

文春新書

806

# 原発安全革命

古川和男



文藝春秋

## 献辞

熔融塩炉基礎技術を確立した米オークリッジ国立研究所  
および協力して下さった国内外の人々、  
国際協力を推進して下さった故亀井貫一郎先生・  
故西堀榮三郎先生その他の諸先輩、  
私を育て支えて下さった恩師・友人・両親・姉弟妻息子などに、  
本書を捧げます。

## 原発安全革命 目次

はじめに——なぜ今「原発」を見直すのか 8

新版を出すに至ったわけ／三つのポイント／潜在的な危険性／  
世界中にエネルギーを／今こそ新しい原発を

## 序章 打開への道筋 21

これでは日本は孤立する／地球環境破壊／手をこまねくだけの日本／  
回避策はあるのか／水素は二次エネルギー／核エネルギー利用の可能性／  
本書の意図するところ——よい原発を求めて

## 第一章 人類とエネルギー 35

有史以来のエネルギー資源／天然ガスの時代へ／地下資源は有限か無限か／  
再び物流関数による未来予測／「発熱型エネルギー」技術の限界

## 第二章 核エネルギーとは何か 49

キュリーとアインシュタイン／原子核、同位体、放射能／  
放射能と放射線／核エネルギーの正体／核分裂とは何か／  
核融合の仕組み／核融合は技術対象以前／  
宇宙は核反応システムである／  
かつて天然の核分裂炉があった！

## 第三章 今の「原発」のどこが間違いか 71

軍事利用と平和利用／軽水原発の仕組み／  
軽水原発の主要問題点／原則に従えば炉設計は容易／  
「中性子減速」とは何か／平和利用はガス冷却炉から始まった／  
高温ガス炉の将来性／重水炉・軽水炉／  
高速増殖炉は未来を支えるか？

## 第四章 「安全な原発」となる条件 99

安全で社会的に受け容れられる炉とは？／プルトニウムの発ガン性／  
発電所は公共施設／「未臨界加速器炉」という提案

## 第五章 「原発」革命 その一——固体から液体へ 109

なぜ液体がいいのか／液体核燃料の長所と欠点／「熔融塩」とは何か／  
核燃料としての研究／フッ化物熔融塩という選択／  
再び、熔融塩とは？／地球マグマとの関わり／熔融塩技術のまとめ／  
オークリッジ研での成功

## 第六章 「原発」革命 その二——ウランからトリウムへ 131

「トリウム」の利用／トリウム資源／トリウムと人工ウラン元素／  
高ガンマ放射性「ウラン232」／プルトニウムの有効利用と消滅／  
使用済み核燃料の化学処理

## 第七章 「原発」革命 その二——大型から小型へ

小型熔融塩発電炉 FUJI(不二) 147

世界に「小型安全炉」を／FUJI-IIの構成／炉本体の構成／炉心設計／  
炉本体の詳細／その他の一次系機器／高温格納室／二次系機器・材料／  
燃料塩や構成材料の振る舞い／運転前の準備作業／運転中の操作／  
柔軟性のある運転性能／運転終了後の処理／高い安全性／  
圧倒的に有利な経済性／超小型実験炉を早急に造ろう

## 第八章 核燃料を「増殖」する 179

核エネルギーが主役になる条件／一〇年ごとに倍増を／  
なぜ「増殖」が必要か／熔融塩増殖発電炉の技術的難点／  
有効な増殖方式は？／「加速器熔融塩増殖炉」の提案／  
「トリウム熔融塩核エネルギー協働システム」構想／  
放射性廃棄物の消滅／必要資源と廃棄物

## 第九章 「革命的な原発」の再出発 199

システムの特徴一覧／重要な開発上の課題／  
なぜ今まで開発されなかったのか？／世界の原発事情

## 第一〇章 核兵器完全廃絶への道 219

核拡散防止への取り組み／核拡散防止の決定打／  
プルトニウム消滅に有効な技術／核兵器の完全廃絶実現への道／  
プルトニウムの使用禁止に向けて／ウラン時代からトリウム時代へ／  
今こそ科学精神を／リリエンスールの夢

あとがき 237

主要参考文献リストと解題 241

「トリウム熔融塩炉(MSR)」研究開発略年表 247

## はじめに——なぜ今「原発」を見直すのか

### 新版を出すに至ったわけ

本書の旧版は二〇〇一年に刊行された。旧版は、きわめて安全で取り扱いが容易、発電効率がよく、しかもこれからの全世界のエネルギー需要の急速な増大にも対応できる、まったく新しい革命的な原発システム（核エネルギー発電所システム）を、初めて一般書として紹介したものである。

このたび新版を出すに至った直接のきっかけは、東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故にある。

二〇一一年三月十一日、世界観測史上四番目といわれるマグニチュード九・〇の大地震が、岩手県・宮城県を初めとする東日本一帯を襲った。福島第一原発では、炉の緊急停止には成功したものの、炉は、遅れて襲来した大津波に冷却のための電源をすべて奪われ、核燃料自体が発する

高い崩壊熱で燃料棒が熔融し、その結果、格納容器から漏れ出た大量の放射性物質が、周辺地域を汚染、本書執筆の時点で今なお、危機的状况が続いている。この経緯は、すでに読者の皆さんもよくご存じのことだろう。

本書で提案・解説する新しい原発（「トリウム熔融塩炉」という炉を中心としたシステム）であれば、原理的にこんな過酷な事故は起こりえない。

おりしも、この数年、この革命的な原発への関心が世界的に高まりつつあり、国際協力の進展で実現への道のが見え始めた。

本書を改訂し、新版を世に問うゆえんである。

「トリウム熔融塩炉」などというところ、一般の方々には、なにやらひどく難しそうなものに思われるかもしれないが、技術の原理原則はきわめて単純・簡明なものである。極力平易な記述を心がけるので、どうかその本質とするところを読み取っていただきたい。

### 三つのポイント

これからの原子力発電は、まずなにより安全でなければならぬ。安全であることで初めて、皆さんの支持を得られる。

しかし、安全であるだけでは不十分である。安全である上に、経済性がなければいけない。発電効率が良く、安価で、しかも、今後ますます増大する世界のエネルギー需要に応じられるだけ



の供給力を持っていないければいけない（それがなぜかは、第一章で詳しく説明する）。

本書の提案は、その二つのハードルをもクリアするものである。

簡略に言えば、本書の「原発革命」の「革命」たるゆえんは、次の三点にまとめうる。

第一に、これまでの固体燃料を液体燃料に代える。事故の報道で炉心の燃料棒の図や写真をご覧になった方も多いと思うが、今の原発では、被覆管の中に密閉された固体核燃料を燃やしている。これを液体に代える。

第二に、今のウラン燃料をトリウム燃料に代える。現在の原発はウラン235の核分裂により発生する熱を利用しているが、このウラン235に代えて、それより少し質量の軽いトリウムという物質を燃料にする（ウランやトリウムについては第二章で解説する）。

第三に、原発自体を小型にする。今の原発は発電規模一〇〇万キロワット以上の大型施設が主流だが、これを二〇〜三〇万キロワット程度の小型のものに代える。

この三つの変革がなぜ「革命」なのか、どういうメリットをもたらすのかについての詳しい解説は本文を読んでいただくとして、ここではごく大雑把にその意義を、安全性と経済性の両面から素描することにしよう。

### 潜在的な危険性

まずは、安全性から。

福島第一原発の事故以来、一般の人々の原発に向ける目は厳しくなった。あれだけの事故を起こしたのだから、世間の人々が原発の安全性に疑いの目を向けるのも当然だろう。たしかに、福島原発の事故において、危機管理意識のあまりの低さ、危機対応能力のあまりのなさなど、国や東京電力が非難されてしかるべき点が多々ある。周辺地域住民の皆さんが蒙った被害は、甚大という言葉では表せないくらい甚大で、すべての原発の安全性点検・見直しは徹底的に行なわなければならない。

が、その一方で、今稼働している原発がすべて、すぐにでもストップしなければいけないほど危険な状態にあるわけではない。安全性に最大限配慮し、緊張感を持った厳しい危機管理体制を築くことができれば、今回のような過酷な事故は防ぎえよう。

ただし、それでも潜在的な危険はある。原発の設計思想そのものに、初めから無理があるからである。

無理というのは、まず先に挙げた「固体燃料」にある。

そもそも核エネルギー炉は「化学プラント」であり、したがって燃料の形態は液体であるべきなのである。このことは核化学反応の本質に係わることで、核化学者なら誰もが同意するはずである。ところが、現実の炉の設計は、開発初期のある時点で違った選択が行なわれた。液体ではなく、固体燃料が選ばれたのである。

火力発電所は石炭や石油を燃やした熱で水を沸かし、その熱水からの水蒸気でタービンを回す

ことで発電をしているが、今の主流の軽水炉（これがどのようなものは、本文で説明する）は、その石炭や石油を核燃料に代えたものといえる。つまり「火力発電所の原理」でつくられていて、「核エネルギー発電所の原理」には反しているのである（それなのに、なぜ固体燃料を選択し、液体燃料を選択しなかったのかについては、長い説明がある。これも本文で詳しく解説したい）。

その結果、軽水炉においては、核燃料は被覆管に密封され、その周囲を水が循環する方式となったが、この方式では核燃料や被覆管は、核反応や放射線の影響で変質・破損・熔融して、事故原因となることが多い。また、反応により発生するガスが被覆管内部に密封され、高圧となって、管の破損時に外部にガスが噴き出す危険を生む。さらに、水は放射線で分解され、爆発の危険性のある水素を発生する。高温高圧となる水による材料の腐蝕も難問である。こうしたもろもろの不都合を抑えこむために、炉の構造は各種の安全装置やモニター機器類を装着して複雑となり、それだけ保守・点検が大変になる。悪循環である。そこに貫かれているのは「合理性をもった技術の原理」ではなく、「多重防護という無理筋対応」である（こうした不都合が極限となって重なったのが福島の事故であったのは、もうお分かりだろう）。

「化学プラント」は液体が正道なのである。核燃料が液体であれば、今述べた技術的難点のほとんどは解決できる。そして決定的に安全性が向上する。炉の構造もシンプルなものとなり、保守・点検が容易になるだけでなく、ロボットなどを利用した遠隔管理や修理作業も実現でき、作業上の被曝も最小限に避けられる（詳細は本文をお読みいただきたい）。

仮に東日本大震災クラスの大地震と大津波が襲ったとしても、本書で提案しているトリウム熔融炉であれば、充分に対処できる（熔融塩という言葉は初めて耳にする方も多からう。本文では詳しく説明しているが、ここでは熔融塩とは固体の塩が融けて液体となったもの、塩とは我々がよく知っている食塩の仲間、といった程度に受け止めておいていただきたい）。

この炉では、核分裂連鎖反応を止めるのは容易なので（反応のコントロールが容易なのが液体燃料の大きな利点のひとつである）、通常の緊急時は、すぐに反応を止め、そのまま炉内で核燃料（正確にいうと核燃料を溶かし込んだ熔融塩）を安全に冷却することができる。大地震・大津波などの非常時には、核燃料を炉の下部から地下の冷却水プール内のタンクに落とす。そうすると、連鎖反応は自然にストップする。炉で連鎖反応が起こるのは、そこに中性子を減速させる黒鉛があるからで、核燃料が冷却水プールに落ちれば、燃料のまわりに黒鉛がなくなり、したがって中性子も減速されず、臨界が起こらないのである（難しい話とお感じの方もおられるかもしれないが、本文中で、臨界とは何か、中性子とは何か、減速とは何かを、極力分かりやすく解説しているので、そこを参照していただきたい）。

核燃料熔融塩は、連鎖反応が終わったあと崩壊熱を出す（ご存知のように、この崩壊熱で福島原発は大変な辛苦を味わっているのであるが）、地下に落ち、冷却水（ホウ酸水）で急速に冷やされると安定なガラス固化体になり、後は自然に冷めてゆく。「崩壊熱の暴走」を心配する必要は原理的にないのである。



万一、核燃料の一部が、地下の冷却水プールではなく、なんらかの事故で炉から漏れ出たとしても、炉外に黒鉛がない以上再臨界になることはなく、空気で徐々に冷却され、ガラス固化体となるのみである。テロにあって炉が破壊されても同じことで、溢れ出た核燃料はガラスのクズ状となり、それ以上飛散することはない。炉は高温格納室と炉格納建屋たてやに守られており、放射性物質が漏れ出る危険性はほとんどない。核燃料は高圧ではなく常圧であり、高圧に伴う各種の危険性も回避できる。

熔融塩というのは、いわば地球のマグマみたいなものと思っただければよい（ただし本書で取り上げた熔融塩は無色透明だが）。あるいは前述したように、（科学的振る舞いはかなり違うが）類似のものとして、「熱で溶け液状になった食塩」を思い浮かべていただいてもよい。とても安定した液体で、放射線を浴びても変質したり破損したりせず、今述べたように冷めるとガラス状に固まり、遠く飛散して環境を汚染したりはしない。このガラスは、空気にも水にも反応しない。この熔融塩に核燃料（本書で解説するトリウム）を溶かし込んで使うのである。

核反応により発生する放射性ガスは、常時除去されていて、常に炉の中に微量しか存在していないので、漏れ出す心配をすることはしない。また、今述べたように核燃料塩は水に溶けないので、燃料塩中の放射性物質が、水に溶けて外部に流出する「汚染水流出」の危険もまずない。

福島原発では大津波による「非常電源全喪失」が「崩壊熱の暴走」という大惨事を引き起こしたのであるが、この炉では万一「非常電源全喪失」が起こっても、そんな心配はいらない。炉の

下部の緊急バルブ（落下弁）が自動的に開き、燃料塩をすべて前述した地下の冷却水プール内のタンクに落とし、ガラス固化させる仕組みになっているからである。緊急バルブは、運転時は冷却して凍らせているが、冷却をやめると融けて開くので、電気は不要である。

このように、「核分裂連鎖反応を止める」「核燃料の崩壊熱を冷ます」「放射性物質を閉じ込める」というすべての面で、原理的にきわめて安全なのである。

安全面の話を別の方角からすると、燃料をトリウムとする点にある。すでに広く知られているように、ウラン235の核分裂により、プルトニウムが生まれる。核爆弾の材料となるきわめて危険な放射性物質だが、現状では世界中がその処分に困っている。原発が稼働すればするだけ、プルトニウムの山ができる。

トリウムを燃料とすれば、プルトニウムはほとんど生まれえない。それどころか、本書で提案する「トリウム熔融塩炉」でなら、プルトニウムも炉内で有効に燃やせる。プルトニウムの消滅に一役買えるのである。

トリウムは自然界に存在する物質の中でウランに次いで重いもので、中性子を吸収することで核分裂性のウラン233となる。この生成されたウラン233を「火種」にして、連鎖反応を引き起こさせるわけである。

幸いなことに、トリウムは世界中にある。埋蔵量も充分だ。ウランのように偏在していると、寡占国による政治支配を生むが、トリウムにはそんな心配はない。



しかも、核兵器への利用がとても難しい。なぜ難しいかは第六章に記したが、難しいからこそ、核冷戦時代にトリウムが不当に無視されてきたともいえる。ウランからトリウムへの変換は、ウランとプルトニウムがもたらしてきた核兵器の脅威からの解放をも意味する。

### 世界中にエネルギーを

今度は経済面に話を向けよう。

福島第一原発の事故があったから、「原発はすべてやめてしまおう」という声が強まっているような感じがする。あれだけの災害をもたらしたのだから、そういう声が強まるのも、ある意味、理解できなくはない。

しかし、冷静に考えていただきたい。すでに平常時で、日本の発電量の約三〇パーセントは原子力発電に支えられている。電力需要が最低となる正月に至っては、じつに九〇パーセントが原発からの電力なのである（二〇〇一年のデータ）。今年（二〇一一年）の春、東京電力が実施した計画停電ですら、市民生活はもちろん、産業界に多大な影響を及ぼしている。この現状で原発をすべて止めたら、間違いなく日本の社会は立ち行かなくなるであろう。

これからは太陽光発電や風力発電を活用すべきだ、という声もある。しかし、それらの実力たるや、とても原発と置き換わるほどのものではない。むしろ、将来的にはこれらの自然エネルギーに大いに期待したい。核エネルギーに代わって、エネルギーの主役に躍り出てほしい。しかし、

よほどの技術的な大革命がなければ、当面のエネルギーとしては、間に合わないのが現実である（詳細な論議は第一章を参照されたい）。

一方で、石油・石炭などの化石燃料は、二酸化炭素排出問題や化学汚染で先行きがない。

結論として、現状の原発を最大限の注意を払って安全に運用し、次の手段を急ぎ準備するほか、現実的な手立てはないのである。

だからこそ、トリウム熔融塩炉を提案しているのである。

急いでトリウム熔融塩炉による発電システムを構築し、既存の原発と置き換えなければならない。そして、やがては自然エネルギーに主役の座を明け渡すのである。

トリウム熔融塩炉は、経済性においても既存の原発にはるかに勝っている。

固体の燃料棒は、燃焼効率の面でも不経済なのである。燃料体も被覆管も放射線により損傷を受け、変型・変質してしまうが、それらを修復したり「燃えカス」の核分裂生成物を除去したりするには、一旦燃料棒を取り出し、溶解抽出などの化学処理を加える必要がある。燃料は反応が進むにつれ劣化してゆくので、半分しか燃えていないのに一、二年ごとに燃料棒を引き出し、位置換えや交換をしなければならない。そもそも本来の出力からすると、多量な余分量の燃料を運転前に装荷しなければいけない。こうしたさまざまな理由から、必然的に反応効率は悪いのである（それでも固体燃料の現方式が普及したのは、液体燃料より効率が悪くとも、石油などに比べれば、桁違いのエネルギーが得られるからである。核燃料の消費量は、発生熱量あたりで化石燃料の一〇〇

万分の一に過ぎない。

トリウム熔融塩炉では、炉が寿命を迎えるときまで燃料は全く取り替えず、トリウムなどを追加するのみで、初めに装荷した火種のウラン233の約五倍量を、連続的に核分裂させ燃焼させることができる。燃焼率は五〇〇パーセントといってよい（固体燃料炉では、核燃料を装荷してから取り出すまでの一回の燃焼率は数十パーセントに過ぎない）。

固体燃料体の製作・検査・輸送・燃焼・化学処理・再製作などの作業量は膨大だが、トリウム熔融塩ではそれらを大幅に簡略化できることも、経済性の改善に大きく寄与する。

需要に応じて出力を変える（これを負荷追随という）という点で、トリウム熔融塩炉は非常に使いやすい。現状の原発は、負荷に対応して出力を変えると、固体燃料内部の温度分布が激しく変化し、それによって材質が劣化して燃料の耐久寿命が短くなる。

それで今の原発は、負荷追随させたくなく、また、早い再起動が困難だから極力止めたくなく、投下資本が高額で低出力では利子が高くなるから、なるべく全力運転を続けたいがために、もっぱらベースロード（基本の負荷を請け負う）発電所として使われているのである。先ほど述べた、正月の電力の九〇パーセントが原発から、といった現象は、こうした事情に由来する。つまり、柔軟性に欠けた、あまり使い勝手のよいものではないのである。

本来、送電ロスを考えれば、発電所は需要地の近くに置くべきものなのだが、安全性を地域住民に納得してもらおう困難、高額な資本の投下などから、今の原発は都市を遠く離れた僻地に、大

型施設として集中して造られているのである。

トリウム熔融塩炉は小型にする。そうすれば、需要地である都市や工業地域の近郊に設置でき、送電ロスを大幅に減らせる。需要地ごとに分散するには小型であるほうが便利である。安全性の面でも納得してもらえらる。構造・運転保守が単純で、大型化の利益がない。

そしてなにより、小型化することで、全世界へのエネルギー供給に寄与できるのである。今、エネルギーを切実に必要としているのは、多くの発展途上国である。加えて、世界の人口は爆発的に増加している。今後、人類が必要とするであろうエネルギー量は、現在の比ではないと予想される。しかし、先進国はともかく、他のほとんどの国では、大型の原発は割高で、多数の小型炉を必要としている。その需要に、小型のトリウム熔融塩炉は応え得るのである。

ただし、前提がある。そうしたトリウム熔融塩炉の世界展開には、現状では決定的に不足しているものがある。燃料の「火種」を作る中性子が足らないのだ。われわれはこの中性子不足を解決すべく、核燃料の「増殖」を計画している。

「はじめに」にしては、ちょっと小難しい話に入り過ぎたかもしれない。このあたりの話は本文でじっくり語ることにしよう。

### 今こそ新しい原発を

このトリウム熔融塩炉構想は、なにも私の独創ではない。一九六〇、七〇年代におけるアメリカ



カ・オークリッジ国立研究所での実証的研究を初め、先人たちの膨大な研究の積み重ねがあって生まれたものである。この経緯の詳細は第五章で触れるが、一点だけはここに記しておきたい。オークリッジ研での基礎研究開発が、驚くほどわずかな資金と人員で整えられたことである。いかにこの原理が単純で優れているかの証拠である。

しかし、残念なことに、東西核冷戦下、不当にも無視され、忘れ去られ、今に至っている。

これだけ利点の多い構想が忘れ去られたという事実には、構想自体になんらかの大きな欠点・不備があるので、と不審を抱かれる読者も多いことだろう。そうした不審を解くために、「受け入れられずに来た理由」を第九章で解説した。詳しくはそこを読んでいただきたいが、ここでは、原理的に正しい技術も、人間社会のさまざまな動きの中で、ときに不当な扱いをうけることがある、という事実のみを記しておきたい。

トリウム熔融塩炉は、ここ数年、米・仏・露・チェコ・トルコ・ベネズエラ・オーストラリア等々世界各国から、一緒に実験炉を造ろう、といった呼びかけを初め、さまざまな協力要請が届いている。原子力の平和利用に、どの国も行きづまっている。

今からでも遅くない。今こそ発想を転換し、新しい原発を造るときだ。二一世紀の人類のために――。



## 第四章 「安全な原発」 となる条件

これからの原発は、まず社会に対する信用回復から取り組まなければならない。  
チェルノブイリや福島のような重大事故を起こさない安全な原発を造るには、  
具体的にどうしたらよいかを示す。

安全で社会的に受け容れられる炉とは？

前章で触れた軽水炉型原発などで、最も問題にすべきは安全性である。商品は安全でなければ、信用し安心して使えない。何度もいうように、現在運転中の日本の原発が、すぐ運転を停止すべきであるほど危険なわけではないが、現状でいいわけではない。ここでの命題は「本質的に安全な炉」は何か、ということである。

一九九一年に美浜原発事故が起こってから、日本政府は日本の原発でも重大（苛酷）事故が起こりうることをようやく認めた。それまであくまで否定していたのを正直に言ったのはよいが、なぜそれまで隠していたかの本質的反省が全くない。また「起こりうる」のでは困る。そのような「逃げ腰体質」がこのたびの福島の大惨事をもたらしたのは明白である。

我々は、本書で紹介する「熔融塩炉」が原理的に重大事故を起こさないものであることを強く主張し続けてきた。専門家たちもその安全性を認めていたのであるから、国や原子力業界がこれまで一顧だにしてこなかったことには憤りを感じる。

ここでは、既存の原発の安全性についての一般的な問題点を整理しておきたい。すでに事故報道などで耳にされているかもしれないが、安全を守る要諦は、

- (A) 炉を確実に停止すること
- (B) 停止後も核物質から崩壊熱を除去すること
- (C) 放射性物質の外部放出を防止すること

の三項である。

(A) 炉を確実に停止するのは、一般にそれほど難しいことではない。どの炉でも最優先で配慮してあるからである。事実、少なくとも福島でも、一応停止には成功しているようである。

(B) 炉の核分裂連鎖反応を停止できても、その後、核燃料内に生成されている核物質からの放射能改変による崩壊熱を除去し続けなければならない。その熱量は、停止するまでにどのような燃料物質をどれだけ燃焼したかで変わってくる。したがって一概に予測はできないが、傾向を類推してもらうために、一例として一〇万キロワット発電の加圧水冷却炉の場合を示しておこう（なお、崩壊熱は炉型には関係しない）。

直後はまだ二二万キロワットの熱を出す。一日後は一・七万、五日後は一万、一五日後は五六〇〇、一カ月後は四〇〇〇、二カ月後は二三五〇、四カ月後は一七四〇と減るが、一年後で六六〇、三年後でも二〇〇キロワットの熱を出し続ける。冷却放熱が不十分であると、いつでも容易に超高温になってしまうのである。

冷却作業が大変な負担であることが、この数字からよくわかる。ご存じのように、これが津波などで予想外に全電源を失った福島第一原発事故の主原因である。明らかに「非常電源確保」にもっと積極的であるべきだった。

(C) 放射性物質の外部放出防止は至上命令である。しかし、これも福島では防げなかった。福島の事故を招いた根源は、明白である。「技術の原理」ではなく、「多重防護という無理筋対

応」を過信したからである。

以下、もう少し一般的・基本的な炉の安全性を考える上での主要ポイントを列記しておく（なお、我々の推奨する「熔融塩炉」の安全性は、第七章で取り上げる）。

一般に炉は、臨界より少し上の核反応状態を維持するように制御されている。そして、少し反応が強まり過ぎると、自己制御がきくように設計されている。たとえば、反応が強まり高温になると、逆に反応を弱めて低温に戻ろうとする。それでも制御が間に合わない場合は、中性子を強く吸収する物質でできた制御棒を、炉心に押し込んで核反応を弱める。

それでもなお制御できないと、核反応が急速に増大し、たとえば炉内部が高圧になって、ついに容器などが破壊されて冷却材が失われ、高温になって燃料体が熔融する事態が引き起こされることも考えられる。そうして炉心が熔融すると、核物質が一カ所に集まって、より激しい核反応を起こす可能性も出てくる。

したがって、このようなことが、どのような装置故障が重なっても発生しないように、炉を設計すべきである。故障・破損の原因としては、材料の疲労や化学腐食などだけでなく、放射線照射による損傷も考えられるので、炉概念設計の段階で、破損が起きにくい材料・形状構造を選び、さらには、いかなる事故が起きても重大事態へと発展させない設計思想を確立すべきである（後章で述べる熔融塩炉であれば、福島やチェルノブイリのような重大な事故は決して起こさない設計にできる）。