

運転員はなぜANZ5ボタンを押したか？

今中 哲二

チェルノブイリ原発事故の暴走プロセス

一九八六年四月二十六日午前一時二四分（モスクワ時間）の少し前、旧ソ連ウクライナ共和国チェルノブイリ原発の四号炉で出力暴走事故が発生し原子炉と建屋が爆発炎上した。屋外の目撃者によると、二回またはそれ以上の爆発が続いて夜空に花火のような吹き上げがあったという。破壊された原子炉の火災は一〇日あまり続き、膨大な量の放射能がまき散らされた。原子力発電開発史上最悪のチェルノブイリ事故が発生してから、今年の四月で一六年がたった。しかしながら、そもそもこの事故プロセスをはじめ、未だにはっきりしていないことが多々残されている。筆者の今中は一〇

年前の本誌（一九九二年四月号）に「規則違反か設計欠陥か？」と題して、事故原因に関する当時の議論をまとめた⁽¹⁾。本稿では、地震原因説などその後の議論を含め、暴走プロセスについての問題点を整理しておく。

1. チェルノブイリ型原発の特徴と弱点

チェルノブイリの原発は、RBMK型原発と呼ばれ、旧ソ連が原爆用プルトニウム生産のために開発した原子炉を、発電用に発展させたものである。チェルノブイリ事故当時のソ連では、事故を起こしたチェルノブ

イリ四号炉を含め、一五基のRBMK原発（総電気出力一五五〇万kW）が運転中であった。

RBMKとはロシア語で「大出力チャンネル型原子炉」の略であるが、その構造からいうと、「黒鉛減速・軽水沸騰冷却・チャンネル型原子炉」となる。すなわち、中性子のスピードを緩めて核分裂を起こしやすくするための減速材である黒鉛ブロックを、巨大な「練炭」（直径二一m、高さ七m）のように円柱形に積み上げて炉心の基本形が構成される。「練炭」の垂直孔（チャンネル）に外径九cmの細長い圧力管が差し込まれ、燃料棒一八本を束ねた燃料集合体とその圧力管の中に収納される。チェルノブイリ四号炉（電気出力一〇〇万kW、熱出力三三〇万kW）には一六六一本の圧力管チャンネルがあり、その他に二一本の制御棒チャンネルと若干の計装用チャンネルを備えていた。冷却水は下から圧力管に入り、管内で沸騰しながら二相流（蒸気と水の混合物）となって圧力管を出る。圧力管を出た二相流は、気水分離器に導かれて蒸気と水に分離される。蒸気は、タービンに送られて発電機を回し、復水器で水に戻された後、補給水として気水分離器に供給される。気水分離器の水は循環ポンプを通じて再び

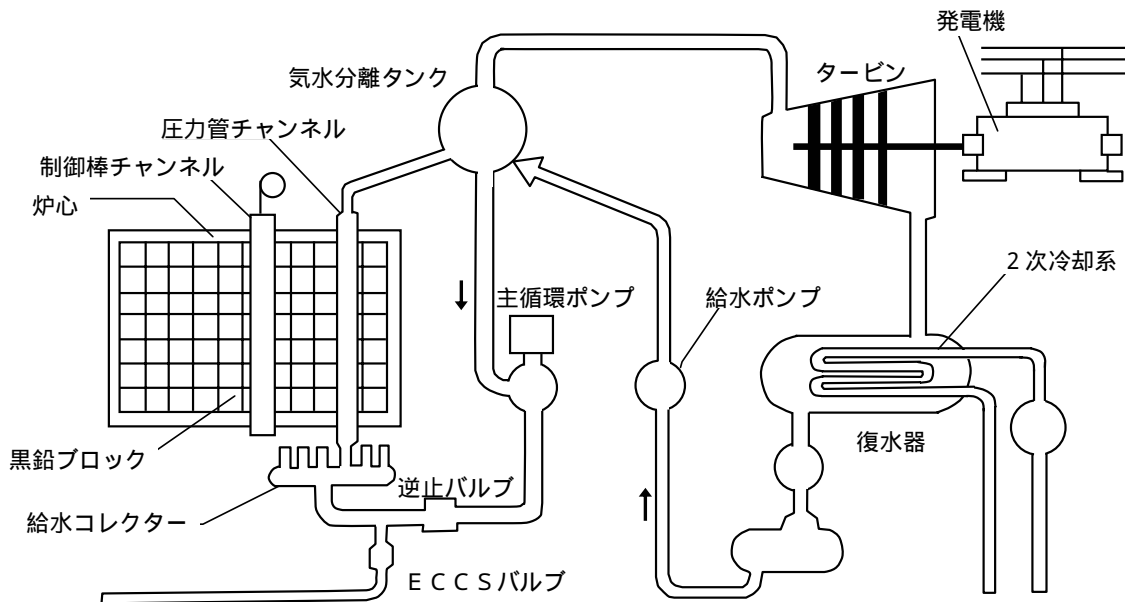


図1 RBMK型原発のしくみ

圧力管に送られる(図1)。

ここでは、RBMK炉の弱点を三点指摘しておく。

- ・正のボイド反応度係数

反応度とは、炉心が核分裂を促進させる状態にあるか減少させる状態にあるかを示す指標である。定常運転時の反応度はゼロで、プラスであれば出力が上昇し、マイナスであれば出力が下がる。ボイド反応度係数とは、炉心でボイド(蒸気などの気泡)の割合が増えたときに反応度がどのように変化するかを示す。正のボイド反応度係数とは、炉心でのボイド量が増加すると反応度がプラスになるように作用し、したがって出力が上昇することを示す。

- ・ポジティブスクラム

スクラムとは、制御棒を一斉に挿入して原子炉を緊急停止させることである。RBMK炉のスクラム信号を出すボタンがAZ5(事故防第五ボタン)である。ところが、RBMK炉の制御棒の設計に欠陥があったため、制御棒全数引き抜きといった特殊な条件下でスクラムすると、炉心の下部に一時的にプラスの反応度加わり、過渡的に出力上昇するという欠陥があった。

- ・低出力運転での不安定性

低出力の運転では、炉心で発生する蒸気量が少なくなる。蒸気量が少ないと、出力変動にもなうボイド割合の変化が大きくなり、正のボイド反応度係数の効果が現れやすくなって出力制御が不安定になる。

2. 暴走の経過

チェルノブイリ事故が発生してから四ヶ月たった一九八六年八月、ウィーンのIAEA(国際原子力機関)本部で、事故に関する専門家会議が開かれた。ソ連代表団から四〇〇ページの大部な報告書(以下八六年報告)が提出された⁽⁵⁾。八六年報告によると、事故の原因は、「運転員による規則違反の数々のたぐいまれな組み合わせ」であり、六つの規則違反が指摘された。指摘された規則違反のほとんどは「濡れ衣」であったことが後に明らかにされているが、「電源テスト」開始前までの事故経過について、まずは八六年報告にそって説明しておく。

電源テスト開始まで

一九八六年四月二十五日午前一時、チェルノブイリ原発四号炉は保守点検のため、一九八三年一二月の運

転開始以来はじめての原子炉停止作業に入った。この原子炉停止の機会にあわせて、ある非常用電源のテストが予定されていた。原発で停電が起きた際に非常用ディーゼル発電機が立ち上がるまでの数十秒間、緊急用ポンプを回すため、原子炉停止後のタービン慣性回転を利用して発電してみようというテストであった。

出力降下作業中の二十五日一四時、キエフの給電司令所から給電継続の要請が入り、熱出力一六〇万kWで運転を継続することになった。二十五日二三時になって出力降下作業を再開したが、二十六日〇時二八分、出力制御系の切り替え操作に失敗し、原子炉出力がほぼゼロまで低下してしまった。運転員は電源テストを実施するため、ほぼすべての制御棒を引き抜いて原子炉出力の回復につとめた。その結果、二十六日午前一時頃、なんとか熱出力二〇万kWまで回復し、電源テストを実施することになった。午前一時三分と七分、予備の循環ポンプ二台のスイッチが入られ、全部で八台の循環ポンプが運転に入った。

この時の炉心の状態は、予定より小さな出力（テストは熱出力七〇万〜一〇〇万kWで実施する予定だった）、ポンプ追加運転による炉心流量の増加（通常運転

時は六台）、ほとんどすべての制御棒の引き抜きという事態で特徴づけられる。

四月二十六日一時二三分四秒、タービンへの蒸気弁が閉鎖され、タービンが慣性回転をはじめて電源テストがはじまった。

テスト開始から暴走までの諸説

・AZ5を押ししたが間に合わなかった（運転員規則違反説）

一時二三分四秒、電源テストがはじまると、タービンの回転速度減少にともない、緊急用ポンプの模擬としてテスト電源につながれていた四台の循環ポンプの流量が徐々に減少した。流量の減少とともに、炉心の沸騰が増えはじめ、正のボイド反応度効果により、出力が徐々に上昇をはじめた。予期せぬ出力上昇に気がついた運転員は、一時二三分四〇秒に原子炉緊急停止のためAZ5ボタンを押した。しかし、制御棒のほとんどを引き抜いていたため、緊急停止は間に合わず出力は加速度的に上昇して暴走に至った。一時二三分四四秒には原子炉出力は定格の一〇〇倍にも達し、燃料棒や圧力菅が破損し、さらにその数秒後に第二の爆

発が起きて原子炉と建屋が崩壊した。

八六年報告のこのストーリーによると、この暴走をもちたしたのは、運転員が制限値以上に制御棒を引き抜いていたこと、禁止されていた低出力での運転を強行したこと、タービンへの蒸気弁を閉じたときに原子炉スクラム信号をブロックしていたことなどが原因であった。循環ポンプ流量の減少とともに出力上昇がはじまり、運転員は異常に気づいてAZ5ボタンを押したが間に合わなかった」ということになる。

・AZ5を押したことで暴走がはじまった(制御棒欠陥説)

一九九一年一月、ソ連最高会議チエルノブイリ事故調査委員会の命令をうけて、事故原因を再検討していたソ連原子力産業安全監視委員会の特別調査委員会が一年にわたる調査結果を発表した^⑤。その報告書(以下シテインベルグ報告)によると、一時二三分四秒に電源テストがはじまったが、テスト中、運転員の操作を要するような事態はなかった。循環ポンプの流量減少にもなう炉心への影響は、自動制御棒の挿入効果により相殺されていた。異常事態が発生したのは、一

時二三分四〇秒に運転員がAZ5ボタンを押してから後であった。つまり、制御棒構造の欠陥にもなうポジティブスクラム効果より、原子炉の下部にプラスの反応度が生じて局部的な出力暴走が生じ、三秒後の二三分四三秒に「原子炉出力周期異常」「原子炉出力高」警報が発生した。そしてAZ5の六、七秒後に燃料棒と圧力管が破壊された。圧力管が破壊されて炉心で大量の蒸気が発生し、正のボイド反応度効果によりさらに大きな暴走に至った。

シテインベルグ報告によると、八六年ソ連報告で指摘された運転員の規則違反のほとんどは濡れ衣で、例えば、低出力で運転してはならないという規則はもともとなかった。事故の原因は、ポジティブスクラムと正のボイド反応度係数という原子炉の構造欠陥と、それを知りながら適切な対策を怠ってきた責任当局にある、と結論している。「AZ5を押したことにより止まるはずの原子炉が逆に暴走した」のであった。しかし、運転員がなぜAZ5ボタンを押したのか、その理由は特定できなかったとシテインベルグ報告は述べている。

・地震が四号炉を暴走させた(地震原因説)

一九九七年、ロシアの地質学専門誌・地質物理ジャーナルに「チエルノブイリ原発地域での地震事象」という論文が発表された(5)。著者は、ロシア科学アカデミー・地球物理合同研究所のストラホフら、ロシアとウクライナの地震学者一〇名で、四号炉が爆発する約一六秒前に、チエルノブイリ原発近くで地震が発生しており、それが事故をもたらしたという内容である。

論文の概要を説明しておこう。地下核実験探知のため高感度の地震計が旧ソ連の各地に設置されていた。チエルノブイリ事故の際に地震を記録していたのは、チエルノブイリ原発の西方一〇〇〜一八〇kmに設置されていた三カ所の地震計であった。地震波の解析結果から、地震が発生したのは一九八六年四月二十六日午前一時二三分三九秒(±一秒)で、震源はチエルノブイリ原発近傍、マグニチュードは一・四であった。地震波を基に震源座標と深さを正確に決定するのは困難であった。そこで、チエルノブイリ原発周辺の地質構造を分析した結果、震源となりそうな場所が原発敷地の東五km深さ一kmに認められた。その位置でマグニチュード一・四の地震が発生したとして、地質構造を考慮して原発建屋での地震加速度を計算してみると約一

〇ガル(日本では震度3に相当)となった。ストラホフらは、この地震に建物の共振効果加わって制御棒の挿入が不可能となり、一時二三分四九秒から五九秒の間に四号炉が爆発した、と推測している。ちなみに、地震で放出されたエネルギーはTNT火薬にして約一〇トンであった。

この地震原因説に基づくならば、電源テストと敷地近傍の局地地震が重なって「原子炉を停止しようとAZ5を押ししたが地震により制御棒が入らなかった」ということになる。

・原子炉が暴走したのでAZ5を押しした(原子炉爆発の振動記録説)

今年の四月、ウクライナの週刊誌「週間鏡」に「チエルノブイリ事故原因についての一五年間」という論文が掲載された(6)。著者はチエルノブイリ四号炉「石棺」を管理しているウクライナ科学アカデミー・シエルトー科学技術センターのゴルバチョフである。ゴルバチョフ論文はまず、八六年報告やシテインベルグ報告は政治的意図を含んでおり、電源テストがはじまってからの事故経過は信用できない、運転員は電源テ

ストを繰り返し返すつもりでいた、と述べている。その運転員がAZ5ボタンを押したのは、公式報告では意図的に記述されていない緊急事態が発生したからである。AZ5ボタンが二回または三回と繰り返し押されていることも運転員が慌てていたことを示している。

ゴルバチョフによると、二三分三〇秒から四〇秒の間に、運転員がキセノン毒作用を補償するため残りの制御棒を引き抜いた結果、瞬時に暴走と最初の爆発が生じた。運転員はこの爆発に気づいて二三分三九秒にAZ5ボタンを押した。さらにもう一度二三分四一秒に二回目を押したが、このときには二回目の爆発が生じて原子炉と建屋が破壊された。地震計に記録された振動は、この二回目の爆発であった。

ゴルバチョフ説によると、運転員の操作ミスで暴走が生じ、「最初の爆発が起きてから運転員はAZ5ボタンを押した」ことになる。

3. 運転員はなぜAZ5を押したか？

規則違反説と制御棒欠陥説については、一九九二年四月号の「規則違反か設計欠陥か？」で詳しく紹介した。その後、シテインベルグ報告をうけてIAEAの

専門家グループは、一九九二年一月にチェルノブイリ事故原因を見直すレポートを発表し、AZ5を押したことが暴走に至る主要な要因であったと認めている(⑤)。一方、ロシア・エネルギー技術開発研究所(НИКІЕТ)のアダムフらは、ポジティブスクラムは事故の進展に寄与していなかったという解析結果を発表し、規則違反説を繰り返している(⑥)。日本の安全解析の権威である石川迪夫も日本での解析結果を基にアダムフと同様の見解を示している(⑦)。また、ロシア・クルチャトフ研究所のアファナシエワらの解析結果はポジティブスクラム説を支持している(⑧)。この一〇年間、規則違反説と設計欠陥説は平行線を辿ってきたと言えるよう。

一〇年前に規則違反説と設計欠陥説を比較検討して筆者が確信したことは、コンピューターによる複雑なシミュレーションはさておき、「運転員がなぜAZ5ボタンを押したか」というシンプルな質問こそ、チェルノブイリ事故の暴走プロセスを解釈するための鍵である、ということであった。

事故時にチェルノブイリ四号炉の運転を担当していたのは、運転班長アキモフと上級運転員トプトウノフ

であった。AZ5ボタンを押したのはアキモフだったと言われているが、二人とも放射線障害によりモスクワの病院で死亡し、「なぜAZ5ボタンを押したか」についての証言は残していない。事故時の四号炉制御室での実質的な責任者は三・四号炉副技師長のジャトロフであった。ジャトロフは、事故の責任を問われ一〇年の禁固刑を宣告されていたが、刑期を終える前に出所を許された。出所したジャトロフはIAEAに書簡を送り、電源テスト中は平穩そのものであり異常を示す事態は何もなかった、AZ5を押したのは電源テストが終了し原子炉を停止するためであった、と述べている(七〇)。筆者としては、ジャトロフ証言とシテインベルグ報告が示している状況証拠から、電源テストが終わったので原子炉を停止しようとAZ5を押したところ、ポジティブスクラム効果により止まるはずの原子炉で逆に出力暴走が発生した」と考えてきた。ただひとつ気になっているのは、低出力であったとはいえ、原子炉の通常停止に緊急停止AZ5ボタンを使うかどうか」という疑問であり、この点については明確な説明を見つけられずにいる。

地震原因説を筆者がはじめて知ったのは、ロシアの

学者がチェルノブイリ事故の原因は地震だったと発表したという、一九九五年六月の短い新聞記事であった。詳しいことは不明であったが、一九九七年八月にNHKで、デンマークのテレビ局によって制作された地震原因説のドキュメントが放送された。しかし、その放送を見た限りでは、地震原因説は説得力のあるようなものではなかった。その後、ストラホフ論文を入手したので、何人かの地震専門家からもコメントを受けながら、地震原因説について検討した。その結果、地震動が暴走をもたらしたメカニズムは確かでないものの、「地震が記録されていたことは否定できないだろう」と判断している。

しかし、地震原因説には次のような疑問がある。

(イ)地震計に記録されたのは、地震ではなく四号炉の爆発ではなかったか。

(ロ)震度3程度の地震があったのなら、発電所に隣接したプリピャチ市民も含め多くの人が気づいたはずだし、そのような証言はこれまでなかった。

(ハ)一〜三号炉は被害がなく、なぜ四号炉だけ爆発に至ったのか。

ゴルバチョフによる、四号炉の爆発にともなう震動

を地震計が記録したという説は、これらの疑問を一挙に解決するものである。四号炉爆発の際に発生したエネルギーは、TNT火薬約二四〇トン分であったという評価(二)もあり、ゴルバチョフ説と矛盾しない。しかし、八六年報告やシテインベルグ報告に示されている事故経過は信用できず、また、電源テスト中二三分三〇〜四〇秒の間に運転員が制御棒を引き抜いたというゴルバチョフの主張は、彼の推測でありその根拠が示されているとは言い難い。

以上、チェルノブイリ事故の暴走プロセスに関する議論を整理してみた。「運転員がなぜAZ5ボタンを押したのか？」はいまだに断定できないし、今後も断定することは困難であろう。しかし、暴走プロセスを解釈する上で、このシンプルな疑問がキーポイントであることに変わりはない。筆者が考えているストーリーのひとつを紹介しておこう。

二人の運転員は、〇時二八分に原子炉出力がほぼゼロになってしまった段階で原子炉を止めたかったが、上司であるジャトロフの指令により、むりやり出力を再上昇させることになった。電源テスト中、運転員は

原子炉の状態が通常でないことを承知しており、電源テストが終了したら速やかに原子炉を停止させたかった。そして、「電源テストが無事に終わったので、AZ5ボタンにより原子炉を止めようとしたところ」、ポジティブスクラム効果により出力暴走が発生して、一部の圧力管が破損した。圧力管破損にともない炉容器内の圧力が上昇して炉心上部構造板が持ち上がり、さらなる圧力管破損を生じた。炉心では大規模に蒸気が発生し、正のボイド係数効果が現れてさらなる暴走が起きて一種の核爆発に発展した。そして、一〇〇〜一八〇km離れた地震計にこの爆発による振動が記録された。このストーリーが成立するには、地震計記録の時間を七〜八秒後にずらすことが必要である。

おわりに

本稿では、チェルノブイリ事故のきっかけとなった暴走プロセスについて、これまでに提唱されてきたいくつかの説について検討した。いずれの暴走ストーリーが本当であろうと、チェルノブイリ事故の基本的な原因が、正のボイド係数やポジティブスクラムといった原子炉構造の欠陥、ならびにそれを承知しながら適

切な対策を怠っていた責任当局にあったことは間違いない。IAEAなどの西側専門家は、ソビエト社会の「安全文化の欠如」がチェルノブイリ事故をもたらした遠因であったと結論している。ひるがえって日本の原子力を考えたとき「常識では起こるはずのない」「〇臨界事故」や「晴天の霹靂のような浜岡原発配管破裂事故」を私たちは経験した。また、原子力にかぎらず、昨今の出来事は日本の「安全文化と責任感の欠陥」を明らかにしている。日本でこの一六年間、チェルノブイリのような原子力事故が起きなかったことの僥倖に私たちは感謝すべきであろう。

(本稿は、文科省科研究費助成研究「スラルシ、ウクライナ、ロシアにおけるチェルノブイリ原発事故研究の現状調査」の一環としてまとめたものである。)

(いまなかつじ 京都大学原子炉実験所)

文献

- 1 . 今中哲二「規則違反か設計欠陥か?」『技術と人間』一九九二年四月号 .
- 2 . USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy, "The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and Its Consequences", August

1986.

- 3 . Комиссия Госпромагромадзора СССР, "О причинах и обстоятельствах аварии на 4 блоке чернойбыльской АЭС 26 апреля 1986г", 17.01.1991.
- 4 . Страхов В.Н. и др., "Сейсмические явления в районе Чернобыльской АЭС", *Геофизический журнал*, Т.19, № 3, 1997.
- 5 . Горбачёв В., "О причинах Чернобыльской аварии нам врали пятнацать лет", *Зеркало Недели*, №15 (390), 20-26 апреля 2002г.
- 6 . INSAG, "The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1", IAEA-Safety Series 75-INSAG-7, 1992.
- 7 . Адомов Е.О. и др., "Роль оглеельных факторов в развитии аварии на Чернобыльской АЭС", *Атомная Энергия*, Т.75 № 5 1993.
- 8 . 石川迪夫「原子炉の暴走」『日刊工業新聞』一九九六年 .
- 9 . Afanas'eva A.A. et.al., "Analysis of the Chernobyl Accident Taking Core Destruction into Account", *Atomic Energy*, Vol.77., No.2, 1994.
10. Dyatolov A. "How it was: an operator's perspective", *Nuclear Engineering International*, November 1991.
11. Martinez-val J.M. et.al., "An Analysis of the Physical Causes of the Chernobyl Accident", *Nuclear Technology*, Vol.90, 1990.