



小型原子炉 (SMR : Small Modular Reactor) の開発の現状

最近、水力発電と原子力発電の映像が流れる関西電力のテレビCMをよく見かけるようになりました。関西電力は、地球温暖化対策のためにCO₂を出さない再生可能エネルギーや原子力を活用し、事業活動に伴うCO₂排出を2050年までにゼロにすると宣言されています。東京電力福島第一原子力発電所の重大事故以来、「原子力」の話が少なくなりましたが、地球温暖化対策、ゼロカーボンに向かう時流に乗って「原子力」が復活してきたと感じる人が多いのではないのでしょうか。また、ロシアがウクライナに侵攻しチョルノービリなどの原子力施設を破壊したとのニュースが流れ、福井県内の原子力発電所の安全性が地震や津波とは異なる観点から注目されています。杉本知事は今年3月、福井県内の原子力施設への攻撃を防ぐための自衛隊配備を防衛大臣に緊急要請しています。4月10日のテレビ番組では、安倍元首相が「原発も警護出動の対象にすることが必要」と述べていました。原子力施設には、材料の経年劣化や構造的な欠陥などに起因した事故と地震・津波などによる自然災害に対する安全性が特に求められてきましたが、これからは戦争やテロによる破壊活動に対する安全性の確保も必要になりました。

昨年4月、自民党の「脱炭素社会実現と国力維持・向上のための最新型原子力リプレイス推進議員連盟」が設立され、2050年までのCO₂排出の実質ゼロを意識しながら原子力発電所の新增設、建て替えを推進する方策を議論しようとしています。福井県選出の稲田衆議院議員が会長で、安倍元首相らが顧問に就任されています。原子力発電所の再稼働が進んでおらず、政府は新增設や建て替えに否定的であり、自民党は「再稼働を進めるが、可能な限り依存度を低減する」と公約していますので、政府と党の方針と逆行する提言がこの議員連盟から出れば、自民党も原子力に関する方針を見直し、原子力の利用が一気に進む可能性もあります。

4月8日のテレビ朝日の報道によれば、ウクライナ侵攻によるロシアへの制裁に起因したエネルギー危機打開のために、英国政府は2030年までに原子炉を最大8基建設すると発表したようです。ガスと電気の料金が最近急上昇し、ウクライナの状況によって今後、さらに大幅に上がる可能性があることとされ、ロシア産の天然ガスと石油に依存しないエネルギーとしての原子力の利用推進に方向転換しました。また、フランスとベルギーも原子力発電所に対する方針を転換しています。フランスのマクロン大統領は、「私たちの国に必要なものは、フランス原子力産業の復活であり、気候変動対策の目標達成のためとして、2050年までに、最大14基の原発を新規増設する」と表明しました。4年前には、14基の原子力発電所の閉鎖を宣言していましたので、脱炭素と脱ロシアの大きな圧力によって方針転換することになりました。また、ベルギーも原子力発電所の全廃方針を見直し、「2025年末までに停止する予定の2基について、稼働を10年延長する」と表明しました。環境に優しく、安全で、安価なエネルギーとして原子力が見直されるようになりました。

地球温暖化対策とロシアのウクライナ侵攻を契機として、国内外で原子力を見直す機運が高まり、福島第一原子力発電所での重大事故以来世界的にストップしていた原子力発電所の新設が復活しそうです。この新設される原発は、従来型よりも安全性に優れるとされる小型原子炉 (SMR : Small Modular Reactor、小型モジュール炉) が候補とされています。SMRの構造や特徴などについて、4月22日の講演会 (図1) において福井大学の福元教授から説明がありましたので、それらの内容を含めてご紹介します。

SMRとは、出力が比較的小さく、パッケージ (モジュール) で製造される次世代原子炉のことです。IAEA (国際原子力機関) の定義によれば、出力が30万kW以下とされ、現在運転中の関西電力大飯発電所3号機の118.0万kWに比べると約1/4の出力となり、現状の原発よりもかなり小さいことが分かります。このように小さな出力の原子炉はすでに利用されています (図2)。



図1 4月22日の福井大学 福元教授の講演

図2 ロシアが製造した水上原子力発電所 (アカデミック・ロモノソフ) (a)、ロシア海軍のタイフーン型原子力潜水艦 (b)、原子力砕氷船 (アルクチカ) (c) (出典 : (a) (b)はWikipedia、(c)は<https://www.nishinippon.co.jp/item/o/656762/>)

SMRは、軽水炉、高温ガス炉、高速炉、熔融塩炉、その他に分類でき、軽水炉のSMRはロシアで実用化されています。図2に示した海上（水上）浮遊型原子力発電所（アカデミック・ロモノソフ）、ロシア海軍のタイフーン型原子力潜水艦、原子力砕氷船（アルクチカ）はともに「加圧水型」軽水炉のSMRを利用しています。アカデミック・ロモノソフは、長さ144 m、幅30 m、排水量21,500トンの台船に2基の小型炉が据え置かれ、7万kWの電力と30万kWの熱を停泊場所近くの町に供給しています。2007年、建造に着手され、2010年に進水し、電力供給は2019年に開始されています。「加圧水型」軽水炉SMRはすでに実用化されていますが、米国NuScale社が更なる研究開発を進めています。(1)「压力容器」「蒸気発生器」「加圧器」「格納容器」を一体型パッケージとした出力7.7万kWのモジュール炉を大きなプールの中に最大12基並べれば、合計出力約100万kWと大型原子炉に近い出力規模にできること、(2)緊急時には原子炉全体をプールに沈めるため、非常用電源がなくても炉心冷却可能であり、大型の冷却水ポンプや大口径配管が不要で、大規模な冷却材喪失事故のリスクを回避できること、(3)負荷追従運転で再エネの変動に合わせた出力調整が可能であることを特徴としたSMRが提案されています。福井県に建設されるとすれば、実績が多い「加圧水型」軽水炉SMRだと思います。

「沸騰水型」軽水炉SMRも、日立GEニュークリア・エナジー社&米国GE Hitachi Nuclear Energy社から提案されています。(1)従来の「沸騰水型」よりもさらに構造が単純で、建設コスト、運転コストの低減が可能、(2)ガス火力並みの価格競争力を有し、米国のガス火力発電プラントの建て替え需要にも対応可能、(3)压力容器と一体になった弁を採用し、大規模な冷却材喪失事故のリスクを実質的に回避可能を特徴としています。

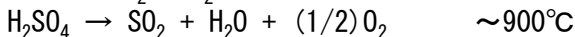
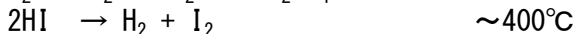
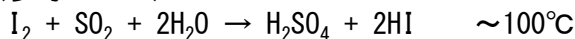
冷却材に、水ではなく、ヘリウムガスを利用した“高温ガス炉”、“もんじゅ”と同様にナトリウムを用いた“高速炉”、熔融塩を用いた“熔融塩炉”も設計、開発が進められ、他の型式のSMRも多く提案されています。また、いくつかの炉が建設されているものの未だ研究段階と言えます。ロシアや米国に遅れを取っていますが、日本でもSMRの導入議論が高まりつつあるとともに、日本企業がいくつかのSMRの設計開発に参画しています。SMRは、(1)高い安全性、(2)短い工期、(3)廃棄物の処理が容易、(4)多用途展開が可能の特徴を持つとされていますが、課題も多くあります。パッケージ化することによって工期が短縮され、コスト削減になりますが、100万kWの大型炉1基と10万kW10基を製造した場合、大型炉のスケールメリットを覆すほどの経済性は発揮できないとされていますし、再エネの発電コストが今後、低下すると推測される中、コスト競争力を発揮できるかも不透明です。また、原子炉の設置には、立地自治体との話し合い、了解が必要であり、多くの小型炉を設置しようとすると多くの手続きが必要になります。さらに、高速増殖炉「もんじゅ」は冷却材のナトリウムの漏洩で廃炉になりましたが、ナトリウムの取り扱い技術は大丈夫なのか？ これらの実用化までには、まだまだ時間がかかるでしょう。

水素の製造に適する高温ガス炉（HTTR：High Temperature Engineering Test Reactor）

高温ガス炉は炉心構成材に黒鉛、セラミックスを用い、冷却材にヘリウムガスを用いた原子炉です。軽水炉では、利用できる温度は300℃以下で、発電効率が30%程度に過ぎません。一方、高温ガス炉は、セラミックスの使用により1000℃程度の熱を利用できるとともに、ガスタービン発電によって45%以上の高い発電効率を得ることができ、発電コストを低く抑えられ、経済性に優れた原子炉とされています。また、セラミックスと黒鉛は優れた耐熱性を有しており、冷却材のヘリウムが無くなるような事故が発生しても炉心の熱は原子炉容器の表面から自然に逃げて、炉材熔融などの大規模事故には至らない安全な原子炉とされています。

日本原子力研究開発機構の高温工学試験研究炉(HTTR：High Temperature Engineering Test Reactor)は高温ガス炉であり、福島第一原子力発電所の事故を教訓とした規制強化でしばらく停止されていましたが、昨年7月、約10年ぶりの運転を再開しています。定格熱出力3万kWにおいて原子炉出口冷却材温度950℃を達成しており、この熱を利用した水素の製造が注目されています。熱化学法ISプロセスによって水を水素と酸素に分解します。ヨウ素(I)と硫黄(S)の化学反応を組合わせて水を熱分解するISプロセスの化学反応(図3)は、次のように表されます。

(参考：JAEA)



3つの反応を組合わせることで、水を熱分解するために必要な温度を、直接熱分解に必要な4000℃から900℃以下まで低下させて、水を分解することができます。反応に用いられるヨウ素や(I)硫黄(S)はプロセス内で循環するため、プロセス全体では水を分解して、水素と酸素のみを製造できることになります。

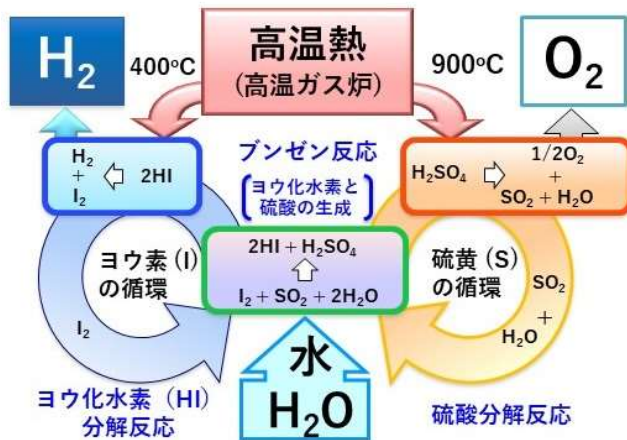


図3 熱化学法ISプロセス (出典：JAEA)

理事会の開催

4月21日に福井市のいわし屋にて理事会を開催しました。令和3年度の活動を振り返るとともに、令和4年度の活動計画について意見交換し、総会資料を作成しました。



図4 理事会の開催

一般社団法人 ふくい水素エネルギー協議会
〒919-0411 福井県坂井市春江町藤鷲塚37-9
株式会社 ナカテック内 事務局 羽木
TEL：0776-58-3930 FAX：0776-51-5144