

7-2 MOX 燃料の機械的性質を評価する

—超音波法により測定した MOX 燃料中の音速データに基づくヤング率の評価—

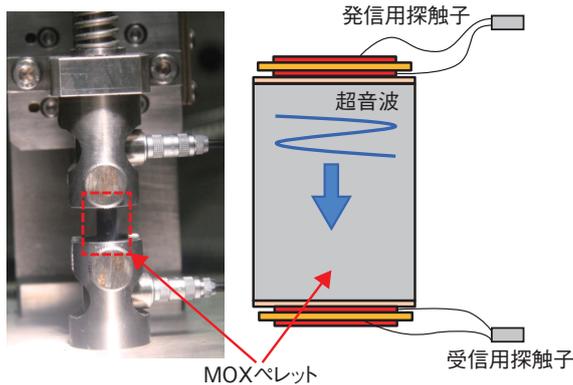


図 7-5 超音波法による音速測定の概要
左の写真に示す赤枠が MOX ペレットです。右の概略図に示すように上端から超音波を発信し、下端で受信します。超音波の移動時間及び距離から音速を導出します。

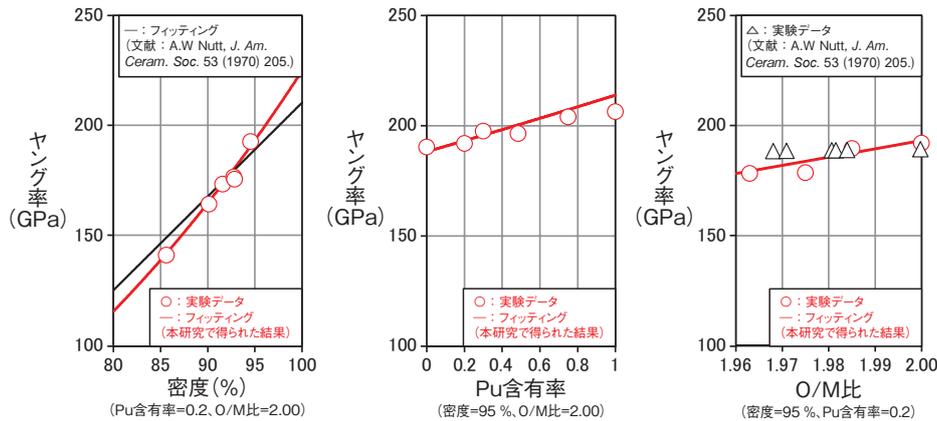


図 7-6 ヤング率と密度、Pu 含有率及び O/M の関係

音速測定結果からヤング率を評価することが可能です。密度、Pu 含有率、O/M 比をパラメータとした音速測定結果から、ヤング率に対するこれらの影響を評価しました。

照射中の燃料ピンの健全性を確保するためには、燃料と被覆管との機械的な相互作用 (FCMI) による被覆管の破損を防止する必要があります。この FCMI の挙動を評価する上で、ウラン・プルトニウム混合酸化物 (MOX) 燃料のヤング率等の機械的性質は重要な物性です。ヤング率は MOX 燃料の密度やプルトニウム (Pu) 含有率の影響を受けることが知られています。また、MOX 燃料中の酸素 (O) と金属 (U 及び Pu) の原子数比 (O/M 比) の影響も受けることが予想されます。しかしながら、これらの影響を総合的に評価し、定式化した例はこれまでありませんでした。

そこで私たちは、密度、Pu 含有率及び O/M 比をパラメータとして様々な MOX ペレットを作製し、超音波法により MOX ペレット中を伝播する音速を測定しました。超音波法による試験の概要を図 7-5 に示します。超音波法では、超音波の発信用探触子と受信探触子によって超音波が伝播する時間を測定します。超音波が伝播する時間と距離が分かれば、その速度が分かります。得られた音速のデータから、ヤング率等の機械的性質を導出することができます。

このようにしてヤング率を評価した結果 (図 7-6)、密度が低くなるとヤング率が大幅に低下することが分か

りました。このヤング率の低下は、MOX ペレット内に気孔が増加し、力を受ける有効断面積が減少して強度が低下したためと考えられます。

Pu 含有率の影響については、Pu 含有率が大きくなるとヤング率は上昇することが分かりました。これまでの研究から、Pu 含有率が大きくなると原子間距離が短くなることが分かっています。これは原子間の結合力が強くなっているためと考えられ、ヤング率の上昇は原子間の結合力の増加によるものと考えられます。また、O/M 比が低くなるとヤング率は低下する結果が得られましたが、これも同様に原子間の結合力の低下によるものと考えられます。

今回取得したデータから、密度、Pu 含有率及び O/M 比をパラメータとしてヤング率等の機械特性を計算する式を導出しました。これにより、正確な物性値を用いて FCMI を評価することが可能となり、MOX 燃料の設計技術に貢献することができました。

今後は、今回取得した機械的性質に加えて、熱伝導率等の様々な性質を合わせて解析することで、MOX 燃料の物性を統合的かつ機構論的に評価したいと考えています。

●参考文献

Hirooka, S. et al., Sound Speeds in and Mechanical Properties of (U,Pu)O_{2-x}, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.55, issue 3, 2018, p.356-362.