

J A E R I - M
91-078

第2回JMTR照射試験用ウラン・プルトニウム
混合窒化物燃料ピン(89F-3A)の製作

1991年5月

鈴木 康文・岩井 孝・筧山 龍雄・前多 厚
荒井 康夫・塩沢 憲一・大道 敏彦

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, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1991
編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

第2回 JMTR 照射試験用ウラン・プルトニウム混合窒化物
燃料ピン (89F-3A) の製作

日本原子力研究所東海研究所燃料・材料工学部
鈴木 康文・岩井 孝・笛山 龍雄・前多 厚
荒井 康夫・塙沢 憲一・大道 敏彦

(1991年4月9日受理)

高速炉用新型燃料として期待されるウラン・プルトニウム混合窒化物燃料の照射挙動を把握し、その健全性を実証するために、第2回 JMTR 照射試験にむけて燃料ピン2本を製作した。窒化物燃料の被覆管との機械的相互作用(FCMI)を抑制することを目的として、フェライト系ステンレス鋼被覆燃料ピンを新たに導入し、従来のオーステナイト系ステンレス鋼被覆燃料ピンと組合わせ、比較試験を行う計画である。これらの燃料ピンは1991年1月から目標燃焼度50G Wd/tを目指して照射が開始されている。

Fabrication of Uranium-Plutonium Mixed Nitride Fuel Pins (89F-3A)
for Second Irradiation Test at JMTR

Yasufumi SUZUKI, Takashi IWAI, Tatsuo SASAYAMA, Atsushi MAEDA
Yasuo ARAI, Kenichi SHIOZAWA and Toshihiko OHMICHI

Department of Fuels and Materials Research
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 9, 1991)

A couple of fuel pins of uranium-plutonium mixed nitride, which has a potential as an advanced FBR fuel, was fabricated for the 2nd irradiation test at JMTR in order to obtain informations on the fuel behavior and to establish the fuel performance. A ferritic stainless steel-cladded fuel pin was adopted to depress the mechanical interaction of nitride fuels with cladding materials (FCMI). A comparative examination is planned by the combined use of an austenitic stainless steel-cladded pin. The irradiation of these pins started on January 1991 for the goal burnup of about 50 GWd/t.

Keywords: FBR Fuel, Nitride, Uranium Nitride, Plutonium Nitride,
Irradiation Test, Fabrication, Fuel Pin, Cladding, Ferritic
Stainless Steel

目 次

1. はじめに	1
2. 燃料ピンの設計	1
2.1 燃料ピンの仕様	1
2.2 燃料ピンの構造	2
2.3 核熱計算	2
3. 燃料ペレットの製造	3
3.1 ペレット製作	3
3.2 確性試験	4
4. 燃料ピンの製作	5
4.1 燃料ピンの構成部材	5
4.2 燃料ピンの溶接	5
4.3 フェライト鋼被覆燃料ピン溶接部の熱処理	6
4.4 燃料ピンの検査	6
5. あとがき	7
謝 辞	7
参考文献	8
付 錄	19

Contents

1. Introduction	1
2. Design of fuel pins	1
2.1 Specifications of fuel pins	1
2.2 Structure of fuel pins	2
2.3 Nuclear and thermal calculation	2
3. Fabrication of fuel pellets	3
3.1 Fabrication of pellets	3
3.2 Characterization	4
4. Fabrication of fuel pins	5
4.1 Component parts	5
4.2 Welding of fuel pins	5
4.3 Heat-treatment of welded ferritic stainless steel-cladded pin	6
4.4 Inspection of fuel pins	6
5. Summary	7
Acknowledgement	7
References	8
Appendix	19

1. はじめに

ウラン・プルトニウム混合窒化物燃料は、高い核分裂性物質密度と融点をもち、良好な熱伝導度を示すことなどから高い増殖性能を期待できる。また、燃焼に伴う小さな反応度欠損やコンパクトな炉心の設計が可能であると同時に、ピューレックス法に基づいて再処理が可能であると考えられている等、優れた特徴をもっており、高性能の高速増殖炉用新型燃料として期待されている⁽¹⁾。原研においても、この窒化物燃料の優れた燃料特性に注目し、1980年代前半から研究に着手し、これまでに物性研究⁽²⁾のほかに、炭素熱還元による窒化物の調製や燃料ペレットの製造技術の確立⁽³⁾を行ってきた。

窒化物燃料は上述のように優れた燃料特性を有しているものの、照射下におけるクリープ速度が小さく⁽⁴⁾、高燃焼度を目標とした場合には燃料と被覆管との機械的相互作用(FCMI)が厳しくなることが予想されている。このため、窒化物燃料を開発していくためには、燃料健全性の確認を行うとともに、FCMIを中心とした照射下における燃料挙動の把握を図っていくことが重要となっている。これまでの窒化物燃料の照射実績は少なく、照射試験に供された燃料ピンの数も炭化物燃料と比べて約1桁少ないのが実情である。このような観点から1988年からJMT-Rを用いたウラン・プルトニウム混合窒化物燃料の照射試験が計画された。まず、燃料中心温度を測定するための熱電対が計装された燃料ピン1本を含む2本のウラン・プルトニウム混合窒化物燃料ピンが製作され⁽⁵⁾、第1回試験として1990年3月から照射が開始されている。今回計画された第2回照射試験では、厳しい機械的相互作用に対処する手段として高温クリープ強度特性に優れたフェライト系ステンレス鋼（高クロムフェライト／マルテンサイト系ステンレス鋼）を被覆材として採用し⁽⁶⁾、従来のオーステナイト系ステンレス鋼との比較検討を行うこととしており、併せて高燃焼度の達成を目標として1991年1月（JMT-R 94サイクル）から照射が開始された。

本報告書では、第2回照射試験のために実施したウラン・プルトニウム混合窒化物燃料ピン2本の製作に関して、燃料ピン設計、燃料ペレット製造、燃料ピン製作等について紹介する。また、フェライト系ステンレス鋼被覆燃料ピンについては、端栓溶接に伴って溶接部および周辺の熱影響部において靭性低下が起こるため⁽⁷⁾、溶接後の熱処理が必要であり、本報告書ではこの点についても概略を紹介する。

2. 燃料ピンの設計

2.1 燃料ピンの仕様

第2回窒化物燃料照射試験では、約6at.%を目標燃焼度に設定し、JMT-Rにおいて第94サイクルから第113サイクルまで20サイクルの照射を行う予定としている。このため、この照射期間中において燃料と被覆管とのギャップは完全に閉塞し⁽⁸⁾、燃料のスエリングに伴って被覆管に大きな応力の作用することが予想される。このような窒化物燃料で予想される高燃焼時

1. はじめに

ウラン・プルトニウム混合窒化物燃料は、高い核分裂性物質密度と融点をもち、良好な熱伝導度を示すことなどから高い増殖性能を期待できる。また、燃焼に伴う小さな反応度欠損やコンパクトな炉心の設計が可能であると同時に、ピューレックス法に基づいて再処理が可能であると考えられている等、優れた特徴をもっており、高性能の高速増殖炉用新型燃料として期待されている⁽¹⁾。原研においても、この窒化物燃料の優れた燃料特性に注目し、1980年代前半から研究に着手し、これまでに物性研究⁽²⁾のほかに、炭素熱還元による窒化物の調製や燃料ペレットの製造技術の確立⁽³⁾を行ってきた。

窒化物燃料は上述のように優れた燃料特性を有しているものの、照射下におけるクリープ速度が小さく⁽⁴⁾、高燃焼度を目標とした場合には燃料と被覆管との機械的相互作用(FCMI)が厳しくなることが予想されている。このため、窒化物燃料を開発していくためには、燃料健全性の確認を行うとともに、FCMIを中心とした照射下における燃料挙動の把握を図っていくことが重要となっている。これまでの窒化物燃料の照射実績は少なく、照射試験に供された燃料ピンの数も炭化物燃料と比べて約1桁少ないのが実情である。このような観点から1988年からJMT-Rを用いたウラン・プルトニウム混合窒化物燃料の照射試験が計画された。まず、燃料中心温度を測定するための熱電対が計装された燃料ピン1本を含む2本のウラン・プルトニウム混合窒化物燃料ピンが製作され⁽⁵⁾、第1回試験として1990年3月から照射が開始されている。今回計画された第2回照射試験では、厳しい機械的相互作用に対処する手段として高温クリープ強度特性に優れたフェライト系ステンレス鋼（高クロムフェライト／マルテンサイト系ステンレス鋼）を被覆材として採用し⁽⁶⁾、従来のオーステナイト系ステンレス鋼との比較検討を行うこととしており、併せて高燃焼度の達成を目標として1991年1月（JMT-R 94サイクル）から照射が開始された。

本報告書では、第2回照射試験のために実施したウラン・プルトニウム混合窒化物燃料ピン2本の製作について、燃料ピン設計、燃料ペレット製造、燃料ピン製作等について紹介する。また、フェライト系ステンレス鋼被覆燃料ピンについては、端栓溶接に伴って溶接部および周辺の熱影響部において靭性低下が起こるため⁽⁷⁾、溶接後の熱処理が必要であり、本報告書ではこの点についても概略を紹介する。

2. 燃料ピンの設計

2.1 燃料ピンの仕様

第2回窒化物燃料照射試験では、約6at.%を目標燃焼度に設定し、JMT-Rにおいて第94サイクルから第113サイクルまで20サイクルの照射を行う予定としている。このため、この照射期間中において燃料と被覆管とのギャップは完全に閉塞し⁽⁸⁾、燃料のスエリングに伴って被覆管に大きな応力の作用することが予想される。このような窒化物燃料で予想される高燃焼時

のFCMIに対応するため、燃料の安定性を高めると同時に、高温クリープ強度特性に優れた被覆管を採用してその効果を調べることを主要研究課題に選定した。このような観点から定められた第2回照射試験用燃料ピンの基本仕様をTable 1に示した。

燃料仕様に関しては、第1回照射試験⁽⁵⁾と同様に、FCMIを緩和させる目的で低密度ペレットを採用し、燃料密度として約85%T.D. (T.D. : 理論密度)、スマア密度として約82%T.D. を目標とした。燃料製造に当っては、できるだけ熱安定性の高いペレットを製作するため、焼結性の高い微粉末の窒化物とポアフォーマとを組み合わせて使用し、安定ポアの導入と比較的密度の高い燃料マトリックスを確保し得る方法を選択した。

被覆材については、諸特性が把握されているほか、照射データが入手しうる材料の中から選定することを前提として検討作業を進め、動燃で開発された高クロムを含有するフェライト/マルテンサイト系ステンレス鋼 (11Cr-2W-Mo-Mn-V鋼、炭化物析出型) を採用することとした。その主要な特性については別に報告されている⁽⁶⁾。従来より使用してきたオーステナイト系ステンレス鋼 (米国DOEから入手、20%冷間加工316ステンレス鋼相当) と比較検討するため、1体のキャップセルに装荷される2本の燃料ピンのうち、1本についてはフェライト系ステンレス鋼被覆 (No. 2ピン)、他の燃料ピンはオーステナイト鋼ステンレス鋼被覆 (No. 1ピン) として、組合せることとした。使用される燃料ピンの外径は、これまでに照射された炭化物燃料^(9, 10)、窒化物燃料⁽⁵⁾と同じく9.40mmである。燃料と被覆管の間のギャップについては、2本の燃料ピン共に0.15mmと同一にしたが、被覆管肉厚が異なるため、燃料ペレットの外径寸法は、それぞれ8.23mmおよび8.25mmとなった。

プルトニウム富化度については、これまでの炭化物および窒化物燃料の照射試験と同様に、大型炉心を想定した20%を採用し、ウランには天然ウランを用いることとした。

2.2 燃料ピンの構造

燃料ピンの概略構造、寸法等については、第1回窒化物燃料照射試験の場合 (No. 1ピン) と基本的に同様である⁽⁵⁾。また、スタック長、プレナム等の仕様についても変更されていない。2本の燃料ピンは、相互に下部端栓を突きあわせる形で1体のキャップセルに組み立てられる。(U, Pu)N燃料スタック長は約100mmとして、両端に窒化ウランペレットを断熱用ペレットとしてそれぞれ1個づつ配置している。

2.3 核熱計算

今回製作した混合窒化物燃料は、キャップセルに組込まれた後、JMT-Rの照射孔 [D-12] に装填され、平成3年1月から線出力660W/cm、燃焼度6at.%を目指した照射が開始されている (キャップセル名: 89F-3A)。照射燃料ピンの核熱計算については、JMT-Rの協力を得てENGTCコードを用いて行われ、線出力とキャップセル各部材温度との関係を求めた。核的および熱的条件については基本的に第1回照射と同様であり、詳細についてはすでに報告されている⁽⁵⁾。

3. 燃料ペレットの製造

3.1 ペレット製作

混合窒化物燃料ペレットの製造では、これまでと同様に二酸化ウラン、二酸化プルトニウムおよび黒鉛粉末混合物を窒素-水素混合ガス気流中で加熱することによって混合窒化物を調製し、成型・焼結によって燃料ペレットとした⁽³⁾。燃料ペレットの製造フローの概略をFig. 1に示した。これらの燃料製造に用いられた原料粉末の特性については、第1回照射試験用窒化物燃料製造の場合と同じである⁽⁵⁾。酸化物及び黒鉛粉末は秤量した後、ガラス製V型ブレンダーおよびボールミルを用いて、それぞれ2時間および24時間混合した。酸化物に対する黒鉛の添加量は2.5(モル比)とした。過剰の黒鉛添加は、できるだけ酸素の残量を減らすことを目標として設定されており、余剰分の黒鉛については水素によって除去される⁽³⁾。炭素熱還元による窒化物の調製では、気相-固相反応が関与するため、反応に供するための試料は表面積が大きく、かつ、低密度のものが望ましい。このため、極力低いプレス圧力(100MPa以下)で薄い円盤状(12mmφ×2-3mm)に成型した。反応に使用した電気炉は内熱式タンクス滕抵抗加熱式のものである。加熱雰囲気はN₂-8%H₂混合ガス気流中としたが、三二窒化物の生成を抑えるために昇温および降温時はArガスに切換えた。加熱時間は約12時間とし、昇降温速度については20°C/minとした。

炭素熱還元で得られたブロック状の窒化物は、タンクス滕炭化物内張りのボールミルおよびタンクス滕炭化物製のボールを用いて48時間粉碎した。得られた窒化物粉末の焼結特性を確認するために本焼結の前に試し焼結を行い、その密度測定結果から85%T.D.のペレットを得るために必要なポアフォーマの添加量を求めた。ポアフォーマとしては、粒径10-20μmのワックス系高分子化合物を用いた。ガラス製V型ブレンダーを用いて窒化物粉末とポアフォーマを混合した後、油圧プレスによって300MPaの成型圧力でグリーンペレットとした。ポアフォーマの添加によって十分に流動性のある粉末が得られるため、成型にあたってはバインダー類は使用しなかった。

ペレットの焼結については、Ar-8%H₂混合ガス気流中で1750°Cに加熱することによって行った。ただし、ポアフォーマを分解させるために昇温の途中において約500°Cで約1時間の温度保持を行ったほか、昇温および降温時には、Ar-8%H₂混合ガスの代りに純Arガスを用いた。温度保持時間は約3時間とした。焼結に使用した炉は炭素熱還元を行った電気炉と同じである。

焼結後、燃料ペレットは空気雰囲気グローブボックス内に格納されているセンタレス・グラインダを用いて円周研削を行った。この場合の研削精度は0.001mmである。燃料スタック長を調整するため、一部のペレットについて端面切断を行い、超音波洗浄を施した後、更に真空中で1200°Cに加熱することによって脱脂乾燥した。スタック調整を行った後の燃料ペレットの外観写真をFig. 2に示した。

今回の試験では、断熱用のUNペレットについても、二酸化ウラン粉末を炭素熱還元によって窒化物に転換し、次いで焼結することによって製造した。製造方法は基本的にウラン・プルトニウム混合窒化物の場合と同様である。

3.2 確性試験

燃料ペレットについて、外観検査、寸法測定、重量測定、 P_u/U 比測定、窒素定量⁽¹¹⁾、酸素及び炭素不純物量の定量^(12, 13)、X線回折（相同定、格子定数）、断面組織観察および高温放出ガス定量⁽¹⁴⁾を行った。これらの確性試験によって得られた結果をTable 2にまとめ示した。

燃料ペレットの密度については、寸法測定から求められる容積と重量測定の結果とから求めた。その平均値は約12.3g/cm³であり、ほぼ設計目標値と同様の結果が得られた。この結果、スミア密度はNo. 1およびNo. 2ピンでそれぞれ82.5%T. D. および83.2%T. D. となった。このスミア密度の値は燃料と被覆管との機械的相互作用を緩和するためには若干高めのものとなっており、照射下においては比較的早目に現象が顕在化することが予測される。なお、同じ窒化物粉末を使用し、ポアフォーマを添加しないで焼結条件は同一として調製したペレットの密度については、13.1g/cm³（約91%T. D.）の値が得られており、ポアフォーマ入り燃料のマトリックスについても同様に90%T. D. 以上の密度であると考えられる。

燃料中のプルトニウム富化度については、電位差滴定法で測定されたが、設計仕様範囲内に収まっていることが確認された。また、燃料中に含まれる酸素および炭素不純物の量については、それぞれ0.142wt.%および0.201wt.%であった。これらの値は第1回照射試験の場合とほぼ同様である⁽⁵⁾。なお、窒化物の粉末化およびポアフォーマの添加が燃料中の不純物量に影響を与えることが予想されたため、炭素熱還元直後の試料およびポアフォーマ無添加ペレットについても酸素および炭素の定量を行った。その結果をTable 3に示したが、燃料ペレット製造工程において、特に酸素量について変化が認められている。還元直後の試料と比べてポアフォーマを添加しない場合で0.03wt.%、ポアフォーマを添加した場合では約0.1wt.%の増加があり、ポアフォーマ添加の影響が相対的に強く表れていることが理解される。これに対して炭素量については大きな変化は認められていない。窒化物燃料の酸素量については0.3wt.%を超えると燃料挙動に悪影響のできることが報告されているが⁽¹⁵⁾、今回製作された燃料については0.3wt.%と比べて十分に低い値であり、これらのことから窒化物の微粉化やポアフォーマ添加に伴って若干の酸素量の増加が起こるもの、基本的に燃料挙動に大きな影響を与えるようなものでないと判断される。しかし、今回の燃料製造では極めて高純度のアルゴンガス雰囲気（酸素2-3 ppm、露点-70°C以下）を用いており、実用的な燃料製造を考慮した場合には制約された雰囲気条件で燃料が製造される可能性があり、酸素不純物量の制御については雰囲気条件との関連で検討すべき課題として残されている。X線回折による相同定では、ごく微量の酸化物相の存在を除くと一窒化物単相であることが確認された。また、一窒化物相の格子定数の値については、0.48942nmであり、第1回照射試験の場合とほぼ同様の結果であった⁽⁵⁾。

燃料組織の観察は、ペレットをベークライト樹脂に埋め込んだ上で研磨を行ない、乳酸50cc、

硝酸30ccの混合液にフッ酸を3滴加えた液によってエッチングを施して行なった。Fig. 3にはペレット断面の金相写真を示した。これからポアフォーマによる大きなポアの導入が認められる。なお、一部領域においてポアの集積していることが観察された。これはポアフォーマの添加の際に混合が不十分のためと推定されている。このことが燃料挙動に悪影響を及ぼすことはないと考えられるが、この点については、改善を図っていく必要があり、今後の検討課題となっている。

燃料中に残存する蒸発性不純物ガス（高温放出ガス）については、これまでと同様の条件⁽⁵⁾で測定したが、その結果は約 $50 \mu\text{l} \cdot \text{atm}$ (30分) であり、特に問題のない値であることを確認した。

断熱用のUNペレットの確性試験結果については、Table 4にまとめて示したが、各分析値については設計値仕様範囲内であった。

4. 燃料ピンの製作

4.1 燃料ピンの構成部材

燃料ペレットを除いた被覆管等の燃料ピン構成部品の外観写真をFig. 4に示した。基本的な構造はこれまでの燃料ピンと同じである。フェライト系ステンレス鋼被覆燃料ピンでは、溶接に伴う熱影響部の範囲をできるだけ抑えることが望ましく、また、熱伝導の相違等からオーステナイト系ステンレス鋼被覆管と比べて溶接時の入熱条件を変更する必要がある。このため、端栓溶接条件の変更を行なったが、形状については従来どおりとした。また、フェライト系ステンレス鋼被覆燃料ピンの下部端栓については東海研究所工作課に依頼して溶接を行ったが、溶接に伴う熱影響範囲を小さくする目的で電子ビーム溶接を実施した。このため、下部端栓形状については変更を行なった。

4.2 燃料ピンの溶接

オーステナイト系ステンレス鋼被覆燃料ピンの溶接はこれまでと同様の方法で行った⁽⁵⁾。これに対して、フェライト系ステンレス鋼については事前に溶接条件の予備検討を実施し、適切な溶接電流等の設定を行った⁽⁶⁾。Fig. 5には、最終的に決定された溶接条件と溶接部の断面金相写真を示したが、良好な溶け込み深さが確保されている等十分に基準を満たす溶接が可能であることが確認された。

上部端栓の溶接は、空気雰囲気グローブボックス全体をヘリウムガスに置換して行った。あらかじめアルゴンガスによって置換することによってグローブボックス内の水分を低下させた後、続いて高純度のヘリウムガスをワنس・スルー方式によって供給し、水分、酸素およびアルゴンガスを除去した。これまでの経験からグローブボックス内の酸素および水分濃度は、それぞれ5 ppm、-50°C (露点) 以下であり、良好な雰囲気が確保されていると考えられる。ペレ

硝酸30ccの混合液にフッ酸を3滴加えた液によってエッチングを施して行なった。Fig. 3にはペレット断面の金相写真を示した。これからポアフォーマによる大きなポアの導入が認められる。なお、一部領域においてポアの集積していることが観察された。これはポアフォーマの添加の際に混合が不十分のためと推定されている。このことが燃料挙動に悪影響を及ぼすことはないと考えられるが、この点については、改善を図っていく必要があり、今後の検討課題となっている。

燃料中に残存する蒸発性不純物ガス（高温放出ガス）については、これまでと同様の条件⁽⁵⁾で測定したが、その結果は約 $50 \mu\text{l} \cdot \text{atm}$ (30分) であり、特に問題のない値であることを確認した。

断熱用のUNペレットの確性試験結果については、Table 4にまとめて示したが、各分析値については設計値仕様範囲内であった。

4. 燃料ピンの製作

4.1 燃料ピンの構成部材

燃料ペレットを除いた被覆管等の燃料ピン構成部品の外観写真をFig. 4に示した。基本的な構造はこれまでの燃料ピンと同じである。フェライト系ステンレス鋼被覆燃料ピンでは、溶接に伴う熱影響部の範囲をできるだけ抑えることが望ましく、また、熱伝導の相違等からオーステナイト系ステンレス鋼被覆管と比べて溶接時の入熱条件を変更する必要がある。このため、端栓溶接条件の変更を行なったが、形状については従来どおりとした。また、フェライト系ステンレス鋼被覆燃料ピンの下部端栓については東海研究所工作課に依頼して溶接を行ったが、溶接に伴う熱影響範囲を小さくする目的で電子ビーム溶接を実施した。このため、下部端栓形状については変更を行なった。

4.2 燃料ピンの溶接

オーステナイト系ステンレス鋼被覆燃料ピンの溶接はこれまでと同様の方法で行った⁽⁵⁾。これに対して、フェライト系ステンレス鋼については事前に溶接条件の予備検討を実施し、適切な溶接電流等の設定を行った⁽⁶⁾。Fig. 5には、最終的に決定された溶接条件と溶接部の断面金相写真を示したが、良好な溶け込み深さが確保されている等十分に基準を満たす溶接が可能であることが確認された。

上部端栓の溶接は、空気雰囲気グローブボックス全体をヘリウムガスに置換して行った。あらかじめアルゴンガスによって置換することによってグローブボックス内の水分を低下させた後、続いて高純度のヘリウムガスをワنس・スルー方式によって供給し、水分、酸素およびアルゴンガスを除去した。これまでの経験からグローブボックス内の酸素および水分濃度は、それぞれ5 ppm、-50°C (露点) 以下であり、良好な雰囲気が確保されていると考えられる。ペレ

ットの被覆管への充填および上部端栓の圧入方法については、これまでと同様であり、既に報告したとおりである⁽¹⁶⁾。今回製作された2本の燃料ピンの外観写真をFig. 6に示した。

4.3 フェライト鋼被覆燃料ピン溶接部の熱処理

フェライト系ステンレス鋼では溶接により溶接部および周辺の熱影響部において硬度が上昇し、靭性の低下が起こる⁽⁷⁾。このため、端栓溶接部については熱処理を施す必要がある。詳細については既に報告されているように、小型熱処理装置を新たに設置した上で、各種の熱処理条件で検討を行い、最適熱処理条件を求めた⁽⁶⁾。

溶接後の燃料ピンは、端栓部分について真空($2 - 4 \times 10^{-4}$ torr)条件下で720°Cに1時間加熱した。また、昇温速度は20°C/minとした。被覆材母材のビッカース硬度は約260 Hvであるが、溶接によって熱影響部の硬度は最大490 Hv程度までに上昇する。事前の熱処理条件の検討から720°Cにおける熱処理によって溶接部および熱影響部の硬度は340 Hv程度に低下し、母材に近い硬度まで回復することが確認されている。また、別途行なわれた引張り強度等の機械強度試験の結果では、720°Cにおける1時間の熱処理によって大幅な改善が認められており⁽⁶⁾、熱処理条件は適切であったと判断される。なお、この被覆材はその製造工程において最終的に780°Cで熱処理を行っているものであり、主にこの点から今回の熱処理条件が選定された。

4.4 燃料ピンの検査

燃料ピンの完成検査としては、外観検査、寸法検査、重量検査、表面汚染度検査、ヘリウムリーク検査、X線透過試験を実施した。溶接後の燃料ピンの外観については、溶接部に若干の着色が認められたが、軽微なものであり、問題となるものでなかった。また、溶接ビードの不均一性等、溶接欠陥を示唆する兆候は全く観察されなかった。そのほか、燃料ピン外観について有害な傷、欠陥等は認められなかった。燃料ピンの真直度は、全長に対して0.01mm以内であった。

燃料ピンの溶接後、ZnS(Ag)シンチレーション型検査計により表面汚染度(アルファ放射能)を測定したが、有意の汚染は認められなかった。また、ヘリウムリーク検査では、漏洩率は 3.9×10^{-9} atm·cc/s以下であり、十分に基準値を満たしていることを確認した。また、燃料ピン全体および端栓溶接部については、材料試験炉部検査課の協力を仰いでX線透過試験を実施した。なお、各検査の要領および検査結果の詳細については、付録にまとめて示した。

5. あとがき

今回製作されたウラン・プルトニウム混合窒化物燃料ピン2本は燃焼度6 at.%を目指して平成3年1月からJ M T Rにおいて照射が開始された。1983年から始った一連の照射試験では、これまでにウラン・プルトニウム混合炭化物燃料ピン9本、窒化物燃料4本を製作し、これらの燃料のJ R R - 2、J M T Rでの照射および照射後試験については関係課室の協力を得て順調に推移している。原研所内炉を用いた高速増殖炉用新型燃料に関する照射試験計画は今回の試験をもって終了し、今後は高速実験炉「常陽」における高速中性子照射に移行する計画である。現在、燃料ピンの製作のための準備作業等が進められている段階であり、炭化物燃料ピン1本および窒化物燃料ピン2本が1993年度から照射される予定となっている。これらの照射試験を通じて高速炉用新型燃料としての優れた特性が実証されるものと期待される。

謝 言

本燃料ピンの設計・製作にあたり、大洗研究所材料試験炉部計画課、照射第1課、検査技術課、東海研究所技術部工作課、実用燃料試験室の方々のご協力を頂いた。さらに、大洗研究所管理部プルトニウム技術開発室、放射線管理課、工務課の方々にも多くのご支援を頂いた。特に、キャップセル設計等について助言、助力を頂いた佐川勉氏、沢畠求氏、武山友憲氏、および化学分析をお願いした平田勝氏、黒沢誠氏には多大な労をおかけした。関係各位に深く感謝の意を表するものである。

また、本研究の遂行にあたり貴重な助言を頂いた近藤達男燃料・材料工学部長および半田宗男燃料・材料工学部次長に厚くお礼申上げる。

5. あとがき

今回製作されたウラン・プルトニウム混合窒化物燃料ピン2本は燃焼度6 at. %を目指して平成3年1月からJ M T Rにおいて照射が開始された。1983年から始った一連の照射試験では、これまでにウラン・プルトニウム混合炭化物燃料ピン9本、窒化物燃料4本を製作し、これらの燃料のJ R R - 2、J M T Rでの照射および照射後試験については関係課室の協力を得て順調に推移している。原研所内炉を用いた高速増殖炉用新型燃料に関する照射試験計画は今回の試験をもって終了し、今後は高速実験炉「常陽」における高速中性子照射に移行する計画である。現在、燃料ピンの製作のための準備作業等が進められている段階であり、炭化物燃料ピン1本および窒化物燃料ピン2本が1993年度から照射される予定となっている。これらの照射試験を通じて高速炉用新型燃料としての優れた特性が実証されるものと期待される。

謝 舌辛

本燃料ピンの設計・製作にあたり、大洗研究所材料試験炉部計画課、照射第1課、検査技術課、東海研究所技術部工作課、実用燃料試験室の方々のご協力を頂いた。さらに、大洗研究所管理部プルトニウム技術開発室、放射線管理課、工務課の方々にも多くのご支援を頂いた。特に、キャップセル設計等について助言、助力を頂いた佐川勉氏、沢畠求氏、武山友憲氏、および化学分析をお願いした平田勝氏、黒沢誠氏には多大な労をおかけした。関係各位に深く感謝の意を表するものである。

また、本研究の遂行にあたり貴重な助言を頂いた近藤達男燃料・材料工学部長および半田宗男燃料・材料工学部次長に厚くお礼申上げる。

参考文献

1. Matzke, H.J. "Science of Advanced LMFBR Fuels", North-Holland, Amsterdam (1986).
2. Suzuki, Y., Arai, Y., Handa, M., Shiba, K., "Research and Development of uranium-Plutonium Mixed Carbide and Nitride Fuels at JAERI", IAEA Advisory Group Meeting on Advanced Fuel Technology : Current Status and Prospects, Vienna, 27-29, Nov. (1989).
3. Arai, Y., Fukushima, S., Handa, M. "Fabrication of (U,Pu)N Fuel Pellets", J. Nucl. Mater., 168, 280 (1989).
4. Brucklacher, D., Dienst, W., "Creep Behavior of Ceramic Fuels under Neutron Irradiation", J. Nucl. Mater., 42, 285 (1972).
5. 鈴木、岩井、荒井、笹山、塩沢、大道、半田、"第1回 JMTR 照射用ウラン・プルトニウム混合窒化物燃料ピン(88F-5A)の製作", JAERI-M 90-116 (1990).
6. 岩井、笹山、鈴木、"フェライト鋼の高速炉用新型燃料被覆材への適用、-材料試験および溶接試験-", JAERI-M 投稿中 (1991).
7. Lippold, J.C., "The Effect of Postweld Heat Treatment on the Structure and Properties of the Heat-affected Zone in 12Cr-1Mo-0.3V(HT9) Weldments", Proc. Topical Conf. on Ferritic Alloys for use in Nuclear Energy Technologies, Snowbird, June, 19-23, 497 (1983).
8. Blank, H., Coquerelle, M., Ray, I.L.F., Richter, K., Walker, C.T., "Mechanisms Determining in the Performance of He-bonded Carbide Fuels", Proc. on Reliable Fuels for Liquid Metal Reactors, Tucson, Sept. 7-11, 7-15 (1986).
9. 荒井、岩井、前多、笹山、塩沢他、"高出力照射試験用ウラン・プルトニウム混合炭化物燃料ピンの製作", JAERI-M 86-094 (1986).
10. 荒井、岩井、前多、笹山、塩沢他、"JMTR照射キャプセル(84F-10A, 84F-12A, 87F-2A)用混合炭化物燃料ピンの製作", JAERI-M 89-060 (1989).
11. Handa, M., Shiozawa, K., Iwai, T., Arai, Y., "Determination of Nitrogen in UN, PuN and (U,Pu)N by Oxidation in Circulating Oxygen and Gas Chromatographic Measurement of Combustion Gases", Anal. Chemica Acta, 239, 107 (1990).
12. 半田、前多、矢幡、"ウラン・プルトニウム混合炭化物燃料中の酸素の定量", JAERI-M 8406 (1989).
13. 半田、前多、塩沢、"ウラン・プルトニウム混合炭化物燃料中の炭素の定量", JAERI-M 8414 (1979).
14. Iwai, T., Takahashi, I., Handa, M., "Measurement of Occluded Gases Released from Uranium-Plutonium Mixed Carbide and Uranium Carbide Fuels", J. Nucl. Sci. Technol., 25, 456 (1988).

15. Bauer, A.A., Brown, J.B., Fromm, E.O., Storhok, V.W., "Mixed-Nitride Fuel Irradiation Performance", Proc. on Fast Reactor Fuel Element Technology, New Orleans, Apr., 13-15, 785 (1971).
16. 笹山、鈴木、渡辺、半田、"ウラン・プルトニウム混合炭化物燃料ピンの製作設備"、JAERI-M 83-136 (1983).

Table 1 Design parameters of uranium-plutonium mixed nitride fuel pellets for second irradiation tests at JMTR

		No. 1 pin	No. 2 pin
Fuel pellets			
Chemical form		(U, Pu)N	(U, Pu)N
Diameter	(mm)	8.23	8.25
Height	(mm)	8	8
Density	(%T. D.)	85	85
Pu content [Pu/(U+Pu)]		0.20	0.20
Stack length	(mm)	100	100
Thermal insulator			
Chemical form		UN	UN
Diameter	(mm)	8.23	8.25
Height	(mm)	8	8
Density	(%T. D.)	85	85
Cladding			
Material		austenitic SS	ferritic SS
Outer Diameter	(mm)	9.40	9.40
Thickness	(mm)	0.51	0.50
Pin design			
Gap size	(mm)	0.15	0.15
Smear density	(%T. D.)	82	82
Bond material		He	He
Pin length	(mm)	250	250
T. D. ; Theoretical Density		T. D. for (U _{0.8} Pu _{0.2})N UN	14.29 g/cm ³ 14.32 g/cm ³

Table 2 Characteristics of (U,Pu)N pellets

	(U, Pu)N for No. 1 pin	(U, Pu)N for No. 2 pin
Dimensions		
Diameter	(mm)	8.230
Density	(g/cm ³)	12.26 ± 0.06
Composition		
(Pu/U+Pu)		0.209
Nitrogen content	(wt. %)	5.42
Oxygen content	(wt. %)	0.142 ± 0.004
Carbon content	(wt. %)	0.201 ± 0.005
X-ray diffraction analysis		
Phase identified		(U, Pu)N
Lattice parameter of nitride	(nm)	0.48942 ± 0.00002
Occluded gases	(μl·atm/30min) (at 1673K)	52
Number of pellets		13
Smear density	(%T. D.)	82.5
Stack length	(mm)	99.82
		99.32

Table 3 Change of carbon and oxygen content in nitride during pellet fabrication

	carbon (wt. %)	oxygen (wt. %)
after carbothermic reduction	0.17	0.04
after sinter with pore former	0.20	0.14
after sinter without pore former	0.16	0.07

Uncertainty $< \pm 0.005$ wt. %

Table 4 Characteristics of UN pellets

Dimensions		
Diameter	(mm)	8.230 or 8.248
Density	(g/cm ³)	12.06 \pm 0.05
Composition		
Nitrogen content (wt. %)		5.55
Oxygen content (wt. %)		0.046 \pm 0.010
Carbon content (wt. %)		0.178 \pm 0.002
X-ray diffraction analysis		
Phase identified		UN
Lattice parameter (nm)		0.48916 \pm 0.00004
of nitride		
Occluded gases (μ l·atm/30min) (at 1673K)		58

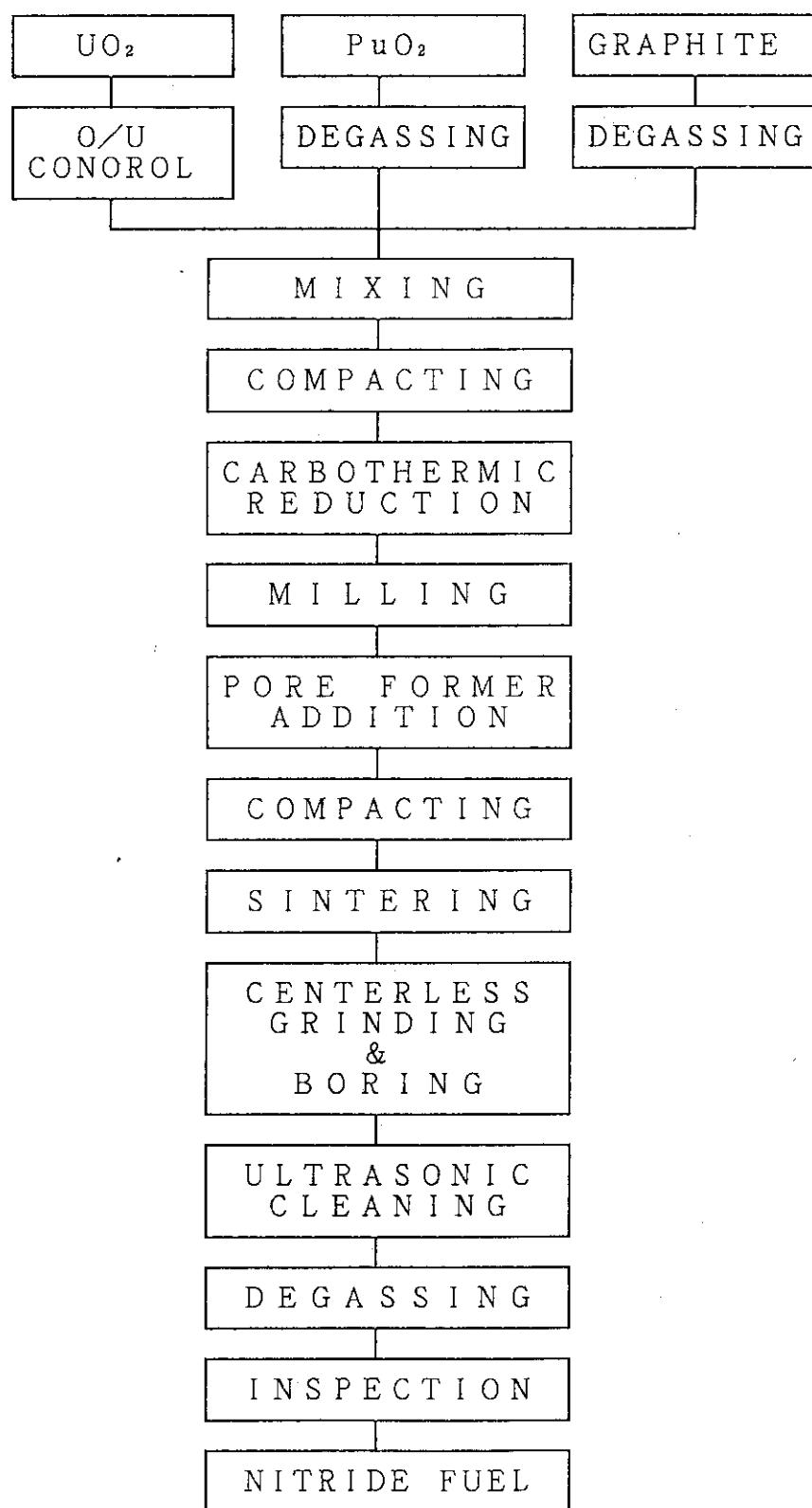
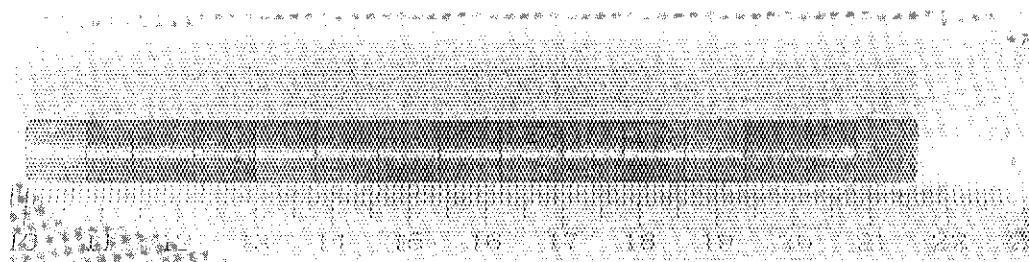
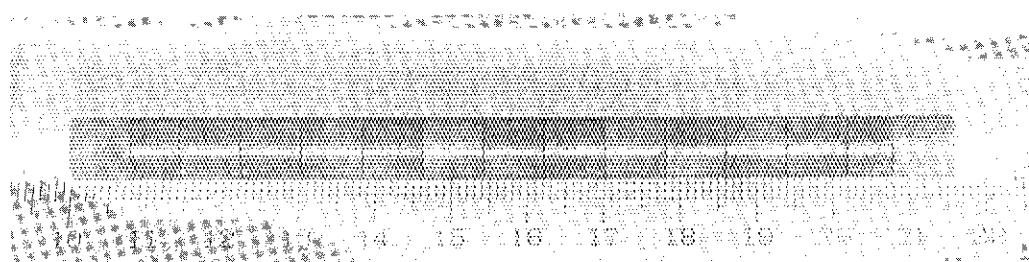


Fig. 1 Flow sheet of fabrication of mixed nitride fuel pellets



No. 1 pin



No. 2 pin

Fig. 2 External appearance of mixed nitride fuel pellets

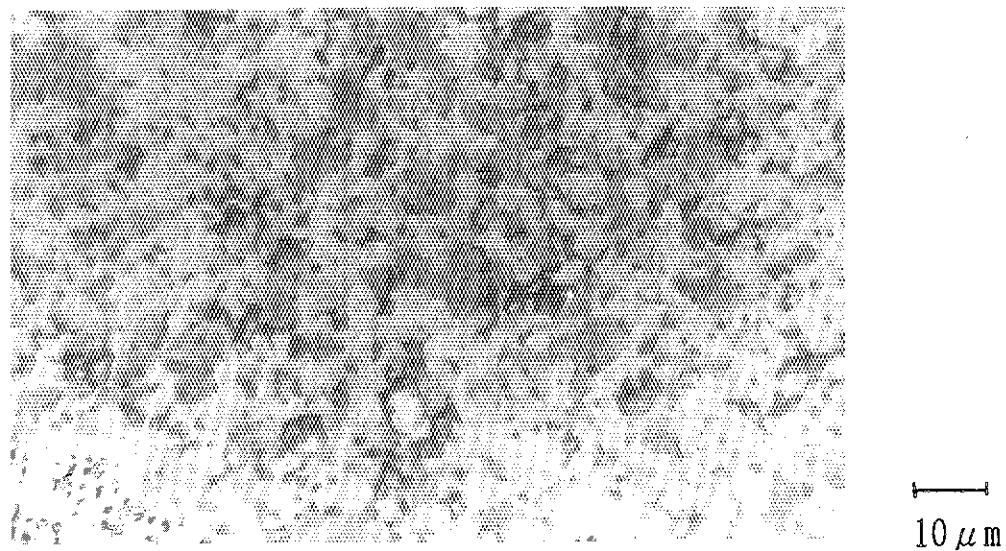


Fig. 3 Microstructure of mixed nitride fuel pellet

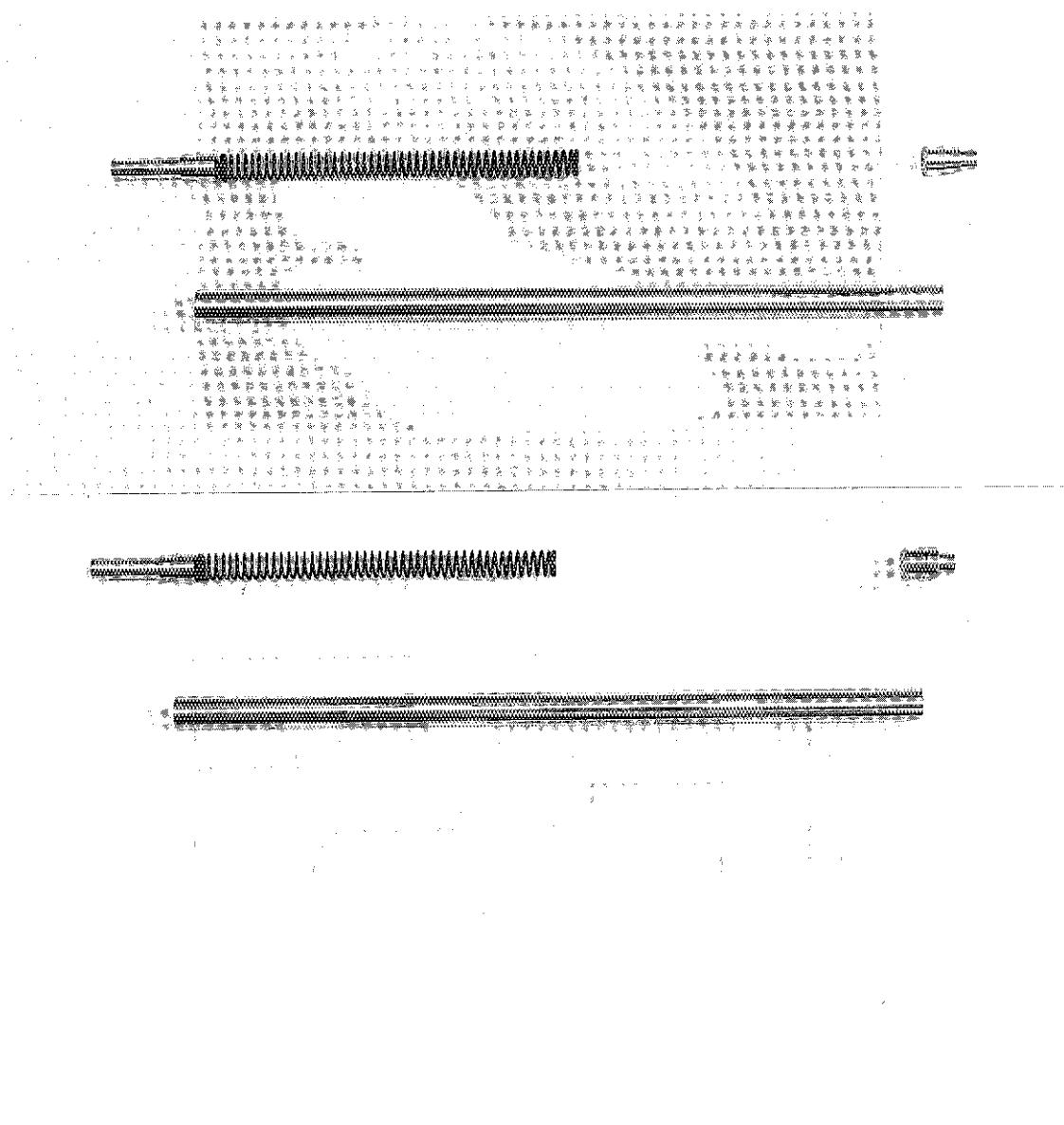


Fig. 4 External appearance of cladding tubes, upper and lower endplugs, and springs

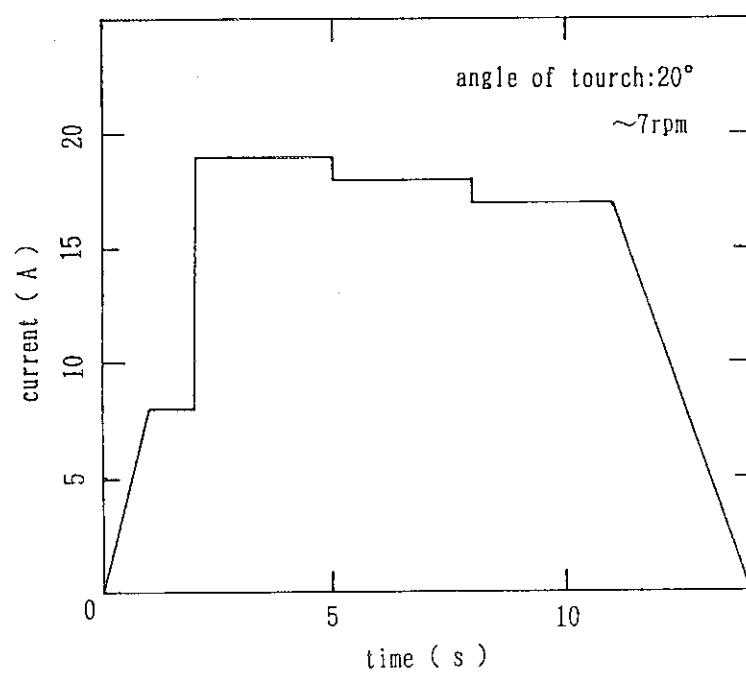
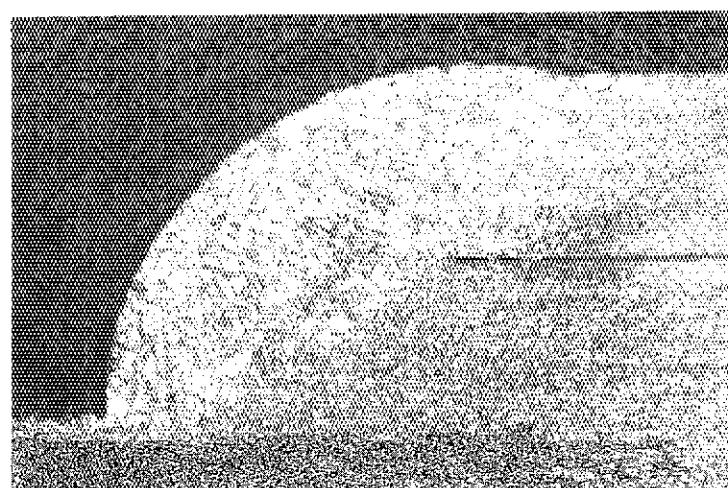


Fig. 5 Cross section of welded part of cladding tube and welding condition
(ferritic stainless steel)

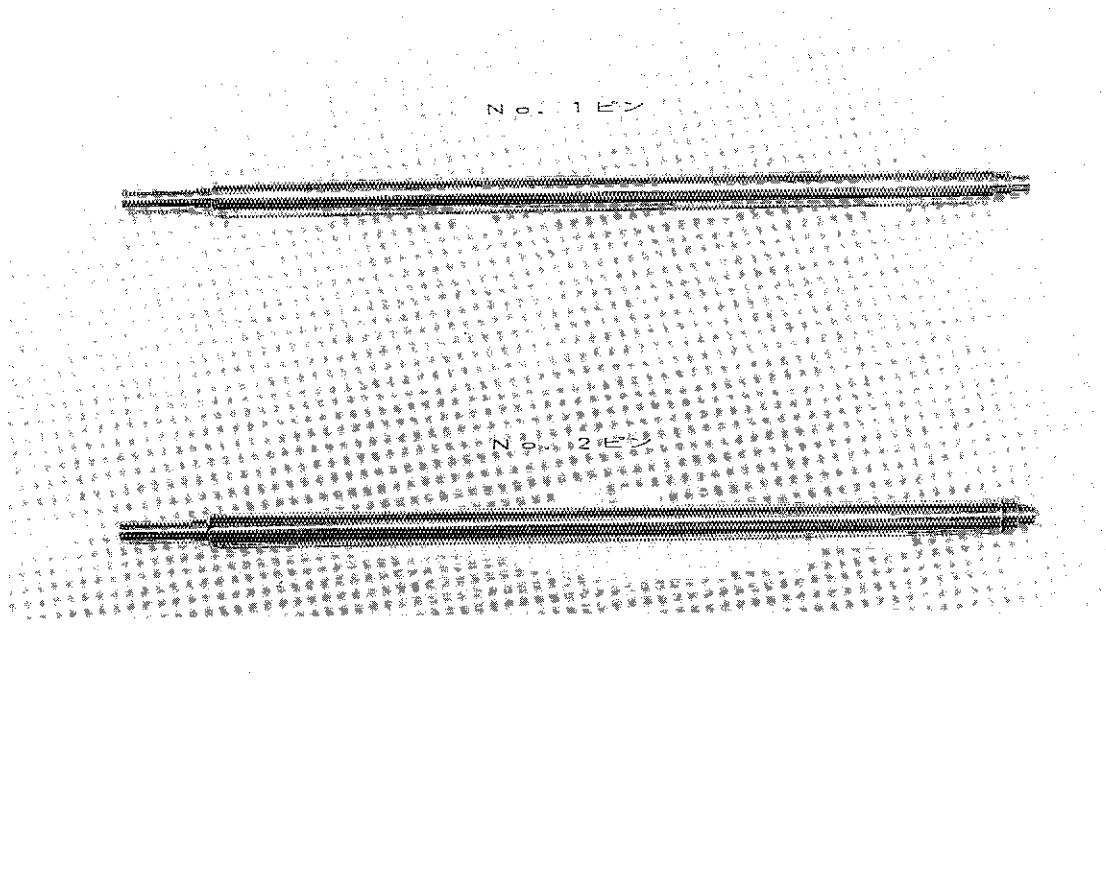


Fig. 6 External appearance of mixed nitride fuel pins

付 錄

**89F-3A 照射キャプセル用ウラン・プルトニウム
混合窒化物燃料ピン検査要領書および検査記録**

(抜 粋)

本検査要領書は、単品検査、組立前検査および燃料ピンの完成検査から構成されており、各検査の主要項目は次のとおりである。

1. 単品検査

- I UN断熱ペレット
- II (U, Pu)N燃料ペレット
- III 被覆管
- IV 上部および下部端栓
- V スプリング

2. 組立前検査

- I (U, Pu)NおよびUNペレットのスタック長
- II (U, Pu)NおよびUNペレットの重量
- III 組立前写真

3. 燃料ピンの完成検査

- I 外観検査
- II 寸法検査
- III 重量検査
- IV 真直度検査
- V 溶接部検査
- VI Heリーク試験
- VII 表面密度検査
- VIII 組立後写真
- IX 組立後の放射線透過検査

1. 単品検査

オーステナイト鋼被覆燃料ピンをNo. 1と称す。
フェライト鋼被覆燃料ピンをNo. 2と称す。

I-UN断熱ベレット

項 目	品 質 規 格	試験検査方法	表 示	備 考
1. 組成検査 (1) U濃縮度 (2) N/U比 (3) 不純物分析 (4) 高温放出ガスの定量 (5) 燃料物質1g中のU量	天然ウラン 1.0 ± 0.1 $500 \mu\text{g/g}$ 以下	改良型デューマ法 高周波加熱電流量法 不活性ガス溶融電流量法 高温真空抽出法 分析値より計算	測定値記載 " 0.01 " 100ppm " 1 $\mu\text{g/g}$ " 0.01g	炭素および酸素のみ分析 at 1400 °C
2. 寸法検査 (1) 外径 (2) 高さ (3) 重量 (4) 密度 (5) 外観	No. 1ピン、 $8.23 \pm 0.01\text{mm}$ No. 2ピン、 $8.25 \pm 0.01\text{mm}$ $8.0 \pm 0.2\text{mm}$ 80~90 %T.D. 表面に有害な割れ、傷等がないこと 表面に有害な付着物がないこと	マイクロメータ ノギス 直示天秤法 寸法重量法 目視、外観写真	測定値記載 " 0.01mm " 0.05mm " 0.01g " 0.1%T.D. 写真提出、良否	
3. 重量検査 ウラン		直示天秤法およびN/U 比より算出	測定値記載 " 0.01g	

II (U, Pu) N燃料ベレット

JAERI-M 91-078

項目	品質規格	試験検査方法	表示	備考
1. 組成検査				
(1) 製法 (2) U濃縮度 (3) N / (U+Pu) 比 (4) Pu / (U+Pu) 比 (5) Pu 同位体比 (6) 不純物分析 (7) 高温放出ガスの定量 (8) 燃料物質 1g 中の U および Pu 量	焼結法 天然ウラン 1.0 ± 0.1 0.20 ± 0.01	改良型デューマ法 改良型デュエティ定法 電位差分析法 質量分光法 高周波加熱電溶融電量法 不活性ガス溶出法 高温真空抽出法 分析値より計算	測定値記載 " " " 0.01 0.01 0.1at.% 100ppm	1989年3月現在の値 炭素および酸素のみ分析
2. 寸法検査				
(1) 外径 (2) 高さ (3) 重量 (4) 密度 (5) 外観	No. 1ビン、 8.23 ± 0.01 mm No. 2ビン、 8.25 ± 0.01 mm 8.0 ± 0.2 mm	マイクロメータ ノギス 直示天秤法 寸法重量法 目視、外観写真	測定値記載 " " " 0.01mm 0.05mm 0.01g 0.1%T.D.	規格値外の寸法のベクトルを含む
3. 重量検査				
(1) ウラン (2) フルトニウム		直示天秤法およびN/U (N/U+Pu)比より算出	測定値記載 " "	0.01g 0.01g
4. 組織検査		光学顕微鏡	写真提出	

III 被覆管

項目	品質規格	試験検査方法	表示	備考
1. 素材組成および材料試験	No.1ビン: SUS-316 相当 No.2ビン: フェライト鋼	ミルシート確認	ミルシート提出、合否	
2. 寸法検査 (1)外径 (2)内径 (3)肉厚 (4)長さ	No.1ビン 9.40±0.02mm φ 8.38±0.02mm φ 0.51±0.02mm 215±0.1mm No.2ビン 9.40±0.02mm φ 8.40±0.02mm φ 0.50±0.02mm 215±0.1mm	マイクロメータ " " " ノギス	測定値記載 0.01mm " " " " " 0.1mm	外径、内径、肉厚とともに 管口部両端のみ 外径、内径は90° 2方向 肉厚は両端の4方向
3. 重量検査	-----	直示天秤法	測定値記載 0.01g	
4. 外観検査	表面は清潔であること 有害な欠陥が認められないこと	目視	良否	
5. 欠陥検査	欠陥が肉厚の10% 以下であること	No.1ビン: 漏電流探傷法 No.2ビン: 超音波探傷法	試験成績書提出、合否	
6. 真直度検査	全長に対して0.3mm 以内	定盤基準法	測定値記載 0.01mm	
IV 上部および下部端栓				
項目	品質規格	試験検査方法	表示	備考
1. 素材組成および材料試験	No.1ビン: SUS-316 相当 No.2ビン: フェライト鋼	ミルシート確認	ミルシート提出、合否	
2. 寸法検査	図面記載通り	マイクロメータまたは ノギス	測定値記載 0.01mmまたは0.1mm	
3. 重量検査	-----	直示天秤法	測定値記載 0.01g	
4. 外観検査	表面は清潔であること 有害な欠陥が認められないこと	目視	良否	
5. 欠陥検査	有害な欠陥が認められないこと	カラーチェック	合否	

V ズブリノグ

2 - 組立前検査

I ベレットスタック長

項 目	品 質 規 格	試験検査方法	表 示	備 考
1. (U, Pu) N燃料ベレット スタック長	100 ± 1mm	ノギス	測定値記載 0.1 mm	
2. 全スタック長 (断熱UNベレットを含む)	116 ± 1mm	" "	" "	

II ベレット重量

項 目	品 質 規 格	試験検査方法	表 示	備 考
1. ウラン	-----	直示天秤法およびN/U、 N/U+Pu比より算出	測定値記載 0.01g	
2. プルトニウム	-----	" "	" "	

III 組立前写真

項 目	品 質 規 格	試験検査方法	表 示	備 考
構成部材写真	寸法判別可能	写真撮影	写真提出	

3. 燃料ビニンの完成検査

[外觀檢查]

JAERI-M 91-078

項 目	品 質 格	試験検査方法	表 示	備 考
組立後外観	表面に欠陥がないこと 充分に清潔であること 溶接部に有害な割れ、傷等がないこと 溶接部のビード幅、高さ等が不均一でないこと 溶接部にアンダーカット等で有害なものがないこと	目視	良否	

查檢方法

項目	品質規格	試験検査方法	表示	備考
組立後寸法				
(1)全長	$250 \pm 1\text{mm}$	ノギス	測定値記載	0.1mm
(2)被覆管外径幅	$9.40 \pm 0.02\text{mm}$	マイクロメータ	"	0.01mm
(3)ビード幅		ノギス	"	0.1mm
(4)ビード高さ		マイクロメータ	"	0.01mm

III 重量検査

項目	品質規格	試験検査方法	表示表	備考
全重量	-----	直示天秤法	測定値記載 0.1g	

IV 真直度検査

項目	品質規格	試験検査方法	表示表	備考
組立後真直度	全長に対して0.3mm 以内である こと	定盤基準法	測定値記載 0.01mm	

V 溶接部検査

項目	品質規格	試験検査方法	表示表	備考
1. 外観検査	溶接部に有害な割れ、傷等が認められないこと。 異常な着色が認められないこと。	目視	良否	
2. 欠陥検査	JISZ3106に準じ、溶接部の欠陥が肉厚の10% 以下であることを確認 する。 有害な欠陥が認められないこと。	放射線透過法	X線フィルム提出、合否	

VI He リーク試験

項 目	品 質 規 格	試験検査方法	表 示	備 考
He リーク試験	$3 \times 10^{-8} \text{ atm.cc/s}$ 以下	ベルジヤー法	測定値記載	

VII 表面密度検査

項 目	品 質 規 格	試験検査方法	表 示	備 考
表面密度	20dpm/100cm ² 以下	スマア法	測定値記載	

VIII 組立後写真

項 目	品 質 規 格	試験検査方法	表 示	備 考
燃料ピンの写真	—	写真撮影	写真提出	ナ・ヤヒネ版

IX 組立後の放射線透過検査

項 目	品 質 規 格	試験検査方法	表 示	備 考
全体放射線透過	内部構造に異常が認められないこと	放射線透過法	X線フィルム提出、合否	

燃料斗ペレット検査シート 1

項目	No.1燃料ビン装荷ペレット		No.2燃料ビン装荷ペレット		
	U N	(U, Pu)N	U N	(U, Pu)N	
製法	焼結法		焼結法		
U濃縮度	天然ウラン		天然ウラン		
N/U (N _{eq} /U)	1.00 (1.04)	—	1.00 (1.04)	—	
N/U+Pu (N _{eq} /U+Pu)	—	0.98 (1.03)	—	0.98 (1.03)	
Pu / (U + Pu) 比	—	0.20	—	0.20	
Pu同位体比	—	238:0.1 241:2.2 239:76.3 242:0.7 240:20.7 (wt.%)	—	238:0.1 241:2.2 239:76.3 242:0.7 240:20.7 (wt.%)	
不純物分析	炭素 1800ppm 酸素 500ppm	炭素 2000ppm 酸素 1400ppm	炭素 1800ppm 酸素 500ppm	炭素 2000ppm 酸素 1400ppm	
高温放出ガス量	58 μl/g	52 μl/g	58 μl/g	52 μl/g	
燃料物質1g中のU およびPu量	U: 0.942 g Pu: 0.189 g	U: 0.754 g Pu: 0.189 g	U: 0.942 g Pu: 0.189 g	U: 0.754 g Pu: 0.189 g	
重量	ペレット	10.43 g	65.13 g	10.48 g	65.29 g
	ウラン	9.83 g	49.10 g	9.87 g	49.23 g
	プルトニウム	—	12.31 g	—	12.34 g
(U, Pu)N スタック長	—	99.9 mm	—	99.4 mm	
全スタック長	116.1 mm		115.6 mm		

自然糞便による検査シート 2

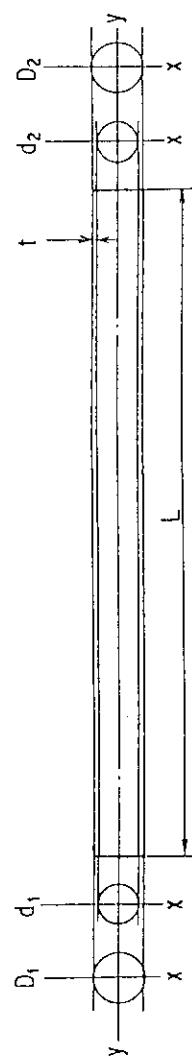
JAERI-M 91-078

No.1	燃料ビン																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				

配 置 順	UN 1	MN 2	MN 3	MN 4	MN 5	MN 6	MN 7	MN 8	MN 9	MN 10	MN 11	MN 12	MN 13	MN 14	UN 15
外 觀	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
外 徑 (mm)	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25
高 さ (mm)	8.13	5.84	7.92	7.88	7.86	7.93	7.88	7.88	7.93	7.93	8.00	7.90	8.00	6.37	8.17
重 量 (g)	5.24	3.83	5.19	5.18	5.18	5.20	5.21	5.18	5.23	5.18	5.29	5.20	5.24	4.18	5.24
密 度 (%TD)	84.2	85.6	85.6	85.9	86.2	85.7	86.3	85.9	86.2	85.4	86.3	85.9	85.5	85.7	83.6

(No.1燃料ビン用、オーステナイト鋼)

被覆管検査シート

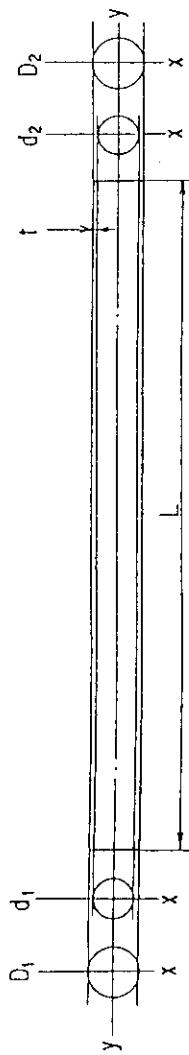


単位:mm

No.	素材組成 および 材料試験	寸法						重 量 (g)	外 觀 欠陥 検査	真直度
		D ₁	D ₂	d ₁	d ₂	t	L			
1	X 合	9.40 ± 0.02	9.40 ± 0.02	8.38 ± 0.02	8.38 ± 0.02	0.51 ± 0.02	215 ± 0.1	215.1 24.33	良 合	0.02 215
		9.39	9.39	8.38	8.37	0.51	0.52			
2	X 合	9.40	9.39	8.37	8.36	0.51	0.51	215.1 24.35	良 合	0.02 215
		9.39	9.39	8.36	8.37	0.51	0.52			
3	X 合	9.39	9.38	8.36	8.36	0.51	0.51	215.1 24.33	良 合	0.02 215
		9.39	9.39	8.37	8.36	0.52	0.51			
4	X 合	9.39	9.38	8.36	8.37	0.51	0.51	215.1 24.33	良 合	0.02 215
		9.39	9.39	8.36	8.37	0.50	0.51			
No.1燃料ビン に使用	5 X 合	9.39	9.39	8.37	8.37	0.52	0.51	215.1 24.34	良 合	0.02 215
		9.39	9.39	8.36	8.37	0.51	0.50			

被覆管検査シート(続き)

(No.2燃料ピン用、フレイト鋼)

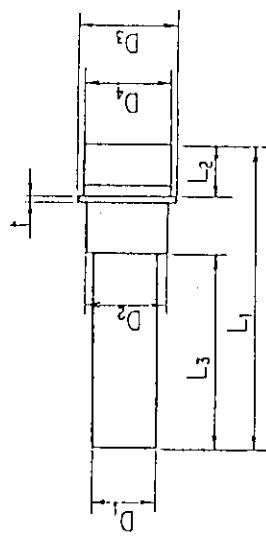


単位:mm

No.	素材組成 および 材料試験	D ₁	D ₂	d ₁	d ₂	t	L	重量 (g)	外観 欠陥 検査	真直度 検査
		9.40 ±0.02	9.40 ±0.02	8.40 ±0.02	0.50 ±0.02	0.51 ±0.02	215.1 ±0.1			
1	x	9.39	9.39	8.38	0.51	0.52	215.1	23.89	良	合
	y	9.39	9.39	8.40	0.51	0.50				0.02 215
2	x	9.39	9.39	8.38	0.51	0.52	215.1	23.84	良	合
	y	9.39	9.39	8.38	0.51	0.51				0.02 215
No.2燃料ピン に使用	x	9.39	9.39	8.38	0.51	0.50	215.1	23.87	良	合
	y	9.39	9.39	8.38	0.51	0.50				0.02 215
4	x	9.39	9.39	8.38	0.51	0.52	215.1	23.88	良	合
	y	9.39	9.39	8.39	0.52	0.52				0.02 215
5	x	9.39	9.39	8.38	0.51	0.50	215.1	23.85	良	合
	y	9.40	9.39	8.38	0.51	0.50				0.02 215

上部端栓全検査シート

上部端栓 (No.1燃料ピン用、オーステナイト鋼)

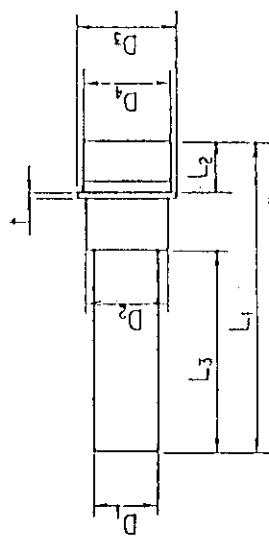


単位: mm

No.	素材組成 および 材料試験	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	L ₁	L ₂	L ₃	t	重量 (g)	外観	欠陥	陥査
1	合	5.99	7.60	8.79	8.40	30.02	5.06	20	0.2 ± 0.05	0.4	0.40	8.50	良 合
2	合	5.99	7.60	8.79	8.40	30.03	5.05	20.02	0.38	8.49	良	良 合	
3	合	5.99	7.60	8.79	8.40	30.04	5.06	20.16	0.38	8.50	良	良 合	
4	合	5.99	7.60	8.79	8.40	30.00	5.04	20.00	0.40	8.50	良	良 合	
No.1燃料ピン	5 合	5.99	7.60	8.79	8.40	30.01	5.04	20.02	0.39	8.49	良	良 合	

上部端栓検査シート

上部端栓 (No.2燃料ピン用、フェライト鋼)

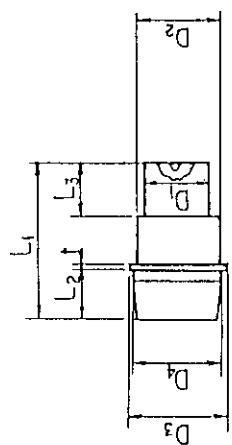


単位: mm

No.	素材組成 および 材料試験	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	L ₁	L ₂	L ₃	t	重量 (g)	外観	欠陥	陥査
		6.0+0 -0.05	7.6 ±0.05	8.8 ±0.02	8.40-0 +0.02	30 ±0.2	5.0 ±0.2	20 ±0.2	0.4 ±0.05				
1	合	5.98	7.59	8.80	8.40	30.00	5.00	19.97	0.38	8.40	良	合	
2	合	5.99	7.60	8.79	8.40	30.02	5.04	20.00	0.37	8.40	良	合	
No.2燃料ピン	3 合	5.99	7.60	8.80	8.41	30.01	5.02	20.04	0.37	8.40	良	合	
	4 合	5.99	7.60	8.79	8.41	29.99	5.04	20.01	0.36	8.40	良	合	
	5 合	5.99	7.60	8.80	8.42	30.00	5.03	20.01	0.36	8.41	良	合	

立端栓全検査シート (続き)

下部端栓 (No.1燃料ビン用、オーステナイト鋼)

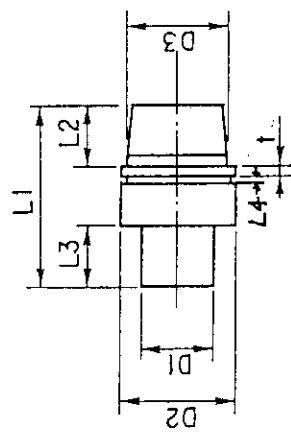


単位: mm

No.	素材組成 および 材料試験	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	L ₁	L ₂	L ₃	t	重量 (g)	外観	欠陥	陥落	
		6.0+0 -0.05	7.6 ± 0.05	8.8 ± 0.02	8.38-0 $+0.02$	15 ± 0.2	5.0 ± 0.2	5.0 ± 0.2	0.4 ± 0.05					
1	合	6.00	7.61	8.79	8.40	15.05	5.08	5.06	0.39	5.15	良	合		
2	合	6.00	7.60	8.79	8.40	15.09	5.08	5.05	0.38	5.15	良	合		
3	合	5.99	7.60	8.78	8.40	15.13	5.05	5.13	0.39	5.15	良	合		
4	合	6.00	7.61	8.79	8.40	15.05	5.08	5.06	0.37	5.15	良	合		
No.1燃料ビン	5	合	5.99	7.60	8.79	8.40	15.05	5.08	5.06	0.37	5.15	良	合	

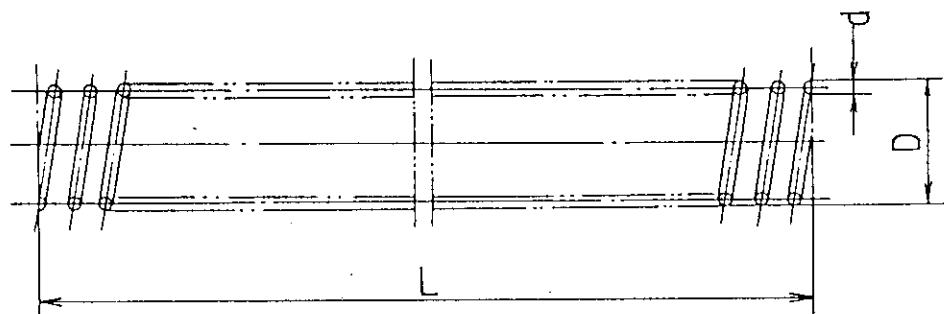
立端検査シート (続き)

下部端枠 (No.2燃料ビン用、フェライト鋼)



単位: mm

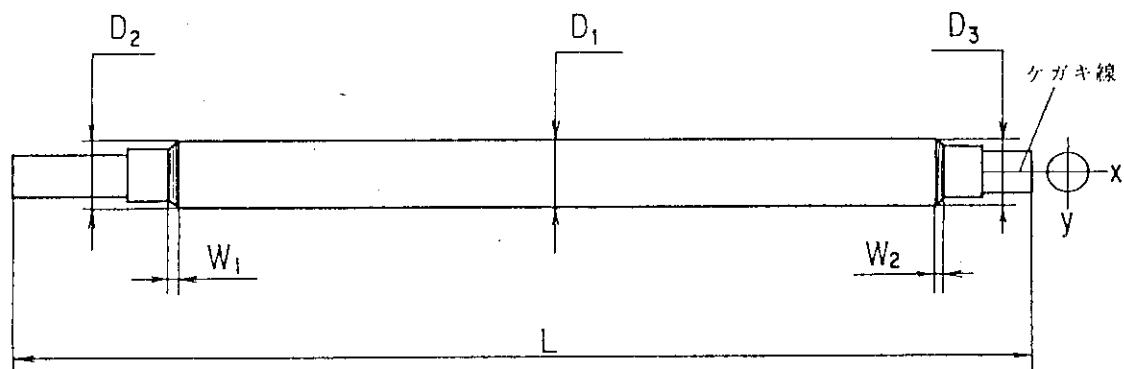
No.	素材組成 および 材料試験	D ₁	D ₂	D ₃	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	t	重量 (g)	外観	欠陥	陥査
		6.0+0 -0.05	9.38 ±0.02	8.42-0 +0.02	15 ±0.1	5.0 ±0.1	5.0 ±0.1	0.5 ±0.1	0.75-0 +0.1	0.75-0 +0.1	5.85	良	合
1	合	5.97	9.40	8.42	15.03	4.92	5.08	0.59	0.79	5.85	良	合	合
2	合	5.96	9.39	8.42	15.03	5.00	5.03	0.55	0.81	5.85	良	合	合
No. 2燃料ビン	3 合	5.96	9.38	8.42	14.99	5.04	4.96	0.57	0.78	5.85	良	合	合
	4 合	5.96	9.38	8.42	15.01	4.98	5.01	0.55	0.79	5.85	良	合	合
	5 合	5.95	9.38	8.43	15.01	5.03	4.99	0.55	0.78	5.85	良	合	合

スプリング検査シート

項目	規格	No.1燃料ピン用	No.2燃料ピン用
素材組成および 材料試験	インコネル X	合	合
コイル外径(D)	8.0 ±0.1mm ϕ	8.0	8.0
線 径(d)	0.8 mm ϕ	0.8	0.8
有効巻数	48	48	48
自由長 (L)	104 ±1 mm	104.2	103.9
バネ定数	—	0.024kg/mm	
重 量 (g)	—	4.69	4.70

燃料斗ピンの完成検査シート 1

No. 1 燃料斗ピン



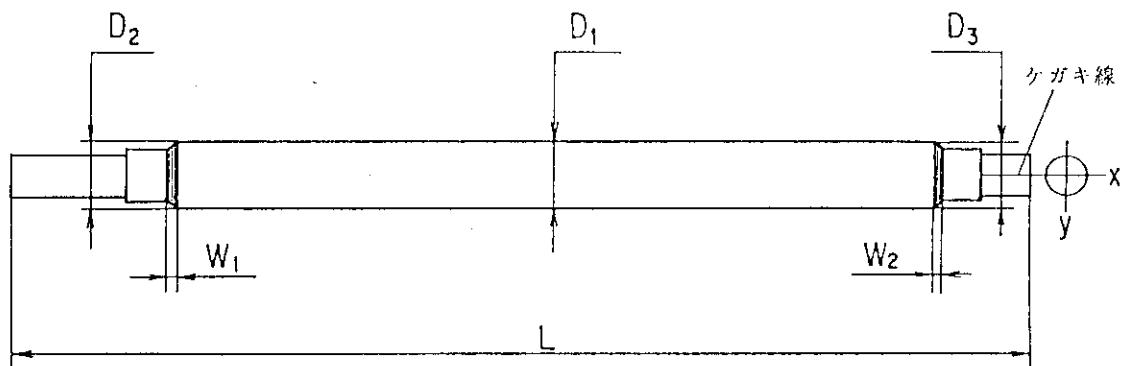
単位: mm

外観		L	D ₁		D ₂	D ₃	W ₁	W ₂	重量 (g)
			250 ± 1	9.40 ± 0.02					
No. 1	x	良	250.0	9.39	9.41	9.46	1.2	1.2	118.23
	y			9.40	9.43	9.46	1.2	1.1	

真直度	溶接部検査				Heリーグ試験 (atm.cc/s)		表面密度 (dpm)	燃料ピン写真	全体放射線透過
	上部端栓部		下部端栓部		上部端栓部	下部端栓部			
	外観	X線	外観	X線					
0.01 250	良	合	良	合	3.9 × 10^{-8}	3.9 × 10^{-8}	<20	別添	合

燃料斗ビンの完成検査シート 2

No. 2 燃料斗ビン



単位: mm

外観		L	D ₁		D ₂	D ₃	W ₁	W ₂	重量 (g)
			250 ± 1	9.40 ± 0.02	—	—			
No. 1	x	良	250.0	9.40	9.54	9.48	1.6	1.8	118.55
	y			9.40	9.52	9.45	1.6	2.0	

真直度	溶接部検査				Heリーケ試験 (atm.cc/s)		表面 密度 (dpm)	燃料 ビン 写真	全体 放射線 透過
	上部端栓部		下部端栓部		上部端 栓部	下部端 栓部			
	外観	X線	外観	X線					
0.01 250	良	合	良	合	3.9 × 10^{-9}	3.9 × 10^{-9}	<20	別添	合