資 料

動燃事業団におけるプルトニウム燃料開発施設

鈴木 進*

(1972年 1月17日 受理)

*Plutonium Fuel Development Laboratory of Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation*

By Susumu SUZUKI

The Second Plutonium Fuel Development Laboratory of the Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, which had been under construction since 1969, has now been completed, and production of Pu fuels for both FBR and ATR commenced in Feb. 1972. The total floor space is about 9,000 m² in which are housed separate production lines for FBR and ATR (pellet preparation, pin fabrication, assembling and recovery), as well as facilities for quality control fuel storage, air conditioning and management office. The annual production capacity is 5 t and 3 t for ATR and FBR, respectively. Some of the production facilities were equipped to operate automatically in order to reduce the risk of human radiation exposure. Systems for criticality control and material balance are described together with an outline of the arrangement of the facilities with fully equipped alarm system.

動力炉・核燃料開発事業団東海事業所の Pu 燃料第 1 開発室は 1966 年 1 月から 5 年有余稼働実績を示し、この間の操業は順調に進み施設運転の安全性も確認され、燃料製造技術開発、炉外評価試験、照射試験を通しての燃料挙動解析、燃料設計評価等々に多くの成果得ることができた。今後さらに高速増殖炉実験炉および新型転換炉原型炉の開発に関連して燃料製造施設として Pu 燃料第 2 開発室が建設され、72 年早々 Pu を取り扱っての操業を開始するので、その施設を紹介する。

I. 施設建設経過

Pu 燃料第 2 開発室の建家、付帯施設、内装機器の設計は、1968 年に開始され 69 年から建設が始められたが、施設は高速増殖炉用燃料製造施設(以下 FBR ラインと称する)と新型転換炉用燃料製造施設(以下 ATR ラインと称する)の 2 つに大別して建設を進めた。その経過は第 1 表に略示する。

II. 施設概要

建家は 2 階建鉄筋コンクリート耐火耐震構造で、地下施設はなく 1 階は Pu 燃料製造の①主工程(ペレット製造、ピン充填加工、集合体組立)、②回収工程(乾式回収、湿式回収および廃液処理)、③品質管理工程(分析および物性測定)、④貯蔵(原料製品および回収品)、⑤製造作業等につわる現場管理、放射線管理、緊急除染、更衣休憩室等の場所に当たっている。

2 階は①給排気施設ならびに中央監視施設、②スタッフ室、会議室に、一部中 2 階に物質移動計量管理制御およびデータ集積を行う計算機室が設けられた。

総床面積は 1 階 4,873m²、2 階 3,856m²、中 2 階 248m²、合計延べ 8,977m²で、そのほかに第 1 開発室への約 35m の連絡通路 110m²がある。これらのうち放射線管理区域として指定される約 80% の所は、負圧維持が必要で気密構造に保たれている。第 1, 2 図に 1 階、2 階、中 2 階

* 動力炉・核燃料開発事業団(Power Reactor & Nucl. Fuel Develop. Corp.)

第1表 Pu燃料第2開発室建設経過

年 度	43	44	45	46	47
月	7 10 1	4 7 10 1	4 7 10 1	4 7 10 1	4 7 10
建 家 付 帯 施 設					
詳 細 設 計		FBR	ATR		
発 注 諸 準 備		FBR	ATR		
建 設 工 事		FBR	ATR		
内 装 機 器 設 備					
詳 細 設 計		FBR	ATR		
発 注 諸 準 備		FBR	ATR		
製 作			FBR	ATR	
据 付 調 整			FBR	ATR	
官 庁 検 査			FBR, ATR		
施 設 稼 動					FBR, ATR

A: ATRライン A-105～A-114 ATR組立工程 A-101～A-103 ATR乾式工程 A-104 湿式工程
 F: FBRライン F-105～F-114 FBR組立工程 F-101～F-103 FBR乾式工程 F-104 湿式工程
 C: 共通ライン C-101～C-04 分析物性工程 C-121～C-125 燃料貯蔵等 C-110 RMO

第1図 1階平面図

の平面図を示し、以下主要設備について概説する。

1. グローブボックス(GB)

Pu 燃料は GB のような包蔵容器内で負圧管理のもとで取り扱われるが、GB の本体部分はステンレス鋼でネオプレン製グローブ付きのアクリル樹脂窓板が取り付けられている。核物質の移動を GB の天井に付設

したホイストで行うため、高さ2.5～2m、横6～4m、奥行1mと非常に大きく高いGBを用いた。その配置をオープンポートボックス、フードと共に第3図に示す。GB 間で核物質を移動する場合は、FBR および ATR のそれぞれに付加された64m ずつの移送トンネルを用いる。GB には給排気口にアブソリュートフィ

① 差圧計, ② 消火用チッ素ガス配管
③ 負圧警報装置

写真1 FBRラインペレット製造工程のGB

できる性格のものでないことによる。ちなみに当面1973年末まで製造が予定されているFBRの「常陽」燃料およびATRのDCA燃料の仕様概略を第2表に示す。施設としてFBRラインでは混合酸化物ペレット15 kg/day, ATRラインでは25 kg/dayの製造能力があり、年間双方で8 t程度となる(海外では現在40 t級製造施設等を建設中である)。

第2表 燃料仕様

	JOYO 燃料	DCA 燃料
集合体	91本/体	28本/体
燃料棒		
被覆管材質	SUS-32	Zry. 2
寸法 全長	1,910mm	2,115mm
外径	6.3mm	16.68mm
内径	5.6mm	15.08mm
燃料有効長	600mm	2,00mm
燃料ペレット		
形状	真円柱	真円柱
直径	5.4mm	14.8mm
長さ	10mm	20mm
密度	9.53T.D.	94.0 T.D.
Pu 富化度	18%	0.54%, 0.87%
²³⁵ U	23%	天然

ペレット製造装置として粉末調整装置, ボールミル, グラニューレータ, プレス, 焼結, 径選別装置, 研削, 脱ガス, 検査装置と一連の装置を使用するが, 本施設では成形後の工程はかなり自動化してある。またビンへのペレット充填とそれに伴うスタック長, 重量の測定を一連自動化してあり, その後の工程も一部自動化して手作業を減らしてある(写真2)。

回収工程は, 溶解イオン交換沈殿精製または溶媒抽出分離, 溶液濃縮装置等から出来ている。

ペレットは自動的にスタック長調整と測定, 重量測定した後充填される。

写真2 ATRラインのペレット充填装置

3. 運転管理設備

給電設備, 給排気設備, 空調管理, 負圧管理, 各種警報設備等の自動運転, 管理, 保守が集中管理方式下で行われている。

(1) 給電設備

買電特高変電設備のほかに停電時約30sec内に自家発電機による送電が可能のように設備されており, 自家発電機も500kWのものが万一事故の場合は他の200kWのものが稼働するよう2台設備されている。また雷雨時のように電圧の変動が繰り返えられる場合は自家発電機は自動から手動に切り換えられ買電の代わりに稼働送電するようにして排気系の運転を確保し負圧を維持できるようになっている。

(2) 給排気設備

上記給電設備により24hr運転が行われるが、買電停電時は排気系統の運転が瞬時に再開される。排気系が停止して給気系が運転されることは絶対ない機構になっており、停電後買電復旧時も排気系がまず運転されこの間給気系はロックされており、次に給気系が運転される。GBへの給気口にはアブソリュートフィルタが取り付けられて停電時汚染空気が逆行しないよう防止されている。GB排気口および煙突への排気前にアブソリュートフィルタがおのおの付けられており、清浄な空気のみが排気される。

給気は室温20°~23°C、湿度40~60%に維持できるように蒸気または冷水等の熱源で自動制御されている。これは冬期早朝等室温が下がり過ぎるとGBのグローブが硬くなって作業性を妨げると共に、破損等汚染または事故の原因になりやすい問題を与え、また湿度が高い場合ラドントロン等による偽の汚染現象を起してPu検出に妨害を起したり、ベレット製造に悪影響を与えるためである。

(3) 負圧管理

建家の管理区域内は空気汚染拡大防止の目的で水柱1~4mmの4段階に負圧管理がなされており、建家の出入は常時ロビーからの1箇所と限定され、管理区域に入る場所は2重扉で負圧管理されている。ローディングドックあるいは非常扉を開ける場合は事前許可を必要としている。GB内はさらに負圧30mm水柱に24hr維持され、GBの負圧管理はグローブ操作の急激な運動に対しても充分維持できるように、またグローブ破損あるいは脱落時も汚染の拡大を防止するのに充分な空気のGBへの流入が可能ないように管理されている。

(4) 警報施設および管理表示盤

上記各設備の管理を含めて、緊急通報施設および管理表示盤が集中管理化され、警報系が作動吹鳴した場合、その事故箇所を明示するランプが点燈し、非常措置が即刻とれる体制になっている。設備として下記のものがある。

- (a) 臨界警報 (b) 火災警報 (c) 室内警報
- (d) GB温度警報 (e) ドア警報 (f) 給気表示
- (g) 排気警報 (h) 負圧警報 (i) 廃液液位警報
- (j) 室内空気汚染異状警報
- (k) 排気中空気汚染異状警報
- (l) 出退勤管理区域内作業表示盤

(b), (c), (l)以外はすべて自動化されており、上記以外の連絡設備として電話(村外直通, 村内直通, 事業所内直通, 部内電話), 部内放送施設, ページングシステム,

個人呼出しポケットベルがあるほか、所内ホットライン, 部内ホットラインが設備されている。各警報の吹鳴音, 断続方式は異り、臨界警報, 火災警報, 室内警報の3種類は建家すべての場所で聴取可能にしてあり、また部内放送音とは異った方向から聞えるよう設備されている。警報機はリセットを人為的に行わない限り吹鳴を続ける機構になっており、リセットは現場保安最高責任者の指示がなければ行われない。

出退勤管理表示盤は出入口のロビーおよび管理区域出入口に押ボタン方式のものが設置されており、第1開発室, 第2開発室双方を含め、何方かの建家あるいはその管理区域内に在室しているかどうかを表示するように出来ており、表示盤はロビー以外の双方の建家の管理室に表示のみされている。緊急退避時はそのまま退避し残留者の有無確認にも用いる。

4. 臨界管理および計量管理

本施設での臨界管理については、前記したように万全を期して行なっているが、このため特殊核物質の取扱量, 取扱施設機器の形状等は厳しく制限している。本施設では特殊核燃料物質と減速材との比により乾燥系, 半減速系, 減速系の3つに分類し(第3表参照), 各系は燃料組成により臨界管理安全基準量(第4, 5表参照)を、燃料棒および集合体につき同安全基準量を(第6, 7表参照)定めている。機器配置についても機器配列および立体角法よりみでの相互作用防止の管理基準を第8, 9表のように定めて設計した。とくにFBR湿式回収工程はすべて形状臨界管理方式をとっている。このように設計, 製作, 据付けされた施設は監督官庁により厳重な検査を受けて安全性を慎重に確認された上で使用に供された。また取扱いについては定められた安全作業基準に従って作業される。

第3表 減速比による系の分類

系	H/Pu*(Pu*= ²³⁹ Pu+ ²⁴¹ Pu+ ²³⁵ U)	
	FBRライン	ATRライン
乾 燥	0~4	0~100
半 減 速	4~25	100~250
減 速	25以上	250 以上

特殊核燃料物質の移動計量管理はすべて電子計算機で処理管理され、すべてのGB, 貯蔵施設の装荷量は臨界管理上安全であることが確認されて初めて定められた手法により移動が許されている。GB間の移動は中央管理制御室より遠隔操作する移送トンネルを使用し、また分析試料等については計量係員の指示による

第4表 FBRライン臨界管理安全基準量

(Pu* 第3表と同じ)

系	項 目	安全係数	23.3%濃縮UO ₂	PuO ₂	混 合 酸 化 物
乾燥系	質 量 (kg)	0.43	kg ²³⁵ U 17.5	kgPu 4.6	kgPu* 9.8
	容 積 (l)	0.75	9.4	0.97	6.7
	円筒直径(mm)	0.85	160	64	143
	平板厚(mm)	0.75	50	15	53
半減速系	質 量 (kg)	0.43	kg ²³⁵ U 4.7	kgPu 2.1	kgPu* 3.0
	容 積 (l)	0.75	9.7	3.9	6.6
	円筒直径(mm)	0.85	164	112	143
	平板厚(mm)	0.75	57	33	48
減速系	質 量 (kg)	0.43	kg ²³⁵ U 0.7	kgPu 0.22	kgPu* 0.25
	容 積 (l)	0.75	7.8	3.8	6.5
	円筒直径(mm)	0.85	146	112	143
	平板厚(mm)	0.75	52	33	46

第5表 ATRライン臨界管理安全基準量

(Pu*は第3表と同じ)

系	項 目	安全係数	0.8%PuO ₂ -UO ₂ (nat)
乾燥系	質 量 (kg)	0.43	3.0 kgPu*
	容 積 (l)	0.75	75
	円筒直径(mm)	0.85	345
	平板厚(mm)	0.75	171
半減速系	質 量 (kg)	0.43	0.75 kgPu*
	容 積 (l)	0.75	43.5
	円筒直径(mm)	0.85	261
	平板厚(mm)	0.75	117
減速系	質 量 (kg)	0.43	0.37 kgPu*
	容 積 (l)	0.75	31.5
	円筒直径(mm)	0.85	255
	平板厚(mm)	0.75	114

第6表 FBRライン燃料棒および集合体(91本

燃料棒)の臨界管理安全基準量

条 件	K _{eff}	安全基準
燃料棒最適格子(15mm ピッチ)で水没	0.9	106本
燃料棒200本(2日分取扱量)が密着して水没	0.66	200本
集合体1体(91本燃料棒)が水没	0.54	1体

ニューマチック移送装置を用いている(写真3)。

5. 被曝対策

Pu取扱いに伴う外部被曝線量は、取扱うPu量と作

第7表 ATRライン燃料棒および集合体(28本燃料棒)の臨界管理安全基準量

条 件	K _{eff}	安全基準
燃料棒最適格子(25mm ピッチ)で水没	0.9	142本
集合体1体(28本燃料棒)が水没	0.44	1体

第8表 機器配列における臨界相互作用防止の管理基準

ユニット間の最小端面間距離	30mm
各ユニット間の最大立体角 Ω_t (max) と制限立体角 Ω_l の関係	$\frac{\Omega_t(\max)}{4\pi} < \Omega_l$
壁, 床, 天井の中性子反射を考慮	Albedo=0.7 (コンクリート)
必要に応じ中性子スクリーンを設置	—

$$\dagger \Omega_l = \frac{1 - K_{eff}(B)}{2}$$

K_{eff}(B)=非反射(bare)容器の実効増倍係数

第9表 立体角法による相互作用防止の配置基準

管 理 室	Ω_l		K _{eff} (B)	最小隔離条件	
	ステラ ジアン	小紋		1 対配置	正方格子 配 置
質 量	1.4	0.11	0.78	$d/2R=0.6$	$d/2R=1.1$
体 積	1.6	0.13	0.74	$d/2R=0.5$	$d/2R=1.0$
円筒直径	2.0	0.16	0.68	$d/2R=0.1$	$d/2R=1.1$
平 板 厚	3.8	0.30	0.40	$d/L=0.1$	

d: 端面間距離 2R: 球もしくは円筒の直径
L: 正方形平板の辺長

ボックス操作面は鉛ガラスが取り付けられている。左側の小さいGBはニューマチック移送装置の一部。

写真3 FBRライン造粒用GB

業内容、時間のほかPu同位体組成に関係する。1966年当初動燃事業団で取り扱っていたPuは fissile 92%程度のものであったが、JOYO 燃料では fissile 82%程度、DCA 燃料で80%程度のものが取り扱われ、γ線被

第10表 燃料製造スケジュール

年 度		1971		1972				1973			
月		10	1	4	7	10	1	4	7	10	1
JOYO 燃 料 集 合 体 燃 料 棒 ペ レ ッ ト 原 料		<div><div>80体 ↑</div><div>7,760本 ↑</div><div>1,132 kgMO ↑</div></div>									
PuO ₂		52 kg ↑		52 kg ↑		63 kg ↑					
EUO ₂		270 kg ↑		290 kg ↑		363 kg ↑					
DCA 燃 料 集 合 体†		<div><div>A 26体 ↑</div><div>A 12体+32本 ↑</div><div>B 27体+29本 ↑</div><div>C 27体 ↑</div></div>									
燃 料 棒 ペ レ ッ ト 原 料		<div><div>A 1,315本 ↑</div><div>A 4,928 kgMO ↑</div><div>B 942本 ↑</div><div>B 3,360 kgMO ↑</div><div>C 908本 ↑</div><div>C 3,220 kgMO ↑</div></div>									
PuO ₂		A 49kg ↑		B 22kg ↑		C 29kg ↑					
NUO ₂		<div><div>AB用 500kg/回×17回=8.5 t ↑</div><div>C用 3.2 t /7 回 ↑</div></div>									

† 集合体 A: Standard grade PuO₂ 0.54 W/o, B: Standard grade PuO₂ 0.87 W/o, C: Reactor grade PuO₂ 0.87 W/o

曝および中性子の被曝を考慮する必要がある。γ線は14~875 keVのうち100 keV以下のものがほとんどで、最も強いのはPuより生ずる²⁴¹Amの60 keVである。したがって、被曝量を管理する前提条件として取り扱うPuの仕様決定に留意する必要があるが、今回JOYO燃料用のものの仕様では²⁴¹Amは1,000 ppm以下とし同じ fissile 82%のものでも²⁴¹Puの少ないものとした。

一定期間の作業者の被曝線量は、1週間100 mrem, 3ヵ月1.3 mrem, 1年3 remを越えないよう管理しているが、作業時GB内で不必要にPuを一時保管することは空間線量率の上昇原因となるので原則的に禁止しており、やむを得ない場合は鉛板等で線源遮蔽を行う。作業もGBにはりついて作業する時間は短縮する方向で考え、装置も前記のようにできる範囲で自動化している。ここで注意すべきことはGB内の整理整頓、ボックス内面のパネルの表面汚染が直接被曝に関係しており、作業当初は差異が少ないが、2年目以降急激にその影響が現われる。海外でもこの点は指摘されており Good House Keeping が提唱されているところで

あり、ステンレス鋼の場合、内面のポリッシングの効果が2年後に明示されている。当施設では内面清掃を常時指示している。遮蔽材としてはさらに鉛2 mm厚さ相当量の鉛ガラスをGBパネル表面に重ねて装備させているのも前記とおりである。

Ⅲ. 現状と今後の計画

FBRラインのペレット製造工程および回収工程(廃液処理を含む)の各機器の据付試運転検査はすべて終え、1971年7月末より天然Uを使用しての試験操業に入っている。この操業を通じて、設置された機器の特性把握、操作性、操業時の必要人員、連続作業上の問題点、計量管理方式の解析等多くの成果を得ている。またPu燃料本格操業に備えて機器手直し作業を行なっている。FBRライン加工組立工程(貯蔵施設を含め)、ATRライン乾式工程組立工程の機器据付も順調に進み、1972年2月当初からの全面Pu取扱操業に万全の準備体制を整えている。同時期以降の燃料製造計画は第10表に示すとおりで、今後の実績成果を大いに期待している。