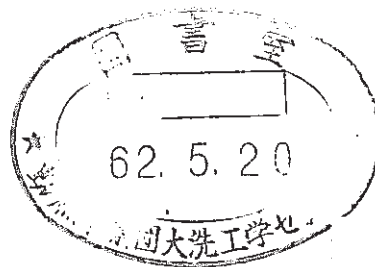


# 「常陽」MK-II炉心燃料(PFD001)の 照射後試験(2)

燃料要素の組織観察及び機器分析  
(Vol.2 データ編)



1987年2月

| 技術資料コード                             |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| 開示区分                                | レポートNo.            |
| T                                   | N9410 87-189 Vol.2 |
| この資料は 図書室保存資料です<br>閲覧には技術資料閲覧票が必要です |                    |
| 動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室           |                    |

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

1987年2月

# 「常陽」MK-II炉心燃料(PFD001)の照射後試験(2)

## 燃料要素の組織観察及び機器分析

(Vol.2 データ編)

実施責任者 甲野 啓一\*\*  
報告者 櫛田 尚也\* 鷗飼 重治\*  
          畔野 一郎\* 熊倉 忠夫\*  
          柴原 格\* 榎戸 裕二\*

### 要 旨

Vol.1では、PFD001燃料ピンの照射後試験結果の要約を記した。  
本報は、下記の詳細データを集録したものである。

- 光学顕微鏡による燃料組織観察
- EPMAによる燃料及びギャップ部の元素分析
- IMAによる燃料内質量分析
- 被覆管外表面の観察及び元素分析

---

\* 大洗工学センター 燃料材料開発部 技術解析室

\*\* 現・東海事業所 プルトニウム燃料部

## 目 次

|  |   |
|--|---|
| 1. 光学顕微鏡による燃料組織観察結果 .....                          | 1 |
| 1.1 燃料組織観察結果 .....                                 | 1 |
| 1.2 画像解析システムによる解析結果 .....                          | 2 |
| 2. EPMAによる燃料内及びギャップ部の元素分析結果 .....                  | 3 |
| 2.1 燃料内金属状 F・P 析出物 (Mo-Ru-Rh-Tc-Pd) の燃料径方向の組織変化... | 3 |
| 2.2 燃料-被覆管境界部の元素分析 .....                           | 3 |
| 2.3 半径方向 U, Pu の分布 .....                           | 3 |
| 2.4 燃料内に保持されている Xe 及び Cs の分布 .....                 | 4 |
| 3. IMAによる燃料内質量分析結果 .....                           | 5 |
| 3.1 燃料内スペクトル分析 .....                               | 5 |
| 3.2 IMAによる面分析結果 .....                              | 6 |
| 3.3 燃焼度測定結果 .....                                  | 6 |
| 4. 被覆管外表面の観察及び定量分析結果 .....                         | 7 |
| 4.1 走査型電子顕微鏡による被覆管外表面観察結果 .....                    | 7 |
| 4.2 EPMA及び IMAによる被覆管外表面定量分析結果 .....                | 7 |



## LIST OF TABLE

|   | Page |
|---|------|
| Table. 1 Summary Data from Ceramography (Fab. No. PFD001) ..... | 8    |

## LIST OF FIGURES

|  | Page |
|--|------|
| Fig. 1 A Transverse Section of a Core Fuel Pin<br>Illustrated by PINATED (Specimen No. 815226) .....   | 9    |
| Fig. 2 Circumferential Distribution of Cladding Outer<br>Diameter, Cladding Inner Diameter and Pellet Outer<br>Diameter (Specimen No. 815226) .....  | 9    |
| Fig. 3 Width of Gap to Circumferential Distribution<br>(Specimen No. 815226) .....   | 10   |
| Fig. 4 Circumferential Distribution of Dencified Equiaxed<br>Grains Region Diameter and Porous Equiaxed Region<br>Diameter (Specimen No. 815226) .....   | 10   |
| Fig. 5 Crack Fraction and Cumulative Crack Area to<br>Radius Ration (Specimen No. 815226) .....  | 11   |
| Fig. 6 A transverse Section of a Core Fuel Pin Illustrated<br>by PINATED (Specimen No. 815244) .....   | 11   |
| Fig. 7 Circumferential Distribution of Central Void<br>Area Diameter (Specimen No. 815244) .....   | 12   |
| Fig. 8 Circumferential Distribution of Cladding Outer<br>Diameter, Cladding Inner Diameter and Pellet<br>Outer Diameter (Specimen No. 815244) .....  | 12   |
| Fig. 9 Width of Gap to Circumferential Distribution<br>(Specimen No. 815244) .....   | 13   |
| Fig. 10 Circumferential Distribution of Columner Grains<br>Region Diameter, Dencified Equiaxed Grains Region<br>Diameter and Porous Equiaxed Grains Region<br>Diameter (Specimen No. 815244) ..... | 13   |
| Fig. 11 Crack Fraction and Cumulative Crack Area to<br>Radius Ration (Specimen No. 815244) .....   | 14   |

|         | Page   |
|---------|--|
| Fig. 12 | A Transverse Section of a Core Fuel Pin Illustrated<br>by PINATED (Specimen No. 815262) ..... 14   |
| Fig. 13 | Circumferential Distribution of Cladding Outer<br>Diameter, Cladding Inner Diameter and Pellet<br>Outer Diameter (Specimen No. 815262) ..... 15    |
| Fig. 14 | Width of Gap to Circumferential Distribution<br>(Specimen No. 815262) ..... 15   |
| Fig. 15 | Circumferential Distribution of Dencified Equiaxed<br>Grains Region Diameter and Porous Equiaxed Region<br>Diameter (Specimen No. 815262) ..... 16 |
| Fig. 16 | Crack Fraction and Cumulative Crack Area to<br>Radius Ration (Specimen No. 815262) ..... 16  |
| Fig. 17 | A Transverse Section of a Core Fuel Pin Illustrated<br>by PINATED (Specimen No. 815282) ..... 17   |
| Fig. 18 | Circumferential Distribution of Cladding Outer<br>Diameter, Cladding Inner Diameter and Pellet<br>Outer Diameter (Specimen No. 815282) ..... 18    |
| Fig. 19 | Width of Gap to Circumferential Distribution<br>(Specimen No. 815282) ..... 18   |
| Fig. 20 | Circumferential Distribution of Dencified Equiaxed<br>Grains Region Diameter and Porous Equiaxed Region<br>Diameter (Specimen No. 815282) ..... 19 |
| Fig. 21 | Crack Fraction and Cumulative Crack Area to Radius<br>Ration (Specimen No. 815282) ..... 19  |
| Fig. 22 | Axial Profile of the Gap & Fuel Structure ..... 20   |
| Fig. 23 | Radial Distribution of Mo, Ru, Rh, Pd and Tc Content<br>in Metallic Inclusion (Specimen No. 815244) ..... 21                                       |
| Fig. 24 | Radial Distribution of Pu-M $\beta$ and U-M $\alpha$ in the Fuel<br>(Specimen No. 815243) ..... 22   |
| Fig. 25 | Radial Distribution of Pu-M $\beta$ and U-M $\alpha$ in the Fuel<br>(Specimen No. 815244) ..... 22   |
| Fig. 26 | Radial Distribution of Pu-M $\beta$ and U-M $\alpha$ in the Fuel<br>(Specimen No. 815262) ..... 23   |
| Fig. 27 | Relative Radial Profiles of Ratained Xe and Cs Gas<br>(PFD001) ..... 25  |

|   | Page |
|---|------|
| Fig. 28 Ion Mass Spectrum of the Fuel-Cladding Interface (Specimen No. 815226) .....  | 27   |
| Fig. 29 Ion Mass Spectrum of the Half Radius Position (Specimen No. 815226) .....   | 27   |
| Fig. 30 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815226, <sup>56</sup> Fe, <sup>52</sup> Cr) .....   | 27   |
| Fig. 31 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815226, <sup>137</sup> Cs, <sup>135</sup> Cs, <sup>133</sup> Cs) .....  | 27   |
| Fig. 32 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815226, <sup>238</sup> U, <sup>235</sup> U, <sup>239</sup> Pu) .....  | 27   |
| Fig. 33 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815226, <sup>238</sup> U+ <sup>16</sup> O, <sup>235</sup> U+ <sup>16</sup> O, <sup>239</sup> Pu+ <sup>16</sup> O) .....   | 27   |
| Fig. 34 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815226, <sup>238</sup> U+ <sup>16</sup> O <sub>2</sub> , <sup>235</sup> U+ <sup>16</sup> O <sub>2</sub> , <sup>239</sup> Pu+ <sup>16</sup> O <sub>2</sub> ) ..... | 27   |
| Fig. 35 Ion Mass Spectrum of the Fuel-Cladding Interface (Specimen No. 815244) .....  | 29   |
| Fig. 36 Ion Mass Spectrum of the Half Radius Position (Specimen No. 815244) .....   | 29   |
| Fig. 37 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815244, <sup>56</sup> Fe, <sup>52</sup> Cr)   |      |
| Fig. 38 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815244, <sup>137</sup> Cs, <sup>135</sup> Cs, <sup>133</sup> Cs) .....  | 29   |
| Fig. 39 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815244, <sup>238</sup> U, <sup>235</sup> U, <sup>239</sup> Pu) .....  | 29   |
| Fig. 40 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815244, <sup>238</sup> U+ <sup>16</sup> O, <sup>235</sup> U+ <sup>16</sup> O, <sup>239</sup> Pu+ <sup>16</sup> O) .....   | 29   |
| Fig. 41 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815244, <sup>238</sup> U+ <sup>16</sup> O <sub>2</sub> , <sup>235</sup> U+ <sup>16</sup> O <sub>2</sub> , <sup>239</sup> Pu+ <sup>16</sup> O <sub>2</sub> ) ..... | 29   |

|   | Page |
|---|------|
| Fig. 42 Ion Mass Spectrum of the Fuel-Cladding Interface<br>(Specimen No. 815282) .....   | 31   |
| Fig. 43 Ion Mass Spectrum of the Half Radius Position<br>(Specimen No. 815282) .....  | 31   |
| Fig. 44 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to<br>Fuel Center (Specimen No. 815282, <sup>56</sup> Fe, <sup>52</sup> Cr) .....  | 31   |
| Fig. 45 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to<br>Fuel Center (Specimen No. 815282, <sup>137</sup> Cs,<br><sup>135</sup> Cs, <sup>133</sup> Cs) .....  | 31   |
| Fig. 46 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to<br>Fuel Center (Specimen No. 815282, <sup>238</sup> U,<br><sup>235</sup> U, <sup>239</sup> Pu) .....  | 31   |
| Fig. 47 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to<br>Fuel Center (Specimen No. 815282, <sup>238</sup> U+<br><sup>16</sup> O, <sup>235</sup> U+ <sup>16</sup> O, <sup>239</sup> Pu+ <sup>16</sup> O) .....   | 31   |
| Fig. 48 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to<br>Fuel Center (Specimen No. 815282, <sup>238</sup> U+ <sup>16</sup> O <sub>2</sub> ,<br><sup>235</sup> U+ <sup>16</sup> O <sub>2</sub> , <sup>239</sup> Pu+ <sup>16</sup> O <sub>2</sub> ) ..... | 31   |
| Fig. 49 Axial Distribution of Measured Burnup of PED001<br>(Pin No. 8152) .....   | 33   |
| Fig. 50 Composition Change of Cladding Constituents<br>as a Function of Distance from Core Bottom and<br>Cladding Outer Temperature .....   | 34   |
| Fig. 51 Results of Line Analysis Across the Transverse<br>Section Sample (No. 815284) .....   | 35   |
| Fig. 52 Depth Analysis of Cladding Outer Surface by IMA<br>(Pin No. 8152 K Tube) .....  | 37   |

## LIST OF PHOTOGRAPHS

|              |   | Page |
|--------------|---|------|
| Photo.0 - 1  | Optical Micrographs of the Metallographic Specimen Cutted from the Core Fuel Pin (Pin No. 8152) .....                   | 39   |
| Photo.0 - 2  | Optical Micrograph of the Longitudinal Section of the Core and Blanket Fuel Pin (Specimen No. 815223) As-Polished ..... | 41   |
| Photo.0 - 3  | Optical Microstructure of the Core and Blanked Fuel Pin (Specimen No. 815223) As-Polished .....                         | 43   |
| Photo.0 - 4  | Optical Micrograph of the Transverse Section of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815226) As-Polished .....               | 45   |
| Photo.0 - 5  | Optical Microstructure of the Core Fuel (Specimen No. 815226) As-Polished .....   | 47   |
| Photo.0 - 6  | Optical Micrograph of the Longitudinal Section of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815243) As-Polished .....             | 49   |
| Photo.0 - 7  | Optical Microstructure of the Core Fuel (Specimen No. 815243) As-Polished .....   | 51   |
| Photo.0 - 8  | Optical Micrograph of the Transverse Section of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815244) As-Polished .....               | 53   |
| Photo.0 - 9  | Optical Microstructure of the Core Fuel (Specimen No. 815244) As-Polished .....   | 55   |
| Photo.0 - 10 | Optical Micrograph of the Transverse Section of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815262) As-Polished .....               | 57   |
| Photo.0 - 11 | Optical Microstructure of the Core Fuel (Specimen No. 815262) As-Polished .....   | 59   |
| Photo.0 - 12 | Optical Micrograph of the Transverse Section of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815282) As-Polished .....               | 61   |



|              | Page   |
|--------------|--|
| Photo.0 - 13 | Optical Microstructure of the Core Fuel<br>(Specimen No. 815282) As-Polished ..... 63  |
| Photo.0 - 14 | Optical Micrograph of the Longitudinal Section<br>of the Core and Blanket Fuel Pin<br>(Specimen No. 815285) As-Polished ..... 65 |
| Photo.0 - 15 | Optical Micrograph of the Transverse Section of<br>the Core Fuel Pin (Specimen No. 815226)<br>As-Etched ..... 67                 |
| Photo.0 - 16 | Optical Microstructure of the Core Fuel<br>(Specimen No. 815226) As-Etched ..... 69  |
| Photo.0 - 17 | Optical Micrograph of the Transverse Section<br>of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815244)<br>As-Etched ..... 71                 |
| Photo.0 - 18 | Optical Microstructure of the Core Fuel<br>(Specimen No. 815244) As-Etched ..... 73  |
| Photo.0 - 19 | Optical Micrograph of the Transverse Section<br>of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815262)<br>As-Etched ..... 75                 |
| Photo.0 - 20 | Optical Microstructure of the Core Fuel<br>(Specimen No. 815262) As-Etched ..... 77  |
| Photo.0 - 21 | Optical Micrograph of the Transverse Section<br>of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815282)<br>As-Etched ..... 79                 |
| Photo.0 - 22 | Optical Microstructure of the Core Fuel<br>(Specimen No. 815282) As-Etched ..... 81  |
| Photo.E - 1  | Various X-ray Images of the Metallic Inclusion<br>in the Crack (Specimen No. 815244) ..... 83                                    |
| Photo.E - 2  | Various X-ray Images of the Gap Part between<br>the Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815226) .... 85                         |
| Photo.E - 3  | Various X-ray Images of the Gap Part between the<br>Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815226) ..... 87                        |
| Photo.E - 4  | Various X-ray Images of the Gap Part between the<br>Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815244) ..... 89                        |
| Photo.E - 5  | Various X-ray Images of the Gap Part between the<br>Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815244) ..... 91                        |

|             | Page  |
|-------------|---|
| Photo.E - 6 | Various X-ray Images of the Gap Part between the<br>Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815262) ..... 93 |
| Photo.E - 7 | Various X-ray Images of the Gap Part between the<br>Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815285) ..... 95 |
| Photo.E - 8 | Various X-ray Images of the Gap Part between the<br>Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815285) ..... 97 |
| Photo.E - 9 | Various X-ray Images of the Gap Part between the<br>Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815285) ..... 99 |
| Photo.S - 1 | Secondary Electron Micrographs of the Cladding<br>Outer Surface (Pin No. 8152) .....101                   |
| Photo.I - 1 | Ion Images of the Gap Part between the Core<br>Fuel and Cladding (Specimen No. 815285) ..... 103          |
| Photo.I - 2 | Ion Images of the Gap Part between the Core<br>Fuel and Cladding (Specimen No. 815285) ..... 105          |

## 1. 光学顕微鏡による燃料組織観察結果

### 1.1 燃料組織観察結果

Photo. 0-1に8152ピンからの金相試料切断位置とマクロ写真を示す。

#### (1) 試料No.815223 (縦割り, 下部インシュレータ炉心燃料境界部)

本試料は, 下部インシュレータペレットを含む縦断面試料であり, Photo. 0-2, 3にAs-Polished状態における光顕写真を示す。インシュレータペレットは, 軸方向に長いクラックが入っているが燃料組織は, 製造時とほとんど変化がなく, ディッシュ部もそのまま観察される。炉心燃料ペレットは, FPガスバブル領域, 高密度化領域, 製造時領域の三層に区分される。また被覆管についても内外面共に異状は認められない。

#### (2) 試料No.815226 (輪切り)

本試料は, 炉心燃料下端部の輪切り試料であり, As-Polished状態及びEtched状態における光顕写真をそれぞれPhoto. 0-4, 5とPhoto. 0-15, 16に示す。燃料組織は, ピン中央からFPガスバブル領域, 高密度化領域, 製造時領域からなる。クラックは, 外周部で広く, 中心部で狭いクサビ形である。

#### (3) 試料No.815243 (縦割り)

Photo. 0-6, 7にAs-Polished状態における光顕写真を示す。燃料組織は, 中心空孔, 柱状晶領域, FPガスバブル領域, 高密度化領域, 製造時領域の五層から成っている。Bottom側で中心空孔が細くなり, 本試料において中心空孔の軸方向下端が現われていることがわかる。ペレット-ペレットの境界部が2ヶ所観察され, 境界部付近の被覆管には, 若干の腐食とFP等が観察される。白色析出物は, 中心空孔内壁から柱状晶, 高密度化領域に多く観察され, 製造時領域では, ほとんど見られない。

#### (4) 試料No.815244 (輪切り)

本試料は, 炉心燃料部軸方向中心部の輪切り試料であり, そのAs-Polished状態及びEtched状態における光顕写真をそれぞれPhoto. 0-8, 9とPhoto. 0-17, 18に示す。燃料組織は試料No.815243と同様で, それらの領域はほぼ同心円状になっている。中心空孔の大きさは, 直径約0.56mmφでPFD003の0.43mmφより成長している。また, 柱状晶長短軸比は, PFD003の3.3:1に対し, 本試料では, 6.9:1と約2倍になっている。白色析出物は, 中心空孔内壁から高密度化領域にかけて多く観察され, 中心ほど粒径が大きい。また燃料-被覆管ギャップ内に局部的にFP等が観察され, 一部全面腐食も観察される。

#### (5) 試料No.815262 (輪切り)

Photo. 0-10, 11にAs-Polished状態及びPhoto. 0-19, 20にEtched状態における光



顕写真をそれぞれ示す。燃料組織は、試料No 815226 とほぼ同様であるが、F P ガスバブル領域の中央部付近では、結晶粒の成長がおこり、若干細長くなっている。燃料-被覆管ギャップ内には、F P と被覆管構成元素から成る反応層が観察され、局所的に全面腐食型の被覆管内面腐食が認められる。また、クラック内開口部の被覆管内面に金属状F P の析出が観察される。

(6) 試料No 815282 (輪切り)

本試料は、炉心燃料上端部の輪切り試料であり、As-Polished 及び Etched 状態における顕写真をそれぞれPhoto. 0-12, 0-13とPhoto. 0-21, 0-22に示す。燃料組織、白色析出物は、試料No 815226 とほぼ同様である。被覆管内面は、ほぼ全面に渡り剥離(全面腐食)し、特にギャップ幅が広い所及びクラック開口部付近は剥離が著しい。またクラック開口部付近には、F P が多く観察される。

(7) 試料No 815285 (縦割り, 上部インシュレータ境界)

本試料は、炉心燃料と上部インシュレータ境界部を含む縦割り試料でありPhoto. 0-14にそのAs-Polished状態の顕写真を示す。燃料組織は、試料No 815282 とほぼ同様である。被覆管内面は、剥離が見られインシュレータ境界には、全面腐食も認められる。インシュレータペレットには、組織変化及びクラックは見られず、製造時の状態を保持している事がわかる。

## 1.2 画像解析システムによる解析結果

輪切り試料, 815226, 815244, 815262, 815282につき、タブレット・ディジタイザーで描いた燃料ピン断面図をそれぞれFig. 1, 6, Fig.12及びFig.17に示す。この図をもとに各試料につき円周方向の被覆管内径, 外径, ペレット外径(直径値)をそれぞれFig. 2, Fig. 8, Fig.13及びFig. 18に示す。同じくギャップ幅をFig. 3, Fig. 9, Fig. 14及びFig.19に示す。高密度化領域, ガスバブル領域の直径値をFig. 4, Fig.10, Fig.15及びFig. 20に示す。なお試料No 815244の中心空孔径, 柱状晶領域の直径値は, Fig. 7とFig. 10に示す。クラック面積がペレット面積に占める割合をFig. 5, Fig.11, Fig.17及びFig.21に示す。

これらの値から各試料につき各領域径を $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ の平均値で整理した表をTable. 1に、またピン軸方向位置に対応させたものをFig. 22に示す。

## 2. EPMAによる燃料内及びギャップ部の元素分析結果

### 2.1 燃料内金属状F P析出物 (Mo-Ru-Rh-Tc-Pd相) の径方向組成変化

ピン最高線出力位置の横断面試料No. 815244の燃料内F・P分布を調べた。燃料内には、Pd相とMo, Ru, Rh, Tc, Pd相の2種の金属状F・P析出物が観察される。Pd相の観察される位置は、燃料クラック内であり、その面分析結果をPhoto. E-1に示す。

また、Mo, Ru, Rh, Tc, Pd相の金属状析出物の測定は、光顕写真×520のスリット内の中心部から高密度化領域にかけて最大10 $\mu\text{m}$ φの大きさを多数析出している中で、比較的大きい析出物(11点)を対象とした。

金属析出物中の各元素の標準試料(Pure Mo, Ru, Rh, Pd)に対する強度比を求め、これを燃料径方向位置に対応してプロットした関係をFig. 23に示す。

金属析出物の主成分は、Mo, Ruであることがわかる。

### 2.2 燃料-被覆管境界部の元素分析

#### (1) No. 815226

Photo. E-2, 3に面分析結果を示す。ギャップ内にCs, Te, Ba, Iの揮発性FPが蓄積しているものの、被覆管構成元素の溶出は、まったく認められない。

#### (2) No. 815244

Photo. E-4, 5に面分析結果を示す。ギャップ内にCs, Te, Pd, Ba, IのFPが存在し、U, Puも同時に認められるが被覆管構成元素の溶出は、ほとんど認められない。

#### (3) No. 815262

Photo. E-6に面分析結果を示す。被覆管構成元素(Fe, Cr, Ni, Mn)の一部剥離が観察される。

#### (4) No. 815285

本試料は、被覆管内面温度が最も高い炉心燃料上端部の試料であり、そのギャップ部の面分析結果をPhoto. E-7, 8に示す。ギャップ中へのCsの蓄積と被覆管構成元素(Fe, Cr, Ni, Mn)の溶出が顕著に認められる。また、Photo. E-9にインシュレーター炉心燃料境界部を含むギャップ部のCs分布測定結果を示す。Csは、インシュレーター炉心燃料境界部及びインシュレーター側のギャップ部にも存在している事がわかる。

### 2.3 半径方向U, Puの分布

#### (1) No. 815243

U, Puについて中心部より被覆管方向へ定点測定を実施(20点)した結果を Fig.24に示す。柱状晶及びガスバブル領域において明瞭なU, Puの再分布が認められ, 中心空孔の近傍では, Pu濃度が増加し, U濃度が減少していることがわかる。

(2) No.815244

U, Puについて, 中心部より被覆管方向へ定点測定を実施(28点)した結果を Fig.25に示す。本試料も中心空孔が認められた試料であり, 柱状晶, ガスバブル領域でPu濃度の増加, U濃度の減少が認められる。

(3) No.815262

U, Puについて, 中心部より被覆管方向へ定点測定を実施(20点)した結果を Fig.26に示す。本試料には, 中心空孔, 柱状晶は認められず, U, Puの再分布も生じていない。

## 2.4 燃料内に保持されているXe及びCsの分布

### (1) 測定方法

燃料内に保持されているXeは, 微量であるため, 照射電子線の吸収電流値を約 $1\mu\text{A}$ (通常測定時 $0.1\mu\text{A}$ )に増加させまた, ビーム直径も約 $50\mu\text{m}\phi$ に広げて測定した。Xe $L\alpha$ -特性X線の波長は,  $3.015\text{\AA}$ である。そこでスペクトロメータを $3.000\text{\AA}\sim 3.040\text{\AA}$ まで $0.001\text{\AA}$ ステップ毎に変化させ, 各ステップで10秒間計測し波長スペクトルをとることによりXe $L\alpha$ -X線の有無及び強度を測定した。(尚, Csのスペクトロメータ設定は,  $2.880\text{\AA}\sim 2.920\text{\AA}$ で他の条件は, 同一とした。)

### (2) 測定結果

試料No.815226, 815244, 815262, 815285につき測定したXe強度のペレット径方向分布を Fig.27に示す。Xe強度と燃料組織変化には, 明瞭な対応があり, 全試料とも高密度化領域で急激なXe強度の減少が認められる。

Csは, ペレット外周部で強度が高く, これは燃料との反応生成物が形成されているためと考えられる。ペレット内の径方向分布はXeと同様, 高密度化領域で検出限界以下まで強度が低下していることがわかる。



### 3. IMAによる燃料内質量分析

#### 3.1 燃料内スペクトル分析

##### (1) No. 815226

燃料-被覆管境界部（イオンビーム径  $150\ \mu\text{m}\ \phi$ ）の質量スペクトルを Fig. 28 に、燃料半径方向中間部（イオンビーム径  $1\ \text{mm}\ \phi$ ）の質量スペクトルを Fig. 29 に示す。燃料-被覆管境界部では、 $^{135}\text{Cs}$ 、 $^{133}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{138}\text{Ba}$  が検出される。燃料中間部では、質量数 90、138 及び 160 近辺にピークが観察される。但し、160 近辺のピークについては、140 近辺の希土類元素の一酸化物と思われる。

次に、イオンビーム径  $150\ \mu\text{m}\ \phi$  で被覆管外側より燃料中央部まで連続スキャンを行うことにより、各核種のペレット径方向分布を求めた。 $^{56}\text{Fe}$ 、 $^{52}\text{Cr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{135}\text{Cs}$ 、 $^{133}\text{Cs}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$ 、 $^{239}\text{Pu} + ^{16}\text{O}$ 、 $^{235}\text{U} + ^{16}\text{O}$ 、 $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}_2$ 、 $^{235}\text{U} + ^{16}\text{O}_2$ 、 $^{239}\text{Pu} + ^{16}\text{O}_2$  に関する測定結果をそれぞれ Fig. 30~34 に示す。

$^{56}\text{Fe}$ 、 $^{52}\text{Cr}$  は、燃焼内にピークは観察されない。また Cs は、ギャップ内と燃料外周部にピークが認められる。

##### (2) No. 815246

燃料-被覆管境界部（イオンビーム径  $150\ \mu\text{m}\ \phi$ ）の質量スペクトルを Fig. 35 に、燃料半径方向中間部（イオンビーム径  $1\ \text{mm}\ \phi$ ）の質量スペクトルを Fig. 36 に示す。燃料-被覆管境界部スペクトルから  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{135}\text{Cs}$ 、 $^{133}\text{Cs}$  及び  $^{138}\text{Ba}$  の F. P が検出される。燃料中間部のスペクトルからは、質量数 90、140 及び 160 近辺のピークが観察される。

次にイオンビーム径を  $150\ \mu\text{m}\ \phi$  で  $200\ \mu\text{m}$  間隔に被覆管外側より燃料中心空孔まで連続スキャンを行い各核種の径方向分布を求めた。 $^{56}\text{Fe}$ 、 $^{52}\text{Cr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{135}\text{Cs}$ 、 $^{133}\text{Cs}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$ 、 $^{239}\text{Pu} + ^{16}\text{O}$ 、 $^{235}\text{U} + ^{16}\text{O}$ 、 $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}_2$ 、 $^{235}\text{U} + ^{16}\text{O}_2$ 、 $^{239}\text{Pu} + ^{16}\text{O}_2$  に関する測定結果をそれぞれ Fig. 37~41 に示す。

$^{137}\text{Cs}$ 、 $^{135}\text{Cs}$ 、 $^{133}\text{Cs}$  については、ギャップ内と燃料外周部にピークが認められるが、燃料内にも若干存在していることがわかる。

##### (3) No. 815282

燃料-被覆管境界部（イオンビーム径  $150\ \mu\text{m}\ \phi$ ）の質量スペクトルを Fig. 42 に燃料半径方向中間部（イオンビーム  $1\ \text{mm}\ \phi$ ）の質量スペクトルを Fig. 43 に示す。燃料-被覆管境界部からは、 $^{133}\text{Cs}$ 、 $^{135}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{138}\text{Ba}$  の F. P が検出される。燃料中間スペクトルからは、質量数 90、140 及び 160 近辺のピークが観察される。

次にイオンビーム径を  $150\ \mu\text{m}\ \phi$  で  $200\ \mu\text{m}$  間隔に被覆管外側より燃料中央部まで連続ス

キャンを行い各核種の径方向分布を測定した。 $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{239}\text{Pu} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{235}\text{U} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}_2$ ,  $^{235}\text{U} + ^{16}\text{O}_2$ ,  $^{239}\text{Pu} + ^{16}\text{O}_2$  の測定結果を Fig. 44~48 に示す。 $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  は、ギャップ内及び燃料外周部でピークとして認められるが、燃料内にも若干存在している。

### 3.2 IMAによる面分析結果

燃料上端部 (No. 815285) の燃料-被覆管境界部の面分析結果を Photo. I-1, 2 に示す。ギャップ部には、 $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  が観察され、これらの各核種は、被覆管内面及び燃料外周部に蓄積していることがわかる。酸素の強度は、燃料外周部で強くなっている。

### 3.2 燃焼度測定結果

燃料ペレット中間部 (半径方向) をビーム径約 1 mm φ で深さ方向に 10 回測定し、その平均値から求めた燃焼度を下表に示す。

| Sample No | Secondary ion intensity |         |         | B. U (atom%) |
|-----------|-------------------------|---------|---------|--------------|
|           | Ind                     | Iu      | Ipu     |              |
| 815226    | 10643                   | 2347434 | 1045551 | 3.390        |
| 815244    | 14887                   | 2226107 | 1101698 | 4.788        |
| 815262    | 12706                   | 2378097 | 1011050 | 4.017        |
| 815282    | 9652                    | 2378436 | 755492  | 3.283        |

燃焼度 (at/o) の算出には、次式を用いた。

$$\text{at/o} = \frac{\text{INd} / (2.937 \times 0.0325)}{\text{Iu} + \text{Ipu} / 1.258 + \text{INd} / (2.937 \times 0.0325)} \times 100$$

1.258 .....U, Pu のイオン化効率比

2.937 .....U, Nd のイオン化効率比

0.0325 .....Nd の核分裂収率

IMA 測定より求めた燃焼度と計算値を、燃料ピン軸方向位置に対してプロットしたグラフを Fig. 49 に示す。

## 4. 被覆管外表面の観察及び定量分析結果

### 4.1 走査型電子顕微鏡による被覆管外表面観察結果

Photo. S - 1 に各試料の被覆管外表面の走査型電子顕微鏡写真（ $\times 800$ ， $\times 2400$ ， $\times 8000$ ）を示す。

(1) No. 815224

低温部  $386^{\circ}\text{C}$  では，K材特有の製造時加工跡（母材）が観察され，その表面には，約  $1\ \mu\text{m}\phi$  程度の微粒子が多数付着している。

(2) No. 815246

中温部  $487^{\circ}\text{C}$  では，低温部で観察された微粒子は，ほとんど見られず，表面は，製造時の加工跡（ピン周方向の溝）のみが明瞭に観察される。

(3) No. 815264，815284，8152A2

高温部  $557^{\circ}\text{C} \sim 586^{\circ}\text{C}$  では，母材表面の荒れが著しく進行し，母材の加工跡は見られず腐食，溶出により発生したと思われる溝と約  $1\ \mu\text{m}\phi$  程度の粒子状のものが多数観察される。

### 4.2 EPMA及びIMAによる被覆管外表面定量分析結果

燃料部軸方向各位置から採取した被覆管外表面試料につき，EPMAによる定量分析を実施した。Fig. 50に下端からの位置に対して，各元素の表面組成を製造時組成からの増減(wt%)でプロットした関係を示す。炉心中心から下側の低温部で認められた微粒子は，Mn，Niが高濃度化したものであり，母材でも若干Mn，Ni濃度が高くなっていることがわかる。炉心中心の中温部では，組成の変化は少ない。一方，炉心中心から上側の高温部では，逆にMn，Niが溶出し，低濃度化していることがわかる。炉心上端では，Crの溶出も認められる。また，Siは，炉心全域から溶出している。

次に，被覆管表面温度が最も高い試料（No. 815284）の試料につき，被覆管の横断面試料を作製し，表面から  $5\ \mu\text{m}$  の深さまでの定量線分析を行った。その結果を Fig. 51に示す。一方，IMAにより被覆管外表面からスパッタを繰り返すことにより，深さ方向の各元素の定量分析を行った結果を Fig. 52に示す。これらの結果から，Ni，Mn，Crの溶出が生じている領域は表面から約  $1.5\ \mu\text{m}$  の範囲の極く表面層に限られていることがわかる。

Table. 1 Summary Data from Ceramography (Fab. No. PFD001)

| Specimen No. | Distance from Pin Bottom (mm) | Clad Dia. (mm) |       | Fuel outer Dia. (mm) | Restructured Region Dia. (mm) |                 |                  |                   |                            |   | Residual Dia. Gap size ( $\mu$ m) |
|--------------|-------------------------------|----------------|-------|----------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------------|---|-----------------------------------|
|              |                               | Outer          | Inner |                      | Central Void                  | Coluamna Region | Gas Bable Region | Densified. Region | Dark Region<br>Inner Outer |   |                                   |
| 815226       | 114.8                         | 5.508          | 4.816 | 4.731                | 0                             | 0               | 2.654            | 3.487             | 0                          | 0 | 85                                |
| 815244       | 336.8                         | 5.506          | 4.810 | 4.755                | 0.561                         | 2.415           | 3.182            | 3.807             | 0                          | 0 | 55                                |
| 815262       | 508.0                         | 5.506          | 4.820 | 4.743                | 0                             | 0               | 2.827            | 3.494             | 0                          | 0 | 77                                |
| 815282       | 607.5                         | 5.506          | 4.817 | 4.715                | 0                             | 0               | 2.489            | 3.559             | 0                          | 0 | 102                               |

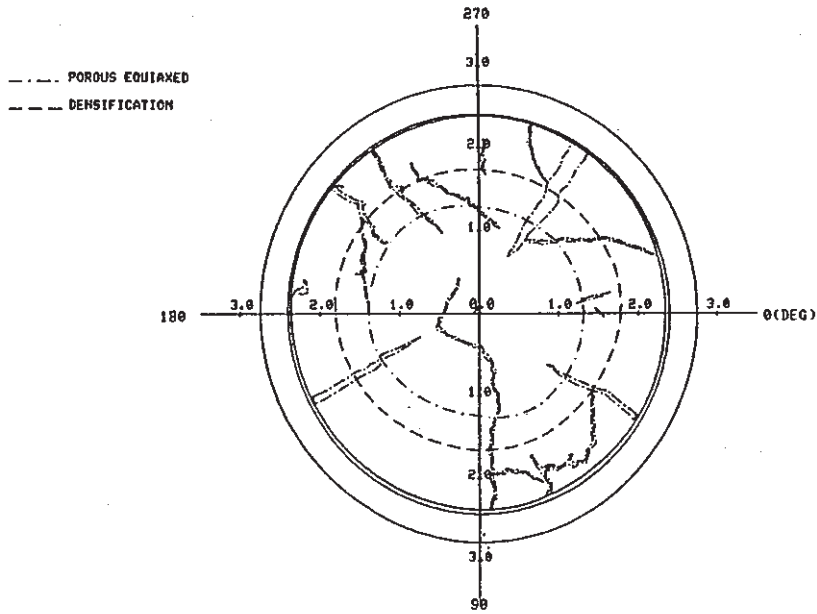


Fig. 1 A Transverse Section of a Core Fuel Pin  
Illustrated by PINATD (Specimen No. 815226)

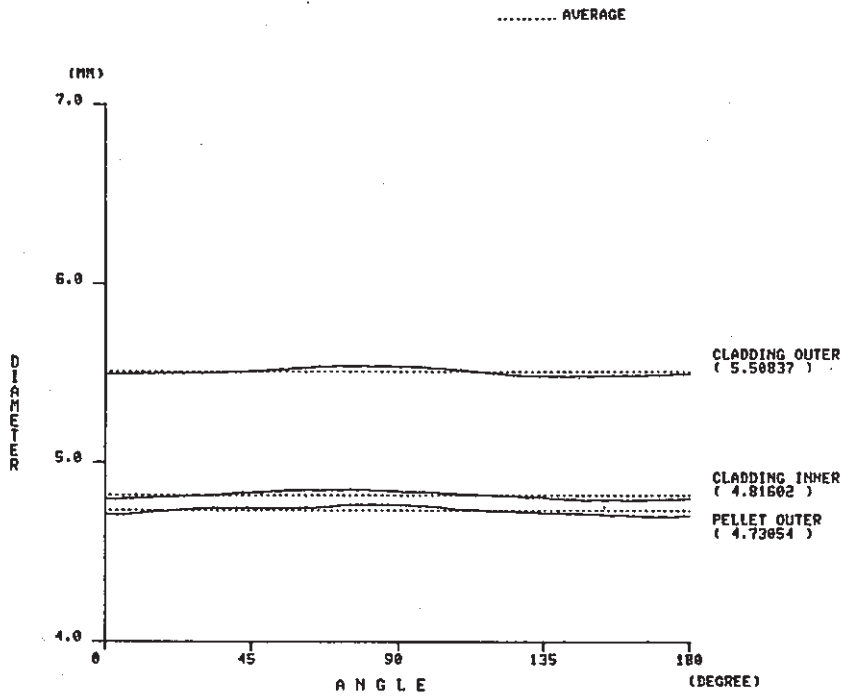


Fig. 2 Circumferential Distribution of Cladding Outer  
Diameter, Cladding inner Diameter and Pellet  
Outer Diameter (Specimen No. 815226)



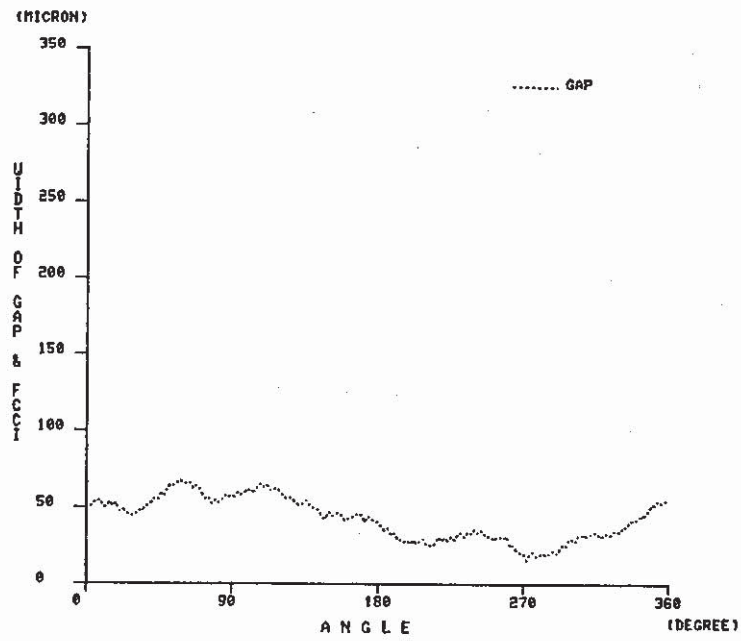


Fig. 3 Width of Gap to Circumferential Distribution (Specimen No. 815226)

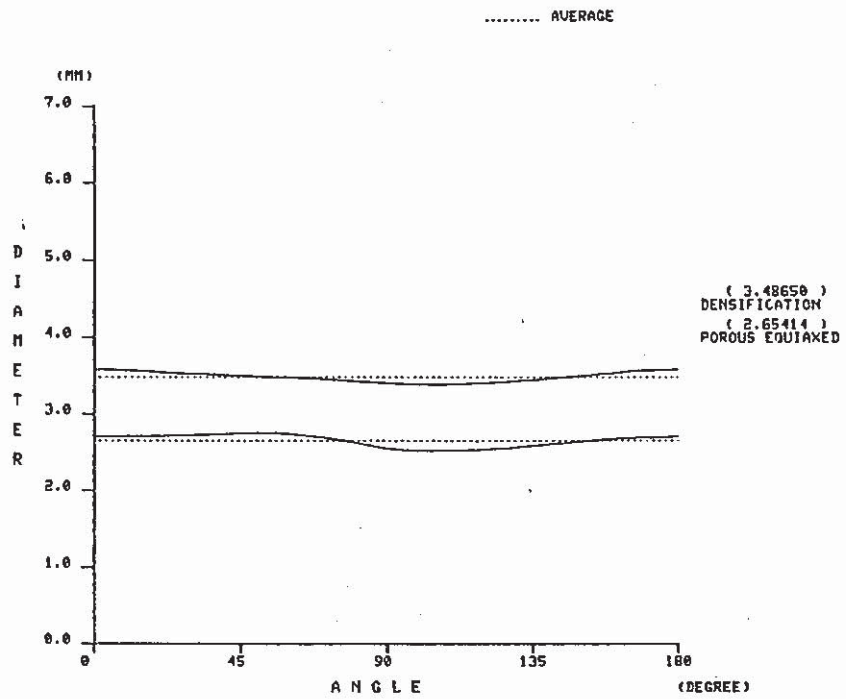


Fig. 4 Circumferential Distribution of Densified Equiaxed Grains Region Diameter and Porous Equiaxed Region Diameter (Specimen No. 815226)

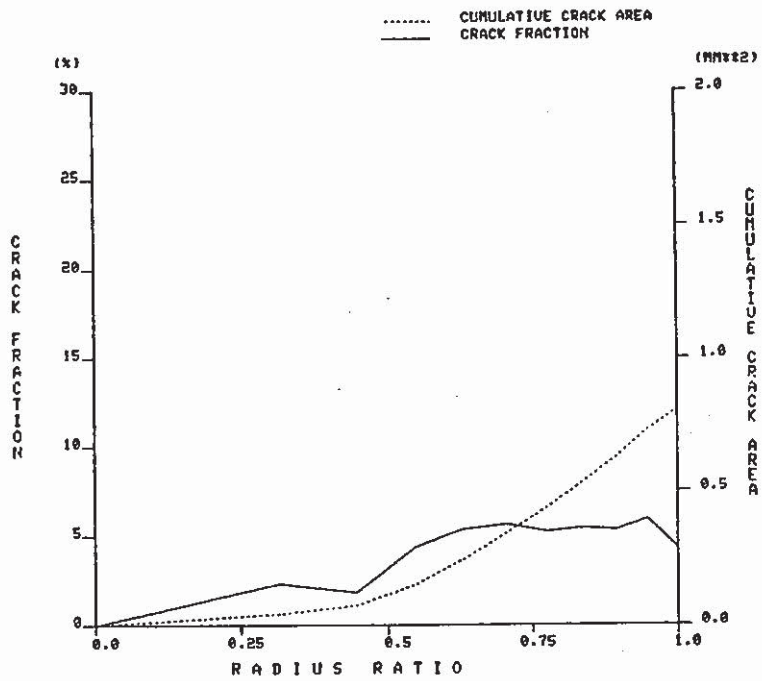


Fig. 5 Crack Fraction and Cumulative Crack Area to Radius Ratio (Specimen No. 815226)

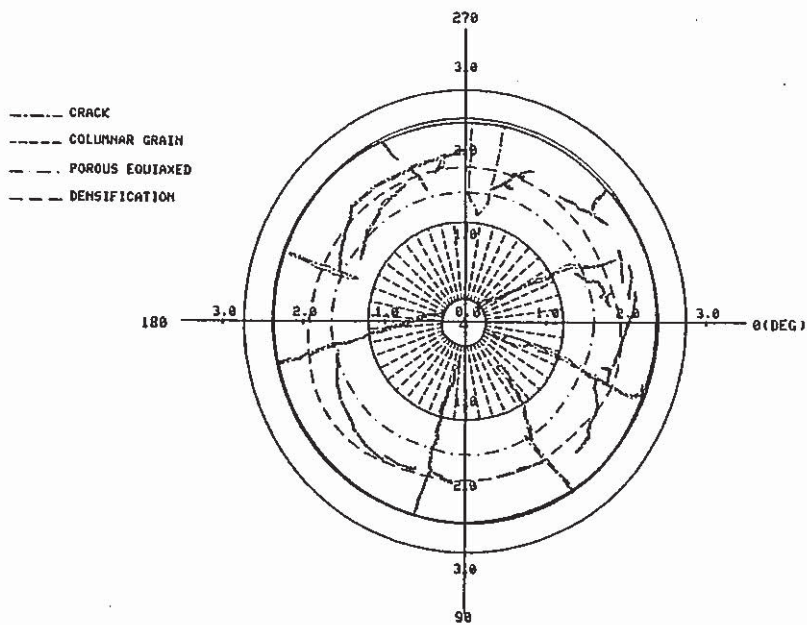


Fig. 6 A Transverse Section of a Core Fuel Pin Illustrated by PINATD (Specimen No. 815244)

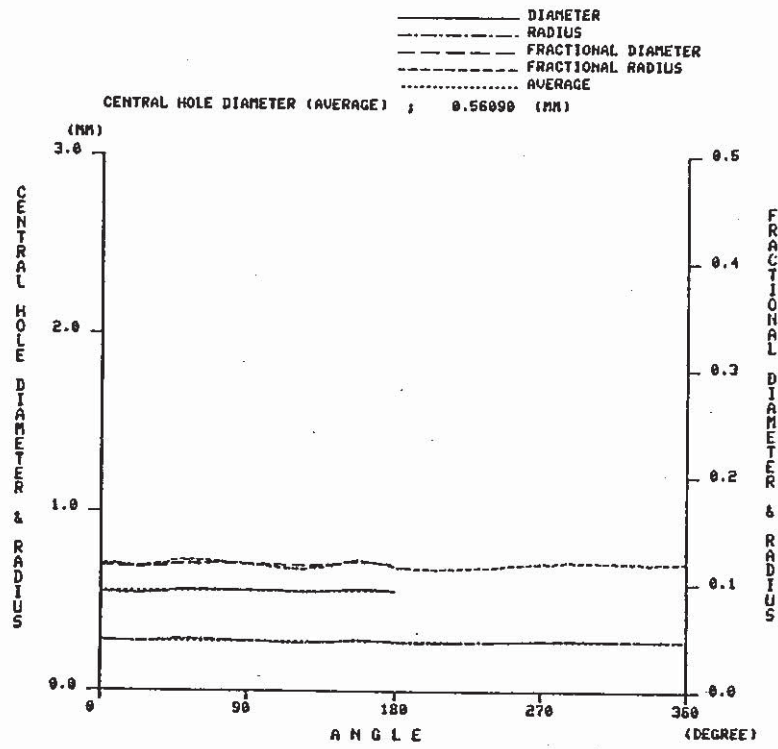


Fig. 7 Circumferential Distribution of Central Void Area Diameter (Specimen No. 815244)

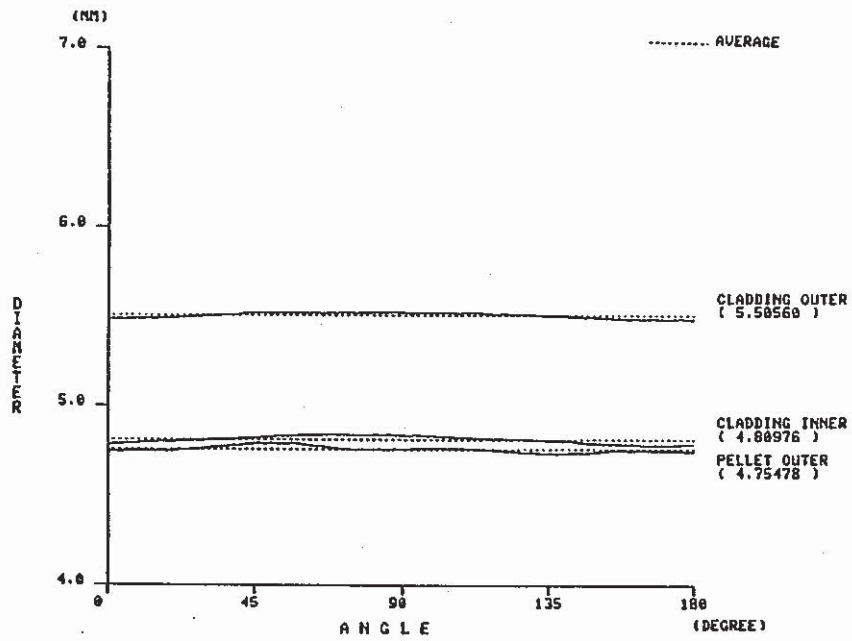


Fig. 8 Circumferential Distribution of Cladding Outer Diameter, Cladding Inner Diameter and Pellet Outer Diameter (Specimen No. 815244)

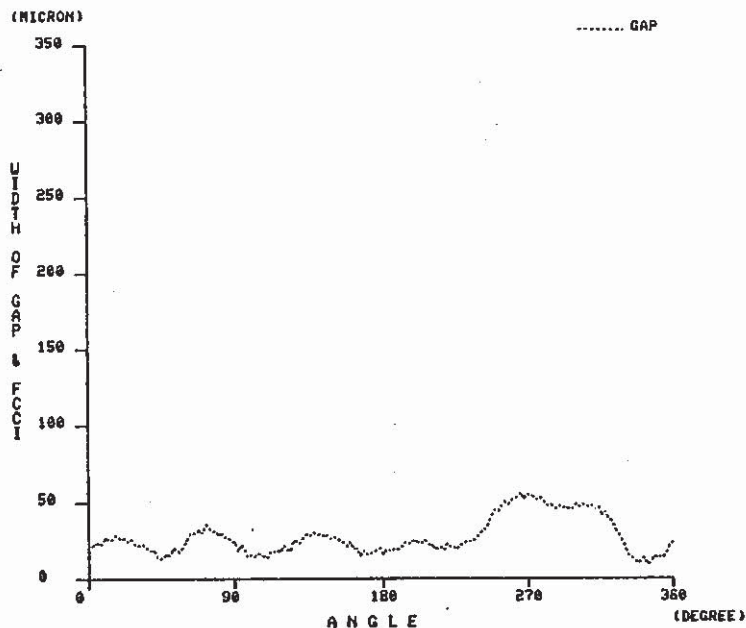


Fig. 9 Width of Gap to Circumferential Distribution (Specimen No. 815244)

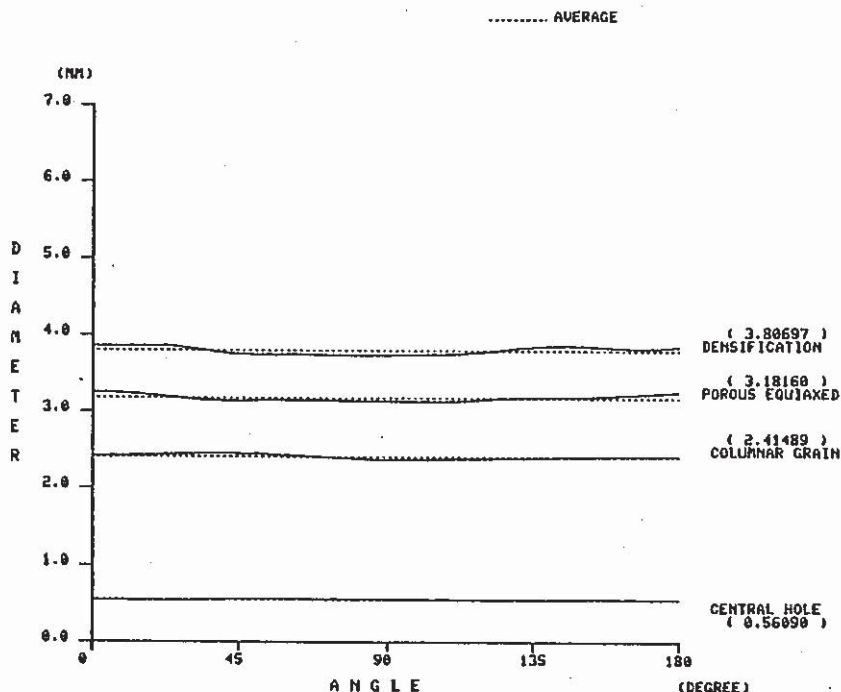


Fig. 10 Circumferential Distribution of Columnar Grains Region Diameter, Densified Equiaxed Grains Region Diameter and Porous Equiaxed Grains Region Diameter (Specimen No. 815244)

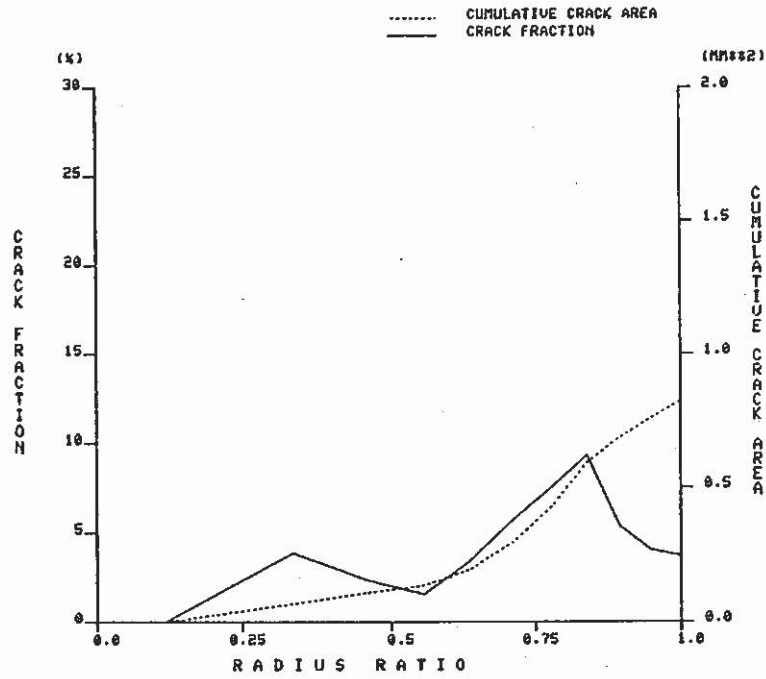


Fig. 11 Crack Fraction and Cumulative Crack Area to Radius Ratio (Specimen No. 815244)

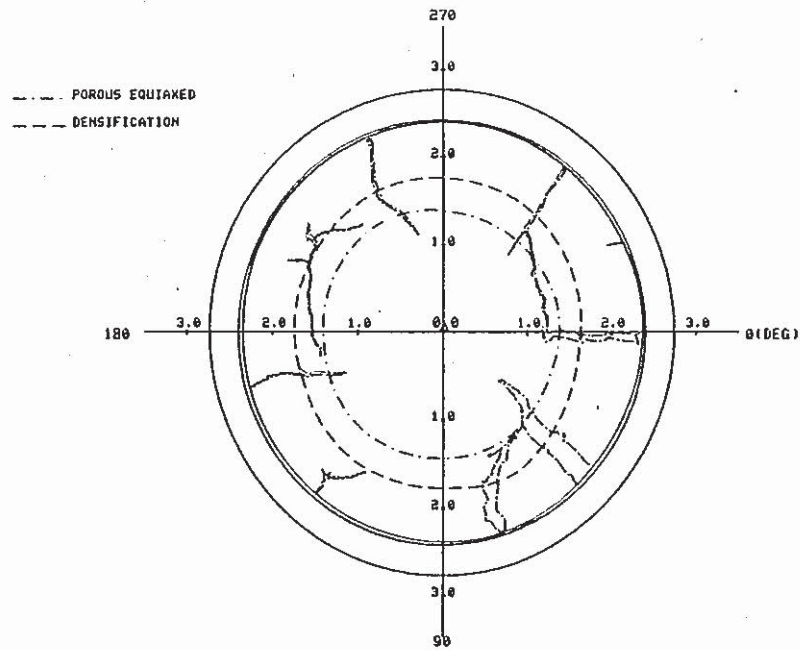


Fig. 12 A Transverse Section of a Core Fuel Pin Illustrated by PINATD (Specimen No. 815262)

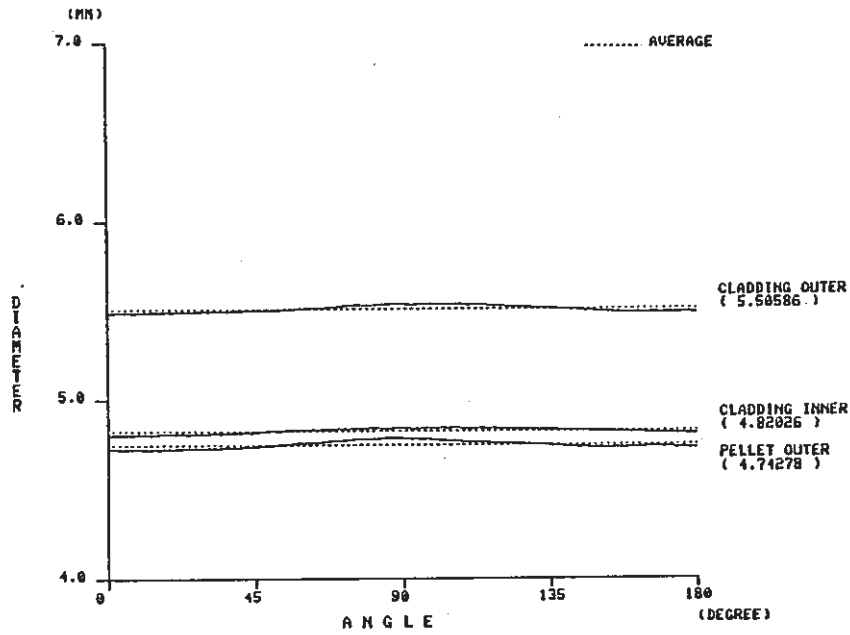


Fig. 13 Circumferential Distribution of Cladding Outer Diameter, Cladding Inner Diameter and Pellet Outer Diameter (Specimen No. 815262)

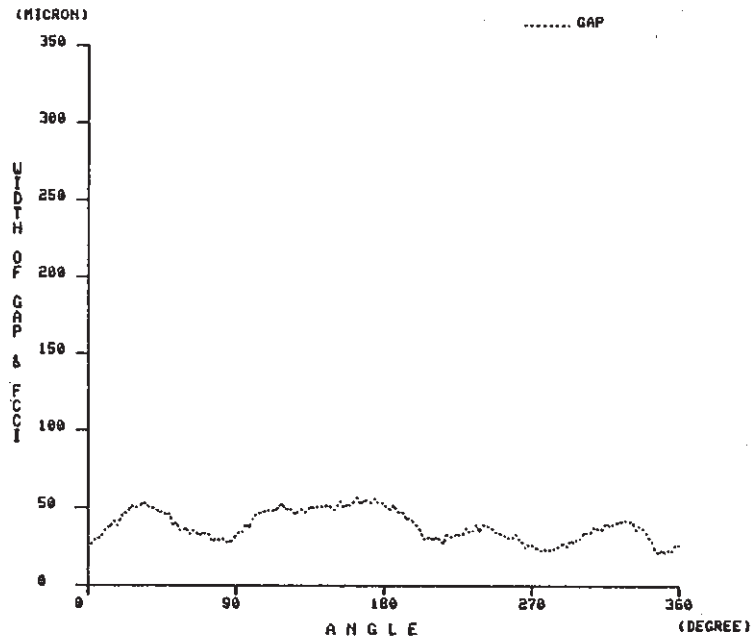


Fig. 14 Width of Gap to Circumferential Distribution (Specimen No. 815262)

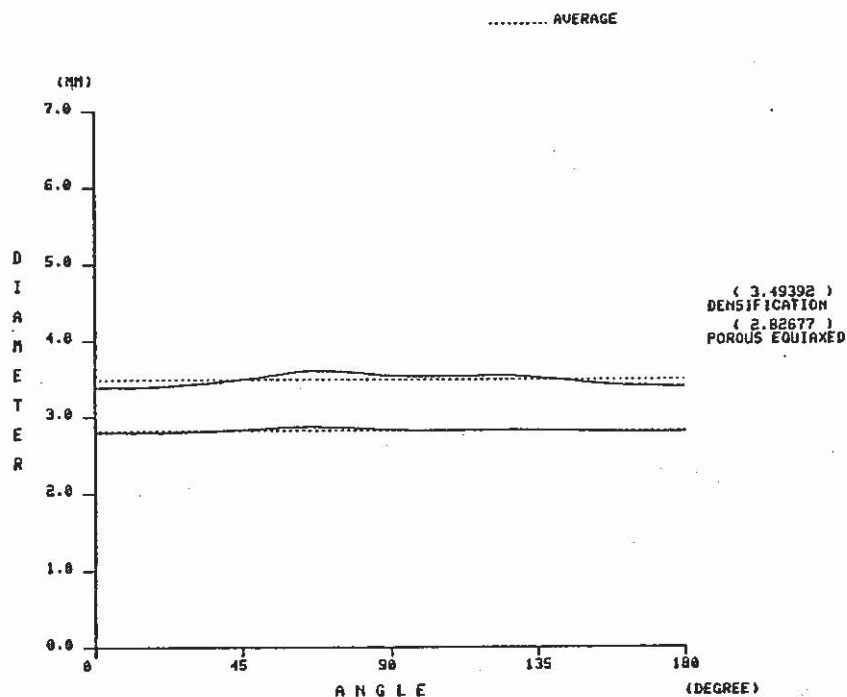


Fig. 15 Circumferential Distribution of Densified Equiaxed Grains Region Diameter and Porous Equiaxed Region Diameter (Specimen No. 815262)

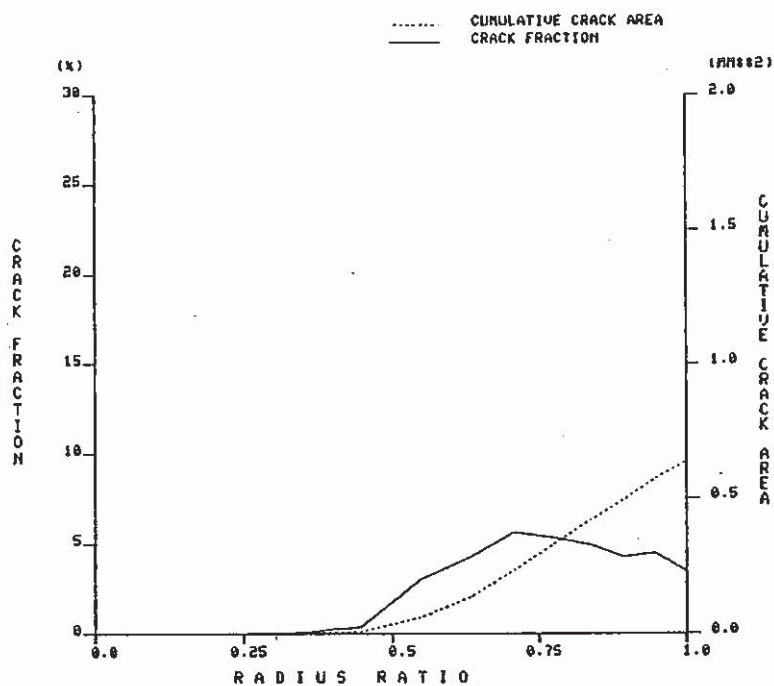


Fig. 16 Crack Fraction and Cumulative Crack Area to Radius Ratio (Specimen No. 815262)

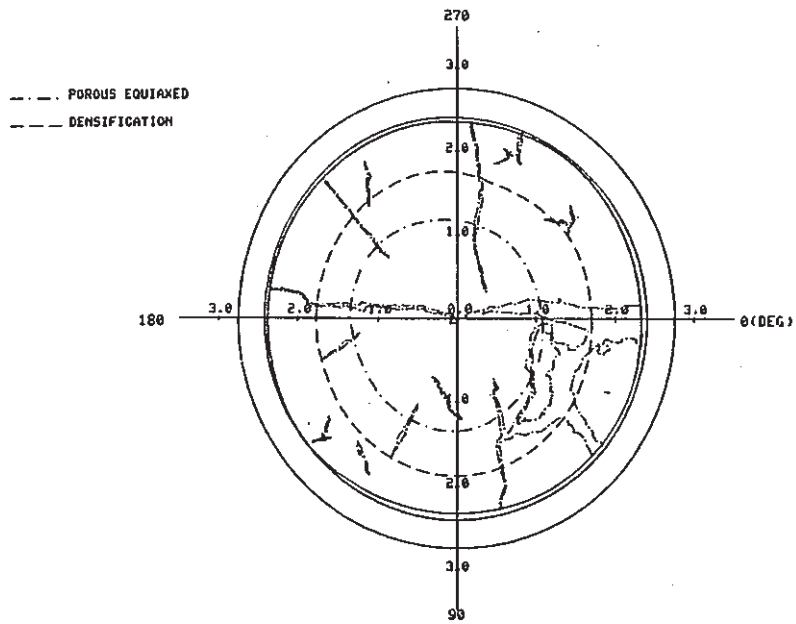


Fig. 17 A Transverse Section of Core Fuel Pin  
Illustrated by PINATD (Specimen No. 815282)



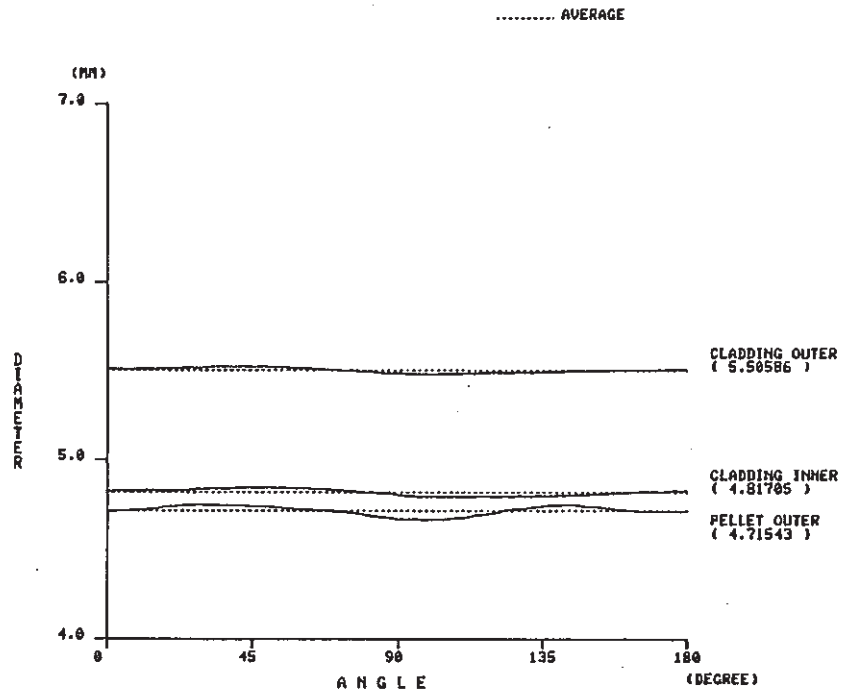


Fig. 18 Circumferential Distribution of Cladding Outer Diameter, Cladding Inner Diameter and Pellet Outer Diameter (Specimen No. 815282)

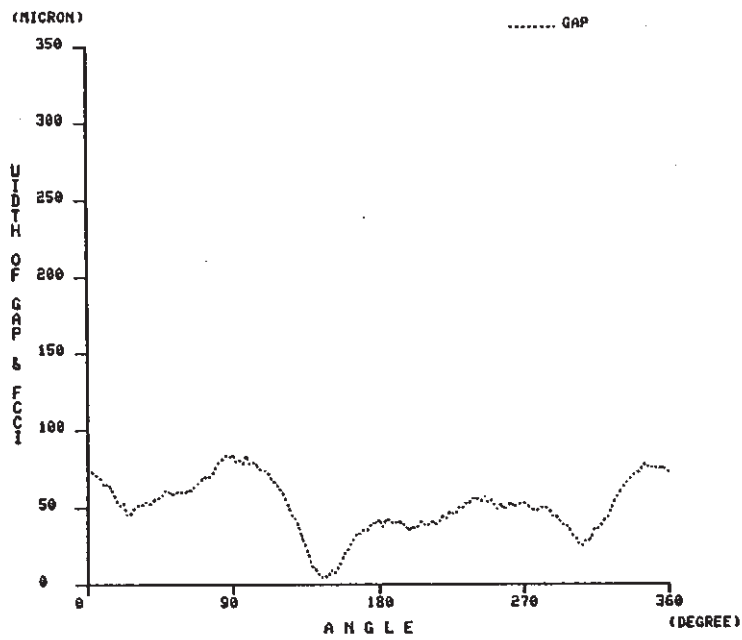


Fig. 19 Width of Gap to Circumferential Distribution (Specimen No. 815282)

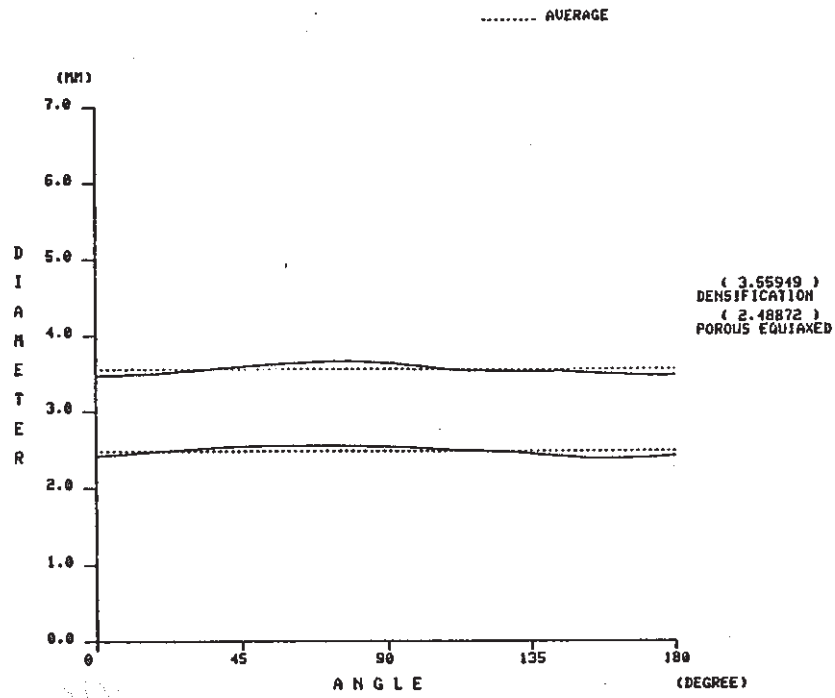


Fig. 20 Circumferential Distribution of Dencified Equiaxed Grains Region Diameter and Porous Equiaxed Region Diameter (Specimen No. 815282)

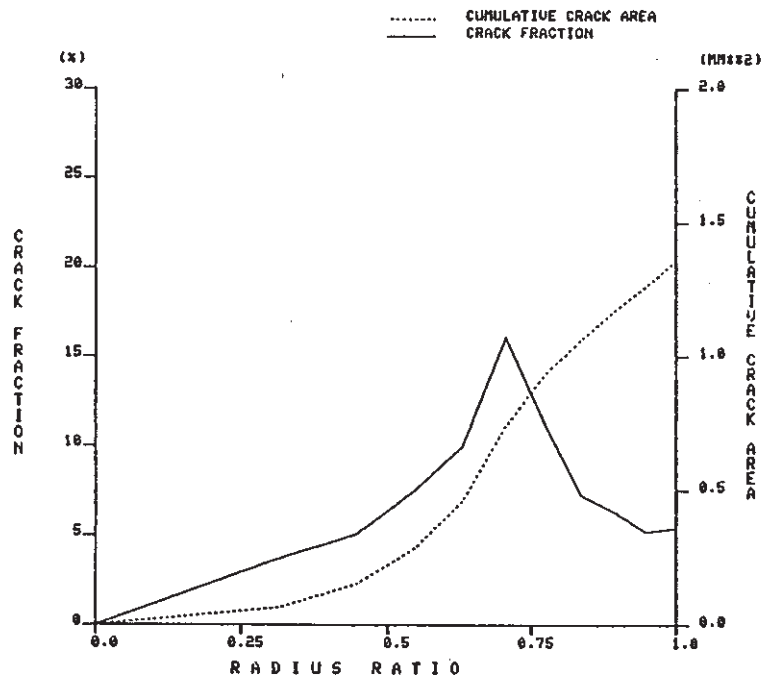


Fig. 21 Crack Fraction and Cumulative Crack Area to Radius Ratio (Specimen No. 815282)

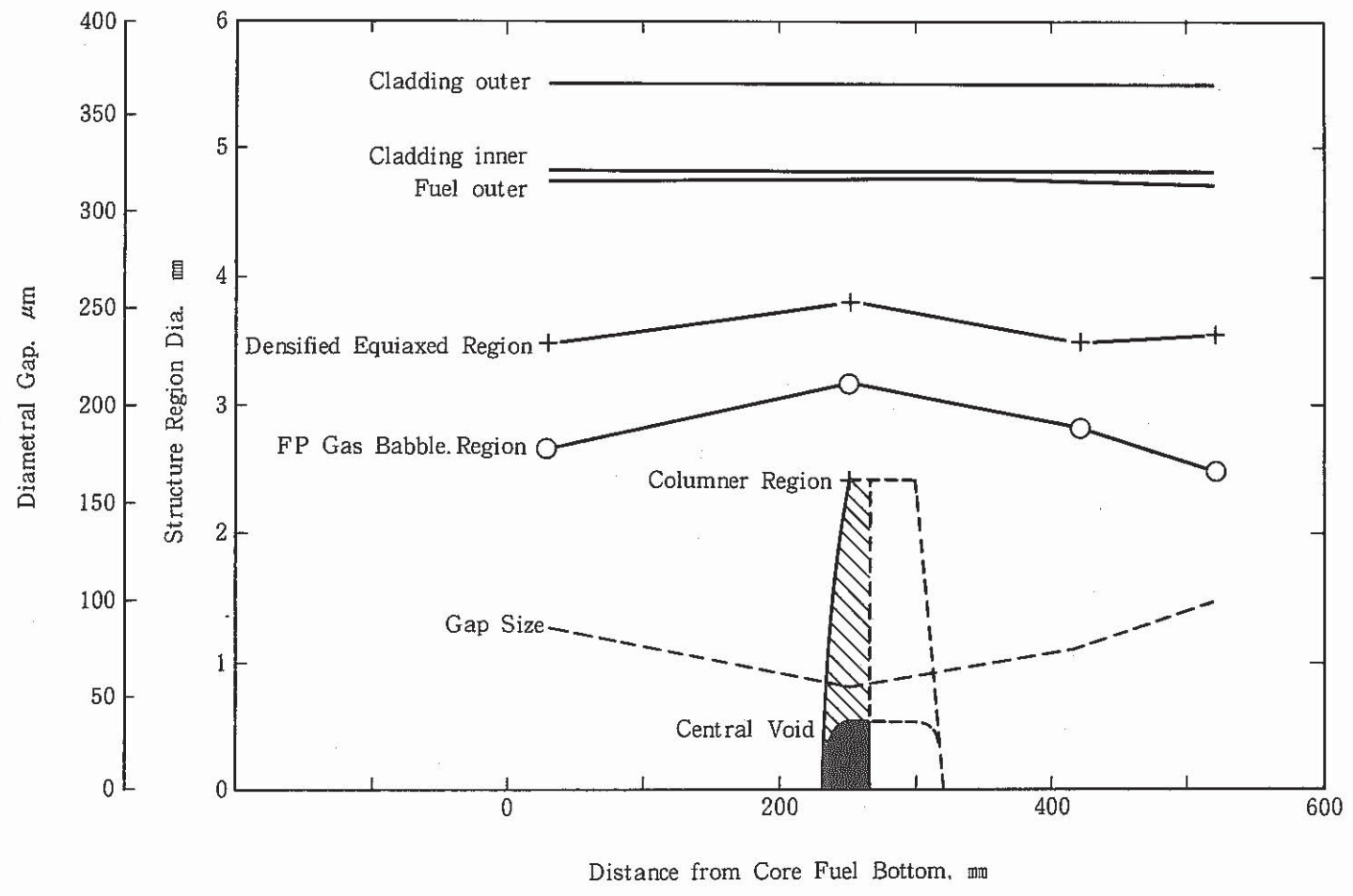


Fig. 22 Axial Profile of the Gap and Fuel Structure

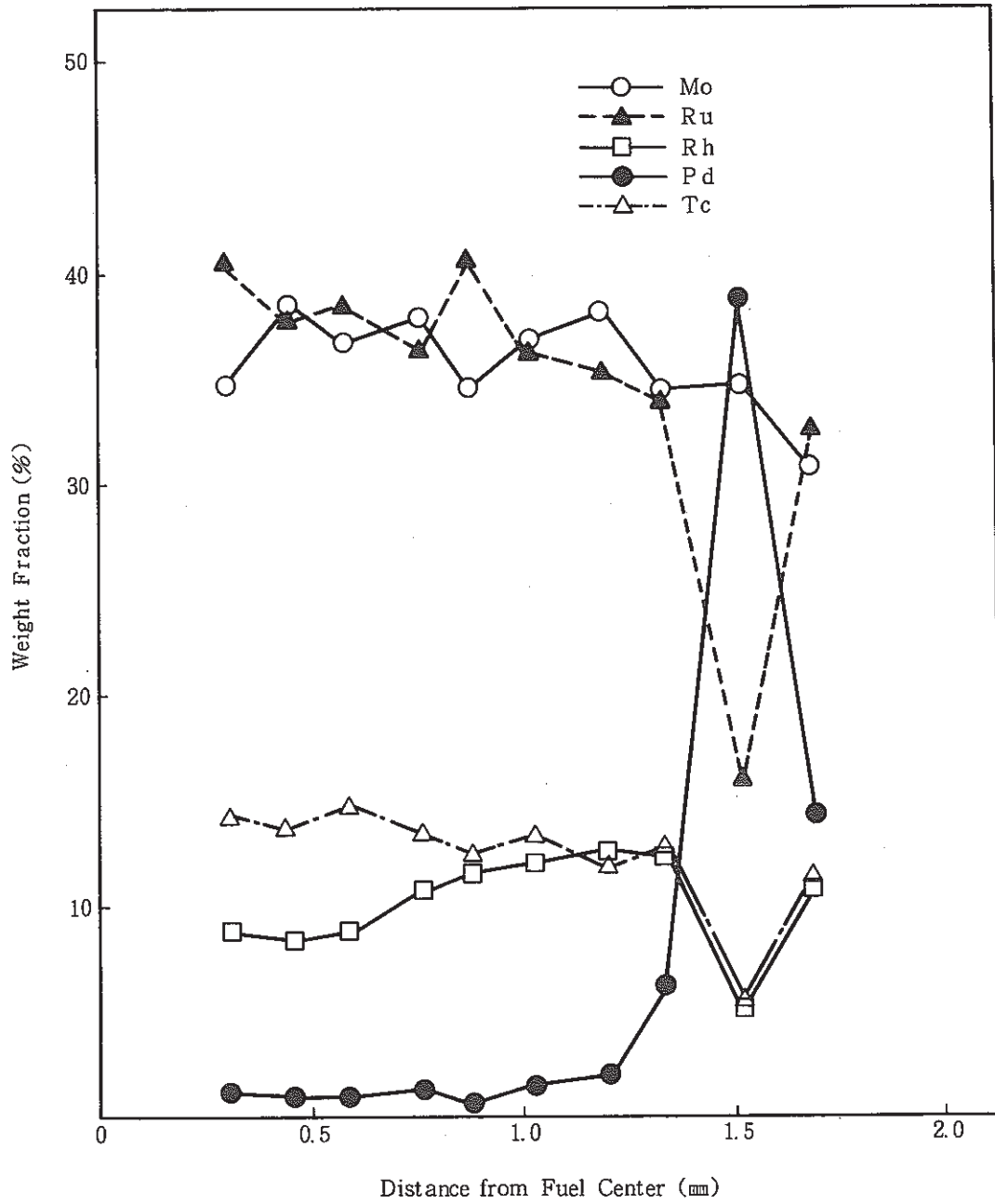


Fig. 23 Radial Distribution of Mo, Ru, Rh, Rd, and Tc Contents in Metallic Inclusion (Specimen No. 815244)

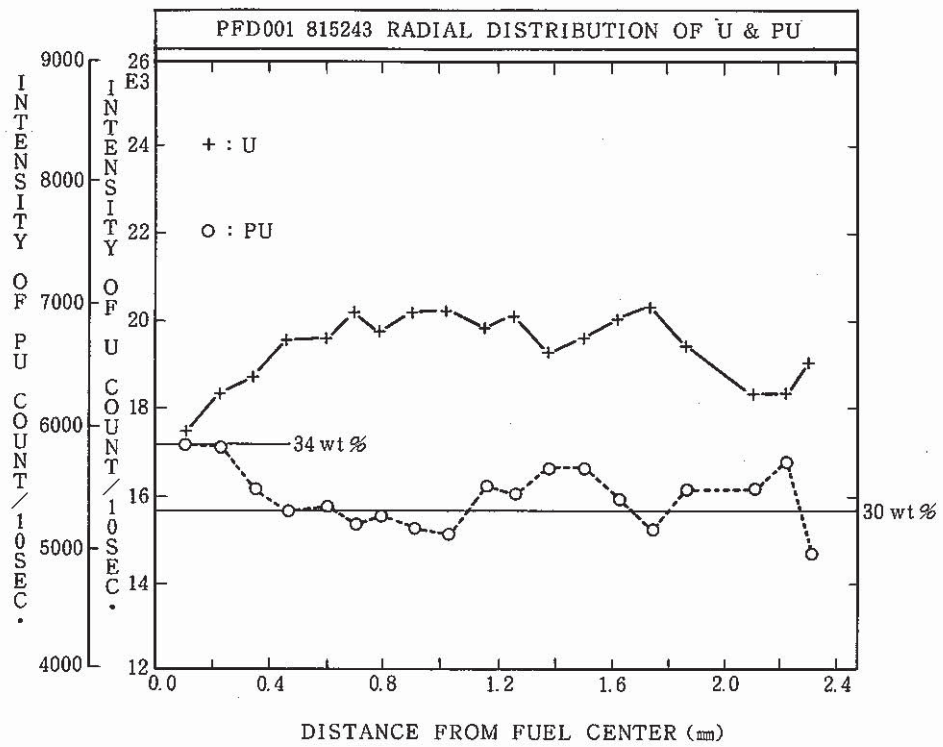


Fig. 24 Radial Distribution of Pu-M $\beta$  and U-M $\alpha$  in the Fuel (Specimen No. 815243)

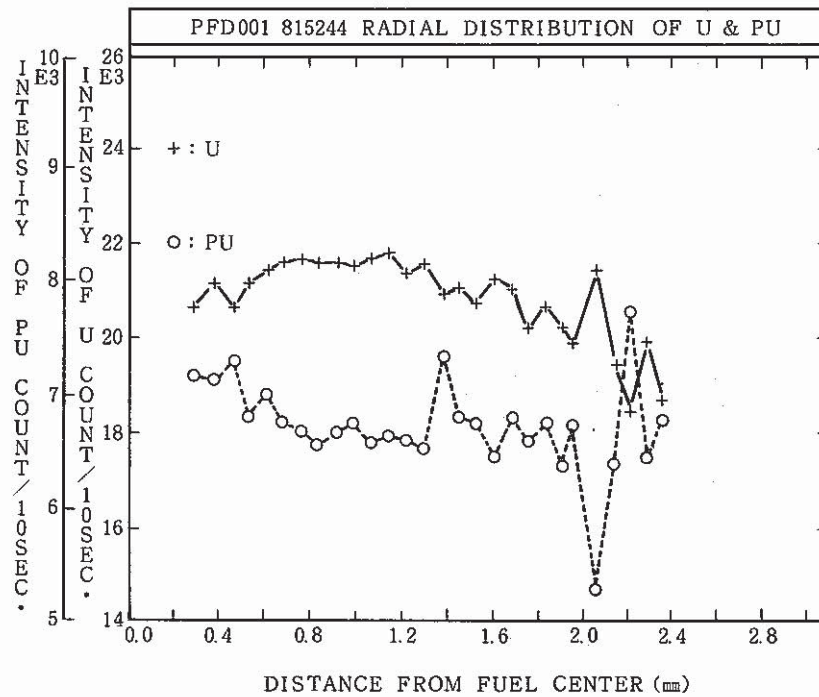


Fig. 25 Radial Distribution of Pu-M $\beta$  and U-M $\alpha$  in the Fuel (Specimen No. 815244)

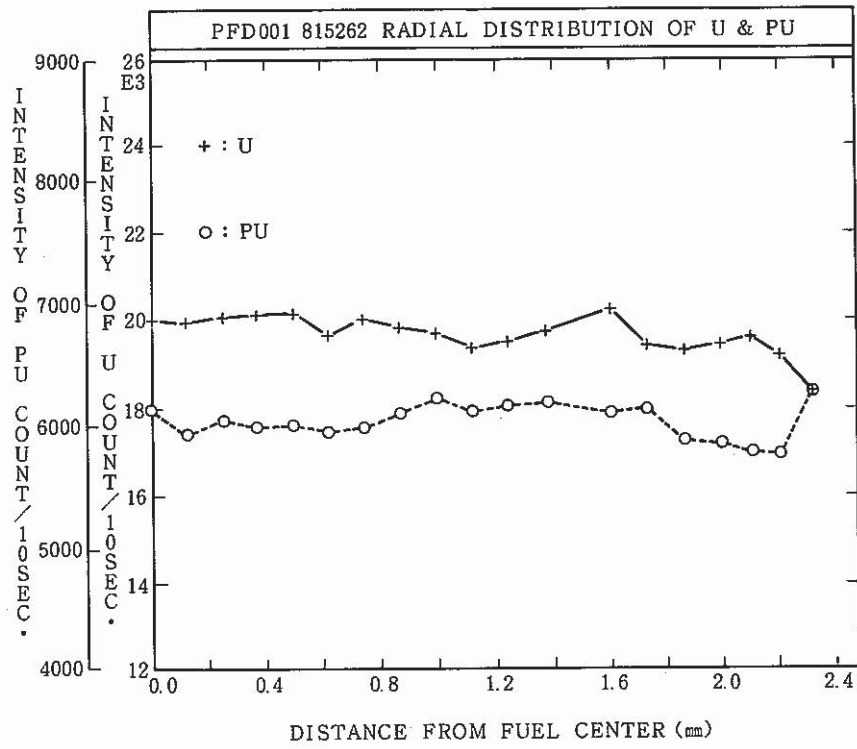


Fig. 26 Radial Distribution of Pu-M $\beta$  and U-M $\alpha$  in the Fuel (Specimen No. 815262)

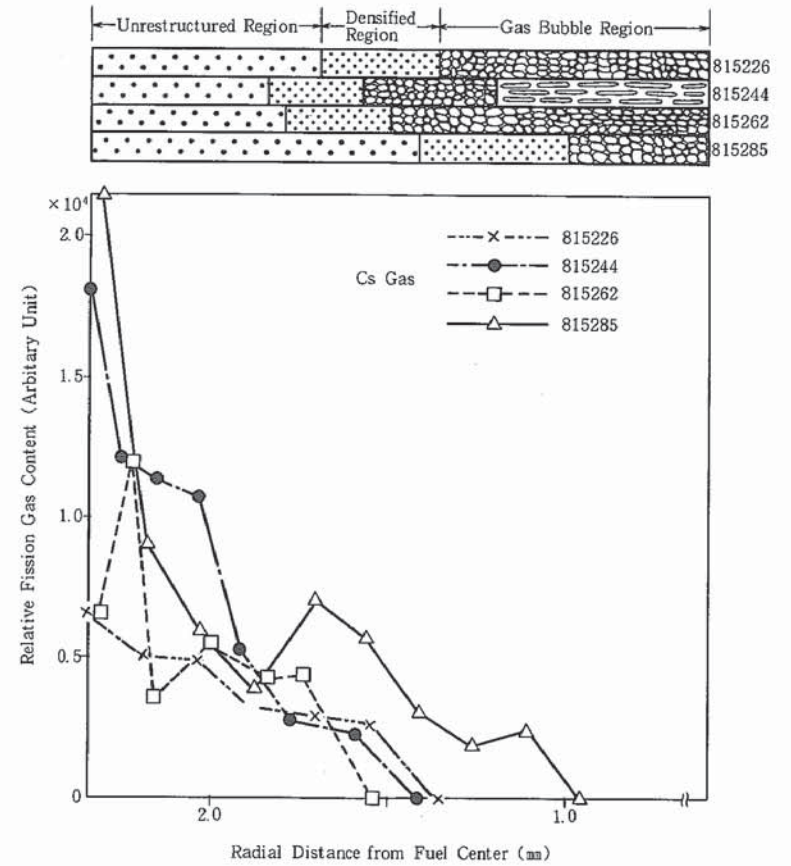
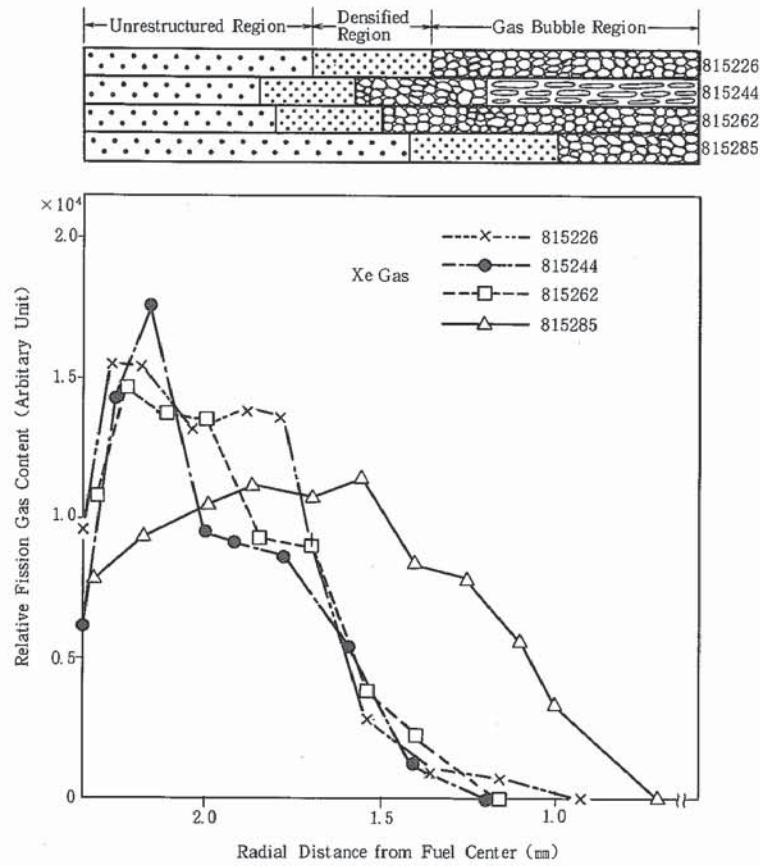


Fig. 27 Radial Profiles of Retained Xe, and Cs (PFD001)

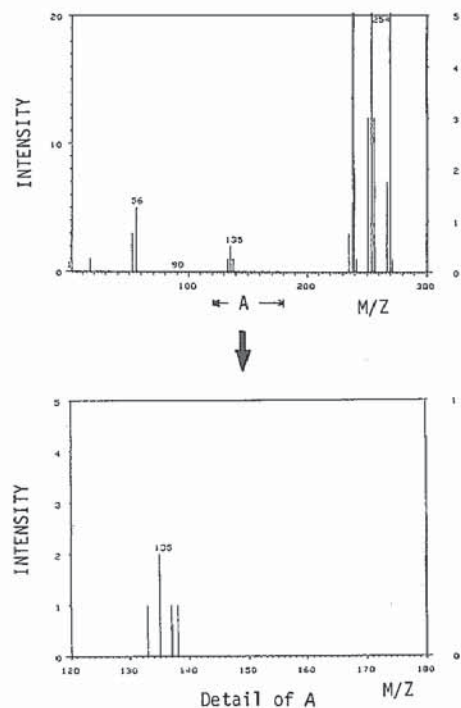


Fig. 28 Ion Mass Spectrum of the Fuel-Cladding Interface (Specimen No. 815226)

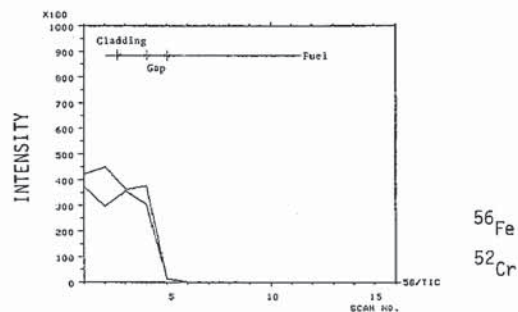


Fig. 30 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815226,  $^{56}\text{Fe}$ ;  $^{52}\text{Cr}$ )

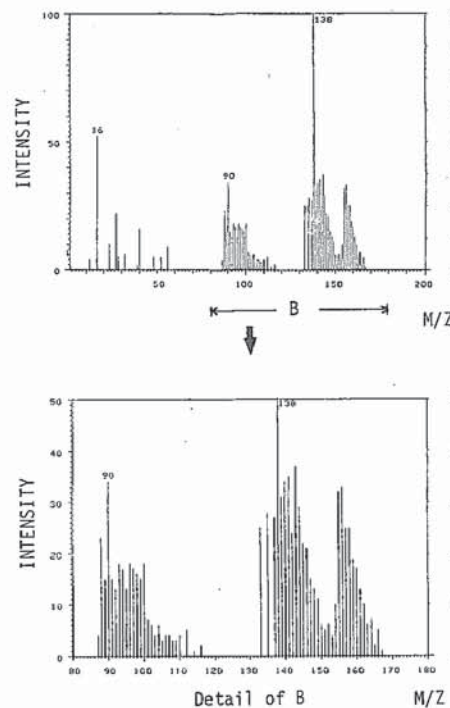


Fig. 29 Ion Mass Spectrum of the Half Radius Position (Specimen No. 815226)

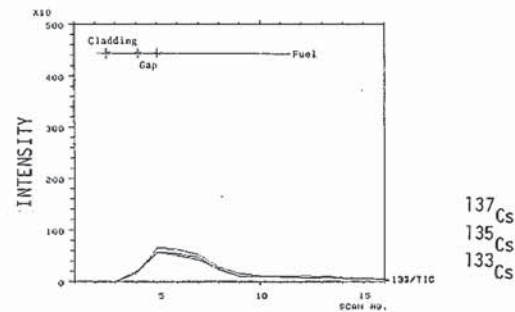


Fig. 31 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815226,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{133}\text{Cs}$ )

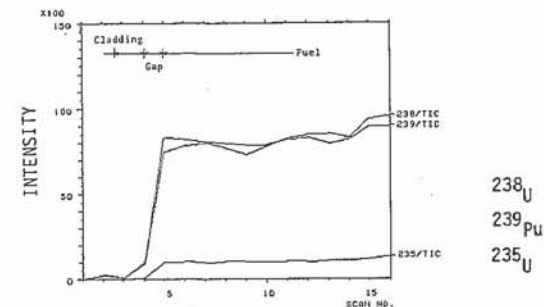


Fig. 32 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815226,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{235}\text{U}$ )

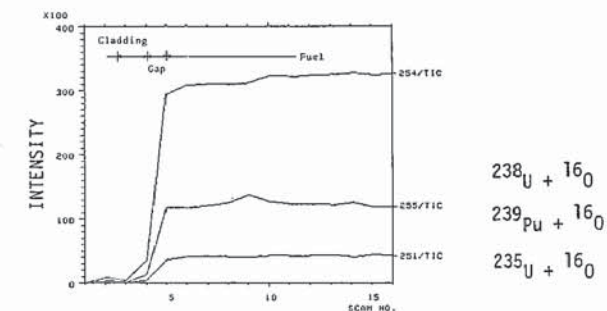


Fig. 33 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815226,  $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{239}\text{Pu} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{235}\text{U} + ^{16}\text{O}$ )

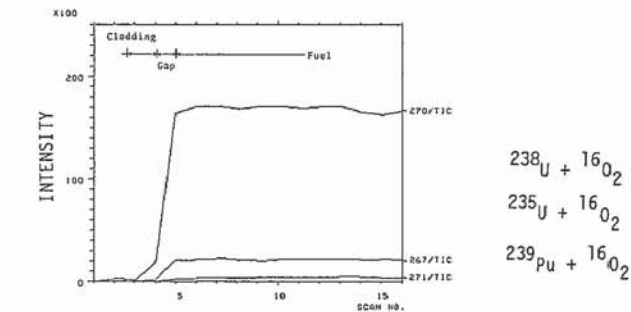


Fig. 34 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815226,  $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}_2$ ,  $^{235}\text{U} + ^{16}\text{O}_2$ ,  $^{239}\text{Pu} + ^{16}\text{O}_2$ )



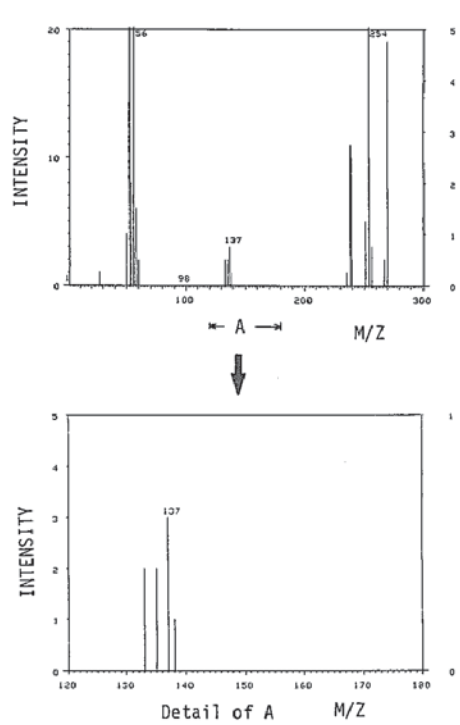


Fig. 35 Ion Mass Spectrum of the Fuel-Cladding Interface (Specimen No. 815244)

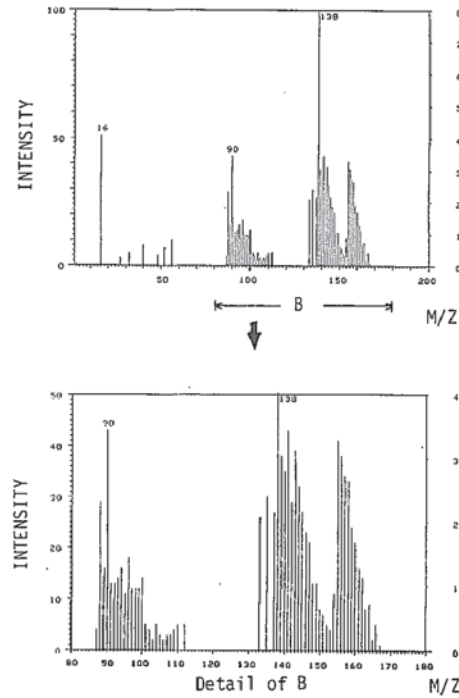


Fig. 36 Ion Mass Spectrum of the Half Radius Position (Specimen No. 815244)

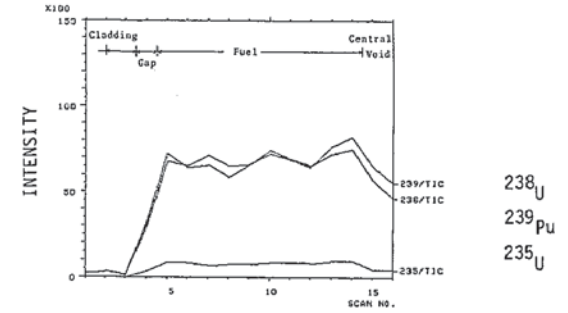


Fig. 39 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815244,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{235}\text{U}$ )

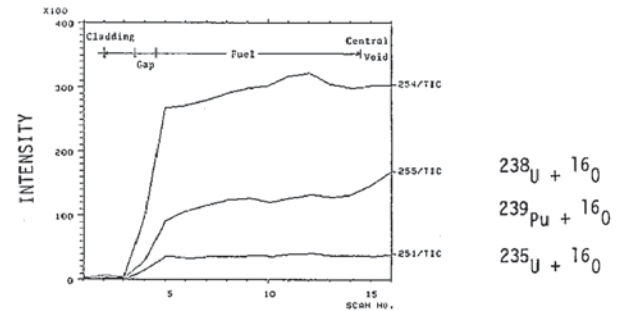


Fig. 40 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815244,  $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{239}\text{Pu} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{235}\text{U} + ^{16}\text{O}$ )

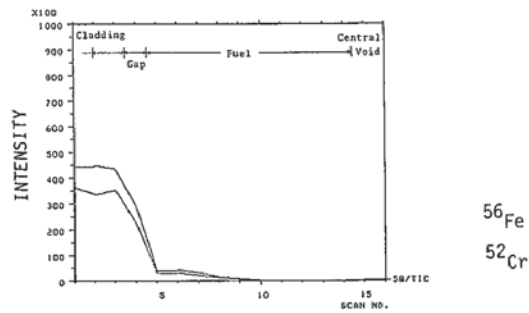


Fig. 37 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815244,  $^{56}\text{Fe}$ ;  $^{52}\text{Cr}$ )

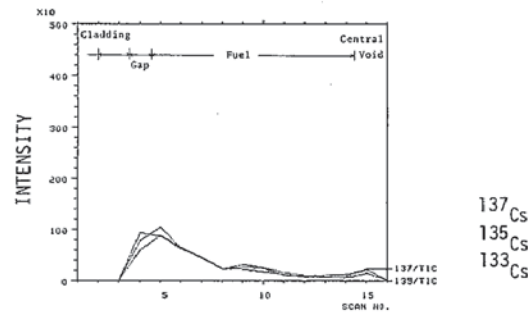


Fig. 38 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815244,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{133}\text{Cs}$ )

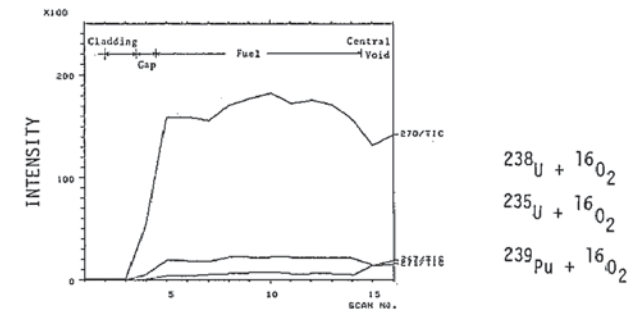


Fig. 41 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815244,  $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}_2$ ,  $^{235}\text{U} + ^{16}\text{O}_2$ ,  $^{239}\text{Pu} + ^{16}\text{O}_2$ )

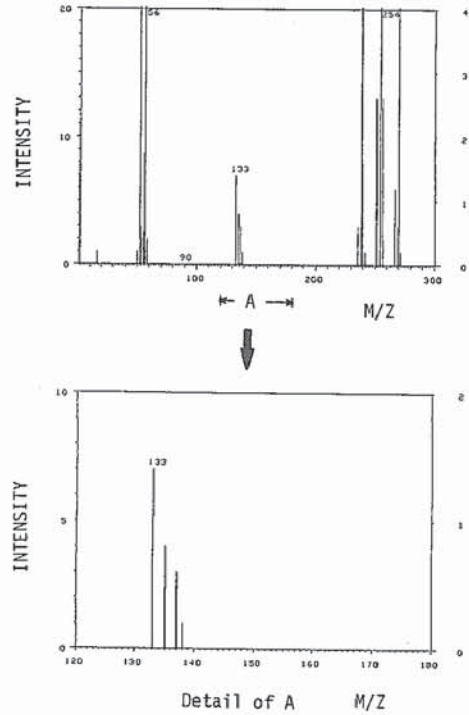


Fig. 42 Ion Mass Spectrum of the Fuel-Cladding Interface (Specimen No. 815282)

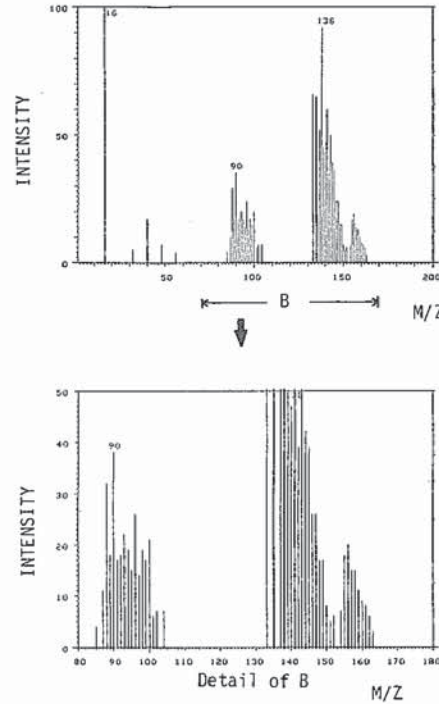


Fig. 43 Ion Mass Spectrum of the Half Radius Position (Specimen No. 815282)

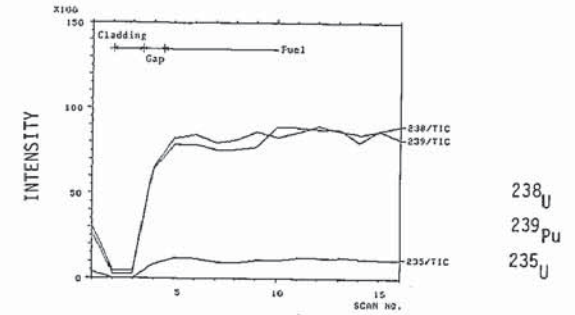


Fig. 46 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815282,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{235}\text{U}$ )

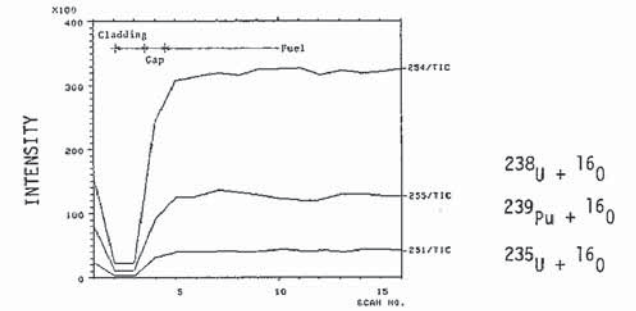


Fig. 47 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815282,  $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{239}\text{Pu} + ^{16}\text{O}$ ,  $^{235}\text{U} + ^{16}\text{O}$ )

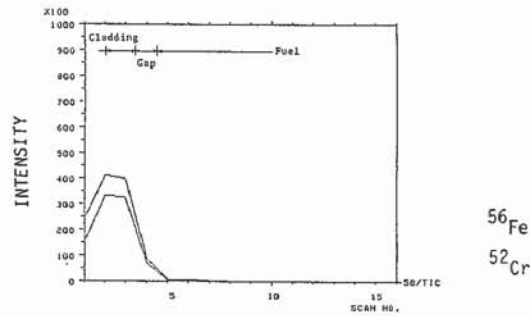


Fig. 44 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815282,  $^{56}\text{Fe}$ ;  $^{52}\text{Cr}$ )

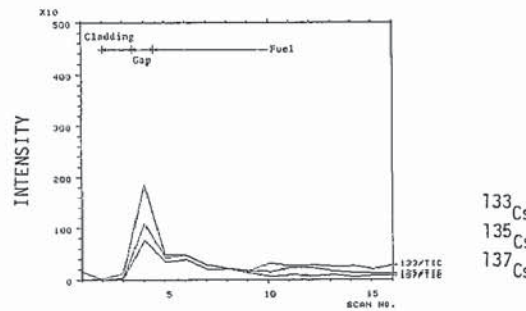


Fig. 45 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815282,  $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ )

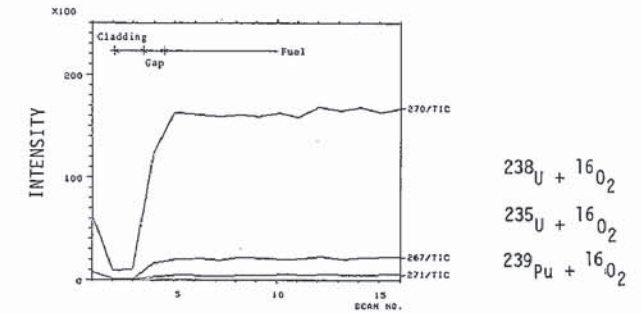


Fig. 48 Ion Mass Profile from the Cladding Outside to Fuel Center (Specimen No. 815282,  $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}_2$ ,  $^{235}\text{U} + ^{16}\text{O}_2$ ,  $^{239}\text{Pu} + ^{16}\text{O}_2$ )

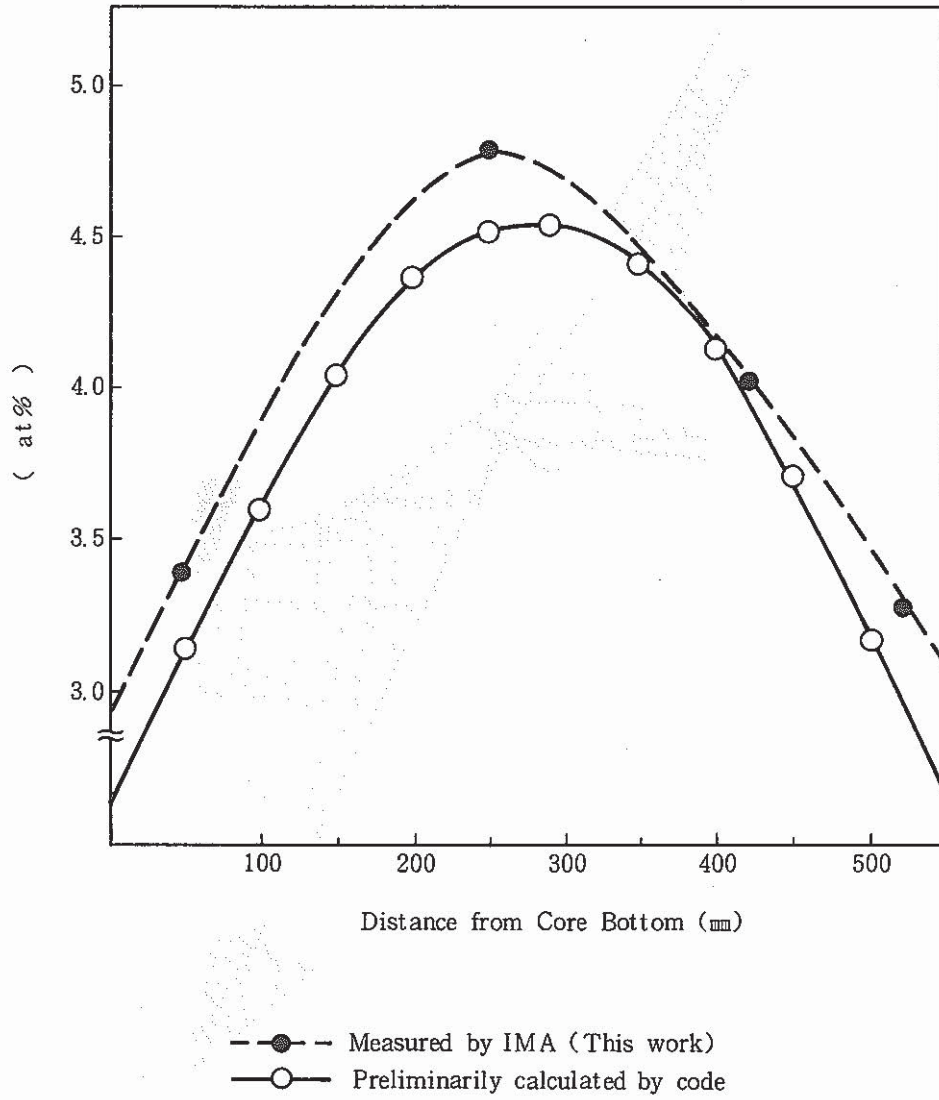


Fig. 49 Axial Distribution of Measured Burnup of PFD001 (Pin No. 8152)

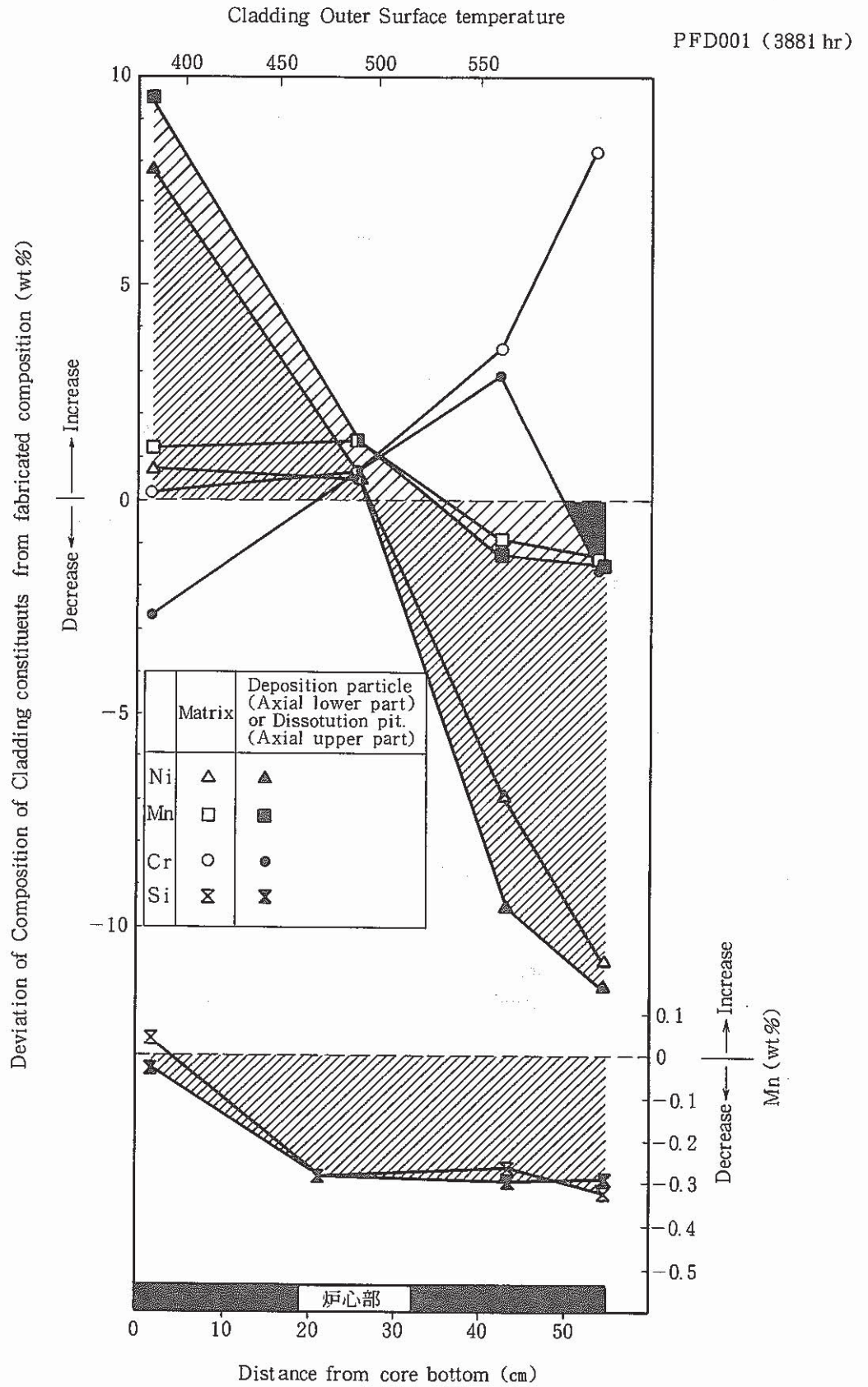


Fig. 50 Composition Change of Cladding Constituents as a Function of Distance from Core Bottom and Cladding Outer Temperature

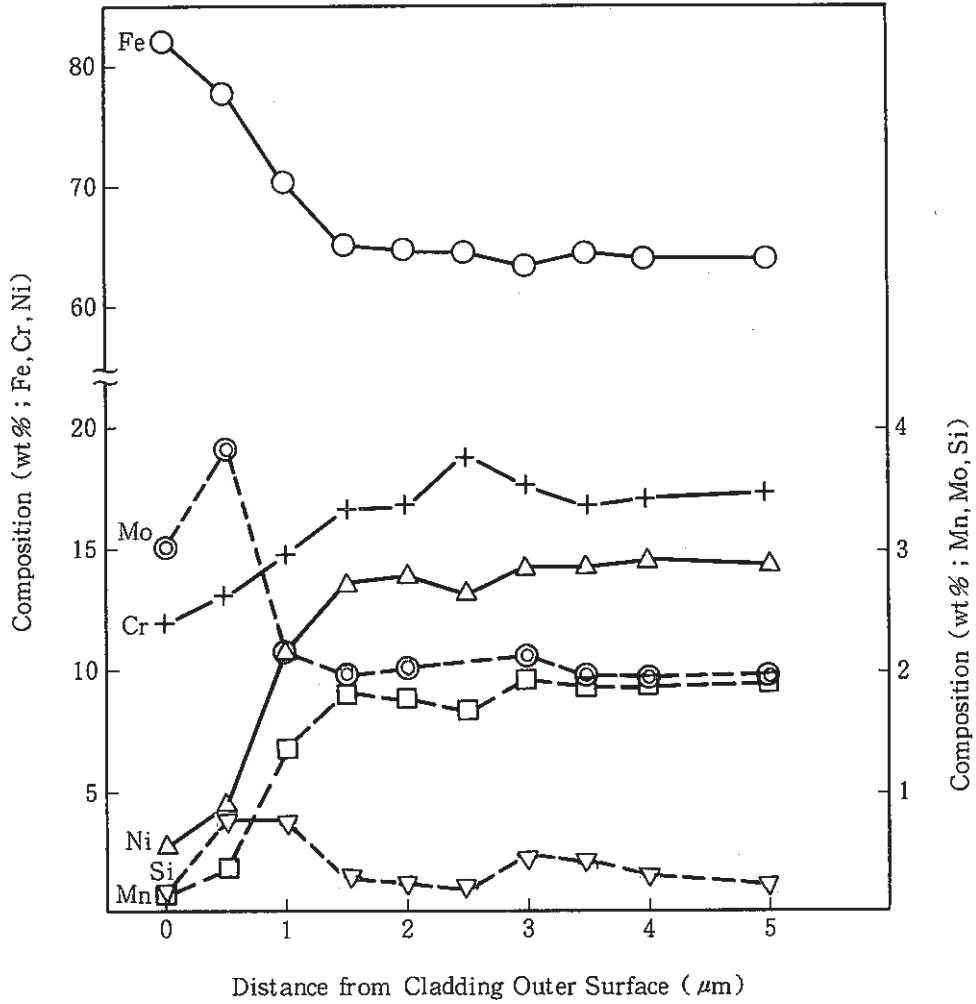


Fig. 51 Results of Line Analyses Across the Transverse Section Sample (No. 815284)

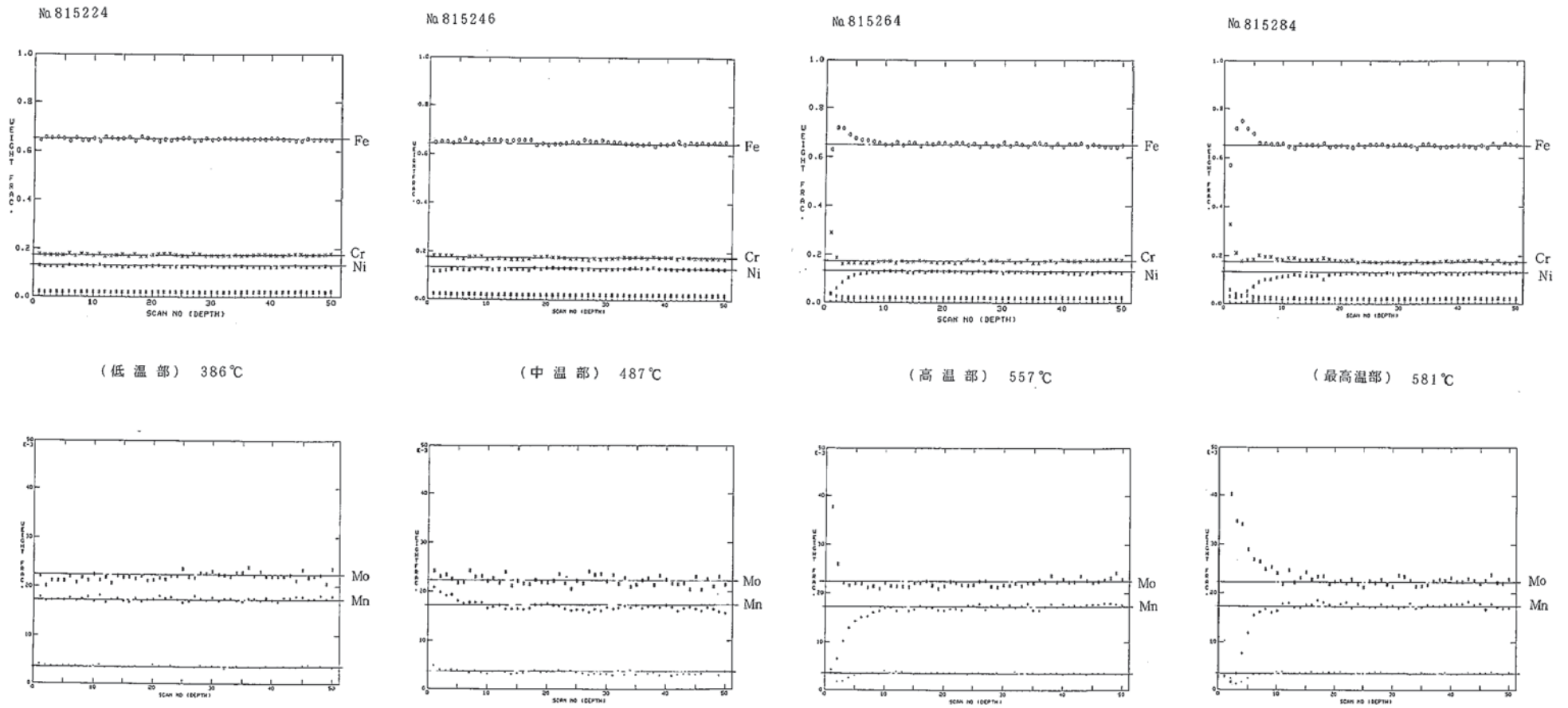


Fig. 52 Depth Analysis of Cladding Outer Surface by IMA  
(Pin No. 8152 K-Tube)



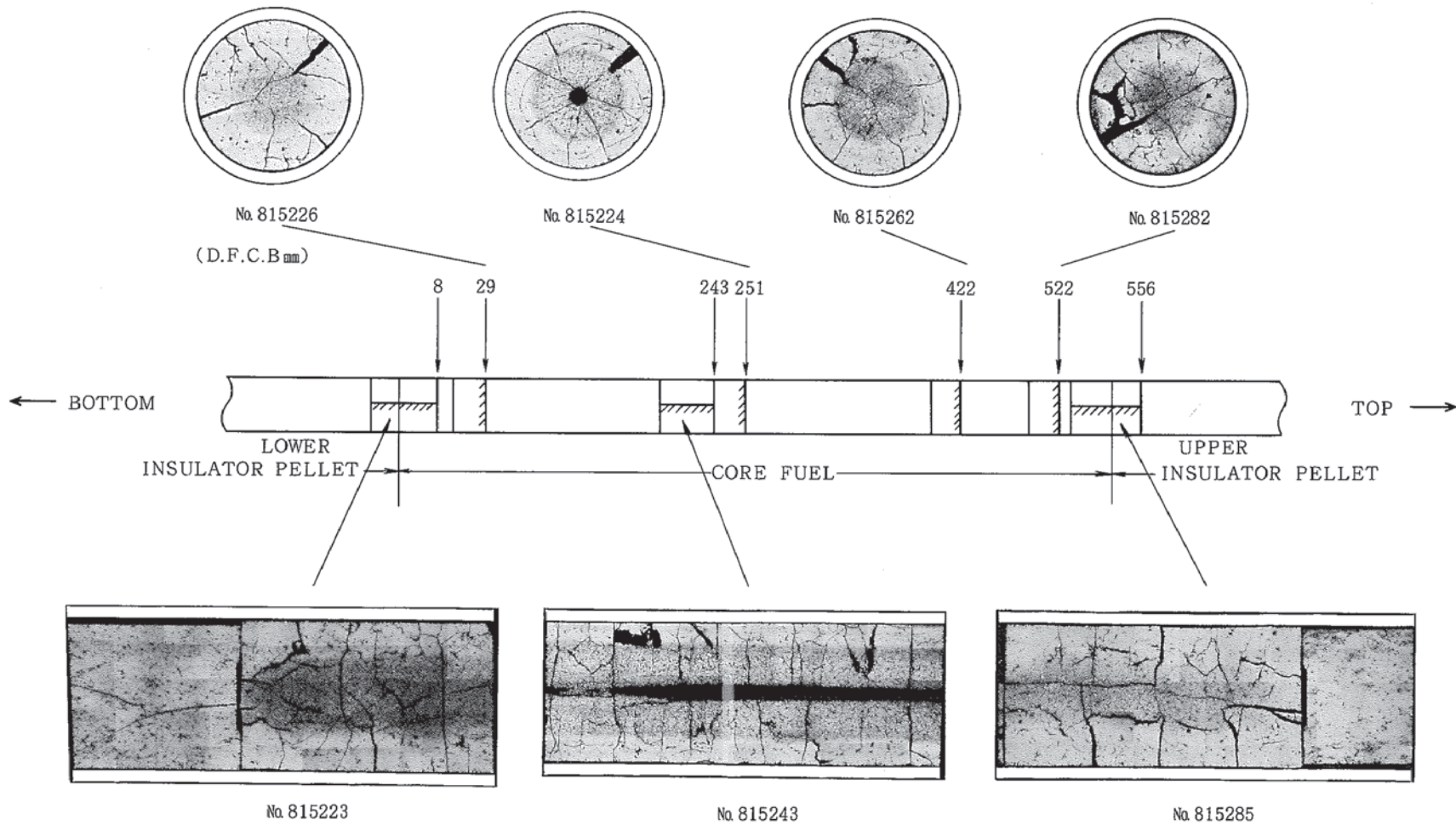
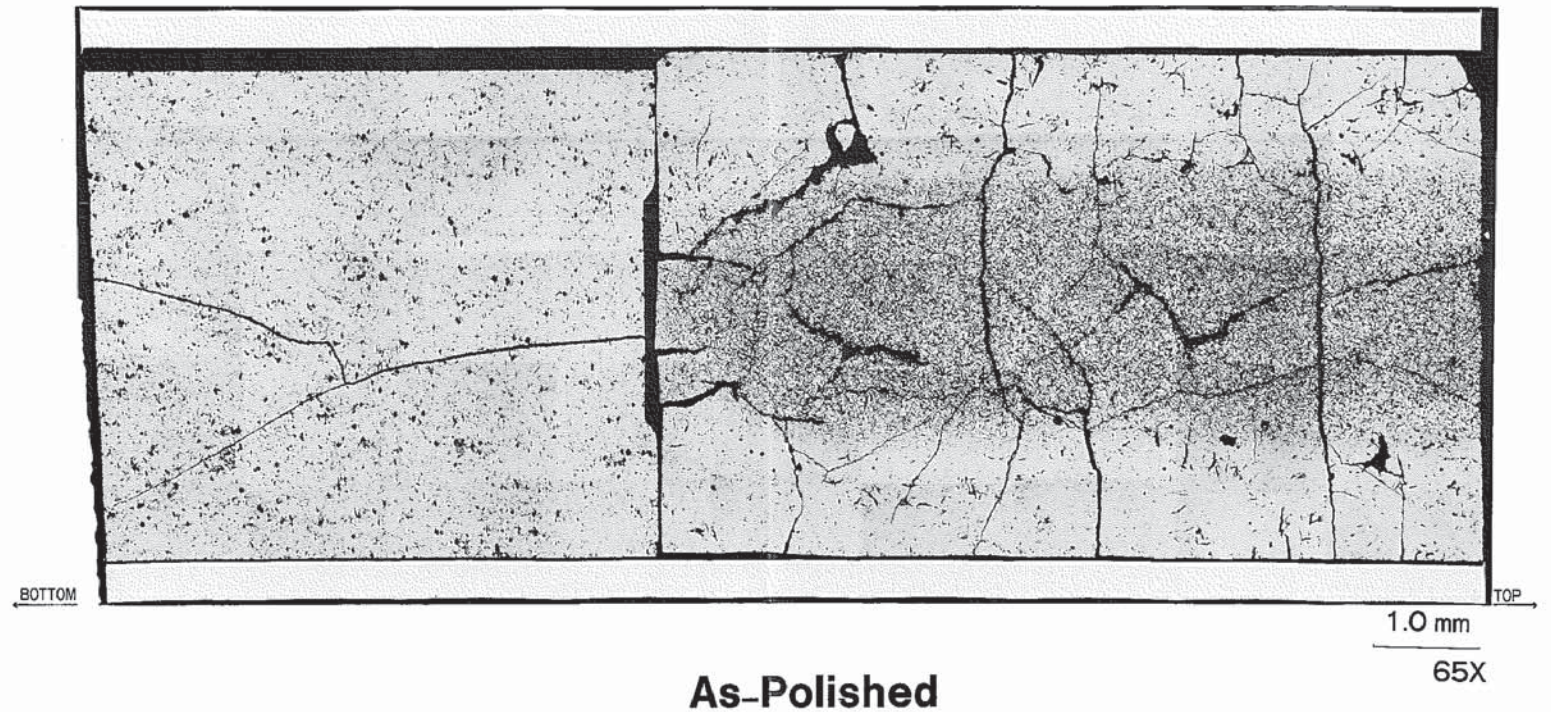


Photo.0-1 Optical Maicrographs of the Metallographic Specimen  
Cuttet from the Core Fuel Pin (Pin No. 8152)

# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815223



E038101

Photo.0-2 Optical Micrograph of the Longitudinal Section of the Core and Blanket Fuel Pin (Specimen No. 815223) As-Polished



**"JOYO" MK-II PFD001**  
**Specimen NO. 815223**

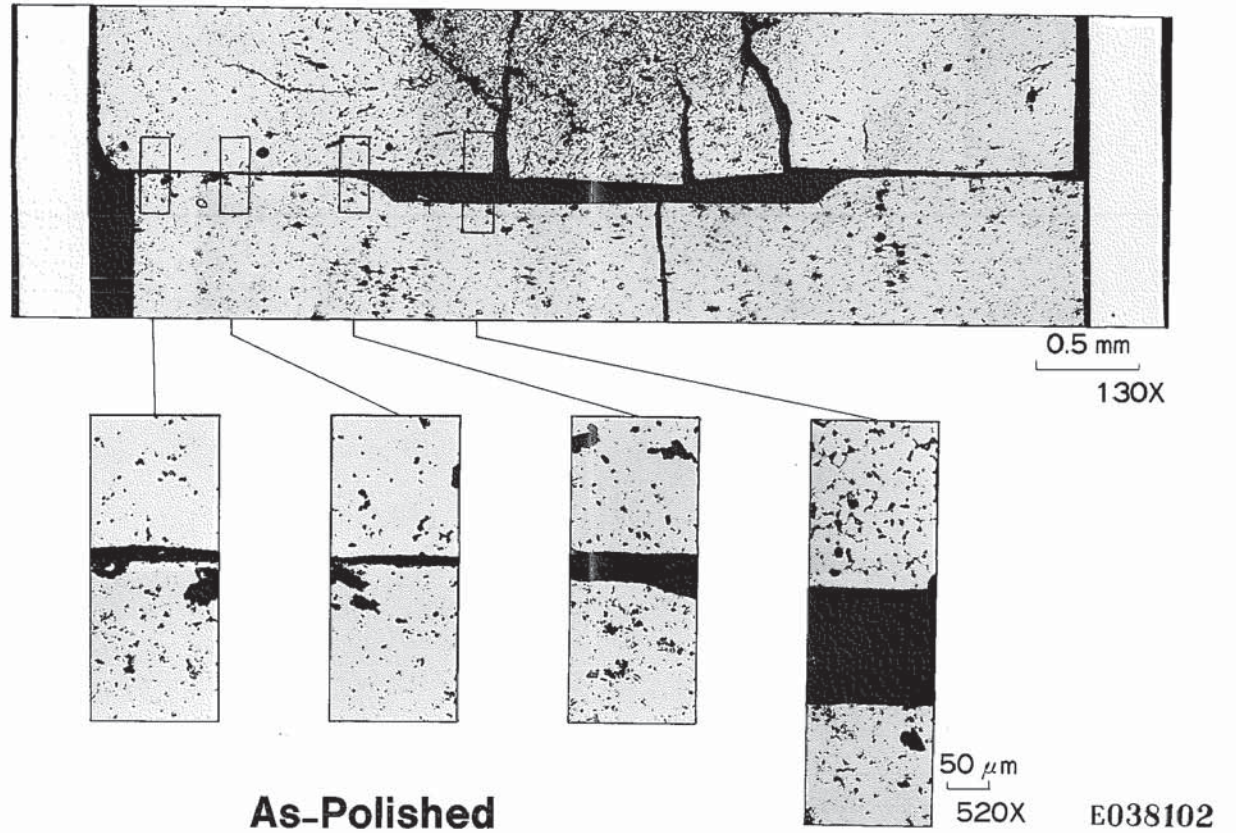
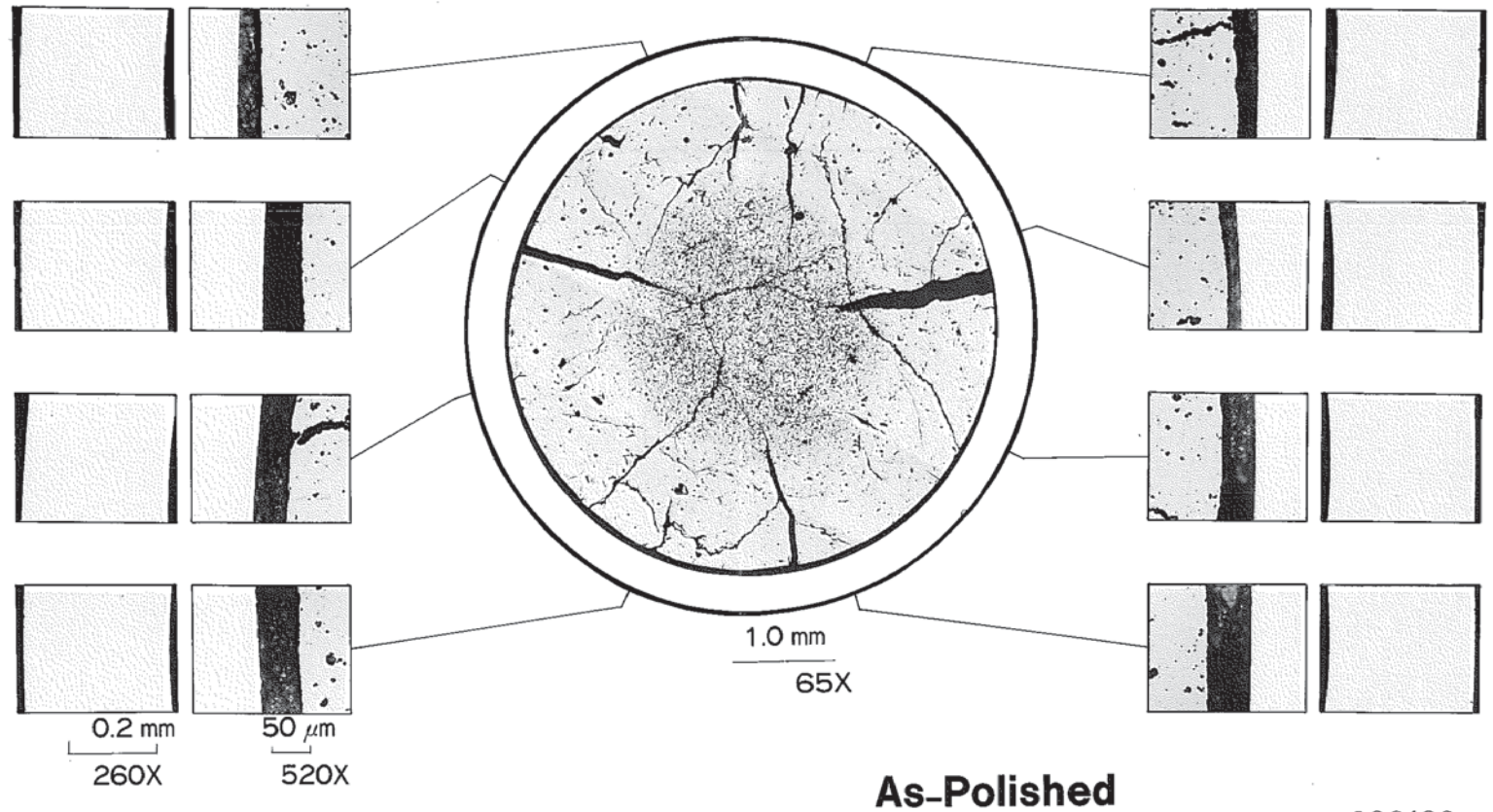


Photo.0-3 Optical Microstructure of the Core and Blanket Fuel Pin  
(Specimen No. 815223) As-Polished

# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815226



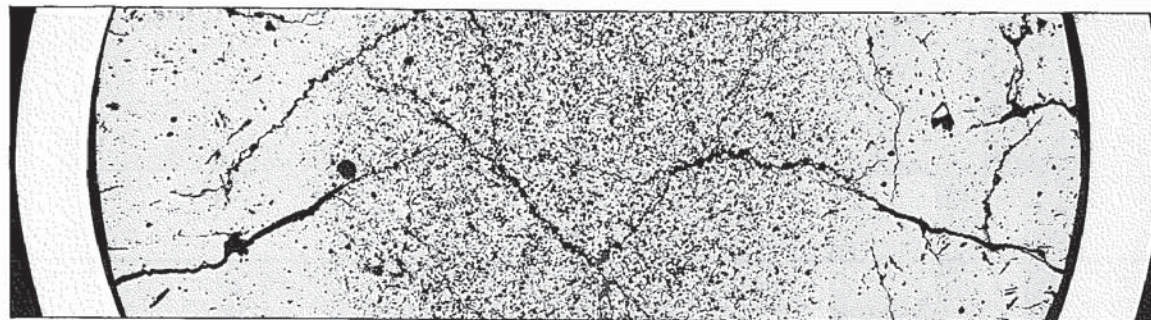
E038103

Photo.0-4 Optical Micrograph of the Transverse Section of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815226) As-Polished

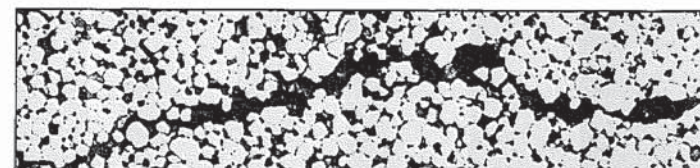
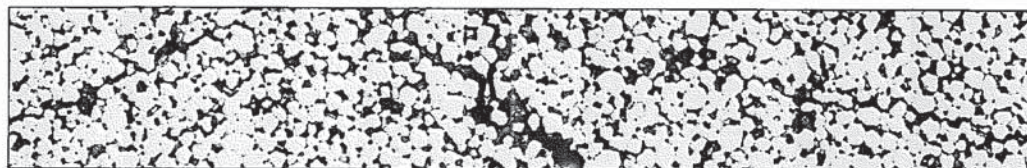
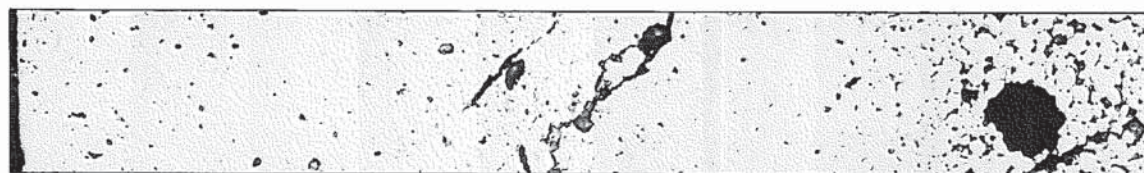


# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815226



0.5 mm  
130X



50 μm  
520X

**As-Polished**

E038104

Photo.0-5 Optical Microstructure of the Core Fuel  
(Specimen No. 815226) As-Polished

**"JOYO" MK-II PFD001**  
**Specimen NO. 815243**

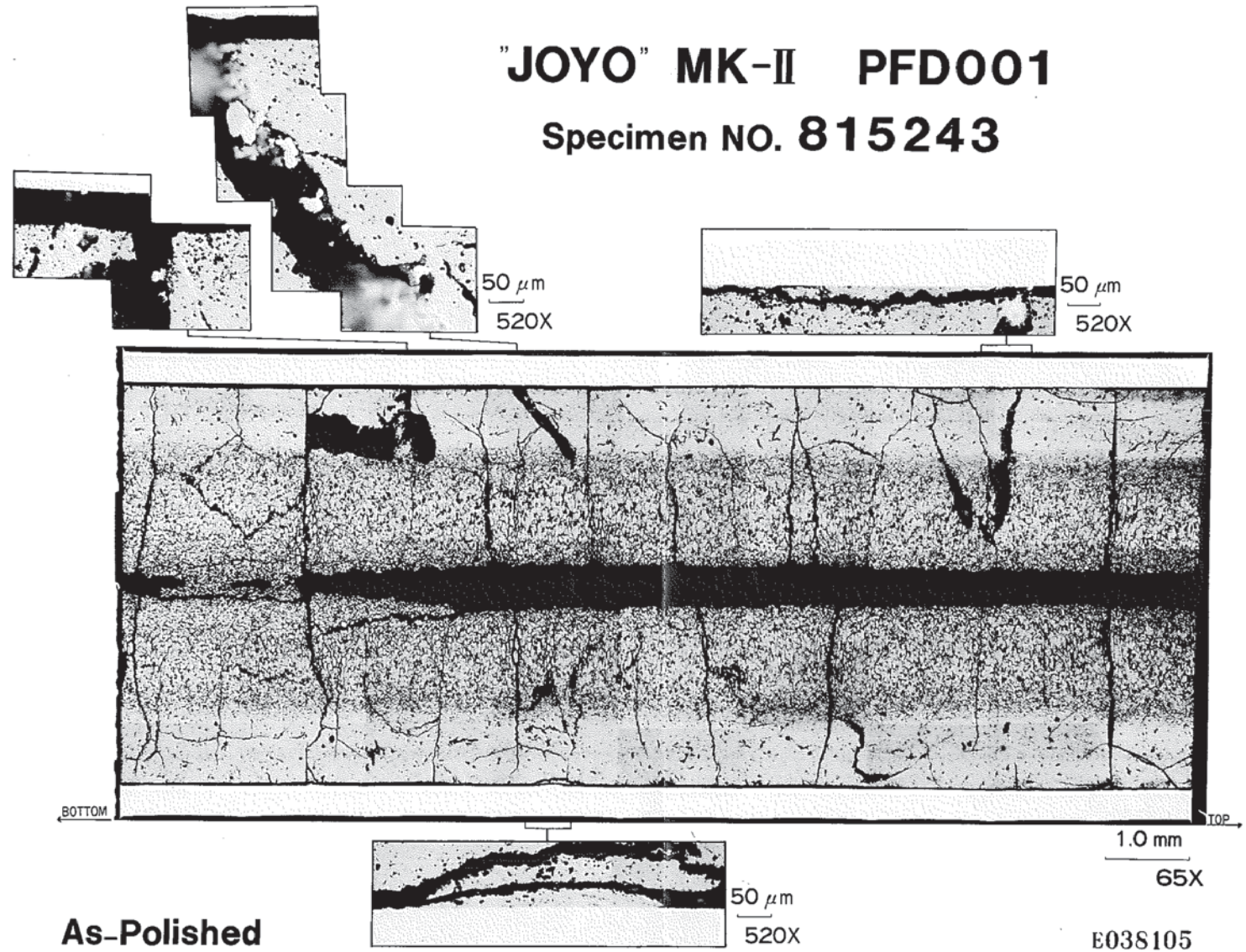
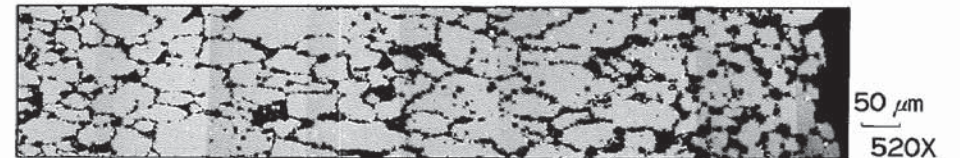
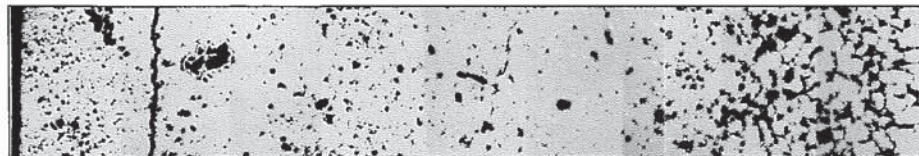
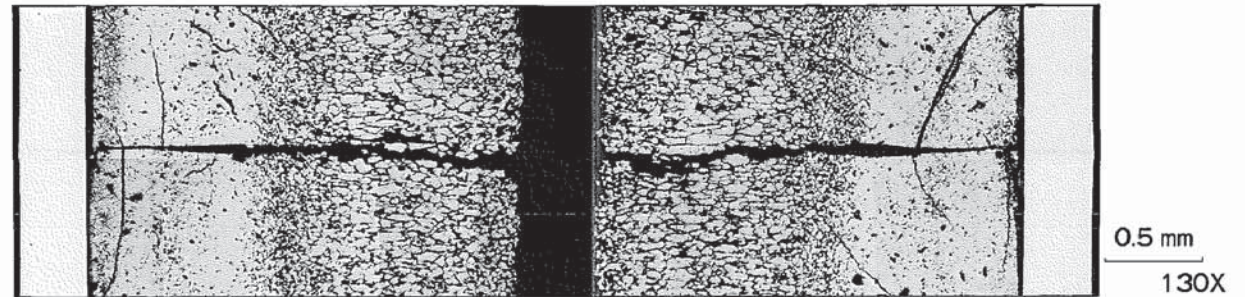


Photo.0-6 Optical Micrograph of the Longitudinal Section of Core Fuel Pin (Specimen No. 815243) As Polished



# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815243



**As-Polished**

**E038106**

Photo.0-7 Optical Microstructure of the Core Fuel  
(Specimen No. 815243) As-Polished

# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815244

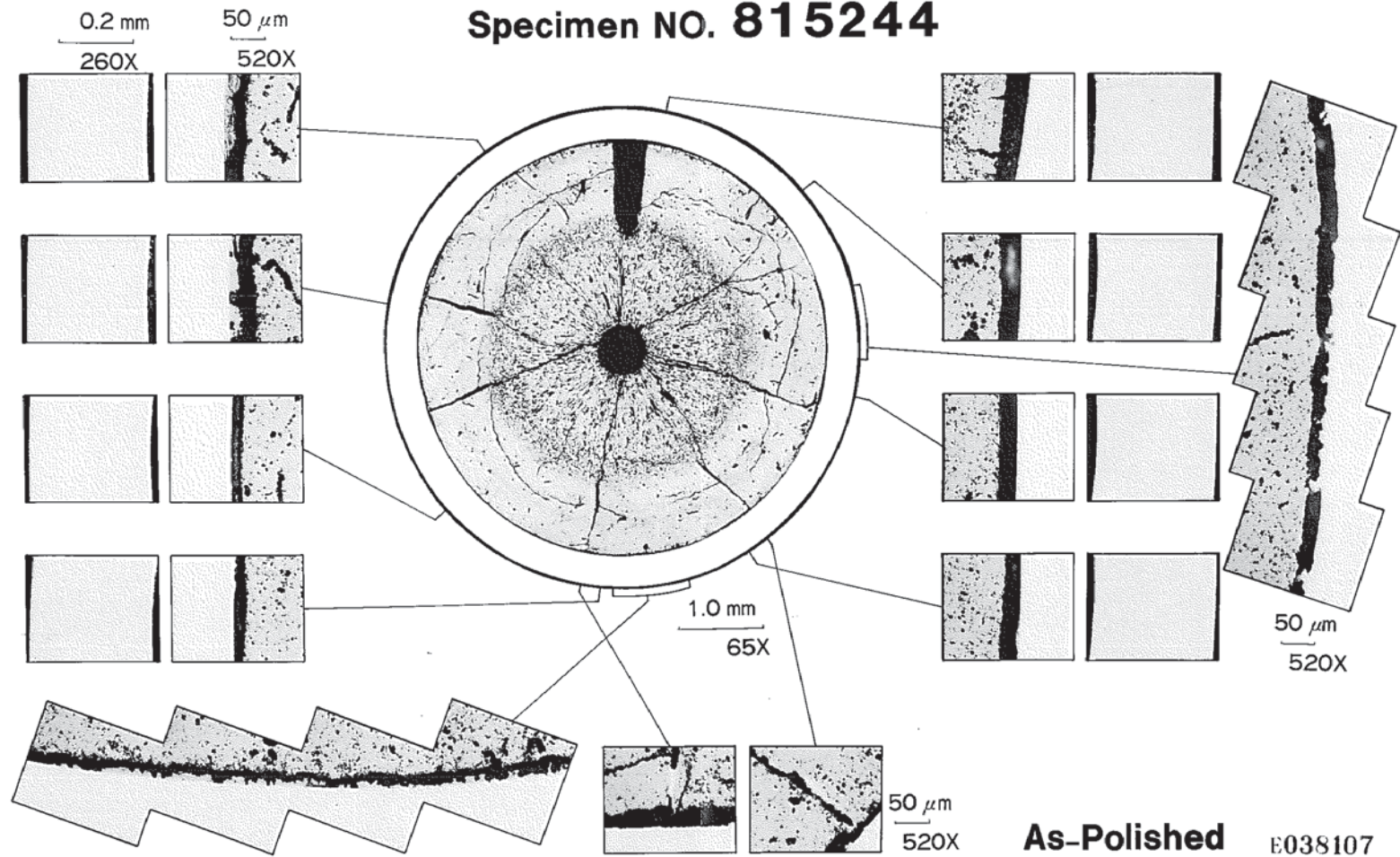
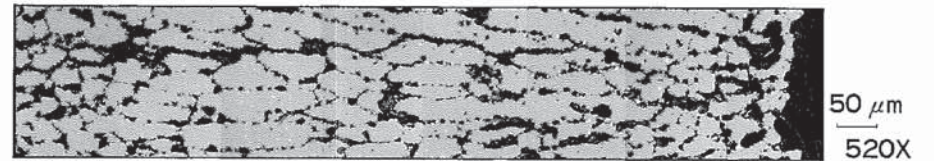
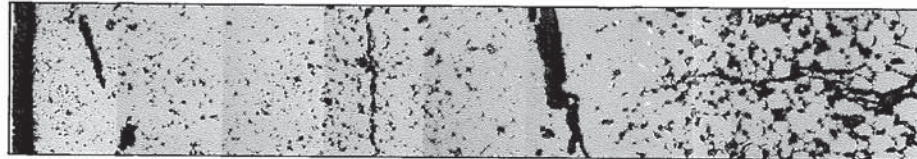
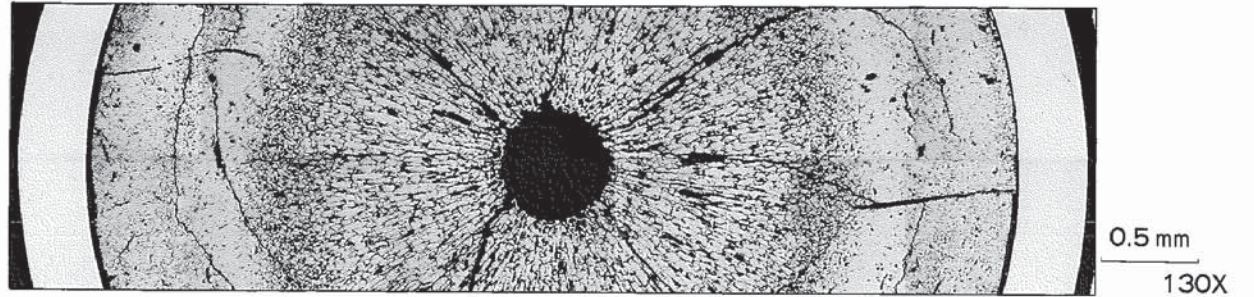


Photo.0-8 Optical Micrograph of Transverse Section of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815244) As-Polished



**"JOYO" MK-II PFD001**  
**Specimen NO. 815244**



**As-Polished**

**E038108**

Photo.0-9 Optical Microstructure of the Core Fuel  
(Specimen No. 815244) As-Polished

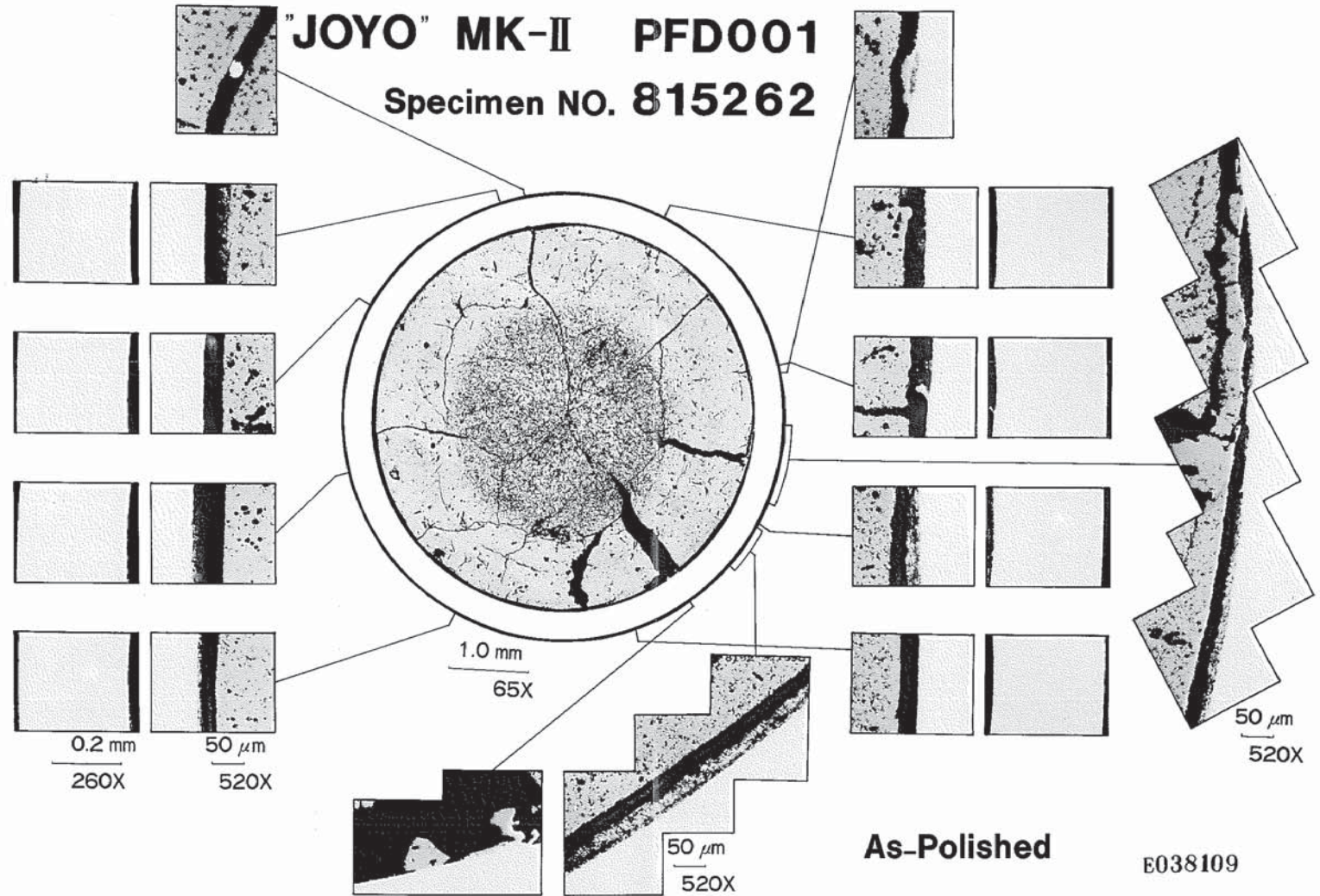
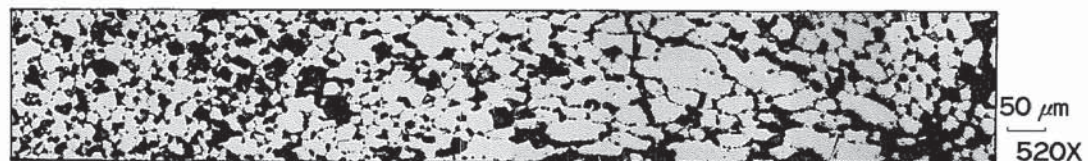
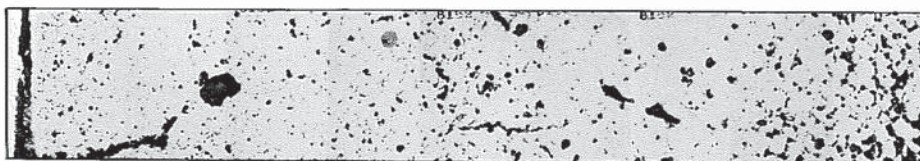
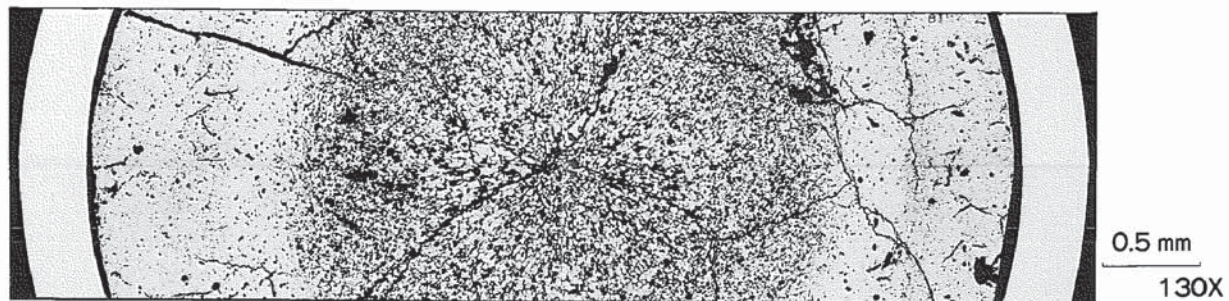


Photo.0-10 Optical Micrograph of the Transverse Section of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815262) As-Polished



# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815262



**As-Polished**

**E038110**

Photo.0-11 Optical Microstructure of the Core Fuel  
(Specimen No. 815262) As-Polished

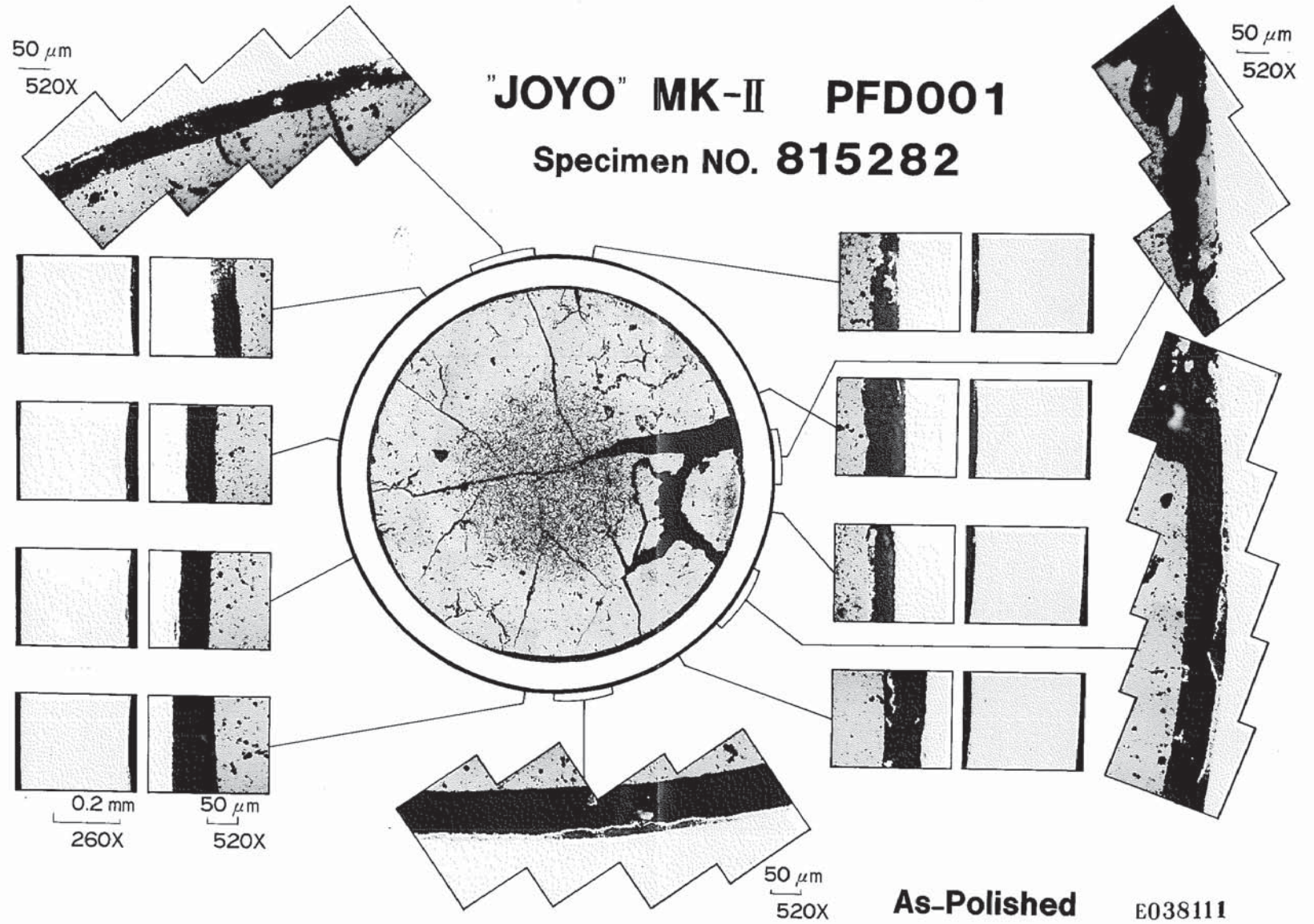
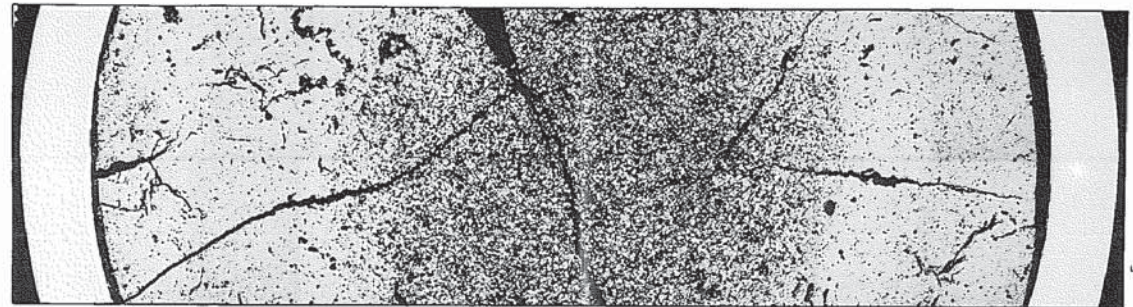


Photo.0-12 Optical Micrograph of the Transverse Section of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815282) As-Polished

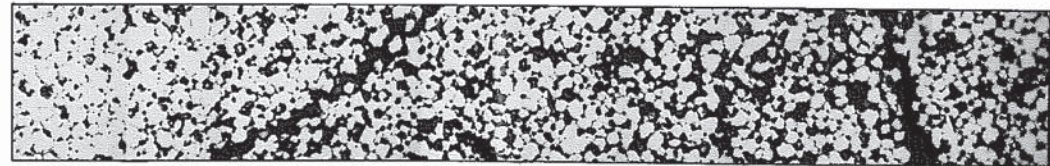
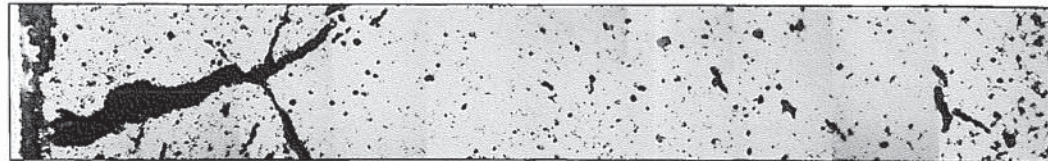


# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815282



0.5 mm  
130X



50  $\mu$ m  
520X

**As-Polished**

**E038112**

Photo.0-13 Optical Microstructure of the Core Fuel  
(Specimen No. 815282) As-Polished

# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815285

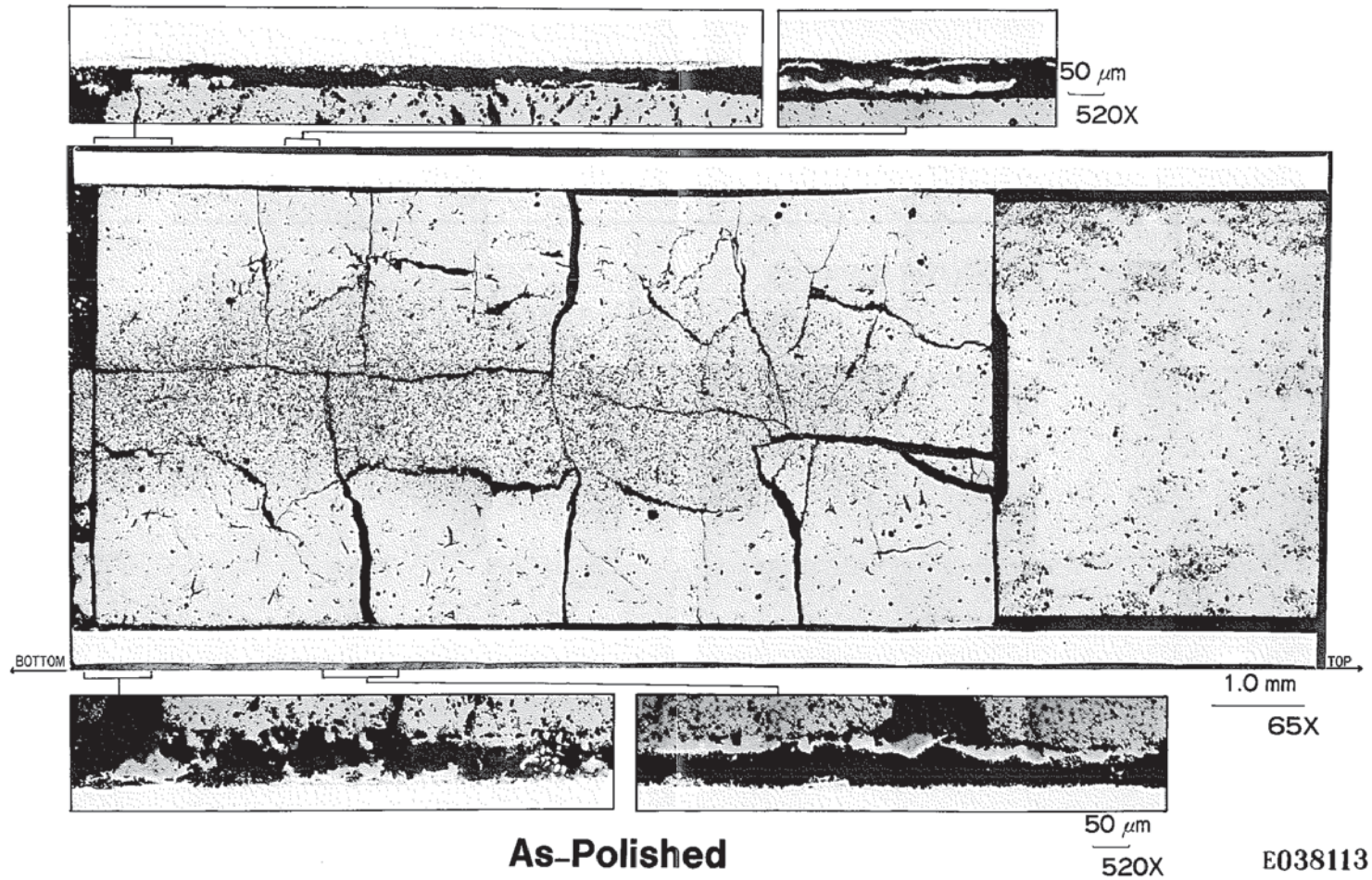
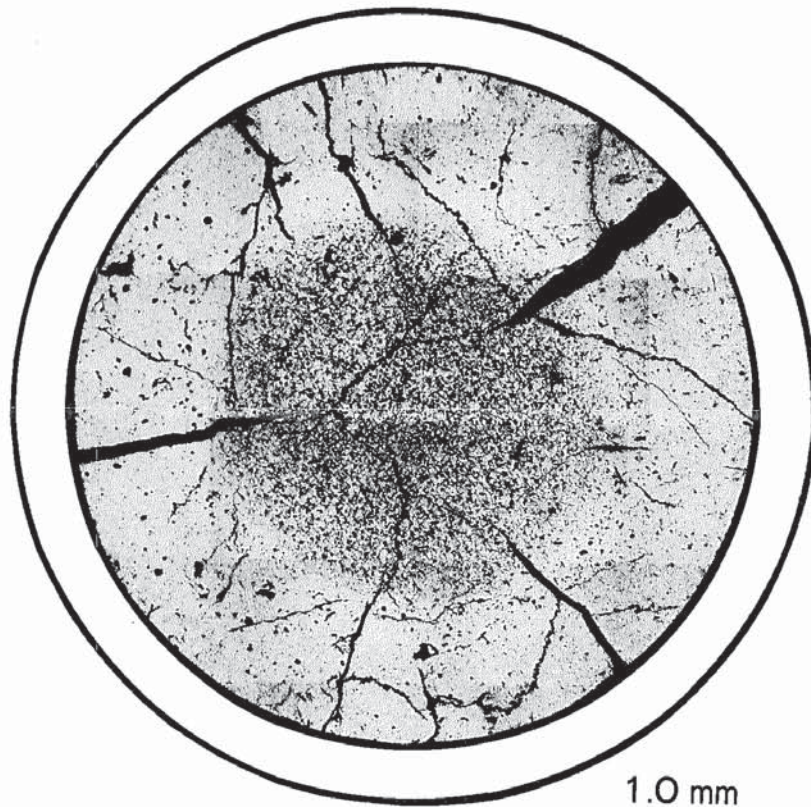


Photo.0-14 Optical Micrograph of the Longitudinal Section of the Core and Blanket Fuel Pin (Specimen No. 815285) As-Polished



# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815226



1.0 mm

65X

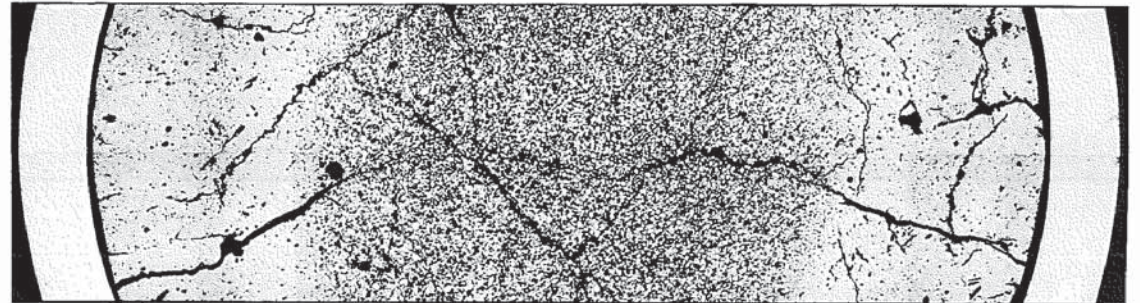
**As-Etched**

**E038118**

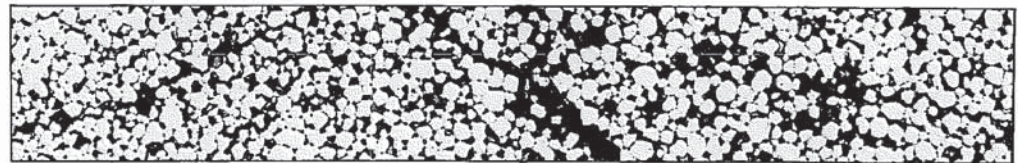
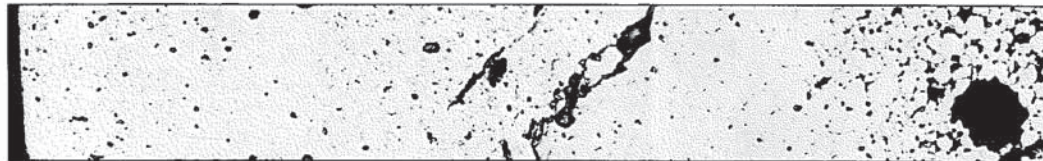
**"JOYO" MK-II PFD001**  
**Specimen NO. 815226**



50  $\mu$ m  
520X



0.5 mm  
130X



50  $\mu$ m  
520X

**As-Etched**

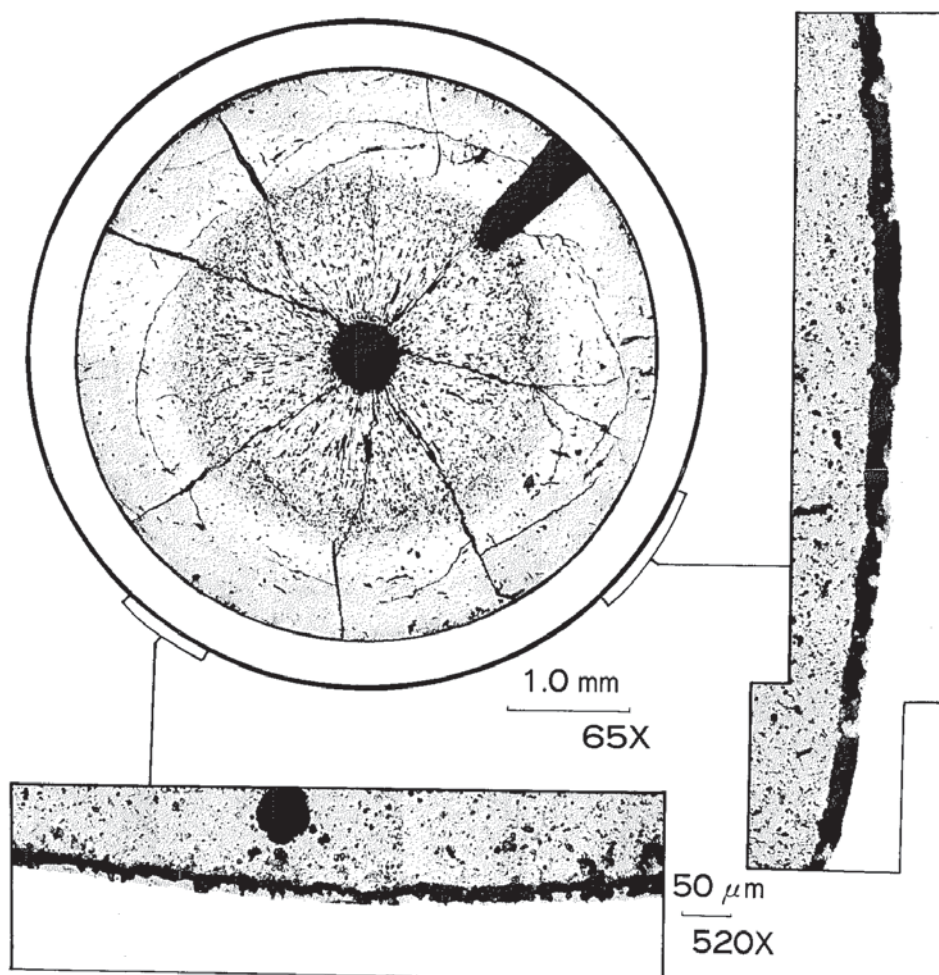
**E038119**

Photo.0-16 Optical Microstructure of the Core Fuel  
(Specimen No. 815226) As-Etched



# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815244



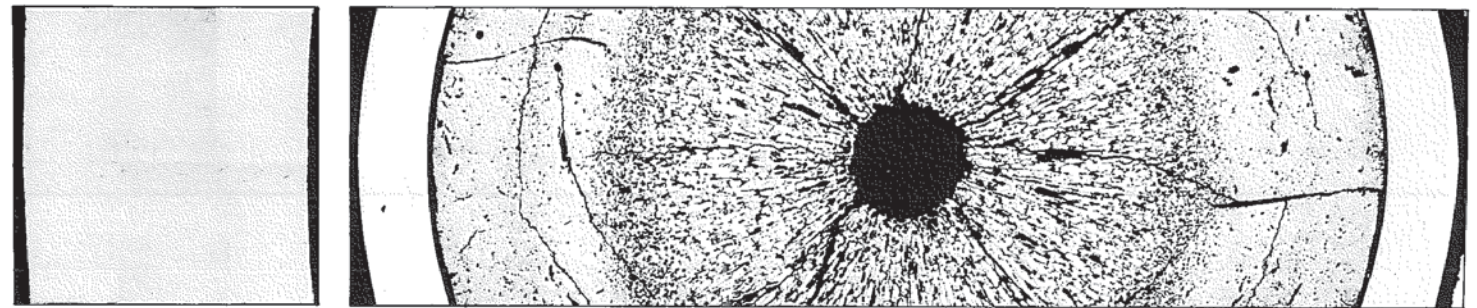
**As-Etched**

E038122

Photo.0-17 Optical Micrograph of the Transverse Section of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815244) As-Etched

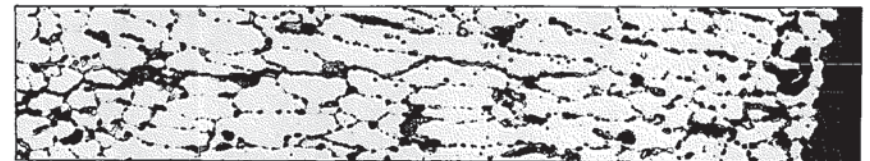
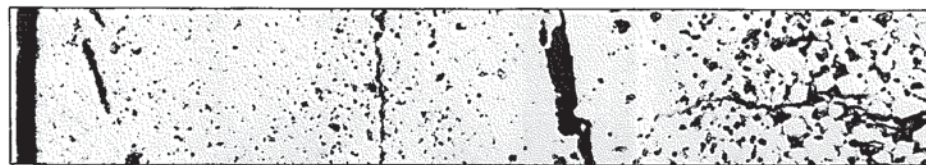
# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815244



0.5 mm

130X



50  $\mu$ m

520X

**As-Etched**

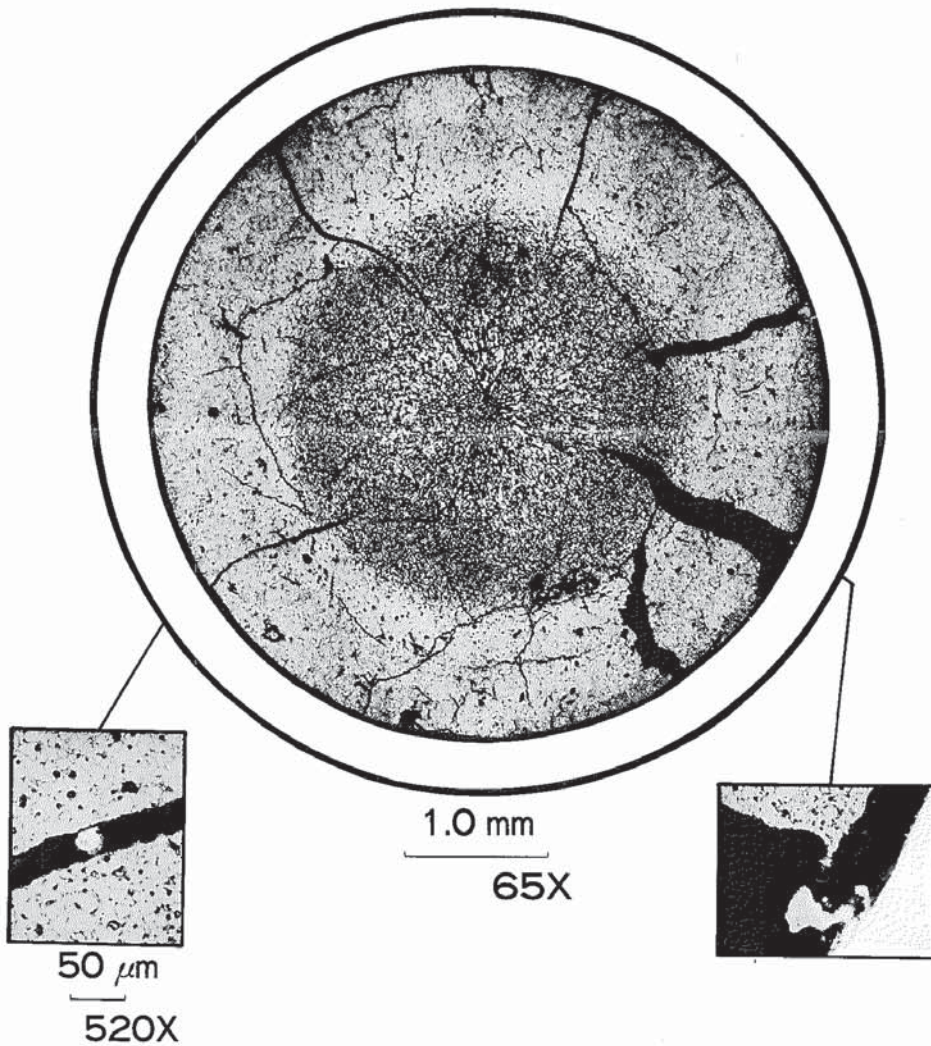
E038123

Photo.0-18 Optical Microstructure of the Core Fuel  
(Specimen No. 815244) As-Etched



# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815262



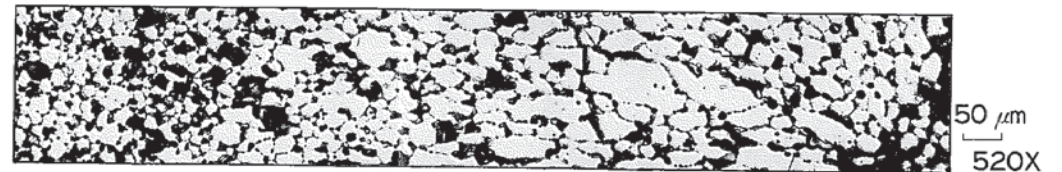
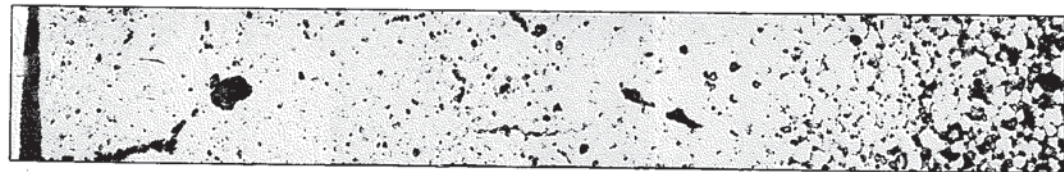
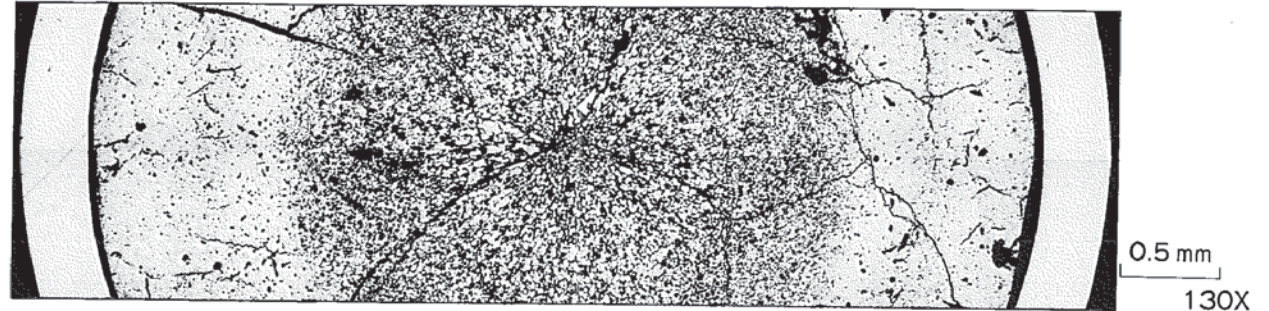
**As-Etched**

E038124

Photo.0-19 Optical Micrograph of the Transverse Section of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815262) As-Etched

# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815262



**As-Etched**

E038125

Photo.0-20 Optical Microstructure of the Core Fuel  
(Specimen No. 815262) As-Etched



# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815282

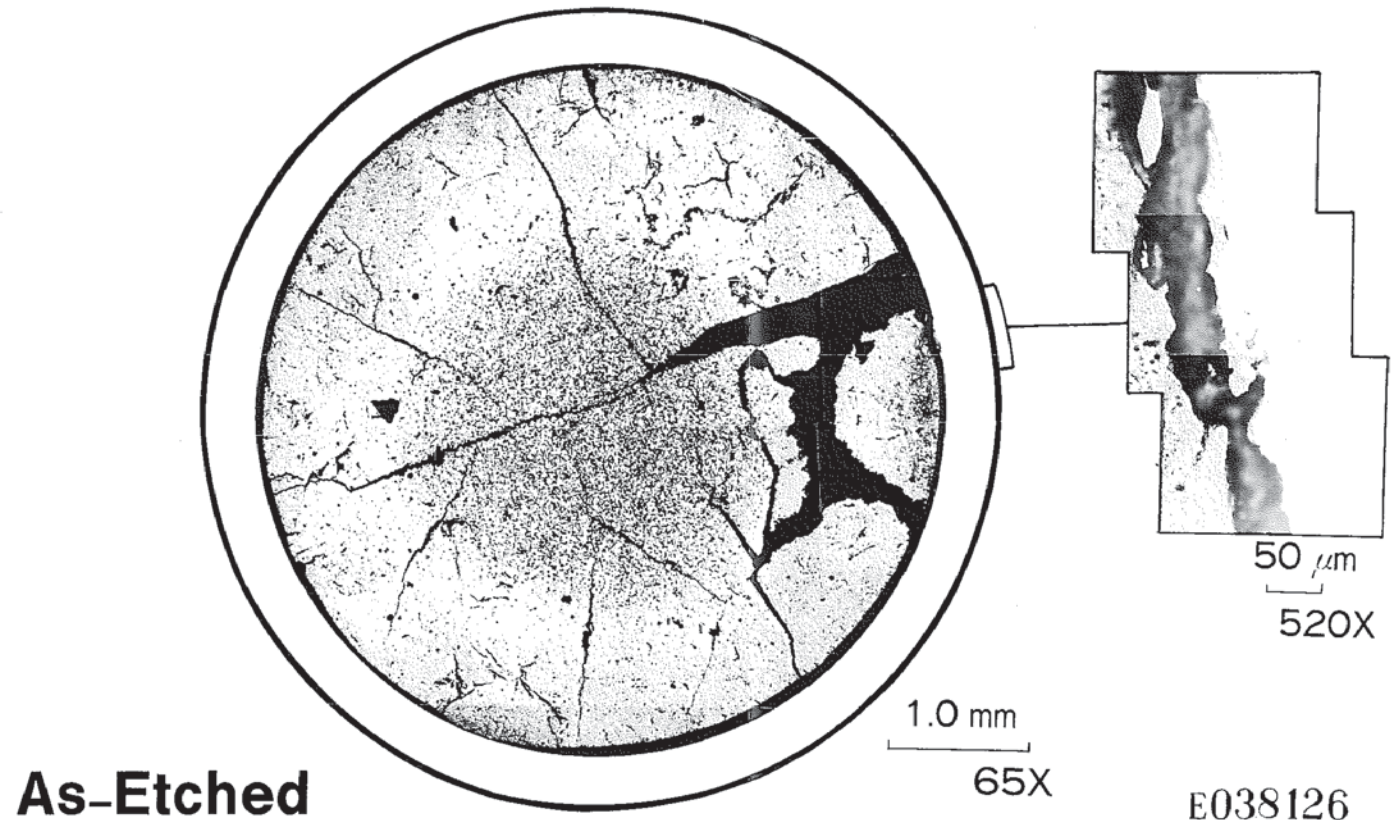
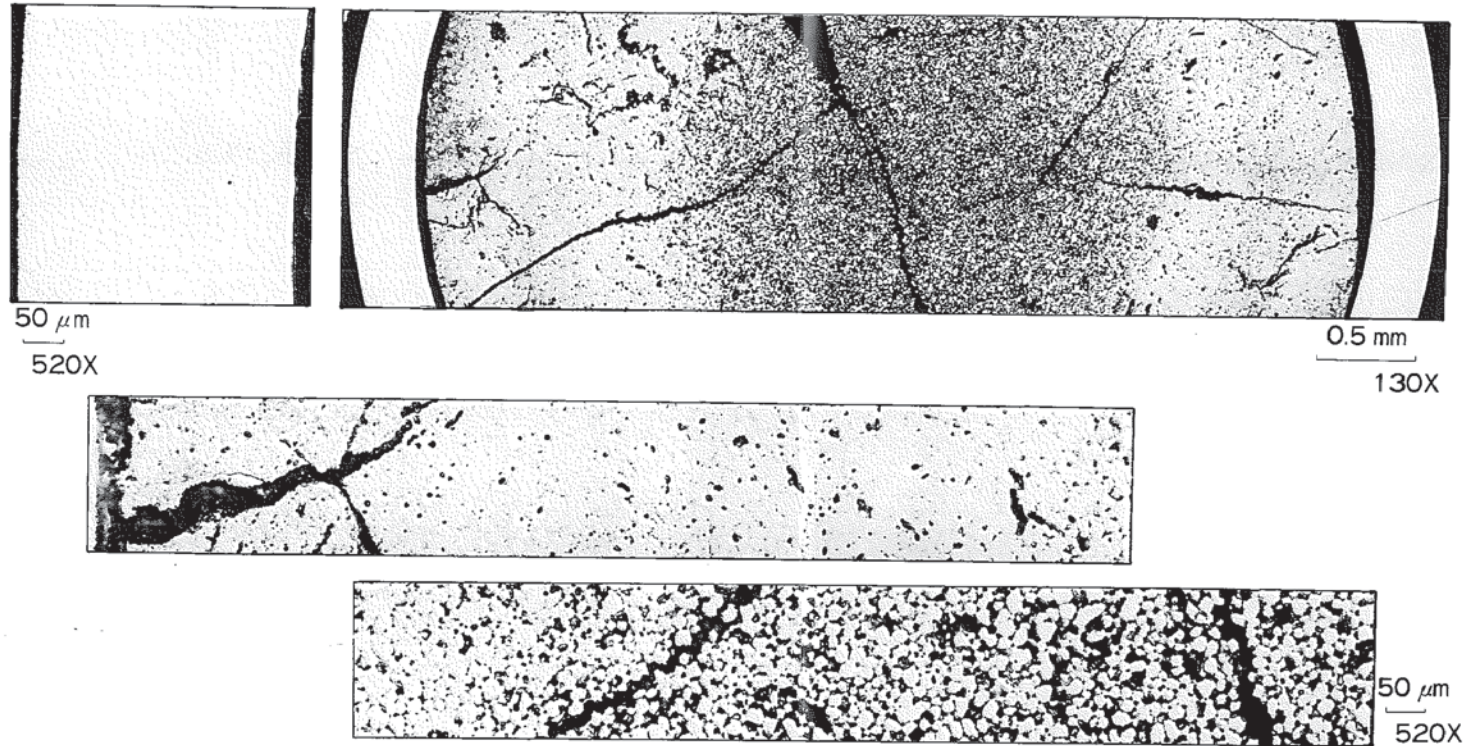


Photo.0-21 Optical Micrograph of the Transverse Section of the Core Fuel Pin (Specimen No. 815282) As-Etched

# "JOYO" MK-II PFD001

## Specimen NO. 815282



**As-Etched**

E038127

Photo. 22 Optical Microstructure of the Core Fuel  
(Specimen No. 815282) As-Etched



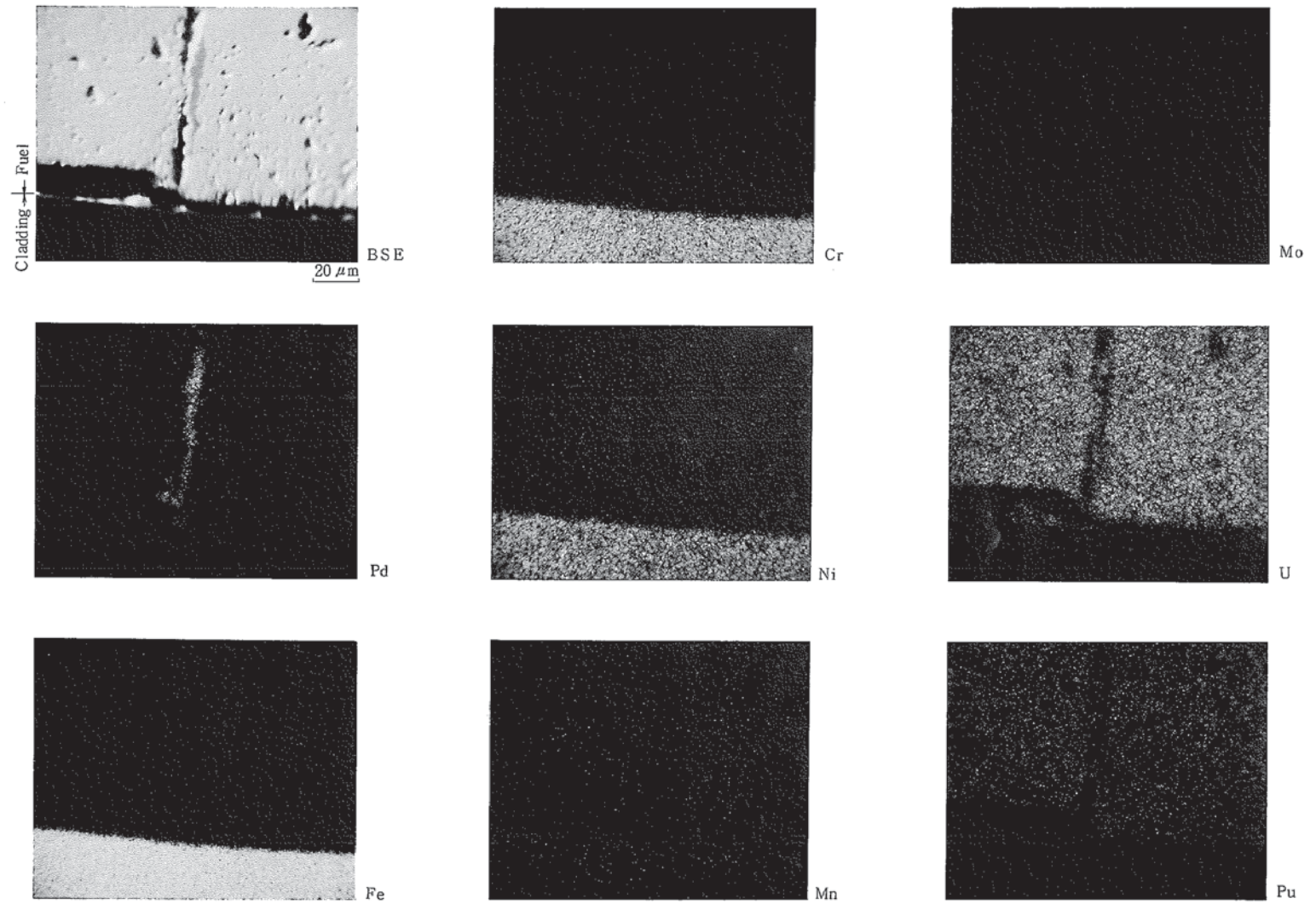


Photo. E-1 Various X-ray Images of the Metallic Inclusion  
in the Crack (Specimen No. 815244)

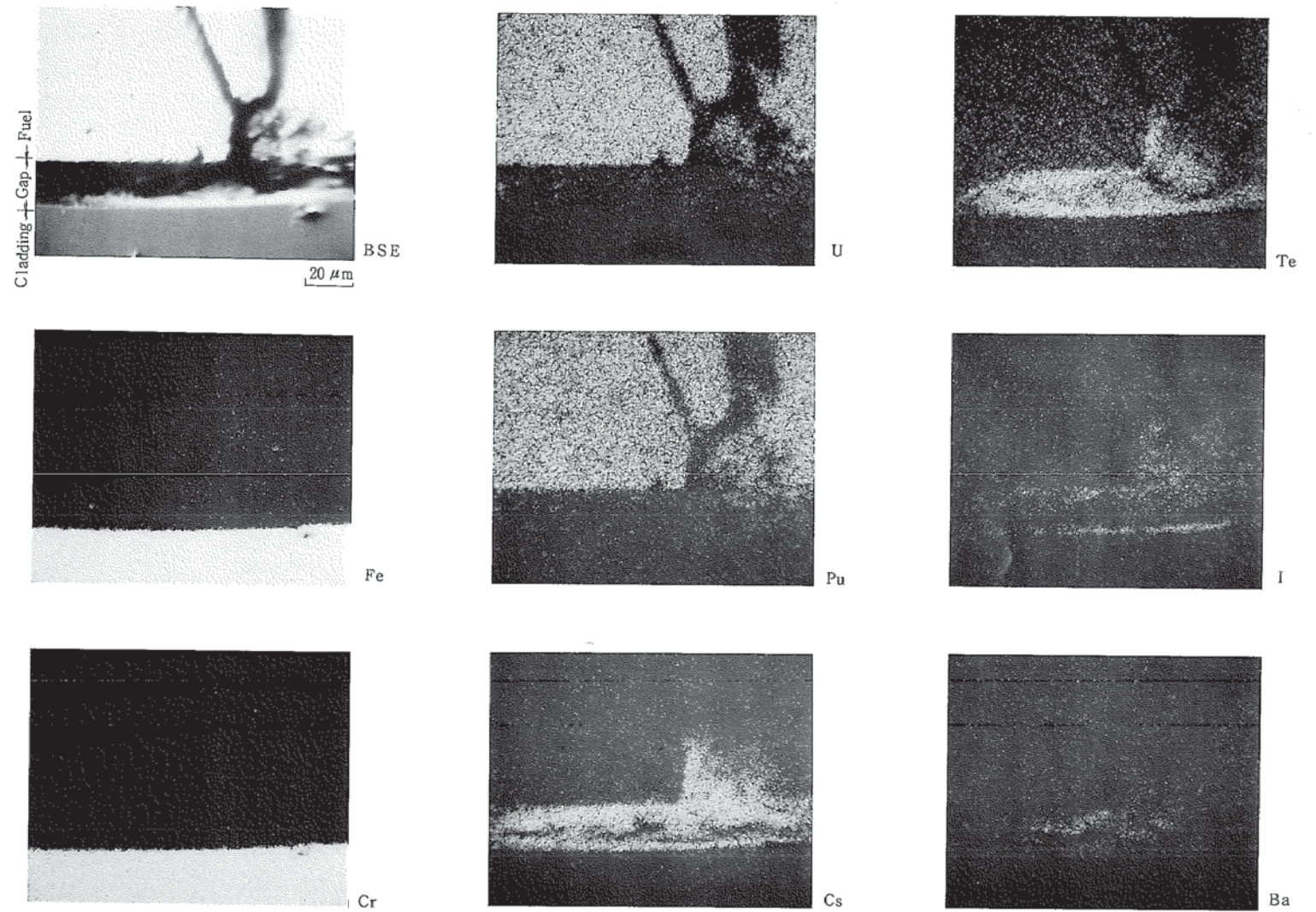


Photo.E-2 Various X-ray Images of the Gas Part between the Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815226)



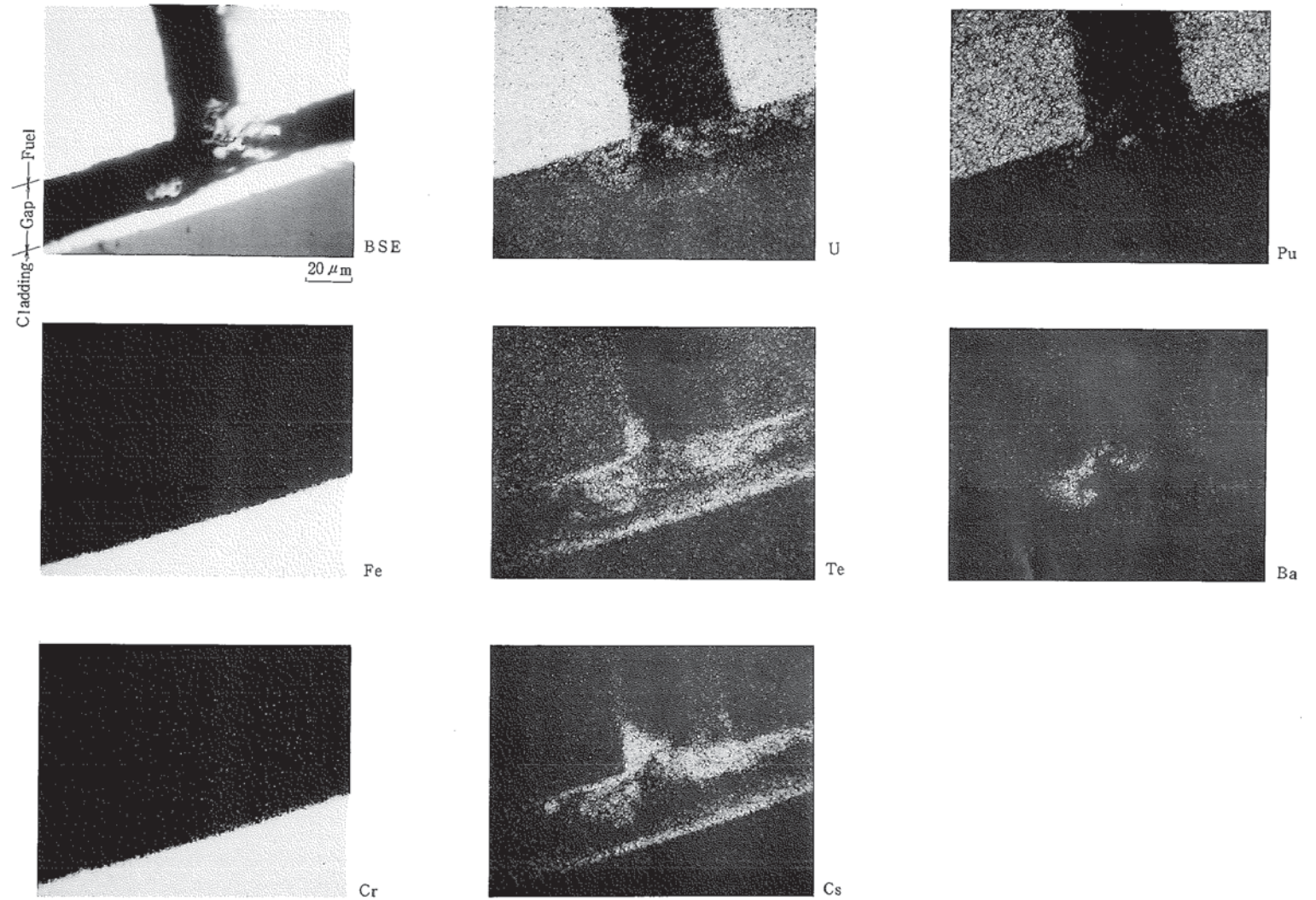


Photo.E-3 Various X-ray Images of the Gap Part between the Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815226)

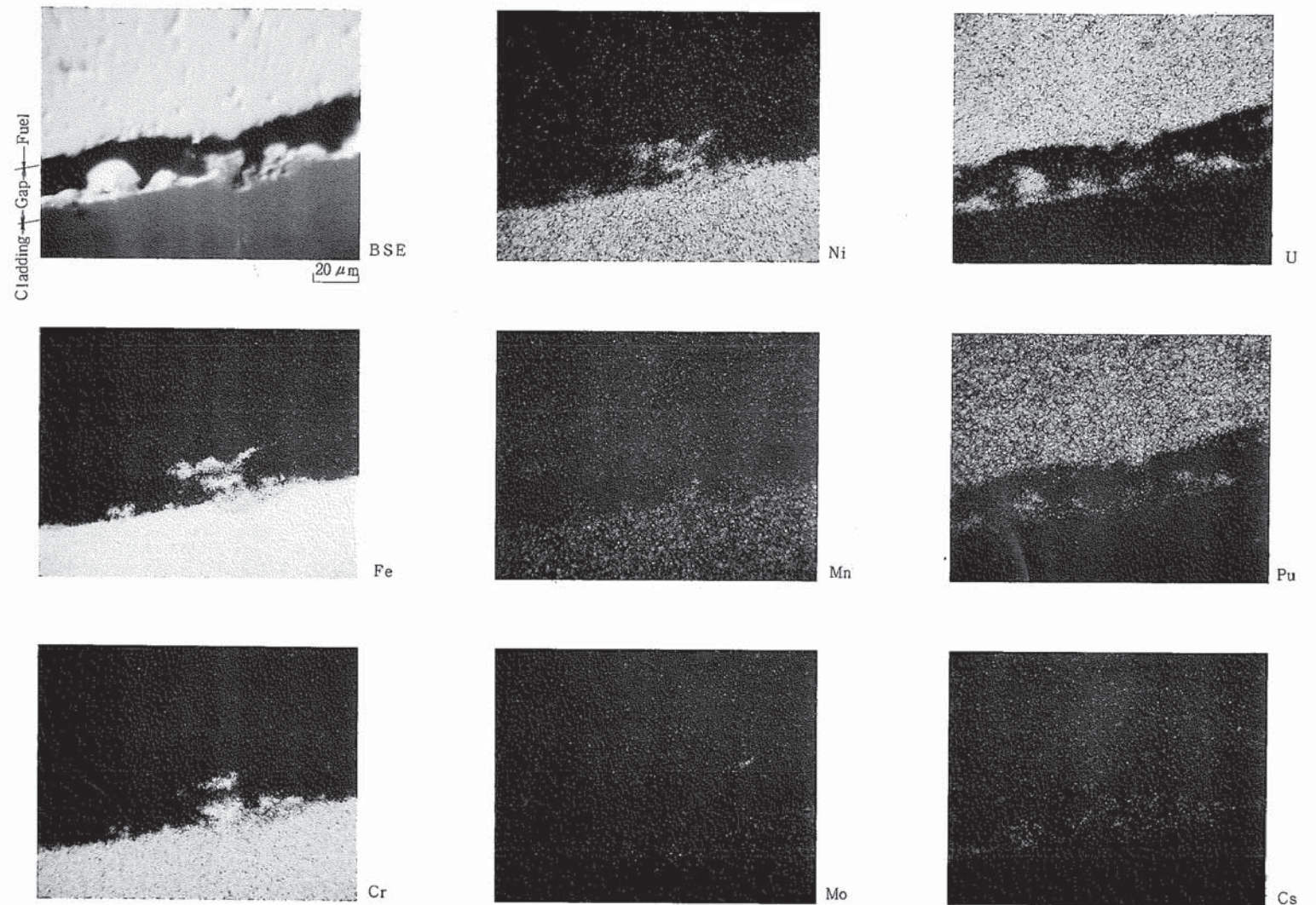


Photo.E-4 Various X-ray Images of the Gap Part between the Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815244)



この頁は PDF 化されていません。

内容の閲覧が必要な場合は、技術資料管理  
担当箇所を参照して下さい。

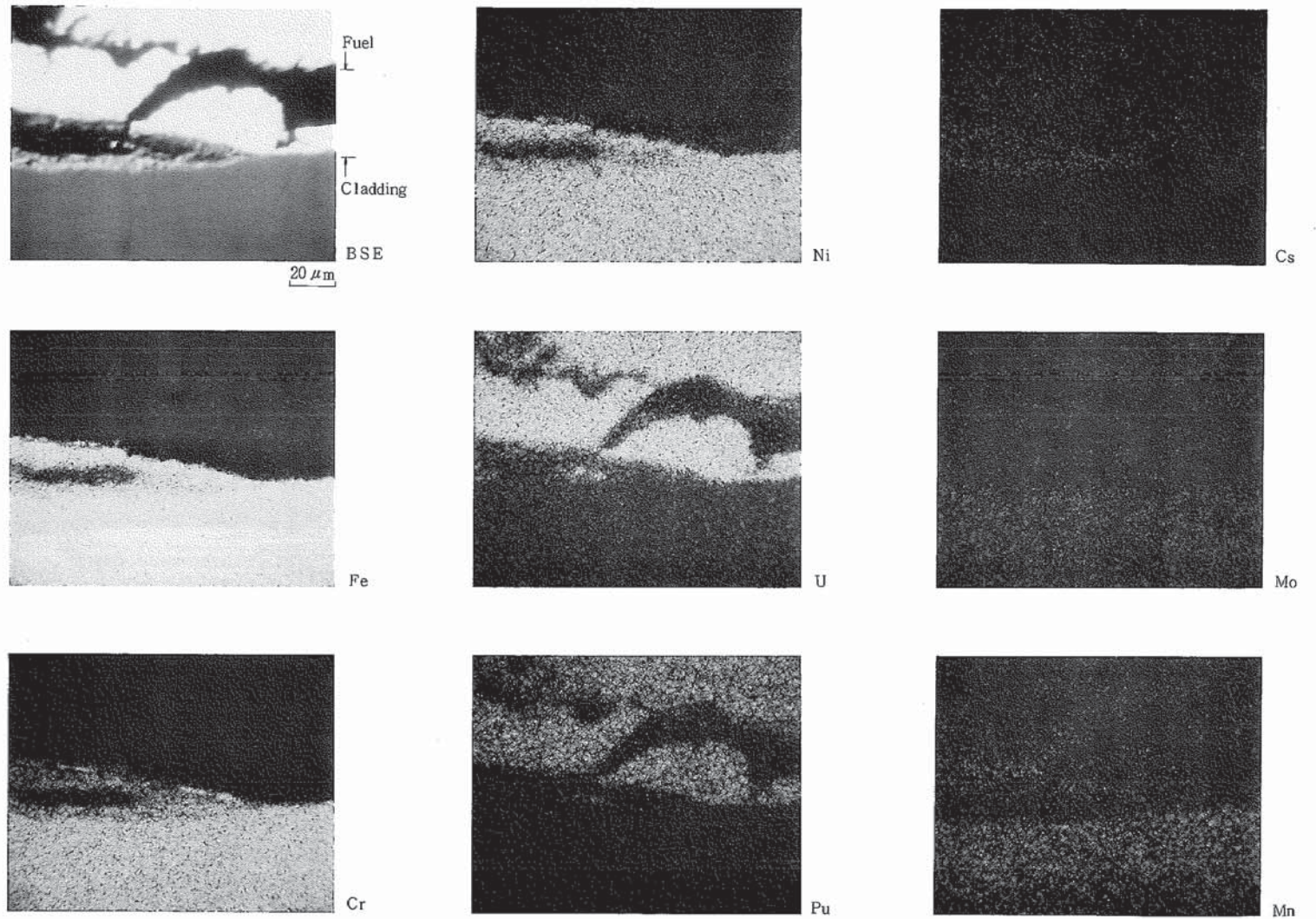


Photo.E-6 Various X-ray Images of the Gap Part between the Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815262)



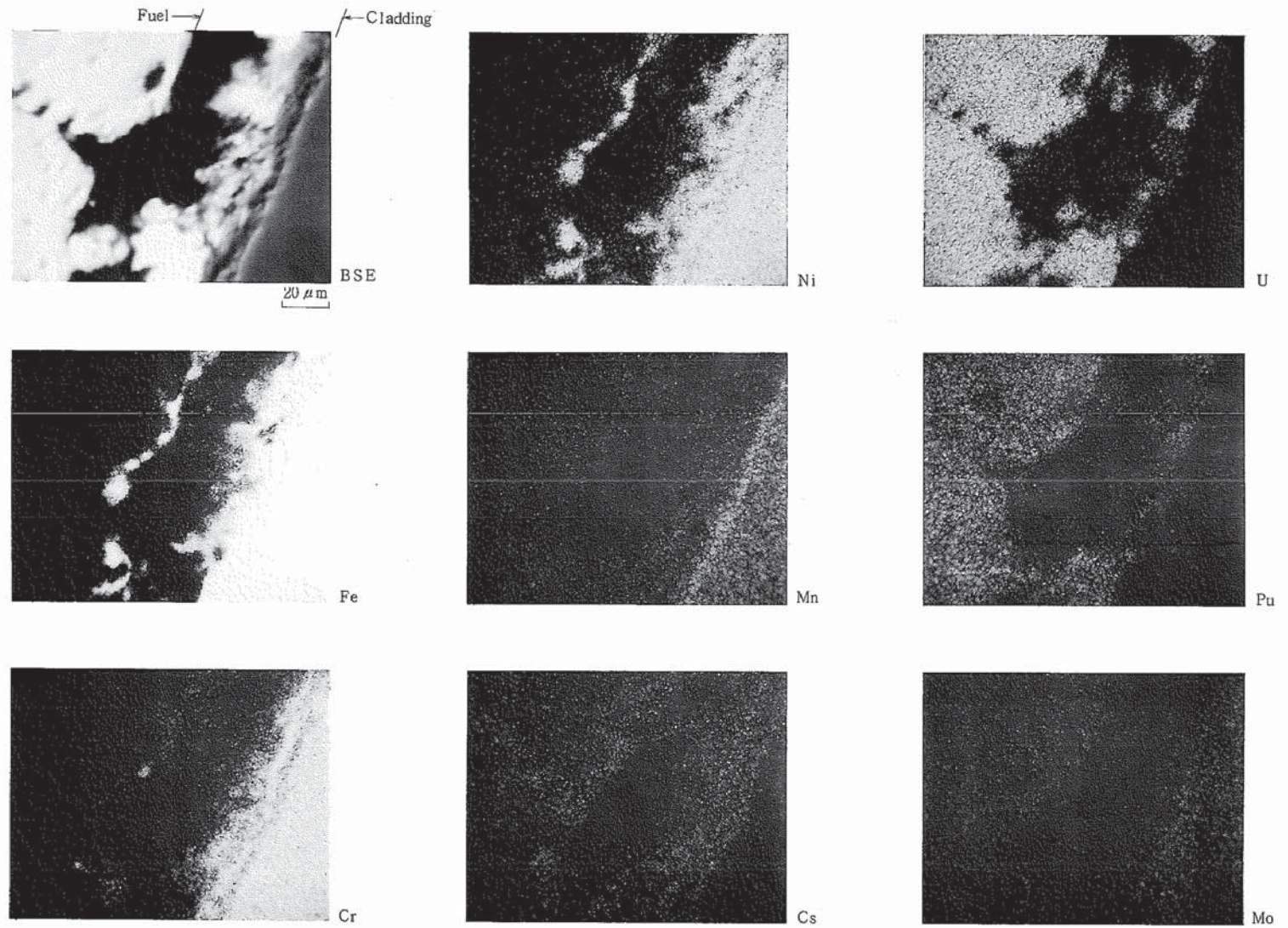


Photo.E-7 Various X-ray Images of the Gap Part between the Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815285)

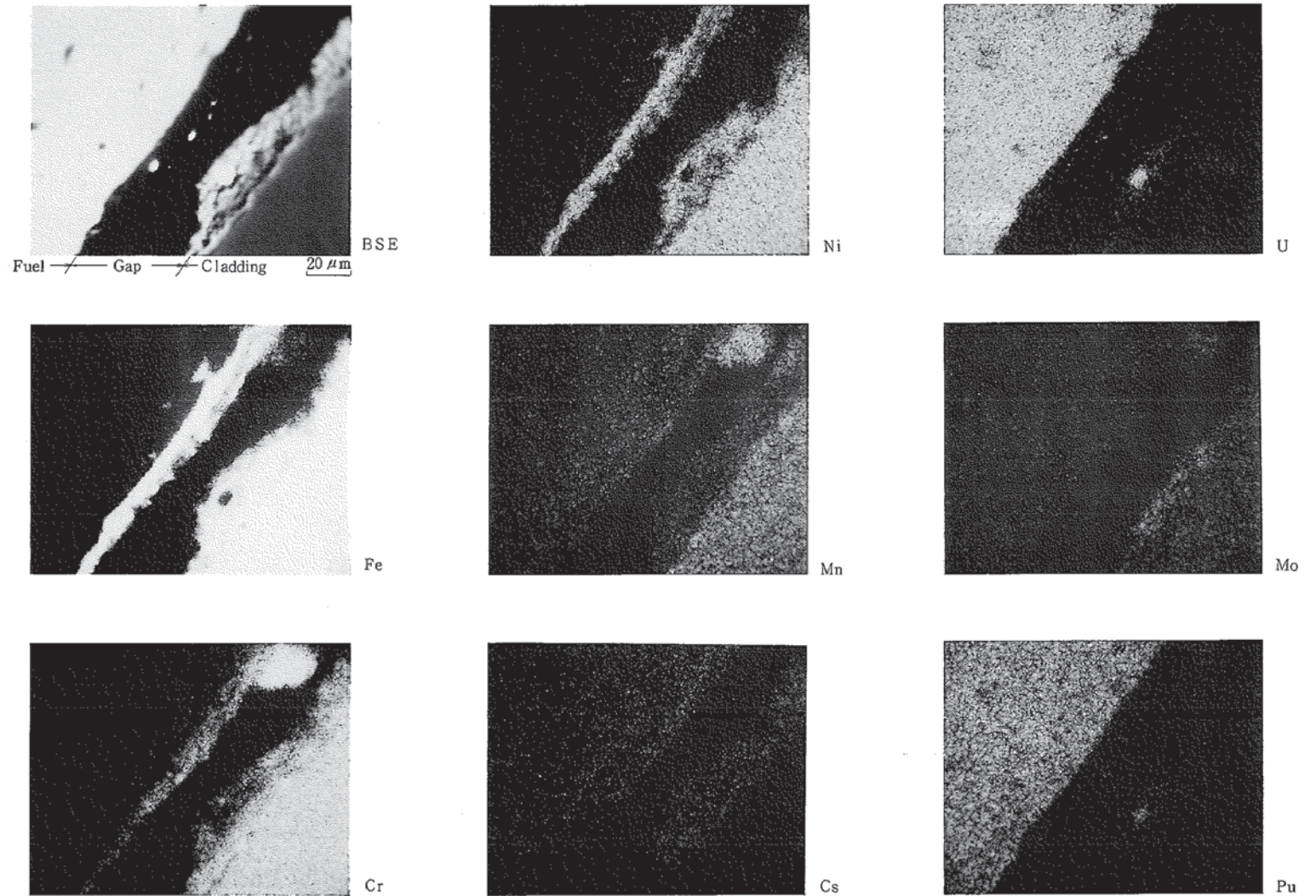


Photo.E-8 Various X-ray Images of the Gap Part between the Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815285)



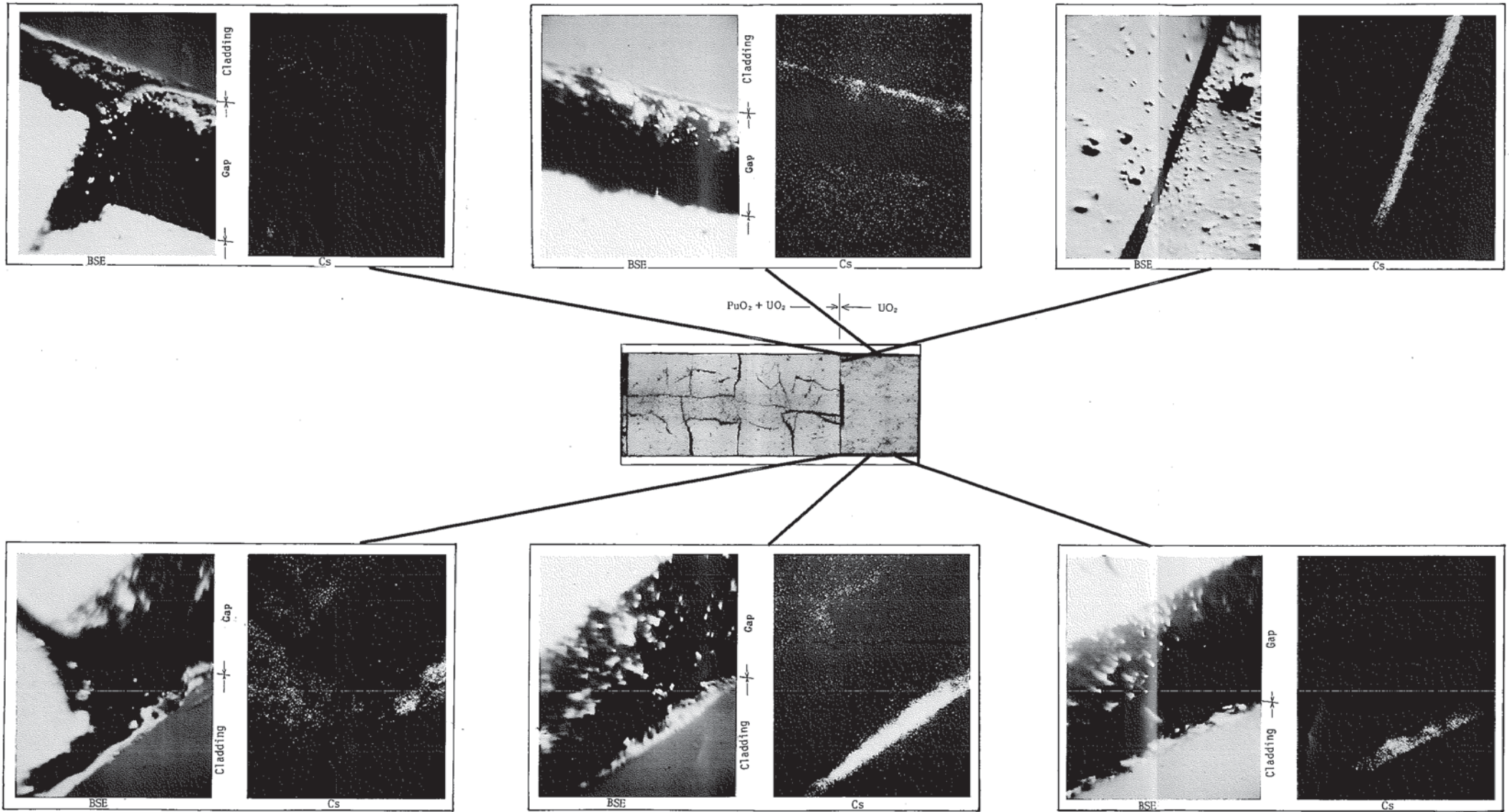


Photo.E-9 Various X-ray Images of the Gap Part between the Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815285)

この頁は PDF 化されていません。

内容の閲覧が必要な場合は、技術資料管理  
担当箇所を参照して下さい。



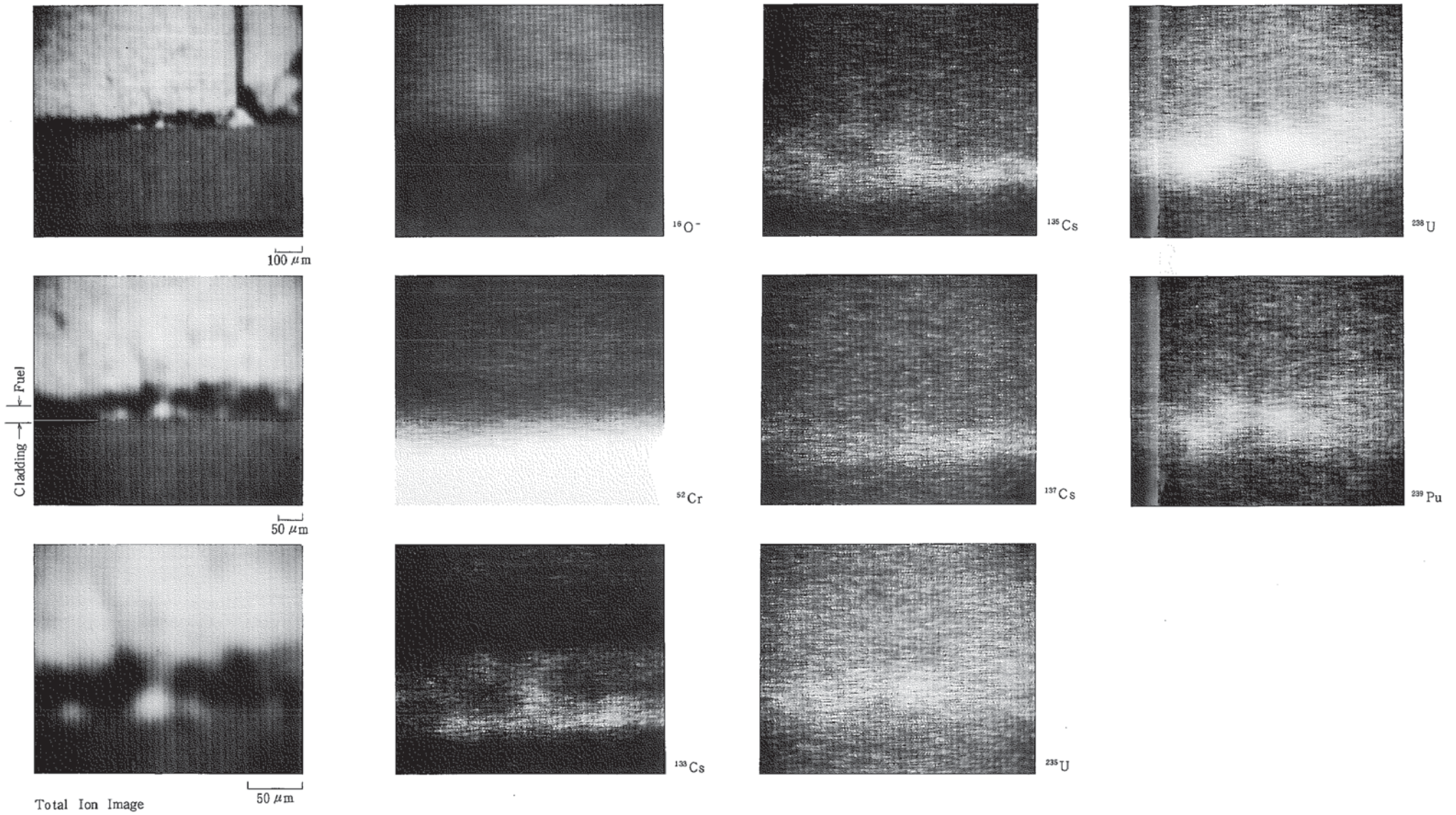


Photo.I-1 Ion Images of the Gap Part between the Core Fuel and Cladding (Specimen No. 815285)

この頁は PDF 化されていません。

内容の閲覧が必要な場合は、技術資料管理  
担当箇所を参照して下さい。