2018年春の年会

新型炉部会セッション

第４世代原子炉の国内外の開発動向
Development progress of domestic and foreign Generation-IV reactors

(3)高温ガス炉の開発状況と計画

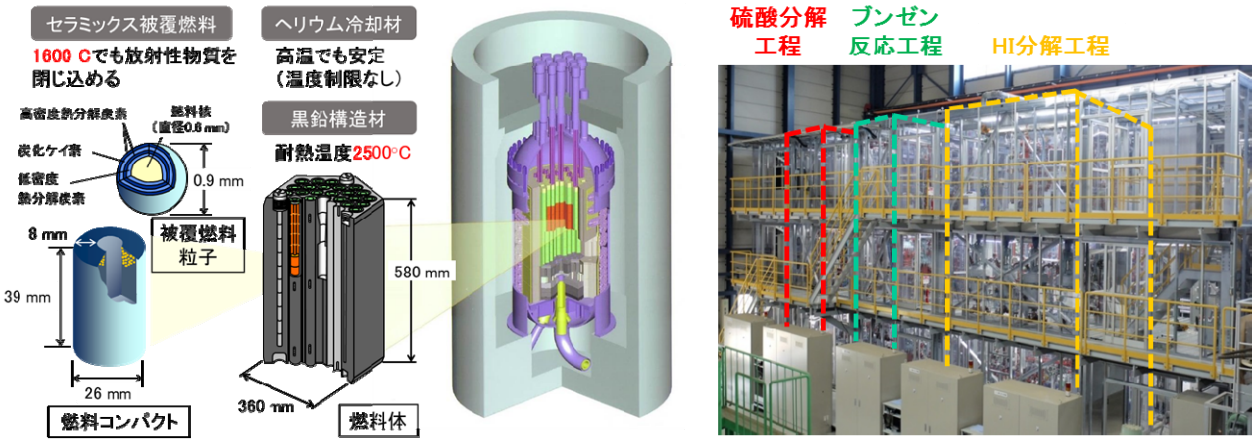
(3) Development status and plan of high temperature gas-cooled reactors

*ヤン ジングロン [1]

[1] 日本原子力研究開発機構

1. はじめに

高温ガス炉は優れた固有の安全性を有し、多様な産業利用が見込まれることからエネルギー基本計画や未来投資戦略 2017 において、高温ガス炉の研究開発を推進することが国の方針として示された。高温ガス炉はセラミックス被覆燃料、黒鉛構造材、ヘリウムガスを使用することにより 950℃の高温熱を取り出すことができるとともに、いかなる事故が発生しても原理的に炉心溶融を起こさない設計が可能な原子炉である。このような特長を有する高温ガス炉は、ヘリウムガスタービンによる高効率発電、水素製造さらにはガスタービン下流で約 200℃の熱を取り出して海水淡水化も可能であり、多様な産業利用が期待できる [1)]。



図．高温ガス炉の特徴（左）および連続水素製造試験設備の外観（右）[1)]

2. 研究開発の状況及び計画

2-1. 高温ガス炉技術開発

世界最先端の国産技術を用いて建設した高温工学試験研究炉（HTTR）は 2010 年に 950℃で 50 日間の連続運転により、安定的な高温核熱の供給を実証した。さらに、原子炉の冷却が停止し、スクラムによる停止に失敗する異常状態においても原子炉が自然に停止し、安定な状態を維持できることも実証した [1)]

また、これまで HTTR で蓄積した知見を活用し、実用高温ガス炉の国際安全基準の検討も進めてきた。日本原子力学会の研究専門員会においては、安全上の機能要求を規定する安全要件を検討し、この原案の国際標準化を目指し IAEA の協力研究計画（CRP）に参画している [2)]。

加えて、燃料開発については、実用化に向けた経済性向上や廃棄物量低減の観点から最高燃焼度 160GWd/t を目標とする高燃焼度化を進めている。原子力機構は、HTTR 燃料を製造した原子燃料工業（株）と共同で高燃焼度化燃料を設計・製造し、カザフスタン核物理研究所（INP）の WWR-K 照射炉にて照射試験を実施した。2015 年 2 月までに燃焼度 90GWd/t を超える照射に成功し、国産商用設備で製造された高品質な高温ガス炉燃料では世界で初めて、実用炉レベルの高燃焼度下での健全性を実証した。今後、詳細な照射後燃料の燃焼度分析を行う計画である。[3)]

2-2. IS 法による水素製造方法の研究開発

原子力機構で研究開発を進めている熱化学水素製造 IS 法は、高温ガス炉の熱利用温度域でプロセスが達成可能であり、且つ、従来の水素製造技術に比べて原料に炭素を含まない CO_2 フリー水素製造技術として期待されている。IS 法は、ヨウ化水素（HI）、硫酸を製造するブンゼン反応工程、HI を分解して水素を製造する HI 分解工程、硫酸を分解して酸素を製造する硫酸分解工程で構成されており、全体として水を分解して水素と酸素を製造することができる [1)]。

2015 年には工程ごとの機能確認試験にて、各反応器での処理速度調整（HI 分解による水素製造等）やガス化機能（HI ガス蒸留分離等）を確認し、2016 年 10 月には 3 つの工程を連結したプロセス全体の運転を行い、水素製造量 20 L/h での 31 時間連続運転に成功した。また、得られた運転データや運転後の設備点検結果から、より長期間運転の達成には、配管閉塞の防止やブンゼン反応工程溶液組成の安定制御が重要であるとの知見が得られた。

2-3. HTTR を用いた熱利用技術の実証

原子力機構では、高温ガス炉による熱利用技術の確証や世界で初めての原子炉施設への化学プラント接続に係る許認可取得を目指している [1)]。平成 27 年度から 2 年間においては、HTTR とヘリウムガスタービンや水素製造施設から構成される熱利用システムを接続した HTTR-GT/H2 プラントの系統設計や機器設計を行い、電気出力 1 MWe、水素製造量 30 Nm^3/h 規模のプラントの系統構成や機器仕様を設定した。

更に、熱利用システムでの異常発生時（発電機の負荷喪失、水素製造施設の除熱喪失）を想定した安全解析を行い、発電機の負荷喪失した場合でも原子炉冷却材を内包する構造物の温度上昇はほとんどなく、プラントの健全性が損なわれないこと、また水素製造施設の除熱喪失した場合でも警報作動に至らず原子炉の安定運転継続が可能であることを確認した。

3. 今後の計画

HTTR は現在、震災後に制定された新規制基準の適合性確認を受けており、2019 年度に目指している再稼働に向けて準備を進めている。HTTR 再稼働後の安全性実証試験として、経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）による国際共同プロジェクトのもと、原子炉運転出力 100%下における炉心冷却喪失（Loss of Forced Cooling, LOFC）試験が計画されている。更にその後の展望として、二酸化炭素を排出しない高効率の水素・電力コジェネレーションを実証する HTTR 熱利用試験の実施につなげたい。

また、HTTR と同型のブロック型高温ガス炉は、EU 産業界や米国 NGNP 産業アライアンスなど海外でも開発の検討が進められている。特にポーランドでは、産業界への熱供給を目的とした実用高温ガス炉（熱出力約 165MW、2031 年運転開始）及びポーランド国立原子力センター（NCBJ）への研究用高温ガス炉（熱出力約 10MW、2025 年運転開始）の導入が計画されている [4)]。原子力機構は、日・ポーランド外相会談で署名された「日・ポーランド戦略的パートナーシップの実施のための行動計画（2017－2020）」（平成 29 年 5 月 18 日）に基づき、NCBJ との間で「高温ガス炉技術に関する協力のための覚書」（平成 29 年 5 月 18 日）を締結し、高温ガス炉技術の研究開発協力を行うこととしている [5)]。平成 30 年度には、ポーランドへ国産高温ガス炉を導入する事を見据えた検討として、成立性評価（Feasibility Study）を実施する計画である。

参考文献

1) 日本原子力研究開発機構、原子力機構の研究開発成果 2017-2018、2017 年 10 月
2) 日本原子力研究開発機構、原子力機構の研究開発成果 2016-2017、2016 年 10 月
3) 日本原子力研究開発機構、原子力機構の研究開発成果 2015-2016、2015 年 10 月
4) Polish Ministry of Energy, http://www.me.gov.pl/node/28011, January 2018
5) JAEA プレス発表、https://www.jaea.go.jp/02/press2017/p17051901/、平成 29 年 5 月 19 日

*Xing L. Yan[1]
[1] Japan Atomic Energy Agency