

美浜原子炉の燃料事故をめぐる問題(1)

今中哲二・小出裕章

1. はじめに

私達は、京都大学原子炉実験所の研究者が中心となつて組織された、関西電力美浜原子力発電所第1号炉の燃料棒折損事故調査グループに参加し、1年余りその原因究明と対策の妥当性の検討に携ってきた。美浜の燃料棒折損事故は、我が国の原子力開発史上、最も大きな燃料事故であった。事故そのものの重大性とともに、その事故が4年近くも隠し続けられていたことにより、関西電力は世論の批判を浴びたものであった。

私達が加わった調査グループは、原子炉実験所の柴山所長がまとめ役となり、企業・行政とは離れて、独自に学問的な調査を行うことを目的としていた。しかし、事故の詳細を検討して行く中で私達の前に明らかになつていった事実は、技術的学問的問題とはかけ離れた、異様な実態を示唆していた。折損事故の処理にあたって、関電と国とが一体となり、なりふり構わぬ事故隠しが行われたという確信に私達は達したのである。

調査グループとしては、過ぎ去った“旧悪”をあばくことは目的でないとし、その責任を問うことはしなかつた。しかしながら、事故隠しの問題を抜きにして、調査グループの掲げる“社会的責任”は果たされないと私達は考えている。事故隠しを生んだ構造は、決して“旧悪”ではなく、原子力開発という大義とともに、今も健在であることが憂慮されるのである。

2. 燃料棒折損事故と

原子炉実験所調査グループ

原子炉は、エネルギーを発生させる装置であると同時に、巨大な危険物として存在し、その危険性は、炉内に蓄積される膨大な量の放射能に由来している。最も恐れられている炉心溶融事故が発生すると、原子炉から放出される放射能により、数百キロ先までも災害が及ぶことが懸念されている¹⁾。燃料棒は、その放射能を閉じ込めておくための要であり、わずかな破損も生じないよう細心の注意が払われている。

関西電力美浜原子力発電所の第1号炉において、燃料棒折損事故が発生していた事実が、一般に公表されたの

は1976年12月7日のことであった。1973年春に実施された、第2回定期検査において、原子炉にとっての心臓と言うべき燃料棒が2本、約70cmずつ折れ落ち、破片が炉内に散らばっていたのが発見されたというのである。折損が生じたのは燃料取扱い作業中であり、運転中ではなかったので、国や福井県には報告せず公表する必要ないと判断した、と関西電力は説明していた。私達は、燃料棒折損という事故そのものの重大性もさることながら、その事故が4年近くに渡って隠されていたという事実に異常なものを感じたのであった。

国は、公表に先立つ4日前の12月3日に、美浜の現地入り調査を行い事故の存在を知った、と新聞は報じていた。その年の7月に出版された「原子力戦争」と題するドキュメンタリー小説²⁾の中で、著者の田原総一郎氏は美浜1号炉において重大な燃料事故が隠されていることを、既に示唆していた。国会では8月以来再三に渡り、事故の有無を質す追求があり、国がようやく重い腰を上げて現地調査をしたところ、事故が事実であったと判明したのである。

国会での質問には、あいまいな答弁に終始し、事故公表までに4ヶ月も要したのに比べ、事故発覚後の国の対応の迅速さは対照的なものであった。原子力委員会の指示により燃料棒の折損片を茨城県の日本原子力研究所へ運び、試験調査を実施することになったのであるが、その移送は事故公表の2週間後には完了していた。現状凍結を求める福井県知事の要請を無視し、発電所前での移送阻止のビケを強行突破して折損片移送が行われたのであった。

私達は、意外なところから美浜の事故と結びつくことになった。強い放射能を帯びた燃料棒折損片を運ぶための容器(キャスク)が、私達が勤務している京都大学原子炉実験所にしかなかったのである。キャスク貸出の依頼を受けた実験所の柴田所長は、事故のデータ提供を条件に“国家的見地”から貸出を承諾し、同時に独自に学問的に原因究明を行い“社会的責任”を果たすと言明した³⁾。

国は1977年8月に科学技術庁と通産省の連名で「関

西電力(株)美浜発電所第1号機の燃料体の損傷原因について」と題する事故報告書⁴⁾を発表した。その中で、軸心をとり固むバッフル板接合部間隙からの横流れジェットフローにより、燃料棒の異常振動が発生し折損に至ったものであり、バッフル板接合部の間隙をたたきつぶすピーニング工事が実施されているので事故再発の恐れはないとの判断している。報告書はその根拠として、原研での折損片調査、外国炉での経験、燃料棒振動模擬実験等を上げているものの、結論だけを述べた簡単なものであり、具体的にどのような検討が行われたかについては明らかにされていないものであった。

当初、私達が入手した資料は原研での調査報告書だけであった。原研で実施された調査の対象は、美浜から移送された燃料棒の折損片に限られたものである。事故の全体を対象とするものではなかったが、折損片の調査からも国の報告書では未解明な現象があることを明らかにしていた。その後、国の検討の資料であったと考えられる「関西電力(株)美浜発電所第1号機の燃料体の損傷原因について 参考資料」(以下「参考資料」)と題する1977年6月付の文書を、非公式なルートで手に入れ、本格的な検討を始めていった。

原子炉実験所の調査グループは、柴田所長が所員に呼びかけて、個人的に組織し、所外からも大阪大学の井本教授が参加した。グループとして実質的な活動が始まったのは1978年に入ってからであった。10名前後が参加し、月2回程度で各人の検討結果を持ち寄り、討論を重ねていった。美浜の現地を訪れて説明を受けるとともに、関西電力に対し外国炉でのデータや三菱重工で行われた模擬実験データ等の資料要求を行ったが、満足な回答は得られなかつた。

調査グループが入手し得た資料は不充分なものではあったが、検討が重ねられて行くうちに多くの問題が明らかになっていった。原研報告にある燃料ペレットの組織変化や被覆管ふくれは、熱的要因の関与を示していること、また「参考資料」中のジェットフロー解析モデルではピーニングの有効性の評価に不適であること等の折損事故の技術的問題とともに、折損が燃料取扱い中に生じたという発見当時の関電の判断が不自然であることや、定期検査中に事故が発見され、回収作業さらにはピーニング工事まで実施されているのに国の検査官が知らなかつたという不可解な事実が明らかになっていった。

美浜1号炉は運転開始以来、事故続きの原子炉であり、1974年の蒸気発生器細管漏洩事故以来、長期間停止の状態にあった。しかし1978年春に至って、関西電力は秋から運転を再開する意向を表明し、7月には国も再開の許

可を出したのであった。一方、欠陥だらけの美浜1号炉の運転再開を憂慮し、かねてより原子炉実験所調査グループの検討経過に注目していた原子力発電に反対する福井県民会議(以下県民会議)の代表が8月に原子炉実験所を訪ね柴田所長と会談した。その席上、柴田所長は、国の事故報告書には問題が残されており、原因が解明されないうちは運転再開に反対である旨を表明したのであった。

調査グループとしては、運転再開の是非を判断する立場ではないものの、なしくずしに運転再開に入るのは避けるべきであり、早期に報告会を開き調査グループの検討結果を一般に明らかにするとともに、その会に国の報告書作成に当たった専門家を招いて討論し、“社会的責任”を果たすべきであると考えていた。

美浜1号炉は9月末の運転再開へと向かっていたが、調査グループと国との見解に相違があることが報道されるに及び、福井県民会議の中入れを受けた福井県知事の要請により、運転再開が一時見合わせられるという異例の事態に至った。それまで、原子炉実験所の調査グループを無視する態度であった国側は、東京で非公開の形なら討論に参加するという意向を伝えてきた。私達は、原子炉実験所において公開で報告会を開くことを主張したが、所長の強い説得もあり、原子炉実験所で開く報告会の打合せということで、調査グループの4名が東京で国側と会合を持った。国側からは、科学技術庁・通産省・原研、三菱重工及び関電から合わせて約30名が会合に参加した。私達の惑惑とは異なり国は調査グループを何とか説得し見解の違いを解消して、美浜1号炉を運転再開に持込むことを目的としていたようであった。席上国側は、調査グループが批判の対象としていた“参考資料”は正式な資料でないこと、また熱的要因は事故の直接原因ではなく二次的なものであり安全性には関係のないことを主張した。そして、それまで明らかにしていなかった三菱重工での模擬実験を持出し、実験で損傷した模擬燃料棒を示して国の見解に合意することを迫ったのであった。しかし調査グループにとっては、その会合で見解の相違が解消された訳ではなく、またそのための場でもなかつた。

ところが、その数日後、国から調査グループとの会合について説明を受けた福井県は、運転見合わせの要請を解き、美浜1号炉は運転再開へと入っていった。9月30日の会合が運転再開のきっかけとなったのである。調査グループがこの間に演じた役割は明白であった。第一に優先すべき“社会的責任”を果たさずして、美浜1号炉の運転再開に手を貸す事になつたのであった。私達には苦い思いが残つた。

原子炉実験所での報告会は、11月29日に開かれ、美浜の事故に关心を抱き調査グループの検討に注目していた多くの人々の参加があった。調査グループの報告に先立ち、国側の立場として、原研から折損片調査の報告また三菱重工からジェットフロー模擬実験の報告が行われた。しかし、質疑応答においては、答えられる立場はないとして技術的な討論さえ満足に行ない得ない状態であった。調査グループからは、ジェットフロー解析、燃料ペレット組織変化、放射能モニター等についての問題点を指摘し、事故に未解明な問題点が残っているとともに、対策の有効性にも疑問が残されていることを報告した。報告会の内容は、原子炉実験所のテクニカルレポートとして、今春発表される予定である。

3. 美浜1号炉

美浜1号炉は、日本で最初の加圧水型原子炉(PWR)として、1970年11月に定格出力34万kWの営業発電を

開始した。PWRは、米国のウェスチングハウス(WH)社が、潜水艦用動力炉として開発したものと、商用発電炉に発展させたものである。1960年代の後半から、GE社の沸騰水型原子炉(BWR)とともに、軽水炉発電は、もはや実証済みの技術であるとして、日本の各電力会社は競って原発の導入を始めたのであった。しかし、WH社にとっても、美浜1号炉は、本格的なPWRとしては6番目のものであり、実証済の技術とは程遠かったことはその後の経過が示している。

原子力発電では、ボイラーのかわりに熱源として原子炉が用いられる以外、発電の原理は火力発電と同じである。燃料棒内に含まれるウランの核分裂反応により生じる熱を用いて、高温高圧の蒸気を作りタービンを回すのである。

PWRでは、原子炉(圧力容器)側の一次冷却系とタービン側の二次冷却系とは隔離されており、炉心で発生する熱を除去する一次冷却水は、蒸気発生器を通して二次

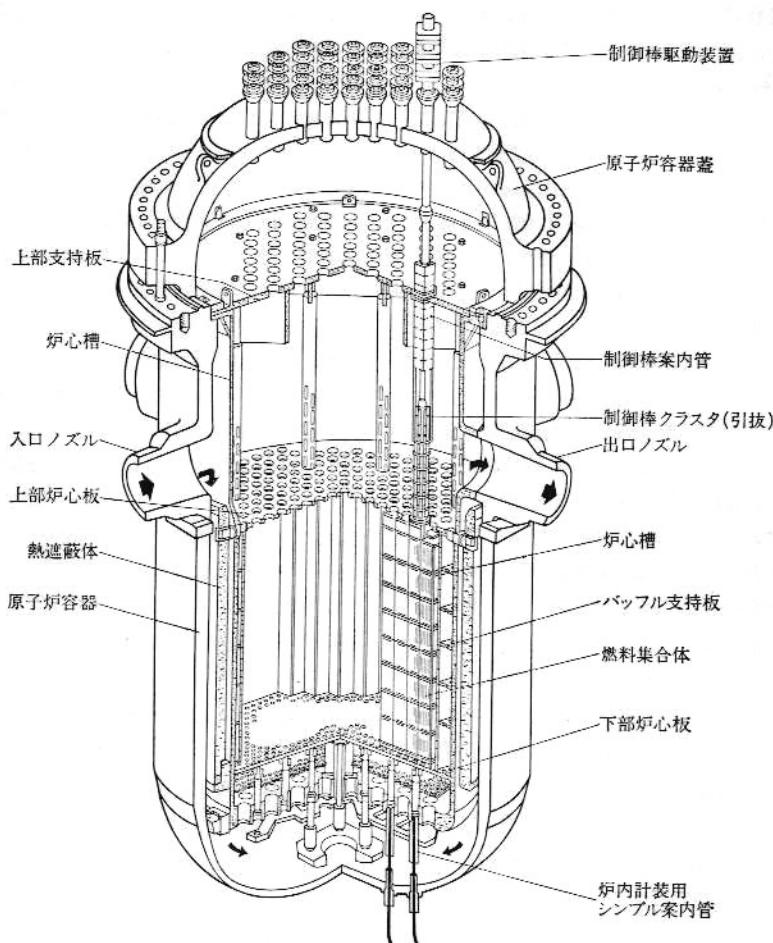


図-1 圧力容器の構造

冷却水に熱を伝える仕組みになっている。PWR の一次系は、圧力容器、蒸気発生器、一次冷却水ポンプ及び加圧器を主要機器として構成されている。炉心を包む圧力容器の構造を示したものが図-1である。美浜1号の場合、圧力容器の高さは約10m、内径約3.3m程度である。炉心部には、長さ約3.5mで20cm角の四角柱状の燃料集合体121体が装荷されている。燃料集合体には、14列×14列の正方格子状に配列された燃料棒があり、上下6段の支持格子が燃料棒を支えている。燃料棒は、長さ約3m、外径10.7mm、内厚0.62mmのジルカロイ合金製被覆管に、1本当たり約200個の円筒状二酸化ウランペレットを詰めたものである。

圧力容器内の一次冷却水の流れは、まず入口ノズルから圧力容器内へ入り、圧力容器と炉心槽との間を下降し、圧力容器底部に至る。ここで流れは上向き流となり、燃料棒で発生する熱を奪いながら、秒速3.4mという高速で炉心部を通過し、出口ノズルより圧力容器を出て、蒸気発生器へ向う。蒸気発生器で二次系へ熱を伝えたのも再び圧力容器へ戻って来る。圧力容器の入口・出口温度は、各々294、322°Cであり、沸騰を抑えるため約150気圧という高圧に保たれている。

原子炉施設では、年に一回定期検査を、国の検査官立会いのもとで実施するよう、法令に定められている⁸⁾。機器の点検とともに、原発では定期検査中に燃料交換が実施されるのが通常であり、PWRでは約3分の1の燃料集合体が、新たな集合体と交換される。そして使用済の燃料集合体は原子炉室に隣接する燃料プールに保管される。

美浜1号炉の燃料棒折損が発見されたのは、第2回定期検査中の燃料取出し作業中であった。第1回定期検査では燃料交換は実施されておらず、この時が運転開始以来初めての燃料交換であった。原子炉室から、水中キャナルを通して、燃料プールへ送られてきた燃料集合体を水中に吊上げ、双眼鏡によりその番号を確認する際に、作業員が異常を発見した。二本の燃料棒の上部が欠けていたのである。ただちに原子炉内を点検すると、折損片が炉内に散らばっていた。折損した集合体はC-34と番号付けされている集合体であり、炉心の最外周部に装荷されていたものであった。破片の回収が、水中ハンドルと水中ポンプを用いて行われた。回収作業は、炉内構造物を取出し炉底まで行われている。しかし、欠損部分のうち、約半分の燃料ペレットと20cm以上の燃料被覆管が回収出来なかった。

この事故について関西電力は、折損が生じたのは運転

中ではなく、燃料取扱い作業中のことであり、また折損集合体は再使用しないことにしたので、国や県には報告せず、公表する必要ないと判断したと説明している。しかしながら、取扱い中に折損したものであれば、蓄積されていた核分裂生成物が一時に放出され、炉室内の放射能レベルが上がり、放射線モニターで検知される筈である。また、折損したC-34より先に炉内から取出された集合体に、折損の破片らしき異物が認められていることも、取扱い中ではなく運転中に、既に折損が生じていたことを裏付けている。さらには、折損対策として実施された、パッフル板間隙をたたきつぶすピーニング工事は、折損が発見された第2回定期検査に行われている。この工事は、当時既にスペインのゾリタ(Zorita)炉において、同種事故を経験し、折損が運転中に生じることを知っていたWH社の手によって施されているのである。折損が燃料取扱い中に生じたという閑電の判断は、余程の技術的な無能力か意図的なものを感じさせる。

また、定期検査に立会っている管の検査官は、折損が発見され炉内の大掃除が行われても気付かず、さらにはピーニングという予定外の大工事が実施されても意に介さなかっただけであるから、相当な怠け者か急に眼が悪くなつたのであろう。

4. 技術的問題点

1977年8月に発表された国の事故報告書では、「炉心パッフル板接合部の間隙からの横流れの水流により燃料棒が振動し、パッフル板又は他の燃料棒と打ち当たったため折損に至ったもの」と述べている。

パッフル板とは、炉心部燃料集合体配列の外周を囲む、ステンレス製板を組合わせて作られる型枠である。パッフル板は、パッフル支持板により炉心槽に固定され、パッフル板どうしの接合部はボルト締めされている。圧力容器内の冷却水の流れは、先に述べた炉心槽の外側を通りて炉底に至る流れ以外に、炉心槽側面の穴から、炉心槽とパッフル板の間に入り、そこを下降しパッフル板下を通り主流に合流するバイパス流が存在する。バイパス流の流れを図-2に示す。ところが、炉心部の流れとバイパス流とは、向きが反対であるため、炉心での圧力損失とパッフル支持板での圧損が重なり、パッフル板内外で圧力差を生じることになり、パッフル板接合部に間隙があると、接合部から炉心への横流れの水流が発生する。

炉心においては、約3.4mmの燃料棒間を高温高圧水が高速で流动し、正常な状態でも燃料棒は微小な振動を続けている。燃料棒は支持格子スプリングによって支えられているが、スプリングは強からず弱からず微妙に調

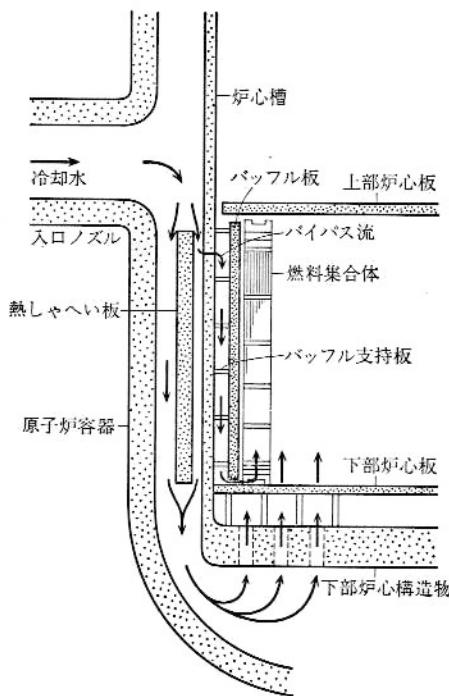


図-2 バイパス流
(「参考資料」より)

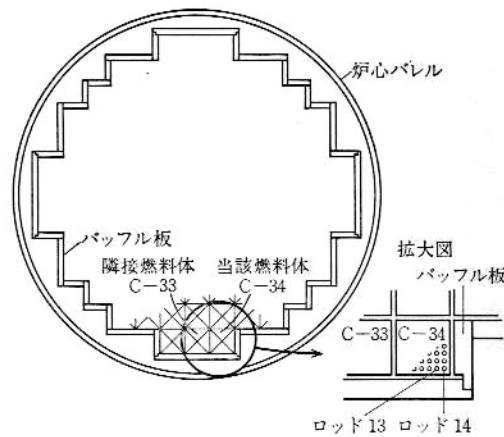


図-3 炉心バッフルと燃料体C-34の位置関係
(「国報告書」より)

整されている。冷却材の流动状態やスプリングに異常が生じた場合には、容易に異常振動が発生し、機械的な損傷に至ることになる。

折損を生じたC-34燃料集合体の炉心内での装荷位置を図-3に示す。C-34は炉心最外周部の、バッフル板コーナー部に位置していた。集合体の側面は、上から見て左回りにA～D面と呼ばれ、C-34はA面とD面でバッフル板に接していた。欠損した燃料棒はD面右端のロッド13とロッド14の2本であった。

図-4はC-34集合体の損傷の概略を示したものである。ロッド13で約90cm、ロッド14では約80cmの燃料棒が欠損しており、残されている燃料棒の隙間にはペレットらしき異物が認められている。また、折損部分を中心にして集合体の上半部が黒く変色し、非損傷部の半金属光沢との対比を示している。炉心配置でC-34に隣接していたC-33では、外観からは損傷が認められなかったものの、燃料棒からの放射能洩れを調べるシャッピング検査により破損が検出され、燃料棒間には、C-34集合体の折損部分の破片が見つかっている。

回収された燃料棒折損片7本が、日本原子力研究所へ運ばれ、試験調査が行われた。折損片は長い順にNo.1からNo.7までの番号でよばれている。図-5は折損片の損傷状態を示す外観スケッチの一部である。減肉によ

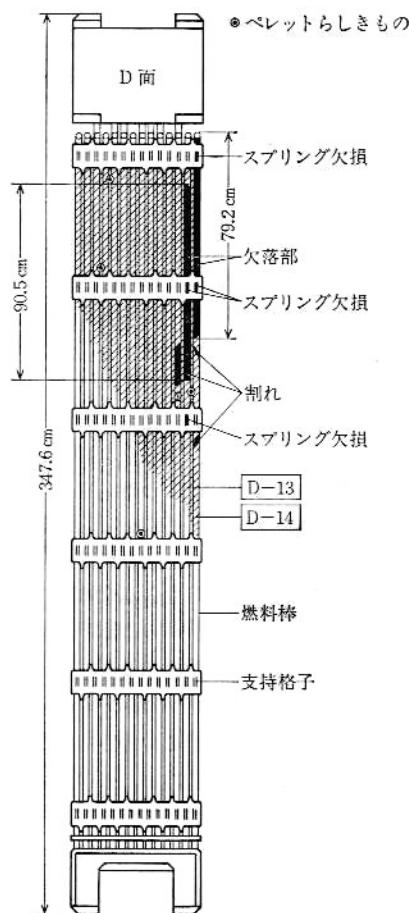


図-4 燃料体C-34概略図
(「国報告書」より)

る多数の軸方向フラット面や傷・穴等が激しい機械的な損傷の跡を示している。No. 4と5では、全長にわたって減肉開口するに至っている。被覆管表面は黒色に変化し、表面の乾燥にともなって剥離しやすい白色付着物が現れた部分も観察されている。燃料ペレットの残存があったのはNo. 1, 2及び3であった。ペレット部分断面の試験観察から燃料ペレットが冷却水と反応し著しい組織変化が生じていることが判明した。No. 1と2ではペレット中央部に、白色異相と呼ばれる酸化生成相が観察され、No. 3では激しい組織変化とともにペレットの体積膨張による被覆管のふくれが生じている。

C-34集合体と折損片の損傷状態は、機械的な要因だけでは現象を説明できないものであり、熱的要因が関与していた事を推定させるものである。

WH社は、美浜の事故に先立つ1971年と1972年に統けて、スペインのゾリタ炉において、バッフル板コーナー部での燃料事故を経験し、バッフル板間隙横流れジェットフローによるものと判断して、バッフル板を水中ハンマーでたたいて間隙をつぶすピーニング工事を実施していた。美浜の燃料事故が発見されたときには、既に

WH社はPWR共通の欠陥であることを承知していたのである。

国の報告書は、ピーニング工事により間隙の調整を実施してあるので、事故再発のおそれはない、と述べている。国の判断の根拠になっているのは、WH社の経験、三菱重工での模擬実験ジェットフローの解析結果等である。調査グループは、それらの資料を関西電力に要求したが、WH社のデータは企業秘密を理由に提供されなかった。三菱重工の実験データは、先に述べた9月30日の席上、初めて明らかにされたのであるが、驚くことにその報告書の日付は、国の報告書が出た一年も後の1978年7月であった。結論が先に出て、後からその根拠付けが行われていたのである。

調査グループは、不充分な資料の中で多くの問題点を明らかにしていった。11月29日の報告会で調査グループが報告した主な技術的問題点は以下のようなものである。

(1) 「参考資料」に示されている、ピーニング前の美浜1号炉の間隙測定値は、折損コーナーより大きな間隙のあるコーナーが報告されている。ここでは何故折損が起きたか説明されていない。

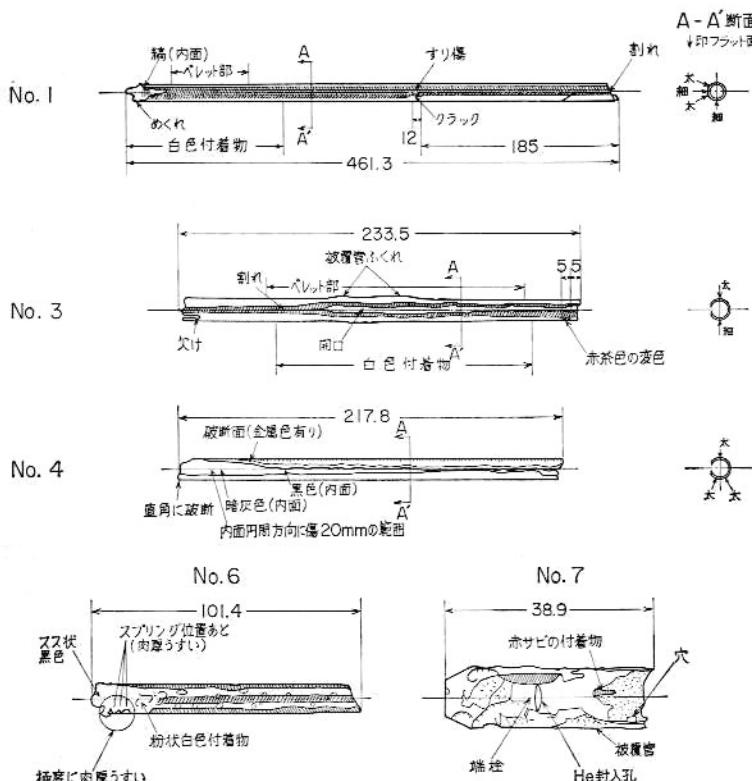


図-5 燃料棒折損片外観スケッチ

(原研報告書より)

- (d) 「参考資料」で用いられているモデルでは、ピーニングの有効性は評価できない。ピーニングが中途半端であると、ホースの先を絞るように、危険な効果を生んでしまう。
- (e) 折損を生じたのは、いわゆる“かぎ状”的接合部のあるコーナー部であったが、“直線状”的コーナー部では 100 分の 5 ミリというピーニング基準では不充分な可能性がある。
- (f) ピーニング作業は、遠隔操作による水面下での精密工事という難作業であり、すきまゲージによる間隙測定も、実際より小さな値を測定する可能性がある。
- (g) 関西電力の資料⁹⁾では、バッフル板組立時から、ピーニングを実施するまでの間に、間隙が広がっている。ピーニングが有効に実施できても、運転中に間隙が広がることが考えられる。
- (h) 集合体や折損片表面の黒色変は被覆管の酸化が進行した事を示している。折損片表面の白色付着物は、ブレイクアウェイ現象による可能性がある。
- (i) 燃料ペレット中の白色異相や組織変化は、燃料二酸化ウランが冷却水と反応し酸化されて出来たものであるが、「参考資料」に記されている約 420°C という折損部の中心温度では考えられない反応である。
- (j) 酸素ボテンシャルに基いた熱力学的計算では、千数百度以上でないと、二酸化ウランと冷却水の反応により白色異相は生成しない。また、白色異相は、原研報告書が述べているような固相反応によって生じたものではなく、生成時には液相であったものと考えられる。
- (l) 熱的要因を考えずに、現象全体を説明することができない。燃料ペレットが冷却水と反応し、組織変化やふくれを生じることは、燃料の健全性にとって重要な問題である。
- (m) コーナー部分での DNB 発生の可能性については、これまで充分に検討されていない。バッフル板でのアヒーティングを考慮すると、コーナー部で DNB が発生する可能性がある。
- (n) 一次冷却水中の放射能モニターにより運転中に折損を検知できたはずである。「参考資料」中のモニター評価は間違っている。
- (i) まなか てつじ・京都大学原子炉実験所、
こいで ひろあき・京都大学原子炉実験所)

参考文献

- (1) 原子力技術研究会「原子力発電における安全上の諸問題」(第 1 分冊), 原子力情報センター, 1976 年 7 月
- (2) 田原総一郎「原子力戦争」筑摩書房, 1976 年 7 月
- (3) 柴田俊一「所長メモ」(原子炉実験所の所員に対し, 所長見解を発表した文書), 1976 年 12 月
- (4) 科学技術庁・通商産業省「関西電力(株)美浜発電所第一号機の燃料体の損傷原因について」, 1977 年 8 月
- (5) 日本原子力研究所「美浜発電所 1 号機燃料棒片に関する調査中間報告書」, 1977 年 1 月, 「同調査報告書」, 1977 年 3 月, 「同調査(II)報告書」, 1977 年 7 月, 「同調査(II-2)報告書」, 1977 年 10 月
- (6) 著者不明「関西電力(株)美浜発電所第一号機の燃料体の損傷原因について 参考資料」, 1977 年 6 月
- (7) 「美浜 1 号炉の燃料破損に関する研究会報告書」(京都大学原子炉実験所テクニカルレポートとして出版予定)
- (8) 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」, 第二十九条
- (9) 関西電力株式会社「美浜 1 号機、燃料問題に関する質問・回答集」, 1978 年 5 月

編集
後記

本号は「休廃止鉱山と被害救済」という主題で大特集を組んだが、その意義については、清水誠氏の巻頭言に詳しい。

この 4 月末には、本誌編集同人の宇井純氏等が中心となって、「第 1 回アジア地域環境問題非政府団体セミナー」を東京で開催する予定だったが、宇井氏急病のため、これは延期せざるを得なくなってしまった。東南アジア地域から 10 名ほどの専門家を招いて、途上国が現にかかえている環境問題について率直な意見交換を行おうというのが、このセミナーの趣旨である。いずれ近いうちに、あらためて日程をたてなおすこととなろう。

なお、きたる 6 月 9 ~ 10 日には、「公害裁判の到達点と今後の課題」を主要テーマとする「日本環境会議」を東京で開催する予定で、これには、本誌編集同人のほとんど全員がなんらかの形で参与する。その成果に期待されたい。(S. T.)