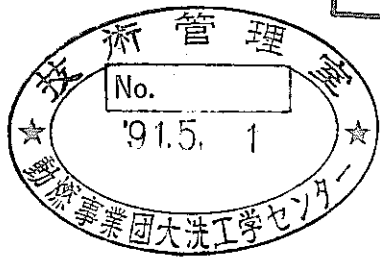


「常陽」MK-II A型特殊燃料集合体 (PFA010) の照射後試験

— 燃料要素の破壊試験 —

1990年12月

区分変更	
変更後資料番号	PNC TN9410 90-193
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 A型特殊燃料集合体(PFA010)の照射後試験



— 燃料要素の破壊試験 —

吉川 勝 則 * 桑 島 幸 夫 * 薄 井 啓 二 *
広 沢 孝 志 * 小 沢 隆 之 * 横 内 洋 二 *

要 旨

「常陽」MK-II A型特殊燃料集合体PFA010(100MW第5サイクル~100MW 第8サイクル、集合体平均燃焼度約38,100MWd/t)は、「もんじゅ」仕様燃料要素の高線出力挙動の把握、FCCI低減を目的として照射したTiコーティングピンの燃料挙動の把握及びCPトラップ材の炉内環境下における特性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、4本の燃料ピンを対象に被覆管硬さ、燃焼率、X線回折、融点測定試験を実施した。主な結果を以下にまとめて示す。

- 1) 被覆管硬さは、照射前に比べ燃料カラム下端側で硬化しており、上端側で同程度の硬さであった。
- 2) 中心ピンの燃料カラム中心位置での燃焼率は、4.63 atom%(42,100MWd/t)であった。
- 3) X線回折測定によるO/M比は、通常ピン-1.995、1.996Tiコーティングピン-1.986であった。通常ピンとTiコーティングピンのO/M比の違いから、TiコーティングピンのTiの酸素ゲッタ作用が僅にあると思われる。
- 4) CPトラップ材のX線定性分析からNiメッキ表面はNiとMnの固溶体を形成していると考えられるが、これらの物質の同定までには致らなかった。
- 5) 燃料融点は、Tiコーティングピン2703℃、通常ピン2659℃及び2700℃であった。

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 試験方法	4
4.1.2 測定結果	4
4.2 燃焼率測定試験	4
4.2.1 試料調製方法	4
4.2.2 測定結果	4
4.3 X線回折測定試験	5
4.3.1 試験方法	5
4.3.2 測定結果	5
4.4 融点測定試験	6
4.4.1 試料調製方法	6
4.4.2 測定結果	6
5. まとめ	7
6. 引用文献	8

List of Table

Table 1	Fuel pin fabrication parameter	9
Table 2	Detailed microhardness measurement condition and indentation postion	10
Table 3	Summary of cladding microhardness measurement of JoYo MK-II PFA010	11
Table 4	Cladding microhardness of JoYo MK-II PFA010	12
Table 5	Summary of burnup measurement by Nd-method for PFA010	13
Table 6	Calculation of effective fission yield for Al0161	14
Table 7	Result of Isotope analysis and burnup calculation for PFA010 98B463 Sample	15
Table 8	Result of Lattice prameter measurement by X-ray diffractometer	16
Table 9	Results of O/M ratio measurement by X-ray diffractometer	16
Table 10	Summary of melting point measurement by Thermal arrest method	17

List of Figures

Fig.1	Schematic drawing fuel pin	18
Fig.2	Irradiation postion in PFA010 subassembly in JoYo MK-II core	19
Fig.3	Fuel pin postion in PFA010 subassembly	20
Fig.4	Fluence and cladding temperature distribution of JoYo MK-II PFA010(98B4pin)	21
Fig.5	Fuel temperature distribution of JoYo MK-II PFA010 (98B4pin)	22
Fig.6	Linear heat rate distribution of JoYo MK-II PFA010 (98B4pin)	23
Fig.7	Burnup distribution of JoYo MK-II PFA010(98B4pin)	24
Fig.8	Fluence and cladding temperature distribution of JoYo MK-II PFA010(98B2pin)	25
Fig.9	Fluence and cladding temperature distribution of JoYo MK-II PFA010(98B3pin)	26
Fig.10	Fluence and cladding temperature distribution of JoYo MK-II PFA010(98B6pin)	27
Fig.11	Sampling of specimens (PFA010)	28
Fig.12	Relation between hardness, cladding temperature and fluence at various postion for JoYo MK-II PFA010 (98B4pin)	29
Fig.13	Specimen preparation process for burnup measurement in AGF	30
Fig.14	X-ray diffraction patterns of PFA010	31
Fig.15	Melting temperature of irradiated mixed oxide fuel with burnup	32
Fig.16	Heating curve of irradiated oxide fuel (PFA010 98B642P sample)	33
Fig.17	Heating curve of irradiated oxide fuel (PFA010 98B642P sample)	34
Fig.18	Heating curve of irradiated oxide fuel (PFA010 98B642P sample)	35

1. ま え が き

「常陽」MK-II A特殊燃料集合体PFA010は、炉心方向をEF面にして、炉内位置2E2で100MW第5サイクルから100MW第8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38,100MWd/t、線出力(集合体平均)は352w/cmである。

照射後試験の目的は、「もんじゅ」仕様燃料の高線出力挙動の把握、FCCI低減のためのTiコーティングの燃料挙動の把握及び放射性腐食生成物(CP)のトラップ材としてダクト表面にNiメッキをしたCPトラップ材の炉内環境下における特性の把握である。照射燃料試験室(AGS)で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) 98B2ピン：通常ピン (S10533)
- (2) 98B3ピン：Tiコーティングピン(S10579)
- (3) 98B4ピン：中心ピン (S10497)
- (4) 98B6ピン：通常ピン (S10543)

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)燃焼率測定(c)物性試験(X線測定及び融点測定)を実施した。

2. 燃 料 ピ ン

PFA010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Table 1に示し、その形状寸法をFig.1に示す。次にCPトラップ材としてダクト表面にNiメッキをした外観図をFig.11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38,100 MWd/t
- ② 照射サイクル: 100 MW第5サイクル~100 MW第8サイクル
- ③ 集合体ピークフルエンス($E \geq 0.1 \text{ Mev}$): $4.65 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$
- ④ 線出力(集合体平均): 352 w/cm
- ⑤ 照射位置: 2E2 (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において実施した各試験の項目と試料採取位置をFig.11に示す。

4.1 被覆管硬さ測定試験

4.1.1 試験方法

測定は、遠隔操作型微小硬さ計（マイクロ・ビッカース法）により実施した。測定条件及び測定位置をTable 2に示す。

4.1.2 測定結果

各試料の測定結果をTable 3及び4に示す。また、軸方向硬さ分布と照射量及び照射温度との関係をFig.12に示す。

軸方向硬さ分布は、燃料カラム下端側で照射前より硬さ値が100 (Hv(0.5)) 高い値を示し、燃料カラム上端側では照射前とほぼ同程度の硬さを示している。これらのことを燃料カラム位置から見ると下端側の照射硬化及び上端側に近づくにつれて照射温度が高くなり冷間加工組織の回復によるものと考えられる。

周方向の硬さについては、Table4に示すように同一試料面での硬さ変化は少なく、ほぼ同一の硬さを示している。また、被覆管の内側と外側の硬さの差異は認められなかった。

4.2 燃焼率測定試験

^{148}Nd を指標各種とした同位体希釈分析法により燃焼率を求めた。

4.2.1 試料調製方法

試料の調製方法及び手順をFig.13に示す。

4.2.2 測定結果

今回得られた測定データとESPRIT-J codeによる計算値をまとめた結果をTable5に示す。燃焼率計算で使用した ^{148}Nd , ^{146}Nd , ^{145}Nd の実効核分裂収率の計算をTable6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の原数、更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Table7に示す。以上の結果から以下のことを確認した。

PFA010特殊燃料集合体の中心ピン(98B4ピン)の燃料軸方向中心位置(試料No.98B463)での燃焼率は、4.63 atom%(42,100MWd/t)であった。また、実測値とESPRIT-J code計算値を比較すると良い一致を示している。

次に、実測値と照射日数(EFPD:182.9)から燃焼率測定点での平均線出力を算出すると、437 w/cmになる。計算値によると同一位置での最高とEOLでのLHRは、452 w/cm

及び410 w/cmである。

4.3 X線回折測定試験

本試験では、1) Niメッキ部-放射性腐食生成物の同定、2) 融点測定用試料のO/M比測定を目的に定性分析及び格子定数測定を実施した。

4.3.1 試験方法

1) Niメッキ部定性分析

定性分析の試料は、X線用マウントに接着剤にて、マウントベース面と測定面が平行になるように固定し、試料を作製した。

X線回折法による定性分析は、測定で得られた回折パターンをJCPDSカードの既知パターンと比較することにより行った。

2) 格子定数測定

格子定数測定用試料は、精密切断機において切断後、格子定数測定用マウントに測定面が平行になるように固定し試料を作製した。

MOX燃料の格子定数測定からO/M比を求める場合、燃料中の α 崩壊に起因する自己照射効果(Self-irradiation)により、格子定数が増大する。この自己照射効果の補正は α スペクトル測定法により補正を行い、補正後の格子定数からKley Kamp等の実験式よりO/M比を求めた。

4.3.2 測定結果

1) Niメッキ部定性分析

測定で得られた回折パターンとリファレンス材及びSUS部母材の回折パターンをまとめて、Fig.14に示す。また、格子定数測定結果をTable8に示す。

定性分析から、Ni以外の物質の同定はできなかった。しかし、Fig.14のリファレンス材と照射材の測定結果を比較すると、照射材の回折パターンが低角側へ多少シフトしている。これは、Ni中にC P元素が固溶したためNi表面の格子が膨張したためと考えられる。このことは、リファレンス材の格子定数が3.529Åに対して照射材の格子定数が3.551Åであることから読み取れる。また、Niメッキ面以外のSUS母材の定性分析から、母材はオーステナイト相以外にNi、Mnの溶出によると思われるフェライト相が同定されている。以上のことを合せて考えると、Niメッキ表面は、NiとMnの固溶体を形成していると考えられる。

2) 格子定数の測定及びO/M比

各試料の格子定数測定結果及び格子定数からO/M比を求めた結果をTable9に示す。

以上の結果から、通常ピン(98B2, 98B6ピン)のO/M比は、製造時1.98に比べ大きくなっているのに対してTiコーティングピン(98B3ピン)は、製造時に比べ増加して

るものの通常ピンと比べると増加割合は少なく通常ピンはともに2.00に対してTiコーティングピン1.99となっている。O/M比増加は、通常ピン0.02、Tiコーティングピン0.01である。このTiコーティングピンに見られO/M比変化量の違いは、Tiの酸素ゲッタ作用によりO/M比の差が現れたと考えられる。

4.4 融点測定試験

融点は、タングステンキャプセル封入方式によるサーマルアレスト法により測定した。

4.4.1 試料調製方法

燃料ピンから脱ミートした燃料を粉碎し、約10gの燃料をキャプセル内へ充填した。その後、キャプセルを真空中において電子ビームにより溶接し密封キャプセルを作製し測定に供した。

4.4.2 測定結果

今回得られた測定データの結果をTable10に示す。また燃焼度をパラメータにしたデータを今までに測定した結果^{2),3)}と合わせてFig.15に示す。各試料の測定で得られた熱分析曲線をFig.16~Fig.18に示す。

以上のことから以下のことがわかった。

Tiコーティングピン(98B3ピン)と通常ピン(98B2, 98B6ピン)の融点は、2703℃(コーティングピン)と2700℃, 2659℃であった。

次に、融点の燃焼度依存性については、Fig.16に示すようにTiコーティングピン(98B3ピン)と通常ピン(98B2ピン)は今までのPu富化度30%のデータの融点低下予想ラインによく合っている。しかし、通常ピン(98B6ピン)は、同じ通常ピン(98B2ピン)やTiコーティングピン(98B3ピン)に比べ約40℃低い結果である。これら3点の試料は、ほぼ同一燃焼度(約41,000MWd/t)であり、1点のみ融点が低下することは、同仕様の燃料を同一時期に照射した通常照射では考えにくいことである。この1点については、原因を調査したがはっきりした理由は不明である。いずれにせよ今後、Pu富化度30%のFP蓄積による多元系融点の系統的なサンプリングから燃焼度依存性を評価したい。

O/M比依存性について、格子定数測定による試料のO/M比は1.99~2.00の結果が得られている。O/M比をパラメータとした融点は、 $MO_{2.00}$ から MO_{2-x} 側になるに従い融点が低くなることがAitken等⁴⁾により報告されている。今回の融点測定結果をO/M比で整理して見ると、1.99 - 2703℃ 2.00 - 2659℃, 2700℃であり、O/M比が1.99と2.00のデータは、融点が約2700℃とほぼ一致していることからO/M比依存性と言えるデータは取得できなかった。照射済燃料からこの依存性を評価するには、燃焼度依存性と重畳することを考慮して評価する手法を検討する必要がある。

5. ま と め

「常陽」MK-II A型特殊燃料集合体PFA010（集合体平均燃焼度38,100MWd/t）の4本の燃料ピンについて照射後試験を実施した。以下に本試験から得られた結果を述べる。

1) 被覆管硬さ測定試験

照射前に比べ、燃料カラム下端側で硬さ値が100(Hv0.5)増加を示し燃料カラム上端側では照射前とほぼ同程度であった。照射温度での硬さ変化は、温度420℃で約38%、570℃で約7%、620℃で約2%硬化しており、温度が高温側になるに従い照射硬化は鈍化している。

2) 燃焼率測定試験

中心ピン(98B4ピン)の軸方向中心位置での燃焼率は、4.63 atom% (42,100MWd/t)であり計算値とよい一致を示した。

3) X線回折測定試験

格子定数測定によるO/M比は、通常ピン(98B6, 98B2ピン)2.00, 2.00, Tiコーティングピン(98B3ピン)1.99であった。また、製造時のO/M比(1.98)と比べるとTiコーティングピンは、通常ピンよりもO/M比が低い値となっているが、この差の要因はTiの酸素ゲッタ作用によるものと考えられる。

CPTラップ材(Niメッキ)表面の定性分析からNi以外の物質の同定はできなかった。

4) 融点測定試験

サーマルアレスト法による融点は、Tiコーティングピン(98B3ピン)2703℃、通常ピン(98B2, 98B6ピン)2700℃、2659℃であった。

なお、通常ピン(98B2ピン)において同燃焼度の融点に約40℃のバラツキがみられたが、O/M比の差異などの検討を行ったが明確なことは見出せなかった。

6. 引用文献

- 1) 高速実験炉「常陽」炉心燃料集合体の照射後試験概要(第3報), 井滝他: SN941 84-05 (1984)
- 2) 軽水炉ウラン燃料の照射後試験に関する研究, 山内他: SN941 86-096(1986)
- 3) 高速炉燃料の物性試験(第3報), 三次他: SN9410 86-095(1986)
- 4) A Thermodynamic Data Program Involving Plutonia-and Urania at High Temperatures, E.A.Aitken et al.: GEAP-12229(1971)

Table 1 Fuel pin fabrication parameters

S/A name	PFA010	Pin No.	S10497, S10533 S10543, S10579.
Fuel			
Fuel form	Flat end solid pellet		
Pellet diameter (mm)	5.4		
Pellet density (% T.D)	85.0 ± 2.0		
Fuel composition	29 ± 1W/O PuO ₂ - UO ₂		
U-235 enrichment (%)	2.0		
Pu isotopic composition (%)	Pu 289/240/241/242 66.20/21.43/8.45/3.02		
O/M ratio	1.97 ^{+0.02} _{-0.03}		
Cladding			
Type and work	SUS316, 20% cold work		
Outer/inner diameter (mm)	6.5 / 5.56		
Lot identification	S		
Fuel pin			
Pin length (mm)	1533 ± 2		
Pin outer diameter (mm)	6.5		
Fuel column length (mm)	550 ± 5		
Plenum length (mm)	195.2 ± 1.0		
Insulator pellet length (mm)	Upper : 8 ± 1 Bottom : 8 ± 1		
Fuel/cladding dia. gap (mm)	0.16		
Pin spacing & support	Wrapping wire		

Table 2 Detailed microhardness measurement condition and indentation position

(1) Measurement condition

Method : Micro Vickers Hardness Test

Load : 500 g

Hold Time : 30 sec

(2) Indentation position

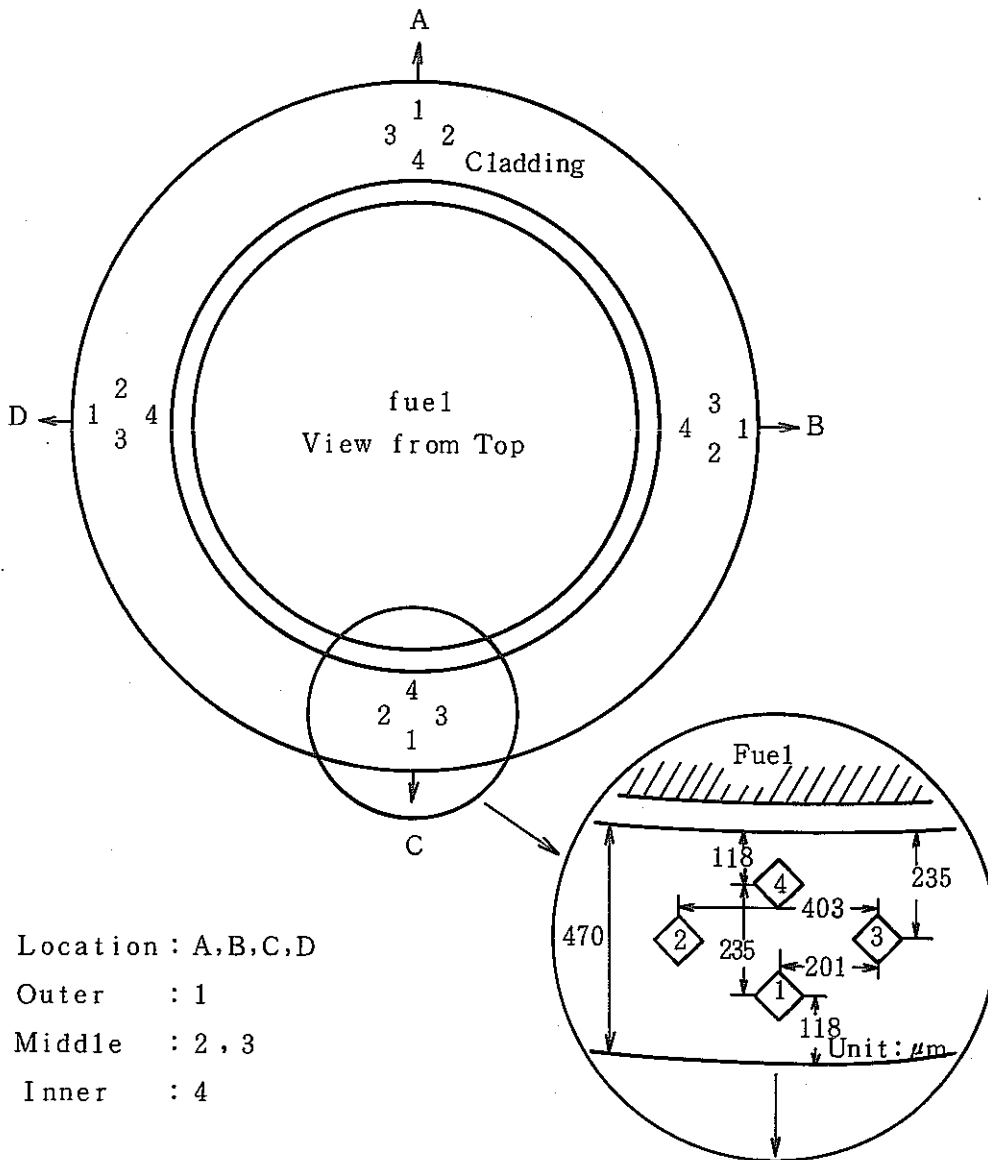


Table 3 Summary of cladding microhardness measurement
of "JOYO" MK-II PFA010

Pin No		98B4	98B4	98B4
Specimen No		98B431	98B462	98B4C
D.F.C.B. (mm) ¹⁾		22.7	274.1	545.5
Hardness (Hv 0.5)		374	291	278
ΔHv (Hv 0.5) ²⁾		102	19	6
$\Delta Hv/Hv$ (%) ³⁾		37.5	7	2.2
Irrad. ⁴⁾	Clad Midwall Temp. (°C)	423	567	624
Condition	Fluence ($\times 10^{22}$ n/cm ²)	2.72	4.73	2.18
Cladding Lot No		S	S	S
Cold Work (%)		20	20	20
Unirrad. Hardness		272	272	272

1) Distance from core bottom

2) $\Delta Hv = \text{Hardness} - \text{Unirrad. Hardness}$

3) $Hv = \text{Unirrad. Hardness}$

4) Fluence : $E \geq 0.1 \text{ MeV}$

Table 4 Cladding microhardness of "JOYO" MK-II PFA010

S/A NAME	PFA010		PINNo.	98B4	
Specimen No.	98B431				
D. F. P. B.	108.7 (mm)		D. F. C. B.	22.7 (mm)	
LOCATION	OUTER	MIDDLE		INNER	AVERAGE
	1	2	3	4	
A	394	378	378	371	380
B	386	359	364	374	371
C	374	378	359	378	372
D	378	367	371	371	372
RING AVERAGE	383	371	368	373	374

S/A NAME	PFA010		PINNo.	98B4	
Specimen No.	98B462				
D. F. P. B.	360.1 (mm)		D. F. C. B.	274.1 (mm)	
LOCATION	OUTER	MIDDLE		INNER	AVERAGE
	1	2	3	4	
A	293	280	278	280	283
B	293	291	291	273	287
C	303	301	296	278	295
D	312	285	307	293	299
RING AVERAGE	300	289	293	281	291

S/A NAME	PFA010		PINNo.	98B4	
Specimen No.	98B4C				
D. F. P. B.	559.5 (mm)		D. F. C. B.	545.5 (mm)	
LOCATION	OUTER	MIDDLE		INNER	AVERAGE
	1	2	3	4	
A	287	280	271	282	280
B	291	278	266	278	278
C	280	276	268	280	276
D	285	266	271	287	277
RING AVERAGE	286	275	269	282	278

Table 5 Summary of burnup measurement by Nd-method for PFA010

Sample No	Distance from core fuel bottom ¹⁾	Pu content ²⁾ (atom%)	Burn up			
			MWd/t		atom%	
			Calculated ³⁾	Measured ⁴⁾	Calculated ⁵⁾	Measured ⁶⁾
98B463	274.4~279.5	27.817	41,500	42,100	4.65	4.63

1) Distance from pin bottom-86 (mm)

2) $\text{Pu}/(\text{Pu}+\text{U})\times 100$

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、 γ 発熱量(62-JY支-34)から各試料毎に算出した。

6) Measured by ^{148}Nd monitor method

Table 6 Calculation of effective fission yield for
98B463 sample

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	- ¹⁾	1.14 ²⁾	-	3.20 ²⁾	-	4.10 ²⁾	-
U 234	0.000018	- ¹⁾	1.44 ²⁾	-	3.08 ²⁾	-	4.00 ²⁾	-
U 235	0.143262	1.67E+00 ¹⁾	1.68 ³⁾	0.585	2.94 ³⁾	1.040	3.78 ⁴⁾	1.331
U 236	0.005114	1.60E-01 ¹⁾	1.81 ²⁾	0.002	3.06 ²⁾	0.004	3.77 ²⁾	0.005
U 238	0.572534	7.27E-02 ¹⁾	2.08 ³⁾	0.128	3.40 ³⁾	0.209	3.50 ²⁾	0.215
Pu238	0.002539	- ¹⁾	1.76 ²⁾	-	2.79 ²⁾	-	3.24 ²⁾	-
Pu239	0.182638	1.73E+00 ¹⁾	1.65 ³⁾	0.769	2.46 ³⁾	1.147	3.01 ³⁾	1.403
Pu240	0.064636	5.20E-01 ¹⁾	1.84 ²⁾	0.091	2.83 ²⁾	0.140	3.34 ²⁾	0.166
Pu241	0.019341	2.17E+00 ¹⁾	1.94 ²⁾	0.120	3.01 ²⁾	0.106	3.52 ²⁾	0.218
Pu242	0.009017	4.25E-01 ¹⁾	2.04 ²⁾	0.012	3.10 ²⁾	0.010	3.70 ²⁾	0.021
Effective Fission Yield [%]			1.72		2.74		3.36	

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)AERE-R-8753

Table 7 Result of isotope analysis and burnup
calculation for PFA010 98B463 sample

S/A NO.(FAB) ; PFA010	PIN NO.(PIE) ; 98B4
SAMPLE NO. ; 98B463	SAMPLE POSITION ; 274.4*279.5 (mm)*

VOLUME RATIO OF SPIKE SOLUTION TO SAMPLE SOLUTION ; 10.000

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

[U233/238]	[U234/238]	[U235/238]	[U236/238]			
nd	0.001429	0.250181	0.008931	-(a)		
0.652339	0.008908	0.249319	0.008894	-(b)		
[Pu238/239]	[Pu240/239]	[Pu241/239]	[Pu242/239]			
0.013900	0.353900	0.105899	0.049370	-(a)		
0.013900	0.358823	0.106131	0.421429	-(b)		
[Nd142/150]	[Nd143/150]	[Nd144/150]	[Nd145/150]	[Nd146/150]	[Nd148/150]	
0.013480	5.242663	3.587543	3.600268	2.960302	1.858696	
0.023376	2.122204	1.463244	1.458330	1.205629	0.754834	
						-(a)
						-(b)

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

[U233]	[U234]	[U235]	[U236]	[U238]		
nd	0.1134	19.8471	0.7085	79.3310		
[Pu238]	[Pu239]	[Pu240]	[Pu241]	[Pu242]		
0.9126	65.6569	23.2360	6.9530	3.2415		
[Nd142]	[Nd143]	[Nd144]	[Nd145]	[Nd146]	[Nd148]	[Nd150]
0.0738	28.7065	19.6438	19.7135	16.2093	10.1774	5.4756

Pu CONTENT (atom%)/(weight%) ; 27.817 / 27.970

NUMBER OF TOTAL HEAVY ELEMENT (atoms/sample) ; 2.2204E+21

	[Nd148]	[Nd146]	[Nd145]
<u>NUMBER OF Nd NUCLIDE (atoms/sample) ;</u>	1.8557E+18	2.9550E+18	3.6097E+18
<u>EFFECTIVE FISSION YIELD ;</u>	1.72E-02	2.74E-02	3.36E-02
<u>NUMBER OF FISSIONS (fissions/sample)**;</u>	1.0789E+20	1.0785E+20	1.0743E+20
<u>BURNUP (atom%)#</u>	4.63	4.63	4.62
<u>SPECIFIC BURNUP (MWd/t)##</u>	42100	42100	42000

NOTE ; nd=not detected

* Distance from core fuel bottom

** FISSIONS=NUMBER OF Nd/EFFECTIVE FISSION YIELD

BURNUP=100*FISSIONS/(TOTAL HEAVY ELEMENT+FISSIONS)

1.1 atom% BU=10000 MWd/t BU

Table 8 Results Lattice parameter measurement by X-ray diffractometer

試料名	格子定数 (Å)
Niメッキ材(照射済)	3.551
Niメッキ材(未照射) (リファレンス材)	3.529

Table 9 Results of O/M ratio measurement by X-ray diffractometer

試料名	格子定数 (Å) (測定値)	S-I ¹⁾ 補正後の 格子定数 (Å)	O/M比	製造時の O/M比
98B343 ²⁾	5.46464	5.44888	1.99	1.98
98B463 ³⁾	5.46172	5.44594	2.00	1.98
98B2423 ³⁾	5.46288	5.44625	2.00	1.98

1) S-I: Self irradiation

2) Tiコーティングピン

3) 通常ピン

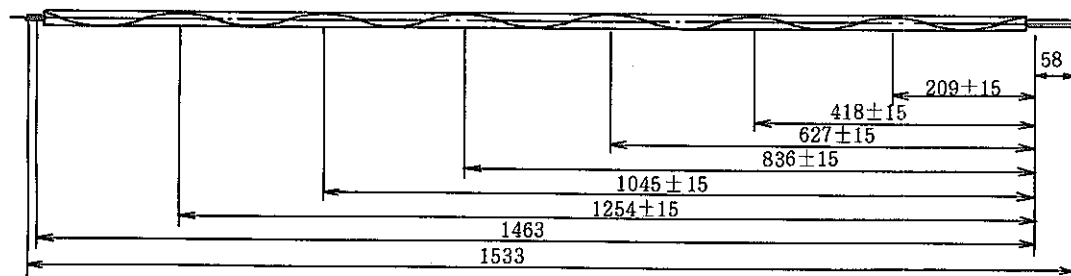
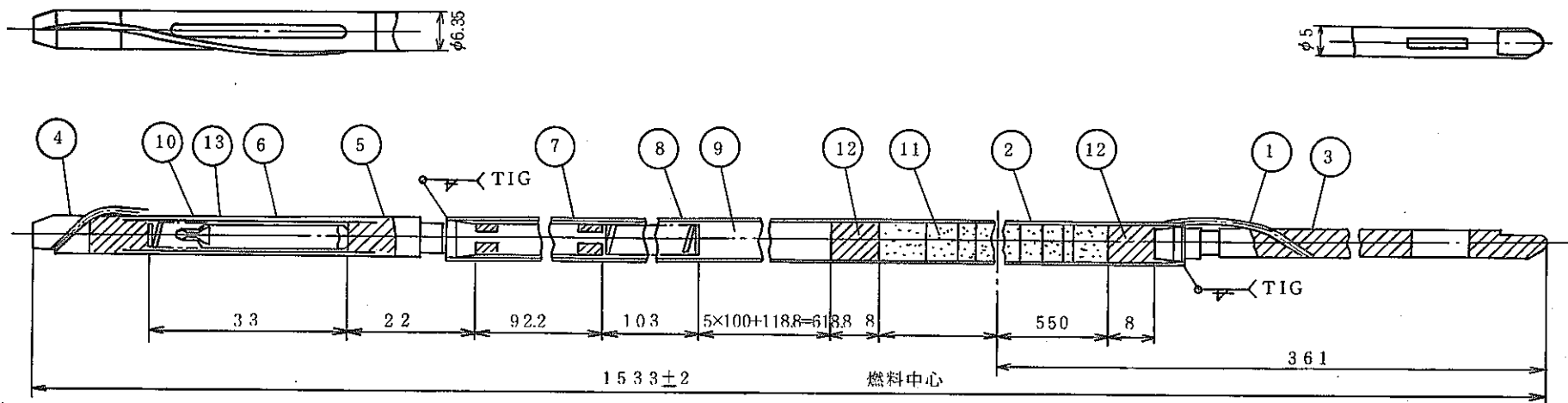
Table10 Summary of melting point measurment by
Thermal arrest method

Specimen No	Burnup ¹⁾ (MWd/t)	Pu content ²⁾ (Wt %)	O/M ratio ³⁾	Solidus Temp. (°C)	Liquidus Temp. (°C)
98B642P	41,600	27.97	2.00	2659±8	2697±88
98B242P	41,000	27.97	2.00	2700±5	2720±7
98B342P	41,800	27.97	1.99	2703±12	2738±15

1) Calculated by ESPRIT-J code

2) 製造時データ

3) AGSのX線回折測定による測定値



ワイヤラッピング全体図

13		TED温度モニター		1	
12		インシュレータベレット	劣化UO ₂	2	
11		燃料ベレット	PuO ₂ -UO ₂		$\phi 5.4 \pm 0.06$
10		温度モニター固定スプリング	SUS304 WPB	1	
9		要素反射体	SUS316相当	6	
8		プレナムスプリング	SUS304 WPB	1	
7		抑エ板付プレナムスリーブ	SUS316	1	
6		温度モニター収納管	SUS316	1	
5		上部端栓 (B)	SUS316相当	1	
4		上部端栓 (A)	SUS316相当	1	
3		下部端栓	SUS316相当	1	
2		被覆管	SUS316相当	1	$\phi 6.5 \pm 0.030$
1		ラッピングワイヤ	SUS316相当	1	
品番	図番	品名	材質	個数	備考

Fig. 1 Schematic drawing of fuel pin

炉心照射位置

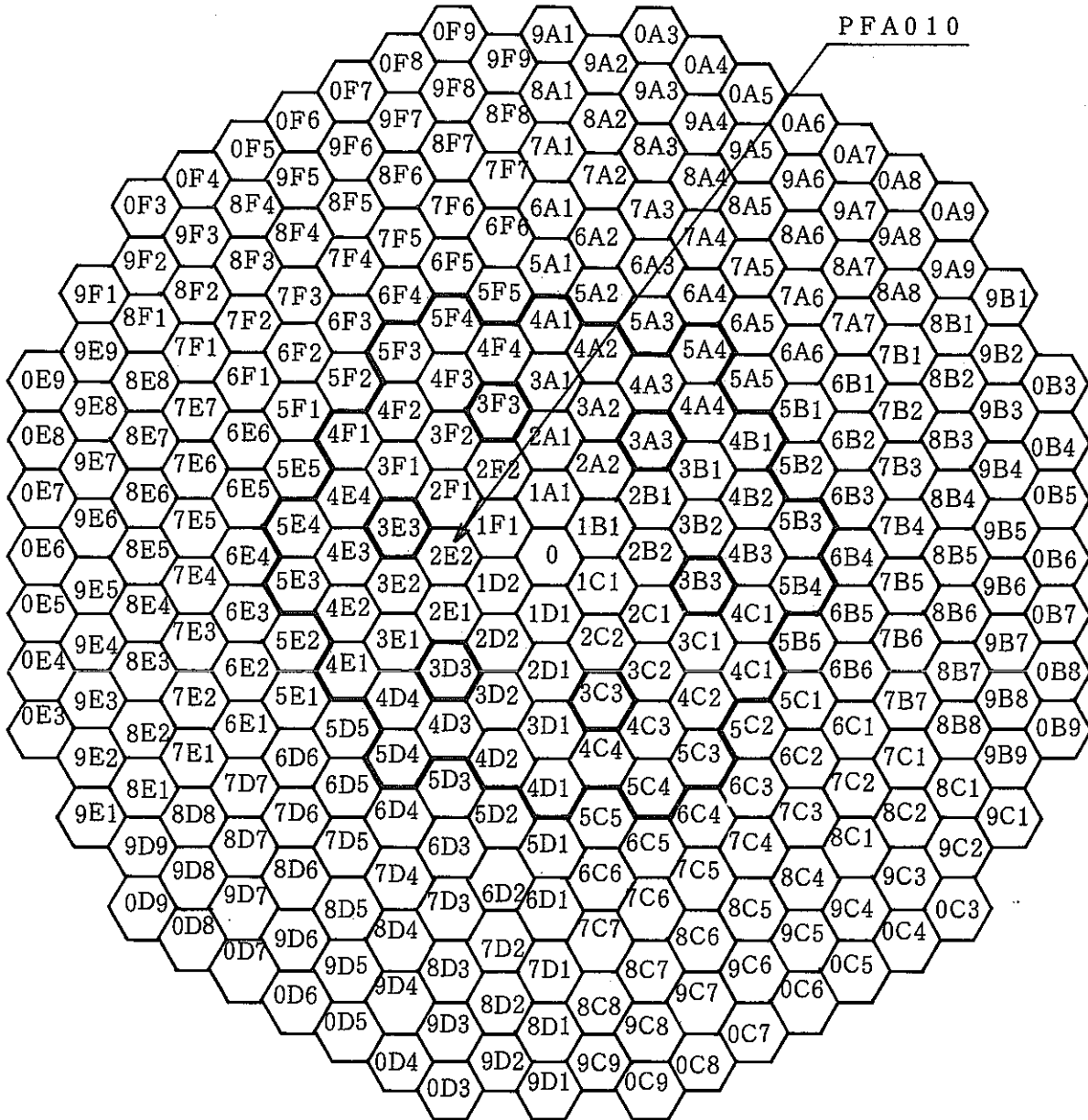


Fig. 2 Irradiation position of PFA010 subassembly in JOYO MK-II core

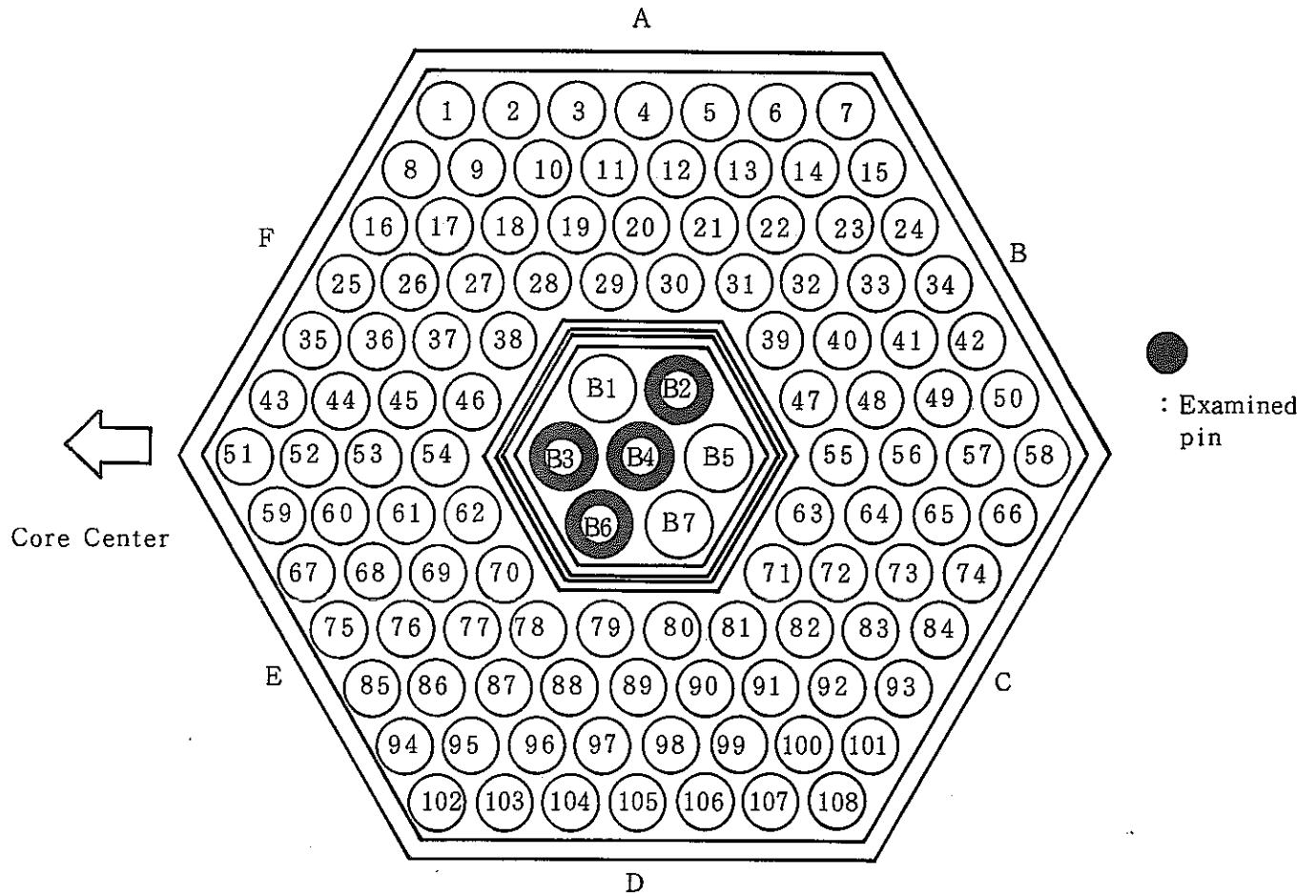


Fig. 3 Fuel pin positions in PFA010 subassembly

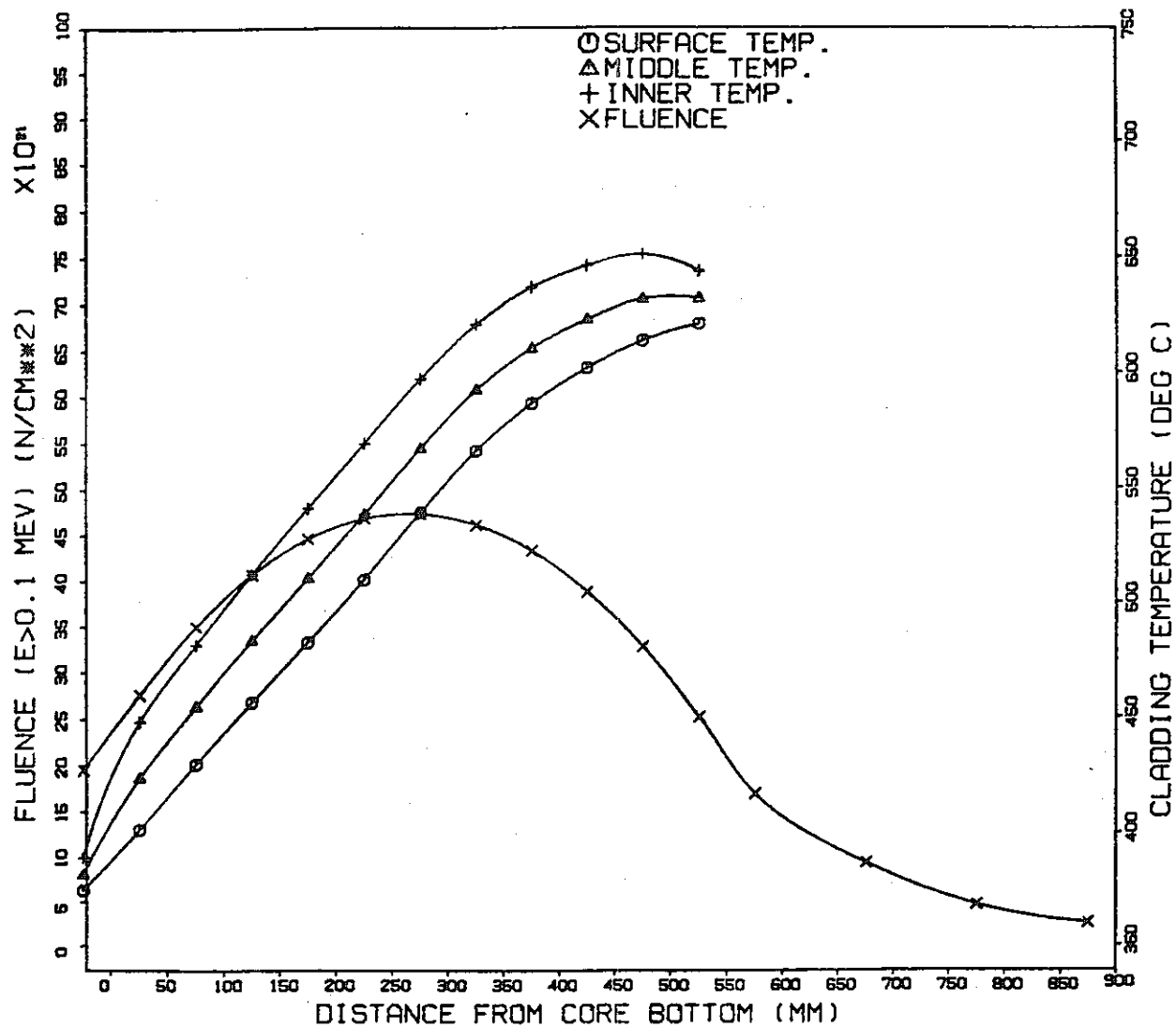


Fig. 4 Fluence and cladding temperature distribution of "JOYO"
MK-II PFA010(98B4pin)

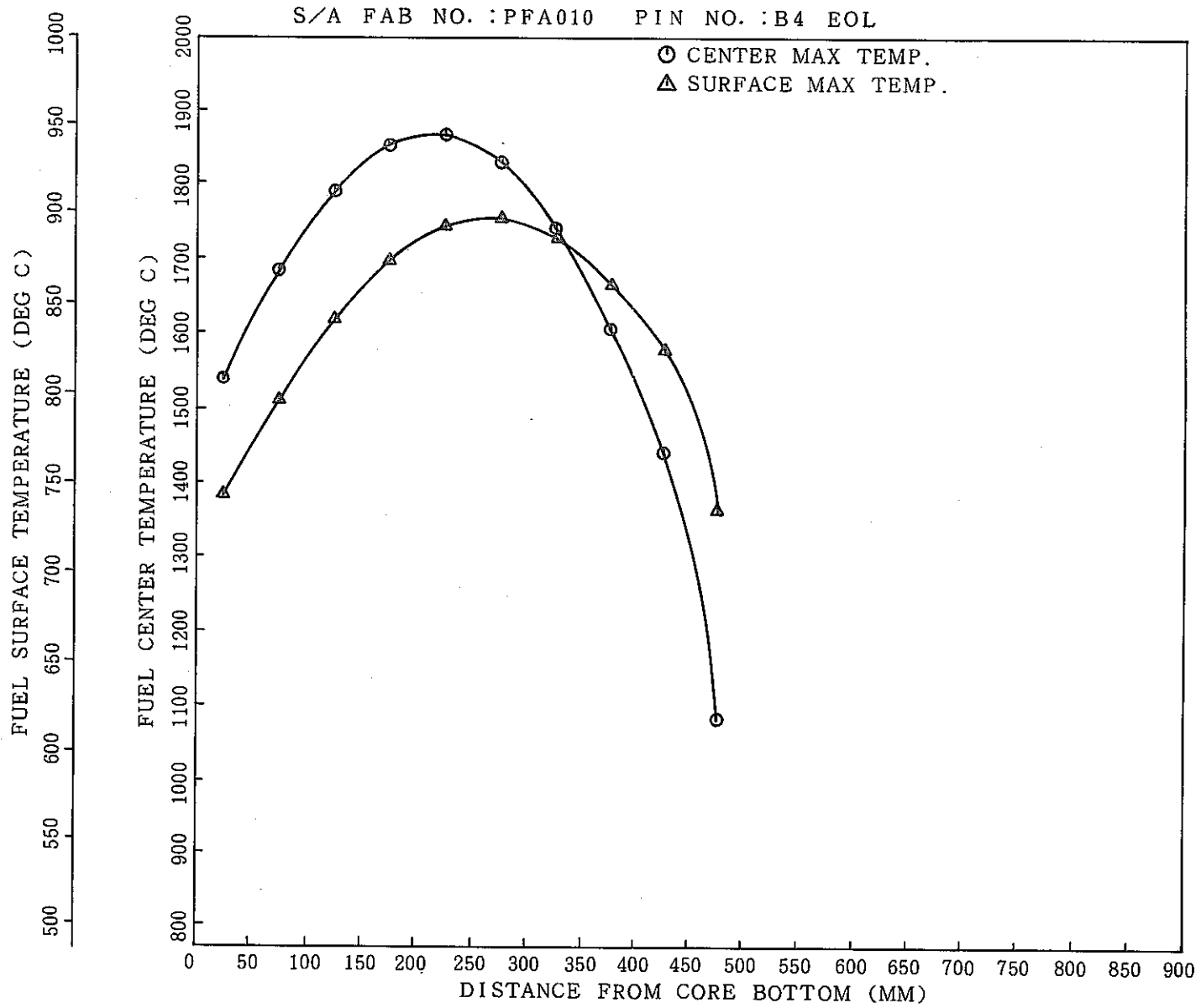


Fig. 5 Fuel temperature distribution of "JOYO" MK-II PFA010(98B4pin)

S/A FAB NO. : PFA010 PIN NO. : B4

MAX \circ EOL \triangle

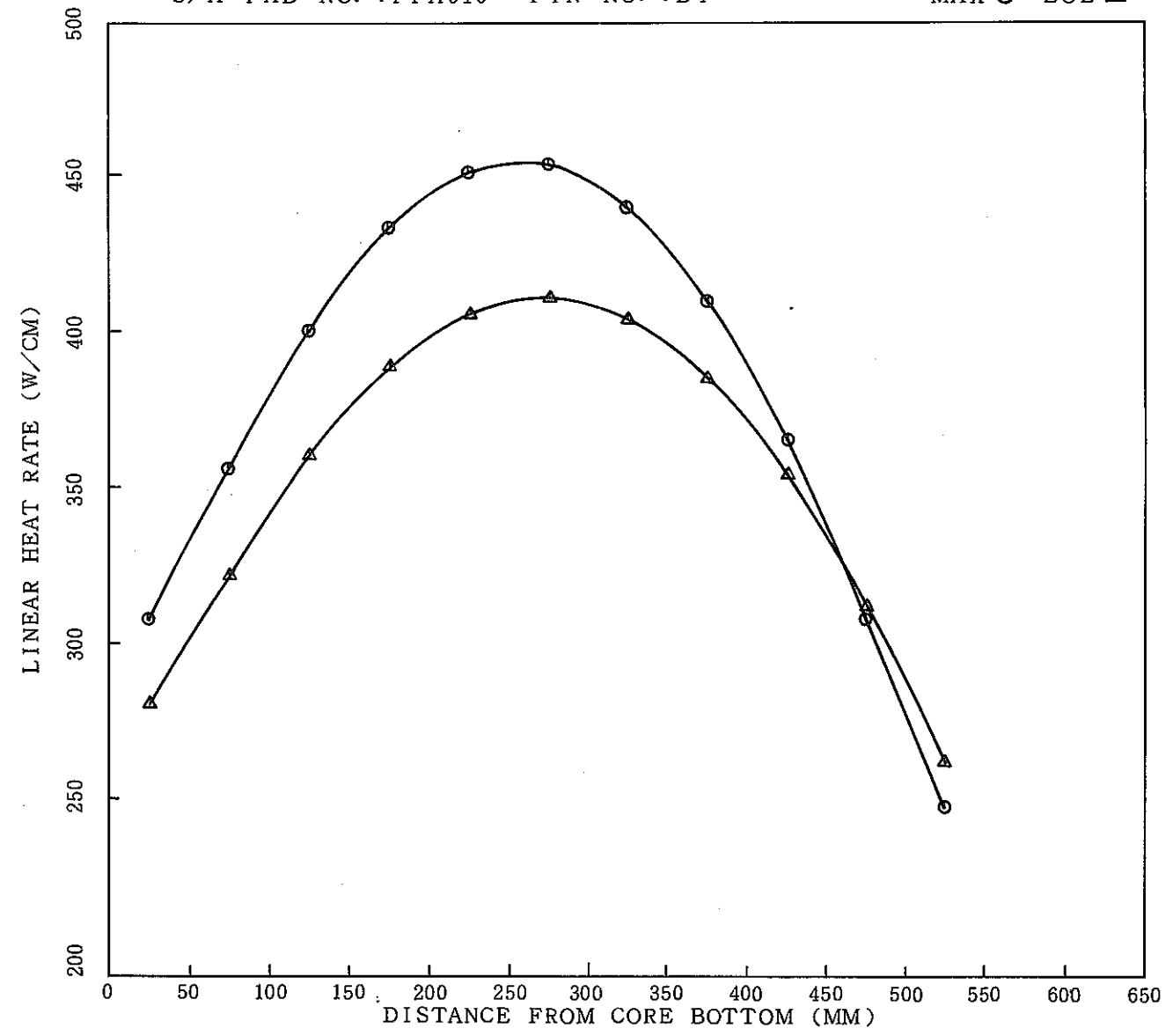


Fig. 6 Linear heat rate distribution of "JOYO" MK-II PFA010(98B4pin)

S/A FAB NO. : PFA010 PIN NO. : B4 EOL

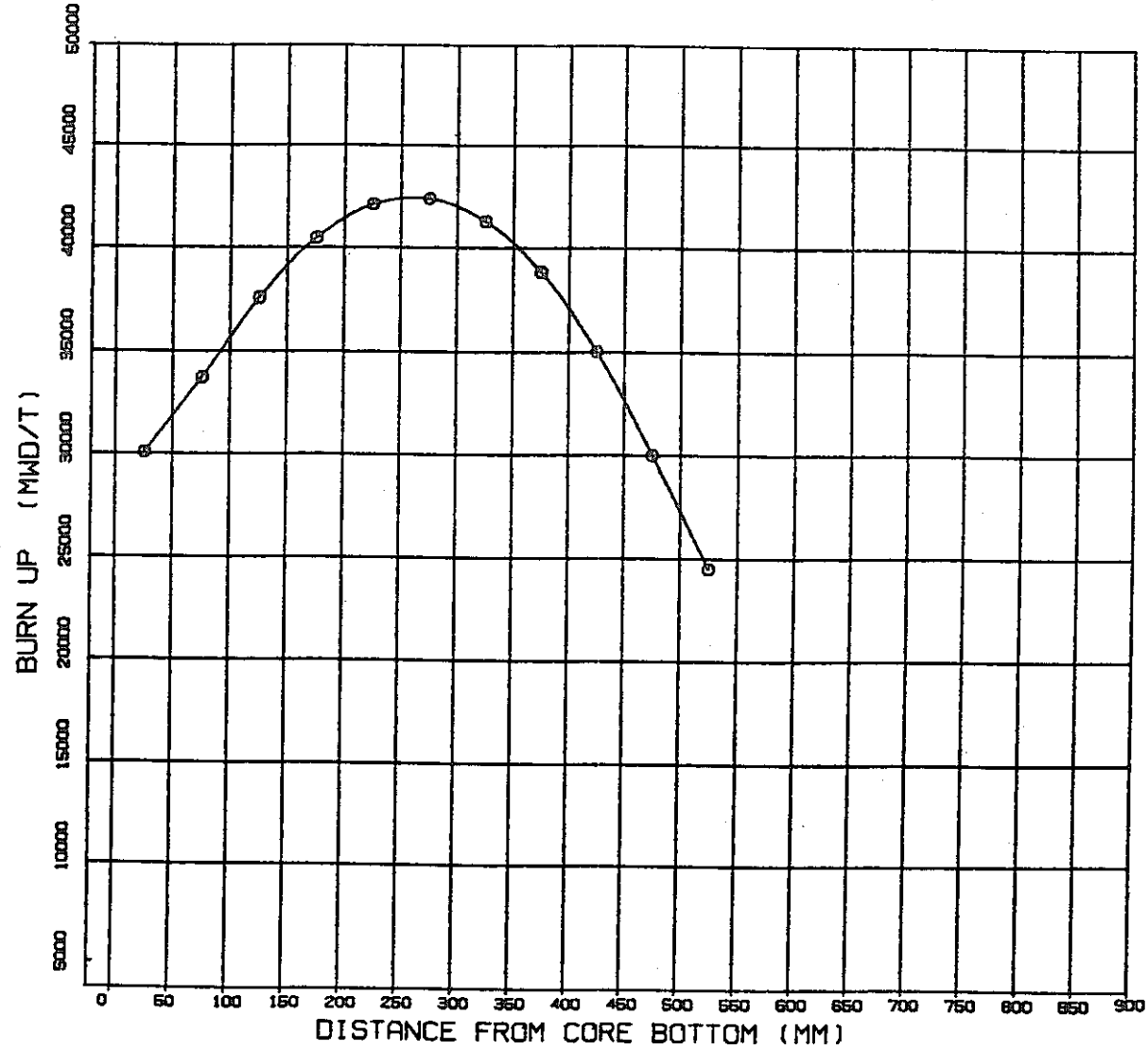


Fig.7 Burnup distribution of "JOYO" MK-II PFA010 (98B4pin)

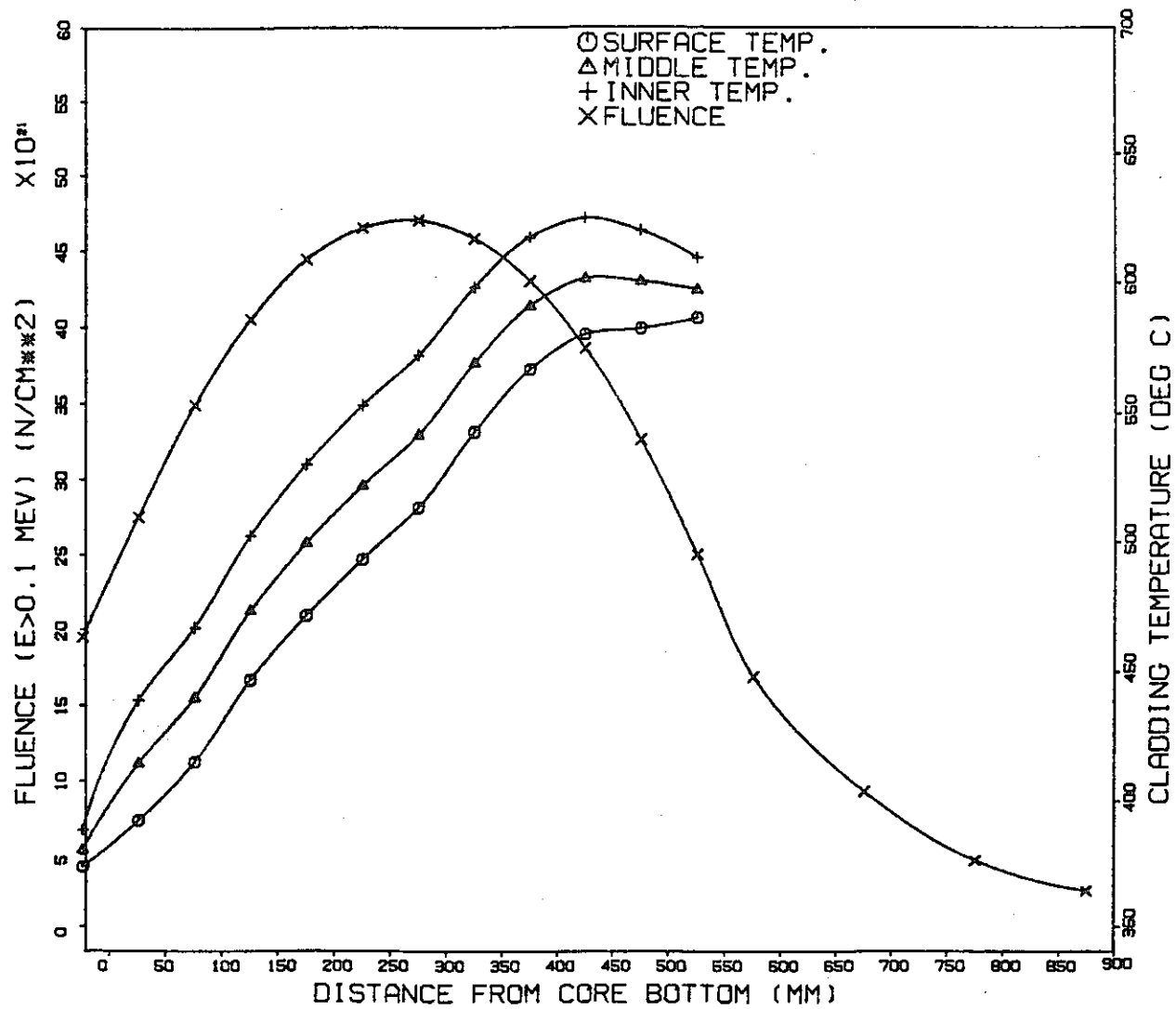


Fig.8 Fluence and cladding temperature distribution of "JOYO" MK-II PFA010(98B2pin)

S/A FAB NO. : PFA010

PIN NO. : B3

EOL

PNC 19410 90-015

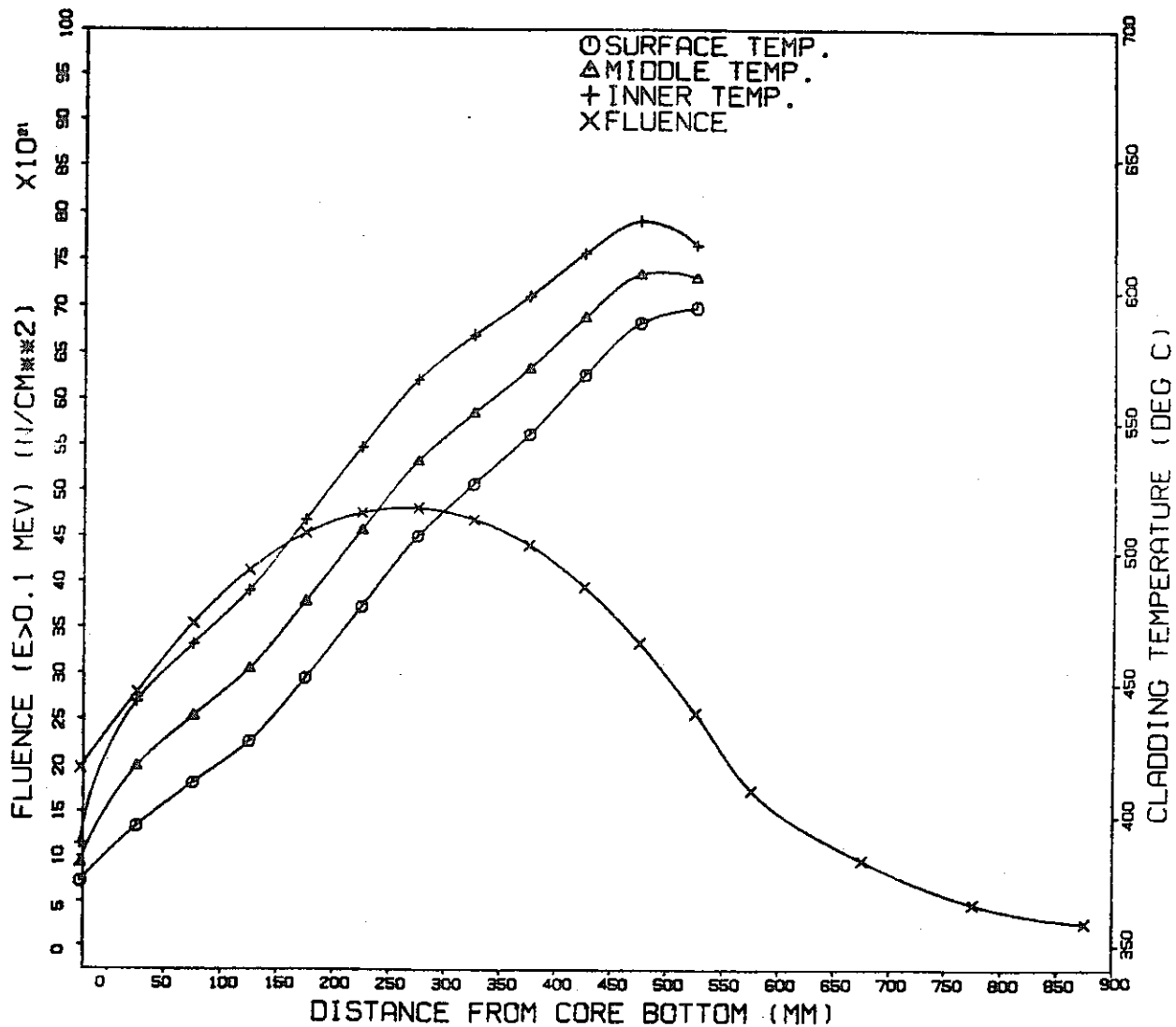


Fig.9 Fluence and cladding temperature distribution of "JOYO" MK-II PFA010(98B3pin)

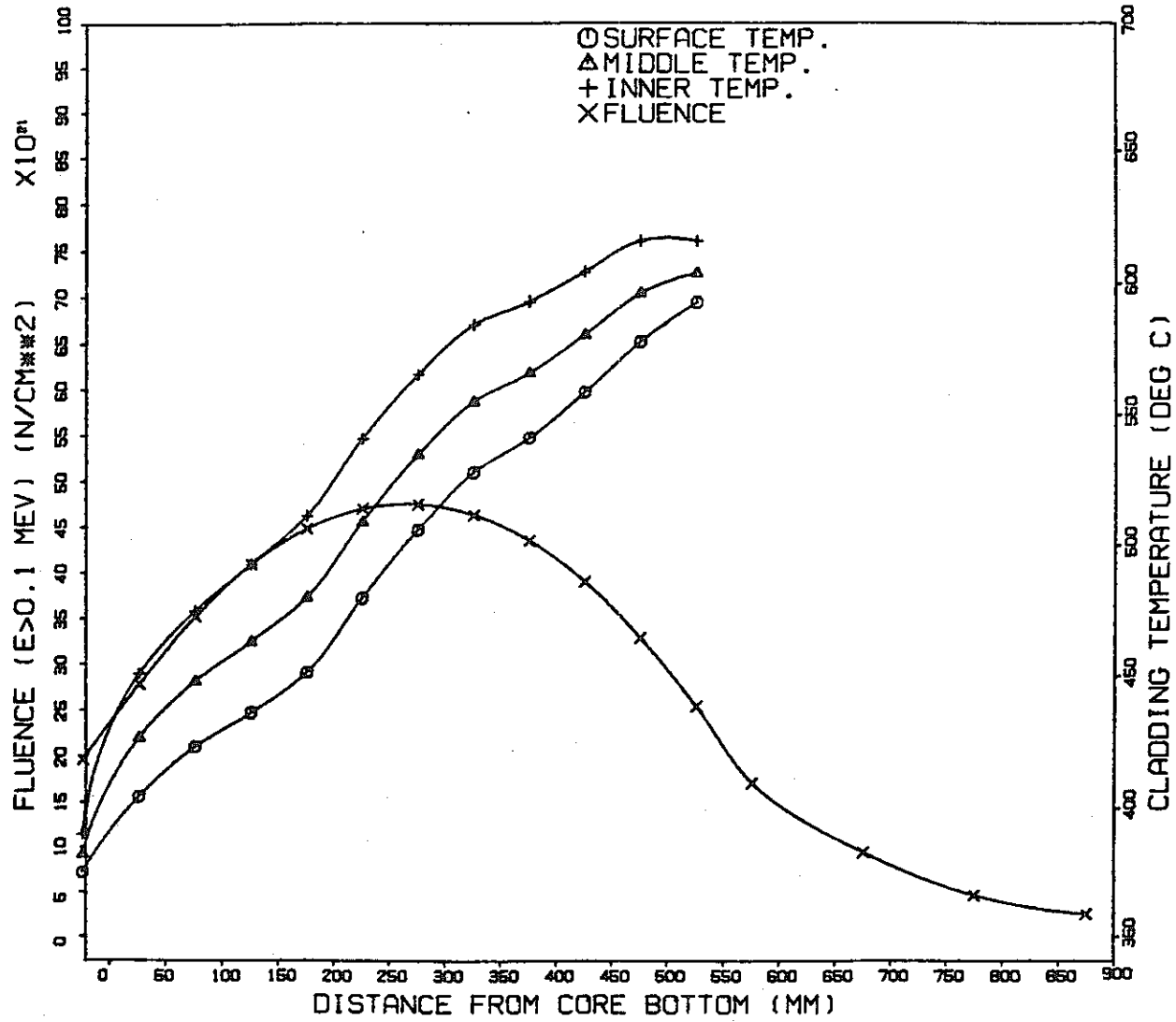


Fig.10 Fluence and cladding temperature distribution of "JOYO" MK-II PFA010(98B6pin)

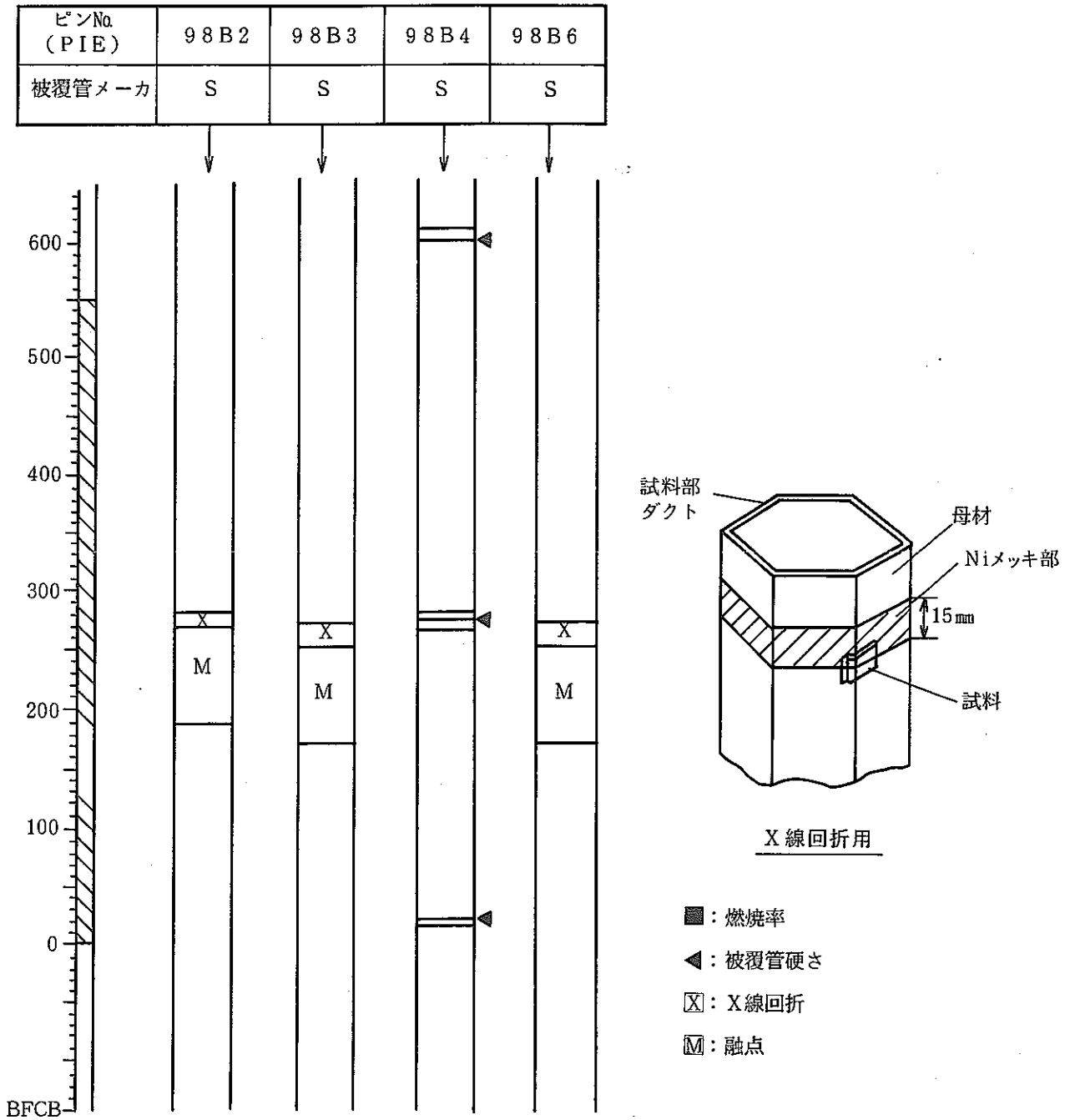


Fig. 11 Sampling of specimens(PFA010)

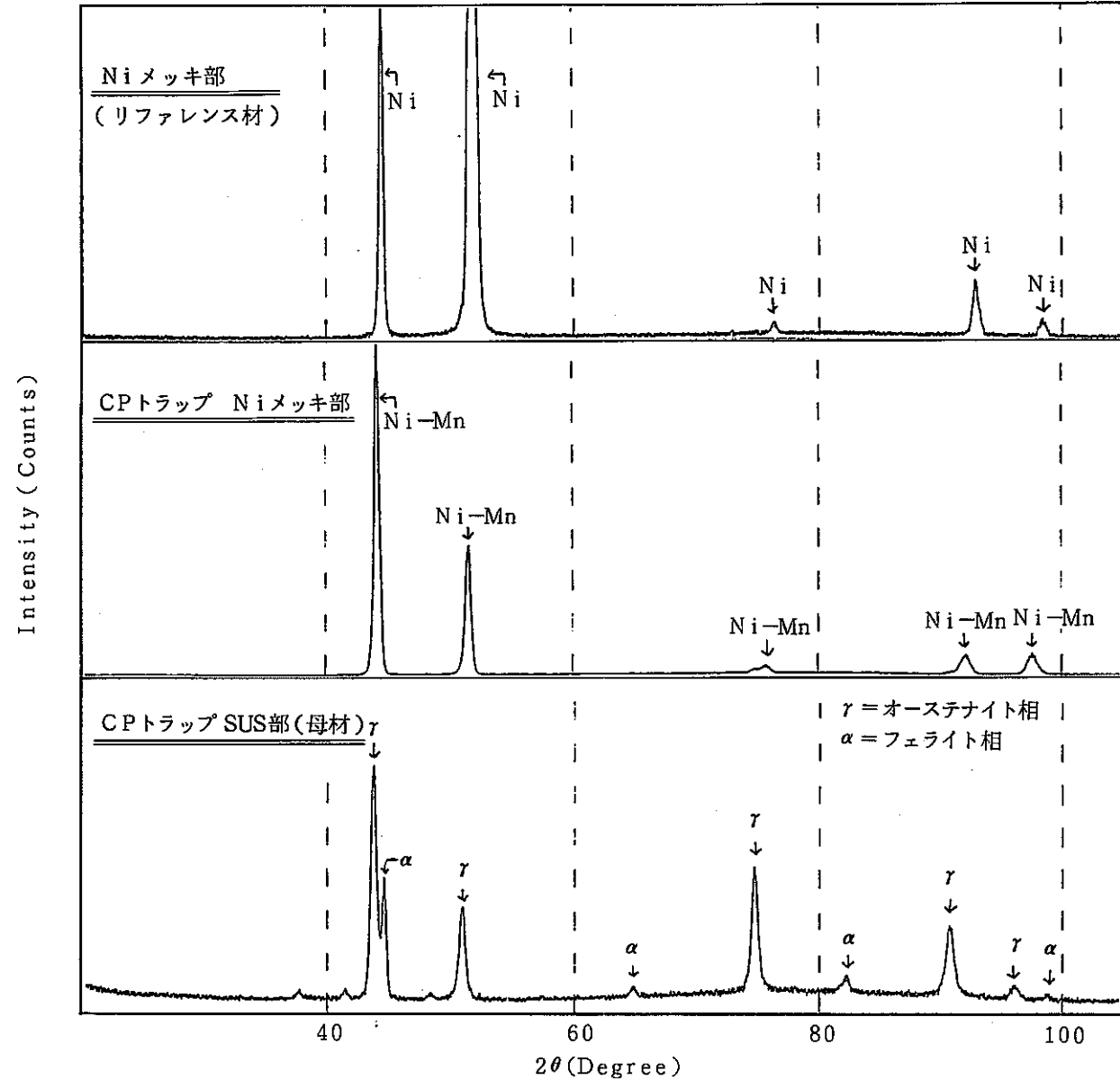
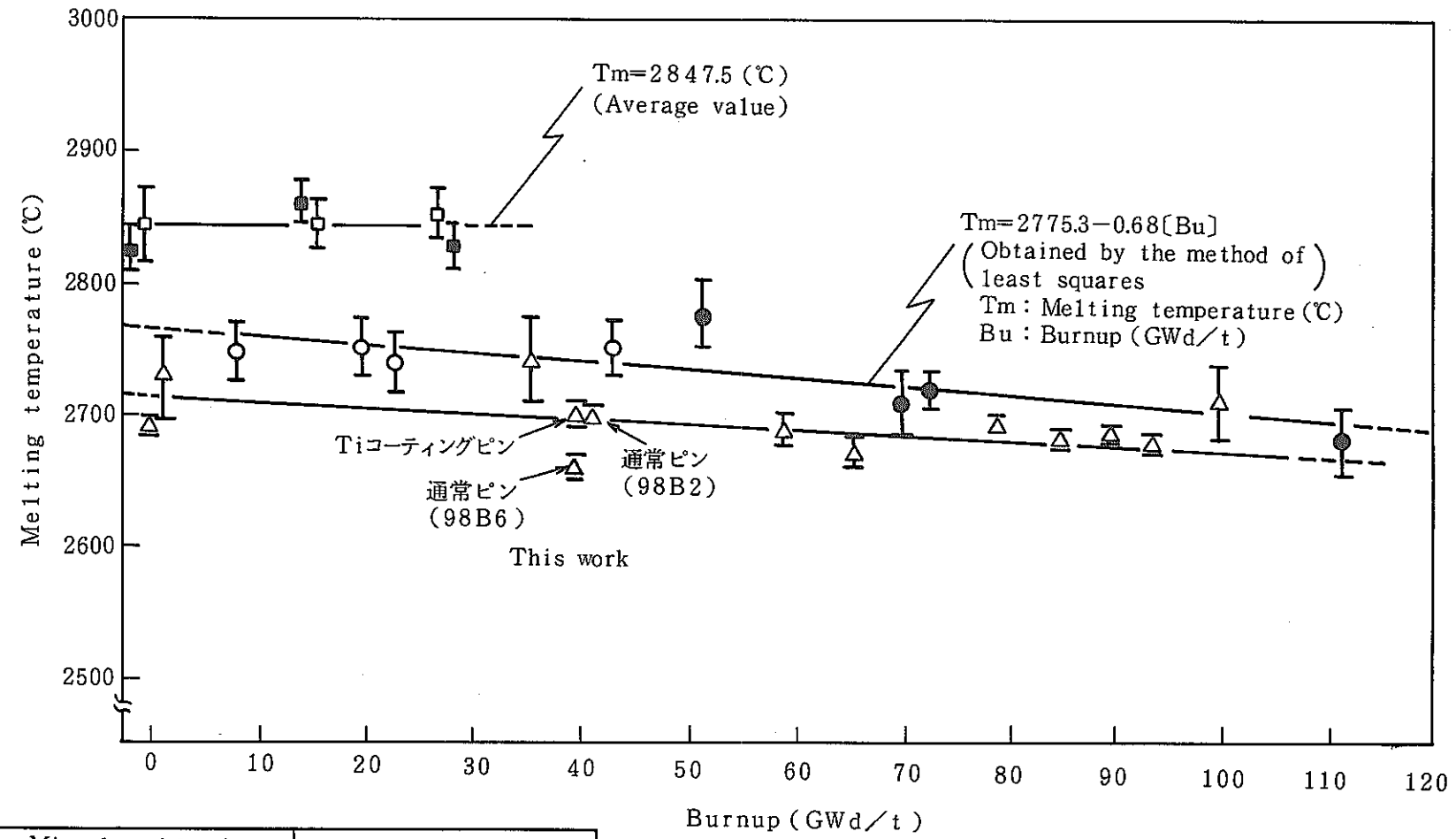


Fig 14 X-ray diffraction patterns of PFA010



Mixed oxide fuel	Method
■: UO_2	Thermal arrest method using sealed tungsten capsule
□: $\text{UO}_2 - 2\text{wt}\% \text{Gd}_2\text{O}_3$	
○: $\text{UO}_2 - 18\text{wt}\% \text{PuO}_2$	
●: $\text{UO}_2 - 20\text{wt}\% \text{PuO}_2$	
△: $\text{UO}_2 - 30\text{wt}\% \text{PuO}_2$	

Fig. 15 Melting temperature of irradiated mixed oxide fuel with burnup

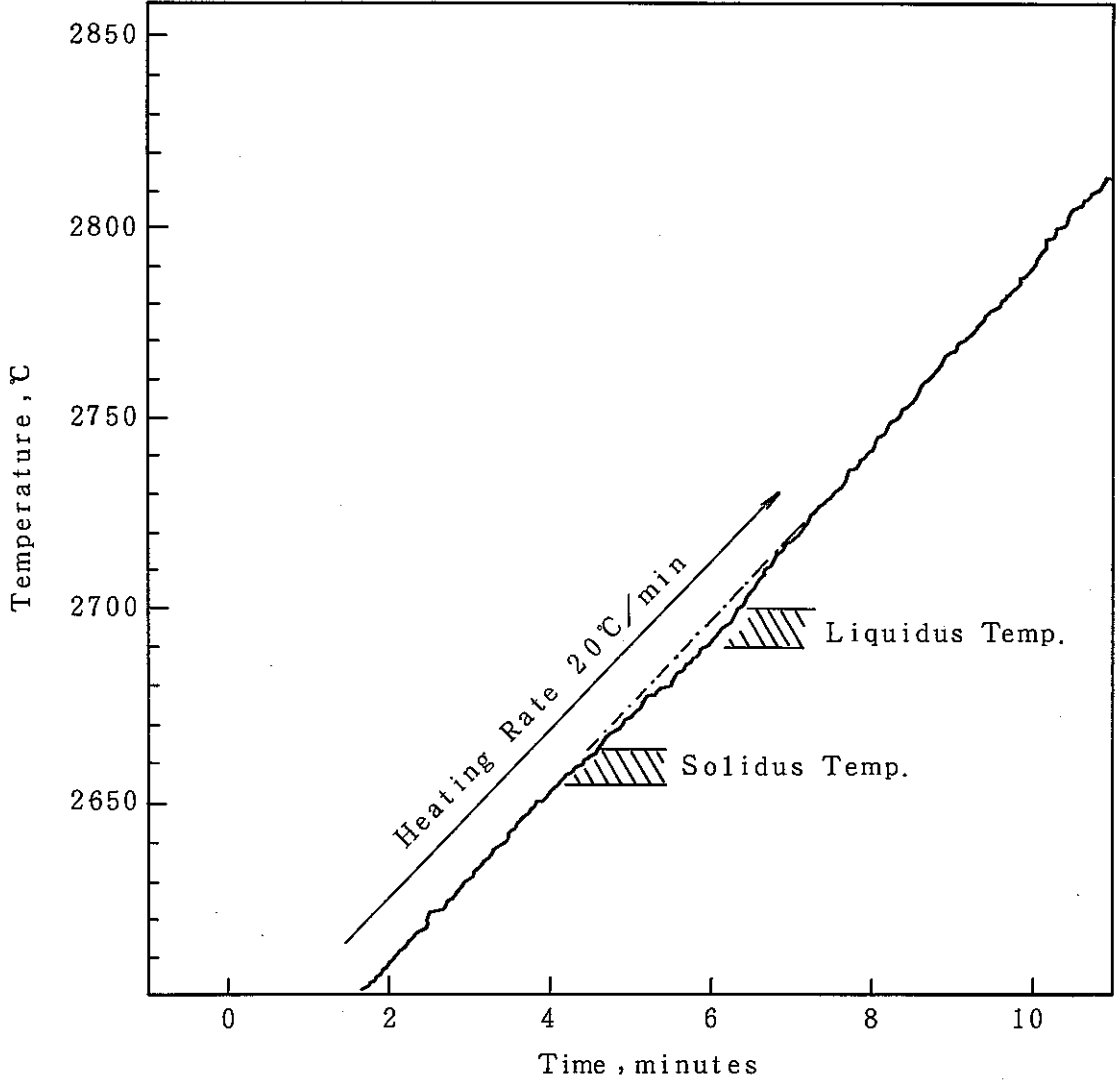


Fig.16 Heating curve of irradiated mixed-oxide fuel
(PFA010 98B642P B,U 41,600 MW d/t)

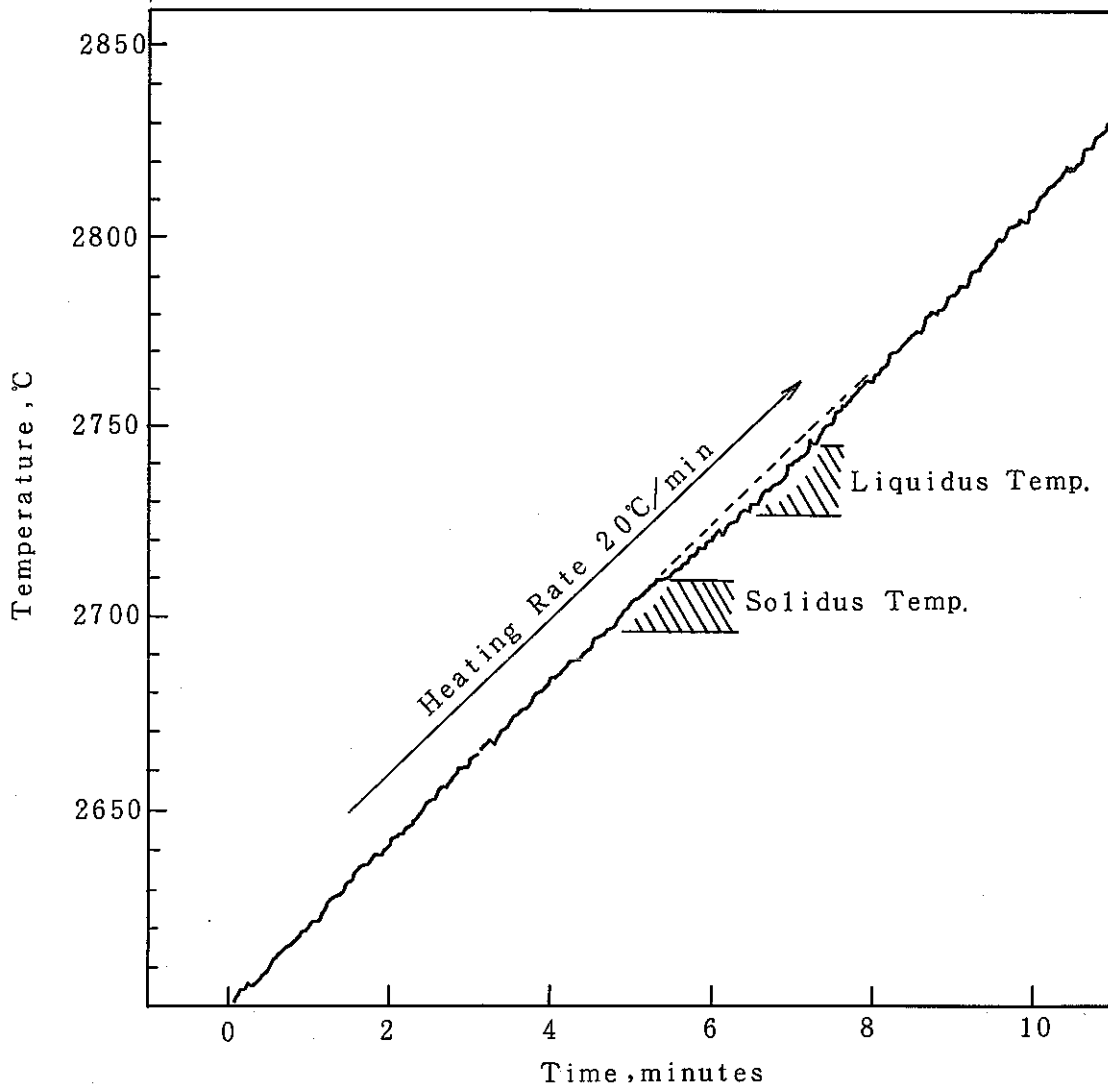


Fig.17 Heating curve of irradiated mixed-oxide fuel
(PFA010 98B342P B,U41,800MWd/t)

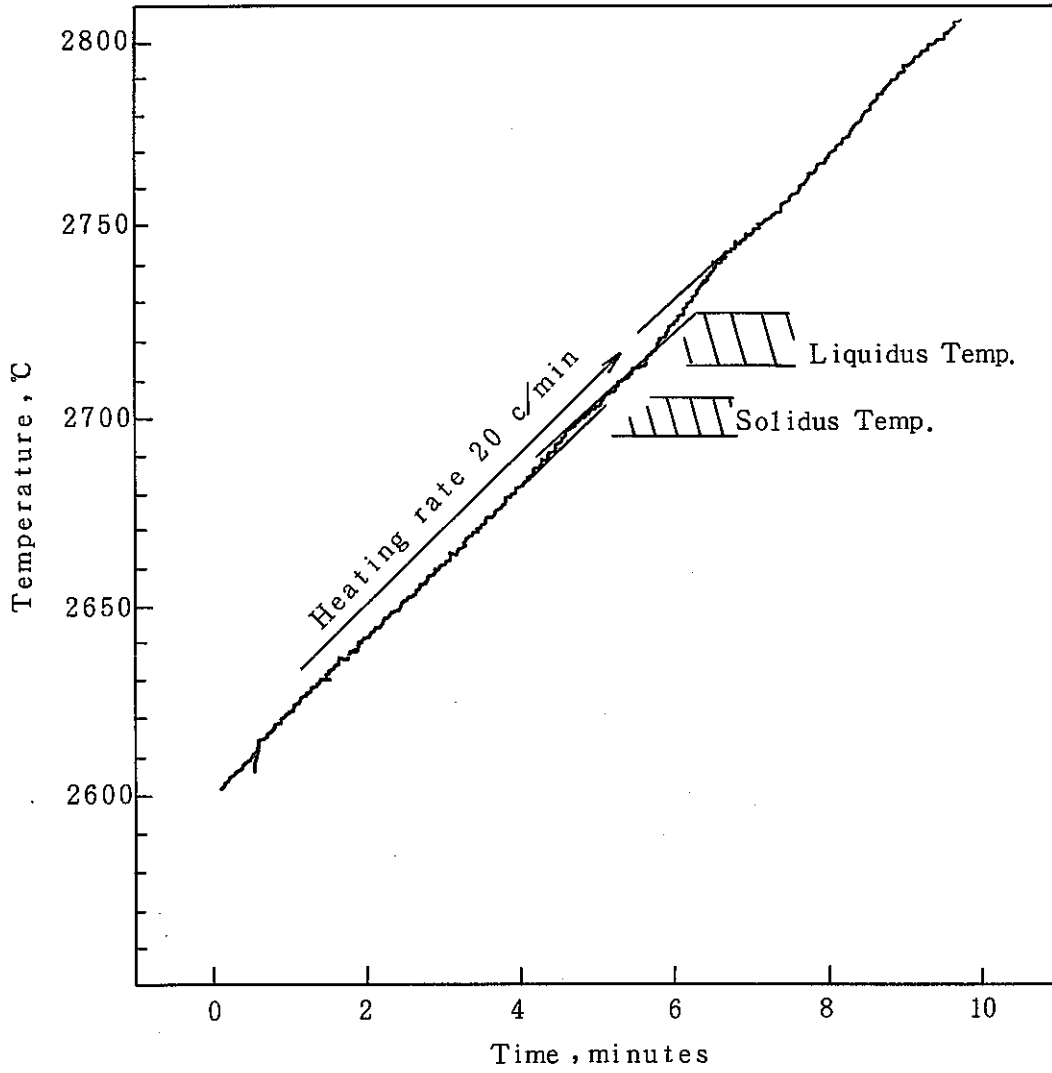


Fig. 18 Heating curve of irradiated mixed-oxide fuel
(PFA010 08B242P B,U 41,000MWd/t)