

超高温ガス炉(VHTR)

概要 / 目的:

超高温原子炉(VHTR)は、国際協力開発として最終的に選出された6つの第4世代原子炉システムのうちの1つです。GIFのVHTRシステム協定のメンバー国のうち3か国で高温ガス炉の運転又は試験経験があり、2008年にはそこに中国が加わりました。本ウェビナーでは、この協力開発がどのように持続性、経済性、安全性、核拡散対抗性、エネルギー供給に寄与するかを紹介します。

講演者紹介:

カール・シンク氏は、米国エネルギー省(DOE)に24年間勤務し、様々な役割を担ってきました。現在は、原子力エネルギー局の先進原子炉開発プログラスマネージャーとして、DOEの国立研究所と米国の原子力産業界パートナーが実施する共同研究、開発、実証プロジェクトの調整を担当しています。2004年からは、高温ガス炉(HTGR)の開発と実証を目的としたDOEイニシアチブである次世代原子力プラント(NGNP)プロジェクトに密接に関わってきました。



2006年から2009年までは、原子力水素イニシアチブのプログラスマネージャーを務め、高温ガス炉の出口温度を利用した高温水分解技術の開発に向けたDOEの取り組みを調整しました。GIFでは、2008年からVHTRシステム運営委員会の委員を務め、現在は同委員会の議長を務めています。シンク氏は、米国カトリック大学で工学管理の修士号を取得し、米国海軍士官学校を卒業しています。DOEに入省する前は、米国海軍の資格を持つ原子力工学士官として9年間、原子力巡洋艦と原子力空母で原子炉操作の任務に就いていました。

1. なぜ高温ガス炉？：

高温ガス炉は、6つの第4世代概念の一つであり、固有の安全性が高く、電力以外にも多様な産業利用が可能であること、核拡散抵抗性があること、高燃焼度の燃料サイクルであることから、先進的な燃料・サイクルとしての成長が期待される。

• Inherent safety characteristics

- Ceramic fuel particles – won't melt
- Graphite core – stable moderator and thermal buffer
- Helium coolant – inert gas does not interact with fuel, graphite or structural metals

• Diverse industrial applications in addition to electricity

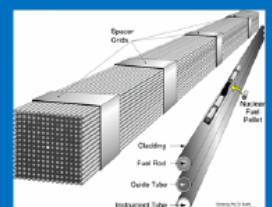
- High efficiency power conversion capability: modern Rankine cycle (Eff ~40%) to advanced closed cycle Brayton (efficiency up to ~47%)
- High temperature process steam and process heat capability offer cogeneration opportunities now; very high temperatures in future

• Proliferation resistant, high burnup fuel cycle with growth potential for advanced fuels and cycles (e.g. Plutonium, Thorium), including deep burn cycles with LWR spent fuel

2. 高温ガス炉 (HTGR) と軽水炉 (LWR) の比較：

軽水炉をご存知の方のために、高温ガス炉がどのようにLWRと大きく異なるかを簡単に比較する。

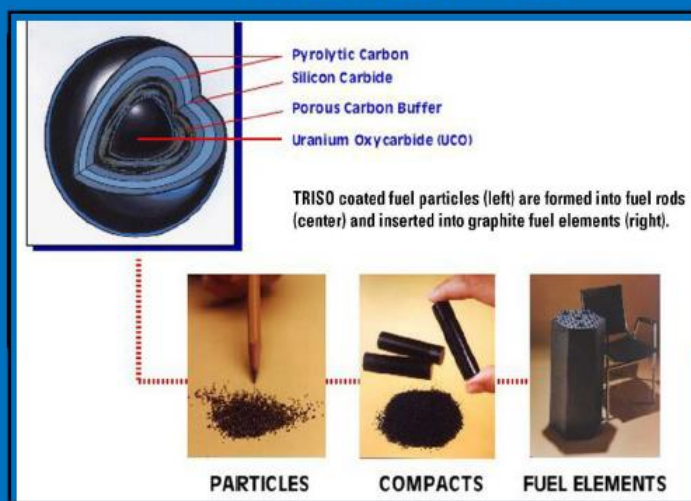
Item	HTGR	LWR
Moderator	Graphite	Water
Coolant	Helium	Water
Avg coolant exit temp.	700-950°C	310°C
Structural material	Graphite	Steel
Fuel clad	SiC & PyC	Zircaloy
Fuel	UO ₂ , UCO	UO ₂
Fuel damage temperature	1600-1800°C (design dependent)	1260°C (due to Zircaloy clad properties)
Power density, W/cm ³	4 to 6.5	58 - 105
Linear heat rate, kW/ft	1.6	19
Neutron migration length	57 cm	6 cm



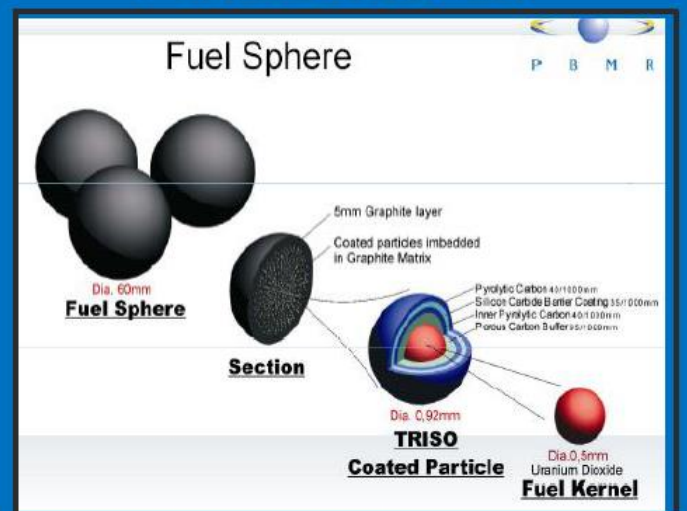
TRISO被覆粒子燃料:

高温ガス炉の基本要素であるTRISO被覆粒子燃料は、プリズム型高温ガス炉とペブルベッド型高温ガス炉の両方で使用されている。プリズム型高温ガス炉では、TRISO被覆燃料粒子を燃料棒に成形して黒鉛燃料要素に挿入し、ペブルベッド型高温ガス炉では、TRISO被覆燃料粒子を燃料球に成形して使用する。

Prismatic Fuel



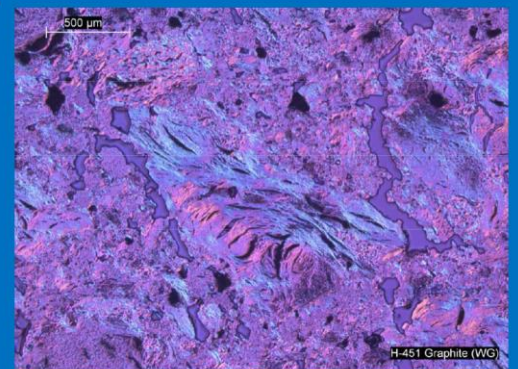
Pebble Bed Fuel



高温ガス炉における黒鉛の役割:

高温ガス炉の炉心では、黒鉛が下図に示す重要な役割を果たす。その他の役割として、プリズム炉心では黒鉛燃料要素ブロックが核燃料を保持し、ペブルベッド炉では黒鉛反射体構造が燃料球を保持し、黒鉛反射体構造には反応度制御のための垂直貫通部があり、プリズム黒鉛燃料要素には反応度制御チャンネルがある。

- **Neutron moderator (carbon & graphite)**
 - Thermalize fast neutrons to sufficiently low energies that they can efficiently fission U-235
- **Neutron reflector – returns neutrons to the active core**
- **Graphite (nuclear grade) has a low neutron capture cross section**
- **High temperature tolerant material**



重要な高温ガス炉の安全パラダイムシフト:

高温ガス炉は軽水炉と異なる安全パラダイムシフトを持っており、これは原子炉の安全性に対する考え方の違いであり、高温ガス炉の規制と事故シナリオをどのように考えるかを再考しなければならない。

- The fuel, helium coolant, and graphite moderator are **chemically compatible** under all conditions
- The fuel has very **large temperature margins** in normal operation and during accident conditions
- Safety is **not dependent** on the presence of the helium coolant
- **Response times** of the reactor are very **long** (days as opposed to seconds or minutes)
- Loss of forced cooling tests have demonstrated the potential for walk-away safety
- There is no inherent mechanism for runaway reactivity excursions or power excursions
- The HTGR has multiple, **nested, and independent** radionuclide barriers
- An LWR-type containment is neither advantageous nor necessarily conservative.

幅広いエネルギー・商用製品の製造に対応する高温ガス炉:

高温ガス炉は、高温から低温までの幅広い熱を供給することができ、水素製造など様々な用途での実用化が提案されている。

