

# 原子力の平和、安全な利用と統合型高速炉

パネル討論

## 日本における核燃料サイクルと新型炉

### ポスト福島の新しいパラダイムの可能性

「原子力の平和、安全な利用と統合型高速炉」をテーマとしたセミナーが 2014 年 5 月 28 日、東京大学公共政策大学院などにより東大伊藤国際学術研究センター(東京都文京区)で開催された。最近、発表された映画「パンドラの約束」で原子力の平和利用と安全性、地球温暖化防止、経済成長などの要請に同時に応える原子炉として注目された統合型原子炉(IFR)の可能性や核燃料サイクルのあり方について、「映画『パンドラの約束』と原子力平和利用の人類文明的意味」「統合型高速炉の技術的特性」「日本における核燃料サイクルと新型炉ポスト福島の新しいパラダイムの可能性」の 3 つのテーマを設け、それぞれパネル討論会が聞かれた。国内外の関係者が議論を深めた中から、3 番目の討論会について概要を紹介する。

### キーノートプレゼンテーション 藤家洋一氏

#### 社会と調和を目指す整合性ある原子力を

原子力の黎明期は 1895 年の X 線の発見から 1942 年の核分裂の成功までだと思いますが、私は広島と長崎に原爆が投下された 1945 年までと考えたい。私が原子力に進んだ 1 つの大きなきっかけになったのは、長崎大学の永井隆先生が書かれた文章です。彼がどういうみじめな思いをしたか。しかし、その中で原子力をやらなければならないというメッセージを出しています。

1898 年にはキュリー夫人がラジウムを抽出し、 $\alpha$  線が発見されています。1932 年にはチャドウィックが中性子を発見し、同じ年に加速器が 2 つ誕生している。1 つはコッククロフトウォルトンという直線型の加速器で、もう 1 つは米国のサイクロトロンです。この加速器により原子の中の極微の世界が分かるようになってきたし、核反応も見えるようになってきた。

#### ●永井氏の言葉

1938 年にオットー・ハーンとリーゼ・マイトナーが核裂の現象を発見し、4 年経って 1942 年にフェルミがシカゴパイル、CP-1 を造り上げた。それからわずか 3 年で爆弾が広島、長崎に落とされた。

1945 年 10 月、戦争が終わって 2 カ月という時に、永井先生が学長宛に報告を出していま

す。「我が大学は崩壊し教室は灰塵に帰した。我々一人ひとりが傷つき、また倒れた。我々が住んでいた家は焼け落ち、着ていた服は燃え尽きた。我々の家族は死んだかあるいは傷ついた。何を我々は今、言えるのだろう。私たちが願うのは2度と再びこういう悲劇を人類が起こさないでほしい」。さらに、「私たちはこの原爆の原理を利用しなければいけない。原子エネルギーの研究をやって文明の進展に役立てようではないか。これで不幸が幸運に変えられる。もし世界の文明がこの原子エネルギーを使うことによって変わるとするならば、そして新しく幸福な世界がそこに築かれるならば、これだけ多数の原爆犠牲者の心もそれによって慰められるだろう」と。

同時に大事なのは、アイゼンハワーのアトムズ・フォー・ピースという発言です。これが世界の原子力平和利用を促進する上でずいぶん役に立ったと理解しています。

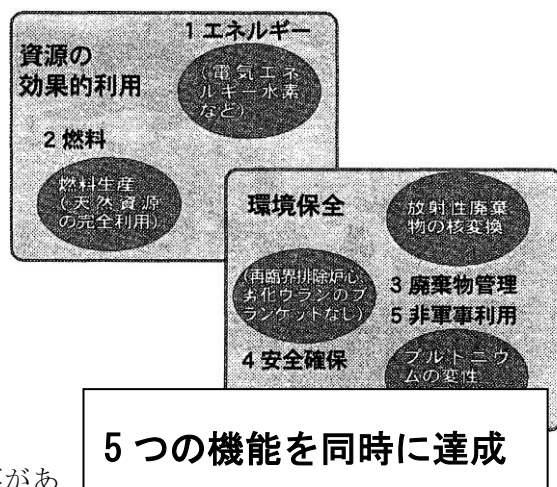
それをベースにしながら、日本で原子力基本法ができた。これは、将来のエネルギー源の確保、原子科学技術の発展、それを産業の振興に役立てること、同時に人類の平和と幸せに貢献し、国民の生活水準を上げることを目的としています。

原子力の利用とその研究開発は平和目的に限って許される。中でも安全確保は大事です。少なくとも、この基本は現在に至るまで日本の中で受け継がれ、日本人の多くがこの前提に立って原子力を見ていると思います。

## ●5つの機能

ただ、私自身はこのことを今度の福島事故によって多少変更しなければいけないという気持ちでいます。平和と安全が確保できれば原子力は許されるという時代は終わっているのではないかと。私はそこに社会との調和という言葉で1つ足すべき時代が来たと思います。実は、利用から調和へということのスリーマイル事故のあと申し上げたのですが、軽水炉の100万kWの出力は大き過ぎるのではないかと。世界の原子力を語る時、自然との調和は考えてきたが、社会との調和がまだ十分だとは思えません。

利用から調和へ原子力に何を期待すればいいか、ポジティブな面とネガティブな面で2つに分けて考えてみると5項目になりました。原子力は莫大なエネルギーを出し、加えて燃料も作れる。しかし、ネガティブな面もそこにはあり、放射性廃棄物をどう扱うか。それから安全です。例えば天然原子炉が制御棒なしに80万年動いていたことはあまり皆さんご存じない。水の沸騰と凝縮だけで安全は十分確保できる。そうした5項目を実現できる原子炉であれば、これはある程度許される。



第4世代の原子炉、統合型高速炉(IFR)にしても、やはりそういう延長線上のものとして見ていく必要がある

る。人類がやってきたこれまでの 100 年近い研究開発は、究極にはそちらを目指したものであるという認識を持っておく必要があるという気がします。

核分裂で発生する約 3 個の中性子バランスをどう考えていくかが非常に重要で、その結果、将来の原子力システムでは外に出てくるものが安定な物質だけになる。放射性物質は出てこない。天然ウランが入り、エネルギーが出て残るのが安定な元素であれば、これは皆さんに了解してもらえないのではないか。

私は 1990 年頃からこの話を始め、その後、自ら整合性のある原子力システムについて 30 通くらい論文を出しています。

核分裂生成物を非放射化するには、高速炉であれば中性子に余裕がありますが、軽水炉では、マイナスにしかありません。

軽水炉ではいくら頑張っても 5 項目を同時に達成するシステムを望むことは無理なのです。しかし、軽水炉にも良いところはあり、私はそれが世の中から消えるなどと考えているわけではありません。ただ、究極のものにしていくには問題がある。

## ● 核種分離

さて、どのようなものを造ればいいのか、システム構成を考えておく必要があると思います。

1 つ考えたのは、天然ウランを高速炉で燃やし、使用済み燃料から長寿命の核種が 30 種類くらいあるので、核種分離をして半減期の短いものは蓄えて減衰を待つ。長寿命のもはもう一度戻して非放射化を図ったほうがいい。

いずれにしても、そのようなことを通して日本の原子力は広がりのあるものとしてこれから伸びていくことが大事なのではないかと思います。

## 討 論

城山 ローエンさんからよろしくお願ひいたします。

ローエン 米国海軍が原潜で最初に契約したのはナトリウム冷却炉で、2 つ目の契約が加圧水型炉(PWR)でした。ナトリウム冷却炉について、GE 社は最初から関わっていました。1951 年に EBRI、シーウルフ原潜、そして EBR II と続き、そこから道が分かれ、次に GE が造ったのが SEFOR でした。1983 年にクリンチリパー・ブリーダー・リアクタープロジェクトがキャンセルされましたが、これは道を間違えたのです。金属燃料を使うべきでした。

EBR II から PRISM 原子炉が生まれてきました。PRISM は、原子炉で発生した熱を中間ループで取り出して蒸気発生器に送ります。安全面では、炉心の損傷を回避するために 2 つの独立した系を設けて熱を除去します。一つは外気によりパッシブで電力を使わずに 1 次系から除熱する。もう 1 つは電力を使い 2 次系からも除熱できます。

PRISM は軽水炉に比べて圧力容器を薄くでき、コストが少なくてすみます。炉心の出力密度は軽水炉より 5 倍も大きく、スチームサイクルの効率も軽水炉の 30% に対して 39% に

なり、採算性が良くなります。

何もかも工場で造って運ぶことができるという想定でプラントもシンプルです。

世界のこれまでの高速炉で多くは安全系がアクティブですが、PRISMはパッシブです。プール型ではなくタンク型なので、冷却材喪失事故(LOCA)が起きにくい。従来は酸化物燃料を使っていましたが、金属燃料を採用しています。小型にして同じものを複数造るほうが経済性はいいという考え方です。

イギリスで 100t ほど原子炉系のプルトニウムが存在しています。

そのプルトニウムを PRISM で利用しようと検討しています。IFR 全体の概念を使うわけではありません。プルトニウムを 1 回再利用して、あとは埋設します。

EBR II という素晴らしいものがあるので、それを元にスケールアップすればいい。スケールアップといっても、300 倍にする必要はなく 10 倍です。商業レベルにスケールアップすることは、それほど困難ではないと考えています。

**ローエン氏**  
**安全系にパッシブ採用**  
**国際協力がより重要に**  
**鈴木氏**

## ● 柔軟に対応

城山 では、追加的なコメントを鈴木先生から。

鈴木 第 1 セッションのパネル討論の内容を 3 つにまとめました。第 1 の重要なポイントは、リスクについて個々のリスクの評価だけではなく、大きなコンテキストで評価する。ほかのエネルギー源やリスクとのトレードオフなど、大きな枠組みで議論することが必要です。2 番目は、新しい技術に取り組んでいる人たちの話はいつも楽観的で素晴らしい話なのですが、それがすぐに信じられるかどうか分からない。やはりどこかで実証することが必要ではないかということです。3 番目は、福島事故の教訓という意味で、国民の信頼をどう回復したらいいか、これは信頼できる情報を提供する仕組みが必要である。そうした 3 つが第 1 セッションのまとめです。それに加えて、日本の核燃料サイクルにおける議論について 3 つくらいある。

一つは、原子力が将来どうなるかと使用済み燃料の安全な貯蔵管理という課題に直面している。これをまずやらなければいけない。高速炉ができれば毒性減少などの新しい仕組みが出てくる可能性があるが、その可能性を追求したとしても地層処分は必要なので、とれはやはり前進させるべきだろうということです。

2 番目に、燃料サイクルの将来について、これまでは全量再処理という 1 本道でやってきた

が、これからは柔軟に対応し、直接処分の可能性も追求すべきだということです。最後に新型炉の研究開発については、時間をかけて多様なコンセプトに取り組む。そのためには、社会のニーズを反映しているかどうか評価する仕組みを作るべきではないか。これまでの日本の核燃料サイクルや新型炉は、エネルギー安全保障のために国内で閉じるという話だったが、福島事故以降、日本の原子力の将来がどうなるか分からないという状況で、やはり国際的な協力の中で高速炉や新型炉、核燃料サイクルに取り組んでいく必要があるのではないか。以上のような点について原子力委員会で議論がありました。

## ● 1つのモデル

城山 続いて田中先生から。

田中(伸) 私がモデレーターを務めたパネル討論でユン・チャン先生から IFR の技術についての話がありました。IFR は今の日本の危機の中で今後、原子力を進める場合にいろいろなメリットを持っている。経済性、使用済み燃料処理が楽になる、核不拡散性が高いという話がありました。そのような原子炉、または原子炉システムの開発がどうしても必要で、そうしたオプションを持っていないと 18 年の日米原子力協定の改定もなかなか難しくなるのではないか。

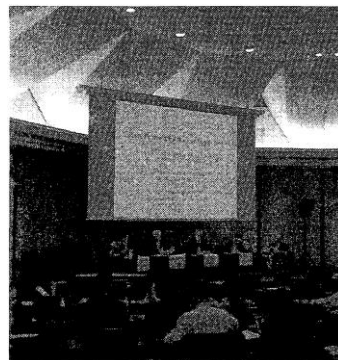
藤家先生が言われた調和型の原子炉の話につながるような夢のあるビジョンを示していくことが原子力に対する信頼を回復するために必要ではないかと思います。藤家先生のお話の中で中性子を使って核変換する。要するにごみをなくしていく。300 年も待たずにもっと早く毒性を消去していくためには、新しいタイプの炉が必要で、金属燃料を使う IFR はそのプロセスの 1 つです。福島以降、非常に危機にある日本が平和利用に向けて国際的なイニシアチブ、または世界に対して日本の責任を果たしていくためにも、こうした炉は 1 つのモデルとなり得るのではないか。

城山 藤家先生は政策の現場で苦労もあったと思います。

## ● 夢が必要

藤家 いろいろな議論があり、最後は人生を賭けて判断するようなことがありました。その具体的な例が安全審査で許可を出す時です。絶対安全がない中で、ハウ・セーフ・イズ・セーフ・イナーフという思いを、どこまで自分の思いとして発言できるか。幸いその中で

田中(伸)氏  
今後必要なオプション  
文明論的な観点が課題  
藤家氏



どれ1つ問題を起こしていない。さすがに技術の日本だと思って安心しています。原子力委員会に移り、原子力政策をどう決めていくかという質問が初日に来ました。その時に私は、夢と現実のバランスを図っていく、少なくとも将来に対して夢のある話をしなければいけないと答えました。原子力委員長をやめて10年になりますが、何だかんだと言いながら日本の議論は、相当しっかりしている。これからもそういう方向に向かっていただきたい。

**城山** 社会学などの分野ではシナリオという言い方をする。夢とシナリオでは違うところもあるのでは。

**藤家** 我々が原子力をやっているのは将来、あるいは今の人類に対してプラスになるという思いがあるからです。それを、より広げていくことが将来展望だと思います。

今、我々が望んでいるのは夢の世界ではありますが、必ずそこに行けるという思いがある。私はそのような話を確率論だけで見ようとはしていない。やはり、サイエンスとして見て、これは可能性があるというのは専門家にはある程度わかります。

この頃、私が最も大事だと思うのは社会、自然との整合性です。これは、むしろフィロソフィーの世界になる。そこに対しては、専門家といえどそう大きな発言はできない。私はまだ完全に答えを持っているわけではありません。文明論的な観点からどう社会との整合性を発言するか、ここ数年、私にとって非常に大きな問題だと思っています。

ですから、今日の話もそうですが、科学的可能性のところまでしか言えない。人類社会がそういう方向に向かって動いてくれることを期待するという以上のことは言えないのです。



左からモデレーターの**城山英朗** 東京大学公共政策大学院院長、**藤家洋一** ニュークリア・サロン代表(元原子力委員長)、**エリック・ローエン** GE 日立原子力高度原子力発電技術チーフエンジニア、**鈴木達治郎** 長崎大学核兵器廃絶研究センター副センター長・教授(前原子力委員会委員長代理)、**田中伸男** 東京大学公共政策大学院教授(元 IEA 事務局長)

城山 整合性とかバランス、調和というのは、何対何と 1 次元的には言えない世界です。最後は社会の価値判断のようなものと、ある種の技術選択が整合するかどうかをおそらく考えざるを得ない。その辺りが技術を社会に入れるときの課題かなと思います。今回のセミナーは、田中伸男先生が中心になりお考えいただいた。こういう 이슈が面白いと思われたポイントは。

田中(伸) 2年前にトム・ブリース氏(SCGI 会長)が会議に呼んでくれるまで、こういう技術があることを知りませんでした。ローエンさんから英国でやるかもしれないという話がありました。米国でもテストしようという議論があると聞いています。

中国、ロシアといった国はこうした次世代炉を当然考えているはずです。

日本が福島事故を経験して、次の世代をリードしていく国であるなら、IFR はいろいろな条件を満足しているのではないかと。次世代炉にもいろいろなものがあります。IFR もそうだし、もんじゅのように増殖を中心とする考え方もある。高温ガス炉、トリウム炉などいろいろなタイプの炉があり、それぞれやっている人たちは「この炉が世界一だ」と説明する。そう言われて私は判断が付かない。これは、文化系の人たちはおそらく共通の思いを持つし、国民も同じように見ると思うのです。

そこで、文化系的センスを入れると、少し答えが見えてくる。どういう意味かと言うと、新型炉でも国、地域によって需要が違う。その異なる需要にマッチした炉があるのではないかと。例えば日本、韓国、米国、フランスもそうですが、使用済み燃料をどうするか悩んでいる。最近の議論でも日本が原子力を続けるかどうかの大きな 이슈になっている。そうしたことから答えを探していくと、IFR は安全や核不拡散といった問題にも同時に答えられるので日本に非常に向いているのではないかと。韓国がやっているのも、おそらくそうした理由だろうと思うのです。高温ガス炉のように熱源として使える炉は、海水淡水化などでアラブの国などにも向いているかもしれない。モジュラー型の軽水炉は、途上国に向いているかもしれない。国に合わせてマーケティングしていくべきだという気がします。多様な新型炉を構想するべきで、それを国際的に考えていったらいい。

今までそういう視点がなかったために、1 回決めた呪縛を解くことができなかった。福島事故はある意味で大変大きなきっかけとなり得る出来事です。社会、自然と調和した原子力を世界のために進めていく。広島、長崎を経験した平和利用の国としてどうやってそれに貢献するか考えると、IFR は 1 つの答えになるのではないかと。あとは、技術的にこれが本当に可能だとローエンさんの世界で証明してもらおう。少なくともそのチャンスがある炉ではないかというのが、この議論を始めたきっかけです。

**田中(伸)氏**  
**地域に合わせ新型炉を**  
**最後は社会が価値判断**  
**城山氏**

## ● 第3者が評価

**城山** 鈴木先生、社会として技術選択をどうしていくか、ある意味でロックインしたような技術をどうやってアンロックするか。少し違う選択肢も含めて議論するような意思決定のあり方をどう作るのかといった辺りも関わってくると思うのですが、コメントがあれば。もう1つ、国際協力について。

**鈴木** ロックインしてしまったものをどうアンロックするか、長い話を短く言えば2つくらいあります。1つは市場に任せる。電力自由化で、結局、ニーズに合っているものを技術開発側からプッシュするのではなく、社会側が選択できるような仕組みにする。これはしかし、言うは易しで原子力の場合なかなかそうはいかない。と言うのは、国が関与する技術が非常に多い。それから、市場メカニズムでうまく選べない可能性がある。その場合に、どうするか。2番目は民主主義で選ぶ。これも言うは易しで、なかなか難しい。

今日の議論の中にヒントとして2つある。1つは先ほどの専門性が大事だという話はまさにその通りで、専門家が信頼される仕組みを作らなければいけない。信頼をなくしてしまった時にどうするか、それまでの専門家とは違う第3者機関、独立した組織が評価するような仕組みを作り、そこでいろいろなステークホルダーが関与して議論する。そのような仕組みを作らないとアンロックは難しい。

国際協力の仕組みも実は同じような意味を持っている。国際協力をする、グローバルな視点で必要なものは何か、次世代炉の条件は何かというように議論を広くできる。藤家先生のコンセプトなどもそういう土台に乗って議論したほうが社会で受け入れられる可能性が高いのではないかと。その意味でも、国際協力は単にお金をシェアしたり分担を決めたりするのではなく、仕組みとしていろいろなアクターが入ってきて、そこで例えば次世代炉の基準や価値観を議論する。そのような場を作る意味で、国際協力がいいのではないかと思います。

**城山** このような場も含め、いろいろな立場の人が議論を共有する場として大学などを使っていくことも大事だと思います。そのような活動を今後またやっていければと思います。

以上

以上の記述は、「サン 2014年（平成26年）6月10日」の記事を基に一部加筆訂正したものです。