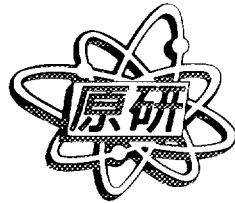


JAERI-Data/Code
98-002



JP9805002



高燃焼度PWR燃料の照射後試験データ
[燃料棒：B15 (燃料集合体：NO1G13)]

1998年2月

土内義浩*・石島清見・山原 武

29 - 29

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

R

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1998

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

高燃焼度PWR燃料の照射後試験データ
[燃料棒:B15 (燃料集合体:NO1G13)]

日本原子力研究所東海研究所安全試験研究センター原子炉安全工学部
土内 義浩*・石島 清見・山原 武

(1998年1月6日受理)

本報告書は、NSRRでのパルス照射実験の供試燃料棒として、関西電力株式会社より日本原子力研究所に譲渡された照射済燃料棒B15(燃料集合体:NO1G13)に関するもので、大飯1号機における照射試験の後に実施された燃料検査の結果についてとりまとめたものである。当該燃料棒は、軽水炉燃料挙動に対する高燃焼度化の影響を評価するため、関西電力株式会社をはじめとするPWR5電力と原子燃料工業株式会社の共同研究として大飯1号機48MWd/kgU先行照射試験において照射された燃料棒の中の本一本である。燃料棒平均燃焼度は43.5MWd/kgUと評価されている。電力共同研究の一環として、照射試験に引き続き、B15燃料棒を含む12本の燃料棒に対して、日本原子力研究所の燃料試験施設において照射後試験が実施された。B15燃料棒に対しては、非破壊試験(①燃料棒外観検査、②燃料棒寸法測定、③渦電流探傷試験、④酸化膜厚さ測定試験)および破壊試験(⑤パンクチャーテスト)が実施された。

電力共同研究では、これらの燃料検査結果を含めた種々の照射後試験データが評価され、高燃焼度燃料の燃料挙動は設計において認められている範囲内であったことが報告されている。

Post Irradiation Examination Data of High Burnup PWR Fuel Rod
[Rod No.: B15 (Assembly No.: NO1G13)]

Yoshihiro TSUCHIUCHI*, Kiyomi ISHIJIMA and Takeshi YAMAHARA

Department of Reactor Safety Research
Nuclear Safety Research Center
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 6, 1998)

This report presents the results of post irradiation examinations for PWR fuel rod B15 (17x17 type) in fuel assembly NO1G13. The fuel rod was irradiated in Ohi unit #1 of the Kansai Electric Power Co., Inc.. Post irradiation tests were conducted in Reactor Fuel Examination Facility of JAERI. These tests were performed in lead use program of high burnup fuel under the collaboration of the five PWR utilities including the Kansai Electric Power Co., Inc. and Nuclear Fuel Industries, LTD. Average burnup of B15 fuel rod was estimated 43.5 MWd/kgU. PIE items were (1) visual observation, (2) dimensional measurement of fuel rod, (3) eddy current test, (4) oxide film thickness measurement and (5) gas puncture test.

Keyword: PWR, Fuel Behavior, High Burnup, Irradiated Fuel, PIE

* On leave from Nuclear Fuel Industries, LTD.

目 次

1. はじめに	1
2. 大飯1号機 48MWd/kgU 先行照射試験.....	3
3. 照射後試験データ	8
4. まとめ	21
謝 辞.....	21
付録 本文の英訳.....	22

Contents

1. Introduction	1
2. 48 MWd/kgU Irradiation Test in Lead Use Program in Ohi Unit 1	3
3. Test Results	8
4. Summary	21
Acknowledgment	21
Appendix English Translations of Sections 1 through 4	22

**NEXT PAGE(S)
left BLANK**

掲載図表一覧

- 表 1 17×17 型高燃焼度 PWR 燃料の仕様
- 表 2 NO1G13 集合体の照射履歴
- 表 3 NO1G13 集合体内燃料棒の燃焼度
- 表 4 試験燃料棒の照射後試験項目
- 表 5 B15 燃料棒の照射履歴
- 表 6 パンクチャー試験結果
- 図 1 NO1G13 集合体の炉心装荷経路
- 図 2 NO1G13 燃料集合体内の試験燃料棒位置
- 図 3 試験燃料棒の外観写真
- 図 4 試験燃料棒外径プロファイル[0° 方向]
- 図 5 試験燃料棒外径プロファイル[45° 方向]
- 図 6 試験燃料棒外径プロファイル[90° 方向]
- 図 7 試験燃料棒外径プロファイル[135° 方向]
- 図 8 渦電流探傷試験結果
- 図 9 被覆管表面酸化膜厚さ軸方向分布[0° 方向]
- 図 10 被覆管表面酸化膜厚さ軸方向分布[90° 方向]
- 図 11 被覆管表面酸化膜厚さ軸方向分布[180° 方向]
- 図 12 被覆管表面酸化膜厚さ軸方向分布[270° 方向]

List of Tables and Figures

- Table 1 The Specifications of the 17x17 PWR High Burnup Fuel Rod
- Table 2 Irradiation History of the NO1G13 Assembly
- Table 3 Burnup of Fuel Rods in the NO1G13 Assembly
- Table 4 PIE Items for Test Fuel Rods
- Table 5 Irradiation History of the B15 Fuel Rod
- Table 6 Result of Puncture Test
- Fig. 1 Core Loading Position of NO1G13 Fuel Assembly
- Fig. 2 Fuel Rod Locations in NO1G13 Fuel Assembly
- Fig. 3 Visual Appearance of Test Fuel Rod
- Fig. 4 Outer Diameter of Fuel Rod [0 degree direction]
- Fig. 5 Outer Diameter of Fuel Rod [45 degree direction]
- Fig. 6 Outer Diameter of Fuel Rod [90 degree direction]
- Fig. 7 Outer Diameter of Fuel Rod [135 degree direction]
- Fig. 8 Result of Eddy Current Test
- Fig. 9 Axial Distribution of Oxide Film Thickness [0 degree direction]
- Fig. 10 Axial Distribution of Oxide Film Thickness [90 degree direction]
- Fig. 11 Axial Distribution of Oxide Film Thickness [180 degree direction]
- Fig. 12 Axial Distribution of Oxide Film Thickness [270 degree direction]

1. はじめに

NSRRでは燃焼の進んだ軽水炉燃料の反応度事故時の挙動を調べるために、照射済燃料を使用したパルス照射試験を実施している。その中で、軽水炉燃料実験は、実炉で所定の燃焼度まで照射された長尺の燃料を短尺加工したものを使用する。約40MWd/kgUの燃焼度まで照射したPWR燃料の実験として、美浜燃料(MH-1~3)実験、玄海燃料(GK-1,2)実験、大飯燃料(OI-1,2)実験を実施してきたが、平成4年度からは、将来の高燃焼度実用化に備え、反応度事故時の燃料挙動や破損しきい値に対する高燃焼度化の影響を解明するために、高燃焼度燃料のパルス照射実験を開始した。

パルス照射実験は、まず、大飯1号機における48GWd/t先行照射試験に使用された三菱原子燃料製(以降、A型)PWR燃料について実施した(HBO-1~HBO-4実験)。これらの実験のうち、1回のパルス照射試験においては、燃料棒が破損に至り、破損時発熱量は約60cal/g・fuelと評価された。これは、反応度投入事象時の照射済燃料の破損目安値(～85cal/g・fuel)を下回る値である。このことから、高燃焼度まで照射された燃料では破損しきい値が低下する可能性があることが示唆された。また、被覆管の腐食に伴う吸収水素が水素化物として表面近傍に集積することと比較的低い発熱量での被覆管の破損とは密接に関係していることが、その後の照射後試験により明らかになってきた。そこで、腐食や水素化物析出による被覆管脆化の程度と反応度事故時の燃料棒の健全性の関係に着目したパルス照射実験及び評価をさらに実施する必要性が高まった。このような背景のもとで、Table 1に示すように、A型PWR燃料と比べ、被覆管肉厚等の燃料設計が多少異なる原子燃料工業製(以降、B型)PWR燃料についてもパルス照射実験を開始した。当実験で用いられた照射済燃料はA型燃料と同様に、大飯1号機における48MWd/kgU先行照射試験に使用されたものである。当先行照射試験は、関西電力株式会社をはじめとするPWR5電力会社と燃料メーカーである原子燃料工業株式会社の共同研究「燃料の高燃焼度利用に関する研究」として実施されたものである。

本報告書は、電共研データのうち、パルス照射試験燃料を採取したマザー燃料棒に対する照射後燃料検査結果について報告するものである。

Table 1 The Specifications of the 17x17 PWR High Burnup Fuel Rod

Item (Manufacturer)	A type (Mitsubishi)	B type (NFI)
Fuel Rod		
Fuel Pellet		
Material	UO ₂	←
²³⁵ U Enrichment / wt%	3.2	←
Density	95%T.D.	←
Diameter / mm	8.19	8.05
Height / mm	13.5	9
Shape	Dished	Dished, Chamfered
Cladding tube		
Material	1.5wt%Sn-Zry-4	←
Outer Diameter / mm	9.50	←
Inner Diameter / mm	8.36	8.22
Plenum		
Position	Upper	Upper, Lower
Fill Gas	He:35kg/cm ² Air:1kg/cm ²	He:33kg/cm ²
Fuel Assembly		
Configuration	17x17	←
Number of Fuel Rods	264	←
Fuel Rod Length / mm	3,852	←
Fuel Stack Length / mm	3,648	←
Fuel Weight / kg-UO ₂	520	502

2. 大飯1号機 48MWd/kgU 先行照射試験

大飯1号機48MWd/kgU先行照射試験は、日本国内におけるPWR燃料の高燃焼度化に向けた最初の試験であり、従来の燃焼度制限(集合体取出平均燃焼度:39MWd/kgU)の下に設計された燃料集合体を照射期間延長によって高燃焼度に導いた少数体照射試験である。これらの燃料は、A型、B型ともに、17×17型の設計を有し、大飯1号機において先行照射された。先行照射を終えた燃料は、所期の性能及び健全性を確認するため照射に引き続き、日本原子力研究所の実用燃料試験施設へ輸送され、詳細な照射後試験が実施された。この照射後試験により、燃料の照射挙動は従来の燃焼度制限の下に設計されたものの延長上にあることが確認された。

照射試験に供された集合体NO1G13の炉心装荷位置及び燃焼度履歴をそれぞれFig. 1、Table 2に示す。集合体の取出平均燃焼度は44.7MWd/kgUであった。Fig. 2に集合体内装荷位置を示す12本の燃料棒が照射後試験の対象として選定され、集合体より引き抜かれた。各燃料棒の燃焼度をTable 3に示す。照射後試験項目とその対象燃料棒をTable 4に示すように、非破壊試験とパンクチャーテストは12本の燃料棒すべてについて実施され、その他の破壊試験は3本の燃料棒に対して実施された。

NSRRにおけるパルス照射実験に供するための試験燃料として、破壊試験対象外の燃料棒B15(電力共同研究呼称:No.8燃料棒)が、関西電力株式会社より日本原子力研究所へ譲渡された。当該燃料棒の照射履歴をTable 5に示す。燃料棒平均燃焼度は43.5 MWd/kgUと評価されている。

Table 2 Irradiation History of the NO1G13 Assembly

Irradiation Cycle	4	5	6	7
Period of Irradiation* ¹	1982.12.18~	1984.4.14~	1985.8.26~	1986.12.25~
	1983.11.1	1985.4.1	1986.7.11	1987.12.18
Average Assembly burnup / MWd/kgU	7.6	20.6	33.1	44.7

*1 Reference: Agency of Natural and Energy Agency, "Annual Report of Operation and Management of Nuclear Power Plant for FY1988."

Table 3 Burnup of Fuel Rods in the NO1G13 Assembly

Fuel Rod No.	Burnup / MWd/kgU	Position
1	47.5	(M,14)
2	47.5	(N,13)
3	47.3	(E,14)
4	47.0	(L,13)
5	45.0	(M,08)
6	44.9	(J,10)
7	44.2	(Q,12)
8	43.5	(B,15)
9	43.3	(A,15)
10	43.3	(Q,17)
11	42.2	(A,01)
12	42.0	(B,02)

Table 4 PIE Items for Test Fuel Rods

Fuel Rod No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Non Destructive Test												
Visual Appearance	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Analysis of Crud	1	1										
Dimensional Measurement	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gamma-ray Scanning	1	1	1		1		1			1		
Eddy Current Test	1	1	1					1	1			
Oxide Film Thickness Measurement				1	1	1	1	1	1	1	1	1
X-ray Radiography	1	1	1									
Destructive Test												
Puncture Test	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
(Cutting for D. T.)	1	1	1									
Metallography	4	2	2									
Burnup Analysis	1	1										
Micro Gamma-ray Scanning	2	2										
Out Gas Analysis	1	1										
Measurement of Fuel Pellet Density	4	2	2									
Observation of Cladding I/O Surface	3											
Measurement of ⁵⁴ Mn	2	2										
Hydrogen Analysis for Cladding	2	2	2									
Test for Plenum Spring	2											
XMA for Fuel Pellet	1	1										
Tensile Test for Cladding	1	3	2									
Hardness for Cladding	3											
Burst Test for Cladding	1	3										
SCC Test for Cladding			3									
Wear Depth Measurement	1	1	1									

Table 5 Irradiation History of the B15 Fuel Rod

Irradiation Cycle	4	5	6	7
EFPD ^{*1}	308.6	653.5	962.5	1308.1
Averaged Linear Heat Rate ^{*2} / kW/m	9.9	16.6	17.5	14.9

*1 Issued from the Kansai Electric Power Co., Inc.

*2 Calculated from the values issued from the Kansai Electric Power Co., Inc.

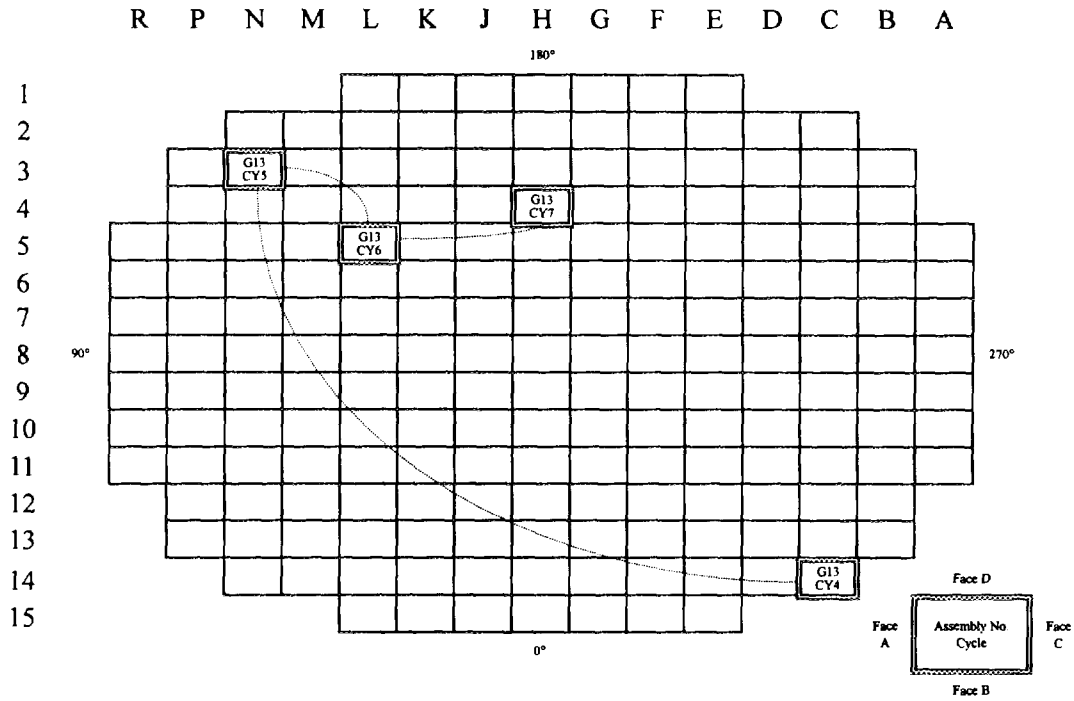


Fig. 1 Core Loading Position of NO1G13 Fuel Assembly

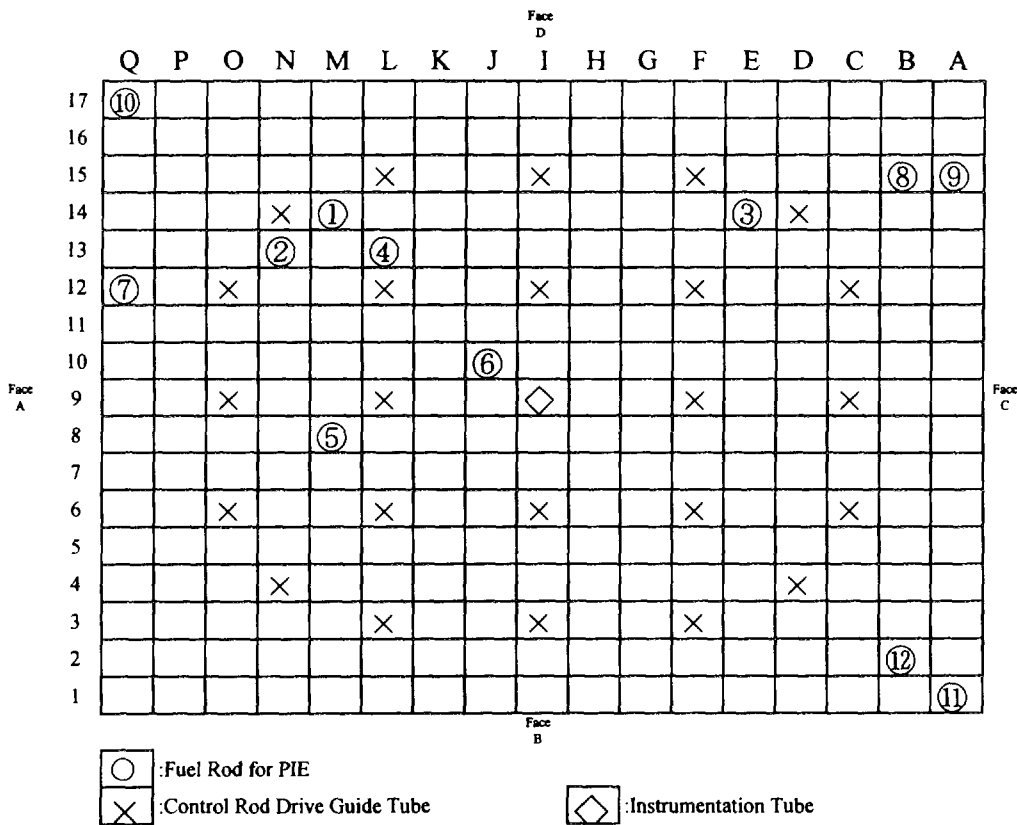


Fig. 2 Fuel Rod Locations in NO1G13 Fuel Assembly

3. 照射後試験データ

電共研において取得された照射後試験データのうち、B15燃料棒の非破壊試験結果及びパンクチャーテストの結果を以下に示す。

(1) 燃料棒外観検査

Fig. 3に代表的な燃料棒外観写真を示す。

(2) 燃料棒寸法測定

燃料棒外径を45° ずつ異なる4つの周方向より測定した結果を、Fig. 4～7に示す。一方、燃料棒の全長は3873.1mmであった。

(3) 渦電流探傷試験

Fig. 8に渦電流探傷試験の測定結果を示す。図中のch.1およびch.2の信号はそれぞれ、被覆管内面の欠陥、外面の欠陥に対応する。いずれの燃料棒についても観察された信号からは、有害な傷は認められなかった。

(4) 酸化膜厚さ測定試験

酸化膜厚さの軸方向分布をFig. 9～12に示す。

(5) パンクチャーテスト

燃料棒内圧、総ガス量及び成分を測定することを目的として実施したパンクチャーテストの結果をTable 6に示す。この結果から、先行照射による燃料棒内へのFPガス放出率は0.78%と評価された。

Table 6 Result of Puncture Test

Item		Result
Gas Volume / cc.STP		524.8
Rod Free Volume / cc		13.1
Gas Pressure / kg/cm ² at 0°C		41.3
Gas Composition / vol.%	O ₂	<0.01
	N ₂	<0.01
	Ar	<0.01
	Kr	0.31
	Xe	2.96
	H ₂	<0.01
	He	97.5
Inventory(Xe+Kr) / cc		2187.5
Fission Gas Volume(Xe+Kr) / cc		17.2
Estimated Release / %		0.78

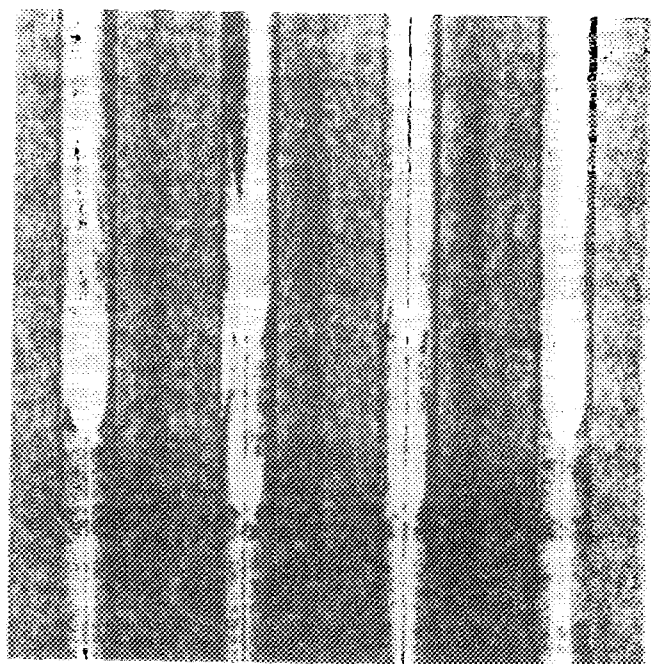


Fig. 3-1 Visual Appearance of Test Fuel Rod (2nd Grid)

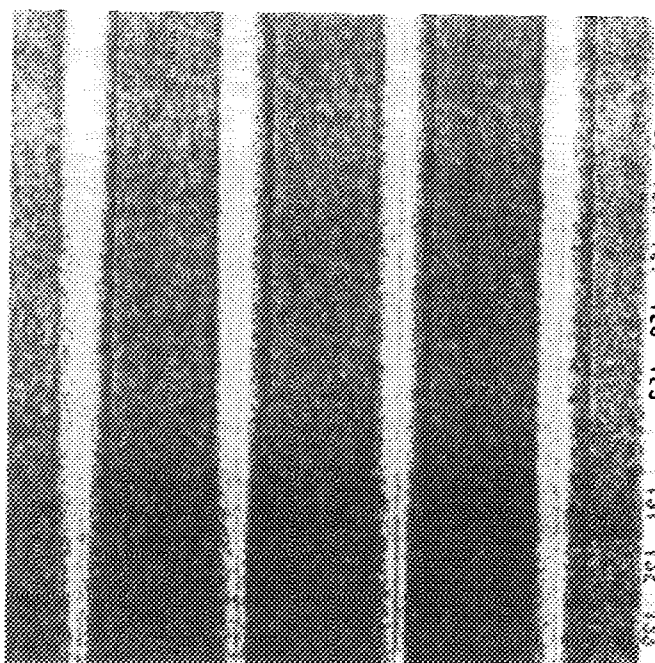


Fig. 3-2 Visual Appearance of Test Fuel Rod (3rd Span)

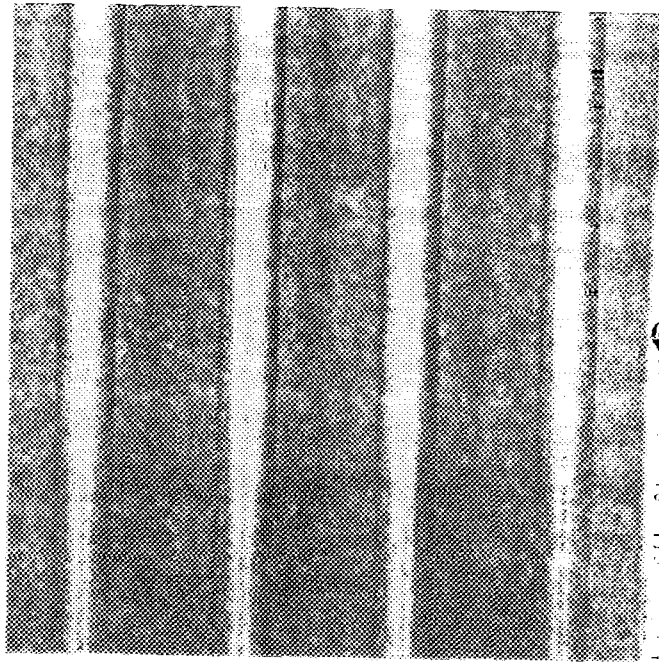


Fig. 3-3 Visual Appearance of Test Fuel Rod (4th Span)

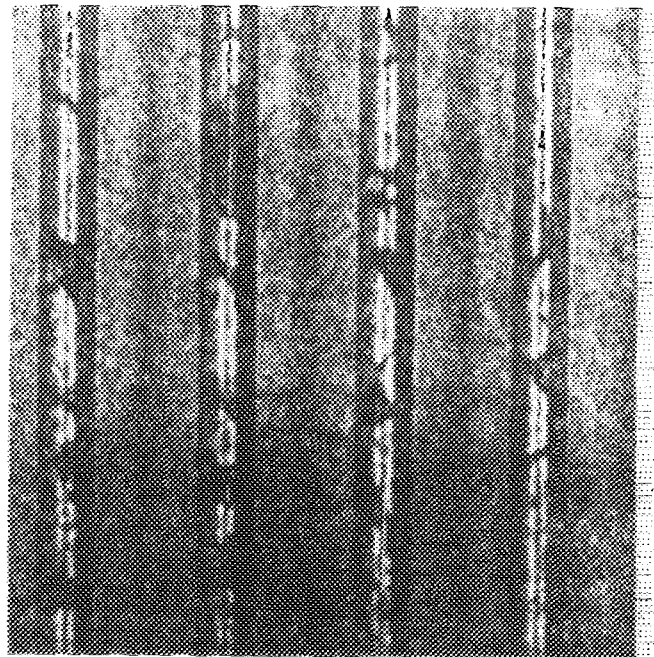


Fig. 3-4 Visual Appearance of Test Fuel Rod (8th Span)

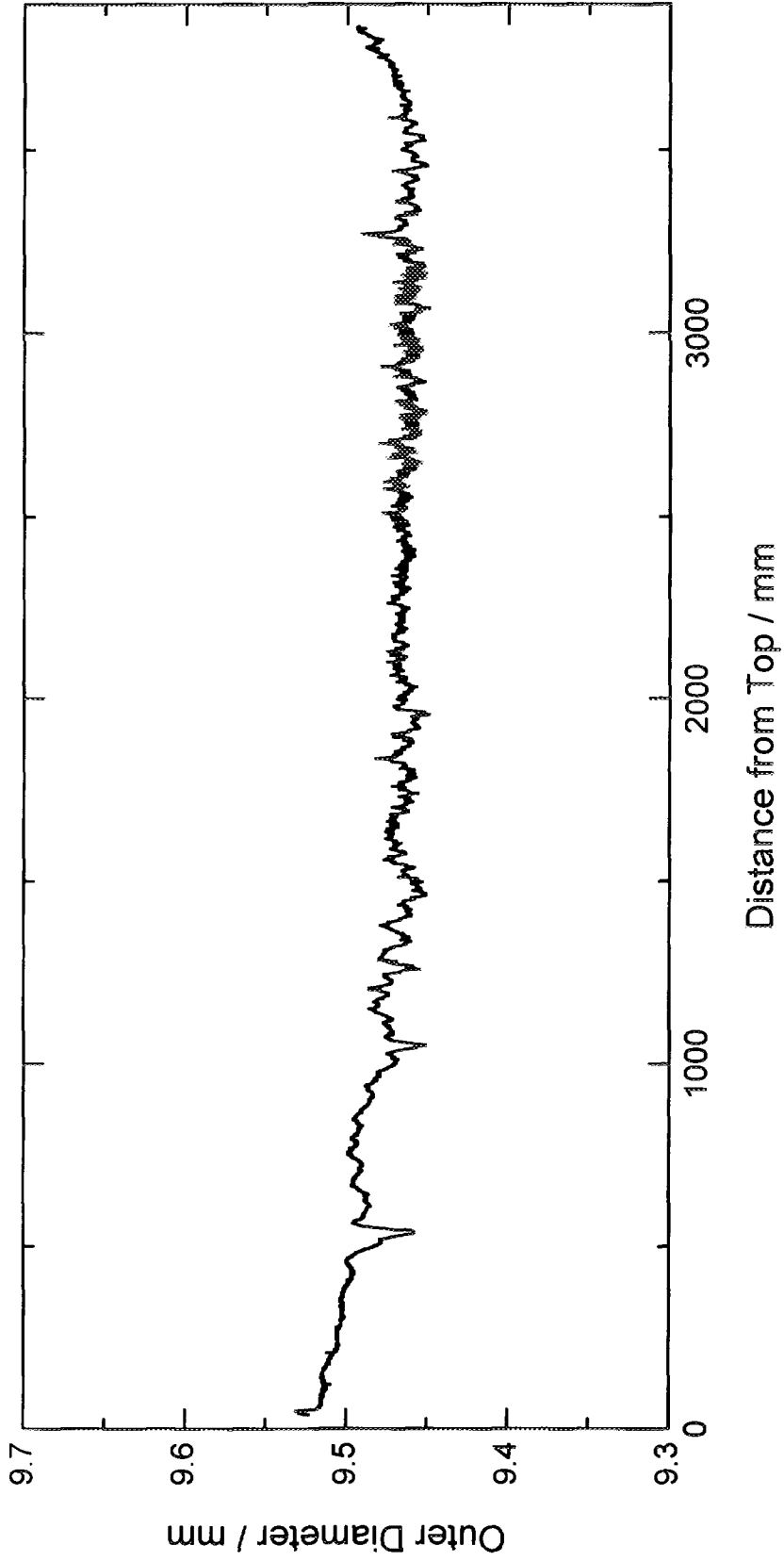


Fig. 4 Outer Diameter of Fuel Rod [0 degree direction]

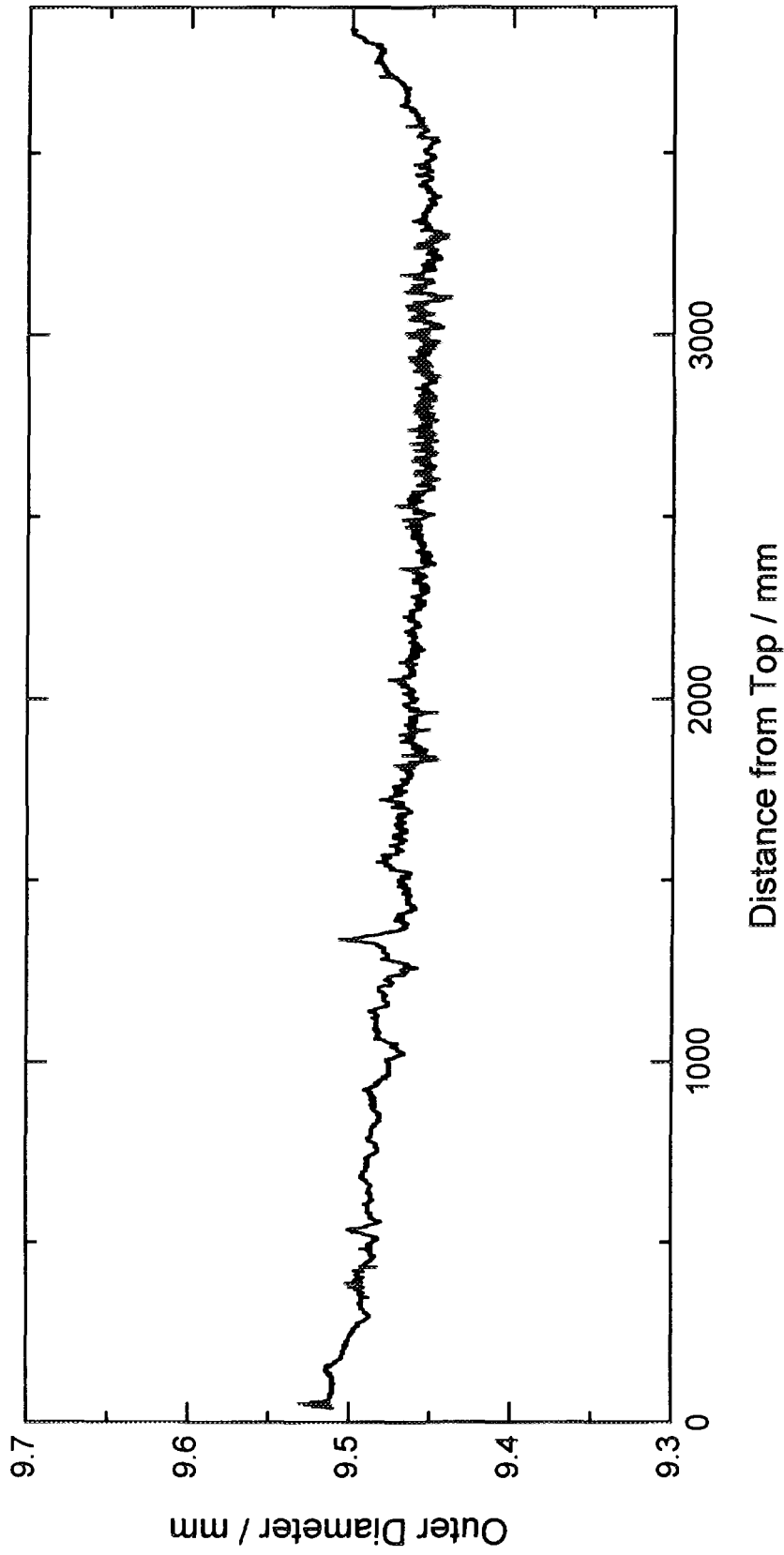


Fig. 5 Outer Diameter of Fuel Rod [45 degree direction]

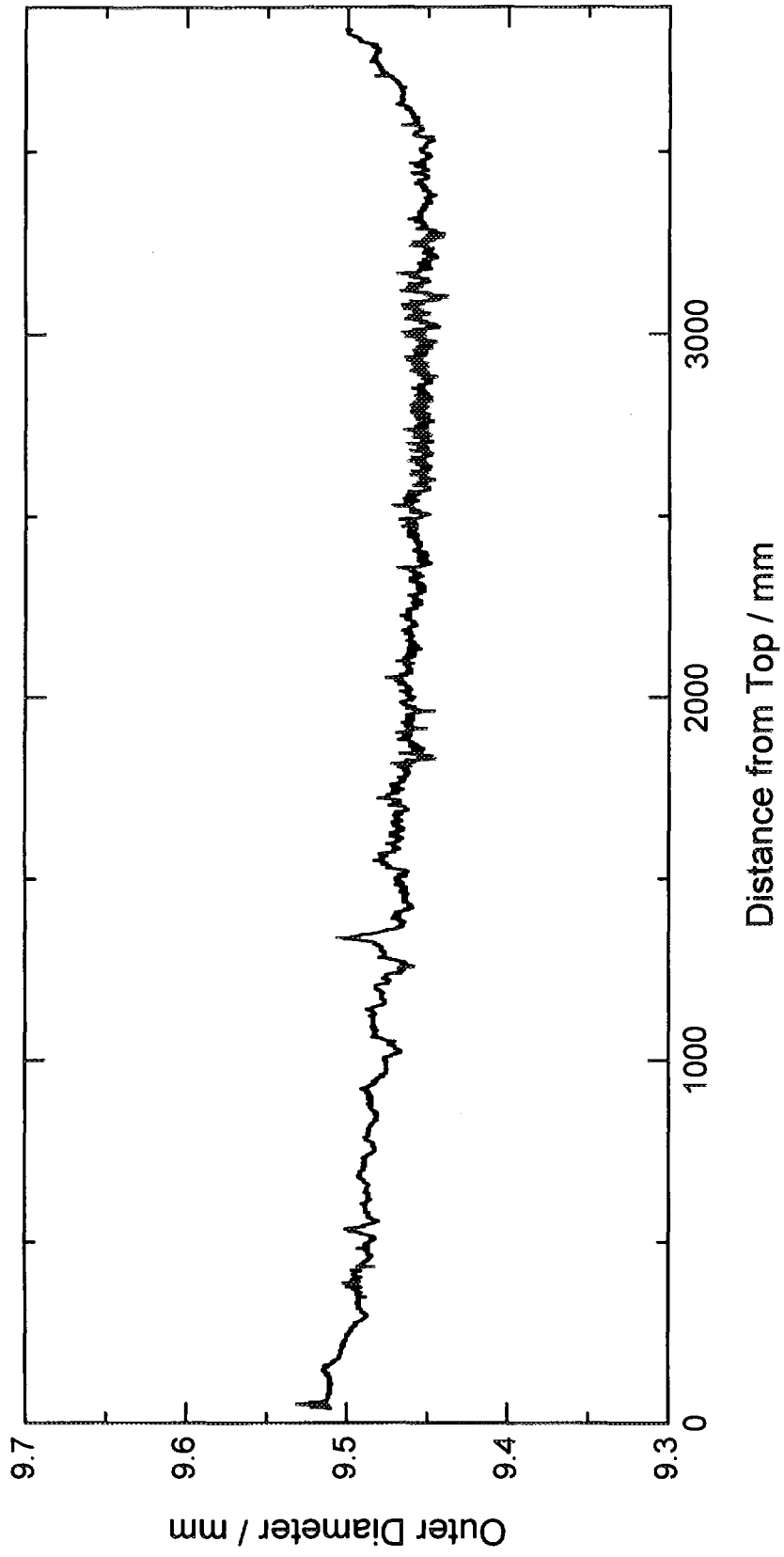


Fig. 6 Outer Diameter of Fuel Rod [90 degree direction]

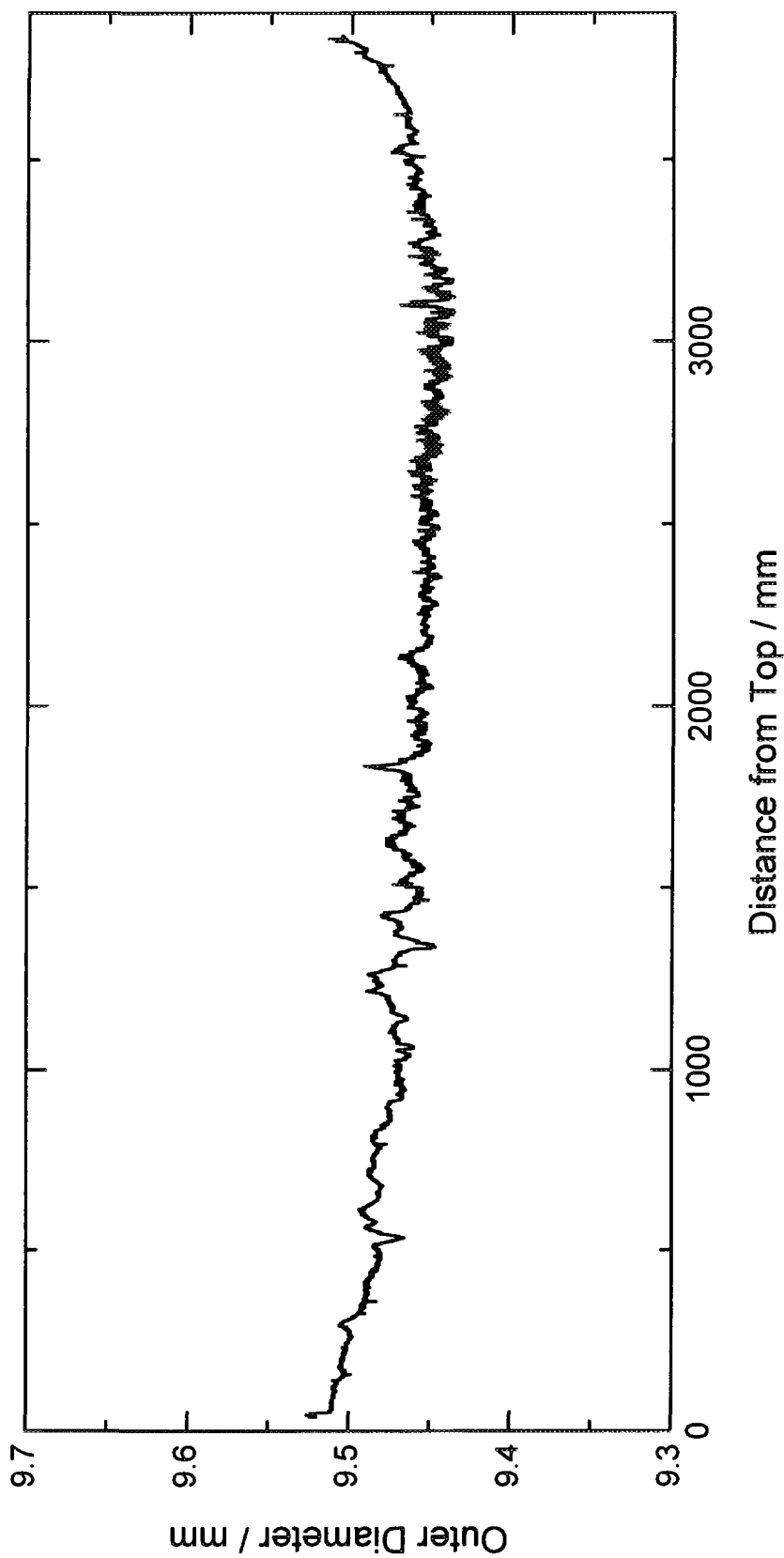


Fig. 7 Outer Diameter of Fuel Rod [135 degree direction]

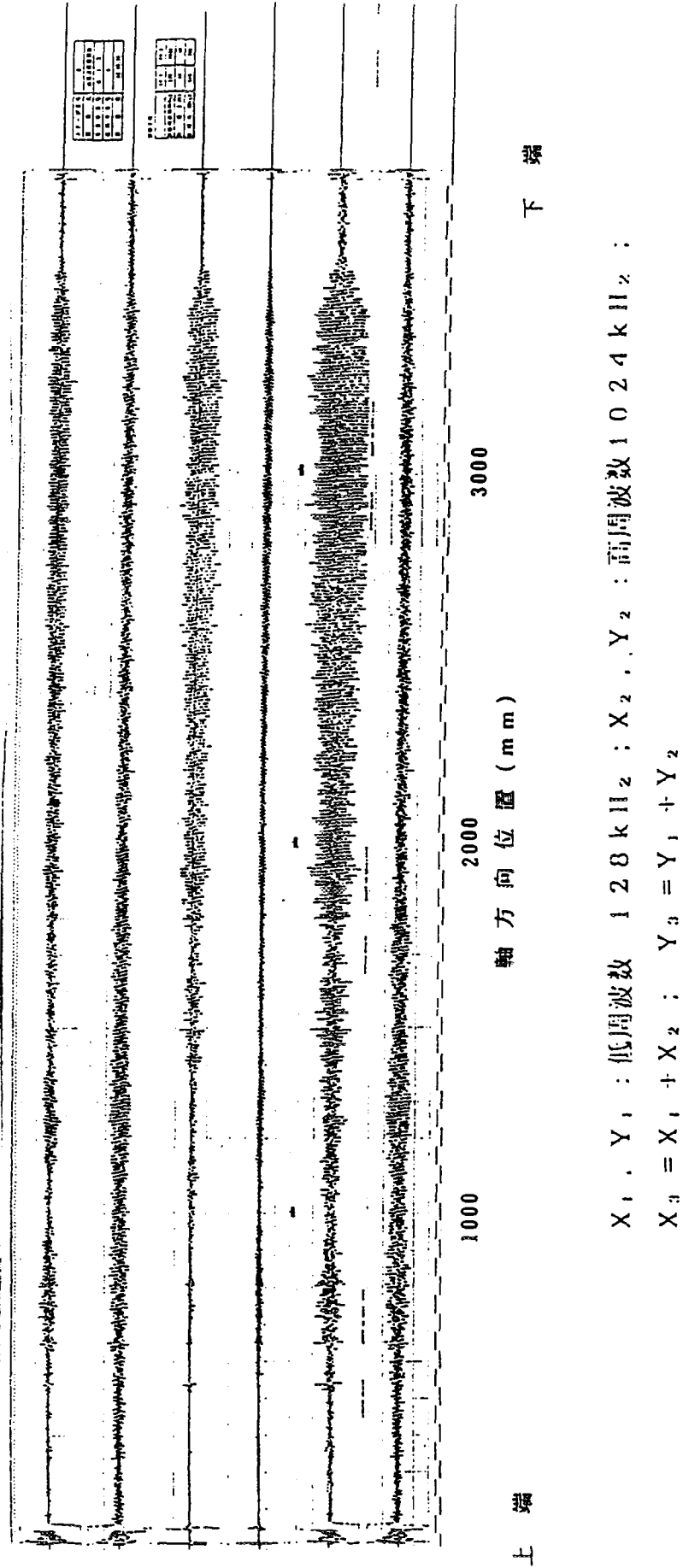


Fig. 8 Result of Eddy Current Test

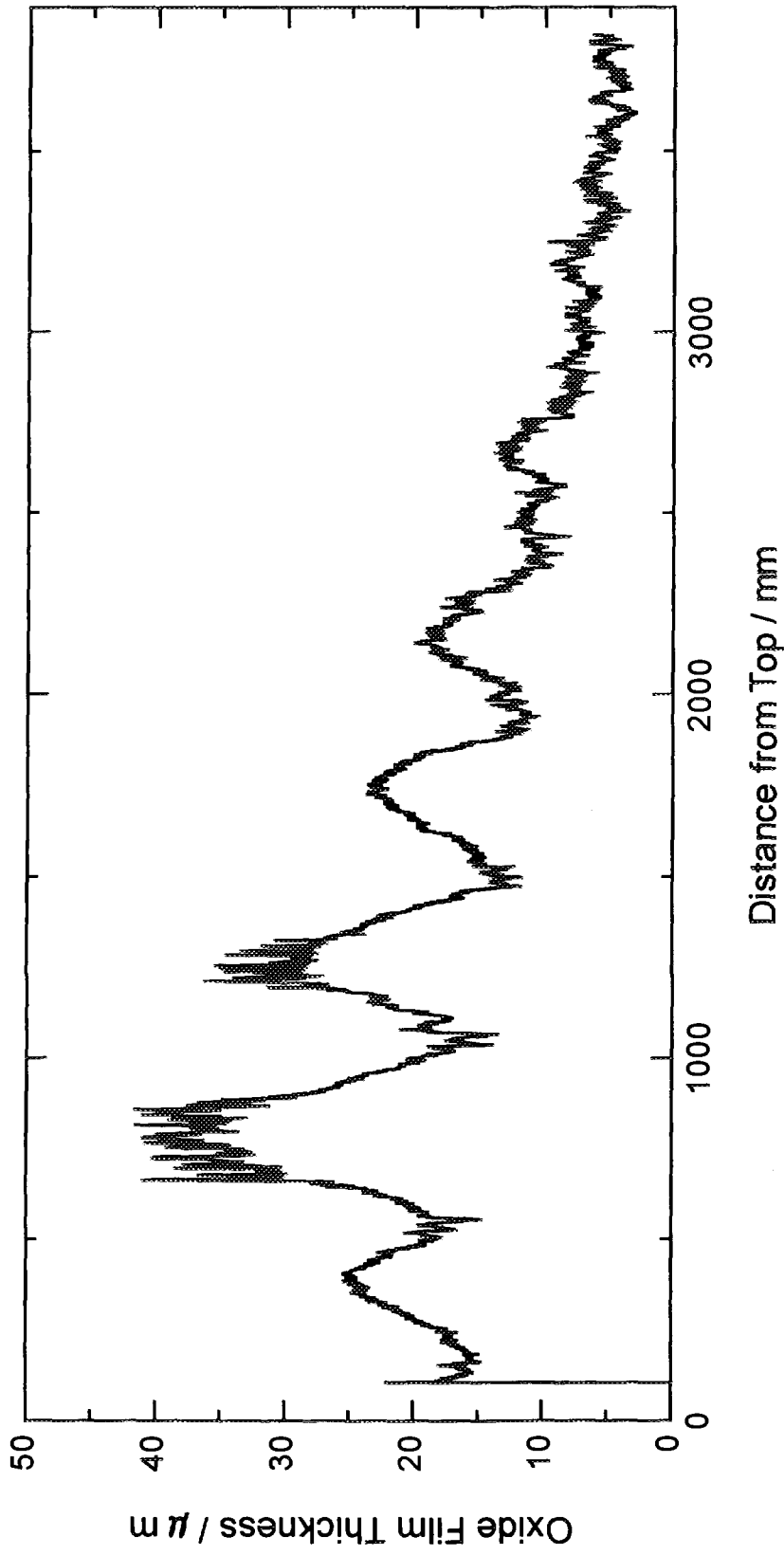


Fig. 9 Axial Distribution of Oxide Film Thickness [0 degree direction]

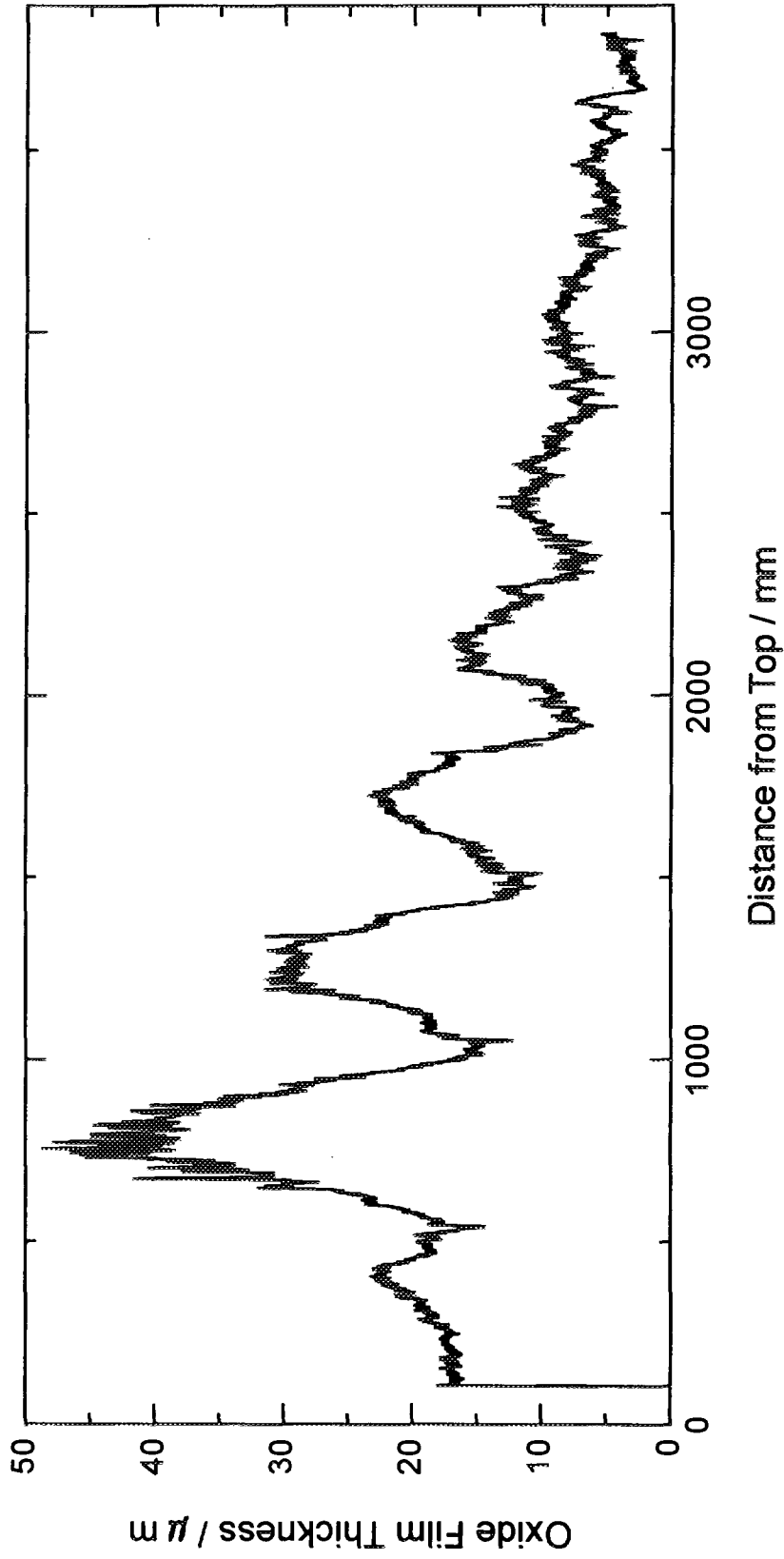


Fig. 10 Axial Distribution of Oxide Film Thickness [90 degree direction]

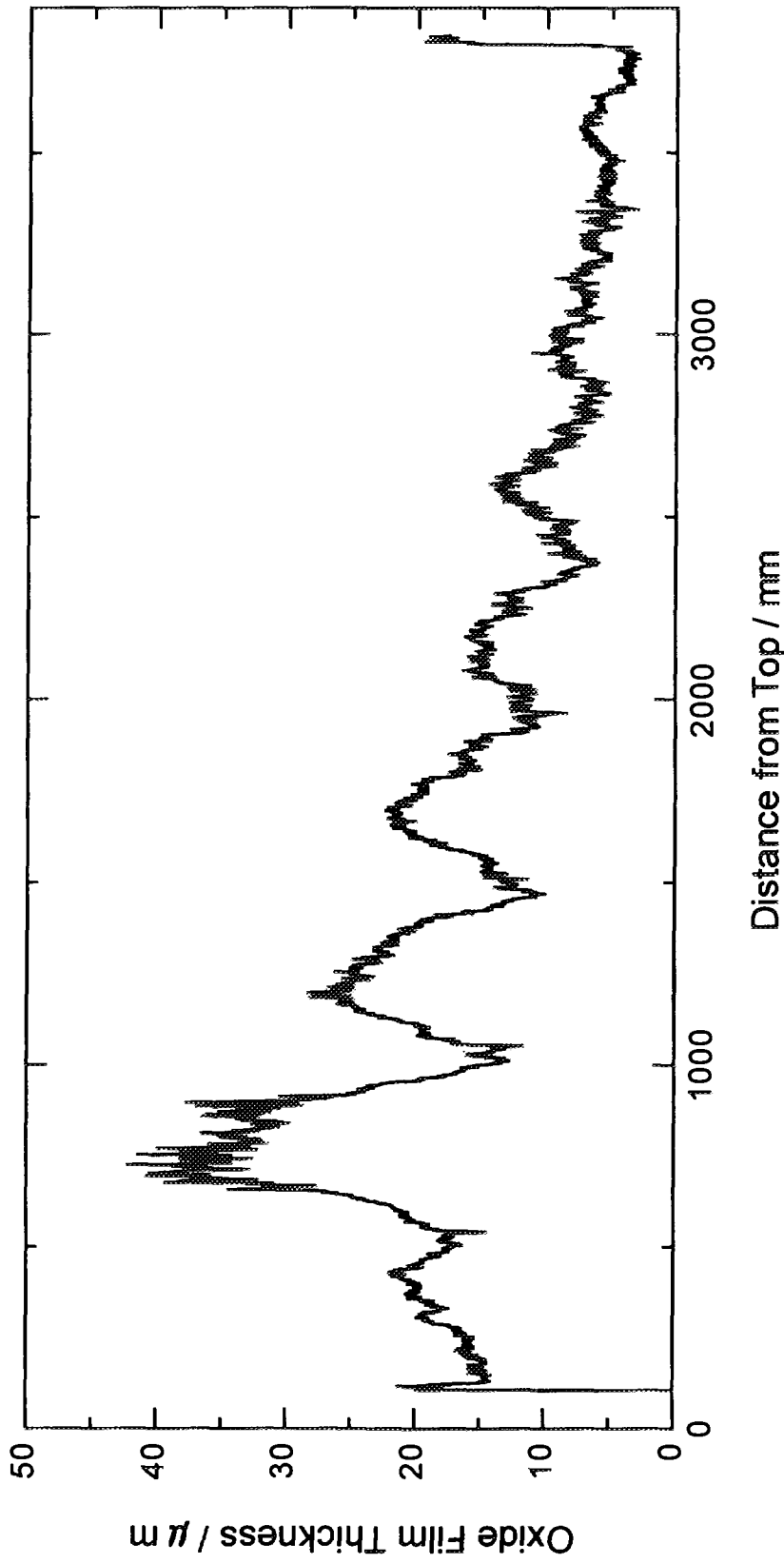


Fig. 11 Axial Distribution of Oxide Film Thickness [180 degree direction]

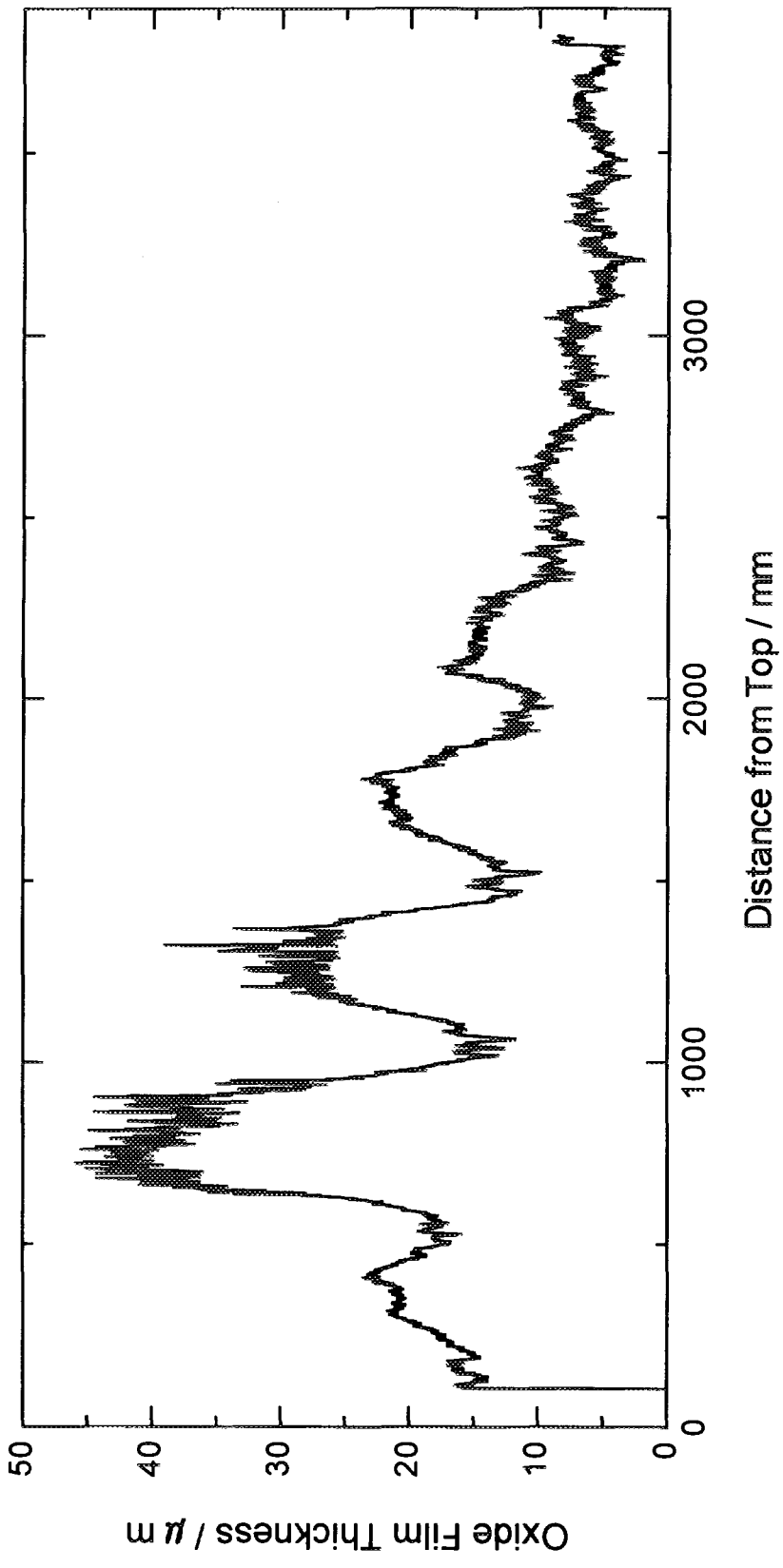


Fig. 12 Axial Distribution of Oxide Film Thickness [270 degree direction]

4. まとめ

PWR5電力会社と原子燃料工業株式会社の共同研究として、PWR燃料の高燃焼度先行照射試験が行われた。その後の照射後試験に供された燃料棒のうち、原研に譲渡された燃料棒B15(集合体:NO1G13)に関する、下記項目の照射後試験データを報告した。

- ①燃料棒外観検査
- ②燃料棒寸法測定
- ③渦電流探傷試験
- ④酸化膜厚さ測定試験
- ⑤パンクチャーテスト

謝 辞

本報告書により結果を報告する照射後試験の実施にあたっては、関西電力株式会社、北海道電力株式会社、四国電力株式会社、九州電力株式会社、日本原子力発電株式会社の御協力をいただきました。ここに深甚なる感謝の意を表します。

付録 本文の英訳
Appendix English Translations of Sections 1 through 4

1. Introduction

Number of pulse irradiation tests are conducted in the NSRR to study the behavior of irradiated light water reactor fuel under the reactivity initiated accident (RIA) conditions. The test fuel rod is short-sized one refabricated from long mother fuel rod irradiated in the reactor for practical use. Tests for fuel rods irradiated in Mihama (Tests MH-1 to 3), Genkai (Tests GK-1 to 2), Ohi (Tests OI-1 to 2) had been performed. The results indicates that the current Japanese guideline for pre-irradiated LWR fuel rod under RIA conditions has reasonable safety margin in the fuel burnup range below 40 MWd/kgU. From 1992, there is a need to define the high burnup fuel behavior during the transient and the NSRR experiment program (HBO series, acronym of **H**igh **B**urnup **O**hi) for the high burnup fuel has started.

As a first step, four tests for the fuel manufactured by Mitsubishi Nuclear Fuel Industry Ltd. (A type fuel) were performed. One of these tests resulted in fuel failure and evaluated energy deposition at the failure was 60 cal/g-fuel (0.25 kJ/g-fuel). It is lower than 85 cal/g-fuel (0.356 kJ/g-fuel) adopted to the current Japanese guideline as a provisional failure threshold of pre-irradiated fuel rod during an RIA. Through the evaluation concerning the tests, it is suggested that the incipient failure mechanism of pre-irradiated high burnup fuel rod is PCMI, and the decrease of deposited energy at the failure depends upon degree of embrittlement of the cladding material due to oxidation and hydride formation. To confirm a reproducibility of these tests results and study concerning fuel failure mechanism in detail, additional tests were initiated for the fuel manufactured by Nuclear Fuel Industries, LTD. (B type fuel) with irradiation history similar to that of Mitsubishi's fuel. These fuels have different designs in the fuel pellet dimension (diameter, height and chamfer) and the cladding wall thickness, as shown in Table 1.

2. 48 MWd/kgU Irradiation Test in Lead Use Program in Ohi Unit 1

48 MWd/kgU irradiation test in lead use program in Ohi Unit 1 is the first test for high burnup fuel of PWR in Japan. It is for the fuel rods designed under the current limit for burnup (Averaged in assembly: 39 MWd/kgU) and in small amount of assemblies. The fuels were 17x17 type and irradiated in Ohi unit #1 before post irradiation examination in Reactor Fuel Examination Facility of JAERI. Detail PIE contributed to confirm that they had expected specification and integrity.

Figure 1, Tables 2 and 3 indicate the loading and burnup history of fuel assembly NO1G13 in Ohi reactor, respectively. Averaged burnup of it is up to 44.7 MWd/kgU. Figure 2 shows the twelve fuel rods in NO1G13 conducted to PIE. Non-destructive and gas puncture tests were performed to all of twelve test fuels and destructive tests were performed to selected three test fuels, as shown in

Table 4.

Test fuel rod B15 (No.8 fuel rod in lead use program) was transferred from the Kansai Electric Power Co., Inc. to JAERI to use for pulse irradiation tests of high burnup fuel in NSRR. Table 5 shows the irradiation history of this fuel rod in Ohi reactor. Rod averaged burnup is estimated 43.5 MWd/kgU.

3. Test Results

Non-destructive tests and puncture test results of B15 test fuel rod are as follows.

(1) Visual Observation

Figure 3 shows the typical photographs of the test fuel.

(2) Dimensional Measurement of Fuel Rod

Figures 4 through 7 show the outer diameter profile for 0, 45, 90, 135 directions of the fuel rod. The test fuel rod length was 3873.1 mm.

(3) Eddy Current Test

Figure 8 shows the results of eddy current test. The signals from ch.1 and ch.2 concerning defects on inner and outer surface of cladding, respectively, did not indicate existence of significant defects.

(4) Oxide Film Thickness Measurement

Figures 9 through 12 show distribution of oxide thickness on the cladding.

(5) Puncture Test

Results of volume measurement and analysis to punctured gas are shown in Table 6. Fission gas release rate is estimated to 0.78%.

4. Summary

The irradiation test of high burnup fuel in lead use program was performed as collaboration program between the five utilities possessing PWR plants and Nuclear Fuel Industries, LTD. In this report, the results of pulse irradiation examinations, showing as follows, of the test fuel rod B15 (fuel assembly: NO1G13) transferred from the Kansai Electric Power Co., Inc. to JAERI were presented.

- (1) Visual Observation
- (2) Dimensional Measurement of Fuel Rod
- (3) Eddy Current Test
- (4) Oxide Film Thickness Measurement
- (5) Puncture Test

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m ²
放射線量	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV=1.60218×10⁻¹⁹J
1 u=1.66054×10⁻²⁷kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バ	b
バ	bar
ガ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラ	rad
レ	rem

1 Å=0.1nm=10⁻¹⁰m
1 b=100fm²=10⁻²⁸m²
1 bar=0.1MPa=10⁵Pa
1 Gal=1cm/s²=10⁻²m/s²
1 Ci=3.7×10¹⁰Bq
1 R=2.58×10⁻⁴C/kg
1 rad=1cGy=10⁻²Gy
1 rem=1cSv=10⁻²Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局1985年刊行による。ただし, 1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表す場合に限り表2のカテゴリに分類されている。
- EC閣僚理事会指令では bar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリに入れている。

換算表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s(N·s/m²)=10 P(ポアズ)(g/(cm·s))
動粘度 1 m²/s=10⁴St(ストークス)(cm²/s)

圧	MPa(=10bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062×10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322×10 ⁻⁴	1.35951×10 ⁻³	1.31579×10 ⁻¹	1	1.93368×10 ⁻²
	6.89476×10 ⁻³	7.03070×10 ⁻²	6.80460×10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778×10 ⁻⁷	0.238889	9.47813×10 ⁻⁷	0.737562	6.24150×10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407×10 ⁻⁶	2.34270	9.29487×10 ⁻³	7.23301	6.12082×10 ¹⁹
	3.6×10 ⁶	3.67098×10 ⁵	1	8.59999×10 ⁵	3412.13	2.65522×10 ⁶	2.24694×10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279×10 ⁻⁶	1	3.96759×10 ⁻³	3.08747	2.61272×10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072×10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515×10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616×10 ⁻⁷	0.323890	1.28506×10 ⁻³	1	8.46233×10 ¹⁸
	1.60218×10 ⁻¹⁹	1.63377×10 ⁻²⁰	4.45050×10 ⁻²⁶	3.82743×10 ⁻²⁰	1.51857×10 ⁻²²	1.18171×10 ⁻¹⁹	1

1 cal= 4.18605J (計量法)
= 4.184J (熱化学)
= 4.1855J (15°C)
= 4.1868J (国際蒸気表)
仕事率 1 PS(仏馬力)
= 75 kgf·m/s
= 735.499W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270×10 ⁻¹¹
	3.7×10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58×10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

高燃焼度PWR燃料の照射後試験データ

[燃料棒: B15 (燃料集合体: NO1G13)]