講演

フランスにおける臨界安全性研究の現状*

Recent Progress in Criticality Safety Research in France

By P.R. LÉCORCHÉ**

核燃料の処理、取扱いにおける臨界安全性を確保するためには、取り扱われる核燃料の種類、組成、用いられる装置や容器類の形状、寸法、配置などさまざまな条件における臨界データが必要であり、また安全対策を考える上からは種々の状況下で起りうる臨界暴走事故の規模や特性を理解しておくことが望ましい。このような臨界安全性の基礎に関する実験的研究は、フランスにおいては1958年頃からサクレ研究所で“Proserpine”や“Alecto”と呼ばれる水溶液系臨界実験装置を用いて行われてきたが、1963年にはパリーの南東約300kmにある古都 Dijon の北方郊外に Valduc 臨界

実験所(Station de Criticité)が建設され、3つの臨界実験セルにおいて活発な実験研究が続行されている。特に1968年11月からは CRAC (Conséquences Radiologique d'un Accident de Criticité)と呼ばれる核燃料水溶液系の臨界暴走実験が開始され、現在までに19回の実験が行われた。以下にこの Valduc 臨界実験所における実験研究の現状を紹介しよう。

I. Valduc 臨界実験所の施設

第1図は Valduc 臨界実験所の建屋内実験室配置図である。天井までの高さ約10mの臨界実験用セルが3

第1図 Valduc 臨界実験所の配置図

つあって、その床面積はセル1およびセル2はおのの9m×12m、セル3は19m×12mで、遮蔽壁の厚さ

* 1969年12月18日赤坂三會堂ビルホールにて講演。
(座長 東大 山本 寛氏)

** Service d'Etudes de Criticité, D.P.S.R., CEA.

は側壁が1.45m、天井が0.70mとなっている。空気の放射能汚染を防止するため、実験はセル内に組み立てられた気密室(ケーソン)の中で行われ、さらに核燃料溶液の操作はグローブ・ボックスを用いて行う。付帯設備としては、実験に用いるPuや高濃縮Uの溶液を精製、調製する化学処理実験室、各種物理測定室、除染設備、エレクトロニクス・ショップ、機械工作室、放射線管理室などがあり、また制御室には8Kのコアメモリーをもつデータ処理用小型電子計算機が備えてあり、オンラインのデータ処理が行われている。実験セル内では種々の目的に応じた臨界実験装置が組み立てられ、一部はすでに実験を終了して解体されたものもあるが、主な装置としては次のようなものがある。

(1) “B”装置: 第2図に示すように3.2m×2.1m×1.5mの水槽内で、水その他の反射体に囲まれた1つまたは2つの円筒状あるいは中空円筒状の容器を用いてPu溶液の臨界実験が行える装置で、セル2内に設置されている。Pu溶液の貯槽、ポンプなどは床下実験室のグローブ・ボックス内に収めてある。

第2図 “B”装置による2つの中空円筒間の相互干渉実験

(2) “Castor-et-Pollux”装置: 双子座と名づけられたこの装置はセル1内に設備されており、第3図で気密ケーソン内の左側に見られる。直径30cmの円筒容器2個の間隔を220cmまで自由に変えることができ、2つの容器の相互干渉実験や、種々の材料による中性子遮蔽あるいは反射効果の実験に用いられる。

(3) “D”装置: 第3図で“Castor-et-Pollux”装置の右に示されている装置で、直径35cmの円筒容器を用

第3図 “Castor-et-Pollux”および“D”装置

い、B入りパイレックスガラス管を格子状に配列した場合のPu溶液の臨界量の測定や、Pu溶液中に未溶解の燃料ピンが並んでいる場合の臨界実験などが行われる。

(4) “CRAC”実験装置: セル3,4は仕切り壁を取り外して大実験セルとし、その中に組み立てられた気密ケーソン内で水溶液系の臨界暴走実験CRACが実施されている。この装置は写真1に見られるような特殊のグローブ・ボックス(内容積約8m³)の中に設けられ

写真1 CRAC 実験用グローブ・ボックス

た直径 30cm, 深さ最大 4 m の円筒容器に高濃縮 U 溶液を臨界超過となるまで注入し, そのとき起る臨界暴走現象を観測し, あわせて放射線量率の分布や放射線生物学的な研究も行いうものである。第 4 図は実験セル内の配置を示し, 中性子や γ 線測定のための各種計数管が設置されている。

II. 臨界実験装置による実験結果の例

(1) ^{240}Pu 含有率が Pu の臨界量に及ぼす効果:

^{240}Pu の含有率が 1.5, 3.11, 4.23, 6.93 および 9.95% の Pu を用い, 水反射体付きの中空円筒または円筒状容器に入れた Pu 溶液の臨界量が Pu 濃度の関数として測定された。(第 5 図)

^{240}Pu 含有率が高いと Pu の臨界量は大きくなるが, その増加割合は ^{241}Pu の影響もあって ^{240}Pu 含有率が高いほど減少してゆく。(第 6 図)

(2) 非均質中性子吸収材の効果: Pu 溶液の中に B 入りパイレックスガラス管を格子状に配列した場合の Pu 臨界量が "D" 装置を用いて測定された。(第 7

(図)

(3) 円筒容器の相互干渉: 反射体のない場合に 2~4 本の円筒容器(直径 30cm)を配列したときの容器間の間隔と Pu 溶液の臨界高さとの関係が "B" 装置を用いて測定された。(第 8 図)

(4) 種々の材料による中性子遮蔽および反射効果

第8図 円筒容器の相互干渉(反射体なし)

“Castor-et-Pollux”装置により、高濃縮U溶液を入れた2つの円筒容器の間にパラフィン、木材、鉛、コンクリートなどの板を入れたときの遮蔽効果(第9図)および1つの容器の傍にこれらの板を置いた場合の反射効果(第10図)が測定された。

(5) H/U 比が低い領域での高濃縮U臨界量: 低

第9図 各種材料による遮蔽効果

第10図 各種材料による反射効果

減速度($H/U \leq 20$)の領域での93%濃縮Uの臨界量を検討するため、 UF_6 -HF溶液を用いてモネル製球型容器による臨界実験(水反射体付き)が行われ、その結果は第11図の曲線(1)に示されている。第12図はこの場合の実験と計算の比較で、実験には物性値や寸法上の誤差を、また計算値にはモンテカルロ法を用いた場合の統計的誤差が示されている。DSN輸送理論コードが実験とよい一致を示したので、これを用いて UO_2F_2 - H_2O

第11図 高濃縮U臨界量(H/U 比が低い範囲)

系について計算し、TID-7016 の値と比較した結果が第11図の曲線(2)と(3)である。

第12図 実験と計算の比較(UF₆-HF, 球型, 水反射体付き)

Ⅲ. 臨界暴走実験“CRAC”

1968年11月に開始されたこの実験は、現在 Valduc 実験所における主要な研究計画となっている。その目的は、核燃料水溶液系での臨界事故の特性を調べることにより、臨界暴走時の出力、温度、圧力の変化などを

測定記録するのみならず、実験セル内外の線量測定、臨界警報系の試験、生物試料の照射実験なども含めた計画である。すでに行われた19回の実験の主要な条件と測定結果は第1表に示されており、また代表的な実験における出力変化の様子は第13図に示されている。

第13図 CRAC 実験の例(出力の時間変化)

実験はいずれも93%濃縮Uの硝酸ウラン溶液を用い、U濃度はおよそ 50~400 g/l の範囲にわたっており、溶液の濃度(したがって臨界液位)、溶液の注入速度(したがって反応度の添加速度)、および臨界を超えて注入する液量(したがって全添加超過反応度)を種々変化させて実験が行われた。データ処理にはオンライン

第1表 CRAC 実験リスト

実験番号 CRAC	²³⁵ U濃度 (g/l)	臨界液位 (cm)	注入終了 時液位 (cm)	全添加超過 反応度 (pcm)	注入速度 (l/hr)	第1の出力 ピークまで の時間†† (sec)	注入終了†† までの時間 (sec)	全積算出 力††† (fiss.)	出力最高 値††† (fiss./sec)	用いた 容器の 深さ (m)
01	48.5	194 ^{a)}	372.5	~ 540	1,480	232	309	4.9×10 ¹⁷	1.03×10 ¹⁶	4
02	48.58†	208 ^{a)}	279	~1,000	1,500	72	113	6.6	6.5	4
03	48.6	184.2 ^{a)}	370.8	~ 540	500	428	856	4.0	(0.5)	4
04	48.15	190 ^{a)}	346	~ 500	1,500	197	227	4.0	0.85	4
05	56.9	69.05 ^{b)}	100.2	~2,400	1,500	21.5	52.5	3.8	6.3	2
06	56.9	68.06 ^{b)}	100.38	~2,400	1,510	22.84	51	3.6	6.7	2
07	188	27.02 ^{a)}	32.4	~4,600	1,660	3.894	7	3.1	124	2
08	188	27.25 ^{a)}	32.2	~4,200	1,570	3.1	6.5	2.7	340	1
09	72.9	42.90 ^{b)}	52.6	~2,500	1,510	6.4	15	2.9	27	1
10	72.9	42.5 ^{b)}	65.9	~5,000	570	6.62	100	7.0	22	1
11	357	28.94 ^{a)}	36.4	~5,600	1,610	7.7	11.3	0.9	900	1
12	78.5	43.53 ^{b)}	61.53	~4,200	100	65	436	4.8	0.99	1
13	72.5	48.90 ^{b)}	69.24	~4,100	1,430	7.47	33.7	4.6	53	1
14	72.5	44.40 ^{a)}	66.40	~4,800	555	12.02	96.2	5.8	4.5	1
15	76.6	41.15 ^{c)}	65.40	~5,200	1,505	3.96	39	5.6	11.4	1
16	76.6	42.0 ^{c)}	80.0	~7,000	443	11.1	205	9.0	1.67	1
17	74.1	41.9 ^{c)}	61.5	~4,800	550	11.7	85	4.9	1.98	1
18	74.1	42.0 ^{c)}	101.4	~8,000	102	43.8	1,440	50	0.64	2
19	76.4	41.6 ^{b)}	61.7	~4,800	500	16.18	4.85	4.85	6.7	2

† はじめ臨界液位より14cm 下まで48 g/l の液を入れておき、その後、58 g/l の溶液を注入する。

†† 液位が臨界液位に達した瞬間を時間の原点とする。

††† ¹⁴³Ce などの放射化学分析により校正する。

a) (臨界液位) - (注入開始時液位) : 5~20 cm

b) (同上) : 30~50 cm

c) 一たん臨界を保持してから注入開始。

ン計算機が用いられ、1 msec 当り20点のサンプリングが可能であり、また特殊グローブ・ボックス内の上部に据え付けた工業用テレビにより臨界暴走の様子がビデオ記録されている。今までの実験に共通して見られた点としては、

- (1) 最初の出力ピークは全溶液の注入が終了する前に起った。

- (2) 全積算出力は全添加超過反応度、反応度添加速度および初期中性子源の強度(溶液の初期の状態)などによってきまるが、第1の因子の影響が最も支配的である。
- (3) 出力上昇開始後3 min間の積算出力はいずれの場合も 5×10^{17} fissions 以下であった。

(東大 清瀬量平 抄訳)

日本標準試料委員会認定

標準試料

JIS 発光分光分析用、標準溶液調製用

★R-2 酸化ジルコニウム (Hf free)

分析者：日本原子力研究所、日本鉱業(株)中研

分析成績表付き

価 格 1 箱 (3 g 入) 4,000 円 (千共)

★R-3 酸化ハフニウム

分析者：日本鉱業(株)中研

分析成績表付き

価 格 1 箱 (1 g 入)

3,500 円 (千共)

★H-1 スポンジチタン 1 号

H-2 スポンジチタン 2 号

H-3 スポンジチタン 3 号

JIS 化学分析用、発光分光分析用、標準溶液調製用

分析者：日本標準試料委員会チタン小委員会

調 製：(財)日本分析化学研究所

協 力：(社)チタニウム協会

成績表：8 カ所の分析成績表

価 格：各 1 箱 (30 g 入) 1,800 円 (千共)、3 種 1 組 5,000 円 (千共)

発売元 科 学 技 術 社

東京都中央区日本橋江戸橋 1-15 三木商事ビル

電話 東京 (271) 7357-8 振替 東京 13592