

講師：京都大学原子炉実験所教授【25分】

山名元（やまなはじむ）氏

演題：「我が国における原子力とプルサーマルの現状」

京都大学の山名でございます。どうぞ宜しくお願いいたします。

こうして、(皆さんに) 女川町で、女川発電所のプルサーマル問題について関心を持っていただきおいいただきました。

そういうことで、私は「この日本における原子力というのがどういう今後位置づけにあるか」ということと、それから「プルサーマルに関わる状況が、日本の中、あるいは世界でどうなっているか」ということを、簡単にご説明しようということでスライドを用意してきております。

### ■日本の原子力発電に関わる政府方針と今後の見込み

まず 原子力に関わる国の政策的な方向性ですが、これは、今年の6月に資源エネルギー庁が原子力発電推進行動計画という方針を固めておりますが、この内容がすべて、エネルギー基本計画の中に反映されています。これは、民主党政権に代わってから、簡単に言ってしまうと、自民政権時代より更に原子力を重視するという姿勢が出されていると言っても過言ではないぐらいの事です。

ざっと見てみますと、細かいことは省略して特徴的な事だけ申しますと、新增設、リプレースリプレイスというのは古い発電所を新しい新品のものに替えるという意味ですーそれから設備利用率を向上させるというような、原子力発電を長期にしっかりやっていくということに基本的に取り組むということが1番となっています。2番はまさに今日お集まり頂いた皆様に非常に関係ある、立地地域の住民や国民との相互理解の促進、立地地域における振興策について、これをしっかりとやっていこうという国の方針であります。

それからひとつ飛ばして4番は核燃料サイクルの早期確立と高レベル廃棄物処分に向けた取り組みの強化です。この中に、「原子力の使用済み燃料のバックエンドをきちんとやる」、「プルサーマルを推進する」、「地層処分をすすめる」ということが書かれているわけです。

これが今基本になっているということですが、原子力発電の今後の展望を、このスライドに、ざっと私なりに試算して書いてみました。

これは別に政府のものでなくて、私なりに用意したもので、大体合っていると思っています。この場合、今、我が国では54基の原子炉が動いていて、4,900万キロワットの発電設備容量を持っているわけです。これがだいたい設備利用率7割ぐらいで動いているという状況です。ちょうど2010年時点で、5,000万キロワット手前にいるわけです。今後2020年までに、更に9基の原子炉を造り、2030年までに、更に5基の原子炉を造る、合計14基を2030年までに造っていこうという方針です。この場合は、単純に増加させるシナリオになっていますけど、最大で6,800万キロワット位の設備容量に持っていこうということになっております。この場合には、この、今計画している14基が入ってきて、更に2030年以降に新しい炉が入ってきて、更に2050年以降はウランという資源の入りようによっては、高速増殖炉のような次の世代の炉が入る可能性があります。このシナリオですと、大体2030年に、日本の総発電量の約50%が原子力で供給されることとなります。現在、20数パーセントから30パーセント(の電力を)原子力が作っていますが、これが5割位にまで、あと20年後に上がるということになるわけです。

### ■原子力発電の今後とプルサーマルの位置づけ

世界を見ますと、もっとすごいと言えます。世界の原子力発電所の、ピンクにぬった所は現在もう既に動いているところです。日本、それからアメリカ、フランス、ロシア、中国等、緑のところは、既にもう建設が計画されているところ。黄色は、更に長期に入っていくという計画があるものですが、こうして見て頂くと、ピンクに比べて緑、黄色がぐんと増えることが分かります。

世界的に言うと大体2050年位に今の現在の世界の、大体4億キロワット位あるのですけれども、それ

が 1.5 倍くらいに増えていくだろうというふうに考えられています。結局世界中が、今、原子力を増やす方向にいつているというのが現状でございます。

我が国における、原子力に関わる全体状況を、この絵によって簡単に説明しています。上の絵はですね、今言った原子力の発電設備の容量、つまり、発電能力がどう増えていくか（を示しています）。今言ったように 2030 年には現在の 4900 万キロワットから、6800 万キロワットに増える可能性があるということです。

そしてその原子力を使って続けていくということは、原子炉で使われた使用済み燃料というものが発生してくるという事です。これは、その発生量の累積カーブを私が試算したのですが、現在 22,000 トン位の使用済み燃料が発生して貯蔵されておりますが、そのうちの 7,000 トンは海外で既に再処理したのですが、青森県の六ヶ所再処理工場が動けば 32,000 トンの処理を行います。そうすると 2050 年には、大体これと言うと約 70,000 トン位になるわけで、2050 年に貯まる内の「半分は再処理して半分は貯蔵しておこう」という路線を我が国はとっているということでございます。

今後の課題ですが、原子炉でいえばやはり、まず今動いている発電所をできるだけ有効に使っていくという後継対策、それから将来的には高速増殖炉のような開発、それから、使用済み燃料を放っておけないので、これを再処理して一きちんと六ヶ所再処理工場を動かして一回収されるプルトニウムは現在の軽水炉で使っていく、これをプルサーマルと呼んでいるわけです。この矢印がそのプルサーマルです。回収されたものの流れを示しています。それで 2050 年位になると、その途上で再処理することによって非常にコンパクトな高レベル廃棄物というものを作りますので、これを地層処分に出来るだけ早く持って行きたいという事です。これが我が国の原子力全体像なわけです。プルサーマルというのは、今言ったように、使用済み燃料が発生してくるのに対して、これはそのまま廃棄物にしないでうまく処理しながら使えるものは使っていこうということで、この部分がプルサーマルです。こうして見ると、全体の位置づけを良く見て頂けると思います。実は、プルサーマルってのは、このずっと長く続いている原子力（発電）の中のごくごく一部の部分です。それは、回収されるプルトニウムを有効にここで使おうということで、これが全体像であるということです。

### ■プルサーマルの意義と運転実績

なぜプルサーマルかというのと、もう一度おさらいですが、世界的に、この二つの路線しかありません。使用済み燃料というものは必ず発生するわけです。我が国ではこういう風に出るわけですけど、よその国、世界中には、さっき言ったように原子力が今後 1.5 倍に増えますよね。現在の日本の規模のですね、約 15 倍位が世界に存在するような形になっていくわけですが、あ、15 倍じゃなくて 30 倍くらいですか…いや…30 倍じゃないですね、10 倍程度ですかね。その燃料というのは、どこの国でも出るわけです。必ず出ます。それを全部うまく消し去るマジックを持っているような国はどこにも無いということでありまして、実は、このどっちかの方法しかないのです。

最も安直な方法が、使用済み燃料を発電所からでたものはすべて廃棄物にして何もしないで封じ込めて地層処分してしまうという考えでありまして、これを直接処分と呼んでおります。これを既に本気でやろうと決めているのは、スウェーデンとフィンランドです。やろうかやるまいか困ったというのが、あるいは、やると言いながらもやってないのが、アメリカとドイツですね。

それに対して使用済み燃料を全部廃棄物にするのではなくて、廃棄物にする必要がないものは回収してそれを発電所で再利用し、そしてそれ以外の放射性物質だけを地層処分するというのが再処理路線で、これをフランス、日本、それからロシア、中国、インド等がこの路線を取っているということでもあります。まさに、この戻すところがプルサーマルなわけでありまして、結局プルサーマルというのは、原子力発電所を長期にやっていくときの使用済み燃料の管理の方策として二つある方法のひとつなのです。日本で、プルサーマル・再処理をやらなければ、使用済み燃料は一プルトニウムも含めて一すべて廃棄物にして、いずれ埋めることになっていくということです。我が国はいろんな事情を考えて、全部廃棄物にしない方が得策だろうという判断しているわけです。

この図では、全国にある発電所をざっと書いていますが、全部で 54 基動いています。女川発電所所は、ここに書いてあります。こうして 54 基あるのですが、このうち、2015 年位までに 16 基から 18 基位の炉でプルトニウムを戻していこうということが計画されているわけです。

よく市民の方からこういう質問が出ます。「何で全部の原子炉にプルサーマルやらないのですか」という質問です。それはですね、やる必要がないからなのです。発生する使用済み燃料処理して回収したプルトニウムという燃料を、MOX 燃料という燃料に加工しますが、量的なバランスを考えると、回収したものを大体全体の3分の1位に戻せば事足りまして、ちょうどバランスするわけですね。だから全部やる必要は全然ないということでありまして、現在この、九州電力や四国電力、それから福島第一―東京電力ですね、そういうところでプルサーマルが進んでいます。その状況だけ簡単に見ます。ピンクに塗ったところは既にプルサーマルで発電を開始したところですよ。一番最初にやったのが、九州電力の玄海3号機。これは、2009年、去年の12月、ちょうど1年前にプルサーマルの運転を開始して一年間電気を起こしています。それから四国電力は、半年後の2010年の3月から営業運転やっています、現在動いています。それから福島県の福島第一―東京電力の3号機ですが、これが先月26日に営業運転を開始しております。ということで3つがもうやっているということです。その他、北海道電力の泊3号機、それから中部電力、浜岡3・4号機、中国電力の島根2号機、関西電力の高浜3・4号機。それから電源開発の大間1号機、このあたりについては、すべて地元了解が得られており、当然安全審査も得られているということで、このうちの浜岡と高浜については、フランスで作った燃料が既に国内に運び込まれています。それから泊と島根については、燃料の製造中で、女川については、現在おそらく契約の準備をされているような状況かと思っています。

こういう状況でだいぶ進展しているわけです。玄海発電所をはじめとして、女川町の皆さんにはこういった先行している3つの発電所の過去の経緯、あるいは現在の状況を、大いに参考にして頂けると思うわけです。つまり先例でございますので。

例えば玄海ですと、地元九州電力が事前了解の願いを出したのが2004年です。6年前です。6年前というのは、ちょうど原子力政策の現在の政策の骨格を固めた時期で、ちょうど重なる頃ですが、安全審査に合格したのが2005年です。それから、ちょうどこの宮城県で女川町や石巻でずいぶん議論を重ねてこられました事業者や国や地元との市民との討論会のような、そういうものをたくさんやったわけです。私もこれに出しておりますが、その後、地元からの事前了解を得て、MOX燃料の製造をフランスに委託して、製造が終わったのが2008年7月で、そしてMOX燃料が2009年の5月に受け入れられて、2009年―去年の10月に原子炉にMOX燃料16体を装荷して12月から営業運転を開始したということになります。

九州電力のホームページをみていただきますとこういう図が出てまいります、MOX燃料の燃焼状況です。これは原子炉に入れてからちょうど12か月経っています。この横軸に相当するのは燃焼度といましてですね、核反応がどれくらい進んだかという意味ですけど、このMOX燃料は13カ月の運転が2回繰り返されて、つまり、更に13か月燃えることになります。3回か2回かどちらかです。その時に原子炉の冷却水、燃料に接触している水の中にヨウ素131というものがどれくらい入っているかというのを常にモニターして、もしMOX燃料がバカッと割れたりしたら、これがばっと増えるわけですが、もちろん全く増えていない。世界中で今までたくさんMOX燃料が使われていますが、これが、顕著にMOX燃料であるが故に破損した事例っていうのは無いのです。この図で「ヨウ素131がちょっと見えているじゃないか」と思われる方がいるかもしれませんが、これはですね、ウランはどこにもあって、例えば・私の手にも、今、ウランが付いています。環境中には必ずウランがあるのですが、そういう環境中にあるウランが反応してできたヨウ素が検出されている事を示しています。燃料は全く異常がない状態で動かされるというわけです。

伊方発電所―四国電力も同じような状況でありまして、2004年に安全協定に基づく事前了解の願いを四国電力が地元へ提出し、それから安全審査をやっているよという地元了解を得て、安全審査に合格したのが2006年。この申請の了解を得るまでがここが地元での大きなディスカッションでした。ここには私も出しましたが、それで、最終的に愛媛県と伊方町から安全協定に基づく事前了解を受領して、そして燃料を造り始めたわけです。それで、さっきの玄海と一緒に燃料をフランスで造って運んできたわけです・・同じ船で。それで、今年の三月から営業運転を開始して、これも順調に動いております。

### ■福島第一発電所の経緯と技術的条件

福島発電所はちょっと複雑でありまして、これが今日の主題のひとつでもあるのですが、福島県は、実は1998年に、地元からプルサーマルやってよいという地元了解を得ていたのです。ところが、そのあと

東京電力では、検査のデータが変えられていたというような不祥事がありまして、福島県と東京電力の間で信頼が決裂したような状況になりまして、最終的に、2002年に、「了解を凍結する」と（決定されました）。要するに、電力と地元との信頼関係の崩れによって、地元としては、それを「いったん止める」という話になったわけです。その状態で来たわけで、つまり「塩漬け」の状態できておりますが、2009年の1月から地元としては「再開を考えてもいいよ」という議論が進みまして、最終的に今年の8月6日に、福島県知事はプルサーマルをもともと了解していたものですから、「進めることについては良い」という結論を出されて、この10月に営業運転が始まったわけです。

但し、特徴的なのは、福島県は3つの宿題というのを出したわけです。「3つの条件をクリアにしたうえで進めてください」ということになりまして、この3つの条件がここに書かれております。何かというと、「耐震安全性の確認」もうひとつが「高経年化対策の確認」、3つ目が「長期に保管しているMOX燃料の健全性の確認」です。

分かりやすいものからいくと、この「長期保存MOX」ですが、さっき言ったように12年前に既に了解をしてMOX燃料を作っているから、水のプールの中に10年間造った燃料を保存していたのです。10年間経って、例えば核的な状況が変わってないか、あるいは金属が腐食してないかとか、そういうことが懸念されたということです。

それから耐震問題は、日本では「耐震安全設計指針」というのがありますが、これは実は1981年にできた超古いものだった。これは地震の想定と、それが原子力発電所にくる地震動の考え方が、非常に古い地震モデルに基づいていました。そういうことがあって、女川発電所でも、実際に起こった地震の加速度がその想定している加速度よりもちょっと超えたという事例がありましたね。その後阪神大震災とか、鳥取県西部沖地震というような、従来の地震のモデルを超えるような地震がたくさん起こったので、耐震安全の考え方を新しくしようという動きが始まって、2002年だったでしょうか・その新しい指針の改定が始まって、2006年に新しい耐震指針が出来たのです。それで、「すべての発電所は、その新しい指針つまり厳しくなった指針に合うかどうか全部チェックせよ」、「合わないのだったら補強工事をしなさい」とか、そういう要求を国が出して、全発電所がそれに応じて女川町もやってきたというわけでございます。

それで、結局、福島の場合は新耐震指針に沿った地震の想定、それから補強工事、そういうものについて特に問題ないという結論が出たということです。ちなみにプルサーマル燃料というものは、今のウラン燃料と全く強度的に同じものでして、耐震問題には本来直接は関係しないのですが、さりとて、地震というのは皆さんの大きな関心事ですから、こういうことが大事だったというわけです。

それから、原子力発電所がかなり年を取ってきている事に対して、きちんと対策はできているかというようなことが問われたということですが、結論をいいますと、いずれについても特に問題ないということが国によって確認されて、福島県に回答されたということでもあります。それによって、この10月に福島1号炉はMOX燃料を入れた炉心で運転を始めたということです。

世界的に見ると2008年末時点で、燃料集合体として大体6,300体、現時点になりますと多分6,600体ぐらいまでいっているはずですが、更にさっき言ったように、日本でこの64体が今炉心に入っている状況になっていますから、世界的にいうとかなり入っているわけです。ちなみに、女川で入れる燃料というのは多分30体よりも少ない位です。多分、20位でしょうか、あとで東北電力の方にお聞きした方が良かったと思いますが、20体とかその程度の話でしょう。ですから、6,000数百体の世界の実績というのは結構膨大なものでありまして、女川町の話は、世界の6千数百分の20位の位置づけにくるということでもあります。そういうことでかなり実績は豊富であるというふうに考えております。

## ■核燃料サイクルの状況

それからちょっと話を変えまして、解体核兵器というのがあります。

これは、アメリカとロシアが核兵器を廃絶しようという約束をした「スタート START (Strategic Arms Reduction treaty)」を締結して、兵器を解体していこうと動きの話です。その解体兵器ですが、兵器というのは濃縮ウランとかプルトニウムなのですが、そのまま燃料に加工すれば一般的な発電所で使っていけるということで、「兵器材料を上手いこと燃やしていきましょう」という約束を取り付けたわけです。大体、世界中に今二百数十トンのプルトニウムが兵器として存在しているのですが、そのうちのアメリカ分50ト

ンとか、ロシア分 50 トンを、まず・いろいろな方法があるんですが・たとえば、プルサーマル燃料に加工して、原子力発電所に供給して燃やしていこうとか、あるいは、そのプルトニウムをガラスとして固めて地層処分していこうとか、あるいは、そのプルトニウムを酸化物燃料に加工してロシアの高速増殖炉といわれる炉で燃やしていこうといった、いくつかの手法が進められてきました。

この写真はそのひとつの例で、アメリカですが、これは 50 トン位のプルトニウムを、アメリカのサウスカロライナという州がありまして・ちょうどゴルフのマスターズが開かれるオーガスタって所の隣なんですけれども・ここに、このような MOX 燃料製造プラントを今建設中となっています。この施設が、おおよそ一年に 30 トン〜40 トン造ることができます。この施設で、その解体兵器のプルトニウムで燃料を作って、アメリカの発電所でプルサーマルとして使っていこうという計画が進んでいるわけです。

フランスのメロックス (MELOX) という MOX 燃料の工場を紹介しますが、青森県において 2018 年ごろに運転開始が予定されている MOX 燃料製造工場の建設が、ちょうど今始まったところです。我が国は、海外で今まで 7,100 トンの使用済燃料を委託再処理していて、そこで回収されたプルトニウムが 35 トンあり、これを海外に置いてあります。この海外で先行して回収したプルトニウムをプルサーマルとしてまず使っていこうというのが現状で、この加工をフランスのメロックス (MELOX) で行っています。青森県の六ヶ所再処理工場が動いたら、そこで回収されるプルトニウムは、今青森に作っている MOX 燃料工場で 2018 年頃からは加工して、国内でのプルサーマルに続けていくというシナリオになっています。結局今は、世界的にいうと、このフランスのメロックス工場というところが一番、MOX 燃料を製造する能力をもっています。

私も、去年見てきましたこの工場ですが、非常に優れた工場だという印象を持ちました。当初一年に 100 トンの能力だったのを 145 トンに増やして、現在は一年に 195 トンの許認可を獲得しております。2009 年ですと 1 年にちょうど 145 トン製造しております、このうちの、そうですね、ある程度の部分が日本の電力会社が発注した燃料、つまり九州、四国、中部、高浜、関西、そういうところが発注したものがここで作られているわけでありまして。女川発電所のプルサーマル燃料についても、このメロックス工場で作られた燃料の品質管理をどう扱うかということはずっと議論してきたということを長谷川先生から伺っておりますが、私が目で見えてきた感じでは、非常に優れたプロセスをやっているという印象をもちました。

それから最後のスライドになりますが、国内での核燃料サイクルです。六ヶ所再処理工場が今、最終試験の状況にあります、「竣工が、あと 2 年遅れる」ということが、この間発表になっております。この工場全体の 95%は完璧に出来てますが、残りの 5%程度の部分とも言える「高レベル放射性廃棄物の工程」が遅れています。この工程は、プルサーマルとは関係ありませんが、重要な工程であります。使用済み燃料を分別処理した時に、回収した燃料はプルサーマル燃料に持って行き、放射性のものはガラス固化体というものに固めてコンパクトな固化体にして地層処分することになりますが、そのガラスに固める工程の装置がなかなか安定して動かないという事象が見えています。この技術的対策のために、あと 2 年間かけてじっくりやろうということ、今、六ヶ所再処理工場は全力をあげてやっております、そういう意味で 2 年間遅れるということになります。

ただ、先ほど私が累積使用済み燃料のところでお話したように、日本は、海外で再処理したプルトニウムをまずプルサーマルで消費しながら、六ヶ所工場、おおよそ半分を再処理して残りは中間貯蔵という施設で貯蔵を考えています。このような、今むつ市で建設がやっと始まりましたが、使用済み燃料を 2050 年位まで 50 年間程度、容器に密封した状態できちんと置いておくという施設の建設がスタートしていますけれども、この組み合わせで我々 2050 年ぐらいまで頑張るわけです。両方、頑張るわけです。だから、こっちが遅れば、こっちである程度燃料貯めていくということになりますし、上手く動きだしたらこっちを処理しながら、回収されたものについてはプルサーマルを進めていく。そのプルサーマルが潤滑に進んで、2015 年ぐらいまで海外からのプルトニウムがどんどん消費されて、そのあと、日本の中でリサイクルする燃料が回っていくということでありまして、六ヶ所再処理工場は 2 年程度遅れていますが、全体的に見ると、中間貯蔵と再処理の組み合わせでこの日本の燃料サイクルは進み始めているという状況でございます。

兎にも角にも過去に再処理した使用済燃料から回収したプルトニウムを、まずうまいこと使っていくという「プルサーマル」を去年から開始して、現在 3 つの発電所で進行中であるということでございます。