

【参考】チェルノブイリ原子力発電所事故概要

(参考文献のとりまとめ)

【発電所の概要】

チェルノブイリ発電所は、旧ソ連（現ウクライナ）のキエフから北北西約110 kmに位置し、プリピャチ川河岸にある。事故発生後、4基の原子炉が稼働中、2基が建設中であった。これらの原子炉は、ソ連特有の「黒鉛減速沸騰軽水圧力管型原子炉（RBMK）」で、電気出力は100万kWである。炉心の冷却には軽水を用いているが、原子炉の構造は軽水炉と異なり、黒鉛のブロックを積み重ね、そこに多数の圧力管を通し、その圧力管内に燃料集合体を入れて冷却することで燃料からの熱を除去するという方式となっている。圧力管内で冷却水が沸騰し蒸気と水の二相流となって気水分離器に送られる。そこで分離された蒸気はタービンに送られ、水は主循環ポンプで原子力へ戻される。

RBMKは、核分裂連鎖反応をうながす「減速材」として、燃えやすい黒鉛が使われていて、低出力で運転中に出力が上向くと、さらに出力が上がりやすくなる性質があり、暴走のおそれがあった。

【事故の概要】

1986年4月25日、チェルノブイリ原子力発電所4号機は保守のため、停止することとなっていたが、停止前に、外部電源喪失時にタービン発電機の回転慣性エネルギーをどれだけ所内電力に使えるかを試す実験を行う予定であった。実験は、熱出力が70万～100万kWに下がったところで行うことになっていた。

4月25日深夜1時に出力停止を開始し、予定では、出力低下を継続し実験開始の熱出力まで下げるはずであったが、電力供給指令所からの要請を受け、その後約9時間にわたって熱出力160万kWでの運転が続けられた。

23時10分、出力低下操作を再開したが、制御方式を高出力領域から低出力領域に切り替える際に、目標の設定を忘れたため、予定よりはるかに低い3万kWまで出力が低下した。このため、運転員は手動で制御棒を引き抜き出力の上昇を試みたが、出力の低下に伴って炉内に蓄積されたキセノンにより中性子が吸収されたことにより出力は上昇せず、4月26日午前1時に20万kWに戻すのがやっとであった。この炉では、70万kW以下での運転継続が禁止されていたが、現場の判断により20万kWで実験を行うことが決定された。

午前1時3分と7分、運転中の主循環ポンプ6台（各グループ3台）に加え各グループのポンプを1台ずつ起動させたため、炉心での冷却材流量が規定値を超え、その結果、蒸気泡（ボイド）が減少するとともに、気水分離器の蒸気圧力が低下した。このままでは気水分離器の水圧と圧力の異常により、原子炉が緊急停止してしまうので、それを避けるため原子炉保護信号をバイパスして無効にした。運転員は、気水分離器の水位を回復させようとして給水流量を増加させたため、低温の水が炉心に流入してボイドが減少し、炉出力がさらに低下した。そこで、出力を維持するために自動制御棒が上限位置まで引き抜かれ、また、運転員は手動制御棒を引き抜いた。この結果、反応度操作余裕が大きく低下した。

1時23分、運転員は実験が失敗した場合に繰り返し実験を行えるように原子炉保護信号(タービン停止による原子炉停止信号)をバイパスした。1時23分4秒、弁を閉じることで実験が開始され、これによりタービン発電機は惰力回転となり、この発電機に接続していた4台の主循環ポンプの回転数が下がって炉心流量が低下し始めた。これに伴って、冷却材温度が上昇してボイドが増加し原子炉出力が上がり始めた。1時23分40秒、運転員は原子炉の緊急停止ボタンを押したが、出力は上昇し続け出力暴走事故となった。

この結果、燃料が熔融破損し、急激な圧力上昇により圧力管が破裂して1時24分頃、2回目の爆発が発生した。1度目の爆発は出力の急激な上昇によって燃料が飛散し冷却材と接触して水蒸気爆発が起こったものと見られ、2度目はジルコニウム-水反応で発生した水素と空気の混合気体の爆発とされている。爆発により、原子炉と建屋構造物のかなりの部分が破損され、破損した黒鉛が飛び散ったため黒煙火災が発生するとともに、燃料の一部は微粒子となって飛散し大量の放射性物質が環境に放出された。

チェルノブイリ原発事故では、核分裂反応の結果、原子炉内の水が「水蒸気爆発」をおこし、原子炉が内部から吹き飛ばされた。水蒸気爆発は、高温の物体が水にふれるなどして、水が一気に沸騰して水蒸気になることでおこる「火のない爆発」である。まず、原子炉内の核分裂反応が起こり、ばく大なエネルギーが生じ、冷却水は一瞬で水蒸気になり、燃料棒の一部とそれをおおう圧力管が吹き飛ばされた。また、残された燃料は熔融して、放射性物質を放出し、黒鉛の火災が放射性物質を大気中に巻き上げつづける事態となった。

【事故による影響】

この事故により、4月26日から5月6日まで放射性物質の環境への放出が続いたが、その放出量は、希ガスが炉内量の100%であり、その他についても相当の量が放出された。

ソ連国内での放射能汚染状況については、30km圏内での空間線量率が事故後10日間以上にわたり自然放射線の1000倍以上であり、また、キエフでの空間線量率は50日間経った時点でも、自然放射線量の約100倍から10倍程度であった。土壌中の放射性物質濃度については、5月6日に1.5~30kmの土壌の分析が行われ、多数の放射性物質が検出された。

また、ソ連各地で事故後2~3日で牛乳中の放射性物質の濃度が上昇し、5月1日には放射性物質が一定濃度以上の牛乳の摂取が禁止された。しかし、白ロシア(ベラルーシ)南部では、既にその10倍程度の放射性ヨウ素が検出されていた。一方、葉菜類、食肉、魚等を含む食品からも、多数の放射性物質が検出された。

北西約5kmのプリピャチでは、放射性雲が市街を覆い汚染が進行し、4月26日夜には放射線レベルがソ連における避難レベルに達した。翌27日に大型バス約1200台を用いて約50,000人が避難した。チェルノブイリ周辺では、1986年に約160,000人の住民が避難した。

事故発生時、発電所敷地には444人の従事者がおり、一部の人々が過度の線量

を被ばくした。これに加えて、消火活動に携わった消防士等が大量の放射線被ばくを受けた。事故発生から4時間後に救急班が、また、12時間後には内科、放射線科等の専門医が現地に到着した。事故数日後には、医師、看護婦等が多数動員され、治療、救助活動が行われた。急性放射線障害と診断された被災者は初期には203人とされたが、後に134人と確定された。この事故により、数日あるいは数週間内に30名の発電所所員と消防士が死亡した（放射線被ばくによる死亡者28名を含む）。

【事故の原因】

1986年8月のウィーン会議におけるソ連からの報告では、事故の主たる原因は「運転員の6つの規則違反」とされた。

一方、この報告を受け、IAEA事務局長の諮問機関である国際原子力安全諮問グループ（INSAG）は、同年9月にINSAG-1報告書を取りまとめ、運転員の規則違反とともに、設計上の欠陥を事故原因として指摘した。さらに、セーフティカルチャー（安全文化）という新しい言葉により、ソ連の安全に対する意識の欠如を指摘した。

また、1986年11月の米国エネルギー省による報告書や、1987年5月の原子力安全委員会の事故調査特別委員会報告、1987年8月の国際会議でのカナダからの報告等において、「ポジティブスクラム効果^{*}」の可能性が指摘され、ソ連も1988年1月の報告「Chernobyl事故：1年後」で公式に言及している。1991年のシュタインベルグ報告（旧ソ連産業原子力安全監視委員会・科学技術評議委員会の報告）では、事故の主たる原因がポジティブスクラム効果にあり、「6つの規則違反」は実際には違反でなかったか、あるいは違反であっても事故の進展への影響は少なかったとしている。また、同年のアバギャン報告（旧ソ連原子力産業省の専門家ワーキンググループ報告）では、事故はポジティブスクラム効果と、実験のために原子炉を認可された状態から外れた状況に至らしめた運転が相乗的に働いた結果起こったとしている。

INSAGは、これらの報告書を検討した上で、1992年11月にINSAG-7報告書を取りまとめ、運転計画からの逸脱及び設計上の欠陥（正のボイド反応度係数、ポジティブスクラム効果等）を事故要因とするとともに、いくつかの前兆事象を取り上げ適切な改善策が講じられなかったことを指摘した。運転員の規則違反については、その一部は違反でなかったとした一方で、セーフティカルチャーの欠如が重大な問題であると強く指摘した。

※ポジティブスクラム効果

制御棒挿入に伴って正の反応度が印加されること。チェルノブイリ型原子炉（RBMK）では、制御棒が必要以上に引き抜かれた場合、制御棒下端に取り付けられたグラファイト（黒鉛）ディスプレイサの下方が軽水で満たされる。同効果は、この全引抜き状態から制御棒が挿入されると、ディスプレイサによって中性子吸収材としての軽水が排除されるため、正の反応度が入るというものである。（黒鉛より軽水の方がより中性子を吸収する。）

【教訓（対策）】

この事故は、RBMK型原子炉の設計上の欠陥、規則違反や運転計画からの逸脱等によるものであり、ハード面で軽水炉において直ちに反映すべき教訓はないと判断された。しかし、ソフト面については、セーフティカルチャーという言葉が新たに生まれ、正しい操作の励行だけでなく、安全を優先する雰囲気づくりやプラント管理のあり方等の重要性が国際的に協調された。

また、事故の通報及び防災対策についても大きな教訓が得られた。当時のソ連においては、共産党によるメディア規制が厳しく、住民や国際機関への事故の通報が適切になされなかった。4月28日、放出された放射性物質が国境を越えてスウェーデンで検出されたことで世界各国に事故の第一報が流れ、その後、ソ連が正式に公表するに至った。こうしたことから、事故の早期通報と時宜を得た防災対策の実施の必要性が認識され、IAEAは2つの国際条約（原子力事故の早期通報に関する条約、原子力事故又は放射線緊急事態における支援に関する条約）を制定した。

参考文献

- 「原子力ハンドブック」 P 1192～1196（一部省略）
平成19年11月20日発行
原子力ハンドブック編集委員会編 株式会社オーム社発行
- 「原子力ポケットブック2010年版」 P 175
2010年9月11日発行 社団法人 日本電気協会新聞部発行
- 「過去の原発事故と比較する①②③」 Newton
ニュートンプレス発行 2011. 6 P 70～75
- 「原子力発電所のシビアアクシデント –そのリスク評価と事故時対処策–」
JAERI-Review 95-006
阿部清治著 日本原子力研究所 P 32～38

チェルノブイリ事故調査のための事故処理プログラム国家審査委員会（以下、チェルノブイリ委員会）について¹

1. チェルノブイリ委員会の構成・権限

チェルノブイリ委員会は1989年12月に設置され、1990年1月に委員会組織が完成した。委員長はウクライナ選出議員である E. P. Tihonenkov、副委員長兼常任専門家グループ長は生物学博士の A. G. Nazarov²。委員会の構成及び権限は次のとおり。

- ・約100名の議員や専門家を専門分野ごとのグループに割当て（各省庁からの出向者も含む。最終的には200名以上の専門家等が参加した。）
- ・チェルノブイリ委員会の下に常任専門家グループを設置
- ・専門家の活動に独立性付与（各省庁に対する情報提供要求権限が付与されたが、必ずしも各省庁が要求に応じたわけではなかった）

2. チェルノブイリ委員会の活動

チェルノブイリ委員会の職務は多岐に渡るが、主なプログラムは次のとおり。

- ・ロシアの原子力開発戦略の分析
- ・チェルノブイリ原子力発電所事故の直接的原因の研究
- ・線量測定の問題、つまりチェルノブイリ災害に関連する復旧作業に携わる職員、事故処理作業従事者、及び地域住民に対する放射線の影響予測
- ・放射線事故の進行及びその事故が災害に進展することに関する諸論点
- ・チェルノブイリ原子力発電所事故結果の克服のための処理に関する非活性化方策の有効性
- ・原発事故の医学的及び生物学的な結果及びそれらの住民や事故処理作業従事者への影響
- ・チェルノブイリ災害の遺伝学的結果
- ・ウクライナ、ベラルーシ、及びロシアへのチェルノブイリ災害の結果の多面的研究
- ・チェルノブイリ災害に関連する公的機関の役割
- ・災害後の各責任者の行動の有効性の予測

上記のプログラムのうち特に優先される活動は、①放射線の影響を受けている地域の住民の健康問題、②「生涯被曝線量 35 レム」とした移住基準³及び汚染地域における安全居住の概念に関する分析であった。

また、最高会議における議会聴聞の資料準備及び実施も重要な活動であり、委員会の

¹ E.B. Burlakova et al., 'Unknown Chernobyl' *Unknown Chernobyl: History Events Facts Lessons* (Moscow: Green Cross Russia, 2006), Chapter 6

² Chapter 6 の著者

³ アラ・ヤロシンスカヤ『チェルノブイリ極秘』（平凡社、1994）, pp.414-415. 1987年11月にソ連邦保健省が移住基準として「生涯被曝線量 35 レム」を採用していた。

調査結果について活発な議論がなされ、立法活動へとつながった。

3. チェルノブイリ委員会の調査方法

チェルノブイリ委員会の調査方法について、委員会として行うものと常任専門家グループとして行う調査が想定されるが、概要は次のとおり。

- ・事故にかかわる資料（物品、文書、事故現場に残された記録等）の検証
- ・災害後の各責任者の行動等に関する面談（例えば、M. S. Gorbachev 書記長、N. I. Ryzhkov 前首相（元ソビエト連邦中央委員会政治局事故対策グループ長）、A. S. Dyatlov 技術者長補佐（原発事故発生時の主要職員）等について委員会に招致して面談）
- ・ウクライナ、ベラルーシ、ロシアの Bryansk 州における現地調査

4. チェルノブイリ委員会の成果

- ・委員会の調査結果に基づく要請により、収監されていた原発職員（5名）を釈放
- ・1988年のIAEA庇護の下、その専門家の参加も得たソ連邦保健省（「生涯被曝線量35レム」を採用）及び原子力省によるいわゆる「独立した専門家による評価」においてチェルノブイリ地域が「実質的に安全」としたことを否定し、汚染地住民の即時移住を求める報告書を提出⁴
- ・1991年9月に最終報告書（要約版、全2巻）をソ連邦最高会議に提出
- ・ソビエト連邦が崩壊した後の1993年に委員会の最終報告書（全4巻）を発行

5. ソビエト連邦崩壊後のチェルノブイリ委員会

1991年12月にソビエト連邦が崩壊し、チェルノブイリ委員会も消滅した。

- ・チェルノブイリ委員会の研究成果や収集資料等については、ロシア共和国最高会議環境委員会の放射線安全小委員会に引き継がれたが（小委員長はチェルノブイリ委員会副委員長兼常任専門家グループ長だった生物学博士のA. G. Nazarov）、そこではチェルノブイリ委員会での調査を継続することはできなかった。
- ・一部の専門家は「the International community for restoration of habitat and safe residing (SANMURB)」の援助を受け、チェルノブイリ事故及び結果に関する調査を継続し、1993年に全4巻からなる「チェルノブイリ事故 その原因と結果」と題する最終報告書を出版した。

⁴ アラ・ヤロシンスカヤ『チェルノブイリ極秘』（平凡社、1994）,pp.414-415.

シュタインベルグ委員会報告書について¹

1. シュタインベルグ委員会

1990年2月27日、工業・原子力発電安全監視国家委員会により設置。委員は6名で委員長はN. A. Shteynberg。1年後の1991年1月に同委員会に対して報告書を提出。

2. 報告書の概要

報告書は5章立てとなっており、各章の概要は次のとおり²。

I 序章

事故原因が発電所従業員の人為的ミスによるものとして1986年にIAEAに提出された公式報告に関して、チェルノブイリ4号炉の構造上の欠陥も再検証されるべきであるとの問題提起

II チェルノブイリ4号炉の構造の概要

チェルノブイリ4号炉建設の経緯と、チェルノブイリ4号炉に採用されているRBMK-1000 reactorが1967年公認されて以後、技術的な改良や変更がなされていないことの指摘等。

III チェルノブイリ4号炉の構造に関する安全基準上及び安全規則上の危険

事故発生時までにRBMK-1000 reactorの欠陥が判明していたにもかかわらず、チェルノブイリ4号炉が事故当時の安全基準あるいは安全規則を満たしていなかったことについての指摘等。

IV 事故の原因と状況

チェルノブイリ4号炉の事故の状況を記録データ等によって時系列に沿って検証し、事故前や事故時の状況を計算によって推測。考え得る事故原因の可能性を列挙し、その中から事故原因につながる状況を想定。

また同時に、発電所従業員の事故直前の作業記録を検証することで、事故原因を総合的に勘案した結果、事故は従業員が過度に manual

¹ International Nuclear Safety Advisory Group, INSAG-7, The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1, Safety Series No75-INSAG-7, International Atomic Energy Agency, Vienna (1992), pp.29-94.

² 第3章及び第4章は報告書の大半を占めるが、技術的専門的な記述が多く難解であるため、極めて大雑把な概略のみの記載とした

control absorbing rods を引き抜いていたという人為的なミスに加え、RCPS rods の動作速度が設計上遅かったこと等が複合的に重なったためにもたらされたと指摘。

V 結論

①チェルノブイリ 4 号炉の RBMK1000 reactor の構造上の欠陥が深刻な事故結果につながった。

②適切な技術的安全性があるとして、緊急時保護機能を技術者に委ねていたという実務上の誤りが事故によって明らかになった。構造上の欠陥と完全な信頼を委ねるべきでなかった技術者との組み合わせが災害につながった。

③事故時から存在し、現在もなお存在する原子力分野における法律上、経済上及び社会性事情の相互関係のシステムは法的根拠がなく、ソ連邦における原子力の安全利用を確保するための基準に合致していなかったし、現在もなお合致していない。

④チェルノブイリ事故の原因と結果の研究は決して完結しておらず、真実を探求し、将来のための重要な教訓を得るために継続されなければならない。