

私の意見「GEPR 記事『もんじゅ再稼働、安全性の検証が必要』への異議」

2016.4.13 碓本岩男

1、まえがき

4月4日のGEPRに「もんじゅ再稼働、安全性の検証が必要」という東工大高橋実教授（科学技術創成研究院先導原子力研究所）の記事が掲載されている。

このタイトルに異議はないが、記事の内容には、異議がある。筆者は機械技術屋であり、安全については専門ではないが、この記事の内容は、原子力発電プラントの安全性確保の考え方、炉型の違いによる特徴、特性を十分理解できておらず、ナトリウム冷却炉の危険性を煽っている内容に思える。そこで、この記事に対する筆者の主張を述べてみる。

なお、筆者の主張は、2014年春の原子力学会で報告されている内容^(注1)に基づいている。

2、原子力プラントでの重大事故時に守るべき機能

全ての炉型（軽水炉、高速炉、ガス炉など）で共通であるが、原発の安全確保とは、最終的には公衆被曝と環境への影響の防止であり、重大事故時であっても放射性物質の放出を制限するために、放射性物質を格納する機能を維持しておく必要がある。

重大事故が発生した場合に放射性物質を格納する機能の維持を期待するのは、少なくとも燃料被覆管（燃料被覆材）、1次系バウンダリ（圧力バウンダリ、冷却材バウンダリ）、原子炉格納容器（コンファインメント）といった格納バウンダリ（格納障壁）のいずれか一つである。

重大事故発生時、放射性物質の放出制限のために、どの格納障壁により行うのが合理的であるかは、原子力プラントの炉型（プラントの特徴）と、重大事故事象推移によって異なる。

3、ナトリウム冷却炉の特徴

高速炉の多くは冷却材に液体金属のナトリウムを用いている。ナトリウムは化学的に活性であり、水と反応するという負の特徴がある。これのみを強調してナトリウム冷却炉の危険性を指摘する一部専門家もいるが、これは化学的活性の観点からだけの一面しか見ていない意見である。ナトリウムは水と比べて沸点が高い（大気圧で水が約100℃に対して、ナトリウムは約880℃）。このため、軽水炉では1次系の圧力を70～150気圧の高圧にしなければならないが、ナトリウム冷却炉の場合には1～5気圧程度の低圧での運転が可能である。この軽水炉に比べて圧力が著しく低いという特徴により、冷却材バウンダリが損傷したという万が一の場合に、炉心部での冷却材挙動が大きく異なる。軽水炉においては急激な減圧によりフラッシングが起これ、一時的に炉心が露出するが、ナトリウム冷

却炉では炉心が露出することはない。この観点からは、ナトリウム冷却炉の安全性は軽水炉よりも優れているとも言えるのである。また、ナトリウムの熱伝導率は水の 100 倍以上あり、密度は水よりも小さいことなどから、除熱特性も水と比べて著しく大きく、自然循環により崩壊熱除熱が可能である。このため、軽水炉のように常に大容量電源が必要なポンプで冷却材を循環する必要ではないという優れた特性がある。

4、GEPR 記事への異議

GEPR 記事の内容について、筆者の異議を以下に述べる。太字は記事の内容である。

「**高速増殖炉の冷却材には鉛合金などナトリウムより安全な冷却材がほかにも考えられます**」

⇒高速炉の冷却材として、鉛合金がナトリウムより安全と述べているが、これは前述の通り、鉛合金がナトリウムと異なり化学的に水に対して不活性であるという化学的活性の観点からの意見に過ぎない。鉛合金は密度がナトリウムの約 10 倍、比熱は約 1/10、熱伝導率は約 1/5 である。しかも、構造材（主としてステンレス鋼）に対し、ナトリウムの場合には腐食量が非常に小さいが、鉛合金は有意に大きく、これらの特徴を考慮して高速炉プラントの設計、製作を考えた場合には、耐震性、容器、配管の強度（減肉）などから、むしろ、鉛合金の方が危険性は大きいとも言える。

事実、鉛合金を冷却材とした高速炉としてはロシアに SVBR（出力 10 万 kW）という炉があるが、そのロシアでも BOR60、BN350、BN600、BN800、BN1200 という高速炉がナトリウムとなっていて、高速炉の冷却材の主流はナトリウムである。ロシア以外でもフランス、中国、インドなどで開発が進められている高速炉の冷却材もナトリウムが主流であり、過去の高速度炉でも PFR（英）、PHENIX、S-PHENIX（仏）、EBR、FFTF（米）などもナトリウム冷却である。これらの実績からも、冷却材として鉛合金よりもナトリウムが高速炉に適していると言える。

（東工大は鉛合金冷却の研究を行っており、東工大教授の「鉛合金がナトリウムより安全」という主張には、技術的な意味とは異なる意味の疑念を筆者は抱いてしまう）。

高速炉の安全思想の限界として以下が述べられている。

「炉心溶融が起こっても、ナトリウムの自然循環冷却機能によって溶融炉心が原子炉容器内に保持される（In-vessel retention: IVR）という考え方は、非常用冷却設備やメンテナンス冷却系が正常に機能した場合にのみ成り立つものです。（中略）三系統合計で約 45MW の冷却能力があり、一系統だけでも崩壊熱発生の初期段階を除けば冷却できると説明されています。つまり福島第一原子力発電所で問題となったような全電源喪失事故時の崩壊熱の除去機能は、ナトリウム二次冷却系 3 系統に付属した非常用冷却設備で行われることになっています。これらが作動するから崩壊熱除去に問題は起こらないというのが、現在の説明です。しかし、これらの非常用補助冷却設備の空冷設備が全部作動しなかつ

つたらどうなるでしょうか。外的攻撃等の不測の事態で空気冷却器が全部停止することも想定しておかなければなりません。」

⇒記事では、重大事故対応として、ナトリウム冷却炉の IVR（溶融燃料の原子炉容器内保持）での除熱について、パッシブ（受動的）な自然循環冷却も可能な補助冷却系 3 系統及びメンテナンス冷却系の機能喪失を重ね合わせる状態を想定し、問題にしているが、軽水炉においても同様な安全機能を全て失うような多重故障を想定すれば、格納容器破損に至ることは容易に想像できる。

原発の安全確保の考え方として深層防護があり、IAEA では第 1 の防護レベルから第 5 の防護レベルを定めている。重大事故対策は第 4 の防護レベルである。

軽水炉は一次系冷却材の圧力が高く、沸点が低いという特徴があるので、設計基準事象である配管破損(大破断 LOCA：冷却材喪失事故)の状態ですでに一次系内の冷却材は瞬時に失われ、炉心が露出する状態となることが分かっており、この場合の炉心冷却は格納容器全体を使って行われる。このため、軽水炉においては、そもそも IVR で重大事故に対応するという考え方が、設計思想上合理的でない。一方、ナトリウム冷却炉の場合には一次系冷却材の圧力が低く、沸点が高いため、ガードベッセルなどの対策で冷却材液位、冷却機能が維持できるので IVR の状態で炉心を冷却するのが設計上合理的な対応といえる。

即ち、炉型、プラントの特徴を踏まえれば、ナトリウム冷却炉の IVR の除熱は軽水炉の格納容器内除熱と同じ第 4 の防護レベルであり、ほぼ同等の確率で、放射性物質の放出を合理的に達成できていると解釈できるのである。

なお、記事で述べられている複数系統がある空気冷却器が全部停止（全ての安全対策機能不全）というような著しく発生確率の低い事象は、重大事故よりもさらに発生確率が小さい事象であり、通常、こういった事象は「残余のリスク」として考えることになる。

深層防護の思想から言えば、例え「残余のリスク」であっても対応策がないことは許容されない。このため、基本的には「残余のリスク」に対しては第 5 の防護レベル、即ち放射性物質の格納施設からの放出の抑制、人及び環境への放射線の影響の緩和として対応することが自然である。これに対応する軽水炉の安全対策は、泡放水砲などが考えられており、ナトリウム冷却炉の場合には窒素冷却などが考えられている。

どんな原子力プラント（軽水炉、高速炉、ガス炉など）であっても、仮定に仮定を重ねて安全対策を喪失させれば非常に過酷な状態となる。これは原発に限ったことではなく、飛行機、鉄道、自動車、船舶、ビル、橋梁、トンネルなど全ての工業製品に共通である。

要は、安全設備が機能しなくなった場合のリスクがどのくらいなのか、その確率は炉型で異なるのか、他の工業製品の安全機能喪失と比較して、その確率は十分小さいのか、工学的に意味がある対応と言える。

「非常用補助冷却設備が正常に動作したとしても、二次冷却系に中間熱交換器を介して接続されているという点で、原子炉の炉心から遠く離れたところに位置していますから、

「一次冷却系がすべて循環停止の状態に陥ったらどうなるでしょうか」

⇒健全な非常用補助冷却設備が、原子炉の炉心から離れた位置にあり（実際には遠くと言うほどの距離はないが）、中間熱交換器に接続されていると、何故、一次冷却系すべてが循環停止の状態に陥るのか話の展開に飛躍があり、想定が理解できない。

「崩壊熱の除去が全くできない状況に陥ってしまいます。そうなれば熔融炉心の温度は際限なく高くなって、ついには原子炉容器の底を突き破り、格納容器内に流出します。このとき、熔融炉心を冷却する手段は全くなりません。なぜなら、冷却材のナトリウムが蒸気あるいは液体となって一緒に流出した場合、軽水炉のように水で冷却することは不可能だからです」

⇒冷却媒体は水だけではないのである。ナトリウム冷却炉の熔融燃料の冷却は、前述の通り、窒素ガスでも可能であると考えられている。また、仮に記事に示されたような状態となったとしても、ナトリウム冷却炉は軽水炉と比べて、事象推移の時間余裕が大きいという違いがある。ナトリウム冷却炉の場合には、大きなイベントリーの冷却材が系統内に残っているため、温度上昇速度はゆっくりであり、その間に崩壊熱のレベルも下がっていくものと考えられている。

「格納容器に漏れ出た熔融炉心を水などで冷却できなくなると、熔融炉心の温度は上昇する一方で事故の終息は不可能となり、どうすることもできない深刻な事態に陥るのである。言い換えれば、「もんじゅ」が新規規制基準に合格するためには、「ナトリウム冷却高速炉の熔融炉心が原子炉容器の外に流出することは絶対にない」という軽水炉とは異なる新基準を規制委員会が受け入れなければなりません」

⇒既に述べたように、ナトリウム冷却炉の場合の重大事故対応（第4の防護レベル）はIVRで対応できている。熔融燃料が格納容器に漏れ出る事象は、重大事故を超えた事象として想定するのであり、絶対にないということではなく、この場合にも対応することを考える必要があり、実際に対応は考えられているのである。

ナトリウム冷却炉の安全に対する基本的考え方も、新規規制基準で定められた安全確保の考え方と同じであり、炉型（プラントの特徴）が違うことにより軽水炉とは具体的な安全対策が異なっているというだけである。このため、軽水炉と同じ新規規制基準の考え方を炉系の異なるナトリウム冷却高速炉に適用した場合の具体的な対策の違いを考慮した規制基準の策定の必要性を規制委員会に理解してもらえば良いのである。

「福島第一原子力発電所の事故を経験して、新規規制基準のもとで原子力発電所の再稼働の審査が行われています。このとき、重大事故によって最悪の事態に陥っても事故を終息させることができることが最も重要と考えられています。ところが、「もんじゅ」では、熔融炉心が原子炉容器の外に流出するという最悪の事態は想定からはずさなければならぬ

いのです。溶融炉心が原子炉容器の外に流出することを想定すると、事故の収束は絶望的になるからです」

⇒これも重大事故対応（第4の防護レベル）と、重大事故を超える事象の対応（第5の防護レベル）との違いを理解できていない主張であり、前述の通り、溶融炉心が原子炉容器の外に流出することを想定した対応策としては、例えば軽水炉より時間は掛かるものの、窒素冷却等により事故の収束は行えるものと考えられている。

5、まとめ

4月4日のGEPRに「もんじゅ再稼働、安全性の検証が必要」という東工大教授の記事が掲載された。この記事の内容は、安全が専門ではない筆者から見ても、原子力発電プラントの安全性確保の考え方、炉型の違いによる特徴、特性を十分理解できておらず、ナトリウム冷却炉の危険性を煽っているだけの内容に思え、筆者の主張を述べた。

この記事（東工大教授の主張）には、軽水炉とナトリウム冷却炉では冷却材の圧力、沸点等に著しい違いがあり、この特徴を踏まえてそれぞれが重大事故対応を図っていることへの事実誤認（間違い）や、深層防護、即ち第4の防護レベルと第5の防護レベルの違いも理解できていないと思える主張があった。

ナトリウム冷却炉に対しては、反原発派が化学的活性と言うナトリウムの負の特徴だけを取り上げた主張を良くしているが、この記事の内容もそれに近い。東工大教授であり、ナトリウムの特性を理解していないとは思えないので、恣意的に危険を強調していると勘繰られても仕方がないような内容である。

ナトリウムは沸点が高く（このため一次系の圧力が低い）、熱伝導率が大きく（除熱特性、自然循環力に優れている）、構造材との共存性が良い（構造材の腐食が小さく、アルカリ環境なので応力腐食割れも生じない）などの安全上優れた特徴があり、冷却材として適していることを、多くの人に理解してもらいたい。

以上

（注1）日本原子力学会 2014年春の年回 新型炉部会セッション 「研究開発段階発電用原子炉に対する規制基準に関する論点」