

JAERI - M
85-159

チャンファ型ウラン, プルトニウム混合
炭化物ペレットの製造

1985年10月

荒井 康夫・岩井 孝・塩沢 憲一・半田 宗男

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。
入手の問い合わせは、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, 1985

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 榑高野高速印刷

チャンファ型ウラン，プルトニウム混合炭化物ペレットの製造

日本原子力研究所東海研究所燃料工学部

荒井 康夫・岩井 孝・塩沢 憲一・半田 宗男

(1985年9月26日受理)

JMTR での高燃焼度照射実験に用いるチャンファ型のウラン，プルトニウム混合炭化物ペレットを高純度アルゴン雰囲気グローブボックス中で製造した。ペレットの密度，チャンファ部分の角度等の外形寸法から，ペレット成型用金型の仕様を決定した。チャンファ型ペレットの採用に起因するペレットの欠けや割れは，成型時，焼結時においても見出されなかった。本試験において，照射燃料ピン中で断熱ペレットとして用いるウラン炭化物ペレットも含めて，製造仕様を満足するペレットを製造することができた。

Fabrication of Chamfered Uranium-Plutonium
Mixed Carbide Pellets

Yasuo ARAI, Takashi IWAI, Kenichi SHIOZAWA
and Muneo HANDA

Department of Fuels and Materials Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received September 26, 1985)

Chamfered uranium-plutonium mixed carbide pellets for high burnup irradiation test in JMTR were fabricated in glove boxes with purified argon gas. The size of die and punch in a press was decided from pellet densities and dimensions including the angle of chamfered parts. No chip or crack caused by adopting chamfered pellets was found in both pressing and sintering stages. In addition to mixed carbide pellets, uranium carbide pellets used as insulators were also successfully fabricated.

Keywords: Uranium Carbide, Uranium-Plutonium Carbide,
Chamfered Pellet, Pressing, Sintering, Glove Box
Fabrication,

目 次

1. はじめに	1
2. ペレットの仕様	1
3. 製造方法	2
4. 結果と考察	3
4.1 ペレットの健全性	3
4.2 密度と収縮率	3
4.3 確性試験	3
5. おわりに	4
参考文献	4

Contents

1. Introduction	1
2. Specifications of Pellets	1
3. Fabrication Procedure	2
4. Results and Discussion	3
4.1 Performance of Pellets	3
4.2 Density and Shrinkage	3
4.3 Characterization	3
5. Summary	4
References	4

1. はじめに

LMFBR (Liquid Metal Cooled Fast Breeder Reactor)用, ウラン, プルトニウム混合炭化物燃料の研究開発は, 米国をはじめ世界各国で進められている⁽¹⁾。またインドにおいては, 世界初の混合炭化物燃料炉心的高速実験炉が1985年夏に臨界に達すると報道されている。一方国内でも, 原研大洗研究所に建設された燃料研究棟の諸施設を用いての混合炭化物燃料の製造, 特性試験, 物性研究などが鋭意進められているほか, JRR-2, JMTR等の熱中性子炉を用いた, 燃料の照射試験も進行中である⁽²⁾⁽³⁾。

軽水炉燃料においては, 燃焼度の上昇とともに燃料棒表面に発生するリッジング (Ridging) に起因するPCMI (Pellet and Cladding Mechanical Interaction)を軽減するための一つの手段として, ペレットの両端面の角をとったチャンファ (Chamfered) ペレットが考案され, 現在では国内のBWRやPWRの燃料もチャンファ型ペレットを採用している。一方LMFBR用混合炭化物燃料においても, EBR-IIで照射したHeボンド型燃料ピンではチャンファ型ペレットを採用して, 被覆管の破損なしに最高燃焼度16 at. %を達成している⁽⁴⁾。これらの点を考慮した上で, 原研における混合炭化物燃料照射計画においても, JMTR高燃焼度照射実験に備えてチャンファ型ペレットを用いた燃料ピンを試験的に製作した。本稿ではチャンファ型混合炭化物燃料ペレットの仕様, 製造方法および結果, また工程中に得られた二, 三の知見について述べる。

2. ペレットの仕様

照射用チャンファ型ペレットの仕様について以下に述べる。仕様の決定にあたっては現在までに得られている混合炭化物燃料の調製に関する知見⁽⁵⁾⁽⁶⁾を参考とした。

- (1) Heボンド型混合炭化物燃料ピンでは, FCMI (Fuel and Cladding Mechanical Interaction)を軽減する目的で, 80~85% TD (Theoretical Density)の低密度燃料ペレットを採用している。したがって, 今回調製するチャンファ型混合炭化物ペレットの密度も80~85% TDを目標とする。
- (2) 燃料被覆管についてはDOE (米国エネルギー省)より入手した外径9.40 mm, 内径8.38 mmの316ステンレス鋼管を用いることとした。またペレットと被覆管のギャップを直径で0.15 mmとすると, 燃料ペレットの外径はセンタレスグラインダを用いる円周研削後で8.23 mmとしなければならない。したがって焼結後 (焼き上がり)のペレットの外径は, 円周研削による核燃料の損失を低く抑え, かつチャンファ部分を過剰に研削することを避けるために8.3~8.5 mmを目標とする。
- (3) 焼結によるグリーンペレットの収縮率から逆算して, ペレット成型時に用いるダイスの直径は9.3 mmとする。
- (4) ペレット両端面のチャンファ部分の角度については, 海外や, 国内のBWR, PWR用燃料の例を参考にして, 30°および45°の2種類を採用する。しかし本稿で述べる試験においては, 成型

1. はじめに

LMFBR (Liquid Metal Cooled Fast Breeder Reactor)用, ウラン, プルトニウム混合炭化物燃料の研究開発は, 米国をはじめ世界各国で進められている⁽¹⁾。またインドにおいては, 世界初の混合炭化物燃料炉心的高速実験炉が1985年夏に臨界に達すると報道されている。一方国内でも, 原研大洗研究所に建設された燃料研究棟の諸施設を用いての混合炭化物燃料の製造, 特性試験, 物性研究などが鋭意進められているほか, JRR-2, JMTR等の熱中性子炉を用いた, 燃料の照射試験も進行中である⁽²⁾⁽³⁾。

軽水炉燃料においては, 燃焼度の上昇とともに燃料棒表面に発生するリッジング (Ridging) に起因するPCMI (Pellet and Cladding Mechanical Interaction)を軽減するための一つの手段として, ペレットの両端面の角をとったチャンファ (Chamfered) ペレットが考案され, 現在では国内のBWRやPWRの燃料もチャンファ型ペレットを採用している。一方LMFBR用混合炭化物燃料においても, EBR-IIで照射したHeボンド型燃料ピンではチャンファ型ペレットを採用して, 被覆管の破損なしに最高燃焼度16 at. %を達成している⁽⁴⁾。これらの点を考慮した上で, 原研における混合炭化物燃料照射計画においても, JMTR高燃焼度照射実験に備えてチャンファ型ペレットを用いた燃料ピンを試験的に製作した。本稿ではチャンファ型混合炭化物燃料ペレットの仕様, 製造方法および結果, また工程中に得られた二, 三の知見について述べる。

2. ペレットの仕様

照射用チャンファ型ペレットの仕様について以下に述べる。仕様の決定にあたっては現在までに得られている混合炭化物燃料の調製に関する知見⁽⁵⁾⁽⁶⁾を参考とした。

- (1) Heボンド型混合炭化物燃料ピンでは, FCMI (Fuel and Cladding Mechanical Interaction)を軽減する目的で, 80~85% TD (Theoretical Density)の低密度燃料ペレットを採用している。したがって, 今回調製するチャンファ型混合炭化物ペレットの密度も80~85% TDを目標とする。
- (2) 燃料被覆管についてはDOE (米国エネルギー省)より入手した外径9.40 mm, 内径8.38 mmの316ステンレス鋼管を用いることとした。またペレットと被覆管のギャップを直径で0.15 mmとすると, 燃料ペレットの外径はセンタレスグラインダを用いる円周研削後で8.23 mmとしなければならない。したがって焼結後 (焼き上がり)のペレットの外径は, 円周研削による核燃料の損失を低く抑え, かつチャンファ部分を過剰に研削することを避けるために8.3~8.5 mmを目標とする。
- (3) 焼結によるグリーンペレットの収縮率から逆算して, ペレット成型時に用いるダイスの直径は9.3 mmとする。
- (4) ペレット両端面のチャンファ部分の角度については, 海外や, 国内のBWR, PWR用燃料の例を参考にして, 30°および45°の2種類を採用する。しかし本稿で述べる試験においては, 成型

用パンチ先端の割れ易さや、ペレット内部の応力分布等を考慮して、条件が緩やかな先端部分 30° のペレットを製造する。

- (5) ペレットの扱い易さや成型の容易さ、また形状が極端なつづみ形になることを避けるため、ペレットの直径と高さとの比 (R/H) はほぼ1とする。成型用ダイスの直径が9.3 mmの場合、 $R/H=1$ 、85% TDの混合炭化物ペレット1個の重量は約5.5 gとなる。
- (6) JMTRでの照射試験用燃料ピン中の混合炭化物ペレットのスタック長は、ピン1本あたり100 mmである。したがって、ペレット1個の高さを約8 mmとした時に必要なペレットの個数は約12個となるが、製品の歩留りや確性試験用のペレットも考慮して必要なペレット数はバッチあたり20個とし、混合炭化物約110 gバッチで調製する。
- (7) その他、ペレットの化学組成などについては従来より調製している照射用混合炭化物ペレットの仕様に習った。⁽³⁾すなわち $Pu/(U+Pu)$ (モル比)は0.2、 $C/(U+Pu)$ (モル比)は1.0および1.1、酸素含有量は通常の炭素熱還元法で得られる混合炭化物試料を目安として3,000 ppm以下を目標とする。

以上の仕様を満足する混合炭化物ペレットの概略を Fig. 1 に示す。

3. 製造方法

混合炭化物調製に用いる高純度 Ar 雰囲気グローブボックス等の設備⁽⁷⁾や、混合炭化物の調製方法⁽⁵⁾についての詳細は別の報告に述べられているので本稿では割愛してその概略のみを以下に記す。また調製のフローシートを Fig. 2 に示す。

炭素熱還元用試料中の原料酸化物と黒鉛との混合比、 $C/(0.8UO_2 + 0.2PuO_2)$ (モル比)については $C/(U+Pu) = 1.0$ 仕様のペレットについては2.975、 $C/(U+Pu) = 1.1$ 仕様ペレットについては3.100とした。これらの混合には Al_2O_3 製のボールミルを用いた。炭素熱還元は真空中、約1,500°Cで行い、真空度をモニターすることにより反応に伴うCOガスの放出が終了したと判断されるまで行った。熱還元後の試料については反応による重量減を確認した上でWC製のボールミルで粉碎した。さらに成型前には炭化物粉末のバインダーとしてポリエチレングリコール6,000をトリクロルエチレンに溶解して添加した。

チャンファ型ペレットの成型にあたっては以下に示す点について特に留意した。

- (1) 成型用パンチの損傷、グリーンペレットのキャッピング (Capping) を抑止する目的で、成型時の圧力を通常の場合の約300 MPaよりやや低目の値に設定した。
- (2) グリーンペレット内の応力分布がなるべく均一になるように、成型時の加圧保持時間を通常の倍の10秒間とした。
- (3) 成型時にダイスの内壁に残存する粉末が、特にグリーンペレットのチャンファ部分に付着しやすいので、焼結炉への装荷前に可能な範囲でその粉末を取り除いた。
- (4) その他グリーンペレットやチャンファ型パンチの先端部の取扱いについては、作業経験が浅い点やグローブボックス内作業という特殊性も加味して、十分注意した。

焼結は化学組成 ($C/(U+Pu)$) の異なる2種類のペレット共に、同一条件 (Ar ガス気流中1,680°Cで5時間保持、昇降温速度は600°C/hr)で行った。ただし、各々の場合について焼

用パンチ先端の割れ易さや、ペレット内部の応力分布等を考慮して、条件が緩やかな先端部分 30° のペレットを製造する。

- (5) ペレットの扱い易さや成型の容易さ、また形状が極端なつづみ形になることを避けるため、ペレットの直径と高さとの比 (R/H) はほぼ1とする。成型用ダイスの直径が9.3 mmの場合、 $R/H=1$ 、85% TDの混合炭化物ペレット1個の重量は約5.5 gとなる。
- (6) JMTRでの照射試験用燃料ピン中の混合炭化物ペレットのスタック長は、ピン1本あたり100 mmである。したがって、ペレット1個の高さを約8 mmとした時に必要なペレットの個数は約12個となるが、製品の歩留りや確性試験用のペレットも考慮して必要なペレット数はバッチあたり20個とし、混合炭化物約110 gバッチで調製する。
- (7) その他、ペレットの化学組成などについては従来より調製している照射用混合炭化物ペレットの仕様に習った。⁽³⁾すなわち $Pu/(U+Pu)$ (モル比)は0.2、 $C/(U+Pu)$ (モル比)は1.0および1.1、酸素含有量は通常の炭素熱還元法で得られる混合炭化物試料を目安として3,000 ppm以下を目標とする。

以上の仕様を満足する混合炭化物ペレットの概略を Fig. 1 に示す。

3. 製造方法

混合炭化物調製に用いる高純度 Ar 雰囲気グローブボックス等の設備⁽⁷⁾や、混合炭化物の調製方法⁽⁵⁾についての詳細は別の報告に述べられているので本稿では割愛してその概略のみを以下に記す。また調製のフローシートを Fig. 2 に示す。

炭素熱還元用試料中の原料酸化物と黒鉛との混合比、 $C/(0.8UO_2 + 0.2PuO_2)$ (モル比)については $C/(U+Pu) = 1.0$ 仕様のペレットについては2.975、 $C/(U+Pu) = 1.1$ 仕様ペレットについては3.100とした。これらの混合には Al_2O_3 製のボールミルを用いた。炭素熱還元は真空中、約1,500°Cで行い、真空度をモニターすることにより反応に伴うCOガスの放出が終了したと判断されるまで行った。熱還元後の試料については反応による重量減を確認した上でWC製のボールミルで粉砕した。さらに成型前には炭化物粉末のバインダーとしてポリエチレングリコール6,000をトリクロルエチレンに溶解して添加した。

チャンファ型ペレットの成型にあたっては以下に示す点について特に留意した。

- (1) 成型用パンチの損傷、グリーンペレットのキャッピング (Capping) を抑止する目的で、成型時の圧力を通常の場合の約300 MPaよりやや低目の値に設定した。
- (2) グリーンペレット内の応力分布がなるべく均一になるように、成型時の加圧保持時間を通常の倍の10秒間とした。
- (3) 成型時にダイスの内壁に残存する粉末が、特にグリーンペレットのチャンファ部分に付着しやすいので、焼結炉への装荷前に可能な範囲でその粉末を取り除いた。
- (4) その他グリーンペレットやチャンファ型パンチの先端部の取扱いについては、作業経験が浅い点やグローブボックス内作業という特殊性も加味して、十分注意した。

焼結は化学組成 ($C/(U+Pu)$) の異なる2種類のペレット共に、同一条件 (Ar ガス気流中1,680°Cで5時間保持、昇降温速度は600°C/hr)で行った。ただし、各々の場合について焼

結ペレットの外観上の健全性や目標とした密度に達していることを確認するための試焼結を、1度ずつ先行試験の形でグリーンペレット3個を用いて行った。

以上が今回行ったチャンファ型混合炭化物ペレットの製造方法の概略である。また照射燃料ピン中では、混合炭化物ペレットスタックの両端にUC断熱ペレットを配置する。次章では、このUCを含めて今回のペレット製造における試験結果について報告する。

4. 結果と考察

4.1 ペレットの健全性

本節で述べるペレットの健全性とは外観上のことを指し、その外表面が清浄であり、有害な欠陥がみとめられないことと定義する。今回の試験ではUCペレット、(U, Pu)C_{1.0}ペレットおよび(U, Pu)C_{1.1}ペレットともに約20個ずつ成型して焼結を行った。成型時に各化学組成のグリーンペレットにそれぞれ1~2個ずつキャッピングやそれに近い現象が見受けられたが、他の大部分については健全性が保たれていた。また焼結の工程によりペレットが割れたり欠けたりする例は皆無であった。Fig. 3には今回製造したチャンファ型ペレットのうち、UCペレットの写真を、Fig. 4には(U, Pu)C_{1.0}および(U, Pu)C_{1.1}ペレットの写真を示す。

4.2 密度と収縮率

Table 1に今回調製したUC、(U, Pu)C_{1.0}および(U, Pu)C_{1.1}のグリーンペレットと焼結ペレットの平均外形寸法、密度、焼結による収縮率の値を示す。密度の計算にあたっては、チャンファ型ペレットの体積を通常の形のペレットの体積の99.4%として計算した。すなわち、ペレット両端面のチャンファ部分の角度(30°)からグリーンペレットの体積を幾何学的に計算し、焼結によってペレット全体は一様に収縮すると仮定して求めた。Table 1から、以下に記す結果が得られる。まずグリーンペレットの密度はUCが最も高く、以下(U, Pu)C_{1.0}、(U, Pu)C_{1.1}の順に低下する。体積収縮率に関しては(U, Pu)C_{1.1}が径方向、高さ方向とも大きな収縮を示すことから最も大きく、UCと(U, Pu)C_{1.0}はほぼ同じ値を示している。したがって(U, Pu)C_{1.1}はグリーンペレットの密度が低いにもかかわらず、焼結ペレットの密度は(U, Pu)C_{1.0}とほぼ同じ値となる。これらの事象はチャンファ型ペレットの場合に限らず、これまで行ってきた照射用混合炭化物ペレット調製の過程においても認められており、チャンファ型ペレットに特異な現象ではない。また焼結機構についても同様のことが考えられ、ここに見られるような密度や収縮率の差は焼結機構よりも、むしろそれぞれの粉末自体の特質に起因するものと推察される。

4.3 確性試験

ペレットの確性試験として化学分析(Pu/(U+Pu)比、炭素、酸素含有量)およびX線回折を行った。これらの結果をまとめてTable 2に示す。Table 2中の個々の値についてはこれまで行

結ペレットの外観上の健全性や目標とした密度に達していることを確認するための試焼結を、1度ずつ先行試験の形でグリーンペレット3個を用いて行った。

以上が今回行ったチャンファ型混合炭化物ペレットの製造方法の概略である。また照射燃料ピン中では、混合炭化物ペレットスタックの両端にUC断熱ペレットを配置する。次章では、このUCを含めて今回のペレット製造における試験結果について報告する。

4. 結果と考察

4.1 ペレットの健全性

本節で述べるペレットの健全性とは外観上のことを指し、その外表面が清浄であり、有害な欠陥がみとめられないことと定義する。今回の試験ではUCペレット、(U, Pu)C_{1.0}ペレットおよび(U, Pu)C_{1.1}ペレットともに約20個ずつ成型して焼結を行った。成型時に各化学組成のグリーンペレットにそれぞれ1~2個ずつキャッピングやそれに近い現象が見受けられたが、他の大部分については健全性が保たれていた。また焼結の工程によりペレットが割れたり欠けたりする例は皆無であった。Fig. 3には今回製造したチャンファ型ペレットのうち、UCペレットの写真を、Fig. 4には(U, Pu)C_{1.0}および(U, Pu)C_{1.1}ペレットの写真を示す。

4.2 密度と収縮率

Table 1に今回調製したUC、(U, Pu)C_{1.0}および(U, Pu)C_{1.1}のグリーンペレットと焼結ペレットの平均外形寸法、密度、焼結による収縮率の値を示す。密度の計算にあたっては、チャンファ型ペレットの体積を通常の形のペレットの体積の99.4%として計算した。すなわち、ペレット両端面のチャンファ部分の角度(30°)からグリーンペレットの体積を幾何学的に計算し、焼結によってペレット全体は一様に収縮すると仮定して求めた。Table 1から、以下に記す結果が得られる。まずグリーンペレットの密度はUCが最も高く、以下(U, Pu)C_{1.0}、(U, Pu)C_{1.1}の順に低下する。体積収縮率に関しては(U, Pu)C_{1.1}が径方向、高さ方向とも大きな収縮を示すことから最も大きく、UCと(U, Pu)C_{1.0}はほぼ同じ値を示している。したがって(U, Pu)C_{1.1}はグリーンペレットの密度が低いにもかかわらず、焼結ペレットの密度は(U, Pu)C_{1.0}とほぼ同じ値となる。これらの事象はチャンファ型ペレットの場合に限らず、これまで行ってきた照射用混合炭化物ペレット調製の過程においても認められており、チャンファ型ペレットに特異な現象ではない。また焼結機構についても同様のことが考えられ、ここに見られるような密度や収縮率の差は焼結機構よりも、むしろそれぞれの粉末自体の特質に起因するものと推察される。

4.3 確性試験

ペレットの確性試験として化学分析(Pu/(U+Pu)比、炭素、酸素含有量)およびX線回折を行った。これらの結果をまとめてTable 2に示す。Table 2中の個々の値についてはこれまで行

ってきた混合炭化物ペレットの製造試験の結果とほぼ同一であり、特別にチャンファ型ペレットの採用による変化は見られなかった。

5. お わ り に

照射試験用に調製したチャンファ型混合炭化物ペレットの製造について、先行試験を兼ねたUCの製造の結果も含めてその概略を述べた。以下に今回の試験で得られた二、三の知見を示す。

- (1) ペレットの密度や収縮率の値、各種の確性試験の結果から、チャンファ型ペレットの場合にも通常の形のペレットとほぼ同一仕様の製品が得られることがわかった。
- (2) 粉末の成型の段階において十分注意して作業を進めれば、成型用パンチやダイスの損傷なしに、また有害な欠けやひび割れなしにペレットの製造が可能である。
- (3) チャンファ型ペレット内部の応力分布など未知の分野はあるが、焼結過程自体については通常のペレットの場合と差異はない。また焼結によるペレットの欠損も全く見られなかった。
- (4) チャンファの部分を含むペレット全体の形状やペレットの密度の影響等、今回調べられなかった因子については今後の試験が必要である。また大量にチャンファ型ペレットを製造する場合には、特に成型時の成型用パンチの健全性に十分留意する必要がある。

最後に、本稿の執筆にあたり有意義な助言をいただいた岩本多実燃料工学部長に深く感謝の意を表します。またペレット製造試験において多方面より協力して下さったプルトニウム燃料研究室及びプルトニウム技術開発室の各位に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) G. W. Cunningham ; Trans. Am. Nucl. Soc. , 19, 83 (1974).
- (2) 半田宗男, 他 ; 日本原子力学会誌, 26, 132 (1984).
- (3) 半田宗男, 他 ; JAERI-M 83-206 (1983).
- (4) R. J. Herbst, et al. ; LA-9259-MS, (1982).
- (5) Y. Suzuki, et al. ; J. Nucl. Sci. Technol., 18, 61 (1981).
- (6) 鈴木康文, 他 ; JAERI-M 9943 (1982).
- (7) S. Nomura, et al. ; Topl. Mtg. Proc. Advanced LMFBR Fuels. Oct. 10-13, 1977.

ってきた混合炭化物ペレットの製造試験の結果とほぼ同一であり、特別にチャンファ型ペレットの採用による変化は見られなかった。

5. おわりに

照射試験用に調製したチャンファ型混合炭化物ペレットの製造について、先行試験を兼ねたUCの製造の結果も含めてその概略を述べた。以下に今回の試験で得られた二、三の知見を示す。

- (1) ペレットの密度や収縮率の値、各種の確性試験の結果から、チャンファ型ペレットの場合にも通常の形のペレットとほぼ同一仕様の製品が得られることがわかった。
- (2) 粉末の成型の段階において十分注意して作業を進めれば、成型用パンチやダイスの損傷なしに、また有害な欠けやひび割れなしにペレットの製造が可能である。
- (3) チャンファ型ペレット内部の応力分布など未知の分野はあるが、焼結過程自体については通常のペレットの場合と差異はない。また焼結によるペレットの欠損も全く見られなかった。
- (4) チャンファの部分を含むペレット全体の形状やペレットの密度の影響等、今回調べられなかった因子については今後の試験が必要である。また大量にチャンファ型ペレットを製造する場合には、特に成型時の成型用パンチの健全性に十分留意する必要がある。

最後に、本稿の執筆にあたり有意義な助言をいただいた岩本多実燃料工学部長に深く感謝の意を表します。またペレット製造試験において多方面より協力して下さったプルトニウム燃料研究室及びプルトニウム技術開発室の各位に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) G. W. Cunningham ; Trans. Am. Nucl. Soc. , 19, 83 (1974).
- (2) 半田宗男, 他 ; 日本原子力学会誌, 26, 132 (1984).
- (3) 半田宗男, 他 ; JAERI-M 83-206 (1983).
- (4) R. J. Herbst, et al. ; LA-9259-MS, (1982).
- (5) Y. Suzuki, et al. ; J. Nucl. Sci. Technol., 18, 61 (1981).
- (6) 鈴木康文, 他 ; JAERI-M 9943 (1982).
- (7) S. Nomura, et al. ; Topl. Mtg. Proc. Advanced LMFBR Fuels. Oct. 10-13, 1977.

ってきた混合炭化物ペレットの製造試験の結果とほぼ同一であり、特別にチャンファ型ペレットの採用による変化は見られなかった。

5. おわりに

照射試験用に調製したチャンファ型混合炭化物ペレットの製造について、先行試験を兼ねたUCの製造の結果も含めてその概略を述べた。以下に今回の試験で得られた二、三の知見を示す。

- (1) ペレットの密度や収縮率の値、各種の確性試験の結果から、チャンファ型ペレットの場合にも通常の形のペレットとほぼ同一仕様の製品が得られることがわかった。
- (2) 粉末の成型の段階において十分注意して作業を進めれば、成型用パンチやダイスの損傷なしに、また有害な欠けやひび割れなしにペレットの製造が可能である。
- (3) チャンファ型ペレット内部の応力分布など未知の分野はあるが、焼結過程自体については通常のペレットの場合と差異はない。また焼結によるペレットの欠損も全く見られなかった。
- (4) チャンファの部分を含むペレット全体の形状やペレットの密度の影響等、今回調べられなかった因子については今後の試験が必要である。また大量にチャンファ型ペレットを製造する場合には、特に成型時の成型用パンチの健全性に十分留意する必要がある。

最後に、本稿の執筆にあたり有意義な助言をいただいた岩本多実燃料工学部長に深く感謝の意を表します。またペレット製造試験において多方面より協力して下さったプルトニウム燃料研究室及びプルトニウム技術開発室の各位に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) G. W. Cunningham ; Trans. Am. Nucl. Soc. , 19, 83 (1974).
- (2) 半田宗男, 他 ; 日本原子力学会誌, 26, 132 (1984).
- (3) 半田宗男, 他 ; JAERI-M 83-206 (1983).
- (4) R. J. Herbst, et al. ; LA-9259-MS, (1982).
- (5) Y. Suzuki, et al. ; J. Nucl. Sci. Technol., 18, 61 (1981).
- (6) 鈴木康文, 他 ; JAERI-M 9943 (1982).
- (7) S. Nomura, et al. ; Topl. Mtg. Proc. Advanced LMFBR Fuels. Oct. 10-13, 1977.

Table 1 Typical diameters, heights and densities of UC, (U,Pu)C_{1.0} and (U,Pu)C_{1.1} pellets

Sample	Diameter (mm)		Height (mm)		Density (g/cm ³)		Shrinkage (%)		
	Green pellet	Sintered pellet	Green pellet	Sintered pellet	Green pellet	Sintered pellet	$\Delta d/d_0$	$\Delta h/h_0$	$\Delta V/V_0$
UC	9.4	8.5	9.0	8.2	8.9	11.7	10	8	25
(U,Pu)C _{1.0}	9.4	8.5	9.4	8.6	8.5	11.2	10	9	25
(U,Pu)C _{1.1}	9.4	8.4	9.8	8.8	8.2	11.3	11	10	28

Table 2 Characteristics of UC, (U,Pu)C_{1.0} and (U,Pu)C_{1.1} pellets (chemical composition and lattice parameter)

Sample	Chemical analysis (wt.%)		Lattice parameter (nm)	
	Carbon	Oxygen	UC or (U,Pu)C	(U,Pu) ₂ C ₃
UC	4.66	0.24	4.84	0.49608
(U,Pu)C _{1.0}	4.67	0.29	4.89	0.49646
(U,Pu)C _{1.1}	5.16	0.14	5.27	0.49652
				0.80977

* Carbon equivalent content

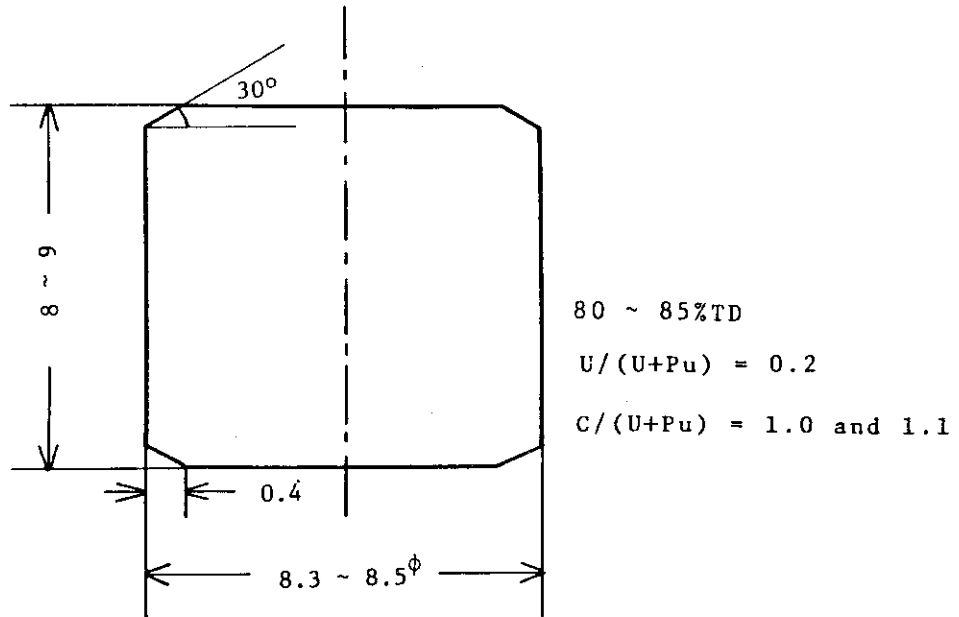


Fig. 1 Chemical and geometrical specifications of chamfered uranium-plutonium mixed carbide pellets

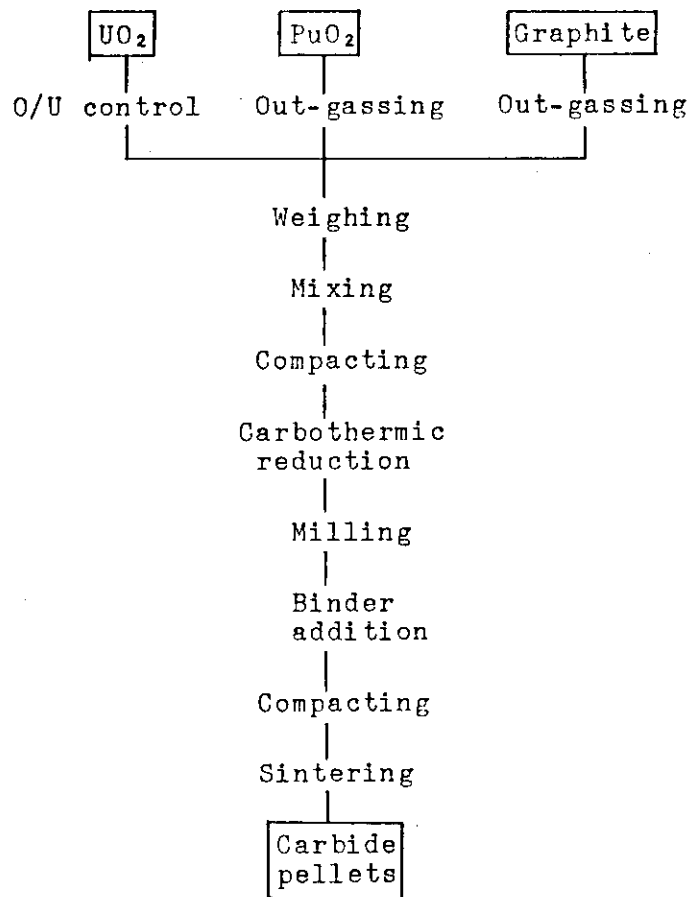


Fig. 2 Flow sheet for the fabrication of mixed carbide pellets

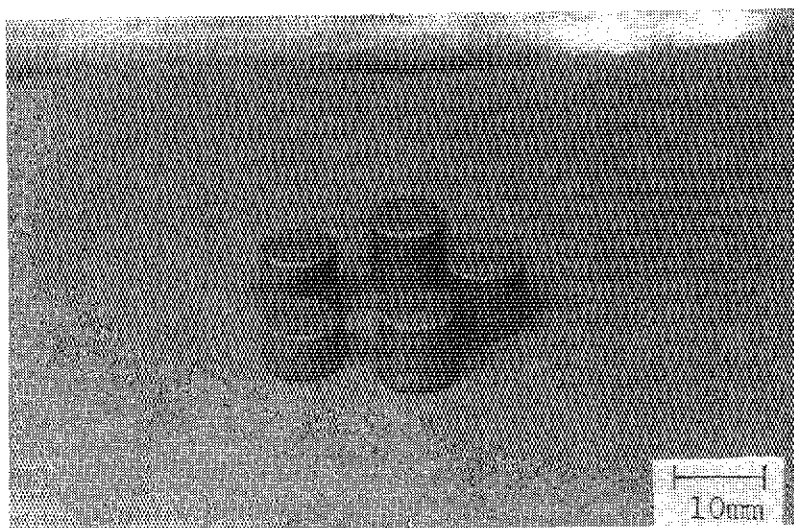


Fig. 3 External appearance of uranium carbide pellets

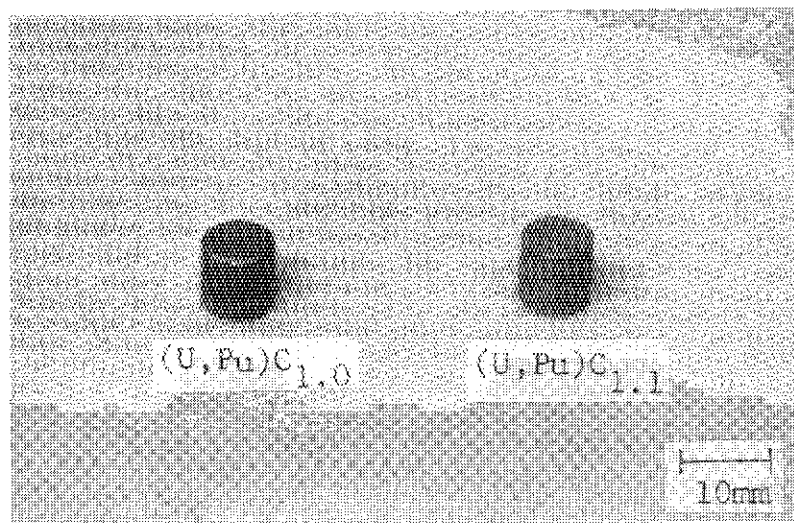


Fig. 4 External appearance of mixed carbide pellets