

# 高速実験炉「常陽」オンサイトシミュレータ活用経験



1987年4月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	PNC TN9410 87-199
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター  
実験炉部

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

## 高速実験炉「常陽」オンサイトシミュレータ活用経験

大和田 敏雄<sup>\*</sup>，森本 誠<sup>\*</sup>，奥出 利行<sup>\*\*</sup>  
青木 裕<sup>\*</sup>，山下 芳興<sup>\*</sup>

### 要 旨

国産唯一のナトリウム冷却型原子炉である高速実験炉「常陽」のより一層の安全かつ安定運転を目ざすため昭和58年にフルスコープ運転訓練シミュレータを設置した。以来オンサイト訓練シミュレータの利点を生かした積極的な運転訓練が実施され「常陽」の安全運転に大きく寄与してきた。

訓練は、通常時操作と異常時操作に大別され、それぞれ指差呼称、多重監視等の基本動作を徹底して行っている。また、高速炉の特徴的な訓練として冷却材にナトリウムを使用していることから過渡変化時の熱衝撃防止操作、熱輸送系の遅れを考慮した操作、ナトリウム漏洩時の対応等があり、それらに重点をおいた訓練を実施している。

今までのシミュレータ活用経験から、シミュレータは、

- (1) ヒューマンエラーによる誤操作の防止
- (2) 特殊試験実施前のシミュレータによる検証
- (3) 異常時運転マニュアル高度化の検討

等に極めて有効であることが示された。

---

\* 実験炉部 原子炉第一課

\*\* 検査開発株式会社

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 「常陽」運転訓練シミュレータの概要 .....	2
2.1 システム構成 .....	2
2.2 シミュレータの機能 .....	2
2.3 シミュレーション範囲 .....	4
3. シミュレータ訓練の概要 .....	8
3.1 教育訓練大系 .....	8
3.2 シミュレータ訓練の内容 .....	11
3.3 訓練手法 .....	11
4. シミュレータ訓練実績 .....	26
5. 運転員に対して実施した教育訓練に関するアンケート調査 .....	30
5.1 シミュレータ利用に関するアンケート調査結果（各運転直グループ） .....	31
5.2 シミュレータ利用に関するアンケート調査結果（各運転員） .....	34
6. 訓練の効果 .....	38
7. 結 言 .....	40

## 1. 緒 言

複雑なマン・マシン系である原子炉プラントにおいて、プラント運転の信頼性を確保することは社会的使命であり、その手段として運転技術の向上が大きな要素となっている。特に近年、原子炉プラントの定常安定運転の実行により、運転員が種々のプラント経験をj得る機会が減少している状況にある。このため、運転訓練シミュレータを活用した教育訓練により、運転技術の維持・向上を図ることが極めて有効かつ重要なものとなっている。

実験炉「常陽」では、昭和52年の初臨界に先駆けてアナログ計算機を用いた原子炉制御系シミュレータを製作し、原子炉通常運転操作訓練に活用してきた。このシミュレータは、後に冷却系の一部を追加し、「常陽」の運転初期における運転員の養成に大きな役割を果たしてきた。しかしT M I事故を契機として、異常時における運転訓練の強化が課題となり、これに対応し得る運転訓練シミュレータ設備が切望された。このため昭和58年に「常陽」のM K - II炉心移行に際し、オールデジタルタイプのフルスコープ運転訓練シミュレータをサイト内に建設した。以来、オンサイト運転訓練シミュレータの利点を生かして積極的な運転訓練を実施し、「常陽」の安定運転に寄与している。

本報告は、「常陽」におけるシミュレータ訓練手法とその特色及び訓練の成果並びに運転員に対して実施したシミュレータ利用に関するアンケート調査結果について述べたものである。

## 2. 「常陽」運転訓練シミュレータの概要

### 2.1 システム構成

「常陽」運転訓練シミュレータは、模擬制御盤、インストラクタコンソール及び計算機システムから構成されている。模擬制御盤は、「常陽」の中央制御室に設置されている主要制御盤5面（原子炉制御盤，1次制御盤，2次制御盤，格納容器雰囲気調整系制御盤，電源監視盤）から構成され，実機と配列，配色，外観等を同一として訓練の臨場感を高めるよう考慮されている。

インストラクタコンソールは，訓練に必要な各種機能の選択，マルフアンクシヨンの入力及びシミュレーション状態の監視を行うもので，カラーCRTとキーボードを設置したディスク型パネルで構成されている。

計算機システムは，シミュレータの中核を構成する部分であり，ロジック処理部とダイナミックモデル部に分けて，機能分散，負荷分散され，同時にシステムの効率化を図るため，2台のマルチ計算機システムとしている。また，ダイナミックモデルは，実機で検証されたコード（MIMIR）をベースに実時間性を図るとともに，純化系，アルゴンガス系，炉容器レベル制御等のサブプログラムを追加して作成されている。このため極めて精度の高いシミュレーションを実現している。シミュレータのシステム配置及び計算機システムの構成をそれぞれ図2-1，図2-2に示す。

### 2.2 シミュレータの機能

シミュレータの機能は，訓練を効率的に行う観点から種々のものが整備されており，全てインストラクタコンソールより制御できる。その機能には，ラン/フリーズ，初期状態設定，リプレイ，バックトラック，スピード変更，状態変更，マルフアンクシヨ発生，データディスプレイ，データトレンド及びスケジューリング等がある。主な機能の内容を表2-1に示す。

表 2 - 1 「常陽」シミュレータの主な機能

機 能	内 容
初期状態登録及び設定	訓練に必要な初期状態を登録，設定する機能で30ケースの登録，設定が可能である。 これによってあらゆる状態からの訓練が可能で効率的訓練ができる。
任意状態登録及び設定	初期状態登録及び設定と同様の機能であるが，運用面において一時的に訓練に必要な任意のシミュレーション状態を保存，設定するために用いる。20ケースの登録，設定が可能である。
バックトラック	過去30分以内の任意の時刻にシミュレーションを戻す機能である。これによって，誤操作等により原子炉トリップさせた場合などにおいて訓練のやり直しができる。
リ プ レ イ	過去30分以内の任意の時刻から現在までのシミュレーションを制御盤上に再現する機能である。これによって誤操作等を行った場合これを再現し，訓練員に誤りを十分に認識させることが可能である。
マルファンクション	異常状態を発生させる機能で，約110種類のマルファンクションが準備されている。
状 態 変 更	シミュレータ計算機の入力信号及び出力信号に直接アクセスする機能である。この機能を用いることによって全ての指示計異常，センサ故障等を模擬することができる。
ス ピ ード 変 更	シミュレーションの時間スケールを変更する機能で，ファーストモーション（2倍速）とスローモーション（ $\frac{1}{2}$ 倍速）がある。
スケジューリング	マルファンクション及び状態変更を任意に組合せ，実行する機能である。1ファイル当り100ステップの組合せが可能であり，複合異常事象のシミュレーションに用いられる。 常時記憶できるのは5ファイル（500ステップ）までであるが，ファイル内容をフロッピーディスクへ保管することにより，スケジューリングデータを無制限に増加させることが可能である。

データ表示	指定した任意のシミュレーションデータをインストラクタコンソールのCRT上に表示させる機能である。1画面当り16点のデータ表示が可能であり、最大50画面まで登録できる。これによりインストラクタがシミュレーション状態を詳細に把握することができる。
アナログトレンド	指定した任意のシミュレーションデータをアナログ信号としてトレンドレコーダに出力する機能である。最大16点のトレンド記録が可能であり、プラント動特性の把握に有効である。
パネル診断	模擬制御盤上のランプ、メータ、レコーダ等と計算機側のインターフェイスが正常であることをチェックする機能である。

### 2.3 シミュレーション範囲

「常陽」運転訓練シミュレータのシミュレーション範囲は、図2-3に示す「常陽」の運転サイクルを模擬している。この範囲において通常時操作訓練及び異常時操作訓練を行うことができる。ただし低温待機モードでは、冷却材充填完了後の主ポンプ起動前から主ポンプ定格運転までの範囲とし、低温加熱モード及び温態冷却モードのシミュレーションは範囲外である。



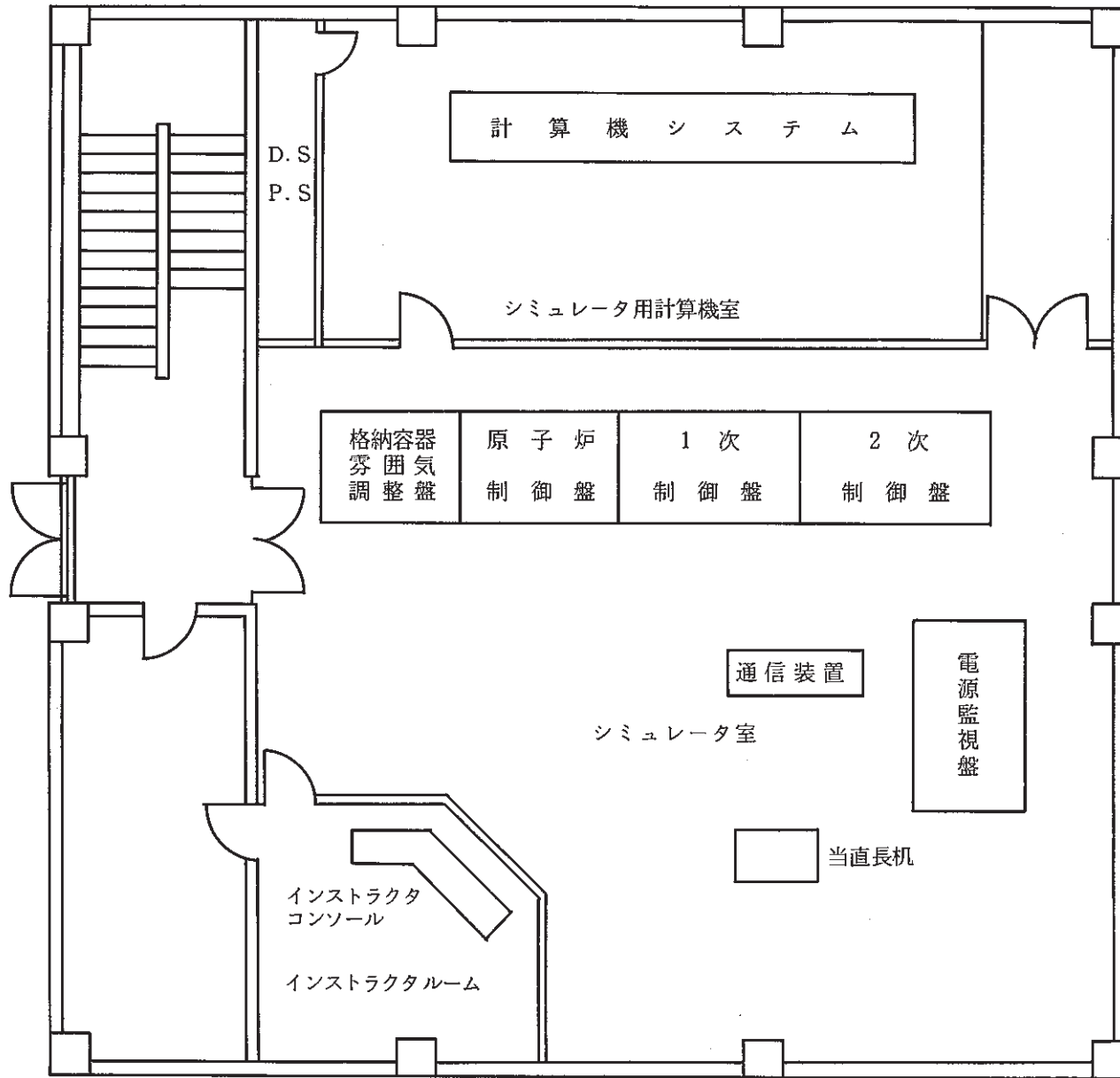


図 2 - 1 シミュレータ設備配置図

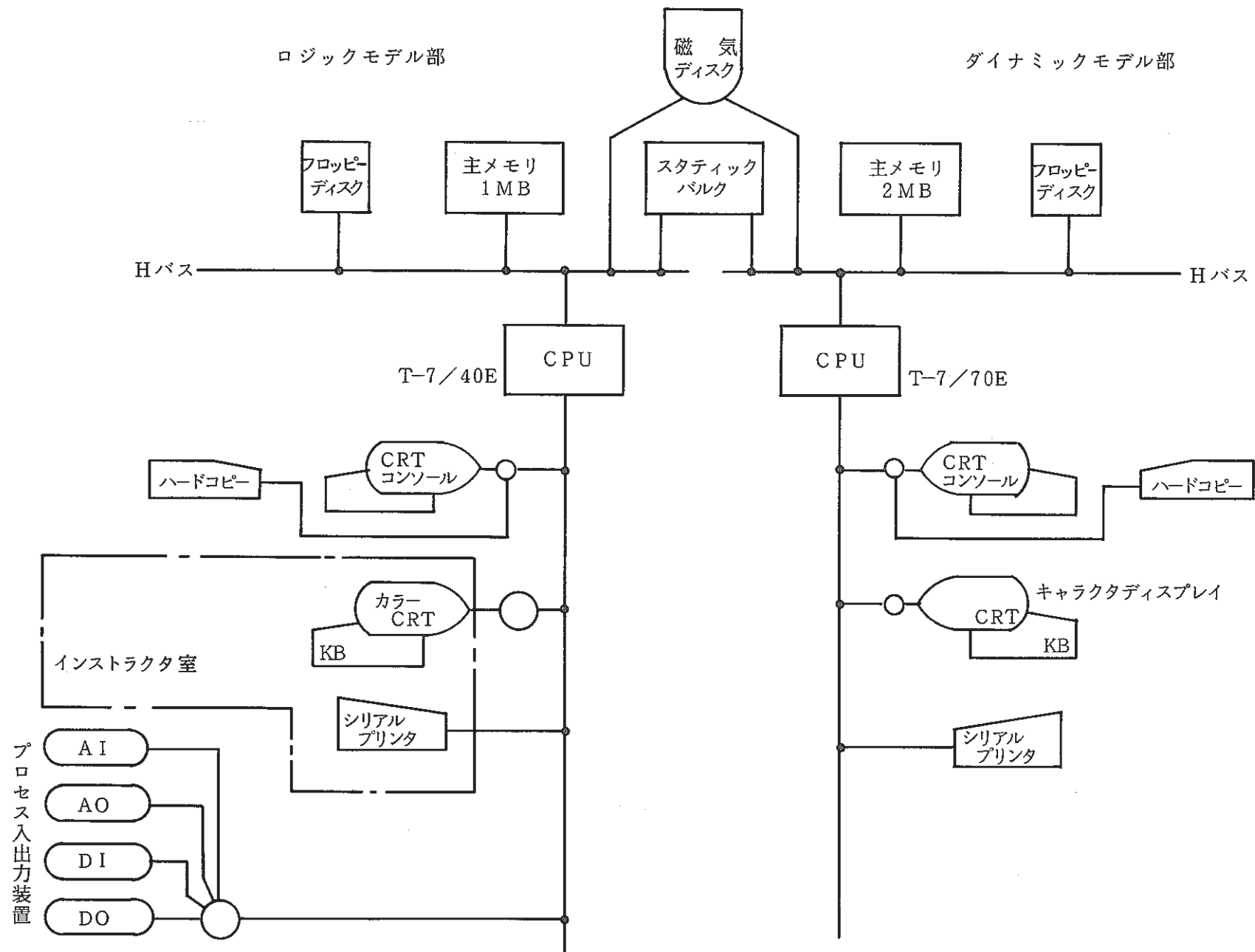


図 2-2 「常陽」シミュレータ計算機システム構成

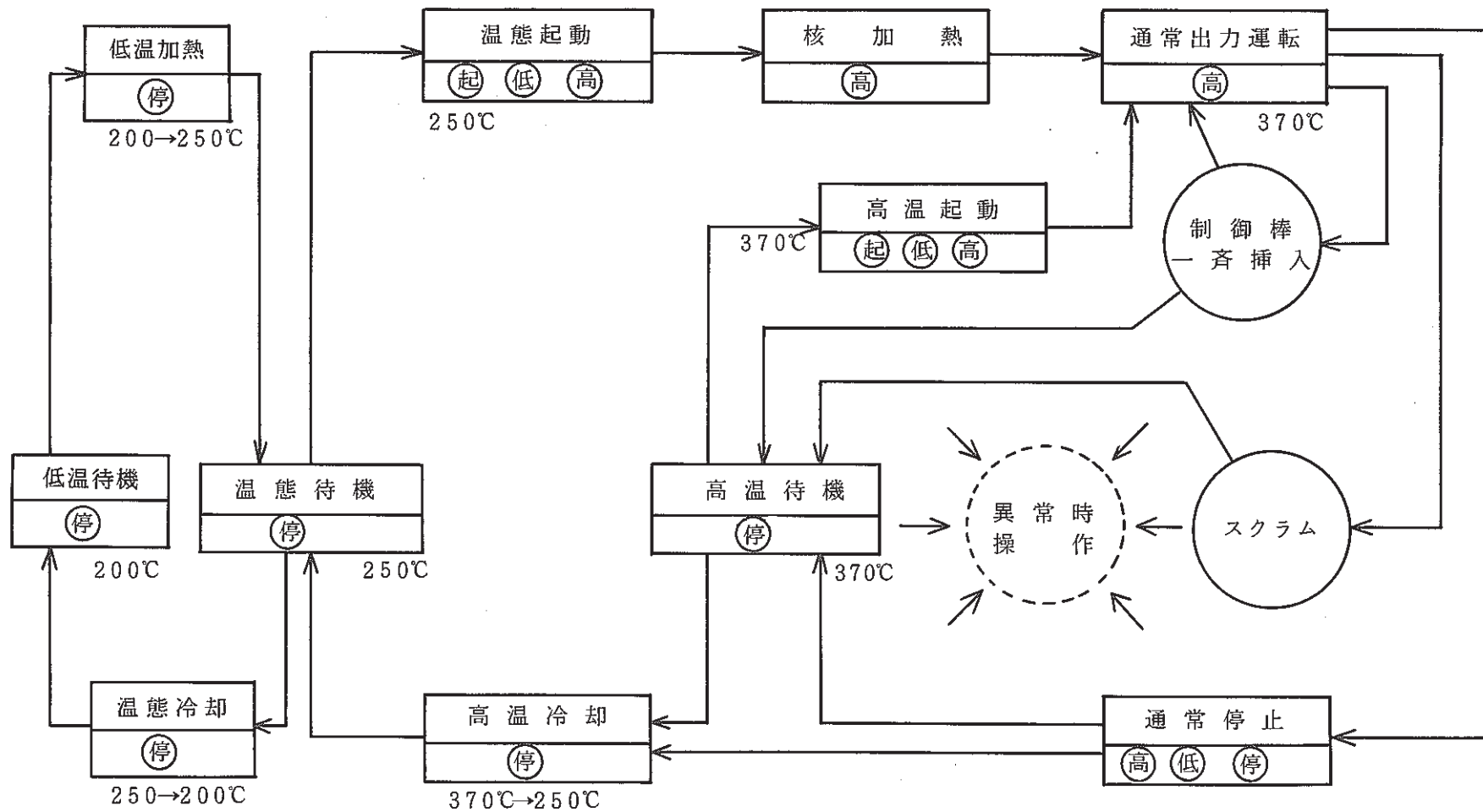


図2-3 運転サイクル(シミュレーション範囲)

### 3. シミュレータ訓練の概要

#### 3.1 教育訓練大系

実験炉「常陽」における運転員の教育訓練は、机上教育及びOJTを主体とした教育訓練コースとシミュレータ運転訓練コースが設定されている。教育訓練コースは、新入職員から上級運転員までを対象として、経験年数等運転員のレベルに応じたカリキュラムが設定されている。また、シミュレータ運転訓練コースとしては、研修、再訓練、ファミリー訓練が設定されている。

教育訓練大系を図3-1に、また、シミュレータ訓練コースの概要とシミュレータ訓練風景をそれぞれ表3-1、PHOTO3-1に示す。

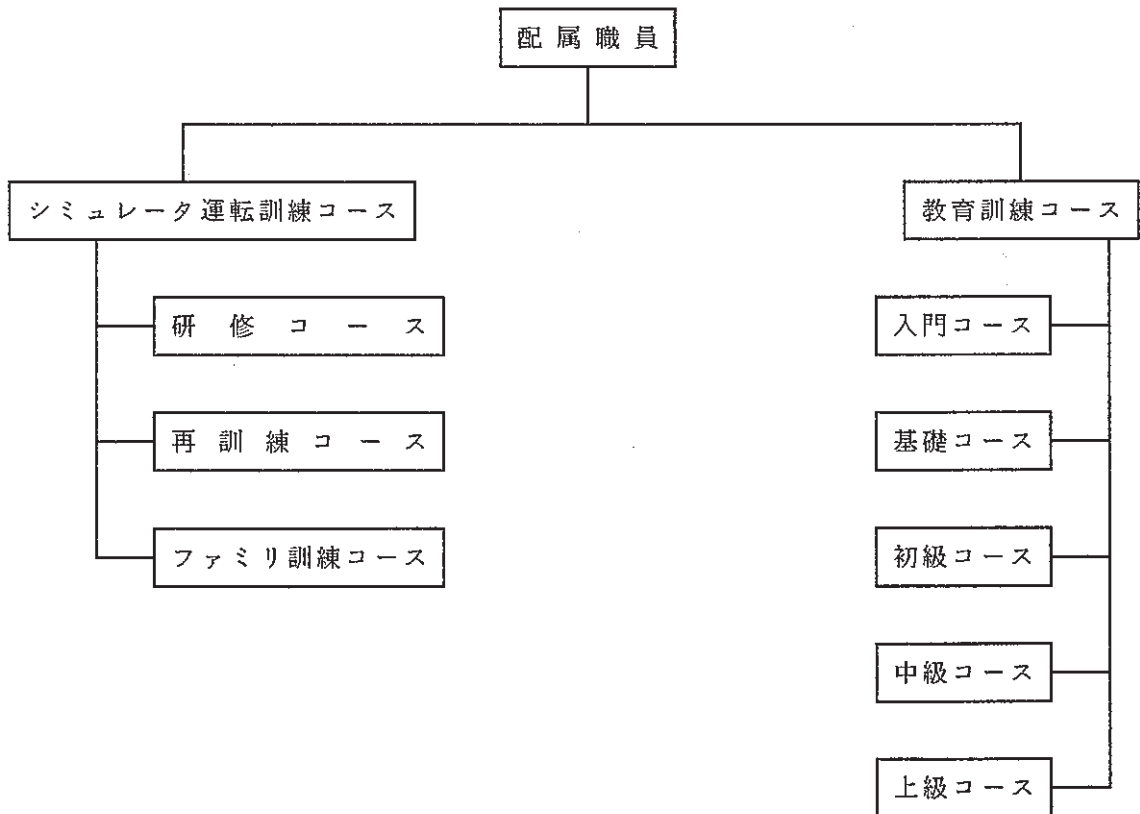


図3-1 教育訓練大系

表 3 - 1 シミュレータ訓練コースの概要

訓練コース	内 容	対 象	実施頻度
研修コース	指差呼称，多重監視等の運転操作の基本及び「常陽」の運転操作の概要を把握することを目的としたもので，プラント機器単体の起動停止操作と原子炉通常起動・停止操作について訓練する。	新規配属者	配 属 時
再訓練コース	個人の運転技術の向上を目的としたもので，各運転員のレベルに応じて，通常操作から複合マルファンクションまで広範囲の訓練が実施される。	各運転員	1直当り2～3回/月
ファミリー訓練コース	運転直クルーのチームワークを重視して運転技術の向上を目指したものである。訓練内容は，異常時の操作訓練が主体である。	各直クルー	1直当り1回/月

以上の各訓練に加え昭和62年度から，各直クルー間にまたがる新方式のシミュレータ訓練を開始した。本訓練は，各直クルー間のレベルの統一を図るとともに，クルー間の一層の意志疎通の向上を目的としたものである。従って本訓練は，各直クルーより1名ずつ参加して実施される。訓練の主体は異常時操作訓練であるが，危険予知訓練の一種であるSTK訓練とシミュレータ訓練の融合を図るなど幅広い訓練を展開している。

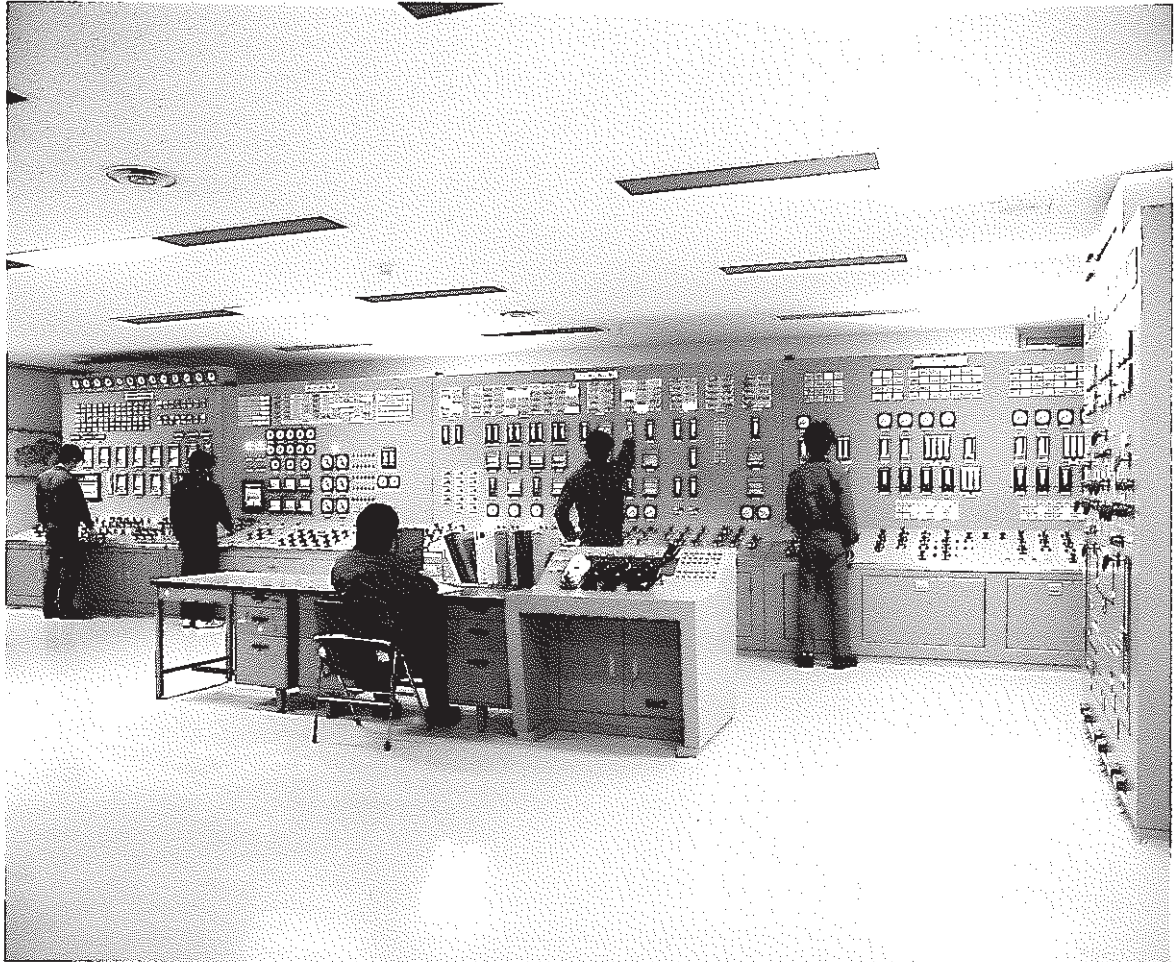


PHOTO 3-1 シミュレータ訓練風景

### 3.2 シミュレータ訓練の内容

シミュレータ訓練は、通常時操作訓練と異常時操作訓練に大別される。訓練内容の選択は、経験年数等を勘案して行われ、徐々に高度な訓練に移行して行く。「常陽」は高速炉であるため、冷却材温度が高く、配管長が長い。このため過渡変化時の熱衝撃防止操作、熱輸送遅れを考慮したプラント操作、ナトリウム漏洩時の措置等が訓練の重要な要素となっている。また、反応度の挙動は軽水炉と異なるため、炉物理的特性の把握にも重点を置いている。

#### (1) 通常時操作訓練

通常時操作訓練は、図3-2に示す運転訓練範囲で行われる。低温待機モードは、メンテナンス終了後のプラント初期設定モードで、この状態では、各プラント機器の単体起動、停止操作訓練を行う。温態待機モードは、通常の原子炉起動モードであり、ここから図3-3に従った原子炉の起動、停止操作訓練を実施する。これら一連の通常時操作訓練項目を表3-2に示す。

#### (2) 異常時操作訓練

異常時操作訓練は、シミュレータ訓練の主体をなすものであり、種々の異常について繰返し訓練が実施される。初期状態は、原子炉通常運転中がほとんどであり、その主な訓練内容として表3-3に示す項目を設定している。異常時操作訓練は、これらの項目を主体に進められるが、訓練の高度化に伴って複合異常事象やランダムに異常を発生させる訓練が実施されてる。その他、直クルーからの要求により、特殊な異常事象を一時的に設定する場合もある。各異常事象については、あらかじめマルファンクションシナリオが作成されており、その中に事象の推移が示されるとともに、複合事象が選択できるように考慮されている。マルファンクションシナリオの例を図3-4、図3-5に示す。

### 3.3 訓練手法

新入職員あるいは転入者を対象とした研修コースの訓練は、原子炉第一課の教育訓練グループが企画し、実施しているが、訓練の主体である再訓練及びファミリー訓練は、各直クルーが当直長の指導によって独自に企画立案して実施している。再訓練は、ベテラン運転員がインストラクタとなり若手運転員を指導するケースが多く行われている。また、ファミリー訓練については、当直長又は副当直長がインストラ

クタを務めて実施している。これは、「常陽」の運転体制が4班3交代制を採っており、人間的に予備直を置くことが不可能な状況にあるため、深夜等の直勤務中の操作が少ない時間帯を有効に活用する必要があること等によっている。なお、「常陽」運転訓練シミュレータは、中央制御室に近接して施設内に設置されており、訓練中であっても、必要が生じた場合は直ちに運転勤務に戻る事が可能なことが大きな特色である。

また、このような訓練手法を採ることによって、各直の独自の創意工夫による訓練が行える反面各直クルー間の訓練レベルに不整合が生ずる可能性がある。このため、各直クルー間にまたがる定期的訓練を実施し、これを補完する手法を用いている。

以上のように「常陽」におけるシミュレータ訓練は、一定期間内に集中的訓練を行うものではないが、オンサイトシミュレータの利点を生かした訓練の実行により効果を上げている。訓練の特徴を整理すると次の点が上げられる。

- (1) シミュレータ訓練と現場模擬操作訓練を組み合わせることにより、臨場感を高め、中央制御室・現場のコミュニケーションに関する訓練が実施可能であり、大きな効果が期待できる。
- (2) 訓練は、主に直クルー独自にそのクルーにマッチした訓練計画を策定実施している。これに加え、各クルー間にまたがる訓練を定期的実施し、相方が相まって実験炉の風土に適合した訓練を展開している。
- (3) 運転員が自らインストラクタとなり、若手を指導するため、直クルー内の一層の意志疎通の向上が期待でき、また、インストラクタを勤めることによる教育効果も大きいものがある。
- (4) 直勤務の空時間を有効に活用した訓練が実施されており、予備直の無い現状においても密度の高い訓練を実現している。
- (5) オンサイトシミュレータであるため、特殊試験等、運転計画に即応した訓練が実施可能であり、非定常運転に対する事前学習が十分に行える。



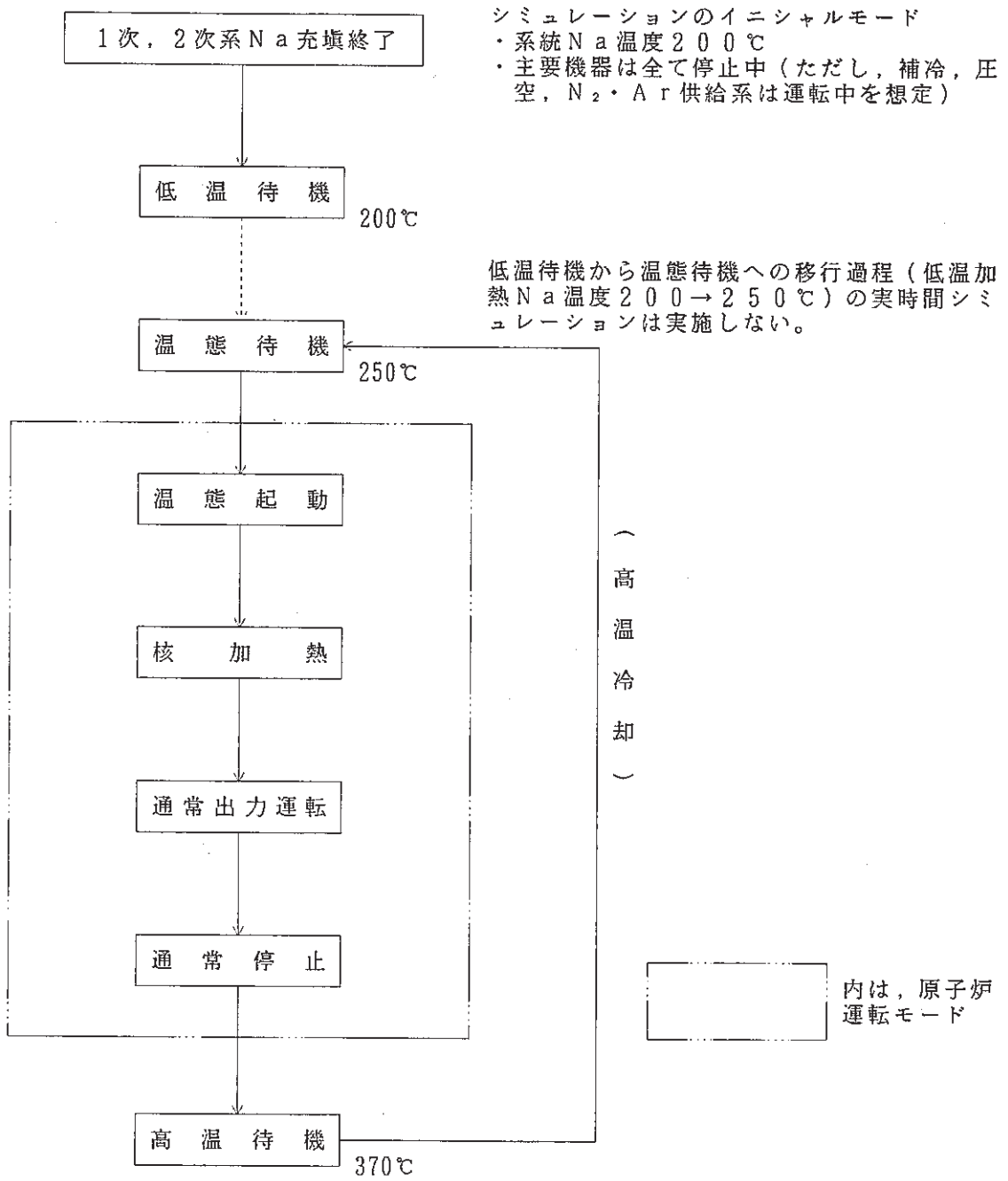


図3-2 通常運転訓練範囲

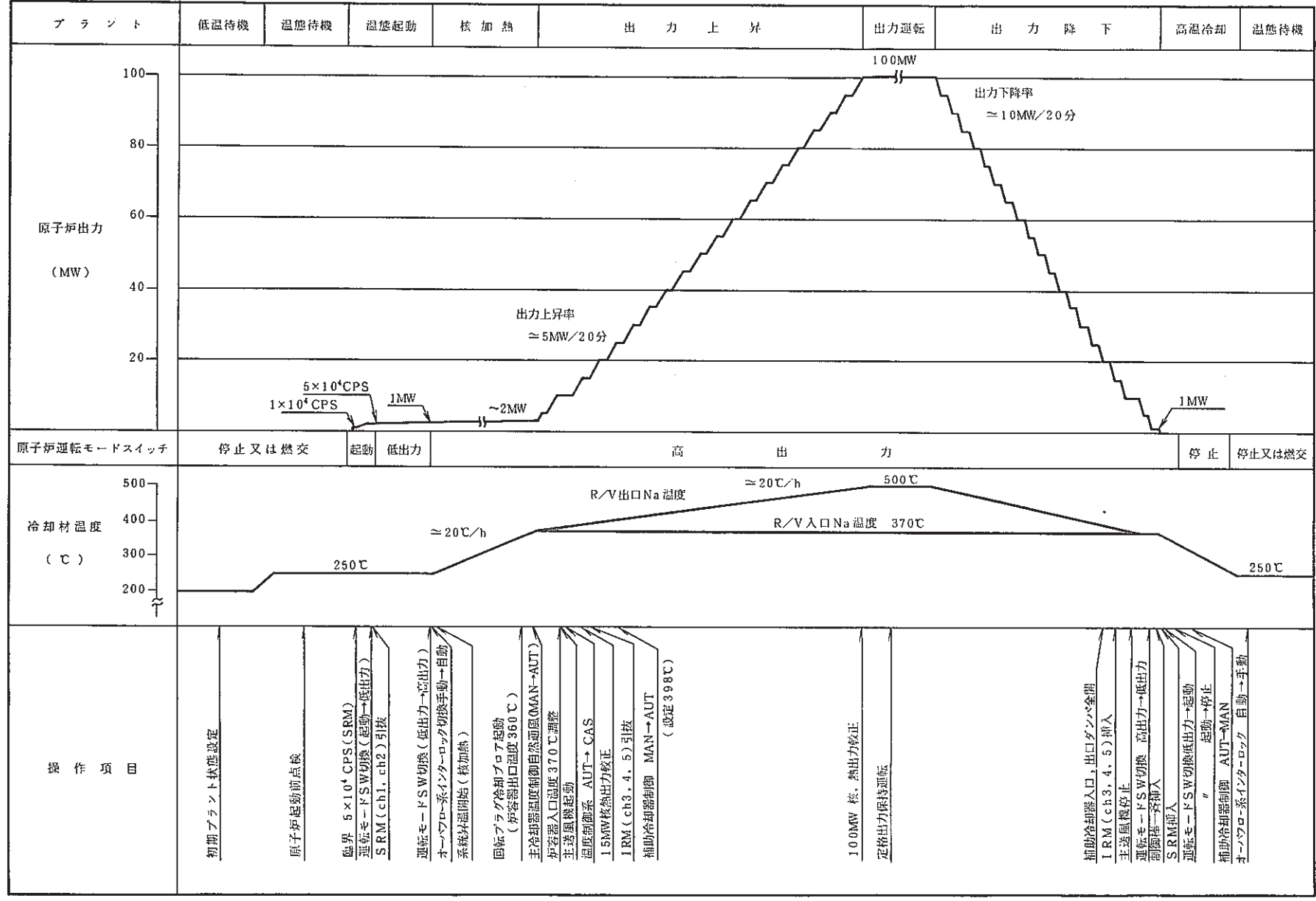


図 3-3 プラント起動・停止手順

表 3 - 2 通常運転操作訓練項目

ステップ	プラント状態	訓練項目
1	Na 充填終了 ↓ 低温待機モード	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2次主循環ポンプ起動, 流量調整操作</li> <li>○ 2次補助EMP起動, 流量調整操作</li> <li>○ オーバフローEMP起動, 流量調整操作</li> <li>○ 1次純化系EMP起動, 流量調整操作 0→20%</li> <li>○ 格納容器床上給・排気ファン起動, 圧力設定操作</li> <li>○ フレオン冷凍機起動操作</li> <li>○ N<sub>2</sub>雰囲気再循環ブロー起動操作</li> <li>○ 遮コンブロー起動操作</li> <li>○ ペDESTALブロー起動操作</li> <li>○ 機器冷却ファン起動操作 (1次系EMP起動時)</li> <li>○ アニュラス部排気ファン起動操作</li> </ul>
2	低温待機モード ↓ 温態待機モード	計算機操作にてスキップ { Na温度 200→250℃, 運転モードは, 燃交に移行 }
3	温態待機モード (起動前点検)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 運転モード切替 (燃交→停止)</li> <li>○ 非常用冷却系動作確認 { ポニーモータ動作, 補助冷却系動作 }</li> <li>○ 非常用DG起動テスト</li> <li>○ 機器動作チェック                         <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 格納容器給・排気ファン切換え操作</li> <li>・ フレオン冷凍機切換え操作</li> <li>・ 窒素雰囲気再循環ファン切換え操作</li> <li>・ 遮コンブロー切換え操作</li> <li>・ ペDESTALブロー切換え操作</li> <li>・ 機器冷却ファン切換え操作</li> <li>・ アニュラス部排気ファン切換え操作</li> <li>・ 1次主循環ポンプ用油ポンプ切換え操作</li> </ul> </li> </ul>

ステップ	プラント状態	訓練項目
3	起動前点検続き	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2次主循環ポンプ用油ポンプ切換え操作</li> <li>・ 2次主循環ポンプ抵抗冷却ファン切換え操作</li> <li>・ 2次補助EMP冷却ファン切換え操作</li> <li>○ 非常用ガス処理系確認</li> <li>○ ワンロードスタックマージンの確認</li> <li>○ 主循環ポンプフローコストダウン特性の確認(参考)</li> <li>○ 各種ポンプQ-H特性 ( " )</li> <li>○ 1次補助系サイフォンブレイク作動テスト ( " )</li> </ul>
4	温 態 起 動 ↓ 臨 界	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 制御棒ラッチ操作</li> <li>○ 臨界近接操作</li> <li>○ 臨界点確認及び臨界保持操作 (<math>5 \times 10^4</math> cps)</li> <li>○ 制御棒校正</li> </ul>
5	臨 界 核 加 熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ペリオド領域での出力上昇 (<math>5 \times 10^4</math> cps → 1 MW)</li> <li>○ 運転モードスイッチ切換(起動→低出力→高出力)</li> <li>○ 核加熱操作 (250℃ → 370℃)</li> <li>○ 回転プラグ冷却ブロー起動</li> </ul>
6	核 加 熱 終 了 ↓ 1 2 M W	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 主冷却器自然通風温度制御</li> <li>○ 出力上昇操作 (~12 MW)</li> <li>○ 主送風機起動操作</li> <li>○ 主冷却器温度制御系切換え (AUTO ↔ CASCADE)</li> </ul>
7	1 2 M W ↓ 定 格 出 力	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 出力上昇操作(制御系AUTO又はCASCADE)</li> <li>○ 主冷却器出口温度設定(制御系AUTO運転時)</li> <li>○ 出力保持操作</li> <li>○ 出力変更操作</li> <li>○ 補助冷却器制御系切換え (MANUAL → AUTO)</li> <li>○ 核・熱出力較正(参考)</li> <li>○ 出力係数測定 ( " )</li> <li>○ 燃焼係数確認 ( " )</li> </ul>

ステップ	プラント状態	訓練項目
8	定 格 出 力 ↓ 原 子 炉 停 止 ↓ 高 温 待 機	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 原子炉停止前プラント状態確認</li> <li>○ 出力降下操作</li> <li>○ 主冷却器出口温度設定（制御系AUTO運転時）</li> <li>○ 主送風機停止操作</li> <li>○ 運転モードスイッチ切換え（高出力→低出力→起動）</li> <li>○ 中性子束モニタ（検出器挿入）</li> <li>○ CRDデラッチ操作</li> <li>○ 回転プラグ冷却プロア停止操作</li> <li>○ 主冷却器温度制御系操作（CASCADE → AUTO → MANUAL）</li> <li>○ 崩壊熱除去運転（高温待機）</li> </ul>
9	高 温 待 機 ↓ 温 態 待 機 ↓ 燃 料 交 換	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 自然通風冷却による系統降温操作（～250℃）</li> <li>○ 主冷却器出口ダンパ操作</li> <li>○ 燃料交換モード移行                         <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1次主循環流量下降操作（100%→20%）</li> <li>・ CRD引抜操作</li> <li>・ 運転モードスイッチ切換え（停止→燃交）</li> </ul> </li> </ul>

表 3 - 3 異常時運転操作訓練項目

## 1) 原子炉制御系

No.	訓練項目	内容	備考
1	原子炉スクラム	手動及び自動（原子炉保護系作動）	崩壊熱除去モードへの移行
2	制御棒一斉挿入	同上	炉出力降下
3	格納容器アイソレーション	同上	
4	制御棒スティック	CRDM異常	CRDM用 NFBトリップ
5	制御棒落下	制御棒励磁電源故障	原子炉停止
6	制御棒位置指示計故障	セルシン異常	
7	CRDシール破断	ベローズ又はOリング破損	シールガス流量異常
8	核計装異常	計数率計故障，計装電源の異常 中性子検出器荷重超過	
9	反応度計異常	計器故障	
10	異常反応度印加	反応度計数変化	原子炉出力変動
11	FFD異常	計数率高，プレシピテータ異常	

## 2) 1次冷却系

No.	訓練項目	内容	備考
1	1次主循環ポンプトリップ	速度差大, セルビウス重故障, Na液面低々, 油圧低々他	原子炉スクラム
2	1次主循環ポンプトリップ, ポニーモータ引継失敗	引継速度検出回路故障	補助冷却系自動起動
3	1次主循環ポンプステイック	ステイック	主及びポニーモータ過電流トリップ, 補助系自動起動
4	主冷却系流量制御系異常	調節計故障 { アップスケール又はダウン スケール }	
5	主冷却系流量計異常	流量計電源故障	
6	原子炉出入口温度計異常	計器故障 (ダウンスケール, ドリフト)	
7	補助EMP自動起動失敗	自動起動制御回路故障	補助系手動起動
8	オーバフローEMPトリップ	流量低, EMP加熱, Na漏洩他	原子炉スロースクラム
9	オーバフロー流量制御系異常	調節計故障 { アップスケール又はダウン スケール }	
10	オーバフロータンク液面異常	Na漏洩, 液面計故障	
11	純化系EMPトリップ	流量低, Na漏洩, コールドトラップ冷却 ブロアトリップ他	
12	純化系流量制御系異常	調節計故障 { アップスケール又はダウン スケール }	
13	1次カバーガス圧力異常	給・排気弁故障 (開又は閉固着), 計器故障	
14	1次Arガス安全弁開固着	安全弁機構不良	放射化カバーガス放出

No.	訓練項目	内容	備考
15	主系統Na漏洩	配管破損	原子炉Na液面低下, 原子炉スクラム
16	1次補助系Na漏洩	配管破損	サイフォンブレイク作動
17	IHX伝熱管部Na漏洩	伝熱管破損	1次オーバフロータンク液面上昇 2次ダンプタンク液面低下
18	Na漏洩予熱仕切弁開固着	配管破損, 仕切弁固着	



## 3) 2次冷却系

No.	訓練項目	内容	備考
1	2次主循環ポンプトリップ	電気系故障，潤滑油圧力低下，油冷却機能喪失他	制御棒一斉挿入
2	2次主循環ポンプステイック	ステイック	過負荷トリップ
3	2次主循環ポンプ電流異常	計器異常（ダウンスケール，ドリフト）	
4	2次主循環ポンプ回転数異常	計器異常，2次抵抗回路接触不良	
5	主送風機トリップ	主循環ポンプトリップ，電気系故障他	
6	主冷却器入口ベーン固着	ベーン固着	
7	主冷却器温度制御系異常	調節計故障	温度制御系手動操作
8	2次主系統流量計異常	計器故障（指示ダウンスケール）	制御棒一斉挿入
9	2次冷却系計装用空気断	計装空気配管破断	当該系統制御不能
10	2次補助EMPトリップ	電気系故障，EMP冷却機能喪失他	
11	補助冷却器温度制御系異常	調節計異常 〔指示アップスケール又はダウンスケール〕	
12	2次純化系EMPトリップ	コールドトラップ冷却ブロアトリップ，EMP冷却機能喪失他	

## 4) 格納容器雰囲気調整系

No.	訓練項目	内容	備考
1	格内床上給気ファントリップ	電気系故障 (C/C異常, サーマル)	予備機手動起動
2	格内床上排気ファントリップ	同上	同上
3	アニュラス部排気ファントリップ	同上	同上
4	窒素雰囲気再循環ファントリップ	同上	同上
5	遮コン系窒素ブロアトリップ	同上	同上
6	ペDESTALブロアトリップ	同上	同上
7	機器冷却ファントリップ	同上	同上
8	補機系冷却塔機能喪失	冷却塔ブロアトリップ, ストレーナ目詰り	バックアップモード (N-2) に切換え
9	空調系冷却塔機能喪失	同上	バックアップモード (N-3) に切換え
10	格内雰囲気温度上昇	フロン冷凍機異常	フロン冷凍機予備機起動
11	格内圧力上昇	圧力調節計異常	手動圧力制御
12	格内床上放射能高	計器故障	

## 5) 電源設備

No.	訓練項目	内容	備考
1	一般系電源喪失, DG 2台起動	外部電源喪失, 常陽変電所重故障	
2	一般系電源喪失, DG 1台起動失敗	同上	DG手動起動可
3	A系(B系)電源喪失	屋外1AM/C(1BM/C)過電流又は 地絡	屋外M/CCB トリップ, 当該 系統DG起動
4	C系(D系)電源喪失	1AM/C(1BM/C)内1CM/C (1DM/C)過電流又は地絡	1AM/C(1 BM/C)当該 CBトリップ DG起動
5	DG運転中1台トリッ プ	DG重故障	
6	瞬 停	外部電源瞬停	

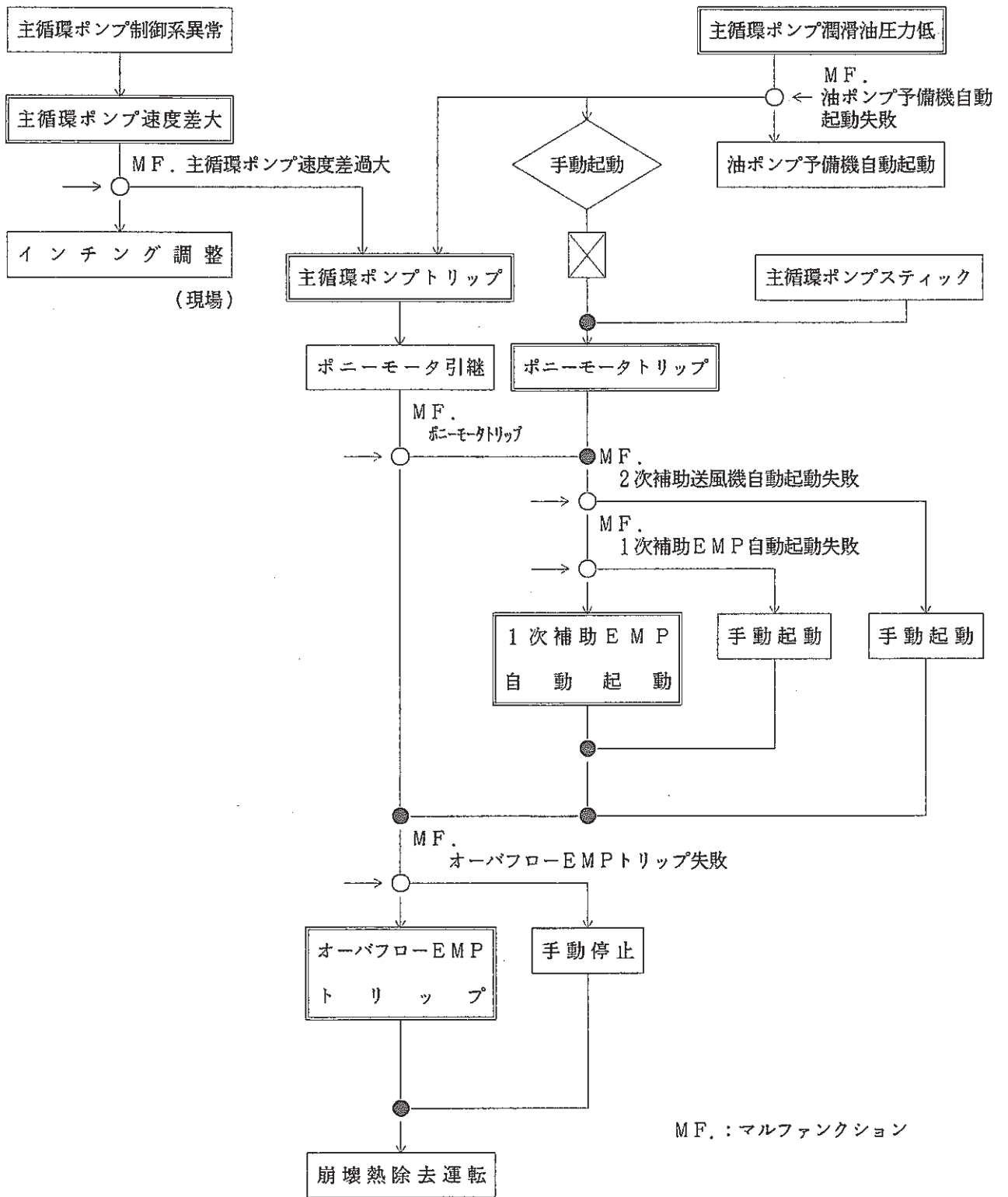


図3-4 1次主循環ポンプトリップ・マルファンクション・シナリオ

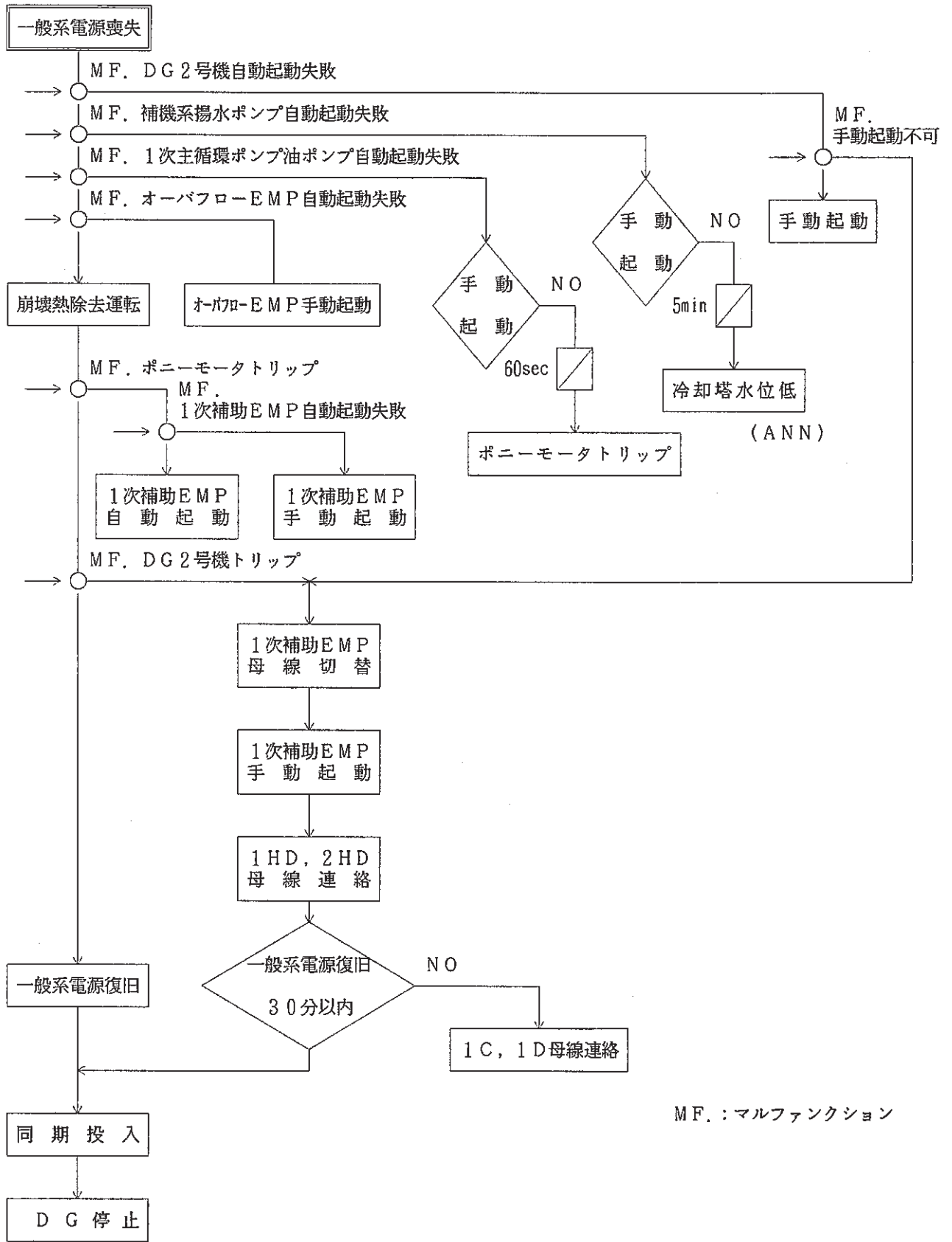


図3-5 一般系電源喪失・マルファンクション・シナリオ

#### 4. シミュレータ訓練実績

昭和58年8月から本格的利用が開始された「常陽」運転訓練シミュレータは現在まで積極的に活用されてきた。

シミュレータを用いた運転訓練は、大別すると異常時操作訓練と通常操作訓練に分けられるが、これまでの訓練実績では異常時操作訓練が全体の62%を占めている。異常時操作訓練は想定されるプラント異常状態のほとんどに対して行われてきているがその中でも最も発生割合の高い外部電源喪失時の対応操作訓練の占める割合が高く異常時操作訓練の34%を占めている。一方、通常操作訓練は新入職員や転入職員に対して実施するケースが多く、原子炉臨界操作や機器単体での起動、停止操作訓練が行われている。また、特殊試験時のプラント操作の確認をシミュレータで行う場合が多く、特殊試験時のプラント操作の信頼性向上に寄与している。

シミュレータの利用は、運転直グループにおいて全体の87%を占めているが運転直グループによる運転訓練はほとんどがⅢ直時（夜勤時）の空き時間に実施されている。また、運転直グループによるファミリー訓練はⅠ直終了後又はⅡ直前の時間を利用して実施されている。

以下に年度別、訓練内容別、利用グループ別及び運転直グループのシミュレータの利用時間を図及び表で示す。なお図4-1に示した年度別シミュレータ利用実績の内、61年度については12月までの訓練件数であり、また図4-2に示すその他にはシミュレータ機能確認・調整、インストラクタ養成等が含まれている。

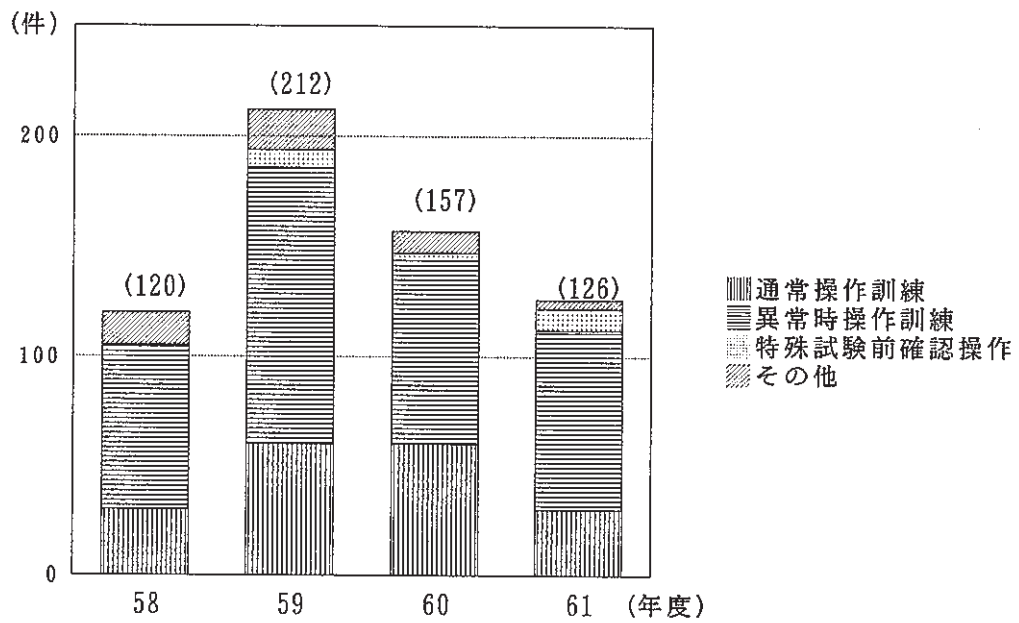


図4-1 年度別シミュレータ利用実績

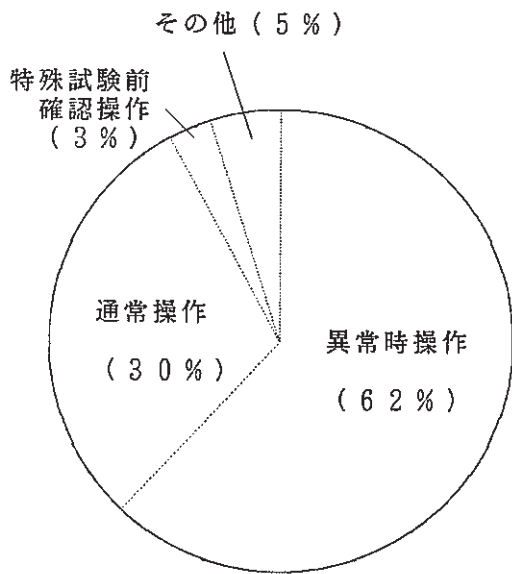


図4-2 シミュレータ訓練内容

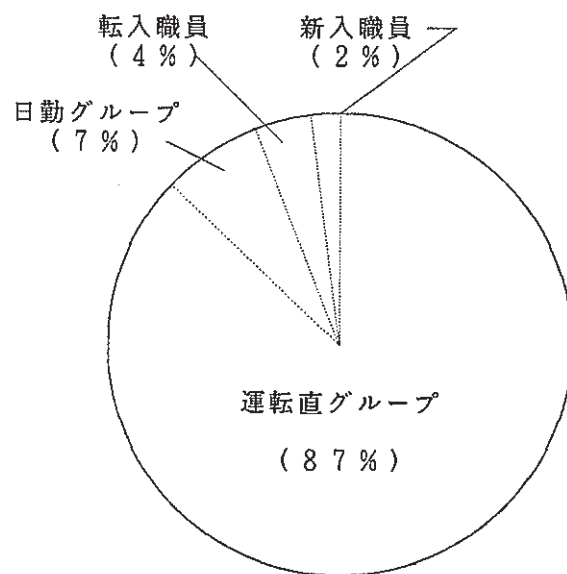


図4-3 シミュレータ利用グループ

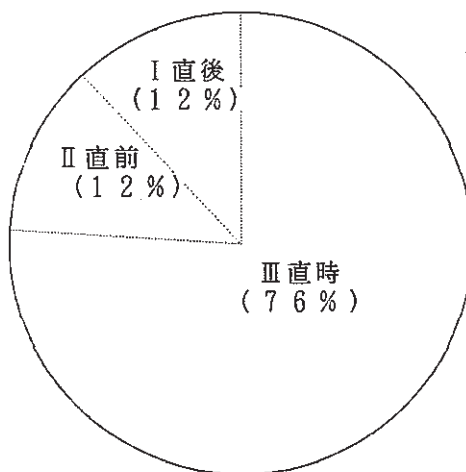


図4-4 運転直グループシミュレータ利用時間



表 4 - 1 シミュレータ利用実績

利用者	利用目的 年度	通常操作	異常時操作	特殊試験前 確認操作	その他	合計
新入職員	58	0	0	0	0	0
	59	7	0	0	0	7
	60	3	0	0	0	3
	61	4	0	0	0	4
転入職員	58	4	0	0	0	4
	59	13	0	0	0	13
	60	3	0	0	0	3
	61	3	0	0	0	3
運転直Gr	58	31 (2)	73 (15)	0	1	105
	59	31 (1)	136 (33)	2	2	171
	60	49 (0)	90 (27)	3	4	146
	61	22 (0)	83 (15)	8	4	117
日勤Gr	58	0	1	0	10	11
	59	5	1	4	11	21
	60	0	1	0	4	5
	61	2	0	0	0	2
合計	—	177	385	17	36	615

\* ( ) 内はファミリー訓練の件数を示す。  
ただし、61年度については12月までの訓練  
件数である。

## 5. 運転員に対して実施した教育訓練に関するアンケート調査

運転訓練シミュレータは、利用開始後4年目を迎え、その訓練も定着し充実した種々の訓練も実施している。また最近では、複合異常、過酷事故を想定し、異常時訓練のような訓練内容の高度化が図られつつある。このような現状の中で今回、今後も「常陽」における教育訓練の一環として重要な位置付となるシミュレータをより一層有効に活用して行くため実際訓練を行っている運転員に今までの利用状況や、使用経験を通しての意見、感想をアンケートにより調査した。

このアンケート調査は、各運転直グループと運転員個人を対象とした2ケースについて実施した。

今回のアンケート調査により、グループ内の教育訓練の内シミュレータ訓練が大きな割合を占めていることばかりでなく、各グループ毎に特色のある教育を活発に実施していることが示された。

シミュレータ訓練は、全体では異常時操作訓練が半分以上であったが、運転経験年数別に見ると経験年数1年未満の運転員では通常操作訓練の占める割合が多い。この通常操作の割合は経験3年以上の運転員の異常時操作訓練の割合にほぼ一致している。またシミュレータ訓練1回の利用時間は、1時間以上2時間未満が圧倒的に多く、少人数での異常時訓練が有効であると経験1年以上の運転員は回答した。

シミュレータ訓練中の誤操作の経験についての問いに運転経験3年以上の運転員すべてが「たまにある。」と回答している。また、誤判断をした経験があると回答したのは共に運転経験3年以上の運転員であった。このことから、運転員が誤判断であることをはっきり認識するまでには3年程度の経験が必要であると思われる。

一方、シミュレータ設備に対する要望としては、現場操作の導入を望む声が多く、マルチファンクション機能の拡大に対しては予想に反して少なかった。

今後は、アンケート調査結果からシミュレータ訓練方法の立案、あるいは設備の機能強化等を更に充実した訓練が行えるよう考えていく必要があると考える。以下に調査結果を示す。

5.1 シミュレータ利用に関するアンケート調査結果（各運転直グループ）

(1) グループ内教育訓練内容

図5-1に運転直グループ内で実施されている教育訓練内容を示す。図中のその他には、「常陽」以外の原子炉施設についての勉強会や英語勉強会等が含まれている。

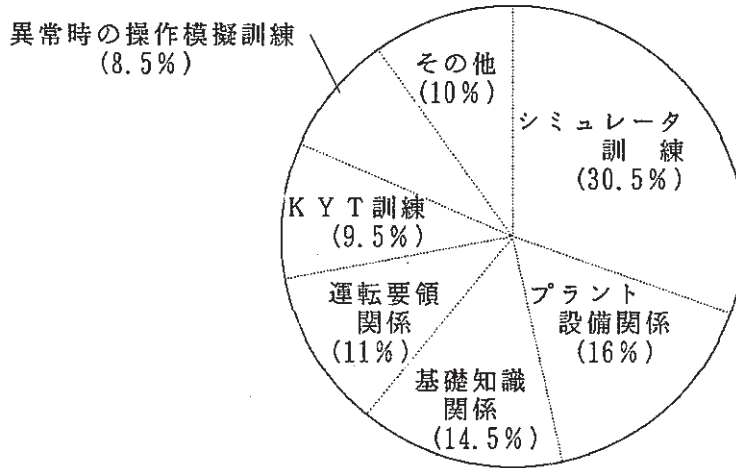


図5-1

(2) シミュレータ訓練内容及び実施時間

図5-2に3項目のみに限定した場合のシミュレータ訓練の割合を示す。他には特殊試験前の準備としての操作訓練にも利用されている。

図5-3には、シミュレータ訓練の実施時間を示す。

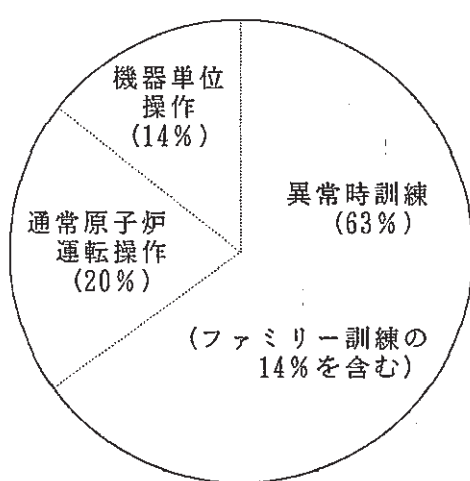


図5-2

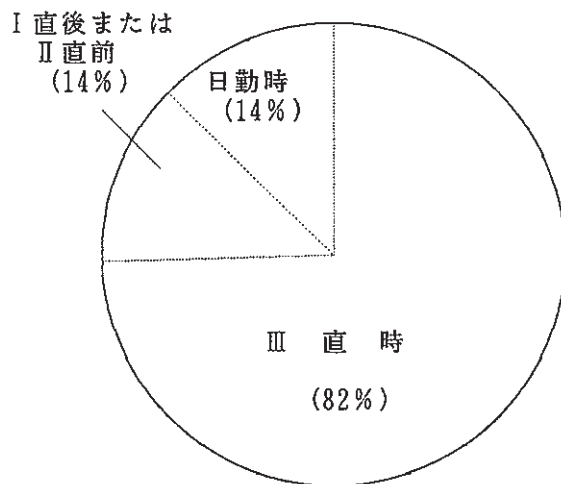


図5-3

(3) 運転経験別シミュレータ訓練内容

図5-4～図5-6に運転経験別のシミュレータ訓練内容を示す。図5-7にはファミリー訓練時の訓練内容を示す。

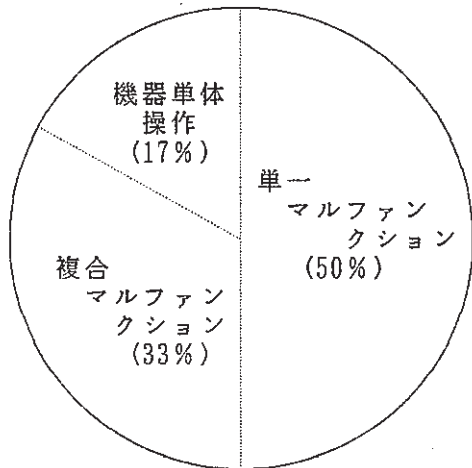


図5-4 経験3年以上の運転員

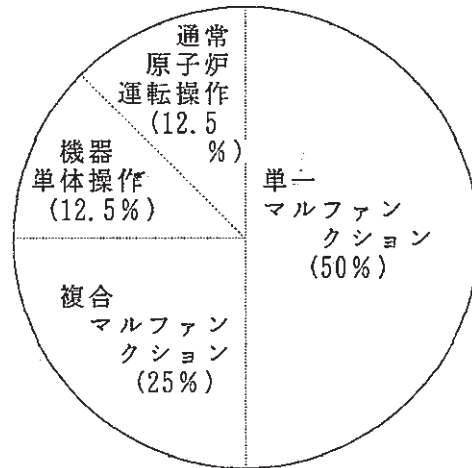


図5-5 経験1年以上3年未満の運転員

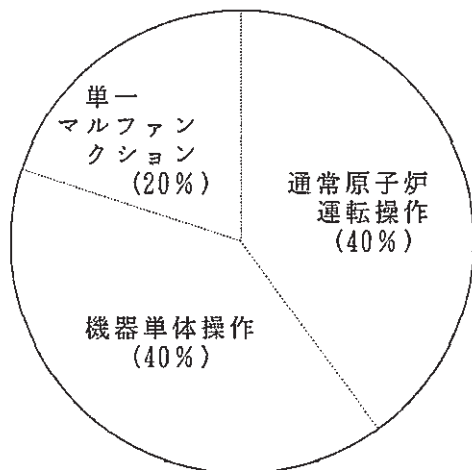


図5-6 経験1年未満の運転員

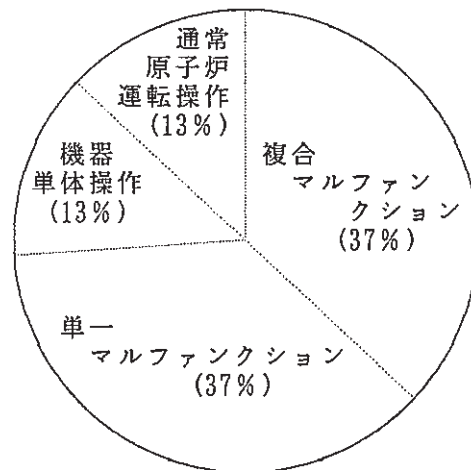


図5-7 ファミリー訓練

(4) シミュレータ訓練の有効性

シミュレータ訓練は、他の教育訓練と比較して次の点で有効であることが示された。

- ・ 異常時のプラント動特性の学習
- ・ 通常時のプラント特性把握
- ・ 操作マニュアルの理解
- ・ スイッチ，計器等の配置の認識
- ・ 指差呼称，多重監視等の基本動作の訓練
- ・ インターロック，シーケンスの記憶
- ・ 異常時に対する場慣れ

(5) シミュレータ機能の強化

次に示す様な機能の強化が望まれている。

- ・ シミュレーション範囲の拡張及び機能強化
- ・ マルファンクション機能の拡大
- ・ インストラクタ機能の拡大（操作の簡略化）

(6) 運転操作訓練以外のシミュレータの利用

運転操作訓練以外にも次に示すような利用がされている。

- ・ プラント特性検討
- ・ インターロック確認
- ・ 運転操作性検討
- ・ 操作マニュアル作成

5.2 シミュレータ利用に関するアンケート調査結果（運転員）

(1) 「常陽」運転員の運転経験年数

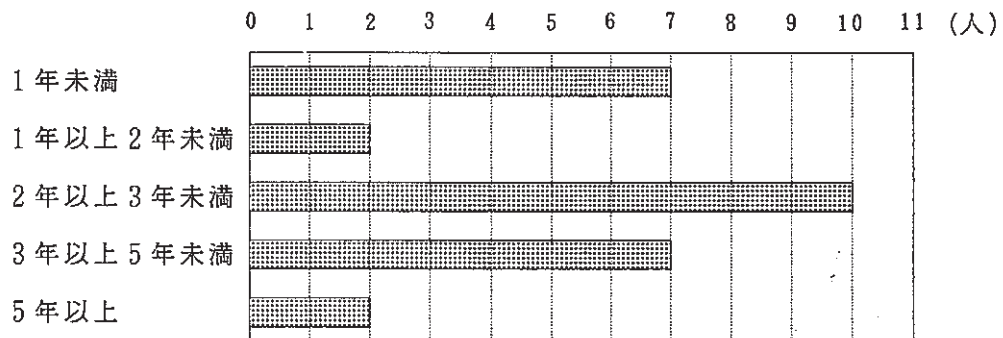


図5-8 運転員の経験年数

(2) シミュレータ利用頻度

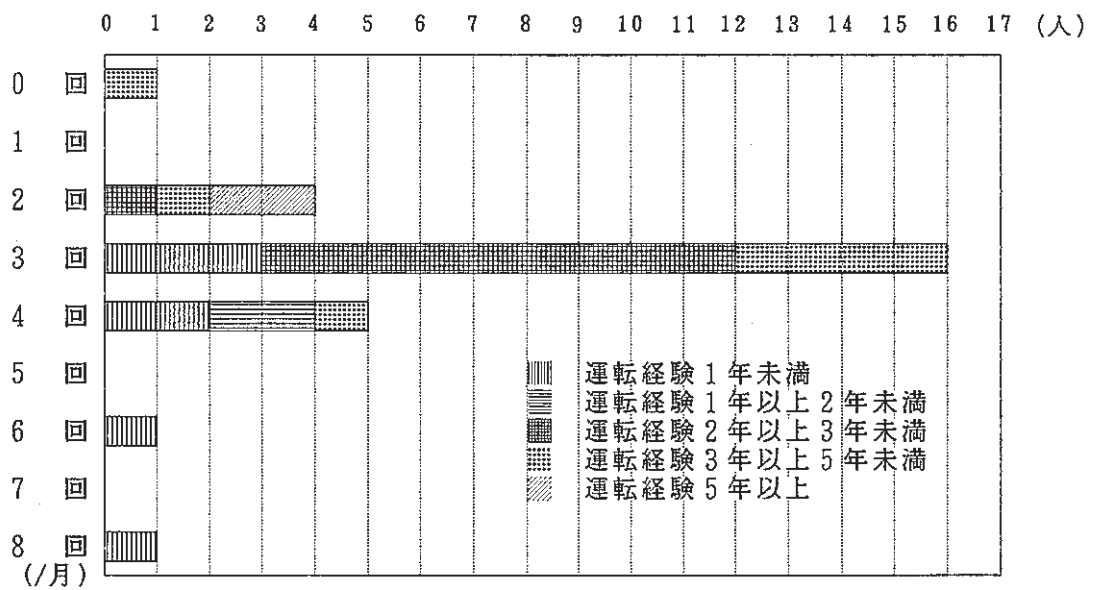


図5-9 訓練頻度（回/月）

(3) シミュレータ訓練一回当たりの利用時間

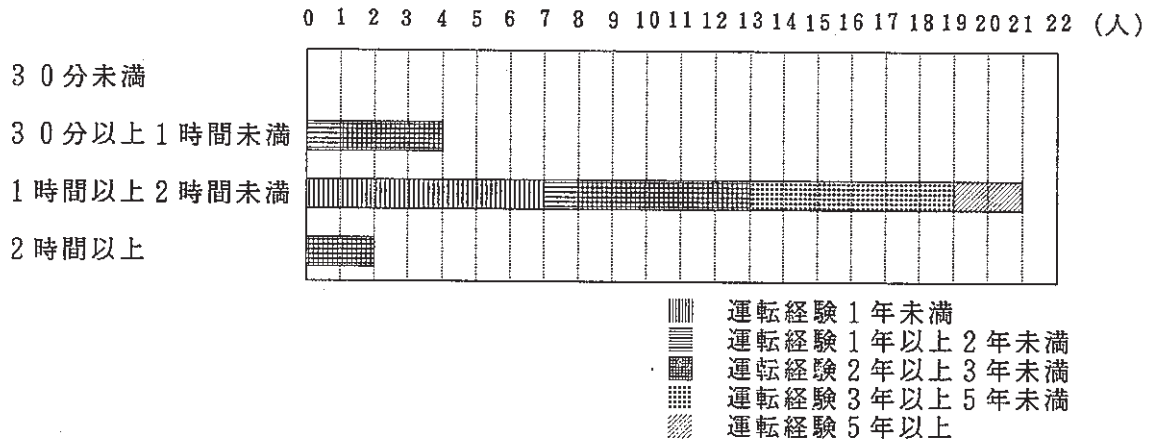


図5-10 一回当たりの訓練時間

(4) シミュレータ訓練内容

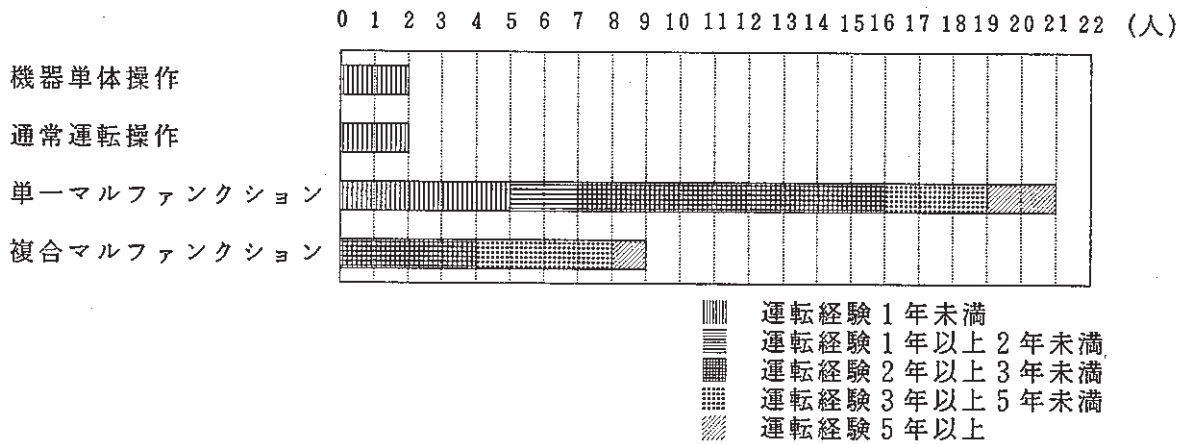


図5-11 訓練時間

(5) シミュレータを用いた訓練で有効と思われる訓練

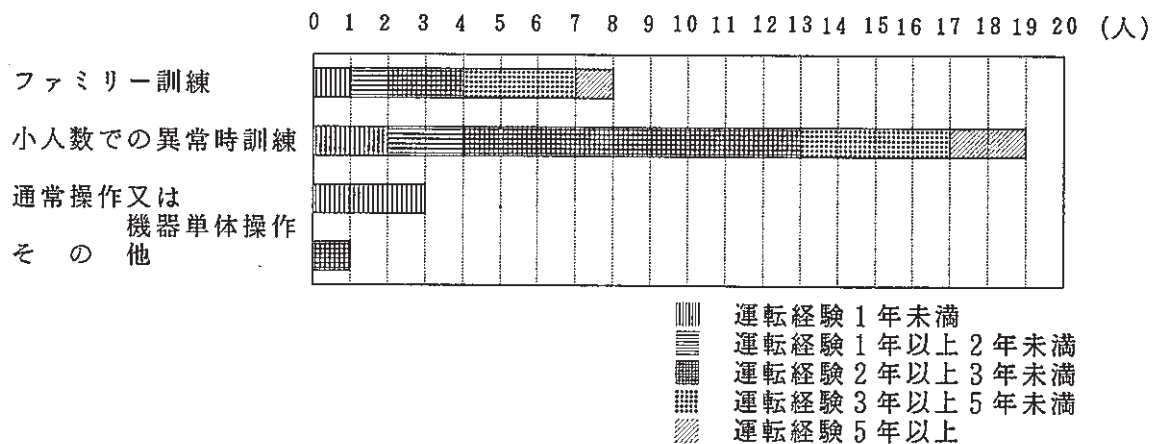


図5-12 訓練別の有効性

(6) シミュレータ訓練中の誤操作・誤判断の経験

運転経験3年未満の運転員についての調査結果を示す。

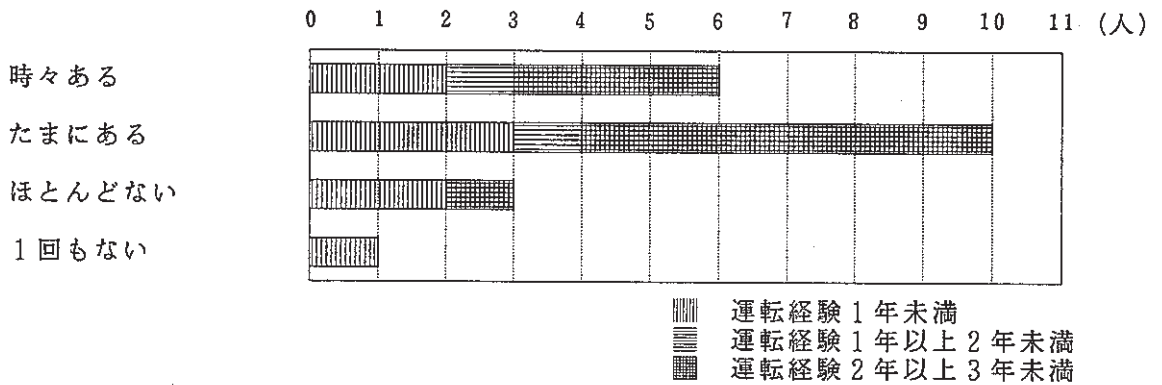


図5-13 訓練中のヒューマンエラー経験

尚、運転経験3年以上の運転員は全て「たまにある」と回答した。

(7) (6)で示した誤操作の内容

- ・ 機器の操作手順の誤り
- ・ 操作CS又は指示計の確認不足による誤操作
- ・ 設定値等の知識不足による誤操作
- ・ 究極の場面に対しての精神面での緊張による誤判断

(8) シミュレータ設備に対する不満

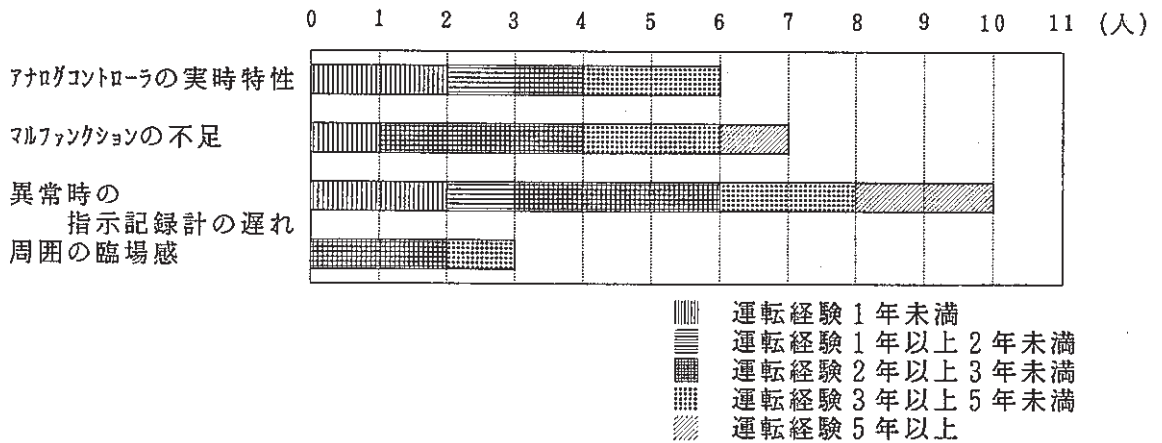


図5-14 シミュレータ設備の問題点



(9) シミュレータ設備に対する要望

- ・ 補機冷却系制御盤，付属空調換気計装盤の設置
- ・ 2次純化系操作盤の設置
- ・ スケジューリング，オルタレーション等のシミュレータの操作マニュアルの充  
実化
- ・ シミュレータ不調時の処置方法のマニュアル化
- ・ セルシン動作のスピードアップ
- ・ C R T 上に表示される項目の明確化
- ・ オーバフロー系各部温度レコーダ（中制421盤）の設置
- ・ 2次純化系起動の簡素化
- ・ インストラクタコンソールからのANN一括停止

## 6. 訓練の効果

各運転直クルーでは、運転技術の一層の向上を目指しさまざまな教育訓練を実施しているが、この中でもシミュレータ訓練の割合が最も高くなっている（図5-1参照）。シミュレータ訓練の効果としては、スイッチ等制御盤上の機器・計器類の配置の体得、異常時における操作手順の習熟、プラントインターロックやプラントの動的挙動の把握と理解に効果的であるとの結果を得ている。このことは、スキルベースやルールベースの対応操作の訓練効果はもとより、各種インターロックや動特性を理解していることは、応答の早いノリッチベースの対応を可能にするものと考えられる。

シミュレータ訓練の効果を定量的に評価することは難しいが、誤操作等のヒューマンエラーの減少、異常の早期発見及び異常時の適切な措置について効果が出ている。具体的例として以下のような事実が上げられる。

(1) 「常陽」では実験炉という性格上、自然循環試験や低流量試験等の特殊試験が多数実施される。このため特殊運転や特殊操作が要求されるが、事前のシミュレータ訓練により、いずれも的確な運転がなされている。また、1次主循環ポンプの起動操作は熟練を要する操作で、以前は操作ミスによる起動失敗が少なからず発生したが、シミュレータ訓練の定着により、この種の操作ミスは、ほとんど発生しなくなった。

### (2) 異常時における適切な対応

実験炉「常陽」では年に1回は落雷等により、外部電源喪失を経験している。この場合、1次系のポニーモータによる崩壊熱除去運転、予熱ヒータの手動再投入によるナトリウム凍結防止、各種自動起動機器の確認、熱衝撃防止インターロックの確認等、重要な操作、確認を短時間内に処理する必要があるが、これを冷静かつ的確に処理している。シミュレータによる訓練実績のあるトラブルに対しては、全運転員が自信を持っており、冷静な対応を可能にしているものと考えられる。

### (3) 異常の早期発見

外部電源喪失発生時において、自動起動機器が不作動となった事例があるが、多数の警報が発生している状況下において、複合的な異常を早期に発見し、手動操作によって適切な措置を実施した。これは、異常状態に誤操作や他の故障を組合わせたシミュレータ訓練を常日頃から実施している成果であるといえる。

以上のように緊張した異常状況下において適切な運転を成し得ていることは、運転員の弛まぬ努力の成果であり、シミュレータ訓練の効果も大きく寄与しているといえる。

なお、本格的シミュレータ訓練を開始して以来、ヒューマンエラーに起因する計画外原子炉停止は一件も発生していない。

## 7. 結 言

シミュレータ訓練を開始して約3年半が経過し、訓練内容が一層高度化しつつある現状を見ると、運転員の技術の向上が着実に図られているといえる。シミュレータ訓練は、今後とも運転員教育訓練の中核として重要な位置付けをなすものであり、訓練の高度化や多様化に対応してシミュレータ機能の向上を図って行く必要がある。

また、近年ヒューマンエラーを如何にして減少させるかが話題となっており、認知行動等の研究が活発に行われている。これらの最新の情報を導入し、訓練手法の改善を図ることも重要であるといえる。更に、TMIやチェルノブイリ原発事故を背景として、より苛酷な異常に対する訓練も必要といわれており、その訓練シナリオの検討と異常時運転マニュアルの整備を進め、より充実した訓練体系の確立を目指すことが今後の課題であると考えている。