

原子力の**本質**を探る

—第10回—

中性子核反応炉(原子炉)

NPO法人
ニュークリア・サロン 出澤 正人

原子炉とは

原子炉とは、中性子と物質との様々な核反応を制御しながら、エネルギーと新たな物質を生み出す装置である。原子炉から取り出されるエネルギーは熱であり、火力発電に用いられているボイラーと同様な原理で電気を生み出している。

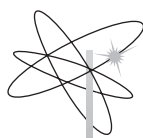
さて、この原子炉の中には、核分裂性物質(原子燃料材)、中性子吸収物質(制御材)、熱伝達物質(冷却材)、中性子減速物質(減速材)、中性子反射物質(反射材)、核分裂性物質の親物質(中性子を吸収して核分裂性物質に変換)、核分裂生成物(更に中性子を吸収して短半減期/安定核種に変換した物質)などがある。地球上の鉱物の中から自然に得られる核分裂性物質はウラン²³⁵(天然ウランの0.72%)のみであるが、原子炉内で中性子との核反応で燃料となる核分裂性物質を創生できる原料物質としてはウラン²³⁸とトリウム²³²がある。前者からは、プルトニウム、ネプチニウム、アメリシウム等の超ウラン元素が創生され、後者からはウラン²³³が創生される。原子炉内で新たな燃料物質を生産できれば、エネルギー資源は大幅(約100倍)に拡大できる。これが

核反応を用いたエネルギー利用の最大の特徴である。原子燃料は、金属、酸化物、炭化物、窒化物、溶融塩等の様々な形態で用いられる。一方、炉心燃料を冷却して熱を取り出す物質には、液体(水、ナトリウム、カリウム、鉛、鉛・ビスマス等)、気体(ヘリウム、二酸化炭素、蒸気等)等があり、中性子を減速できる材料としては重水、黒鉛、軽水などが、中性子を吸収して反応を抑制する材料にはホウ素、カドミウム、ハフニウム、ガドリニウム等がある。これらの物質を適切に組み合わせることで、様々な性能の原子炉を設計することができる。

世界最初の人類による原子炉は一九四二年一月に臨界になった米国のシカゴ大学のフットボールスタジアムの下に設置されたChicago Pile-1である。その燃料は天然ウランであり、減速材として黒鉛が用いられた熱中性子炉であった。その後、世界最初の原子力発電は、一九五一年、四個の二〇〇ワット電球を灯す程度であったが、それは中性子を減速しないで核反応を維持できる高速増殖炉のEBR-1で、燃料は金属燃料、冷却材はナトリウム(78%)とカリウム(22%)の合金であるNaKが用いられた。

実用化された商用原子力発電所としては、一九五四年に運転を開始したオプティムスク原子力発電所である。この原子炉の燃料は5%濃縮ウラン(ウラン²³⁵の濃度が5%、その他はウラン²³⁸)を使用し、減速材は黒鉛冷却材は水であった。開発当初の多様な原子炉の設計例については紙面の都合上書ききれないが、選択と集中により、米国が、政府と民間による技術開発の成果として低濃縮ウランの酸化物燃料と軽水で減速と冷却を行う熱中性子による原子炉(軽水炉)を市場に出し、実用炉として世界に広まった。この組み合わせは、奇しくも約二〇億年前に地球にあった自然原子炉と同じ燃料濃縮度(二〇億年前のウラン鉱石中のウラン²³⁵の濃度は約5%)と減速物質の組み合わせであることが分かった(一九七二年)。

PWRとBWR、それぞれの特徴
軽水炉は当初原子力潜水艦の動力源として使われたために、船の揺れを考慮し原子炉の炉心内に液面がないように一五〇気圧程度まで加圧する方法が採用され、これを陸上において発電用に使ったのが加圧水型軽水炉(PWR)である。これに対して沸騰水型軽水炉(BWR)は、最



五つの目標を整合性を持って達成

初から陸上設置を前提に設計され、炉心内に自由液面が許容され、PWRに比べて二分の程度低い圧力で運転できる設計となっている。これらには長所短所があるが、原子炉の核反応は、軽水で中性子を減速して得られる熱中性子で臨界を維持するという点で本質的な違いは無い。

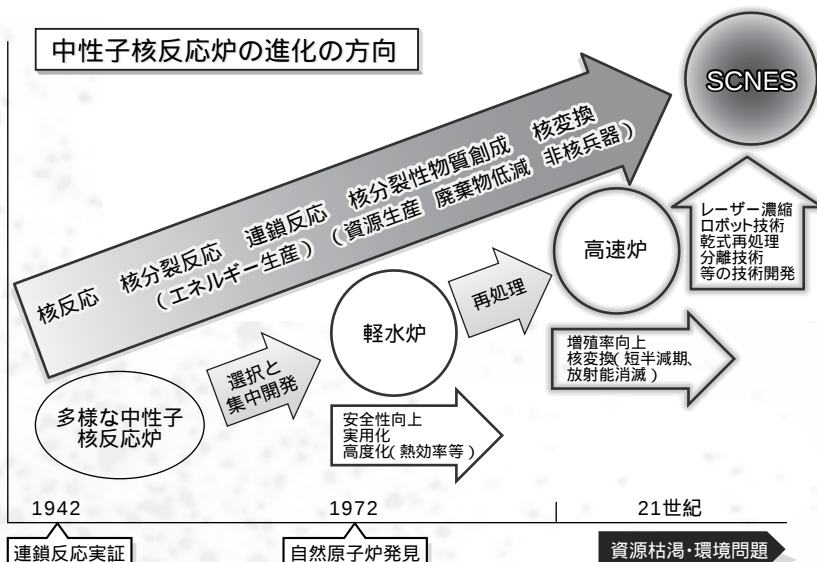
PWRの1号機はウエスチングハウス(WH)社が SHIPPINGPORT 1号(一〇万キロワット、一九五七年運転開始)、BWRの1号機はゼネラルエレクトロニクス(GE)社がドレンデン1号(二〇万キロワット、一九六〇年運転開始)に建設した。

米国での初期の軽水炉の安全性や信頼性、経済性などを見て、わが国では日本原子力発電(株)によって、敦賀1号機(BWR、三五・七万キロワット、一九七〇・三運転開始)が先駆的に導入され、これに続き、関西電力(株)美浜1号機(PWR、二四万キロワット、一九七〇年運転開始)、東京電力(株)福島第一1号機(BWR、四六万キロワット、一九七一年運転開始)が導入された。これらの導入によって、原子力発電の本格的な商業利用の時代に入った。

ベストミックス政策での原子力発電

燃料費を含む運転費に比べ、プラント設備などの資本費が相対的に大きくなる原子力発電では、スケールメリットが大きいため、開発初期の三〇〇四〇万キロワット規模から一〇〇万〜一三〇万キロワットへと大規模化され、その信頼性を向上させるために国内で改良標準化が進められた。高度成長期後半であった一九七〇年代の急増する電力需要に対して、化石燃料の火力発電では大規模化にともない燃料消費量は膨大になるが、軽水炉は、燃料のウランの調達も安定しており経済的に有利な面があった。一九七三年のオイルショックを契機に、わが国の石油依存を低減すべく、ベストミックス政策として原子力発電比率を約三割まで高める計画が立案された。当時、世界でも軽水炉は、一九七九年のスリーマイル島事故などを教訓に安全性が高められ、安全、安定、安価な電力を生産する成熟した技術とみなされるようになっていた。二〇一一年三月一日に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力

発電所事故が社会的、経済的、政治的に大きな影響を与え、原子力利用のあり方まで遡って大きな議論の最中にある。千年災害の衝撃による混乱から脱し、冷静に原子力利用社会



について考えるには、改めて原子力の全体像を俯瞰し、展望を確認していくことが必要である。今回の福島事故を克服して、より安全な軽水炉を開発して、安定な基幹電源を確保していくことは当然であるが、長期的なエネルギー安全保障を確保できる方策と、原子炉で発生する放射性廃棄物の減容と貯蔵期間の短縮の両立が、将来的には求められるだろう。

すなわち、中性子核分裂利用の原子力システムの可能性を再認識し、第五回で述べたように、核分裂の連鎖反応を安全、安定に行い、発生するエネルギーの利用と発生する中性子を核分裂性物質の創生と高レベル放射性廃棄物の放射能を低減し、併せて、兵器転用を防ぐという五つの目標について整合性をもって達成できる原子力システム(SCNES)を究極の中性子核反応利用の開発目標として、この実現に向けた研究開発の道を再出発すべき時期にあるのではなからうか。次回以降、原子力の本質を探るためSCNESへの道を探ることとする。