U.D.C. 621.039.524.44.077.001.57:681.332.6.06 621.039.56.001.85

# 沸騰軽水形敦賀原子力発電所用シミュレータ

Simulator for BWR Type Tsuruga Nuclear Power Station



旨

要

わが国における原子力発電所の建設もようやく軌道にのり,各地に沸騰水形あるいは加圧水形の動力炉が相次いで着工されつつある。これに伴って多数の運転技術者の養成がさし迫った課題となってきている。今般この問題解決の一助として,日本原子力発電株式会社敦賀発電所の沸騰軽水形発電炉の中央制御盤の一部,原子 炉操作盤を模擬した運転訓練用シミュレータを完成し,これを同社東海研修所に納入したのでその概要について報告する。

1. 緒 言

最近,大容量原子力発電所の建設計画が増大するとともに,これに 要する多数の運転技術者の養成訓練が緊急の課題になろうとしてい る。原子力発電所の運転には,原子炉の制御という従来の火力ボイ ラと全く異質のものが加わるばかりでなく,放射線関係の線量な らびにプロセス計装,放射性廃棄物プラントの計装制御,事故時の 緊急防護のための工学的安全施設の計装制御などがあり、さらにタ ービン発電機まわりの機器についても放射能により運転中接近が困 難なために遠隔操作によるものが多い。こうして原子力発電所の計 測制御系統設備は,質量ともに火力発電所のそれの数倍に及び,複 雑多岐な運転操作を必要とする。これをじゅうぶん理解して正常な 運転業務を維持し異常時に適切な措置をとる能力を養成するために は高度の技術訓練を要するが、多数の技術者を小数の原子力発電所 で訓練することは非常に困難である。特に臨界近接を含む原子炉の 起動停止操作はこの種の訓練に不可欠であるが,30~100万kWに 及ぶ大容量原子力発電所で訓練用に起動停止を反復することは経済 的に許されず、また安全施設の操作などは実プラントでは全く不可 能である。



このためアメリカにおいては、沸騰水形の GE 社、加圧水形の WH 社、CE 社、B & C 社ともにオン・ライン・ディジタル計算機 を使用して原子炉側はもちろんのことタービン発電機や廃棄物処理 までも含めた全制御盤のシミュレーションのできる非常に高度な模 擬操作盤を完成して、これにより原子力発電所運転要員の養成を行 なう段階にはいっている。

このような情勢を背景として,今回,日本原子力発電株式会社東海 研修所に,同社の322 MWe BWR 形敦賀発電所用シミュレータを 開発・納入した。これは同研修所に既存の166 MWe ガス冷却黒鉛 形東海発電所用シミュレータの一部である三菱電機製アナログ電子 計算機をそのまま転用して,これに新たに敦賀用原子炉制御盤の大 部分と一次系補機制御盤の一部とを模擬した操作盤を接続したもの で,火力発電所の運転操作と最も相違の著しい原子炉制御棒の操作, これと核計装とのインターロック,原子炉保護系との関係などに対 して,外形上も機能上もできるだけ忠実に模擬できるよう留意され 図1 運転操作盤

きな効果を期待できよう。現在,同社の研修所でこのシミュレータ を利用して運転訓練が順調に進行しつつある。ここではその概要と 機能について説明する。

#### 2. シミュレータの概要

本シミュレータは、運転操作盤とアナログ計算機で構成されてい る。運転操作盤は、図1に示すように中央制御盤のうち、原子炉お よび一次冷却系の操作盤の一部をまとめた模擬操作盤で、外観およ び器具類の配置は、できるだけ実物に類似させ、実感を出すように 留意してある。またグラフィックパネルの採用により、運転者が、 各系統ごとの運転状態をは握しながら、操作できるよう配慮してあ る。アナログ計算機は、既設の三菱電機製精密級低速度計算機で、 演算増幅器 100 台、ポテンショメータ 154 台、関数発生器 11 台から 構成されており、運転操作盤との間は 48 心ケーブルで接続される。 本シミュレータの機能構成は図2に示すとおりである。アナログ 計算機では、原子力発電プラントの動特性を模擬し、その出力信号 であるプロセス量、核計測量および各種制御信号などは、運転操作 盤上の指示計および記録計に表示される。

運転操作盤では、制御棒操作、給水および再循環系などの制御操 作、補機運転操作、原子炉保護系の作動、アナンシェータ表示およ びグラフィック表示などが行なわれる。また制御棒の手動操作信号 により、アナログ計算機が入力反応度を計算し、同時に運転操作盤 上に選択制御棒のノッチ数が表示される。

ている。特に可逆二進計数回路を開発することによって各制御棒の ノッチ位置を忠実に記憶することを可能にし制御棒操作の模擬上大

\* 日本原子力発電株式会社

- \*\* 日本原子力発電株式会社(現在九州電力株式会社) \*\*\* 日立製作所大みか工場
- \*\*\*\* 日立製作所日立研究所

413 沸騰軽水形敦賀原子力発電所用シミュレータ



図2 シミュレータ機能構成図

#### 3. 運転モード

アナログ計算機の容量不足のため,運転モードは、中性子源領域, 中間領域および出力領域の3モードに分割され,各モードの運転訓 練はアナログ計算機のパッチベイの交換と、ポテンショメータの設 定値変更により切り替えて実施できるよう考慮されている。

中性子源領域 (SRM) モード 3.1

未臨界(10 cps)から 10<sup>5</sup> cps の中性子束範囲内の運転訓練を行な



うものである。再循環ポンプの起動停止および制御棒全そう入から 臨界を経て原子炉熱出力5MWまでの運転訓練が可能である。実プ ラントにおける中間領域での出力レベル指示計用レンジ・スイッチ の切換操作は本領域で行なわれる。

3.2 中間領域 (IRM) モデル

原子炉熱出力 0.1~10% の範囲の運転訓練を行なうものである。 原子炉加熱、加圧過程でのバイパスオープニングジャックによる バイパス弁開度調整および初圧調整器による原子炉圧力調整,原子 炉冷却材温度上昇率の調整訓練などが可能である。

3.3 出力領域 (PRM) モード

原子炉熱出力50~100%の範囲で、制御棒操作による出力変更お よび再循環流量制御による出力変更の運転訓練,初圧調整器による 圧力設定値変更などの圧力制御および給水制御器による水位設定値 変更などの水位制御の訓練を行なうことが可能である。このほか給 水ポンプトリップ,再循環ポンプトリップ,タービントリップなど の事故の訓練も可能である。

#### 4. 運転操作盤

ここでは運転操作盤の構成およびその機能について説明する。

4.1 インターロック

インターロックとしては,原子炉保護系,再循環ポンプ起動停止 系,制御棒操作系,ドライウェル隔離系,停止時冷却系,浄化脱塩 系,給水系,非常用復水器系および起動領域検出器駆動系を模擬し ており、インターロックに関係するポンプや弁の状態は、 グラフィ ックパネル上に表示される。図3は制御棒操作系インターロックの 例を示したものである。そう入操作は選択位置が正しければ無条件 に行なわれるが,引抜き操作には運転モードスイッチの各位置によ

制御棒操作系インターロック図 図 3



制御棒位置表示回路 図 4

れるが、本シミュレータでは簡略化され、前者はグラフィック・パ ネル上に全そう入, 全引抜き, 中間位置の3種に分けて色別マグネ ット片により表示され、後者は実プラント同様ディジタル表示によ りノッチ数が表示される。

制御棒ノッチ位置表示装置は、図4に示すように、制御棒のノッ チ操作ごとに発生する正負のパルスを計数する可逆二進計数回路を 主体とし,記憶回路,御制棒位置選択マトリックス回路,制御棒操

り異なったインターロック条件があり、これらの条件がすべて満た	作限定回路などから構成されている。記憶回路には、どの制御棒が
されると11ッチ引抜きまたは連続引抜きが可能となる。	選択されても、その現在のノッチ数が表示されるように全制御棒の
4.2 制御棒ノッチ位置表示装置	ノッチ数が記憶される。制御棒操作限定回路は、制御棒の位置がそ
実プラントでは,全制御棒のノッチ数が原子炉操作盤垂直面の上	の上下端に達した場合に、それ以上制御棒操作ができないようにな
方に、また選択された制御棒とその周辺3本の制御棒のノッチ数が	っている。位置表示装置の出力信号は,二進 - 十進変換マトリック
局部出力領域モニタの指示計の表示とともに垂直面下方に表示さ	ス回路を通して制御棒のノッチ数表示器へ数値を与えるとともに,

414 日 立 評 論

D-A 変換回路および関数発生器を通してその制御棒に隣接する局部出力領域モニタへ指示を与えるのに利用される。

4.3 核計測系

核計測系は、中性子源領域、中間領域、平均出力領域の各1チャ ンネルと局部出力領域チャンネルを模擬している。特に実プラント で炉心軸方向4点の中性子束を指示する総計68個の局部出力領域 モニタは周囲の制御棒分布、ボイド分布などの影響を受けて複雑な 空間分布を示すため、ディジタル計算機でも忠実に模擬することが できないので、本シミュレータでは大幅に簡略化して選択した制 御棒に最も近い位置の4個のモニタだけを表示するにとどめた。た だし制御棒ノッチ数の変化によって変わる軸方向各モニタの指示は 関数発生器を用いて非線形を考慮して模擬されている(後述 5.4 参 照)。制御棒引抜き操作時に局部的な出力の増大を防ぐため再循環 流量に応じてブロック設定点が変わる制御棒引抜きブロックモニタ には上記の局部出力モニタが使用され,実プラントではブロック・ ラインが3本あって制御棒引抜きが低レベルで阻止されると、手動 で次のラインヘセット・アップして再び引抜き操作ができるように 工夫されている。本シミュレータでは性能上からこの阻止ラインは 高・中レベルの2本の模擬にとどめられた。

4.4 プロセス系

アナログ計算機より送られてくるプロセス量は,運転操作盤上の 指示計,記録計に指示される。おもな指示,記録計は次のとおりで ある。



中性子源領域と、中間領域が重複する部分で、IRM 指示計のレンジ切換操作ができるように(9)式で与えられる対数一線形変換回路を設け、レンジ切換は同式中の Dを段階的に加減することにより行

再循環流量/炉心圧力損失記録計

炉水位/給水流量記錄計

炉心圧力/主蒸気流量記録計

主蒸気圧力指示計

給水流量指示計

炉心圧力指示計

出力指示計

主蒸気流量指示計

炉水位指示計

これらの指示,記録計によりおもなプロセス量の監視が可能である。

#### 5. アナログモデル

アナログモデルは,運転モードに応じて,中性子源領域,中間出 力領域および出力領域の各モデルで構成される。ここではモデル作 成上使用した仮定および基本式について説明する。

5.1 中性子源領域 (SRM) モデル

この領域では、炉出力の変化による発電所諸量の変動は少ないの で省略し、動特性は一点近似の核的特性のみを模擬する。

一点近似核的動特性は、(1)、(2)式で与えられる。

この領域では反応度の変化は、制御棒操作によるもののみを考慮 している。中性子源領域での中性子束レベルの範囲は、4デカード に及ぶので、計算精度を上げるために対数表示を行なった。(1)、 なわれるようになっている。

ここで、 A=6.82、 B=-0.82、 C=3.0、 D=1.2 である。

図5は中性子源領域モデルのブロック線図である。同図に示す SRM 駆動系は手動によるSRM 検出器引抜き操作開始後,SRM 指 示計の指示が直線的に減少し,約100秒でゼロとなるように模擬し たものである。

5.2 中間領域 (IRM) モデル

モデル作成上,次のような仮定を行なっている。

- (1) 核的動特性は6群1点近似とする。
- (2) 核反応度は、ドップラ効果、冷却材温度効果および制御棒 による反応度変化を考慮する。
- (3) 核分裂エネルギーのうち,7%は崩壊熱として発生し,4% は直接冷却機中で発生するものとする。
- (4) 燃料棒内の熱発生は均一であるとする。
- (5) 原子炉内蒸気の初期状態は、1気圧飽和とする。
- (6) 炉心部およびドーム部は,一様に飽和水と飽和蒸気で充満 されているものとする。

核的動特性は前述の(1),(2)式で与えられるが,この領域では, 中性子源 S<sub>B</sub> は省略される。核反応度は(10)式,燃料棒の熱伝達特 性は(11)~(14)式で与えられる。

$$\delta_{kB} = \delta_{kBR} + \alpha_1 T_{BF} + \alpha_2 T_{BW} \qquad (10)$$

$$C_{bf} \cdot \frac{\partial T_{BF}}{\partial t} = k_f \left( \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \right) \cdot T_{BF} + Q_{BFR} \qquad (11)$$

$$T_{BF}(r_{b1}, t) - T_{BC}(t) = -\frac{k_f}{h_{bf}} \cdot \frac{\partial T_{BF}(r_{b1}, t)}{\partial t} \qquad (12)$$

$$C_{bc} \frac{dT_{BC}}{dt} = Q_{BFC} - Q_{BCW} \qquad (12)$$

(2)式を対数変換すると,(3)~(7)式のように表わされる。一方, 原子炉逆周期は,(8)式で与えられる。



 $dt = Q_{BFC} = Q_{BCW}$  .....(15)  $Q_{BCW} = h_{bc} (T_{BC} - T_{BW})$  ......(14) (11) ~ (14) 式は, 伝達関数の形式で整理され,  $T_{BF}$ ,  $T_{BC}$ ,  $Q_{BCW}$  が 求められる。 原子炉内のエネルギー収支は(15)式で与えられる。

沸騰軽水形敦賀原子力発電所用シミュレータ 415



図6 バイバスバルブ開度とバイパスオープニング ジャック, IPR の関係



(2) 原子炉炉心部と上部ドーム部圧力変動は同一であるとする。

(3) キャリアンダは、炉心流量の0.2%一定とする。

燃料棒熱伝達特性は、中間領域の場合と同様であるが、出力領域の原子炉圧力は、ほぼ一定に保たれるので、冷却材温度は一定とみなす。熱力学特性は、炉心部と炉心上部の質量収支式およびエネルギー収支式から求められる。出口蒸気率は炉心ボイド量およびサブクールを因子とするボイドマップから決まり、時間的遅れは(18)式で表わされるボイドの流出遅れから求められる。

原子炉水位は、炉心上部の飽和水量、キャリアンダ量および炉心 ボイド量より(19)式で与えられる。

再循環ループ特性である炉心入口エンタルピは,圧力容器下降部 への流出水と給水の混合体より,その大きさが与えられ,これが再 循環管路を通過する時間だけ遅れて炉心入口に現われる。再循環流 量は水力学特性から(20)式で与えられ,式中のポンプ揚程は,ポン プ特性から定まる。

制御系は,初圧調整系,給水制御系および再循環流量制御系を模

図7 中間領域モデルのブロック線図

$$\frac{d(M_{BW}H_{BW}+M_{BS}H_{BS})}{dt} = Q_{BCW}+Q_{BD}+W_{BI}H_{BI}+Q_{BP}$$
$$-Q_{BL}-(W_{BR}+W_{BD})H_{BW}-G_{BS}H_{BS}+\frac{V_0}{J}\cdot\frac{dP_B}{dt}\dots\dots(15)$$

再循環流量 W<sub>BI</sub> は,給水流量 F<sub>BI</sub> と炉心より圧力容器上部への 流出水量の和より求められ,再循環管路の入口エンタルピは,出口 エンタルピのむだ時間遅れで与えられる。炉内の流量収支は(16)式 で与えられる。

原子炉水位は、飽和水の体積より(17)式で与えられる。

飽和水および飽和蒸気の温度,比容積,エンタルピなどは飽和圧 力が与えられると一義的に求められる。バイパス蒸気流量 G<sub>BS</sub> は, 炉圧とバイパス弁開度により定まり,バイパス弁開度は,バイパス オープニングジャックおよび初圧調整器 (IPR) の各設定値の相互関 係で与えられる。この関係を示したのが図6である。同図はバイパ スオープニングジャックがゼロの場合は,バイパス弁開度は IPR で 決まることを示している。バイパス弁は,バイパスオープニングジ ャック設定値以下で閉じることはない。図7は中間領域モデルのブ ロック図である。 擬している。再循環流量制御系における流体継手のトルク特性は (21),(22)式により近似される。各制御系における PID 調節器とし ては実物と同等品を操作盤に設置し、その比例帯および積分時間な どのパラメータは適宜に設定できるようにしている。

 $T_{BFC} = K_f l_B^3$  (Slip<sup>4</sup>+0.0948 Slip) ......(21)

再循環ポンプ回転数は、(23)式から求められる。この場合のポン プ出力トルクは、(24)式で近似することができる。

*T<sub>BP</sub>*=0.66*n<sub>BP</sub>*<sup>2</sup>+0.034*n<sub>BP</sub>*.....(24) タービン入口圧力は,原子炉圧力から主蒸気管路の圧力降下分を 差し引き,時間的一次遅れ要素を加味した(25)式から求められる。

タービン発電機系において、タービン速度は、タービン蒸気流量 のみで定まるものとする。図8は、出力領域モデルのブロック図で



5.3 出力領域 (PRM) モデル この領域のモデルは、既に開発<sup>(1)</sup>されているので以下に簡単に述べる。モデル作成にあたり、中間領域モデルの仮定 1, 3, 4 のほかに、次の仮定をしている。
(1) 核反応度は、ドップラ効果、ボイド効果および制御棒による反応度が考慮されている。

図8 出力領域モデルのブロック線図

#### 416 日 立 評 論

ある。

24

#### 5.4 局部出力領域モニタ (LPRM) の指示

核的動特性で求めているのは平均中性子束であるため, LPRM の 指示は直接には計算できない。そこで実際の沸騰軽水形炉の実測結 果は図9に示すような炉心軸方向パターンを関数発生器に入れ,選 択した制御棒のノッチ数と原子炉出力を与えることにより LPRM の値を求めたものである。

#### 5.5 アナログ計算機回路

以上述べた原子力発電所の動特性を表わす基本式の大部分は線形 化され,アナログ計算機回路として実現している。ただし,非線形性 が顕著な部分,たとえば,中間領域での飽和圧力と比容積,温度お よびエンタルピの関係,平均出力領域での再循環流量に関係する部 分,再循環流量制御系の流体継手などは,関数発生器および乗算器 を利用してそれらの特性を忠実に模擬している。運転操作盤の指



示,記録計の指示値は,定常値と変動分の和で求められており,一 定と仮定している発電所プロセス量の指示には可変一定電圧を計測 器に印加している。

#### 6. 運転結果および検討

各モード領域ごとに,実際のシミュレーション結果とその検討結 果について説明する。

#### 6.1 起動領域

起動領域のシミュレーション結果は図10に示すとおりである。 初期反応度-1.4%,制御棒価値約0.002%/ノッチとして制御棒を引き抜いてゆき,中性子束レベルを上昇させた例である。図中b点は検出器引抜き開始点,d点は全引抜き終了点を示している。IRM計は平均中性子が10<sup>4</sup> cps のとき指示を始める。その後,中性子束が上昇するにつれてIRM 計レンジ切換を行なっている。このように未臨界からの制御棒引抜きによる中性子束上昇と臨界接近検出器引抜き操作およびIRM 指示計レンジ切換など所定の機能を満足することが確認できた。

#### 6.2 中間領域

中間領域シミュレーション結果は図11に示すとおりである。原 子炉出力の初期値を定格出力の0.1%に選び、制御棒操作により原 子炉圧力および温度を上昇させた例である。図中、a点はバイパス オープニングジャックを手動で全開し、b点で閉じた結果を示して いる。c点からは温度上昇率調整のために、バイパスオープニング ジャックを手動で適当に制御したものである。d点は、原子炉水位 を手動で調整した結果を示している。このように、制御棒操作によ る原子炉圧力上昇および温度上昇、バイパスオープニングジャック の操作、IPRの調整など、所定の機能を満足することが確認された。

#### VOL. 52 NO. 5 1970

#### 図9 LPRMの APRM に対する変化分

#### 6.3 出力領域

制御棒操作により原子炉出力を変更した場合のシミュレーション 結果を示したのが図12である。シミュレーション時間短縮の便宜 上,制御棒価値を大きく見積り0.05%/ノッチとして模擬している。 図には制御棒のそう入引抜きによる圧力,蒸水流量の変化分を示し ている。このように出力領域での,制御棒操作および再循環流量制



#### 図10 起動領域シミュレーション結果



図11 中間領域シミュレーション結果

沸騰軽水形敦賀原子力発電所用シミュレータ





417

御による出力変更など,所定の機能をじゅうぶんに満足することが 確認された。

#### 6.4 事故時の運転結果

事故のシミュレーション例として,再循環ポンプトリップ時のシ ミュレーション結果を図13に示した。ポンプトリップが起きても, 自然循環により約30%流量に落ち着く。シミュレーション結果は, 実プラントの動特性とよく一致しており,事故時の運転訓練もじゅ うぶん習得できることが確認された。

ここに述べたものは運転結果の一例であるが、このほかに、再循 環流量制御による出力変更や給水ポンプトリップなど,種々のシミ ュレーションを行なっており、じゅうぶん満足できる結果を得て いる。

以上のように、アナログモデルは安定に動作しており、一般の動 特性解析のように厳密な模擬はできないが、運転訓練に必要な機能 はすべてじゅうぶんに満足することが確認された。

#### 言 7. 結

日本原子力発電株式会社東海研修所に設置された沸騰軽水形原子 力発電所のシミュレータについてその概要機能および運転結果の一 端を示した。このように本シミュレータは、外観および器具類の配 置を実物に類似させ、インターロックその他のシーケンスとプラン ト動特性を実プラントに近いものとし、実感を伴った訓練ができる ことを確認することができた。なお現在、このシミュレータを利用 して、既に約80名余りの運転員訓練教育が行なわれ、じゅうぶんな 成果を上げている。

終わりに、現地据付試験に際して協力を惜しまれなかった日本原

図13 再循環ポンプトリップシミュレーション結果

#### (付録)記号の説明

Ac: 炉水面の断面積 m<sup>2</sup>  $C_{Bi}$ : i 番目遅発中性子先行核濃度  $n/cm^3$ Cbf: 燃料棒全熱容量 kcal/℃  $C_{bc}$ : 破覆材全熱容量 kcal/℃  $C_u$ : + + リアンダ  $F_{BI}$ : 給 水 流 量 kg/s  $F_B$ : # 1 # %GBS: 圧力容器よりの蒸気流出量 kg/s  $H_{BI}$ :  $W_{BI}$ のエンタルピ kcal/kg HBS: 飽和蒸気のエンタルピ kcal/kg HBW: 飽和水エンタルピ kcal/kg h<sub>bf</sub>: 燃料棒と被覆機関の伝熱材間 kcal/s・℃ hbc: 被覆材と冷却機関の伝熱材間 kcal/s・℃ *I*<sub>bp</sub>: 流路内の再循環水の慣性 m•s<sup>2</sup>/kg J: 熱の仕事当量 23.42m<sup>3</sup>·kg/cm<sup>2</sup>/kcal k: 蒸気流路の流動抵抗  $kg/cm^2/(kg/s)^2$ k<sub>f</sub>: 流体継手の特性値 δ<sub>k</sub>B: 核 反 応 度 % δ<sub>kBR</sub>: 制御棒による核反応度 % k<sub>j</sub>: 燃料棒の熱伝導度 kcal/cm・℃・s *L*<sub>B</sub>: 炉 水 位 m *l*<sub>B</sub>: スクープ位置 % l\*: 中性子平均寿命 s M<sub>BCS</sub>: 炉心部の蒸気量 kg M<sub>BCW</sub>: 炉心部水量 kg M<sub>BW</sub>: 炉の水量 kg M<sub>BS</sub>: 炉の蒸気量 kg MBVW: 圧力容器上部内の水量 kg  $N_B$ : 平均中性子密度  $n/cm^3$ 

子力発電株式会社東海発電所の関係者各位に深甚な謝意を表する。

#### 献 文 考 参

(1) 大木, 鈴木: 日立評論 48,768 (昭 41-6) (2) 松田: 日本原子力学会誌 Vol. 11, No. 9 (昭44-9) (3) 立花: 電気雑誌 OHM Vol. 56 No. 3 (昭 44-3) (4) 新井ほか6名: 三菱電機技報 Vol. 39, No. 3 (昭40-3)

NB10: 駆動モータの定格速度 rpm N<sub>B20</sub>: ポンプ速度の定格値 rpm **n**<sub>B1</sub>: 駆動モータ速度の定格値に対する割合 *n***<sub>BP</sub>: ポンプ速度の定格値に対する割合**  $P_B$ : 炉の圧力 kg/cm<sup>2</sup>  $P_{BT}$ : タービン入口圧力 kg/cm<sup>2</sup> *P*<sub>BP</sub>: 再循環ポンプ揚程 m QBFR: 燃料棒内発生全エネルギー kcal/s

### 418 日 立 評 論

#### VOL. 52 NO. 5 1970

-1

QBFc: 燃料棒より被覆材への全伝熱量 kcal/s QBCW: 被覆材より冷却材への全伝熱量 kcal/s QBD: 崩壊熱による発熱 kcal/s QBP: 再循環ポンプ損失 kcal/s QBL: 圧力容器の熱損失 kcal/s QBD: 直接冷却水中で発生する熱量 kcal/s *r*: 半 径 cm rb1: 燃料棒の半径 cm S: ラプラス演算子  $S_B$ : 中 性 子 源  $n/cm^3 s$ Slip: 1 ~ 0 % T<sub>BF</sub>: 核燃料温度 ℃ T<sub>BC</sub>: 被覆材温度 ℃ TBFC: 流体継手出力トルクの定格値に対する割合 T<sub>BW</sub>: 冷却材温度 ℃ TBP: ポンプ出力トルクの定格値に対する割合 T<sub>P</sub>: ポンプ慣性 s T<sub>2</sub>: 発電機慣性 s

t:時間s VBS: 飽和蒸気の比容積 m<sup>3</sup>/kg VBW: 飽和水の比容積 m<sup>3</sup>/kg Vbc: 炉心部流路の全容積 m<sup>3</sup> V<sub>0</sub>: 炉 の 容 積 m<sup>3</sup> WBI: 再循環流量 kg/s WBR: 炉心より圧力容器上部への流出量 kg/s WBD: ドレーン流量 kg/s YBP: 流路の流動抵抗 m-s²/kg α1: ドップラ係数 %/℃ α<sub>2</sub>: 冷却材温度係数 %/℃ β<sub>i</sub>: i 番目遅発中性子の割合 β: 遅発中性子の割合 λi: i番目遅発中性子先行核の崩壊定数 s<sup>-1</sup> η: ポンプ効率 τB: 原子炉逆周期 s<sup>-1</sup> *tbc*: ボイドの流動遅れ s

## 日立評論 日本万国博記念論文集 昭和45年5月発行

世紀の祭典"日本万国博覧会"は,盛況のうちに今や中盤を迎えつつある。本別冊論文集は 日立製作所をはじめとする日立グループが出展・受注した関連製品を網らし,日立グループの 技術水準を示すものとして,下記の論文を掲載している。

	Ħ	次		
<ul> <li>・レ ー ザ ー カ</li> <li>・閉回路テレビ方式によ</li> <li>・音響スペクトログラ</li> <li>・みどり館の超立</li> <li>・長大形油圧式 勇</li> <li>・高 揚 程 エンス</li> <li>・C S オ ー</li> </ul>	ラーテレビ るトラベルシミュレータ ムのカラー表示装置 体音響システム 使用エレベータ トライン	<ul> <li>万博 モ</li> <li>超大 形</li> <li>万博データ通信シスト</li> <li>ト編)</li> <li>製 品</li> <li>フォト</li> </ul>	ノ レ タ ー ボ テム (システム編, ニ ユ	ー ル 冷 凍 機 ハード編,ソフ 介 ー ス
発 行 所 取 次 店	日 立 評 論 社 株式会社 オーム社 書 店	東京都千代田区丸の内 郵便番号 100 東京都千代田区神田錦 郵便番号 101 振 替 ロ 座 東 京	一丁目5番1号 町3丁目1番地 20018 番	~~~

