# 次世代原子炉の種類

温室効果ガスの排出量を低減する「脱炭素化」に向け、原子力分野でも脱炭素化の選択肢として、世界各国において、革新的な原子力技術への挑戦が繰り広げられています。安全性の向上、再生可能エネルギーとの共存や、水素の製造、熱エネルギーの利用といった多様なニーズに応える原子力技術のイノベーションが進められています。



小型軽水炉 BWRX-300

写直提供:日立GFニュークリア・エナジー(株)



高速実験炉「常陽」

写真提供:日本原子力研究開発機構

# 1. 小型モジュール炉(SMR、Small Modular Reactor

原子炉が小型のため自然冷却が可能となり、安全性が強化されます。また、ほとんどを工場で組み立てることができるため、工期短縮や建設コスト削減が可能です。さらに、大

規模なインフラ整備が不要で、需要規模の小さい地域や未開発地、寒冷地、僻地、離島などでの利用にも適しています。

開発については、アメリカが先行していますが、近年、日本企業の研究開発も活発化しています。日本でも2019年から、「NEXIP(Nuclear Energy × Innovation Promotion)イニシアチブ\*」の下で、民間企業などによる革新的な原子力技術開発の支援が始められています。

※文部科学省と経済産業省が行う事業で、原子力技術を開発する民間企業などを支援している。

#### 2. 高速炉

高速炉は、核燃料サイクルによって期待される高レベル 放射性廃棄物の減容化や有害度の低減、資源の有効利 用の効果をより高めることができます。

日本では、1963年頃から高速炉の本格的な設計研究がスタートし、1977年には実験炉「常陽」、1994年には原型炉「もんじゅ」が臨界を達成しました。その後、「もんじゅ」に関しては、2016年12月の原子力関係閣僚会議で、廃止措置への移行となりましたが、同会議にて、日本における今後の高速炉開発の方向性を示す「高速炉開発の方針」も決定され、将来の実用化を目指し、開発を進めていくこととしています。

### 3. 高温ガス炉

炉心の主な構成材に黒鉛材料を用い、核分裂で生じた 熱を外に取り出すための冷却材に化学的に不活性なヘリウムガスを用いた原子炉であり、炉心の冷却ができない状況になっても原子炉出力は自然に低下し、炉心溶融を起こしにくいという特徴があります。950℃の熱を取り出すことが

■主な原子炉の比較 課題・リスク 運転温度 ・現在主流の原子炉 300℃ ・実績が豊富 三菱重工 軽水炉 炉心損傷 ·新型炉4.逐次発表 (诵堂の水) ~350°C ・経済性が高い 日立GEニュークリアエナジー (第1~3世代炉 ・サプライチェーンが確立済み 東芝エネルギーシステムズ 燃料リサイクルに適する (アメリカ) Westinghouse (フランス) EDF ・核分裂反応に必要な中性子 ナトリウム、溶融塩 500℃ 三菱重工 高谏炉 ・燃料リサイクルに適する ·炉心損傷 を減速させない冷却材を用 など ・放射性廃棄物の減量化が可能 ・ナトリウム対策 日立GEニュークリアエナジー ・運転圧力が低い メンテナンス技術の確立 東芝エネルギーシステムズ ・高速な中性子によって核反 経済性の確立 (アメリカ) TerraPower 応が生じる (アメリカ) GE Hitachi (アメリカ) TerraPower 溶融塩炉 常温下で固体の塩を冷却材 溶融塩(フッ化物 600℃ ・炉心損傷しない ·高温下の耐腐食性 (アメリカ) Kairos Power (第4世代炉) として使用する 塩. 塩化物塩など) ~800℃ ・燃料交換なしで、長時間運転が・メンテナンス技術の確立 (カナダ) Moltex Energy 可能 ・運転圧力が低い 高温ガス炉 ・高温のガスを冷却材に用 ヘリウムガス 750℃ ・炉心損傷しない ・燃料リサイクルに適さない 三菱重工 東芝エネルギーシステムズ ・900℃以上の温度域の熱で水素 ~950℃ ・経済性の確立 ・電源喪失しても炉心損傷が 製造が可能 (アメリカ) X-Energy (イギリス) NNL (カナダ) USNC 出典:三井物産戦略研究所資料より作成 でき、水素製造などの熱利用に加え、ヘリウムガスタービンにより45%以上の効率で発電もできます。

日本では核熱エネルギーの多目的利用を目的に、日本原子力研究開発機構において1969年より研究・開発が進められ、高温工学試験研究炉「HTTR」が建設されました。新規制基準対応にともない10年以上、運転を停止していましたが、2021年7月30日に運転を再開しました。現在は、安全性を実証する試験を進めています。

#### 4. その他の研究炉

世界中の専門家が、世界の将来のエネルギー需要、特に電力需要の増加に対応できる第4世代の原子力システムの研究開発を進めています。第4世代原子力システム国際フォーラムが、2001年より開発国間で研究開発の協力・推進することを目的として検討が始まり、以下の6システムを評価しています。

#### ●研究開発中の第4世代原子カシステム

超高温ガス炉(VHTR)、ナトリウム冷却高速炉(SFR)、 超臨界圧冷却炉(SCWR)、ガス冷却高速炉(GFR)、鉛 冷却高速炉(LFR)、溶融塩炉(MSR)

## 5. フュージョンエネルギー

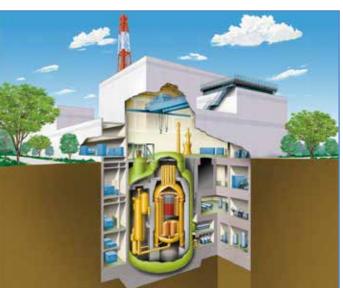
日本政府は、2023年4月にフュージョンエネルギーを新たな産業と捉え、実用化に向けた「フュージョンエネルギー・イノベーション戦略」を決定しました。また、同年6月にはこの戦略を踏まえ、フュージョンエネルギー分野の今後の取組方針を含めた「統合イノベーション戦略2023」を閣議決定しました。この戦略は、先端科学技術の戦略的な推進、知の基盤と人材育成の強化、イノベーション・エコシステムの形成の三つを機軸とし、フュージョンエネルギーなど、官民連携で推進して

いく九つの分野別戦略を盛り込んでいます。文部科学省は、 「フュージョンエネルギー・イノベーション戦略」の決定を受け、核融合の未来の可能性を拓くイノベーションへの挑戦的な研究支援のあり方を検討し始め、「ムーンショット型研究開発制度」を活用し、社会・産業構造の変革に取り組むべきとしています。

フュージョンエネルギーは、重水素や三重水素のような軽い原子核を融合させ、別の重い原子核になるときに発生する大きなエネルギー(フュージョンエネルギー)を取り出すシステムです。燃料のもとになる重水素とリチウムは海水中に広く存在するため、エネルギーの安定供給が可能です。また、フュージョンエネルギーで発生する放射性廃棄物は低レベル放射性廃棄物として管理することができます。

現在、フュージョンエネルギーの実現に向けて、国際共同プロジェクト「ITER計画\*」が進められています。日本・アメリカ・ロシア・韓国・中国・インドの6カ国と欧州によって2034年の実験炉の運転開始を目指しています。

※平和目的のためのフュージョンエネルギーが科学技術的に成立することを実証するために、人類初の核融合実験炉を実現しようとする超大型国際プロジェクト



高温工学試験研究炉「HTTR」

写真提供:日本原子力研究開発機構

## ■革新炉のロードマップについて

日本では革新炉(革新軽水炉、小型軽水炉、高速炉、高温ガス炉など)の検討が、経済産業省資源エネルギー庁の革発炉ワーキンググループで議論されています。海外の動向やカーボンニュートラル・コネルギー安全保障を巡る環境変化も踏まえ、原子カイノベーションを通じて、再生可能エネルギーとの共存、水素社会の可能エネルギーとの共存、水素社会の可能といった、原子力の新たな社会的価値を再定義した上で、国内の炉型開発に得る課題を整理しつつ、その戦略を示した事新炉開発の技術ロードマップが検討されました。各炉の導入に向けた技術ロードマップのほか、右の「原子カサプライチェーンによる市場獲得戦略」が示されています。

	2020年	2030年	2040年	20503
既存軽水炉	再稼働対応を通じ 革新炉開発に向けた投資基			
	既存炉の安定運転に向けた継続的なメンテナンス・長期運転への対応			
革新軽水炉	要素技術の研究開	発		
	商用炉実装に向けた国内サプライチ: (業界大での供給途絶対策、事業			
	競争力の高いサプライヤーに 海外進出可能なサプライヤー		外市場における新設・リプレース需要を	継続的に取り込み
小型軽水炉	要素技術の研	究開発等	実証炉の建設(※)	
	海外初号機案件 (NuScale、BWRX での機器等の発注	(-300) アメリカ・カナ・	ダによる第三国展開と連携し、アジア・東	欧等の市場を獲得
高速炉	要		<u> </u>	
	海外市場獲得等を通じ、ナトリウム関連機器等の高速炉固有のサブライチェーンの維持 実証炉の建設(※)			
	もんじゅ等の経験を活かし、海外 案件(Natrium)での機器等の		得、アメリカによる第三国展開と連携し	、さらなる市場の獲得
高温ガス炉	要素技術の研究開	発 DET IS O MASS		
	海外市場獲得等を通じ、炉心、ガスタ 高温ガス炉固有サプライチェーンの			
	HTTR等の経験を活かし、海外初野 (イギリス等)での機器等の受		準の獲得、第三国展開を通じ、さらなるi	市場の獲得
	※事業者の立地・事業計画により変更を	あり。	国内市均	易海外市場