



第13回原子力機構報告会

高温ガス炉システムの 開発・導入計画とJAEAの役割

平成30年11月13日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

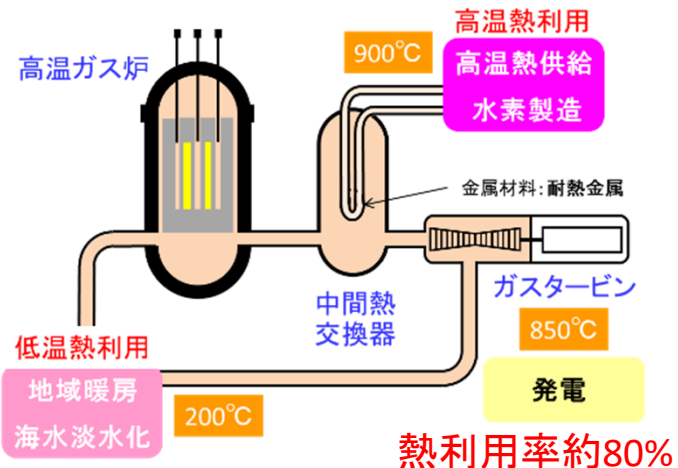
高速炉・新型炉研究開発部門

副部門長 國富 一彦

1. 高温ガス炉の特徴
2. 小型モジュラー炉（SMR）としての高温ガス炉システム
3. 高温ガス炉システムの開発・導入計画とJAEAの役割
4. まとめ

多様な熱利用

- 950°Cの高温熱を供給可能で、水素製造、発電、海水淡水化等の幅広い熱利用が可能



優れた安全性

- 軽水炉のリスク（炉心溶融、水素爆発、大量の放射性物質放出）が福島第一原子力発電所（1F）事故によって強く認識された。
- 高温ガス炉は、その高い固有の安全性により、**炉心溶融が起こらない**。

セラミックス被覆燃料

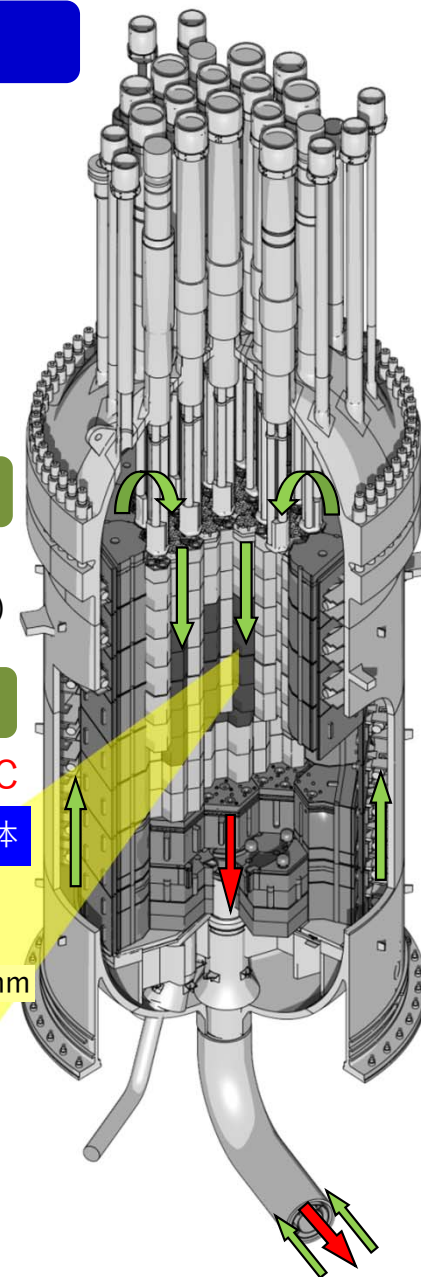
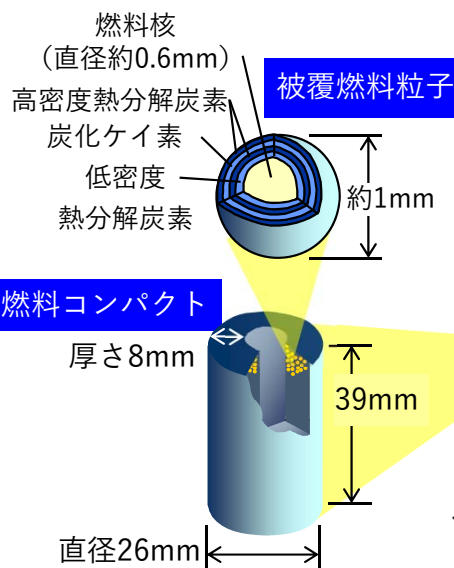
1600°Cでも放射性物質を閉じ込める

ヘリウム冷却材

高温でも安定（温度制限なし）

黒鉛構造材

耐熱温度2500°C



軽水炉との違い

項目	高温ガス炉	軽水炉
電気出力 (熱出力)	~30万kW (中小型) ~600MW	100万kW以上 (大型が主流) 3000MW以上
原子炉出口温度	850°C~950°C	約300°C
原子炉冷却材	ヘリウムガス	軽水
減速材	黒鉛	軽水
燃料型式	セラミック製 被覆燃料粒子	金属製被覆管 (ジルカロイ)
用途	熱利用（水素製造、高温蒸気、海水淡水化、地域暖房）、発電	発電



世界で唯一950°Cの熱を取り出せる高温ガス炉

原子炉出力	30MW
原子炉出口温度	950°C (最高)
1次冷却材	ヘリウム
1次冷却材圧力	4.0MPa
出力密度	2.5W/cc
燃料濃縮度	6% (平均)
初臨界、950°C達成	1998年、2004年
安全性実証試験 連続50日950°C運転	2010年

2014年から新規規制基準適合性確認中



設置場所：大洗研究所（茨城県大洗町）

確認項目	HTTRにおける評価結果	追加対策
多量の放射性物質等の放出する事故の拡大の防止 (BDDBA)	最も厳しい減圧事故+閉じ込め機能 (冷却機能を含む) 喪失事故において炉心溶融しないため、簡便な対策で対応可能 (大規模損壊時においても対策は同様)	事故時監視のための仮設発電機で対応
耐震評価	設計で対応済 (高温ガス炉の固有の安全性により、炉心燃料ブロックの耐震グレードはSからBに変更)	不要
津波対応	海拔36.5mに立地しているので津波は到達しない	不要
自然事象に対する考慮 (火山、竜巻、森林火災)	防護すべき安全機器は原子炉建家内に設置されるため特別な対策は不要	不要
内部溢水に対する考慮	原子炉冷却材に水を使用していないので大規模な溢水対策は不要	不要
電源の信頼性	電源がなくても原子炉の崩壊熱除去が可能	事故時監視のための仮設発電機で対応

HTTRはその高い固有の安全性により大規模な補強をせずに運転再開の見込み

1. 高温ガス炉の特徴
2. 小型モジュラー炉（SMR）としての高温ガス炉システム
3. 高温ガス炉システムの開発・導入計画とJAEAの役割
4. まとめ

SMR開発の意義

- 高い安全性
- 安価な建設コスト
- 発電以外の用途にも使え需要地近接が可能



脱炭素社会の実現

SMR開発の現状

- 英国、カナダ、米国、ポーランドなどでSMR計画が進展
- 一方、中国では、技術輸出戦略としてHTGR計画を推進
- 日本では経産省の主導により、SMRの検討に着手



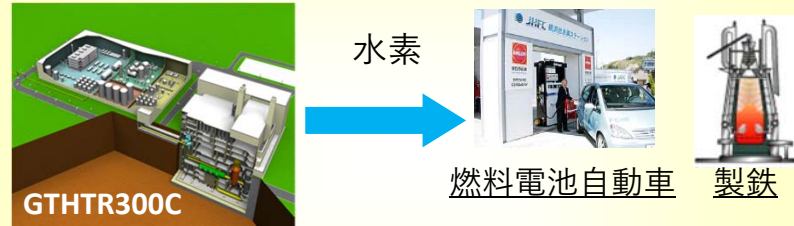
日本では高温ガス炉への高い期待

日本の高温ガス炉開発の強さ

- H T T R の設計・製造、建設、運転を通して蓄積した高度の技術力
- 炉心安全設計、耐震技術、運転管理技術、新規制基準対応審査の経験
- ガスタービン、水素製造技術などの最先端技術
- ポーランドなどとの国際協力を活かした技術実証

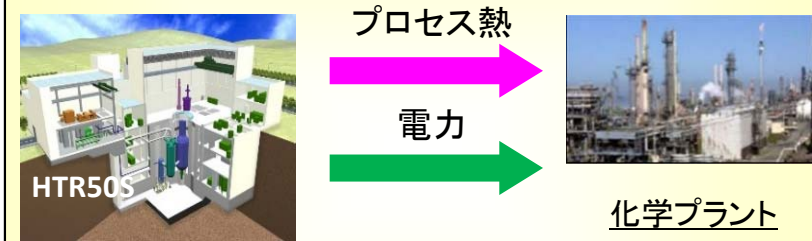
我が国が有する高度な高温ガス炉技術を利用して早期に実用化が可能

水素製造システム



- 熱化学法（ISプロセス）又はメタンの水蒸気改質法による水素製造

工業利用として高温の熱供給又熱電供給



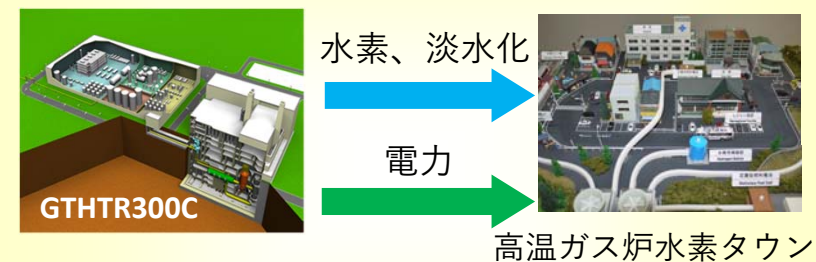
- 蒸気によるプロセス熱供給（化学プラント、石油精製プラント、等）
- 蒸気タービン発電による電力供給

再生可能エネルギーとのハイブリッドシステム



- 再生可能エネルギーの変動を発電量調整又は水素製造により吸収
- 再生可能エネルギーに変動に応じて、高発電効率を維持したまま発電量を調整

コジェネシステム（水素、発電、淡水化等）



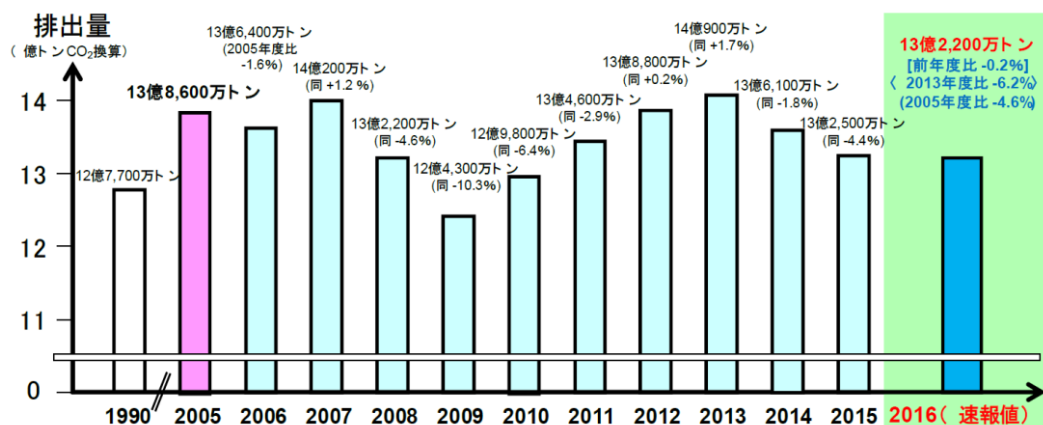
- 水素製造、発電、海水淡水化のコジェネレーションシステム
- 熱利用率が80%弱

高温で高効率（ガスタービン発電50%）、高熱利用率（最大80%弱）であるため経済性に優れ、高い安全性を有するために需要地近接立地が可能

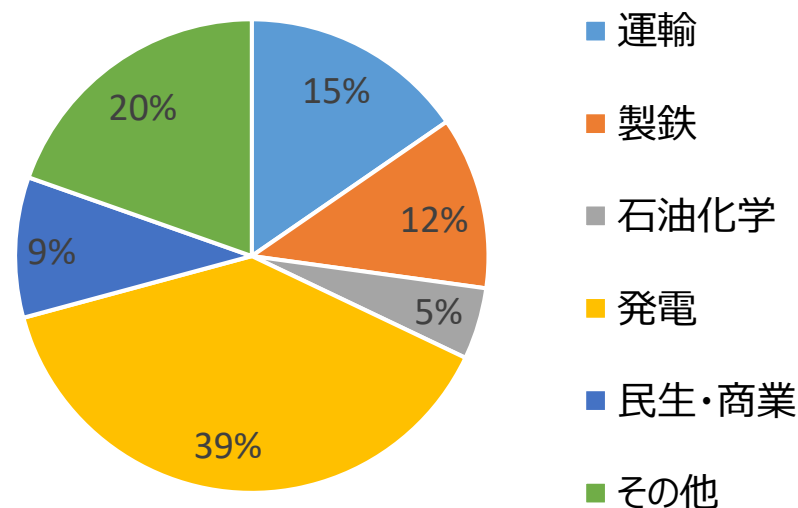
地球温暖化対策計画（平成28年5月13日閣議決定）

- 中期目標：2030年度に26%削減する（2013年度比）
- 長期目標：2050年までに80%の削減を目指す（2013年度比）

我が国の温室効果ガス排出量（2016年度速報値）



我が国の温室効果ガス排出量内訳(2016年)



2016年度の我が国の温室効果ガスの総排出量は、13億2,200万トン（2013年比6.2%削減、前年比は僅か0.2%）

目標達成には、

- 2030年までに、さらに20%の削減が必要
- 2050年までに、74%の削減が必要

発電、運輸、製鉄からの温室効果ガス排出量削減が重要

水素還元製鉄の導入（国内13か所で12%）→高温ガス炉水素製造

燃料電池自動車の導入→高温ガス炉水素製造

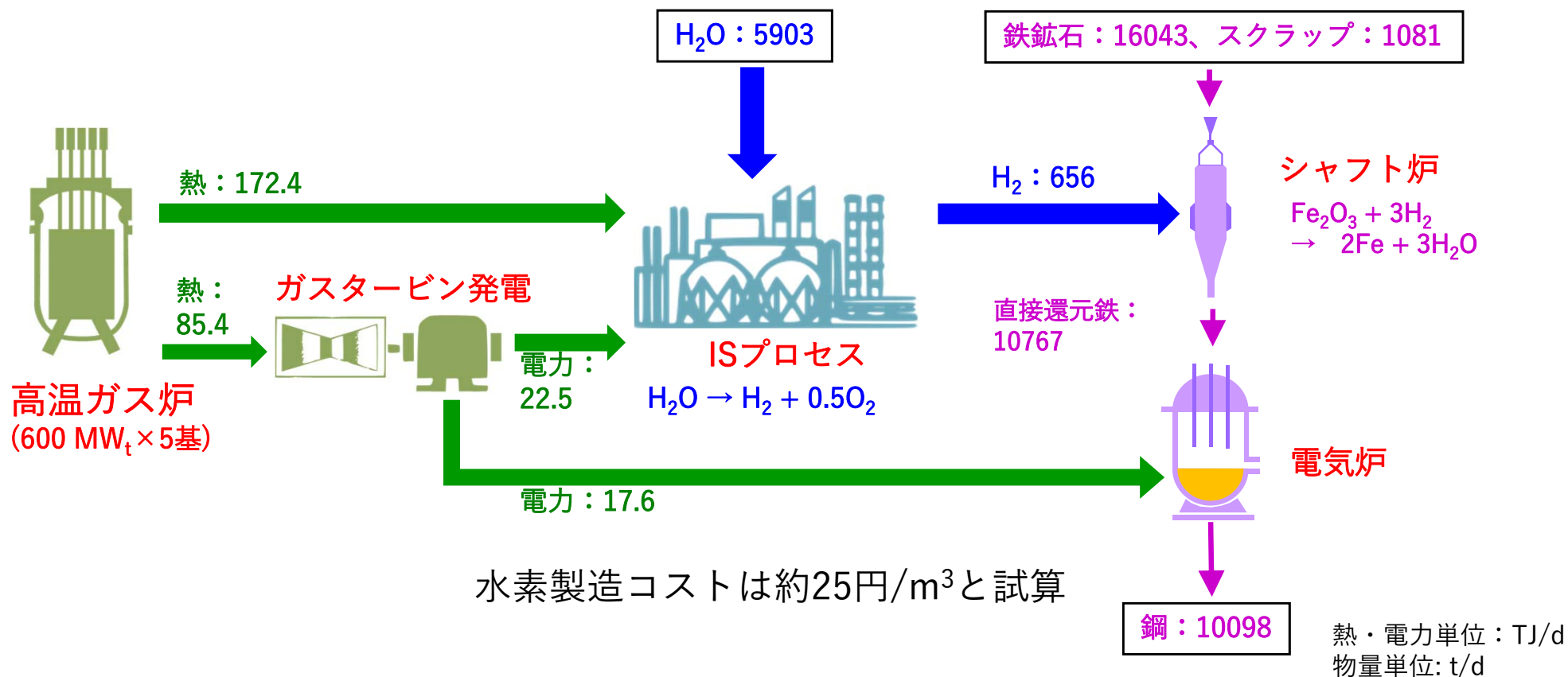
化石燃料を用いたプラントの代替→高温ガス炉ガスタービン発電又はコージェネ

温室効果ガス削減の長期目標達成には、再生可能エネルギーの利用拡大に加え、発電のみならず発電以外の分野への原子力エネルギー利用が不可欠

高温ガス炉水素製造システム

-原子力水素還元製鉄-

- コークスの代替として、高温ガス炉ISプロセスで製造した水素を鉄鉱石の還元材として用いるシステム
- 製鉄所から排出されるCO₂排出量の100% (1.4億トン※1) の削減が可能



製鋼量※2 1万トン/日基準 (標準的な製鉄所の規模)における熱物質収支※3

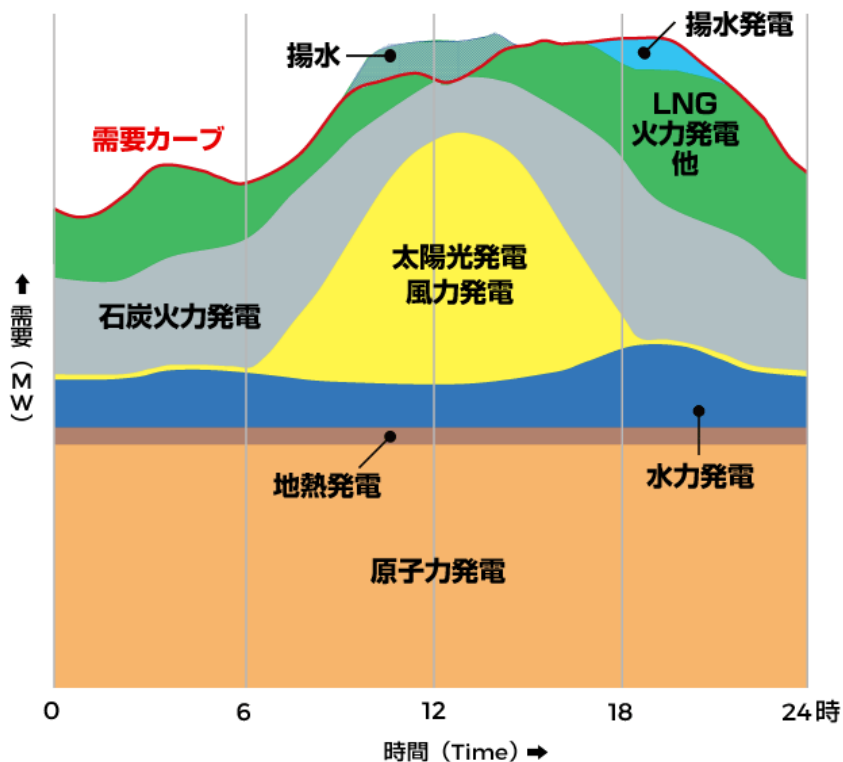
※1: 2016年。出典: 国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス, 日本の温室効果ガス排出量データ (1990~2016年度確報値) (2018/5/29更新)

※2: 国内製鋼量 約29万トン/日 (2016年)

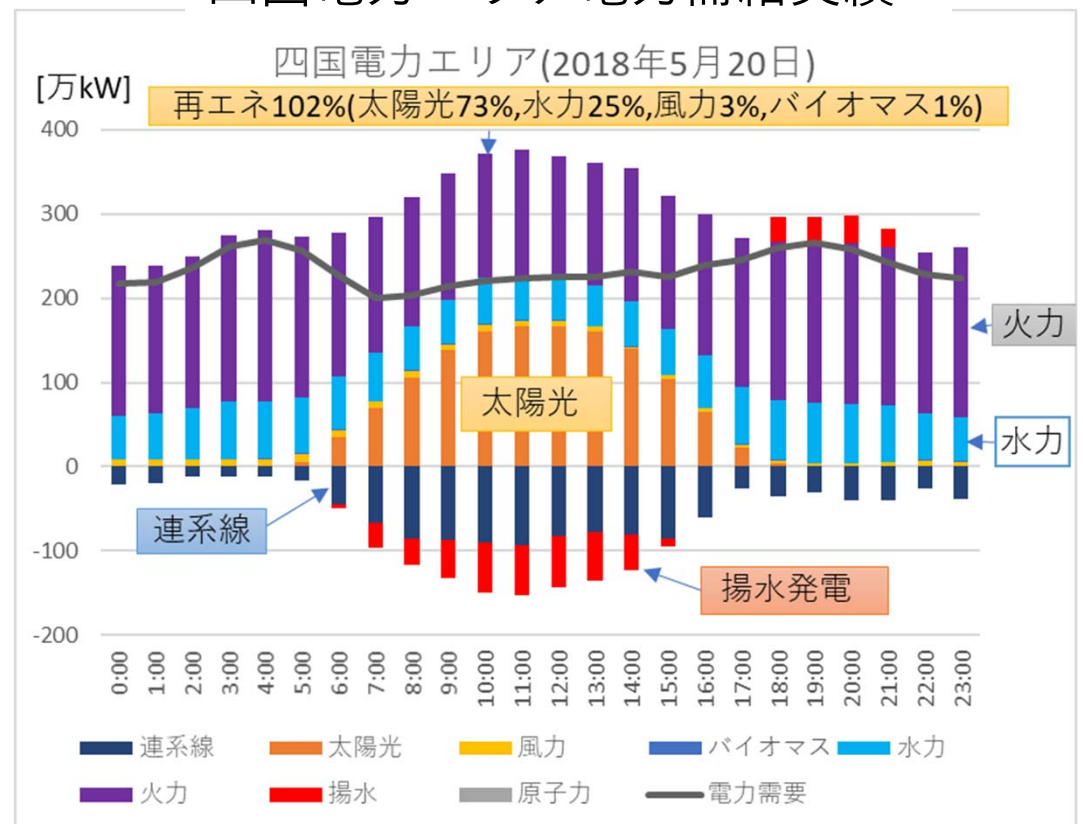
※3: 笠原,小川, グリーンエネルギー製鉄研究会成果報告書, 123-143, 2012.

- 九州電力、四国電力などにおいて、再生可能エネルギーが大量に導入
 - 九州電力でピーク時（2018年5月3日12時台）に太陽光発電が電力需要の81%、再生エネルギー供給割合が**最大96%**
 - 四国電力でピーク時（2018年5月20日10時から12時）に再生エネルギー供給割合が電力需要に対して**最大100%以上**
- 火力発電の抑制、揚水の活用より需給を調整しているが、限界に近づいている
原子力発電による再生可能エネルギーの負荷変動の吸収に期待

電源の組合せ（九州電力）※1



四国電力エリア電力需給実績※2

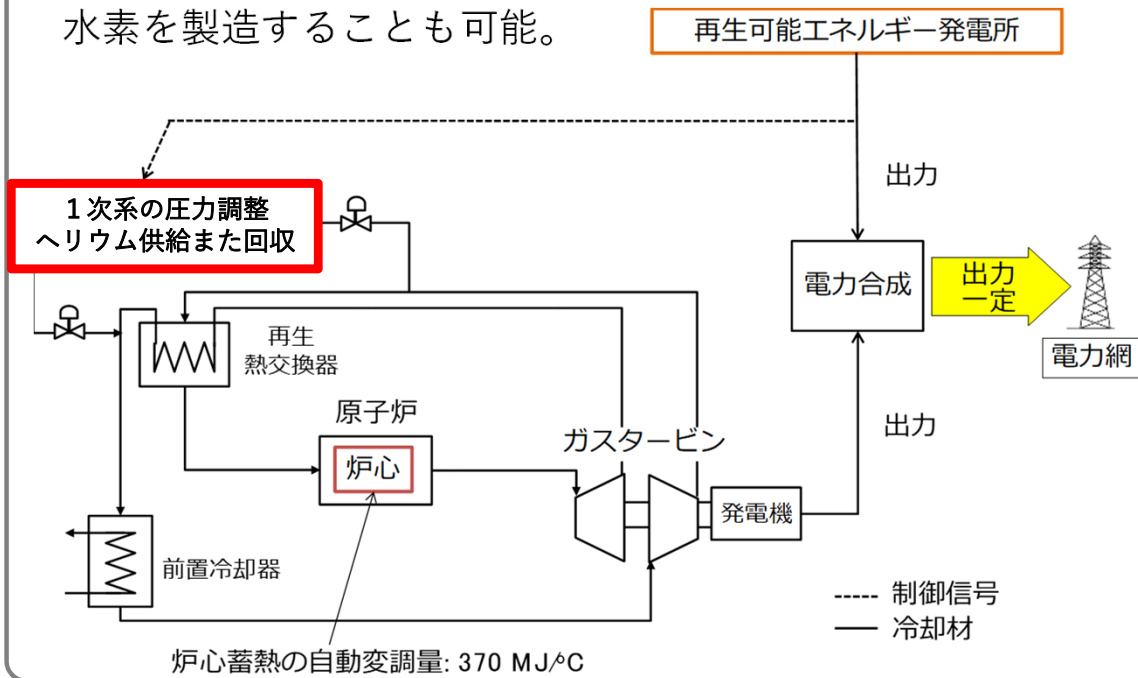


※1: http://www.kyuden.co.jp/effort_power_composition.html

※2: <https://www.iseip.or.jp/archives/library/11271>

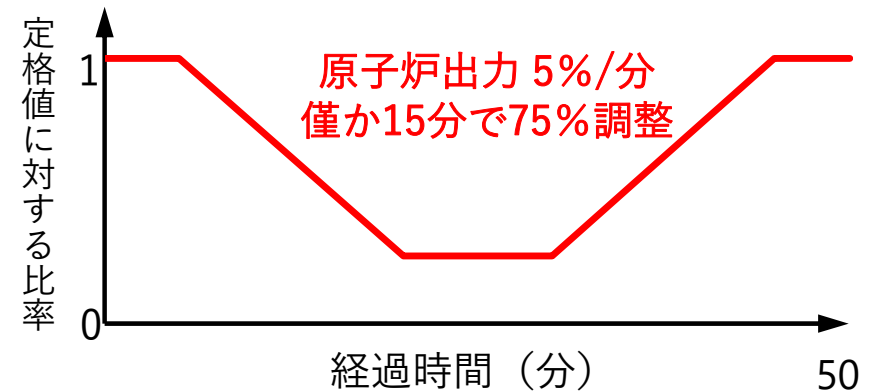
負荷追従運転制御方式：長周期（時間～日）

- 再生可能エネルギーの負荷変動を吸収するため発電量を調整
- 発電量を下げる場合は、1次系からのヘリウム回収により、ヘリウムガス圧力を低下。ヘリウムガス密度が低下しタービントルクが減少し発電量が低下。
- この際、圧力低下による質量流量の低下により、炉心から除去できる熱量が減るため、負の反応度フィードバックにより原子炉出力が低下し静定。
- 原子力出力維持し、その代わりに水素を製造することも可能。

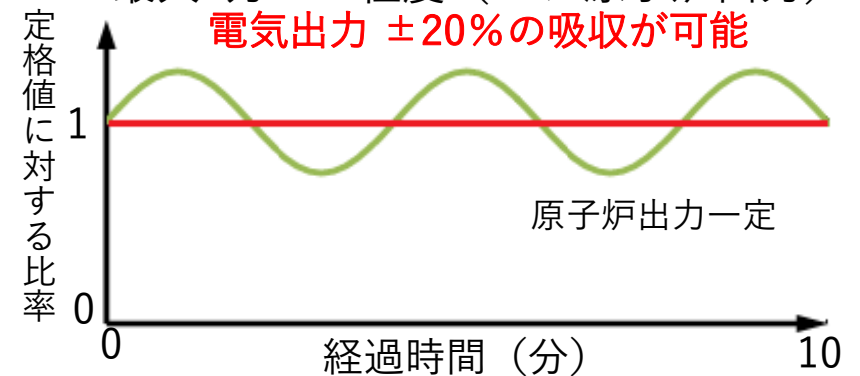


高温ガス炉1基（600MWt、約270MWe）
で以下の負荷変動に対応可能

- 長周期（時間～日）
最大20万kWe程度
(5%/分で原子炉出力25%～100%)

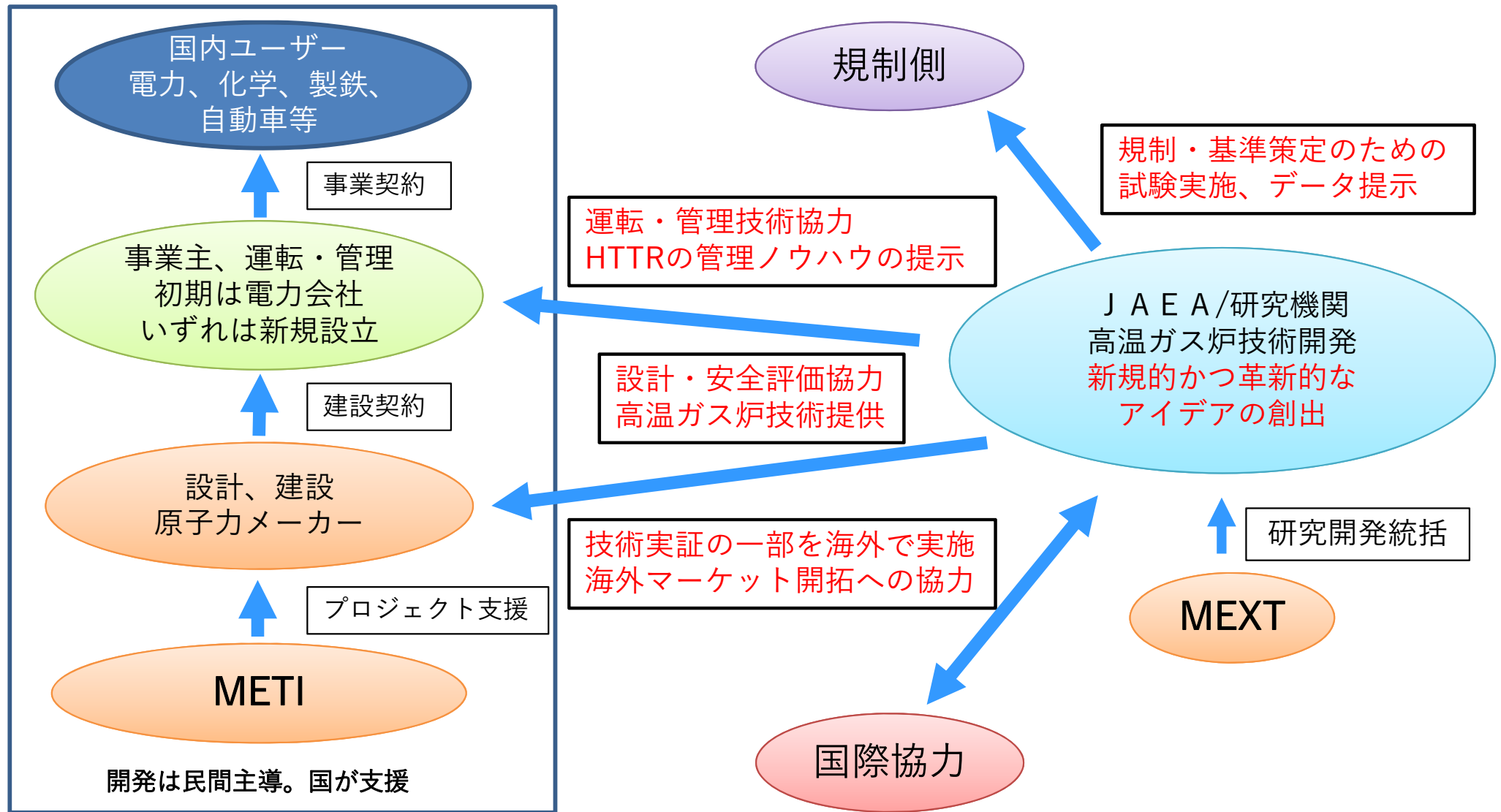


- 短周期（秒～分）
最大5万kWe程度（20%原子炉出力）
電気出力 ±20%の吸収が可能

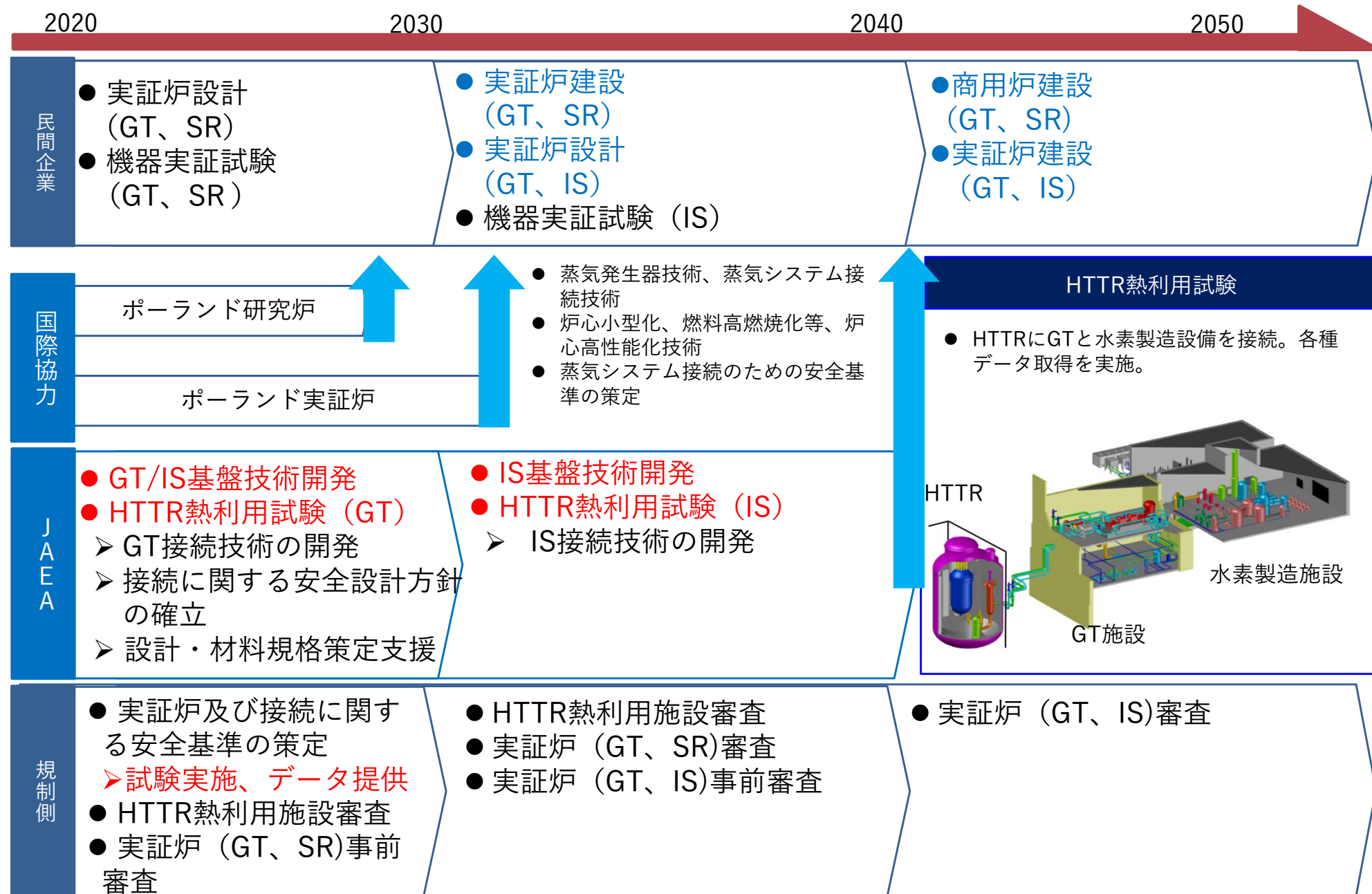


全出力での発電コストは約6.5円/kWhと試算

1. 高温ガス炉の特徴
2. 小型モジュラー炉（SMR）としての高温ガス炉システム
3. 高温ガス炉システムの開発・導入計画とJAEAの役割
4. まとめ



- ### JAEAの役割
- 新規的かつ革新的なアイデアの創出とその成果の提供
 - 設計、安全評価技術、運転管理技術の提供
 - 規制基準策定への協力
 - 国際協力の成果の提供



※GT：ガスタービン発電施設、SR：天然ガス水蒸気改質法水素製造施設、IS：IS⁷ 法水素製造施設

1. 高温ガス炉の特徴
2. 小型モジュラー炉（SMR）としての高温ガス炉システム
3. 高温ガス炉システムの開発・導入計画とJAEAの役割
4. まとめ

- 高温ガス炉は、冷却材にヘリウムガス、燃料にセラミックス製被覆燃料粒子、減速材に黒鉛材料を使用することにより、優れた固有の安全性を有し、多様な熱利用が可能な原子炉である。
- H T T R は、平成 3 1 年の運転再開を目指し、原子力規制委員会が定めた新規規制基準への適合性確認を進めている。H T T R を用いた試験等により高温ガス炉の高い安全性が認められ、H T T R は追加の補強工事なしでの運転再開が見込まれている。
- 高温ガス炉は、安全性が高く、高効率で経済性にも優れることから、発電のみならず産業への熱利用等の観点から S M R に適している。水素製造システム、再生可能エネルギーとのハイブリットシステム、高温蒸気供給システムなど、原子力エネルギーの多様な利用が可能である。
- 高温ガス炉システムの商用化に関して、JAEA は、新規的かつ革新的なアイデアを創出して、高温ガス炉に関する研究開発、運転管理技術開発などの役割を果たすとともに、有効な国際協力の構築に貢献して、民間主導のプロジェクトを支え、脱炭素社会を実現する。