

## 原子力を未来技術とするために



研究室紹介

北田孝典\*

Nuclear Engineering — To be the future technology

Key Words : Nuclear Engineering, Safety, Radioactive Waste, Acceptability

### 1. はじめに

当研究室が属している環境・エネルギー工学専攻量子エネルギー工学講座では「極小のミクロ世界から社会全体のマクロな分野を包含した将来エネルギーシステム」の開発ならびにその応用を中心とした教育・研究を実施しており、当研究室が担う原子力社会工学領域では、将来に亘るエネルギー源となりうる原子力システムについて、現在のシステムの改良だけでなくシステム全体が抱える問題点を克服すべく研究開発を実施しており、具体的には軽水炉や高速炉・高温ガス炉の炉心特性や廃棄物処理に関連する研究、原子力安全性やリスクに関連する研究などを主に原子炉物理学や核データの観点から実施している。

### 2. 研究内容

経済性や効率のための研究開発ではなく、社会一般に近く、社会一般の理解さらには受容性を向上しうる技術開発は、これからの原子力には欠かせない。この観点から、研究室で様々な研究テーマに対して研究開発が進められている。以下では、その中から「放射性廃棄物に関する研究」と「原子力安全性・リスクに関する研究」の概要を記す。

### 放射性廃棄物に関する研究

原子力発電所から出る使用済み核燃料に含まれる放射性廃棄物の処理処分は将来に亘って原子力発電を利用するためには避けて通れない重大な課題の一つである。処理処分の解決策が決定していないことから、昔からトイレ無きマンションに例えられ、問題とされてきている。使用する“前”の核燃料はウランのみで作られているが、使用済み核燃料でも95%程はウランであり、1%程度がプルトニウムなどの超ウラン元素、残りの3%程度が核分裂生成物である。この使用済み燃料に対する現在の処理処分方法、つまりウランやプルトニウムは燃料として取り出し燃料として再利用し残りを高レベル廃棄物として地層処分する、ということの技術はほぼ確立しているものの、社会には全くと言ってよいほど受容されていないのが現状である。

一方で放射性廃棄物を低減するための技術開発は1980年代から30年以上にわたり進められてきており、地層処分で10万年ともいわれる放射能の閉じ込め期間の大幅な短縮、地層処分に必要な容積や負荷の低減については、化学的な群分離技術および物理的な核変換技術の高度化により10万年を300年程度に、また地層処分容積も1/100程度にできる目途が立ち始めている。しかしながら放射性廃棄物をゼロにできるのではないため、原子力の社会における受容性向上には寄与するものの受容されるまでに至ることができないままである。原子力が未来技術となることを目指して、当研究室では近年、マイナーアクチニドならびに核分裂生成物までを含めて全ての放射性廃棄物を、いわゆる核燃料サイクルの中に閉じ込めるという意味でのクローズドサイクルを目指した原子力システムの開発を進めている。つまり放射性廃棄物を地層処分することなく、全ての物質がシステムの中でサイクルしているだけであり、核燃料起



\* Takanori KITADA

1968年1月生  
大阪大学大学院工学研究科 原子力工学専攻博士前期課程修了(1992年)  
現在、大阪大学大学院工学研究科  
環境・エネルギー工学専攻 量子エネルギー工学講座 原子力社会工学領域教授 工学博士 原子炉物理学  
TEL : 06-6879-7900  
FAX : 06-6879-7903  
E-mail : kitada@see.eng.osaka-u.ac.jp

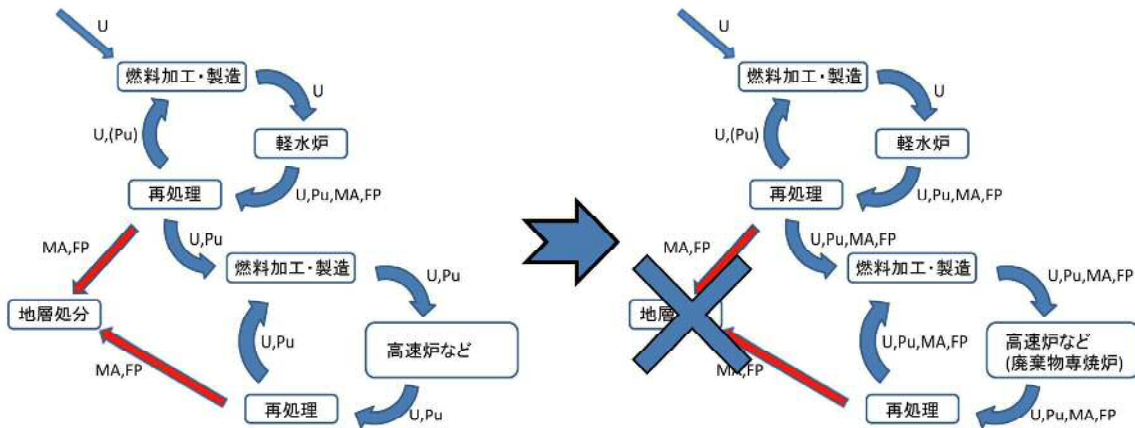


図1 現在の核燃料サイクルと目指す核燃料サイクル

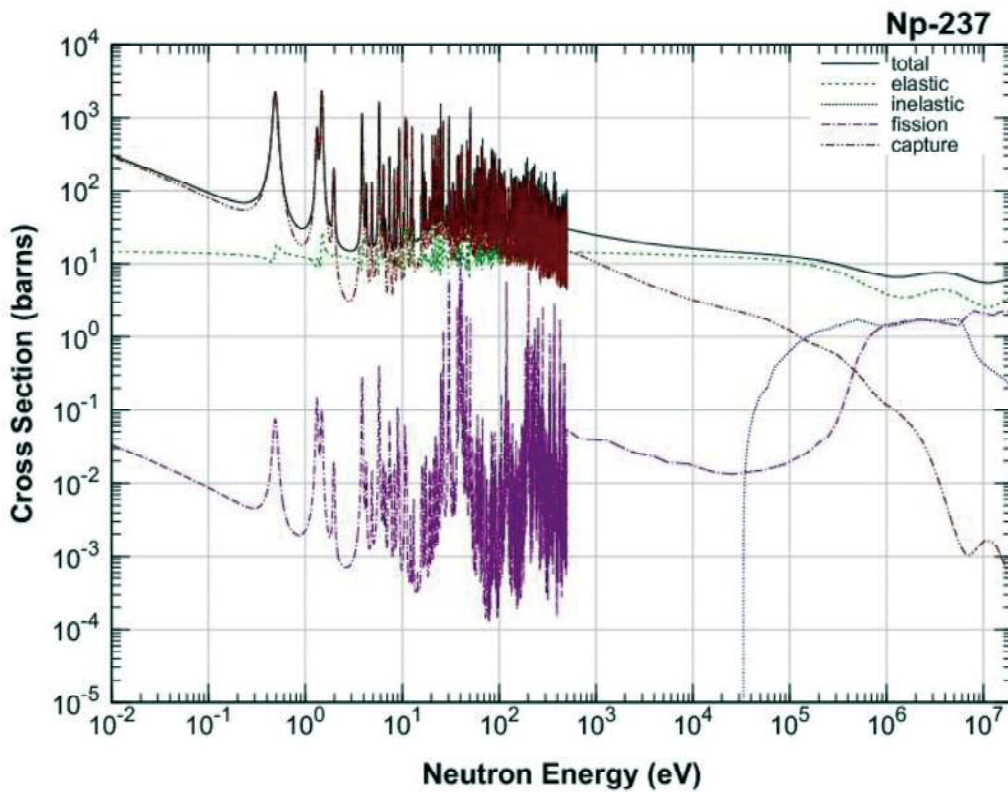
因の放射性廃棄物をシステム外に出さないシステム構築が目標である。

放射性廃棄物の中で、マイナーアクチニドは中性子のエネルギーが高ければすべてが核分裂性であることを踏まえて、核分裂で生成される数 MeV 程度の高エネルギー中性子を利用するという方法が従来主流であったが、近年は核反応断面積の大きいエネルギーにまで中性子を減速させ、中性子捕獲による核変換を促進し核分裂しやすい核種に変換したうえで核分裂させる方法も検討されている。中性子は余分に必要となるが、余剰中性子によるプルトニウム生成量の増大を目指さないため、プルトニウム生成に使っていた中性子を効率的に放射性廃棄物低減に活用する、という流れである。またマイナーアクチニドの一つである  $Np237$  ならば、 $Np237(n, \gamma) Np238(\beta^-) Pu238(n, \gamma) Pu239$ 、つまり中性子2個で核分裂性核種の  $Pu239$  が生成する。 $Pu239$  を核分裂させるにはさらに中性子が1個必要であるが、 $Pu239$  が核分裂すると3個近くの中性子が放出されるため、中性子の増減はあまりなく中性子経済が大きく悪化することはない。さらに核分裂生成物に関しては中性子捕獲による安定核種への変換を如何に効率よく進めることができるか、が焦点であり燃料への添加や塗布、特殊ターゲットとした場合の形状や組成などをパラメータとした集合体設計や軽水炉・高速炉・高温ガス炉などの様々な炉型での核変換評価を網羅的に進め、さらにそれらの組み合わせを核燃料サイクル全体としての成立性について評価を進めている。

### 原子力安全性・リスクに関する研究

原子力を安全に利用することは当然であるが「100%の安全は無い」ということも福島を踏まえて改めて肝に銘じる教訓である。原子力発電所に100%の安全は無い、という論調も多く聞かれるが100%の安全を求めることは「絶対安全」であり、規制・規則を満たせば十分という慢心にも繋がるとして、福島事故以前からすでに決別していた考えである。「100%の安全は無い」＝「残余のリスクがある」であり、この残余のリスクを絶えず低減するよう、努めていかなければならない。これは規制・規則を満たせば十分というのではなく、不断に安全向上を追求する必要があるとするのが現在の原子力安全であり、いわば過去に対する戒めでもある。

ここで、安全性向上を目指して新たなシステムや対策を施した場合、どのようなシステム・対策が、リスクの低減にどれくらい効くのか。これがわからないとどのような対策を打てば良いかが明確でない。幸いなことに、この効果は確率論的安全評価 (PRA) を用いると定量的に求めることが可能である。どのようなシナリオで事象が進展するかはイベントツリーで、あるシナリオの起こりやすさはフォールトツリーで、さらに全ての結果を重ね合わせることで影響度を評価することができる手法である。この手法を用いることで、様々な対策の有効性および比較が可能であり、対策にかかる期間やコストなどを踏まえた効率的な安全性向上策の策定に欠かせない。しかしながら原子炉の損傷に至る確率の低減、という



引用： [http://www.ndc.jaea.go.jp/j40fig/jpeg/np237\\_f1.jpg](http://www.ndc.jaea.go.jp/j40fig/jpeg/np237_f1.jpg)

図2 マイナーアクチニド (Np237) の核反応断面積

ようなレベル1のPRAにおいてシステムは明確であり、対策もマニュアル化できる事柄が支配的であるが、格納容器損傷による放射性物質の放出量などを対象にするレベル2のPRA、放出された放射性物質の公衆や環境への影響などを対象にするレベル3のPRAに至るとマニュアルがあっても現実には想定通りに事が進まないと考えられるため、その場の人間の役割が安全性評価上も重要な因子となりうる。人間信頼性解析、それも原子炉の格納容器が破損しているような過酷な状況における人間信頼性解析において、ヒューマンエラーだけでなく機転を利かせたりカバーリーも含めた解析手法の検討を通じて、

公衆や環境への影響低減に対する影響評価などを進めている。

### 3. おわりに

経済性や効率のための研究開発ではなく、社会一般に近く、社会一般の理解さらには受容性を向上しうる技術開発は、これからの原子力には欠かせない。当初は科学であった原子力が、現在は技術となり、さらに今後は社会に受容された常識になるよう、原子力という名前を付けた大阪大学工学部での唯一の研究室としての役割を担っていきたいと考えている --- 原子力を未来技術とするために。