

溶融塩炉の安全評価 ー米国の見地からー

概要 / 目的:

原子炉安全性評価の目的は、プラントの運転が公衆の生命や健康に対して多大なリスクを及ぼさないことを実証することです。当初は、原子炉の安全性評価は、想定する最大規模の事故の際に放射性物質の閉じ込め機能を維持できるかに焦点が置かれてきました。しかし1960年代に大型軽水炉(LWR)の開発が進むと、大規模な事故の可能性が高まり、全ての条件下における放射性物質の閉じ込めを確認することから、更に評価対象を拡張して、事故の発生防止及び影響緩和を通じた安全性の確認が求められるようになりました。米国溶融塩炉(MSR)では、十分な安全性の実証には決定論的又は確率論的評価手法が用いられています。決定論的評価では、LWRで受け入れられている最低限の安全基準がMSRに対して適用できることに依拠していますが、一方、確率論的評価では、何がどの頻度で発生するか、影響はどのようなものかを見極めるためにMSRの事故のリスクを十分にモデル化することが重要となります。MSRは、概念的に高い受動的安全性が備わっています。MSRは、低圧運転、格納容器内部の蓄積エネルギーが少ない、負の反応度フィードバック及び効果的な受動的崩壊熱除去機能の組合せにより、連鎖的に拡大する事象の発生の可能性は非常に低いという特徴をもっています。この高い復元力(resiliency)に基づき、事故時の格納容器の安全性を実証する新しい方法が現在検討されており、十分な確率論的情報がなくても安全性を評価できるようになってきています。このアプローチは、高度なりスク評価モデルを適用するために必要となる評価データがまだ十分に取得されていない、開発初期の原型炉にとっては特に有用なアプローチです。今回のウェビナーでは、MSRの安全性実証に関するこれら3つの手法の開発状況及び特長を紹介します。

講演者紹介:

デビッドホルコム博士は、オークリッジ国立研究所(ORNL)の著名な技術スタッフでありかつ著名な発明者です。現在は、米国を代表してGIFの溶融塩炉の暫定システム運営委員会の副議長を務めている他、米国原子力学会の液体燃料溶融塩炉の設計安全基準(ANS20.2)を検討するワーキンググループの議長を担当し、さらに大学を対象としたDOEの溶融塩炉プロジェクトに対し技術的監督業務も行っています。

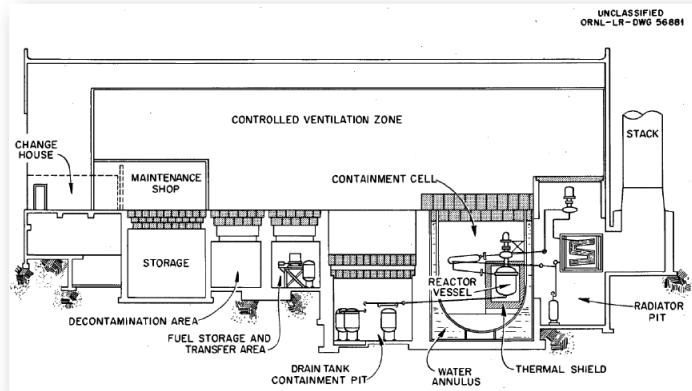


1. 機能的格納設備に対する放射性物質の保持能力の性能評価 米国の溶融塩実験炉MSREで採用された格納システムの例を紹介

Functional Containment Provides Performance-Based Evaluation of Radionuclide Retention



- Multiple barriers - some of which are not normally stressed
 - Barrier performance requirements depend on their safety function
- Segmented containment
 - Limits accident scope
- Independent barriers
 - Failure of single barrier does not substantially stress other barriers
 - Minimizes potential for cascading or escalating failures



12

2. MSRの他の炉型とは異なる安全解析上の課題

放射性物質がシステム内に分散していること、運転経験が少ないことに対応させて、安全上の特徴を整理した。

MSRs Present Different Safety Analysis Challenges Than Other Reactor Classes



- Radionuclides distributed across plant
 - Solid fuel concentrates radionuclides in core and used fuel pool
 - Gaseous fission products inherently separate from fuel salt
 - Integrated fuel salt processing possible
 - Salt wetted components have limited lifetimes resulting in unconventional high-activity waste stream
- Less (and dated) operating experience
 - Only one prior reactor operating for significant period
 - MSRE ~7.34 MWth operated from 1965-69
 - No large-scale reactor or component demonstrations
 - No fast spectrum systems demonstrated
 - Minimal prior accident performance demonstrations

14

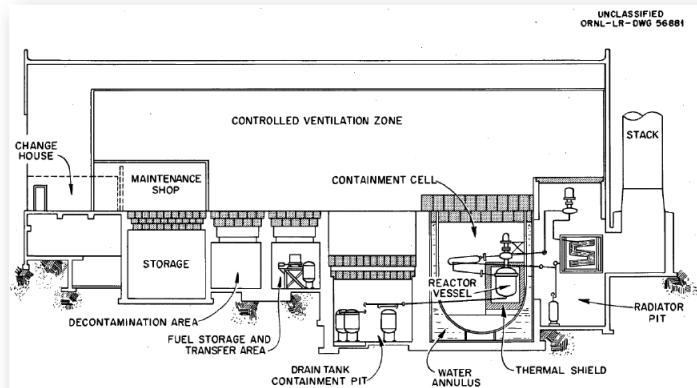
3. 最大想定事故（MCA）によるMSREの立地評価

米国のMSREの安全評価では、ハザード評価と合わせてMCAによる事故影響の格納性が評価された。

Functional Containment Provides Performance-Based Evaluation of Radionuclide Retention



- Multiple barriers - some of which are not normally stressed
 - Barrier performance requirements depend on their safety function
- Segmented containment
 - Limits accident scope
- Independent barriers
 - Failure of single barrier does not substantially stress other barriers
 - Minimizes potential for cascading or escalating failures



Multi-Layer, Segmented Containment at Molten Salt Reactor Experiment (MSRE)

12

4. MSRは、全ての想定事故を格納できるポテンシャルを有している MSRの安全確保に向けた留意点、課題点を整理した。

MSRs Retain the Potential of Containing All Credible Accidents At Any Scale



- Avoiding potentially cascading accidents (especially accident sequences that pressurize containment) key consideration
 - MSRE type suppression pool – capture tank system would be quite large for commercial-scale plants
- System immaturity necessitates additional conservatism (design requirements) to ensure containment survival
 - High degree of passive safety minimizes additional cost
 - Reliable quantitative performance data and models would decrease required conservatism
- Additional requirements intended to prevent single event from damaging all containment layers – e.g. core catcher or guard vessel employed to maintain decay heat removal capability following vessel rupture

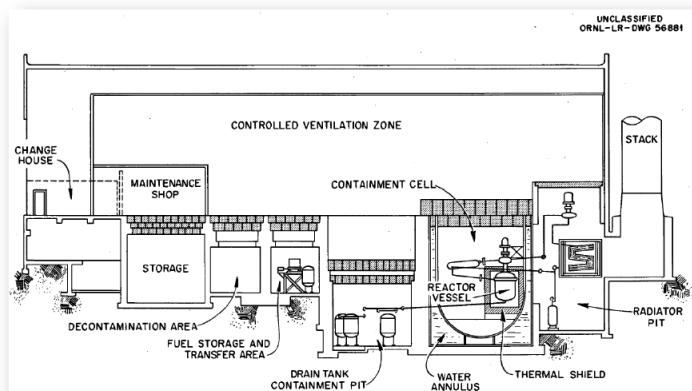
5. MSR挙動モデルの信頼性向上の為、溶融塩燃料の適性条件の確立が重要

通常状態及び事故時の挙動をモデル化するために、溶融塩燃料の化学的、物理的特性を十分に理解する必要がある。

Functional Containment Provides Performance-Based Evaluation of Radionuclide Retention



- Multiple barriers - some of which are not normally stressed
 - Barrier performance requirements depend on their safety function
- Segmented containment
 - Limits accident scope
- Independent barriers
 - Failure of single barrier does not substantially stress other barriers
 - Minimizes potential for cascading or escalating failures



Multi-Layer, Segmented Containment at Molten Salt Reactor Experiment (MSRE)

12

6. MSRの安全評価に関して多方面からの開発が進められつつある

MSRに対する安全評価の能力の現状といくつかの課題点を整理した。

MSRs Present Different Safety Analysis Challenges Than Other Reactor Classes



- Radionuclides distributed across plant
 - Solid fuel concentrates radionuclides in core and used fuel pool
 - Gaseous fission products inherently separate from fuel salt
 - Integrated fuel salt processing possible
 - Salt wetted components have limited lifetimes resulting in unconventional high-activity waste stream
- Less (and dated) operating experience
 - Only one prior reactor operating for significant period
 - MSRE ~7.34 MWth operated from 1965-69
 - No large-scale reactor or component demonstrations
 - No fast spectrum systems demonstrated
 - Minimal prior accident performance demonstrations

14