

【質問 3】日本の原子力技術について：プルサーマルのメリットだけではなく、新潟県中越沖地震時における柏崎刈羽原子力発電所の安全停止など、日本の原子力の技術力について説明してほしい。

また、外国に原子力発電所を売り込めた事例等、世界との関わり合いを紹介してほしい。

【回答：長谷川雅幸氏】

■「止める」「冷やす」「閉じ込める」が機能した柏崎刈羽原子力発電所

私に与えられた質問は大きく分けて二つあるのではと思っています。最初は、新潟県中越沖地震の時に東京電力の柏崎刈羽原子力発電所の安全はどうであったかを少し具体的に説明して欲しいと言うこと、さらにそれらに関する日本の原子力技術は現在どういう状態にあるのかだと思います。

次いで第 2 問は、これは直接プルサーマルには関係しないかもしれませんが、外国に原子力発電所を売り込めた事例、世界との関わりを紹介して欲しいということだと思います。それらについて私なりにお答えしたいと思います。

2007 年 7 月 16 日、東京電力の柏崎刈羽原子力発電所のごく近くに震源をもったマグニチュード 6.8 の地震（新潟県中越沖地震）が起きました。このような地震の場合、原子力安全にとって最も重要な機能は、よく言われることですが、「止める」「冷やす」「閉じ込める」ということです。

「止める」というのは、原子炉を止める、具体的には全制御棒を炉心に全挿入し、原子炉内部で起こっていた核反応（核分裂反応）を止めることです。

「冷やす」、原子炉圧力容器（お釜に相当）には、原子炉水が張ってあります（沸騰水型原子炉 BWR の場合、約 280℃、70 気圧で沸騰状態にあります）が、先ずその水位を確認すること、それを 100℃未満、大気圧に圧力を下げた状態にすることを「冷やす」という言葉で表現しています。原子炉が停止しても、燃料ペレットに含まれている放射能のため発熱します。このため、半減期の短い放射能が弱まる（減衰する）まで、炉水を冷やしながから原子炉の温度を下げる必要があります。

「閉じ込める」というのは、燃料ペレット内に含まれている放射能を閉じこめることを意味します。これに関して、よく「五重の壁」という言葉が出てきます。1) 燃料ペレット自身、2) 燃料被覆管、3) 原子炉圧力容器、4) 原子炉格納容器、5) 原子炉建屋、の 5 つが放射能を閉じこめる五重の障壁となっていると言う意味です。先ほどの話にもあった燃料ペレット（直径 10mm×長さ 10mm）の中には、核分裂生成物、ウランやプルトニウムなどの放射能が含まれています。地震が起こったときに、原子炉が停止し、燃料ペレットが含まれている燃料棒が健全であればほとんど心配することはありません。新潟県中越沖地震の時の東京電力の柏崎刈羽原子力発電所では、地震後もこれらの健全性はすべ

て確保されておりました。

新潟県中越沖地震で一番問題になったのは、東西南北方向の最大加速度です。たとえば1号機の東西方向で680ガルありましたが、設計で想定されていたのは273ガルでした。設計値よりも何倍もの加速度が検出されたわけです。これは原子炉格納容器ですが、ここに地震計が設置されています。これらの地震計が水平方向120ガル、垂直方向100ガル以上の加速度を検出すると、自動的に原子炉が止まるように設計されています。新潟県中越沖地震での柏崎刈羽原子力発電所では、設計通り、地震加速度信号があつてから1.7秒以内に600本あまりの制御棒が設計通り自動的に炉心に入って原子炉が止まりました(自動スクラム)。

さて、柏崎刈羽原子力発電所の他の原子炉では、3号機、4号機、7号機が定格出力で運転中、2号機が起動中でした。これら全ての原子炉で、地震発生後自動的に全ての制御棒がきちんと炉心に入り原子炉が停止しました。例として4号機で言えば、185本の制御棒が1本も問題なく全挿入されました。地震信号によって、制御棒を自動的に挿入し原子炉を停止するシステムが完璧に働きました。

「冷やす」について述べます。先にも述べましたように、これはこの原子炉圧力容器というお釜です。原子炉水は沸騰状態ということで、これらは気泡を模しています。原子炉が停止し、水温が下がってもこの水位はきちんと保たれました。すなわち、温度が低くなって気泡が消失しても、きちんと水位が保たれました。この状態で約1~2日以内に、原子炉内部は100℃以下まで冷え、大気圧となりました。

「止める」、「冷やす」を復習してみます。ここに燃料棒・燃料集合体があります。制御棒が、下部から上の燃料集合体の間完全に入って、原子炉が完全に停止しました。次いでここの弁などが開いて、復水器系統や残留熱除去系統の冷却装置システムが設計通り動作して、原子炉の冷却も完全に行われました。なんの問題も無く全て完全に機能したわけです。また、「閉じ込める」では、この燃料ペレット、燃料被覆管に何にも問題ありませんでしたから、それは当然閉じこめるということに全く問題はありませんでした。

「冷やす」ということについて少し説明を加えてみます。これは、原子炉温度の時間変化を示したものです。原子炉を停止するときの通常の手順の場合、運転時の約280℃から約1日かかりで冷却されます。この緑が100℃のラインですが、今回の地震の場合も、このように通常通り冷却されました。ただし、3号機と4号機の間ブロアアウトパネルが壊れたことから、3、4号機を同時に冷却できなかったため、3号機の冷却が優先されました。このため、4号機の冷却はこのように少し遅れました。全体として、問題なくある時間の範囲内に冷やすという条件が達成されました。

さて、冷やすという作業について、付け加えさせていただきたいことがあります。“冷やす”作業は、大部分自動で行われるところもありますが、やはり各段階を見守り、チェックする必要もあります。大地震という過酷な状況のもとでも東京電力の運転員の方々は、上記のように、きちんと任務を果たされました。このことを高く評価してあげないといけ

ないと思います。地震後の東京電力の対応について、いろいろ意見も出ていますが、何よりも4機をきちんと止め、「止める」、「冷やす」、「閉じこめる」というもっとも大事な責任を全うされたということは、賞賛されてしかるべきだと私は思っております。

まとめると、「止める」では全制御棒挿入はきちんと行われ、原子炉は停止しました。「冷やす」では、原子炉は一定の時間内に冷温大気圧状態になりました。「閉じこめる」では燃料被覆管・燃料集合体は破損することなく健全であり、燃料ペレットからの放射能の放出はありませんでした。

燃料を保管しておくプールが揺れたために、6号機ですが、僅かですがプールの水があふれ出て床下ケーブル貫通部を通じて非管理区域（一般管理区域）へ漏洩し、それが非管理区域の排水設備から放水口を経由して原子力発電所外に出ました。なおこの放出放射能に由来する放射線量は、我々が自然界で1年間に受ける線量の約10億分の1と見積もられています。

7号機では、排風機を止める操作が遅れたために、復水器から排気筒（煙突）を通じて、僅かですが、放射性ヨウ素ガスや粒子状放射性物質が大気に放出されました。これによる放射線量は我々が自然界で1年間に受ける線量の約1000万分の1と見積もられています。

以上についてのまとめは国際原子力機関(IAEA)の報告書にも記載されています。その事はIAEAに言ってもらうまでもないことですが、国際的な第三者ということですので、IAEA調査団の報告書を引用しておきます。それによれば、1) 三つの基本安全機能、「止める」、「冷やす」、「閉じこめる」は確保されました、2) 極めて微量な放射能の漏洩があったが、その放射線量は、個人の被ばく量規制値に比べて大変低い、3) 安全に関するこのシステム及び機器は大地震であったにも関わらず、予想より非常に良い状態であり、目に見える損害は無かった、4) 今回の地震の影響で発電所の下に活断層がある可能性を考慮して再度耐震バックチェックを下さい。これについては、実際そのようなチェックが行われています。5) 各機器は通常運転では起動するであろうが、隠れたダメージを受けているかも知れないことを考慮すべきだ。これに関しても現在、新潟県の東京電力では一生懸命努力しています。

なお言うまでもなく、日本の原子力発電の地震対策技術は世界で最も進んでいます。さらに現在、各電力会社では、地震理工学、耐震工学の最新の成果を取り入れ、原子力発電の安全・安心を増すように一層の努力がなされています。

■世界の核をなす日本の原子力発電技術

さて、今度は日本の原子炉の技術力に関して紹介します。これもご存知の方多いと思いますが、世界の原子力業界は、大きく分けて3つのグループになります。

まずは東芝です。最近東芝がアメリカのウェスティングハウス(WH)を子会社化しました。東芝自身は沸騰水型原子炉(BWR)の原子炉を扱っていましたが、WHという加圧水型原子炉(PWR)の会社を買収して子会社化しましたので、東芝は世界で主流の両方のタイプに対

応出来るようになりました。

次は日立製作所とアメリカのゼネラルエレクトリック(GE)の連合があります。また三菱重工は、元々は WH と提携関係にあつて PWR を担当していましたが、東芝の WH の子会社化に伴って、提携を解消し、独自の PWR 路線をとっています。それからヨーロッパにはフランスのアレバ社があり PWR を担当しています。なお三菱とアレバは連合というよりも緩い協力関係にあります。

その他最近では、韓国が非常な勢いで原子力発電所輸出を進めてきています。我々の偏見かもしれませんが「韓国が何で？」と思われるかも知れません。韓国の原子力発電所は運転実績・稼働率やコストの面で非常に優れているということをうたい文句として、韓国政府が先頭に立って売り込みを図って来ています。その結果、実際アラブ首長国連邦の原子力発電所建設の受注に成功しています。

ただし、肝心な部分の一部は WH なり東芝なりによるとのことです。従って韓国が受注した売り上げの 2、3 割相当は東芝・WH によると伝えられています。

さて、日本は以上のように原子力発電に関し世界的に優れた技術をもっています。何かひとつその目玉になる技術ということで、原子炉圧力容器の例を紹介させていただきます。室蘭にある日本製鋼所は、原子炉圧力容器製造で世界の約 80% のシェアを持っています。例えば東芝だろうと、アレバであろうと、三菱であろうと原子力発電所建設の注文を受けた場合、ほとんどの場合、原子炉圧力容器は室蘭で作られることになります。なお、これに関しても、韓国などが日本製鋼所にとって代わろうと一生懸命頑張っています。

この写真はこの原子炉圧力容器の胴の部分です。素材となる材料(低合金鋼)の溶解後、これから鍛造にかかろうとするところです。これら原子力圧力容器の製造技術に関して、日本製鋼所は優れた技術と実績を持っています。従って、日本はこの分野で世界トップです。

最近、米国などでは原子力産業が活発になってきて、いわゆる原子カルネッサンスと呼ばれるような状態になってきています。ここ数十年、米国などでは新規原子力発電所の建設がないなど、原子力産業が停滞していましたが、最近少し活発化しているわけです。米国では、新規建設の許可申請もなされ、サウス・テキサス発電所ではその 2 基(3,4 号機)が発注に近い状態になっているとのこと。

一番活発な動きがあるのはアジアです。中国、インド、さらにはベトナム、タイ、インドネシアなど、いずれも非常な勢いで原子力発電を導入しようとしています。特に、中国、インドでは特にものすごい勢いです。また、ロシア、中東諸国、アフリカ、南米や中東諸国でも、新規建設を目指しています。

ヨーロッパのある国々では、1980~1990 年代にかけて、原子力発電所の新規建設凍結や既存原子炉の段階的廃止政策がとられてきました。例えばドイツ、スウェーデンやベルギーなどでは何年後に停止すると決めました。しかし、その停止期限が迫ってきた現在、それらの国では、代替エネルギー源が未だ開発できないことやエネルギー・セキュリティ

(安全保障)の観点から、停止政策を見直しつつあります。実際、ドイツ、ベルギー、スウェーデンなどは見直し政策をとりつつあります。なおドイツでは、ご存知のように、それに対して猛反発があるのも事実でございます。先ほどの一般講演の時に述べましたように、主要エネルギーというのは、コスト、環境、供給信頼性やセキュリティ、規模などいろいろな条件すべてで夢のようなエネルギー源はないのです。取って代わるものはない段階で原子力を止める政策はなかなか難しいのではと思っております。

アラブ首長国連邦の新規原子力発電所、これについては、私は石巻での市民勉強会(今年1月)でも紹介しました。韓国は、李明博(イ・ミョンバク)大統領が先頭に立って、その原子力発電所建設ビジネスに乗り出し、原子炉の建設・運転から一切含めた60年間契約の注文を取りました(2009年12月)。日本の方々、日本の原子力発電ビジネスが負けただけと思われるかも知れませんが、この受注は、それだけではなく、実はそれに見合う石油が60年間確保されたということでもあります。よくよく全てが絡んでくることに注意していただきたいと思っております。

これはアラブ首長国連邦の新規原子力発電所受注に関する朝鮮日報の記事なのです。少し脱線しますが、朝鮮日報の記事もネットで見られますから、たまには見られると良いと思います。韓国に限らず外国の新聞記事からは、日本の新聞にはない世の中の見方が伺え参考になることも多いと思っております。

ベトナムの新規原子力発電所建設も最初の2基についてはロシアが注文を取りました。ベトナムに関しては、すさまじいビジネスで、潜水艦込みで原子力発電所はどうだということだったとも伝えられています。その後日本も盛り返しまして、第2期の新規原子力発電所の2基については日本がほとんど注文をとっているような状況だとのこと。どこまで本当かは知りませんが、新幹線と込みだ、込みでないとか、と言うことも伝えられたりしています。このようにエネルギービジネスというのは物凄い世界なのです。

だからといって原子力発電所の安全性を無視して良いということでは決してありませんし、安全性は何よりも大事です。しかし、食料、資源、エネルギー問題では、このようにいろいろなことが絡んでくるということもご理解いただきたいと思っております。