

小型炉の研究開発動向

原子力グループ 西田直樹

福島第一原子力発電所の事故は、環境に大量の放射性物質が放出され、甚大な被害を及ぼした。この事故は、各国の原子力政策や原子力安全規制のあり方に大きな影響を及ぼしたが、地球環境問題への対応、エネルギー事情等から、事故以降も安全性を高めつつ引き続き原子力を活用しようとする国は少なくない。

このような状況において、電気出力が従来の軽水炉より小さく¹、安全性が高いとされる小型原子炉が注目を集めている。震災直後に米国ビルゲイツ氏が、小型原子炉の開発に多額の私財を投じると報道された²事を始めとして、国内でも玄葉国家戦略相が「小型炉など次世代原子炉がエネルギー戦略で一定の役割を果たすことになるかもしれない」と示唆する³など、一定の期待が持たれていると言えよう。また、米国 Babcock & Wilcox 社が新たに小型モジュール炉部門を設置すると発表したように⁴、ビジネスチャンスとしても認識されつつある。

具体的な炉型としては、東芝が開発した「4S(Super-Safe, Small and Simple)炉」、ビルゲイツ氏が出資したプロジェクトで検討されている、4S 炉の技術も活用した「進行波炉(TWR: Traveling Wave Reactor)」、GE 日立ニュークリア・エナジー社が開発し、近年、英国への売り込みが報道された⁵「PRISM(Power Reactor Innovative Small Module)炉」が取り上げられている。このほかにも、日本原子力研究開発機構が建設した「高温ガス炉(高温工学試験研究炉、HTTR: High Temperature engineering Test Reactor)」等の研究も進められている。

小型炉は、原子炉出力が小さいことから、原子炉の冷却機能喪失時には空気冷却で除熱できるなど、大気の大気循環や重力等により事故時の安全機能を達成できることから、従来型大型炉と同等かそれ以上の安全性が確保できるとされている。そのため、例えば福島第一原子力発電所事故のように電源や海水ポンプ等が損壊した場合においても、受動的に炉心の冷却をある程度維持することができる。また、万一炉心溶融が発生したと仮定しても、原子炉内に存在する放射性物質質量は大型の軽水炉より当然小さく、(福島第一原子力発電所事故のような大型原子炉による事故と比較すれば)被害範囲は小さくなるであろう。

元来、原子力発電所の建設費は、火力発電所等の他の電源と比較すると高価となることから、大型化することでスケールメリットを生かし、建設費や運転維持費を低減する方向性で開発が進められてきた。そのため、単純に小型化すれば、発電出力当たりの建設費や運転維持費が高価になるが、安全系機能の簡素化による物量低減、消費地近くに立地することによる送電ロスの低減や排熱利用、大量生産による量産効果等により、コスト低減への期待がなされている。また、前述した4S 炉や PRISM 炉は、冷却材に金属ナトリウムを、また HTTR はヘリウムを採用しており、冷却材温度が高いことから、熱効率の向上や水素製造等への活用も期待されている。

小型炉は、その固有安全性に注目されがちであるが、ここでは主に、商業炉として長期間運用する上での課題を中心に考えてみたい。

まず、これらの小型炉では、冷却材としてナトリウムやヘリウムを利用する事から、配管等構造材の長期健全性を確保するとともに、いかに冷却材の漏洩を防止するのか、漏洩拡大を防止するのか、が問題となる。軽水炉では、ステンレス鋼が水に対する耐食性に優れることから、配管材料等で広く採用されているが、応力腐食割れのように当初は想定していなかった劣化形態が長期運転時には支配的になることが判ったのは、長時間の運転経験を蓄積したからこそ得られた知見である。もちろん、冷却材の漏洩が発生した場合でも大事故となる懸念は少ないであろうが、頻りに冷却材が漏出したのでは稼働率が低下し、経済性が大きく低下することとなる。そのため、実機もしくはそれに近い条件

¹ IAEA で採用されている分類によると、小型炉は電気出力 300MW 以下とされる。参考：http://www.iaea.org/NuclearPower/SMR/

² AFPBB.2010.3.23

³ ウォールストリートジャーナル.2011.8.12

⁴ B&W 社プレスリリース.2012.1.11

⁵ World Nuclear News .2011.12.1.http://www.world-nuclear-news.org/newsarticle.aspx?id=31293

で多くの経験を積み、長期間の運転時にも冷却材の漏洩を防止できる、あるいは漏洩拡大防止できる技術を確立することが必要である。ナトリウム炉であれば、同じく冷却材にナトリウムを採用している日本の「常陽」、フランスの「フェニックス」「スーパーフェニックス」等の高速増殖炉で得られた知見を生かしつつ、小型炉の経済性を損ねずに長期健全性を確保するための技術開発、例えば腐食しにくい配管素材の開発や不活性ガス充填技術等が確立できるかが鍵となろう。

また、小型炉は低出力ゆえに、燃料交換をせずに運転可能とのコンセプトも成立し得る。燃料交換が不要となれば、メンテナンスの負荷は軽減されるであろう。しかし、逆に言えば燃料は寿命期間である数十年にわたって炉内に滞在することから、燃料の長期健全性をいかにして確保するかという別の課題が生じる。小型炉の冷却材や温度条件は、従来の軽水炉とは異なり、軽水炉で蓄積された知見の活用は限定的とならざるを得ず、燃料の長期健全性は実験炉や照射試験等で確認することとなろう。

一方、経済性向上のためには、冷却材温度が高温であることを活用した水素製造が有望であると考えられるが、例えば、水素製造施設における爆発等の事故が原子炉の安全性を損ねないようにするための検討を進める必要もあろう。併設する水素製造プラントにおいて爆発事故が発生すれば、原子炉の安全に影響を及ぼす恐れがあることから、隔壁の設置や離隔距離を確保することにより波及的影響を阻止する対策等が考えられるが、これらの対策は経済性の低下に繋がる。現状では、水素製造プラントといった併設される施設・設備を含めたトータルの定量的なコストは不明であり、プラント全体の基本設計を固め、建設コストを試算した上でなければ経済性の比較評価は困難である。

以上のような不確実性に伴う問題は他にもあると考えられる。小型炉については、初期建設コストは無論のこと、維持管理コストを定量的に判断する事は現在の限られた知見では困難であり、既設の大型炉と同等かそれ以上の安全性を有していても、現段階では経済的に建設・運転できるとは言い難い。しかし、これらの問題は、今後研究開発を進めることにより具体的な解決を見出すことができる可能性はある。小型炉はその固有安全性ばかりに注目されがちであるが、材料・特性や利用目的が異なることを踏まえたコスト成立性を含め、実証的な検討・検証が望まれる。

お問い合わせ：report@tky.iecej.or.jp