

液体金属冷却型高速炉の炉内熱流動特性

概要 / 目的:

液体金属は熱伝達特性と沸点が高いため、液体金属冷却型高速炉(LMR)は低圧力条件での高温炉の設計が可能です。同時に、原子炉容器内等における自然対流現象を含む熱流動特性を把握し、急峻な温度勾配の発生を避け、供用中の構造健全性を確保する必要があります。本ウェビナーでは、タンク型炉における熱流動現象に注目し、これらの現象の概要と、それをシミュレートするための最新解析技術を紹介します。

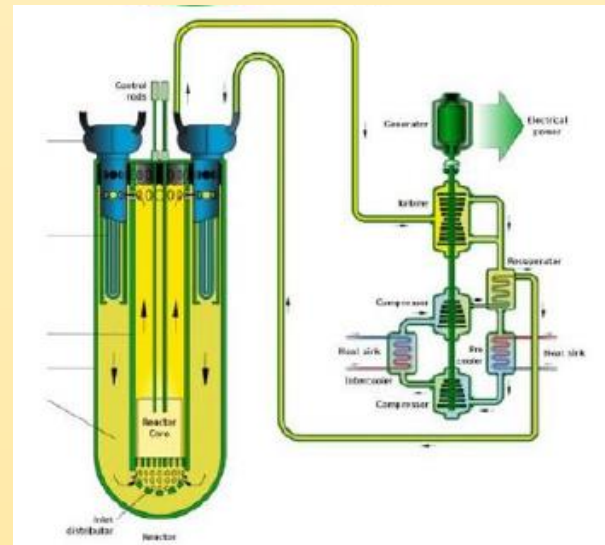
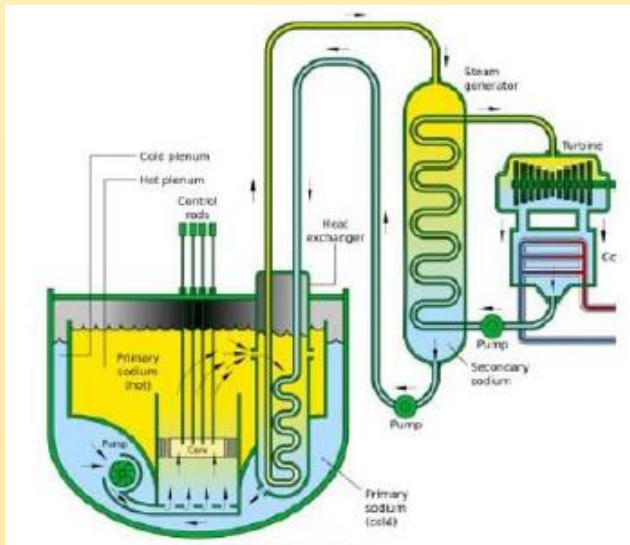
講演者紹介:

Dr. Antoine Gerschenfeldは、フランスのパリ高等師範学校にて2012年に博士号を取得後、2013年以降、フランス原子力・代替エネルギー庁にてナトリウム高速炉の熱流動および流体力学セクションでのR&Dを主導しています。。主なR&Dの成果としては、サブチャネル熱流体コード(TrioMC)の開発および粗モデルと詳細モデルをカップリングし、単一の原子炉規模シミュレーションを実現するカップリングツール(MATHYS)の開発が挙げられます。また、DOE、JAEA、IPPEとの二国間交流やEURATOMプロジェクトなど、数多くの協力プログラムにも携わっています。



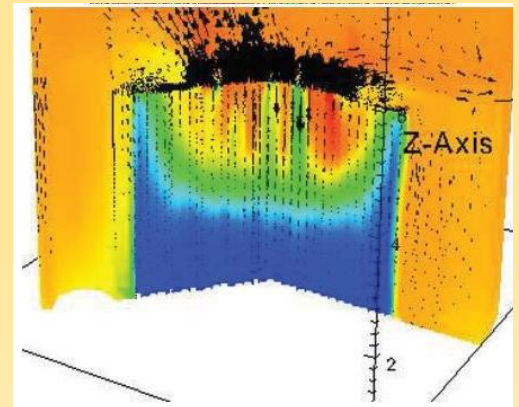
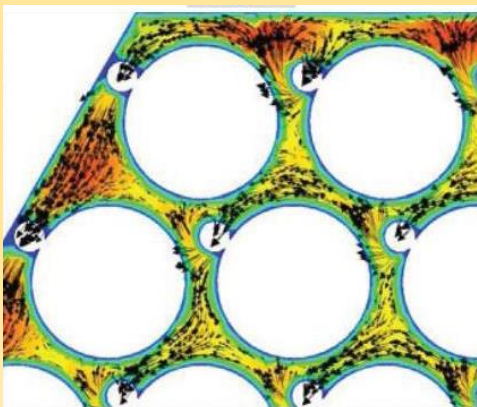
液体金属炉の熱流動現象(概要):

冷却材としての液体金属は、中性子減速がほとんどない、常圧状態でも動作温度を高く取れる、さらには熱伝導率に優れるなどの様々な利点があります。その一方で、これらの特長は、炉設計に大きな影響を与える複雑な熱流体現象の潜在的な原因ともなります。



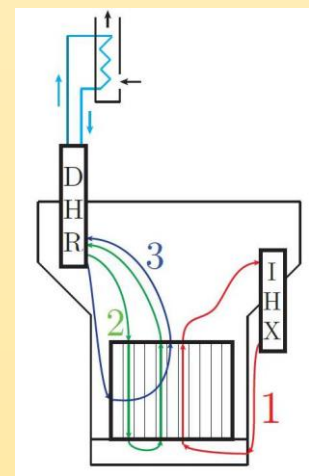
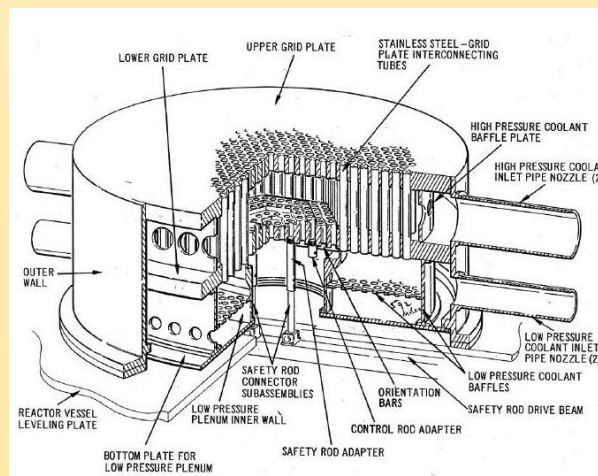
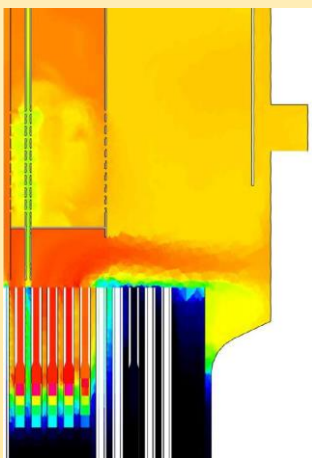
熱流動課題 / 炉心部:

液体金属炉の燃料集合体(S/A)は、燃料ピンやスペーサワイヤ(またはグリッド)など、非常に複雑な構造を持っています。最も関心のある問題として、通常時($\leq 620^{\circ}\text{C}$)と事故時($\leq 1200^{\circ}\text{C}$)のそれぞれについて、被覆管温度を予想することが挙げられます。また、通常運転時と事故時それぞれで全炉心的な熱流動挙動を把握することも重要な課題であり、事故時には核熱カップリングの影響を含めた影響把握が必要です。



熱流動課題 / プール、機器およびシステム全体:

ホットプールやコールドプールにおける主な熱流動課題として、熱荷重が挙げられ、その要因としては、ジェットの混合に伴う温度揺らぎ、温度成層化、事故時のホット/コールドショックなどが挙げられます。各機器では、通常運転時の性能面に加え、ポンプトリップ時などの事故時の挙動が問題となります。また、システム全体に係る熱流動課題には、1次系内のガス輸送や崩壊熱除去システム評価などがあります。



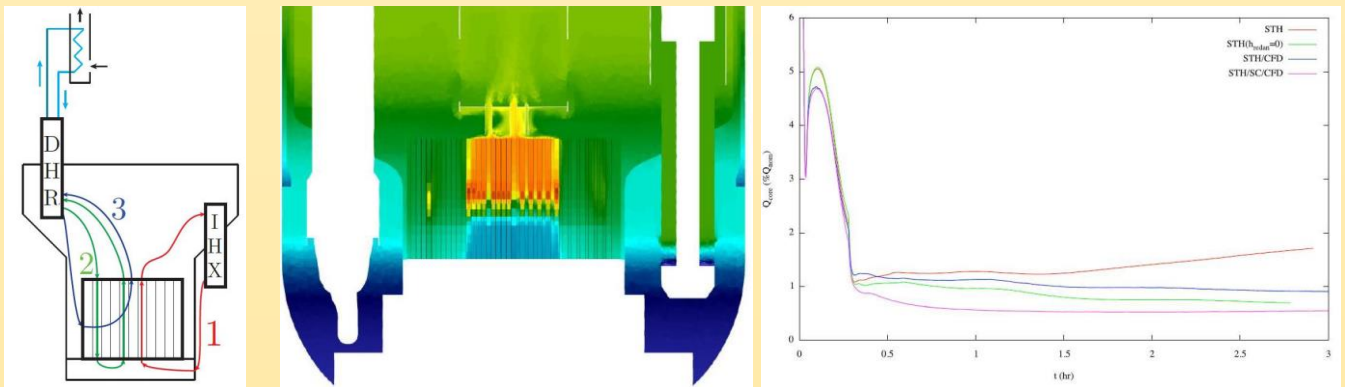
熱流動現象のモデリング:

熱流動現象は非線形の強い現象であり、スケールの問題を有します。したがって、第一原理的なモデリングは困難であり、スケールのカットオフが必要となります。このため、カットオフスケールに応じた様々な解析コードがあり、評価される問題に応じて使用されます。

Scale	System (STH)	Subchannel (SC)	CFD
Simulation scale	channel (1D) volume (0D, 3D)	subchannel (between pins)	microscopic (DNS) fine (LES, RANS)
Physical models	every phenomenon (heat transfer, pressure drop)	fine geometry (wires, grids...)	nothing (DNS) turbulence (LES/RANS)
Code used at CEA	CATHARE	TrioMC	TrioCFD

自然対流問題へのモデリング適用:

自然対流問題は原子炉内全域にまたがる現象であり、システムコードに基づいたモデリングが自然な選択と言えます。しかしながら、全体に影響を与える得る局所的な熱流動現象をどう評価するかという問題が生じます。この点を考慮して、CFDにより炉全体をモデル化するというアプローチも考えられますが、余分な計算コストが発生し、妥当なアプローチとは言えません。システムコードとCFD(またはサブチャンネルコード)間のカップリングがアプローチとして有望です。



自然対流問題における物理モデルの妥当性確認:

評価に用いられるすべての物理モデルは、実験結果に基づいて得られたものですが、適用に当たりそれらの妥当性を確認することが重要です。熱流動は、非線形現象であることから、個別の現象だけでなく、相互作用から生じる複合効果についての妥当性確認を行う必要があります。したがって、妥当性確認は階層的に実施されることとなります。自然対流問題については、複合効果試験および実際の原子炉を用いての様々なスケールを総合した試験それぞれにいくつかの例があります。

