

—原子力・放射能基礎論—

No. 12 原子力開発の歴史と将来

河田 東海夫

岡村 章

1. 講義の目標

原子力開発の将来を考える上で、海外及び日本における原子力開発の歴史を振り返り、どのような経緯をたどり今日に至ったかを学ぶ。また、世界各国で取り組まれている新型炉開発の動向や核融合開発の現状について紹介する。

2. 講義の概要

(1) 世界の原子炉開発の歴史

人類による核分裂エネルギーの利用は原爆というまことに不幸なことで始まった。1942年12月、米国シカゴ大学でCP-1と呼ばれる黒鉛減速の実験装置で持続的な核分裂連鎖反応が達成され、人類最初の原子炉が産声を上げた。この原子炉は、原爆開発の極秘計画「マンハッタン計画」において、天然ウランを燃料とする原子炉中で、副産物として核分裂性のプルトニウムが生まれることを原理実証するための実験であった。その成果をもとに、本格的な黒鉛減速水冷却型プルトニウム生産炉が建設され、長崎原爆用のプルトニウムが生産された。これと並行して、電磁分離法とガス拡散法という2つの濃縮技術が開発され、巨大な濃縮工場で広島原爆用の高濃縮ウランが生産された。

米国では、戦後直ちに軍事・平和利用両面の原子力開発・利用を統括する強力な原子力委員会が設立され、動力用原子炉の実用化を目指した広範な研究開発が進められた。当時ウランは希少資源とみなされており、核分裂で大量の発電を行うためには、天然ウランのほとんどを占める非核分裂性のウラン238を核分裂性のプルトニウムに変換できる増殖炉技術の開発が不可欠と考えられていた。こうして最初の高速実験炉EBR-Iがアイダホ州アルコに建設され、1951年12月に小規模の発電実験を行い、4個の電灯を灯すことに成功した。人類最初の原子力発電は高速増殖炉によるものであった。

一方、海軍では、ハイマン・リコーバー大佐（のちに提督）の強力な指導の下で、潜水艦の動力用原子炉の開発が進められた。原子炉としては、小型で高出力を得るために、燃料には高濃縮ウランを、また減速・冷却材には軽水を使用する原子炉が開発された。水の沸騰を抑えて運転を安定化させるために原子炉は加圧された。加圧水型軽水炉（PWR）の原型である。こうして世界初の原子力潜水艦ノーチラス号が完成し、1955年1月に就航した。その原子炉を大型化し、陸上の発電用に転用したのが米国最初のPWR原子力発電所 Shippingport で、原子炉の製造はウェスチングハウス社が担当して1957年12月に送電を開始した。これと並行し、アルゴンヌ国立研究所では、PWRよりも構造が簡単な沸騰水型軽水炉（BWR）の開発が進められた。その技術を実用化したのがGE社で、最初のBWR原子力発電所がイリノイ州ドレスデンに建設され、1960年6月に送電を開始した。こうして米国では代表的な2つの原子炉PWRとBWRの実用化時代を迎えた。

戦後しばらくの間、米国以外の国では濃縮ウランは入手不能だったことから、原子炉は天然ウランを燃料とすることが前提となり、そのため減速材としては中性子吸収が小さい黒鉛または重水を利用する道をとることとなった。

旧ソ連は、米国の原爆成功後直ちに自らの核開発計画を立ち上げ、1949年8月に最初の核実験を成功させた。実験に使われたプルトニウムは、スパイが入手した米国情報をもとに設計・建設したプルトニウム生産炉で生産された。その原子炉を発電用に発展させたのがチェルノブイリ原子力発電所などで採用されている黒鉛減速軽水冷却のRBMK型炉である。RBMK型の最初の原子力発電所は1954年6月に送電を開始しており、世界最初の実用原子力発電所となった（米国の SHIPPING PORT 運開の3年半前）。

英国とフランスは、戦後それぞれ独自に黒鉛減速炉を開発し、英国では1956年10月に、またフランスでは1959年3月に発送電を開始している。

天然ウランを燃料とする黒鉛減速炉は、燃料を長く燃やせず経済性に劣るので、旧ソ連やフランスでは、その後自ら濃縮技術を持つと、燃料に低濃縮ウランを用い、よりコンパクトで経済性に優れた軽水炉に移行していった。

カナダは、戦時中フランスから逃れた研究者を中心に重水炉の研究が進められていたことから、重水と天然ウランの体系を用いて、米国外では最も早く、1945年9月に臨界実験に成功した。その後いくつかの実験用原子炉を作り、CANDUと呼ばれる独自の設計の原子炉の実用化に成功した。

(2) 新型炉開発の動向

現在、運転中の発電用原子炉は、殆どが第1世代炉、第2世代炉と呼ばれるものであるが、最新型の第3世代炉も一部が実用化されている。第3世代炉は第2世代軽水炉の改良型として開発され、ABWR、APWR、System80+、AP1000、EPR（欧州加圧水型炉）等があり、最新型燃料、受動的安全システムの採用、熱効率の向上、建設・運転コストの低減などが特徴となっている。このうち、ABWRは日本で4基が運転開始されている他、日本、米国、英国で建設・計画中である。他の炉も日本、米国、韓国、中国、欧州等で建設・計画が進められているが、福島第一原発事故の影響等で一般的に工程が遅れている。

2030年以降の新たな炉概念である第4世代原子炉の研究が、日本、米国、フランス、ロシアなど12ヶ国とEUにより結成された第4世代国際フォーラム(GIF)で進められている。ナトリウム冷却高速炉、超高温ガス炉、ガス冷却高速炉、超臨界水冷却炉、鉛冷却高速炉、熔融塩炉を開発対象としており、主な開発目標は、高い安全性、核拡散抵抗性、廃棄物と天然資源利用量の最小化、原子炉の建設・運転費用の低減である。

高速増殖炉(FBR)は、ウラン資源の利用効率を飛躍的に高めることから、米国、英国、ロシア、フランス、日本他でナトリウム冷却型炉の開発が進められたが、技術的課題や経済性、政策変更等から英国や米国では撤退又は中断している。現在は、ロシア、中国、インドで積極的に開発が継続されており、日本及びフランスは、増殖から放射性廃棄物対策へ主眼を移し開発を継続することとしている。

燃料が豊富で廃棄物発生が少なく重大事故も起きないという特長を有し、将来のエネルギー源の本命として期待されている核融合炉については、トカマク型の実験炉 IETR が、国際的な枠組みで、

2020年代の運開を目指しフランスにおいて建設中である。この他、各国において、2040～2050年代の実用化を目標に、ヘリカル方式や高速点火レーザービーム型の核融合炉の研究も進められている。

以上