

資料 1 - 5

2021 年 8 月 31 日

第 412 回 核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合

京都大学臨界実験装置 (KUCA)

設置変更承認申請について

【追加説明資料】

京都大学複合原子力科学研究所

(指摘事項番号：21)

芯材の固着度についてのデータを明示すること。圧縮・固着が安全設計上どこに関係するかを整理すること。

(指摘事項番号：22)

Al と U-Mo で燃料を圧縮成形してほとんど 100%の理論密度の燃料になっているというのを何らかの形で示して、強度はたとえば Al の強度で代用できることを何らかの方法で示すこと。

現在、固体減速炉心で使用予定の U-Mo 燃料の芯材は [ ] 粒と [ ] の粒を [ ] 混ぜて平均粒径約 70 $\mu\text{m}$  の粉末としたものを、ウランシリサイド分散型燃料の場合と同様にアルミニウムパウダー（粒径 150 $\mu\text{m}$  以下）と混合し圧縮して芯材として整形したものである（アルミニウムとウランの原子数比は約 2.1 : 1、アルミニウム体積が全体の約 59%）。

この製造方法は、現在開発中の高出力研究炉用の燃料の製造方法と同じであり、その U-Mo 燃料を照射試験で FP の閉じ込め性能などを含めた照射特性を確認しており、KUCA 用に製造する U-Mo 燃料についても同様の照射特性を有していると考えられる。

芯材の固着度についてのデータはないが、燃料製造では芯材の均一性を X 線撮影で確認

[ ]、および成型した芯材の寸法、重量が基準値内であることを確認する。

なお KUCA の燃料板はアルミニウム製の額縁の内部に U-Mo 分散型燃料のコンパクトを入れ、その上にアルミニウム製の板を置いて周囲を溶接するという構造であるため、その機械的強度については芯材ではなく周囲のアルミニウム製被覆材(アルミニウム製の額縁)で担保している。

(指摘事項番号：23)

ブリスタ発生の要因を調べること。

U-Mo 燃料のブリスタの発生要因についてはウランシリサイド分散型燃料の場合と同様に、燃料被覆材と U-Mo の燃料コンパクトの間の密着性の低い箇所の燃料芯材が高温になることにより燃料表面が変形すること、さらに燃料と燃料被覆材の隙間に気体の核分裂生成物が蓄積することなどの要因ブリスタが発生すると考えられる。

今回の U-Mo を用いた燃料板についてもブリスタの発生を防止するために燃料芯材の最高温度は 400°C を超えないことを設計基準事故時の判断基準としている。これは、U-Mo 分散燃料はウランシリサイド分散型燃料と同様にアルミニウムパウダー中に融点の高い燃料粒子が分散した構造をしており、ブリスタの発生はこれまでの基準（燃料破損閾値としてブリスタ発生温度の約 500～600°C に安全余裕を見た温度である約 400°C）と同じとして良いと考えられるからである。

しかし添付 10 の解析結果によると燃料板の最高温度は 100°C 以下であること、また U-235 の燃焼度としては最大でも約  $2.5 \times 10^{-4}$  % 程度（「第 299 回 核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合」資料 2、2019 年 9 月 2 日）であり、ほとんど燃焼は進まずに核分裂生成物の蓄積はほとんど無視できる。そのため詳細なブリスタ発生の要因については調べ切れていないが、KUCA の U-Mo 燃料についてはブリスタの発生の心配は無いと考えられる。

指摘事項番号：20)

燃料板の落下試験の結果を明示すること。

### 1. 落下試験の概要

固体減速架台用の U-Mo 燃料のサンプルを使用しサンプルの落下試験を実施した。

KUCA での燃料取扱時には、燃料組み立ての際に誤って燃料をコンクリートの床に落とす可能性があり、その影響によって溶接部分等が破壊され、核物質の漏洩につながるものが危惧される。そこで、現在製作予定の燃料が実際の燃料取扱時の落下にも十分耐えることを確認するため落下試験を行い、その強度と密封性能を確認した。

使用したサンプルは全て U-Mo 燃料を製作する予定のフランスの CERCA 工場において全く同じ手法で製作したもので、寸法およびアルミニウム被覆の材質は実際に製作予定のものと同じ、サンプルの内部には燃料コンパクトと密度が近いステンレス板（燃料コンパクトは約  $8.5\text{g/cm}^3$ ）が梱包されている。図 1-1 にサンプルの概略図を示す。Front face は識別番号が刻印されている側とし、Back face は溶接が施されている側とした。各 Side face の位置は図 1-2 に示したとおりである。落下試験の前と数回の落下の後、さらに 100 回の落下試験後に、Front、Back、各 Side face の 6 面について写真撮影を行った。Side face 撮影時はサンプルを立て、Front face が必ず右側になるように設置して撮影を行った。

試験は KUCA 燃料室と同じコンクリート床である KUCA の総合測定室で実施した。サンプルを落下させる高さは、KUCA の燃料取扱時に使用している作業機が約 75 cm であるため、それより倍の高さである 150 cm とした。また、サンプルを落下させる際は、試験者は必ず刻印側が下となるようにサンプルを持ち落下させた。試験者は、サンプル落下後、破損等がないことを確認した後に、次の落下試験を行った。図 1-3 に落下試験の概略図を示す。

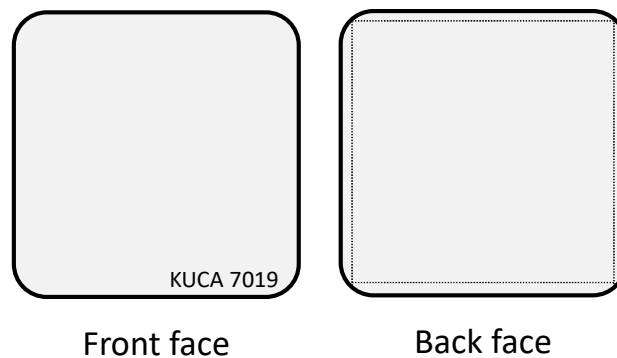


図 1-1 使用したサンプルの概略図

「グレーのマスクング範囲は不開示情報」

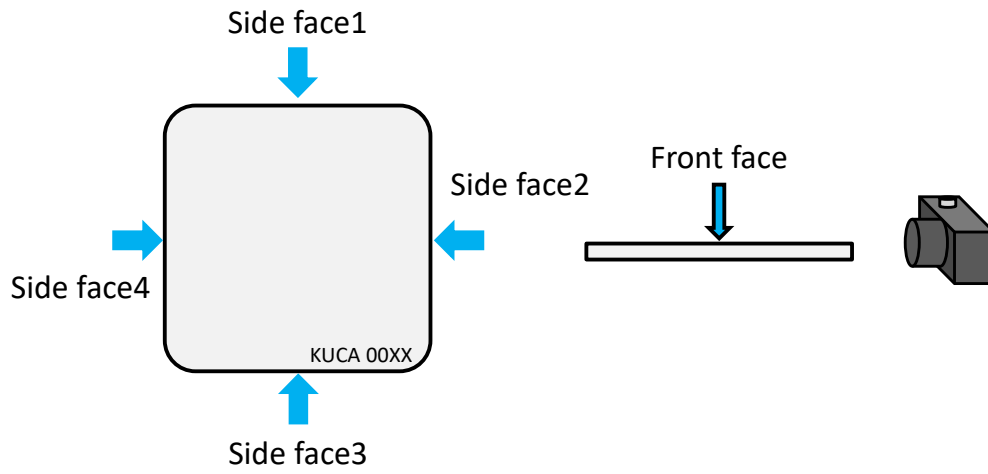


図 1-2 各 Side face の位置



図 1-3 落下試験の概略図

## 2. 結果

図 2-1～図 2-7 に試験前、1 回落下後、9 回落下後、20 回落下後、50 回落下後、75 回落下後、100 回落下後の各面の写真撮影結果を示す。1 回落下後は特に大きな変化は見られなかったが、9 回落下後にサンプル角に大きな曲がりの確認できたが、燃料板の溶接箇所には異常は見られず密封性能に影響を与えるものではなかった。その後、落下を繰り返していくに連れて角の傷や角の曲がり等は多くなっていたが、100 回の落下試験後でも燃料の大きな破損はなく、溶接箇所には異常は見られず密封性能に影響を与えるものではなかった。

なお、これまでの高濃縮ウラン燃料板の使用時に燃料板に変形が見つかった場合にはそれ以降は炉心で使用しないような措置を取ってきたので、低濃縮ウラン燃料の場合でも同様の対応を行う予定である。

「グレーのマスクング範囲は不開示情報」

☒ 2-1 Photos of sample before the test



「グレーのマスクング範囲は不開示情報」





「グレーのマスクング範囲は不開示情報」

図 2-2 Photos of sample after 1st drop



「グレーのマスクング範囲は不開示情報」



「グレーのマスクング範囲は不開示情報」

☒ 2-3 Photos of sample after 9th drop



「グレーのマスクング範囲は不開示情報」



「グレーのマスクング範囲は不開示情報」

図 2-4 Photos of sample after 20th drop



「グレーのマスクング範囲は不開示情報」



「グレーのマスクング範囲は不開示情報」

図 2-5 Photos of sample after 50th drop



「グレーのマスクング範囲は不開示情報」





「グレーのマスキング範囲は不開示情報」

図 2-6 Photos of sample after 75th drop



「グレーのマスクング範囲は不開示情報」



「グレーのマスクング範囲は不開示情報」

図 2-7 Photos of sample after 100th drop



「グレーのマスクング範囲は不開示情報」

