

(社)日本原子力産業会議

専務理事 森 一 久

150数十件
150数十件
昨年末の高速増殖炉「もんじゅ」のナトリウム漏洩の発生以来、数カ月が経過した。この出来事は、技術的には、日本としてはいささか恥ずかしいやや初歩的な設計ミスによるものであり、また漏れたのは放射能のない二次系ナトリウムで、内外の人身への影響も皆無だった。またナトリウム漏れは、世界の高速炉開発の歴史では珍しい事ではなく、今日まで放射能を伴うものを含め200件も起きている（日本だけはこれまでゼロ）。（表1、表2）。それにも係わらず、この出来事は大きな社会的反響を招き、高速炉開発自体への疑問まで投げかけられている。いま当事者の動燃のみならず原子力関係者は、未だその衝撃から覚めやらぬまま、ひたすらに広く社会の意見を聞き、その中から打開のみちを探りつつある。この際真摯にその成果を受け止め、開発が遅からず再び軌道に乗ることを、筆者も勿論願っている。

反響？

しかしながら、当面の事態の收拾も大切な事にちがいないが、関係者は同時に、折角起きた（妙な言い方だが）この出来事の背景あるいは深層に横たわる問題をほりこし、これに果敢に取り組むことによって、日本の原子力開発全体を、いわば現象的にでなく構造的に、国民の真の信頼の上に据えなおすことが、正に災いを転じて福となす所以であろう。本稿は、核燃料リサイクルの意味、「もんじゅ」のナトリウム漏れの実態と原因や問題点を整理するものであるが、このような問題点になるべく浮き彫りなるよう心掛けたいと思う。

なぜ高速増殖炉；プルトニウムか

現在世界の電力全体の六分の一、約17%は原子力発電によっており、この4億kWの原子力発電所の発生電力は石油の5億トン（世界の石油貿易量の30%相当）にあたり、石油等の需給・価格の安定に大きく寄与している。これら原子力発電所の殆どは、いわゆる軽水炉で燃料の天然ウラン中にある燃えやすい成分「ウラン235」を主として利用し

ている。

軽水炉の場合、ウラン235を3%くらいまで濃縮して使うため、「濃縮」は米欧に天然ウランを運んで委託するので、手間もかかり、また濃縮をしてもらった相手国から規制も受けることになる。ウランの大部分99.3%は「ウラン238」で、そのままでは燃えない、つまり核分裂しないが、ウラン235の核分裂で出る中性子を吸収して核分裂性のプルトニウム239にかわる。軽水炉の場合でも、ウラン235の原子1個の核分裂で約0.7個のプルトニウムができています。この割合を転換率というが、軽水炉では転換率が1以上にならない。ちょっと複雑な話になるが、軽水炉では、発生電力の7割位はウラン235の核分裂のエネルギーによるが、残りの3割は、そのままでは燃えないウラン238が一度プルトニウムに変わり、そのプルトニウムが核分裂して発生するエネルギーによっている。そういう意味で、軽水炉中では、すでにプルトニウムが燃えているのである。

これこそ人類が始めて手に入れた可能性であり、或る燃料を燃やすことによって、同時に新たな燃料が創造されるなどという事は、未だかつてない科学上の発見である。そして、この原理を利用しウランの（ほぼ）全部をエネルギーとして利用しようとするチャレンジは、平和利用の最初から始まったのである。その努力の中心は、軽水炉のような遅い中性子の炉でなく速い中性子の炉「高速炉」の実現であり、実際人類最初の原子力発電は、45年前の1951年12月僅か100ワットの電灯を灯した高速炉実験炉EBR-I（アメリカ）であったし、その時すでに冷却材もナトリウムだった。

ウランもプルトニウムも、高速中性子なら核分裂の際できる中性子の数が多く、~~ウラン235~~からの転換率を1以上に、すなわち燃えた燃料より多くの燃料をつくることができる。それには、軽水炉等の使用済燃料の中から、残っているウラン、生成しているプルトニウムを化学処理でとりだし、（この工程を「再処理」という）そのPuを天然ウランにブレンドし燃料に再加工して、原子炉で再利用する（この燃料を「混ぜて作った酸化物」と言う意味でMixed Oxide [MOX] という）。この一連の過程を、核燃料リサイクル（図1）と呼んでいる。この過程を繰り返していけば、ウラン原料の内235だけでなく、238の方もエネルギーとして使えるわけで、関連技術の実用化に成功すれば、ウラン資源のエネルギー源としての価値は、一挙に数十倍のものになる。図2に石油、石炭と比較して資源量を示してあるが、人類はウランという石炭を遙に凌駕する千年はつかえる巨大なエネルギー源を手に入れることになる。その可能性に眼をつむって、軽水炉だけでウランを一過的に使い捨てにするなら、石油程度の数十年のものに終わることになる。

世界中で原子力平和利用が始まって20年位、1970年代始めまでは、米・英・ソ等を中心に、表3にみるように、高速炉や核燃料リサイクル開発のため多くの実験炉、原型炉などが建設、運転され、かなりの経験をつんできた。とくにフランスでは大型軽水炉並みの高速炉スーパーフェニックス（電気出力120万kW）等が、旧ソ連では海水からの真水生産もする35万kWのものがカスピ海沿岸で、またウラル地方で60万kWが、それぞれ若干の故障を経験しつつも運転されてきた。

しかし、二度の石油危機で原子力発電に拍車がかかり、そのため軽水炉が多数建設されその経済性も向上してきた結果、高速増殖炉を大幅に導入するには、その技術確立のみならずウラン価格の上昇を待たねばならないという情勢になってきた。その上、1974年突然、インドが平和利用を約束して輸入していた原子炉からのプルトニウムを使って、核爆発実験を行ったことから、プルトニウムの平和利用を国際的に制限する動きが始まった（インドはいまでもあれは平和用の爆発だったと強弁しているが）。とくに1978年にカーター氏が大統領に就任してからは、アメリカ政府は、それまでのプルトニウム利用奨励政策を180度転換し、日本・欧州の再処理にも中止の圧力を掛けはじめた。ちょうど完成間近だった東海再処理工場の運転に待ったをかけ、戦後初の日米対立となって、もめにもめた。当時はいまとちがって、マスコミも一斉にプルトニウム利用の自主開発路線を守れという論陣をはった。そのマスコミが今日では何故これほどプルトニウムに批判的になったのか、これが大きな疑問である。爆

さて国をあげて、被爆国日本の平和利用厳守をも強調しつつ、強力にアメリカを説得した。アメリカも結局、日本とヨーロッパの軍事転用の危険のない国については、既定のプルトニウム利用計画は、当分の間黙認しようということで今日に至っている。この結果それ以来、これら既定国以外の軽水炉の使用済み燃料については、国際的に当面そのまま貯蔵しておけ、というだけで、将来は未確定のままとなっており、このことが各国の原子力発電への合意形成の障害ともなっている。

日本は高速炉開発は、このような国際情勢を背景に徹底して自主国産の方針を貫いて、じっくりと計画をすすめて、1977年始めての実験炉「常陽」を完成した。この炉は当初熱出力5万kWだったのを倍の10万kWに改造して、各種の実験成果を重ねている。そしてその間、実に18年間、ナトリウム漏洩のトラブルなど全くないという、世界で例をみないすばらしい運転を続けている。次の原型炉「もんじゅ」（電気出力28万kW）は、技術開発や立地問題で計画が遅延したものの、一昨年完成、昨年8月には初送電にこぎつ

け、全出力を目標しての試運転中に、件のナトリウム漏洩を起こしたのであった。

ナトリウムの特性

さて高速炉は軽水炉に比べ、炉心で発生する熱が体積当たりで大きいので、冷却材（炉心の発生熱を取り出す材料）にナトリウムを使っている。表4に、各種の冷却材の比較を示したが、ナトリウムは食塩や化学材料として日常使われているものだが、水より2割ほど軽く熱をよく伝え高い温度でも気化しないので、軽水炉のように何十気圧もの圧力をかける必要はなく、循環させるための圧力（2～3気圧）で使える物質であるが、ただ常温では固体で100℃位に温めて液体にしておく必要がある。またナトリウムだと水より高温で熱を取り出せるので、発電の熱効率もよい。注意点は、空気や水に触れると激しく反応し、高温では燃焼するので、慎重な取扱いを要することであり、また比熱が水の約三分の一なので、循環量がおおくなること等である。

炉心で発生する熱を運び出す（つまり炉心を冷却する）ナトリウムは、核分裂反応から中性子によって放射化しているので、この炉心を通ったナトリウムから直接水蒸気をつくって発電するのではなく、一度別のナトリウムに熱を移しかえて（この装置を中間熱交換器という）、放射能のない「二次」ナトリウムで水蒸気を作り発電する。炉心、中間熱交換器、放射能を含んだ「一次」ナトリウムが循環する部分（図3の斜線の範囲）は、すっぱりと格納容器中に収められている。そして、格納容器内部は、窒素を充填してあり、万一一次ナトリウムが漏洩しても、燃焼したりして格納容器の外部に放射能が出るようなことのないようにしてある。すなわち、二次ナトリウムなど格納容器外の部分は、放射能は無いわけである。

「もんじゅ」ナトリウム漏れの真相

漏れは、昨年12月8日（金）午後7時47分、格納容器のすぐ外部、発電用の蒸気を作る蒸気発生器へいく二次ナトリウムの配管（Cループ）出口で漏れが起きた（図3の●印の箇所）。ナトリウム配管には、一次、二次とも、内部を流れるナトリウムの温度が正常かどうかを確認するため、合計数十本の「温度計」が挿入されている。表5に当時の時間表が示してあるが、まず運転員を驚かしたのは、二次ループの格納容器に最も近いA温度計が異常に「高い」値を示したことである。すぐ引続いて2、3分の間に、火災報知器やナトリウム漏洩警報がいくつも鳴り始めたので、異常事態発生は認識したものの、こん

な時、とっさにその原因を推理し確定して、しかるべき手を打つのは、並大抵のことではなからう。（そういう経験を積むことも、当然原型炉の役割だったはずである。）

いまこういう事を言うのは、いささか酷かもしれないが、最初からヒントはすでに出ていたといえるのであり、（近くのものが正常値を示しておれば、）この時点で当該温度計の破損が起きている、と気づいてもよかった。（温度計のような安全上重要な機器は、壊れると自動的に安全側の数値すなわち「温度高し」と表示する。）こんな事は当然当事者も知っていたのに、判断がそちらの方に向かわなかったのは、何故だろうか。もしその方に考えが行っておれば、温度計こそ、大切なナトリウム配管の壁に唯一差し込まれている機器だ、破損しておれば数ミリの孔が空き、ナトリウムがタラリと漏れだしているかも、と思考は展開して、早速に原子炉を緊急停止・・となっていたかも知れない。

この辺の事情を考えてみると、動燃がいままで積み重ねてきた経験や外国情報の受け止め方の中の、ある部分がまことに皮肉にも又不運な形で、大きく影響していると思われる。まず実験炉「常陽」の実に18年にもわたる一切の「故障無し」の経験、動燃は「常陽」がなぜ抜群の実績をあげているのか、真剣に検討したことはないであろう。

外国の高速炉は全て何度もナトリウム漏れの実地経験を経ているのに、皮肉にも日本にはそれがなかった。事実、噂によれば、たまたまあの直前新聞記者のグループの「もんじゅ」視察があり、「外国ではよくナトリウム漏れが起きているが、日本は大丈夫か」との質問をうけ、「日本は技術が優秀ですから・・」と答えたとか・・。こんな答え方は、記者の心にどう響いたであろうか。いずれにしても、日本では「夜郎自大」は最も嫌われることであり、「いずれ一矢を報いたい」気持ちをもった人もいたことであろう。

しかし、ナトリウムの問題に対しては、それなりに真剣に取り組んでいたことはまちがいない。ナトリウムの火災実験、消化剤の開発なども随分と行われてきた。外国に学びつづけてきた日本の技術者として、自分の頭で考える部分が少なかったのは止むを得なかったかもしれないが、外国の公表された事例もかなりよく調べてあった。そしてナトリウム漏れの殆どすべてが、溶接不良に起因していることから、日本でも溶接には細心の注意をはらって来たとし、その結果の一つが「常陽」の立派な成績を生んだのであろう。だから今回の事態に遭遇して、まず頭にうかんだのは、溶接部からのナトリウム漏れであり、ナトリウム・タンクのレベルに変化がないことから、漏れは溶接部分の一部からの少しの漏れ（にじみ程度）であろうと考えたことが、炉の緊急停止などが約一時間も遅れた理由と思われる。緊急停止の遅れは、漏洩ナトリウムの温度低下が遅れ、その結果はげしい火

災現象の引き金となったろう。また、漏洩量も増加することになり、結果を見かけ上にも大げさなものとしたし、また「安全軽視の態度」として非難を強めることとなった。

対応の不適切さと通報のおくれ

自治体や政府への連絡の遅れが著しく、ルール違反として厳しく追及されている。即座に事態の把握が出来なかったことによる焦りが、冷静な判断、処置に失敗に繋がった点、同情すべき面もあるが、さらにその原因として、金曜日夜で関係者との連絡や協議に手間取った事、上記のように原因の特定に手間どったこと、運転マニュアル自体がずさんであったため対策の手順を決めるのにも時間がかかったことなど、が指摘される。これらについては、既に改善策も軌道にのりつつあるので、詳しいことは触れないことにするが、その背景をなす事に、「もんじゅ」の性格についての、動燃自体の、またそれを取り巻く原子力関係者の、認識の問題がある。すなわち、「もんじゅ」は実験的な施設なのか、二十八万kWという相当な電力を生産する商業施設なのか、という問題。勿論、いずれでもあり、また、いずれでもないというのが、真実であるが、今回の事件が発生したあと、原子力関係者の中から、「動燃には発電所運転者という意識が足りなかったのでは」という声が聞かれた。しかし、そう批判することは易しいが、ではどんなアイデンティティーをもって、動燃の役職員は、その使命に答えていけばいいのか。

動燃をめぐって、ここ数年の間におきた幾つかの問題は、すべてがこの組織の性格のあるべき姿についての、自らの認識の内容の問題、周囲の思い入れの問題、そして両者の間の食い違いに起因しているといえる。例えば一昨年のこと、永い年月と巨額の国家資金を投入して開発され、少なくとも技術的には、立派な施設として同じ福井県で順調に運転を続けている電気出力16万kWの新型転換炉「ふげん」。この炉は、地元ともなんのトラブルもなく、今まで問題のプルトニウムを1トンも（燃料として102トン）燃焼している。電源開発（株）が、この炉を大型化した実証炉60万kWを建設すべく、青森県大間町に立地を確保して詳細設計も終わり、「長期計画」にも明記されていたものが、電力業界の「将来にわたり経済性を達成する見込みなし」という強い意見により、計画中断となった。詳細は割愛するが、この例なども、動燃および当該計画の正体について、それぞれがバラバラの理解を持ったまま進めてきた、その咎めが、リストラ経済の時代を迎えて表面化し、繕い切れなくなった結果といえる。

問題の温度計を生んだ背景

問題の温度計については、すでに明確な設計ミスとして、メーカーの責任も指摘されている。高速増殖炉の実験炉「常陽」と「もんじゅ」と、それぞれ一次系、二次系の、4種の温度計の比較図が図4に同一縮尺で示してある。この図でも、一見明らかなように、日本の技術水準からみて、ややレベルの低い、製品といえるであろう。もし事前にこの比較対照がされいたら、特に鞘の根元部分の鋭角の形状には、当然疑問が呈され、しかるべき改善がなされたことであろう。「もんじゅ」は完全な分割発注で、全体を通してのエンジニアリングを担当するメーカーは無く、このような細部までをチェックできるのは動燃だけであった。（尤も、軽水炉位に商業化したものなら、この程度の部品は、メーカー任せが常識といわれるが。）

「常陽」の場合は取りまとめ担当のメーカーがあったし、また設計段階では学界等に広く意見を聞く努力もあったといわれ、これらのことが同炉の優秀な実績を生んだ一因でもあった。「もんじゅ」のときも、このことは議論があり、そのような役割を担い、兼ねて高速増殖炉という息永い技術開発の成果の継承をはかるべく、「高速炉エンジニアリング（株）」が設立されたのであった（1980年）。しかしこの会社は生まれはしたものの、状況の変化と大メーカー間の力関係の中で、単なる窓口会社以上の仕事を与えられずに終わり、「もんじゅ」の設計・建設は一次系、二次系の単純な分割発注ですすめられた。

さきに「ふげん」の順調な運転にふれたが、それにはそれだけの理由があったのである。「ふげん」が完全な分割発注で完成に近づいた頃、「あんなバラバラなつくり方で果して全体システムは大丈夫か」という声が諸方からあがってきた。（小生なども、若気のいたりで「あれは動かないのでは・・・」と放言したのが土光さんの耳に入り、「君の立場で、なんと無責任な発言」とお目玉を食らった記憶がある）。そこで土光氏は大メーカーの幹部と相談し、H社のW常務を中心に全メーカーが詳細設計を持ち寄り（その中には企業秘密もあったことだろうが）、統一的な検討を行った結果、200カ所を越える手直しが行われた。このことが「ふげん」の技術的な成功の大きな要因となったのである。

「事態収拾」のあとが問題

日本だけではないかもしれないが、状況の悪いときは会社・派閥の枠を越えて仲よく「協力」し、調子がよくなると、ひたすらに「競争」にはげむ。そして「喉もと過ぎれば熱さを忘れる」。今回の「もんじゅ」の件を契機に、40年の原子力開発の歴史を振り返

ってみると、類似の要因（背景）からおきた出来事は多い。紙面の都合もあり、また差し障りもあるので、1～2例を追加するにとどめる。「むつ」の件。「むつ」の建設費見積りをした時は造船不況であったが、計画が遅れている間に造船好況に変わり、いよいよ発注のときは、船台も満杯の状況になっていた。その結果若干予算（政府）の増額とそのため名目上の性格の変更（その結果トン増も）があったりして、結局船と炉を別のメーカーに分割で発注した。このことが「もんじゅ」と同じく技術的には決定的なものとはいえないだろうが、あの「放射線もれの発生」につながったといえる。また前述の高速炉エンジニアリング社の件については、創立の計画時は高速炉の大量開発は見込み薄だったのが、いよいよ設立した時はやや明るさが見えてきた時だった、とだけ申しておこう。

原子力開発は今後もいろんな出来事が社会的にも発生するだろうが、その都度（土光さんのような）「偉い人」が救ってくれたとか、「〇〇氏の先見の眼」とか、「強い政党が」とか、「神風が」とかいったことで、現象的に受けとめていただけでは、いつまでも同じことの繰り返しになると思う。原子力開発はまだまだ先の長い仕事であり、重要なことは技術の開発と継承だけでなく、基本的にはそれを支える技術の定着とシステムへの絶えざる検証と再構築こそ、真に技術の定着と社会との連携を確かなものとする鍵であろう。「もんじゅ」も事態収拾で一件落着でやれやれとなるようでは、将来もっと大きな陥穽に見舞われることになるのではなかろうか。

（おわり）