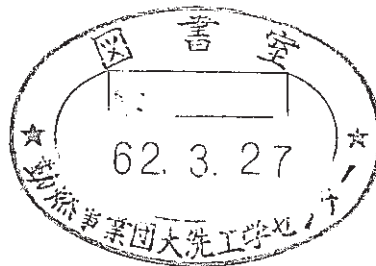


分置

「常陽」MK-II 内側反射体 (NFRI09) の照射後試験



1987年2月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N9410 87-192
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

「常陽」MK-II 内側反射体(NFRI09)の照射後試験

実施責任者 田地 弘勝

報告者 西野入賢治* 平沢久夫*

大原清海**

要 旨

「常陽」MK-II 炉心に装荷された反射体の健全性を確認するとともに、使用寿命評価に資するためのデータを取得することを目的に内側反射体(NFRI09)の照射後試験を実施した。

本反射体は、「常陽」MK-II 第0サイクルから第7サイクルまでの期間炉心位置5C2に装荷され、最大積算中性子束 $3.48 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ($E \geq 0.1 \text{ MeV}$) まで照射された。

照射後試験の結果以下のことが確認された。

- (1) 集合体表面及びパッド部の状態、内部状況等において、有意な変化はなく健全であった。
- (2) 反射体要素のスエリングによるふくれ(密度変化率 $\Delta\rho/\rho = 0.79\%$)、伸び(変化量 $\Delta L = 2 \text{ mm}$)が測定された。
- (3) 集合体の上部パッド部において約6mmの曲りが、測定された。

* 大洗工学センター 照射燃料集合体試験室

** 大洗工学センター 照射材料試験室

目 次

1. まえがき	1
2. 供試試料	2
3. 照射条件	3
3.1 炉内照射位置	3
3.2 照射条件	3
4. 照射後試験計画	4
5. 試験方法	5
5.1 集合体試験	5
5.1.1 缶内水分析	5
5.1.2 外観検査	5
5.1.3 X線ラジオグラフィ	5
5.1.4 寸法測定	5
5.2 反射体要素試験	5
5.2.1 外径寸法の測定	5
5.2.2 全長測定	5
5.2.3 曲り測定	5
5.2.4 密度測定	5
6. 集合体試験結果	6
6.1 缶内水分析	6
6.2 外観検査	6
6.3 X線ラジオグラフィ	6
6.4 寸法測定	6
6.4.1 対面間寸法	6
6.4.2 曲り測定	6
7. 反射体要素試験	7
7.1 外径寸法の測定	7
7.2 全長測定	7
7.3 曲り測定	7
7.4 密度測定	7
8. 試験結果の検討	8
9. まとめ	9
10. 参考文献	10

List of Tables

Table I	Irradiation Condition	1 1
Table II	Reflector Bowing	1 2
Table III	Diameter Change of the Element by a Tool setting Gauge	1 2
Table IV	Density Change of the Element	1 2

List of Figures

Fig. 1	Schematic View of Reflector	1 3
Fig. 2	In reactor location of Reflector (NFRI09) ...	1 4
Fig. 3	Axial profile of Face to Face Distance (Face C-F)	1 5
Fig. 4	Axial profile of Face to Face Distance (Face B-E)	1 6
Fig. 5	Axial profile of Face to Face Distance (Face A-D)	1 7

List of Photographs

Photo. 1	Visual Inspection of Reflector	1 8
Photo. 2	X-ray Radiography of Reflector (Upper grid) ..	1 9
Photo. 3	X-ray Radiography of Reflector	2 0

1. ま え が き

MK-II 炉心構成要素は、原子炉内に 313 体あり、うち反射体は、外側反射体 A、B と内側反射体とに区別され、合計 246 体が装荷されている。

これらは、使用寿命（スエリングによる歪からおこる炉心湾曲、燃料交換機の交換性は、20 サイクルまで問題ないと計算により評価し設計及び工事の方法の認可⁽¹⁾を得ている）を超えないように運転管理を行っている。しかし、反射体の使用条件は、その装荷位置により異なり経済性の面から 20 サイクル以上の使用を可能とさせるための使用寿命の再評価が必要である。

そこで、使用寿命の評価に必要とされるデータ（反射体の健全性、スエリング量等）を取得するため、反射体のうち使用条件の一番厳しい内側反射体について、MK-II 移行後初めての照射後試験を実施した。

2. 供 試 試 料

本反射体の主な仕様を以下に示す。また、概略図をFig. 1に示す。

反 射 体

型 式	ロッドクライスラーラッパ管内蔵型
本体の横断面形状	正六角形
全 長	2 9 7 0 mm
全 重 量	約 6 4 kg
本体外側対面間寸法	7 8.5 mm
上部パッド部外側対面間寸法	8 0.3 mm
中間パッド部外側対面間寸法	8 1.2 mm
ラッパ管材質	ステンレス鋼管 (S U S 3 1 6 相当)

反射体要素

要 素 数	7本/反射体
全 長	2 1 2 4 mm
重 量	約 6.8 kg
材 質	ステンレス鋼材 (S U S 3 0 4)

3. 照射条件

3.1 炉内照射位置

炉内照射位置を Fig 2 に示す。

炉心位置 5 C 2 に、装荷されている。

3.2 照射条件

各サイクルでの照射条件⁽²⁾を Table I に示す。

100MW第0サイクルから第7サイクルまで照射されたものである。

4. 照射後試験計画

以下に示す試験項目について、非破壊による照射後試験を照射燃料集合体試験室（FMS）で、このうち、反射体要素の密度測定を照射材料試験室（MMS）で実施した。

4.1 集合体試験

- 1) 缶内水分析
- 2) 外観検査
 - (1) 集合体表面状況（傷、変色等）の観察
- 3) X線ラジオグラフィ
 - (1) 集合体内部状況の観察
- 4) 寸法測定
 - (1) 対面間寸法及び曲りの測定

4.2 反射体要素試験

- 1) 外径寸法の測定
- 2) 全長測定
- 3) 曲り測定
- 4) 密度測定

5. 試験方法

5.1 集合体試験

5.1.1 缶内水分析

「常陽」ナトリウム洗浄装置を用いて洗浄し、水詰ボルト締缶に収納して搬入された反射体の缶内水のNa量、PH値を測定した。また、 γ 線放出核種の同定を行った。

5.1.2 外観検査

反射体のセル内搬入時に、外形変化等の異常の有無を確認するため、セル窓を通して、目視による全面の観察を行った。また、一面(F面)の全長にわたる写真撮影を行った。

5.1.3 X線ラジオグラフィ

集合体の内部状況、特に要素とラッパ管内面との接触の有無を観察するため、反射体の全長にわたり120°間隔で3方向から撮影した。

5.1.4 寸法測定

ラッパ管対面間寸法と、上部パッド部及び中間パッド部における集合体の曲り量を測定した。

5.2 反射体要素試験

要素重量がピン寸法測定装置チャックの保持荷重を超えるため、外径・全長・曲りを以下の方法で測定した。

5.2.1 外径寸法の測定

炉心方向(E・F面コーナー部)に位置する反射体要素1本(9501ピン)の外径寸法を、ツールセッティングゲージ法^{注)}を用いて、炉心中心位置付近(下端より861mm)の周方向4点について測定した。この測定値より外径変化量を求めた。

5.2.2 全長測定

X線ラジオグラフィより炉心方向に位置する反射体要素1本(9501ピン)と、反対側に位置する反射体要素1本(9504ピン)の長さを測定した。

5.2.3 曲り測定

目視により最も曲っていると思われる反射体要素(9504ピン)の写真撮影を行い、実寸大に引伸ばしたこの写真から曲り量をスケール(測定精度 ± 0.5 mm)を用いて測定した。

5.2.4 密度測定(MMS実施)

炉心方向に位置する反射体要素(9501ピン)の下端より1106mmから1136mm、846mmから876mm、及び586mmから616mmの3試料を切り出し、液浸法による密度測定を行いスエリング量を求めた。

注) ツールセッティングゲージ法：被測定物をブロックゲージ部に当て、マスターの円柱物との変位をダイヤルゲージで測定し、変位から半径を計算し直径を求める。

6. 集合体試験検査

6.1 缶内水分析

ボルト締缶内水のPHは約10.9, ナトリウム量は約0.4 gであり, 「常陽」サイトにおける洗浄でほとんどのナトリウムが, 除去されたものと思われる。一方, 核種分析の結果同定された核種は, いずれも腐食生成物の代表的核種である, ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , であった。

6.2 外観検査

集合体外観写真をPhoto.1に示す。上部及び中間パッドに洗浄ムラと思われる白色付着物が認められたが, 反射体の変形, キズ等特異な状況は観察されなかった。

6.3 X線ラジオグラフィ

集合体内部には, 異物が混入した形跡は観察されなかった。しかし, Photo.2に示すように, 反射体上部グリット板上端とロックナットとの間に2.3mmのすき間が見られ, 上部グリット板下端と要素とのすき間は, 5mmから2.5mm程度に減少していた。また, 要素とラッパ管内面との接触の有無は, 写真からは認められなかった。

6.4 寸法測定

6.4.1 対面間寸法

Fig. 3からFig. 5に, ラッパ管の対面間寸法の軸方向プロファイルを示す。

照射前データとの比較では, 各軸位置とも有意な差(±0.1mm)は認められず, 照射による寸法変化は, 認められなかった。

6.4.2 曲り測定

集合体の測定結果をTable IIに示す。

集合体のエントランスノズル中心を通る線と試料中央とのずれを曲り量と定義すると, 上部パッド部において炉心方向と反対方向(192°方向)に6.3mm, 中間パッド部においては, 154°方向に0.7mmの集合体の曲りが観察された。

7. 反射体要素試験結果

7.1 外径寸法の測定

測定結果をTable IIIに示す。

反射体要素下端より861mmの位置における外径測定値は、 26.16 ± 0.01 mmで製造時データ26.1mmと比較して有意な差はなかった。

7.2 全長測定

X線ラジオグラフィ写真をPhoto. 3に示す。

X線ラジオグラフィより、要素の全長を測定(測定誤差 ± 0.5 mm)した結果、9501ピンは1.5mm、9504ピンは1.0mmの伸びが観察され、集合体のX線写真から観察された反射体上部グリット板上端とロックナットとのすき間2.3mmにほぼ近い値であった。スエリング量を評価するため1971年にJ.F. BATESらが報告したHEDLの式⁽³⁾に「常陽」運転監視コードMAGI及びVORTEXにより計算した中性子照射量、軸方向温度を代入し、伸び量を算出すると約2mmであった。

7.3 曲り測定

実寸大写真からは、有意な曲りは観察されなかった。

7.4 密度測定(MMS実施)

測定結果をTable IVに示す。

最大積算中性子束 3.48×10^{22} n/cm² ($E \geq 0.1$ MeV)、要素下端より846mmから876mmの位置での密度測定の平均値は、約7.83 g/cm³であった。測定値と反射体要素の未照射材の密度から密度変化率としてスエリング量を求めると0.79%であった。

また、外径変化率(スエリング量 $\times 1/3$)としては、約0.26%に相当する。

8. 試験結果の検討

8.1 反射体の健全性

健全性を確認する試験として、集合体外観検査、集合体寸法測定、集合体 X 線ラジオグラフィを実施した。

試験の結果、集合体表面及びパッド部の状態、ラッパ管対面間寸法、異物の混入等特異な変化は、認められず健全であったと言える。

しかし、集合体の曲り測定において、上部パッド部で炉心と反対方向に約 6 mm の曲りが測定された。これは、中性子照射量が異なることによるスエリング量の差が原因と考えられる。

8.2 反射体要素試験

試験の結果、曲りについては測定できなかったが、外径及び全長については、スエリングによるふくれ、伸びが測定された。

スエリング量は、密度測定の結果 0.79% (外径変化率約 0.26%) である。一方 HEDL の式に中性子照射量、温度を代入し算出すると約 1.67% となる。

伸びについても、測定値の 1.5 mm に対し、同式から算出した値は 2 mm であり、いずれの場合も測定値に対し計算値の方が上回っている。

9. ま と め

内側反射体(NFR109)の照射後試験を実施し、「常陽」MK-II炉内使用による変化を観察した。

結果の概要は、以下の通りである。

- (1) 集合体表面及びパッド部の状態、内部状況等において、有意な変化はなく健全であった。
- (2) 反射体要素のスエリングによるふくれ(密度変化率 $\Delta\rho/\rho = 0.79\%$)、伸び(変化量 $\Delta L = 2\text{ mm}$)が測定された。
- (3) 集合体の上部パッド部において約6mmの曲りが、測定された。

今回、反射体としては、「常陽」MK-II移行後初めての照射後試験を実施し終了した。

本反射体は、定格第7サイクルまで炉内で使用したものであり、反射体としての健全性が確認され、使用期間中炉内で正常にその役割を果たしてきたと言える。

10. 参 考 文 献

- (1) 高速実験炉 設計及び工事の方法の認可申請書, 53 動燃(高速)254
- (2) 「常陽」照射試験サイクル報(第8サイクル) PNC SN936 85-04
- (3) 高速原型炉燃料集合体及び炉心構成要素設計用物性値集 SN241 85-23(1)

Table I Irradiation Condition

集合体番号 NFR109

サ イ ク ル			0	1	2	3	4	5	6	7	7' & 7''	
装 荷 位 置			5C2								5C2	
燃 焼 度	ポイント最大		MWD/T	-	-	-	-	-	-	-	-	
	集合体平均		MWD/T	-	-	-	-	-	-	-	-	
積算中性子照射量	E _n ≥0.1MeV	ポイント最大	×10 ²⁰ n/cm ²	29.8	75.8	123	168	212	257	302	346	348
		集合体平均	×10 ²⁰ n/cm ²	25.0	63.4	103	141	177	215	253	290	292
	Total	ポイント最大	×10 ²⁰ n/cm ²	53.5	136	221	303	382	464	546	626	631
		集合体平均	×10 ²⁰ n/cm ²	46.0	116	190	260	328	399	470	539	543
線 出 力	BCO	ポイント最大	W/cm	-	-	-	-	-	-	-	-	
		集合体平均	W/cm	-	-	-	-	-	-	-	-	
	EOC	ポイント最大	W/cm	-	-	-	-	-	-	-	-	
		集合体平均	W/cm	-	-	-	-	-	-	-	-	
被覆管最高温度	BOC		℃	-	-	-	-	-	-	-	-	
	EOC		℃	-	-	-	-	-	-	-	-	
燃料最高温度	BOC		℃	-	-	-	-	-	-	-	-	
	EOC		℃	-	-	-	-	-	-	-	-	
集合体出口温度	BOC		℃	475	498	498	498	498	498	497	497	501
	EOC		℃	475	499	500	499	499	499	499	499	502
ピーキング係数	BOC	径 方 向	-									
		軸 方 向	-	1.171	1.181	1.178	1.167	1.166	1.166	1.166	1.168	1.168
	EOC	径 方 向	-									
		軸 方 向	-	1.171	1.174	1.169	1.161	1.160	1.160	1.162	1.162	1.168
冷却材流量	BOC		kg/sec	0.18	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	
	EOC		kg/sec	0.18	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	
備 考												

Table II Reflector Bowing

Position	design	bowing ^{注)}	direction ^{注)}
at middle pad	≤ 1.3 mm	0.5mm	79°
		0.7mm	154°
at upper pad	≤ 3.4 mm	1.3mm	65°
		6.3mm	192°

注 上段：製造時データ

下段：照射後データ

Table III Diameter Changes of the Element
by a Toolsetting Gauge

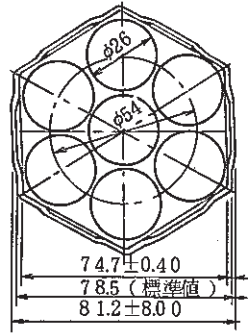
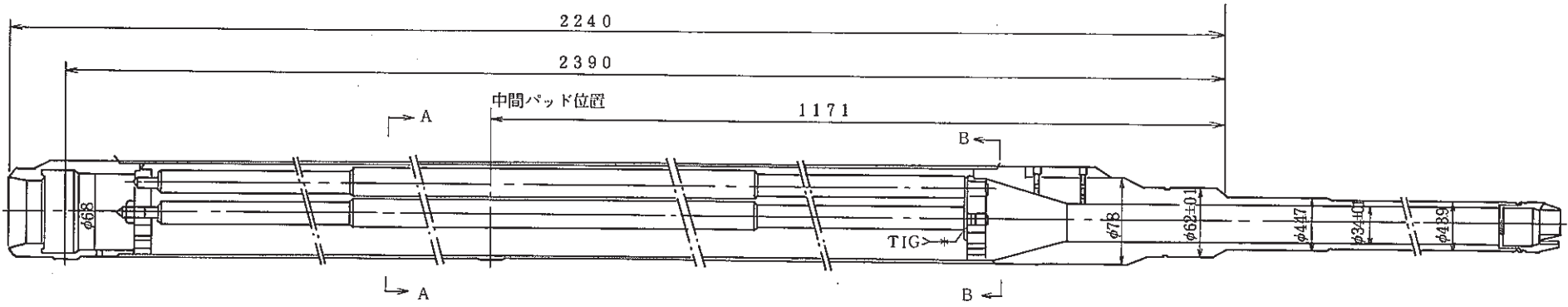
direction	P I E		※2 FAB (mm)
	radius(mm)	※1 diameter(mm)	
0°	13.07	26.16	26.1
90°	13.07		
180°	13.08		
270°	13.09		

※1 平均値(誤差±0.01mm)

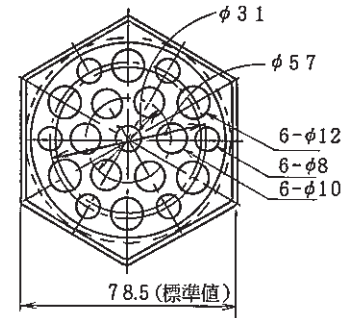
※2 ノギスによる測定

Table IV Density Change of the Element

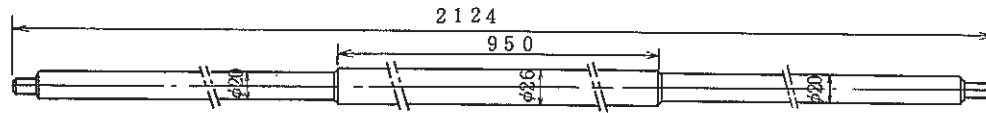
試験片 No.	密度平均値 (g/cm ³)	スエリング (%)	下端からの軸位値 (mm)	備 考
950131	7.863	0.32	1106~1136	スエリング[%] $= \frac{\rho_a - \rho_b}{\rho_a} \times 100$ ρ_a : 未照射材 (g/cm ³) ρ_b : 照射材 (g/cm ³)
950151	7.826	0.79	846~876	
950171	7.880	0.10	586~616	
未照射材	7.888	—	—	



断面 A-A



断面 B-B



反射体要素

Fig. 1 Schematic View of Reflector

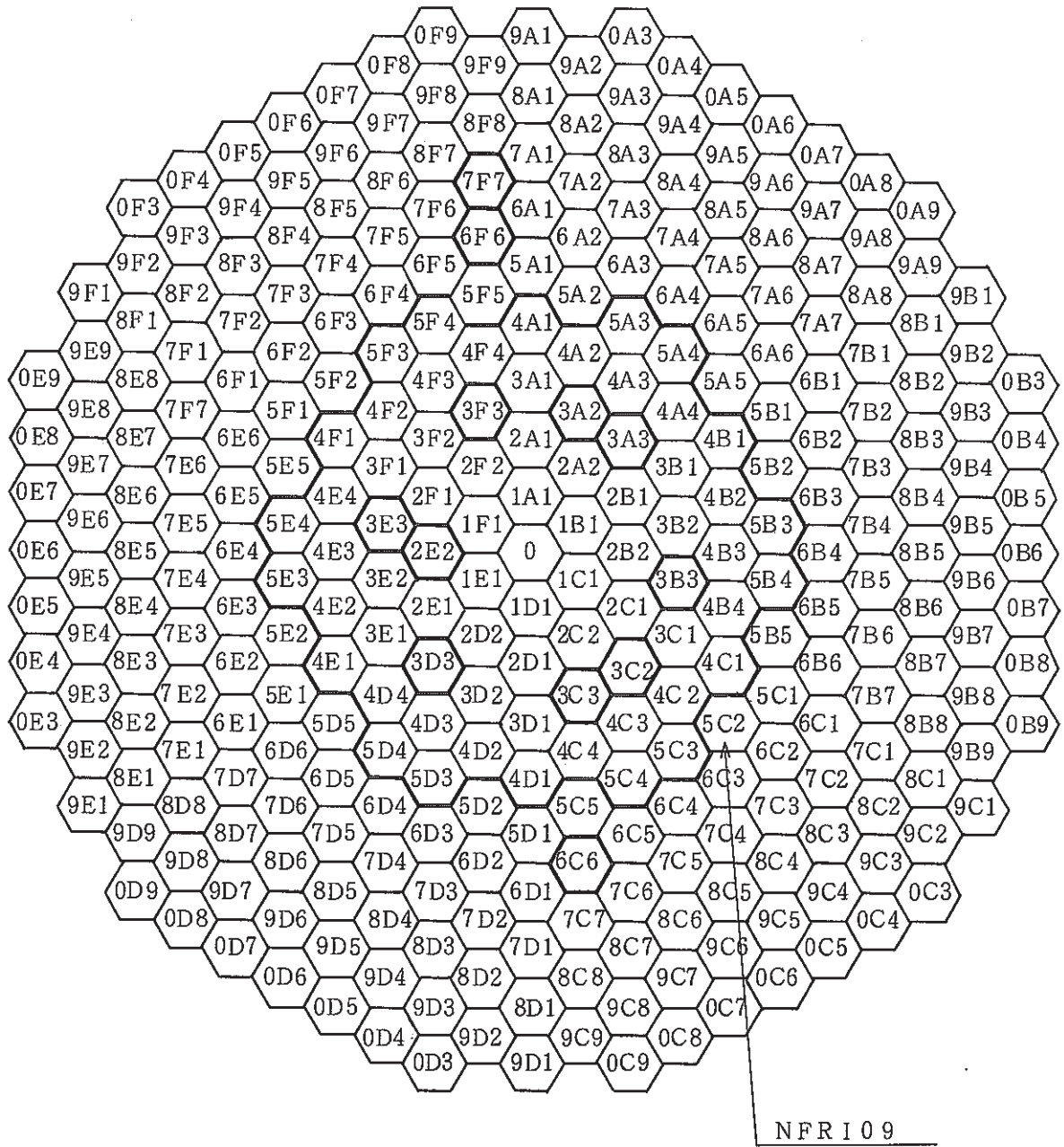


Fig. 2 In Reactor Location of Reflector (NFR109)

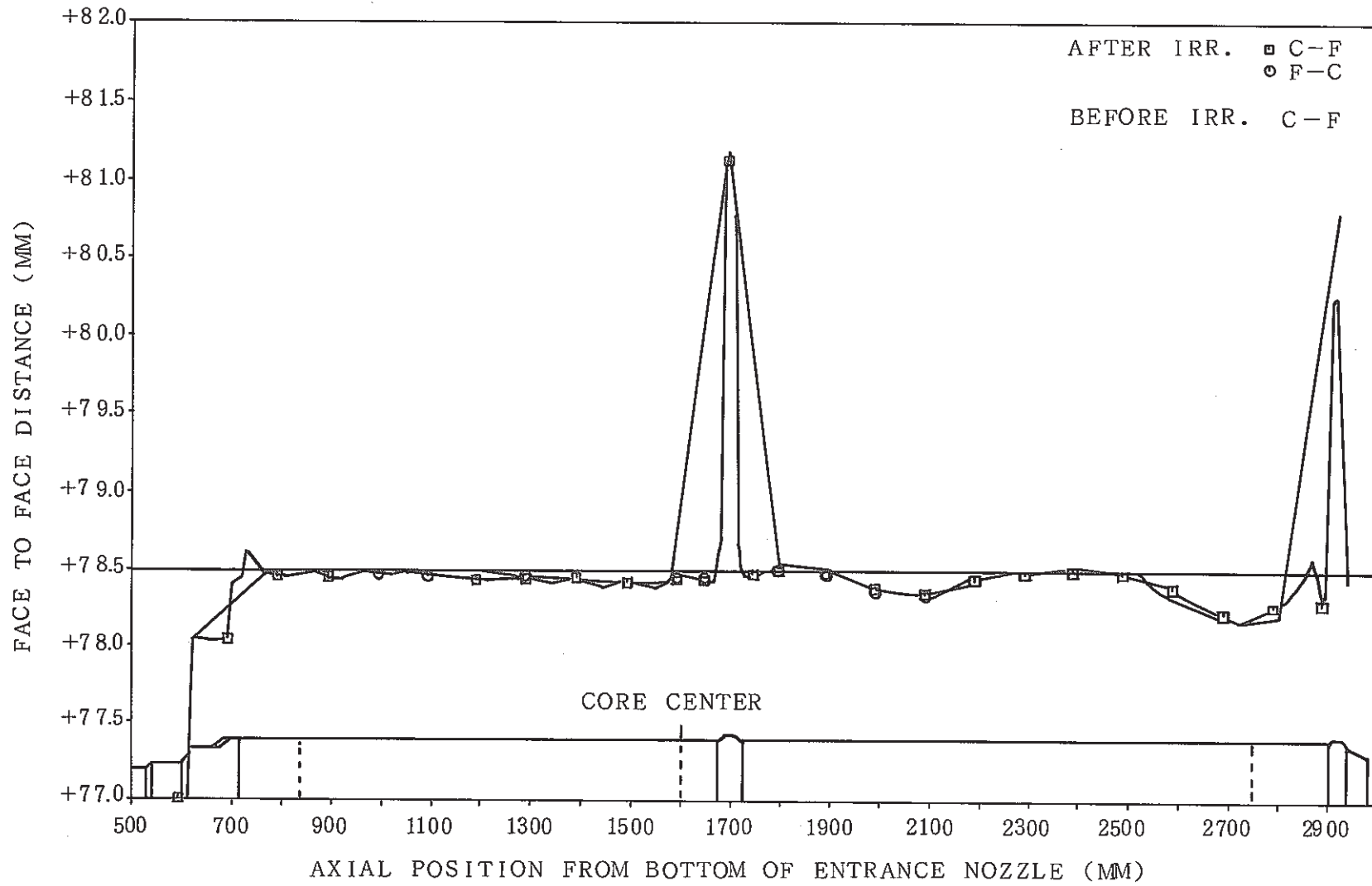


Fig. 3 Axial profile of Face to Face Distance (face C-F)

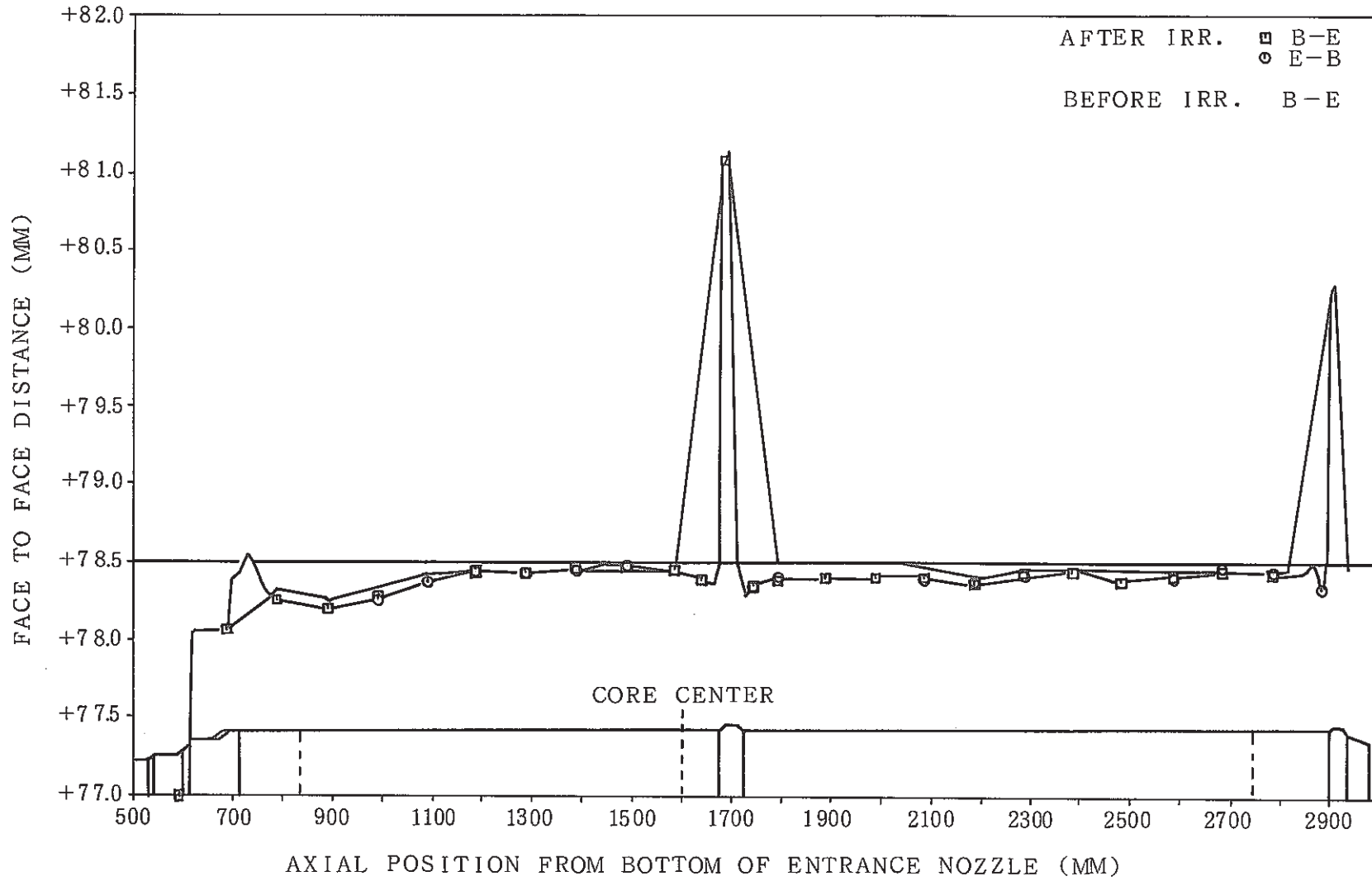


Fig. 4 Axial profile of Face to Face Distance (face B-E)

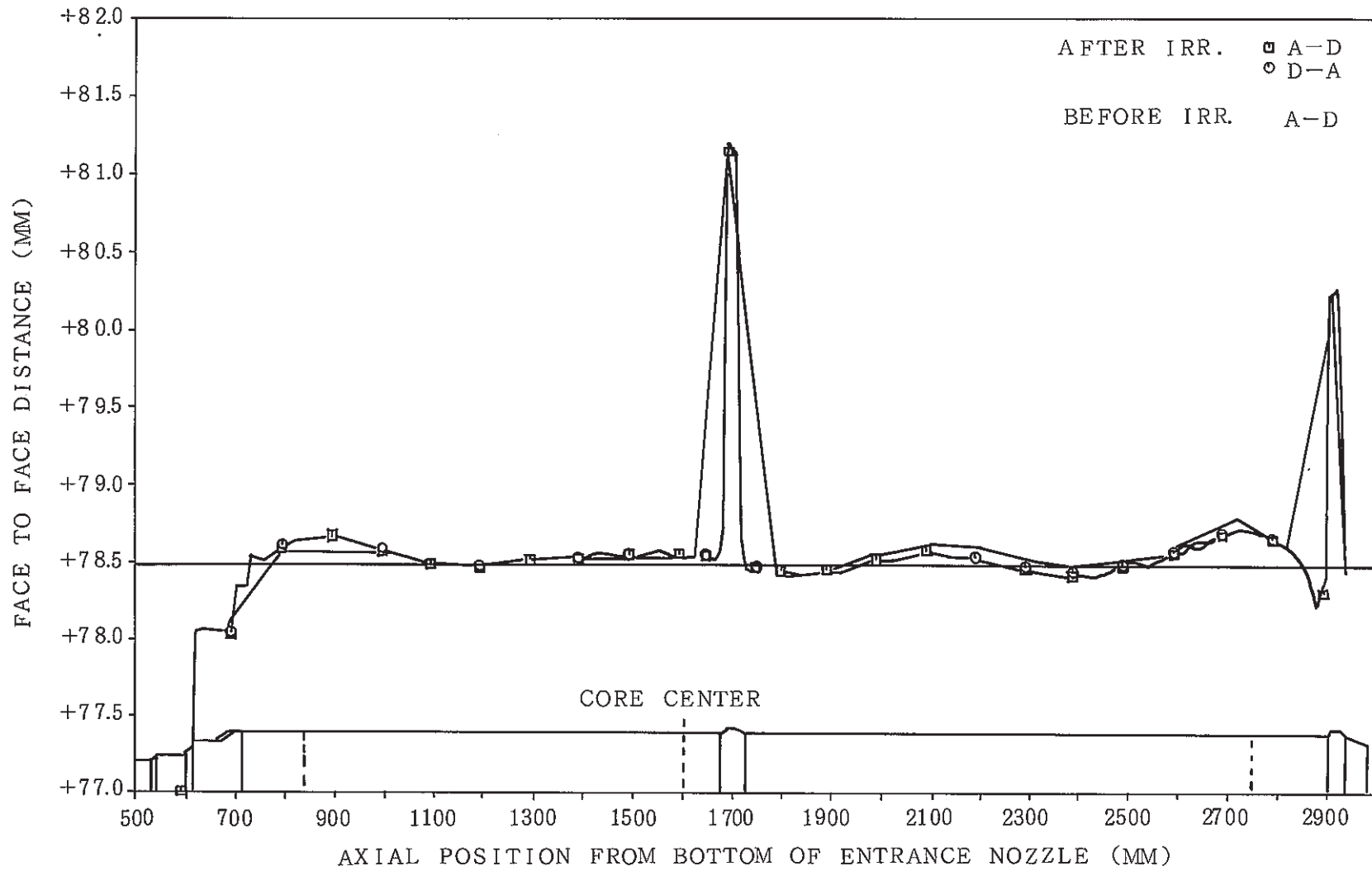


Fig. 5 Axial profile of Face to Face Distance (face A-D)

NFRI09



FACE F

F861003

Photo.1 Visual Inspection of Reflector

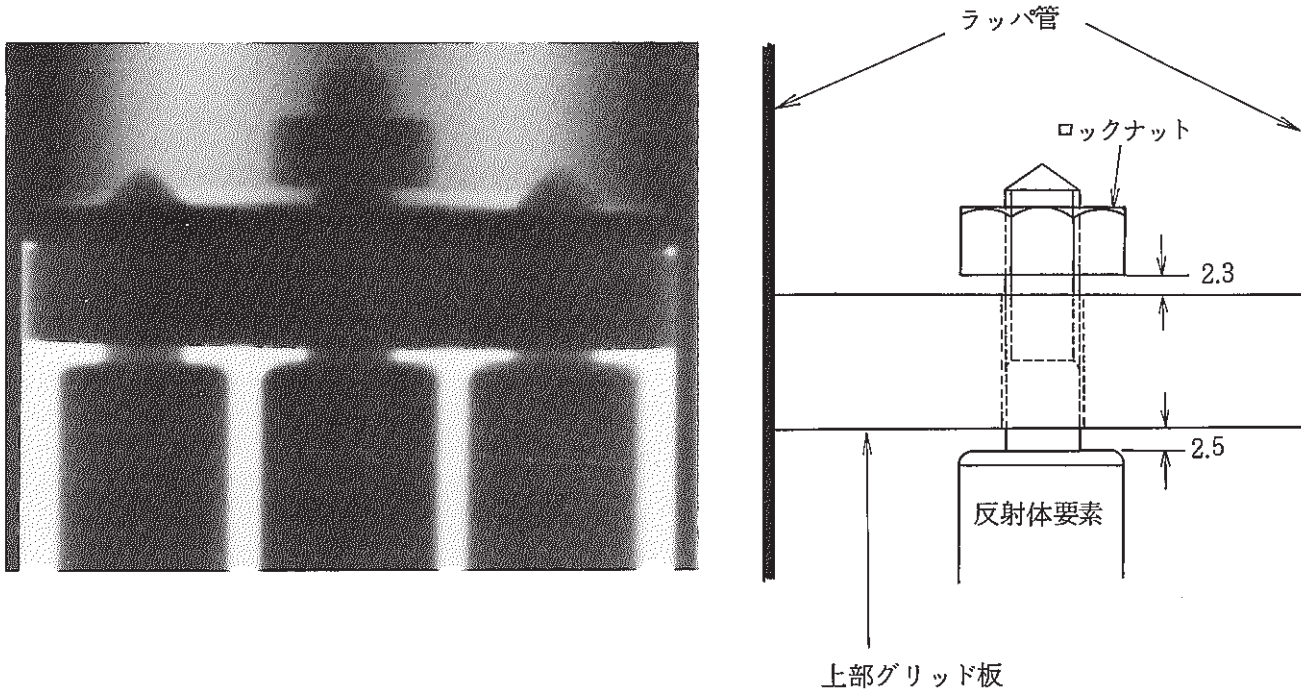
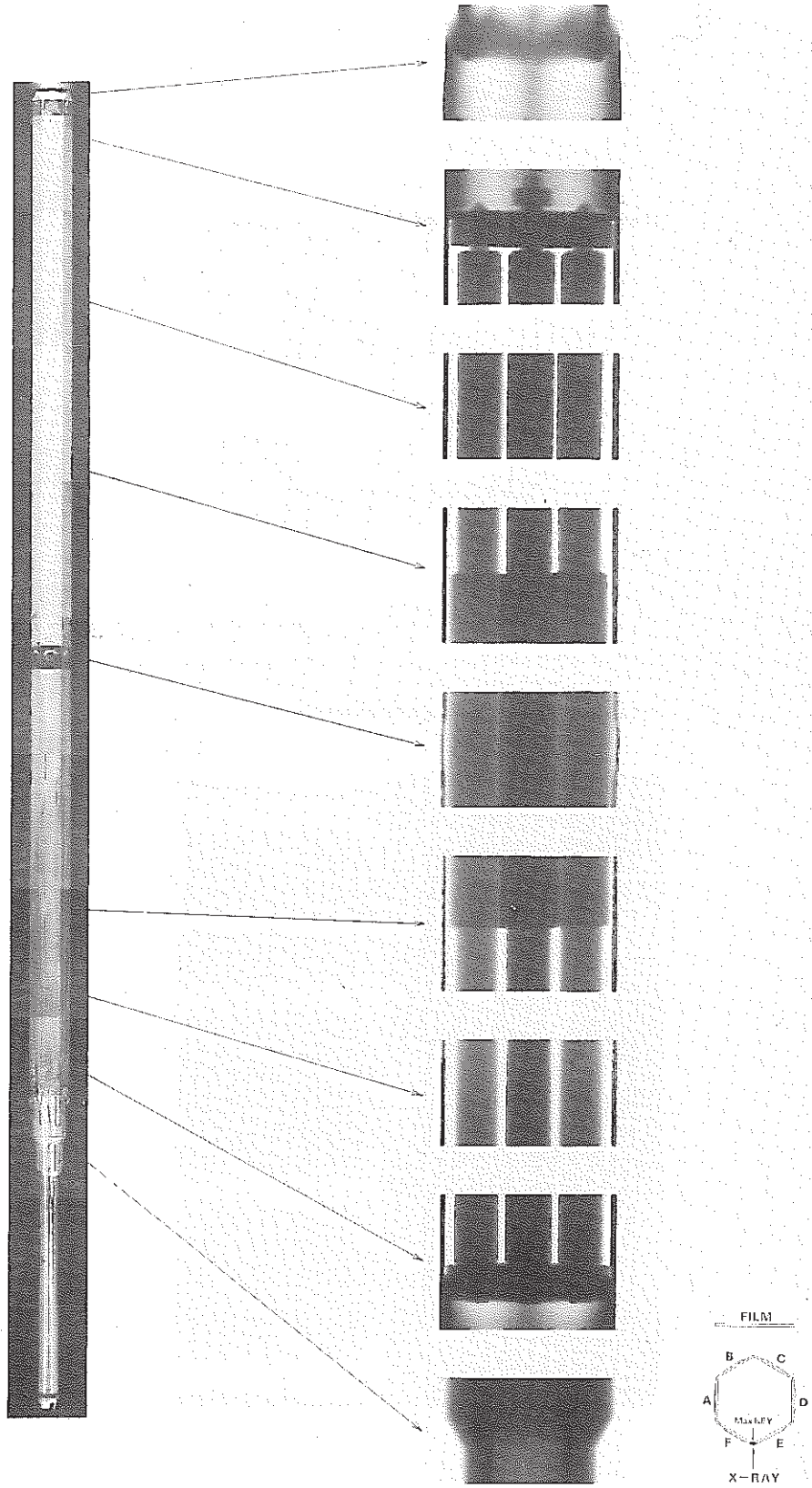


Photo.2 X-ray Radiography of Reflector (Upper grid)

NFRI09



F862005

Photo.3 X-ray Radiography of Reflector