

熱流動部会セッション

熱流動評価技術における最新動向

The latest developments regarding thermal-hydraulic analysis

(3) 水素化物減速ヒートパイプ冷却超小型炉 MoveluX™ における

熱流動分野の取組と課題

(3) Activity and challenge of thermal hydraulics on development of hydride moderated heat-pipe cooled microreactor, MoveluX™

*木村 礼¹, 岩城 智香子¹¹ 東芝エネルギーシステムズ株式会社

1. MoveluX について

現在、東芝エネルギーシステムズでは図1および図2に示す水素化物減速ヒートパイプ冷却超小型炉 MoveluX™ (Mobile-Very-small reactor for Local Utility in X-mark)の開発を行っている。MoveluX™はコンテナで輸送可能なサイズの10MWt程度の原子力システムであり、その用途に応じて発電・熱供給・高温水蒸気電解による水素製造など様々な形態のエネルギーを供給する。

本原子炉システムは地上部分と地下部分に分かれており、地上部分には発電や熱利用、水素製造などエネルギー変換・利用の設備が格納される。一方で、地下部分には原子炉システムが納められ、原子炉容器の中には炉心・ヒートパイプ・熱交換器などが設置される。

本原子炉の炉心には燃料の低濃縮化・燃料インベントリの低減、受動的安全性の向上などの目的で水素化カルシウム(CaH₂)が減速材として採用されており、加えてヒートパイプを採用する事で一次冷却系から動的な機構を排除している。炉心からヒートパイプに移行した熱はヒートパイプと一体化した熱交換器に輸送され、二次冷却系と熱交換を行う。

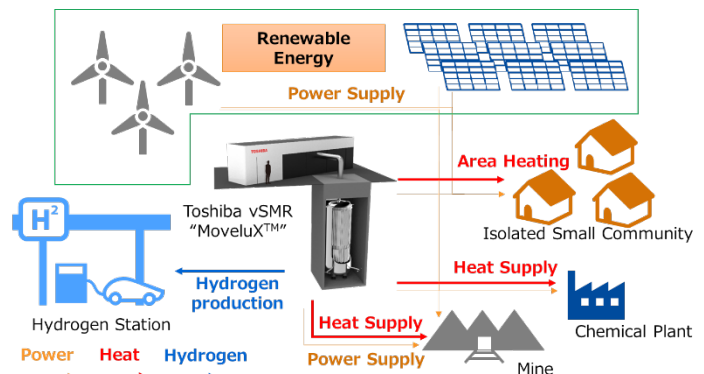


図1：MoveluX™の活用のイメージ
発電設備・熱利用設備など



図2：MoveluX™の概念図

2. 主要な技術課題

本原子炉システムの開発に係る主要な技術課題としては①炉心核熱設計と臨界試験による検証、②減速材開発、③反応度制御機器開発、④ヒートパイプ/熱交換器開発が挙げられる。これらの開発は核データ測定や積分実験データの取得、材料物性データ、熱流動特性の取得など基礎的な検討要素が多く含まれており、大学や研究機関との連携が重要となる。

3. 熱流動分野の取組

本原子炉システムにおける熱流動分野の取り組みとしてはナトリウムヒートパイプ/熱交換器の開発が挙

げられる．ヒートパイプは一般的なウィック式のものではなく図3に示すサーモサイフォン式とし，気相の流路を外管と内管の間とすることで気液の流路を分離して熱輸送能力の向上を図った．

また，本原子炉システムでは熱交換器を原子炉容器に収める為，単位体積あたり熱交換量の大幅な向上が求められる．そこで図4の様な微細流路を用いたコンパクト熱交換器を適用する事とした．

4. 熱流動分野の主な課題

熱流動分野の主な課題としては，上記ヒートパイプ/熱交換器内のナトリウム二相流の伝熱流動特性，特に凝縮熱伝達率のモデル化が設計上の重要な課題である．熱交換器内の各チャンネルは狭隘な流路となっており，そのような流路内におけるナトリウムの凝縮挙動や熱伝達率のデータが殆ど無く，現状では設計検討を行う事が出来ない．

そこで，ナトリウムの狭隘流路内の凝縮熱伝達モデルを構築することを目的に，流路内の液膜挙動を解明するための実験を計画した．これまでに事前検討として，中性子イメージングによるフィルムの薄膜を用いた膜厚測定試験を行い，中性子ビームと膜の角度による中性子透過率を評価した．

結果，膜厚・角度に対する中性子透過率の依存性が確認され，原理的には薄膜の厚さ測定が可能である見通しが得られた．一方でモデル化に使用可能なデータ取得には更なる誤差低減が必要である事も示唆されており，今後撮像系の改良や角度設定の不完全性の排除などの改良を進めていく．

5. 結言

MoveXuTMの開発の一環としてヒートパイプ/熱交換器について課題を抽出し，ナトリウムの凝縮熱伝達率など基礎的なデータの取得が必要であることを明らかにした．また，本データの測定手法を検討し，測定可能性を見通すとともに実用に向けた課題を検討した．今後，測定系の改良を進めるとともにナトリウムの測定を行うためのTOF(Time of Flight, 中性子の飛行時間から中性子エネルギー毎の情報を得る手法)測定の検討なども進めていく．

謝辞

本発表のうち，中性子イメージングに関して大変大きなご助力を頂いた京都大学複合原子力科学研究所の斎藤泰司教授，伊藤啓准教授，伊藤大介助教に深く御礼申し上げます．また，本発表は「社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業」の成果の一部を含みます．

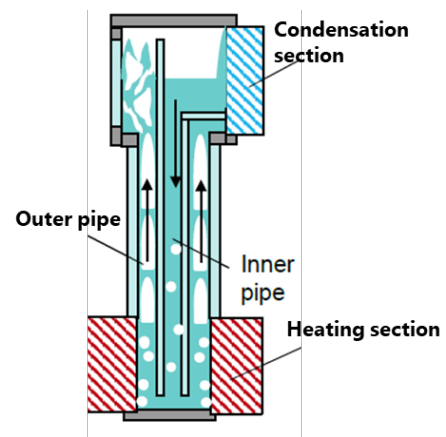


図3：サーモサイフォン式ヒートパイプ

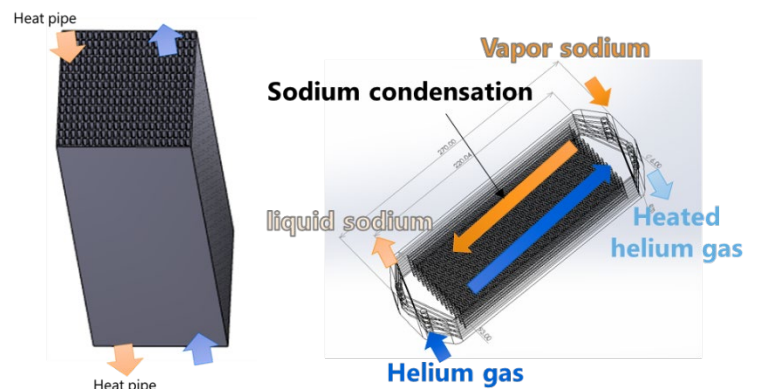


図4：コンパクト熱交換器のイメージ

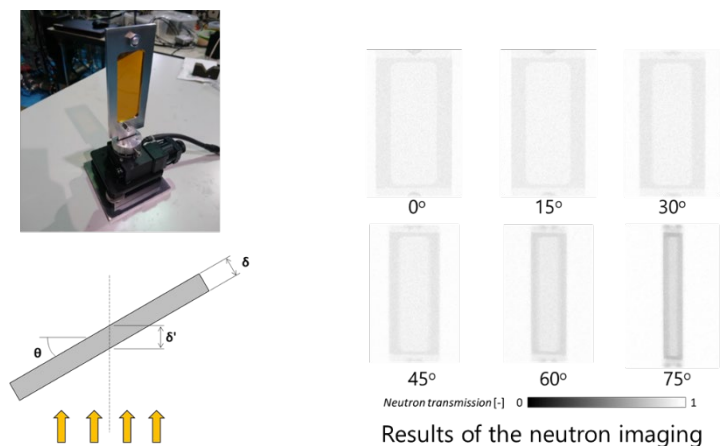


図5：中性子イメージングによる液膜厚さ測定

*Rei Kimura¹ and Chikako Iwaki¹

¹Toshia Energy Systems & Solutions Corporation.