

JAERI - M
92-015

PRE-PULSE IRRADIATION EXAMINATION, NSRR PULSE
IRRADIATION AND POST-PULSE IRRADIATION EXAMINATION
OF MH-2 FUEL ROD

February 1992

Kazuaki YANAGISAWA, Shoji KATANISHI, Kozo HOMMA
Hideo SASAJIMA, Toshio FUJISHIRO, Oichiro HORIKI
Hideaki MIMURA, Etsuro OEDA, Isao OHWADA
Junichi HONDA, Takeshi YAMAHARA, Tadaharu ITO
Shozo IIDA, Ishio TAKAHASHI, Kiyomi SONOBE,
Teruo KIKUCHI, Toshio SUZUKI, Tamotsu SONOBE
Katsubumi GUNJI, Yoshihiro MEGURO and Takeo ADACHI

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

JAERI-M 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。入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 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。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1992
編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷株

Pre-pulse Irradiation Examination, NSRR Pulse Irradiation and
Post-pulse Irradiation Examination of MH-2 Fuel Rod

Kazuaki YANAGISAWA, Shoji KATANISHI, Kozo HOMMA, Hideo SASAJIMA
Toshio FUJISHIRO, Oichiro HORIKI, Hideaki MIMURA⁺, Etsuro OEDA⁺
Isao OHWADA⁺, Junichi HONDA⁺, Takeshi YAMAHARA⁺, Tadaharu ITO⁺
Shozo IIDA⁺, Ishio TAKAHASHI⁺, Kiyomi SONOBE⁺, Teruo KIKUCHI⁺
Toshio SUZUKI⁺⁺, Tamotsu SONOBE⁺⁺, Katsumi GUNJI⁺⁺
Yoshihiro MEGURO⁺⁺ and Takeo ADACHI⁺⁺

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

(Received January 24, 1992)

The Nuclear Safety Research Reactor (NSRR) program for studying failure threshold of pre-irradiated LWR fuel under simulated reactivity initiated accident conditions is in progress. In this program, a 14×14 PWR type fuel K4-2 was segmented from a K4/G08 long size PWR rod pre-irradiated in MIHAMA Unit-2 and was pulse irradiated on March 8, 1990 at NSRR. Energy deposition given to the test rod was 68 cal/g·fuel. No failure indication was observed by in-core monitoring and by post-pulse irradiation examination. As one of the NSRR data base on fuel behavior during transient/RIA, data obtained from pre-pulse irradiation examination, during NSRR pulse irradiation, and from post-pulse irradiation examination are summarized.

Keywords: Pre-pulse Irradiation Examination, NSRR Pulse, Post-pulse Irradiation Examination, Mihama Unit 2, 14×14 PWR, In-core Instrumentation

+ Department of Hot Laboratories

++ Department of Chemistry

美浜-2 (MH-2) 燃料棒に関するパルス前試験、
NSRRパルス照射及びパルス照射後試験

日本原子力研究所東海研究所燃料安全工学部

柳澤 和章・片西 昌司・本間 功三・笹島 栄夫

藤城 俊夫・堀木欧一郎・三村 英明⁺・大枝 悅郎⁺

大和田 功⁺・本田 順一⁺・山原 武⁺・伊藤 忠春⁺

飯田 省三⁺・高橋五志生⁺・園部 清美⁺・菊池 輝男⁺

鈴木 敏夫⁺⁺・園部 保⁺⁺・郡司 勝文⁺⁺・日黒 義弘⁺⁺

安達 武雄⁺⁺

(1992年1月24日受理)

NSRR計画の一環として、美浜2号機で照射された燃料集合体K4/G08から得たセグメント燃料K4-2 (MH-2)を用いたパルス照射がNSRRで1990年3月8日に実施された。当該燃料の発熱量は68cal/g・fuelであり、炉内計装機器やパルス後の照射後試験のデータからは、破損と結びつく兆候は認められなかった。

本報は、セグメント燃料K4-2に関して燃料棒再製作時のデータ、NSRR照射時の炉内データ及びパルス照射後のデータをまとめたものである。

Contents

1.	Introduction	1
2.	Refabrication of Fuel Rod	1
2.1	Refabrication	1
2.2	Post-refabrication Examination	2
3.	NSRR Pulse Irradiation	2
4.	Post-pulse Irradiation Examination	3
4.1	Visual Inspection	3
4.2	X-ray Inspection	4
4.3	Dimensional Measurement	4
4.4	Eddy Current Testing	4
4.5	Gamma Scanning	5
4.6	Cutting	5
4.7	Metallo/Ceramography	5
4.8	Autoradiograph	6
4.9	EPMA	6
4.10	Micro Gamma Scanning	6
4.11	Pellet Density Measurement	7
4.12	UO ₂ Dissolution and Burn-up Analysis	7
5.	Conclusion	7
	Acknowledgements	7
	References	8
Appendix 0	Results of Post-refabrication Examination	11
Appendix I	In-core Data Obtained from Attached Instrumentations ..	37
Appendix II	Visual Inspection	55
Appendix III	X-ray Inspection	61
Appendix IV	Diameter Profiles, Eddy Current Testing	65
Appendix V	Gamma Scanning	97
Appendix VI	Cutting, Metallo/Ceramograph and α , β/γ Autoradiograph .	113
Appendix VII	EPMA	149
Appendix VIII	Micro Gamma Scanning	163
Appendix IX	UO ₂ Pellet Density	197
Appendix X	UO ₂ Fuel Dissolve and Burn-up Analysis	205

目 次

1. 緒論	1
2. 燃料棒の再製作	1
2.1 再製作	1
2.2 再製作後の試験	2
3. NSRRパルス照射	2
4. パルス照射後試験	3
4.1 外観目視検査	3
4.2 X線検査	4
4.3 寸法測定	4
4.4 涡電流探傷試験	4
4.5 ガンマスキャニング	5
4.6 切断	5
4.7 金相／セラモグラフ	5
4.8 オートラジオグラフ	6
4.9 EPMA	6
4.10 マイクロガンマスキャニング	6
4.11 燃料密度測定	7
4.12 燃料溶解と燃焼度分析	7
5. 結論	7
謝 辞	7
参考文献	8
附録 I 再製作後の試験結果	11
附録 II 取り付け計装からの炉内データ	37
附録 III 目視検査	55
附録 IV 直径プロフィール, 涡電流探傷試験	61
附録 V ガンマスキャニング	65
附録 VI 切断, 金相／セラモグラフ, α , β ／ γ オートラジオグラフ	97
附録 VII EPMA	113
附録 VIII マイクロガンマスキャニング	149
附録 IX UO_2 密度	163
附録 X 燃料溶解と燃焼度分析	197
附録 XI	205

1. INTRODUCTION

The 14×14 PWR type assembly (G08) has been preirradiated with an average linear heat rating of 18 kW/m in Mihama Unit-2 from 23rd April, 1978 to 20th August, 1983. This preirradiation was performed at a coolant pressure of 15.82 MPa, inlet and outlet temperatures of 289°C and 305°C. Effective full power days are about 7150 resulting in assembly average burn-up of 32.1 MWd/kgU.

After unloading from Mihama Unit 2, the assembly was stored at reactor pond for cooling for one year and transported to the Department of Hot Laboratories JAERI for post-irradiation examination (PIE) in 1984. One of the fuel rods in the assembly was transferred to JAERI from Kansai Electric Power Company in 1989. This was due to scheduled fuel performance test under simulated reactivity initiated accident (RIA) conditions. After receiving this 4m long fuel rod K4, routine PIE was planned and carried out at the Department of Hot Laboratories⁽¹⁾. Subsequent to the PIE, the long sized rod K4 was shortened from 3.6 m to 0.12 m. Then, post-refabrication examination was made.

The data obtained from post-refabrication examination, during NSRR pulse irradiation and from post-pulse irradiation examination on re-fabricated fuel rod were summed up in the present paper.

This is the second test of preirradiated Mihama PWR fuel rods in series of the simulated RIA. Result of the previous RIA test was published in the author's separate report⁽²⁾.

2. REFABRICATION OF FUEL ROD

2.1 Refabrication

Due mainly to the limited height of NSRR core, long sized fuel rod K4 had to be shortened to the active column length of 0.12 m. For this purpose, the equipment described below were prepared and installed in the facility of the Department of Hot Laboratories, JAERI.

- (1) Dry cutter
- (2) Fuel pellet dismantling device
- (3) End plug insertion device
- (4) Fuel pellet heater/dryer device

1. INTRODUCTION

The 14×14 PWR type assembly (G08) has been preirradiated with an average linear heat rating of 18 kW/m in Mihama Unit-2 from 23rd April, 1978 to 20th August, 1983. This preirradiation was performed at a coolant pressure of 15.82 MPa, inlet and outlet temperatures of 289°C and 305°C. Effective full power days are about 7150 resulting in assembly average burn-up of 32.1 MWd/kgU.

After unloading from Mihama Unit 2, the assembly was stored at reactor pond for cooling for one year and transported to the Department of Hot Laboratories JAERI for post-irradiation examination (PIE) in 1984. One of the fuel rods in the assembly was transferred to JAERI from Kansai Electric Power Company in 1989. This was due to scheduled fuel performance test under simulated reactivity initiated accident (RIA) conditions. After receiving this 4m long fuel rod K4, routine PIE was planned and carried out at the Department of Hot Laboratories⁽¹⁾. Subsequent to the PIE, the long sized rod K4 was shortened from 3.6 m to 0.12 m. Then, post-refabrication examination was made.

The data obtained from post-refabrication examination, during NSRR pulse irradiation and from post-pulse irradiation examination on re-fabricated fuel rod were summed up in the present paper.

This is the second test of preirradiated Mihama PWR fuel rods in series of the simulated RIA. Result of the previous RIA test was published in the author's separate report⁽²⁾.

2. REFABRICATION OF FUEL ROD

2.1 Refabrication

Due mainly to the limited height of NSRR core, long sized fuel rod K4 had to be shortened to the active column length of 0.12 m. For this purpose, the equipment described below were prepared and installed in the facility of the Department of Hot Laboratories, JAERI.

- (1) Dry cutter
- (2) Fuel pellet dismantling device
- (3) End plug insertion device
- (4) Fuel pellet heater/dryer device

- (5) Device for seal and circumferential welding
- (6) Gas puncturing device
- (7) Helium leak test device
- (8) Ultrasonic cleaning device
- (9) Reconnection device for combining fuel column with clean end plugs.

During refabrication work, we met some technical difficulties. However, they were successfully overcome. The details regarding techniques used for refabrication of long sized fuel K4 as well as refabricated PWR fuel and technical difficulties those encountered were published by separate report⁽³⁾.

As of year 1989, actual cutting of 4m long fuel rod K4 into some pieces was executed. Cutting location was decided by taking into account the more uniform power distribution along rod except grid spacer locations, then a segmented fuel rod hereinafter called MH-2 or occasionally K4-2 was refabricated. Henceforth, long sized rod K4 will be denoted as OTFR (original test fuel rod), while refabricated/segmented rod will be denoted as STFR (segmented test fuel rod), respectively.

In-core instrumentations were attached to the STFR during refabrication process. Used instruments were thermocouples (Pt/Pt-13% Rh, 0.2mm dia.), axial elongation sensor (linear variables differential transformer type), fuel column movement marker (zircaloy ring), rod internal pressure sensor, capsule strain gauge, and capsule pressure sensor, respectively.

2.2 Post-refabrication examination

Post-refabrication examinations were made. They were cutting, welding, helium gas refilling, helium leak testing, rod profilometry, X-ray inspection, weight measurement, eddy current testing, respectively. Obtained data from this examination are summarized in Appendix 0 attached to this paper. After examination, STFR was transported from Department of Hot Laboratories to NSRR facility for subsequent pulse irradiation.

3. NSRR PULSE IRRADIATION

Prior to NSRR pulse irradiation with STFR, construction and modification of semi-hot cell and semi-hot cave in NSRR facility were made in

- (5) Device for seal and circumferential welding
- (6) Gas puncturing device
- (7) Helium leak test device
- (8) Ultrasonic cleaning device
- (9) Reconnection device for combining fuel column with clean end plugs.

During refabrication work, we met some technical difficulties. However, they were successfully overcome. The details regarding techniques used for refabrication of long sized fuel K4 as well as refabricated PWR fuel and technical difficulties those encountered were published by separate report⁽³⁾.

As of year 1989, actual cutting of 4m long fuel rod K4 into some pieces was executed. Cutting location was decided by taking into account the more uniform power distribution along rod except grid spacer locations, then a segmented fuel rod hereinafter called MH-2 or occasionally K4-2 was refabricated. Henceforth, long sized rod K4 will be denoted as OTFR (original test fuel rod), while refabricated/segmented rod will be denoted as STFR (segmented test fuel rod), respectively.

In-core instrumentations were attached to the STFR during refabrication process. Used instruments were thermocouples (Pt/Pt-13% Rh, 0.2mm dia.), axial elongation sensor (linear variables differential transformer type), fuel column movement marker (zircaloy ring), rod internal pressure sensor, capsule strain gauge, and capsule pressure sensor, respectively.

2.2 Post-refabrication examination

Post-refabrication examinations were made. They were cutting, welding, helium gas refilling, helium leak testing, rod profilometry, X-ray inspection, weight measurement, eddy current testing, respectively. Obtained data from this examination are summarized in Appendix 0 attached to this paper. After examination, STFR was transported from Department of Hot Laboratories to NSRR facility for subsequent pulse irradiation.

3. NSRR PULSE IRRADIATION

Prior to NSRR pulse irradiation with STFR, construction and modification of semi-hot cell and semi-hot cave in NSRR facility were made in

order to deal the doubly sealed irradiation capsule which was specially designed and developed for this program. These works were completed in 1989⁽³⁾.

After assembling, MH-2 (K4-2) fuel was loaded into the doubly sealed irradiation capsule. The capsule was set in the middle of NSRR core and pulse irradiation was performed on March 8, 1990. Obtained data from attached in-core instrumentations are attached to this paper as Appendix I.

It is worthy of mentioning that there was no sign of fuel failure through in-core monitoring. Estimated energy deposition is 68 cal/g·fuel. This corresponds either to the inserted reactivity of 3.85\$ or to the released core energy of 78.4 MW·s.

4. POST-PULSE IRRADIATION EXAMINATION

After pulse irradiation, STFR MH-2 was transported from NSRR to Hot Laboratories, JAERI for post-pulse irradiation examination (PIE). Prior to PIE, the following devices were newly prepared at the facility for subsequent studies.

- (1) Dismantling device for doubly sealed irradiation capsule
 - (2) X-ray inspection device
 - (3) Diameter profile and eddy current devices
 - (4) γ -scanning devices
 - (5) Fuel melting apparatus for burn-up and energy deposition analysis
- Details on these devices are described elsewhere⁽³⁾.

4.1 Visual Inspection

Visual inspection on STFR MH-2 was made. Attention was paid to the place where hardened cladding by preirradiation was jointed by welding with fresh plugs made of zircaloy-4. Detail inspection was also addressed to the mid-active cladding location where thermocouple was welded after abrading cladding surface.

Results of visual inspection are shown in Appendix II. As seen from many photographs attached to, no anomalies affecting to fuel integrity were found.

order to deal the doubly sealed irradiation capsule which was specially designed and developed for this program. These works were completed in 1989⁽³⁾.

After assembling, MH-2 (K4-2) fuel was loaded into the doubly sealed irradiation capsule. The capsule was set in the middle of NSRR core and pulse irradiation was performed on March 8, 1990. Obtained data from attached in-core instrumentations are attached to this paper as Appendix I.

It is worthy of mentioning that there was no sign of fuel failure through in-core monitoring. Estimated energy deposition is 68 cal/g·fuel. This corresponds either to the inserted reactivity of 3.85\$ or to the released core energy of 78.4 MW·s.

4. POST-PULSE IRRADIATION EXAMINATION

After pulse irradiation, STFR MH-2 was transported from NSRR to Hot Laboratories, JAERI for post-pulse irradiation examination (PIE). Prior to PIE, the following devices were newly prepared at the facility for subsequent studies.

- (1) Dismantling device for doubly sealed irradiation capsule
 - (2) X-ray inspection device
 - (3) Diameter profile and eddy current devices
 - (4) γ -scanning devices
 - (5) Fuel melting apparatus for burn-up and energy deposition analysis
- Details on these devices are described elsewhere⁽³⁾.

4.1 Visual Inspection

Visual inspection on STFR MH-2 was made. Attention was paid to the place where hardened cladding by preirradiation was jointed by welding with fresh plugs made of zircaloy-4. Detail inspection was also addressed to the mid-active cladding location where thermocouple was welded after abrading cladding surface.

Results of visual inspection are shown in Appendix II. As seen from many photographs attached to, no anomalies affecting to fuel integrity were found.

4.2 X-ray Inspection

X-ray inspection was made to check whether or not incipient PCMI cracking did exist. The photographing conditions were:

Voltage : 130 kV
Current : 200 mA
Exposure time: 1.0 sec.

Results are shown in Appendix III. From Fig. A.III.1, it can be found that attached movement marker has travelled to some distances from its original position. It means that there is an axial deformation of fuel column during pulse irradiation. At rod top end, there observed void. However, this gave no loss of integrity of fuel rod. No significant fuel relocation and further cladding damage were revealed from X-ray inspection.

4.3 Dimensional Measurement

Dimensional measurement was performed by newly developed laser type measuring devices. Hence, rod outer profile was detected by laser scan micrometer with accuracy by ± 0.005 mm for rod bending and by ± 0.05 mm for rod length, respectively. Results of measurements are shown in Appendix IV, in which Fig. A.IV.1 ~ Fig. A.IV.13 and Table A.IV.1 ~ Table A.IV.16 are included. From these data, it is known that a dimple type scratch is observed in the axial center of the fuel rod. This is revealed to be artificially fabricated cladding scratch for the thermo-couple welding and is not scratch caused by pulse irradiation.

Fig. A.IV.1 ~ Fig. A.IV.6 are representing rod outer profiles. No significant irregularities except ridgings are observed. Fig. A.IV.7 ~ Fig. A.IV.12 are data for rod bowing. Rod total length measured is shown in Fig. A.IV.13. Numerical data are also attached from Table A.IV.1 to Table A.IV.56.

4.4 Eddy Current Testing

This test was done by using the penetration type coil having outer diameter by 11.5 mm. Coil frequency was 400 kHz. Phase angle, gain, and coil velocity were 30 degree, -4 dB, and 30 mm/sec, respectively. In the preparation stage, a dummy zircaloy cladding tube having various types of artificial defects are manufactured. By using this, data calibration was made⁽³⁾. Resultant data from calibration are attached to Appendix IV,

where Fig. A.IV.14 ~ Fig. A.IV.25 are included.

It is understood from eddy current testing that there occurred ridging as a result of pellet-cladding mechanical interaction (PCMI). However, no significant damage to be connected directly to the fuel failure was observed.

4.5 Gamma Scanning

Gross gamma scanning with speed of 5 mm/mm was made by using a lead collimator having slit width by 0.3 mm. Energy range of gamma spectrometry was selected from 40 to 2599 keV. According to interest to knowing amounts of released FP gas by non-destructive method, measurement of ^{85}Kr in the fuel plenum was tried. This is main reason why we performed the stational gamma spector measurement. The elapsed time used for stational gamma spector measurement was about 5 days (4×10^5 seconds).

Detail conditions of above two measurements are described in Appendix V, where Table A.V.1 ~ Table A.V.4 and Fig. A.V.1 ~ Fig. A.V.6 are attached to. Results of gross gamma scanning and stational gamma spectrometry are obtained. From the former, it can be understood that axial power distribution between before- and after-pulsing are not changed significantly. From the latter, it was found that radioactivity from nuclide ^{85}Kr at fuel plenum was detected successfully⁽⁴⁾.

4.6 Cutting

As shown in cutting map of Fig. A.VI.1 in Appendix VI, specimens for metallo/ceramography, α and β/γ autoradiograph, and EMPA were sampled.

4.7 Metallo/ceramography

For metallo/ceramographic examination, 3 specimens were used. First one was cut from transversal section (specimen no. 51). This was used for fuel microstructural analysis and for oxidation study. Second one was cut from longitudinal section (specimen no. 50). This was used for metallo/ceramographic examination and for oxidation study. This is used for α , β/γ autoradiography, too. Cutting locations of the previous two were adjacent to the center of fuel column. Third one was cut from transversal section (specimen no. 49) and used for EMPA and for auto-radiographic studies. Cutting location was near to fuel bottom. Additionally, cross sectional specimen (No. 30) was cut at fuel bottom for

micro gamma scanning. After taking macro photograph, this was transported to Hot Laboratory for studying micro gamma scanning.

Obtained photographs from these specimens are summarized in Photo. A.VII.1 to Photo. A.VII.13 in the appendix, where external and internal oxidation of zircaloy-4, as-polished and as-etched surface conditions of UO₂ fuels are involved.

4.8 Autoradiograph

Both α and β/γ autoradiographs are taken from transversal section (specimen 49) and from longitudinal section (specimen 50). Results are shown in Photo. A.V.12 and Photo. A.VI.13. From β/γ autoradiograph, it is known that there occurred comparatively large plutonium build-up at fuel periphery region.

4.9 EPMA

Secondary electron beam image of fuel surface was provided by EPMA (Electron Probe Micro Analyzer). During preparation stage, fuel surface (specimen 49, cross section) was coated by gold. Test condition of EPMA was as follows:

Accelerated voltage: 15 kV
 Current of specimen: 1×10^{-4} mA
 Beam diameter : 1 $\mu\text{m}\phi$

Experimental data are summarized in Appendix VII. All photographs taken from this study are listed in Table A.VII.1 and VII.2. Marked attention was paid on fuel edge morphology, boundary condition of onset gas swelling and fuel morphology at center, respectively.

4.10 Micro Gamma Scanning

Fission products such as ¹²⁵Sb, ¹⁰⁶Rh-¹⁰⁶Ru, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs-¹³⁷Ba, ¹⁵⁴Eu, are considered to be changed their radioactivities due to migration either during pulse irradiation or during preirradiation stage. Because of this reason, radial distribution of previous nuclides in a fuel pellet and radioactivities at selected place were measured. Resultant data are summarized in Appendix VIII. Photo. A.VIII.1 shows fuel cross section. Data obtained from radial FP distribution measurements are shown in Fig. A.VIII.1 ~ Fig. A.VIII.14. While, radioactivity at fuel center is shown in Fig. A.VIII.15 together with calibration data shown

in Fig. A.VIII.16.

4.11 Pellet Density Measurement

Fuel bulk density was measured by water immersion method. Results were summarized in Appendix IX. Outerview of tested UO₂ pellet is also shown as Photo A.IX.1. Obtained density is 10.356 g/cm³, that is, 94.53% T.D.

4.12 UO₂ Dissolution and Burn-up Analysis

A pulse irradiated UO₂ fuel pellet located 4th from top of active column was cut in width by 2 mm. The weight of it was about 1.1747 g and dissolved by 8 mol HNO₃ at 110°C for 6h, followed by 4 mol HNO₃ dilution for sampling 5 ml solution. Details of these are described in Appendix X.

Burn-up analysis was made by nuclide ¹⁴⁰Ba, which was separated chemically from other FPs. The chemical separation method used here was reported detailly elsewhere⁽⁵⁾. Estimated energy deposition by ¹⁴⁰Ba was 68 cal/g•fuel having error band by ± 4.5%. Correction of initial estimated energy was made after that. Reasons of this and any other details related to burn-up analysis are explained in Appendix X.

It is worthy to mention that there was no sign of fuel failure through PIE.

5. CONCLUSION

Refabrication, NSRR irradiation, and post-pulse irradiation examination of MH-2 fuel rod were performed on a fair way to success. No indication of fuel failure through NSRR pulse irradiation by 68 cal/g•fuel was seen. Thus, MH-2 fuel rod was concluded to be intact.

ACKNOWLEDGMENTS

Appreciation is addressed to the staff of the Department of Hot Laboratories, JAERI listed in the below for their careful post-irradiation examinations.

in Fig. A.VIII.16.

4.11 Pellet Density Measurement

Fuel bulk density was measured by water immersion method. Results were summarized in Appendix IX. Outerview of tested UO₂ pellet is also shown as Photo A.IX.1. Obtained density is 10.356 g/cm³, that is, 94.53% T.D.

4.12 UO₂ Dissolution and Burn-up Analysis

A pulse irradiated UO₂ fuel pellet located 4th from top of active column was cut in width by 2 mm. The weight of it was about 1.1747 g and dissolved by 8 mol HNO₃ at 110°C for 6h, followed by 4 mol HNO₃ dilution for sampling 5 ml solution. Details of these are described in Appendix X.

Burn-up analysis was made by nuclide ¹⁴⁰Ba, which was separated chemically from other FPs. The chemical separation method used here was reported detailly elsewhere⁽⁵⁾. Estimated energy deposition by ¹⁴⁰Ba was 68 cal/g•fuel having error band by ± 4.5%. Correction of initial estimated energy was made after that. Reasons of this and any other details related to burn-up analysis are explained in Appendix X.

It is worthy to mention that there was no sign of fuel failure through PIE.

5. CONCLUSION

Refabrication, NSRR irradiation, and post-pulse irradiation examination of MH-2 fuel rod were performed on a fair way to success. No indication of fuel failure through NSRR pulse irradiation by 68 cal/g•fuel was seen. Thus, MH-2 fuel rod was concluded to be intact.

ACKNOWLEDGMENTS

Appreciation is addressed to the staff of the Department of Hot Laboratories, JAERI listed in the below for their careful post-irradiation examinations.

in Fig. A.VIII.16.

4.11 Pellet Density Measurement

Fuel bulk density was measured by water immersion method. Results were summarized in Appendix IX. Outerview of tested UO₂ pellet is also shown as Photo A.IX.1. Obtained density is 10.356 g/cm³, that is, 94.53% T.D.

4.12 UO₂ Dissolution and Burn-up Analysis

A pulse irradiated UO₂ fuel pellet located 4th from top of active column was cut in width by 2 mm. The weight of it was about 1.1747 g and dissolved by 8 mol HNO₃ at 110°C for 6h, followed by 4 mol HNO₃ dilution for sampling 5 ml solution. Details of these are described in Appendix X.

Burn-up analysis was made by nuclide ¹⁴⁰Ba, which was separated chemically from other FPs. The chemical separation method used here was reported detailly elsewhere⁽⁵⁾. Estimated energy deposition by ¹⁴⁰Ba was 68 cal/g•fuel having error band by ± 4.5%. Correction of initial estimated energy was made after that. Reasons of this and any other details related to burn-up analysis are explained in Appendix X.

It is worthy to mention that there was no sign of fuel failure through PIE.

5. CONCLUSION

Refabrication, NSRR irradiation, and post-pulse irradiation examination of MH-2 fuel rod were performed on a fair way to success. No indication of fuel failure through NSRR pulse irradiation by 68 cal/g•fuel was seen. Thus, MH-2 fuel rod was concluded to be intact.

ACKNOWLEDGMENTS

Appreciation is addressed to the staff of the Department of Hot Laboratories, JAERI listed in the below for their careful post-irradiation examinations.

Test Item	Staff contributed to
(1) Visual Inspection	M. Saito, N. Mita, T. Taguchi
(2) X-ray Inspection	M. Saito
(3) Dimensional Measurement and Eddy Current Testing	S. Kurobane
(4) Gamma Scanning	T. Kitagawa, T. Yanagida, H. Miyanishi
(5) Cutting	N. Mita, T. Taguchi
(6) Metallo/Ceramography	T. Onozaki, T. Kaminaga
(7) Electron Probe Micro Analysis (EPMA)	A. Ishikawa
(8) Micro Gamma Scanning	K. Ono
(9) UO ₂ Density Measurement	H. Matsushima, S. Kado
(10) UO ₂ Dissolution and Burn-up Analysis	M. Oonuki, M. Ito
(11) General Organization	F. Itonaga, H. Waragai F. Kanaizuka

REFERENCES

- (1) K. Yanagisawa, H. Sasajima, S. Katanishi, T. Fujishiro, S. Sampei, Y. Nihei, H. Mimura, E. Oeda, T. Yamahara, K. Morimoto: "Post-Irradiation Examination of 14×14 PWR Type Fuel Rod Prior to Pulse Irradiation in NSRR", JAERI-M 91-218 (1991)
- (2) K. Yanagisawa, H. Sasajima, S. Katanishi, K. Homma, T. Fujishiro, O. Horiki, H. Mimura, E. Oeda, I. Ohwada, J. Honda, T. Yamahara, T. Ito, S. Iida, I. Takahashi, K. Sonobe, T. Kikuchi: "Pre-pulse Irradiation Examination, NSRR Pulse Irradiation and Post-pulse Irradiation Examination of MH-1 Fuel Rod", JAERI-M 91-220 (1991)
- (3) K. Yanagisawa, H. Uno, H. Sasajima, S. Yamazaki, T. Inabe, K. Ishijima, H. Kuroha, N. Sekita, I. Ohwada, J. Honda, T. Ito, S. Iida, M. Saito, S. Kurobane, I. Kitagawa: "Technical Report: "Fabrication of PWR Type Rodlet Fuel", (in Japanese)", JAERI-M 90-091 (1990)

Test Item	Staff contributed to
(1) Visual Inspection	M. Saito, N. Mita, T. Taguchi
(2) X-ray Inspection	M. Saito
(3) Dimensional Measurement and Eddy Current Testing	S. Kurobane
(4) Gamma Scanning	T. Kitagawa, T. Yanagida, H. Miyanishi
(5) Cutting	N. Mita, T. Taguchi
(6) Metallo/Ceramography	T. Onozaki, T. Kaminaga
(7) Electron Probe Micro. Analysis (EPMA)	A. Ishikawa
(8) Micro Gamma Scanning	K. Ono
(9) UO ₂ Density Measurement	H. Matsushima, S. Kado
(10) UO ₂ Dissolution and Burn-up Analysis	M. Oonuki, M. Ito
(11) General Organization	F. Itonaga, H. Waragai F. Kanaizuka

REFERENCES

- (1) K. Yanagisawa, H. Sasajima, S. Katanishi, T. Fujishiro, S. Sampei, Y. Nihei, H. Mimura, E. Oeda, T. Yamahara, K. Morimoto: "Post-Irradiation Examination of 14×14 PWR Type Fuel Rod Prior to Pulse Irradiation in NSRR", JAERI-M 91-218 (1991)
- (2) K. Yanagisawa, H. Sasajima, S. Katanishi, K. Homma, T. Fujishiro, O. Horiki, H. Mimura, E. Oeda, I. Ohwada, J. Honda, T. Yamahara, T. Ito, S. Iida, I. Takahashi, K. Sonobe, T. Kikuchi: "Pre-pulse Irradiation Examination, NSRR Pulse Irradiation and Post-pulse Irradiation Examination of MH-1 Fuel Rod", JAERI-M 91-220 (1991)
- (3) K. Yanagisawa, H. Uno, H. Sasajima, S. Yamazaki, T. Inabe, K. Ishijima, H. Kuroha, N. Sekita, I. Ohwada, J. Honda, T. Ito, S. Iida, M. Saito, S. Kurobane, I. Kitagawa: "Technical Report: "Fabrication of PWR Type Rodlet Fuel", (in Japanese)", JAERI-M 90-091 (1990)

- (4) K. Yanagisawa, H. Miyanishi, I. Kitagawa, S. Iida, T. Ito, H. Amano: "Study of Development of Non-destructive Method for Determining FGR from High Burned PWR Type Fuel Rod", (in Japanese), JAERI-M 91-202 (1991)
- (5) T. Suzuki et al.: "NSRR Pulse Experiment with Pre-Irradiated LWR Fuel-(VII) Evaluation of Energy Deposition by Bu-140 Measurement", Fall Mtg. At. Energy Soc. Japan, Tohoku Univ. H17, (1990)

Appendix 0

Result of Post-Refabrication Examination

0.1 Marking and cutting

Before cutting, a dimension necessary for refabrication was determined by using X-ray photograph taken from long sized rod K4. By setting rod bottom end as an original zero point, rod K4 was marked for dry cutting. This condition is described in Fig. A.0.1 and A.0.2, respectively.

Cutting map is shown in Fig. A.0.3. At this stage, obtained active column length was about 167.0mm which was longer than scheduled active column length of 122mm due to give a cutting margin for joint of end plugs. As-cut condition of segmented fuel from original test fuel rod (hereinafter called OTFR) K4 is shown in Fig. A.0.4.

Rod number of shortened or refabricated was denoted then as K4-2. After cutting from OTFR, UO₂ fuel at top and bottom end of K4-2 was dismantled for welding of end plugs. As shown in the previous figure, measured active column was: 2393.1-2271.7=121.4mm. Cutting was between 2271.7mm and 2393.1mm from bottom end of OTFR.

Welding of fresh end plugs made of zircaloy-4 with refabricated fuel was performed. Welding condition is described detailly in Fig. A.0.5.

0.2 Gas refilling and He leak test

Segmented test fuel rod(hereinafter called STFR) K4-2(or conventionally MH-2) was refilled by pure helium to amounts of 5.12MPa (26.8°C). This condition is shown in Fig. A.0.6, in which gas refilling results on other STFRs are also attached to.

As a result of helium leak test, leak rate of K4-2 was 7.5×10^{-8} cc/s, showing rather good resistency against leakage than that of standard value (3.2×10^{-7} cc/s). This result is shown in Fig. A.0.7.

0.3 Outerview

After sealing top end of STFR K4-2, outerview of STFR was inspected. Figs. A.0.8, A.0.9.1 and A.0.9.2 show full outerview at different axial locations and at representative orientations. No anomalies are seen.

0.4 X-ray inspection

To check the reliability of STFR K4-2, especially at welded portion between irradiation hardened zircaloy and fresh zircaloy plug used at both fuel ends, X-ray inspection was executed. Test condition is shown in Fig. A.0.10. Results of X-ray photograph taken at 0° and 90° orientations are shown in Figs. A.0.11 and A.0.12. From these, it was found to be no significant damage on cladding of STFR K4-2.

0.5 Weight

Total weight of STFR K4-2 as shown in Figs. A.0.13, was 170.1g, where, weight of other STFRs fabricated at the same time is attached to.

0.6 Eddy current test

To check the reliability of STFR K4-2 after refabrication, an eddy current test as shown in Fig. A.0.14 was performed. From comparison with calibration data shown in Fig. A.0.15, it can be said that no significant damage is seen in refabricated rod K4-2. Test condition is summarized in Fig. A.0.16.

0.7 Diameter profile

Diameter profile of STFR K4-2(MH-2) was measured at 0°-180° and at 90°-270° orientations. Result is shown in Fig. A.0.17. Creep-down of K4-2 after refabrication was about 0.61% of original O.D.(i.e., radial shrinkage by 0.065mm).

Bowing of K4-2 was also measured and shown in Fig. A.0.18. This was within $\pm 0.2\text{mm}$. A total length of fuel rod as shown in Fig. A.0.19, was about 297.7mm.

N S R R バーンアップ実験燃料	試験名	マーキング、粗切断、細切断
	集合体名	G 0 8
	燃料棒	K 4
試験期間	H 1. 6. 6~H 1. 7. 6	試料名

マーキング

1. 方法

燃料棒切断マップに従って、マーキング装置により、0°方向、切断位置及び上下識別マーキングを白マジック(切断位置は白マジックの上よりけがき針使用)を使用して行った。

0°方向のマーキングは、燃料棒にけがかれている炉心方向の印を基準とした。なお、各試料の上下識別は、各試料Bottom側より約20mm位置に周方向マーキングを施して行った。

2. 記録

別添1の通り。

切断

1. 方法

乾式切断機により粗切断及び細切断を行った。

乾式切断機(刃種;ボラゾンホイール、刃巾;1mm)

切断は、マーキング線の中央について行った。

2. 記録

別添2(粗切断)別添3(細切断)の通り。

Fig. A.0.1 Condition of rod K4 marking

第1回 G-O-K-A燃耗計記録

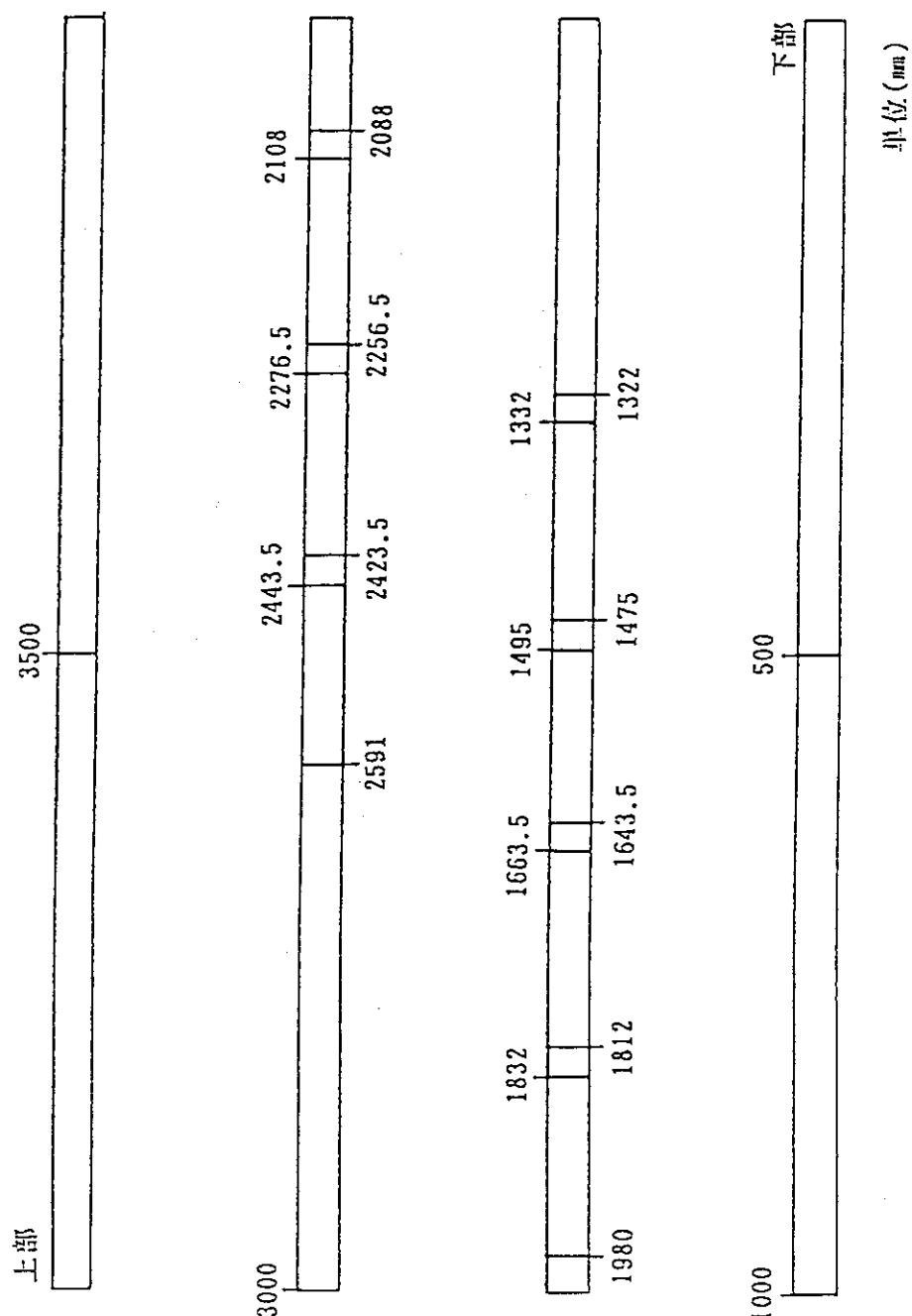


Fig. A.0.2 Record from marking

別添2 CO8-K4 燃料棒切削断面図

JAERI-M 92-015

上部		残材2	

		K4-1	K4-2	K4-3	M
		2591	2423.5	2256.5	2088

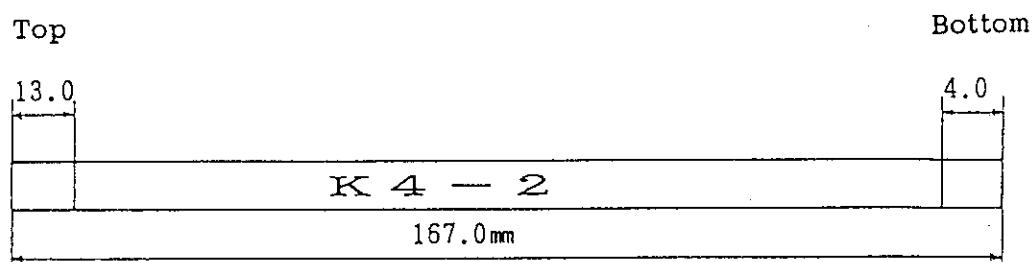
		K4-4	予備1~2	金相	
		1980	1812	1475	1322

下部		残材1		尺寸 (mm)

Fig. A.0.3 Cutting map for rod K4

金相 : 金相試験
 残材1~2 : 次年度分
 予備1~2 : 次年度分
 M : モックアップ試料

(1) Result of cutting, before dismantling of UO₂ fuel



(2) Result of cutting, after dismantling of UO₂ fuel

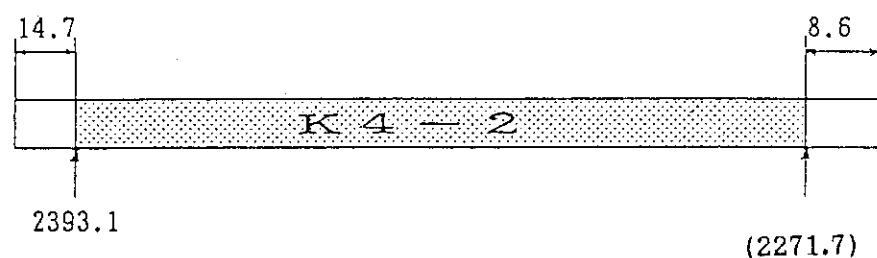


Fig. A.0.4 Fuel after cutting (top) and after dismantling end UO₂ for welding of end plug (bottom)

N S R R バーンアップ実験燃料	試験名	上下端栓の組立、溶接
	集合体名	G 0 8
	燃料棒	K 4-2
試験期間	H 1, 6.28~ H 1, 7. 6	試料名

上下部端栓の組立

1. 方法

- 1) 燃料棒細切断後の試料について、ペレット境界面まで脱ミートし、その後、端面処理を行った。
※K4-1については、脱ミート作業の都合上、TOP側は細切斷せずに一個分のペレットを取り除いた。
- 2) 端面処理を行った後、ノギスによりペレット一被覆管端面までの距離（深さ）を測定し、規定の寸法に処理した後に上下端栓を組立機により挿入した。
※K4-1については、上下共にムーブメントマーカを挿入した。
- 3) 燃料棒の0°方向は、圧力センサ付下部端栓の赤点と合わせた。
※K4-1については、上部端栓の刻印(01NJGK01)の最初の0を0°方向と合わせた。

2. 記録

別添4の通り。

上下端栓の溶接

1. 方法

端栓組立後の試料を端栓溶接機にセットし、アルゴンガスで置換(2~3回)後溶接を行った。

2. 記録

溶接条件

溶接電流	55A/12sec
B.G電流	35A
DOWN SLOPE	9sec
PULSE WIDTH	40%
PULSE RATE	40%
FIX SPEED	50%

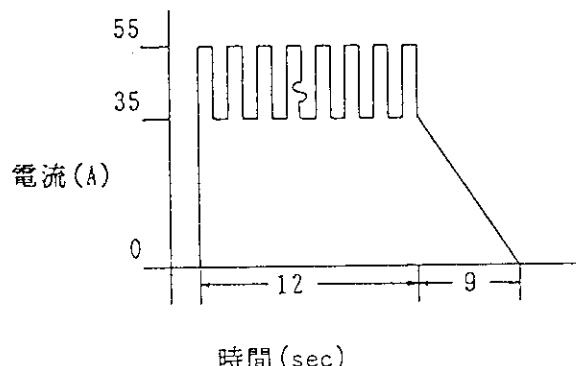


Fig. A.0.5 Condition of welding

N S R R バーンアップ実験燃料	試 驗 名	セグメント燃料棒ガス充填加圧
	集 合 体 名	G O 8
	燃 料 棒	K 4
試 驗 期 間	H 1. 7.10~ H 1. 7.14	試 料 名

1. 方法

上下端栓溶接を行ったセグメント燃料棒を、シール溶接チャンバーにセットし、真空引き(約30分)を行った後、Heガスを充填し溶接を行った。

2. 記録

真空引き	30分
到達真空度	0.05Torr以下
充填ガス種類	Heガス
充填ガス組成	He:99.995%
充填ガス保持時間	2時間30分(K4-1については2時間)
溶接電流	20A(3sec)

試料番号	チャンバ-内温度(°C)	充填ガス圧力 (kg/cm ²)
K4-1	28.7	51.5
2	26.8	51.2
3	27.8	51.4
4	26.5	51.1

3. 記事

Heガス溶封後の溶封端栓部は、リュ-タ-を用い、4.0±0.1mmに切削した。

Fig. A.0.6 Refilled gas pressure of STFR K4-2 (MH-2)

NSRRバーンアップ実験燃料	試験名	燃料棒ヘリウムリーク試験
	集合体名	G O 8
	燃料棒	K 4
試験期間 H1.7.17 ~ H1.7.26	試料名	

1. 検査の方法及び条件

試験法 真空-加圧法
 検査機器 SHIMADZU MSE-110
 標準リーク $3.2 \times 10^{-7} \text{ A cc/sec}$
 検査部位 上部／下部端栓溶接部及びHe注入孔溶封部

2. 検査の結果

試料番号	感度(A cc/sec/div)	漏洩率(A cc/sec)	検査日
K 4 - 1	4.8×10^{-11}	9.2×10^{-9}	H1.7.21
K 4 - 2	4.6×10^{-11}	7.5×10^{-9}	H1.7.24
K 4 - 3	4.5×10^{-11}	5.4×10^{-9}	H1.7.21
K 4 - 4	4.3×10^{-11}	1.0×10^{-7}	H1.7.26

3. その他

漏洩率の算出にあたっては、検査開始30分経過後の値を用いた。

Fig. A.0.7 Result of He leak test on STFR, K4-2 (MH-2)

K 4 - 2

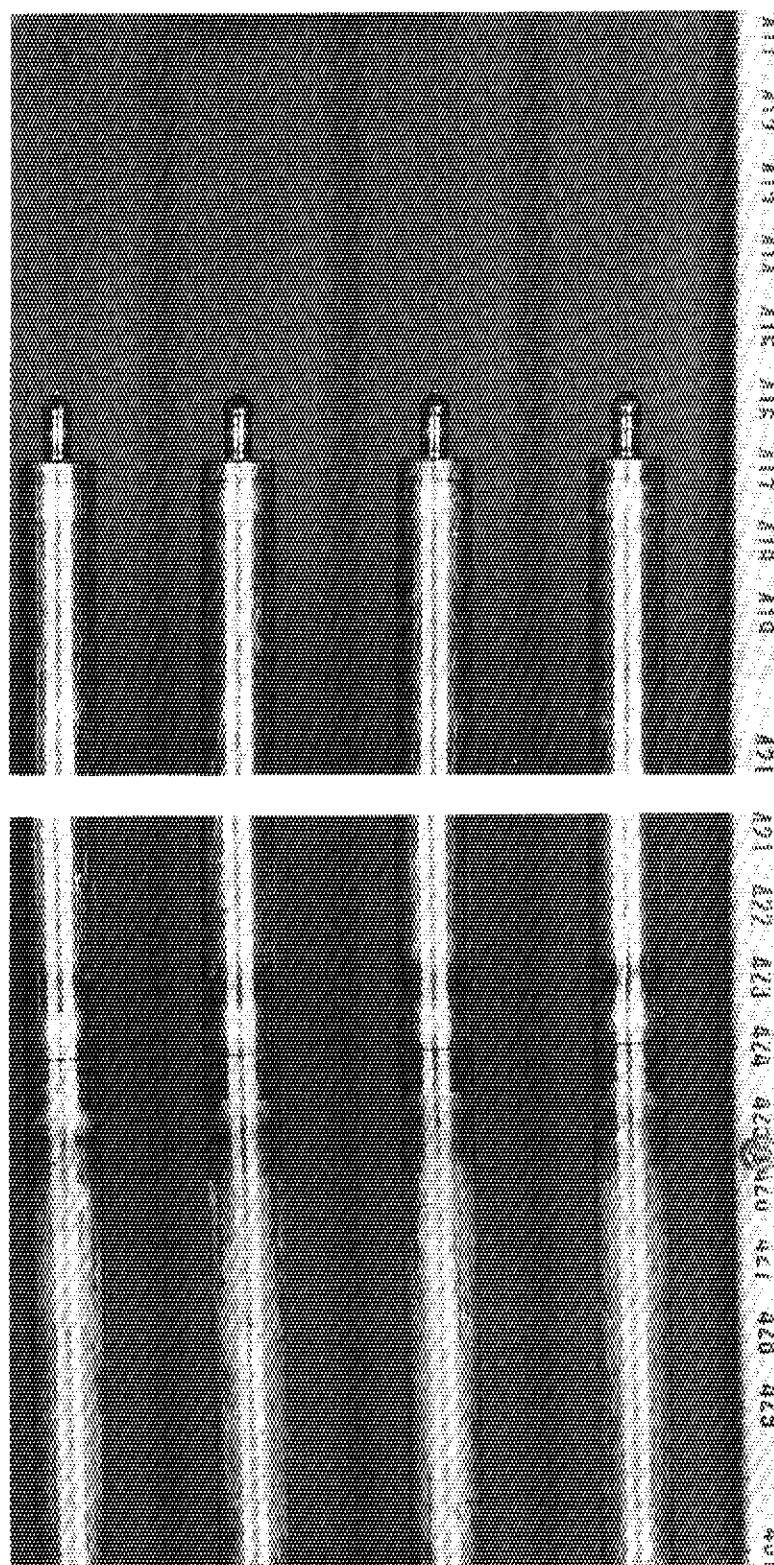


Fig. A.0.8 Outerview of STFR K4-2 (MH-2)

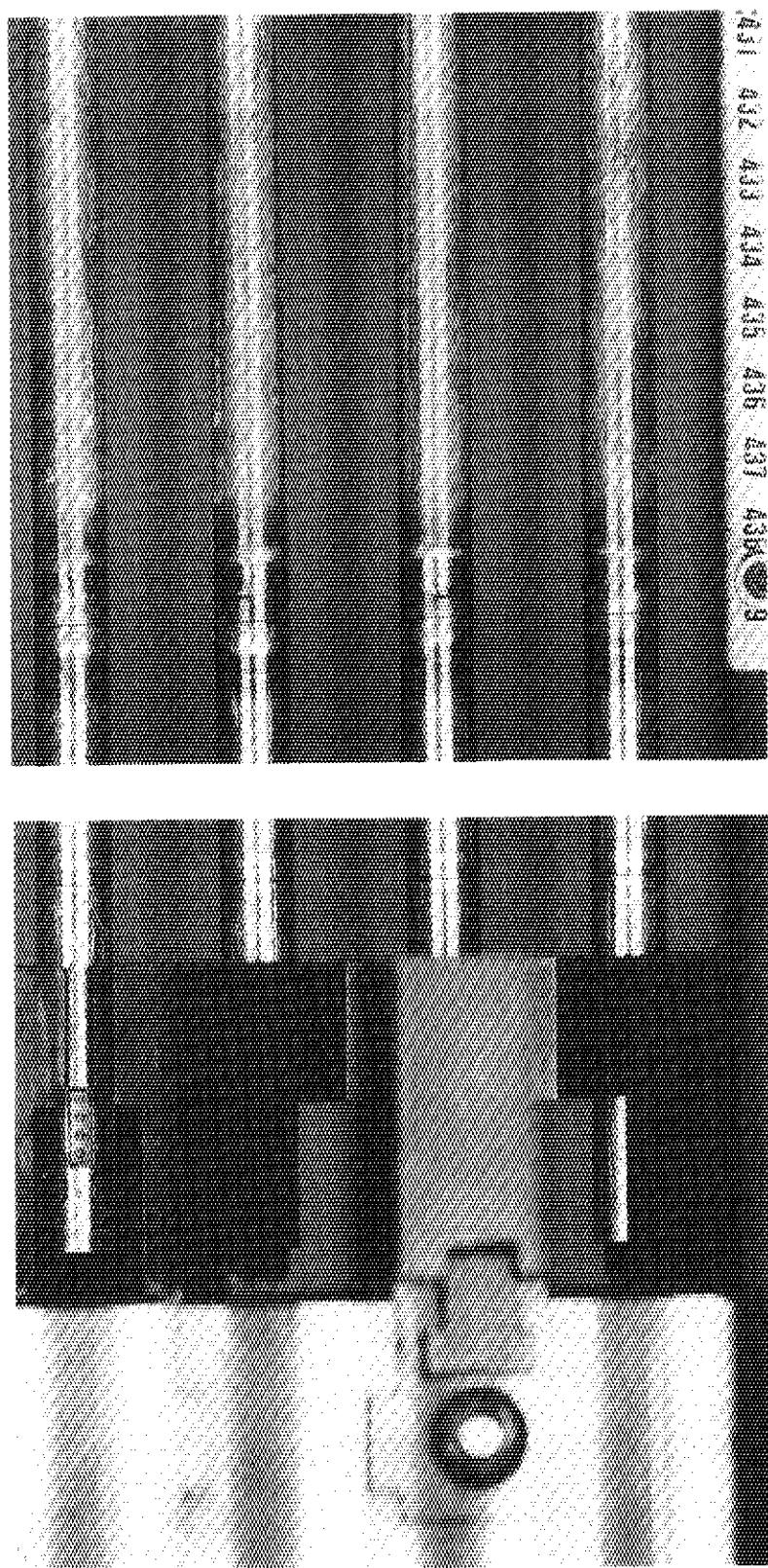


Fig. A.0.9.1 Outerview of STFR K4-2 (MH-2), (cont'd)

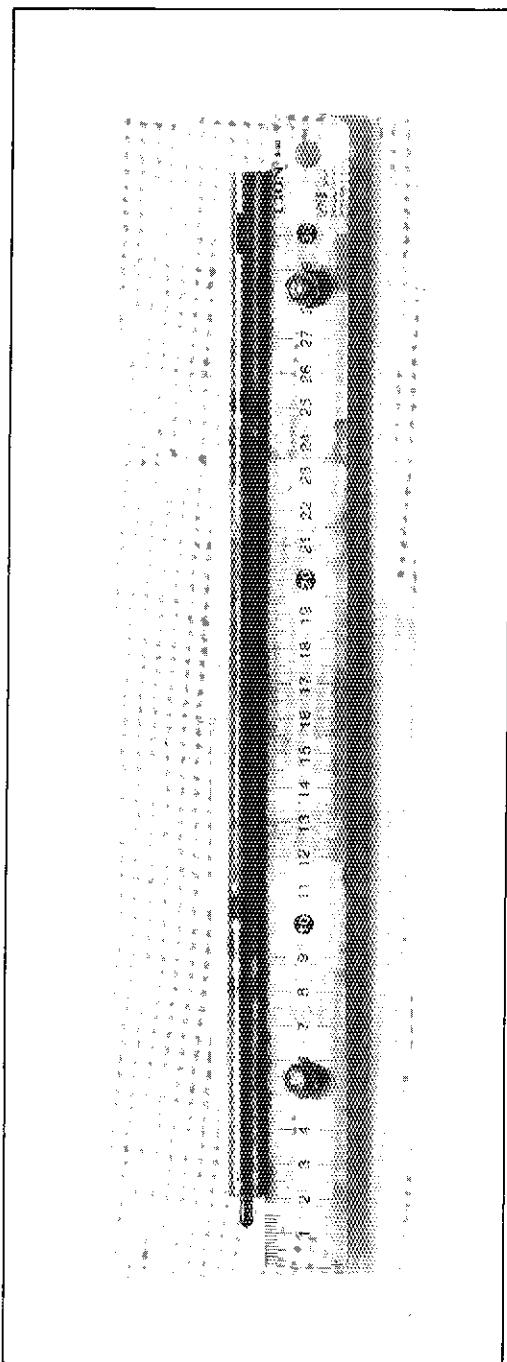


Fig. A.0.9.2 Outerview of STFR K4-2 (MH-2)

試験期間	平成 1.8.30	試験名	NSRRパルス照射実験燃料PIE
撮影方法	スリット撮影	燃料集合体名	G 0 8
撮影方向	0° / 90°	燃料要素名	K4-1 (K4-2), K4-3, K4-4

X線透過撮影条件

撮影条件

X線管電圧

380 KV

X線管電流

4 mA

撮影速度

6.3 mm/min

X線管焦点～被写体間距離

1300 mm

被写体～フィルム間距離

300 mm

撮影倍率

径方向

1.23

軸方向

1.0

特記事項

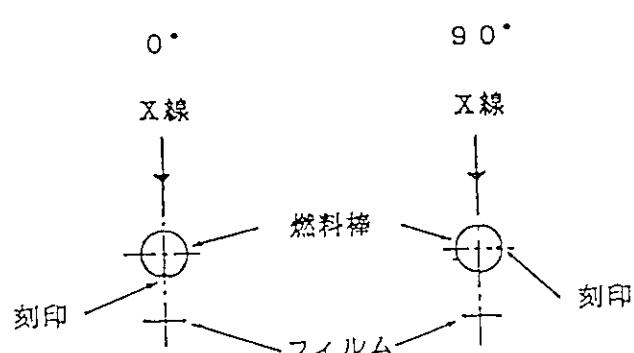


Fig. A.0.10 Test condition of X-ray inspection

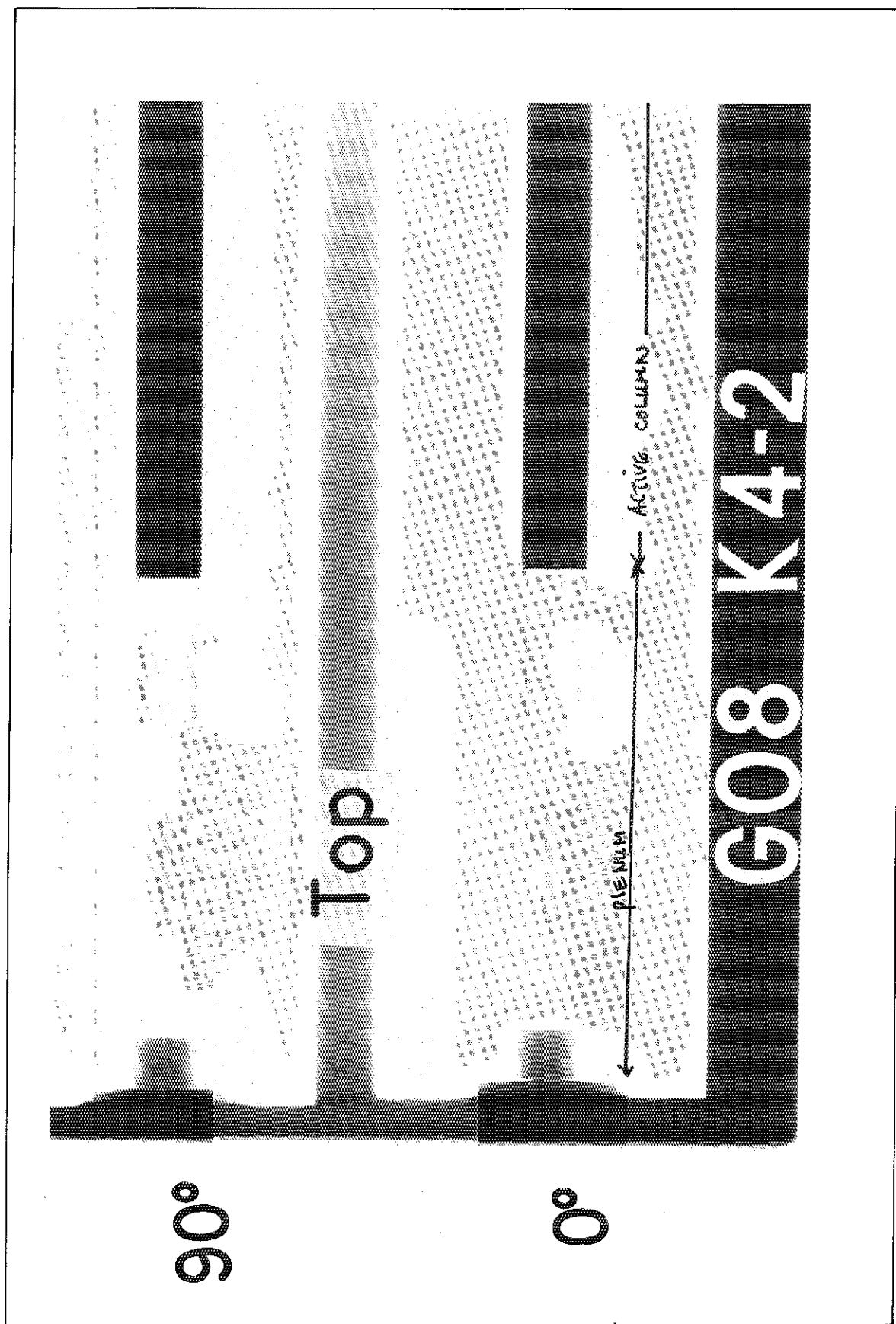


Fig. A.0.11 Result of X-ray inspection (rod top region)

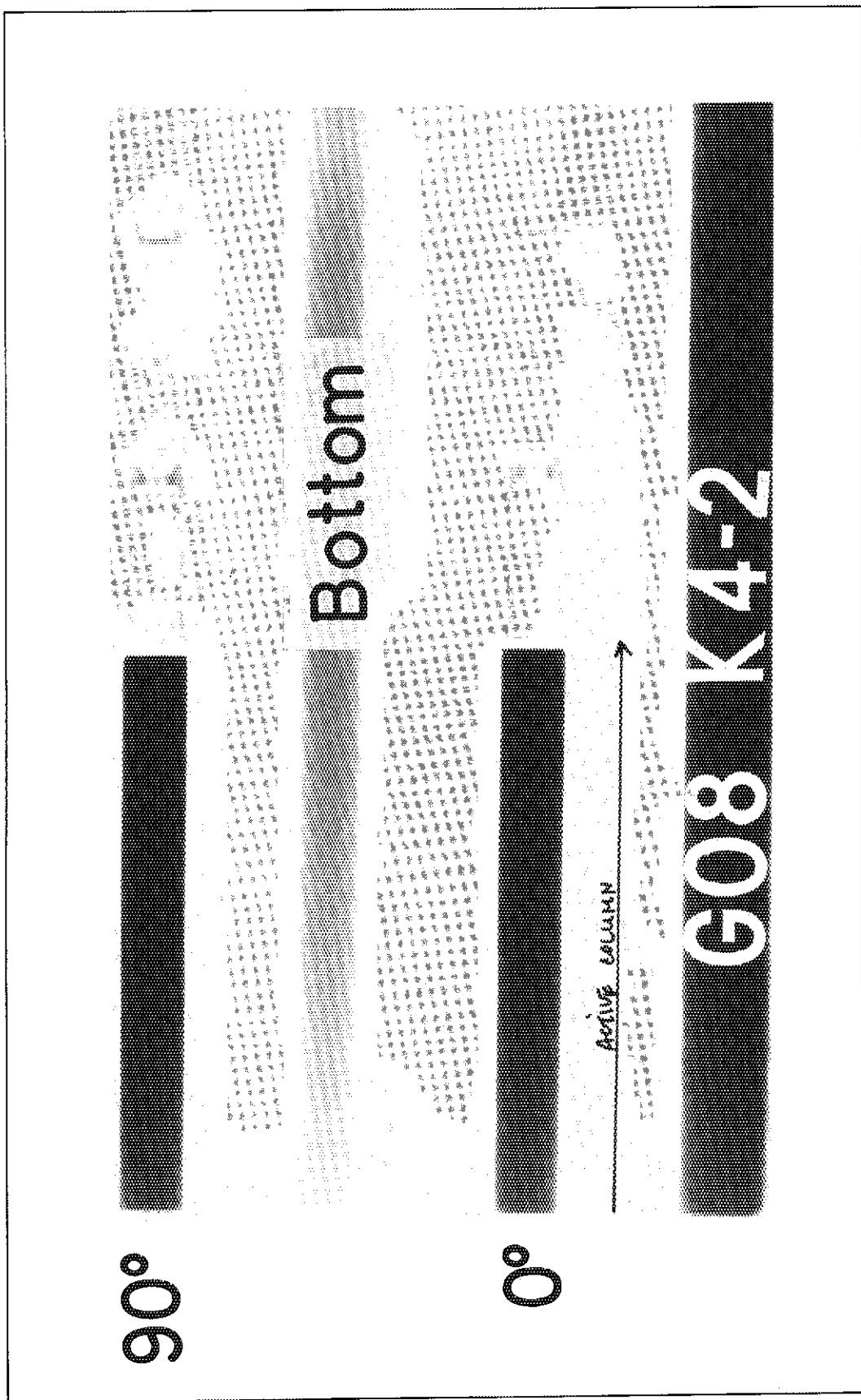


Fig. A.0.12 Result of X-ray inspection (rod bottom region)

NSRRバーンアップ実験燃料	試 驗 名	燃料棒重量測定
	集 合 体 番 号	G 0 8
	燃 料 棒	K 4
試 驗 期 間	H 1.9.4~H 1.9.5	試 料 名 K 4 - 1 ~ K 4 - 4

1. 目 的

セグメント化を行った燃料棒の重量測定を行い、パルス照射後の重量増加データに対するレファレンスデータを得る。

2. 方 法

セグメント燃料棒を超音波洗浄機で30分間洗浄した後、一昼夜セル内に放置して乾燥し、電子天秤にて秤量した。

型 式	METTLER PJ 4000
電子天秤仕様	秤量範囲 0~4100 g
	測定精度 ±0.1 g

3. 記 錄

試 料 名	重 量 (g)
K 4 - 1	170.9
K 4 - 2	170.1
K 4 - 3	170.3
K 4 - 4	170.5

Fig. A.0.13 Total weight of STFR K4-2

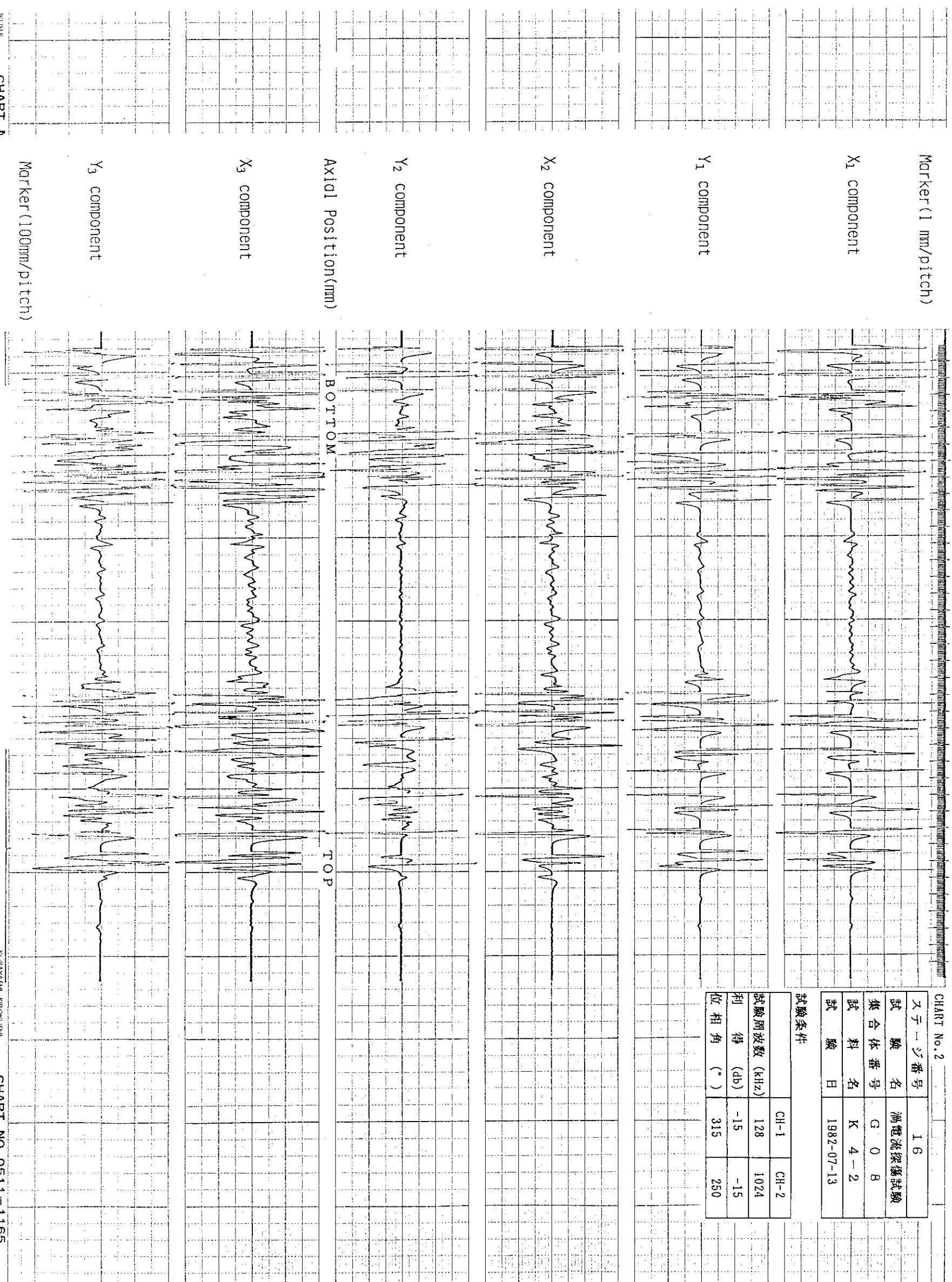


Fig. A.0.14 Result of eddy current test on STFR K4-2

KUSUHI

CHART R

K. NAWASHI KUSUHI

CHART NO. 0511-1165

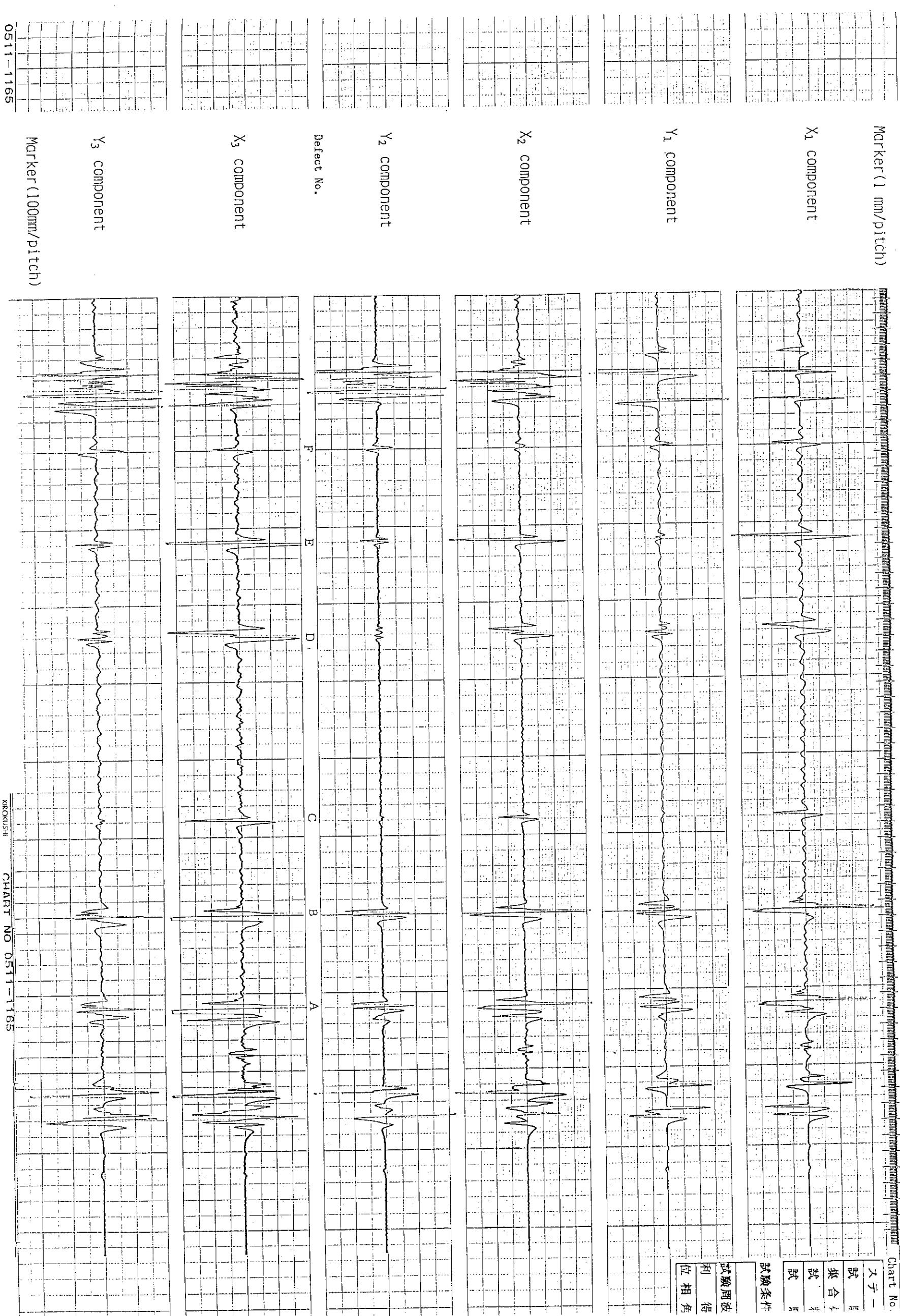
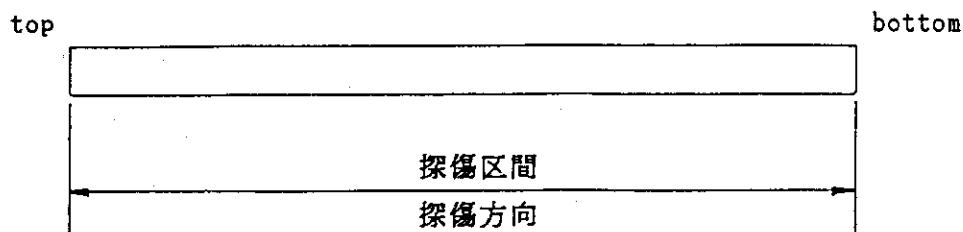


Fig. A.0.15 Artificially scratched reference tube data for eddy current test

渦電流探傷試験の 試験条件、その他	試験名	NSRRパルス照射試験料PIE
	集合体番号	G 0 8
	燃料棒名	K 4
	試料名	K 4-1, K 4-2, K 4-3, K 4-4 人工缺陷試料 G-3
試験期間 H1.4.26 ~ H1.8.30		

試験位置



試験条件

	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂
試験周波数 (kHz)	128		1024	
位相角 (°)	315		250	
利得 (db)	-15		-15	
リジェクション	0		0	
探傷コイル	貫通コイル			
探傷速度	20 mm/sec			
高域通過フィルタ	5.8 Hz			
低域通過フィルタ	12.0 Hz			
デ・タレコ・ダ速度	19 cm/sec			
ペンレコ・ダ尺度	1/2			
測定アナログチャート番号	1 ~ 5			

X₃ - Y₃信号

Fig. A.0.16 Test condition of eddy current on STFR K4-2

ASSEMBLY	G08
ROD	K4-2
No.	
DATE	89-09-01

BLACK 0-180 DEG
RED 90-270 DEG

10.90

SUNPOU-SOKUTEI

10.50

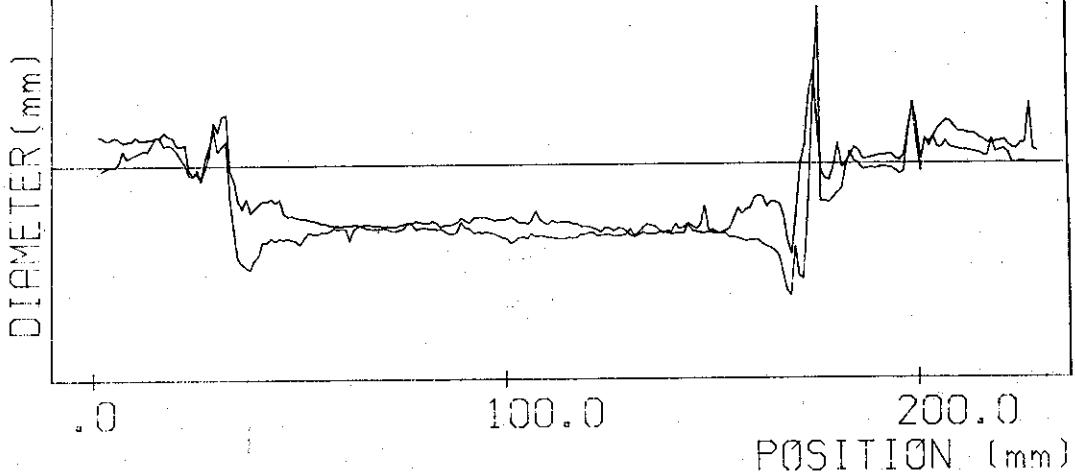


Fig. A.0.17 Diameter profile of STFR K4-2

BLACK 170-350 DEG

0.11

SUNPOU-SOKUTEI

-0.59

0.11

-0.59

100.0

200.0

POSITION (mm)

100.0

200.0

POSITION (mm)

Fig. A.0.18 Bowing of STFR K4-2

NSRRバーンアップ実験燃料		試験名	燃料棒寸法測定(全長)
		集合体番号	G 08
		燃料棒	K 4
試験期間	H 1.7.28	試料名	K 4-1~K 4-4

1. 目的

セグメント化を行った燃料棒の寸法測定を行い、パルス照射後の寸法測定データに対するレファレンスデータを得る。

2. 方 法

セグメント燃料棒を燃料棒外観検査装置にセットした後、ファインダー内のクロスワイヤーを基準にして燃料棒上下ショルダー間を測定した。

3. 測定結果

試料名	全長 (mm)
K 4-1	299.0
(K 4-2)	297.7
K 4-3	298.8
K 4-4	298.7

Fig. A.0.19 Total length of STFR K4-2 (MH-2)

Appendix I

In-core Data Obtained from Attached Instrumentations

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$

ADR-11 : CLADDING SURFACE TEMPERATURE

MH-2(K2/K4-G08)

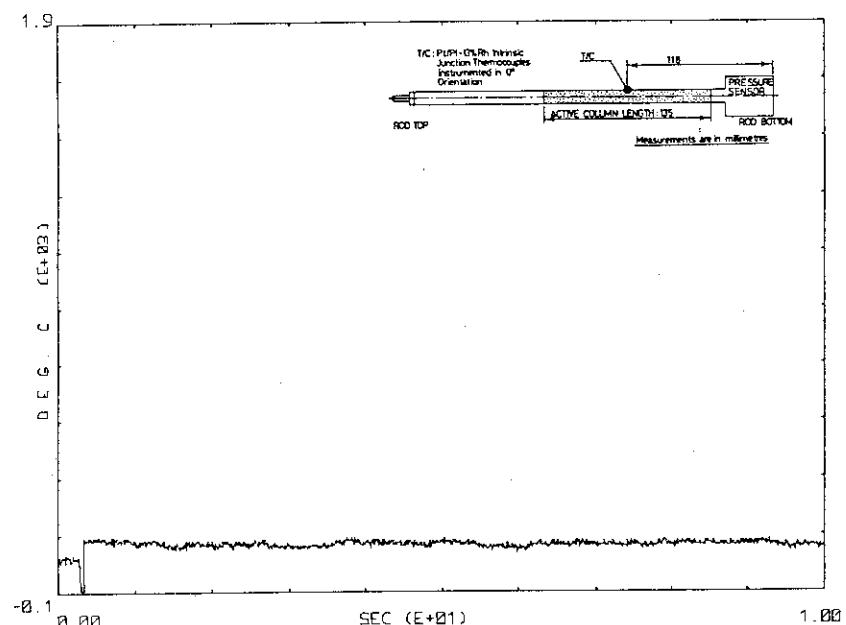


Fig. A.I.1 Cladding surface temperature vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$

ADR-12 : FUEL PRESSURE

MH-2(K2/K4-G08)

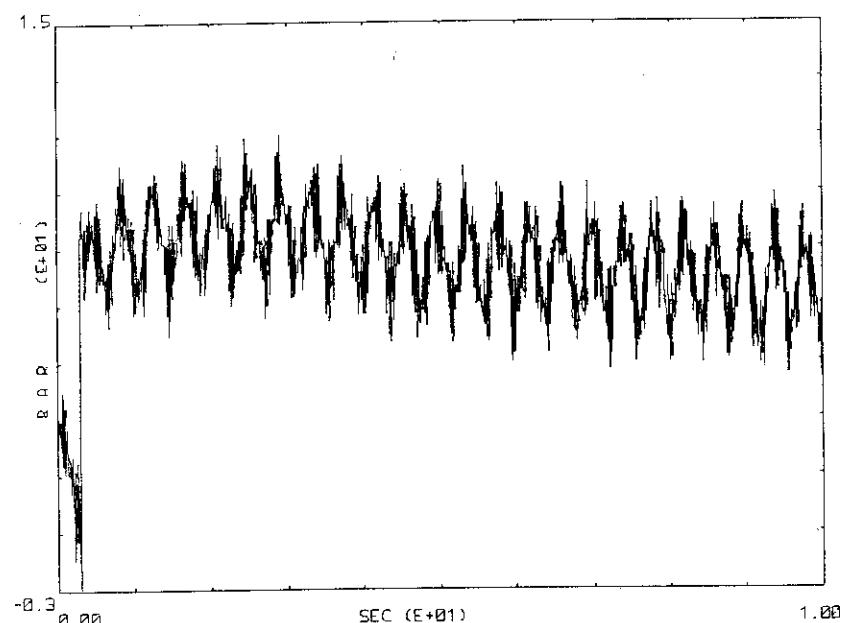


Fig. A.I.2 Internal rod pressure vs irradiation time

JAERI-M 92-015

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-13 : CLADDING ELONGATION

MH-2(K2/K4-G08)

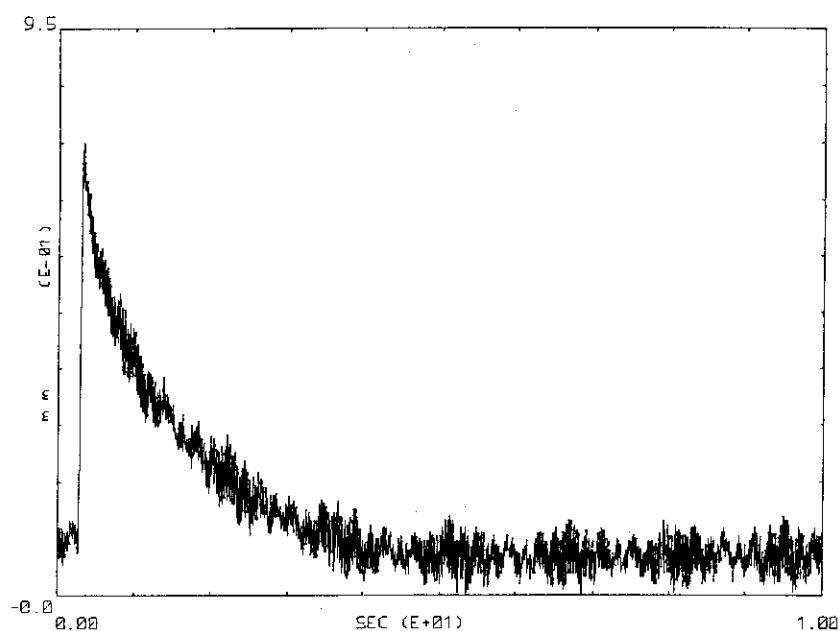


Fig. A.I.3 Cladding axial elongation vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-14 : PELLET ELONGATION

MH-2(K2/K4-G08)

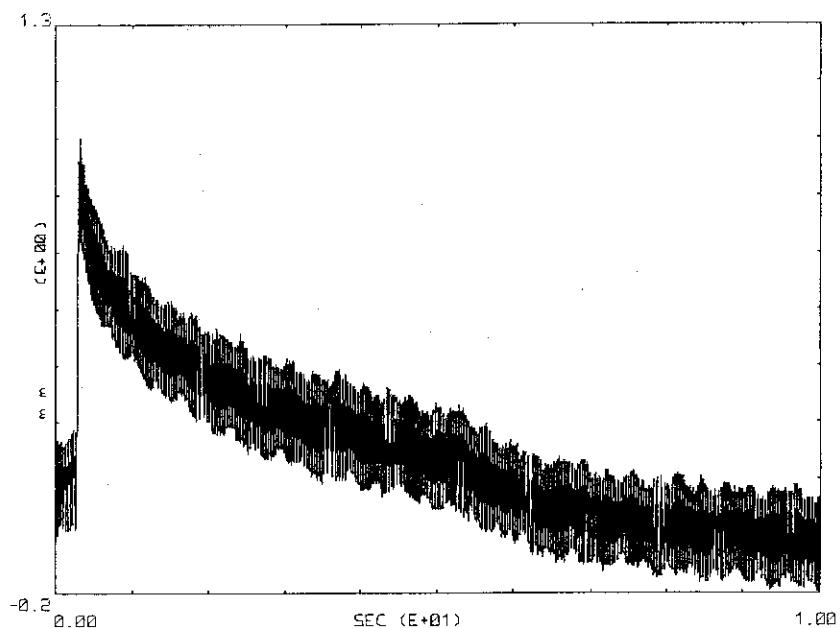


Fig. A.I.4 Fuel stack elongation vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-15 : WATER TEMPERATURE

MH-2(K2/K4-G08)

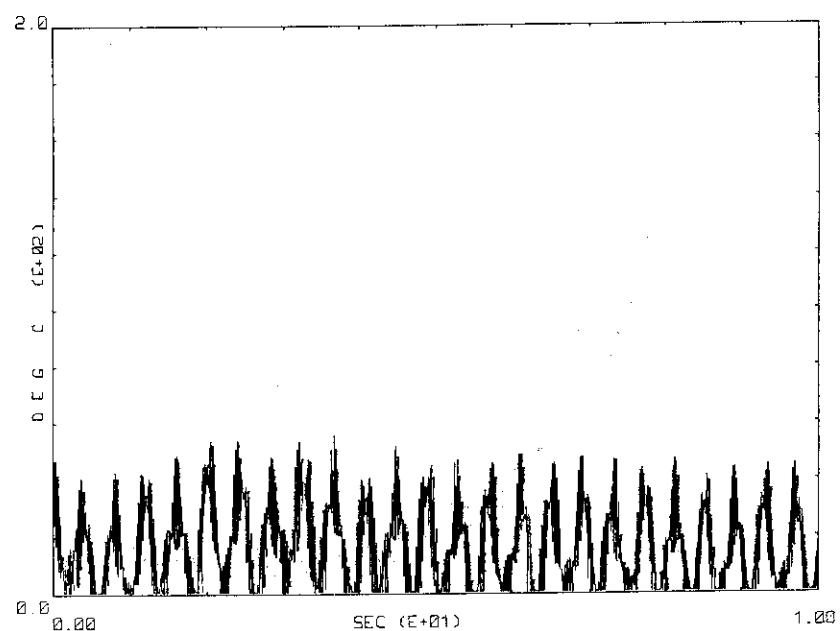


Fig. A.I.5 Capsule water temperature vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-16 : CAPSULE STRAIN

MH-2(K2/K4-G08)

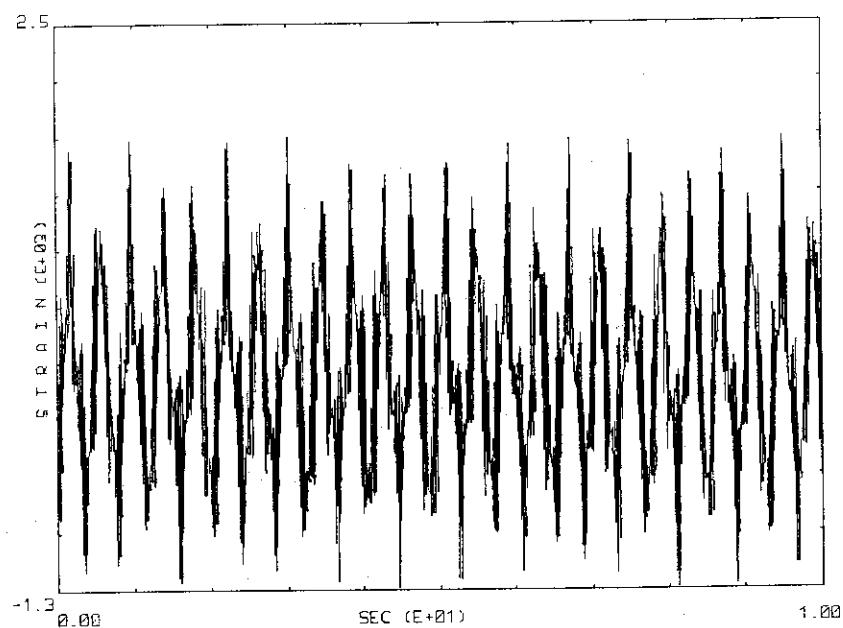


Fig. A.I.6 Capsule strain vs irradiation time

TEST NO. : NPF0030801 MH-2 3.85\$
ADR-1? : CAPSULE PRESSURE

MH-2(K2/K4-G08)

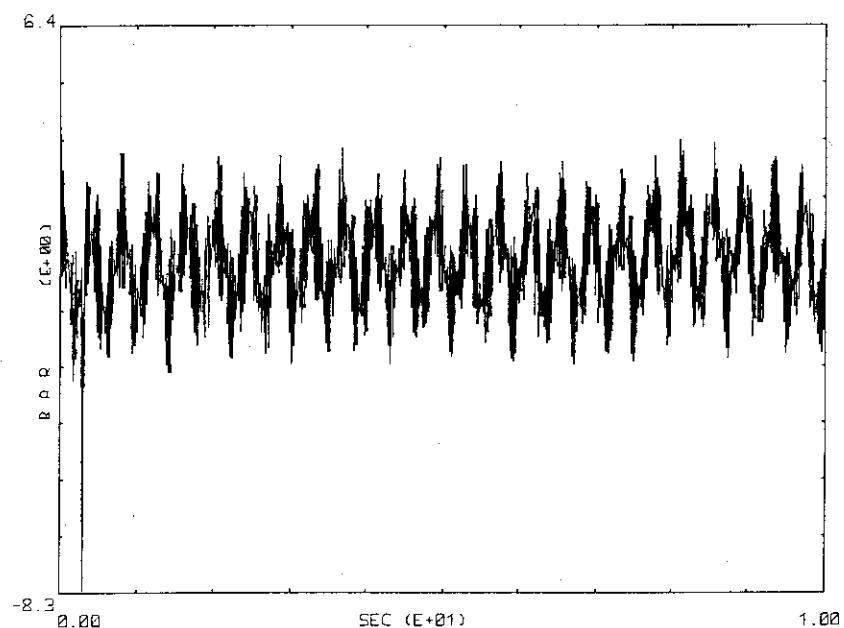


Fig. A.I.7 Capsule pressure vs irradiation time

TEST NO. : NPF0030801 MH-2 3.85\$
ADR-24 : NU-1

MH-2(K2/K4-G08)

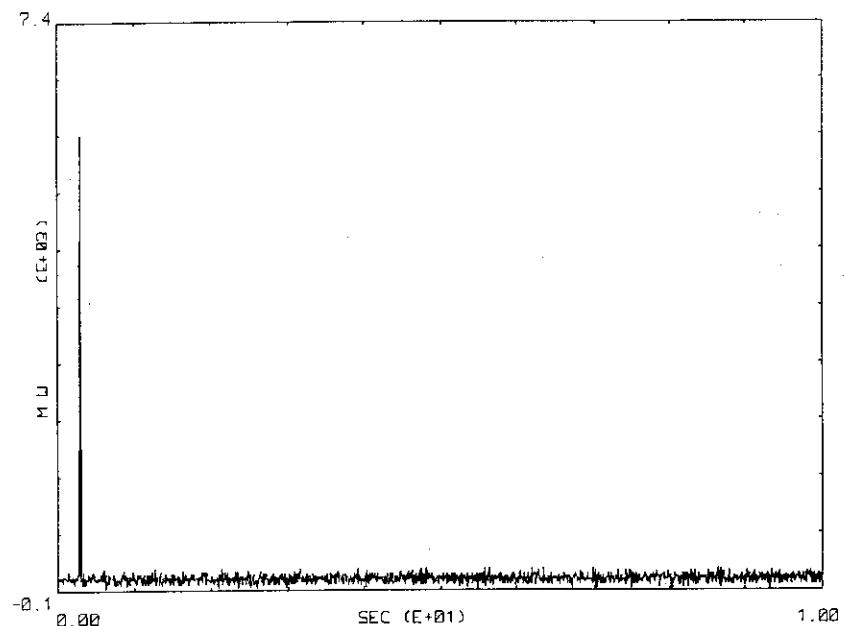


Fig. A.I.8 Reactor power vs irradiation time

JAERI-M 92-015

TEST NO. : NPS0030801 MH-2 3.85\$

ADR-25 : NU-2

MH-2(K2/K4-G08)

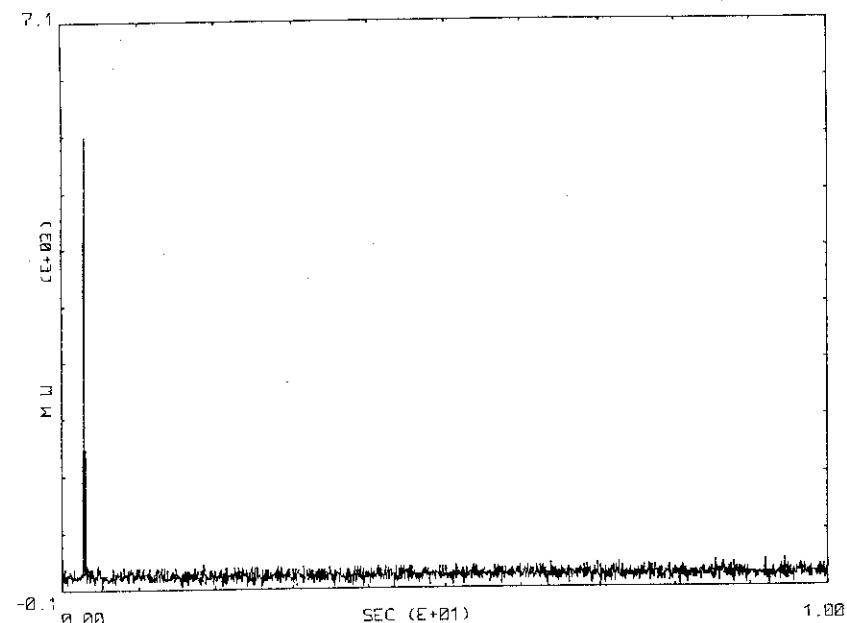


Fig. A.I.9 Reactor power vs irradiation time

TEST NO. : NPS0030801 MH-2 3.85\$

ADR-26 : NUT-D1

MH-2(K2/K4-G08)

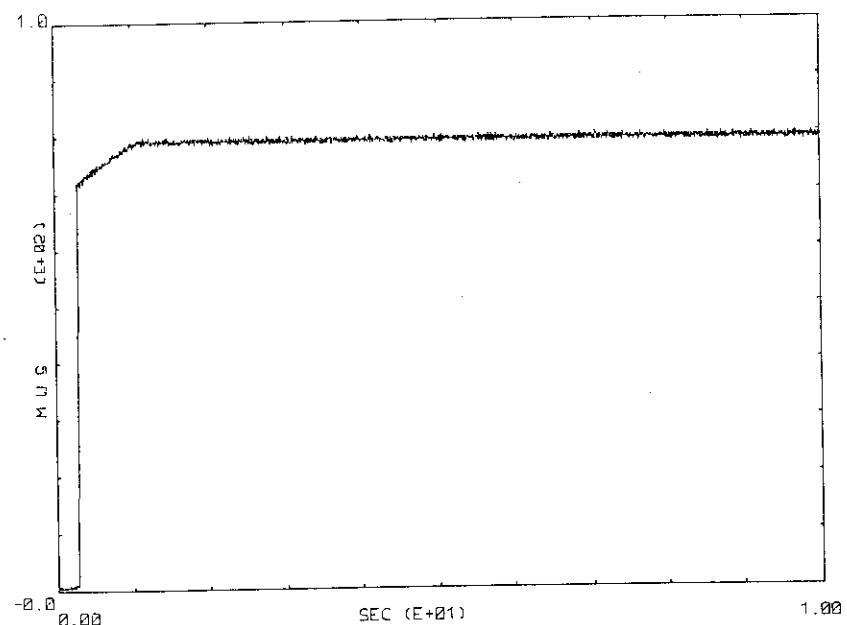


Fig. A.I.10 Integrated reactor power vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$

ADR-2? : NUT-D2

MH-2(K2/K4-G08)

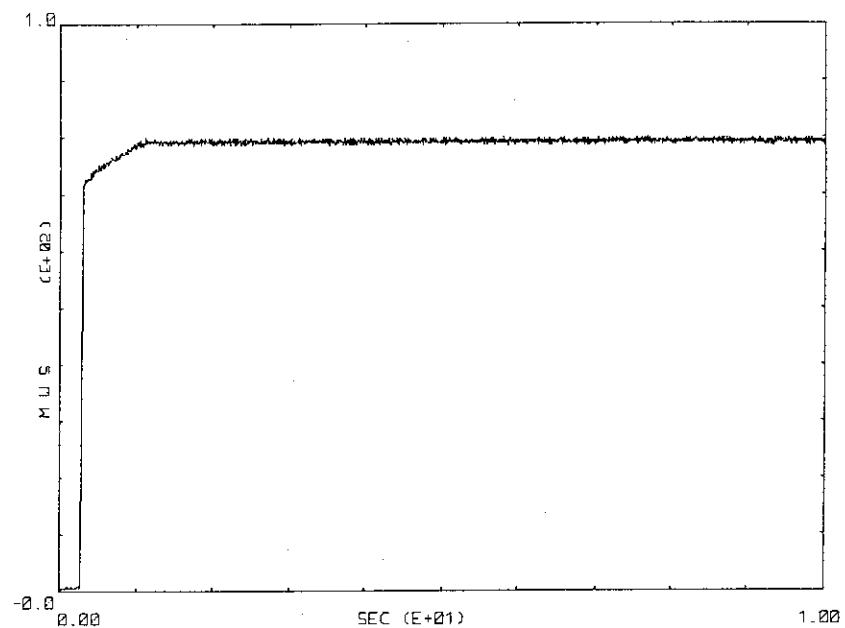


Fig. A.I.11 Integrated reactor power vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$

ADR-11 : CLADDING SURFACE TEMPERATURE

MH-2(K2/K4-G08)

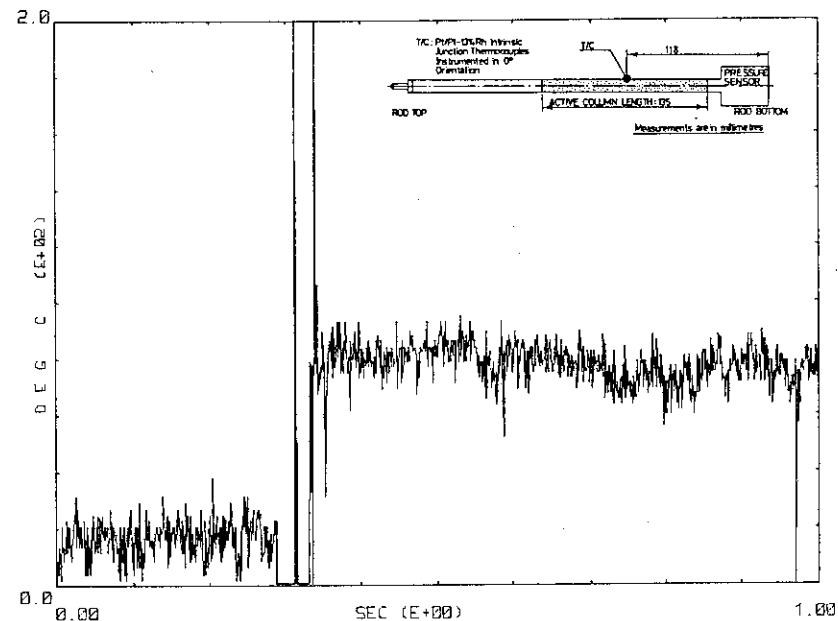


Fig. A.I.12 Cladding surface temperature vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-12 : FUEL PRESSURE

MH-2(K2/K4-G08)

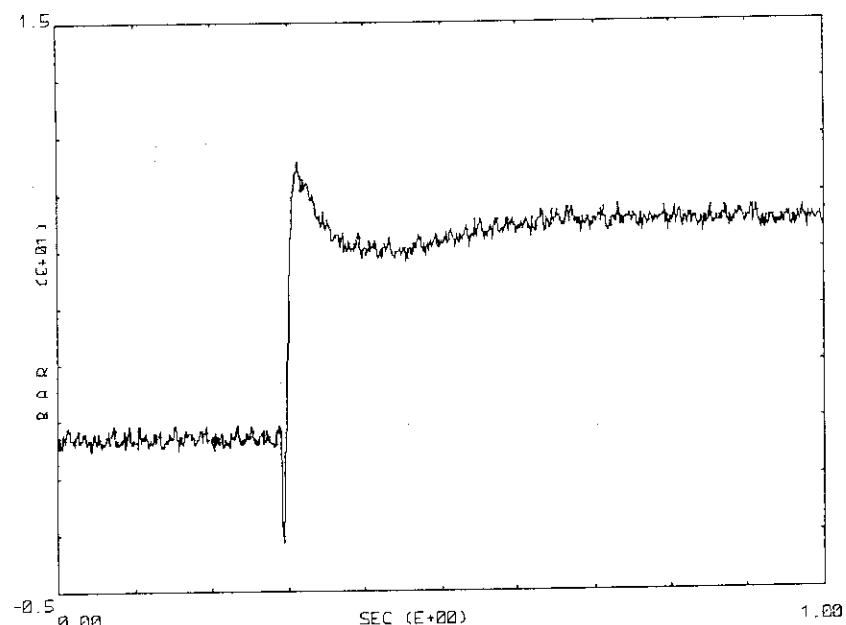


Fig. A.I.13 Internal rod pressure vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-13 : CLADDING ELONGATION

MH-2(K2/K4-G08)

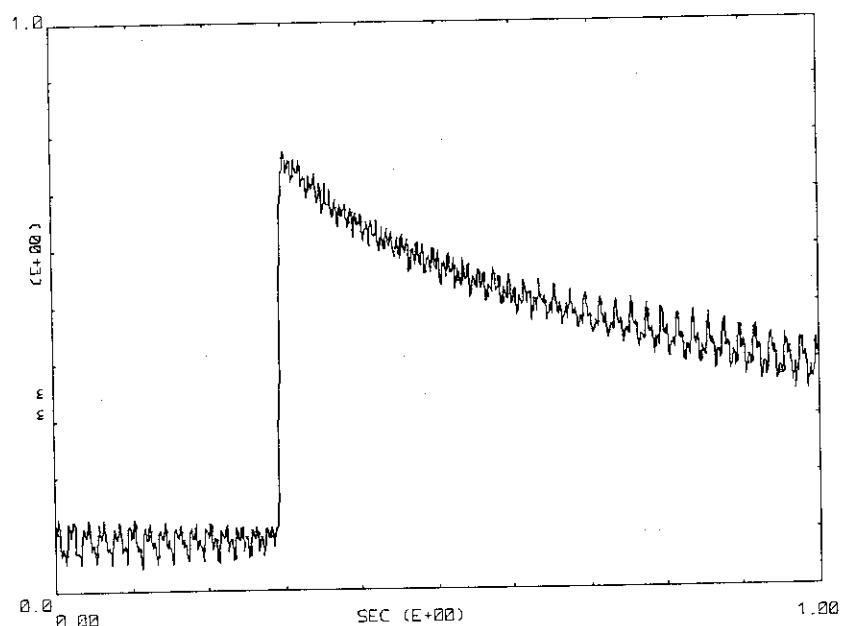


Fig. A.I.14 Cladding axial elongation vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-14 : PELLET ELONGATION

MH-2(K2/K4-G08)

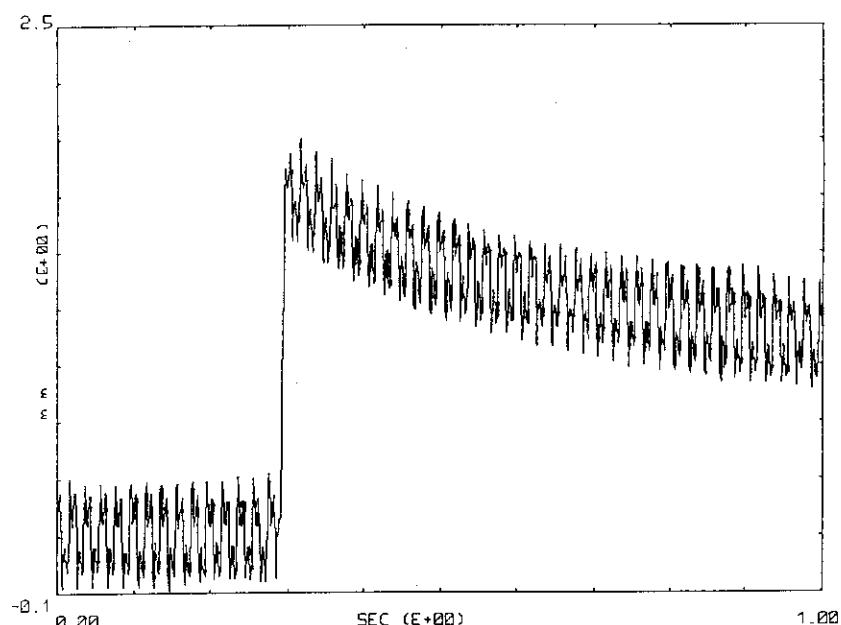


Fig. A.I.15 Fuel stack elongation vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-15 : WATER TEMPERATURE

MH-2(K2/K4-G08)

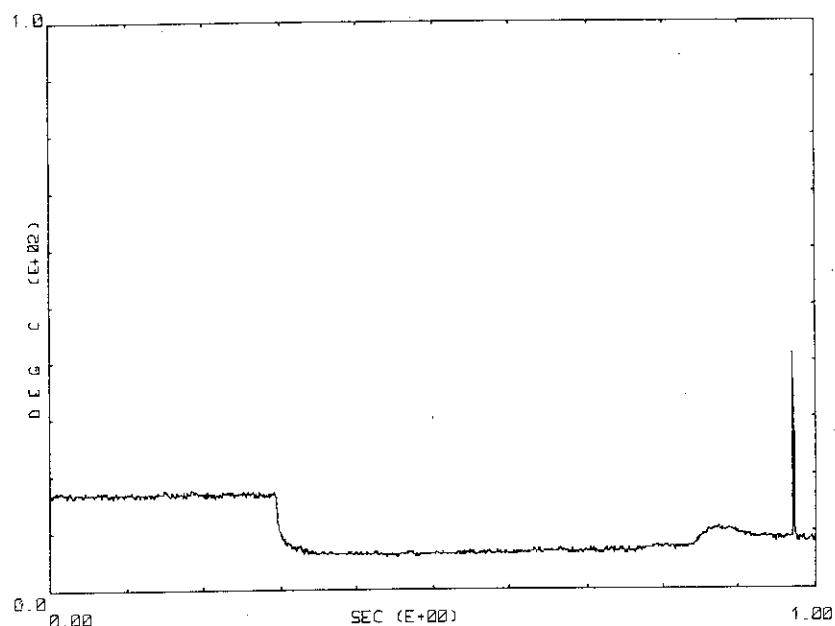


Fig. A.I.16 Capsule water temperature vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-15 : WATER TEMPERATURE

(+) (-) を反転したもの

MH-2(K2/K4-G08)

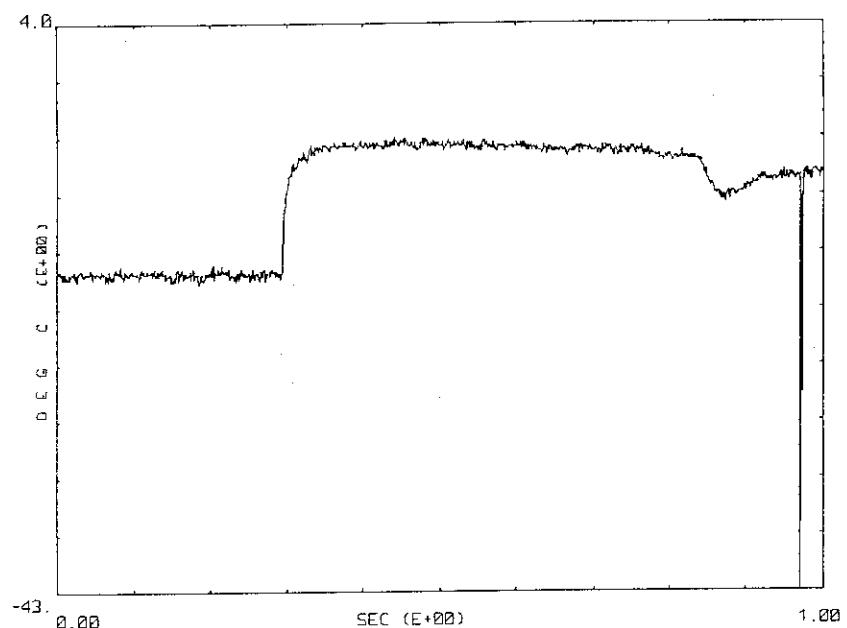


Fig. A.I.17 Capsule water temperature vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-16 : CAPSULE STRAIN

MH-2(K2/K4-G08)

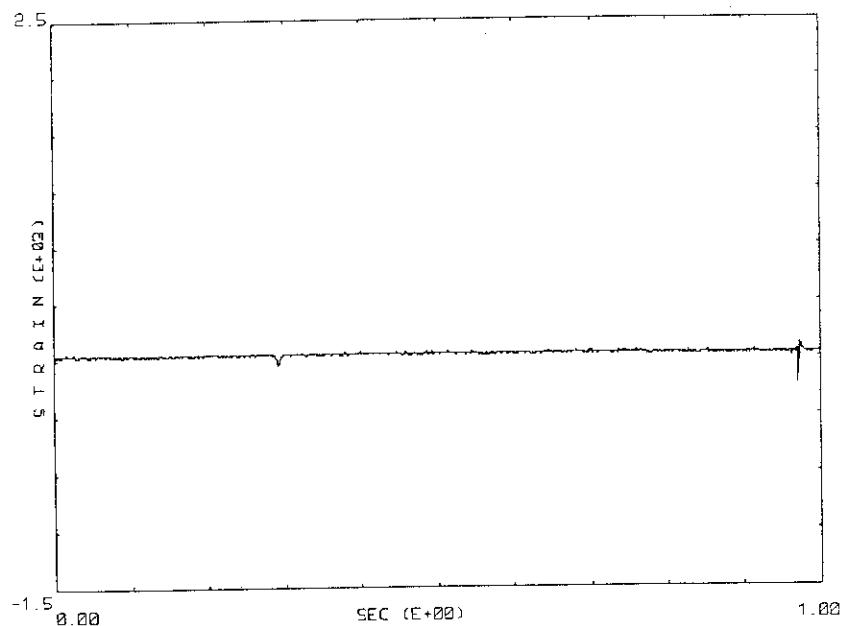


Fig. A.I.18 Capsule strain vs irradiation time

JAERI-M 92-015

TEST NO. : NP90030201 MH-2 3.85\$
ADR-17 : CAPSULE PRESSURE

MH-2(K2/K4-G08)

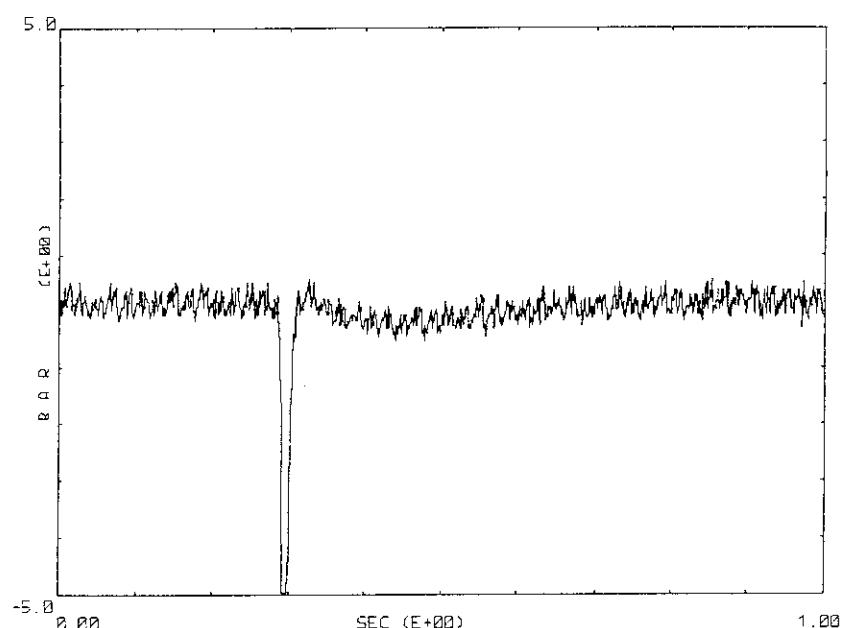


Fig. A.I.19 Capsule pressure vs irradiation time

TEST NO. : NP90030201 MH-2 3.85\$
ADR-24 : NU-1

MH-2(K2/K4-G08)

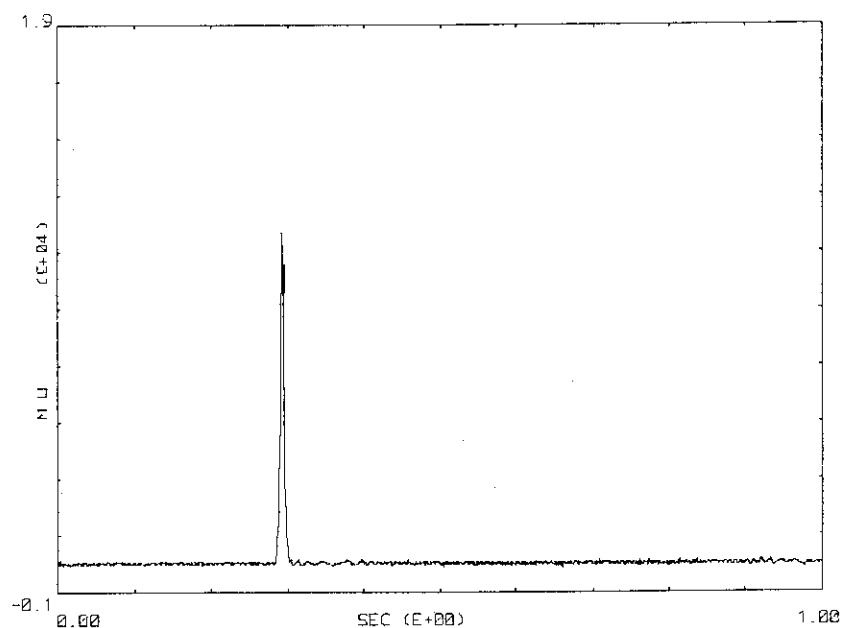


Fig. A.I.20 Reactor power vs irradiation time

JAERI-M 92-015

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-25 : NU-2

MH-2(K2/K4-G08)

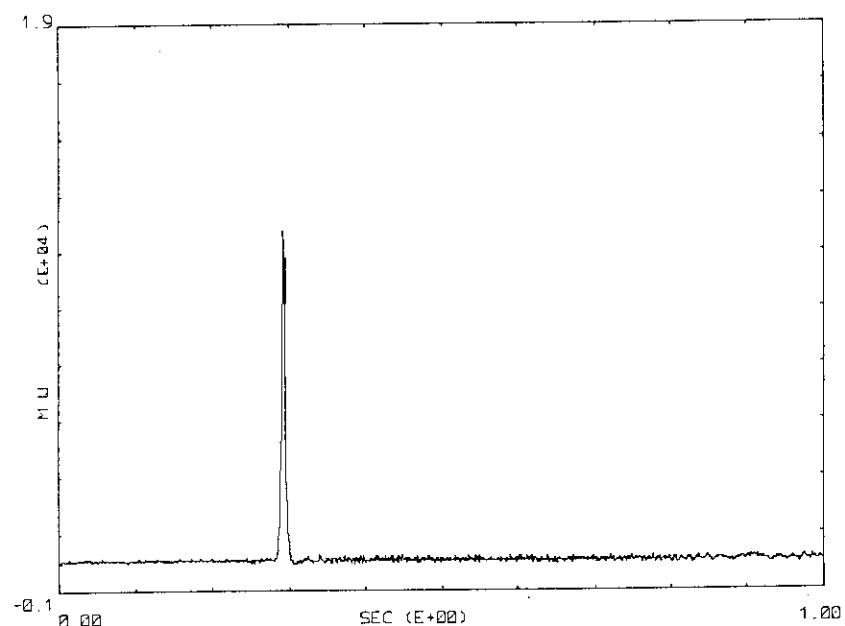


Fig. A.I.21 Reactor power vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-26 : NUT-D1

MH-2(K2/K4-G08)

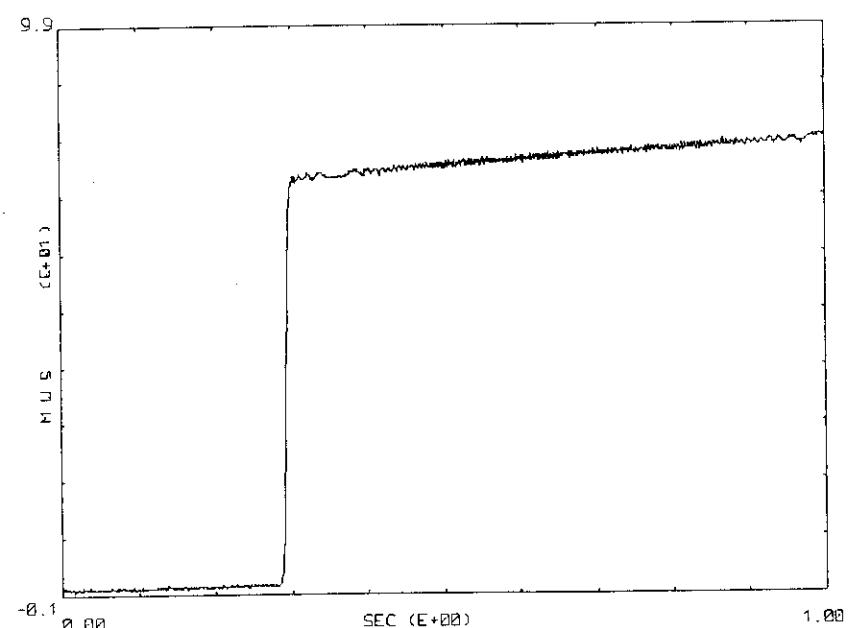


Fig. A.I.22 Integrated reactor power vs irradiation time

TEST NO. : NP900308B1 MH-2 3.85\$

ADR-27 : NUT-D2

MH-2(K2/K4-G08)

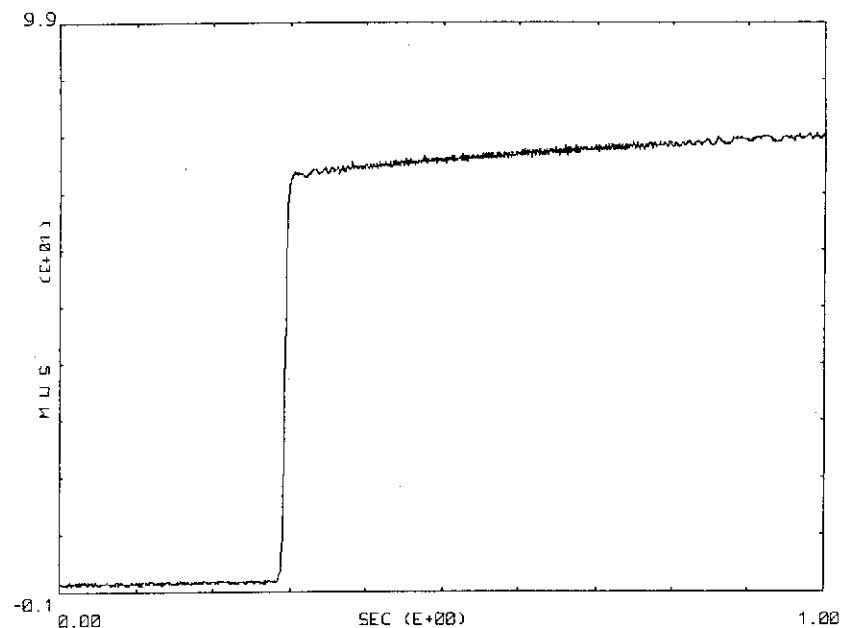


Fig. A.I.23 Integrated reactor power vs irradiation time

TEST NO. : NP900308B1 MH-2 3.85\$

ADR-11 : CLADDING SURFACE TEMPERATURE

MH-2(K2/K4-G08)

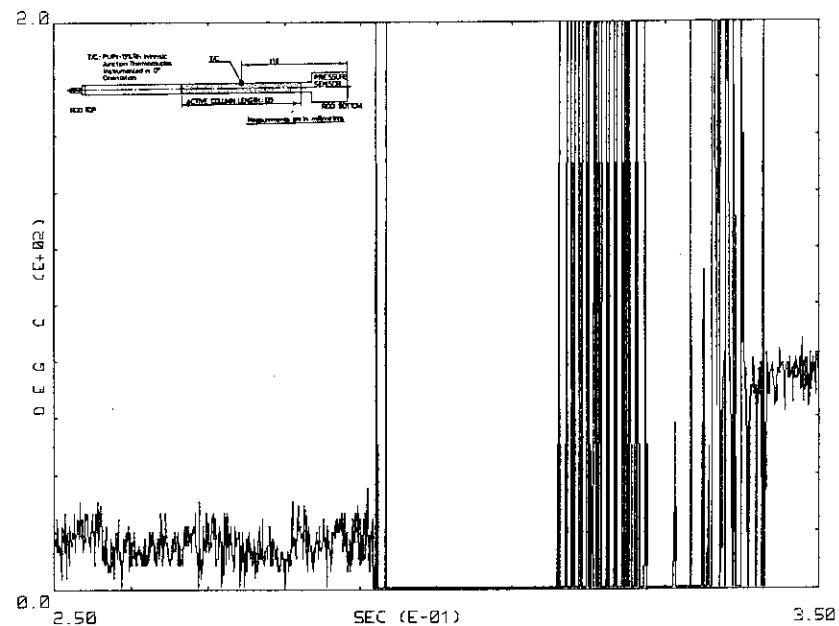


Fig. A.I.24 Cladding surface temperature vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$

ADR-12 : FUEL PRESSURE

MH-2(K2/K4-G08)

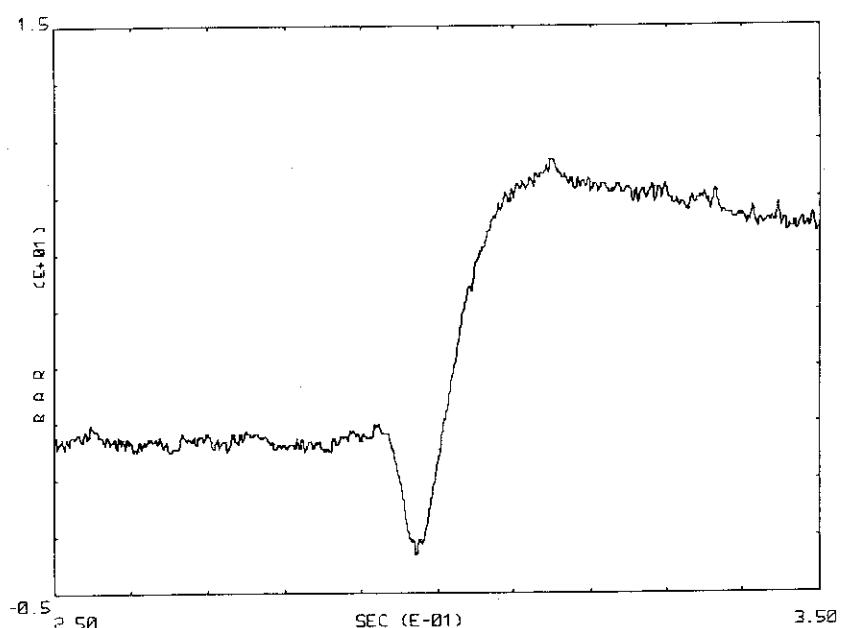


Fig. A.I.25 Internal rod pressure vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$

ADR-13 : CLADDING ELONGATION

MH-2(K2/K4-G08)

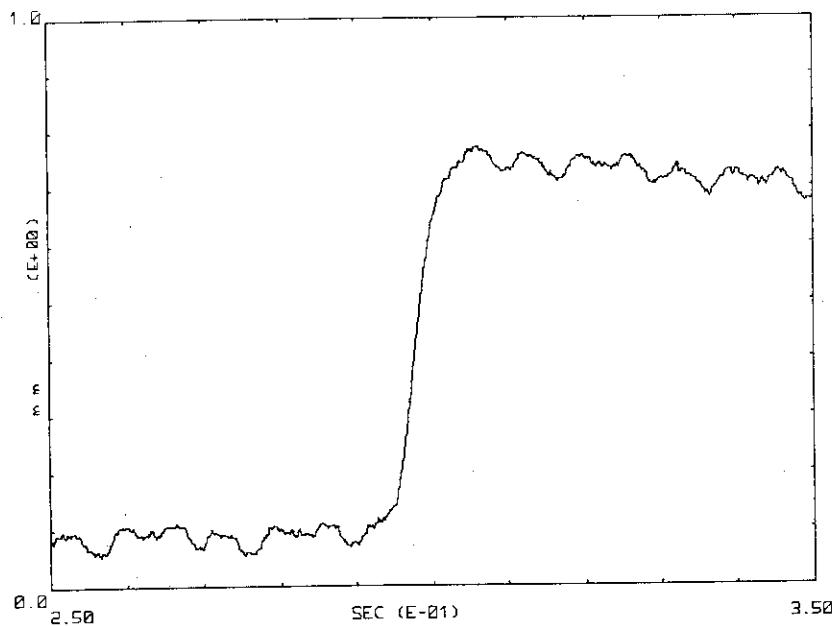


Fig. A.I.26 Cladding axial elongation vs irradiation time

JAERI-M 92-015

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
— ADR-14 : PELLET ELONGATION

MH-2(K2/K4-G08)

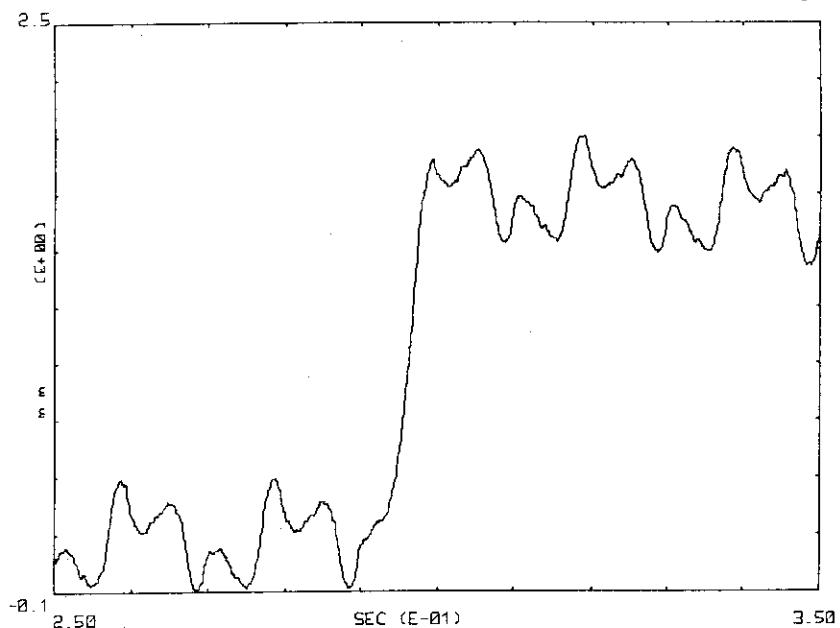


Fig. A.I.27 Fuel stack elongation vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
— ADR-24 : NU-1

MH-2(K2/K4-G08)

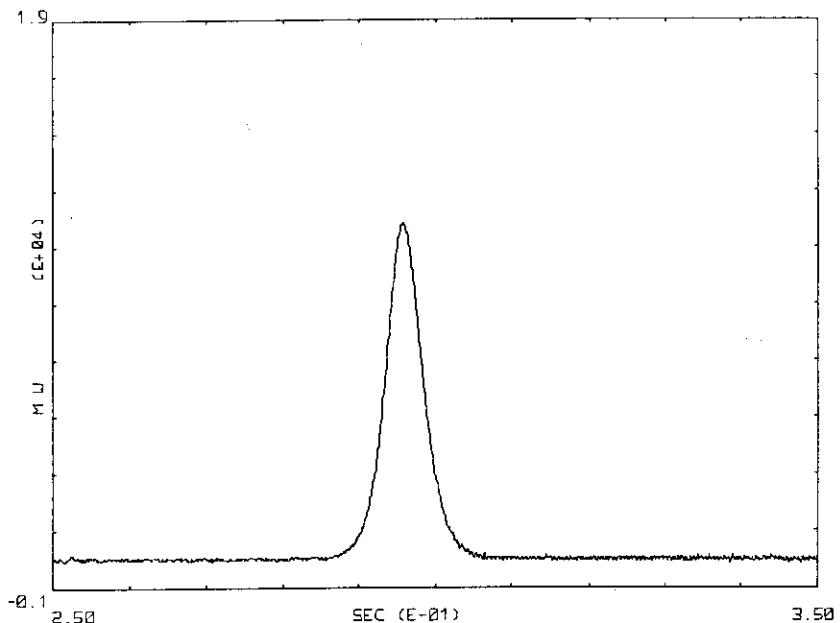


Fig. A.I.28 Reactor power vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-25 : NU-2

MH-2(K2/K4-G08)

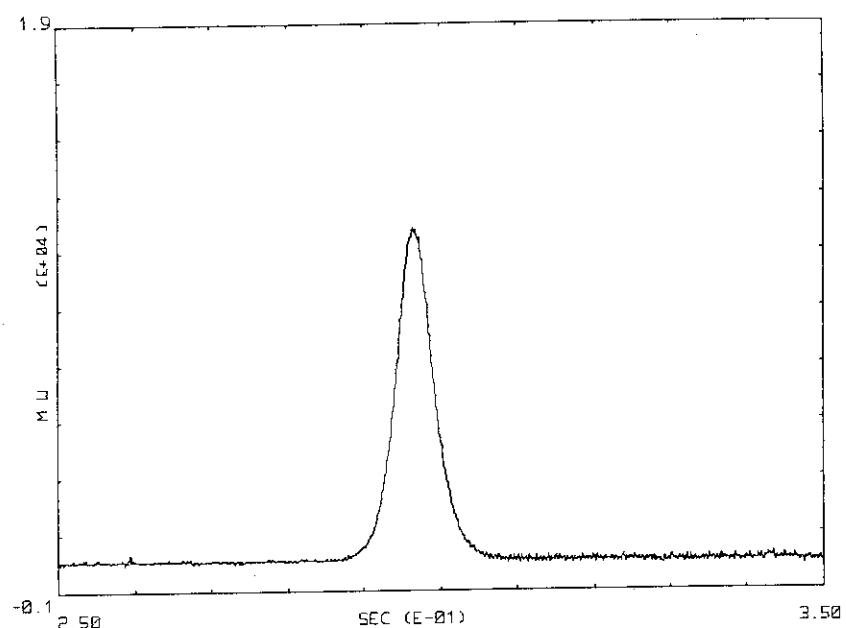


Fig. A.I.29 Reactor power vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-26 : NUT-D1

MH-2(K2/K4-G08)

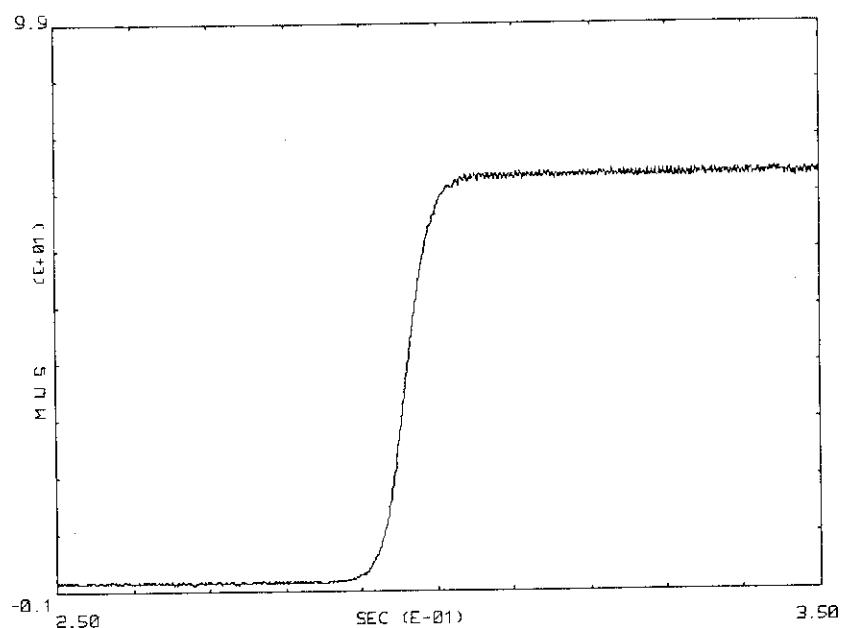


Fig. A.I.30 Integrated reactor power vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
 — ADR-27 : NUT-D2

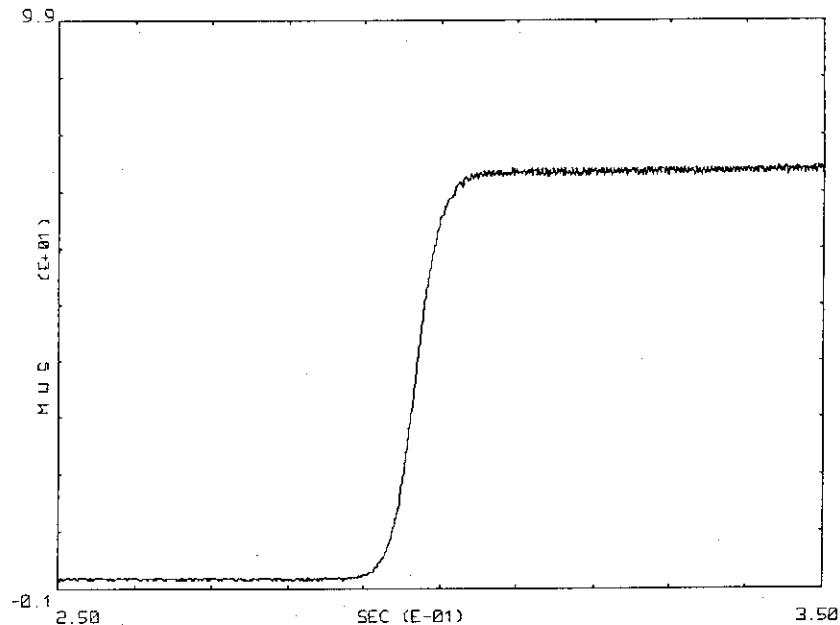
MH-2(K2/K4-G08)

Fig. A.I.31 Integrated reactor power vs irradiation time

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
 — ADR-12 : FUEL PRESSURE
 - - - ADR-13 : CLADDING ELONGATION
 ADR-24 : NJT-1
 - - - ADR-26 : NJT-D1

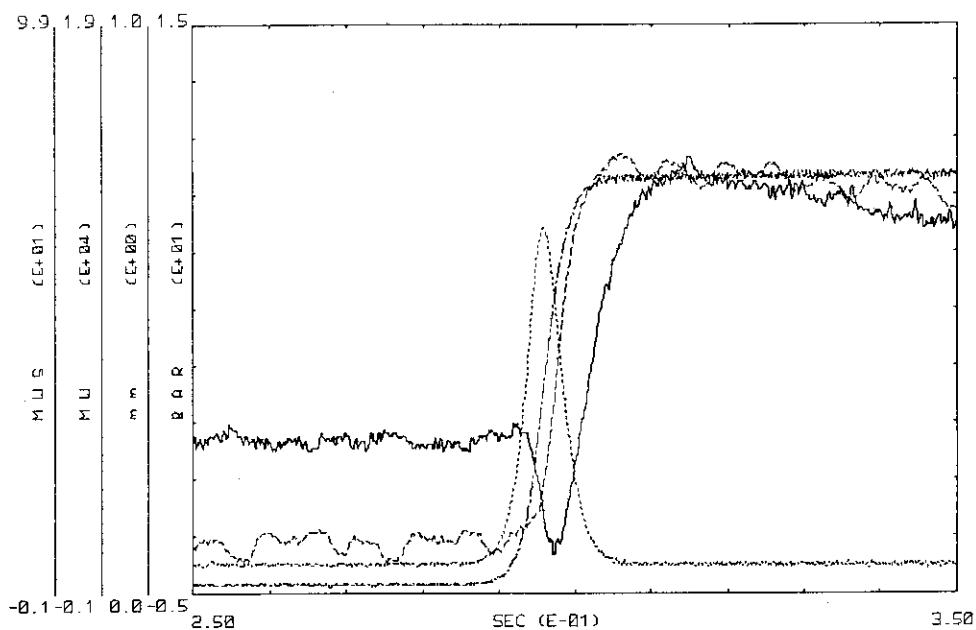
MH-2(K2/K4-G08)

Fig. A.I.32 Data plotting (1)

TEST NO. : NP90030801 MH-2 3.85\$
ADR-13 : CLADDING ELONGATION
ADR-14 : PELLET ELONGATION
ADR-24 : NU-1
ADR-26 : NUT-D1

MH-2(K2/K4-G08)

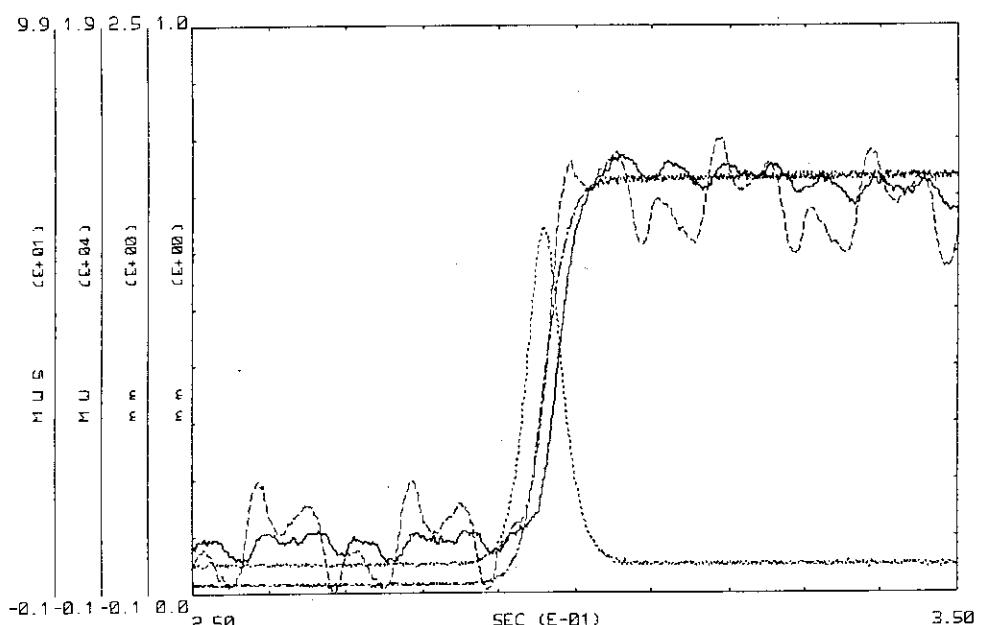


Fig. A.I.33 Data plotting (2)

Appendix II

Visual Inspection

実験番号: MH-2
燃料番号: 02NJGK02

1. カブセル外観検査

- ① 観察年月日: 1990年 3月 14日
- ② 観察方法: 目視、双眼鏡、ペリスコープ、その他 ()
- ③ 撮影方向: 0°、180°、その他 ()
(0° 方向:)
- ④ 写真: ネガ No.
- ⑤ 観察所見

。特に異常は認められなかった。

2. 支持具付き燃料写真撮影

- ① 撮影年月日: 1990年 3月 14日
- ② 撮影方向: 0°、180°、その他 ()
(0° 方向: 热電対溶接面)
- ③ 写真: ネガ No. 1CL0243 ~ 1CL0244
- ④ 記事

。特になし。

3. 燃料棒外観検査

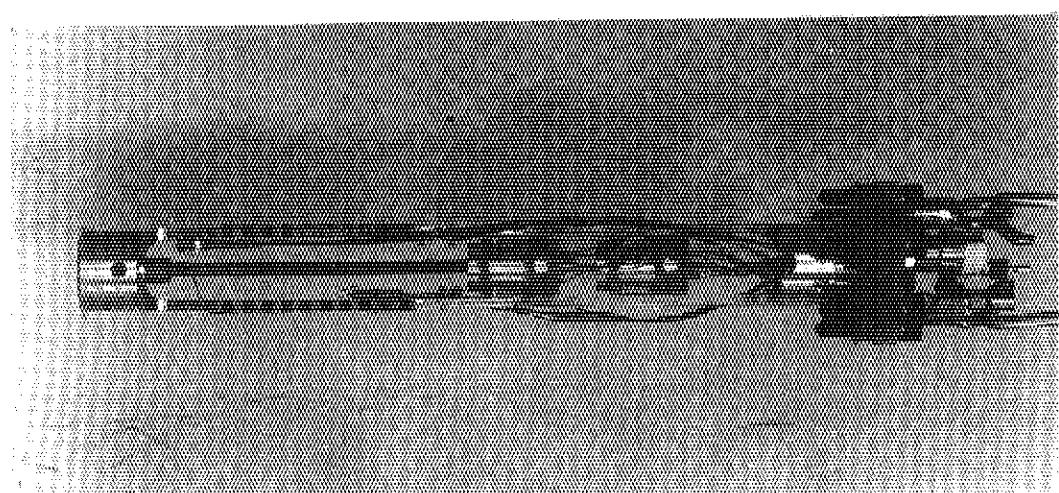
- ① 観察年月日: 1990年 3月 15日
- ② 観察方向: 0°、180°、その他 ()
(0° 方向: 热電対溶接面)
- ③ 観察方法: 目視、双眼鏡、ペリスコープ、その他 ()
- ④ 観察所見

。特に異常は認められなかった。

4. 燃料棒写真撮影

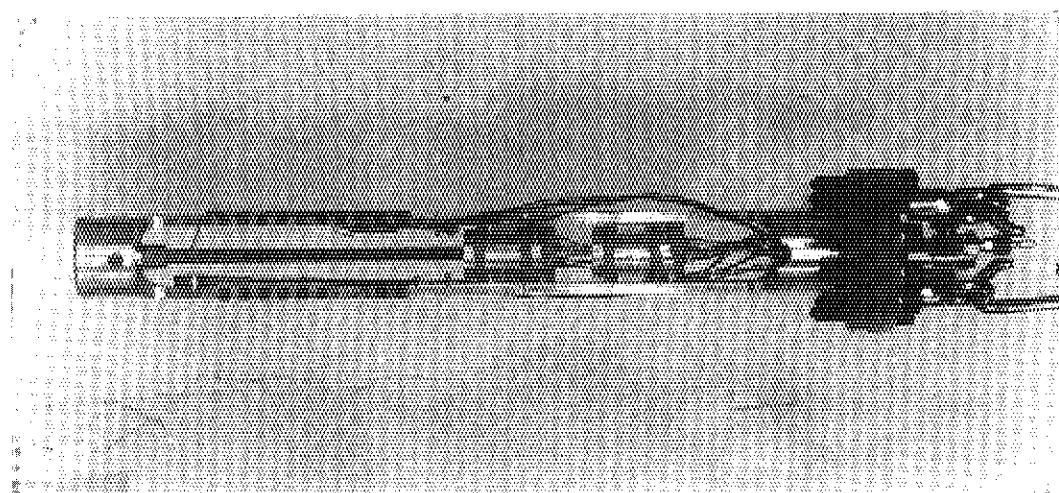
- ① 撮影年月日: 1990年 3月 15日
- ② 撮影方向: 0°、180°、その他 ()
(0° 方向: 热電対溶接面)
- ③ 写真: ネガ No. 1CL0245 ~ 1CL0246
- ④ 記事

。特になし。



0° 方向

1 CL 0243



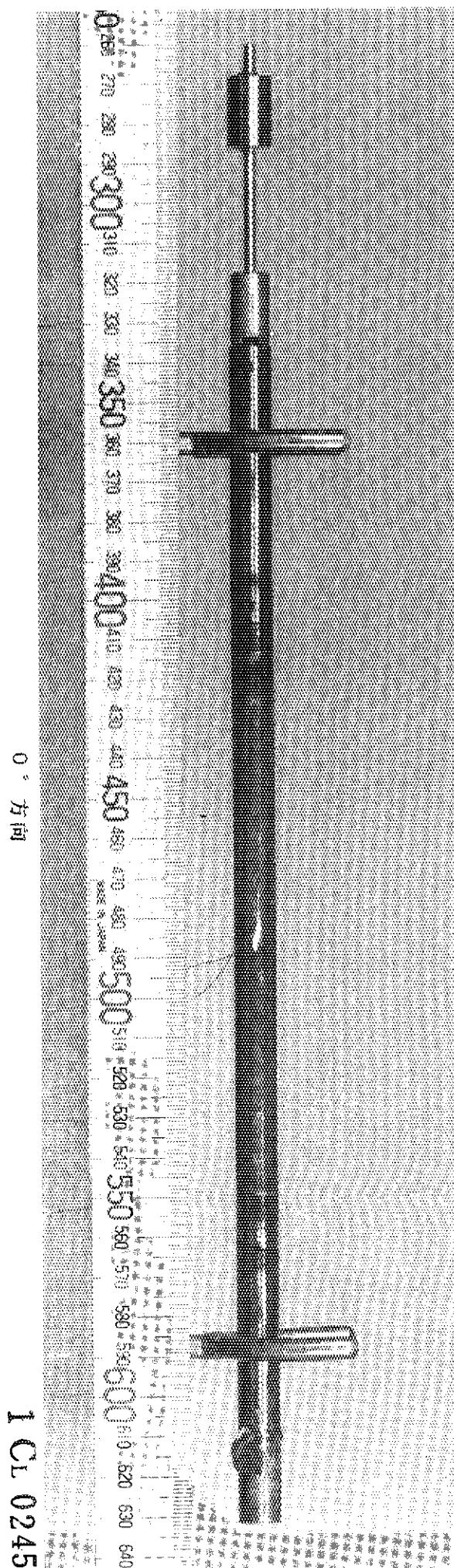
180° 方向

1 CL 0244

Fig. A.II.1 Dismantled MH-2 fuel rod from irradiation capsule, (left) 0° orientation and (right) 180° orientation

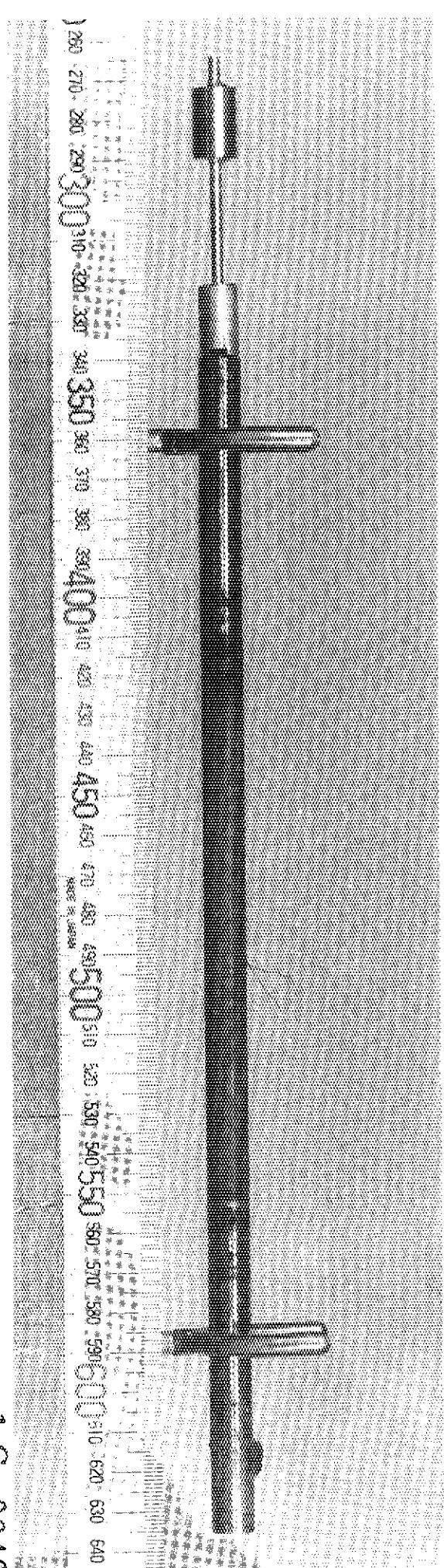
ホットラボ番号 HOT LAB No.	H 152	撮影日 DATE	1990.3.14
キャップセル名 CAPSULE No.	MH-2	撮影ケーブ CAVE	C-1
試料番号 SPECIMEN No.	支持臭化燃料	担当者 TAKEN BY	有村

ホットラボ番号 HOT LAB No.	H 152	撮影日 DATE	1990. 3. 15
キャプセル名 CAPSULE Name	MH-2	撮影場所 CAVE	C-1
試料番号 SPECIMEN No.	02NJGK02	担当者 TAKEN BY	吉川



0° 方向

1 CL 0245



180° 方向

1 CL 0246

Fig. A.II.2 Outerview of MH-2 fuel rod, (top) 0° and (bottom) 180° orientation

Appendix III

X-Ray Inspection

実験番号: MH-2

燃料番号: 02NJGK02

1. カブセル X 線撮影

① 撮影年月日: 年 月 日

② 撮影条件: 電圧 kV

電流 mA

時間 sec

③ 撮影方向: 0° (90°-270°)、90° (180°-0°)、その他 ()

(0° 方向:)

④ 拡大率: 1. 083

⑤ 燃料棒破損の有無: 有、 無、

⑥ 記事

2. 燃料棒 X 線撮影

① 撮影年月日: 1990年 3月 15日

② 撮影条件: 電圧 130 kV

電流 200 mA

時間 1.0 sec

③ 撮影方向: 0° (90°-270°)、90° (180°-0°)、その他 ()

(0° 方向: 熱電対溶接面)

④ 拡大率: 1. 03

⑤ 別添資料: X線フィルム / 部

プリント写真 / 部

⑥ 記事

。上部端栓の上端溶接部に空洞が見られた。

。△-ゲートスーカーが約0.5mm程上方に移動し、ディスク

との間に隙間が見られた。

。その他異常は認められなかった。

ホットラボ番号 HOT LAB No.	H152	撮影日 DATE	1990.3.15
*カプセル名称 CAPSULE No.	MH-2	撮影ケーブル名 CAVE	Cu-1
試料番号 SPECIMEN No.	02NJgk02	撮影者 TAKEN BY	吉川

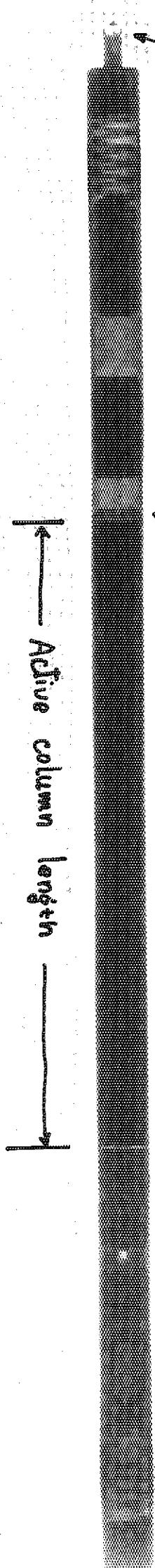
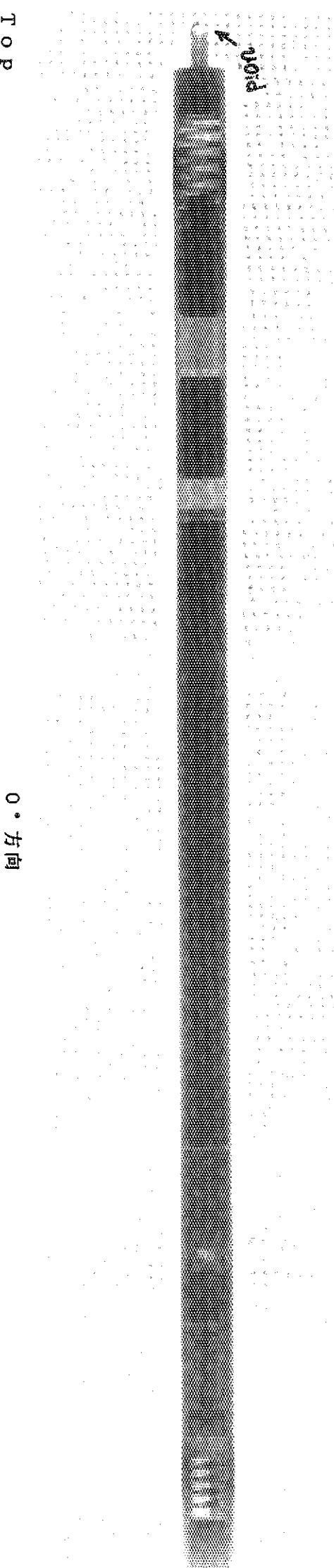


Fig. A.III.1 Resultant X-ray photographs (top) 0°, (bottom) 90° orientation

Appendix IV

Diameter Profiles, Eddy Current Testing

寸法検査・渦流探傷試験

試験日： 平成2年3月20日
 試験担当者： 黒羽根

1) 寸法検査

* 測定器： レーザスキャンマイクロメータ (LSM-1610E)

* 測定精度： 外径 ± 0.005 mm

曲り ± 0.05 mm

長さ ± 0.05 mm

- 測定結果 (P 2 ~ P 3 0 に示す)

a) 外径・距離の図を P 2 ~ P 7 に示す。

b) 曲り・距離の図を P 8 ~ P 1 3 に示す。

c) 全長を P 1 4 に示す。

d) 外径・距離の図 (P 2) に見られる Top 側から 150 mm 周辺の変化は、スポット溶接時による削り傷である。

その他、特に大きな変化は見られなかった。

2) 渦流探傷試験

* 装置： MIZ-18 (米国 ZETEC 社)

* 探傷コイル： 貢通コイル (φ 11.5 mm)

* 試験周波数： 400 KHz

* 位相角： 30°

* 利得： -4 dB

* 探傷速度： 30 mm/sec

- 測定結果 (P 3 1 ~ P 4 2 に示す)

a) リファレンスチュープ渦流探傷結果を P 3 1 ~ P 3 7 に示す。

b) 燃料棒渦流探傷結果を P 3 8 ~ P 4 2 に示す。

c) 燃料棒渦流探傷試験結果 (P 3 8) にみられる Top 側より ① 139 mm, ② 155 mm, ③ 170 mm, ④ 200 mm 周辺に傷が認められる。詳細については、P 3 9 ~ P 4 2 に示すが傷の種類としては、全て外表面における傷である。

その他、特に異常は見られなかった。

注) 0° 位置は、スポット溶接の位置にした。

Table A.IV.1 Numeral data obtained from dimensional measurement

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 0 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 70 mm To 89.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
70.0	10.699	0.277	0.015
70.5	10.575	0.259	0.054
71.0	10.710	0.279	0.010
71.5	10.716	0.278	0.013
72.0	10.716	0.277	0.020
72.5	10.724	0.278	0.017
73.0	10.731	0.277	0.020
73.5	10.761	0.272	0.030
74.0	10.757	0.264	0.051
74.5	10.740	0.256	0.031
75.0	10.732	0.247	0.046
75.5	10.729	0.241	0.043
76.0	10.734	0.235	0.037
76.5	10.728	0.224	0.027
77.0	10.723	0.229	0.026
77.5	10.714	0.226	0.036
78.0	10.686	0.213	0.027
78.5	10.667	0.208	0.025
79.0	10.662	0.204	0.031
79.5	10.644	0.198	0.041
80.0	10.638	0.195	0.041
80.5	10.627	0.190	0.043
81.0	10.628	0.188	0.041
81.5	10.635	0.189	0.040
82.0	10.625	0.181	0.044
82.5	10.624	0.179	0.071
83.0	10.627	0.175	0.042
83.5	10.629	0.173	0.044
84.0	10.630	0.172	0.041
84.5	10.633	0.173	0.039
85.0	10.638	0.171	0.039
85.5	10.642	0.171	0.034
86.0	10.641	0.171	0.031
86.5	10.645	0.171	0.041
87.0	10.647	0.169	0.026
87.5	10.648	0.169	0.024
88.0	10.645	0.169	0.025
88.5	10.643	0.167	0.022
89.0	10.646	0.167	0.019
89.5	10.647	0.165	0.016

Table A.IV.2 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 0 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 90 mm To 109.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
90.0	10.645	0.164	0.012
90.5	10.647	0.164	0.012
91.0	10.645	0.162	0.017
91.5	10.645	0.161	0.023
92.0	10.646	0.162	0.012
92.5	10.648	0.159	0.013
93.0	10.645	0.159	0.012
93.5	10.645	0.159	0.012
94.0	10.644	0.157	0.013
94.5	10.648	0.155	0.013
95.0	10.648	0.153	0.010
95.5	10.647	0.154	0.009
96.0	10.648	0.152	0.008
96.5	10.648	0.150	0.009
97.0	10.649	0.149	0.008
97.5	10.650	0.149	0.009
98.0	10.650	0.147	0.013
98.5	10.649	0.146	0.011
99.0	10.650	0.145	0.013
99.5	10.651	0.144	0.010
100.0	10.651	0.143	0.011
100.5	10.652	0.142	0.022
101.0	10.653	0.142	0.017
101.5	10.654	0.140	0.019
102.0	10.654	0.139	0.022
102.5	10.655	0.139	0.032
103.0	10.655	0.138	0.022
103.5	10.657	0.137	0.022
104.0	10.658	0.136	0.024
104.5	10.657	0.132	0.026
105.0	10.655	0.133	0.025
105.5	10.657	0.132	0.028
106.0	10.656	0.130	0.023
106.5	10.657	0.129	0.027
107.0	10.656	0.128	0.026
107.5	10.657	0.127	0.032
108.0	10.657	0.126	0.024
108.5	10.655	0.126	0.021
109.0	10.655	0.124	0.023
109.5	10.655	0.123	0.022

Table A.IV.3 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 0 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 110 mm To 129.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
110.0	10.654	0.123	0.034
110.5	10.655	0.123	0.027
111.0	10.656	0.122	0.022
111.5	10.655	0.121	0.022
112.0	10.655	0.119	0.044
112.5	10.654	0.119	0.024
113.0	10.656	0.119	0.024
113.5	10.656	0.116	0.022
114.0	10.656	0.115	0.023
114.5	10.658	0.112	0.021
115.0	10.658	0.115	0.021
115.5	10.654	0.113	0.021
116.0	10.655	0.113	0.020
116.5	10.657	0.112	0.024
117.0	10.657	0.111	0.022
117.5	10.660	0.111	0.024
118.0	10.661	0.109	0.024
118.5	10.661	0.111	0.044
119.0	10.659	0.109	0.031
119.5	10.658	0.106	0.026
120.0	10.659	0.104	0.024
120.5	10.661	0.104	0.025
121.0	10.660	0.104	0.023
121.5	10.659	0.101	0.023
122.0	10.659	0.102	0.023
122.5	10.659	0.100	0.029
123.0	10.661	0.100	0.024
123.5	10.659	0.099	0.024
124.0	10.657	0.098	0.023
124.5	10.660	0.099	0.022
125.0	10.659	0.098	0.023
125.5	10.659	0.098	0.019
126.0	10.665	0.100	0.029
126.5	10.661	0.097	0.023
127.0	10.659	0.095	0.020
127.5	10.660	0.093	0.022
128.0	10.659	0.093	0.020
128.5	10.661	0.093	0.023
129.0	10.659	0.091	0.020
129.5	10.659	0.090	0.026

Table A.IV.4 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 0 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 130 mm To 149.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
130.0	10.661	0.091	0.023
130.5	10.662	0.091	0.024
131.0	10.661	0.090	0.022
131.5	10.660	0.089	0.023
132.0	10.661	0.087	0.023
132.5	10.660	0.085	0.027
133.0	10.660	0.086	0.022
133.5	10.657	0.084	0.019
134.0	10.658	0.083	0.020
134.5	10.657	0.082	0.020
135.0	10.660	0.079	0.023
135.5	10.658	0.081	0.029
136.0	10.656	0.079	0.023
136.5	10.658	0.078	0.024
137.0	10.656	0.077	0.023
137.5	10.656	0.075	0.022
138.0	10.656	0.074	0.026
138.5	10.660	0.075	0.074
139.0	10.677	0.084	0.056
139.5	10.658	0.072	0.025
140.0	10.660	0.070	0.030
140.5	10.659	0.071	0.027
141.0	10.656	0.071	0.028
141.5	10.655	0.069	0.027
142.0	10.650	0.068	0.023
142.5	10.647	0.065	0.027
143.0	10.645	0.062	0.027
143.5	10.639	0.060	0.028
144.0	10.637	0.058	0.026
144.5	10.637	0.057	0.024
145.0	10.632	0.056	0.033
145.5	10.629	0.053	0.029
146.0	10.627	0.052	0.031
146.5	10.623	0.050	0.031
147.0	10.622	0.048	0.033
147.5	10.624	0.048	0.033
148.0	10.613	0.042	0.044
148.5	10.610	0.041	0.047
149.0	10.611	0.041	0.046
149.5	10.615	0.043	0.042

Table A.IV.5 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 0 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 150 mm To 169.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
150.0	10.622	0.044	0.040
150.5	10.638	0.051	0.046
151.0	10.651	0.057	0.043
151.5	10.654	0.059	0.039
152.0	10.653	0.057	0.032
152.5	10.652	0.056	0.026
153.0	10.654	0.057	0.026
153.5	10.653	0.056	0.025
154.0	10.654	0.055	0.026
154.5	10.656	0.052	0.029
155.0	10.651	0.054	0.032
155.5	10.653	0.054	0.030
156.0	10.651	0.052	0.029
156.5	10.651	0.054	0.028
157.0	10.653	0.054	0.028
157.5	10.650	0.052	0.030
158.0	10.650	0.052	0.031
158.5	10.651	0.051	0.029
159.0	10.650	0.050	0.028
159.5	10.650	0.050	0.031
160.0	10.650	0.049	0.027
160.5	10.651	0.049	0.031
161.0	10.653	0.048	0.045
161.5	10.656	0.046	0.036
162.0	10.653	0.047	0.031
162.5	10.652	0.047	0.030
163.0	10.651	0.047	0.024
163.5	10.653	0.046	0.025
164.0	10.652	0.045	0.021
164.5	10.654	0.046	0.038
165.0	10.653	0.045	0.020
165.5	10.653	0.046	0.018
166.0	10.656	0.046	0.020
166.5	10.653	0.043	0.020
167.0	10.654	0.044	0.017
167.5	10.655	0.043	0.019
168.0	10.657	0.044	0.021
168.5	10.655	0.043	0.020
169.0	10.653	0.042	0.017
169.5	10.655	0.042	0.021

Table A.IV.6 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 0 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 170 mm To 189.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
170.0	10.653	0.040	0.038
170.5	10.655	0.041	0.019
171.0	10.655	0.039	0.020
171.5	10.655	0.042	0.020
172.0	10.654	0.039	0.039
172.5	10.654	0.039	0.019
173.0	10.656	0.039	0.018
173.5	10.655	0.039	0.023
174.0	10.655	0.038	0.039
174.5	10.657	0.038	0.024
175.0	10.655	0.038	0.025
175.5	10.659	0.040	0.028
176.0	10.659	0.038	0.029
176.5	10.660	0.038	0.028
177.0	10.660	0.039	0.029
177.5	10.659	0.038	0.032
178.0	10.657	0.036	0.051
178.5	10.658	0.037	0.027
179.0	10.660	0.038	0.029
179.5	10.660	0.037	0.029
180.0	10.659	0.037	0.032
180.5	10.660	0.035	0.028
181.0	10.660	0.037	0.027
181.5	10.660	0.037	0.027
182.0	10.658	0.036	0.025
182.5	10.658	0.036	0.038
183.0	10.659	0.036	0.040
183.5	10.658	0.036	0.025
184.0	10.659	0.037	0.024
184.5	10.656	0.035	0.024
185.0	10.659	0.037	0.027
185.5	10.660	0.038	0.029
186.0	10.659	0.036	0.028
186.5	10.658	0.037	0.028
187.0	10.655	0.037	0.034
187.5	10.657	0.038	0.029
188.0	10.656	0.036	0.029
188.5	10.653	0.036	0.026
189.0	10.658	0.038	0.048
189.5	10.655	0.036	0.035

Table A.IV.7 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 0 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 190 mm To 209.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
190.0	10.657	0.037	0.032
190.5	10.654	0.036	0.080
191.0	10.655	0.037	0.062
191.5	10.657	0.038	0.029
192.0	10.658	0.039	0.030
192.5	10.658	0.038	0.030
193.0	10.657	0.039	0.030
193.5	10.659	0.039	0.031
194.0	10.675	0.029	0.047
194.5	10.660	0.038	0.034
195.0	10.657	0.038	0.029
195.5	10.655	0.038	0.048
196.0	10.653	0.037	0.024
196.5	10.654	0.039	0.024
197.0	10.655	0.037	0.027
197.5	10.654	0.039	0.024
198.0	10.656	0.038	0.029
198.5	10.655	0.039	0.026
199.0	10.655	0.040	0.028
199.5	10.658	0.039	0.029
200.0	10.655	0.039	0.026
200.5	10.654	0.040	0.024
201.0	10.654	0.040	0.025
201.5	10.655	0.039	0.026
202.0	10.662	0.044	0.032
202.5	10.683	0.053	0.052
203.0	10.690	0.057	0.059
203.5	10.663	0.043	0.031
204.0	10.655	0.039	0.049
204.5	10.651	0.039	0.018
205.0	10.654	0.039	0.021
205.5	10.655	0.040	0.023
206.0	10.652	0.040	0.020
206.5	10.651	0.039	0.018
207.0	10.652	0.038	0.023
207.5	10.654	0.040	0.023
208.0	10.653	0.040	0.024
208.5	10.652	0.040	0.024
209.0	10.652	0.040	0.021
209.5	10.652	0.039	0.022

Table A.IV.8 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 0 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 210 mm To 229.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
210.0	10.655	0.041	0.024
210.5	10.651	0.043	0.024
211.0	10.641	0.044	0.026
211.5	10.632	0.044	0.030
212.0	10.618	0.045	0.034
212.5	10.615	0.053	0.029
213.0	10.595	0.051	0.026
213.5	10.591	0.055	0.021
214.0	10.598	0.058	0.020
214.5	10.622	0.065	0.050
215.0	10.601	0.057	0.127
215.5	10.567	0.048	0.156
216.0	10.556	0.047	0.179
216.5	10.549	0.051	0.169
217.0	10.566	0.058	0.175
217.5	10.615	0.069	0.163
218.0	10.691	0.086	0.131
218.5	10.770	0.104	0.157
219.0	10.808	0.118	0.268
219.5	10.837	0.113	0.189
220.0	10.777	0.095	0.101
220.5	10.701	0.076	0.021
221.0	10.699	0.074	0.021
221.5	10.697	0.074	0.019
222.0	10.695	0.074	0.022
222.5	10.692	0.074	0.020
223.0	10.558	0.072	0.046
223.5	10.694	0.071	0.018
224.0	10.703	0.075	0.023
224.5	10.719	0.081	0.032
225.0	10.714	0.077	0.025
225.5	10.707	0.071	0.022
226.0	10.714	0.069	0.026
226.5	10.720	0.068	0.045
227.0	10.734	0.070	0.029
227.5	10.731	0.076	0.032
228.0	10.725	0.082	0.022
228.5	10.728	0.079	0.020
229.0	10.731	0.081	0.018
229.5	10.731	0.081	0.018

Table A.IV.9 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 90 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 70 mm To 89.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
70.0	10.691	-0.046	0.015
70.5	10.555	-0.060	0.054
71.0	10.705	-0.048	0.010
71.5	10.708	-0.048	0.013
72.0	10.711	-0.048	0.020
72.5	10.714	-0.046	0.017
73.0	10.742	-0.053	0.020
73.5	10.744	-0.048	0.030
74.0	10.744	-0.039	0.051
74.5	10.747	-0.029	0.031
75.0	10.746	-0.024	0.046
75.5	10.747	-0.022	0.043
76.0	10.744	-0.025	0.037
76.5	10.736	-0.027	0.027
77.0	10.706	-0.034	0.026
77.5	10.683	-0.033	0.036
78.0	10.667	-0.034	0.027
78.5	10.656	-0.035	0.025
79.0	10.649	-0.035	0.031
79.5	10.646	-0.033	0.041
80.0	10.643	-0.035	0.041
80.5	10.640	-0.036	0.043
81.0	10.639	-0.038	0.041
81.5	10.638	-0.039	0.040
82.0	10.638	-0.043	0.044
82.5	10.640	-0.043	0.071
83.0	10.642	-0.045	0.042
83.5	10.648	-0.046	0.044
84.0	10.652	-0.046	0.041
84.5	10.655	-0.047	0.039
85.0	10.659	-0.048	0.039
85.5	10.660	-0.048	0.034
86.0	10.663	-0.049	0.031
86.5	10.662	-0.051	0.041
87.0	10.662	-0.052	0.026
87.5	10.661	-0.053	0.024
88.0	10.660	-0.053	0.025
88.5	10.661	-0.056	0.022
89.0	10.659	-0.056	0.019
89.5	10.659	-0.058	0.016

Table A.IV.10 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 90 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 90 mm To 109.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
90.0	10.656	-0.060	0.012
90.5	10.655	-0.059	0.012
91.0	10.656	-0.059	0.017
91.5	10.667	-0.054	0.023
92.0	10.655	-0.063	0.012
92.5	10.656	-0.063	0.013
93.0	10.655	-0.064	0.012
93.5	10.655	-0.065	0.012
94.0	10.654	-0.067	0.013
94.5	10.653	-0.066	0.013
95.0	10.655	-0.067	0.010
95.5	10.653	-0.069	0.009
96.0	10.654	-0.070	0.008
96.5	10.656	-0.069	0.009
97.0	10.655	-0.071	0.008
97.5	10.655	-0.073	0.009
98.0	10.659	-0.075	0.013
98.5	10.654	-0.073	0.011
99.0	10.654	-0.074	0.013
99.5	10.652	-0.076	0.010
100.0	10.651	-0.076	0.011
100.5	10.651	-0.078	0.022
101.0	10.651	-0.078	0.017
101.5	10.651	-0.079	0.019
102.0	10.651	-0.080	0.022
102.5	10.652	-0.082	0.032
103.0	10.659	-0.086	0.022
103.5	10.647	-0.080	0.022
104.0	10.645	-0.081	0.024
104.5	10.644	-0.082	0.026
105.0	10.645	-0.081	0.025
105.5	10.645	-0.083	0.028
106.0	10.652	-0.080	0.023
106.5	10.644	-0.086	0.027
107.0	10.644	-0.086	0.026
107.5	10.644	-0.086	0.032
108.0	10.643	-0.087	0.024
108.5	10.645	-0.088	0.021
109.0	10.644	-0.088	0.023
109.5	10.645	-0.088	0.022

Table A.IV.11 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 90 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 110 mm To 129.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
110.0	10.645	-0.089	0.034
110.5	10.647	-0.089	0.027
111.0	10.645	-0.091	0.022
111.5	10.644	-0.091	0.022
112.0	10.646	-0.092	0.044
112.5	10.645	-0.092	0.024
113.0	10.644	-0.093	0.024
113.5	10.646	-0.091	0.022
114.0	10.643	-0.094	0.023
114.5	10.646	-0.094	0.021
115.0	10.642	-0.095	0.021
115.5	10.645	-0.096	0.021
116.0	10.643	-0.096	0.020
116.5	10.642	-0.097	0.024
117.0	10.641	-0.098	0.022
117.5	10.642	-0.098	0.024
118.0	10.642	-0.098	0.024
118.5	10.640	-0.100	0.044
119.0	10.640	-0.101	0.031
119.5	10.640	-0.101	0.026
120.0	10.640	-0.101	0.024
120.5	10.640	-0.101	0.025
121.0	10.639	-0.102	0.023
121.5	10.639	-0.102	0.023
122.0	10.639	-0.102	0.023
122.5	10.639	-0.103	0.029
123.0	10.640	-0.102	0.024
123.5	10.639	-0.104	0.024
124.0	10.639	-0.104	0.023
124.5	10.638	-0.104	0.022
125.0	10.643	-0.105	0.023
125.5	10.640	-0.104	0.019
126.0	10.639	-0.106	0.029
126.5	10.638	-0.103	0.023
127.0	10.639	-0.105	0.020
127.5	10.640	-0.104	0.022
128.0	10.642	-0.105	0.020
128.5	10.639	-0.106	0.023
129.0	10.639	-0.106	0.020
129.5	10.640	-0.107	0.026

Table A.IV.12 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 90 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 130 mm To 149.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
130.0	10.638	-0.106	0.023
130.5	10.638	-0.108	0.024
131.0	10.640	-0.109	0.022
131.5	10.637	-0.109	0.023
132.0	10.639	-0.107	0.023
132.5	10.638	-0.109	0.027
133.0	10.638	-0.109	0.022
133.5	10.639	-0.108	0.019
134.0	10.639	-0.109	0.020
134.5	10.638	-0.110	0.020
135.0	10.637	-0.109	0.023
135.5	10.634	-0.110	0.029
136.0	10.636	-0.110	0.023
136.5	10.634	-0.113	0.024
137.0	10.634	-0.113	0.023
137.5	10.634	-0.113	0.022
138.0	10.634	-0.115	0.026
138.5	10.634	-0.115	0.074
139.0	10.632	-0.116	0.056
139.5	10.633	-0.116	0.025
140.0	10.633	-0.118	0.030
140.5	10.633	-0.117	0.027
141.0	10.631	-0.119	0.028
141.5	10.632	-0.118	0.027
142.0	10.639	-0.123	0.023
142.5	10.635	-0.120	0.027
143.0	10.636	-0.119	0.027
143.5	10.635	-0.120	0.028
144.0	10.636	-0.121	0.026
144.5	10.637	-0.121	0.024
145.0	10.638	-0.123	0.033
145.5	10.639	-0.123	0.029
146.0	10.641	-0.124	0.031
146.5	10.639	-0.124	0.031
147.0	10.640	-0.123	0.033
147.5	10.642	-0.124	0.033
148.0	10.641	-0.126	0.044
148.5	10.643	-0.125	0.047
149.0	10.642	-0.126	0.046
149.5	10.642	-0.127	0.042

Table A.IV.13 cont'd

Axial Laser Data List

Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53

Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 90 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 150 mm To 169.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
150.0	10.641	-0.126	0.040
150.5	10.640	-0.127	0.046
151.0	10.642	-0.128	0.043
151.5	10.642	-0.129	0.039
152.0	10.642	-0.129	0.032
152.5	10.645	-0.128	0.026
153.0	10.641	-0.129	0.026
153.5	10.643	-0.130	0.025
154.0	10.644	-0.132	0.026
154.5	10.646	-0.130	0.029
155.0	10.648	-0.135	0.032
155.5	10.642	-0.133	0.030
156.0	10.644	-0.133	0.029
156.5	10.642	-0.133	0.028
157.0	10.643	-0.133	0.028
157.5	10.642	-0.133	0.030
158.0	10.641	-0.135	0.031
158.5	10.641	-0.134	0.029
159.0	10.642	-0.134	0.028
159.5	10.643	-0.135	0.031
160.0	10.644	-0.134	0.027
160.5	10.640	-0.136	0.031
161.0	10.640	-0.137	0.045
161.5	10.640	-0.137	0.036
162.0	10.640	-0.138	0.031
162.5	10.641	-0.138	0.030
163.0	10.652	-0.133	0.024
163.5	10.653	-0.133	0.025
164.0	10.641	-0.139	0.021
164.5	10.653	-0.132	0.038
165.0	10.641	-0.138	0.020
165.5	10.639	-0.138	0.018
166.0	10.639	-0.140	0.020
166.5	10.641	-0.139	0.020
167.0	10.639	-0.140	0.017
167.5	10.643	-0.142	0.019
168.0	10.638	-0.140	0.021
168.5	10.637	-0.141	0.020
169.0	10.638	-0.142	0.017
169.5	10.637	-0.141	0.021

Table A.IV.14 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 90 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 170 mm To 189.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
170.0	10.638	-0.142	0.038
170.5	10.638	-0.143	0.019
171.0	10.641	-0.145	0.020
171.5	10.637	-0.144	0.020
172.0	10.640	-0.143	0.039
172.5	10.640	-0.146	0.019
173.0	10.638	-0.146	0.018
173.5	10.636	-0.144	0.023
174.0	10.635	-0.145	0.039
174.5	10.639	-0.145	0.024
175.0	10.637	-0.144	0.025
175.5	10.632	-0.145	0.028
176.0	10.634	-0.146	0.029
176.5	10.634	-0.146	0.028
177.0	10.633	-0.146	0.029
177.5	10.638	-0.150	0.032
178.0	10.632	-0.147	0.051
178.5	10.631	-0.148	0.027
179.0	10.633	-0.148	0.029
179.5	10.633	-0.149	0.029
180.0	10.633	-0.150	0.032
180.5	10.632	-0.151	0.028
181.0	10.633	-0.151	0.027
181.5	10.634	-0.150	0.027
182.0	10.634	-0.151	0.027
182.5	10.633	-0.152	0.025
183.0	10.634	-0.152	0.038
183.5	10.633	-0.152	0.040
184.0	10.636	-0.153	0.025
184.5	10.632	-0.153	0.024
185.0	10.632	-0.153	0.027
185.5	10.632	-0.153	0.029
186.0	10.631	-0.153	0.028
186.5	10.631	-0.155	0.028
187.0	10.630	-0.157	0.034
187.5	10.628	-0.156	0.029
188.0	10.627	-0.158	0.029
188.5	10.627	-0.157	0.026
189.0	10.626	-0.158	0.048
189.5	10.626	-0.159	0.035

Table A.IV.15 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 90 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 190 mm To 209.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
190.0	10.625	-0.158	0.032
190.5	10.628	-0.159	0.080
191.0	10.628	-0.160	0.062
191.5	10.628	-0.161	0.029
192.0	10.629	-0.160	0.030
192.5	10.628	-0.161	0.030
193.0	10.627	-0.161	0.030
193.5	10.628	-0.161	0.031
194.0	10.628	-0.162	0.047
194.5	10.628	-0.162	0.034
195.0	10.628	-0.163	0.029
195.5	10.627	-0.163	0.048
196.0	10.629	-0.164	0.024
196.5	10.630	-0.164	0.024
197.0	10.629	-0.165	0.027
197.5	10.630	-0.164	0.024
198.0	10.629	-0.164	0.029
198.5	10.630	-0.165	0.026
199.0	10.632	-0.165	0.028
199.5	10.633	-0.165	0.029
200.0	10.632	-0.165	0.026
200.5	10.632	-0.166	0.024
201.0	10.630	-0.167	0.025
201.5	10.631	-0.167	0.026
202.0	10.633	-0.164	0.032
202.5	10.632	-0.167	0.052
203.0	10.635	-0.166	0.059
203.5	10.632	-0.167	0.031
204.0	10.635	-0.167	0.049
204.5	10.639	-0.167	0.018
205.0	10.638	-0.166	0.021
205.5	10.643	-0.164	0.023
206.0	10.640	-0.166	0.020
206.5	10.638	-0.165	0.018
207.0	10.641	-0.165	0.023
207.5	10.640	-0.165	0.023
208.0	10.646	-0.163	0.024
208.5	10.647	-0.163	0.024
209.0	10.649	-0.162	0.021
209.5	10.648	-0.162	0.022

Table A.IV.16 cont'd

Axial Laser Data List
 Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53
 Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK Angle 90 Degrees
 List Pitch .5 mm List Range 210 mm To 229.5 mm

Distance (mm)	Diameter (mm)	Bow (mm)	Roundness (mm)
210.0	10.649	-0.161	0.024
210.5	10.649	-0.160	0.024
211.0	10.648	-0.159	0.026
211.5	10.639	-0.159	0.030
212.0	10.626	-0.160	0.034
212.5	10.614	-0.161	0.029
213.0	10.603	-0.162	0.026
213.5	10.600	-0.162	0.021
214.0	10.608	-0.163	0.020
214.5	10.639	-0.168	0.050
215.0	10.666	-0.170	0.127
215.5	10.696	-0.175	0.156
216.0	10.718	-0.172	0.179
216.5	10.718	-0.177	0.169
217.0	10.731	-0.179	0.175
217.5	10.764	-0.166	0.163
218.0	10.815	-0.162	0.131
218.5	10.781	-0.173	0.157
219.0	10.756	-0.167	0.268
219.5	10.737	-0.157	0.189
220.0	10.720	-0.149	0.101
220.5	10.693	-0.159	0.021
221.0	10.683	-0.161	0.021
221.5	10.679	-0.162	0.019
222.0	10.676	-0.162	0.022
222.5	10.672	-0.161	0.020
223.0	10.540	-0.157	0.046
223.5	10.687	-0.167	0.018
224.0	10.691	-0.166	0.023
224.5	10.691	-0.167	0.032
225.0	10.689	-0.163	0.025
225.5	10.694	-0.163	0.022
226.0	10.703	-0.164	0.026
226.5	10.707	-0.161	0.045
227.0	10.717	-0.159	0.029
227.5	10.718	-0.159	0.032
228.0	10.714	-0.161	0.022
228.5	10.721	-0.164	0.020
229.0	10.720	-0.164	0.018
229.5	10.722	-0.163	0.018

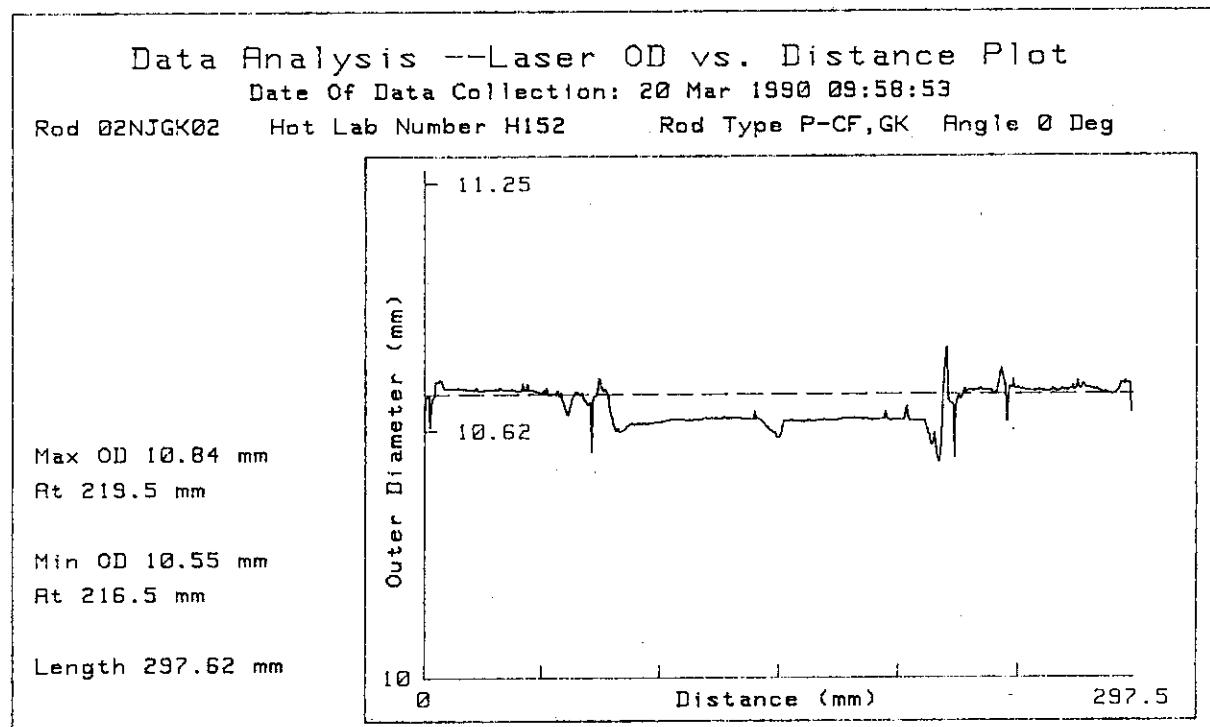


Fig. A.IV.1 Resultant diameter profile, 0°

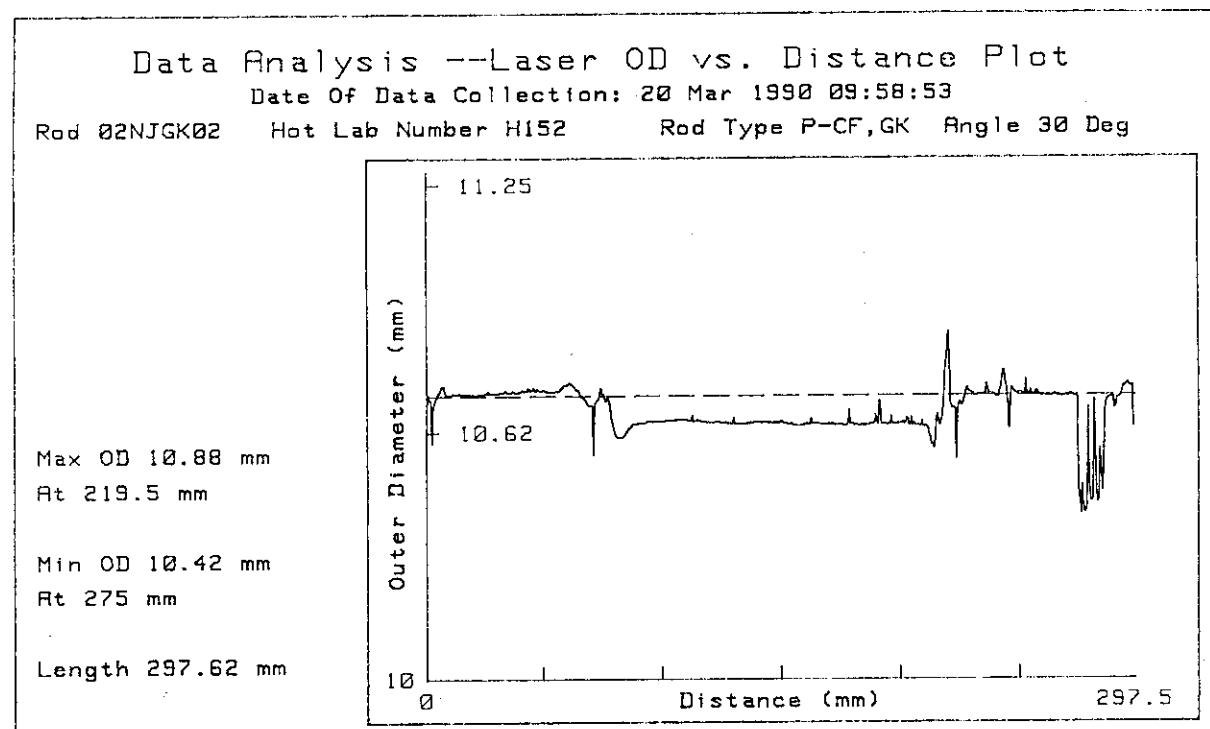


Fig. A.IV.2 Resultant diameter profile, 30°

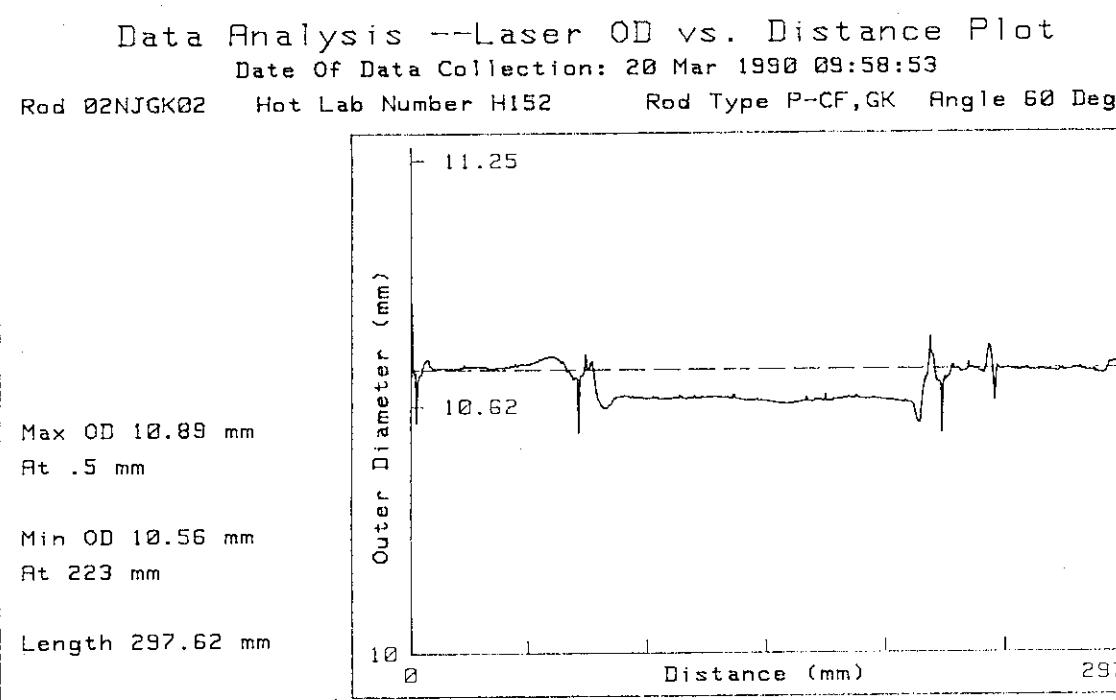


Fig. A.IV.3 Resultant diameter profile, 60°

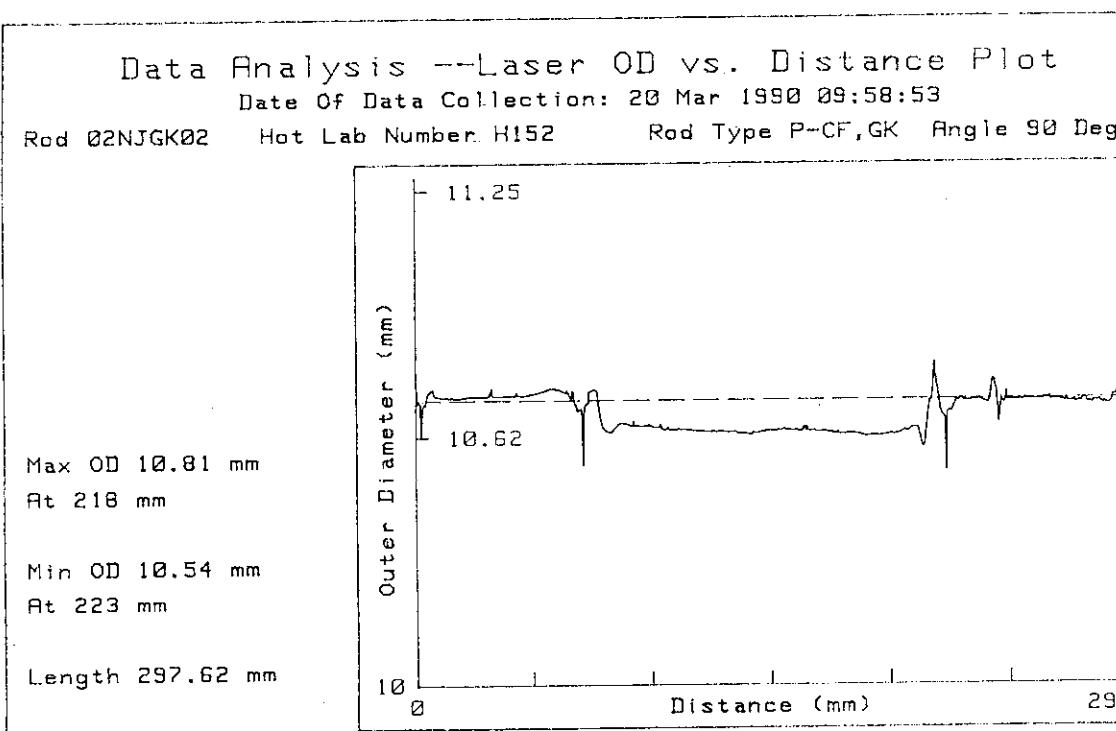


Fig. A.IV.4 Resultant diameter profile, 90°

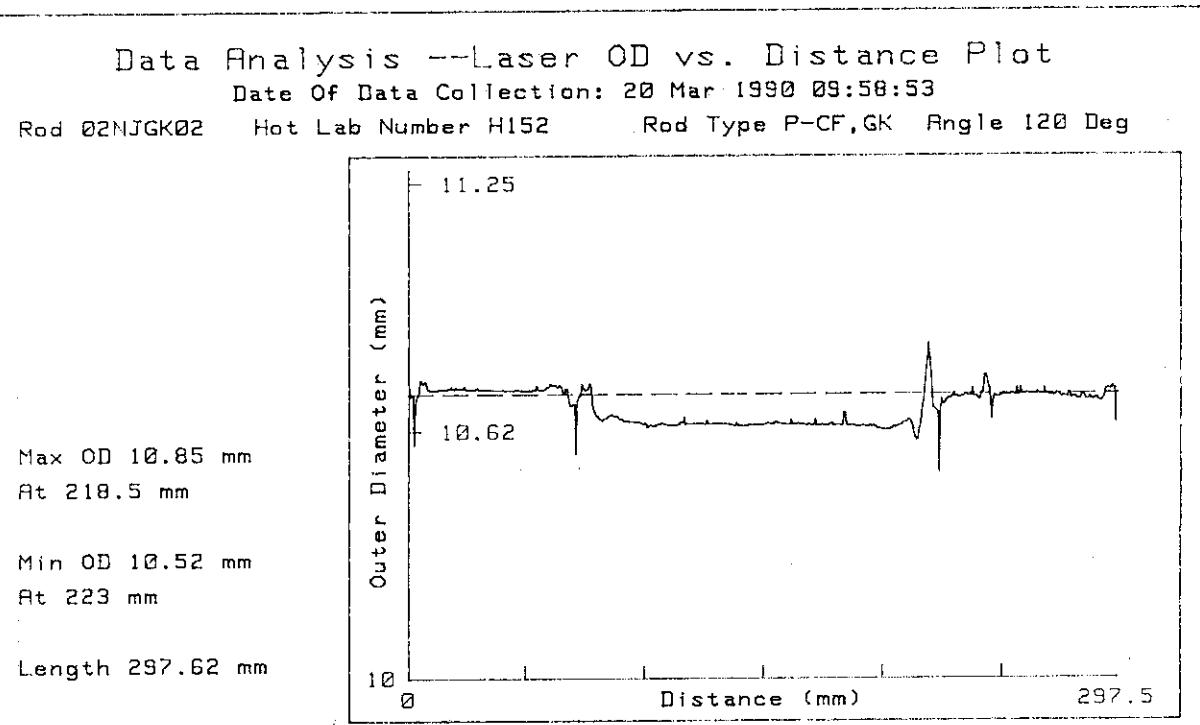


Fig. A.IV.5 Resultant diameter profile, 120°

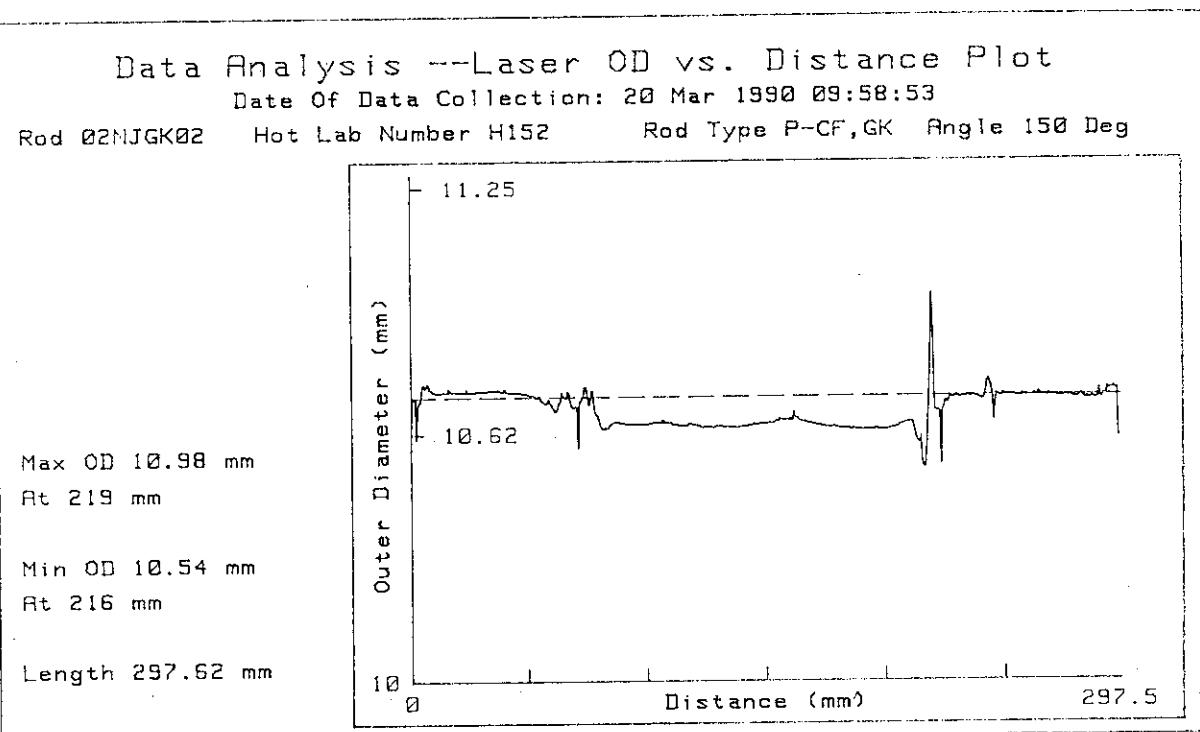


Fig. A.IV.6 Resultant diameter profile, 150°

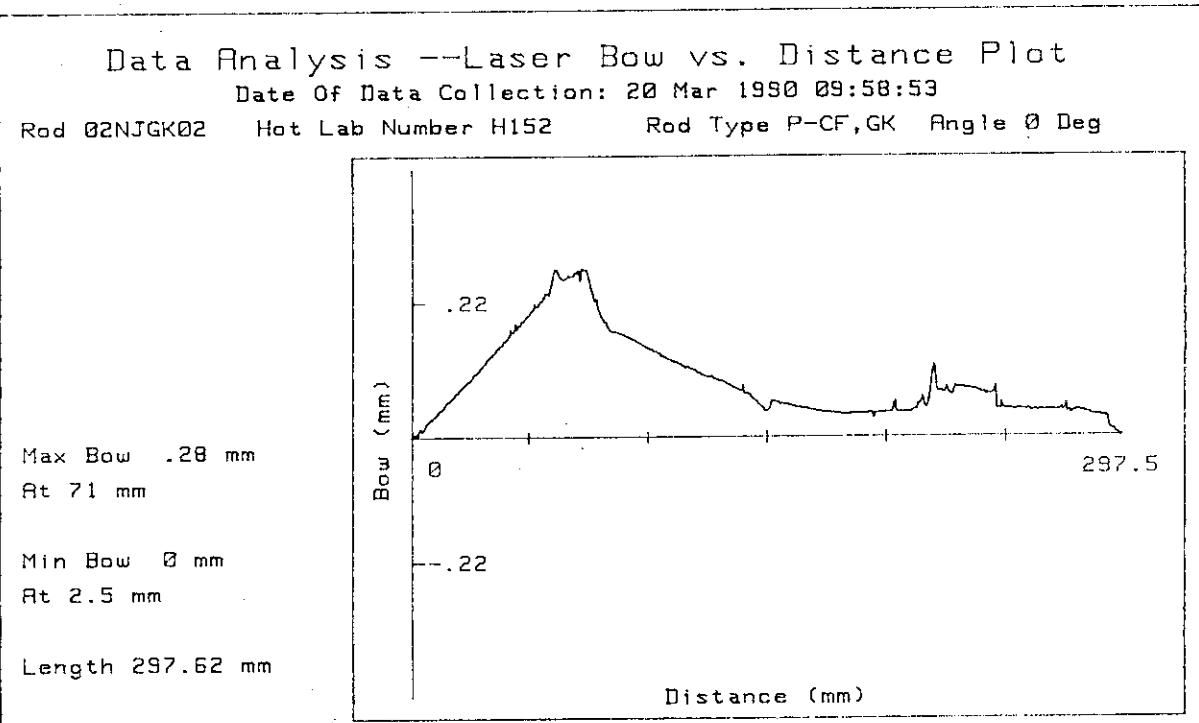


Fig. A.IV.7 Rod bowing, 0°

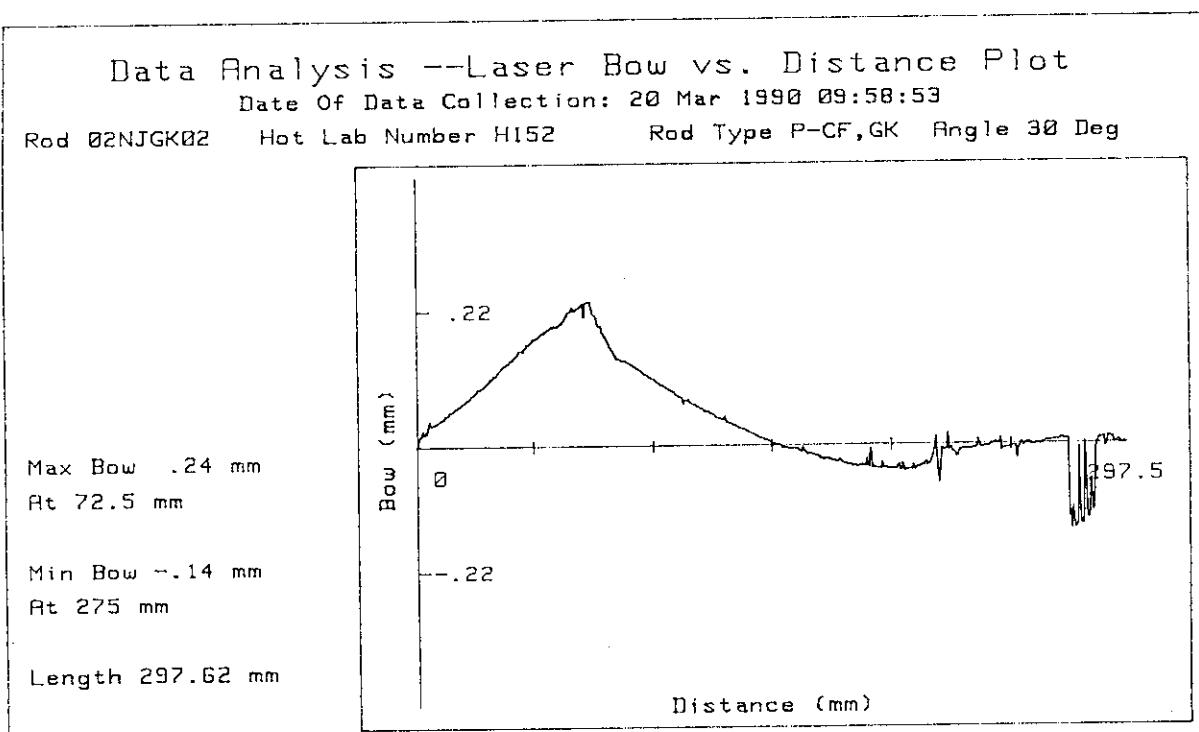


Fig. A.IV.8 Rod bowing, 30°

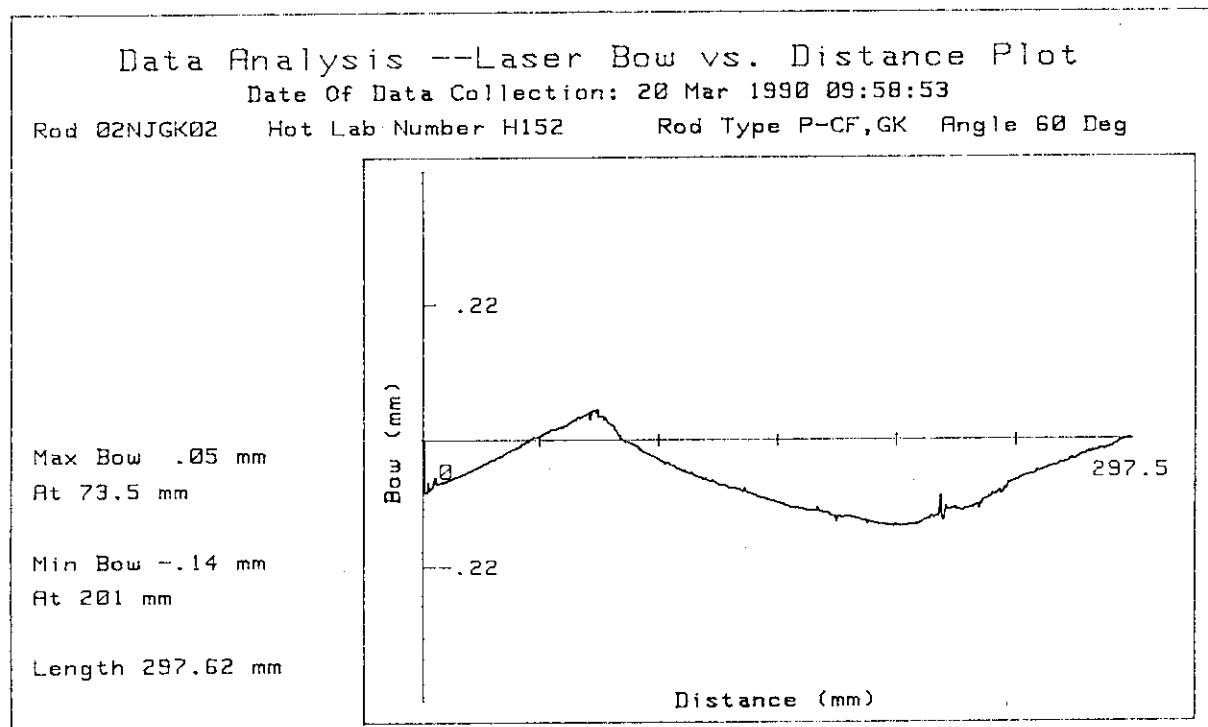


Fig. A.IV.9 Rod bowing, 60°

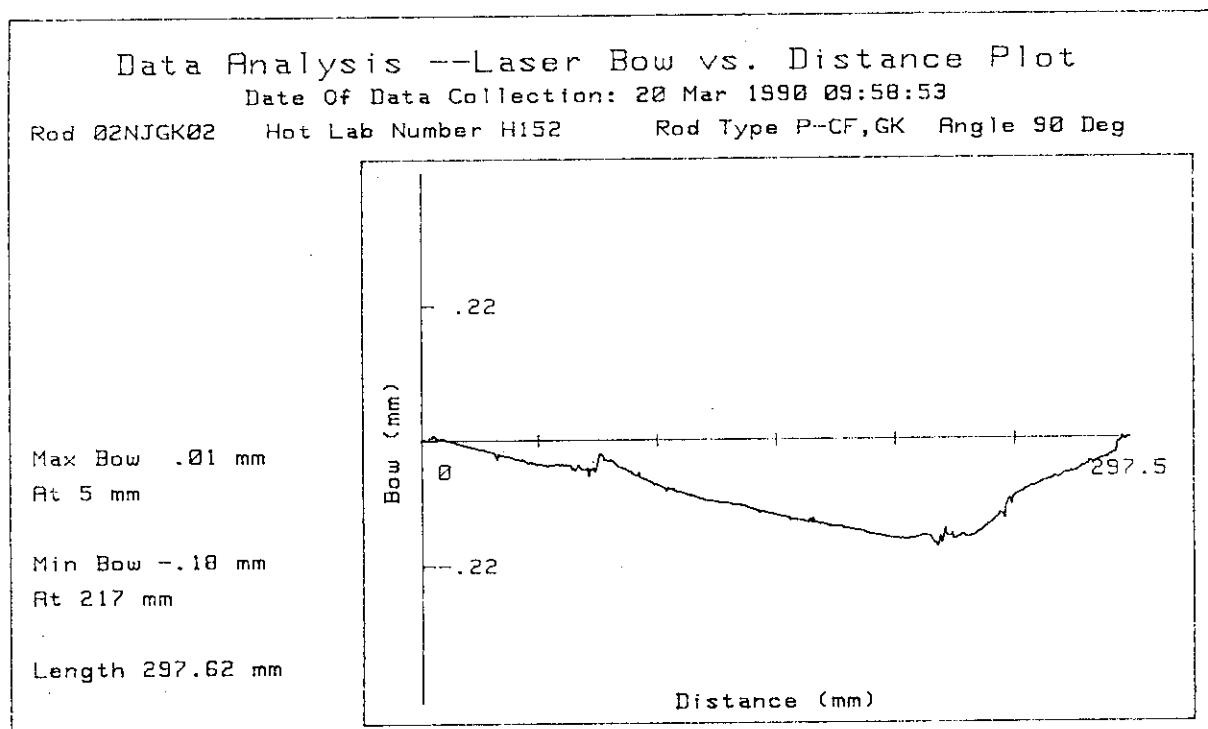


Fig. A.IV.10 Rod bowing, 90°

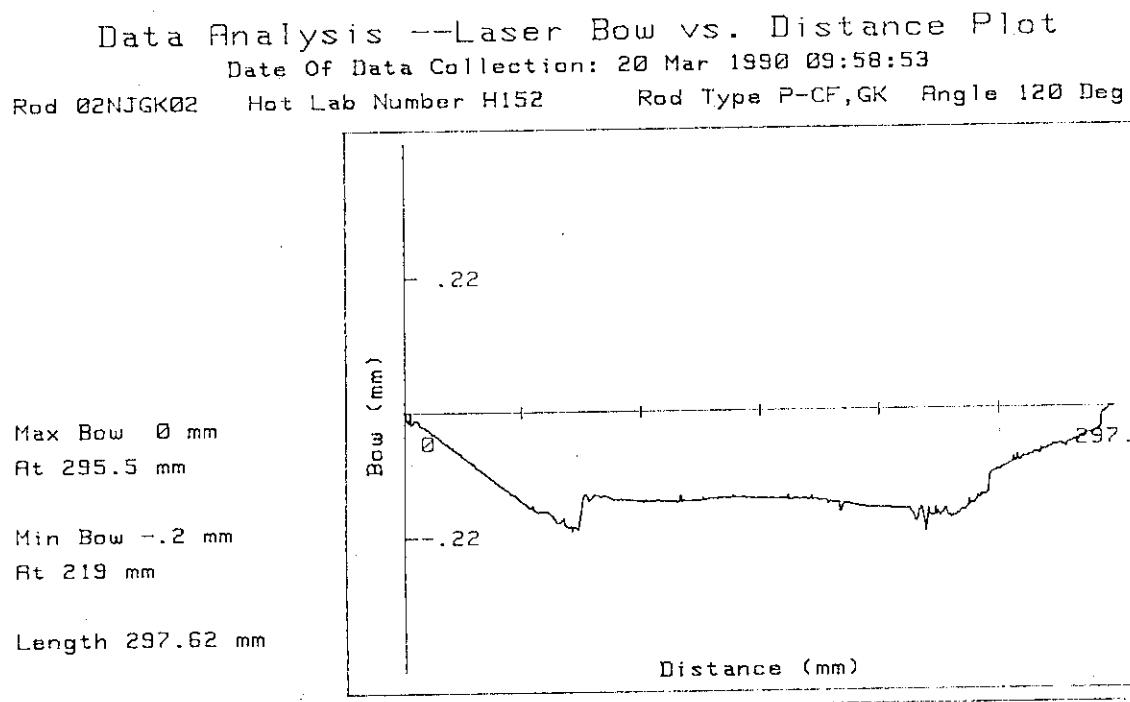


Fig. A.IV.11 Rod bowing, 120°

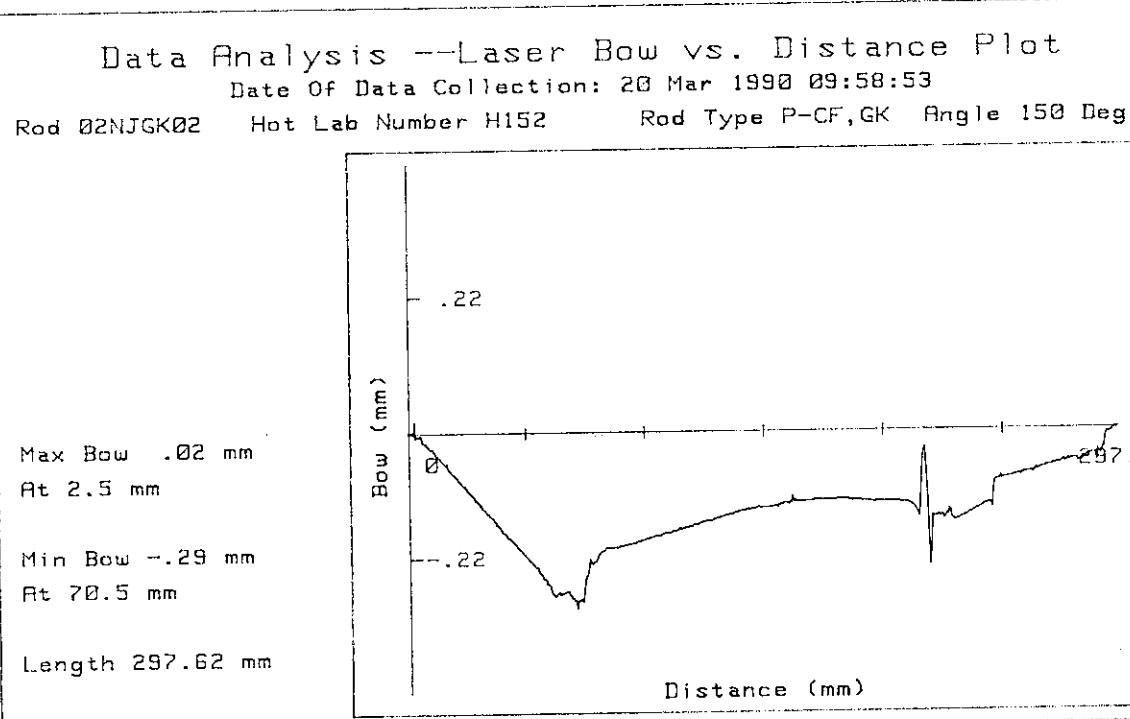


Fig. A.IV.12 Rod bowing, 150°

Data Analysis --Total Rod Length

Date Of Data Collection: 20 Mar 1990 09:58:53

Rod 02NJGK02 Hot Lab Number H152 Rod Type P-CF,GK

	Total Length	Extension
0 Degrees	297.63	-1.97
90 Degrees	297.61	-1.99
Average	297.62	-1.98

Fig. A.IV.13 Total length of MH-2 fuel rod

リファレンスチューブ傷信号

Rod Number MH2REFAR1 Hot Lab# H152

Rod Type P-CF, GK

Defect No.	Distance (mm)	Scan Angle (deg)	Phase Angle (deg)	Amplitude (volts)	Channel
------------	---------------	------------------	-------------------	-------------------	---------

1	275	----na----	86	2.21	4	Bobbin (内面)
2	235.5	----na----	28	4.67	4	Bobbin (外面)
3	190.5	----na----	35	5	4	Bobbin (^)
4	104.5	----na----	42	1.38	4	Bobbin (穴)
5	65.5	----na----	228	17.7	4	Bobbin (リュジ)
6	25.5	----na----	228	16	4	Bobbin (^)

Fig. A.IV.14 Signals obtained from PWR reference tube

リファレンスチューブ（内面）

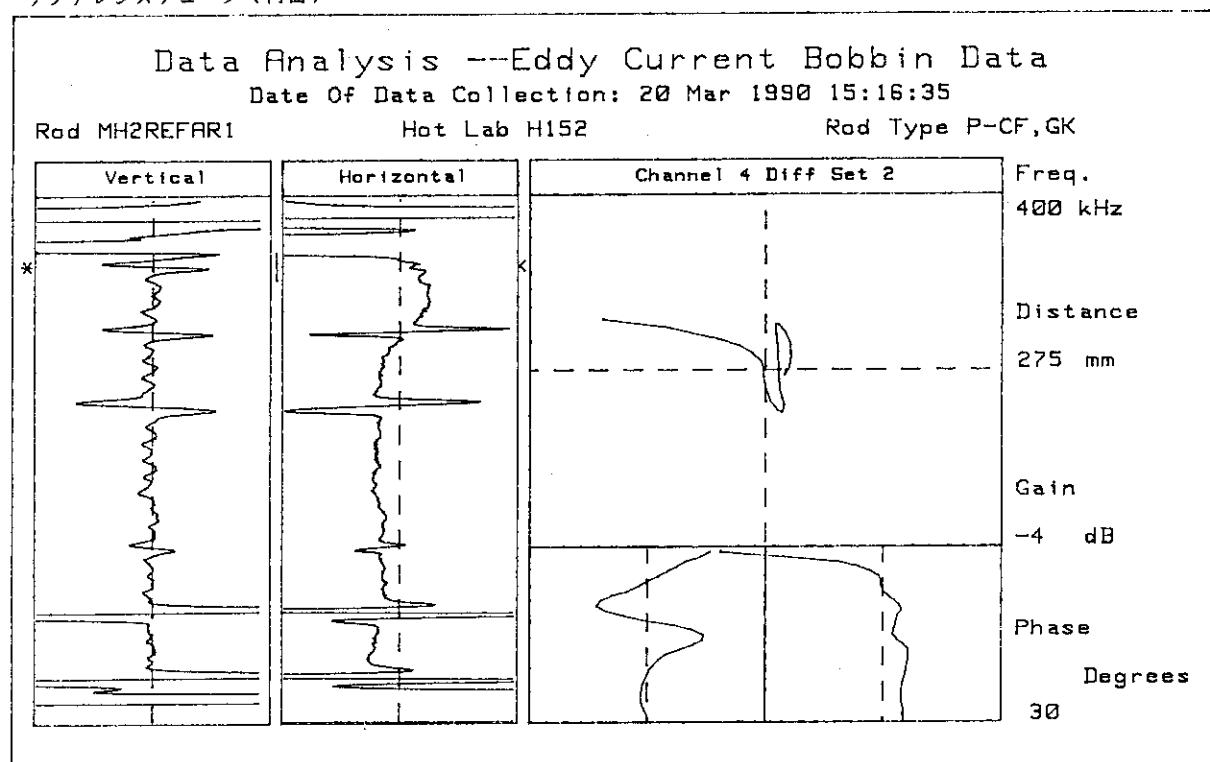


Fig. A.IV.15 Reference tube (internal)

リファレンスチューブ（外面）

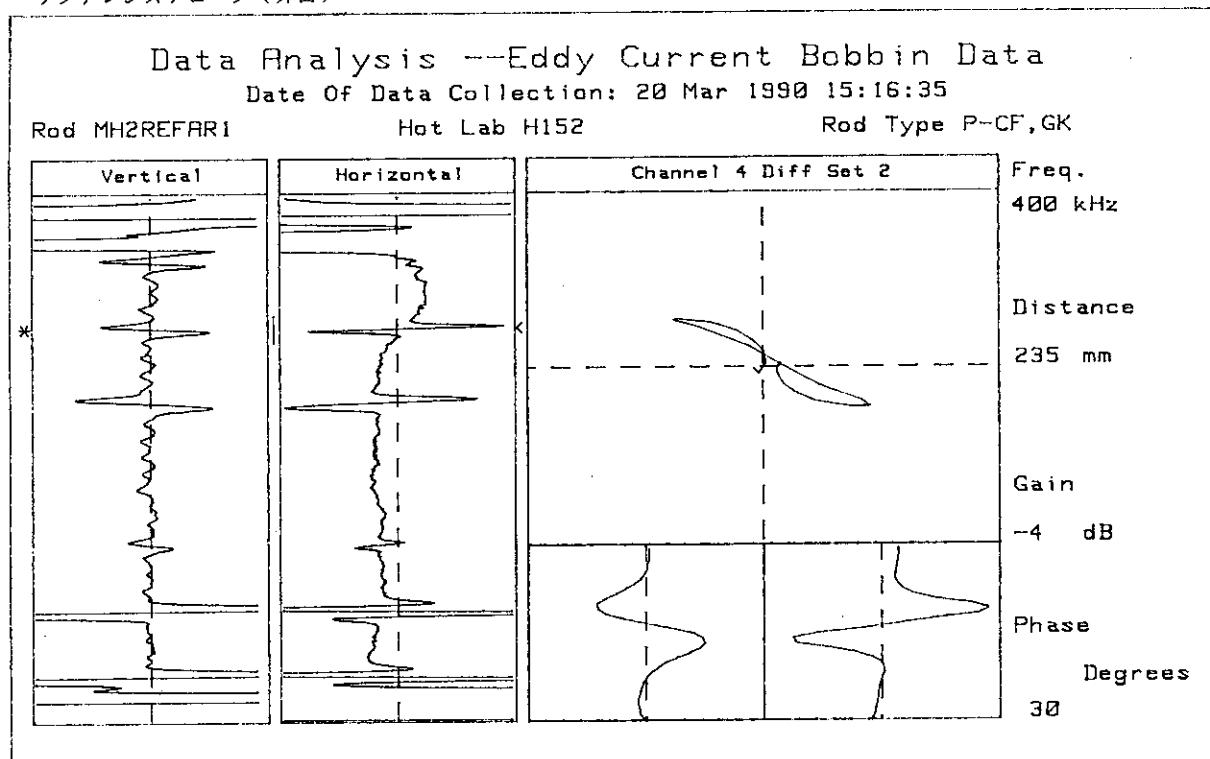


Fig. A.IV.16 Reference tube (external)

リファレンスチューブ(外面)

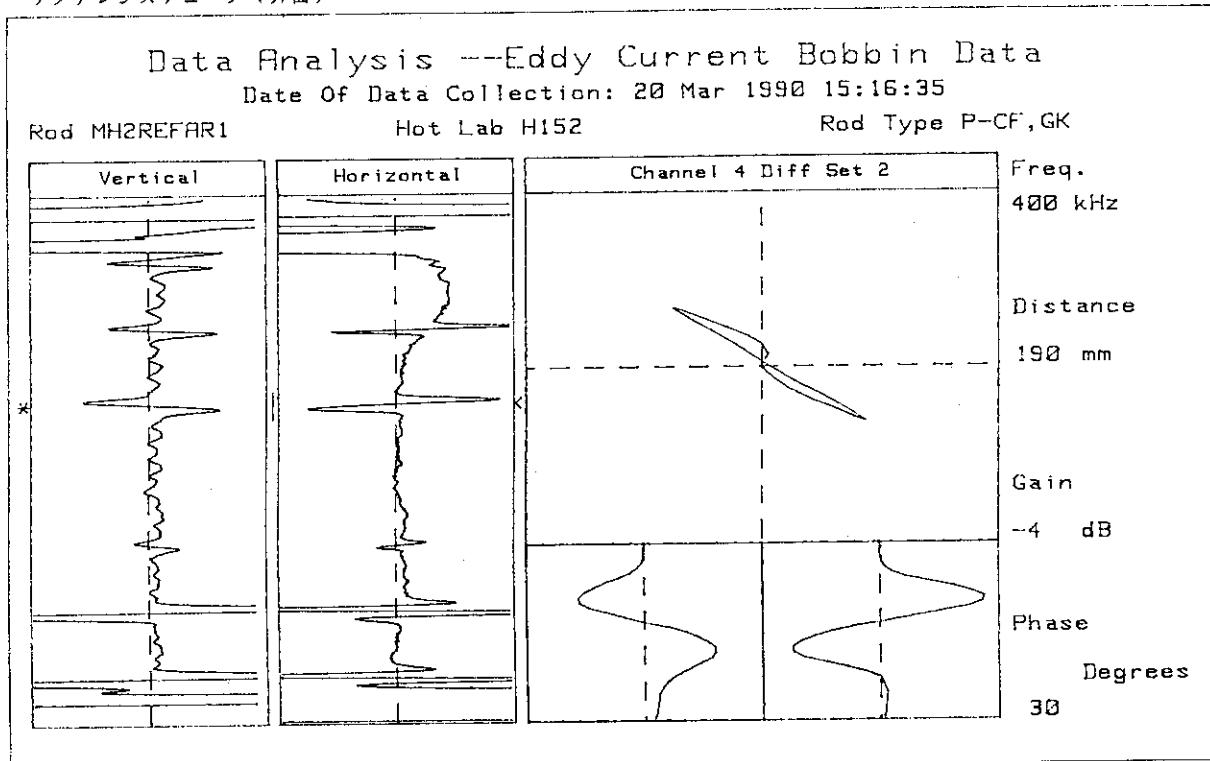


Fig. A.IV.17 Reference tube (external)

リファレンスチューブ(孔)

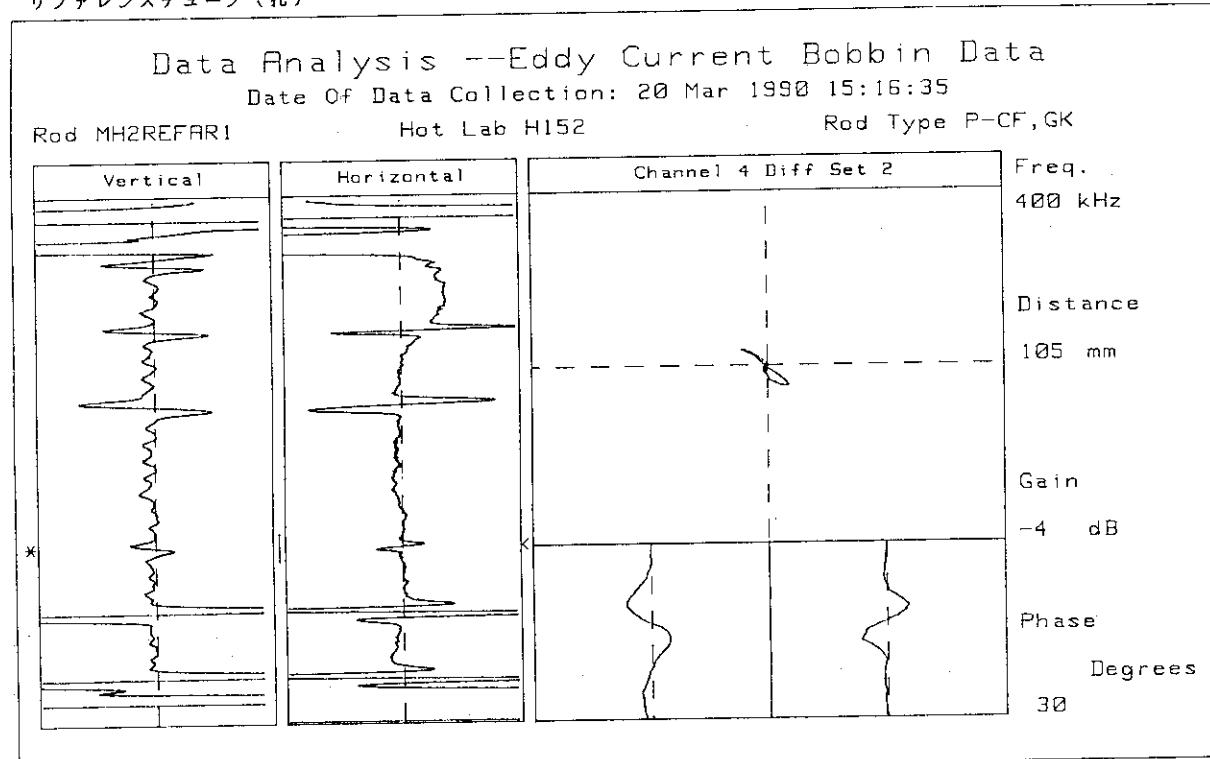


Fig. A.IV.18 Reference tube (through hole)

リファレンスチューブ(リッジ)

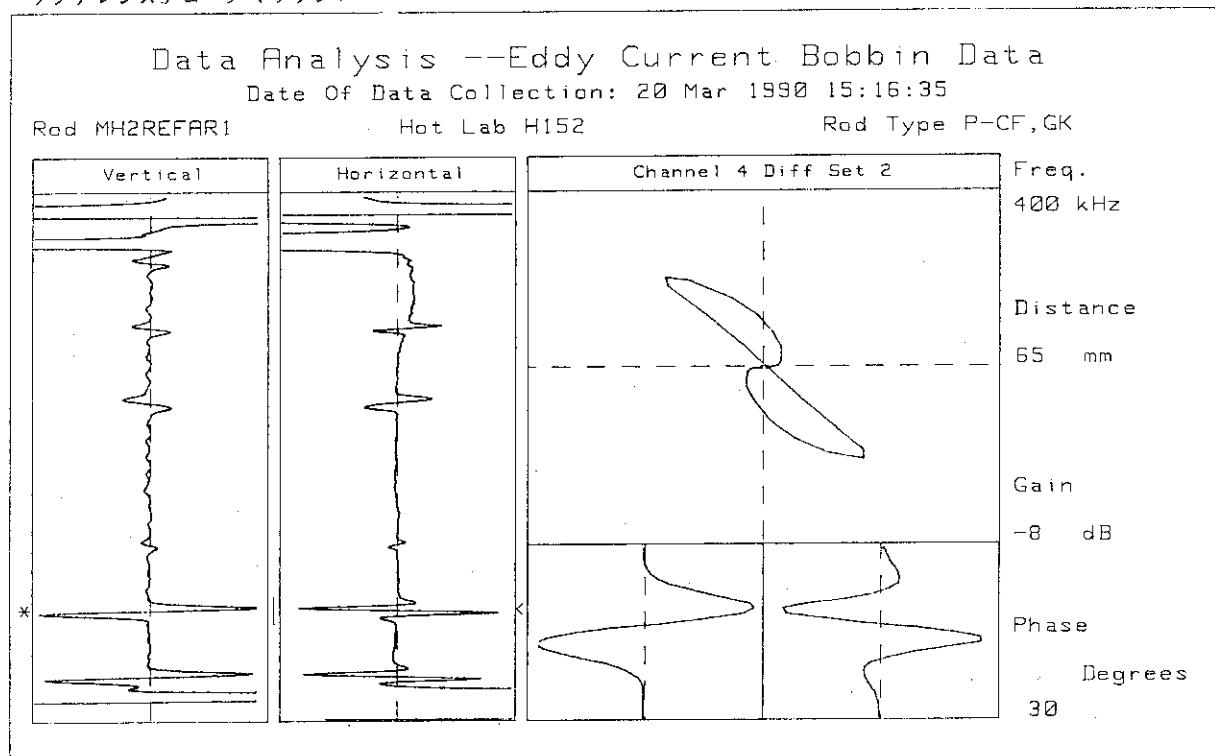


Fig. A.IV.19 Reference tube (ridge)

リファレンスチューブ(リッジ)

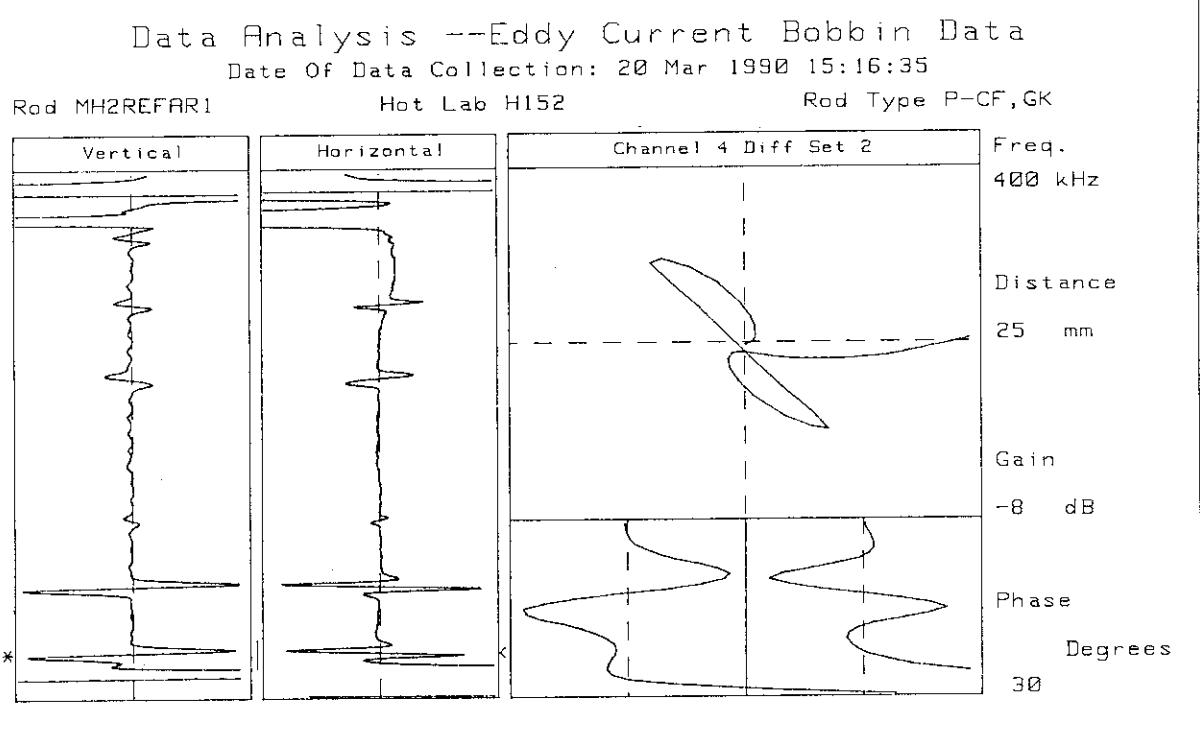


Fig. A.IV.20 Reference tube (ridge)

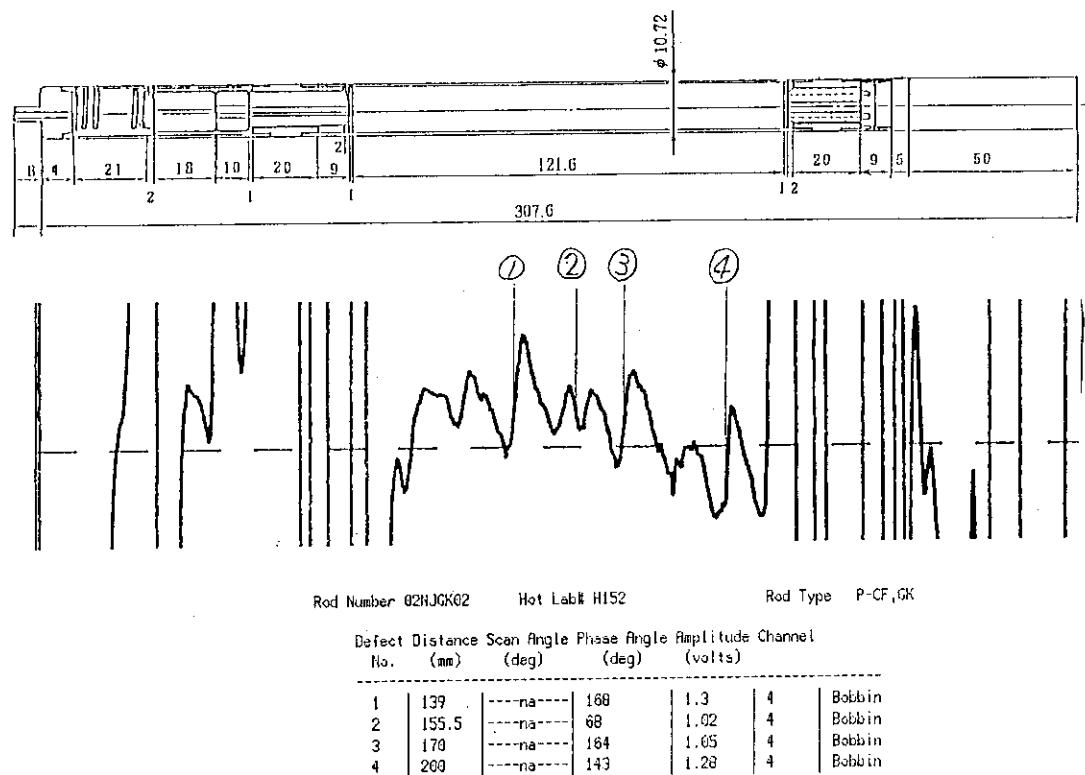


Fig. A.IV.21 Result of MH-2 fuel rod after pulse irradiation

燃料棒

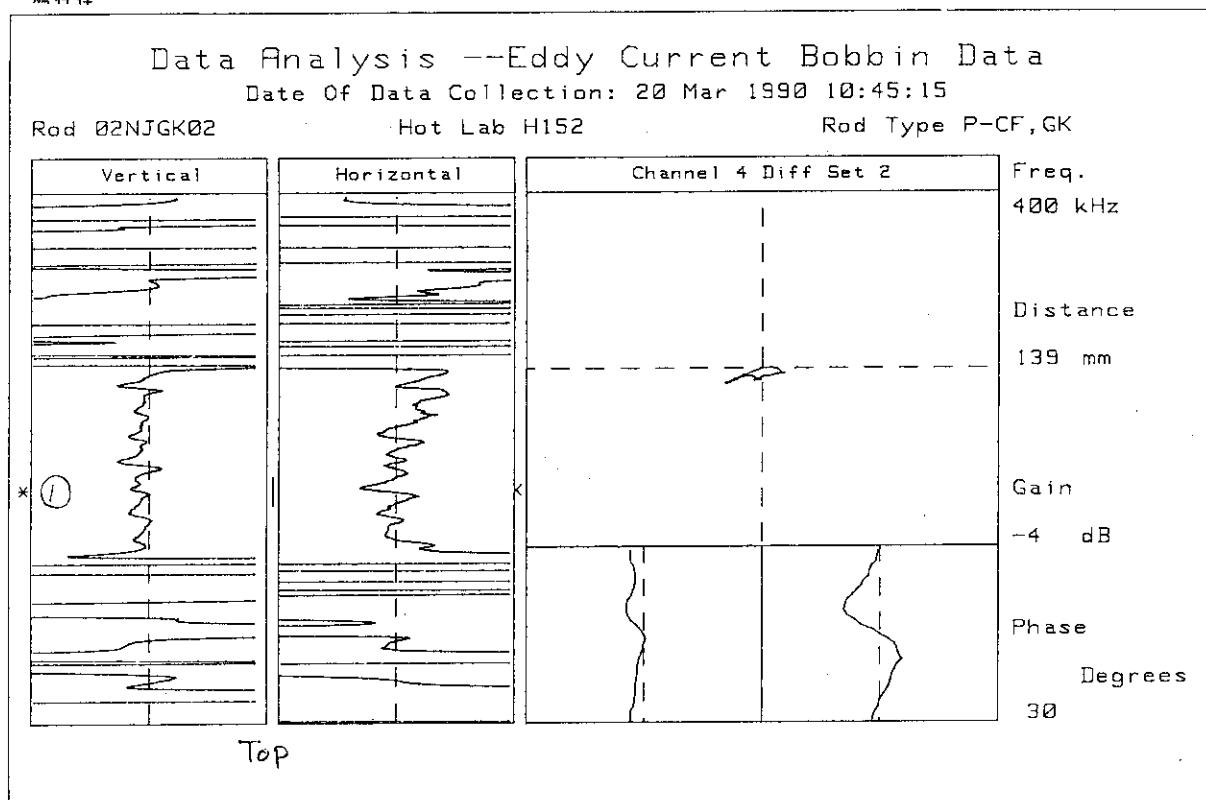


Fig. A.IV.22 MH-2 fuel rod (1)

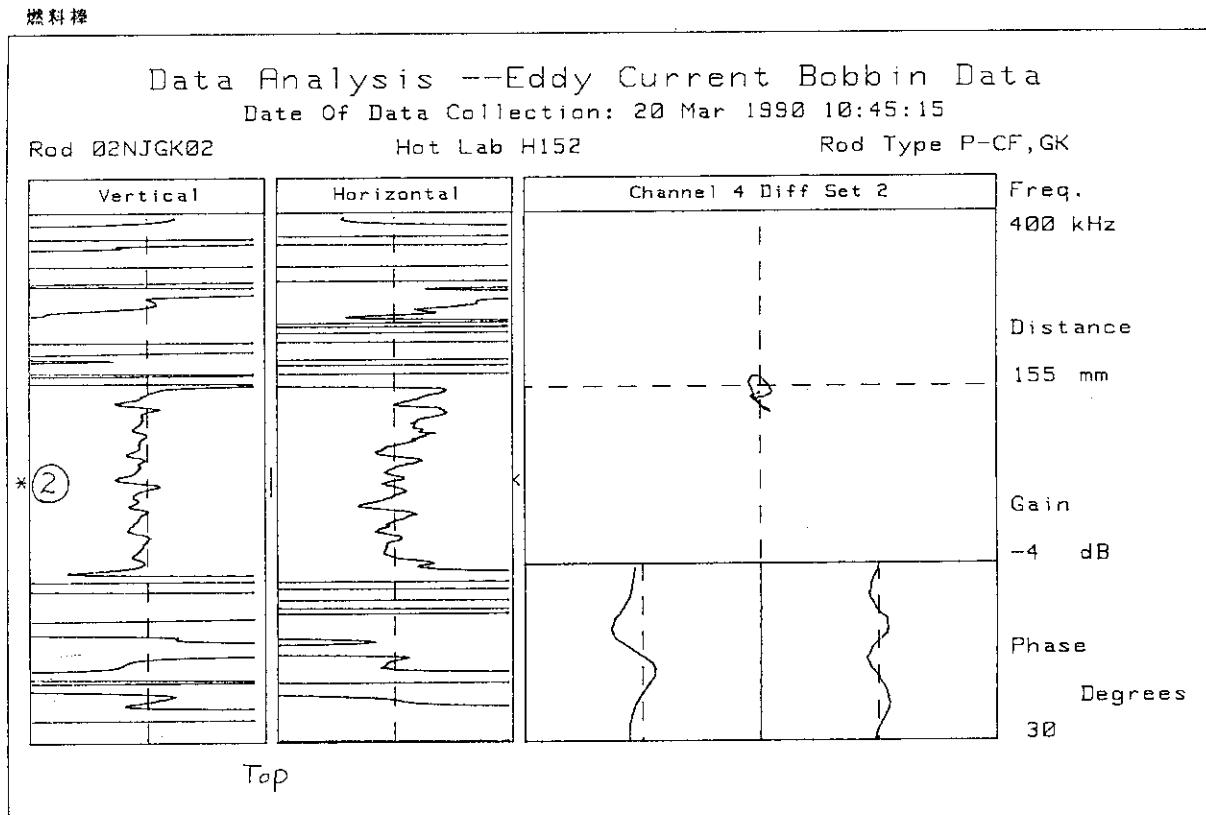


Fig. A.IV.23 MH-2 fuel rod (2)

燃料棒

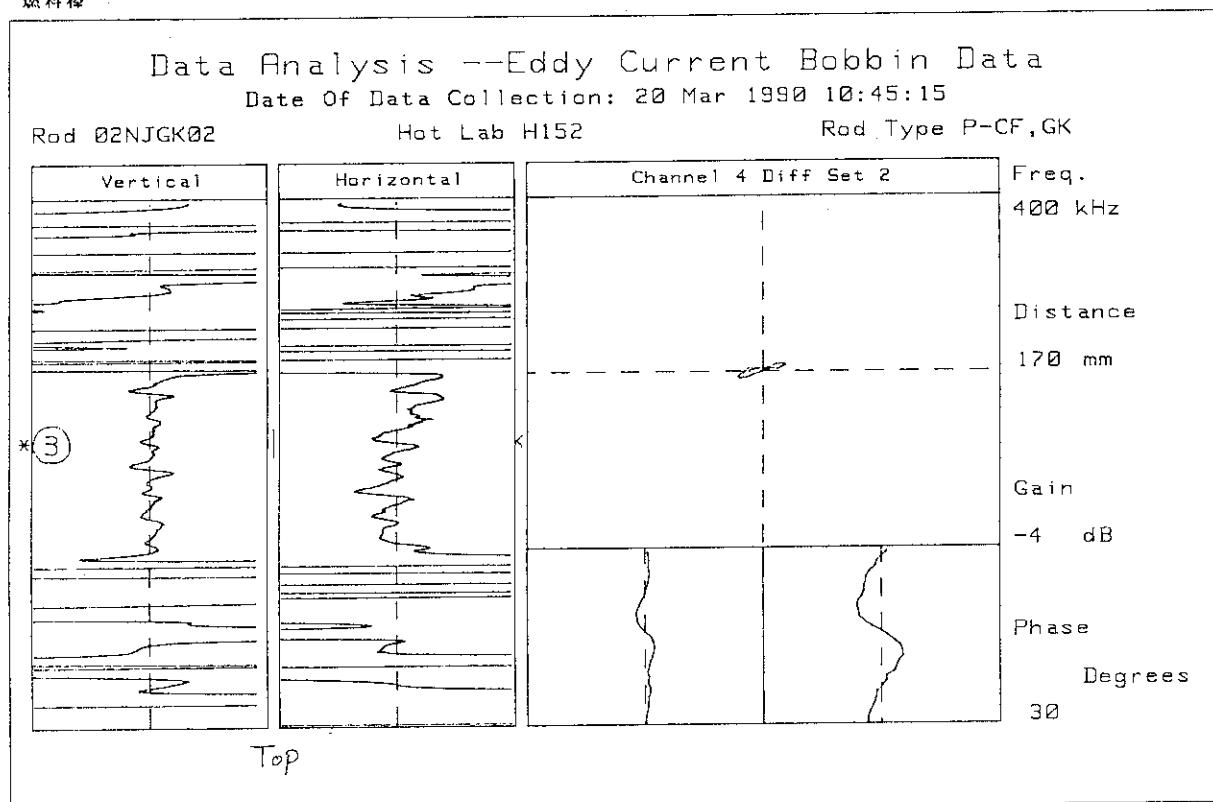


Fig. A.IV.24 MH-2 fuel rod (3)

燃料棒

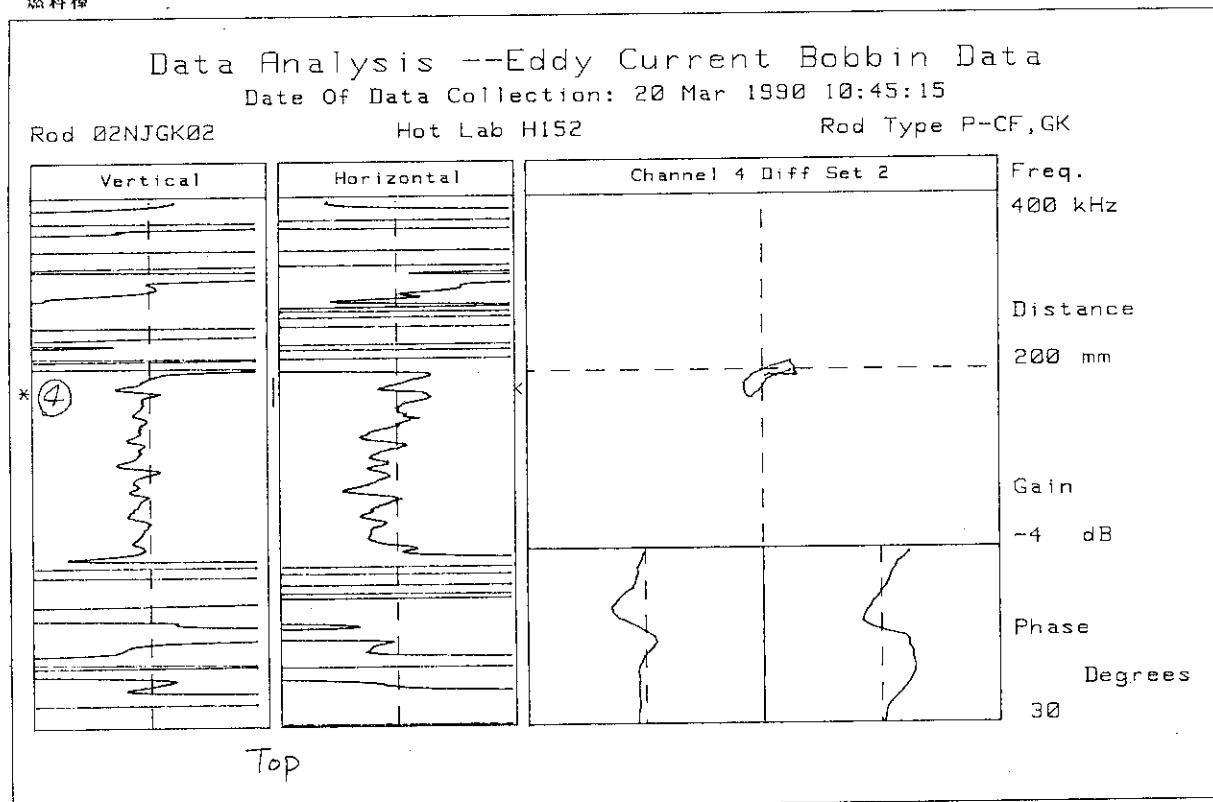


Fig. A.IV.25 MH-2 fuel rod (4)

Appendix V

Gamma Scanning

1 試験概要

N S R R に於てバルス照射した P W R 型短尺燃料棒（美浜：02NJGK02）について、ゲロスによるガンマスキャンを実施し、その後、燃料中央のペレット境界部及びプレナム部の定点ガンマ線スペクトル測定を実施した。

2 試 料

試 料 名	試料番号	試料内容	寸法 (mm)
P W R 型短尺燃料	02NJGK02	燃料棒	φ10.72×307.6

3 試験方法

1) 燃料棒のガンマスキャンニング

燃料棒表面をアセトンを浸したガーゼで除染した後、燃料棒をスキャンナにセットし燃料棒Bottom端側から毎分5 mmの速度でスキャンを行った。これと同時にスリット幅 0.3mmの鉛コリメータを通過して来るガンマ線をGe検出器、S C A、計数率計等で測定し、計数率計の出力電圧変化を燃料棒のガンマ線強度分布としてレコーダーに記録した。測定エネルギー範囲は、ゲロスガンマ：40～2595 KeVである。

燃料棒のガンマスキャンニング方法を図-1に、測定機器及び測定条件を表-1に示す。

2) 燃料棒の定点ガンマ線スペクトル測定

図-2に示す測定位置に於て、ペレット境界部は¹⁴⁰Ba-¹⁴⁰Laの検出を目的とした長時間（50万秒）のガンマ線スペクトル測定を、プレナム部については⁸⁵Krの検出を目的とした長時間（40万秒）のガンマ線スペクトル測定をGe検出器及び4096ch波高分析器を使用し実施した。

ガンマ線スペクトル解析は、データ処理用計算機システム及びガンマ線スペクトル解析ソフトウェア『SPECTRAN-F Ver 2.06』を使用し、FP核種の相対的強度を求めた。

燃料棒のガンマ線スペクトル測定方法を図-1に、測定条件及び解析条件を表-1に示す。

4 試験結果

試験結果を下記別添図表に示す。

5 特記事項

- 1) 図-3のチャートは、オリジナルチャートを複写したものであるため若干寸法が異なる。そのため、チャートの横軸は5mm/Div, 縦軸は50cps/Divとして観察されたい。
また、スキャン速度とチャート速度に若干の差があるため試料全長で約2mmの差（分布図が試料長より短い）が生じている。
 - 2) プレナム部のガンマ線スペクトル及び解析結果にみられる⁸⁵Kr以外の核種及びペレット境界部の⁶⁰Coは、バックグラウンドの計数率とほぼ同じであることから、試料から検出されたものではないと判断する。
 - 3) ¹⁴⁰Ba-¹⁴⁰Laの検出を目的とするガンマ線スペクトル測定では、長時間計数による低エネルギー側スペクトルのオーバフローが生じデータ解析に支障をきたすため、波高分析器のLLDで817Kev以下のスペクトルの計数を行わなかった。

Table A.V.1 Measuring condition and analytical one

表-1 測定条件及び解析条件

*** 測定機器及び測定条件 ***

- 1) 検出器 : ORTEC Model No. GEM-25185-P HpGe半導体検出器
 2) バイアス・サプライ : ORTEC Model No. 459 BIAS SUPPLY H·V = +2000 Volts
 3) 増幅器 : ORTEC Model No. 572
 Coarse Gain=50<20>、Fine Gain=0.792、Input=Pos
 Shaping Time=3μ Sec、BLR=Auto、Output=Uni
 4) 波高分析器 : CANBERRA Series-40 4096ch MCA
 ADC Gain = 4096ch、Memory = 1/1、LLD = 0.1<2.68>
 ADC Offset = All off、AMP = EXT、ULD = 10
 5) S.C.A : ORTEC Model No. 551 TIMINIG SCA
 LLD = 0.1、ULD = 10.0、Mode = NORMAL
 6) 計数率計 : ORTEC Model No. 449 LOG/LIN RATEMETER
 Range = 1×10^4 cps、T.C = 0.3 Sec
 7) 記録計 : GRAPHTEC MC6601 4ch マルチコーダ
 1chを使用、チャート速度=300 mm/hr
 Input Range = 5V
 8) ガンマスキャッタ : スキャン速度 = 5 mm/min
 9) コリメータ : 0.3mm(スリット)×23mm(h)
 10) 測定距離 : ガンマスキャニング : 713 mm
 定点ガンマ線スペクトル測定 : 798 mm

※ < >内は ^{140}Ba - ^{140}La 長時間測定時

*** データ解析システム及び解析条件 ***

- 1) 解析用コンピュータ : DEC社 LSI-11/73 システム
 2) 解析ソフトウェア : CANBERRA社 Spectran-F Ver 2.06
 3) 校正用線源 : LMRI社 ^{152}Eu 線源 11.3 μCi at 23-Feb-76
 4) 解析チャンネル : 1 ~ 4096 ch
 5) スムージング・ポイント : 3 ポイント
 6) エネルギー・ウインド : ± 1 Kev
 7) 解析ライブラリ : Spectran-F標準ライブラリ及び放射線データブック（地図書館 57年4月発行）を使用した。

Table A.V.2 Gamma ray spectra at plenum, MH-2 rod

表-2 PWR型短尺燃料棒(美浜)プレナム部のガンマ線スペクトル解析結果

* Sample Name : 02NJGK02-F
 * Collect Started : 4-APR-90 at 15:34:00
 * Collect Live Time : 400000 Sec

PK	Centroid Channel	Energy keV	Total Counts	Net Area Counts	Count Rate cps	Nuclides
1	268.43	69.67	106166.	8174.	0.02	
2	280.68	72.86	127716.	30807.	0.08	
3	289.04	75.03	148359.	52191.	0.13	
4	326.76	84.84	133692.	26097.	0.07	
5	336.68	87.42	116230.	8339.	0.02	
6	538.31	139.86	133413.	5545.	0.01	
7	918.49	238.74	85270.	2857.	0.01	
8	1669.31	434.02	61954.	29340.	0.07	
9	1960.02	509.63	32955.	2307.	0.01	
10	1964.62	510.82	36335.	5821.	0.01	Rh-106
11	1968.98	511.96	36055.	5667.	0.01	Rh-106
12	1977.04	514.05	36822.	6668.	0.02	Kr-85
13	2242.54	583.11	26322.	2924.	0.01	
14	2325.75	604.75	28341.	4754.	0.01	Cs-134
15	2343.00	609.24	25211.	2121.	0.01	
16	2362.56	614.32	57254.	34726.	0.09	
17	2544.69	661.69	83205.	61312.	0.15	Cs-137
18	2780.13	722.93	56453.	36405.	0.09	Eu-154
19	3059.71	795.64	23673.	4715.	0.01	Cs-134

Table A.V.3 Gamma ray spectra at pellet to pellet interface location

表-3 PWR型短尺燃料棒(美浜)ベレット境界部のガンマ線スペクトル解析結果

* Sample Name : 02NJGK02-L
 * Collect Started : 10-AFR-90 at 09:50:00
 * Collect Live Time : 500000 Sec

PK	Centroid Channel	Energy keV	Total Counts	Net Area Counts	Count Rate CPS	Nuclides
1	1288.91	816.03	235077.	53366.	0.11	La-140
2	1335.37	845.47	318477.	36499.	0.07	
3	1343.58	850.68	291053.	14542.	0.03	
4	1379.24	873.27	1053390.	787575.	1.58	Eu-154, Rh-106
5	1391.05	880.76	259482.	2399.	0.00	
6	1397.58	884.90	255079.	2820.	0.01	As110m
7	1410.15	892.86	274438.	31463.	0.06	
8	1427.95	904.14	297743.	54932.	0.11	
9	1439.02	911.15	240774.	1887.	0.00	
10	1460.25	924.61	235085.	3089.	0.01	La-140
11	1573.49	996.37	825869.	609320.	1.22	Eu-154
12	1580.34	1000.71	215065.	1865.	0.00	
13	1586.86	1004.84	1258808.	1048791.	2.10	Eu-154
14	1634.20	1034.84	211999.	1877.	0.00	
15	1640.33	1038.72	474989.	265723.	0.53	Cs-134
16	1653.65	1047.16	212700.	5298.	0.01	
17	1658.95	1050.52	319998.	113338.	0.23	Rh-106
18	1766.18	1118.47	165767.	6200.	0.01	
19	1781.85	1128.40	179845.	42876.	0.09	Rh-106
20	1801.49	1140.84	151564.	12336.	0.02	
21	1832.66	1160.59	105311.	2676.	0.01	
22	1844.50	1168.10	540179.	445381.	0.89	Cs-134
23	1852.64	1173.25	282562.	193146.	0.39	Co-60
24	1876.29	1188.24	84028.	4933.	0.01	
25	1886.27	1194.56	79800.	4052.	0.01	
26	1933.09	1224.23	71875.	753.	0.00	
27	1960.13	1241.37	68559.	6578.	0.01	
28	1967.88	1246.28	105380.	44550.	0.09	Eu-154
29	1995.41	1263.73	60963.	3482.	0.01	
30	1999.28	1266.17	62882.	7673.	0.02	
31	2012.55	1274.59	1796085.	1748687.	3.50	Eu-154
32	2037.54	1290.42	44640.	1244.	0.00	
33	2064.20	1307.32	53348.	1530.	0.00	
34	2070.09	1311.05	52466.	2346.	0.00	
35	2075.19	1314.28	51396.	2746.	0.01	
36	2079.27	1316.87	51592.	4119.	0.01	
37	2083.78	1319.72	52549.	6374.	0.01	
38	2088.40	1322.65	60397.	15556.	0.03	
39	2104.04	1332.56	223680.	191205.	0.38	Co-60
40	2148.67	1360.84	25532.	1870.	0.00	
41	2154.37	1364.45	96808.	74441.	0.15	Cs-134
42	2155.95	1365.45	617148.	595140.	1.19	Cs-134
43	2185.95	1384.46	23102.	999.	0.00	As110m
44	2206.16	1397.27	16199.	481.	0.00	
45	2210.59	1400.08	16330.	851.	0.00	Bi-214
46	2223.76	1408.42	15989.	1221.	0.00	Bi-214
47	2238.45	1417.73	14532.	556.	0.00	
48	2268.50	1436.77	19668.	176.	0.00	
49	2290.16	1450.49	16663.	1093.	0.00	
50	2295.66	1453.98	16668.	2195.	0.00	

Table A.V.3 (cont'd)

PK	Centroid Channel	Energy keV	Total Counts	Net Area Counts	Count Rate cps	Nuclides
51	2300.22	1456.87	18758.	5193.	0.01	
52	2306.53	1460.87	34245.	21936.	0.04	K-40
53	2351.47	1489.35	15587.	5669.	0.01	Pr-144
54	2359.24	1494.27	41690.	31782.	0.06	Eu-154
55	2399.31	1519.66	9353.	329.	0.00	
56	2418.52	1531.83	7927.	245.	0.00	
57	2428.33	1538.05	9724.	2406.	0.00	
58	2466.85	1562.46	16136.	8951.	0.02	Rh-106
59	2508.50	1588.85	7389.	606.	0.00	
60	2514.03	1592.35	7616.	1079.	0.00	
61	2520.82	1596.66	84707.	78472.	0.16	Eu-154,La-140
62	2558.11	1620.28	16384.	418.	0.00	
63	2630.86	1666.38	4762.	184.	0.00	
64	2644.12	1674.78	4983.	558.	0.00	
65	2731.04	1729.86	4403.	184.	0.00	Bi-214
66	2787.32	1765.52	9534.	2982.	0.01	
67	2818.57	1785.32	2738.	55.	0.00	
68	2835.58	1796.10	2742.	465.	0.00	
69	2837.94	1797.60	3140.	831.	0.00	
70	2917.27	1847.86	3225.	175.	0.00	
71	3011.13	1907.33	3090.	167.	0.00	
72	3043.00	1927.53	4702.	806.	0.00	
73	3055.45	1935.42	4180.	435.	0.00	
74	3073.17	1946.65	2667.	59.	0.00	
75	3139.82	1988.87	3361.	1102.	0.00	
76	3198.97	2026.36	4590.	176.	0.00	
77	3318.68	2102.21	1696.	198.	0.00	
78	3321.13	2103.76	1864.	354.	0.00	
79	3335.34	2112.77	2891.	1307.	0.00	
80	3450.69	2185.85	11502.	10198.	0.02	Fr-144
81	3462.56	2193.37	1485.	201.	0.00	
82	3479.68	2204.22	1709.	454.	0.00	Bi-214
83	3644.22	2308.48	1047.	124.	0.00	
84	3647.37	2310.47	965.	52.	0.00	
85	3657.47	2316.87	1051.	172.	0.00	
86	3735.73	2366.46	2136.	925.	0.00	
87	3774.40	2390.96	1218.	215.	0.00	
88	3799.00	2406.54	1689.	582.	0.00	
89	3839.11	2431.96	479.	43.	0.00	
90	3851.63	2439.89	538.	96.	0.00	
91	3982.05	2522.53	1195.	223.	0.00	La-140
92	4014.77	2543.26	758.	104.	0.00	

Table A.V.4 Gamma ray spector at background level

表-4 バックグラウンドのガンマ線スペクトル解析結果

* Sample Name : Back Ground
 * Collect Started : 16-APR-90 at 18:27:00
 * Collect Live Time : 100000 Sec

PK	Centroid Channel	Energy keV	Total Counts	Net Area Counts	Count Rate CPS	Nuclides
1	115.97	72.73	31895.	6565.	0.07	
2	119.36	74.88	36790.	12014.	0.12	
3	134.78	84.65	32027.	5963.	0.06	
4	138.85	87.23	27667.	1883.	0.02	
5	685.60	433.72	16306.	4958.	0.05	
6	808.13	511.36	13465.	3146.	0.03	Rh-106
7	955.13	604.52	9563.	652.	0.01	Cs-134
8	970.28	614.12	14147.	5589.	0.06	
9	1045.04	661.49	24925.	17889.	0.18	Cs-137
10	1141.73	722.77	12975.	6651.	0.07	Eu-154
11	1256.77	795.67	7830.	1690.	0.02	Cs-134
12	1852.46	1173.14	43311.	40620.	0.41	Co-60
13	2103.80	1332.41	41363.	40373.	0.40	Co-60
14	2306.30	1460.72	4519.	4288.	0.04	K-40
15	2785.27	1764.22	444.	307.	0.00	

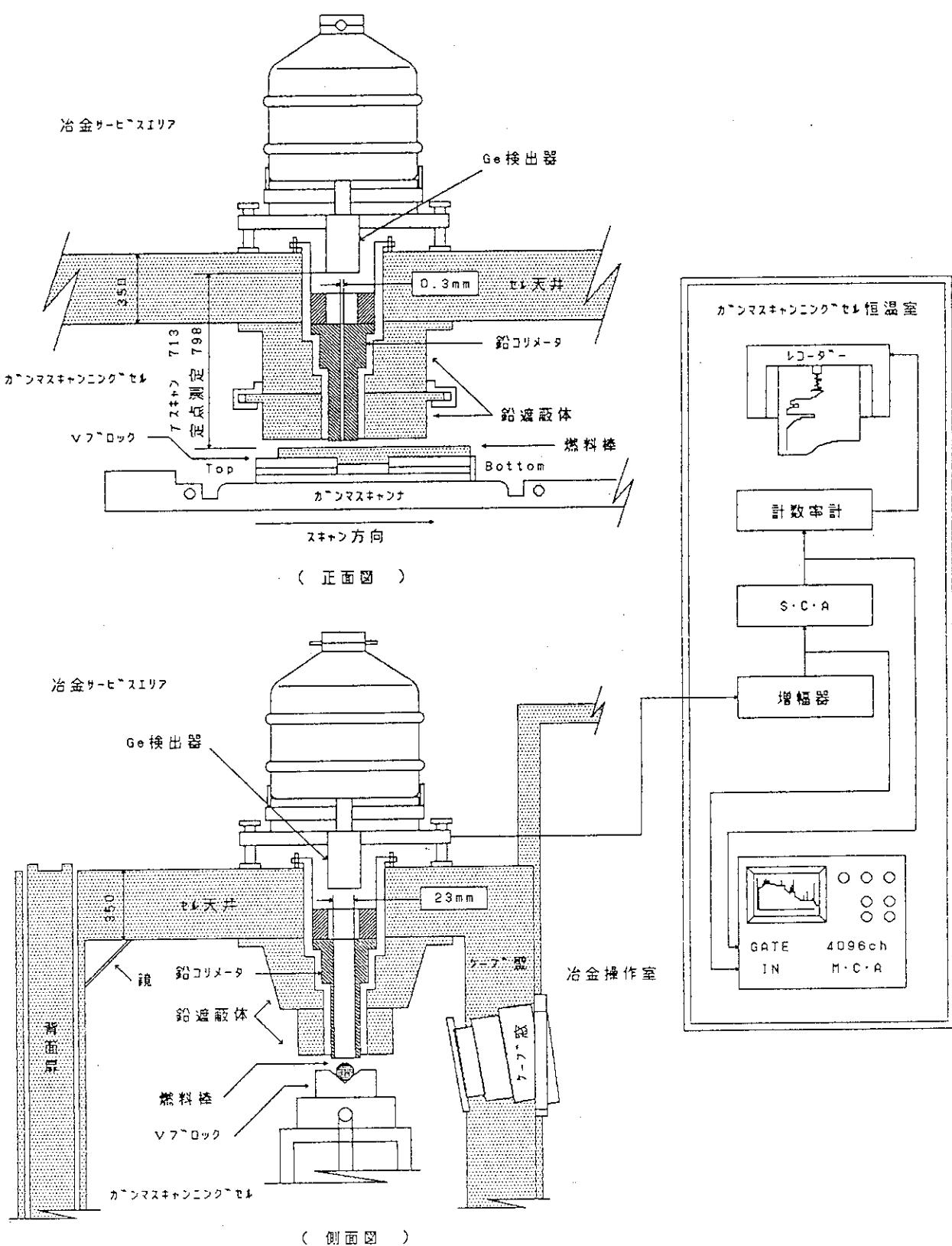


図 - 1 ガンマスキャニング及びガンマ線スペクトル測定方法

Fig. A.V.1 Systems used for gamma scanning and gamma spectrometry

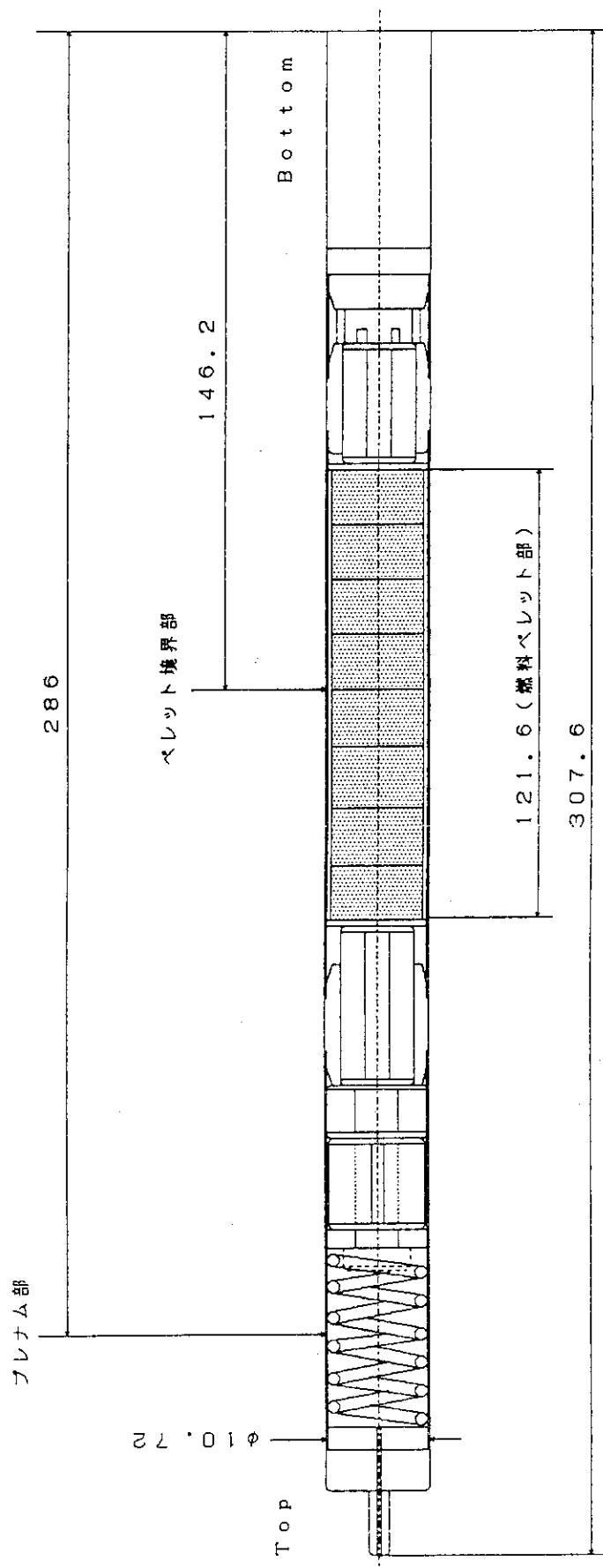


図 - 2 定点ガンマ線スペクトル測定位置

Fig. A.V.2 Stational gamma spectrometer measurement at plenum and pellet to pellet interface locations

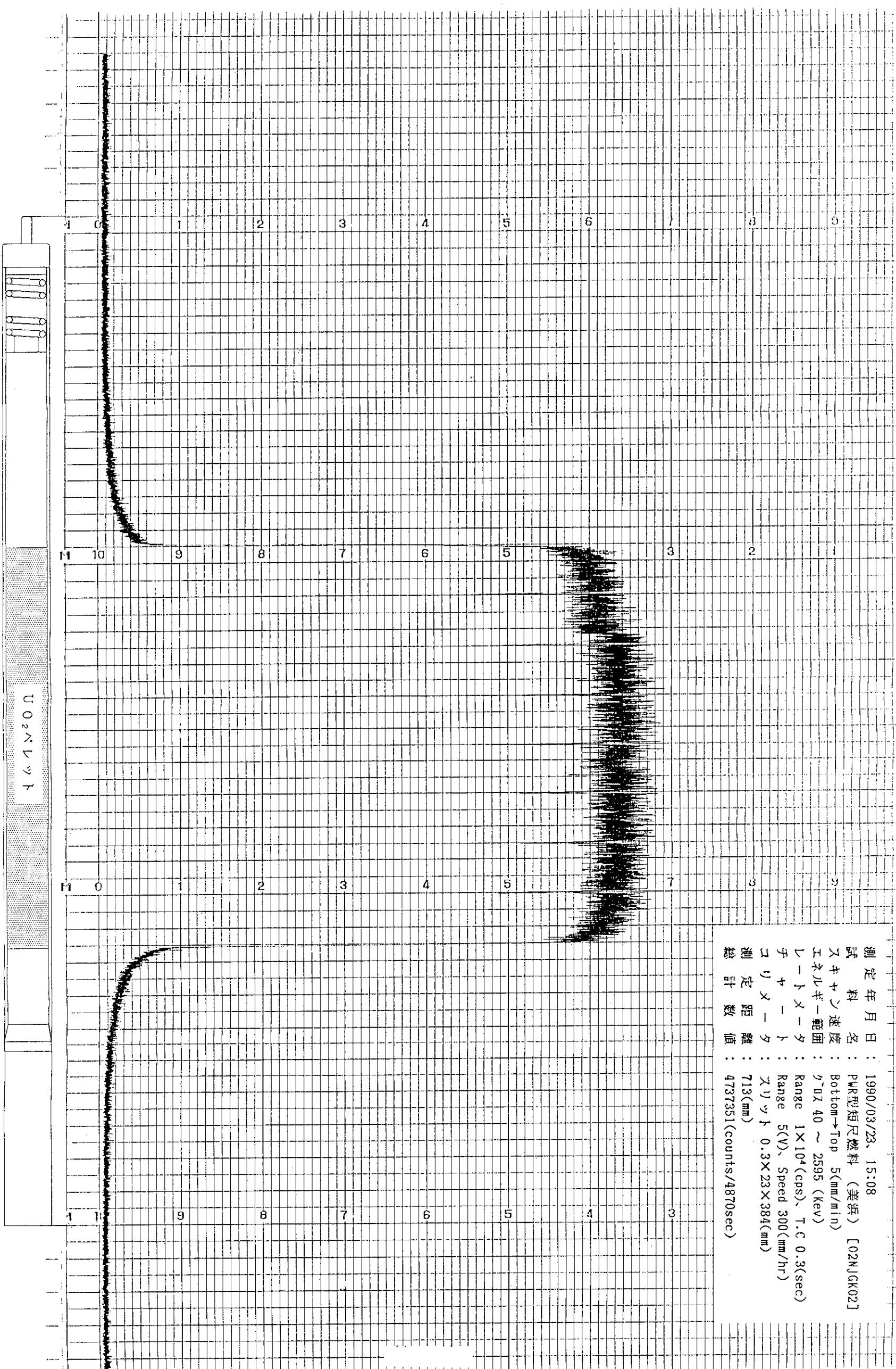


図-3 PWR型短尺燃料棒(美浜)のガンマ線強度分布(クロス)

Fig. A.V.3 Gross gamma scanning of MH-2 fuel rod

02NJGK02 (PLENUM)

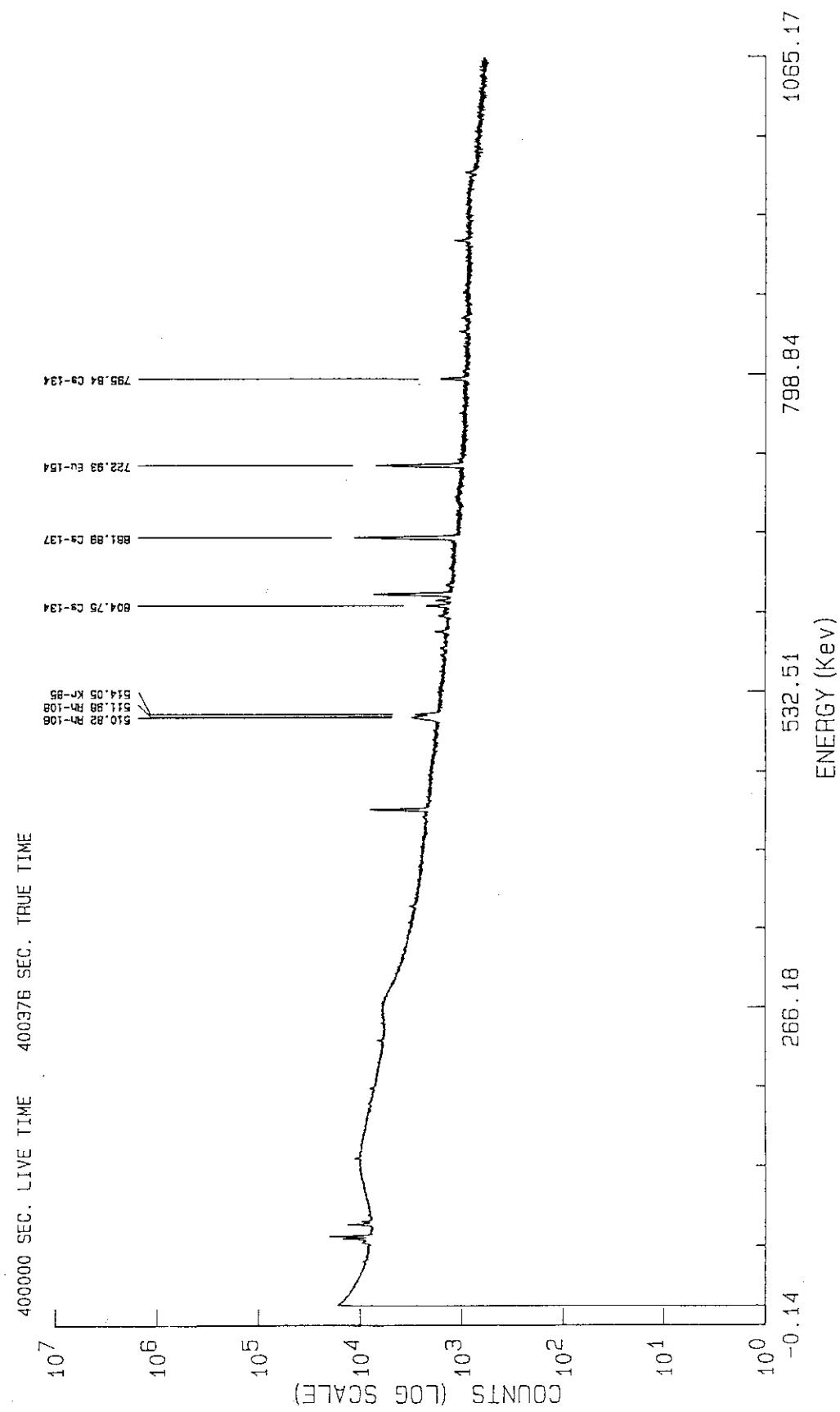


図 - 4 PWR型短尺燃料棒（美浜）プレナム部のガンマ線スペクトル

Fig. A.V.4 Gamma ray spector at plenum location, MH-2

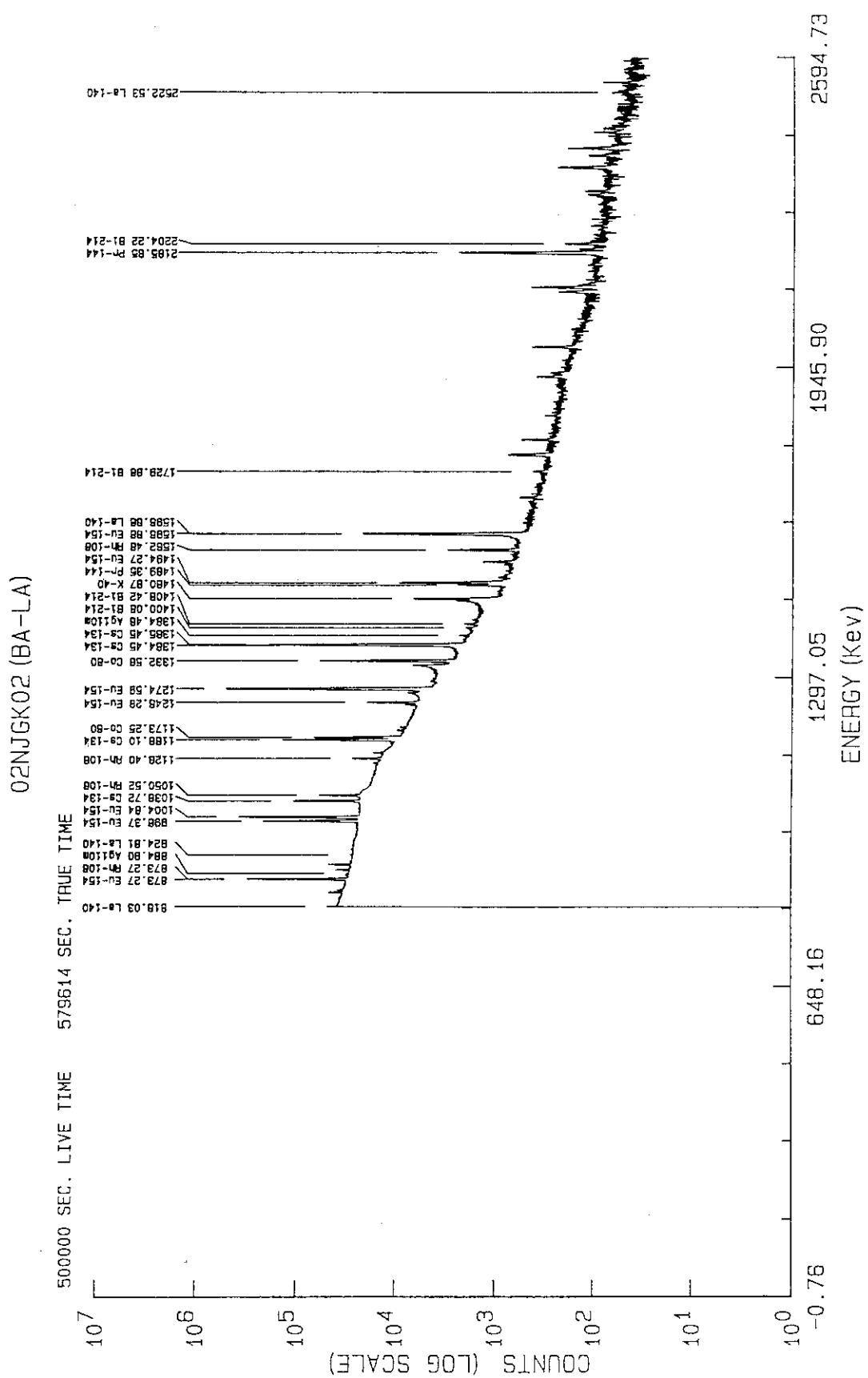


図-5 PWR型短尺燃料棒(美浜)ベレット境界部のガンマ線スペクトル

Fig. A.V.5 Gamma ray spector at pellet to pellet interface location, MH-2

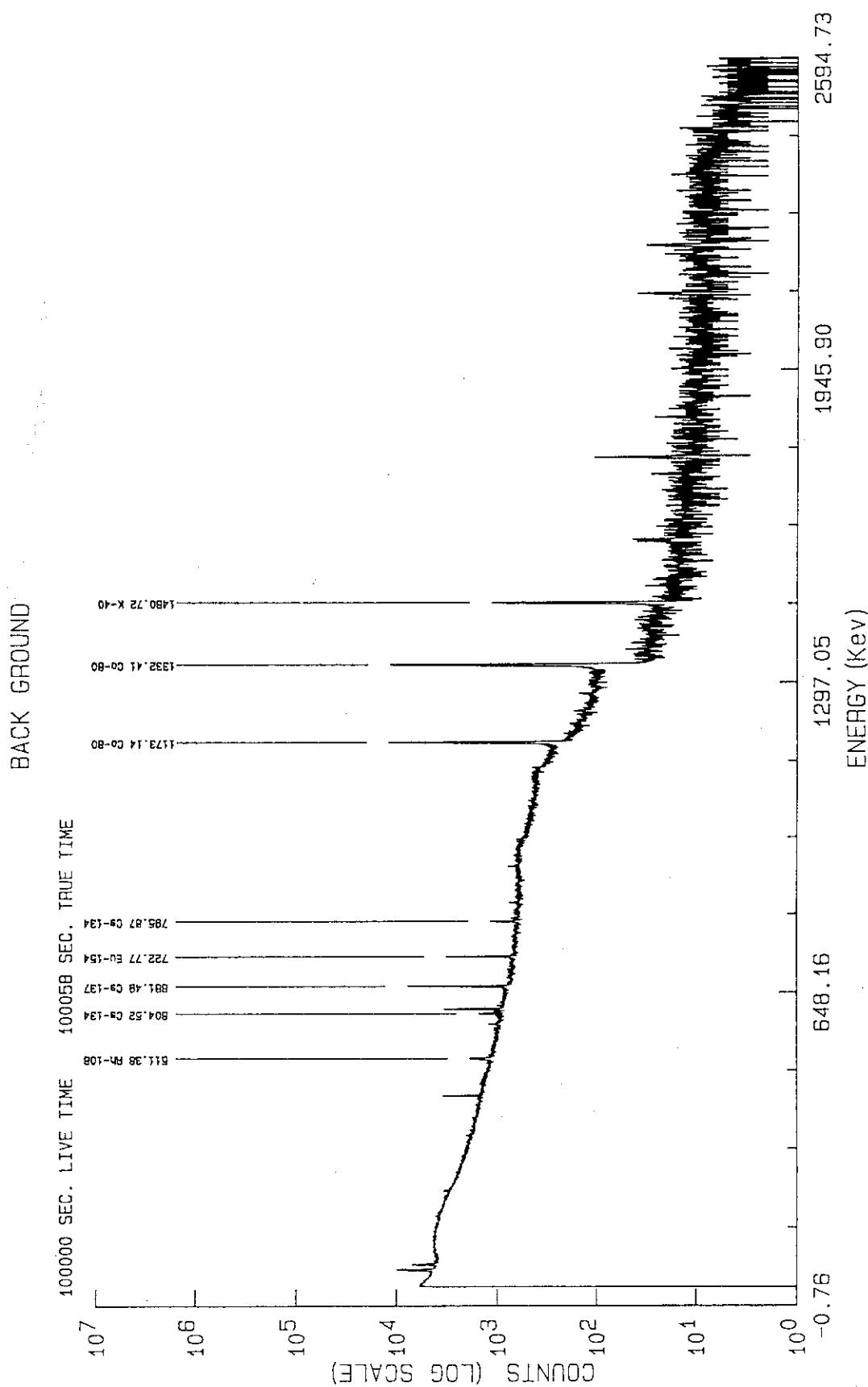
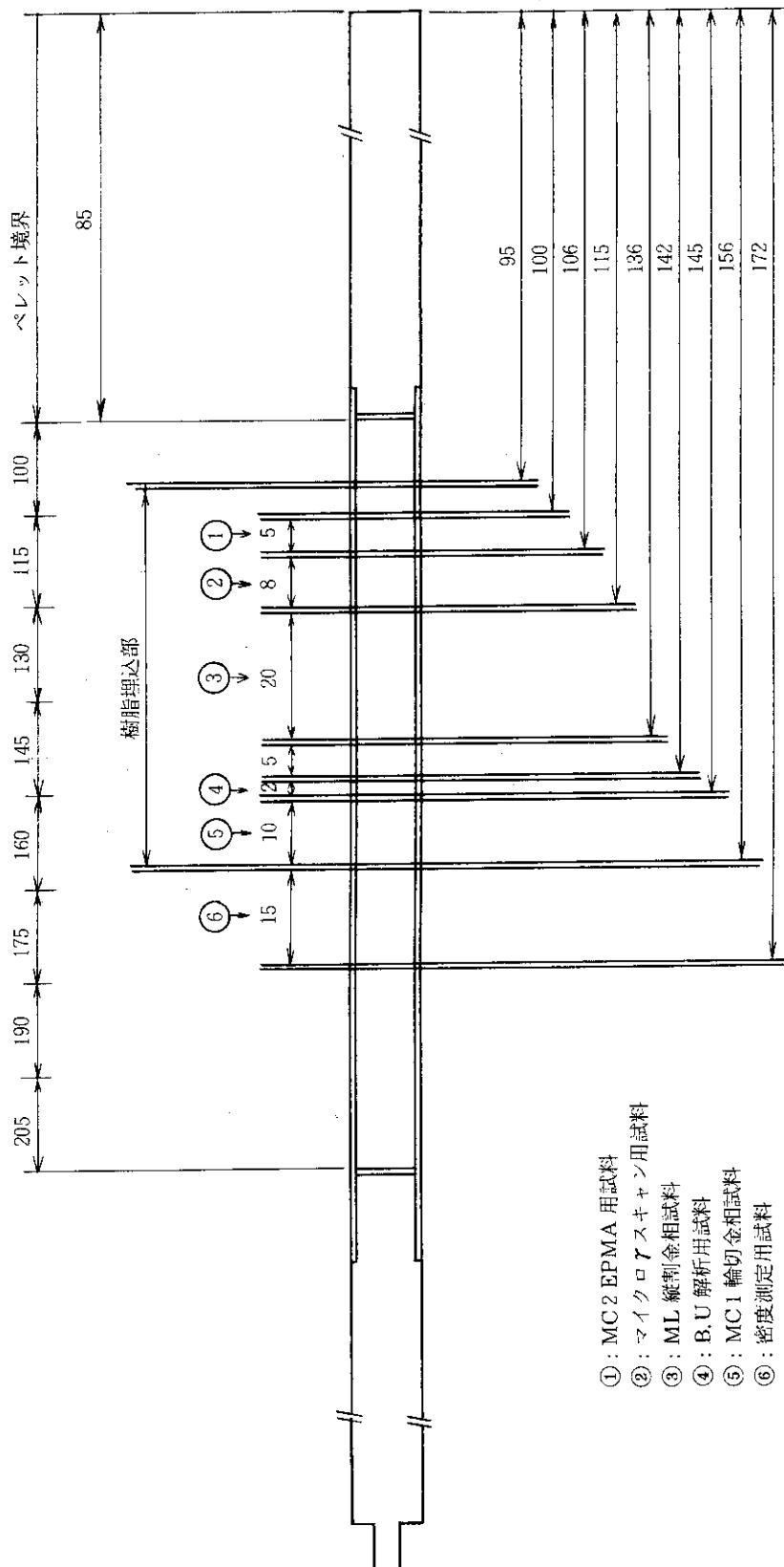


図-6 バックグラウンドのガンマ線スペクトル

Fig. A.V.6 Gamma ray spector at background level

Appendix VI

Cutting, Metallo/Ceramograph, α , β/γ Autoradiograph



MH-2 (02NUGK02) 燃料棒切断位置

Fig. A.VI.1 Cutting map of MH-2 fuel rod

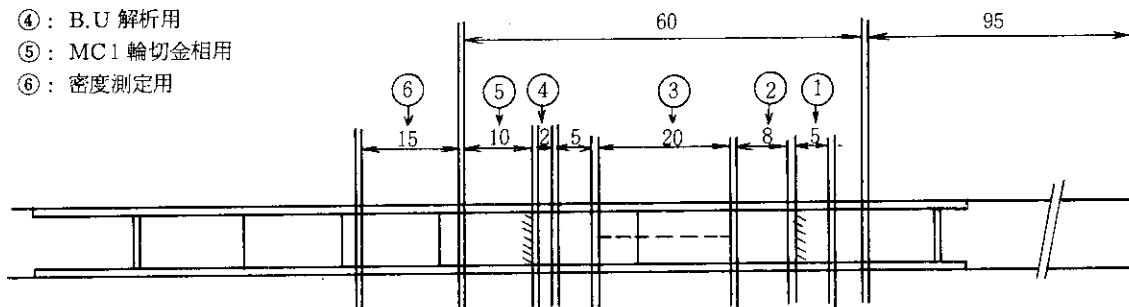
MH-2 金相試料等の採取位置について

バーンアップ燃料棒 MH-2(02NJGK02) の縦割試料金相面から試料の採取位置が計画切断位置より燃料棒 Bottom 側に約 2 mm ズレていることが判った。この原因と他の試料の採取位置の確認のため切断の経緯について検討した。

(1) 計画切断位置

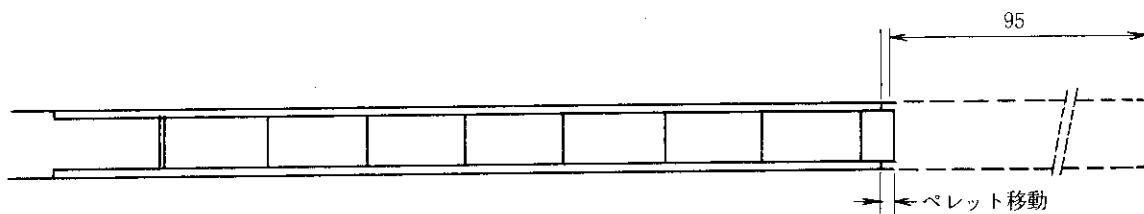
研究室との打合せで決定した計画切断位置は下図の通りである。

- ①: MC2 EPMA用
- ②: マイクロアスキャン用
- ③: ML 縦割金相用
- ④: B.U 解析用
- ⑤: MC1 輪切金相用
- ⑥: 密度測定用

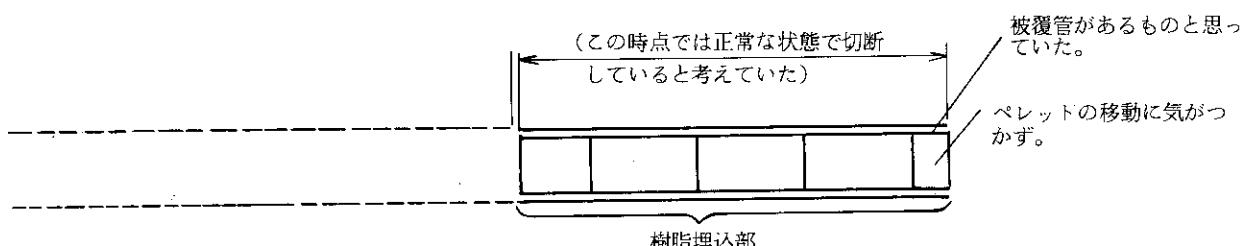


(2) 切断の経緯

1) 燃料棒 Bottom 側端栓から 95mm の位置を切断（この時下図のように Top 側のスプリングによりペレットが約 2 mm Bottom 側に移動したと考えられるが気がつかなかった。）



2) Bottom 側の切断面から Top 側に 60mm を樹脂埋込用として切断した。この時点ではペレットが移動していることに気が付かず、被覆管、ペレットとともに 60mm の正常な長さで切断しているものと判断していた（実際にはこの時点で被覆管 58mm、ペレット部 60mm であったが）。

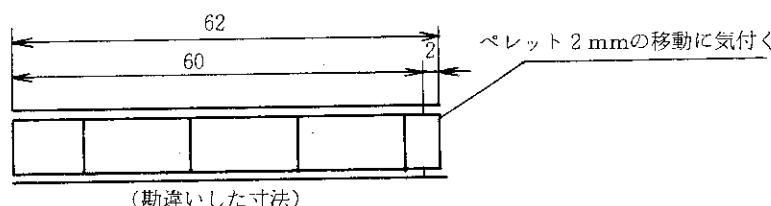


3) 2) の切断終了時にペレットが Bottom 側に約 2 mm 出ていることに気付き、樹脂埋込部（金相試料等採取部位）にペレットの移動によるすき間がないかどうか X 線撮影による確

認をした。

— 確認の結果すき間はなかった。

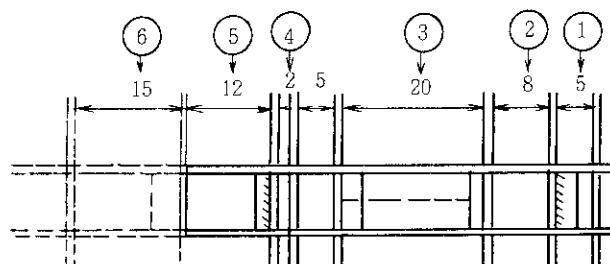
この時点では樹脂埋込部の長さを被覆管部の長さ 60mm (2) で 60mm に切断したと思っていた) とペレットの出た部分 2 mm の合計 62mm と判断した (実際は 58mm + 2mm で 60mm であった)。



4) 樹脂埋込み実施

5) 樹脂埋込部の長さが 62mm で、ペレットが Bottom 側に 2 mm 移動していると考えた (勘違いであったが) ため切断位置を全体に 2 mm Bottom 側にずらせば良いと考え、⑤の輪切り金相用試料を 12mm の長さに切断した (実際には樹脂埋込部は 60mm の長さであったため計画通り 10mm で良かった)。

以下④, ③, ②, ① の試料は次図のように計画通りの長さで切断したため、全ての試料 (① ~⑥) の採取位置が 2 mm ずつ Bottom 側にずれた。



(3) 結論

今回の試料採取では切断時にペレットが移動し、被覆管とペレットの位置関係にズレが生じた。そのズレを考慮に入れた上でペレット上の計画切断位置を切断しようとしたが、結果的に約 2 mm Bottom 側にズレた位置を切断してしまった。

この原因は樹脂埋込部を切断する際ペレットが端面から出ていることに気付かず、正常な状態で 60mm の長さに切断したと判断し、その上にペレットが 2 mm 出たため全体が 62mm になつたと勘違いしたことにある。

今後は十分注意を払うとともに燃料棒に今回のようにペレットのズレ等の異常が生じた場合は直ちに研究室に連絡することとしたい。

ホットラボ受付番号	H 152			
申込番号(試料名)	MH-2			
埋込番号	30(マイクロスキャン試料)	49(EPMA用輪切試料)	50(縦割試料)	51(輪切試料)
試料の形状(材質)	UO ₂ , Zry			
試験後の試料の処置	実燃試に引渡し	廃棄		

項目	内 容			
(1) 試料埋込 付記 (□有 ■無) X 1	埋込樹脂	<input checked="" type="checkbox"/> エポキシ系	<input type="checkbox"/> ポリエステル系	<input type="checkbox"/> その他
	埋込管	アクリル管(32mmφOD×25mmH)へ試料をセット後、樹脂注入。		
	埋込条件	<input checked="" type="checkbox"/> 常温硬化	<input type="checkbox"/> 加温硬化	<input type="checkbox"/> その他 埋込装置使用の有無(□有 ■無)
(2) 粗研磨 付記 (□有 ■無) X 2	研磨機	<input checked="" type="checkbox"/> 東海HL型研磨機(5971型)		<input type="checkbox"/> その他
	研磨剤	<input checked="" type="checkbox"/> SiC耐水研磨紙	<input type="checkbox"/> ダイヤモンドディスク	<input type="checkbox"/> その他
	研磨剤粒度	研磨液	研磨時間(分)	備考
付記 (□有 ■無) X 2	#320	精製水	面出し	
	#600	"	20	
	#800	"	"	
(3) 精研磨 付記 (□有 ■無) X 3	#1000	"	"	
	研磨機	<input checked="" type="checkbox"/> 東海HL型研磨機(5971型)		<input type="checkbox"/> その他
	研磨剤	<input checked="" type="checkbox"/> ダイヤモンドペースト	<input type="checkbox"/> ダイヤモンドディスク	<input type="checkbox"/> アルミ <input type="checkbox"/> その他
付記 (□有 ■無) X 3	研磨剤粒度	研磨液	研磨時間(分)	研磨布
	7 μm	ラッピングオイル	30	D. Pクロスモル
	1 μm	"	"	D. Pクロスナップ

(4) エッチング 付記 (□有 ■無) X 4	液組成	UO ₂ ペレット H ₂ O ₂ : 8容 H ₂ SO ₄ : 1容
	方法	<input checked="" type="checkbox"/> DIP <input type="checkbox"/> SWAB <input type="checkbox"/> 電解 <input type="checkbox"/> その他
	条件	90秒
(5) マクロ検査 付記 (■有 □無) X 5	顕微鏡	<input checked="" type="checkbox"/> 低倍率顕微鏡 <input type="checkbox"/> その他
	フィルム	<input checked="" type="checkbox"/> ポラロイド55P/N <input type="checkbox"/> ポラロイド57 <input type="checkbox"/> その他
	検査倍率	<input checked="" type="checkbox"/> 5倍 <input type="checkbox"/> 10倍 <input type="checkbox"/> その他
(6) ミクロ検査 付記 (■有 □無) X 6	顕微鏡	<input checked="" type="checkbox"/> ライヘルト <input type="checkbox"/> その他
	フィルム	<input checked="" type="checkbox"/> ポラロイド55P/N <input type="checkbox"/> ポラロイド57 <input type="checkbox"/> その他
	検査倍率	<input type="checkbox"/> 100倍 <input checked="" type="checkbox"/> 200倍 <input checked="" type="checkbox"/> 400倍 <input checked="" type="checkbox"/> 800倍 <input checked="" type="checkbox"/> 1000倍 <input type="checkbox"/> その他
(7) αオ-トラシ"オク"ラフィ 付記 (■有 □無) X 7	フィルム	ニトロセルロース膜 (KODAK社製,CN-85,typeB)
	露出時間	60秒
	現像液	6N NaOH (精製水[1000cc]+水酸化ナトリウム[240g])
	処理条件	現像(20分:50°C)
(8) βγオ-トラシ"オク"ラフィ 付記 (□有 ■無) X 8	乾板及び被覆材	ハイレゾレーションプレート
	露出時間	90秒
	現像液	H.R.P. Developer
	処理条件	現像(20分:20°C)

「付記事項」

X 5：マクロ写真は、エッチング前及びエッチング後5倍で撮影した。

X 6：撮影箇所は、下記の様に実施した。

(1) 燃料ペレット (UO_2)

- ①. エッチング前 (As-polished)
外周部, 中間部, 中心部について
200倍, 400倍, 800倍

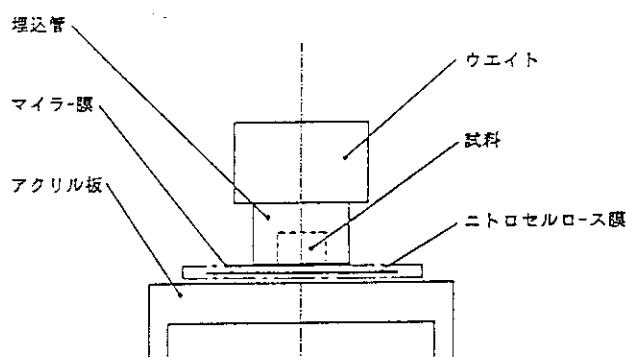
- ②. エッチング後 (As-etched)
外周部, 中間部, 中心部について
200倍, 1000倍

(2) 被覆管酸化膜

- ①. エッチング前 (As-polished)
外面及び内面について
400倍, 800倍

※EPMA試料は、被覆管酸化膜のみ撮影を行った。

X 7：(1) α オートラジオグラフィの露出は、下図のように行った。



(2) エッチング処理は、以下の手順で行った。

①	エッチング	20分 (液温: 50°C)
②	水洗	60分 (液温: 20°C)
③	膜面処理	1分 (ドライウェル溶液)
④	乾燥	自然乾燥

HLNaH 152顕微鏡写真一覧表(1)

写真整理番号	埋込番号	申込番号	試料表面処理	倍率	撮影箇所	備考
2UM133	49	MH-2	As-polished	5	マクロ写真	
2UM134	"	"	"	400	外面酸化膜 1	部分的に比較的厚い箇所(全体の1%程度中最大箇所)
2UM135	"	"	"	800	"	"
2UM136	"	"	"	400	内面酸化膜 2	部分的に少ない箇所(全体の1%)
2UM137	"	"	"	800	"	"
2UM138	50	"	"	5	マクロ写真	
2UM139	"	"	As-etched	"	"	
2UM140	"	"	As-polished	200	外周部 1	
2UM141	"	"	"	"	中間部 2	
2UM142	"	"	"	"	" 3	
2UM143	"	"	"	"	中心部 4	
2UM144	"	"	"	400	外周部 1	
2UM145	"	"	"	"	中間部 2	
2UM146	"	"	"	"	" 3	
2UM147	"	"	"	"	中心部 4	
2UM148	"	"	"	800	外周部 1	
2UM149	"	"	"	"	中間部 2	
2UM150	"	"	"	"	" 3	
2UM151	"	"	"	"	中心部 4	
2UM152	"	"	As-etched	200	外周部 1	
2UM153	"	"	"	"	中間部 2	
2UM154	"	"	"	"	" 3	
2UM155	"	"	"	"	中心部 4	

HLNaH 152顕微鏡写真一覧表(2)

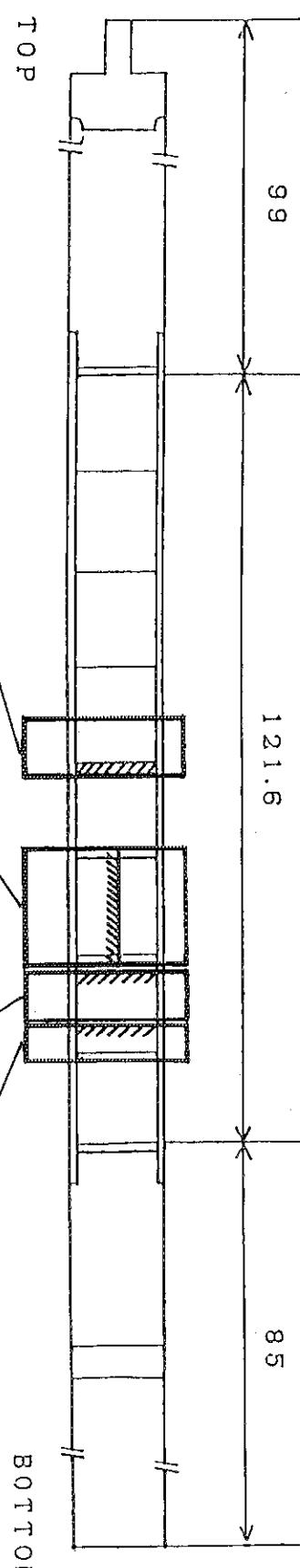
写真整理番号	埋込番号	申込番号	試料表面処理	倍率	撮影箇所	備考
2UM156	50	MH-2	As-etched	1000	外周部 1	
2UM157	"	"	"	"	中間部 2	
2UM158	"	"	"	"	" 3	
2UM159	"	"	"	"	中心部 4	—
2UM160	"	"	As-polished	400	外面酸化膜 5	比較的均一で厚い箇所(全体の1/4程度中最大箇所)
2UM161	"	"	"	800	"	"
2UM162	"	"	"	400	外面酸化膜 6	部分的に比較的厚い箇所(全体の1/4程度中最大箇所)
2UM163	"	"	"	800	"	"
2UM164	"	"	"	400	内面酸化膜 7	内面全体に酸化膜が無い
2UM165	"	"	"	800	"	"
2UM166	"	"	"	400	内面酸化膜 8	"
2UM167	"	"	"	800	"	"
2UM168	51	"	"	5	マクロ写真	
2UM169	"	"	As-etched	"	"	
2UM170	"	"	As-polished	200	外周部 1	
2UM171	"	"	"	"	中間部 2	
2UM172	"	"	"	"	" 3	
2UM173	"	"	"	"	中心部 4	
2UM174	"	"	"	400	外周部 1	
2UM175	"	"	"	"	中間部 2	
2UM176	"	"	"	"	" 3	
2UM177	"	"	"	"	中心部 4	
2UM178	"	"	"	800	外周部 1	

HLNaH 152顕微鏡写真一覧表(3)

写真整理番号	埋込番号	申込番号	試料表面処理	倍率	撮影箇所	備考
2UM179	51	MH-2	As-polished	800	中間部 2	
2UM180	"	"	"	"	" 3	
2UM181	"	"	"	"	中心部 4	
2UM182	"	"	As-etched	200	外周部 1	
2UM183	"	"	"	"	中間部 2	
2UM184	"	"	"	"	" 3	
2UM185	"	"	"	"	中心部 4	
2UM186	"	"	"	1000	外周部 1	
2UM187	"	"	"	"	中間部 2	
2UM188	"	"	"	"	" 3	
2UM189	"	"	"	"	中心部 4	
2UM190	"	"	As-polished	400	外面酸化膜 5	部分的に比較的厚い箇所(全体の1/4程度中最大箇所)
2UM191	"	"	"	800	"	"
2UM192	"	"	"	400	外面酸化膜 6	比較的一くで厚い箇所(全体の1/4程度中最大箇所)
2UM193	"	"	"	800	"	"
2UM194	"	"	"	400	内面酸化膜 7	部分的に少ない箇所(全体の1/4)
2UM195	"	"	"	800	"	"
2UM200	49	"	オトロジ~カラフ	10	$\beta\gamma$ (縦割)	
2UM201	"	"	"	"	α (〃)	
2UM202	50	"	"	"	$\beta\gamma$ (輪切)	
2UM203	"	"	"	"	α (〃)	
2UM211	30	"	As-polished	5	マクロ	マイクロスキャン試料

MH-2 顯微鏡検査位置

ホットラボ番号 HOT LAB No.	H152	撮影 DATE 日	
*カプセル名 CAPSULE Name	MH-2	撮影 CAVE	
試料番号 SPECIMEN No.	30,49,50,51	担当者 TAKEN BY	

輪切試料
(5)縦割試料
(5)マクロアスキャニ試料
(30)EPMMA試料
(44)

マクロアスキャニ：検鏡面

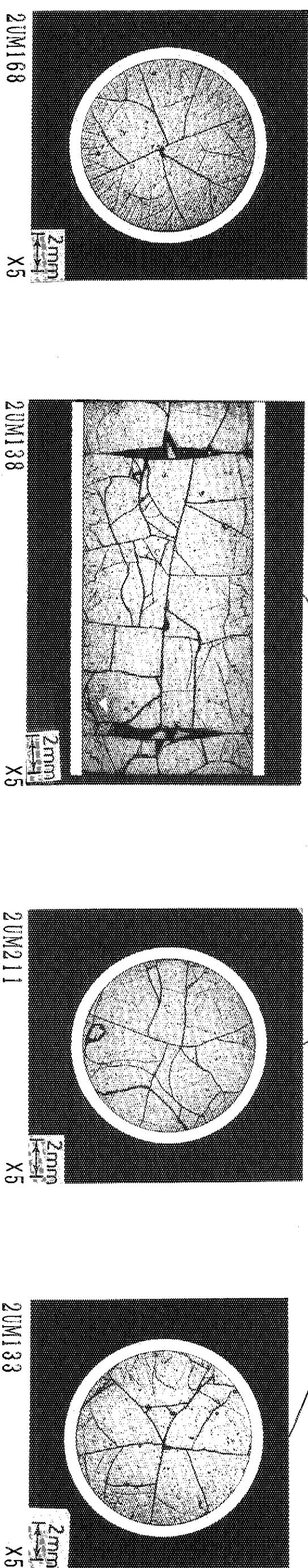


Photo. A.VI.1 Cutting locations for metallo/ceramographic examinations and macrophotos related to

ホットラボ番号 HOT LAB No.	H 152	撮影日 DATE	
*カプセル名 CAPSULE No.	MH-2	撮影ヶーブ CAVE	
試料番号 SPECIMEN No.	49	担当者 TAKEN BY	

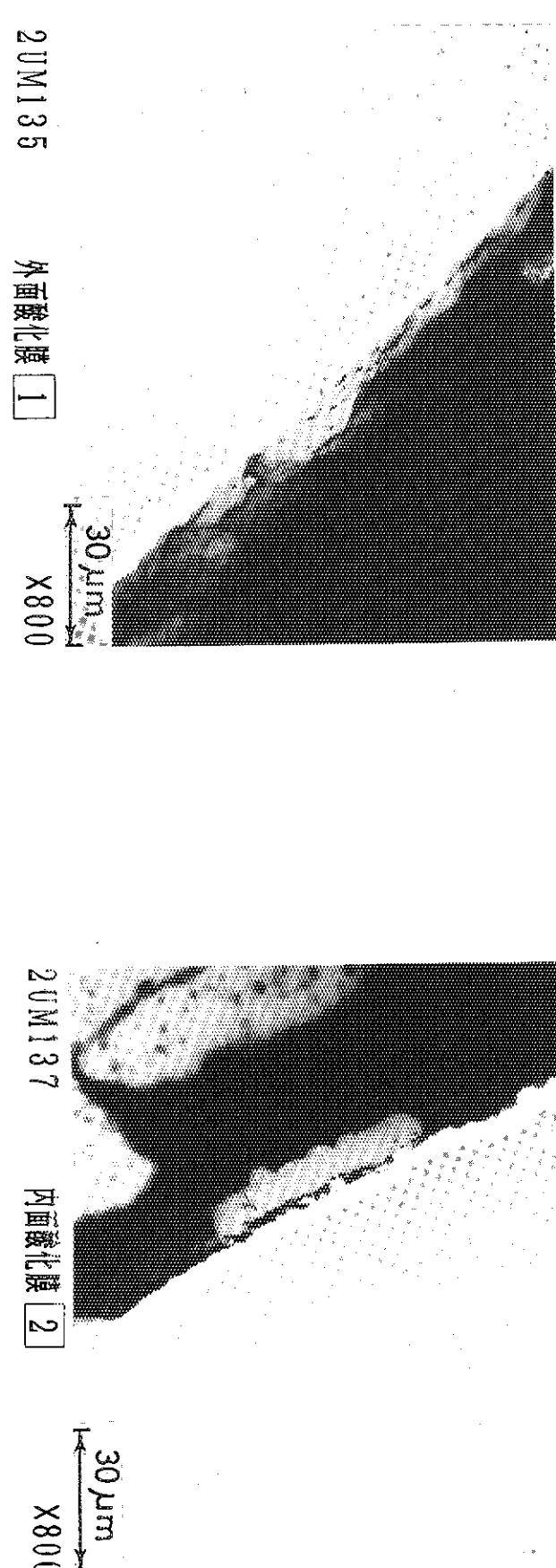
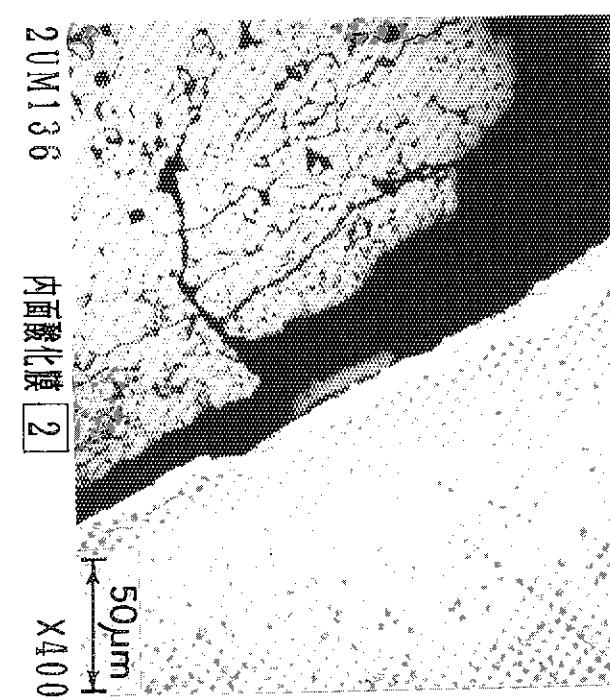
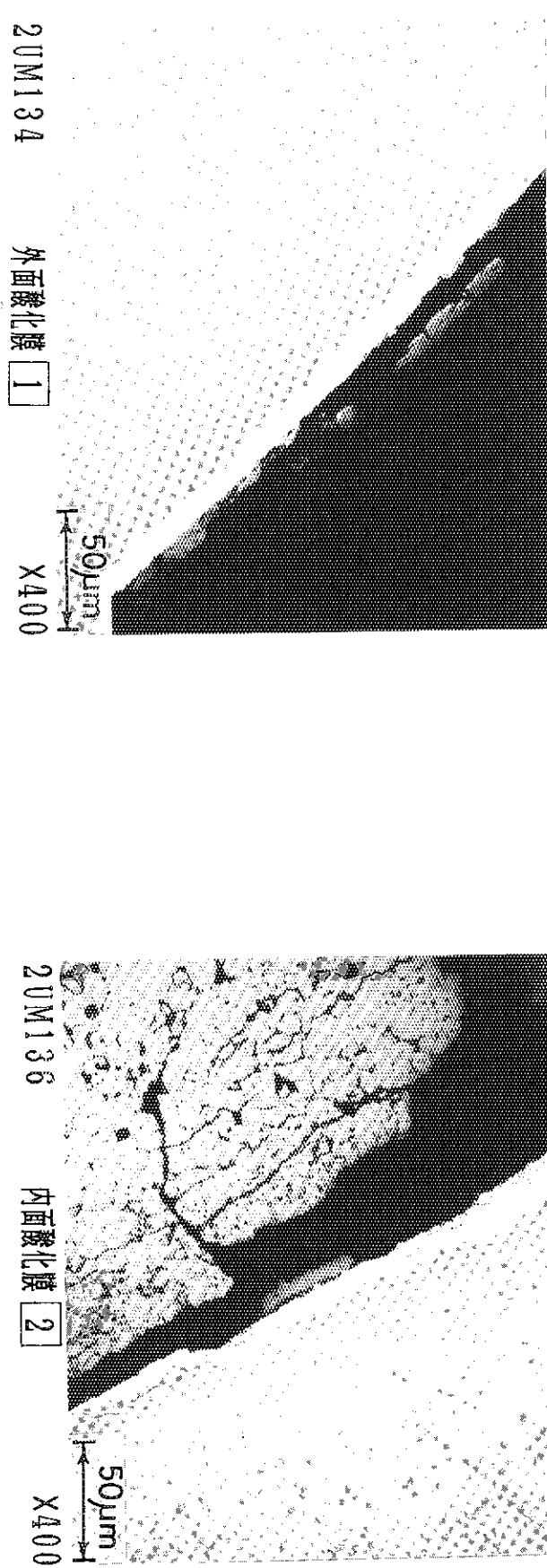


Photo. A.VI.2 External and internal oxidation of zircaloy-4 cladding (MH-2)

ホットラボ番号 HOT LAB No.	H152	撮影 DATE 日	
キャプセル名 CAPSULE No.	MH-2	撮影 CAVE	
試料番号 SPECIMEN No.	50	担当者 TAKEN BY	

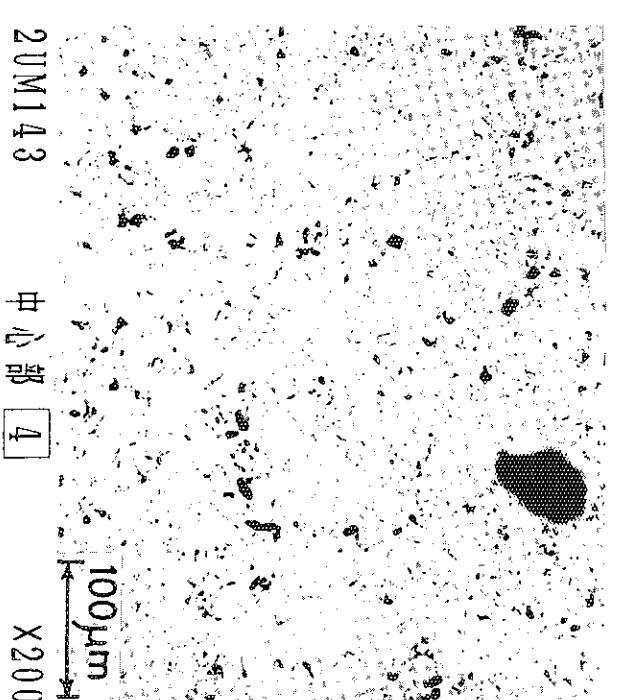
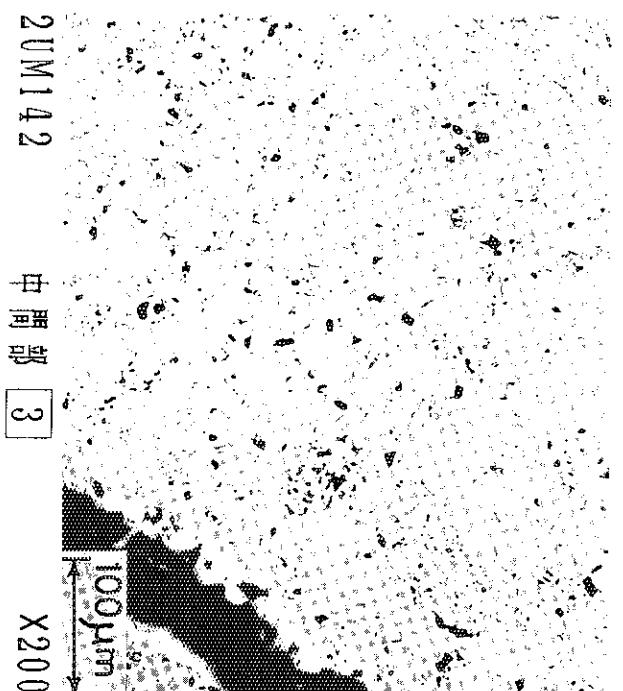
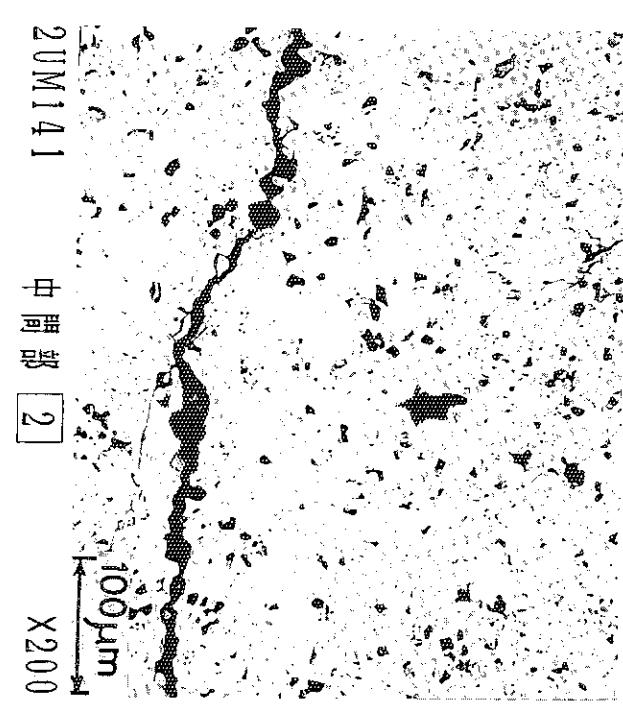
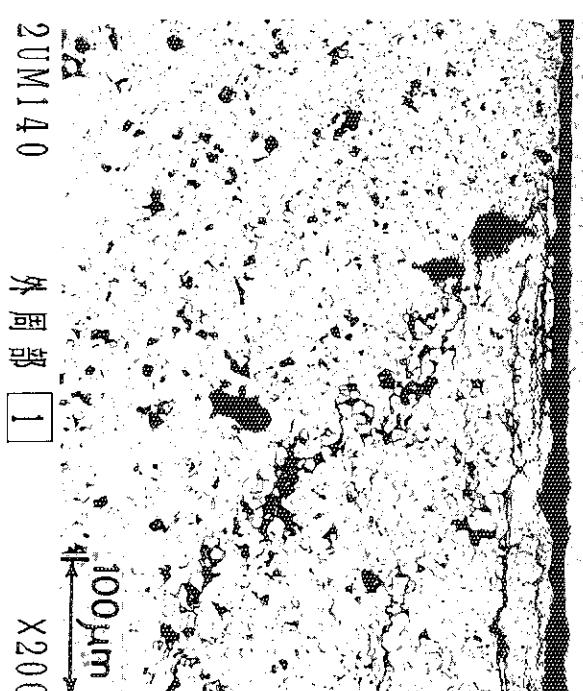
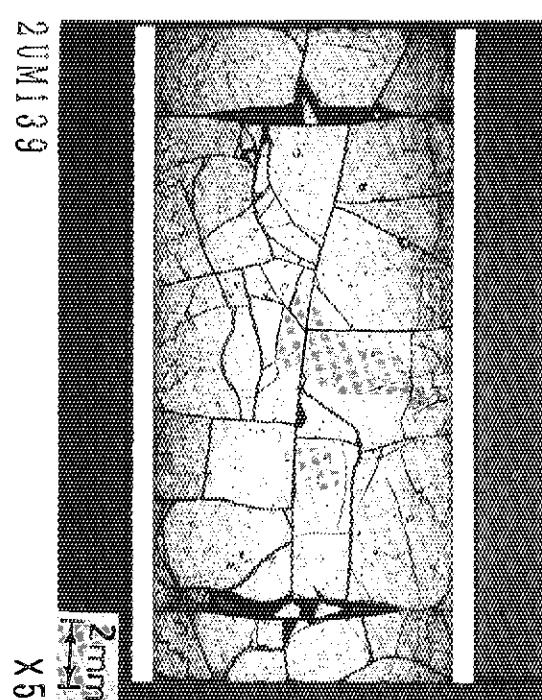
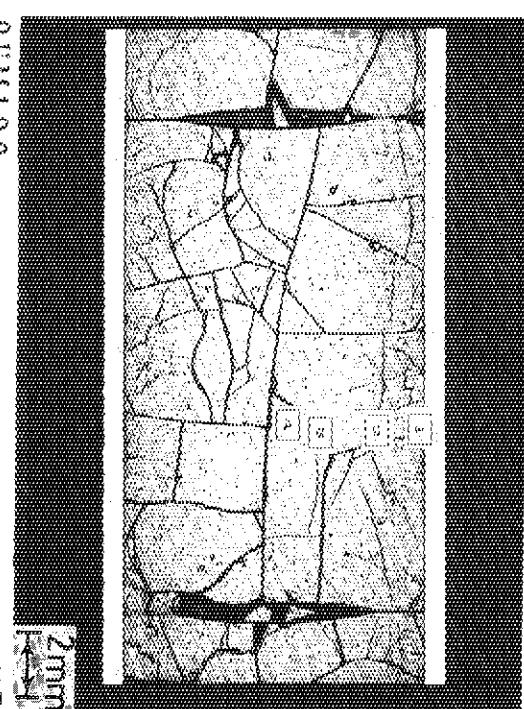


Photo. A.VI.3 Ceramography, as-polished (MH-2)

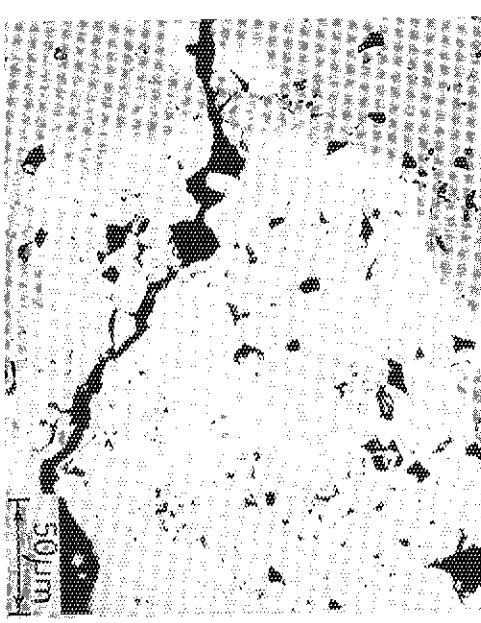
ホットラボ番号 HOT LAB No.	H152	撮影日 DATE	日
カプセル名 CAPSULE No.	MH-2	撮影ケーブ名 CAVE	---
試料番号 SPECIMEN No.	50	撮影者 TAKEN BY	---



2UM144

外周部 [1]

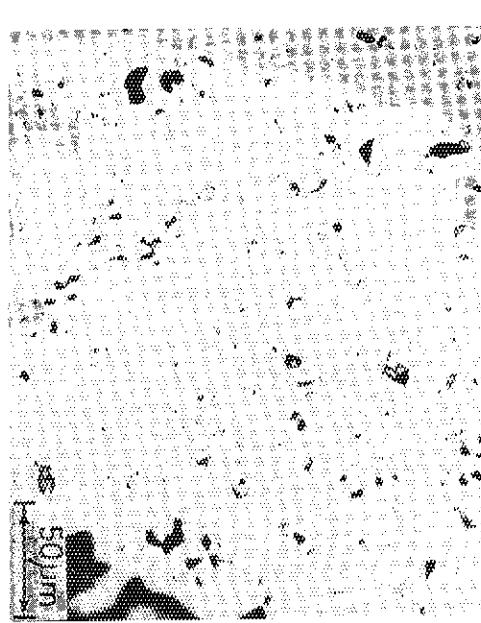
X400



2UM145

中間部 [2]

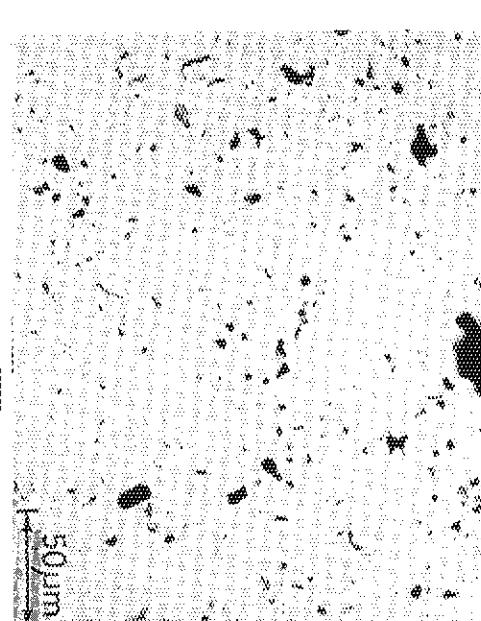
X400



2UM146

中間部 [3]

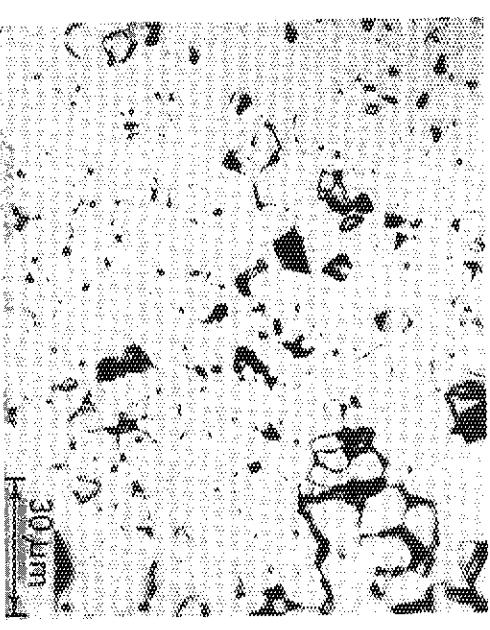
X400



2UM147

中心部 [4]

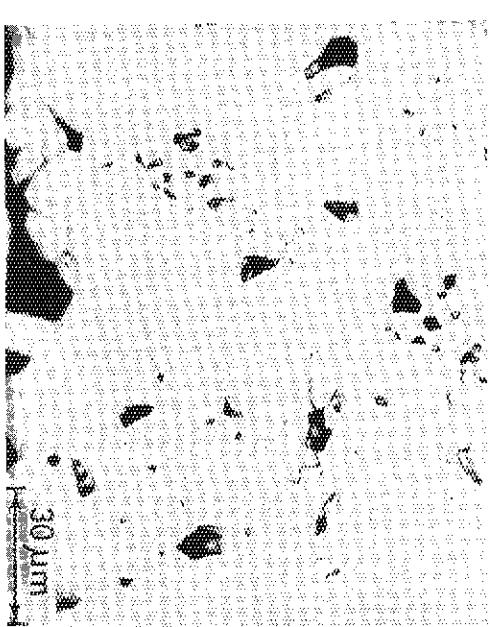
X800



2UM148

外周部 [1]

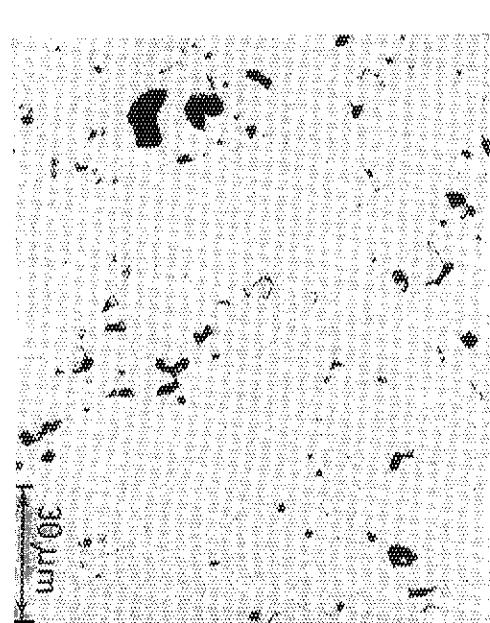
X800



2UM149

中間部 [2]

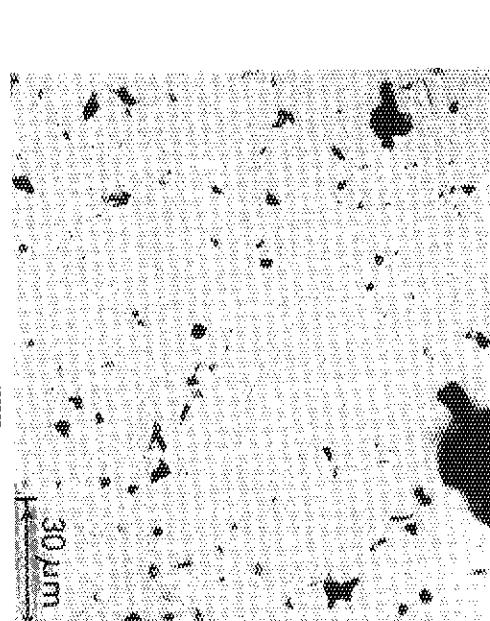
X800



2UM150

中間部 [3]

X800

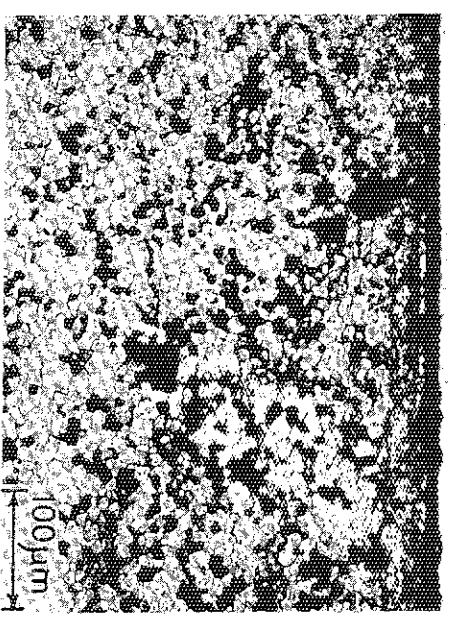


2UM151

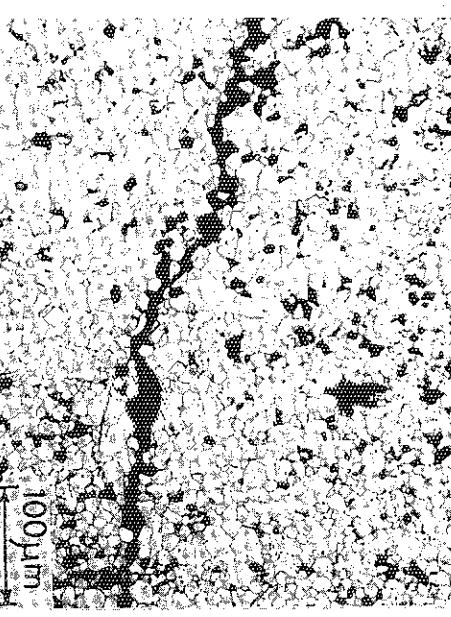
中心部 [4]

X800

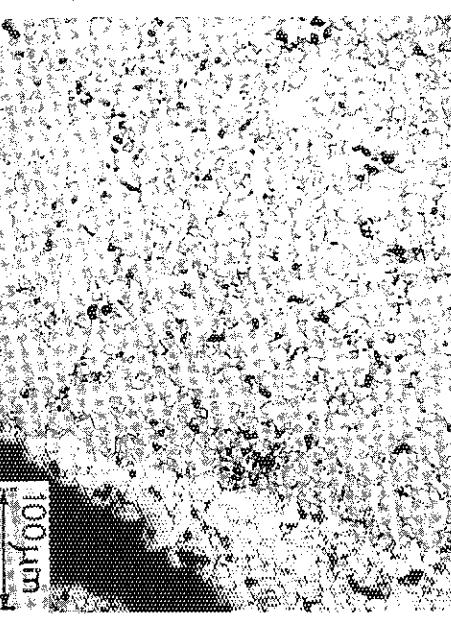
ホットラボ番号 HOT LAB No.	H152	撮影日 DATE	日
カプセル名 CAPSULE No.	MH-2	撮影場所 CAVE	
試験番号 SPECIMEN No.	50	撮影者 TAKEN BY	者



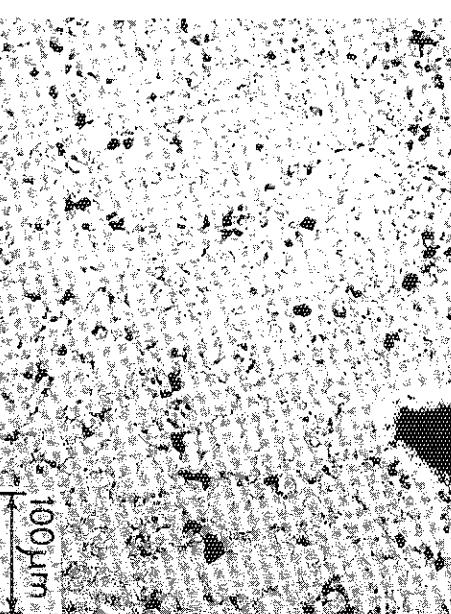
2UM152 外周部組織 [1] X200



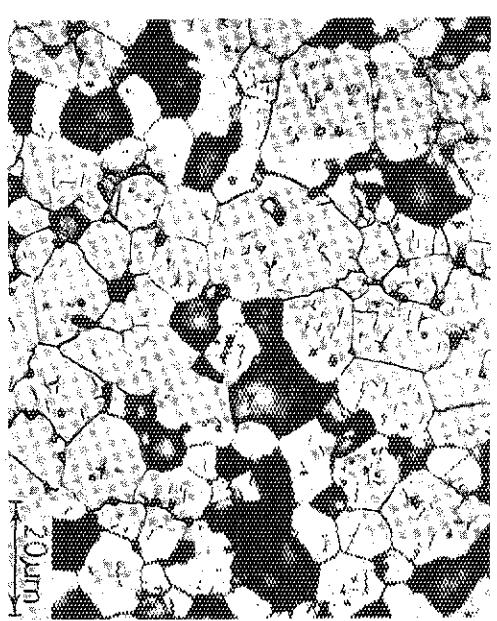
2UM153 中間部組織 [2] X200



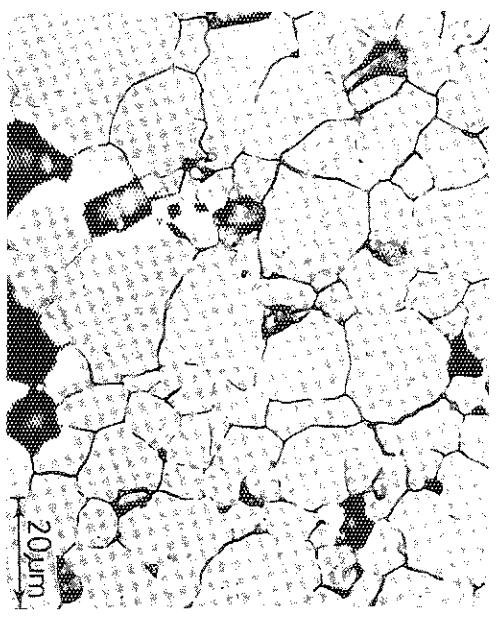
2UM154 中間部組織 [3] X200



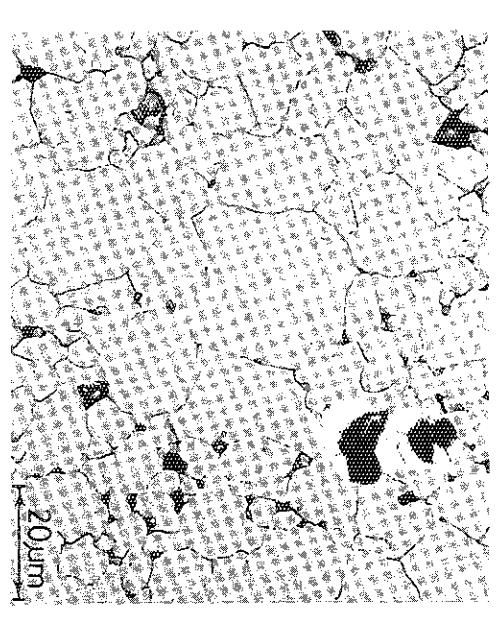
2UM155 中心部組織 [4] X200



2UM156 外周部組織 [1] X1000



2UM157 中間部組織 [2] X1000



2UM158 中間部組織 [3] X1000



2UM159 中心部組織 [4] X1000

ホットラボ番号 HOT LAB No.	H152	撮影日 DATE	撮影場所 CAVE
キャップセル名 CAPSULE No.	MH-2	担当者 TAKEN BY	
試料番号 SPECIMEN No.	50		
2UM138			
2UM160			
2UM161			
2UM162			
2UM163			

Photo. A.VI.6 External and internal oxidation of zircaloy-4 cladding (MH-2)

ホットラボ番号 HOT LAB No.	H152	撮影 DATE	
キャップセル名称 CAPSULE No.	MH-2	撮影 CAVE	
試料番号 SPECIMEN No.	50	担当者 TAKEN BY	

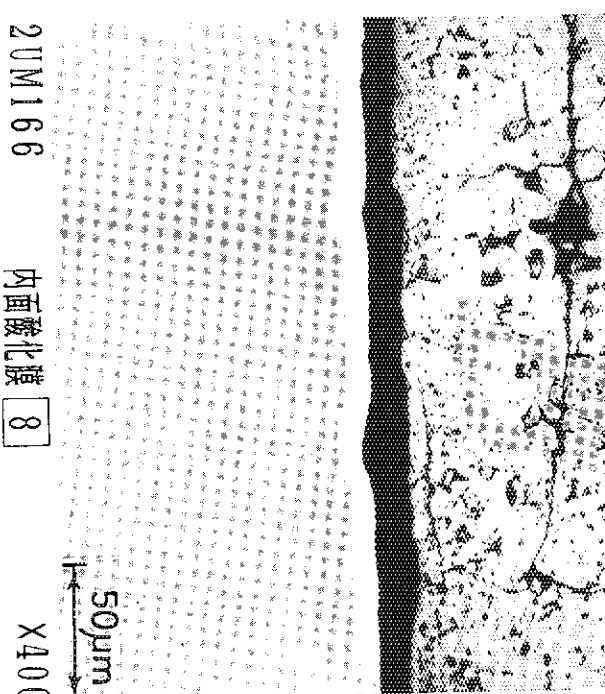
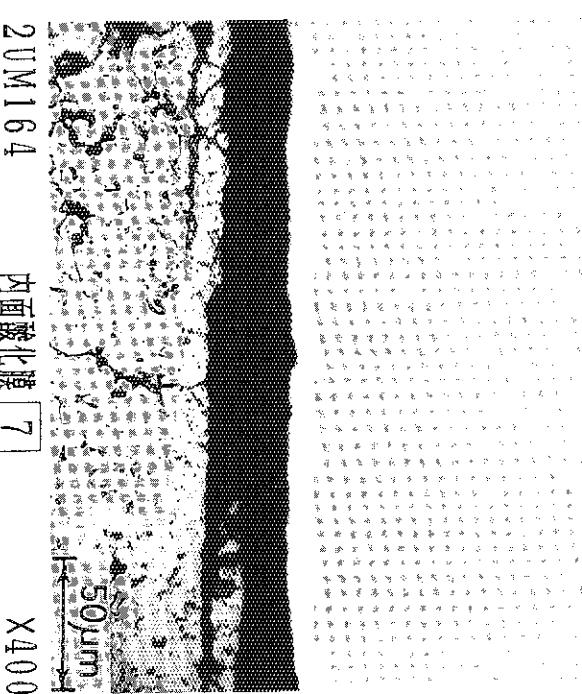
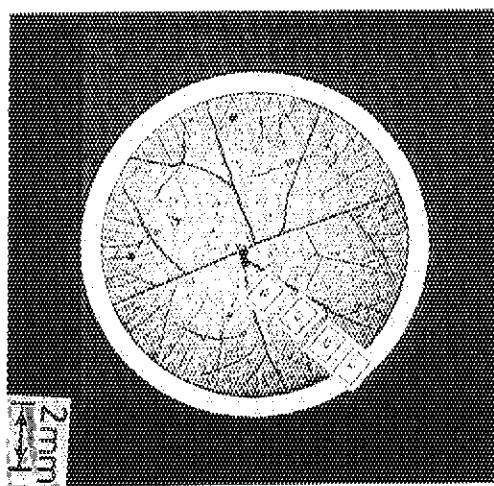


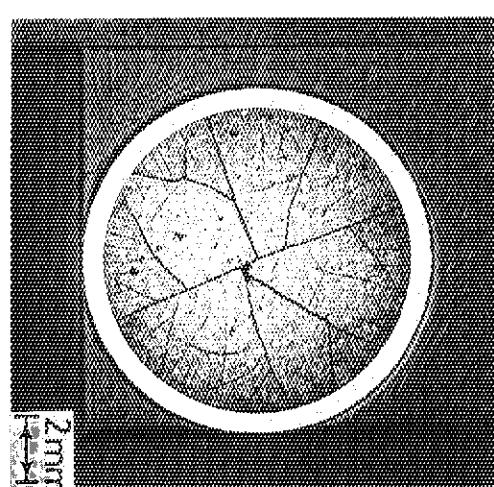
Photo. A.VI.7 External and internal oxidation of zircaloy-4 cladding (MH-2)

ホットラボ番号 HOT LAB No.	H152	撮影日 DATE	
キャップセル名 CAPSULE No.	MH-2	撮影場所 CAVE	
試料番号 SPECIMEN No.	51	担当者 TAKEN BY	



2UM168

X5



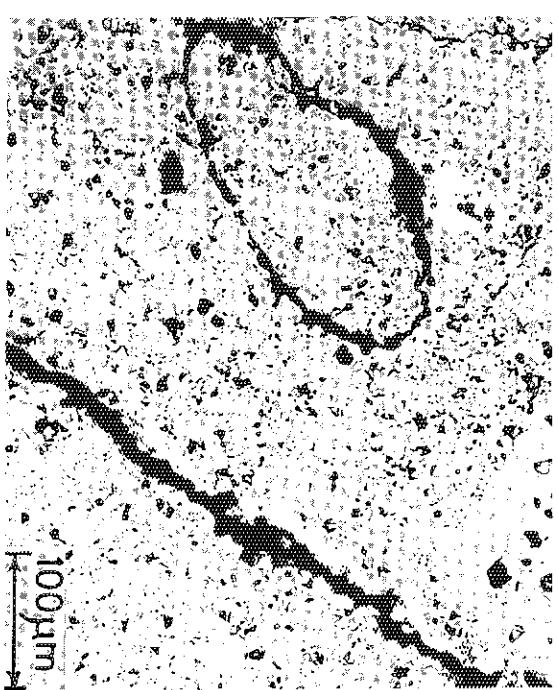
2UM169

X5



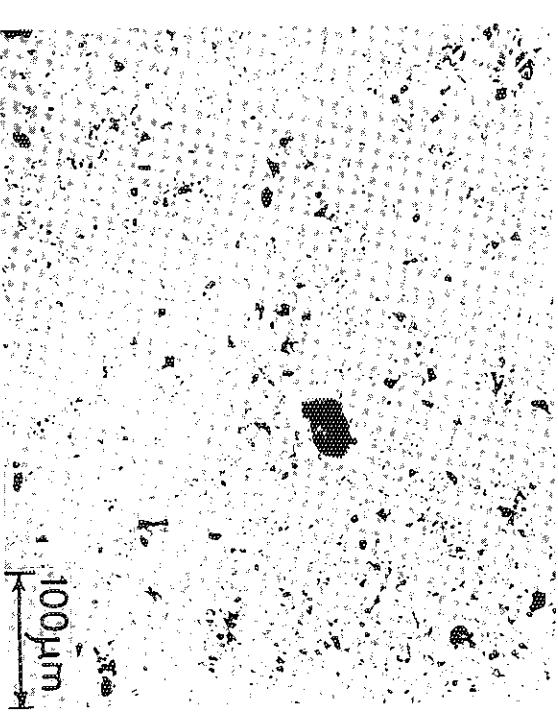
2UM170 外周部 [1]

X200



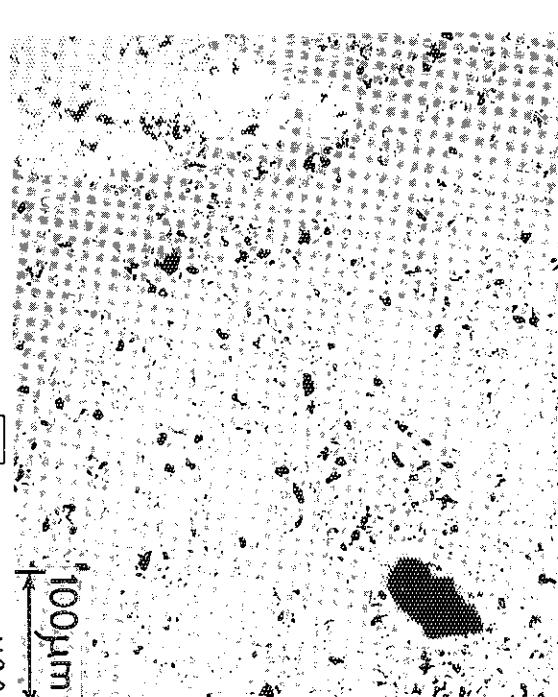
2UM171 中間部 [2]

X200



2UM172 中間部 [3]

X200



2UM173 中心部 [4]

X200

Photo. A.VI.8 Ceramography, as-polished (MH-2), holder 51

ホットラボ番号 HOT LAB No.	H152	撮影日 DATE	11
カプセル名 CAPSULE No.	MH-2	撮影場所 CAVE	
試験部位 TEST SPECIMEN No.	51	撮影者 TAKEN BY	

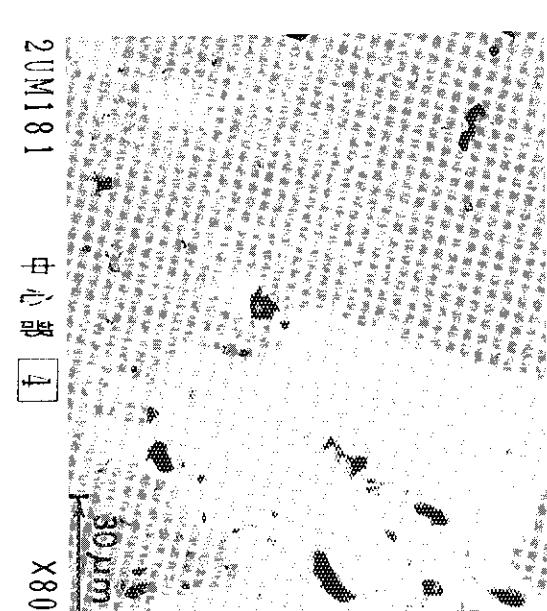
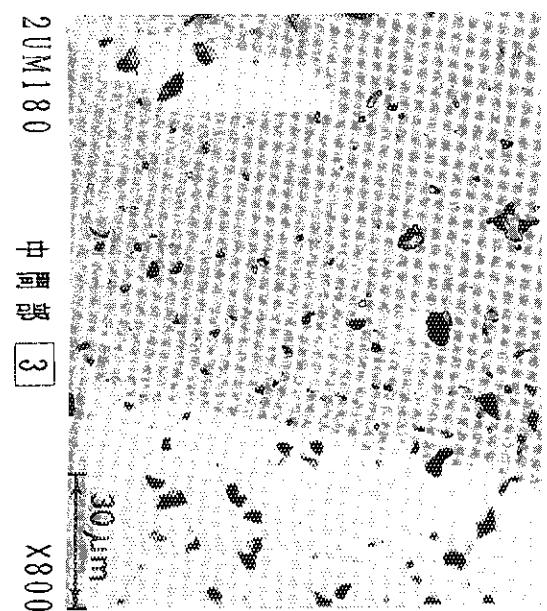
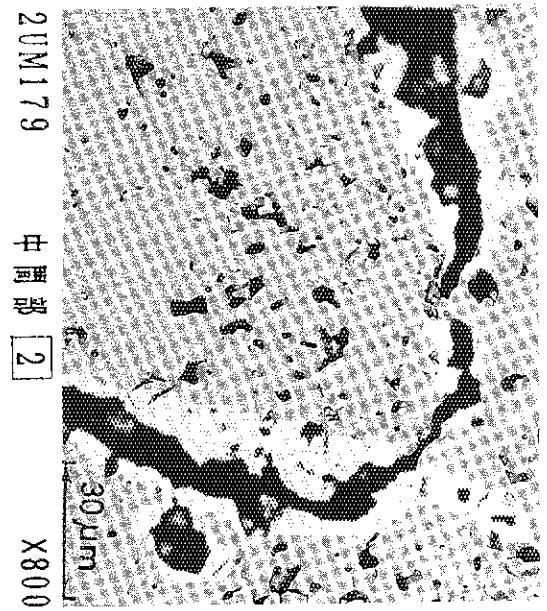
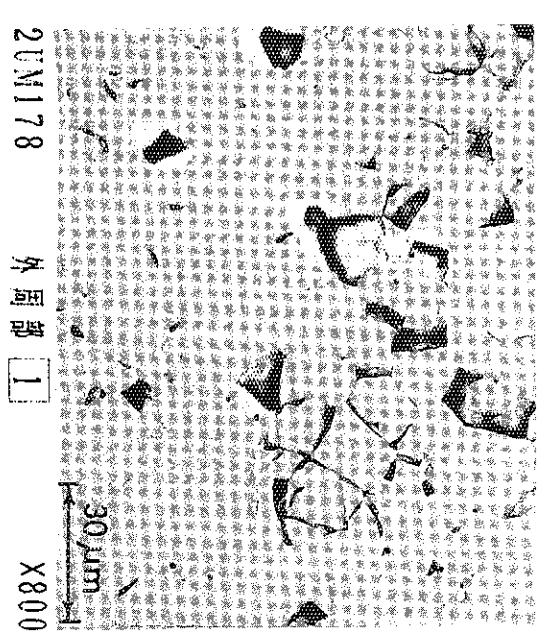
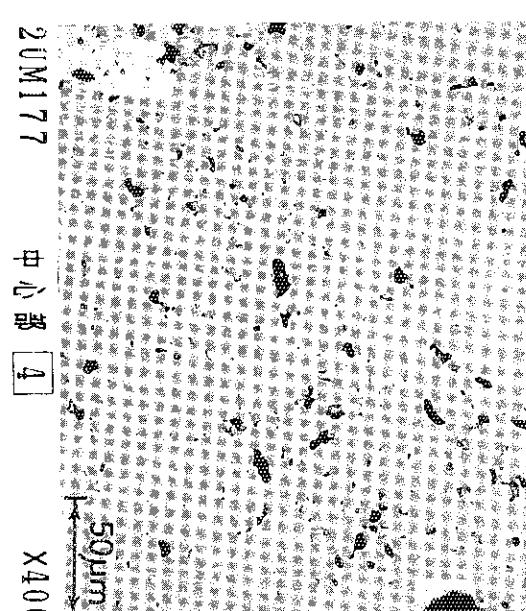
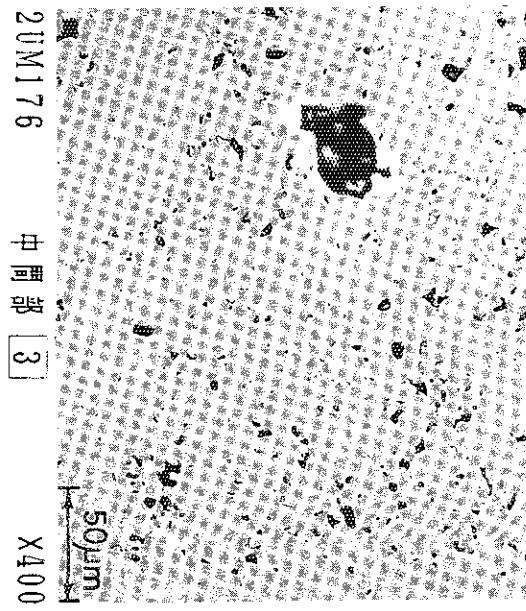
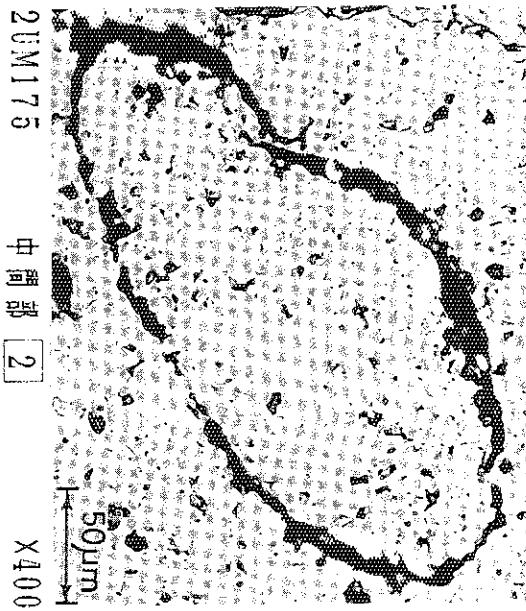
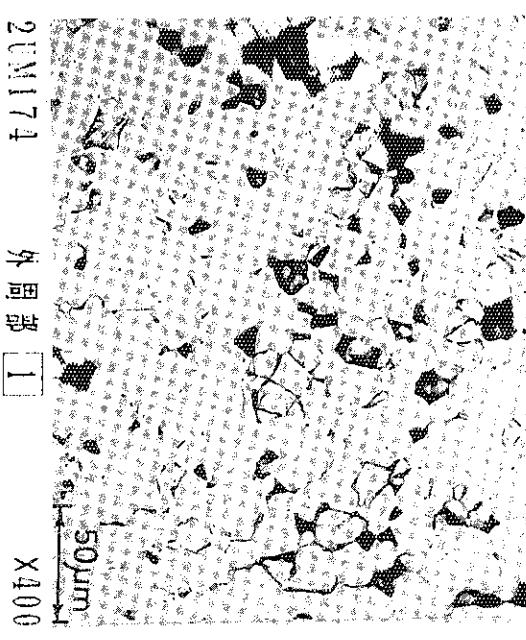


Photo. A.VI.9 Ceramography, as-polished (MH-2)

ホルダ番号	H152	撮影日	DATA
アーチ型名	MH-2	撮影場所名	CAVE
カプセル番号	51	撮影者	TAKEN BY
試料番号		試料名	
試験番号		試験名	
SPECIMEN			

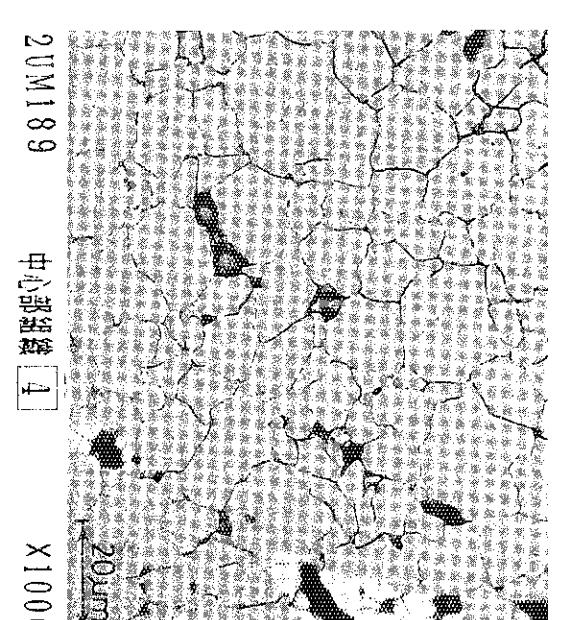
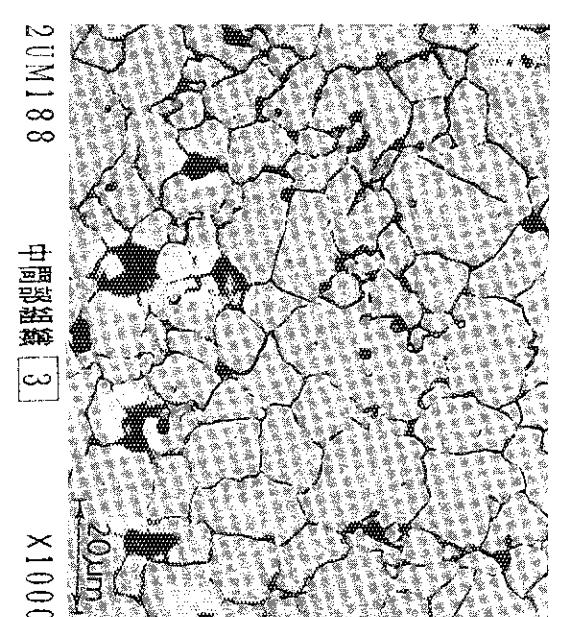
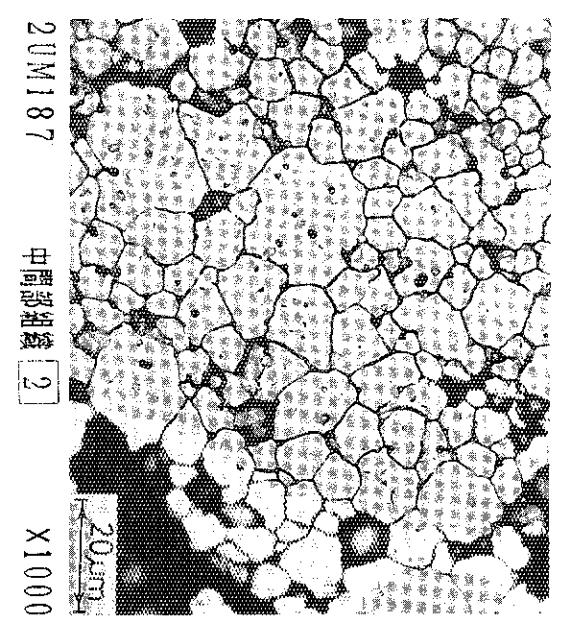
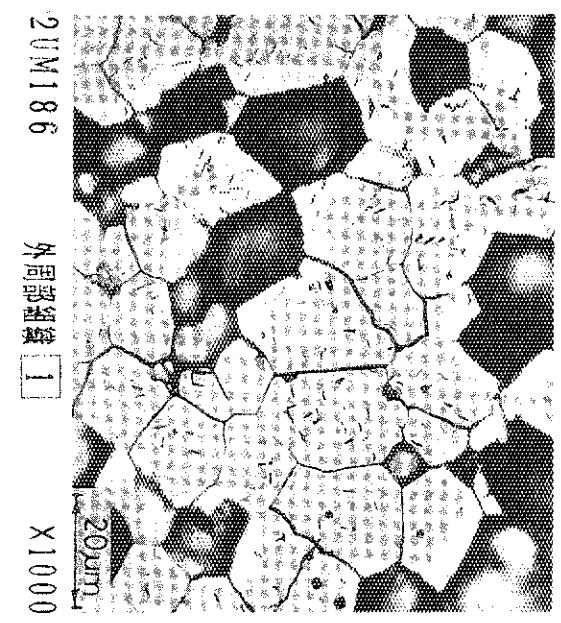
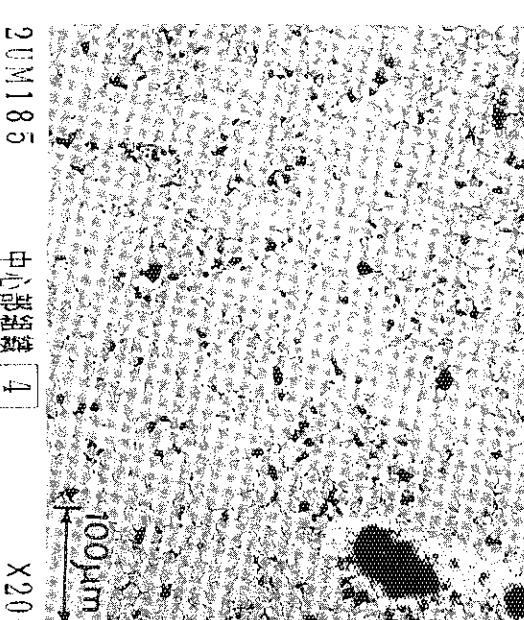
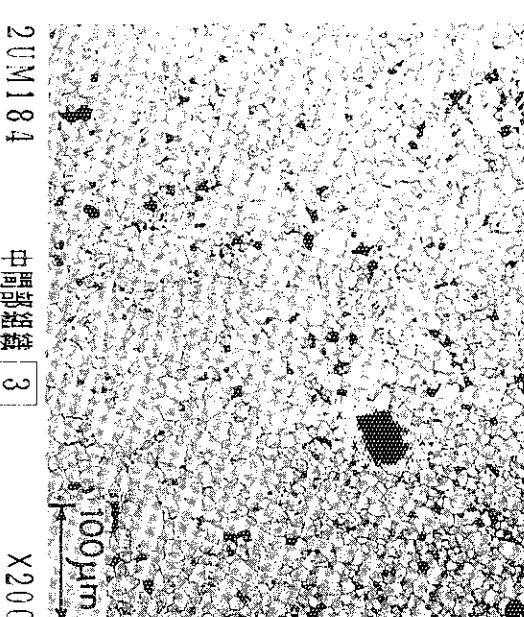
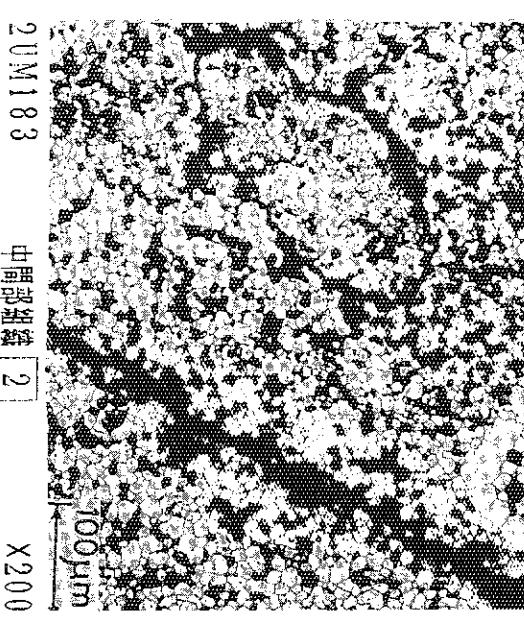
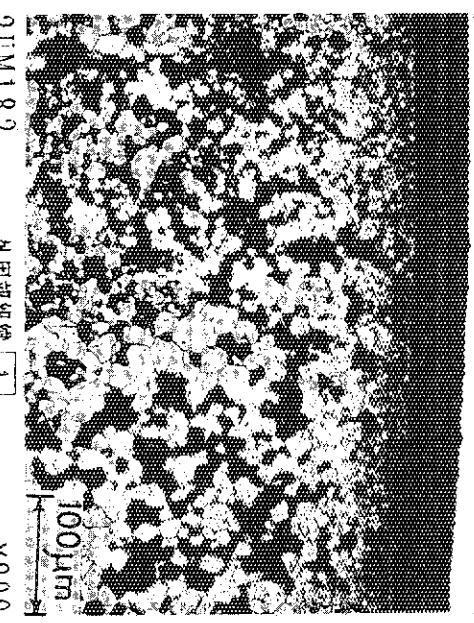


Photo. A.VI.10 Ceramography, as-etched (MH-2)

ホットラボ番号 HOT LAB No.	H152	撮影場所 PHOTO LOC.	II
キャップセル番号 CAPSULE No.	MH-2	撮影者 PHOTO BY	CAVE
試料番号 SPECIMEN No.	51	撮影日 PHOTO DATE	1981.11.14

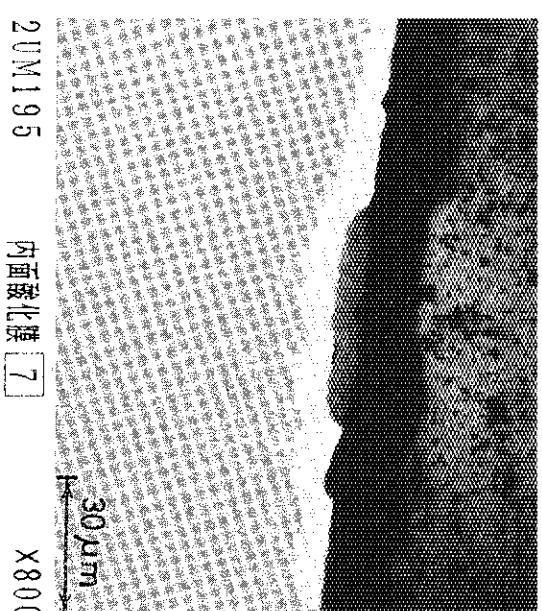
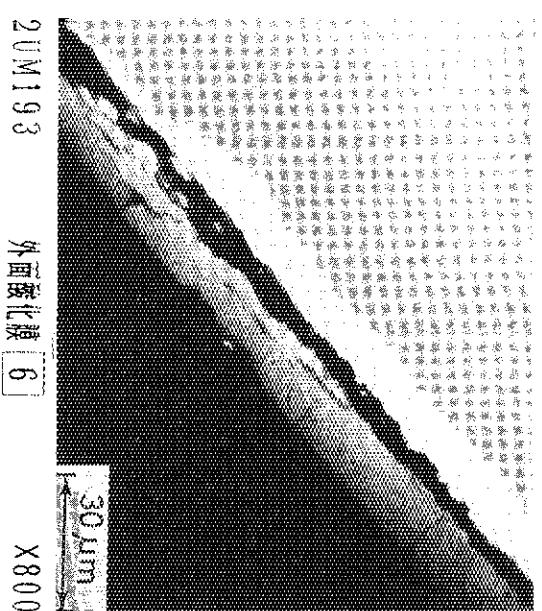
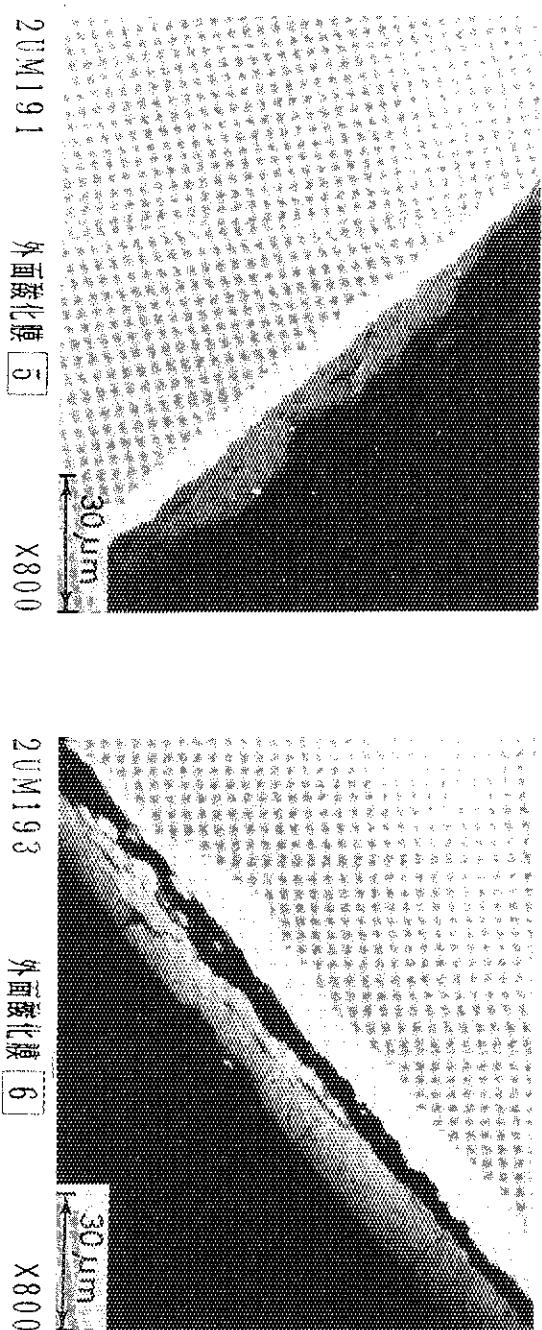
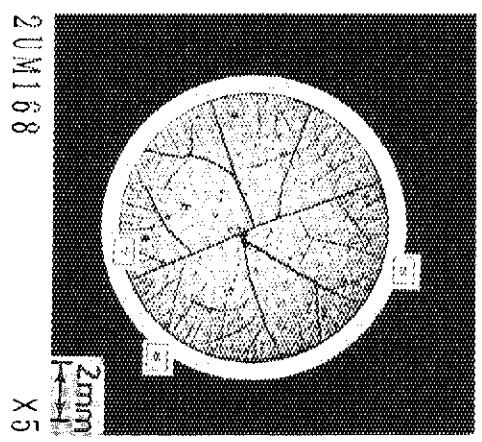
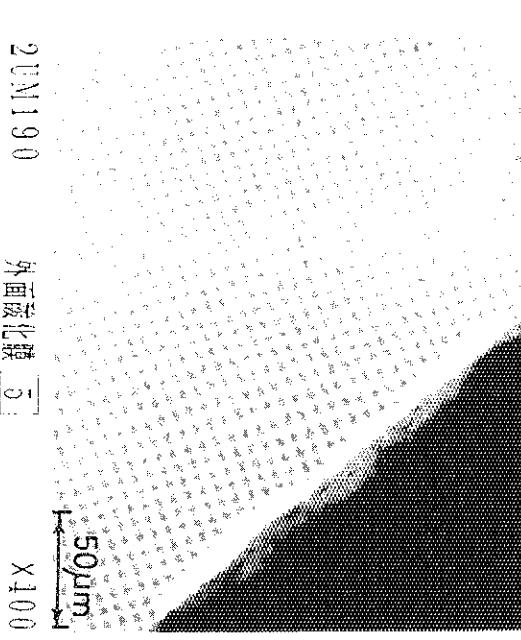
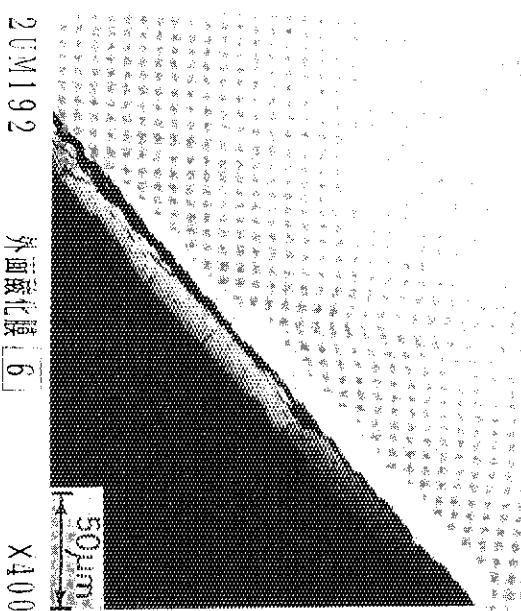
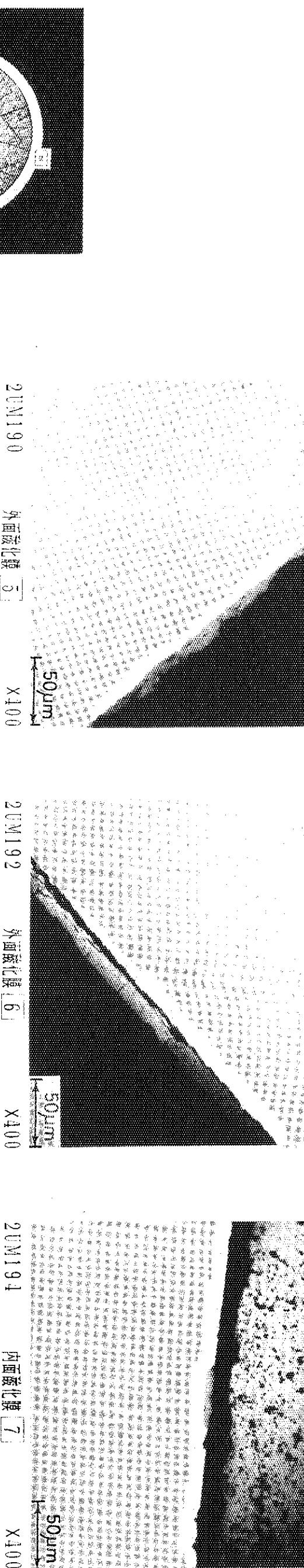


Photo. A.VI.11 External and internal oxidation of zircaloy-4 cladding (MH-2)

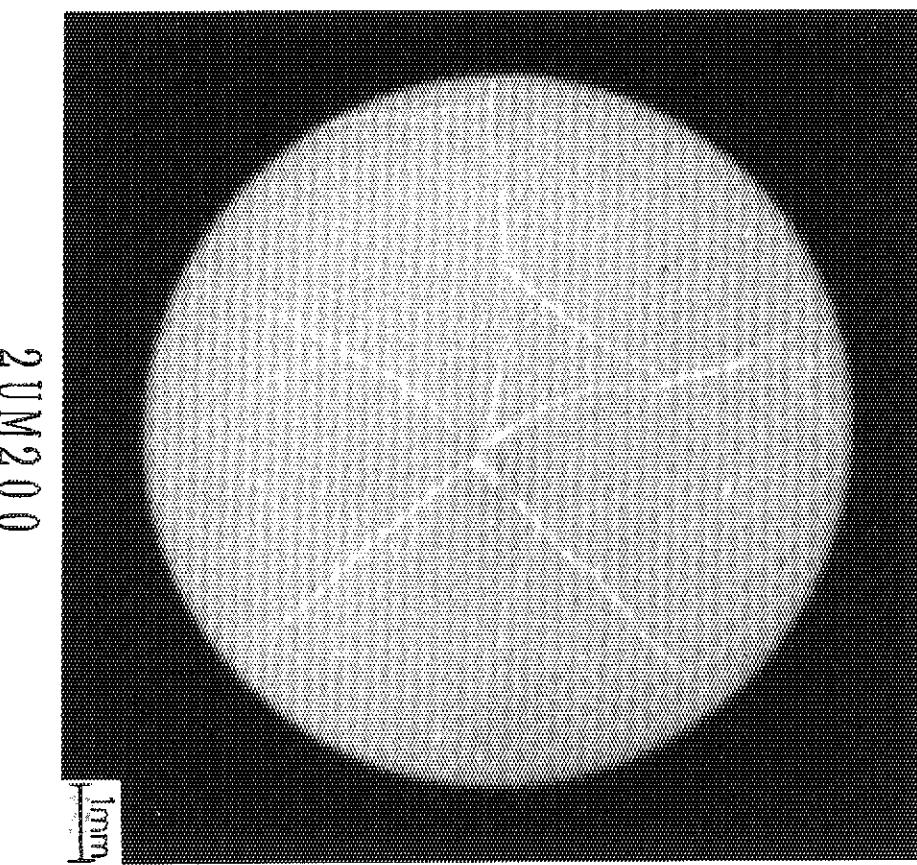
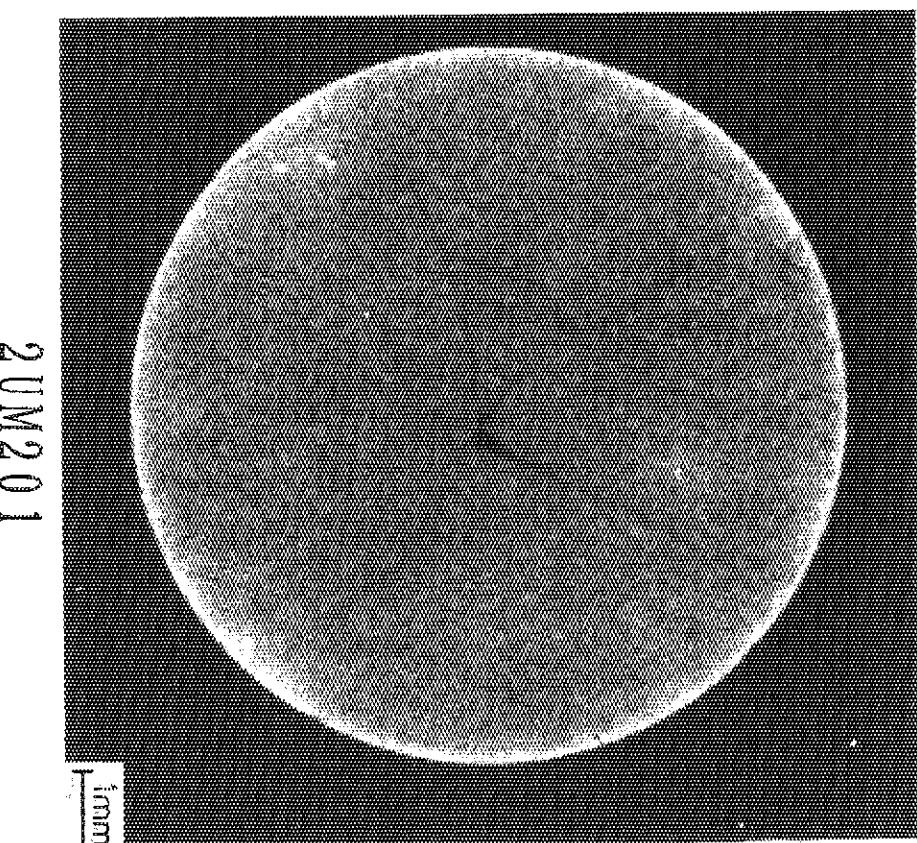
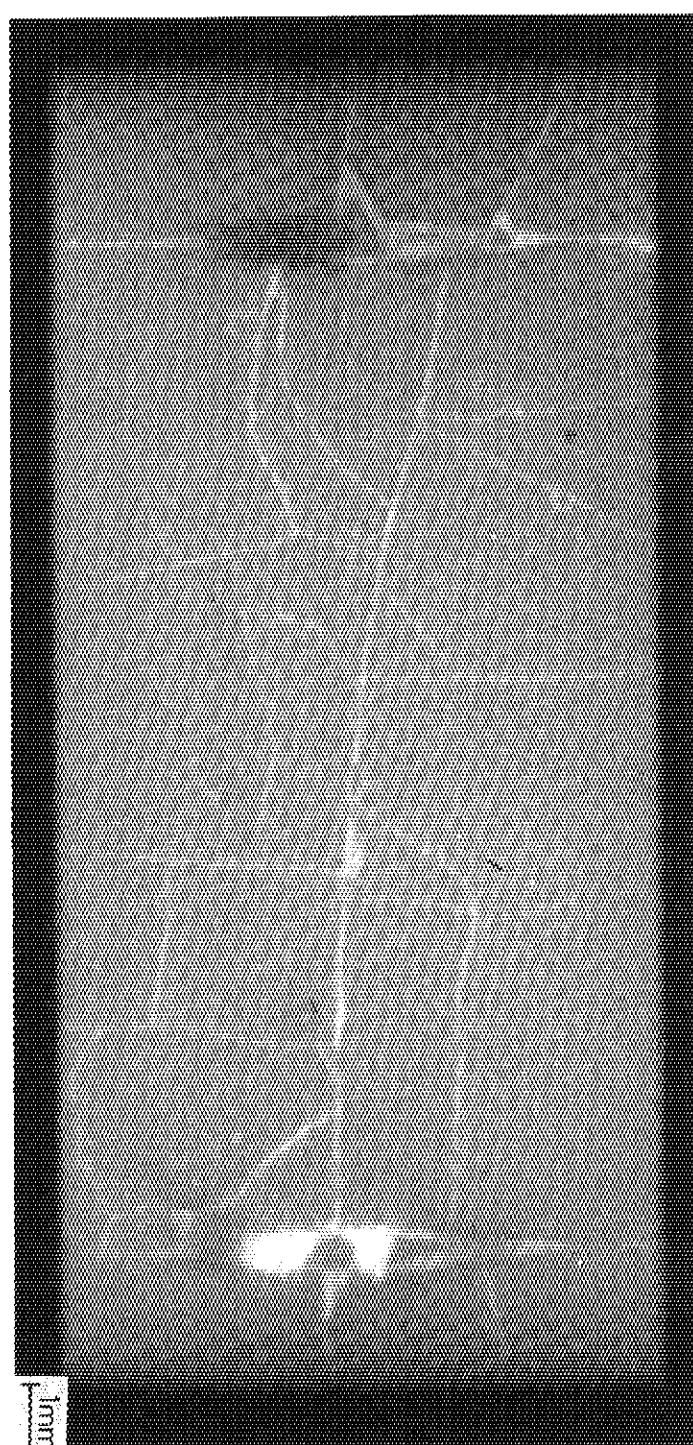


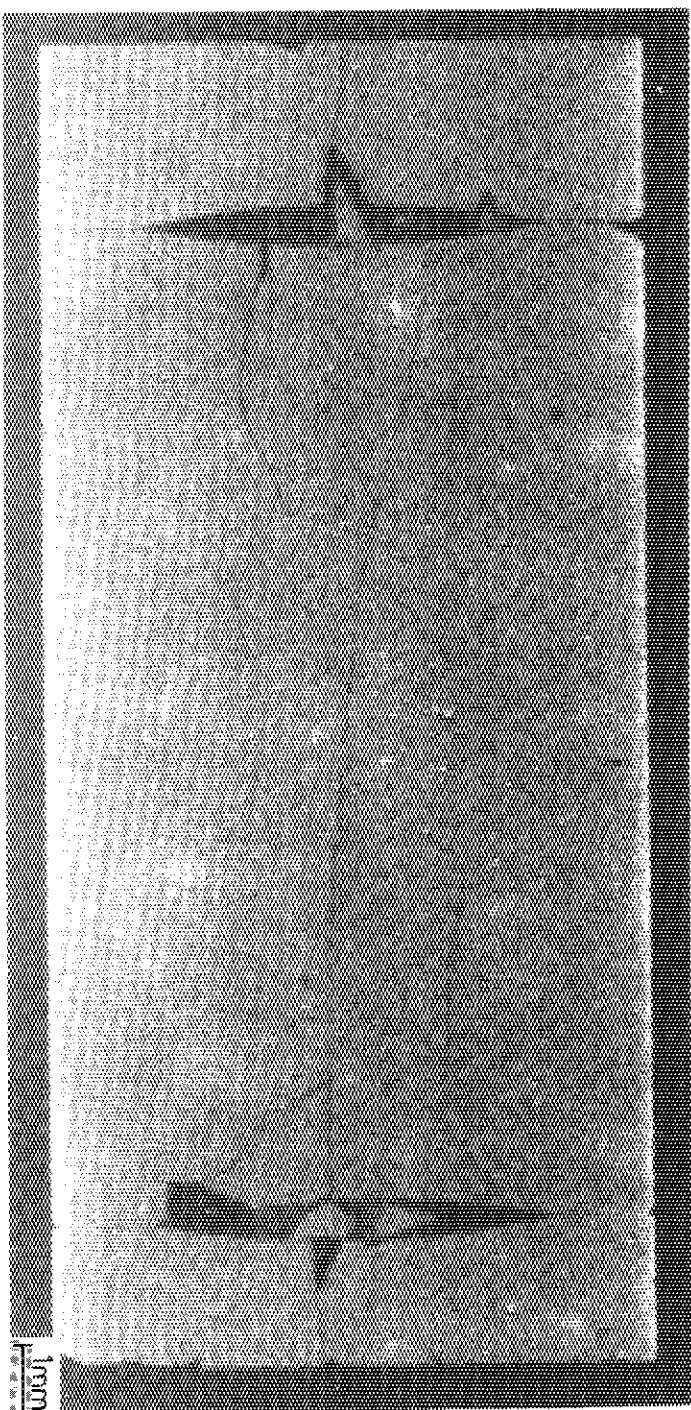
Photo. A.VI.12 α (right) and β/γ (left) autoradiograph, cross section, MH-2



ホットラボ番号 HOT LAB No.	H152	撮影日 DATE	
*カプセル名 CAPSULE No.	MH-2	撮影ケーブ CAVE	
試料番号 SPECIMEN No.	49	担当者 TAKEN BY	



2 UM202



2 UM203

Photo. A.VI.13 α (bottom) and β/γ (top) autoradiograph, longitudinal section, MH-2

Appendix VII

EPMA

H L N₀ H 1 5 2 E P M A 試験報告書

1. 試料名 NSRR パーンアップ燃料

2. 試料 No MH - 2

3. 埋込 No 6

4. 試料表面処理 [有 (Au コーティング), 無]
《*付記事項 有, 無》

5. 試験条件

(1) 試験装置 島津製 E P M A - 8 1 0 Q

(2) 試験方法

■像観察 [2次電子像 (SE像), 反射電子像 (BSE像)
 吸収電子像 (SC像)] 定性分析 [点分析, 線分析, 面分析] 定量分析 [オフライン, オンライン]

(3) 加速電圧 15 kV

(4) 試料電流 $1 \times 10^{-4} \mu A$ (5) 電子線径 $1 \mu m \phi$ (6) 試料ホルダー [低倍用ホルダー, 標準ホルダー, 防振用ホルダー]

(7)撮影フィルム

 35 mm ロールフィルム, 4" × 5" ポラロイドフィルム T - 667 ポラロイドフィルム (ネガ無) T - 665 ポラロイドフィルム (ネガ有) T - 108 カラー ポラロイドフィルム (カラー マッピング)

6. 添付データ

 写真 チャート紙 (定性) 元素分析データ (定性・定量) その他 (半定量分析)

Table A.VII.1 Photograph list (1)

写 真 整 理 台 帳 (1)

整 理 №	H L №	試 料 名	試 料 №	試 料 处理	撮 影 フ イ ル ム	倍 率	備 考
02SE043	H 1 5 2	NSRRA"-ソアガ"燃料	M H - 2 (6)	Auj-ティック"	T-667"テロト"	$\times 100$	
02SE044	"	"	"	"	"	$\times 300$	外周部
02SE045	"	"	"	"	"	$\times 1,000$	外周部拡大
02SE046	"	"	"	"	"	$\times 3,000$	"
02SE047	"	"	"	"	"	$\times 1,000$	外周部拡大
02SE048	"	"	"	"	"	$\times 3,000$	中間部
02SE049	"	"	"	"	"	$\times 1,000$	中間部拡大
02SE050	"	"	"	"	"	$\times 3,000$	"
02SE051	"	"	"	"	"	$\times 1,000$	"
02SE052	"	"	"	"	"	$\times 3,000$	"
02SE053	"	"	"	"	"	"	"
02SE054	"	"	"	"	"	$\times 300$	中間部
02SE055	"	"	"	"	"	$\times 1,000$	中間部拡大
02SE056	"	"	"	"	"	$\times 3,000$	"
02SE057	"	"	"	"	"	"	"
02SE058	"	"	"	"	"	$\times 1,000$	"
02SE059	"	"	"	"	"	$\times 3,000$	"

JAERI-M 92-015

写真 整理 合 帳 (2)

Table A.VII.2 Photograph list (2)

7. 付記事項

下図のように採取した試料について、埋込・研磨後、エッティングを行なった。さらに、試料周辺に銀ペーストを塗布後、Auコーティングを2分（コーティング膜厚約100Å）行なった。

詳細については、添付したデータを参照のこと。

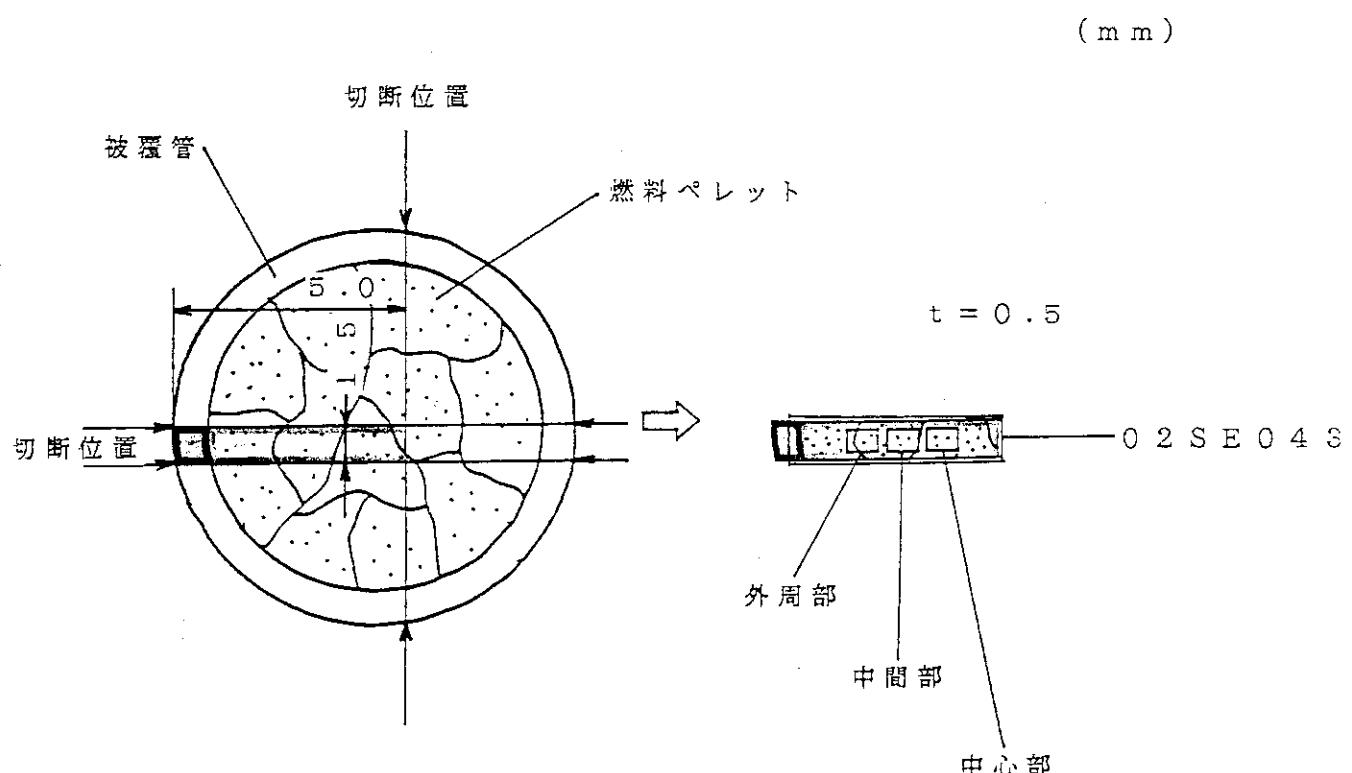
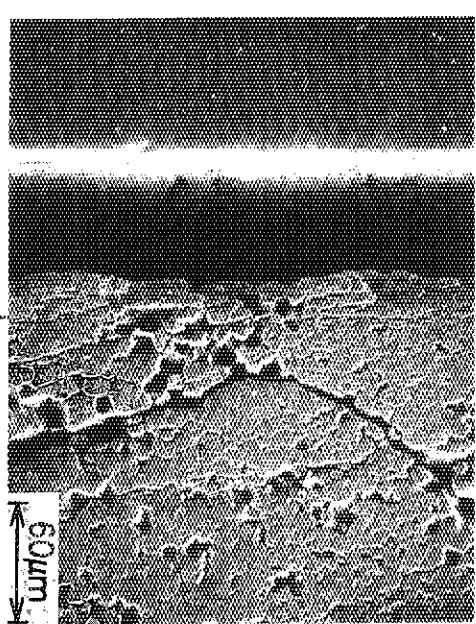
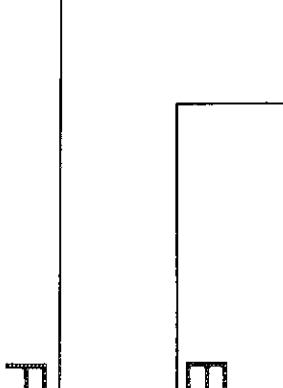
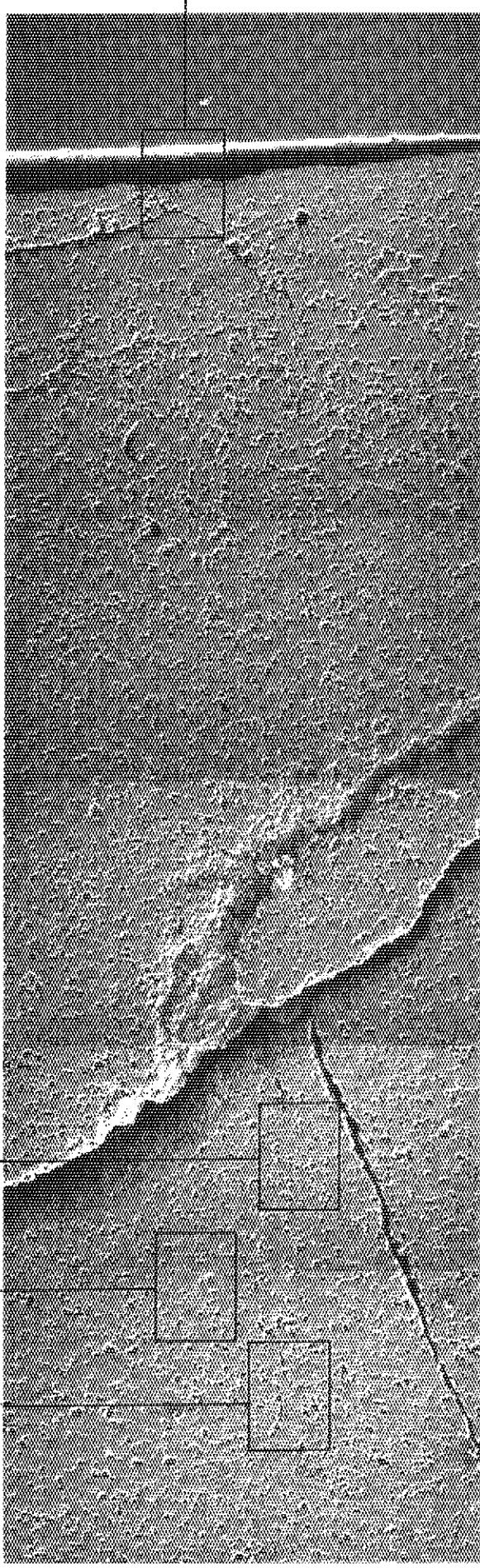
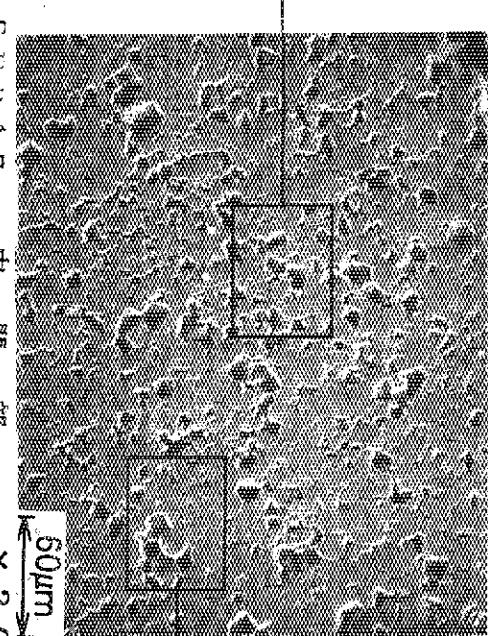


Fig. A.VII.1 Location where EPMA was performed

ホットラボ番号 HOT LAB No.	H 1 5 2	撮影日 DATE	
キャップセル名 CAPSULE No.	M H - 2	撮影場所 CAVE	S E T Y
試料番号 SPECIMEN No.	6	担当者 TAKEN BY	



0 2 S E 0 4 4 外 周 部 × 3 0 0



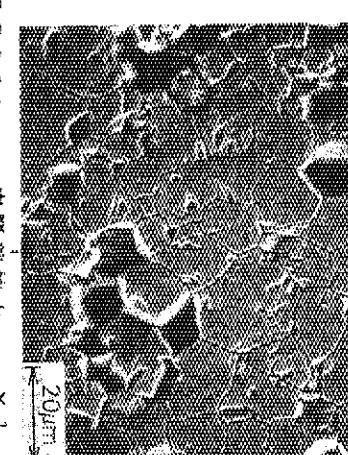
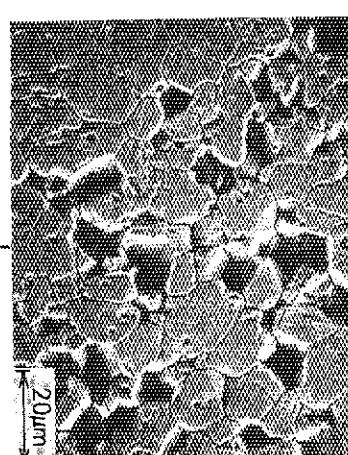
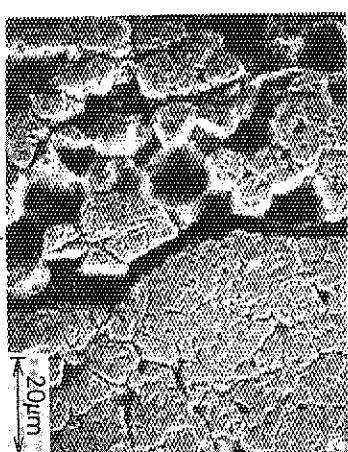
0 2 S E 0 4 7 中 間 部 × 3 0 0

C

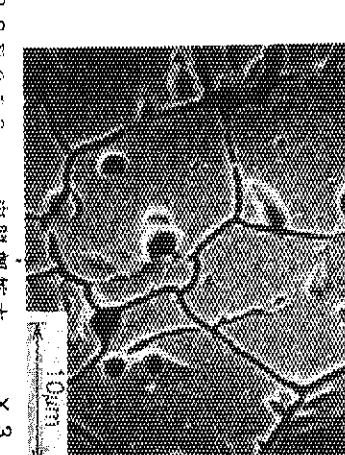
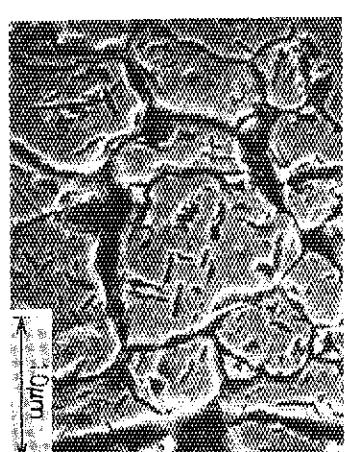
D

Photo. A.VII.1 Results of EPMA

A



C



D

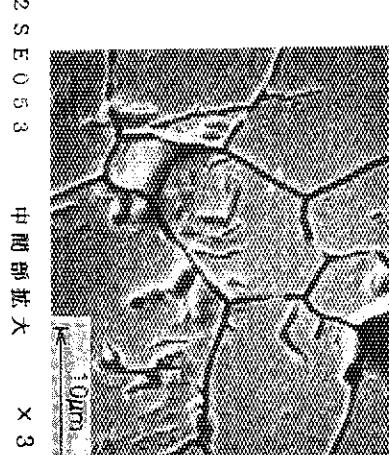
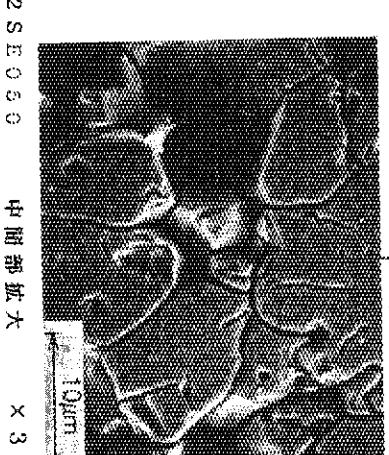
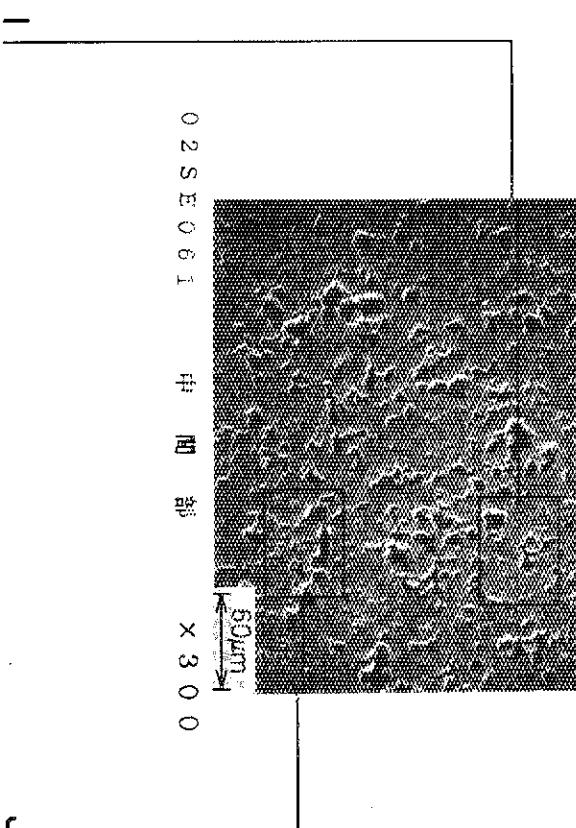
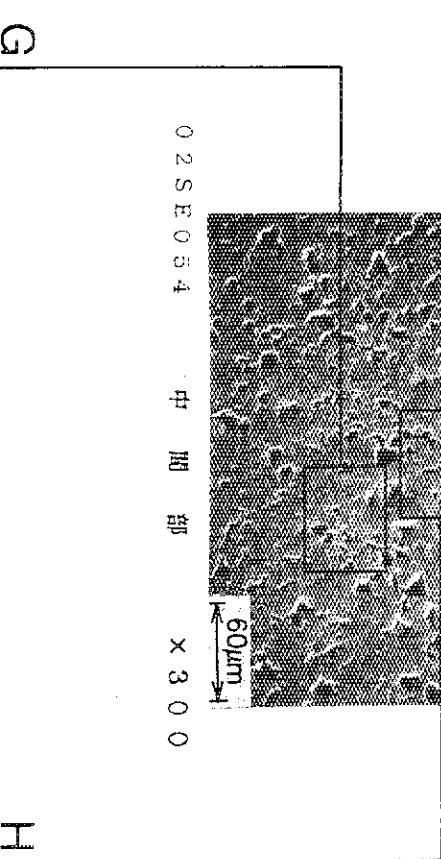
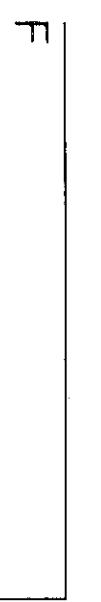
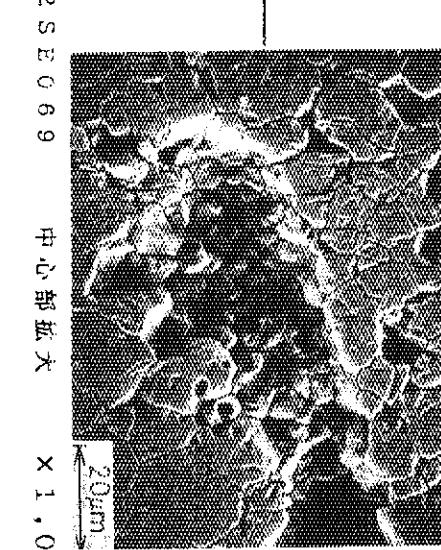
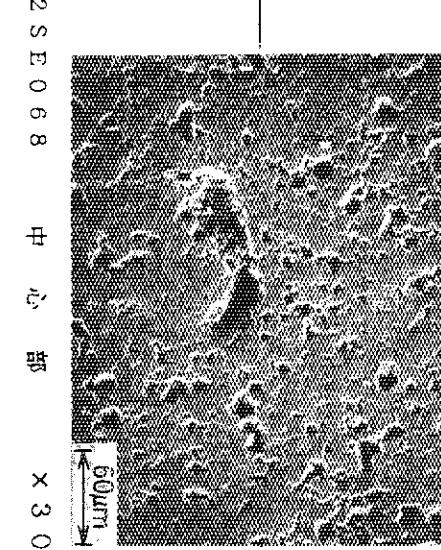
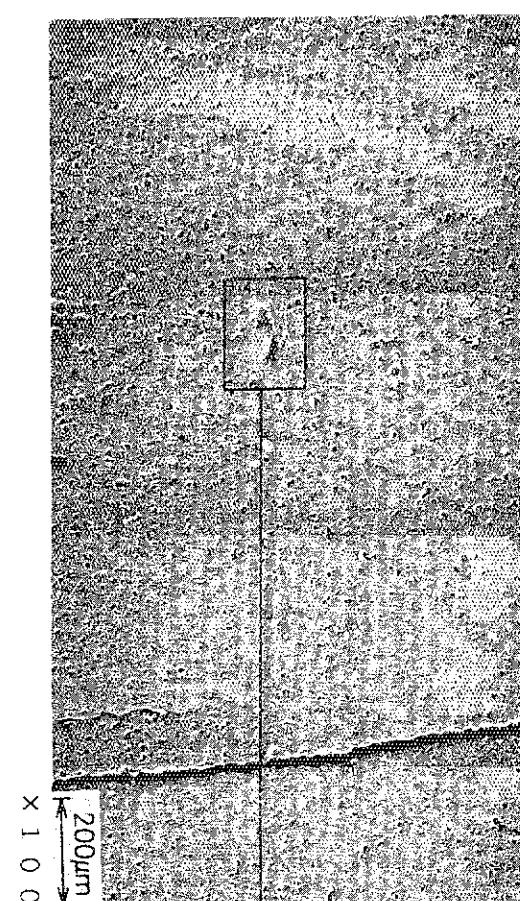


Photo. A.VII.1 (cont'd)



J

Photo. A.VII.1 (cont'd)

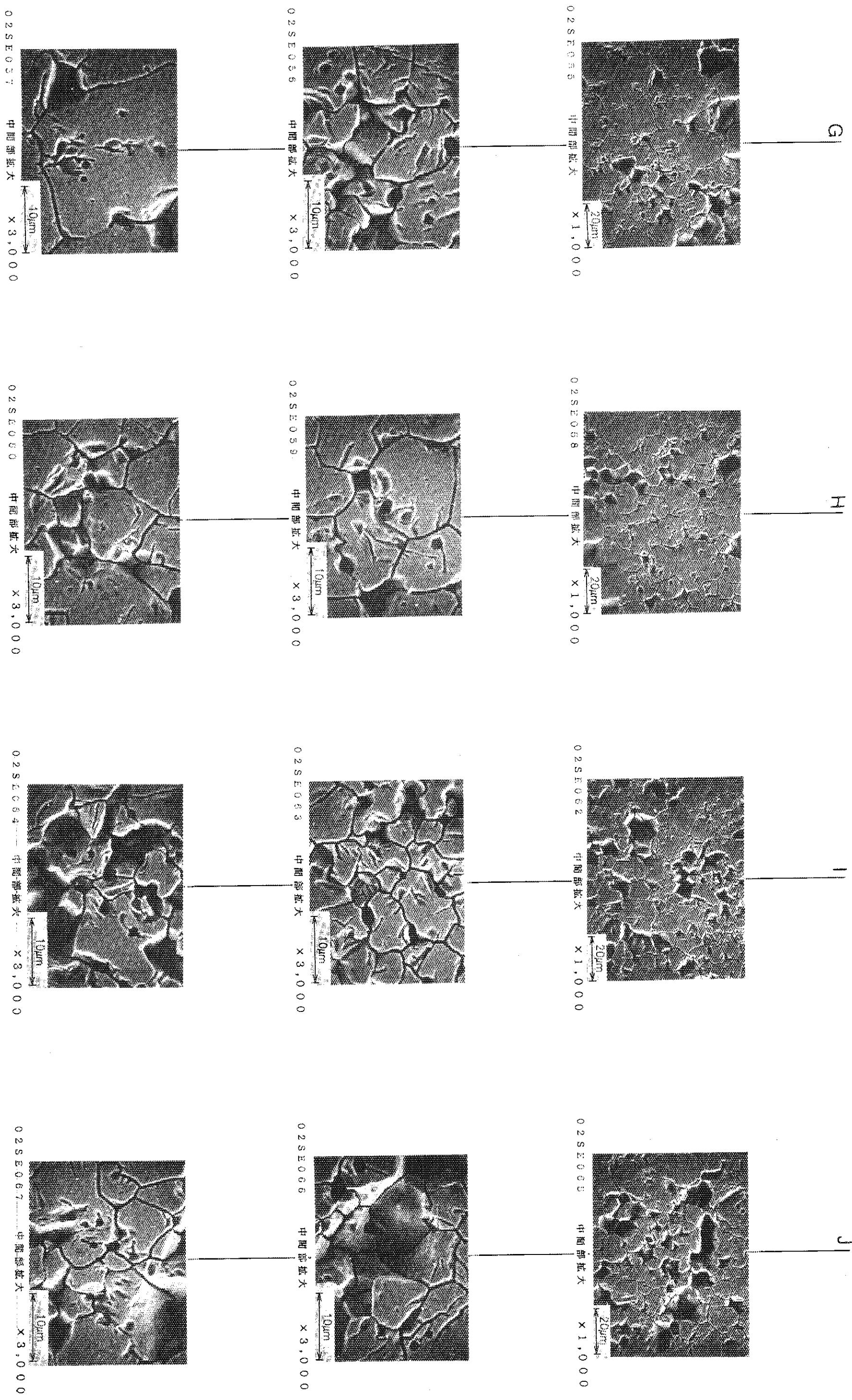


Photo. A.VII.1 (cont'd)

Appendix VIII

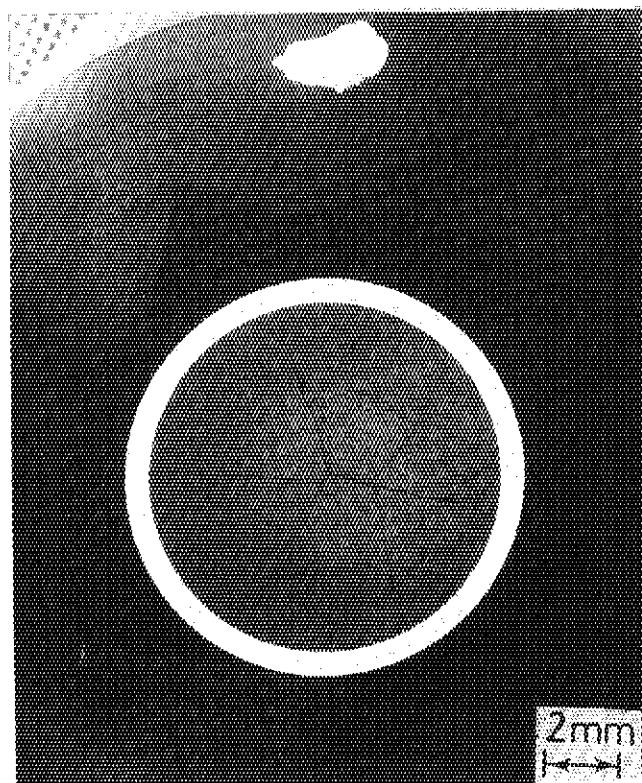
Micro Gamma Scanning

撮影 平成2年6月8日

G 0 8 K - 4 M C 1

試料面マクロ写真

0°



90°

ネガ No. 2-314

MAG× 5

Photo. A.VIII.1 Cross section of specimen

試験・検査要領	試験名	マイクロγスキャンニング
	集合体番号	G 0 8
1. 試料調整	試料を研磨紙#600で10分間磨いた。	
2. エネルギー校正	エネルギー校正用線源を検出器付近に設置して1000秒間測定し装置の校正を行った。	
3. 定点スペクトル測定	試料をマイクロγスキャンニング装置にセットし、指定位置にて10000秒間測定し、デジタルプロッターに出力した。	
4. 連続γスキャンニング	試料をマイクロγスキャンニング装置にセットし、指定方向に試料を連続的に移動させ、このときのCs-137及びグロスγ線強度をチャートに記録した。	
5. 特定核種γスキャンニング	試料をマイクロγスキャンニング装置にセットし、指定方向に試料を0.5mmピッチで移動させ、開始点を含めた各ステップごとに特定核種（最大5核種）のγ線強度を測定し、デジタルプロッターに出力した。	
6. 試料と検出器の位置関係	試料と検出器の位置関係は、下図に示す通りである。	

試験期間	H 02. 6. 12~ 6.13	試 驗 名	マイクロ γ スキャンニング
測定方法	径方向 γ スキャンニング	燃料集合体名	G 08
スキャニング法	ステップスキャンニング	燃料要素名	K - 4
		試 料 名	M C 1

スキャンニング条件

測定位置	スキャンニング方向	スタート位置	ステップ間隔	ステップ回数
		- 6. 0	0. 5	2 6
		+ 1. 0	—	—
	■ 左右方向	□ 上下方向	□ 全面	
	No	核 種	エネルギー(Kev)	バンド幅(Ch)
	1	Sb-125	4 2 7	2 0
	2	Ru-Rh-106	5 1 2	2 0
	3	Cs-134	6 0 4	2 0
	4	Cs-Ba-137	6 6 2	2 0
	5	Eu-154	8 7 3	2 0

測定時間 1 測定点当たり 3 0 0 0 sec ■ LIVE □ TRUE

放射線測定条件

HPGe 検出器	キャンベラ 2020-7600S	20%	2. 0 Kev	4 6 : 1
高圧電源	キャンベラ 3015	3 0 0 0 V		
N a I 検出器	キャンベラ 10HSW10	2 5 0 mm(DIA) × 1 2 5 mm(THICK)		
高圧電源	キャンベラ 3002	1 0 0 0 V		
スペクトロスコピーアンプ	キャンベラ 2020	GAIN SHAPING	COARSE 30 FINE 4.0 4 μ sec	
M C A	キャンベラ 8180	ADC ウイルキンソン BASE LINE CONV.GAIN CH.No FULL SCALE DEAD TIME	100MHz 5. 5 4 0 9 6 4 0 9 6 Ch. 2 3 4 5. 3 Kev 5 %	
ANTI COMPTON SYSTEM	使用 : 不使用	PEAK/COMPTON RATE	1 5 0	: 1
コリメーター	1. 0 (高) × 0. 5 (巾) × 1 9 2 mm (長)			

備 考

ASSEMBLY	G08
ROD	K-4
No.	MC1 0 DEG
DATE	1990-06-13
1.0*10**3.0	MICRO-MODE

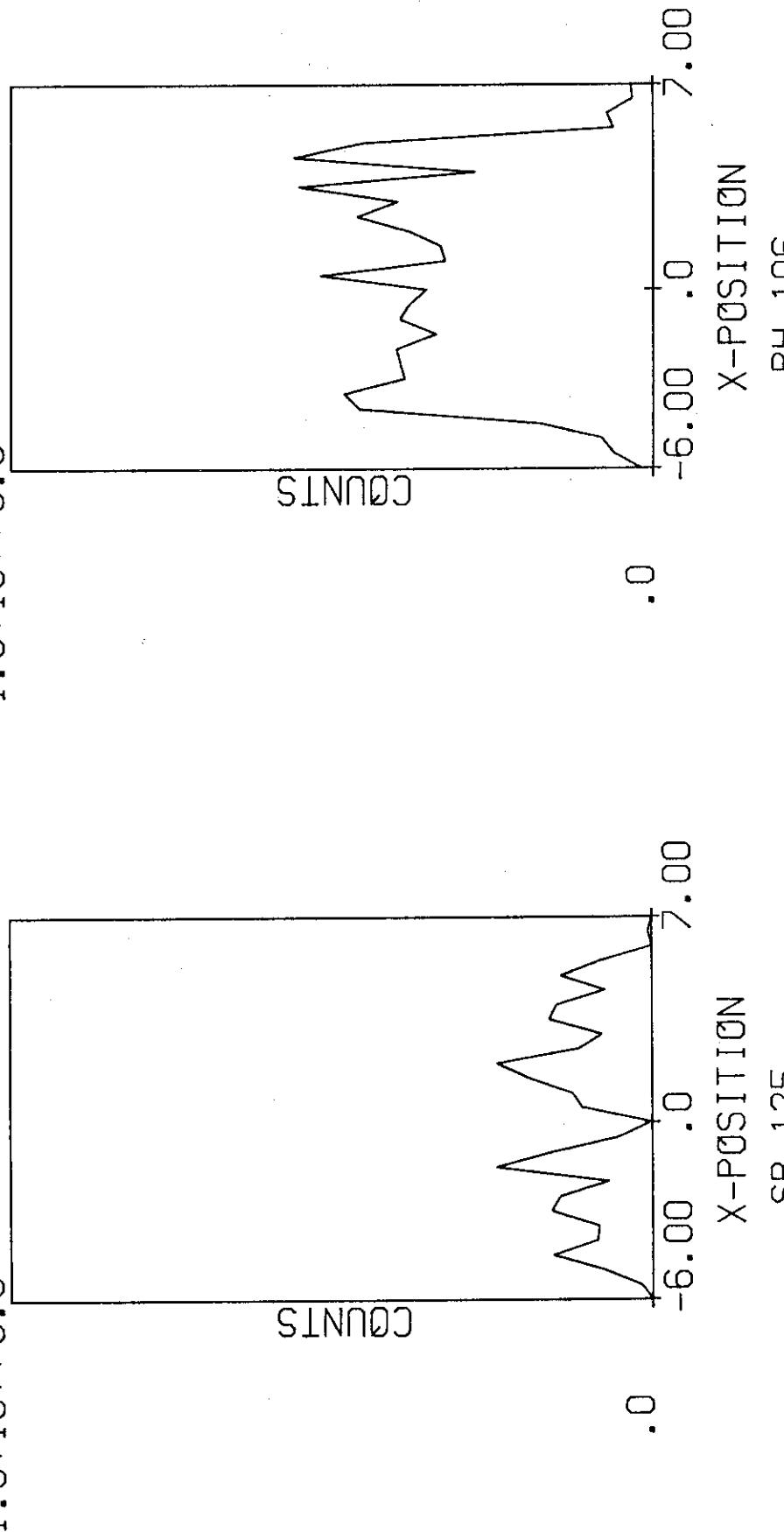
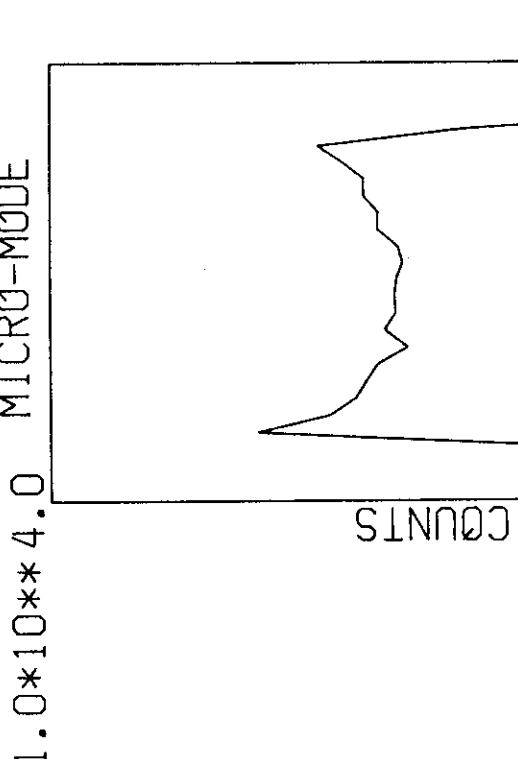


Fig. A.VIII.1 Sb-125, 0°

Fig. A.VIII.2 Rh-106, 0°

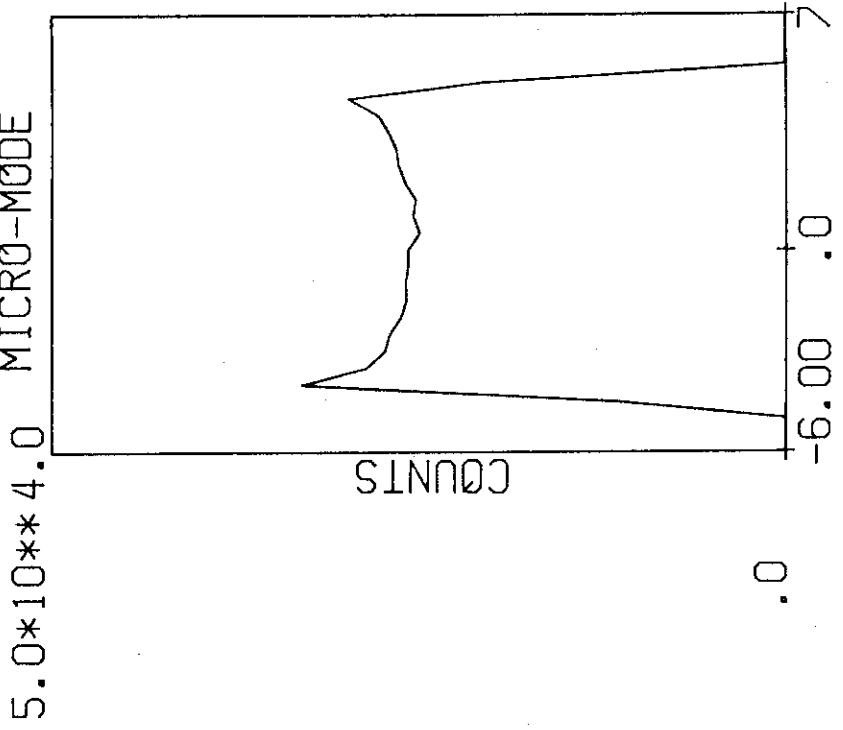
ASSEMBLY	G08
ROD	K-4
No.	MC1 0 DEG
DATE	1990-06-13
1.0*10**4.0 MICRO-MODE	



X-POSITION
CS-134

Fig. A.VIII.3 Cs-134, 0°

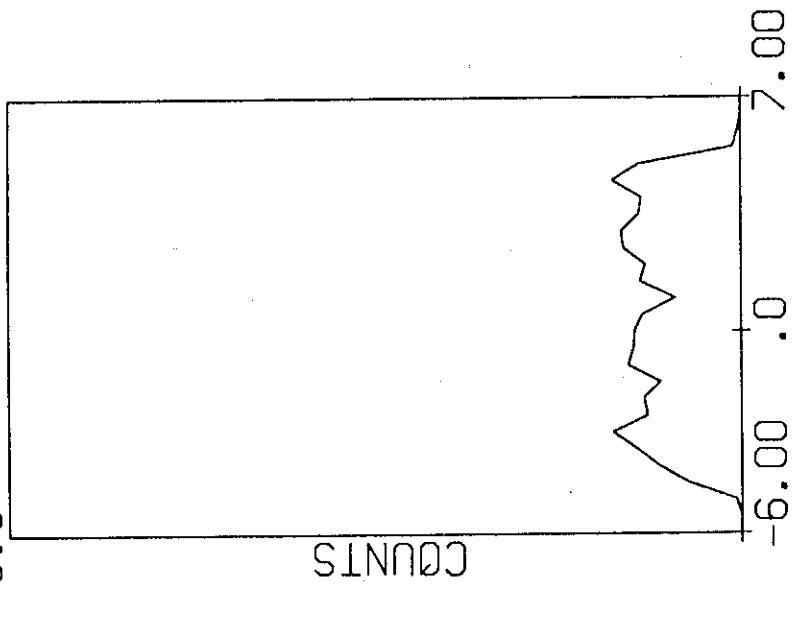
ASSEMBLY	G08
ROD	K-4
No.	MC1 0 DEG
DATE	1990-06-13
5.0*10**4.0 MICRO-MODE	



X-POSITION
CS-137

Fig. A.VIII.4 Cs-137, 0°

ASSEMBLY	G08
ROD	K-4
No.	MC1
DATE	1990-06-13
1.0*10**3.0	MICRO-MODE



X-POSITION
EU-154

Fig. A.VIII.5 Eu-154, 0°

試験期間	H 02. 6. 13~ 6.14	試 驗 名	マイクロγスキャンニング
測定方法	径方向γスキャンニング	燃料集合体名	G 08
スキャンニング方法	ステップスキャンニング	燃料要素名	K-4
		試 料 名	M C 1

スキャンニング条件

測定位置	スキャンニング方向	スタート位置	ステップ間隔	ステップ回数
		- 5. 7	0. 5	26
		+ 0. 5	—	—
角 度 (°)	90	—	—	—
No	核 種	エネルギー(Kev)	バード幅(Ch)	
1	Sb-125	427	20	
2	Ru-Rh-106	512	20	
3	Cs-134	604	20	
4	Cs-Ba-137	662	20	
5	Eu-154	873	20	

測定時間 1測定点当たり 3000 sec ■ LIVE □ TRUE

放射線測定条件

HPGe 検出器	キャンベラ 2020-7600S	20%	2.0 Kev	46:1
高圧電源	キャンベラ 3015	3000V		
NaI 検出器	キャンベラ 10HSW10	250mm(DIA) × 125mm(THICK)		
高圧電源	キャンベラ 3002	1000V		
スペクトロスコピーアンプ	キャンベラ 2020	GAIN SHAPING	COARSE 4 μsec	30 FINE 4.0
MCA	キャンベラ 8180	ADC ウイルキンソン BASE LINE CONV.GAIN CH.No FULL SCALE DEAD TIME	100MHz 5.5 4096 4096 2345.3 5 %	Ch. Kev
ANTI COMPTON SYSTEM	使用 : <input checked="" type="checkbox"/> 使用	PEAK/COMPTON RATE	150	: 1
コリメーター	1.0 (高) × 0.5 (巾) × 192 mm (長)			

備 考

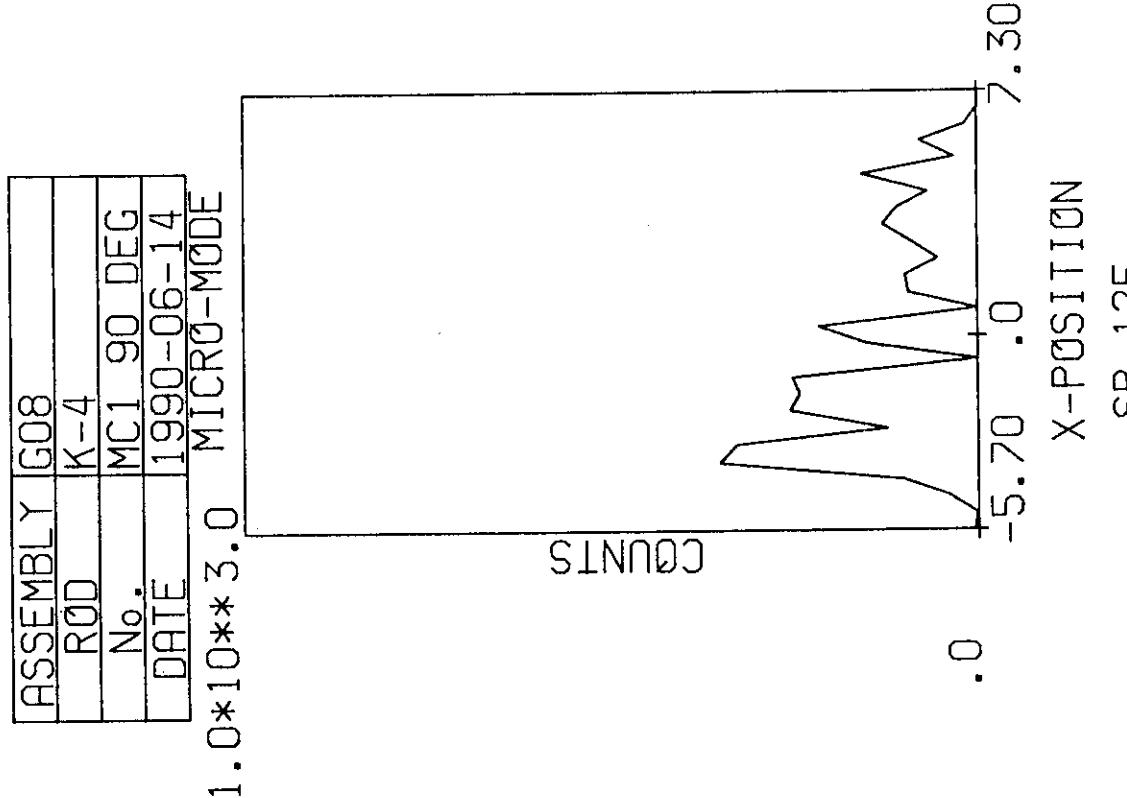
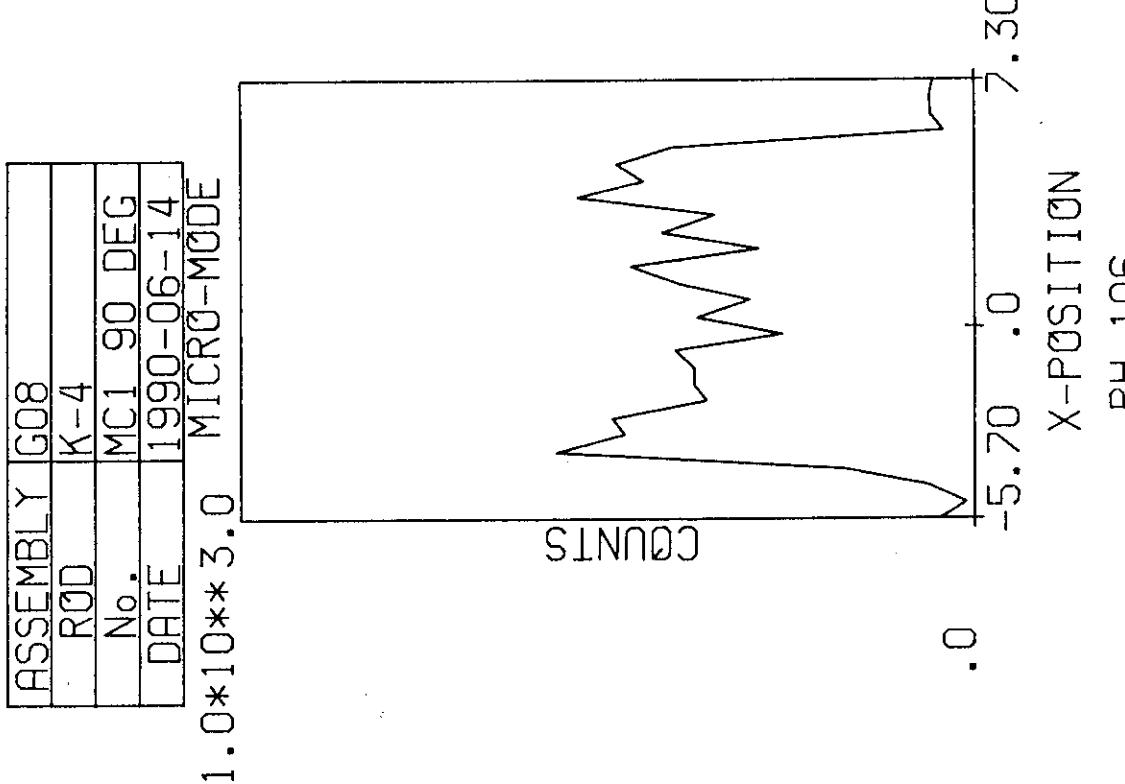


Fig. A.VIII.6 Sb-125, 90°

Fig. A.VIII.7 Rh-106, 90°

ASSEMBLY	G08
ROD	K-4
No.	MC1 90 DEG
DATE	1990-06-14
1.0*10**4.0 MICRO-MODE	

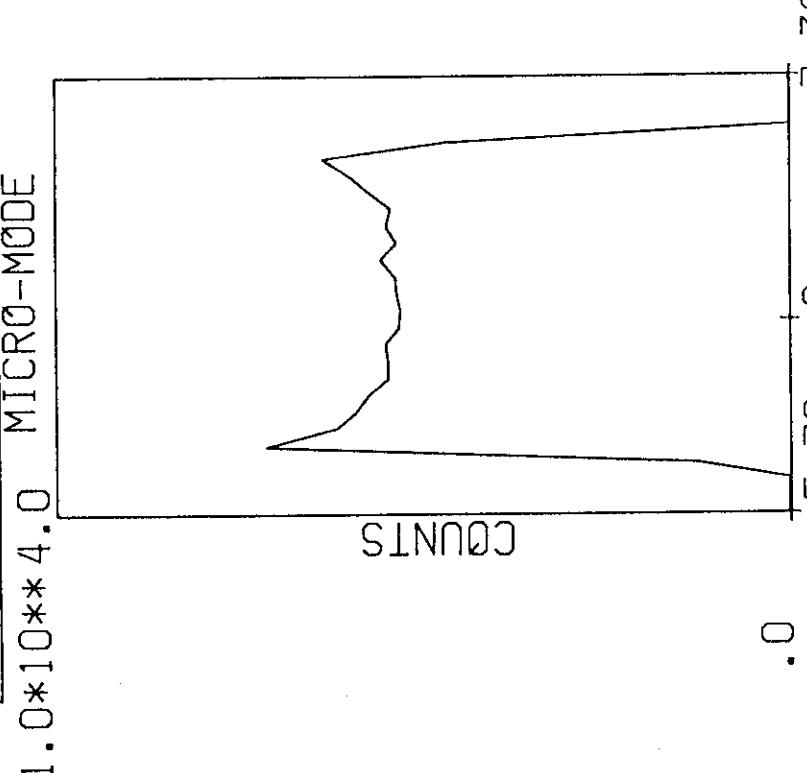


Fig. A.VIII.8 Cs-134, 90°
CS-134

ASSEMBLY	G08
ROD	K-4
No.	MC1 90 DEG
DATE	1990-06-14
5.0*10**4.0 MICRO-MODE	

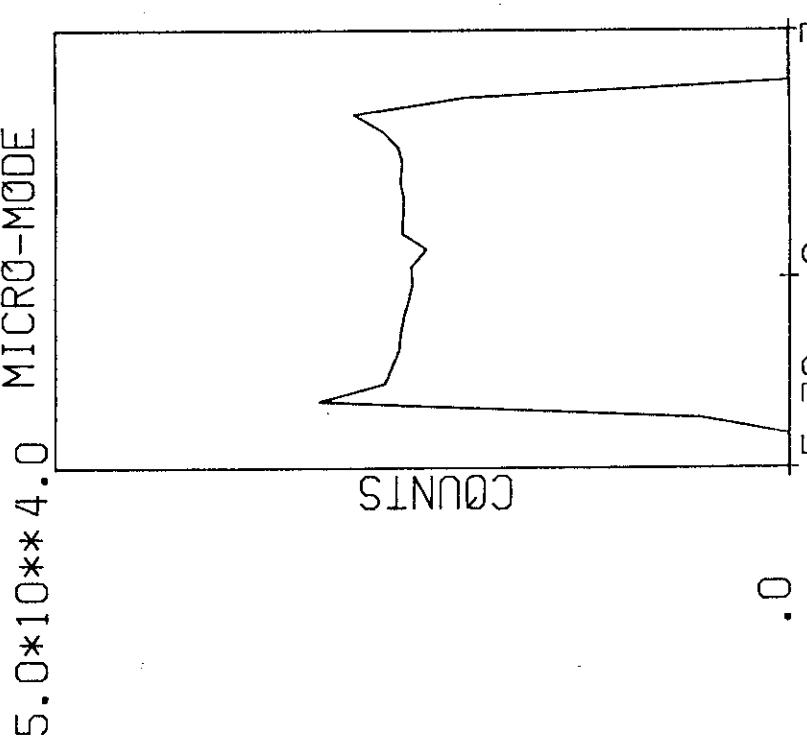
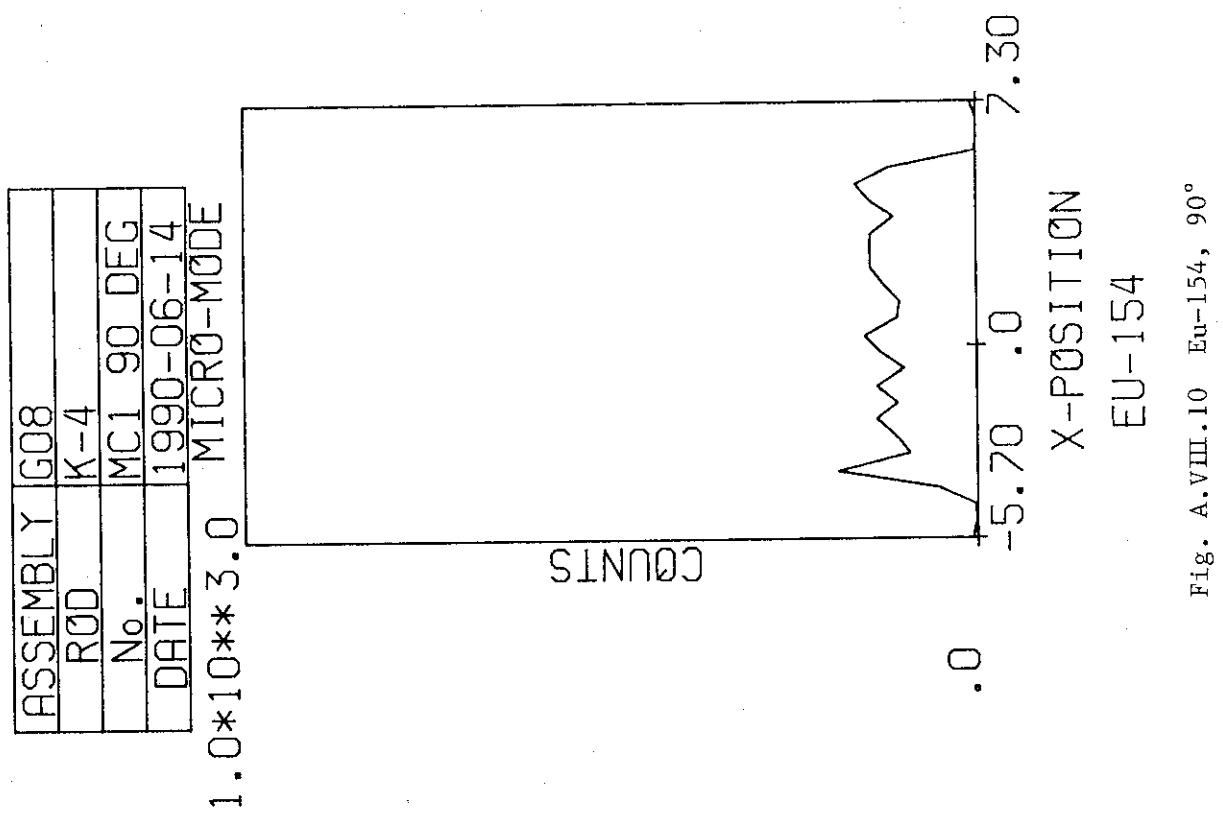


Fig. A.VIII.9 Cs-137, 90°
CS-137



試験期間	H 2. 6. 11	試 驗 名	マイクロγスキャンニング
測定方法	径方向γスキャンニング	燃料集合体名	G 08
スキャンニング方法	連続スキャンニング	燃料要素名	K - 4
測定各種	Cs - 137	試 料 名	M C 1
測 定 位 置	左 右 位 置 (mm)		- 6. 0 ~ + 7. 0
	上 下 位 置 (mm)		+ 1. 0
	角 度 (°)		0 ~ 180
	試料送り速度 (mm/min)		1. 5
ス キ ャ ン ニ ン グ 方 法	<input checked="" type="checkbox"/> 左右方向 <input type="checkbox"/> 上下方向		
放射線測定器条件			
H P G e 検出器	キャンベラ 2020-7600S	2 0 %	2. 0 K e V 4 6 : 1
高 壓 電 源	キャンベラ 3105	3 0 0 0 V	
スペクトロスコ	キャンベラ 2020	G A I N	COARSE 30 FINE 4.0
ピイアンプ		S H A P I N G	4 μ sec
S C A	キャンベラ 2031	W I N D O W	0.1 L O W E R L E V E L 2.6
レートメーター	キャンベラ 1481L	L I N / L O G	L I N : L O G
		R A N G E	1 0 0
		T I M E C O N S T A N T	2 sec
レコーダー	渡辺測器 SR-651	フルスケール	1 0 0 cps
		送り速度	1 2 mm/min
コリメーター	1. 0 (高) × 0. 5 (巾) × 1 9 2 m m (長)		
備 考			

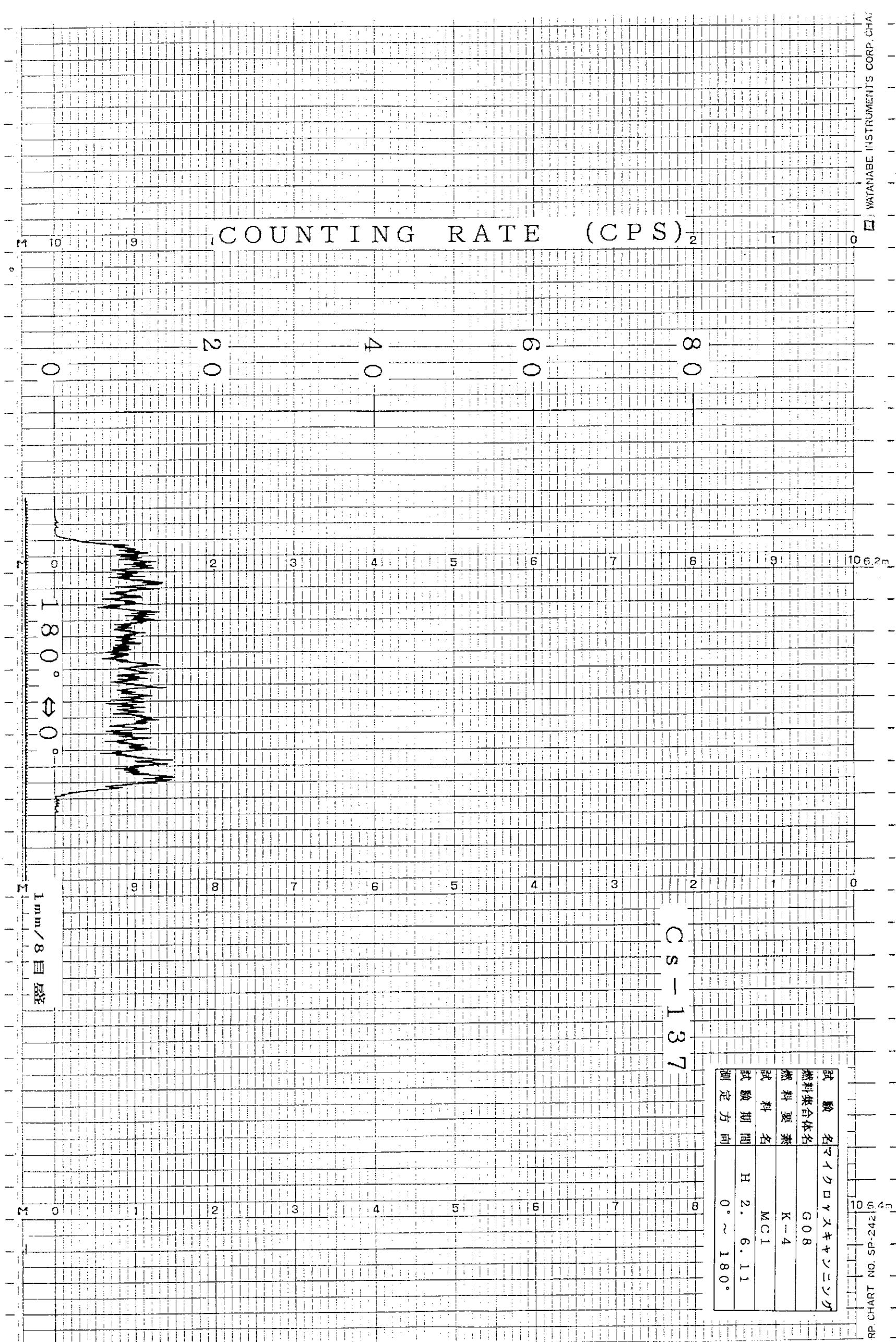


Fig. A.VIII.11 Cs-137. 0° ~ 180°

試験期間	H 2. 6. 11	試験名	マイクロʌスキャンニング
測定方法	径方向ʌスキャンニング	燃料集合体名	G 08
スキャニング施	連続スキャニング	燃料要素名	K - 4
測定各種	G r o s s	試料名	M C 1
測定位置	左 右 位 置 (mm)		- 6. 0 ~ + 7. 0
	上 下 位 置 (mm)		+ 1. 0
	角 度 (°)		0 ~ 180
	試料送り速度 (mm/min)		1. 5
スキャニング方法	<input checked="" type="checkbox"/> 左右方向 <input type="checkbox"/> 上下方向		
放射線測定器条件			
H P G e 検出器	キャンベラ 2020-7600S	2 0 %	2. 0 K e V 4 6 : 1
高 壓 電 源	キャンベラ 3105	3 0 0 0 V	
スペクトロスコ	キャンベラ 2020	G A I N	COARSE 30 FINE 4. 0
ピイアンプ		S H A P I N G	4 μ sec
S C A	キャンベラ 2031	WINDOW 10. 0 LOWER LEVEL 0. 01	
レートメーター	キャンベラ 1481L	L I N / L O G	LIN : LOG
		R A N G E	1 0 0
		TIME CONSTANT	2 sec
レコーダー	渡辺測器 SR-651	フルスケール	1 0 0 cps
		送り速度	1 2 mm/min
コリメーター	1. 0 (高) × 0. 5 (巾) × 1 9 2 m m (長)		
備 考			

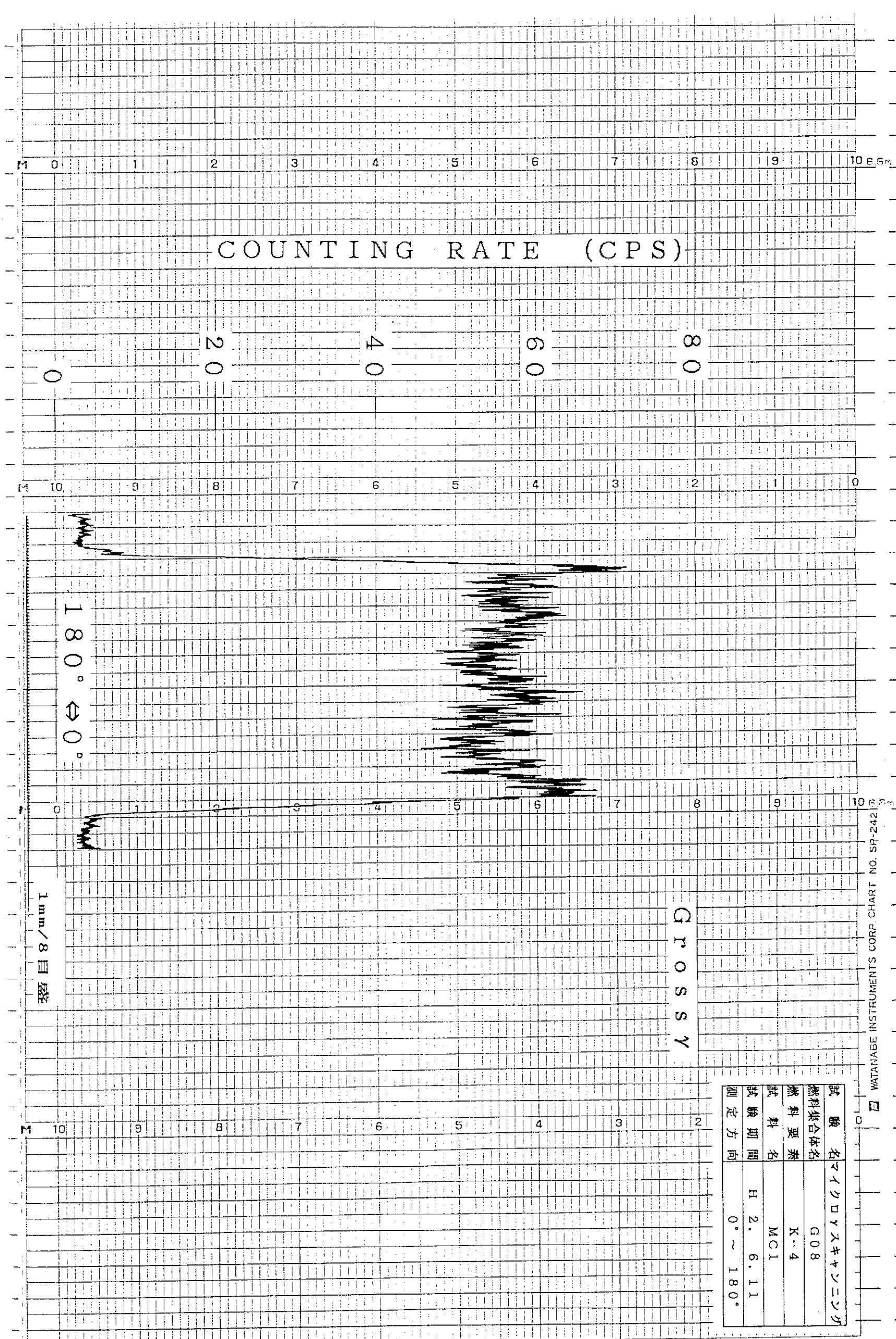


Fig. A.VIII.12 Gross, 0° ~ 180°

試験期間	H 2. 6. 12	試験名	マイクロʌスキャンニング
測定方法	径方向ʌスキャンニング	燃料集合体名	G 0 8
スキャンニング方法	連続スキャンニング	燃料要素名	K - 4
測定各種	Cs - 137	試料名	M C 1
測定位置	左右位置 (mm)		- 5. 5 ~ + 7. 5
	上下位置 (mm)		+ 0. 5
	角度 (°)		90 ~ 270
	試料送り速度 (mm/min)		1. 5
スキャンニング方法	<input checked="" type="checkbox"/> 左右方向 <input type="checkbox"/> 上下方向		

放射線測定器条件

H P G e 検出器	キャンベラ 2020-7600S	20 %	2. 0 K e V	46 : 1
高圧電源	キャンベラ 3105	3 0 0 0 V		
スペクトロスコ ピアンプ	キャンベラ 2020	G A I N	COARSE 30	FINE 4.0
		S H A P I N G	4 μ sec	
S C A	キャンベラ 2031	WINDOW 0.1 LOWER LEVEL 2.6		
レートメーター	キャンベラ 1481L	L I N / L O G	LIN : LOG	
		R A N G E	1 0 0	
		TIME CONSTANT	2 sec	
レコーダー	渡辺測器 SR-651	フルスケール	1 0 0 cps	
		送り速度	1 2 mm/min	
コリメーター	1. 0 (高) × 0. 5 (巾) × 192 mm (長)			

備考

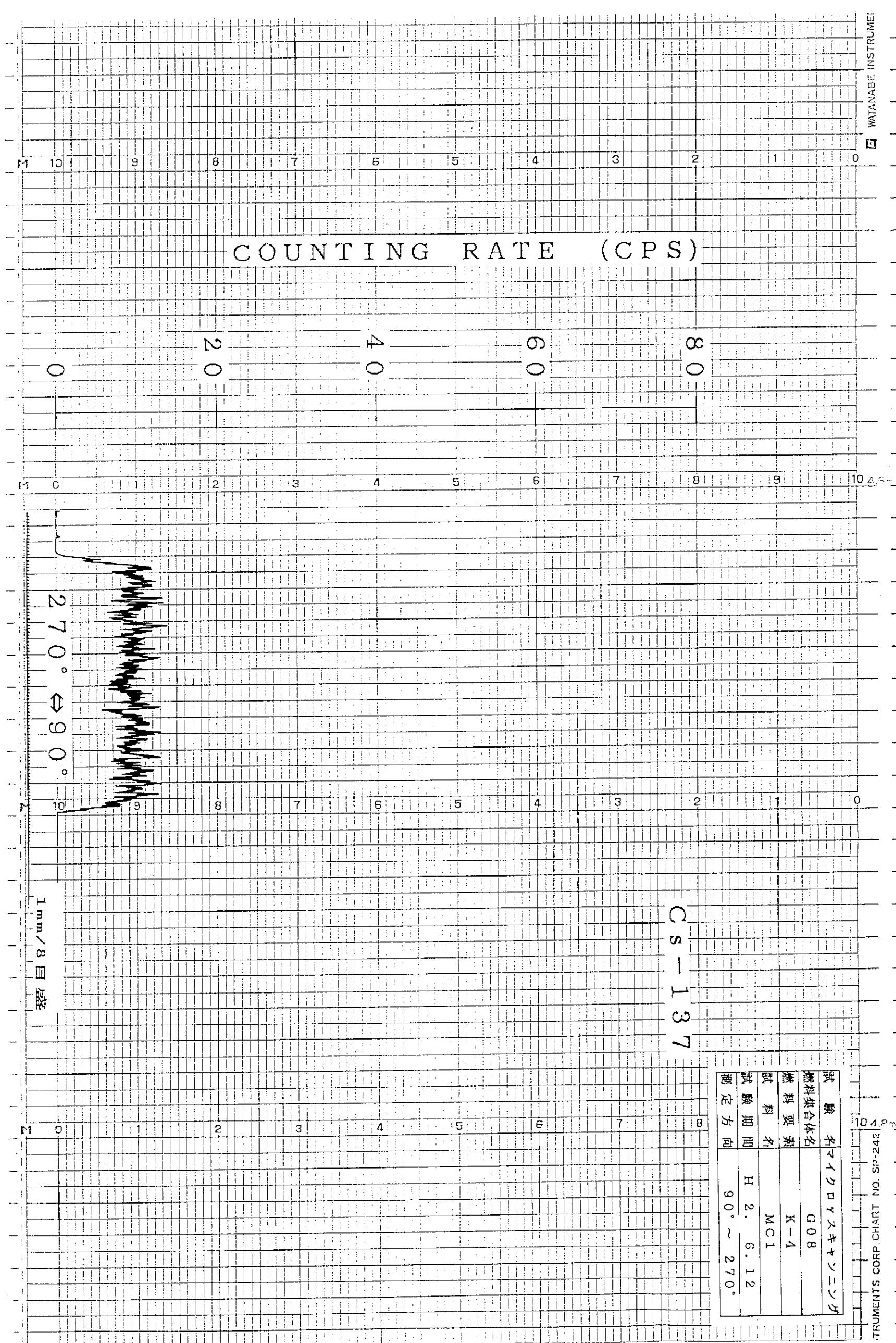


Fig. A.VIII.13 Cs-137, 90° ~ 270°

試験期間	H 2. 6. 12	試 驗 名	マイクロγスキャンニング
測定方法	径方向γスキャンニング	燃料集合体名	G 08
スキャンニング法	連続スキャンニング	燃料要素名	K - 4
測定各種	G r o s s	試 料 名	M C 1
測 定 位 置	左 右 位 置 (mm)		- 5. 5 ~ + 7. 5
	上 下 位 置 (mm)		+ 0. 5
	角 度 (°)		90 ~ 270
	試料送り速度 (mm/min)		1. 5
ス キ ャ ニ ニ グ 方 法	<input checked="" type="checkbox"/> 左右方向 <input type="checkbox"/> 上下方向		
放射線測定器条件			
H P G e 検出器	キャンベラ 2020-7600S	2 0 %	2. 0 K e V 4 6 : 1
高 壓 電 源	キャンベラ 3105	3 0 0 0 V	
スペクトロスコ ピアンプ	キャンベラ 2020	G A I N	COARSE 30 FINE 4.0
		S H A P I N G	4 μ sec
S C A	キャンベラ 2031	WINDOW 10.0 LOWER LEVEL 0.01	
レートメーター	キャンベラ 1481L	L I N / L O G	LIN : LOG
		R A N G E	1 0 0
		TIME CONSTANT	2 sec
レコーダー	渡辺測器 SR-651	フルスケール	1 0 0 cps
		送り速度	1 2 mm/min
コリメーター	1. 0 (高) × 0. 5 (巾) × 1 9 2 m m (長)		
備 考			

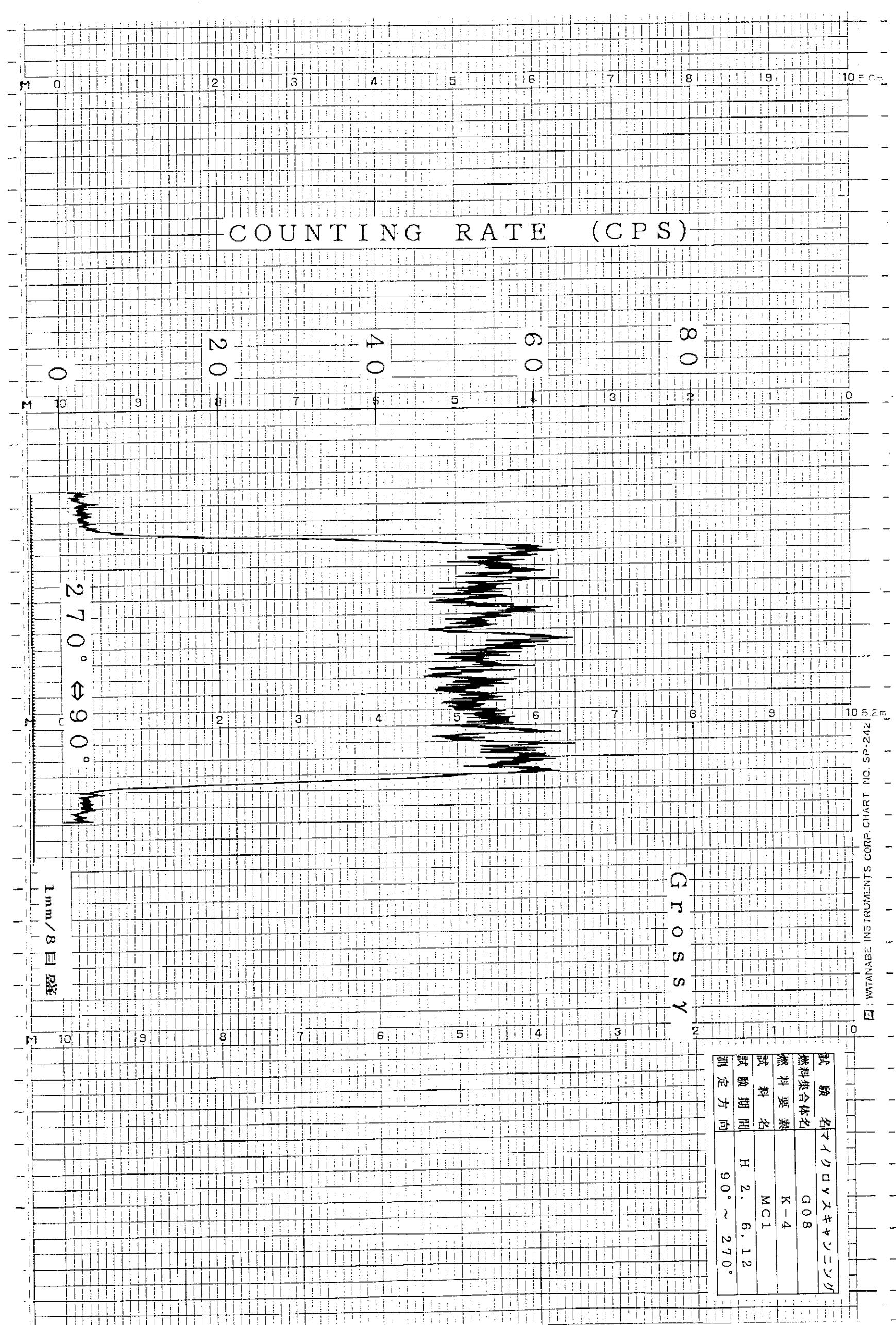


Fig. A.VIII.14 Gross, 90° ~ 270°

試験期間	H 02. 6. 5	試験名	マイクロ γ スキャンニング			
測定方法	定点スペクトル分析	燃料集合体名	G 08			
データエリア名	MBPH70	燃料要素名	K-4			
		試料名	MC1			
測定位置	左右位置 (mm)	0.0				
	上下位置 (mm)	1.5				
	角度 (°)	0.0				
測定時間	<input checked="" type="checkbox"/> Live <input type="checkbox"/> True		10000 sec			
放射線測定器条件						
HPGe検出器	キャンベラ 2020-7600S	20%	2.0 KeV 46:1			
高圧電源	キャンベラ 3105	3000 V				
NaI 検出器	キャンベラ 10HSW10	250mm(DIA) × 125mm(THICK)				
高圧電源	キャンベラ 3002	1000 V				
スペクトロスコ		Gain	Coarse 30 Fine 4.0			
ピアンプ	キャンベラ 2020	Shaping	4 μ sec			
MCA	キャンベラ 8180	ADC ウイルキンソン 100MHz Base line	5.5			
		Conv.Gain	4096			
		Ch.No	4096 Ch.			
		Full Scale	2345.3 KeV			
		Dead time	5 %			
ANTI COMPTON SYSTEM	使用 : 不使用	PEAK/COMPTON RATE	150 : 1			
コリーメータ	1.0 (高) × 0.5 (巾) × 192 mm (長)					
備考						
測定位置の左右及び上下位置は、試料の中間付近である。						

PHA-SPECTRUM

ASSEMBLY	G08
ROD	K-4
NO.	MC1
DATE	1990-06-05

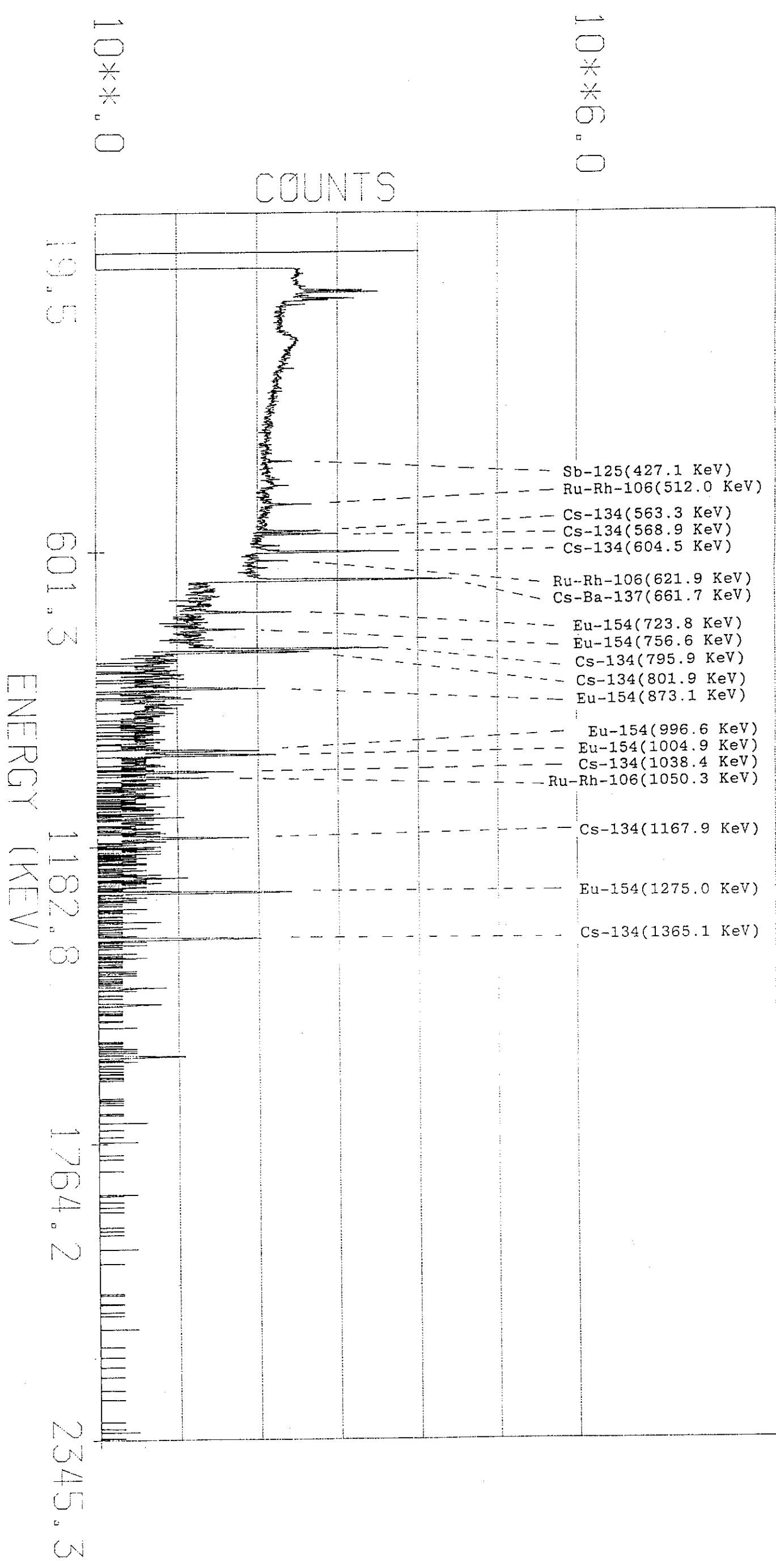


Fig. A.VIII.15 Stational spectrometry of MH-2 specimen

試験期間	H 02. 5. 15	試験名	マイクロγスキャンニング
測定方法	定点スペクトル分析	燃料集合体名	_____
データエリア名	MBPH51	燃料要素名	_____
キャリブレーションデータ		試料名	_____
測定位置	左右位置 (mm)	_____	
	上下位置 (mm)	_____	
	角度 (°)	_____	
測定時間	■ Live <input type="checkbox"/> True	1000 sec	
放射線測定器条件			
HPGe検出器	キャンベラ 2020-7600S	20% 2.0 KeV 46:1	
高圧電源	キャンベラ 3105	3000 V	
NaI 検出器	キャンベラ 10HSW10	250 mm(DIA) × 125 mm(THICK)	
高圧電源	キャンベラ 3002	1000 V	
スペクトロスコ	キャンベラ 2020	Gain	Coarse 30 Fine 4.0
		Shaping	4 μsec
MCA	キャンベラ 8180	ADC ウイルキンソン 100MHz Base line 5.5 Conv.Gain 4096 Ch.No 4096 Ch. Full Scale 2345.3 KeV Dead time 5 %	
ANTI COMPTON SYSTEM	使用 : 不使用	PEAK/COMPTON RATE	_____ :
コリーメータ	_____		
備考			

PHAS-SPECTOL

1000 sec

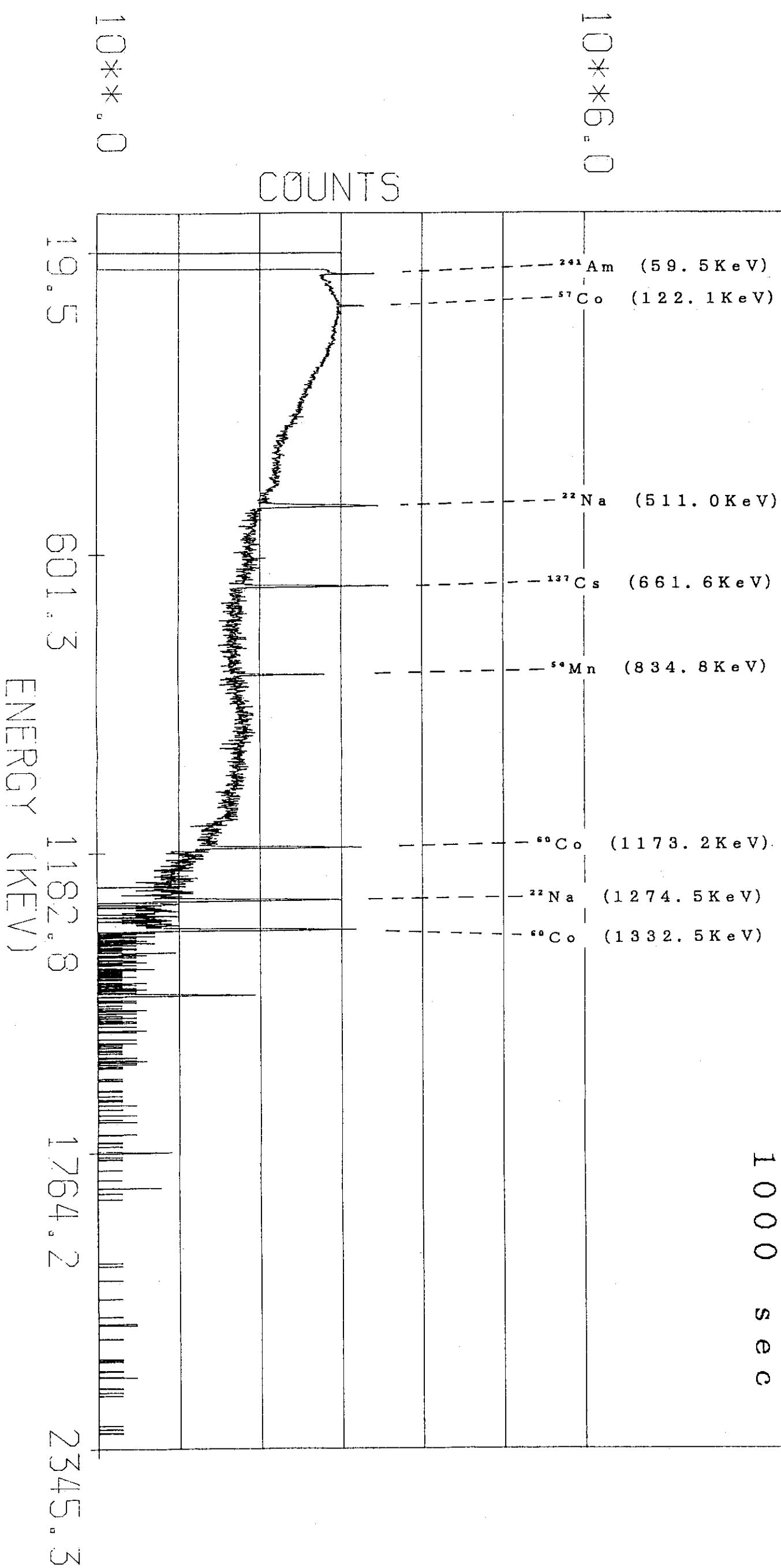


Fig. A.VIII.16 Stational spectrometry from calibration (MH-2)

Appendix IX

UO_2 Pellet Density

H L N o . H 1 5 2 燃料ペレット片の密度測定

1. 概要

- 1) 試験名：燃料ペレット片の密度測定
- 2) 試料名：MH-2短尺燃料棒の中央部のペレット
- 3) 試験目的：短尺燃料棒(32100MWD/T)のパルス照射における照射済燃料挙動研究のための密度データ取得
- 4) 試験条件：化学天秤による空气中と純水中（真空脱気後）の重量測定
- 5) 試料形状：ペレット約1.5箇相当の小片(2~4mm立方のもの23箇)
- 6) 装置仕様：化学天秤は、メトラ製B-5型，秤量範囲0~100g，
読み取り限度0.0001g(0.1mg)
真空装置は、ロータリーポンプ20l/min, 真空用デシケータを使用

2. 試験方法

- 1) 試験項目：①試験前のペレット片の目視外観
②空气中の重量測定
③純水中、ペレット片の真空脱気
④純水中の重量測定
⑤密度計算
- 2) 各試験項目の内容
表 1 に示す通り。

3. 試験結果

- 1) 各試験の結果
表1とその計算に示す通り。
- 2) 結果等からのまとめ
 - ① 密度計算の結果、燃料ペレットの密度は10.356g/cm³で、理論密度(STD)10.96g/cm³(100%TD)に対し94.53%TDであった。
 - ② 各重量測定では、原則として連続2回重量を測り、数値の確認を行った。
 - ③ 純水(蒸溜水)中の脱気後の重量測定では、H L N o . 1 4 1 のMH-1のものと同様に、初回の3分後まだ浸漬が僅かに不足し、10分後で浸漬が完了していた。
以上

表1 試験方法と結果

試験項目	内容
①ペレット片の 目視外観検査	<p>a 試験方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アルミ容器からシャーレの中へペレット片を移し換え、セル外の拡大鏡で目視により外観検査をする。 ・ピンセットで摘める大きさのペレット小片をSUS網の吊り籠(18メッシュ)に入れる。 <p>b 結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ペレット片の外観は黒灰色を呈し、形は不揃いで表面は粗い(セメントの欠けらの表面に似る)。乾燥し、付着物無し。 ・ペレットの小片(2~4mm立方)を歯科用ピンセットで採取し、吊り籠に入れる。小片の総数は23箇。
②空気中の重量 測定	<p>a 試験方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・重量測定の前後に気温を測る。 ・予め、SUS吊り籠の重量を測定する。 ・ペレット片(試料)が入った吊り籠の重量を測定する(連続2回)。各測定前に0点の確認をする。 <p>b 結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・重量測定前後のセル内の気温。 前: 23°C, 後: 23°C 代表気温: 23°C, 密度 ρ_a: 0.0012 (g/cm³) ・SUS吊り籠の重量。(2分保持) W_2: 1.4387 g ・ペレット片(試料)+吊り籠の空気中の重量測定。(連続2回) <ul style="list-style-type: none"> 1回目 (2分保持) 12.0109 g 2回目 (2+2分) 12.0107 g 代表値 W_1: 12.0108 g ・各測定前の0点を確認した。
③ペレット片の 純水中真空脱気	<p>a 試験方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・予め、吊り籠にペレット片(試料)を入れ、デシケータ内でそのまま5分間真空脱気をする。 ・試料入りの吊り籠を、デシケータ内の100ccビーカ(純水80cc入り)へ水没させ、正味30分脱気する。(途中、大気に戻し籠を水中で振ってペレットと純水をなじませる) <p>b 結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・先に、吊り籠にペレット片(試料)を入れ、デシケータ内でそのまま5分間脱気を実施した。 ・試料入りの吊り籠を、デシケータ内の100ccビーカ(純水80cc入り)へ水没させ、正味30分脱気した。最初の1分間で僅かに泡がでた。(その間、籠を水没させたまま大気に戻し籠を揺すってペレット片へ純水をなじませた。2分間3回)

表1(前頁から続く) 試験方法と試験結果

試験項目	内容																		
④純水中の重量測定	<p>a 試験方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・重量測定の前後にビーカ内の水温を測る。 ・ペレット片入りSUS吊り籠の純水中の重量を測定する(連続2回)。各測定毎に0点の確認をする。 ・試料のペレット片を籠からシャーレへ全て移し換え、SUS吊り籠を純水入りビーカ中で5分間真空脱気する。 ・SUS吊り籠のみ純水中で重量測定をする(連続2回)。各測定前に0点の確認をする。 <p>b 結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・重量測定前後のビーカ内の水温。 前: 23°C, 後: 23°C 代表水温: 23°C, 密度 ρ_w: 0.9976 (g/cm³) ・ペレット片(試料)+吊り籠の純水中重量測定。(連続2回) *1 <table> <tr> <td>初回 (3分保持)</td> <td>10.8170 g</td> <td>--採用せず</td> </tr> <tr> <td>1回目 (3+7分〃)</td> <td>10.8246 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2回目 (10+5分〃)</td> <td>10.8248 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>代表値 Wa:</td> <td>10.8247 g</td> <td></td> </tr> </table> ・各測定前の0点を確認した。 ・試料のペレット片を籠からシャーレへ全て移し換え、目視確認し、SUS吊り籠を純水入りビーカ中で5分間真空脱気した。 ・SUS吊り籠のみの純水中の重量測定。(連続2回)。 <table> <tr> <td>1回目 (3分保持)</td> <td>1.2698 g</td> </tr> <tr> <td>2回目 (3+7分〃)</td> <td>1.2708 g</td> </tr> <tr> <td>代表値 Wb:</td> <td>1.2700 g</td> </tr> </table> ・各測定前の0点を確認した。 <p>* 1; JAERI-M 7158の2頁下で指摘の、浸漬の僅か未完了のためと思う。10分保持では完了している。</p>	初回 (3分保持)	10.8170 g	--採用せず	1回目 (3+7分〃)	10.8246 g		2回目 (10+5分〃)	10.8248 g		代表値 Wa:	10.8247 g		1回目 (3分保持)	1.2698 g	2回目 (3+7分〃)	1.2708 g	代表値 Wb:	1.2700 g
初回 (3分保持)	10.8170 g	--採用せず																	
1回目 (3+7分〃)	10.8246 g																		
2回目 (10+5分〃)	10.8248 g																		
代表値 Wa:	10.8247 g																		
1回目 (3分保持)	1.2698 g																		
2回目 (3+7分〃)	1.2708 g																		
代表値 Wb:	1.2700 g																		
⑤密度計算	<p>a 計算式、数値及び結果</p> $\text{密度 } d_s = \frac{(W_1 - W_z)}{(W_1 - W_z) - (W_a - W_b)} (\rho_w - \rho_a) + \rho_a$ <p> $W_1: 12.0108 \text{ g}$ $W_z: 1.4387 \text{ g}$ $W_a: 10.8247 \text{ g}$ $W_b: 1.2700 \text{ g}$ $\rho_w: 0.9976 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ $\rho_a: 0.0012 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 数値を代入計算して。 密度 d_s は、 10.356 (g/cm³) また、理論密度(%TD)は、 $(10.36/10.96) \times 100 = 94.53\%$。以上 </p>																		

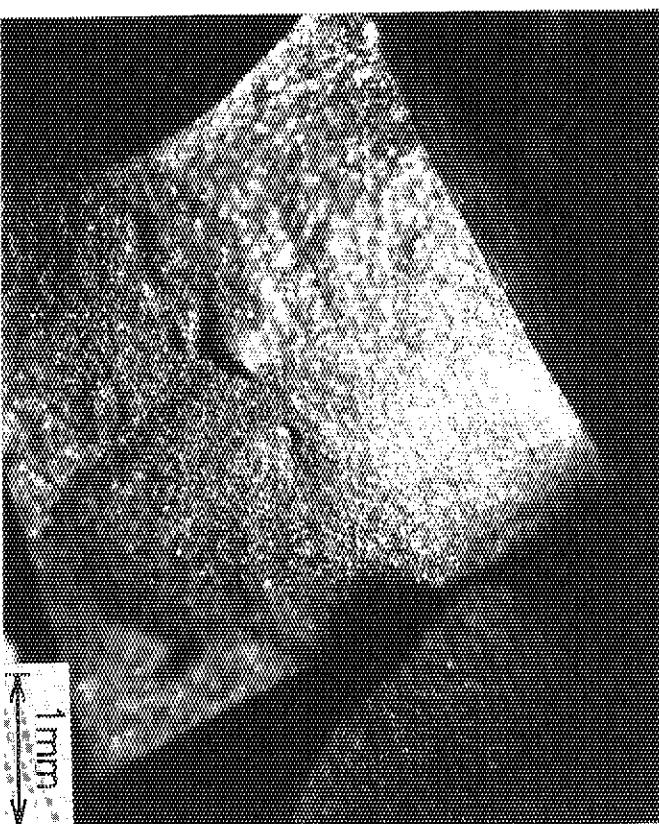
H152追加試験 反応度事故時の照射済燃料挙動研究（MH-2）

密度測定ペレット片の外観報告

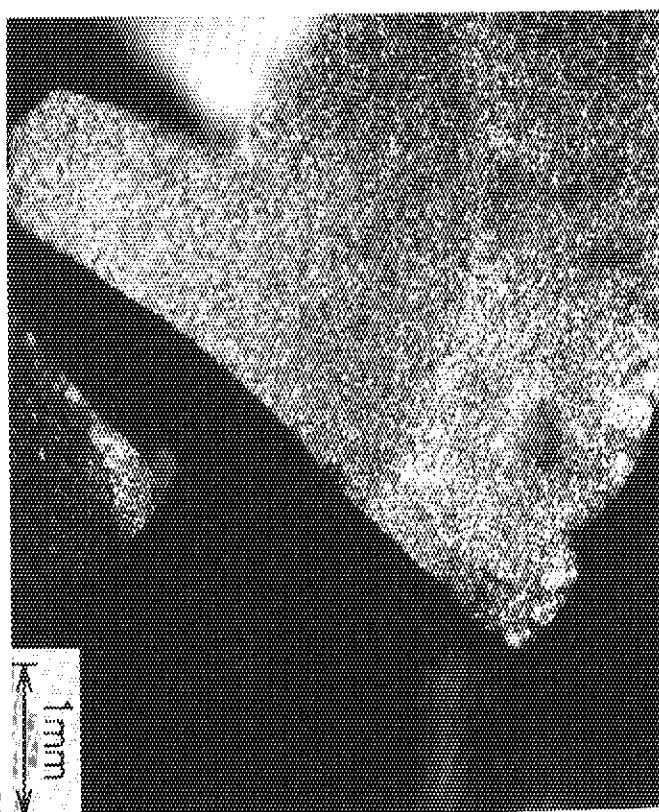
平成2年7月6日 HC 開発係

1. 試料名 HL 152 MH-2の燃料ペレット
2. 試験目的 密度測定燃料ペレット片の外観検査
3. 試料形状 切断採取ペレット片 (2~4mm立方のもの)
4. 検査条件
 - 1) 装置名 : 小型ペリスコープ (M150-II), ジュニア左No.5セル
 - 2) 撮影条件 : 対物 × 2 接眼 × 10 総合 × 20
" × 2 " × 20 " × 40
 - 3) 照明 : ハロゲンランプ 6V, 5A
 - 4) フィルム : ポラロイド 55P/N
 - 5) 試料皿 : 内径 18.5mm (ガラス板底)
5. 検査結果 台紙貼付写真及び説明記入のとおり

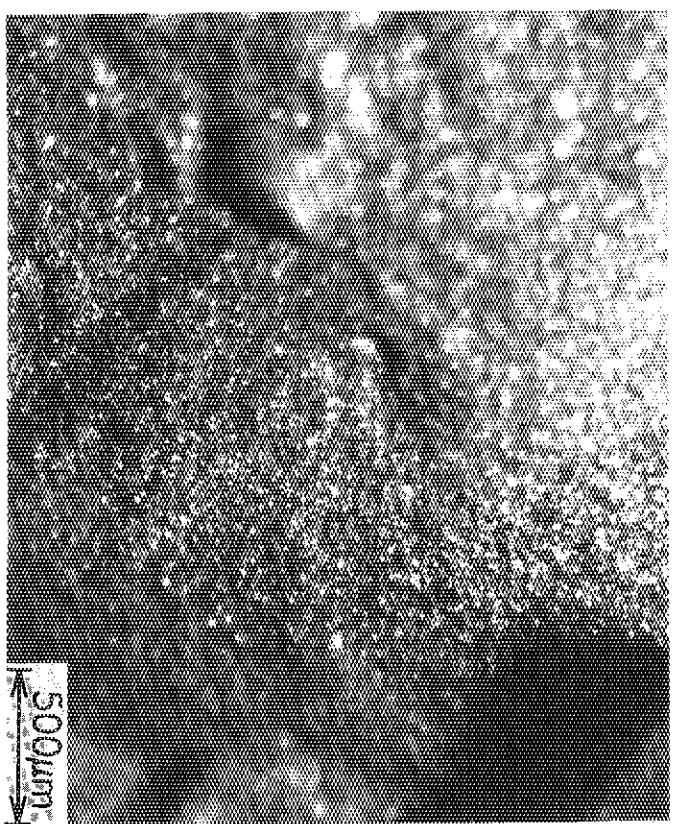
ホットラボ番号 HOT LAB No.	H152	撮影日 DATE	1990-7/3
カプセル名称 CAPSULE No.		撮影ケーブル名 CAVE	TRTE NO.5 cm
試料番号 SPECIMEN No.	MH-2	担当者 TAKEN BY	たけ



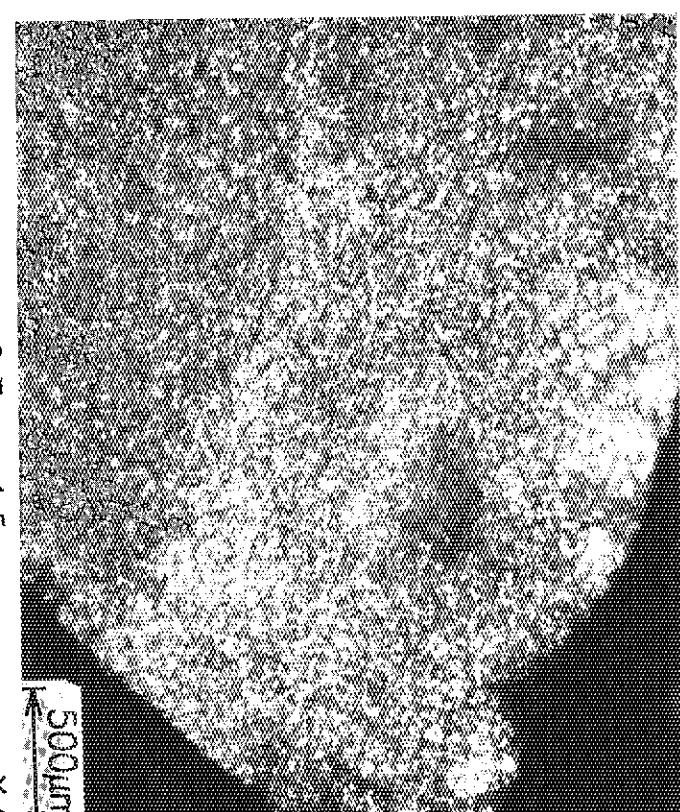
2 Fr - 4.2
× 20



2 Fr - 4.4
× 20



2 Fr - 4.3
× 40



2 Fr - 4.5
× 40

Photo. A.IX.1 Outerview of fragmented UO₂ used for density measurement

Appendix X

UO₂ Fuel Dissolve and Burn-up Analysis

1 試験概要

N S R R 照射済燃料試験における発熱量評価のため、美浜の第二回(MH-2)燃料について分析センターで行う定量分析用に燃料試験片の溶解を行い、燃料溶解液のサンプリングを行なった。

2 試 料

P W R 型短尺燃料 (02N J G K 02)

1 発熱量評価用 (T o p より N o 5 ベレット) の試料

試料の厚さ : 約 2 mm

試料型状 : 断面に亀裂が多いため樹脂注入後輪切切断

3 試験方法

試験片の重量測定後、8 mol硝酸で加熱しながら溶解を行いろ過後、4 mol硝酸で一定量に希釈し、定量分取を行なった。

試験方法の一覧を下記に示す。

燃 料	試料重量 g	溶解時間 hr	溶解温度 ℃	濾 過	分取量 ml	容器名称	容器線量率	
							容器表面 at. 30 cm	μsv/h
発熱量評価	1.1747	6	110	・被覆管 ・不溶性残渣 ・埋込樹脂 を分離する	5	M H - 2	1500	50

4 試験結果

1 0 2 N J G K 0 2 燃料棒の発熱量評価分析用燃料片の溶解液は、溶解した燃料の1/200に相当する5 mlを分取し引き渡した。

(平成2年4月27日)

2 予めエポキシ樹脂を注入した燃料棒の切断片は、断面の欠落もなく試験前後の重量測定での結果、溶解量は1.1747gであった。

別紙 1

美浜炉 照射燃料(BU 90B01, NSRR MH-2)のパルス照射発熱量評価結果

平成 2年 07月 20日

1) 測定試料

NSRR パルス照射日時： 1990.03.08 14:20

NSRR 試料番号： MH-2

分析センター BU ID No. : 90B01

燃料重量(UO_2) : 1.1747g (炉管理部ホットラボ溶解・測定)測定試料／硝酸溶解液比： 1/200(5.87mg as UO_2)

2) パルス照射の発熱量評価

a) 測定結果

測定核種	核分裂数/g UO_2 ($\times 10^{13}$)	誤差 (%)	発熱量 ^{*1} (cal/g UO_2 ^{*2})
^{140}Ba	0.97	3.0 ^{*3}	66

^{*1} : 176.4 MeV/Fission, 1 cal = 1.48×10^{11} fission として計算。^{*2} : UO_2 重量は質量分析の U 量から計算したベース照射後の値である。^{*3} : 幾つかの測定データの平均値からの標準偏差。

b) 発熱量評価結果及び誤差

$$66 (\pm 4.5\%)^{*4} \text{ cal/g } UO_2$$

^{*4} : 上記の標準偏差に測定に用いた標準線源(LMRI 社製 ^{152}Eu , ^{137}Cs) の Uncertainty: 1.5% を加えたものである。

3) 問題点

秤量による UO_2 重量(5.87mg)はホットラボにおける試料溶解前のペレット、被覆管及び注入樹脂の重量から、溶解後の不溶解残渣、被覆管及び残存樹脂の重量を差し引いたものである。この重量は質量分析の U 量から計算した重量(6.77mg(Burnup による減少を補正した初期値))の約 -13% である。この相違は、89101(TS-1)の時の相違 +1.7% に比べて、逆の傾向にあり大変大きい。

評価発熱量の予想値(108cal/g UO_2)と測定値(66cal/g UO_2)の相違は +61% で大変大きい。

燃焼度の予定値(39.0GWd/t)と測定値(38.9GWd/t)は大変良い一致を示した。

別紙2

90B01, MH-2 のベース照射燃焼率評価及び U, Pu, Nd
の同位体組成測定結果 (ベース照射終了時 : 1983.08.04)

(July/03/1990)

SAMPLE DESCRIPTION (Discharge: Aug., 04, 1983)				Initial Uranium (Atom %)			
ID Name	Assembly	Rod	Sampling Position	234	235	236	238
90B-01			(MH-2)	0.024	2.628	0.025	97.322

AS OF DISCHARGED DATE

ISOTOPE COMPOSITION (Atom %)						
ID Name	U-234	U-235	U-236	U-238	Atoms/g.soln	Pu/U
90B-01	0.0133	0.400	0.392	99.195	2.6381E+18	1.100E-02

ISOTOPE COMPOSITION (Atom %)						
ID Name	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Atoms/g.soln
90B-01	2.602	48.672	26.440	14.003	8.283	2.9015E+16

ISOTOPE COMPOSITION (Atom %)							Nd-148
ID Name	Nd-142	Nd-143	Nd-144	Nd-145	Nd-146	Nd-148	Nd-150 Atoms/gsoln
90B-01	0.637	17.021	34.806	16.044	17.659	9.255	4.578 1.8872E+15

ID Name	BURNUP	U-235	FRACTION			Pu/U (*E-3)	MWD/T
	(FIMA %)		U-238	Pu-239	Pu-241		
90B-01	3.940	0.4826	0.1024	0.3444	0.0706	10.998	38200

ID Name	BURNUP (FIMA %)			by CS-137	$^{148}\text{Nd}/\text{O}$
	by Nd-148	by ICT (MWD/T)			
90B-01	4.056	3.940 (38200)		0.000	7.154×10^{-4}

↓
38.900 MWD/t

別紙3

90B01, MH-2 のベース照射燃焼率評価及び-U, Pu, Nd
の同位体組成測定結果 (測定時、Normalized Date : 1990.06.08)

< July/03/1990 >

SAMPLE DESCRIPTION (Discharge: Aug., 04, 1983) Initial Uranium (Atom %)						
ID Name	Assembly	Rod Sampling Position	234	235	236	238
90B-01		(MH-2)	0.024	2.628	0.025	97.322

AFTER DECAY CORRECTION

Normalized Date : June/08/1990

ISOTOPE COMPOSITION (Atom %)						
ID Name	U-234	U-235	U-236	U-238	Atoms/g.soln	Pu/U
90B-01	0.0133	0.400	0.392	99.195	2.6381E+18	1.055E-02

ISOTOPE COMPOSITION (Atom %)						
ID Name	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Atoms/g.soln
90B-01	2.571	50.747	27.553	10.492	8.638	2.7823E+16

ISOTOPE COMPOSITION (Atom %)							Nd-148
ID Name	Nd-142	Nd-143	Nd-144	Nd-145	Nd-146	Nd-148	Nd-150 Atoms/gsoln
90B-01	0.637	17.021	34.806	16.044	17.659	9.255	4.578 1.8872E+15

ID Name	BURNUP (FIMA %)	U-235	FRACTION	Pu-239	Pu-241	Pu/U (*E-3)	MWD/T
90B-01	3.940	0.4826	0.1024	0.3444	0.0706	10.547	38200

ID Name	BURNUP (FIMA %) by Nd-148	FRACTION by ICT (MWD/T)	by CS-137	148Nd / t
90B-01	4.056	3.940 (38200)	0.000	7.154 X 10 ⁻⁴

↓

38,900Mwd/t

Sample No.	JM-1	JM-2	TS-1	MH-2	^{140}Ba Fy(%)
Chemical Yield(%)	69	71	79	89	
$^{140}\text{Ba} (\text{Bq/gUO}_2)$	7.46×10^5	6.70×10^5	3.98×10^5	3.79×10^5	
Burnup(%)	2.08	2.82	2.71	3.94	
F/U (%)	2.12	2.88	2.81	4.27	
Pu/U (%)	0.176	0.235	0.888	1.10	
U Corr. $1/(1+F/U+Pu/U)$	0.978	0.970	0.964	0.949	
Pu-fiss.Corr.	1.003	1.004	1.055	1.084	
$^{235}\text{U}/\text{U}$ (%)	7.85	7.08	0.936	0.400	6.2
$^{239}\text{Pu}/\text{Pu}$ (%)	90.2	86.6	62.6	50.7	5.4
$^{241}\text{Pu}/\text{Pu}$ (%)	2.10	2.82	6.6	10.5	5.7
Energy Deposition (cal/gUO ₂)	129	116	69	66	
Energ.Depo.Corr.	126	113	70	68	

(Activity : at the Pulse Irradiation)

Fissile Nuclide	^{235}U	^{239}Pu	^{241}Pu	Σ
Fission Yield(%)	6.2	5.4	5.7	
(A) Relative to ^{235}U	1.00	0.87	0.92	
JM-1 Content(%)	7.847	0.159	0.002	
(B) Relative to ^{235}U	1.00	0.020	0.000	1.02
B/A	1.00	0.023	0.000	1.023
Pu Fiss.Corr.				
$\Sigma(B/A)/\Sigma B$	1.003			
JM-2 Content(%)	7.007	0.204	0.005	
(B) Relative to ^{235}U	1.00	0.029	0.001	1.03
B/A	1.00	0.033	0.001	1.034
Pu Fiss. Corr.				
$\Sigma(B/A)/\Sigma B$	1.004			
TS-1 Content(%)	0.936	0.528	0.056	
(B) Relative to ^{235}U	1.00	0.564	0.060	1.62
B/A	1.00	0.648	0.065	1.71
Pu Fiss.Corr.				
$\Sigma(B/A)/\Sigma B$	1.055			
MH-2 Content(%)	0.400	0.535	0.111	
(B) Relative to ^{235}U	1.00	1.34	0.278	2.62
B/A	1.00	1.54	0.304	2.84
Pu Fiss. Corr.				
$\Sigma(B/A)/\Sigma B$	1.084			