 \text{ MeV}$   $> 3 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ) を比較すると、MK-I シリーズの場合、照射温度が約  $525^\circ\text{C}$  付近において加工硬化の回復が見られるのに対して、MK-II においては、照射温度約  $580^\circ\text{C}$  前後においても加工硬化の回復点が見られない。これらのことから、MK-II の被覆管硬さは、照射温度約  $580^\circ\text{C}$  付近においても、まだ照射硬化温度依存領域内にあり、回復点は高温側へシフトしていると考えられる。

この差は、被覆管製造時の冷間加工度の違いによるものと推定される。

### 2) 被覆管密度測定試験

測定試料は、0.03~0.04%の密度増加を示したが、いずれも測定誤差範囲 ( $\pm 0.2\%$ ) 内にあり有意な差は認められなかった。 $6.7 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$  ( $E \geq 0.1 \text{ MeV}$ ) の照射量では、スウェリングの発生は認められなかった。

### 3) 燃焼率測定試験

測定試料の燃焼率は、A101ピン  $6.42 \text{ atom}\%$  ( $60,500 \text{ MWd/t}$ ) A106ピン  $6.19 \text{ atom}\%$  ( $58,400 \text{ MWd/t}$ ) であった。また、実測値と計算値を比較すると実測値が4%~5%低かった。

Table 1 Fuel pin fabrication parameters

S/A name	PFB020	Pin No	ST0172, ST0177 KT0209, KT0212
Fuel			
Fuel form	Flat end solid pellet		
Pellet diameter (mm)	5.4		
Pellet density (%T.D)	93±2		
Fuel composition	30w/o PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>		
U-235 enrichment (%)	8		
Pu isotopic composition (%)	Pu 239/240/241/242 76.04/20.01/3.19/0.61		
O/M ratio	1.97 <sup>+0.02</sup> <sub>-0.03</sub>		
Cladding			
Type and work	SUS316, 20% cold work		
Outer/inner diameter (mm)	6.5/5.56		
Lot identification	S552:ST0172, ST0177 K552:KT0209, KT0212		
Fuel pin			
Pin length (mm)	1765		
Pin outer diameter (mm)	6.5		
Fuel column length (mm)	550		
Plenum length (mm)	642		
Insulater pellet length (mm)	Upper 8 Lower 8		
Fuel/cladding dia. gap (mm)	0.16		
Pin spacing & support	Wrapping wire		

Table 2 Detailed microhardness measurement condition and position

1. Measurement Condition

Item \ Method	Load (g)	Hold Time (sec)
Circumferential Direction	500	30
Radial Direction	50	30

2. Position

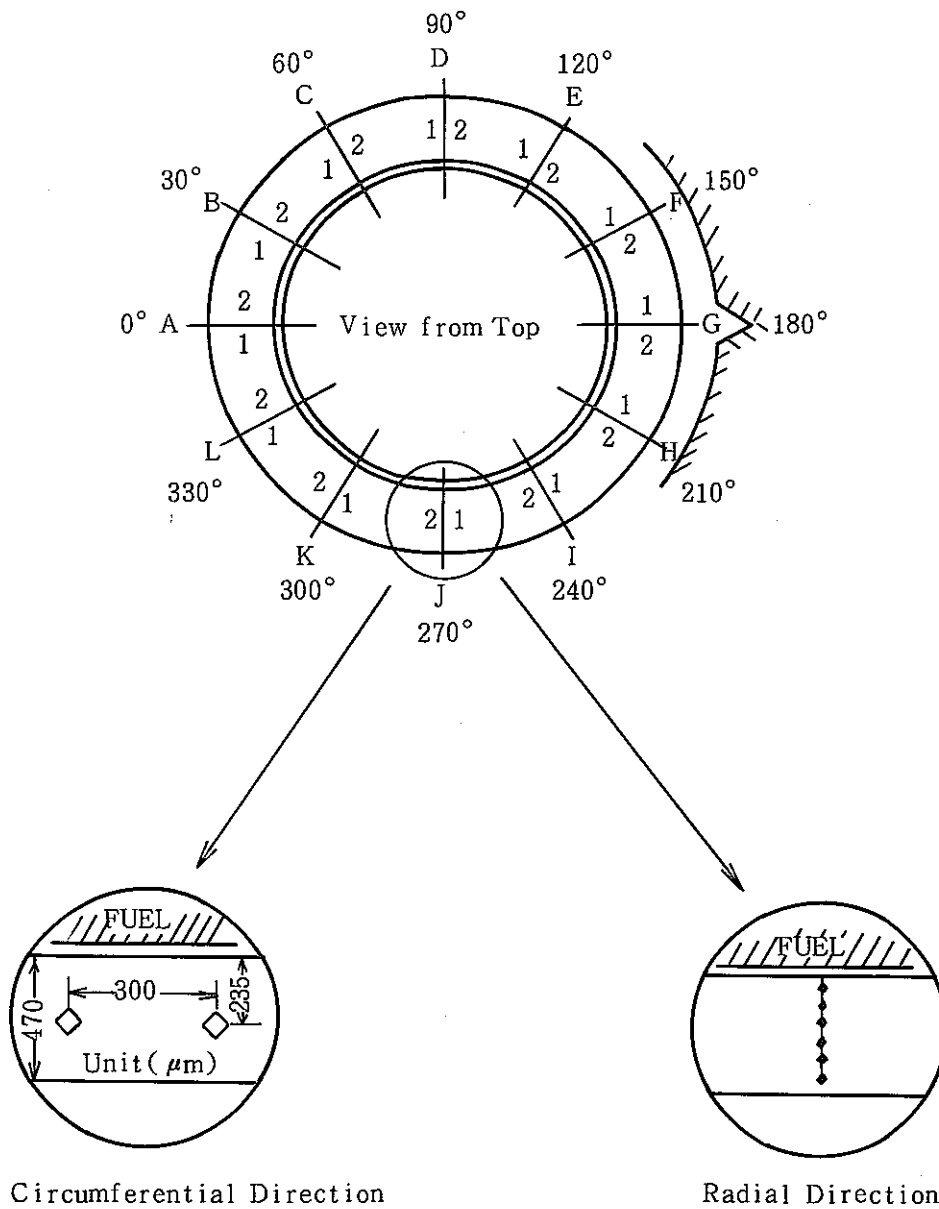


Table 3 Summary of cladding microhardness of "JOYO"  
MK-II PFB020

Pin No		A 1 0 1	A 1 0 1	A 1 0 4
Specimen No		A 1 0 1 8 1	A 1 0 1 B 1	A 1 0 4 C 1
D. F. C. B. (mm) <sup>1)</sup>		3 0 8	4 1 6	5 9 2
Hardness(Hv 0.5)		3 0 9	2 9 2	2 9 6
$\Delta$ Hv(Hv 0.5) <sup>2)</sup>		3 4	1 7	3 0
$\Delta$ Hv/Hv (%) <sup>3)</sup>		1 2.4	6.2	1 1.3
Irrad. <sup>4)</sup> Condition	Clad Midwall Temp. (°C)	5 3 0	5 7 8	5 9 1
	Fluence ( $\times 10^{22}$ n/cm <sup>2</sup> )	6.4	5.7	2.0
Cladding Lot No		S 5 5 2	S 5 5 2	K 5 5 2
Cold Work (%)		2 0	2 0	2 0
Unirrad. Hardness		2 7 5	2 7 5	2 6 6

- 1) Distance from core bottom
- 2)  $\Delta$ Hv = Hardness - Unirrad. Hardness
- 3) Hv = Unirrad. Hardness.
- 4) Fluence :  $E \geq 0.1$  MeV



Table 4 Summary of Density Measurement

Pin No.	Specimen No.	Distance from Pin Bottom (mm)	Fast Fluence ( $n/cm^2 \cdot \times 10^{22}$ ) ( $E \geq 0.1 MeV$ )	Clad. Temp. Midwall ( $^{\circ}C$ )	Density (g/cc)	Density Change $-\frac{\Delta \rho}{\rho}$ (%)
A102	A1024	685.5-704.5	6.7	515	7.947	-0.03
	(Base)	-	-	-	7.945	-
A106	A10652	684.4-708.0	6.5	512	7.942	-0.04
	(Base)	-	-	-	7.939	-
		-				
		-				
		-				
		-				
		-				
		-				
- COMMENT -						

Table 5 Summary of Burnup Measurement by Nd-method for PFB020

Pin No	Sample No	Distance from Core fuel bottom <sup>1)</sup> (mm)	Pu Content <sup>2)</sup> (atom%)	Burnup			
				MWd/t		atom%	
				Calculated <sup>3)</sup>	Measured <sup>4)</sup>	Calculated <sup>5)</sup>	Measured <sup>6)</sup>
A101	A10161	270.5~276.5	28.407	63.760	60.500	6.74	6.42
A106	A10651	242.5~249.1	28.449	60.910	58.400	6.44	6.19

1) Distance from Pin bottom -435 (mm)

2)  $Pu / (Pu + U) \times 100$

3), 5) Calculated by ESPRIT-J Code

4) atom%-MWd/t の換算係数は、核分裂放出エネルギー値と中性子発熱量、 $\gamma$  発熱量から算出した。

6) Measured by <sup>148</sup>Nd monitor method

Table 6 Calculation of effective fission yield for A10161 (example)

Nuclide	Composition (Atom Fraction)	Fission Cross Section [ barn ]	Nd-148		Nd-146		Nd-145	
			Fission Yield [ % ]	Fractional Fission Yield	Fission Yield [ % ]	Fractional Fission Yield	Fission Yield [ % ]	Fractional Fission Yield
U 233	nd	- <sup>1)</sup>	1.14 <sup>2)</sup>	-	3.20 <sup>2)</sup>	-	4.10 <sup>2)</sup>	-
U 234	0.000482	- <sup>1)</sup>	1.44 <sup>2)</sup>	-	3.08 <sup>2)</sup>	-	4.00 <sup>2)</sup>	-
U 235	0.049286	1.78E+00 <sup>1)</sup>	1.68 <sup>3)</sup>	0.269	2.94 <sup>3)</sup>	0.470	3.76 <sup>4)</sup>	0.601
U 236	0.002624	1.43E-01 <sup>1)</sup>	1.81 <sup>2)</sup>	0.001	3.06 <sup>2)</sup>	0.002	3.77 <sup>2)</sup>	0.003
U 238	0.663537	6.33E-02 <sup>1)</sup>	2.08 <sup>3)</sup>	0.160	3.40 <sup>3)</sup>	0.261	3.50 <sup>2)</sup>	0.268
Pu238	0.000506	- <sup>1)</sup>	1.76 <sup>2)</sup>	-	2.79 <sup>2)</sup>	-	3.24 <sup>2)</sup>	-
Pu239	0.207149	1.77E+00 <sup>1)</sup>	1.65 <sup>3)</sup>	1.104	2.46 <sup>3)</sup>	1.645	3.01 <sup>3)</sup>	2.013
Pu240	0.066287	4.85E-01 <sup>1)</sup>	1.84 <sup>2)</sup>	0.108	2.83 <sup>2)</sup>	0.166	3.34 <sup>2)</sup>	0.196
Pu241	0.000006	2.30E+00 <sup>1)</sup>	1.94 <sup>2)</sup>	0.065	3.01 <sup>2)</sup>	0.101	3.52 <sup>2)</sup>	0.118
Pu242	0.002123	3.90E-01 <sup>1)</sup>	2.04 <sup>2)</sup>	0.003	3.10 <sup>2)</sup>	0.005	3.70 <sup>2)</sup>	0.006
Effective Fission Yield [ % ]			1.71		2.65		3.21	

Note; nd=not detected

Fractional Fission Yield=(AF)(CS)(FY)/SUM(AF)(CS)

AF:atom fraction of U and Pu(PIE data) CS:fission cross

FY:fission yield

Effective Fission yield=SUM(Fractional Fission yield)

1)MAGI code

2)TRG-2143-R

3)ICP-1050-1

4)HERE-R-8753

Table 7 Composition of spike solution and natural neodymium

スパイク液中の原子数 (atoms/ml)	U 233	$2.7764 \times 10^{18}$
	Pu 242	$5.0316 \times 10^{17}$
	Nd 150	$4.9362 \times 10^{15}$
天然ネオジムの同位体比	Nd 142/Nd 150	4.824980
	Nd 145/Nd 150	1.472180
	Nd 146/Nd 150	3.050830
	Nd 148/Nd 150	1.021325
ネオジムスパイクの 同位体比	Nd 142/Nd 150	0.017568
	Nd 145/Nd 150	0.006446
	Nd 146/Nd 150	0.014612
	Nd 148/Nd 150	0.008769
ウランスパイクの 同位体比	U 234/U 233	0.011521
	U 235/U 233	0.000425
	U 238/U 233	0.006425
プルトニウムスパイクの 同位体比	Pu 239/Pu 242	0.001066
	Pu 240/Pu 242	0.013671
	Pu 241/Pu 242	0.000601

Table 8 Result of isotope analysis and burnup calculation  
for PFB020 A10161 sample

S/A NO.(FAB) ; PFB020	PIN NO.(PIE) ; A101
SAMPLE NO. ; A10161	SAMPLE POSITION ; 270.5*276.5 (mm)*

VOLUME RATIO OF SPIKE SOLUTION TO SAMPLE SOLUTION ; 10.000

ISOTOPIC RATIO OF U,Pu,Nd IN (a)SAMPLE AND (b)SAMPLE-SPIKE MIXTURE ;

[ U233/238]	[ U234/238]	[ U235/238]	[ U236/238]		
nd	0.000727	0.074277	0.003955	-(a)	
0.517678	0.006655	0.074150	0.003932	-(b)	
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]		
0.002441	0.319996	0.038647	0.010248	-(a)	
0.002441	0.324035	0.038824	0.311665	-(b)	
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]
0.017875	4.737060	3.327319	3.269807	2.771384	1.760983
0.031723	2.446404	1.731170	1.707049	1.448223	0.922518
					-(a)
					-(b)

ISOTOPIC COMPOSITION OF U,Pu,Nd IN SAMPLE (atom%) ;

[ U233]	[ U234]	[ U235]	[ U236]	[ U238]		
nd	0.0674	6.8841	0.3656	92.6819		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.1780	72.9218	23.3347	2.8182	0.7473		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.1059	28.0558	19.7064	19.3658	16.4138	10.4296	5.9226

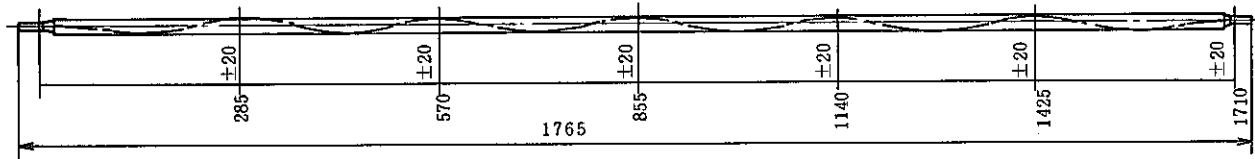
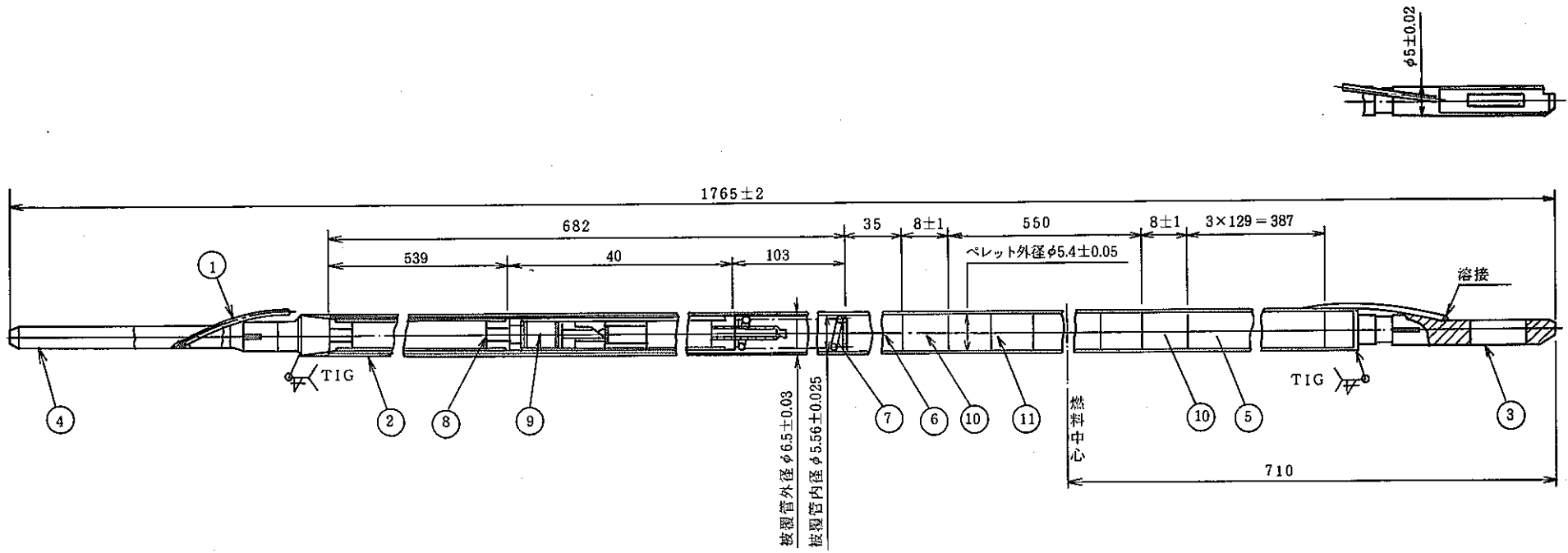
Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 28.407 / 28.524

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.4167E+21

		[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample)</u>	;	2.8339E+18	4.3985E+18	5.2649E+18
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD</u>	;	1.71E-02	2.65E-02	3.21E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**</u>	;	1.6573E+20	1.6598E+20	1.6401E+20
<u>BURNUP (atom%)#</u>	;	6.42	6.43	6.36
<u>SPECIFIC BURNUP (MWd/t)##</u>	;	60500	60600	60000

NOTE ; nd=not detected  
\* Distance from core fuel bottom  
\*\* FISSIONS=NUMBER OF Nd/EFFECTIVE FISSION YIELD  
# BURNUP=100\*FISSIONS/(TOTAL HEAVY ELEMENT+FISSIONS)  
## 1.06 atom% BU=10000 MWd/t BU





ラッピングワイヤ配置図(1/5)

11	炉心用ペレット	$\text{PuO}_2\text{-UO}_2$		
10	インシュレータペレット	劣化-UO <sub>2</sub>	2	
9	タグガスキャプセル			
8	抑工板付プレナムスリーブ	SUS316	1	
7	プレナムスプリング	SUS304WPR	1	
6	要素反射体(上)	SUS316	1	
5	要素反射体(下)	SUS316	3	
4	上部端栓	SUS316	1	
3	下部端栓	SUS316	1	
2	被覆管	SUS316相当	1	
1	ラッピングワイヤ	SUS316相当	1	$\phi 1 \pm 0.01$
品番	品名	材質	個数	備考

Fig.1 Schematic drawing of fuel pin

炉内照射位置

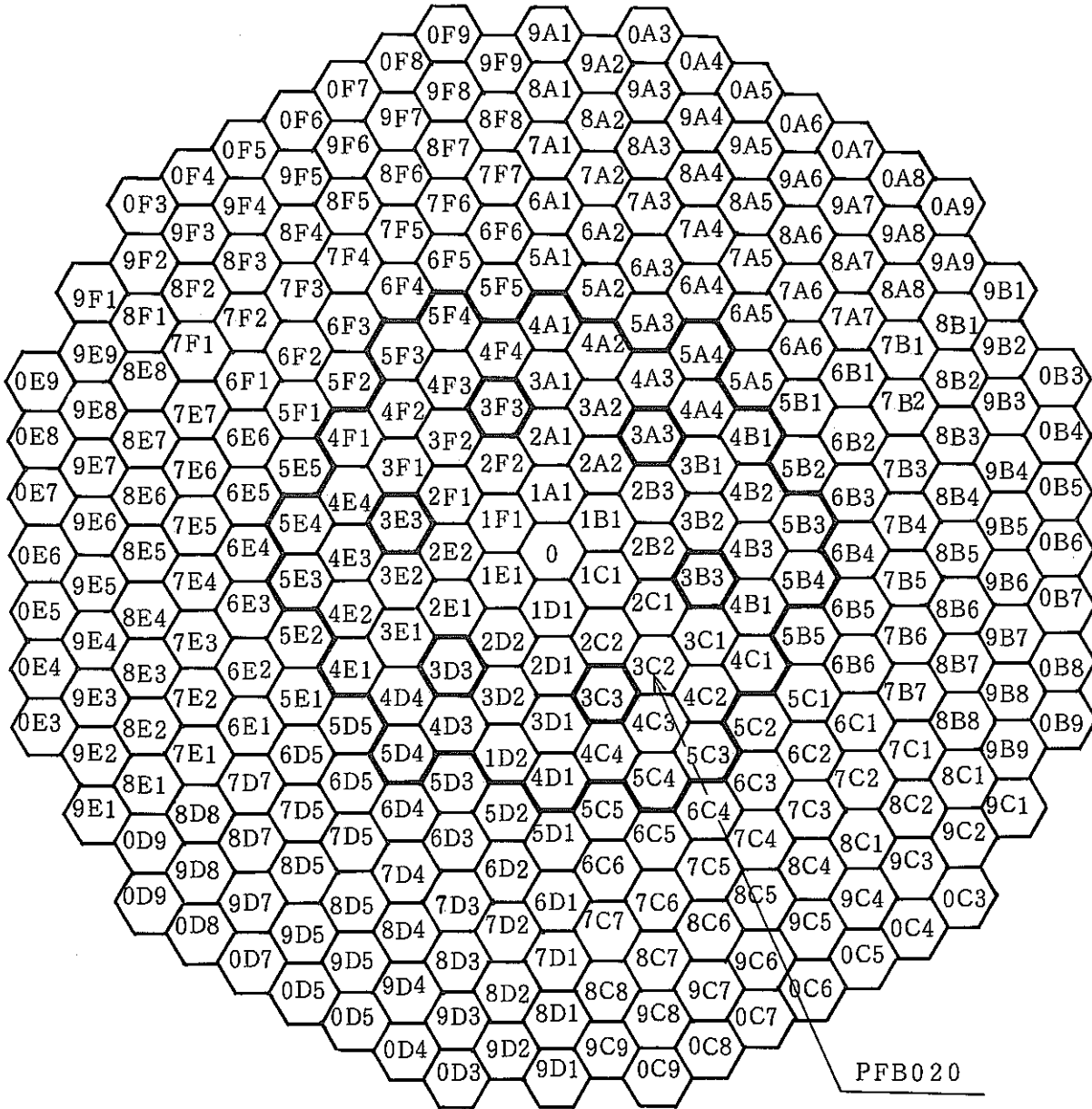
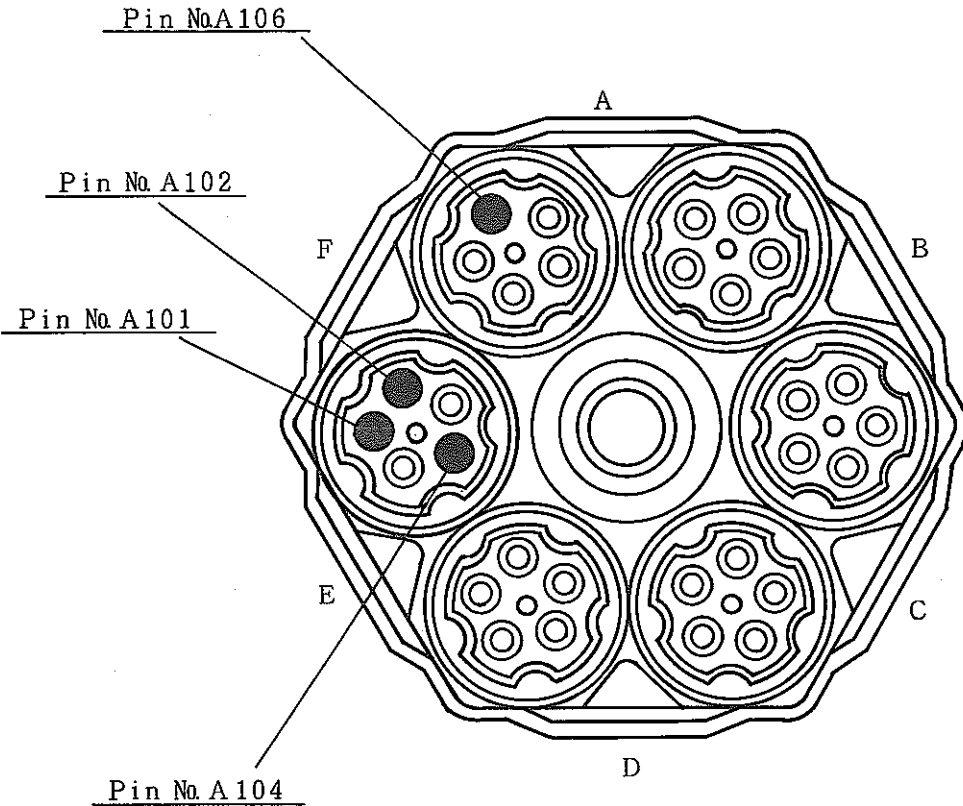


Fig.2 Irradiation position of PFB020 subassembly  
in "JOYO" MK-II core





● : 試験対象ピン

Fig.3 Fuel pin position in PFB020 subassembly

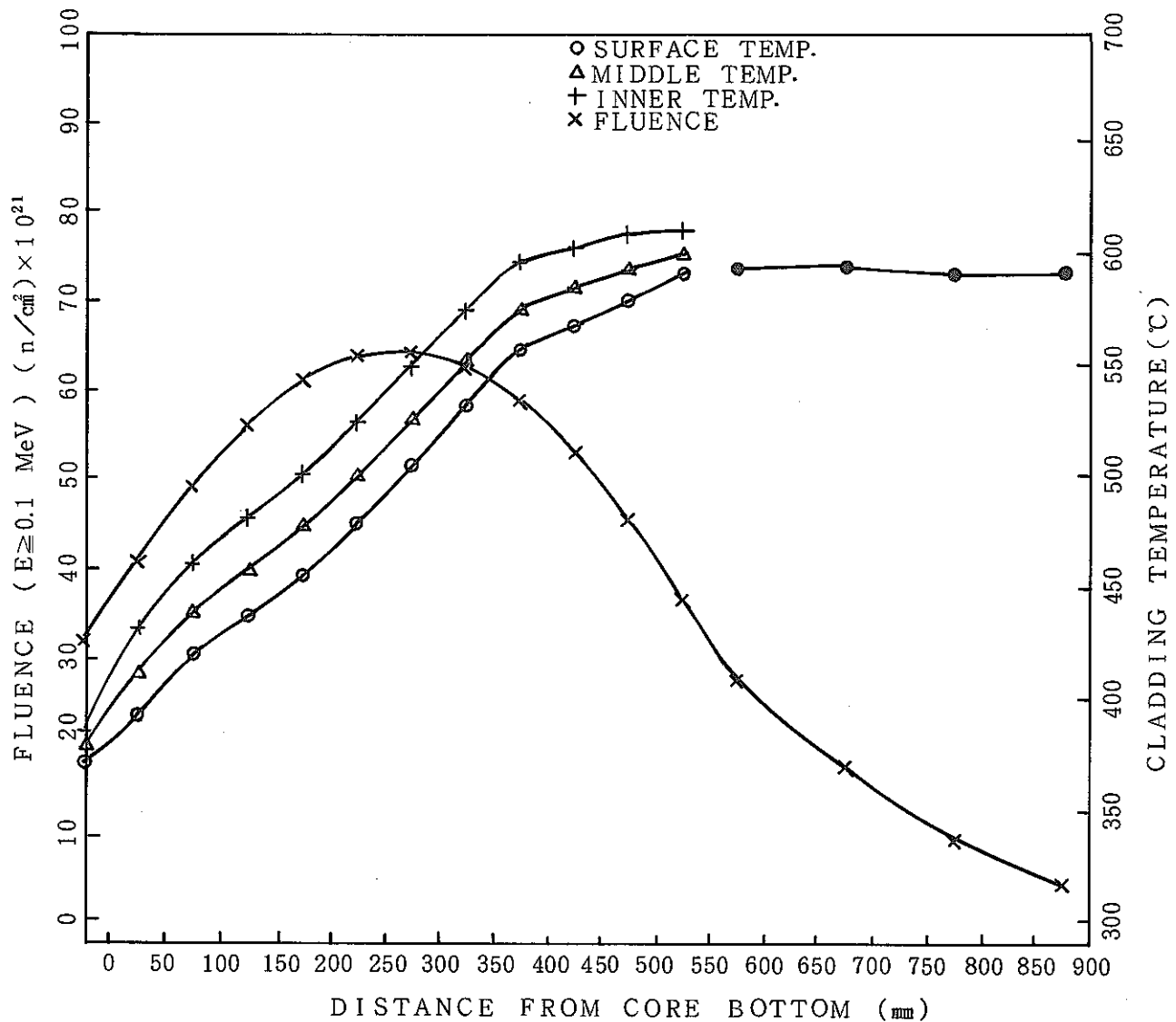


Fig. 4 Fluence and cladding temperature distribution of "JOYO" MK-II PFB0320 (A101Pin)

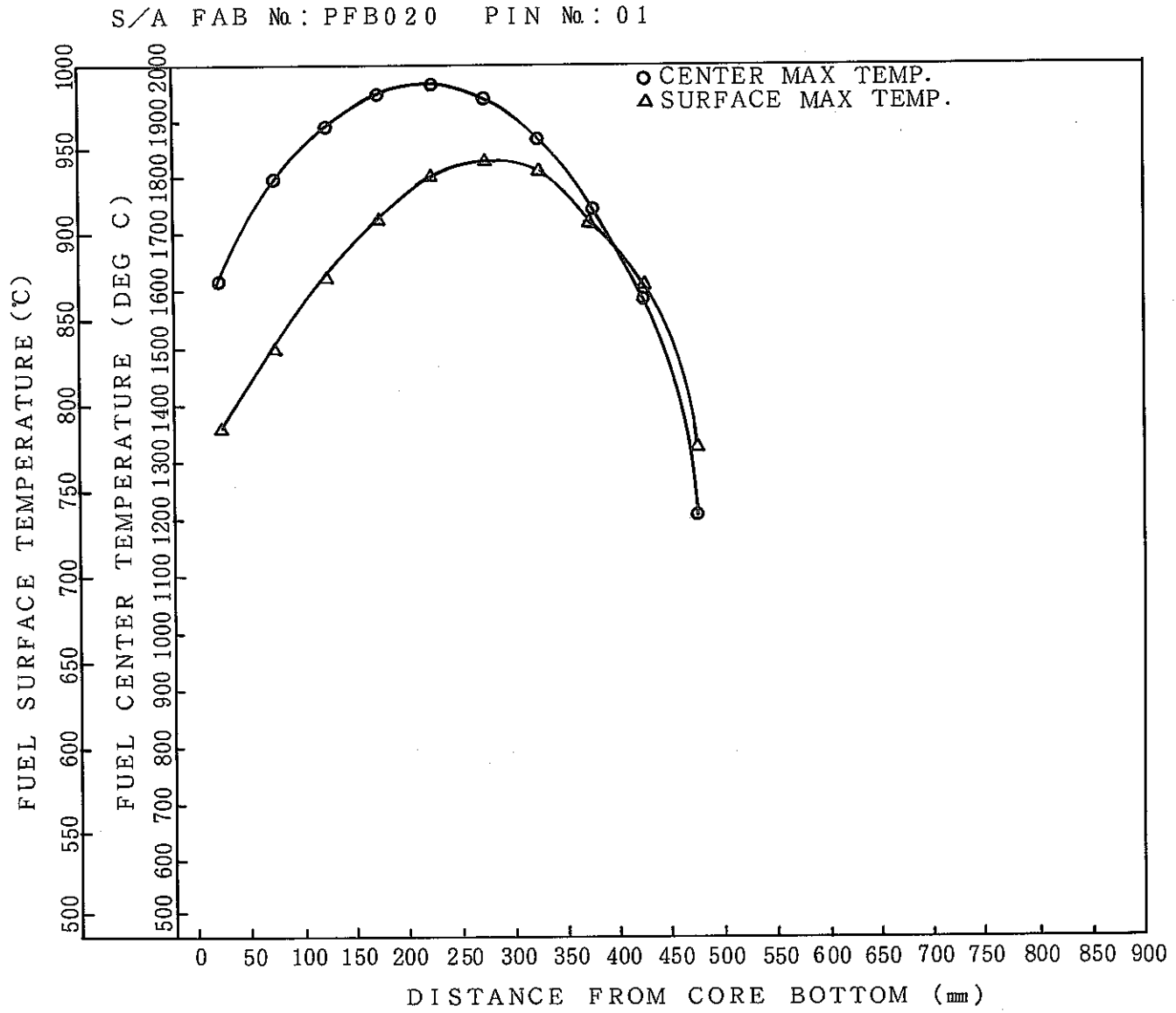


Fig. 5 Fuel temperature distribution of "JOYO" MK-II PFB020 (A101Pin)

S/A FAB No.: PFB020 PIN No.: 01 MAX EOL

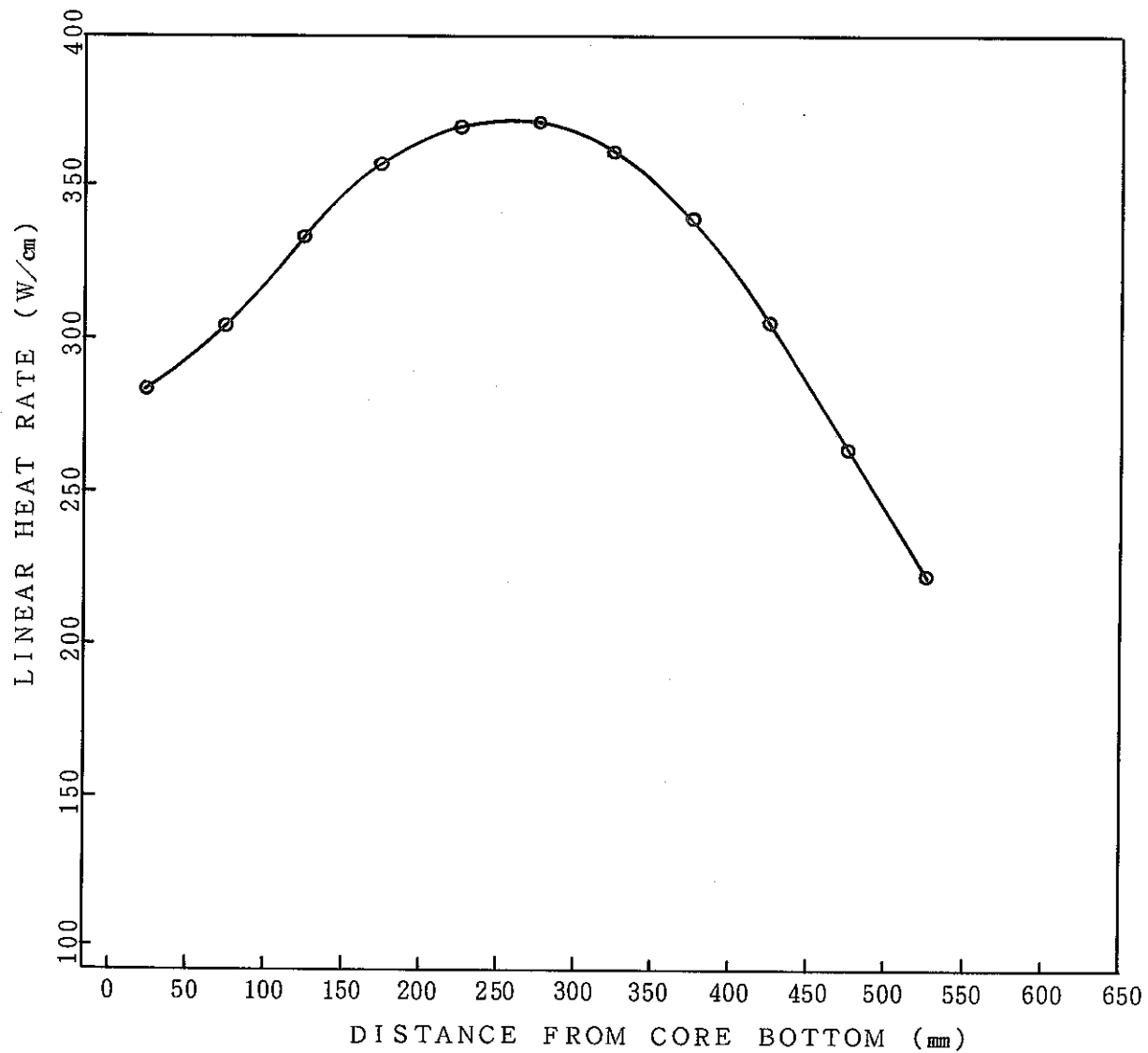


Fig.6 Linear heat rate distription of "JOYO" MK-II PFB020 (A101Pin)

S/A FAB No: PFB020 PIN No: 01

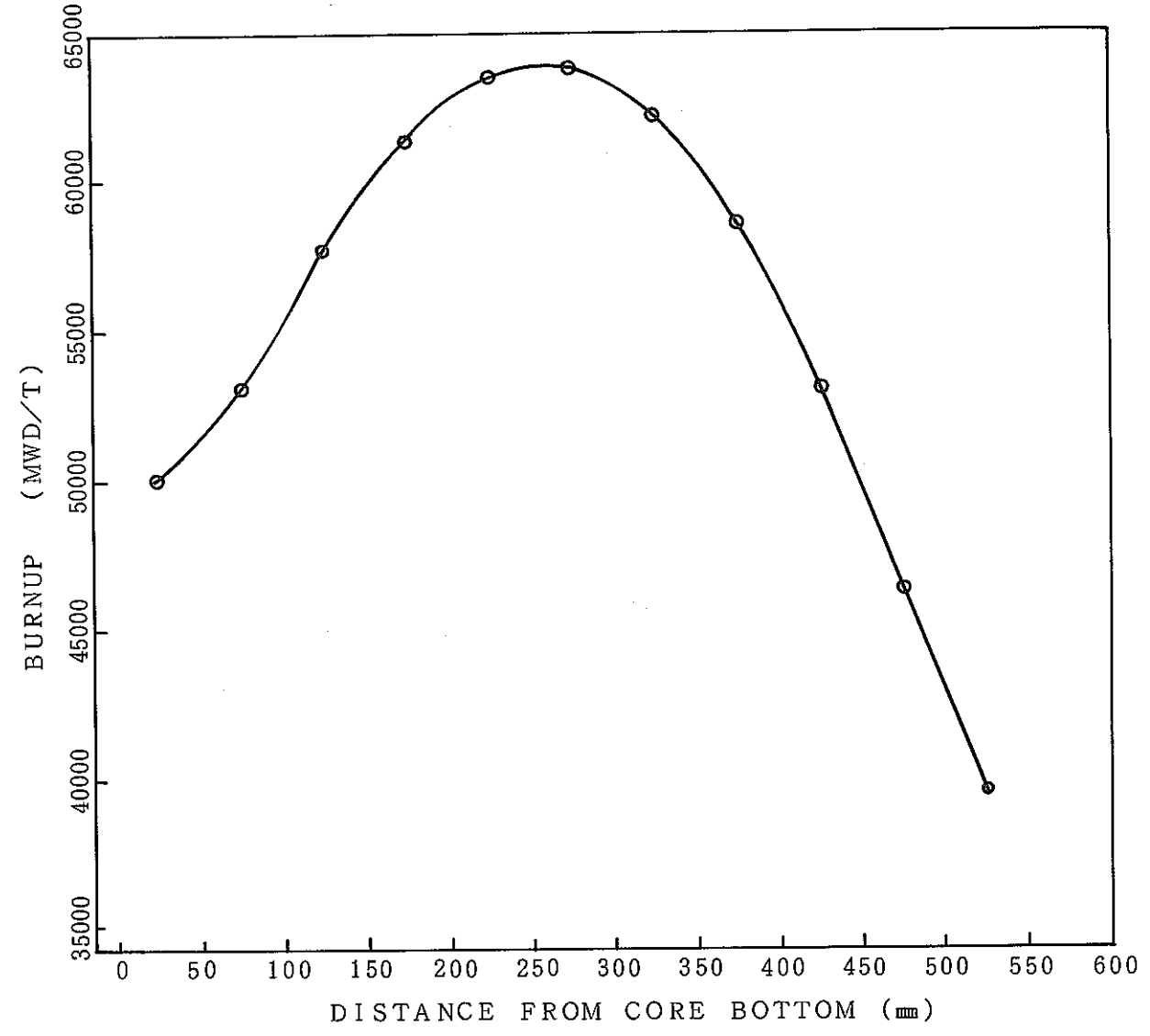


Fig.7 Burnup distribution of "JOYO" MK-II PFB020 (A101Pin)

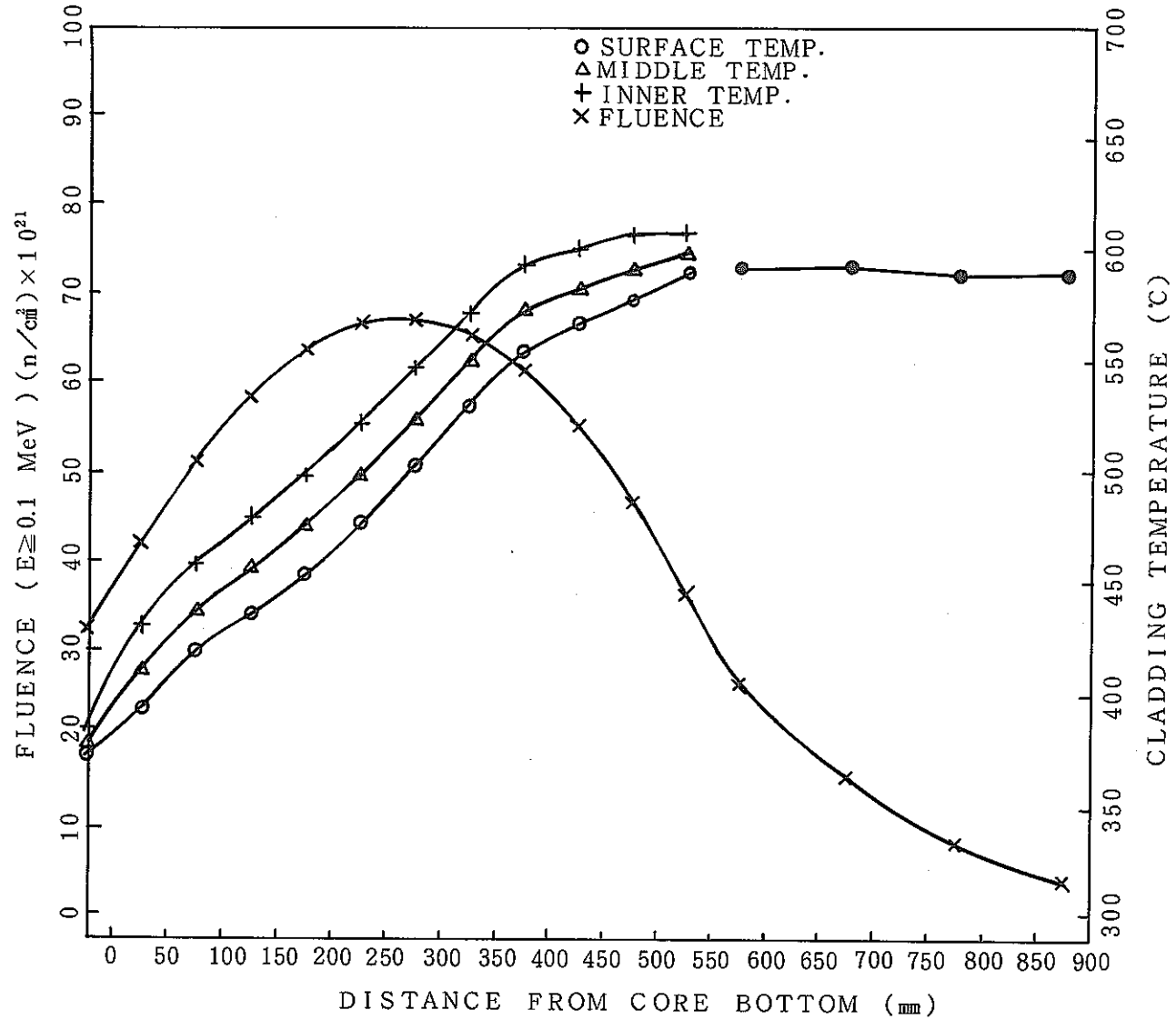


Fig. 8 Fluence and cladding temperature distribution of "JOYO" MK-II PFB020 (A102 Pin)

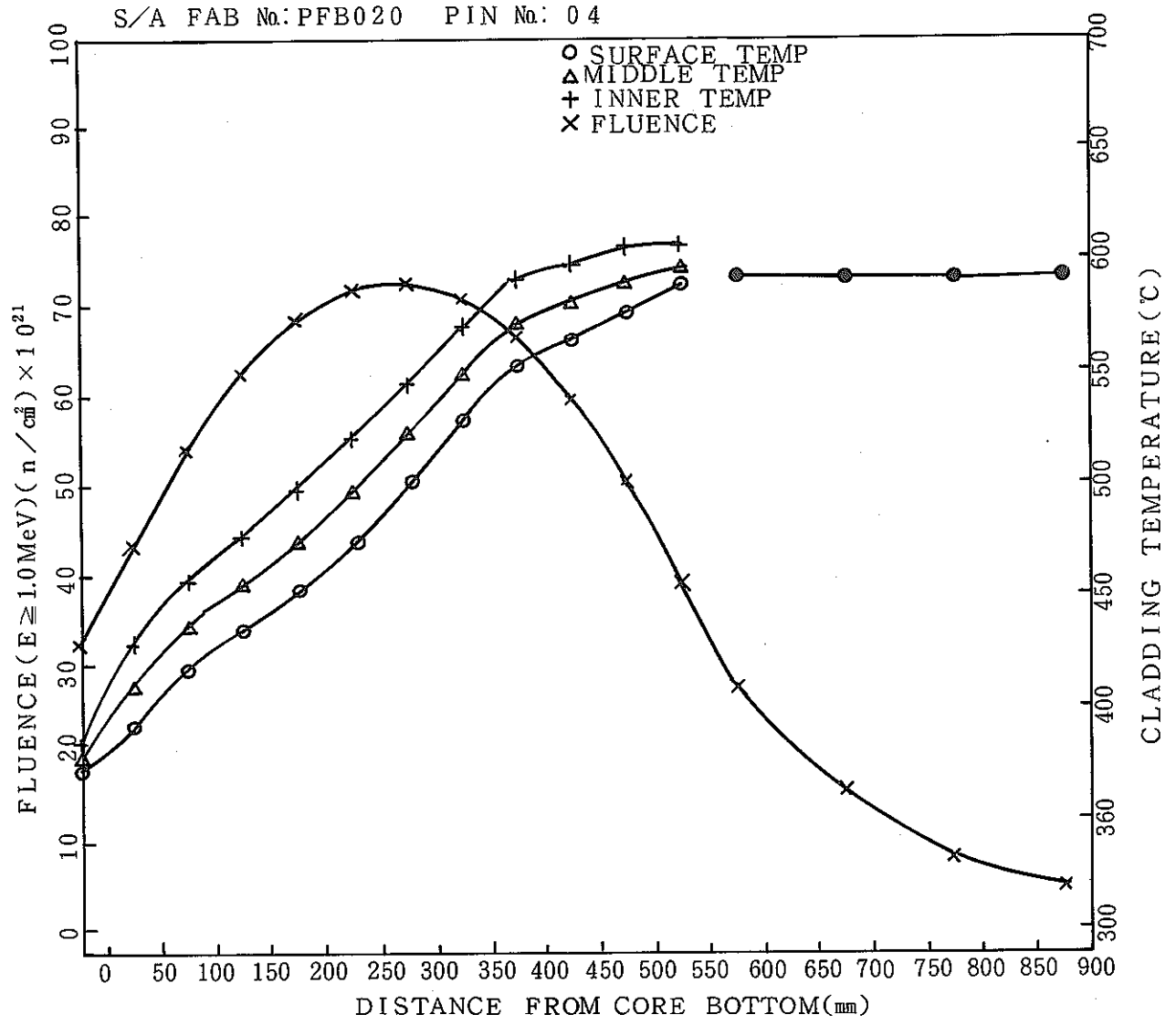


Fig.9 Fluence and cladding temperature distribution of "JOYO" MK-II PFB020 (A104Pin)

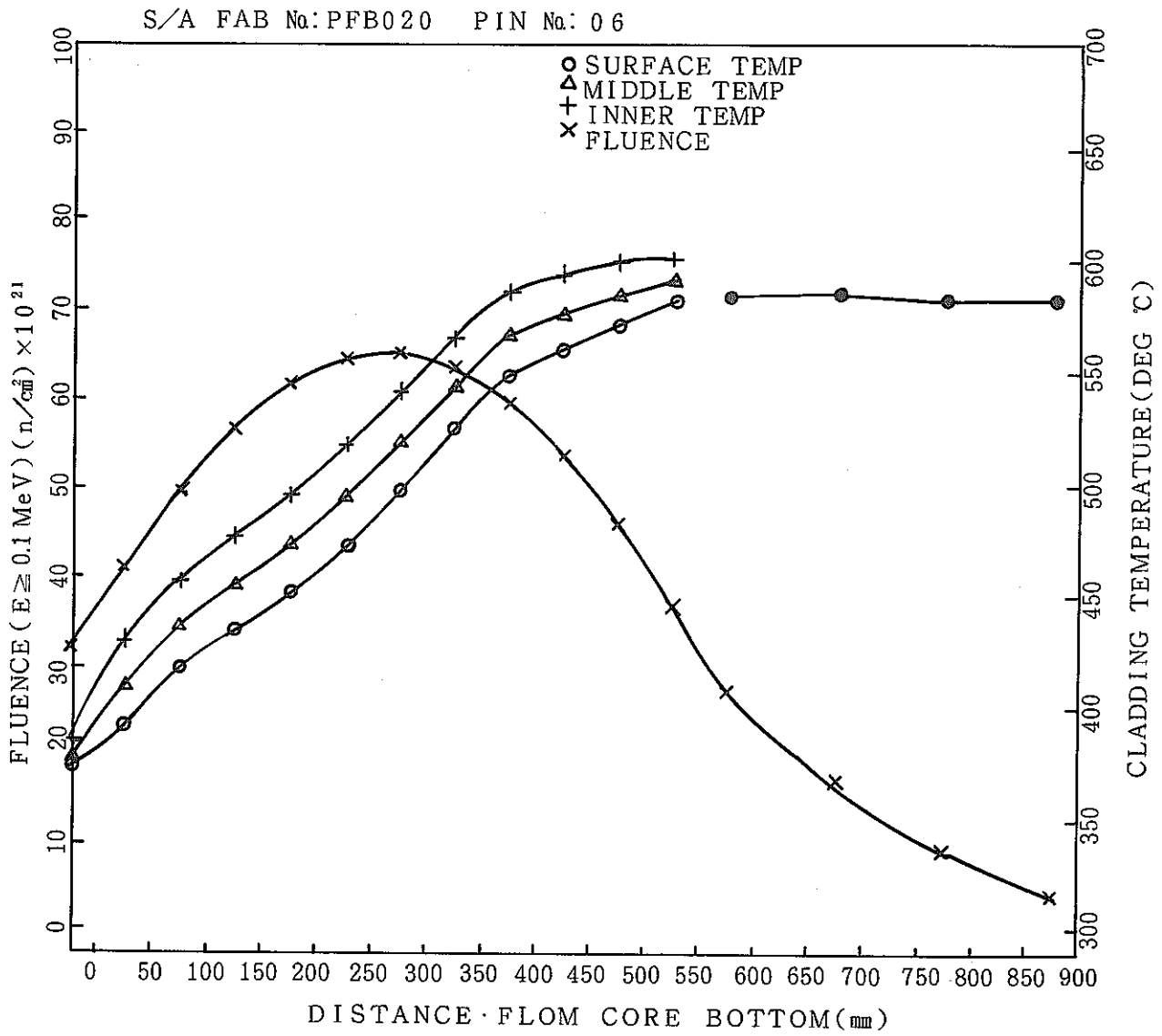


Fig.10 Fluence and cladding temperature distribution of "JOYO" MK-II PFB020 (A106Pin)



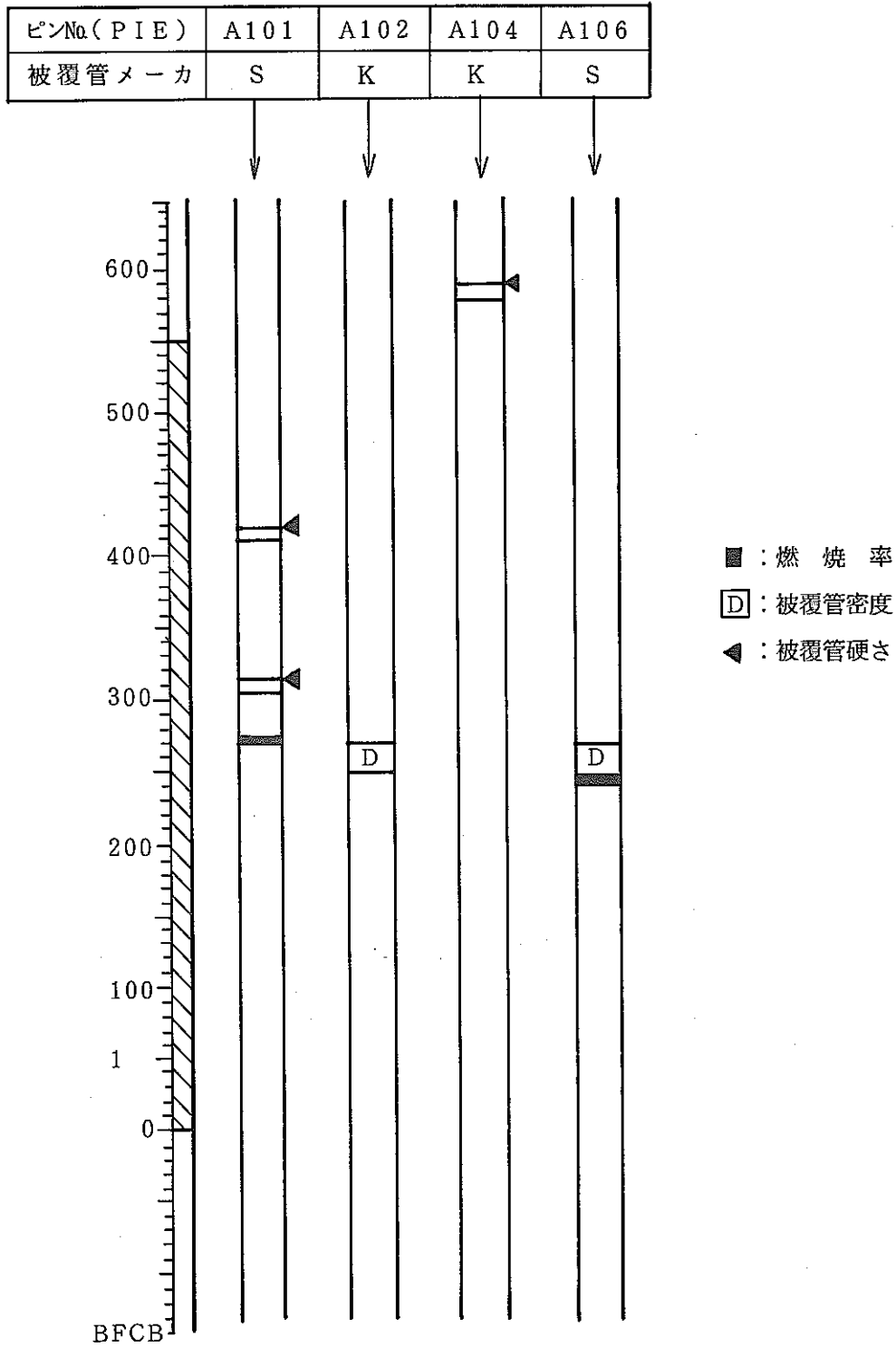


Fig 11 Sampling of specimens (PFB020)

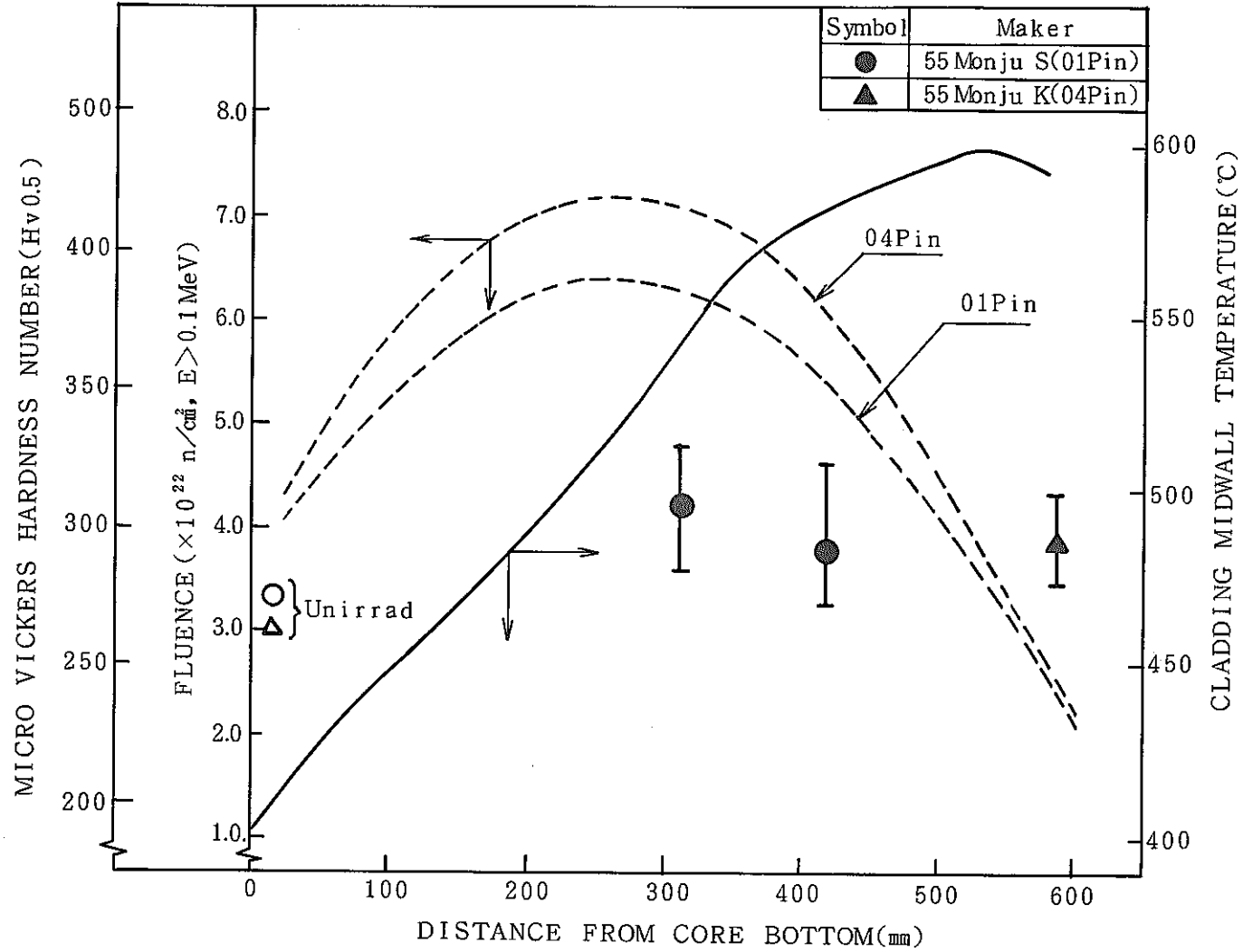


Fig .12 Relation between hardness cladding temperature and fluence at various position for "JOYO" MK-II PFB020

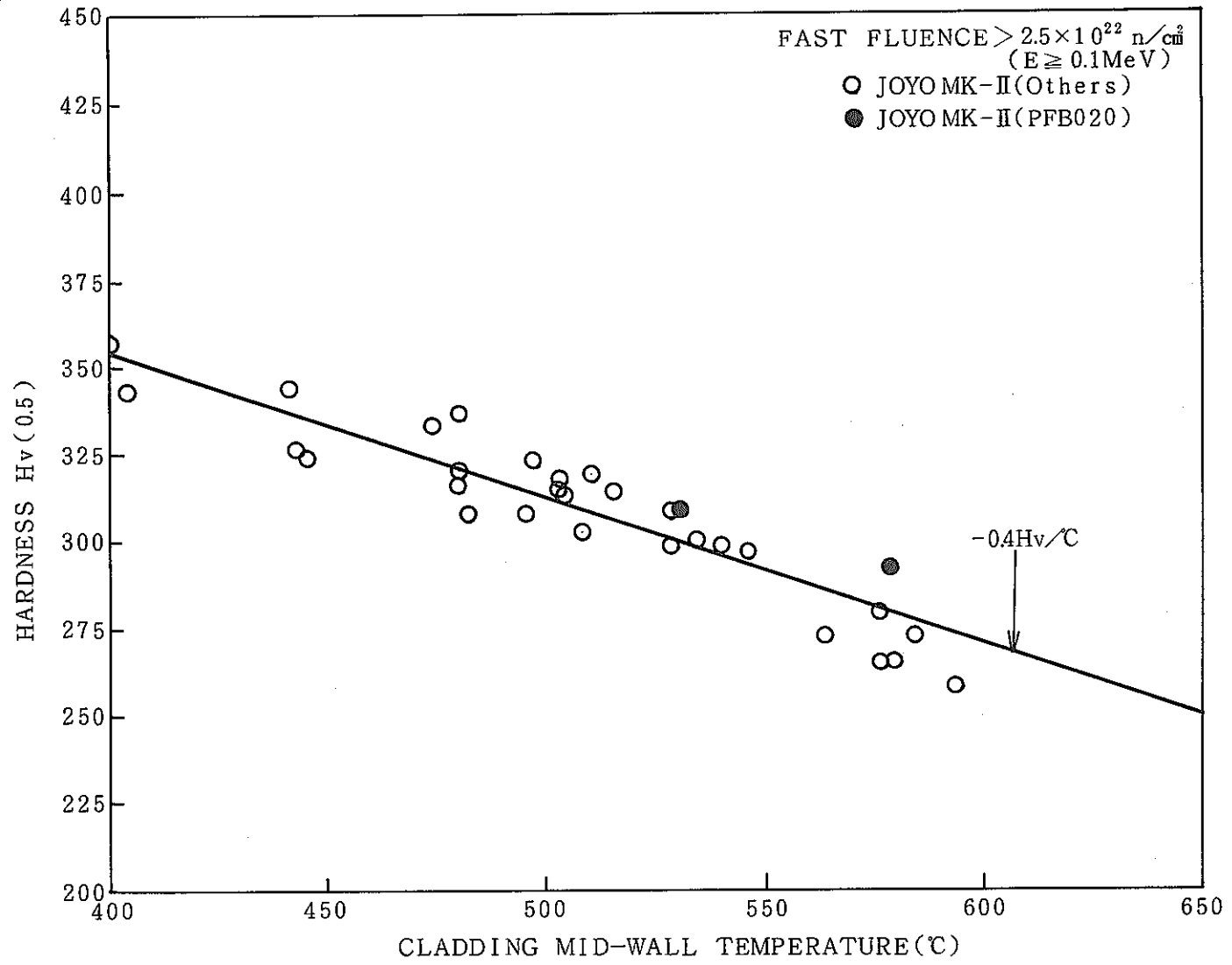


Fig. 13 Effect of irradiation temperature on hardness of "JOYO" MK-II claddings

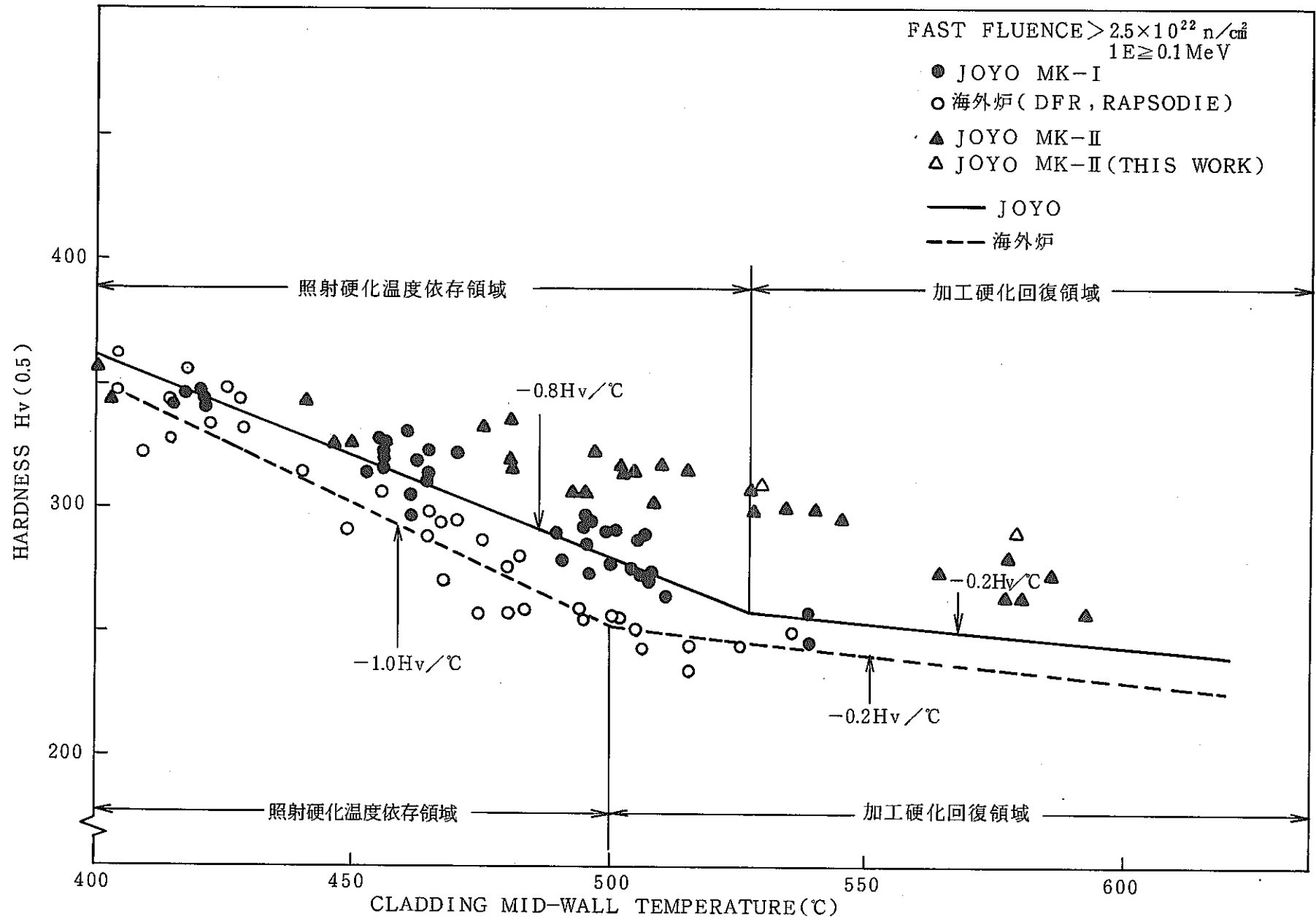


Fig.14 Temperature dependence of hardness

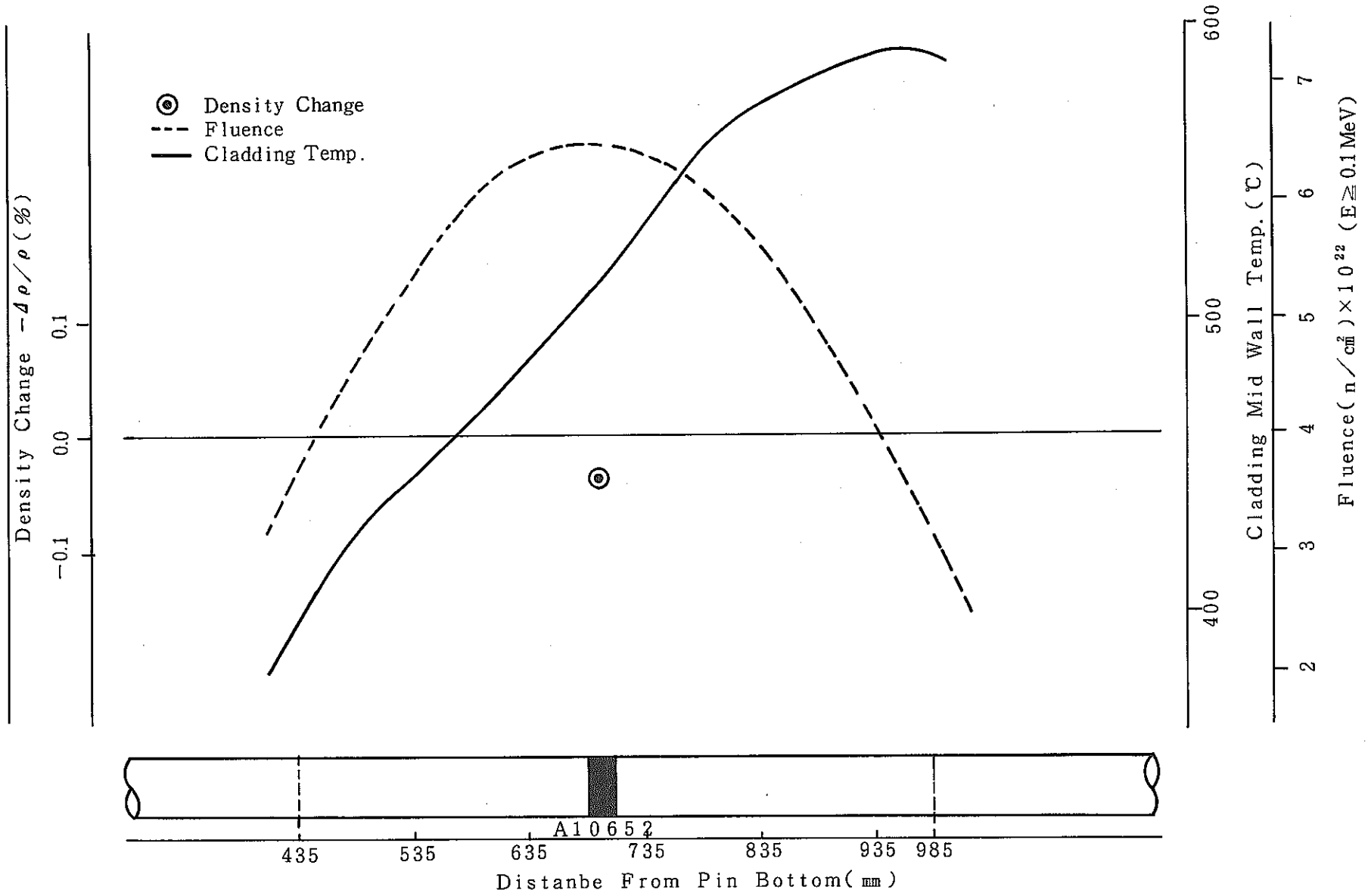


Fig.15 Cladding density change of "JOYO" MK-II PFB020(A106Pin)

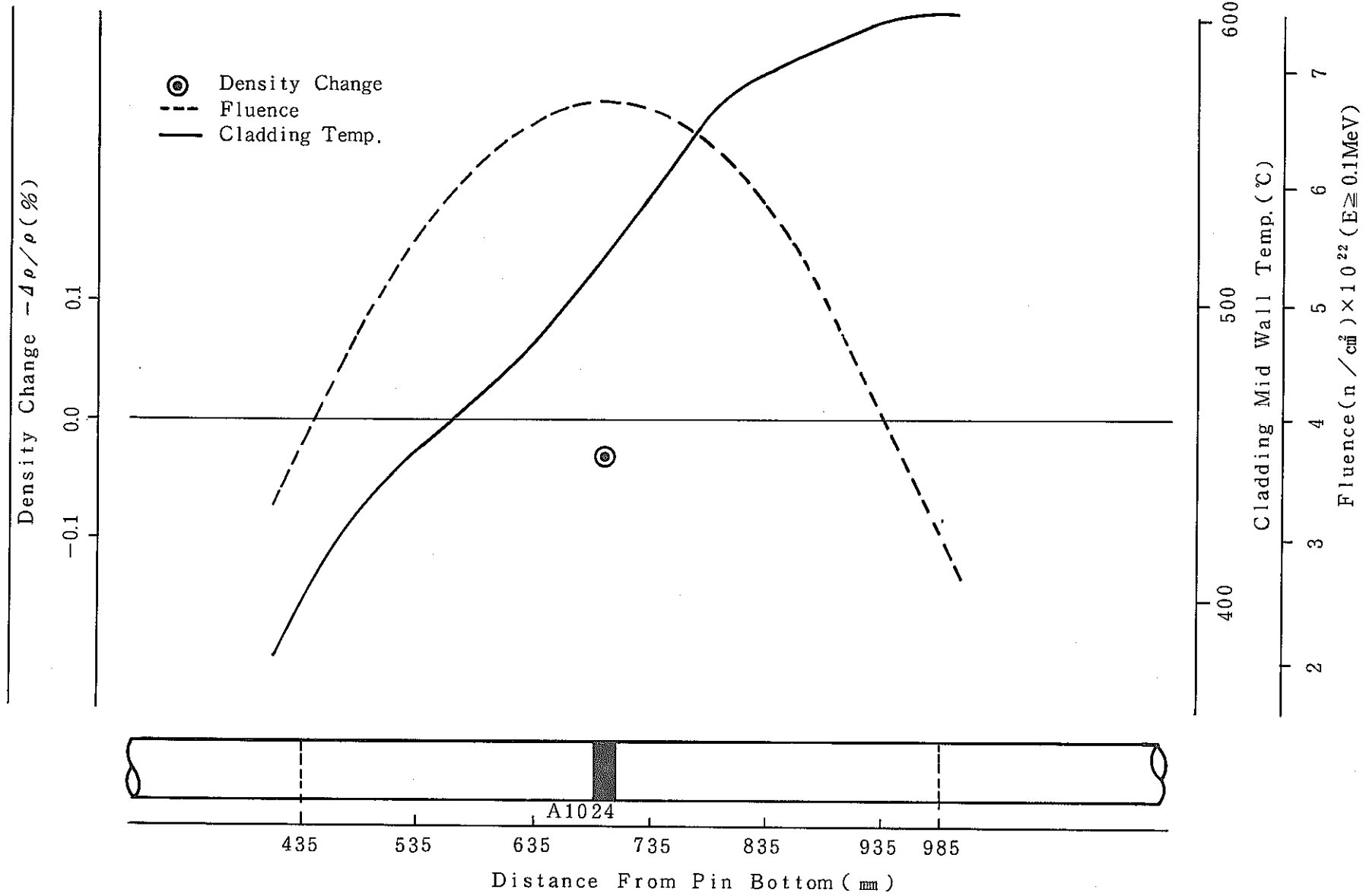
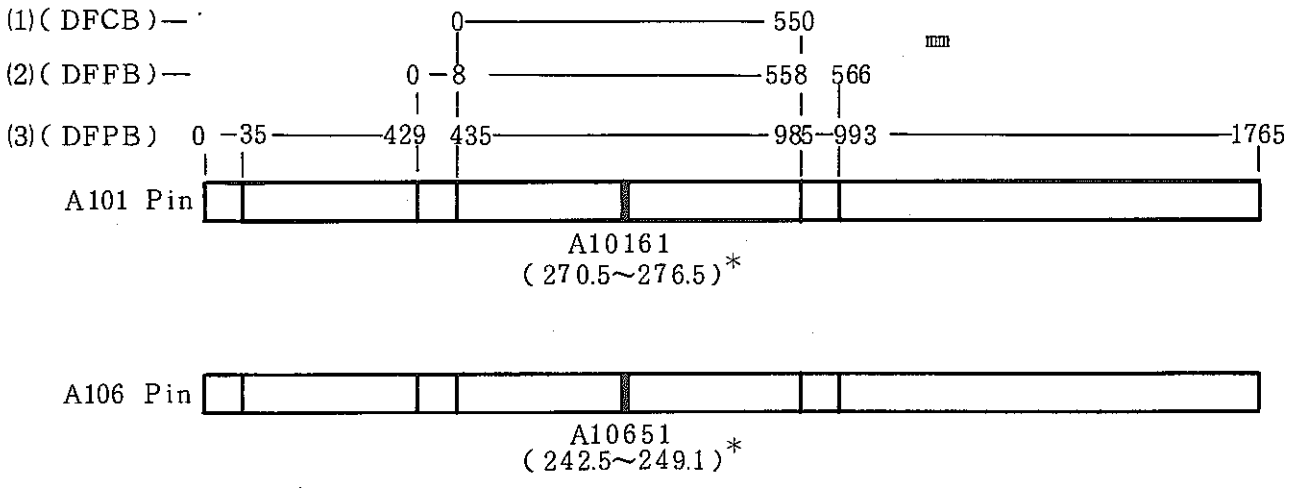
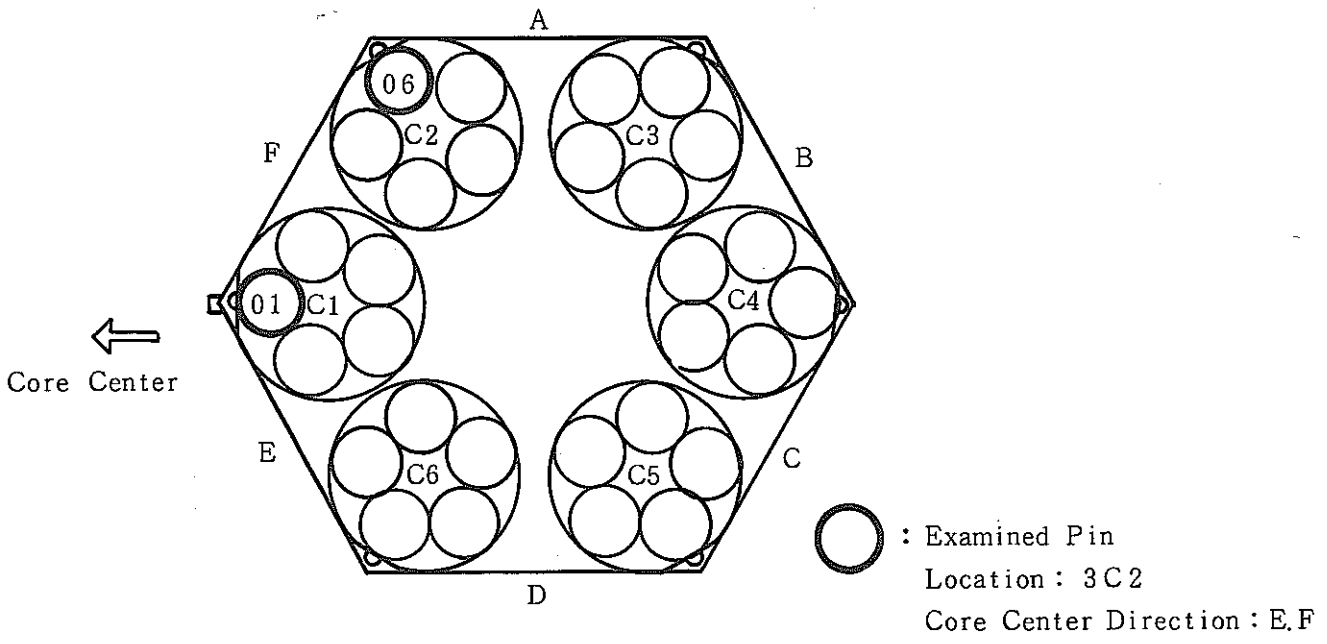


Fig.16 Cladding density change of "JOYO" MK-II PFB020(A106 Pin)



- \* DFCB
- (1) Distance from core fuel bottom
- (2) Distance from fuel bottom
- (3) Distance from pin bottom

Fig.17 Cutting diagram of PFB020 fuel pins for burnup measurement

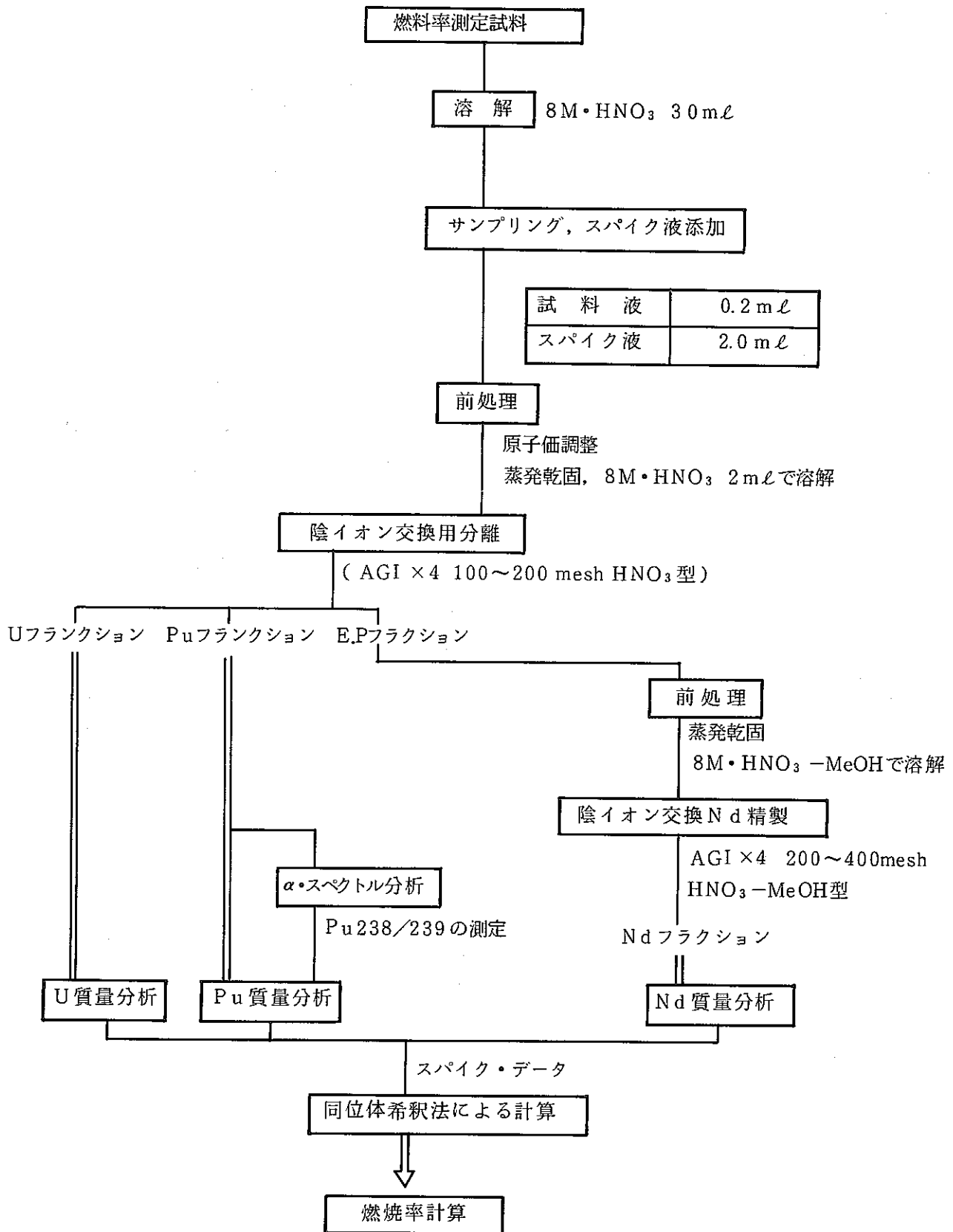


Fig.18 Specimen preparation process for burnup measurement in AGF