



技術解説

JCO 臨界事故とその教訓

宮崎 慶次*

JCO Criticality Accident and Its Lessons

Key Words : Criticality accident, Nuclear safety, Nuclear fuel, Uranium nitrate, Radiation exposure, JCO

1. はじめに

臨界とは外部中性子源なしに核分裂連鎖反応が自己持続する状態を云う。原子炉は制御されて臨界状態を維持して運転されているが、臨界事故とは意図せず臨界状態となる事故である。臨界事故を起こさないように細心の注意を払うのが原子力設備設計や運転の基本的な概念である。原子力発電所や核燃料再処理施設では核分裂で生成される大量の放射能を内蔵し、潜在的危険性が高いと認識するが故に、通常運転は勿論、事故により公衆に放射線危害を及ぼすことのないように安全確保に格別の留意が払われてきた。その基本設計では、十分な安全余裕や品質管理による予防保全とともに、万一の事故に備えその影響を緩和する深層防護(Defense-in-Depth)の考えを採っている。

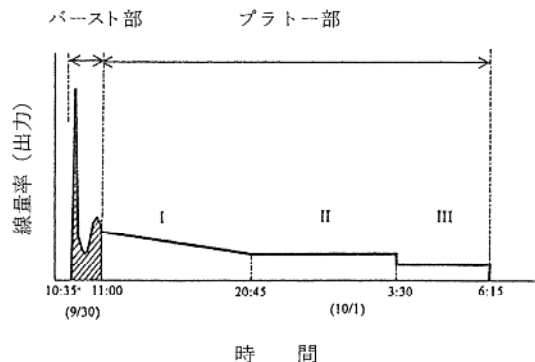
しかし、その間隙を衝くように、核燃料加工施設で臨界事故が起こったことは、安全性最優先の安全文化(Safety Culture)の育成に努めてきた原子力関係者に強い衝撃を与えるものであった。原子力安全委員会は「ウラン加工工場臨界事故委員会報告」(1999年12月24日)を纏めた。事故の直接原因は単純明快であるが、その背景分析や教訓となると複雑な要因を含んでおり、多数の方々が多種多様な意見を披瀝している。単に原子力に留まらず、他分野の工

学的な安全に共通の要因も多い。ここでは、原子力安全委員会報告を踏まえつつ、私見を交えてJCO臨界事故について考えてみたい。

2. JCO 事故経過の概要

1999年9月30日午前10時35分頃、茨城県東海村の(株)JCO(従業員数110名程度の小企業)のウラン加工施設で臨界事故が発生した。3名の作業員は規則で定められた最大量の7倍に及ぶ硝酸ウラニルを沈澱槽に注入し、突然青い閃光を目撃し放射線を被曝した。この青い光は核分裂で発生した γ 線と相互作用(コンプトン散乱)した電子が水中を高速で通過する際に放出されるチェレンコフ光であり、水を減速材とする原子炉で観測される。これが肉眼で見えるのはMW以上のパルス状出力バーストで、短時間の即発臨界の後、水の放射線分解や沸騰による泡の発生により中性子漏洩が増加して、自発的に短時間で一旦は未臨界になったと推測される(図1)。

警報が鳴動し異常を察知した作業員は部屋から退出し救助を求めた。後に収容された病院で実施した



第1加工施設棟粉末貯蔵室ガンマ線エリアモニタの指示値を基に、線量率の時間変化をパターン化したもので、縦軸と横軸のスケールの表示は正確ではない。

図1 臨界事故時の線量率の時間変化の概略

*Keiji MIYAZAKI
1937年3月18日生
昭和35年(1960年)大阪大学工学部電気工学科卒業
現在、(雇用・能力開発機構)滋賀職業能力開発短期大学校、校長、工学博士、大阪大学名誉教授、原子力工学
TEL 0748-31-2250
FAX 0748-31-2255
E-Mail miyazaki@sec.shiga-pc.ac.jp



血液中のNaに中性子が当って出来る放射性Na-24などの濃度分析により、3人の作業員の被曝量は γ 線等価で約18Gy(図2のA:昨年12月に死亡), 約8Gy(図2のB:今年4月死亡), 約3Gyで、低速中性子線が約6割で γ 線が4割の寄与と評価されている。 γ 線ではGy=Svだが中性子線では生物学的効果がより大きく、エネルギー吸収線量GyよりもSv値が大きくなる。筆者が学んだ知識では約4Svが半致死量, 約6Svが致死量(最近の知見では7~10Sv)で、最新医療の甲斐もなく、その通りの結果となった。

一旦は未臨界となった反応は、放熱による温度低下とともに再び臨界状態となり、臨界と未臨界を繰り返した後、約20時間にわたって定常的な臨界状態が持続した。報道によると、事故後に現場で陣頭指揮された当時の原子力安全委員長代理の住田健二先生(阪大名誉教授)達は臨界持続可能性を指摘されたようだが、臨界を検出すべき中性子測定装置が装備されていなかったため、当初は臨界が終息したとの判断が首相官邸に伝わり、混乱が増幅されたようである。15時には村長判断で周辺350m内の住民161人に避難勧告(翌々日18:30解除)、22時になって政府の対策本部が設置され、半時間後に10km内の住民約31万人に対して屋内退避勧告(翌日16:30解除)がなされた。東海村には原研や核燃料サイクル機構など国の原子力機関があったのは不幸中の幸いであっ

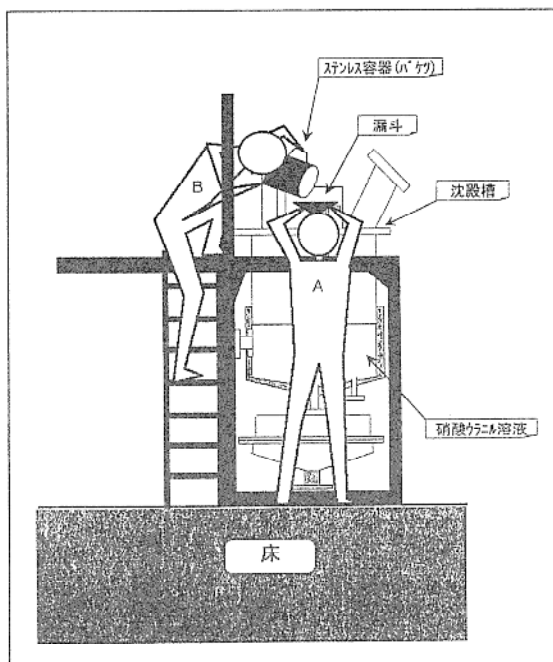


図2 死亡した二人の沈澱槽周りでの作業状況

た。しかし、「転換試験棟で倒れた」が「癲癇」と誤聞され、救急の消防隊員が余分な被曝をしたとの余談も伝わっている。

沈澱槽(内径450mm, 高さ610mm)には周囲に(約20mm厚みの環状)冷却用ジャケットがあり、その水が中性子の反射体として作用しているため、水を抜いて臨界を終息させるための特別チームが組織され、10月1日朝3~6時に高レベル放射線環境の中で配管を壊して、悪戦苦闘の末に水抜きに成功した。現場ではさらに沈澱槽に中性子吸収材である硼酸水を注入し、臨界に止めを刺した。臨界終息までの約20時間に起きた核分裂数は、容器中の溶液に含まれる核分裂生成物を分析することで $2 \sim 3 \times 10^{18}$ と推定されたが、核分裂したウラン重量に換算して1mg弱と極微量であった。この結果は、動特性解析で得られた結果とも合致している。また、初期ペースト状の核分裂エネルギー出力は、ピーク値は7~20MWと高いが、時間半値幅は約100msと短い(最大反応度は3\$)。不幸にも作業員の被曝に繋がったが、物理的破壊力の観点からは、その積分値は極めて小さく、溶液を注入する際に用いた漏斗も容器に差し込まれたままであった(図2参照)。

従って、核分裂生成物の殆ど全てが容器内に留まったが、希ガスや沃素などの気体状放射性物質の一部が空調フィルターを通して外部に放出された。しかし、周辺住民に危害を及ぼした可能性は全く無視できる程度であった。問題は臨界が持続したことによる中性子線の影響で、臨界を想定していない施設の建屋を透過して、最も近い敷地境界に長く留まったとして最大92mSvという実効線量当量であった。これは放射線業務従事者の年間被曝当量限度50mSvの約2倍に相当する。しかし、幼児や妊娠を含む一般公衆の年間被曝限度1mSvの100倍と云うことで大きく報道された。近隣の一般住民に対する個人の被曝線量については、個々の行動調査を通して具体的に評価されている。3人の作業員以外で緊急作業に従事したJCO関係者の被曝は最大でも50mSv未満、周辺住民の一部も被曝したが21mSv以下で、実質的影響は無い(癌の過剰な発生確率は極めて低い)と判断されている。だが、心理的なダメージも含めた事後ケアの必要性も指摘されている。

3. 事故原因

それでは何故このような事故に至ったか根本原因

に触れておこう。工場自体は、UF₆、スクラップまたはイエローケーキを粉末状のU₃O₈にした後、硝酸に溶かして硝酸ウラニルにしてUO₂に転換して純化し粉末UO₂する工程、即ち、それを焼結してウランペレットを製造する前段工程の再転換(Re-Conversion)のみを行う施設であり、JCOの名称はJapan COnversionに由来する。通常の軽水炉の核燃料ではU-235の濃縮度は5%以下の低濃縮ウランである。この工場には二つの生産ラインがあり、その他に今事故を起こした転換試験棟がある。1984年にこの試験棟を20%未満の濃縮ウラン加工にする国の許可を得ており、液体である硝酸ウラニルを臨界管理のために濃縮度に応じた1バッチ(単位作業)当たりの取扱量を5%以下では10kgU、16~20%では2.4kgU(最小臨界質量5.5kgUの1/2.3倍:6.5リットル)と制限し、臨界管理のため中性子漏洩の大きい細長い円筒(貯塔)を通す規定となっていた(図3)。

事故原因

許認可条件違反

- ① バケツでウランを溶解
- ② 沈殿槽への高濃度ウラン溶液の直接張込み (45g/l ← 370g/l)
- ③ 沈殿槽へのウラン規定量2.4kgを大幅に越える16.6kgのウランを注入

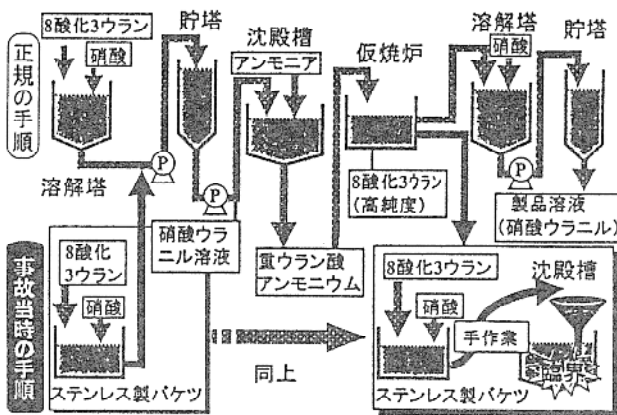


図3 正規と事故時の作業手順比較(原研提供)

しかし、正規の工程では溶解塔で行うべきウランの硝酸溶解をバケツ(10リットルのステンレス鋼容器)で行い、貯塔に入れて作業時間の短縮など効率化を図る社内マニュアルが作成され、違反作業が恒常化していた。事故当時は高速実験炉「常陽」用に18.8%の中濃縮ウランの粉末U₃O₈を硝酸に溶かし

て硝酸ウラニルとして純化する作業が行われていた。日頃慣れた5%以下の軽水炉用ウランと同様の取扱をしたと推定されるが、違法な社内マニュアルをも無視して規定量2.4kgUの約7倍相当量の16.6kgUを貯塔も通さずに、上部監視窓のフランジを取り外して漏斗で直接に沈殿槽に投入し臨界事故に至った(図3参照)。原子力分野では過度の安全余裕を見込んでいたことが、規則違反をしても何事もなく済んだため、違反を繰り返し事故へとエスカレートさせたのも一因との趣旨を報告書は分析している。

臨界事故と云うことで、チェルノブイル原子力発電所事故の再来が連想され、公衆に不安感を抱かせた。今回の事故では未使用核燃料なので原子炉事故のように大量の放射能はなく、前述の通り破壊力もなく、桁違いに小規模なものであった。しかし、臨界の長時間持続により、僅かとはいえ公衆に放射線影響をもたらし、多くの住民に屋内待避など社会的影響を及ぼし、作業員2名の死亡を含む3名の重症患者を出したことにより、国際評価尺度でレベル4(所外への大きなリスクを伴わない事故)とされている。これは国内では最大で、因みにチェルノブイル事故は最大の7、TMI事故は5、旧動燃アスファルト固化施設爆発事故は3、美浜蒸気発生器伝熱管破断事故は2、もんじゅNa漏洩事故は1である。

4. 事故の教訓・反省と改善対応

1984年の許可後の1987年に施行された技術基準に関する総理府令では、濃縮度5%以下と5%超での取扱を区別し、5%を超す濃縮ウランの加工施設では、臨界を想定し検出・警報装置と遮蔽設備の設置を義務付けている。一般に法令は過去に遡っては適用しない不遡及が原則ではある。だが、重要事項に関しては、原子力発電所では国(通産省)がその趣旨を踏まえた改善策などを行政指導の形でバックフィットさせるのが普通である。科技庁は十分な指導や立入検査を実施しておらず、国の怠慢と責められてもやむをえまい。

しかし、第一義的には、定められた保安規定や正規マニュアルを守らずに違法な作業を恒常的に続け、軽水炉用低濃縮ウランでは起きなかった臨界が高速炉用中濃縮で臨界事故を起こしたのはJCO社の自己責任である。原子炉等規制法によって規制された施設(許可事項)であり、保安規定(認可事項)を守らせ安全教育を行うため核燃料取扱主任者(国家試験

合格者の中から選任)を置いてその任にあたるのが義務付けられている。今回のような事故に対しては懲役刑(10年以下)を含む厳しい罰則規定もある。作業員に対して臨界に関する教育や訓練も施さず、組織ぐるみで違反を続け、事故当時、作業員は被曝線量を測るフィルムバッジすら付けていなかった。まさにモラル・ハザードであり、事故の直接原因と「報告書」は断じている。業務上過失と合わせて刑事責任を問われることになる。

今回は、末端作業には安全管理者や核燃料取扱主任者が関知しないまま違反がエスカレートさせるなど責任が曖昧な面もあり、やはり安全管理システムの欠陥で会社の管理責任が重大である。だが、会社と云う名の人間はいない。本質的には、組織の中で個人の権限と責任を明確化し、倫理感をもってその任を果たさなければ、このような事故は防げないことを再確認しなければならない。再発防止の決め手でもある。これは、化学災害、医療事故、手抜き工事、交通機関の事故など社会のあらゆる面に共通した課題でもある。

報告書は事故の背景について、国際競争下での経営効率化、事業者・技術者の社会的責任・倫理、原子力産業全体の安全管理の在り方などを分析し種々の提言をしている。当事者のJCO社首脳部は、事故背景として、コスト低減を求められての経営環境の悪化を強調したとされる。今回の事故では、むしろ旧式の設備を更新し、安全性を向上させて合理化を図るのが筋ではなかったかと考える。しかし、一般論としては、経済性を追求していけば、安全性とのトレードオフとなる側面もある。1984年のインド・ポパールの殺虫剤製造工場での死者2000人に及ぶ事故はユニオンカーバイド社経営陣の安全軽視によるものであった。特に、原子力での事故発生による社会的影響の大きさを考えれば、安全優先が長期的観点では、経済的であると云う教訓を如実に示している。特に、経営者は肝に銘ずべき教訓である。

技術や教育水準が高いと考えられている日本で、このような初歩的な事故を起こしたことに対する国際的な反響や評価には厳しいものがある。電力や原

子力機器メーカーも危機感を深め、単に燃料加工施設の問題ではなく、早速Nuclear Safety Networkを設立し、原子力産業界全体の問題として捉える姿勢をみせている。電力では「1件の大事故の前兆として多数(29)の軽い事故と大多数(300)の事無きをえた事象がある」とする安全技師ハインリッヒの法則に学び、「ひやり」や「はっと」するヒヤリ・ハット現象を前兆と捉え、会社間でも経験や情報を交換して互に共有することにより事故の予防保全に役立つ方式をとっている。この枠を広げての交流や相互監視は大変結構である。

国の方では、従来は、原子力施設の事故の取扱は災害対策基本法に基づく地震など自然災害と同様、地方自治体の災害対策本部が指揮をとり、関係省庁や安全委員会などは専門的な助言・指導・指示を行う脇役であった。今回の事故の通報連絡・避難への統一性を欠いた対応の甘さと混乱が指摘された。そこで、昨年末の臨時国会で「原子力災害対策特別措置法」が制定され、各拠点にオフサイト・センターを置いて国の責任で直接対応するように改善されつつある。また、原子炉等規正法の趣旨が徹底されるように改正が行われた。

5. おわりに

私見として、行政改革の中で原子力安全委員会を独立させて総理府に移し権限を強化する動きが加速されたのは結構である。また、ある程度の人員の確保は必要であろう。しかし、米国NRC(Nuclear Regulatory Committee)並に人員を増やせとの一部の主張は規制緩和の流れと逆行する。また、パーキンソンの第二法則による組織の自己増殖を助長しかねない。先に述べたとおり、組織の中における個人の権限と責任の明確化が、組織の種類や規模を問わず重要であり、自己責任と要所を捉えた規制こそが肝要ではなかろうか。

他分野では軽く看過される事故でも、原子力となれば格段に厳しい目が光る。それだけに、エネルギー確保や地球規模の環境保全で原子力が果たす重要性を考えれば、社会的信頼性の回復は急務である。