

## 高温ガス炉用TRISO粒子燃料

### 概要 / 目的:

TRISO (TRi-structural ISOtropic) 粒子燃料は、許認可に対する全ての基準事象及び事故シナリオ状況下における、核分裂生成物の放出しきい値以下に炉心温度を受動的に保つよう設計されており、モジュラー型高温ガス炉 (HTGR) で使用されます。本ウェビナーでは、米国DOEの先進ガス炉 (AGR) TRISO燃料品質評価・開発プログラムについて、燃料の特性、検証手法、TRISO製造過程での改善点、AGR TRISO照射試験、照射後試験及び安全性加熱試験結果、燃料性能のモデル化などの活動を紹介します。

### 講演者紹介:

Madeline Feltus博士は、2003年からDOE原子力エネルギー局の先進ガス炉TRISO燃料適格性評価・開発プログラムを率いています。DOEの先進核燃料研究開発 (R&D)、軽水炉事故耐性燃料の研究開発、原子炉開発プロジェクトの技術支援を行い、現在及び将来の先進軽水炉、ガス冷却炉、ナトリウム冷却炉で使用可能な安全で事故耐性があり、堅牢で信頼性の高い原子炉燃料を実現するために、先進的な燃料設計のための原子炉燃料及び材料照射性能の改善に注力しています。また、OECD NEA専門家委員会報告書、IAEA技術文書、技術雑誌の原稿審査にも携わっています。様々な大学の助成金プロジェクト、ベンダー・産業界のプロジェクト、中小企業の研究開発活動の管理を担当。1999年にDOE入省前は、ペンシルバニア州立大学で原子力工学の助教授を務めていました (1991年～1999年)。1977年にコロンビア大学で原子力工学の理学士号を取得。Burns and Roe、Public Service Electric and Gas (N.J.)、New York Power Authorityで原子力技術者としてフルタイムで働く傍ら、コロンビア大学で研究を続け、原子力工学の修士号 (原子炉物理学、1980年)、機械工学の修士号 (熱水力学、1989年)、3次元時間依存性運動論-中性子・熱水力連成解析に関する論文で原子力工学の博士号 (1990年) を取得しました。



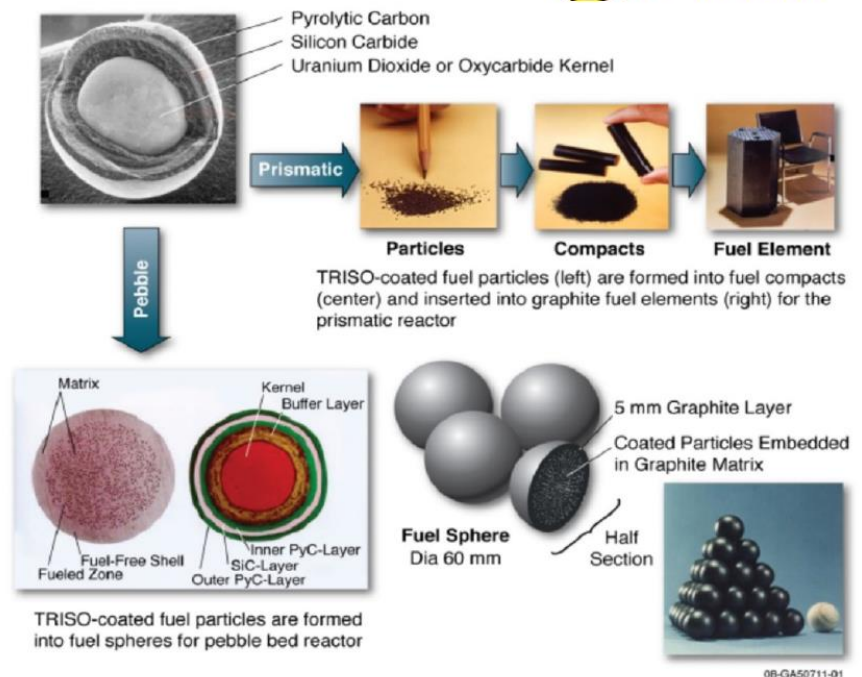
## TRISO粒子燃料:

TRI-Structural ISOtropic (TRISO) 粒子は、黒鉛マトリックス材料中に埋め込まれる。

TRISO particles are embedded in graphitic matrix material

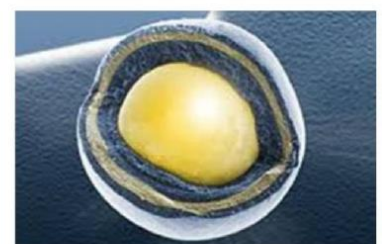
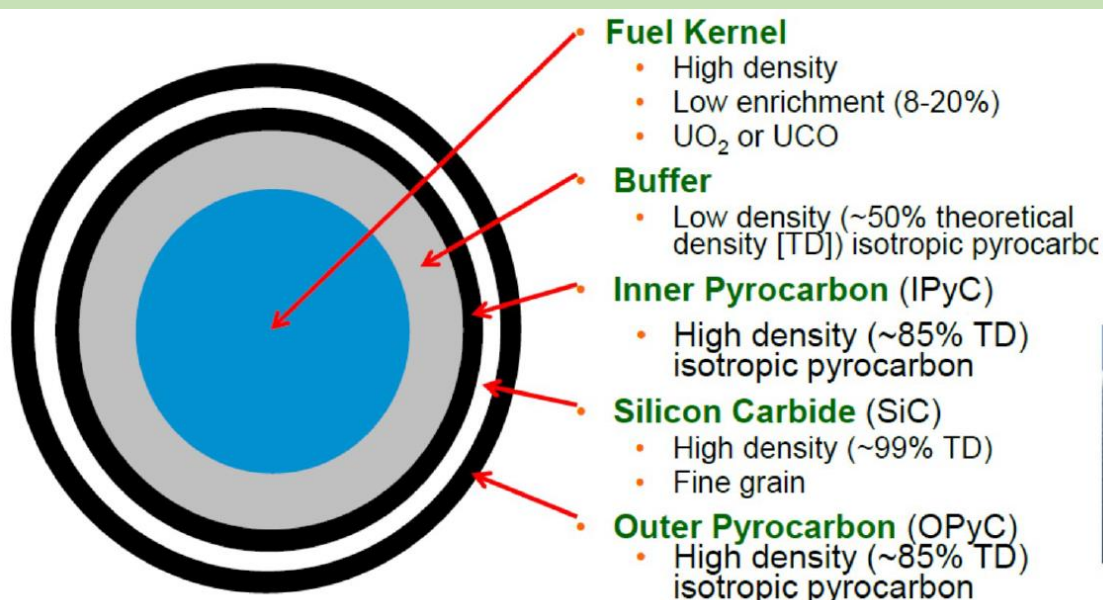
- **Cylindrical compacts** put hexagonal graphite blocks for **prismatic** reactor
- UCO fuel kernel for block or prismatic reactor with 12-19% U-235 enrichment
- **Spheres** for **pebble bed** reactor, flow through core
- $\text{UO}_2$  fuel kernel for pebble bed reactor with ~ 8 % enrichment (German)

Prismatic and pebble bed TRISO particle use similar coating layer thicknesses, but the kernel enrichment and particle packing fractions are different



## TRISO粒子燃料の構造:

TRISO粒子燃料は、燃料カーネル、バッファー、内側パイロカーボン、炭化ケイ素、外側パイロカーボンから構成される。

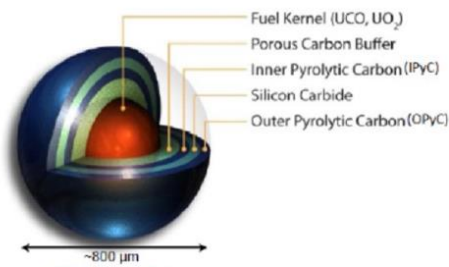


TRISO coated particle fuel

## TRISO粒子コーティングは核分裂生成物を保持:

TRISO燃料は、通常運転時(1000°C~1400°C)及び冷却材減圧事象を含む設計基準事故時(~1600°C)でも核分裂生成物を保持するように設計されている。

### Tristructural isotropic (TRISO) Fuel

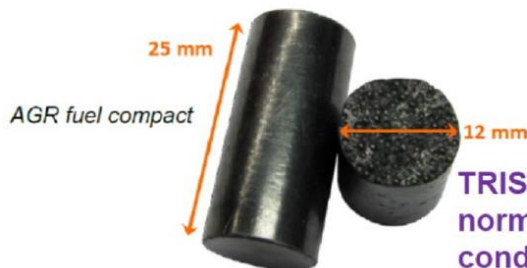


- TRISO fuel is at the heart of the safety case for modular high temperature gas-cooled reactors
- Key component of the "functional containment" licensing strategy
  - Radionuclides are retained within multiple barriers, with emphasis on retention at their source in the fuel

High-quality, low-defect fuel fabrication

Robust performance during irradiation and during high-temperature reactor transients

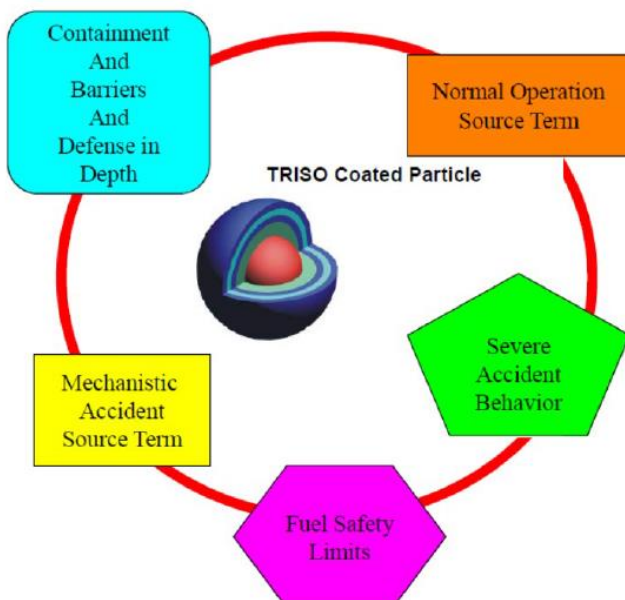
Low fission product release



TRISO fuel is engineered to retain fission products during normal operating (1000-1400 C) and Design Basis accident conditions including a Depressurized Cooldown Event (~1600 C)

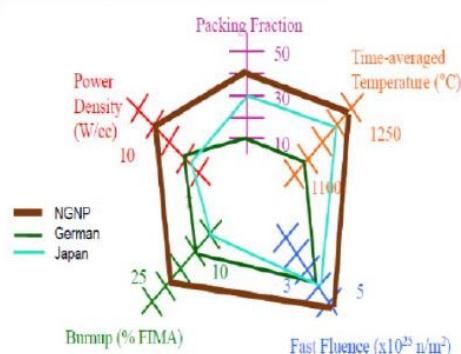
## TRISO粒子、ガス冷却炉の核分裂生成物閉じ込め容器として機能:

TRISO被覆粒子燃料の核分裂生成物保持性能は、HTGR/VHTR/NGNPの安全性を確保するための重要な要素である。



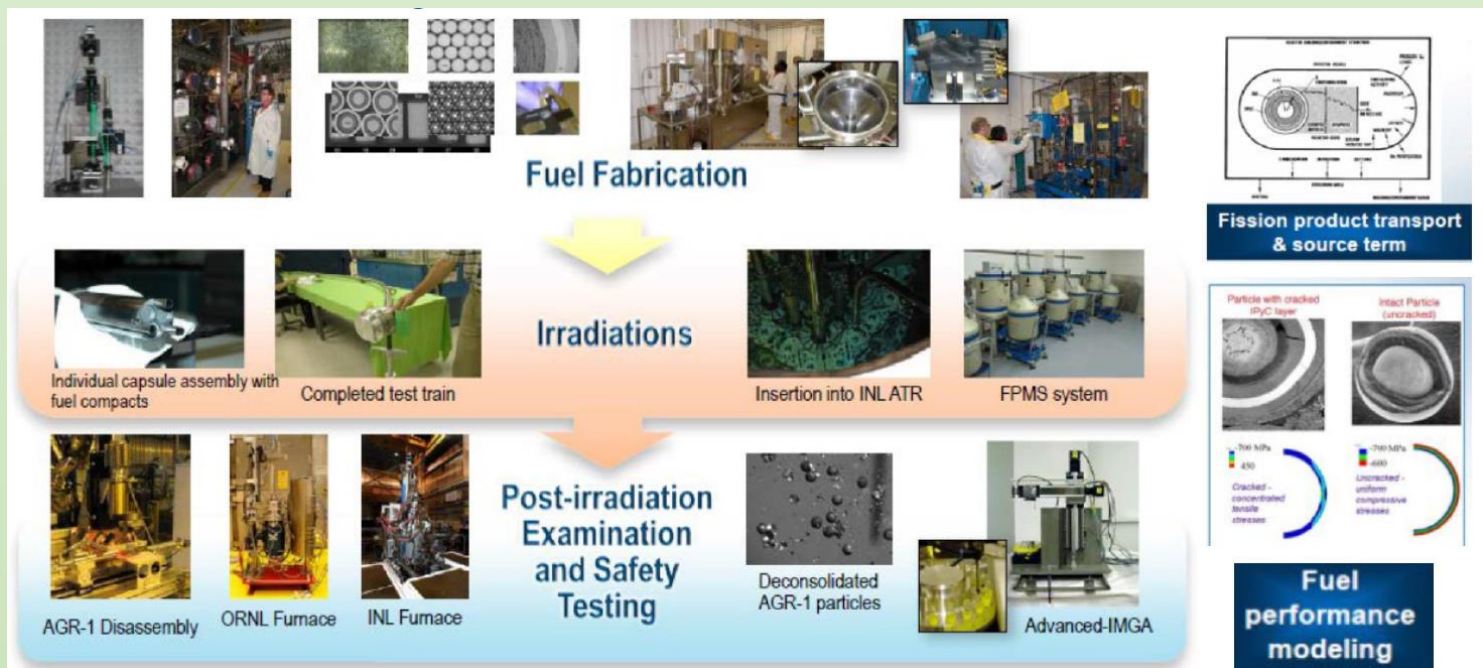
AGR Program Goal: Qualify TRISO UCO fuel in a performance envelope that is larger, more aggressive than previous German, Japanese fuel qualification experience

### TRISO Fuel Service Conditions



## 先進ガス炉TRISO燃料品質評価プログラム:

米国における先進ガス炉TRISO燃料品質評価プログラムの目的と動機は、許認可取得を支援するための燃料品質評価のためのデータを提供し、TRISO燃料の国内商用ベンダーを確立することである。



## AGR TRISOプログラムを超えて:

TRISO燃料は、他の原子炉設計でも使用可能である。

- Molten Salt-cooled (e.g., FLiBe, FLiNaK,) reactor concepts use graphite matrix TRISO fuel directly, e.g. Kairos Power based on University of California – Berkeley pebble bed design
- Fast Gas Reactors, using SiC or other non-graphitic matrix compacts
  - French helium fast gas design ZrO<sub>2</sub> coating
  - UC fuel kernels in metallic cladding
  - GA's EM<sup>2</sup> alternate design
- Encapsulated fuel for LWR Accident Tolerant Fuel
  - TRISO in SiC matrix with SiC tubes or Zircalloy cladding (ORNL)
- Fast sodium/metal cooled reactors
  - Dispersion fuels, TRISO-like fuel in metallic matrix, metallic clad
  - TRISO in SiC Mixed Oxide fuel pellets (FFTF or MOX cores)
- Extreme high temperature reactors using refractory metals, UC or UN fuels
  - Space reactors, or niobium (Nb), tantalum (Ta), molybdenum (Mo), rhenium (Re), vanadium (V) and tungsten (W) alloys.