

王禅寺臨界実験装置 (O.C.F.) の概要

Outline of Ozenji Critical Facilities

和嶋常隆* 江頭一晃**
Tsunetaka Wajima Kazuaki Etō

内 容 梗 概

王禅寺臨界実験装置は日立製作所の BWR 形動力用原子炉の開発計画の一環として、中央研究所が神奈川県川崎市王禅寺にある中央研究所王禅寺分室に設置するものである。

形式は低濃縮ウラン非均質軽水減速形である。この基本計画は中央研究所が行ない、設備の設計および製作を日立工場に、また燃料ペレットの加工を日立研究所に依頼したもので、すでに完成した日立教育訓練用原子炉 (H. T. R.) に続き製作された純国産の設備である。

1. 緒 言

航空機の設計には「風洞」による実験が不可欠のように、原子炉の設計にも炉心構成を容易に変えられる「臨界集合体実験装置 (critical assembly, 略して臨界集合体, または臨界実験装置とも呼ぶ)」を使った種々の実験データが必要である。日立製作所においても BWR 形 (沸騰水形) 動力用原子炉の開発計画の一環として、軽水低濃縮酸化ウラン形の臨界実験装置を計画した。

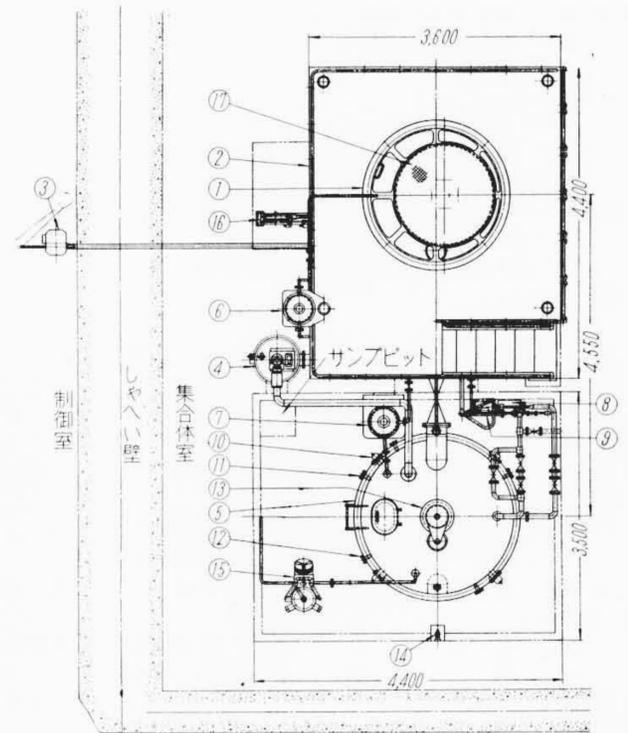
この目的は上記動力用原子炉に関する炉の格子配列, 燃料濃縮度, 水対燃料体積比, 炉心の形や大きさ, 温度, ボイド体積比, 制御棒などを変えた種々の場合についての核的資料を実験的に求めるためのものである。

この装置は王禅寺臨界実験装置 (Ozenji Critical Facility, 略号 O. C. F.) と称し, 神奈川県川崎市王禅寺にある中央研究所王禅寺分室に設置されるもので, 昭和 36 年 1 月その使用許可申請を政府に提出し, 原子力委員会安全審査会の審査を経て, 同年 9 月 29 日その安全性が認められ正式に許可を得たものである。

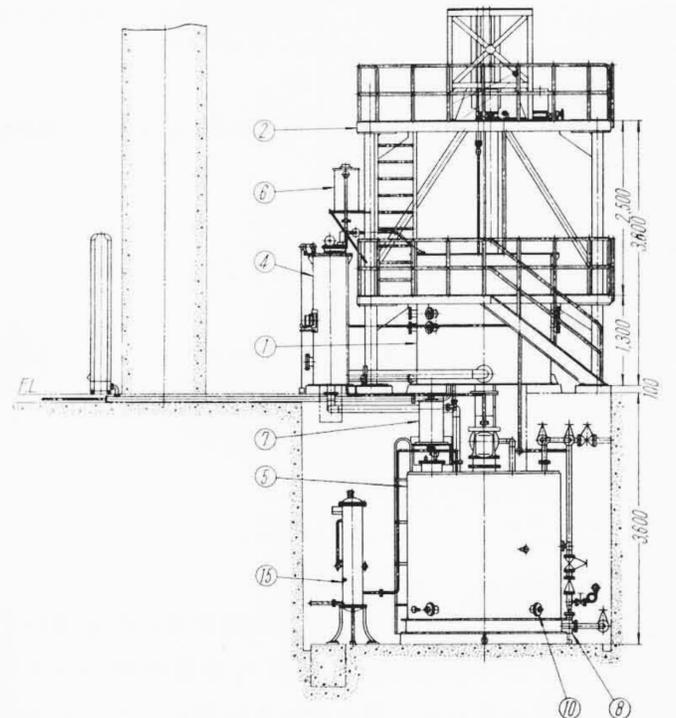
2. 王禅寺臨界実験装置 (O. C. F.)

O. C. F. は燃料として濃縮度 2.5% および 1.5% の酸化ウランペレットを用い, これを適当な割合でアルミニウムの管につめて燃料棒とし, 主タンク内の管板に組み込んで集合体を形成している。この集合体炉心配列は実験により, ひん繁に組み替えられるので, 原子炉のような厚い生体遮へいは設けず, その代りに遮へいを兼ねた専用の臨界実験用建家が作られており, 厳格な運転管理, 燃料管理, 放射線管理などが実施されるしくみである。

このような融通性をもたせた装置の設計に対しては, 特に安全性に重点をおき, いかなる場合を想定しても安全であるよう十分な検討がなされている。すなわち, 運転者が誤った操作を行っても動作しないような起動インターロックや警報装置を備え, また反応度を付加しうる系統の数を操作選択スイッチで制限している。さらに手動, 計測系などからの信号によるスクラム装置を設け, 出力が異常に上昇した場合には遅滞なく集合体を停止させるようにしている。また, 主タンク内の水位上昇および制御棒引き抜きによる反応度付加率を一定値以下になるようにし, 燃料装てんの管理とあいまって, かりに操作者の誤操作と装置の誤動作が重なったとしても大きな事故とならないように考慮されている。本稿ではこれらの管理についても触れながら, O. C. F. を構成する各部の仕様を概説する。仕様概要は一覧表に示してある。



第 1 図 (a) O. C. F. 本体配置図 (平面図)



(注) 番号説明

- | | | |
|-----------|----------|------------|
| ① 主タンク | ⑦ 排水タンク | ⑬ かくはん機 |
| ② 架台 | ⑧ 循環ポンプ | ⑭ 液面指示計 |
| ③ 水位測定装置 | ⑨ 流量計発信器 | ⑮ 純水製造装置 |
| ④ 水位粗調整装置 | ⑩ 加熱器 | ⑯ 中性子源駆動装置 |
| ⑤ ダンプタンク | ⑪ 伝導度計 | ⑰ 管板 |
| ⑥ 給水タンク | ⑫ 温度計 | |

第 1 図 (b) O. C. F. 本体配置図 (立面図)

2.1 炉 心 部

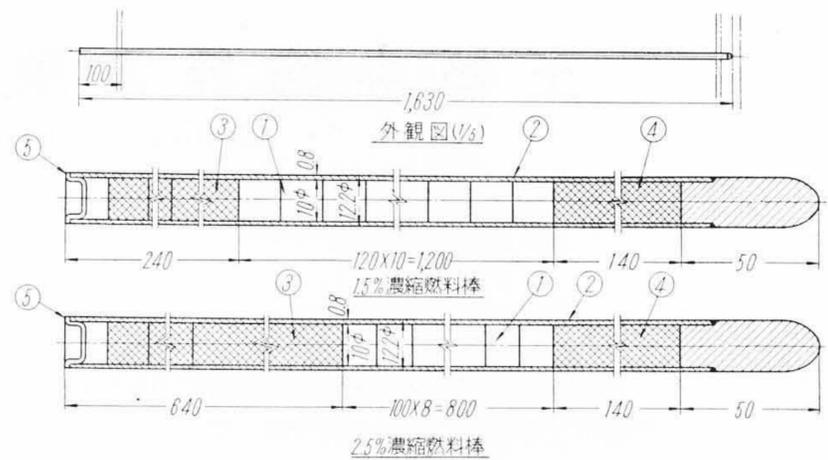
集合体の炉心は第 1 図に示した主タンク内の管板に燃料棒をそう

* 日立製作所中央研究所

** 日立製作所日立工場

第1表 OCF の仕様一覧表

形 式	低濃縮ウラン非均質軽水減速形		
水対燃料体積比	1.5, 2.5, 3.5, 4.5 の4種類		
燃 料	二酸化ウランペレット		
濃 縮 度	1.5%~2.5%		
ペレット寸法	直径 1.0 cm 長さ 1.0 cm (1.5%濃縮), 0.8 cm (2.5%濃縮)		
実験使用量	U ²³⁵ にて, 47 kg (1.5%濃縮), 17 kg (2.5%濃縮) UO ₂ にて, 約3,555 kg (1.5%濃縮), 約772 kg (2.5%濃縮)		
燃 料 棒	アルミニウム管		
寸 法	外径 約1.22 cm 肉厚 0.08 cm 長さ 全長163 cm 有効長 120 cm (1.5%濃縮) 80 cm (2.5%濃縮)		
数 量	約3,700本 (1.5%濃縮) 約1,200本 (2.5%濃縮)		
水 系 統 設 備			
主 タ ン ク			
材 料	ステンレス鋼		
寸 法	直径 190 cm	高さ	190 cm
容 量	約5.0 m ³		
最大循環量	約0.17 m ³ /min		
水 温	室温から約80°Cまで		
ボ イ ド	20%まで		
ダンプタンク			
材 料	ステンレス鋼		
寸 法	直径 220 cm	高さ	230 cm
容 量	約7.0 m ³		
付 属 設 備	50 kW 電熱器 2.2 kW かくはん機		
循環ポンプ	容量約0.17 m ³ /min, 揚程約15 m		
制御計測設備			
制 御 棒			
種 類	調整棒	シム棒	安全棒
本 数	1	1	3
材 料	ステンレス鋼	ボロン鋼	ボロン鋼
駆動機構	ボールネジ式	ボールネジ式	ロープ式
等価反応度	約0.5%	約1.2~2.4%	約3.6~7.2% (3本合計)
引抜そう入速度	可変最大0.5 cm/s (0.5~1×10 ⁻⁴ Jk/k/s)	可変最大0.5 cm/s (1~5×10 ⁻⁴ Jk/k/s)	1.0 cm/s (2~10×10 ⁻⁴ Jk/k/s)
スクラム時	落下せず	重力落下	重力落下
水 位 制 御			
種 類	主給水弁	水位微調整	水位粗調整装置
方 式	開 閉	給 排 水	オーバフロー
水位上昇下降速度 (正常時)	約0.1 cm/s (3×10 ⁻⁴ Jk/k/s)	最大約0.01 cm/s (約3×10 ⁻⁵ Jk/k/s)	約0.1 cm/s
放射線計測装置			
第1, 第2チャンネル	起動用, BF ₃ 比例計数管または核分裂計数管		
第3チャンネル	対数出力用, γ線補償形電離箱またはBF ₃ ガス入り電離箱		
第4, 第5チャンネル	線形出力用, γ線補償形電離箱またはBF ₃ ガス入り電離箱		
第6チャンネル	γ線用, シンチレーションカウンタ		
制 御 盤			
計 器 盤	放射線計測装置1式		
操 作 卓	コントロール, スイッチ, 操作選択器, 指示計器, 表示灯など1式		
安 全 装 置			
スクラムおよび警報装置	1式		
起動インターロック	1式		
放射線モニタ設備			
定 置 モ ニ タ			
γ線モニタ	1式		
ガスモニタ	1台		
ハンドフートクロスモニタ	1式		
移 動 モ ニ タ			
ガスダストモニタ	1台		
α, β, γ, n モニタ	シンチレーション式モニタ1台		
液体用モニタ	1台		
サベイメータ	1式		
個人用モニタ	1式		



項番	名 称	材 質
①	燃 料	UO ₂
②	燃 料 管	アルミニウム
③	上 部 反 射 体	ポリエチレン
④	下 部 反 射 体	ポリエチレン
⑤	キ ャ ッ プ	ビ ニ ール

第2図 燃 料 棒

る。第2図に燃料棒の構造を示す。1.5%と2.5%の濃縮度の間は両方の濃縮度のペレットを適当な割合で燃料管につめて、その濃縮度を近似的に模擬することもできる。燃料棒は一本ずつ、またはある相当数まとめたアセンブリとして一組ずつ、管板にそう入する。反応度のボイド係数を測定する場合には中空棒またはスチロフォームなどの模擬ボイドを燃料棒のまわりに入れて行なう。

2.3 水 系 統 設 備

炉心部を収納し実験時に軽水を満たすための主タンク、実験時以外および緊急時に主タンク内の軽水を急速除去して貯蔵するためのダンプタンク、循環ポンプなどからなる。減速材として用いるこの軽水は、地下水を純水製造装置で処理して用いダンプタンク内に貯蔵し、実験を行なうときに循環ポンプで主タンクに給水する。第3図に水系統図を示す。

2.3.1 主 タ ン ク

主タンクは直径190 cm、高さ190 cmのステンレス製円筒状容器で、側方には実験用孔、給水孔、緊急排水孔(250 mmφ)、水位粗調整装置、水位測定用タンクおよび同上用U字管への連絡孔を備えている。

2.3.2 ダンプタンク

ダンプタンクは集合体室内の深さ3.6 mの補機ピット内に設置され、その寸法は直径220 cm、高さ230 cmである。貯蔵水量は約7 m³で主タンク容量の約1.4倍に相当する。

このタンクはふたをして用い、内部に電熱器、温度計を備え、約10時間で常温から80°Cまで水温をあげることができる。

2.3.3 か く は ん 機

容量2.2 kWのかくはん機をダンプタンクに設置し、温度上昇実験時、ポイズンをそう入した実験時に動作させて水温または溶液の均一混合を行なう。

2.3.4 循 環 ポ ン プ

容量約0.17 m³/minのケミポンプで、主タンクへの給水と循環に使用する。

2.3.5 水 位 粗 調 節 装 置

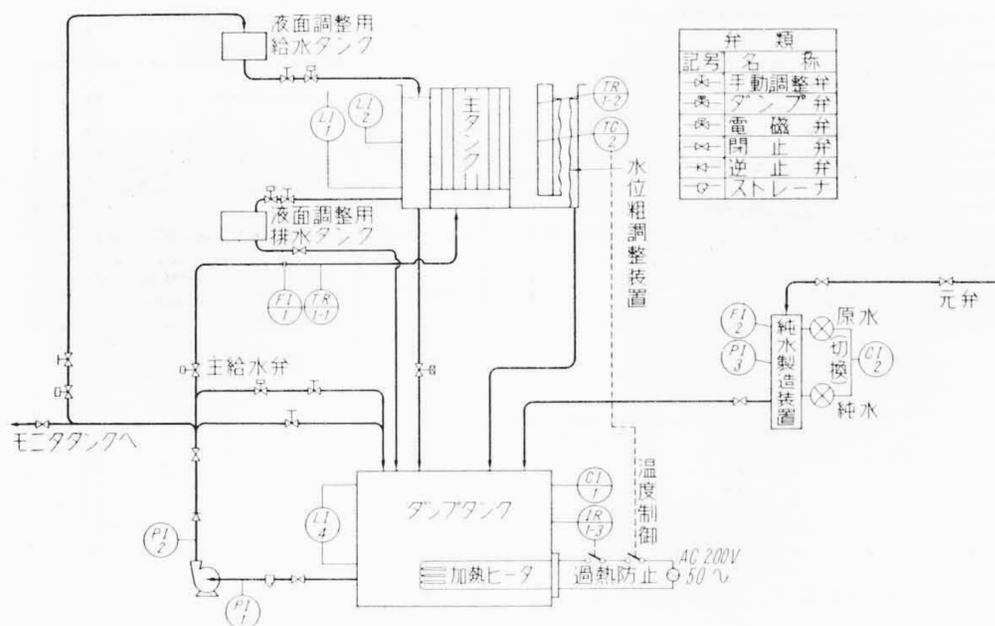
主タンクの近くにはオーバフロー式の水位粗調整装置があり、これをあらかじめ適当な値に設定しておき、水位がこの設定値以上にあがらないようにしている。また、水位を変えて反射体およびバックリング効果を調べる実験のときはこれを上下方向に移動して、水面の高さを調整する。この水位の可変範囲は約1 mで速度は約1 mm/sである。

特に水位は確実に読む必要があるので、動作確実なU字管と水

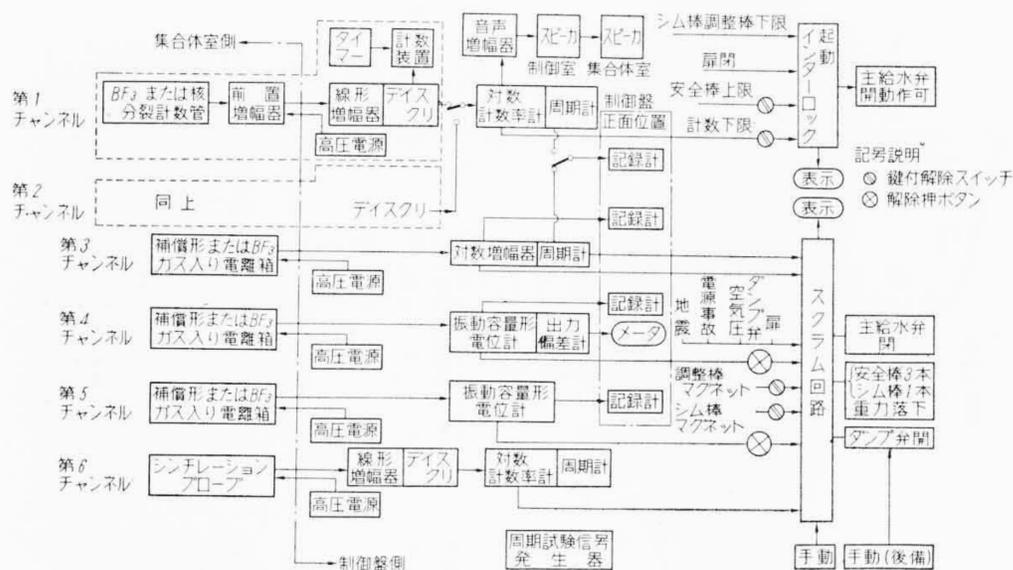
入したもので、この管板は主タンク内に固定された支持わくに取り付けられている。この管板に設けられた多数の燃料そう入孔により、これを数種組み合わせる適当な格子配列をとりうるようになっている。格子配列の形は正方形で、水対燃料体積比は1.5, 2.5, 3.5, 4.5の4種類に変えられる。

2.2 燃 料

O.C.F.の燃料は1.5%および2.5%濃縮の二酸化ウランで、これをペレット状に成形加工し、アルミニウムの被覆管の中につめたものである。燃料棒の下端は密封してあるが、上端は取りはずしのできるふたになっているので燃料ペレットをつめかえることができる。このふたの色およびペレットの長さによって濃縮度を区別す



第3図 水 系 統 図



第4図 核計測装置ブロック線図

位精密測定装置により制御室で読み取れるようにしてある。

温度係数測定時には、常時ダンプタンク内で加熱された水が主タンク下部からはいり、この装置から流出して、ダンプタンクに戻り主タンク内の温度を一定に保つようになっている。

2.3.6 水位微調整装置

主タンク上方に給水タンクを、下方に排水タンクを設け、主タンク内の水位を給排水により調整するものでこれらのタンクの容量はおのおの50ℓで弁の開閉はすべて制御室で行なうことができる。

2.4 起動用中性子源およびその駆動装置

中性子源としては Ra-Be (1.6×10^7 n/s/curie) 0.5 キュリーまたは Pu-Be (1.8×10^6 n/s/curie) 5 キュリーを使用する。この中性子源はアルミニウムの球形容器の中に納められ、使用しないときには斜下方の地下約 0.5 m の所に安全に格納されており、使用時にその格納場所からたわみ軸で主タンク内に押しあげられる。

2.5 計測制御設備

本装置を安全に運転するため集合体の出力を放射線計測装置で測定し制御する設備で、運転は制御盤から遠隔操作で行なうことができる。また運転の安全性を期するための安全装置が設けられている。

2.5.1 放射線計測装置

集合体出力測定の計測系統であり 6 チャンネルよりなっている。第 1～第 5 チャンネルは熱中性子束の全出力範囲の計測に、第 6 チャンネルは γ 線計測用に使用される。計測装置のブロック線図を第 4 図に示す。

(1) 第 1 および第 2 チャンネル

起動時の熱中性子束測定を行なうチャンネルで、検出器位置の

熱中性子束の範囲は $10^0 \sim 10^4$ n/cm²s である。検出器としては BF₃ 比例計数管または核分裂計数管を用い、起動時の計数、対数出力および集合体周期を測定する。計数装置は主として臨界以下の領域で使用される。

第 1 および第 2 チャンネルは並列的に使用するが、対数計数率計周期計および始動時の計数をモニタするための可聴増幅器とスピーカは 1 組を切り替えて使用できるようになっている。対数計数率計の出力信号は起動インタロック回路へ送られ、起動のときに中性子源がそう入されており中性子束がある下限値以上を示していなければ給水が行なえないようになっている。

(2) 第 3 チャンネル

検出器として γ 線補償形電離箱または BF₃ ガス入り電離箱が用いられる。検出器の位置で 10^3 n/cm³s 以上の領域で使用する。電離箱の出力電流は対数増幅器で増幅されて対数的表示を行ない、その出力はさらに集合体周期の指示を行なう。起動時の周期計と共用の記録計により、切り替えて集合体周期を記録できる。

(3) 第 4 および第 5 チャンネル

検出器として γ 線補償形電離箱または BF₃ ガス入り電離箱が用いられ、出力電流は振動容量電位計によって指示、記録されると同時に、出力が測定領域のフル・スケールになった場合に集合体を停止するためのトリップ回路が含まれている。検出器の位置において 10^3 n/cm³s 以上の領域で使用する。

各チャンネルとも、その出力が記録計に記録指示され、それを監視しながら運転操作を行なう。

(4) 第 6 チャンネル

シンチレーション・カウンタを γ 線検出器として使用し、 γ 線束を測定する。前置増幅器および主増幅器で増幅された検出パルスは対数計数率計にはいり、この出力はさらに周期計にはいる。対数計数率計の出力は γ 線出力による停止信号として用いられる。

2.5.2 制御装置

制御棒および水位により集合体の制御を行なう。

(1) 制御棒および制御棒駆動装置

制御棒はステンレス鋼製の調整棒 1 本 (約 0.5% $\Delta k/k$)、ボロン鋼製のシム棒 1 本 (1.2~2.4% $\Delta k/k$)、安全棒 3 本 (3 本合計 3.6~7.2% $\Delta k/k$) よりなる。調整棒とシム棒の駆動方式はボールネジ式で、駆動装置は駆動装置架台のうえに置かれる。スクラム時には電磁クラッチまたはマグネットにより棒を重力で落下させる。各制御棒は操作卓上の押ボタンスイッチによってそれぞれ独立に落下させることもできる。スクラム時に万ークラッチまたはマグネットがはずれなかった場合でも駆動機構部は最大そう入速度でそう入され、棒が確実にはいりようになっている。調整棒とシム棒の位置はデジタル方式によって制御盤上の位置指示計に指示される。

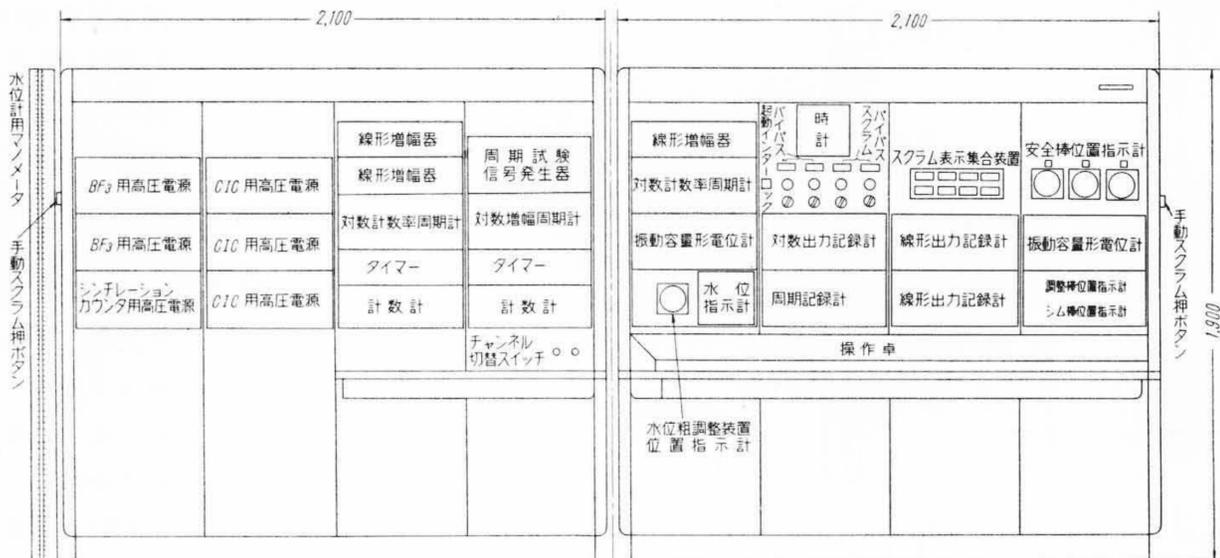
(2) 水位による制御

制御棒による出力制御のほか、減速材としての軽水の水位を制御することによって出力制御を行なうことができる。起動の場合には主タンク内の水位上昇速度を 0.1 cm/s の速さで給水を行なう。水位の粗調整はオーバフロー用の穴を頂部に有するスタンドパイプを上下することによって行なわれる。水位の微調整は微調整用給水タンクから主タンクに導かれた微調整給水系および主タンクから微調整用排水タンクに導かれた微排水系で行なうことができる。

2.5.3 制 御 盤

制御盤は計器盤と操作卓よりなる。計器盤には、記録計、表示パネルおよび放射線計測装置がある。

放射線計測装置のうち線形出力チャンネルにはスクラムインターロックの解除ボタンおよび測定領域切替スイッチがパネルの前面に設けてある。これらの模様を第5図に示す。操作卓は電源部、安全棒および中性子源駆動部、操作位置指示計器、操作部、水系統部に分れて操作手順を容易にするよう配列してある。この模様を第6図に示す。



第5図 O.C.F. 制御盤器具配置図

2.5.4 安全装置

集合体の運転の安全をはかる装置で、運転者の誤運転などによる事故の発生を未然に防止するように設計されている。安全装置は、スクラム警報装置および起動インターロックより成る。

(1) スクラムおよび警報装置

放射線計測系統などから必要なスクラム信号または警報信号を得て、スクラム動作とその表示または警報表示をさせ、臨界集合体、実験者および周囲環境の安全を確保する。

スクラム動作を行なわせるための信号は第3チャンネルの対数出力計および周期計、第4、第5チャンネルの出力計および第6チャンネルの対数出力計から送られる。そのほか集合体室のドアが開いた場合、停電を含む電源事故、地震、および調整棒シム棒のマグネットがはずれた場合、ダンプ弁用空気圧減少の場合にもスクラムされ、さらに操作員が必要と判断した場合には手動スクラムが行なわれる。手動スクラムスイッチは操作卓上のほかに、集合体上部、非常ドア付近、集合体室出口付近および計測盤側面にも設けられている。第2表はスクラムおよび警報の一覧表である。

(2) 起動インターロック装置

給水を行なう起動操作の前には、必ず満足されていなければならない条件があり、それらの条件が満たされない場合は起動が行なえないようにするために起動インターロック装置が設けられている。すなわち

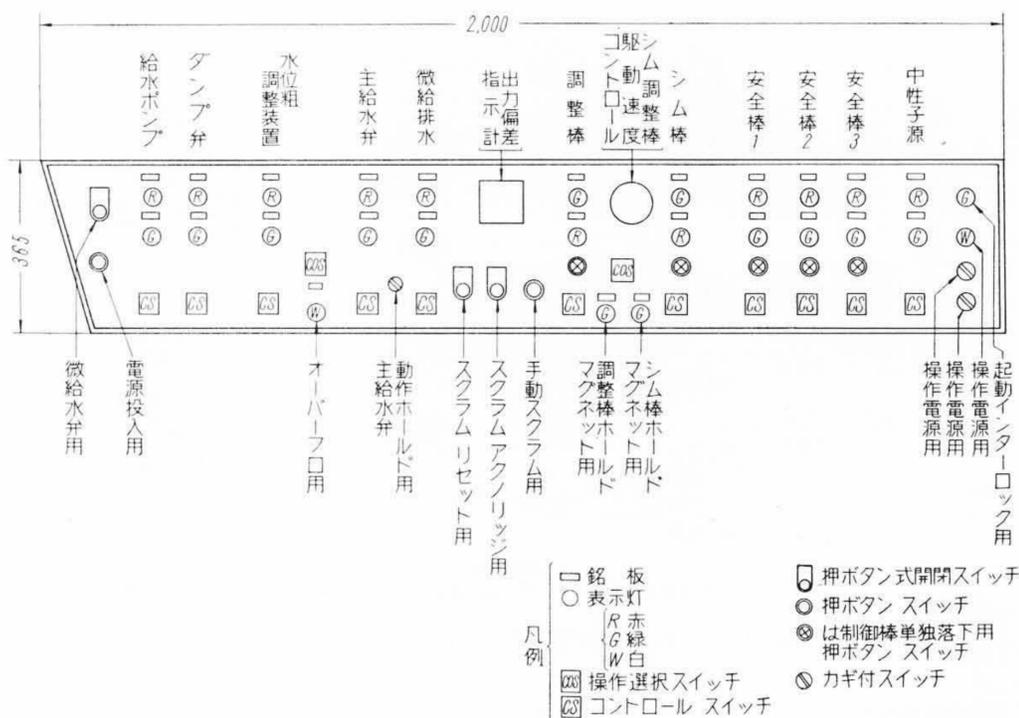
- (a) 第1または第2チャンネルによって、ある下限値以上の計数が示されていること。
- (b) 集合体室のドアが密閉されていること。
- (c) 安全棒がすべて完全に引き抜かれた状態にあること。
- (d) 調整棒およびシム棒が下限にあること。

以上の四つの条件が満たされているときはじめて給水が行なわれるようになっている。

3. 臨界実験室

臨界集合体実験室は独立した鉄筋コンクリート造1階建てで、管理区域となっており、第7図に示すように集合体室、制御室、燃料貯蔵庫、燃料取扱室、計測実験室、管理室、廊下からなっている。これらの部屋のおもな構造は第3表のとおりである。

(i) 集合体室：この室はO.C.F. 本体を設置する室で作業員出入口および非常口は迷路を構成し、インターロックされた気密ドアを設けている。また



第6図 O.C.F. 制御盤操作卓器具配置図

第2表 スクラムおよび警報一覧表

項 目	スクラム	警 報
[I] 放射線計測系 第3チャンネル 第3チャンネル 第4および第5チャンネル 第6チャンネル	信号レベル 炉周期 3s 出力設定値 出力設定値 出力設定値	
[II] 集合体室のドア	開いたとき	
[III] 地 震	震度25gal以上のとき	
[IV] 電 源	停電、電源事故のとき	放射線計測系の 高圧電源出力が異常のとき
[V] 手 動 ス ク ラ ム	運転者などの判断による	
[VI] モ ニ タ		作業所付近のγ線レベル モニタが設定値を越えたとき
[VII] 調 整 棒 シ ム 棒	マグネットが外れたとき	
[VIII] ダ ャ ッ プ 弁 用 空 気 圧	圧力減少のとき	

天井には3トンクレーンを設備している。

- (ii) 燃料取扱室：燃料ペレットの詰め替えなどの作業は燃料取扱室で行なう。燃料ペレットの詰め替えには専用の装置がある。
- (iii) 燃料貯蔵庫：ドアは2種のかぎを組み合わせないと開かないようになっており、装置の運転操作責任者と燃料担当者の2人がそろったときのみ燃料

