

受動的崩壊熱除去システム

概要 / 目的:

第4世代原子炉システムの主要な設計目標は、異常時の炉心損傷の可能性や損傷程度を低減または排除することであり、それによって敷地外における緊急時対策の必要性を排除することです。この目標達成のための1つのアプローチとして、固有安全性をもつプラント設計が挙げられます。このような設計により操作員の介入なしで、崩壊熱を環境に受動的に放出できます。これまでも、炉心損傷温度のしきい値以下に燃料温度を維持しながら自然対流の効果により崩壊熱を受動的に除去するよう設計された原子炉キャビティ冷却系(RCCS)を、第4世代ナトリウム冷却炉及びガス冷却炉に設置する設計がなされてきました。本ウェビナーではまず、先進的な原子炉設計のために開発されてきたRCCSについての説明を行います。続いてアルゴンヌ国立研究所で現在進行中の、空気冷却型、および水冷却型のRCCS概念に高品質のデータを提供するための大型統合試験の概要を紹介します。

講演者紹介:

ミッチェル・ファーマー博士は現在、アルゴンヌ国立研究所の原子力科学工学部門の上級原子力技術者であり、軽水炉プログラムのマネージャーを務めており、原子炉の開発、設計、安全性に関連する様々な研究開発分野で30年以上の経験を持っています。キャリアの初期には、軽水炉(LWR)のシビアアクシデント解析と実験に重点を置いていたが、その後、福島第一原子力発電所の事故後に提起された技術的な問題に対処するために、この分野の研究に取り組んでいます。



最近では、ナトリウム高速炉や高温ガス炉を含む第四世代原子炉の概念の運転と安全性に関する解析、設計、実験の実施にも力を注いでおり、200以上の論文を発表しています。ファーマー博士はまた、米国エネルギー省(DOE)の軽水炉持続可能性(LWRS)プログラム内の原子炉安全技術パスウェイ(RST)の技術エリアーリーダーを務めました。

1988年にイリノイ大学で原子力工学の博士号を取得。

動機: 福島第一原発の事故は、崩壊熱を能動的に冷却するシステムが機能しなかったためにトラブルが発生しました。受動冷却システムの研究は、先進的な原子炉システムにとって重要なテーマです。

Passive Safety Needs for GenIV

- GenIV initiative defines 8 technological goals, of which 3 are safety related:
 - “S&R 1 – System operations will excel in safety and reliability”
 - “S&R 2 – Very low likelihood and degree of reactor core damage”
 - “S&R 3 – Eliminate the need for offsite emergency response”
- The reactor cavity cooling system (RCCS) has emerged as a leading concept for meeting these goals
 - Possibility to provide inherently safe and fully passive means of decay heat removal
 - Offers a high level of performance with relative simplicity in design
 - Has been under consideration since 1950's
- Though the RCCS is our focus, our ultimate objective is to support the continued development of safe and reliable nuclear power
 - Multi-institutional effort has brought together federal, industry, national laboratories, and universities

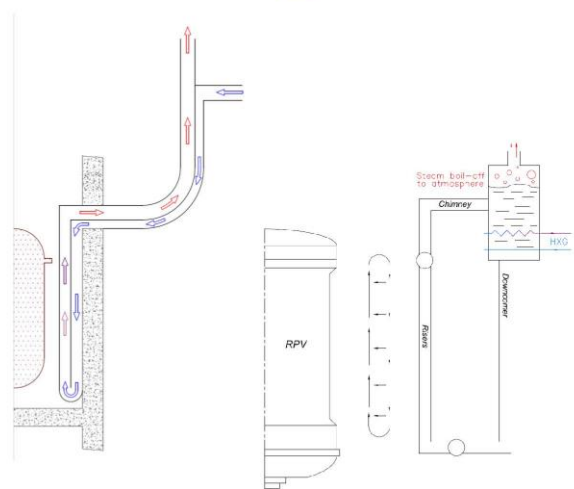
4

着目点: 崩壊熱を受動的に除去するシステムとして、原子炉キャビティー冷却システム(RCCS)に焦点を当てている。空気と水の自然循環を利用したシンプルなシステムですが、適用にあたっては様々なスケールでの実用性を確認する必要があります。

RCCS Overview

- Unique to recent generation of HTGR
 - Natural circulation in laminar and turbulent flow
 - Radiative (primary) and convective heat transfer
- Air and water under consideration
- Considered for both active cooling duration normal operation, and with other designs operating solely as a passive safety system during an accident transient
- Several designs, each unique in geometry, but sharing a common concept, are under design

Reactor	RCCS Coolant	Cooling Mode	Country	Power
HTR-10	Water	Natural	China	10 MW _t
VGM	Water	Natural	Russia	20 MW _t
HTTR	Water	Forced	Japan	30 MW _t
PBMR	Water	Natural	South Africa	400 MW _t
SC-HTGR	Water	Natural	USA	625 MW _t
HTR-PM	Water / Air	Natural	China	250 MW _t
GA-MHTGR	Air	Natural	USA	450 MW _t
GT-MHR	Air	Natural	Russia	600 MW _t

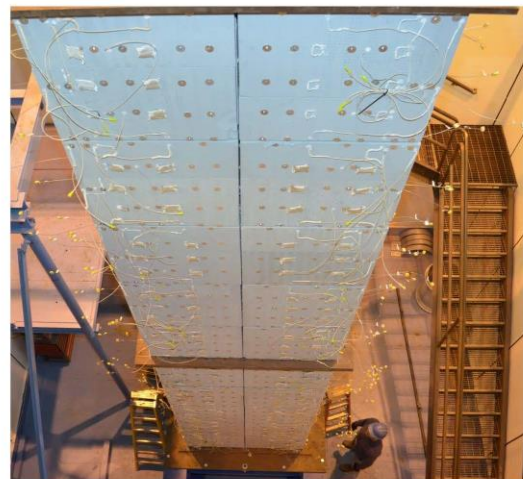


6

自然対流熱除去実験施設:このような実験は、1980年代からANLで行われてきましたが、先進的な原子炉システムにも適用できるように設計を変更しています。

NSTF at Argonne (present)

- The Natural Convection Shutdown Heat Removal Test Facility (NSTF) was initiated in FY2010 in support of DOE programs NGNP, SMR, and now ART
 - Program operates according to Nuclear Quality Assurance (NQA)-1 standards
- The top-level objectives of the NSTF program are:
 1. examine passive safety for future nuclear reactors
 2. provide a user facility to explore alternative concepts
 3. generate benchmark data for code V&V
- Concurrent collaborations for a broader scope
 - Experimental facilities at multiple scales (½, ¼, etc.) for both air and water designs
 - Complimenting CFD modeling and 1D systems level analysis
 - Collaborating towards the development of a central data bank for the RCCS concept



10

品質:実験は、コード検証のための高品質なデータを提供し、ライセンスプロセスをサポートすることに貢献しています。

Quality Assurance

- Experimental data generated by the NSTF program is suitable for licensing initiatives by US vendors
 - The program meets requirements of ASME NQA-1 2008 w/ 2009 addendum
 - Regular audits maintain compliance to NQA-1
 - Small team of dedicated individuals with strong management support

Date	Audit Type		
Spring 2014	<input type="checkbox"/> MA	<input type="checkbox"/> Internal	<input checked="" type="checkbox"/> External
Winter 2014	<input checked="" type="checkbox"/> MA	<input type="checkbox"/> Internal	<input type="checkbox"/> External
Summer 2015	<input type="checkbox"/> MA	<input checked="" type="checkbox"/> Internal	<input type="checkbox"/> External
Fall 2015	<input type="checkbox"/> MA	<input type="checkbox"/> Internal	<input checked="" type="checkbox"/> External
Winter 2016	<input checked="" type="checkbox"/> MA	<input type="checkbox"/> Internal	<input type="checkbox"/> External
Summer 2016	<input type="checkbox"/> MA	<input checked="" type="checkbox"/> Internal	<input type="checkbox"/> External
Fall 2016	<input checked="" type="checkbox"/> MA	<input type="checkbox"/> Internal	<input type="checkbox"/> External
Fall 2017	<input type="checkbox"/> MA	<input checked="" type="checkbox"/> Internal	<input type="checkbox"/> External
Spring 2018	<input type="checkbox"/> MA	<input type="checkbox"/> Internal	<input checked="" type="checkbox"/> External
Summer 2018	<input checked="" type="checkbox"/> MA	<input type="checkbox"/> Internal	<input type="checkbox"/> External
Winter 2019	<input type="checkbox"/> MA	<input checked="" type="checkbox"/> Internal	<input type="checkbox"/> External

Argonne National Laboratory
9700 S. Cass Avenue
Argonne, IL 60439

Nuclear Engineering Division

NSTF Test Procedure for
Data Collection (NQA-1, Type A)

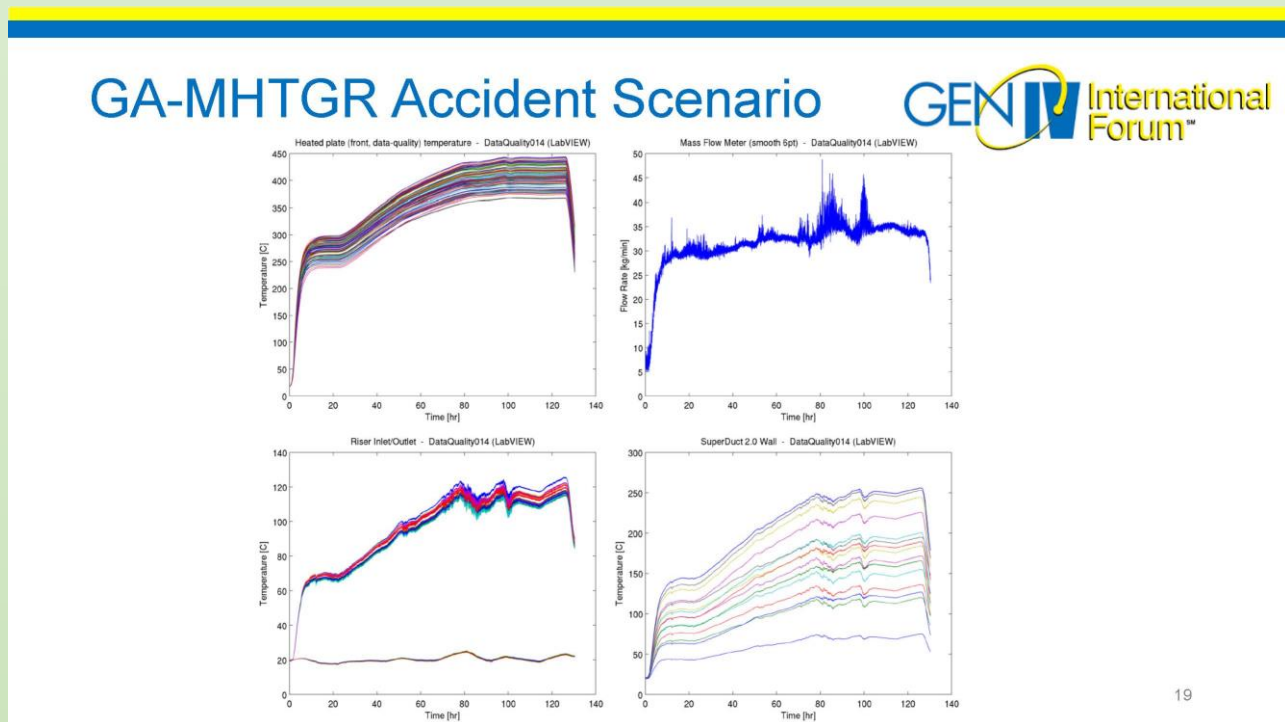
ANL-NSTF-000000-TEST-010-R1
June 9th 2016

Prepared by: *[Signature]* Date: 07/2/2016
Reviewed by: *[Signature]* Date: 3/13/2016
Reviewed by: *[Signature]* Date: 6/21/16
Approved by: *[Signature]* Date: 2/2/2016

Notice: Printed and electronic copies of this document are not controlled. The current approved version of this document is maintained by the Configuration Manager.

11

実験結果: MHTGRの事故シナリオを想定した実験結果の一例を示します。その他にも、発表資料ではガスを作動流体とした様々な条件での性能試験を実施し、その結果の例が示されています。



空気から水への転換: 空冷試験の終了に伴い、プログラムは既存の試験施設 Framatome 625MWt SC-HTGRの概念設計に基づく水冷NSTFの水冷運転に移行しました。

Water Accomplishments

- May 2018 – Completed installation of test facility
 - Primary components: test section, water storage tank, and network piping
 - All sensors, hardware, control valves, etc.
- July 2018 – Shakedown and instrument verification
 - Signed verification sheets
- November 2018 – Single-phase demonstration test
 - Install and verify network piping sensors
 - Initial fill of test loop and system leak-test
- January 2019 – First accepted matrix test at single-phase conditions
 - Baseline ‘normal operation’; steady-state with 30°C inlet temperature
- August 2019 – Completion of single-phase parametric series