

Oral presentation | III. Fission Energy Engineering : 302-1 Advanced Reactor System

📅 Thu. Mar 13, 2025 9:35 AM - 10:45 AM JST | Thu. Mar 13, 2025 12:35 AM - 1:45 AM UTC 🏠 Room D (Zoom room 4)

[2D01-04] High-temperature Gas-cooled Reactors

Chair: Kazuya Takano (JAEA)

9:35 AM - 9:50 AM JST | 12:35 AM - 12:50 AM UTC

[2D01]

Development of High Temperature Gas-cooled Demonstration Reactor

(1) Current Overview

*Hiroyuki Onishi¹, Kazumasa Suyama¹, Kunishi Kurano¹, Masayuki Kauchi¹, Akira Watanabe¹, Satoshi Yonemoto¹, Teruo Hara¹ (1. MHI)

9:50 AM - 10:05 AM JST | 12:50 AM - 1:05 AM UTC

[2D02]

Development of High Temperature Gas-cooled Demonstration Reactor

(2) Study of Core Design

*Atsuko Kubo¹, Yusuke Sato¹, Kazuya Yamaji¹, Koji Asano¹, Doanchuku Guen¹, Ryosuke Baigetsu¹, Yugen Shiratsuchi¹, Masayuki Kauchi¹ (1. MHI)

10:05 AM - 10:20 AM JST | 1:05 AM - 1:20 AM UTC

[2D03]

Development of High Temperature Gas-cooled Demonstration Reactor

(3) Study of Safety Design

*Takanori Yumura¹, Wataru Sakuma¹, Masaaki Katayama¹, Masayuki Kauchi¹ (1. MHI)

10:20 AM - 10:35 AM JST | 1:20 AM - 1:35 AM UTC

[2D04]

Proposal for Sleeveless Fuel Structure for High Temperature Gas-cooled Reactors

*Yuma Ohtake¹, Minoru Goto¹ (1. Univ. of Fukui)

10:35 AM - 10:45 AM JST | 1:35 AM - 1:45 AM UTC

Time reserved for Chair

高温ガス炉実証炉の開発

(1) 開発概況

Development of High Temperature Gas-cooled Demonstration Reactor

(1) Current Overview

*大西 宏行¹, 須山 和昌¹, 蔵野 国司¹, 加内 雅之¹, 渡辺 亮¹, 米元 聡志¹, 原 輝夫¹
¹三菱重工業株式会社

三菱重工業は2023年度に、高温ガス炉実証炉開発の中核企業に選定された。国の革新炉WGで示された技術ロードマップにおいて、2030年代後半の実証炉運転開始が示されており、本発表ではその実現に向けた設計コンセプトやプラント概念の検討状況を報告する。

キーワード：高温ガス炉，実証炉，HTGR

1. 緒言

我が国が目指すカーボンニュートラル社会の実現にあたっては、産業分野での脱炭素化が不可欠であり、当社はその実現に資するべく水素製造を目的とした高温ガス炉実証炉の開発を進めている[1]。本発表では、高温ガス炉実証炉における設計コンセプトやプラント概念の検討の現状について報告する。

2. 設計コンセプト

高温ガス炉は、2030年代後半という早期の実証炉実現[2]や、将来的にコスト競争力のある水素の製造可能性を有する[3]ことが期待されている。また、実証炉以降の規制・基準の制定は今後なされると想定した。

これらの状況を踏まえ、高温ガス炉実証炉の設計コンセプトとして、以下を設定した。

安全性：事故時でも炉心溶融しない固有の安全性を活用

高温熱利用：高温熱源（約900℃）による高効率な水素製造

経済性：出力向上とシンプルな設備構成による経済性の向上

早期実現：HTTRを軸とした既存技術と知見の最大限の活用

なお、建設費低減及び水素（核熱）ユーザーの利便性を考慮し、プラントに適切な設備を施すことにより水素製造設備を一般産業法規扱いすることを目指している。

3. プラント概念の検討状況

設計コンセプトを踏まえ、主要な炉心、系統、安全、機器等のプラント概念の検討を実施した。HTTRの仕様をベースに原子炉の構造健全性、製作性を加味して炉出力を暫定し、中間熱交換器の製作性検討結果を踏まえて適切なループ構成とした。これまでの検討のうち、炉心設計と安全設計については次報以降((2)、(3))で述べる。

4. 結論

高温ガス炉実証炉開発における設計コンセプトやプラント概念の検討状況を報告した。今後、各設計のさらなる具体化を進めるとともに、並行して要素技術開発を進める予定である。

謝辞 本報告は経済産業省高温ガス炉実証炉開発事業JPMT007141の成果の一部を含む。

参考文献

[1] 原、“高温ガス炉開発における中核企業の取り組み”、日本原子力学会2024年春の年会、2M_PL04、2024

[2] 資源エネルギー庁、“革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）”、第6回革新炉WG資料4、2022

[3] “第7次エネルギー基本計画（案）”、総合資源エネルギー調査会基本政策分科会（第68回会合）資料1、2024

*Hiroyuki Onishi¹, Kazumasa Suyama¹, Kunishi Kurano¹, Masayuki Kauchi¹, Satoshi Yonemoto¹, Akira Watanabe¹ and Teruo Hara¹

¹Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

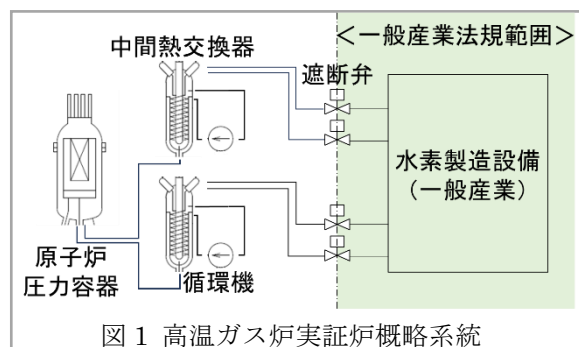


図1 高温ガス炉実証炉概略系統

高温ガス炉実証炉の開発

(2) 炉心設計の検討

Development of High Temperature Gas-cooled Demonstration Reactor

(2) Study of Core Design

*久保 温子¹, 佐藤 雄介¹, 山路 和也¹, 浅野 耕司¹,
グエン ドアンチュク¹, 梅月 亮輔¹, 白土 雄元¹, 加内 雅之¹

¹三菱重工業

三菱重工業では、固有の安全性を有し、かつ高温の熱が取り出せる特徴を持つ高温ガス炉実証炉を開発中である。この熱利用を主目的とした高温ガス炉の炉心成立性を検討した結果を報告する。

キーワード：高温ガス炉、実証炉、核特性、熱特性

1. はじめに

高温ガス炉実証炉に関し、主要パラメータとして炉心熱出力を200MWt、炉心入口/出口温度を350°C/900°Cと設定し、燃料最高温度、反応度停止余裕等の核・熱特性の観点から、炉心形状、制御棒配置、燃料濃縮度等を検討した。

2. 解析方法

核・熱特性の解析は、SRAC-PIJ/COREBN コードで算出した出力・照射量分布を用い、FNCC コード^[1]でHe ガスの流量配分、FTCC コード^[2]で燃料温度を評価し、燃料温度と出力分布の計算結果が収斂するまで反復計算を行った(図1参照)。COREBNのブロック内均質化誤差の低減のため、非均質幾何形状を直接モデル化した連続エネルギーモンテカルロコードMVPと整合するように、COREBNの出力ピーキング係数と制御棒定数に補正係数を導入した。

3. 炉心仕様

体系・条件を図2に示す。早期実現性の観点からHTTR燃料を用い、同燃料ブロックを径方向に91体、軸方向に8段配置した。運転期間については、HTTRと同じく1バッチの燃料運用、最大燃焼度が40GWd/t以下となるように18ヵ月とした。

4. 評価結果とまとめ

解析結果を表1に示す。反応度停止余裕は3.3% Δk/k、通常運転時の燃料最高温度は目安とした1500°C程度となる結果を得た。今後、燃料経済性の観点から、高燃焼度燃料を用いた2バッチ炉心の技術検討を進める。

謝辞 本報告は経済産業省高温ガス炉実証炉開発事業JPMT007141の成果の一部を含む。また、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構のプログラム著作物「COREBN Converter」、「FNCC」及び「FTCC」を使用した。

^[1] T. Aoki, et. al., Development of a flow network calculation code (FNCC) for high temperature gas-cooled reactors (HTGRs), ICONE2020

^[2] Y. Inaba, et. al., Development of Fuel Temperature Calculation Code "FTCC" for High Temperature Gas-cooled Reactors, JAEA-DATA/Code2017-002

* Atsuko Kubo¹, Yusuke Sato¹, Kazuya Yamaji¹, Koji Asano¹, Doanchuku Guen¹, Ryosuke Baigetsu¹, Yugen Shiratsuchi¹ and Masayuki Kauchi¹, ¹Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

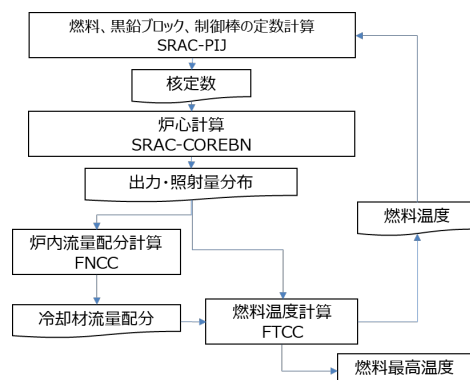


図1 解析フロー

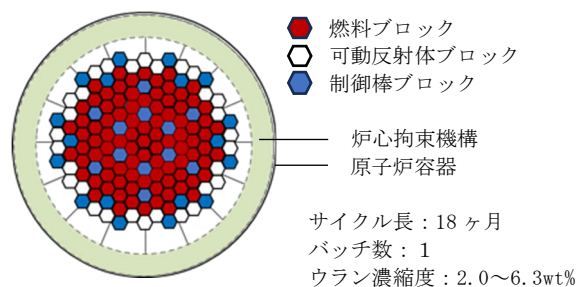


図2 炉心の体系・仕様

表1 核・熱特性の解析結果

炉心平均出力密度[W/cc]	3.5
径方向出力ピーキング係数	1.17
炉心有効流量[%]	87
停止余裕[%dk/k]	3.3
通常運転時 燃料最高温度[°C]	1498
最大燃焼度[GWd/t]	37

高温ガス炉実証炉の開発 (3)安全設計の検討

Development of High Temperature Gas-cooled Demonstration Reactor

(3) Study of Safety Design

*湯村 尚典¹、佐久間 渉¹、片山 正晶¹、加内 雅之¹

¹三菱重工業

三菱重工業が開発を進める高温ガス実証炉は、固有の安全性を有し、かつ高温の熱が取り出せる特徴を有する。今回は高温ガス実証炉の基本設計に基づく1次冷却設備二重管破断の安全解析を行い、受動的機構で動作する安全系設備を用いた崩壊熱除去の成立性を検討した結果を報告する。

キーワード：高温ガス炉、実証炉、安全解析、二重管破断

1. 緒言

三菱重工業が開発を進める高温ガス炉実証炉は、固有の安全性により著しい燃料の破損を防止することを設計目標とし、安全設計の妥当性を検討すべく、三菱重工業が整備を進めている M-RELAP5 等の解析コードにより安全解析を実施している。今回は固有の安全性に基づく安全設計と、代表的な設計基準事象である1次冷却設備二重管破断に対する成立性を確認した結果を報告する。

2. 固有の安全性に基づく安全設計

高温ガス炉実証炉は、被覆燃料粒子の頑健性、黒鉛構造物の大きい熱容量と高い熱伝導率及び低出力密度に基づく固有の安全性を特徴とし、原子炉压力容器周囲に受動的機構で動作する炉容器冷却設備を設置する。これにより1次冷却材による強制冷却が喪失した場合においても、炉心で発生した熱は原子炉压力容器壁面を介し、輻射による伝熱で継続的な冷却を行うことができる（図1参照）。

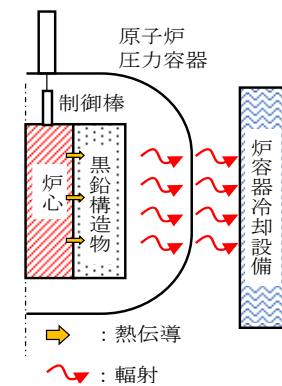


図1 1次冷却材喪失時の冷却方法

3. 1次冷却設備二重管破断の安全解析

代表的な設計基準事象である1次冷却設備二重管破断は、二重管内外の同時破断により1次冷却材が喪失し、原子炉が自動停止する事象である。原子炉停止後、原子炉压力容器壁の温度上昇に伴い炉容器冷却設備への輻射伝熱量が増加し、炉心で発生する崩壊熱は除去される。

200MW 定格出力運転状態を初期条件とした本事象の解析を M-RELAP5 コードにより実施した（図2参照）。事象初期は燃料温度が上昇するが、炉心出力の低下に伴い炉容器冷却設備の除熱量が炉心出力を上回り、燃料温度は低下に転じ、燃料最高温度は被覆燃料粒子の健全性が維持される設計指標である1600℃を下回ることを確認した。

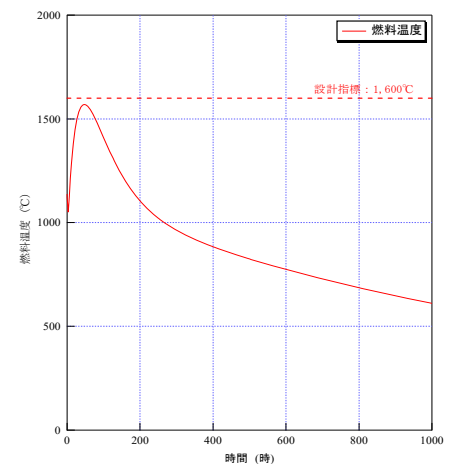


図2 1次冷却設備二重管破断の解析結果

4. 結言

1次冷却設備二重管破断を対象とした安全解析により、炉心で発生した崩壊熱を除去できることを確認し、受動的機構で動作する安全系設備の成立性を見通しを得た。今後は、他の設計基準事象及び設計拡張事象の安全解析を実施し、その結果を設備検討に反映することにより、固有の安全性に基づく高温ガス炉実証炉の安全設計確立に寄与する。

謝辞 本報告は経済産業省高温ガス炉実証炉開発事業 JPMT007141 の成果の一部を含む。

*Takanori YUMURA¹, Wataru SAKUMA¹, Masaaki KATAYAMA¹ and Masayuki KAUCHI¹

¹Mitsubishi Heavy Industries, LTD.

高温ガス炉のスリーブレス燃料構造の提案

Proposal for Sleeveless Fuel Structure for High Temperature Gas-cooled Reactors

*大竹 悠真¹, 後藤 実¹

¹福井大学

モンテカルロコード MVP-BURN を用いて、従来の高温ガス炉の燃料棒から黒鉛スリーブを排し黒鉛製スペーサーを追加した場合の核的影響を、ピンセル燃焼計算を実施して、無限増倍率や核分裂反応率の変化を確認することで明らかにした。

キーワード：高温ガス炉，スリーブレス燃料，無限増倍率，核分裂反応率

1. 結言

本研究は、高温ガス炉における燃料コンパクトの直接冷却が可能なスリーブレス燃料の具体的な構造を提案することを目的としている。その前段階として、スリーブレス化にあたって燃料棒中に新たに追加される黒鉛製のスペーサーが無限増倍率及び出力分布に与える影響を明らかにする。

2. 解析内容

HTTR^[1]の燃料棒から黒鉛スリーブを排した後、燃料棒の高さを変えずに厚さ 0.5cm の黒鉛製スペーサーを燃料コンパクト中に等間隔に追加していき、スペーサーの数に対する無限増倍率の変化を、ピンセル計算を行って調べた。また、燃料コンパクトの上面と底面に黒鉛製のスペーサーを配置して、燃料コンパクト軸方向の核分裂反応率の変化を調べた。無限増倍率及び核分裂反応率の計算は、汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード MVP-BURN^[2]を使用した。

3. 結果と考察

3.1 無限増倍率

燃料棒にスペーサー2個を追加した場合の無限増倍率は、HTTR の燃料棒の場合に比べて反応度換算で約 5% $\Delta k/k$ 低下するとともに燃焼度が 15%程度低下する。さらにスペーサーを4個及び8個と燃料棒に追加した場合は、無限増倍率はほとんど変わらなかった(図 1)。無限増倍率が低下する理由は、黒鉛製の燃料スリーブを排することで中性子が減速されにくくなるためと考えられる。

3.2 核分裂反応率

スペーサーを配置した燃料コンパクト上部と下部では、核分裂反応率が平均値より約 5%高くなる(図 2)。これは、スペーサーの追加により燃料コンパクトの上部と下部で中性子の減速が促進されるためと考えられる。

4. 結言

従来の高温ガス炉燃料をスリーブレス化することで、中性子が減速されにくくなり無限増倍率が 5% $\Delta k/k$ 程度小さくなるとともに、燃焼度が 15%程度低くなることが分かった。また、燃料コンパクト中へのスペーサーの追加によって、中性子の減速が促進されてスペーサー近傍の核分裂反応率、すなわち出力密度が5%程度高くなることが分かった。

参考文献

[1] S. Saito, T. Tanaka, Y. Sudo, et al. Design of High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR), JAERI 1332, 1994.

[2] Yasunobu Nagaya, et al., MVP/GMVP Version 3: General Purpose Monte Carlo Codes for Neutron and Photon Transport Calculations Based on Continuous Energy and Multigroup Methods (Translated Document), JAEA-Data/Code 2016-019 (2016).

*Yuma Ohtake¹ and Minoru Goto¹

¹Fukui Univ.

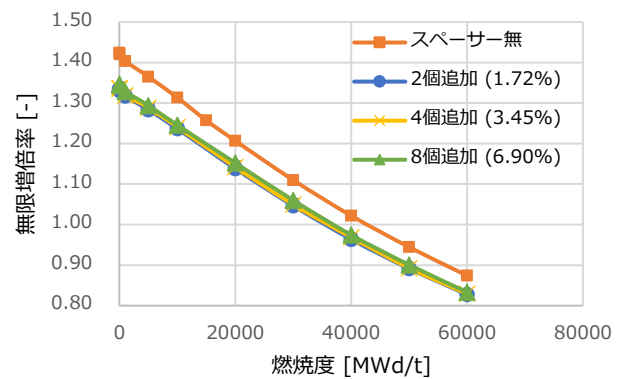


図 1. 無限増倍率の燃焼変化

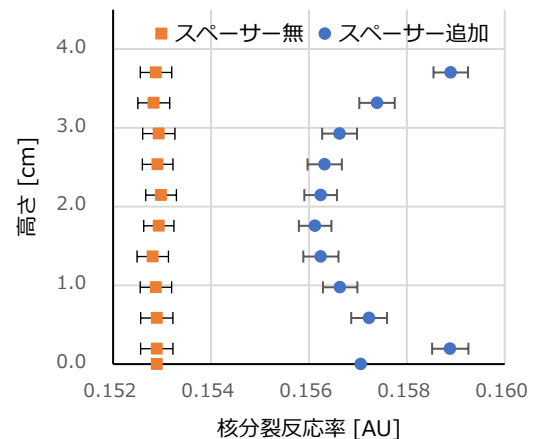


図 2. 燃料コンパクト中の核分裂反応率