

再処理施設における放射線監視・管理の  
システム開発に関する研究  
— 平成 9 年度報告 —  
( 技術報告 )

1998年9月

核燃料サイクル開発機構  
東 海 事 業 所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33  
核燃料サイクル開発機構 東海事業所  
運営管理部 技術情報室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Information Section,  
Administration Division,  
Tokai Works,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
1998

# 再処理施設における放射線監視・管理のシステム開発に関する研究

## 一 平成9年度報告一

### (技術報告)

実施責任者 石田 順一郎<sup>\*1</sup>

報告者 今熊 義一 江尻 英夫

水庭 春美 秋山 聖光

川崎 位 田中 裕史

米澤 理加 栗俣 智行<sup>\*2</sup>

小沢 友康<sup>\*2</sup> 倉知 保<sup>\*2</sup>

作山 光広<sup>\*2</sup> 橋爪 幸治<sup>\*2</sup>

横田 友和<sup>\*2</sup>

## 概要

再処理施設の工程運転状況に応じた的確な放射線管理上の対応を図るため、蓄積された熟練放射線管理員の対応経験や過去の実績情報（モニタ変動、特殊放射線作業報告書等）を反映した放射線監視・管理支援システムを研究開発する。

本研究は、平成8年度からの国の原子力施設等安全研究年次計画に登録している。平成9年度は、支援システムの構築に係る検討・調査とし、①各種データ収集、②業務分析、③支援システム構築案の検討、④市場調査を実施した結果、各システムについて、以下の成果が得られた。

### (1) 放射線監視支援システムの開発

定置式モニタ及び排気モニタによる放射線監視について、システムとして迅速かつ的確に支援するために必要な知識・経験等のデータを整理・分類した。また、システム構築に必要な作業状況、過去の履歴、放射線管理員の基本行動等の項目を抽出することによって、具体的な推論方法について案を整理することができた。

### (2) 放射線作業管理対応支援システムの開発

放射線作業計画時における「線量当量の推定」の助言・指導業務の全体像を明確化し、システム構築に必要な作業場所の線量当量率・作業時間等の情報項目の抽出・システム化の概念設計を行った。また、抽出した項目について熟練者の知識・経験データを収集し、作業内容・作業場所等の項目で分類した。

---

安全管理部 放射線安全課

\* 1 放射線安全課長

\* 2 検査開発株式会社

## 目 次

1. はじめに	1
2. データ収集	2
2. 1 定置式モニタ監視業務	2
2. 2 排気モニタ監視業務	2
2. 3 放射線作業管理対応業務	2
3. 業務分析	5
3. 1 定置式モニタ監視業務	5
3. 1. 1 定置式モニタ指示値変動モデル	5
3. 1. 2 定置式モニタ監視業務課題分析	6
3. 2 排気モニタ監視業務	16
3. 2. 1 排気モニタ指示値変動モデル	16
3. 2. 2 排気モニタ指示値監視業務課題分析	16
3. 3 放射線作業管理対応業務	24
3. 3. 1 放射線作業管理対応業務課題分析	25
4. 支援システム構築案の検討	27
4. 1 定置式モニタ監視業務	27
4. 1. 1 定置式モニタ監視業務支援方式	27
4. 1. 2 知識ベース設計	36
4. 1. 3 マンマシンインタフェース	36
4. 2 排気モニタ監視業務	43
4. 2. 1 排気モニタ監視業務支援方式	43
4. 2. 2 知識ベース設計	46
4. 2. 3 マンマシンインタフェース	46
4. 3 放射線作業管理対応業務	50
4. 3. 1 放射線作業管理対応業務支援方式	51
4. 3. 2 知識ベース設計	55
4. 3. 3 マンマシンインタフェース	56
5. 市場調査	59
5. 1 東京電力（株）福島第一原子力発電所 技術部 放射線管理課	59
5. 1. 1 開発目的	59
5. 1. 2 システムの内容	59
5. 1. 3 システムの運用状況	59
5. 1. 4 システムの評価	59
5. 1. 5 参考文献	60
5. 2 原子力発電プラント保守支援エキスパートシステム	61
5. 2. 1 開発目的	61
5. 2. 2 システムの内容	61
5. 2. 3 システムの評価	62
5. 2. 4 参考文献	62
5. 3 列車故障診断エキスパートシステム	63
5. 3. 1 開発目的	63
5. 3. 2 システムの内容	63
5. 3. 3 システムの評価	63
5. 3. 4 参考文献	63

5.4 高速炉プラント運転支援システム	65
5.4.1 開発目的	65
5.4.2 システムの内容	65
5.4.3 知識ベース	65
5.4.4 推論手法	66
5.4.5 システムの評価	66
5.4.6 参考文献	66
5.5 プラント運転リアルタイムエキスパートシステム	67
5.5.1 開発目的	67
5.5.2 システムの内容	67
5.5.3 システムの評価	67
5.5.4 参考文献	67
5.6 净水場制御エキスパートシステム	68
5.6.1 開発目的	68
5.6.2 システムの内容	68
5.6.3 知識ベース	68
5.6.4 推論手法	68
5.6.5 システムの評価	68
5.6.6 参考文献	68
5.7 知識工学応用による系統事故判定・復旧支援システム	70
5.7.1 開発目的	70
5.7.2 システムの内容	70
5.7.3 知識ベース	70
5.7.4 推論手法	71
5.7.5 システムの評価	71
5.7.6 参考文献	71
5.8 原子力発電所給水系診断エキスパートシステム	72
5.8.1 開発目的	72
5.8.2 システムの内容	72
5.8.3 知識ベース	72
5.8.4 推論手法	72
5.8.5 システムの評価	72
5.8.6 参考文献	72
5.9 電力系統運転支援エキスパートシステム	73
5.9.1 開発目的	73
5.9.2 システムの内容	73
5.9.3 知識ベース	73
5.9.4 推論手法	73
5.9.5 システムの評価	74
5.9.6 参考文献	74
5.10 净水場水運用エキスパートシステム	75
5.10.1 開発目的	75
5.10.2 システムの内容	75
5.10.3 知識ベース	75
5.10.4 推論手法	76
5.10.5 システムの評価	76
5.10.6 参考文献	76

6. 今後の開発計画	77
6.1 作業項目	77
6.1.1 概念設計	77
6.1.2 試作システム設計製作及び検証	77
6.1.3 報告	77
6.2 システム概略構成	77

## 図表リスト

## &lt;図リスト&gt;

図- 1	モニタ指示値変動記録	3
図- 2	クリプトン放出パターン（BWR）（島根1号炉-154）	4
図- 3	定置式モニタ指示値変動時の概略対応手順	11
図- 4	定置式エリアモニタ指示値変動モデル	11
図- 5	定置式ダストモニタ指示値変動モデル	12
図- 6	$\beta$ ダストモニタ故障時の指示値変動事例（指示値のふらつき大）	13
図- 7	Puダストモニタ故障時の指示値変動事例（指示値の急激な上昇、下降）	13
図- 8	$\gamma$ 線エリアモニタ故障時の指示値変動事例（指示値のふらつき大）	14
図- 9	外部要因（同室内でのシーラー作業による影響）によるPuダストモニタ指示値変動事例	14
図-10	外部要因（高周波ノイズ）による $\gamma$ 線エリアモニタ指示値変動事例	15
図-11	外部要因（溶接作業）による $\gamma$ 線エリアモニタ指示値変動事例	15
図-12	排気モニタ指示値上昇・変動時の概略対応手順	20
図-13	排気モニタ指示値変動モデル	20
図-14.1	主排気筒モニタ指示値変動例（工程運転中の主排気筒からのKr-85放出）	21
図-14.2	主排気筒モニタ指示値変動例（工程運転中の主排気筒からのKr-85放出）	21
図-15.1	再処理施設における排気系統と排気モニタの位置	22
図-15.2	再処理施設における排気系統と排気モニタの位置	23
図-16	放射線作業管理対応業務フローの概略	24
図-17	定置式モニタ監視支援システム	37
図-18	熱交換プロセス例	38
図-19	因果ネットワークモデル例	38
図-20	因果ネットワーク定義例	39
図-21	放射性溶液送水作業	40
図-22	ペトリネット定義例	40
図-23	物流作業ペトリネット定義例	41
図-24	定置式モニタ異常検知画面例	42
図-25	作業進捗管理画面例	42
図-26	排気モニタ監視支援システム	47
図-27	排気変化パターン変換規則例	48
図-28	排気変動パターン生成	48
図-29	排気モニタ監視画面例	49
図-30	放射線作業管理対応支援システム機能構成	57
図-31	作業対象機器配置	52
図-32	線量当量推定支援画面例	58
図-33	作業実績情報登録画面例	58
図-34	仮説検定処理の例	61
図-35	AND-ORグラフによる知識ベース	64
図-36	知識ベース構成単位	66
図-37	知識ベース	70
図-38	知識表現例	75
図-39	放射線監視・管理支援システム構成例	79

## &lt;表リスト&gt;

表－1	線量当量推定対象項目・参照情報一覧	2 6
表－2	参照情報検索条件	5 4
表－3	放射線監視・管理支援システム開発計画	8 0

## &lt;別添リスト&gt;

別添－1	平成9年度研究開発等実施計画書／成果報告書	8 1
別添－2	平成9年度安全研究成果調査票（原子炉施設等）	8 6
別添－3	契約に基づく三菱電機株式会社による成果報告会用資料	9 6

## 1. はじめに

放射線監視・管理支援システム（以下、「支援システム」という。）の開発に当たり、平成9年度はその2年目として、データ収集・概念設計を実施した。平成9年度の実施計画書／成果報告書を別添－1に、安全研究成果調査票（原子力施設等）を別添－2に示す。

### (1) データ収集

支援システムの概念設計に必要となる各種情報の整理・分類及び熟練放射線管理員（以下、「熟練放管員」という。）の知識・経験の収集・分類を実施した。

### (2) 概念設計

支援システムの構築に係る検討・調査として発注し、三菱電機株式会社（以下、「三菱」という。）と契約した。実施項目は、以下の4項目である。

#### ① 業務分析

現状の業務内容の確認及び問題点の抽出。

#### ② 支援システム構築案の検討

業務分析結果をもとにした支援方式の検討。

#### ③ 市場調査

様々な分野で開発されている反映可能な各種支援システムの概要調査。

#### ④ 今後の開発計画

支援システム完成までのスケジュール及びシステム概略構成の検討。

実施期間は、10月から2月末であり、実施項目に対する報告会を2月末に開催した。発表内容の概略を別添－3に示す。

## 2. データ収集

### 2.1 定置式モニタ監視業務

本システムの要因推定に不可欠となる定置式モニタの変動履歴および確認項目等について情報の収集を行った。以下にその内容を示す。

#### (1) 定置式モニタの変動履歴

過去2年間のモニタ指示値変動履歴および要因を調査し、放射線異常、工程運転作業、特殊放射線作業（以下、「特作」という。）及びその他の項目に分類した。

図-1にデータベース化した内容例を示す。

#### (2) 変動要因の推定に係る項目等の調査・確認

モニタ変動時に不可欠となる項目として、①放管員の基本行動②作業状況③作業箇所とモニタの配置④建屋の空気流線⑤過去の変動パターンを調査・収集した。

### 2.2 排気モニタ監視業務

排気モニタに関しては、施設の作業工程によって大きく変動が観測されるクリプトンモニタを対象に、過去のBWR、PWR、ATR燃料の剪断・溶解時の作業状況及び変動パターンを収集した。図-2にその調査例を示す。

### 2.3 放射線作業管理対応業務

特作の立会い時に収集している放射線状況等の情報をより効果的に収集する及び次回作業計画への反映をより容易にするために立会い記録シートを整備した。

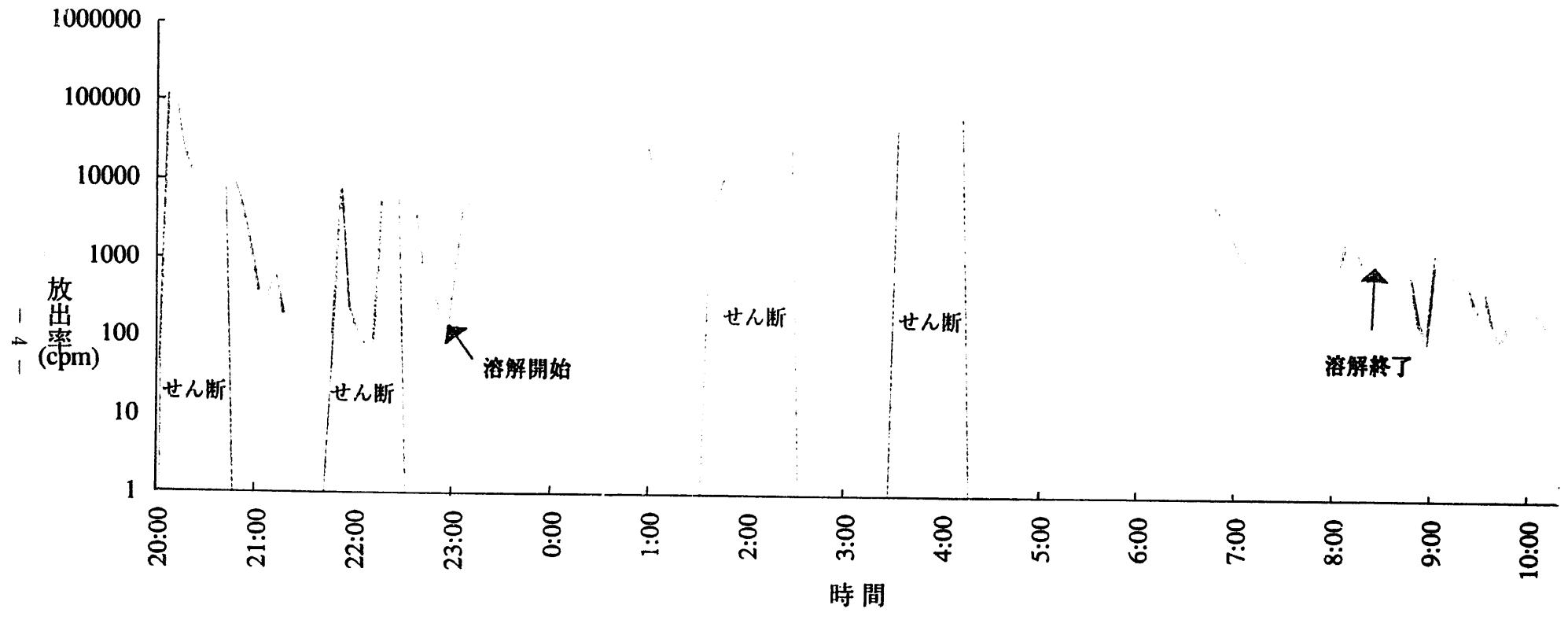
本シートをもとに、過去2年分の作業報告書の中から①減衰率、②安全係数、③ $\alpha/\beta$ 比、④再浮遊（移行）係数を課、ユニット、作業名等で分類し、収集した。本シート整備後の作業については、放射線状況等の情報を作業立会い時に収集・整理し、本シートを使用して報告している。

収集した各種情報は、次年度以降に分析し、傾向をまとめる予定である。

## 図1 モニタ指示値変動記録

(単位: c p m)

年月日	建屋・部屋	モニタ番号	作業内容	変動開始	変動終了	通常値	最大値値	関連モニタ
97/02/05	MP A343	γ - 47	気送作業	10 : 20	10 : 25	160	220	γ - 28
97/02/05	CB G104	γ - 6	気送作業	10 : 25	10 : 26	180	280	なし
97/02/05	MP G1124	γ - 15	燃料移動作業	11 : 05	11 : 45	160	300	なし
97/02/05	MP A356	γ - 25	特作(物品搬入作業)	13 : 25	13 : 55	550	800	なし
97/02/05	MP A046	γ - 25	271V140送液作業	13 : 25	13 : 55	200	460	なし
97/02/05	MP G146	β 4 - 1	扉開閉作業(Rn-Tnの影響)	13 : 55	15 : 25	25	80	なし
97/02/05	MP G146	β 4 - 1	扉開閉作業(Rn-Tnの影響)	13 : 55	15 : 25	28	85	なし
97/02/05	AAF A142	β 3 - 2	換気制御運転(Rn-Tnの影響)	14 : 07	16 : 20	48	65	なし
97/02/05	MP A043	γ - 1	マンスリーサンプリング	14 : 27	16 : 10	80	700	n - 1
97/02/05	MP A043	n - 1	マンスリーサンプリング	14 : 27	16 : 10	40	65	γ - 1
97/02/05	MP A021	n - 2	マンスリーサンプリング	14 : 27	16 : 10	20	80	γ - 1
97/02/05	MP A041	n - 3	マンスリーサンプリング	14 : 27	16 : 10	80	120	γ - 1



### 3. 業務分析

#### 3.1 定置式モニタ監視業務

定置式モニタ監視支援システムの機能を設計するために、定置式モニタ指示値の変動を発見した場合の放射線管理員（以下、「放管員」という。）の対応を分析し、その課題点を抽出した。分析は、図-3の定置式モニタ指示値変動時の概略対応手順をもとに実施した。

##### 3.1.1 定置式モニタ指示値変動モデル

定置式モニタ指示値の変動要因推定をシステム化するには、考えられるあらゆる要因を明らかにする必要がある。網羅的に変動要因を挙げるには、系統的に分析する必要がある。そこで、定置式モニタ指示値の変動が発生するメカニズムをモデル化することを試みた。

定置式モニタには、 $\gamma$ 線、中性子線を検出するエリアモニタと $\alpha$ 線、 $\beta$ （ $\gamma$ ）線を検出するダストモニタに大別できる。エリアモニタは、作業区域内の線量当量率を検出するため線源とモニタの遮へい状態の影響を受ける。一方、ダストモニタの場合、観測すべき放射線源は、ダストモニタサンプリングヘッドから吸入された空気中のダストの放射能であるためエリアモニタと異なり放射能を遮へいするものはないが、ダストモニタユニットに放射線源が近づくとユニット内の検出器が直接その放射線を感知し、空気中に放射能を帯びたダストがなくても指示値が変動する場合がある。

以上の定置式モニタの指示値に直接変動をもたらす要因を分析すると以下の4項目が挙げられる。

- ① モニタ動作機構の故障
- ② 線源の発生・変動

線源には、再処理対象物以外の線源（外気に含まれるラドン・トロン等）も含める。

- ③ 線源とモニタ間の遮へい状態の変動
- ④ モニタ内部の検出部・動作機構に対するノイズ  
モニタ対象外の放射線源、工事、高周波ノイズ等

②～④をもたらす要因として再処理工程・作業・工事等の作業要因と、放射線漏れ等の想定外要因が挙げられる。

この4つの要因の関係と定置式モニタの関係を定置式モニタ指示値変動モデルと呼ぶ。図-4にエリアモニタ、図-5にダストモニタの指示値変動モデルを示す。なお、定置式モニタ指示値変動モデルは、「再処理工程運転等に伴う定置式モニタへの影響とその原因について」を参考に定義した。以下にその例を示す。

②のケース :  $\gamma - 1$  (MP A0110) の変動要因

引用) HZキャスクの除染・移動及びキャスク冷却水交換に伴いホース類の線量上昇とフロアドレン等の線量上昇によって変動する。

線源変動は「ホース類線量上昇」、「フロアドレン線量上昇」、「燃料架台線量上昇」であり、これらをもたらした作業要因は「HZキャスクの除染」、「HZキャスクの移動」、「キャスク冷却水交換」となる。

③のケース :  $\gamma - 6 / 7$  (MP A046) の変動要因

引用) U217V140 (中間貯槽) には、キャスク除染水、サンドフィルタ逆洗浄水等が一時貯蔵されており、液面が60% ~ 80%になると分析し、AAF U312 V10, 11へ送液する。U217V140の底部には高線量のスラッジが溜まっており、送液によって水による遮へい効果が低下し、線量上昇によってモニタが上昇する。

線源は「U217V140の底部の高線量スラッジ」、遮へい変動は、「キャスク除染水減少による遮へい効果低下」、「サンドフィルタ逆洗浄水減少による遮へい効果低下」、作業要因は「キャスク除染水、サンドフィルタ逆洗浄水のAAF U312V10, 11への送液」となる。

④のケース :  $\beta$ ユニット (MP A046) の変動要因

引用) U217V140 (中間貯槽) からU312V10, 11への送液に伴い、V140の底部に沈降していたスラッジが送液による遮へい効果の低下によって、線量が上昇して影響する。

ノイズ源は「キャスク除染水減少による遮へい効果低下」、作業要因は「U312V10, 11への送液」となる。

### 3.1.2 定置式モニタ監視業務課題分析

定置式モニタ監視業務フローで抽出した各業務における課題を定置式モニタ指示値変動モデルに基づき分析した。

#### (1) 定置式モニタ指示値変動識別

再処理工場に多数配置されているモニタ指示値を監視し、通常値からの変動を識別する。変動の識別は、設定レベルを超えた場合の警報発信による確認と警報発信に至らぬ記録紙による目視確認の2通りが行われる。

参考としてモニタ故障時の指示値変動例を図-6~8に示す。また、モニタ動作機構に対するノイズの影響結果の例を図-9~11に示す。

#### (問題点)

定置式モニタ指示値変動を識別するに当たり、以下の課題が挙げられる。

- ・監視モニタ数が多いため、警報発信に至らぬ場合の変動を漏れなく監視することは難しい。
- ・放射線監視では、単に定められた管理目標値を超えていないことを監視するだけでなく、平常運転時における変動幅に基づいた監視も必要とされる。変動幅はモニタによって異なり、モニタ数も多いため、これを正確に記憶することは難しい。

- ・モニタ指示値の異常変動には、平常運転時の変動幅内での揺らぎ変動のような確認の難しい変動がある。
- ・経験を積んだ熟練放管員は、変動状況を熟知しているため、通常時と故障時の違いを見極められるが、初級放管員は気づかないことがある。
- ・予定されている工程・作業は、工程遅れ等で予定どおりに実施されない場合がある。予定変更が常に予め連絡されるわけではないので、モニタ指示値変動が予定どおり現れなければ、その都度、関連場所に事情を確認する。

## (2) 要因関連情報の収集

モニタ指示値変動時に収集する情報と情報収集に伴う課題を検討する。

### ① モニタ動作機構故障

#### (収集情報)

当該モニタの故障を弁別するための以下の関連情報を収集する。

- ・当該モニタ指示値、変動状況
- ・当該モニタ位置
- ・(ダストモニタの場合)ダスト吸引位置、モニタユニット位置
- ・近傍モニタ指示値の変動状況
- ・当該モニタに対する保守作業等の実施状況
- ・故障モニタの変動パターン

#### (問題点)

当該モニタの故障を弁別するための関連情報収集に伴う課題としては、以下のとおりである。

- ・経験を積んだ熟練放管員は、モニタ配置関係を熟知しているため近傍モニタ指示値の確認を直ちに行えるが、初級放管員は、「モニタ配置図」等の資料から確認すべき近傍モニタを調べるため手間と時間が多くかかる。
- ・当該モニタの保守作業状況についても、熟練放管員は、確認すべき連絡先を知っているが、初級放管員は、連絡先を調べてから確認するため熟練放管員に比べて時間が多くかかる。
- ・経験を積んだ熟練放管員は、変動状況を熟知しているため通常時と故障時の違いを見極められるが、初級放管員は、「モニタの故障とその原因」等の資料から調べるため、その分時間がかかる。

### ② 線源変動

#### (収集情報)

線源変動の有無を確認するために以下の関連情報を現場の作業担当課に電話等で収集する。

- ・再処理工程・作業進行状況、場所
- ・線源の種類
- ・線源の場所
- ・工程・作業に関連する機器の配置、気送配管・送水配管等の経路
- ・工程・作業の影響が及ぶ範囲

・再処理対象の線源以外の線源有無可能性（自然放射性核種等）

(問題点)

熟練放管員は、過去の経験や知識から当該モニタに影響する可能性のある再処理工程・作業等の関連情報を迅速に確認できるが、初級放管員は、集めるべき情報を「定置式モニタの変動状況とその要因」等の資料から調べるため手間と時間がかかる。

③ 線源とモニタ間の遮へい

(収集情報)

遮へい状況変動の有無を確認するために以下の関連情報を現場の作業担当課に電話で収集する。

- ・再処理工程・作業状況、場所
- ・線源の場所

(問題点)

熟練放管員は、過去の経験や知識から当該モニタの変動に影響する遮へい情報を迅速に確認できるが、初級放管員は、当該モニタに影響する再処理工程・作業等を「定置式モニタの変動状況とその要因」等の資料から調べるため手間と時間がかかる。

④ モニタ動作機構に対するノイズ

(収集情報)

モニタが影響を受ける可能性のあるノイズ発生源の有無を確認するために以下の関連情報を現場の作業担当課に電話等で収集する。

- ・特殊作業状況（溶接、建物補修等）
- ・気象（高周波ノイズ、地震等）
- ・再処理工程・作業進捗状況、場所

(問題点)

熟練放管員は、過去の経験や知識から当該モニタの変動に影響するノイズ源を迅速に確認できるが、初級放管員は、当該モニタに影響する可能性のあるノイズ源を「定置式モニタの変動状況とその要因」等の資料から調べるため手間と時間がかかる。

(3) 指示値変動要因の判定

前項で収集した情報をもとに、指示値変動要因を判定する。

① モニタ動作機構故障、モニタ動作機構に対するノイズによる変動要因

定置式モニタ動作機能の故障、あるいはノイズと判断できる場合は、以下のモニタ指示値変動の原因が考えられる。

- ・モニタ指示値、その変動が放射線の計測値としては自然では発生しない：モニタ故障とモニタ動作機構に対するノイズの可能性がある。
- ・近傍モニタ指示値に変動が現れていない：モニタの故障の可能性が高いが、その他の要因もありえる。
- ・モニタ保守が実施されている：モニタ保守の内容がモニタ変化と合致するならば、直ちにモニタ保守が要

因と判断する。モニタ保守の内容とモニタ変化が合致しないならば、その他の要因も含めて考える。

- ・モニタが変動するような線源の変動、遮へいの変動が起こる工程・作業が実施されていない：

モニタの故障とその他の要因（放射線漏れ等）が考えられる。

いずれの場合も、モニタの故障以外の可能性も残されているので、モニタ以外の要因の判断も併せて行う。

#### （問題点）

上に挙げたモニタの故障判断に当たっては、以下の課題が挙げられる。

- ・モニタ指示値、その変動が自然現象として発生するかどうかは、「モニタの故障による指示値変動事象」等に基づいたモニタ故障の形態、計測位置での妥当なモニタ指示値変動範囲等をもとに判断しなければならない。この判断には、多くのモニタ故障変動状況、正常なモニタ指示値変動範囲、変化率等の多くの知見が必要となる。
- ・モニタ動作機構に対するノイズ発生源は多様である。したがって、ノイズ発生源とその影響についての知見・経験の豊富さが判断に依存する。
- ・近傍モニタ指示値の変動の有無による故障判定では、検知されたモニタの変動から起り得る近傍モニタ指示値変動を予測する技術が必要である。変動要因の推定結果に基づく詳細な隣接モニタの挙動判定は、次節で検討する「線源変動による変動要因」の原因候補の確認判断で行うため、ここでは、単純な近傍モニタ値の変動を確認する。これには、モニタ間の位置関係、設置場所の構造等の知識が必要となる。
- ・モニタ保守が実施されている場合の判定では、モニタ保守内容からどのようなモニタ指示値変動が起り得るか熟知しておく必要がある。

#### ② 線源変動・遮へい効果変動に起因する要因分析

モニタ指示値の変動として、線源変動あるいは遮へい効果変動によるものと判断する場合は、以下の作業が必要となる。

- ・線源変動に関連して収集した情報から原因候補を推定する判断
- ・推定した原因候補が正しい結論かを確認するための判断・確認作業

#### （問題点）

線源変動・遮へい効果変動がモニタ指示値の変動要因として結論するための以下の課題が考えられる。

- ・原因候補想起の難しさ：

熟練放管員は、線源変動・遮へい効果変動とその結果の関連を熟知しているため発生したモニタ指示値変動に結びつく線源変動を容易に想定できるが、初級放管員は、「定置式モニタの変動状況とその要因」等の資料を調べて原因候補と考えられる線源変動を絞り込むため手間と時間がかかる。特に、再処理工程と直接関連のない外気の流入（自然放射性核種）によるモニタ影響等を漏らさず考慮することは難しい。

- ・再処理工程・作業進捗確認の難しさ：

放管員によるモニタ監視の特徴として、運転員からの電話報告、あるいは必要に応じて運転員への電話連絡によって作業状況を確認することが挙げられる。運転員からの作業開始・終了の電話連絡は、あらゆる作業が報告されるわけではなく、作業終了の報告がされない場合もある。状況に応じて、作業開始・終了連絡どおりに作業が実施されない場合もある。実際に行われている作業状況と放管員が把握している作業状況に食い違いが発生することによる状況の誤認識が発生する。例えば、放射線の変動が予想される作業の開始が報告されたが、作業されていない場合、放管員は、予想した変動が発生しないためモニタ故障の可能性を調査する必要がある。並行して行われる作業状況を開始されているか終了しているかも含めすべて把握することは難しい。

- ・関連現象想起の難しさ：

熟練放管員は、線源変動とその結果の関連を熟知しているため候補として挙げた原因候補と考えられる線源変動から予想される他の影響を容易に想起できるが、初級放管員には難しい場合がある。

- ・関連現象確認対応の難しさ：

モニタ指示値変動要因である線源変動・遮へい効果変動は千差万別である。したがって、その結果起こり得る関連現象も多様である。線源変動の規模、モニタとの位置関係等によって、同種の線源変動でも観測される現象は異なる場合がある。このように多様な現象から原因を絞り込むには、当該モニタ、関連モニタの現地調査、作業内容の確認等の原因判定が必要となる。このような原因を絞り込むための対応策を安全に素早く確実に行うには、熟練した技術が必要である。

#### (4) 判定結果に基づく対応作業

定置式モニタ指示値変動時の対応は、指示値が警報設定値を超えていることを確認した場合と、一時的な変動の場合とに大別できる。指示値が警報設定値を超えていること（警報が吹鳴した場合）を確認した場合は、まず、当該エリアから作業者を退避させた上で、現状分析・対策を行う。

対応作業については、個々のモニタごと、発生している事象ごとに定められたマニュアルに従って対応作業を実施する。

#### （問題点）

経験を積んだ熟練放管員は、対応すべき作業を熟知しており、迅速に対応できるが、初級放管員は、多くの作業対応マニュアルの中から当該モニタに合致したものを探し出し対応するため作業開始までに多くの時間がかかっている。

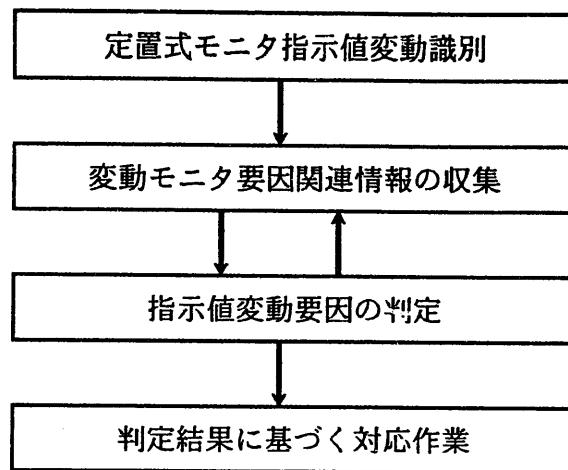


図-3 定置式モニタ指示値変動時の概略対応手順

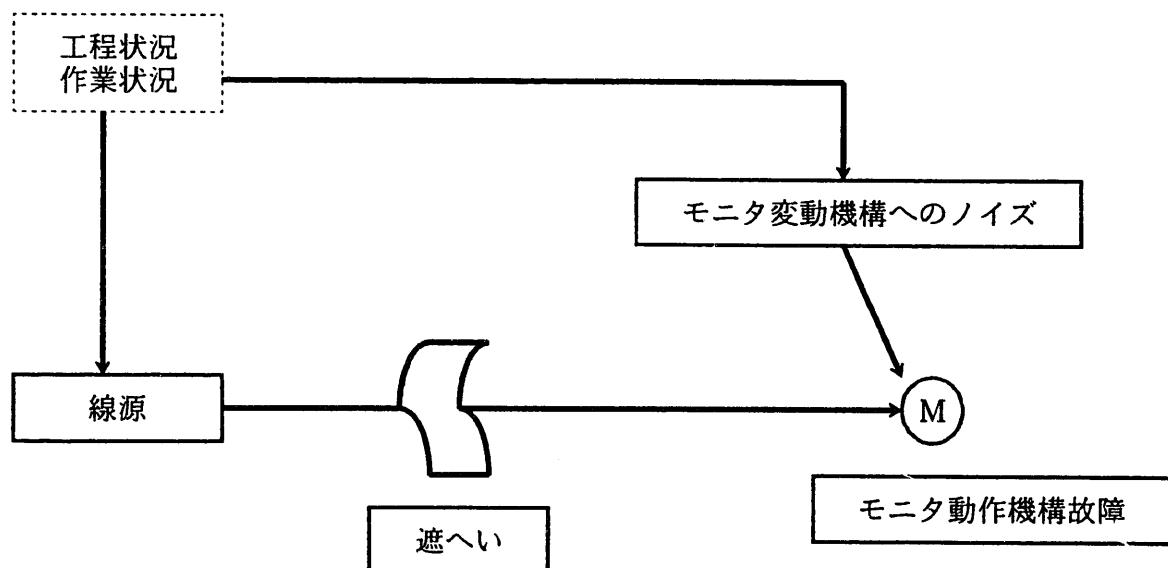


図-4 定置式エリアモニタ指示値変動モデル

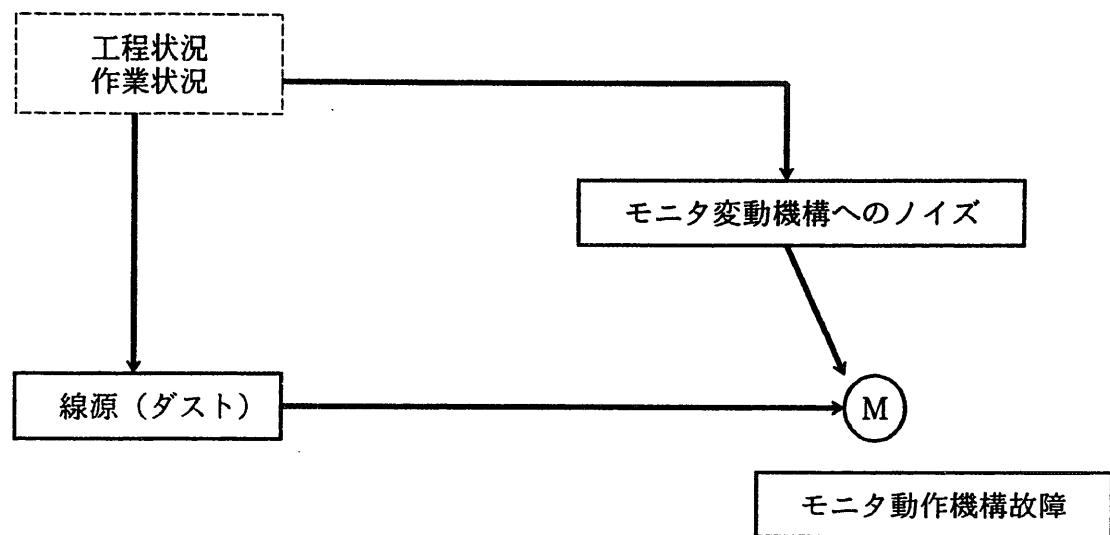


図-5 定置式ダストモニタ指示値変動モデル

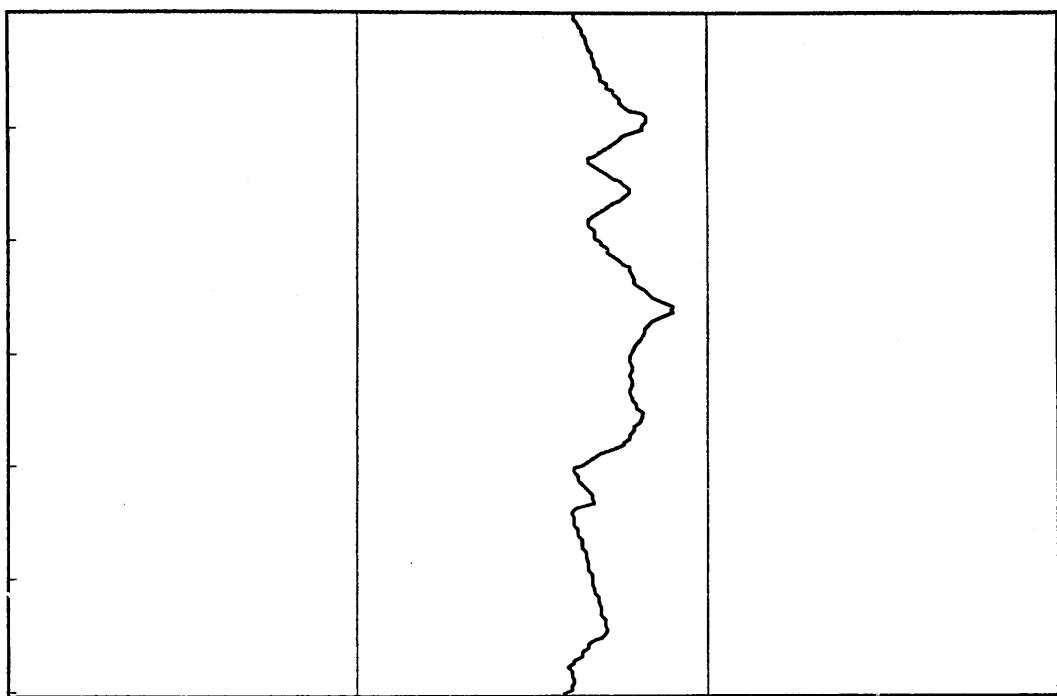


図-6  $\beta$ ダストモニタ故障時の指示値変動事例（指示値のふらつき大）

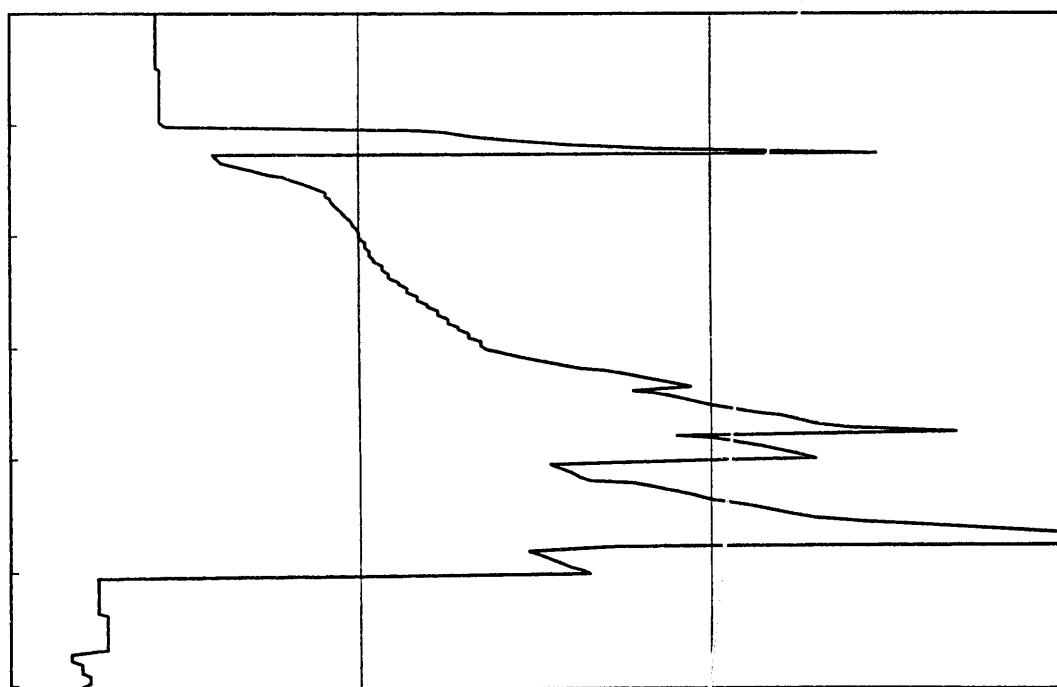


図-7 Puダストモニタ故障時の指示値変動事例（指示値の急激な上昇、下降）

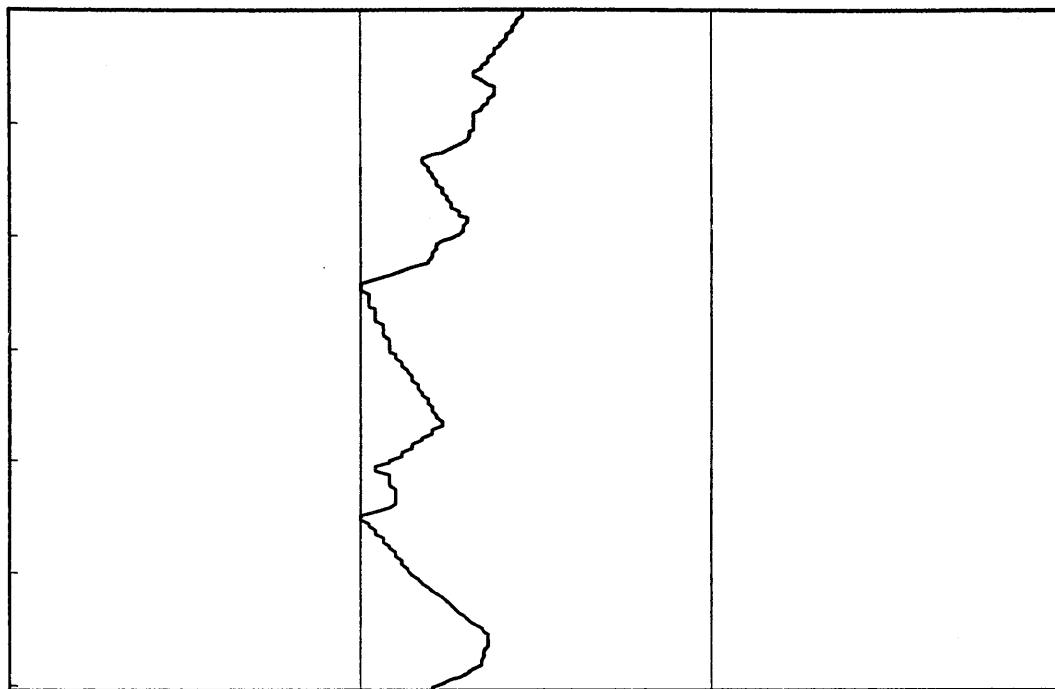


図-8  $\gamma$ 線エリアモニタ故障時の指示値変動事例（指示値のふらつき大）

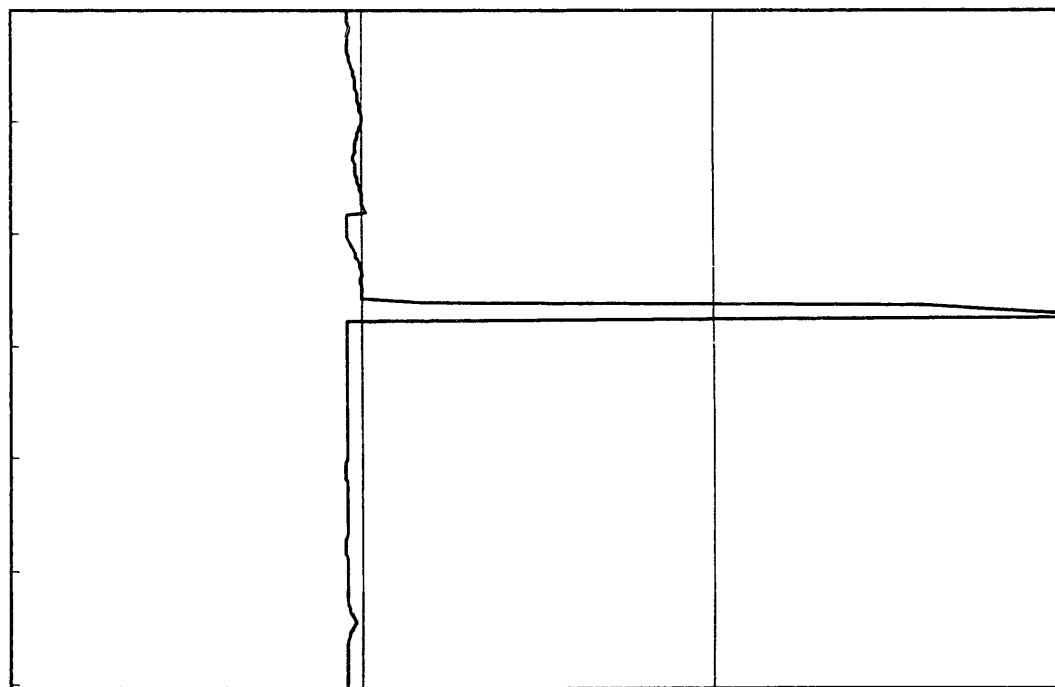


図-9 外部要因（同室内でのシーラー作業による影響）によるPuガストモニタ指示値変動事例

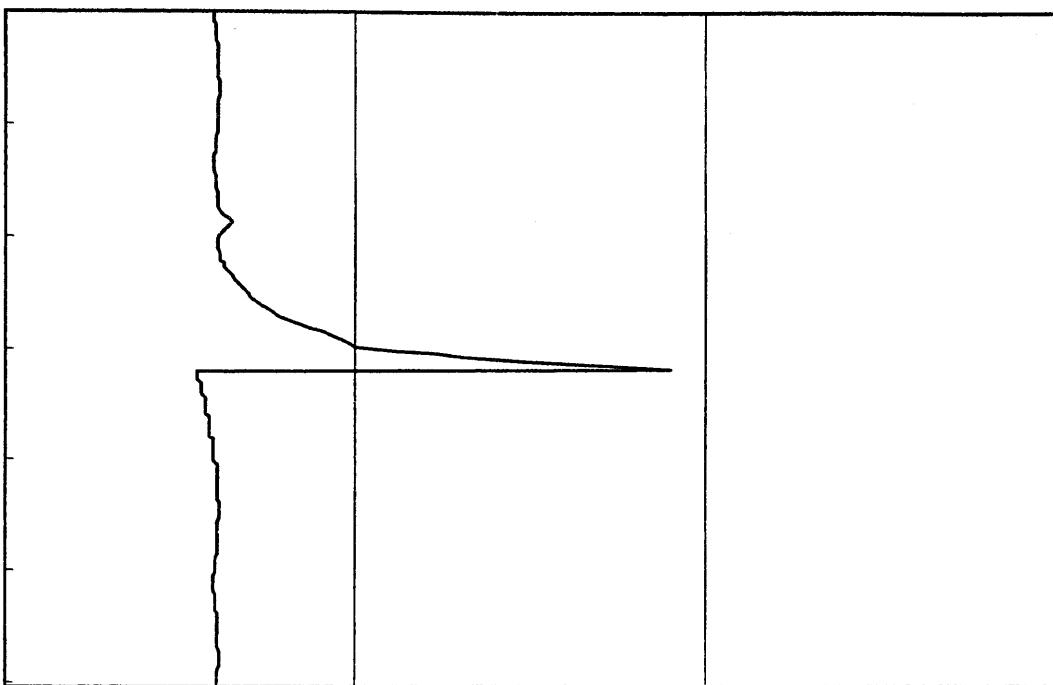


図-10 外部要因（高周波ノイズ）による $\gamma$ 線エリアモニタ指示値変動事例

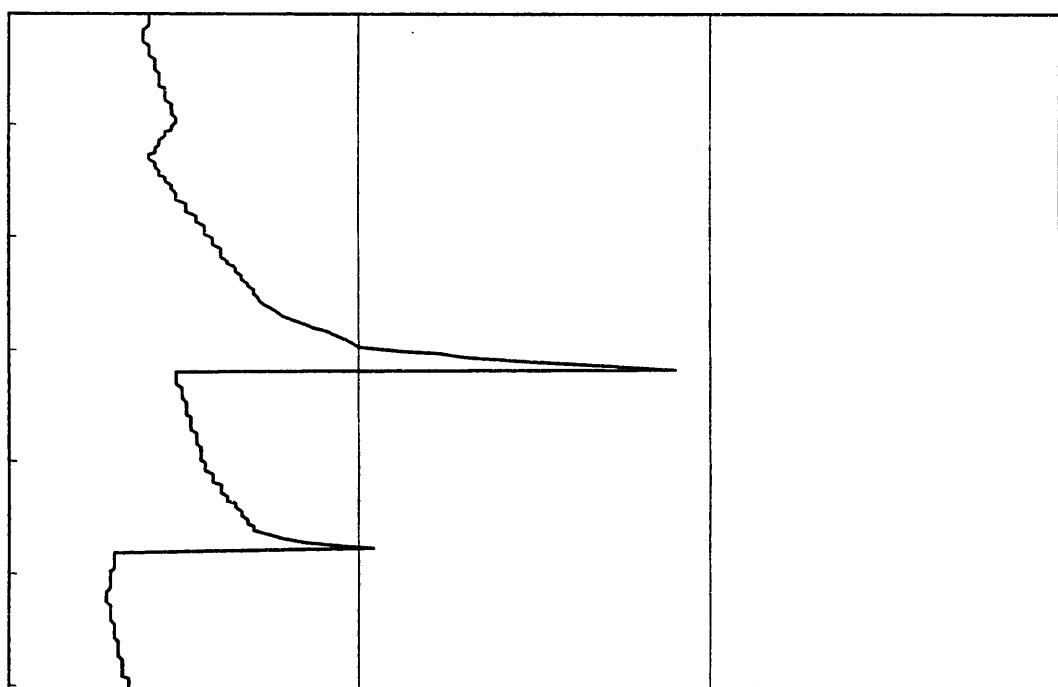


図-11 外部要因（溶接作業）による $\gamma$ 線エリアモニタ指示値変動事例

### 3.2 排気モニタ監視業務

現状の排気モニタ監視業務を分析し、排気モニタ指示値の変動状況監視に関連した問題点を確認した。分析は、図-12の排気モニタ指示値の上昇・変動時の概略対応手順をもとに実施した。

#### 3.2.1 排気モニタ指示値変動モデル

排気モニタ指示値の変動モデルを基本として、排気モニタの指示値に影響を及ぼす要因としては、以下の4つを抽出した。

- ・モニタ自身の故障
- ・線源
- ・工程上の放出制御
- ・モニタ動作機構に対する外部影響（工事、高周波ノイズ等）

この4つの要因の関係と排気モニタの関係を排気モニタ指示値変動モデルと呼び、図-13に示す。

#### 3.2.2 排気モニタ指示値監視業務課題分析

排気モニタ監視業務フローで抽出した各業務における課題を排気モニタ指示値変動モデルに基づき分析した。

##### (1) 排気モニタ指示値変動識別

排気モニタ指示値を監視し、状態変化を識別する。ここでは、モニタ指示値の変化の兆候のみの検知であり、それが正常か異常かの判定は、指示値変動要因の判断で行う。

排気モニタ指示値変動例を図-14.1～14.2に示す。

##### (問題点)

- ・排気モニタ指示値は、図-14.1～14.2に示すように複雑に変動する。変動傾向から状況が変化したことを識別するには、豊富な過去の経験や知識が必要である。
- ・再処理工程の中には10時間を超えるものがあり、かつ、その間のモニタ指示値の変化も緩やかなものもあるため、モニタ指示値変動の早期検知が難しい場合がある。
- ・予定されている工程・作業は、工程遅れ等で予定どおりに実施されない場合がある。予定変更が常に予め連絡されるわけではないので、モニタ指示値変動が予定どおり現れなければ、その都度、関連場所に事情を確認する。

##### (2) 要因関連情報の収集

排気モニタ指示値変動モデルを前提として、モニタ指示値変動時に収集する情報と収集に伴う課題を検討した。

###### ① モニタ動作機構故障

###### (収集情報)

- ・当該モニタ指示値
- ・当該モニタ配置位置

- ・当該モニタに対する保守作業等の実施状況

(問題点)

熟練放管員は、当該モニタの保守作業状況を確認すべき連絡先を瞬時に判断できるが、初級放管員は、瞬時に判断できないため、熟練放管員に比べて時間がかかる。

② 線源

(収集情報)

線源変動の有無を確認するために以下の関連情報を現場の作業担当課に電話等で連絡する。

- ・再処理工程状況
- ・作業状況

(問題点)

熟練放管員は、過去の経験や知識から当該モニタに影響する再処理工程・作業等の確認を迅速に行えるが、初級放管員は、当該モニタに影響する再処理工程・作業等を調べるため手間と時間がかかる。

③ 工程上の放出制御

(収集情報)

天候、排気予定量等、規則に従った放出制御を運転員が実施したかを確認する。

(問題点)

特になし。

④ モニタ動作機構に対するノイズ

(収集情報)

モニタが影響を受ける可能性のあるノイズ発生源の有無を確認するための関連情報として以下を現場の作業担当課に電話等で収集する。

- ・特殊作業状況（溶接、建物補修等）
- ・気象（高周波ノイズ、地震等）
- ・再処理工程状況

(問題点)

熟練放管員は、過去の経験や知識から当該モニタの変動に影響するノイズ源を迅速に確認できるが、初級放管員は、当該モニタに影響する可能性のあるノイズ源を「定置式モニタの変動状況とその要因」等の資料から調べるため手間と時間がかかる。

(3) 指示値変動要因の判定

前項で収集した情報をもとに、指示値変動要因を判定する。

① モニタ動作機構及びモニタ動作機構に対するノイズによる変動要因

排気モニタ動作機構の故障、あるいはノイズであると判断できる場合は、以下のモニタ指示値変動の原因が考えられる。

- ・モニタ指示値、その変動が放射線の計測値としては自然では発生しない：モニタの故障とモニタ動作機構に対するノイズの可能性がある。

- ・多重化モニタ指示値に変動が現れていない：  
モニタの故障の可能性が高い。
- ・モニタ保守が実施されている：  
モニタ保守の内容がモニタ変化と合致するならば、直ちにモニタ保守が要因と判断する。モニタ保守の内容とモニタ変化が合致しないならば、その他の要因も含めて考える。
- ・モニタが変動するような線源の変動、遮へいの変動が起こる工程・作業が実施されていない：  
モニタの故障とその他の要因（放射線漏れ等）が考えられる。  
モニタが要因であると確定しない場合は、必ず、モニタ以外の要因も併せて判断する。

(問題点)

上に挙げたモニタの故障判断に当たっては、以下の課題が挙げられる。

- ・排気モニタ指示値、その変動が自然現象として発生するかどうかは「モニタの故障による指示値変動事象」等に基づいたモニタ故障の形態、計測位置での妥当なモニタ指示値変動範囲等によって判断しなければならない。この判断には、多くのモニタ故障時変動状況、正常なモニタ指示値変動範囲、変化率等の多くの知見が必要となる。
- ・排気モニタ動作機構に対するノイズには、様々な場合がある。したがって、ノイズ源に関する経験量が判断に寄与する。
- ・多重化されている排気モニタ指示値を忘れずに確認すること。
- ・排気モニタ保守が実施されている場合の判定は、モニタ保守内容からどのようなモニタ指示値変動が起こり得るか予測する必要がある。

② 線源による変動要因

排気モニタ指示値の変動が線源変動によるものと判断する場合は、(a)再処理工程から原因候補を推定する判断と、(b)推定原因候補が正しい結論かを確認する判断が必要となる。

(問題点)

線源変動が排気モニタ指示値の変動要因として結論するにあたっての課題は、以下が考えられる。

- ・原因候補想起の難しさ：

主排気筒モニタ指示値は、図-15.1～15.2の排気系統図に示すように、主排気筒がカバーする再処理工程の影響を受けるため、図-14.1～14.2で示したように複雑に変動する。このような変動パターンが正常かどうかを判断するには、再処理燃料の種類、再処理工程、作業状況から正常に推定することには、豊富な経験、知識が要求される。

熟練放管員は、線源変動とその結果起こり得る排気モニタ指示値の変動傾向の関連を熟知しているため発生した変動に結びつく線源変動要因を容易に想定できるが、初級放管員の場合は、関連資料を調べて原因候補と考えられる線源変動を絞り込むが、排気モニタ指示値の変動パター

ンは多様であるため判断が難しい。

- ・再処理工程・作業進捗確認の難しさ：

定置式モニタと同様、運転員からの電話報告、あるいは必要に応じて運転員への電話連絡によって作業状況を確認することに伴う問題がある。運転員からの作業開始・終了の電話連絡は、あらゆる作業が報告されるわけではなく、作業終了の報告がされない場合もある。状況に応じて、作業開始・終了連絡どおりに作業が実施されない場合もある。実際に行われている作業状況と放管員が把握している作業状況に食い違いが発生することによる状況の誤認識が発生する。例えば、放射線の変動が予想される作業の開始が報告されたが、作業されていない場合、放管員は予想した変動が発生しないため、モニタ故障の可能性を調査する必要がある。並行して実施される作業が開始されているか終了しているかも含めすべて把握することは難しい。

- ・原因候補確認の難しさ：

熟練放管員は、線源変動とその結果起こうり得る排気モニタ指示値の変動傾向の関連を熟知しているため、候補として挙げた原因候補と考えられる線源変動からの影響を容易に確認できるが、初級放管員には難しい場合がある。

### ③ 工程上の放出制御による変動要因

運転員による放出制御が実施されていた場合、その調整操作に応じて指示値が変動していれば当該モニタの変動は妥当であると判定する。

#### (問題点)

工程上の放出制御は、モニタ指示値がバックグラウンド値に急減するので特に判定は難しくないと考えられる。

### ④ 判定結果に基づく対応作業

前項での判定結果に基づき対応する。

対応については、個々のモニタごと、発生している事象ごとにマニュアルが定められており、対応するマニュアルに従って作業する。

#### (問題点)

現在、多くの資料の中から該当するマニュアルを探し出すのに、多くの時間を必要としている。

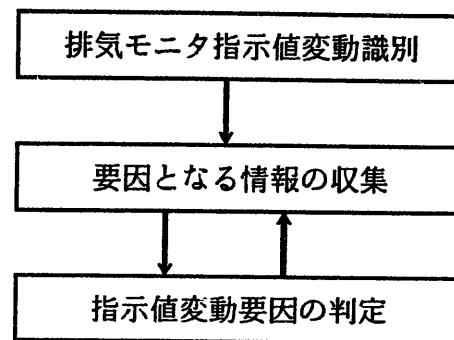


図-12 排気モニタ指示値上昇・変動時の概略対応手順

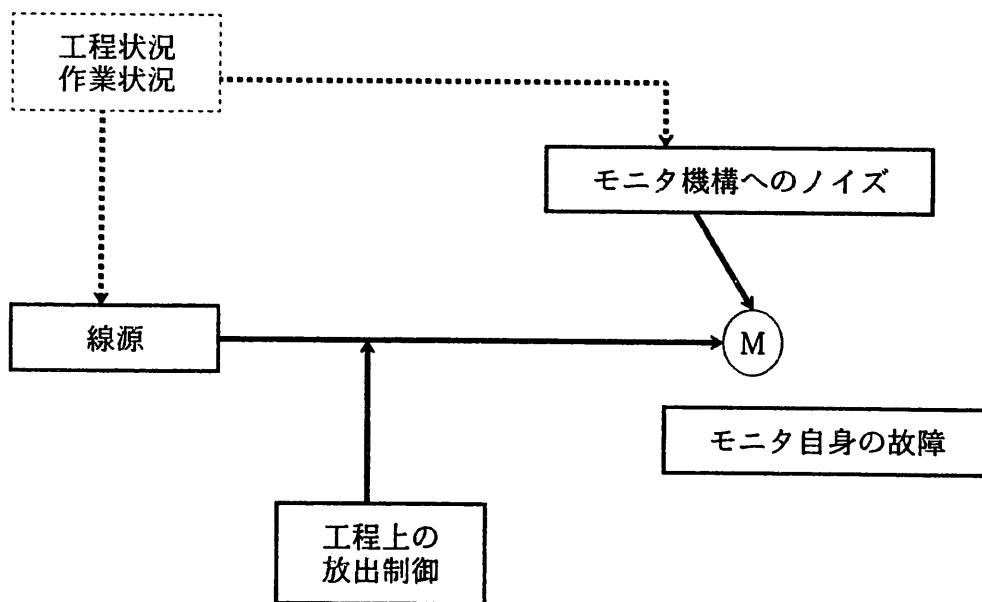


図-13 排気モニタ指示値変動モデル

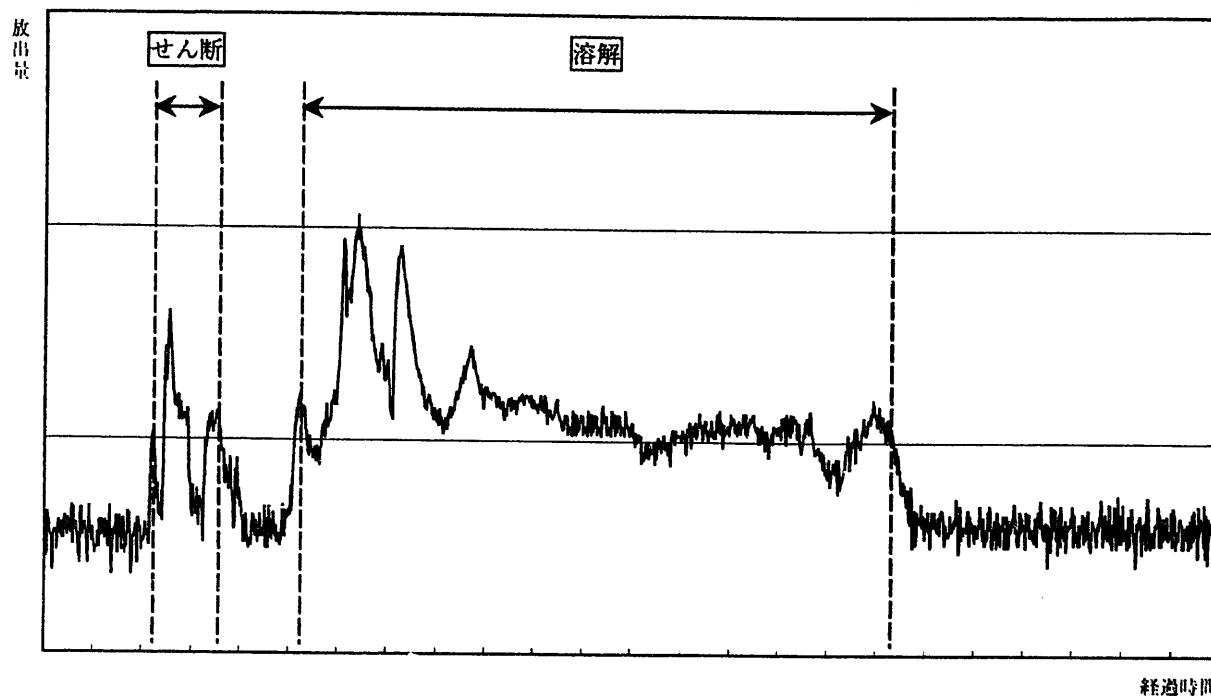


図-14.1 主排気筒モニタ指示値変動例（工程運転中の主排気筒からのKr-85 放出）

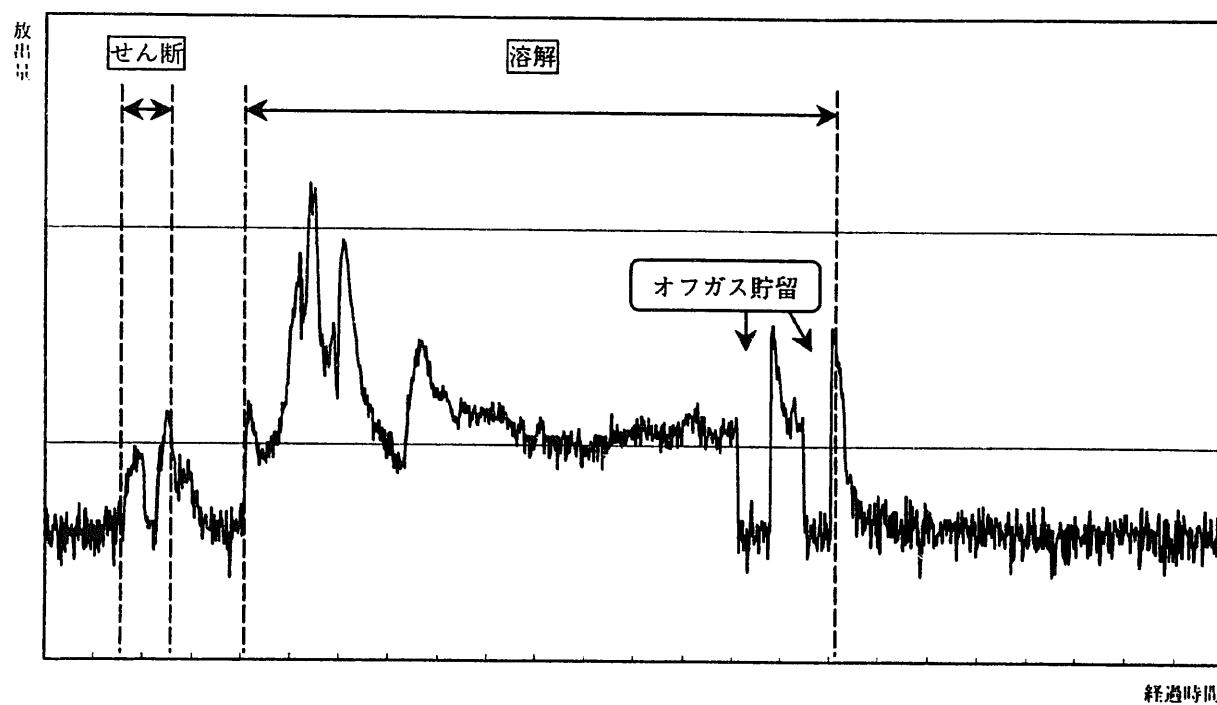


図-14.2 主排気筒モニタ指示値変動例（工程運転中の主排気筒からのKr-85 放出）

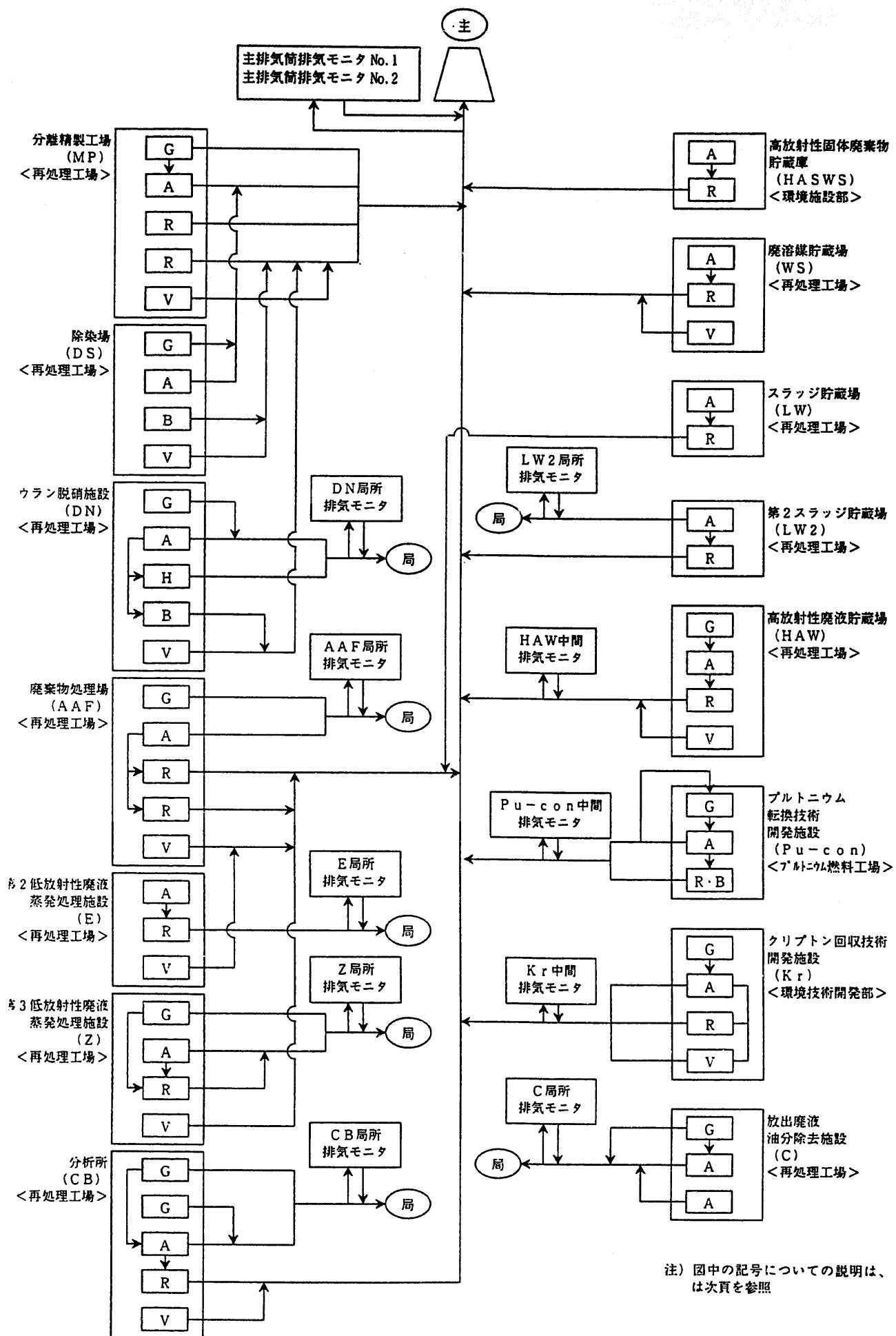


図-15. 1 再処理施設における排気系統と排気モニタの位置

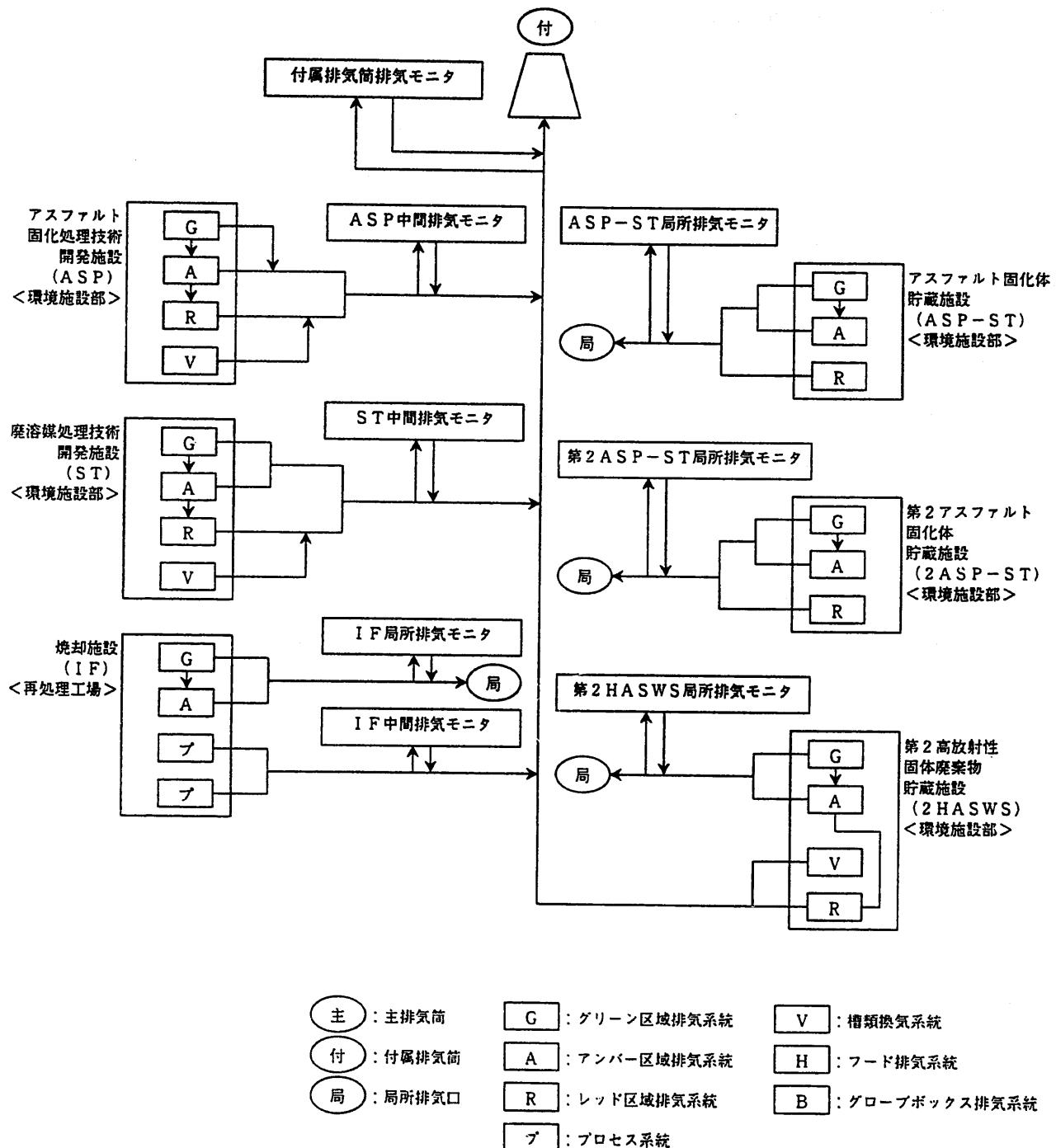


図-15. 2 再処理施設における排気系統と排気モニタの位置

### 3.3 放射線作業管理対応業務

放射線作業管理（以下、「作業管理」という。）対応業務のうち、特作計画の助言・指導に係る業務を分析し、現状の問題点を抽出した。

分析は、作業管理対応業務の概略手順を、図-16の放射線作業管理対応業務フローの概略をもとに実施した。

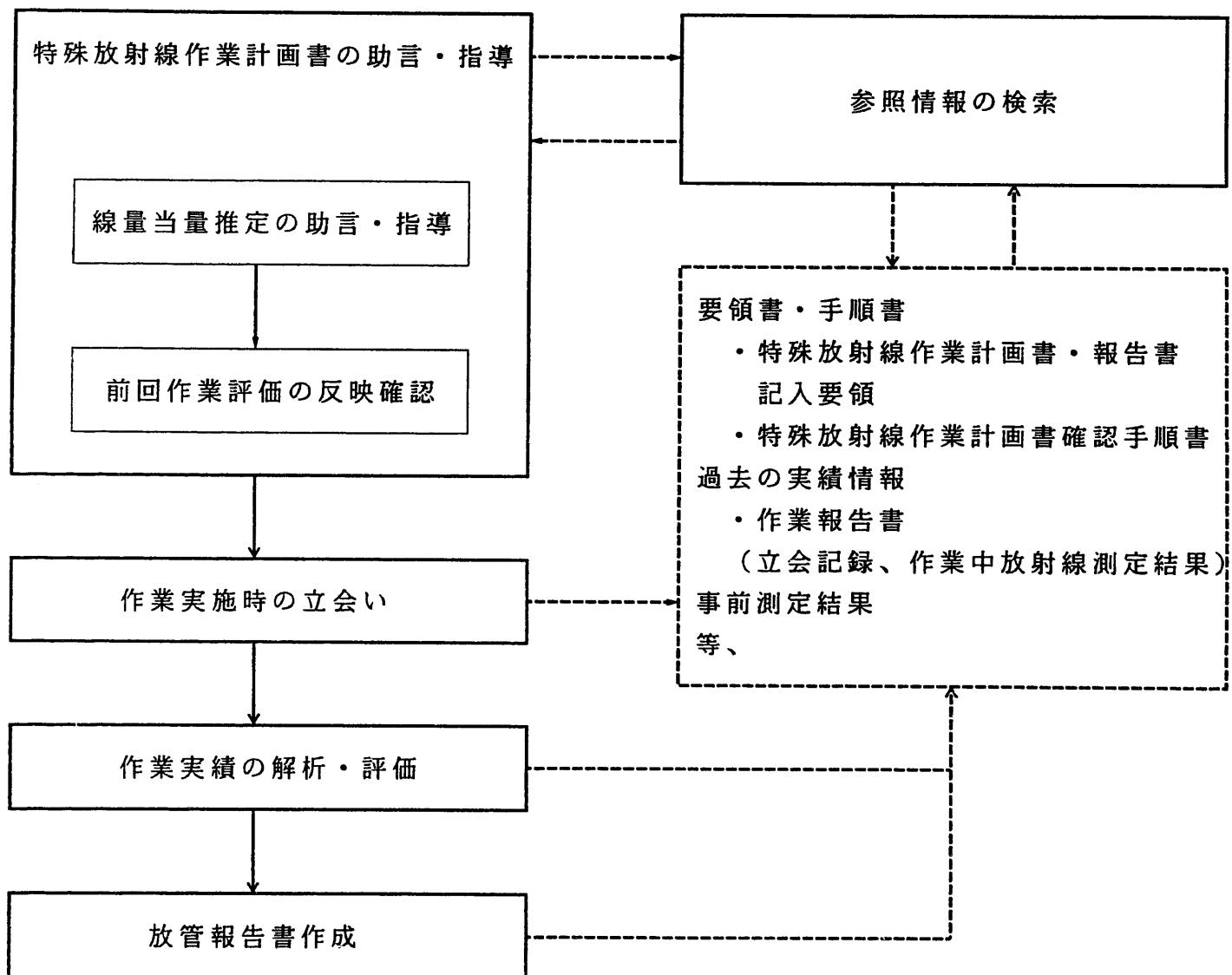


図-16 放射線作業管理対応業務フローの概略

### 3.3.1 放射線作業管理対応業務課題分析

作業管理対応業務の課題分析としては、特作計画における線量当量推定の助言

- ・指導及び前回作業評価の反映確認について分析した。

#### (1) 線量当量推定の助言・指導

線量当量推定に対する助言・指導は、線量当量推定に使用している各要素（線量当量率、減衰率、作業時間、安全係数等）及び線量当量推定値が妥当であるかを確認することによって行う。問題がある場合は、被ばく低減の観点（遮へいの実施、作業実施場所変更、作業時間の短縮等）から助言・指導する。

線量当量推定に関連する作業計画書の項目と線量当量推定時に参照する情報の対応を表－1に示す。

##### (問題点)

線量当量推定の助言・指導に当たり、以下の課題が挙げられる。

- ・熟練放管員は、過去の経験から線量当量推定値の妥当性を瞬時に判断できるが、初級放管員は、熟練放管員の指導なしでは妥当性を判断できない。
- ・線量当量推定値は、線量当量率、減衰率、作業時間、安全係数等の各要素から計算されているが、減衰率や作業時間等の要素は、作業内容、作業場所、作業方法、被ばく防護措置等が複雑に絡み合っており、適切に推定するには、多くの経験が必要となる。
- ・被ばく低減を検討する場合、その実現方法として、遮へいの実施、作業時間短縮、作業方法の変更等の複数の方法があり、それらの中から適切な方法を採用するには、多くの経験が必要である。
- ・助言・指導に使用する参照情報（作業報告書、立会記録等）の検索に手間と時間がかかる。特作は今までに多く（約250件／年）実施されており、その作業報告書も数多く存在する。また、今後も今までと同様に特作が実施されるため、作業報告書の量は増え続ける。それ以外にも参照する情報が複数あるため、これらの数多い情報の中から線量当量推定に必要な情報を人の手によって探し出すのは、多くの手間と時間がかかる。

#### (2) 前回作業評価の反映確認

前回に実施した特作がある場合、その作業報告書の作業評価情報を参照し、改善項目等がある場合にそれが今回の作業計画に反映されていることを確認する。

##### (問題点)

前回作業評価の反映を確認するに当たり、以下の課題が挙げられる。

- ・(1)項の問題点にも記載したとおり、今まで実施されて保存されている数多い作業報告書の中から、当該作業と同種作業で、かつ最も最近実施された作業の報告書を人の手によって探し出すことに、多くの手間と時間がかかる。

表－1 線量当量推定対象項目 参照情報一覧

対象様式	対象項目	参照情報	備 考
表紙	被ばく管理	当該計画書 様式－3、13、 14、15、16	
様式－9	放射線状況	事前測定結果 同種作業報告書 様式－20 立会記録	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事前測定結果がある場合は、その値の中の大きい値を記載する。</li> <li>・事前測定結果がない場合、過去の同種作業実施時の放射線測定実績値を参照する。</li> <li>・作業区域等の周辺の放射線状況については、過去に同区域で実施された作業の放射線測定実績値を採用する場合もある。</li> </ul>
様式－13 様式－14	線量当量推定	当該計画書 様式－4、9、15 同種作業報告書 様式－13、14、20 立会記録	線量当量率：様式－9、20、立会記録 減衰率：立会記録 作業時間：様式－4、15 安全係数：様式－13、14
様式－15	線量当量推定・結果	当該計画書 様式－13、14	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当該計画書の様式－13、14をもとに、作業形態、作業項目別に線量当量推定値を記載する。</li> </ul>
様式－16	線量当量計画及び、 測定結果	当該計画書 様式－15	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当該計画書の様式－15でまとめた線量当量推定値を、人別、四半期別にまとめて記載する。</li> </ul>

## 4. 支援システム構築案の検討

3章で分析した各業務に関する課題分析結果に基づき、支援システム及び支援方式を概念設計した。

### 4.1 定置式モニタ監視業務

定置式モニタ監視支援システムは、以下の機能で構成する。システム機能構成を図-17に示す。

#### (1) 定置式モニタ監視業務支援機能

- ① モニタ指示値変動識別機能
  - ・警報レベル異常検知
  - ・モニタ指示値変動早期検知
  - ・モニタ指示値変動特徴抽出
- ② 変動要因関連情報提供機能
  - ・変動要因関連情報提供
  - ・作業項目入力・管理支援
- ③ 指示値変動要因判定
  - ・モニタ動作機構故障判定
  - ・変動要因探索
  - ・変動要因確認対応策提供
- ④ 対応策決定機能
  - ・監視強化モニタ提供
  - ・現場対応策提供

#### (2) 知識ベース管理機能

定置式モニタ監視支援機能で必要な判断基準、対応手順当の知識ベースの構築・保守支援。

#### (3) マンマシンインターフェース

定置式モニタ監視業務支援機能及び知識ベース管理機能に対するマンマシンインターフェース。定置式モニタ監視業務の過程で、判断基準、対応手順等の知識ベースに対して追加修正が必要な場合は、適宜本インターフェースを介して知識ベースを更新する。

#### 4.1.1 定置式モニタ監視業務支援機能

##### (1) モニタ指示値変動識別機能

###### ① 支援機能

モニタ指示値変動識別支援機能は、以下の機能で構成する。

- ・警報レベル異常検知機能  
警報発信の検知。
- ・モニタ指示値変動早期検知機能

警報発信に至らぬ軽微な変動を早期に検知する。

- ・モニタ指示値変動特徴抽出

モニタ指示値変動特徴（変動幅、変動継続時間、パターン）を抽出する。変動特徴は、変動要因の判定に使用する。

② 実現方式

各機能の実現方式を以下に示す。なお、システム化においては、運用評価の結果を反映し、適宜追加・改良が可能な構成とする。

- ・警報レベル異常検知機能

警報設定値と比較。

- ・モニタ指示値変動早期検知機能

通常時変動幅との比較。

揺らぎ成分抽出。

- ・モニタ指示値変動特徴量抽出

変化傾向、平均値、変動高低差等をモニタ指示値変動特徴量として抽出。

③ 知識ベース化項目

モニタ指示値変動識別機能に必要な知識ベースに登録する項目を以下に列挙する。

○定置式モニタ関連

- ・観測データ入力方法（計算機入力点等）

- ・警報設定値

- ・通常時変動幅

- ・最大許容揺らぎ成分

(2) 変動要因関連情報収集提供機能

① 支援機能

変動要因関連情報収集機能は、以下の機能で構成する。

- ・関連情報収集提供機能

放管員の要求に応じて情報を収集提供する機能。モニタの変動が検知された場合だけでなく、任意の時点で関連情報を要求できる。

- ・作業状況管理機能

運転室から連絡された作業内容、開始・終了時刻を入力し、必要に応じて作業状況が参照できる。作業状況をデータベース化することで、開始・終了時刻から各作業にかかる標準的な作業時間、作業に伴って変動したモニタの関連モニタ情報が蓄積でき、作業とモニタの因果関係の分析に利用できる。

② 実現方式

- ・関連情報収集提供機能

要因関連情報の収集機能実現に関する課題は、どのような情報をどのように集めるかということに集約できる。ただし、内容が変化しない情報（モニタの設置場所等）には、情報収集方法は定義する必要はない。

モニタごとにその変動要因関連情報及びその収集方法をデータベース化し、①情報収集がシステム化可能ならば収集を自動化する、②情報収集が自動化できない場合（仮設モニタ指示値等）は放管員に収集項目及びその収集方法を提示し、放管員がその結果を支援システムへ入力する方法とする。

・作業状況入力・管理機能

運転室から連絡された作業区域、作業内容、開始・終了時刻を入力し、データベースに登録する。作業区域、作業内容は、データベースに予め登録されたキーワードを選択する形で入力する。開始・終了時刻は、データを入力した時刻を自動的に入力する。

作業内容は作業区域に依存するので、作業区域を入力した時点で選択できる作業内容に絞り込む。

③ 知識ベース化項目

以下に、変動要因関連情報として、知識ベースに登録する項目を列挙する。

○定置式モニタ関係

- ・モニタ種別
- ・モニタ設置場所（建屋、部屋、位置）
- ・（ダストモニタの場合）ダスト吸引位置
- ・モニタ指示値変動時連絡部署
- ・保安作業履歴

○作業関係

- ・作業対象線源
- ・作業による線源の発生・変化事例
- ・作業による遮へいの変化事例
- ・作業によるノイズ発生事例
- ・作業場所（建屋、部屋、位置、ユニット）
- ・作業使用機器
- ・作業順序
- ・標準的作業継続時間
- ・作業担当部署、連絡方法

○線源関係

- ・線源種類
- ・線源場所（建屋、部屋、位置、ユニット）
- ・影響する定置式モニタ種別

○遮へい関係

- ・遮へい種類
- ・遮へい場所
- ・影響する定置式モニタ種別

(3) 指示値変動要因推定機能

① 支援機能

指示値変動要因判定機能は、以下の機能で構成する。

(a) モニタ動作機構故障判定

以下の状態が観測された場合、モニタ動作機構が故障と判定する。これ以外にモニタ動作故障の変動パターンがあれば、適宜判定規則に追加できるようにする。

- ・変動幅が自然現象として発生し得ない幅である場合。
- ・バックグラウンドレベル以下、設計範囲以上の指示値である場合。
- ・最大許容揺らぎ成分値との比較。

(b) 変動要因探索

モニタ指示値変動モデルに基づき、モニタ指示値変動要因候補を推定する。

(c) 変動要因確認

推定されたモニタ指示値変動要因候補から、具体的要因に絞り込むための対応策を提供する。

(d) 変動要因推定根拠提供

推定した変動要因候補の根拠を提供する。

② 実現方式

指示値変動要因推定のための各支援機能の実現方式を示す。

(a) モニタ指示値変動要因推定法

モニタ指示値変動要因判定は、モニタ動作機構の故障でないと判定された変動に対して実行する。

線源、遮へい状態、モニタ動作機構に対する外部影響を全てモニタに対する影響要素として捉え、それらの間に成立する因果関係を定義した因果ネットワークモデルに基づき要因探索、推定した要因の確認、変動要因推定の根拠を提示する。本因果ネットワーク診断手法は、大洗工学センター先進技術開発室における自律型運転制御システムで開発されたローカル診断システムに組み込まれた診断方式に基づいたものである。因果ネットワークモデル診断手法は、定常的な熱流動プロセスを対象としたものなので、モニタ指示値変動要因推定においては、再処理工場の進捗を推定に反映するためペトリネットモデルを導入する。因果ネットワークモデルは、知識ベースとして予め準備するのではなく、定置式モニタの配置、線源の位置、作業の線源・モニタに対する影響等の再処理工場に関する情報を知識ベースとして定義し、これらの情報からモニタ指示値変動要因モデルに基づいたモデル構成ルールから構成する。したがって、因果ネットワークモデルによる診断法の特徴は、モニタ、線源、作業に関する項目を定義するだけで、原因推定から、現場対応策まで推定できることである。

一方、モニタ指示値変動要因を推定する方法としては、ここで提案する因果ネットワークの他には、前提部と結論部で構成する判定ルールによって原因を判定するルールベース型の診断法が挙げられる。ここでルールとは、「 $\beta$ ダストモニタXが変動したならば、扉Yの開閉が原因である」のような兆候とその原因を関係づけた規則である。決定木（判定規則群をツリー上に定

義したもの)、ディシジョンテーブル(判定規則を表形式で定義したもの)は、ルールの表現が異なるだけで基本的にはルールベース型である。このルールベース型の知識は、異常判断知識の表現としては自然で、作業員にも理解しやすいため利用されることが多い。しかし、考えられる全ての状況を知識ベースとして準備するとルール数も増加し、網羅的にルールを準備することも難しい。特に、今回のモニタ指示値変動要因判定では、同一の作業を実施してもモニタ指示値変動が発生する場合や発生しない場合があるので、このような多くの状況に対応するためのルールを準備するのは実現的でない。因果ネットワークモデルは、再処理工場の構造情報とモニタの変動要因モデルに基づいて生成するので網羅的に現象をカバーできる。また、原因が判定できなかった場合も、その場合の要因分析結果をモニタ指示値変動要因モデルに従い知識ベースに新規に登録すれば、自動的に因果ネットワークに反映できる。

現場状況の調査対応もルールベース型の診断では全てルールとして定義しなければならないが、因果ネットワークモデルでは、現場対応策定のための解釈ルールを定義するだけでよい。

### 1) 因果ネットワークモデル診断方法

因果ネットワークモデル診断法の推論プロセスを図-18で示した熱交換プロセスに基づいて説明する。

本診断では、操作器とプラント動特性を支配する熱交換器や配管等の機器を対象とする。定性モデルには、操作器と機器内部の状態量を基本単位として、それらの間に成立する因果関係を定義する。図-19に熱交換プロセスに対する定性モデルを示す。図の実線の矢印は因果関係の方向、矢印に付けた符号の「+」は原因側が上昇すると結果側が上昇する関係を、「-」はその逆の関係を表している。図で示したように、一つの量に対して複数の量が影響を与える場合、別々の因果関係として定義する。これは、系の挙動を記述した非線形方程式を線形化して近似することに類似している。原子力プラントのような熱流動プロセスは、ある平衡点の近傍で制御システムを動作させる場合が多い。そのような平衡点付近での状態量の変化は線形近似できる。本診断が対象としている異常発生後の対応措置によって通常の運転に復帰できる程度の比較的軽微な異常状態では、この線形近似によるモデル化が有効であると考えられる。

本診断は、定義された定性モデルに含まれる観測量に発生した異常を検知した時点から開始する。異常の第1原因機器の同定は、基本的に定性モデルに定義された因果関係を時間的に遡ることで推定する。但し、一般に、機器内部の状態量が全て観測できるとは限らないので、検知された異常をもたらす可能性のある物理量の変化(異常仮説)を一つに絞り込むことはできない。したがって、可能性のある異常波及経路を全て探索する必要が生じ、探索空間は広大なものとなる。この問題を回避するため、本診断では、探索戦略の一つとして、単純に因果関係を遡るばかりでなく、探索の

過程で推定された異常仮説からの波及を時間的に巡回推論し、観測事象と矛盾する経路は探索候補から除外することで探索空間を絞り込む。

## 2) 放射線監視システムへの適用

因果ネットワークモデル法のモニタ指示値変動要因判定への適用を検討する。

モデル動作機構の故障でない場合の定置式モニタの変動は、再処理工程の進行に伴う線源・遮へい効果の変化、ノイズによって発生する。因果ネットワークモデルには、個々の定置式モニタ、それらに影響を及ぼす線源・遮へい効果・ノイズと、これらの間に成立する因果関係及び線源・遮へい要素に変化をもたらす工程、作業とその変化影響を定義する。モニタ指示値の変動が検知されれば、変動が検知されたモニタを起点とし、因果ネットワークの因果関係を辿り変動要因作業を推定する。また、モニタ指示値変動の予測に基づく監視強化モニタの推定・確認作業を決定する。

ある作業区域の定置式モニタ配置、線源、扉及び関連する作業に対する因果ネットワーク定義例を図-20に示す。図では、モニタの変動要因の一つであるノイズによる影響を点線矢印、その他の影響を実線矢印で区別した。以下に、この因果ネットワークに基づく推論例を示す。

### ・要因作業が確認できた場合

モニタ「 $\gamma - A$ 」変動が確認された場合、因果ネットワークモデルからその要因線源は「線源X」となり、関連モニタとして「 $\gamma - B$ 」、「 $\beta$ ユニット」、要因作業として「作業1：除染」、「作業2：移動」と推定できる。

「 $\gamma - B$ 」、「 $\beta$ ユニット」の変動が確認でき、かつ、「作業1：除染」、「作業2：移動」のいずれかが実施されていることが確認できた場合は、確認できた作業を要因作業として結論づける。

「 $\gamma - B$ 」、「 $\beta$ ユニット」の変動が確認できない場合で、「作業1：除染」、「作業2：移動」が実施されていれば、「 $\gamma - B$ 」、「 $\beta$ ユニット」を監視強化モニタとする。

「作業1：除染」が要因作業の場合、さらに、「汚染空気」が発生する可能性もあるため、「 $\beta - A$ 」、「 $\beta - B$ 」も監視強化モニタとする。

### ・要因作業が実施されていない場合

モニタ「 $\gamma - A$ 」変動が確認された場合、要因作業として「作業1：除染」、「作業2：移動」と推定できるが、確認の結果、これらの作業が実施されていないとする。ここで、関連モニタの「 $\gamma - B$ 」あるいは「 $\beta$ ユニット」に何の変化も確認できない場合は、モニタ「 $\gamma - A$ 」の故障の可能性が高いと判定できる。この場合は、モニタ「 $\gamma - A$ 」の動作機構の誤動作としてモニタ「 $\gamma - A$ 」の調査を指示する。

逆に、関連モニタの変動が確認できれば、モニタ「 $\gamma - A$ 」故障の可能性は少なく、定義された因果ネットワークでは説明できない事象が発生した可能性が高いと判定する。この場合は、当該モニタの設置作業区

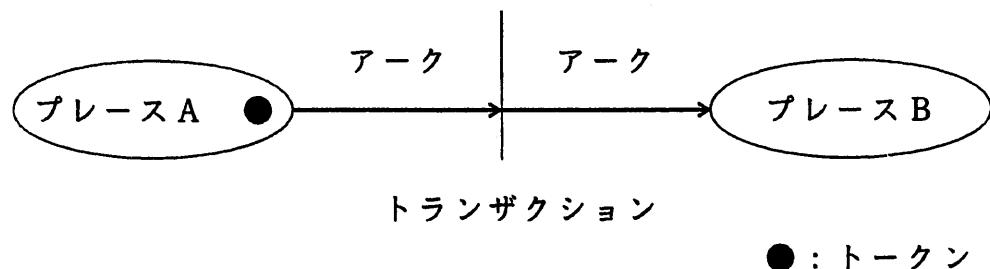
域を含めて周辺の作業を確認することによって、当該モニタの変動要因を放管員が推定し、その結果を知識ベースに新規に登録する。例えば、図-21で示したように「作業区域A」の周辺区域が、「作業区域B」、「作業区域C」であるならば、それぞれの区域での作業を確認し、周辺区域で要因となる作業、それによる線源変化が判れば、これを知識ベースに登録する。

因果ネットワークは現象の要因分析には適しているが、再処理工程のように、時間経過とともに作業状態推移が発生したり（燃料せん断、溶解）、システム内に存在する資源（再処理工場においては、線源）が移動するシステムをモデル化するには向いていない。また、放管員によるモニタ監視の特徴として、運転員からの電話報告、あるいは必要に応じて運転員への電話連絡によって作業状況を確認することが挙げられる。運転員からの作業開始・終了の電話連絡は、あらゆる作業が報告されるわけではなく、作業終了の報告がされない場合もある。状況に応じて、作業開始・終了連絡どおりに作業が実施されない場合もある。実際に行われている作業状況と、放管員が把握している作業状況に食い違いが発生することによる状況の誤認識が発生する。例えば、放射線の変動が予想される作業の開始が報告されたが、作業されていない場合、放管員は予想した変動が発生しないため、モニタ故障の可能性を調査する必要がある。放管員を支援する監視システムでは、作業順序とその進行状況を追跡する必要がある。本システムでは、これに適したペトリネットモデルを因果ネットワークモデルに組み込むこととする。ペトリネットモデルは、状況の進行順序と独立並行して進行する作業状態を表現するのに適したモデルである。

ペトリネットによるモデル化は、複数の連続した作業で構成される工程や一つの作業が複数の作業区域にまたがる場合を対象とする。一つの作業が単一の作業区域で単一の線源にしか関連しない場合は、ペトリネットモデルによる変動要因のモデル化の必要はない。

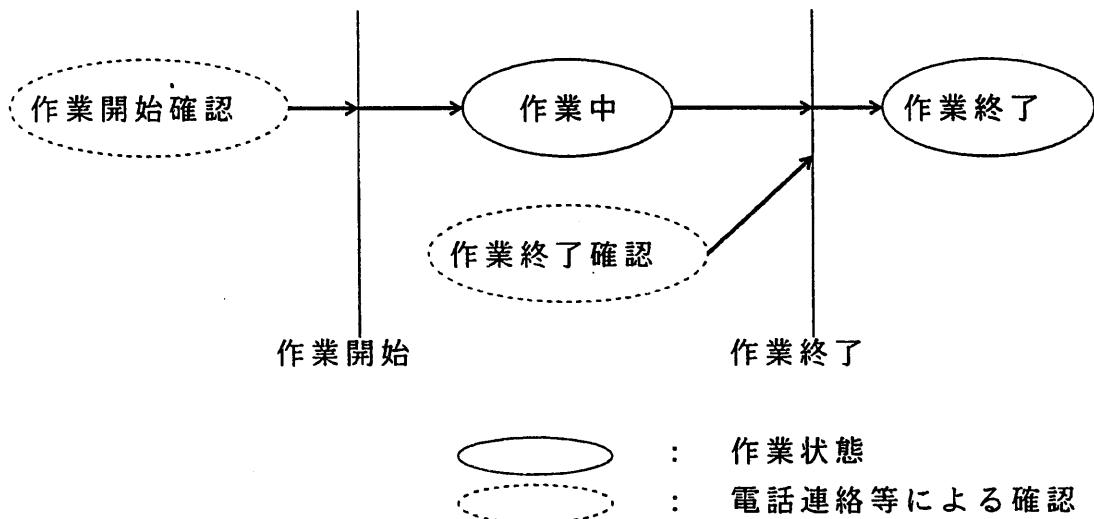
ペトリネットモデルは、工程・作業の開始や終了等の事象（ある状態から別の状態への切り替わり点）をトランザクション（事象）、工程・作業の経過状態をプレース（状態）によって定義し、トランザクションとプレースを单一のアーク（矢印）で結んで表現する。下図は、簡単なペトリネットモデルを図で表したものである。プレースAはトランザクションの前提条件、プレースBはトランザクションの後続条件を意味する。プレースAが意味する状態が成立すれば、トランザクションが実行可能となり、その結果、プレースBの状態となる。ペトリネットモデルは、プレースが成立していることをトークンで示す。トランザクションは、その上流側の全てのプレースにトークンが与えられれば、実行可能となる。実行可能となったトランザクションは、上流プレースの全てのトークンを取り去り、後続の全てのプレースにトークンを与える。これ

をトランザクションの発火と呼ぶ。トークンの移動で、システムの状態移行を示すことができる。



特殊な場合を除いて、工程・作業は、開始後、一定時間継続して終了する。再処理工程の進行は、電話連絡によって確認される。したがって、再処理の工程・作業は、必ず以下のペトリネットモデルによって表現される。

作業開始の連絡が事前、あるいは作業中にあれば、「作業開始確認」プレースにトークンが与えられ、「作業中」プレースにトークンが移行する。その後、作業終了の連絡を受け、「作業終了確認」プレースにトークンが与えられ、状態は「作業終了」となる。



「作業中プレース」には、トークンが存在するか、存在しないかの2つの状態があり、この状態のとき変動するモニタの状態には、変動発生と変動無の2つの状態がある。運転状態としては、「作業中によるモニタ指示値変動」と「作業前／後でモニタは変動無」の2つの状態しかないが、放管員にとっては、作業状態の確認が必ずしもされない場合があるので、上記の2つの状態のほかに「作業中でモニタ指示値変動なし」（矛盾1）、「作業中でモニタ指示値変動なし」（矛盾2）の矛盾した状態が発生し得る。矛盾1の場合は、モニタの故障か、作業開始確

認情報の未着かを放管員に問い合わせる。矛盾2の場合は、モニタの故障か、作業終了確認情報の未着かを放管員に問い合わせる。このように、作業進行をペトリネットによって一般化してモデル化することで、共通の判定ロジックを定義することができる。

図-21で示した線源Xから線源Zへ、放射性溶液を液送配管Bを経由した移動を例としてペトリネットによる作業のモデル化を図-22に示す。図-22で示したように、放射性物質が移動する配管は、作業区域ごとに分割して定義する。一方、図-21の液送配管Bを線源Xの移動経路とした場合の移動作業のモデル化を図-23に示す。

ペトリネットと組み合わせた因果ネットワークでは、ペトリネットの各プレースが線源に対する影響要因として取り扱う。例えば、モニタ「 $\gamma$ -E」の変動が確認されれば、その要因として、「溶液作業区域B移動」が推定される。上で示したモニタとプレースのトーカンの有無による共通の解釈ルールに従い判定する。トーカンが無ければ、作業開始を確認する。作業開始が確認できれば、その結果変化するプレースを調べる。この例の場合、「溶液作業区域A移動」、「溶液作業区域B移動」、「溶液作業区域C移動」の各プレースにトーカンが与えられる。これによって、これらのプレースを要因として変化する可能性の有るモニタ「 $\gamma$ -A」、「 $\gamma$ -B」、「 $\gamma$ -C」を関連モニタとして推定する。

### ③ 知識ベース化項目

以下に知識ベースに登録する項目を挙げる。

#### ○定置式モニタ関係

- ・最大変動幅
- ・関係する線源
- ・関係する遮へい

#### ○作業関係

- ・関係する作業状態（プレース）との関係
- ・関係するトランザクション、プレースによるペトリネットモデル

#### ○線源関係

- ・関係する作業

#### ○遮へい関係

- ・関係する作業

### (4) 対応策決定

#### ① 支援機能

以下の情報を提供する。

- ・監視強化モニタ
- ・現場対応策

#### ② 実現方式

- ・監視強化モニタ

因果ネットワークモデルから推定された関連モニタを監視強化モニタと

して提供する。

- ・現場対応策

現場対応策は、推定された要因の種類によって定まる一般的な対応策と、個別の要因に依存した対策を組み合わせて決定する方法とする。

#### 4.1.2 知識ベース管理機構

定置式モニタ監視業務支援を実現するにあたって必要な知識ベースに登録すべきデータ項目及びそれに基づいた知識ベース例を検討した。

#### 4.1.3 マンマシンインタフェース

定置式モニタの異常検知時の画面例を図-24、作業進捗管理画面例を図-25に示す。

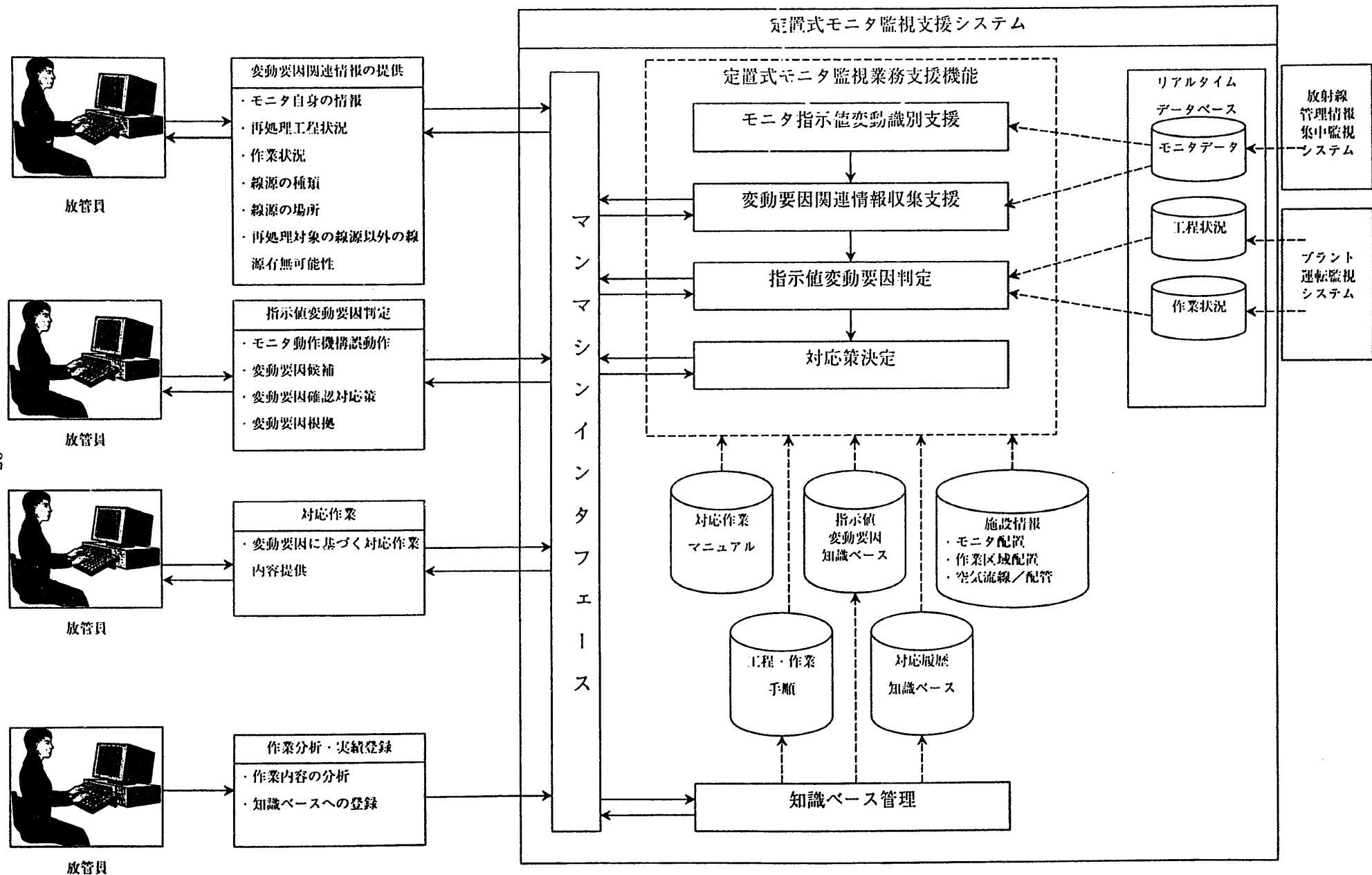


図-17 定置式モニタ監視支援システム

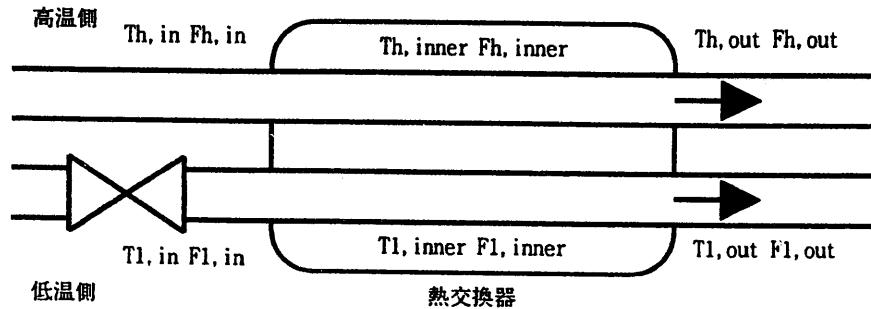


図-18 热交換プロセス例

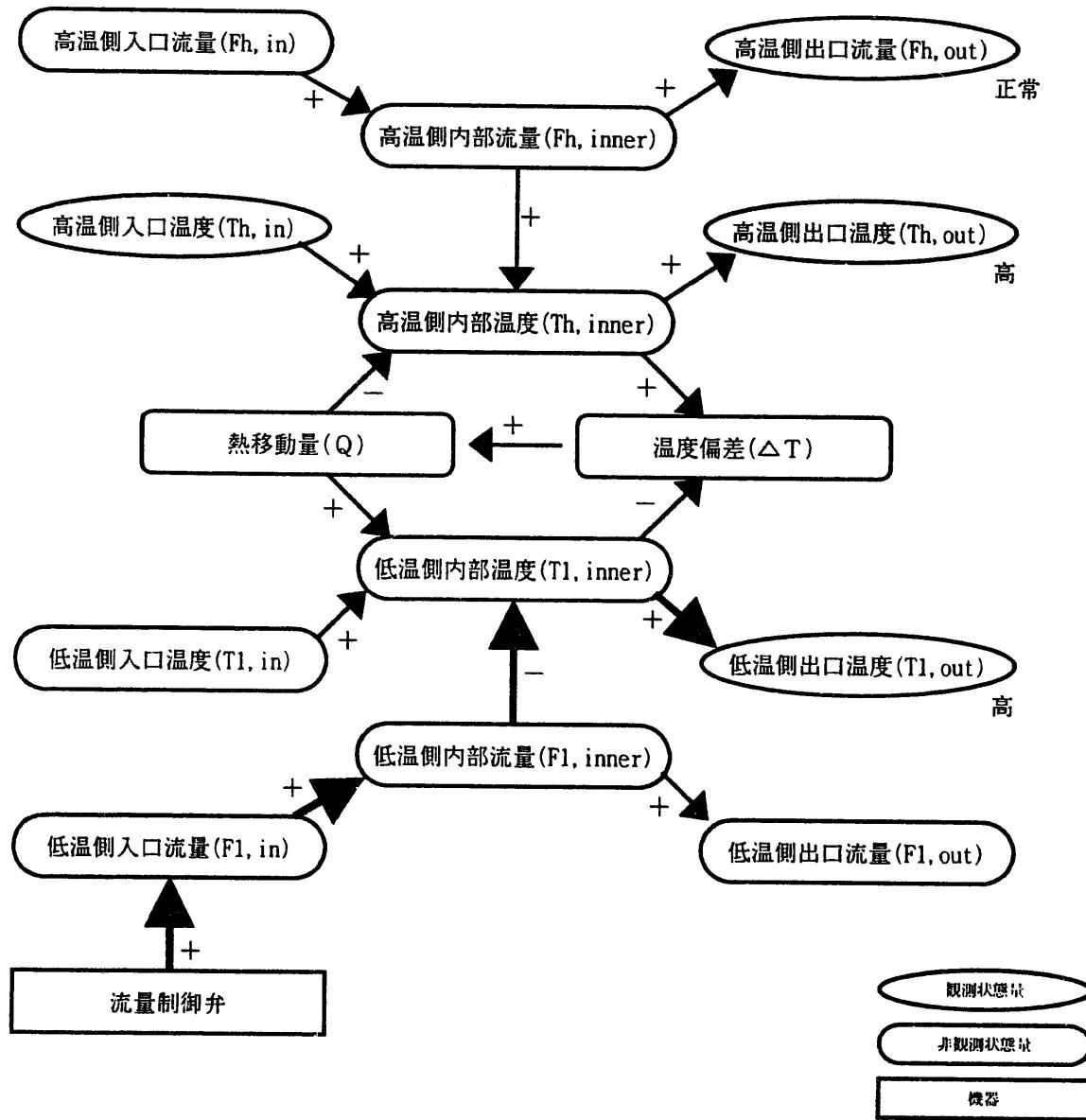


図-19 因果ネットワークモデル例

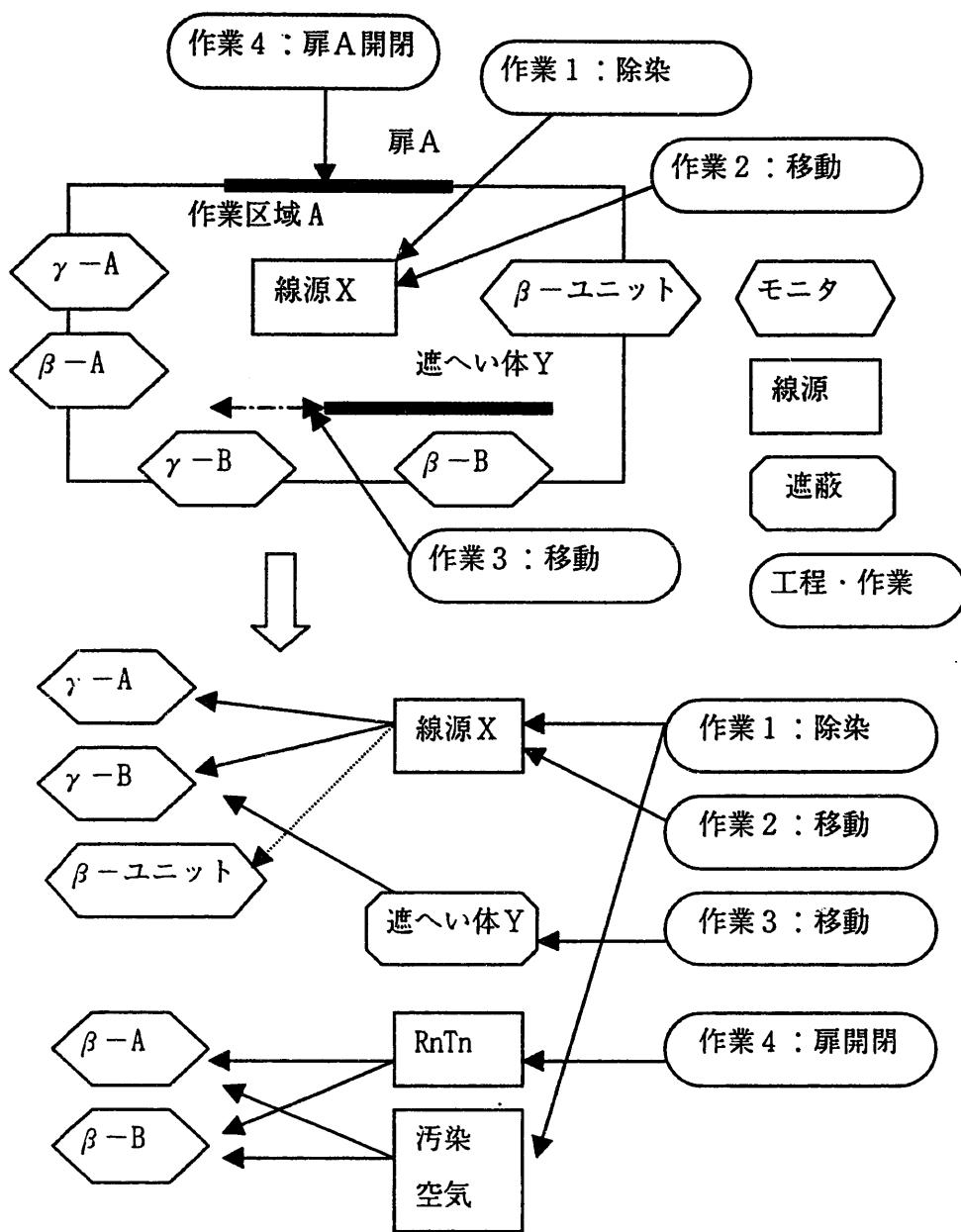


図-20 因果ネットワーク定義例

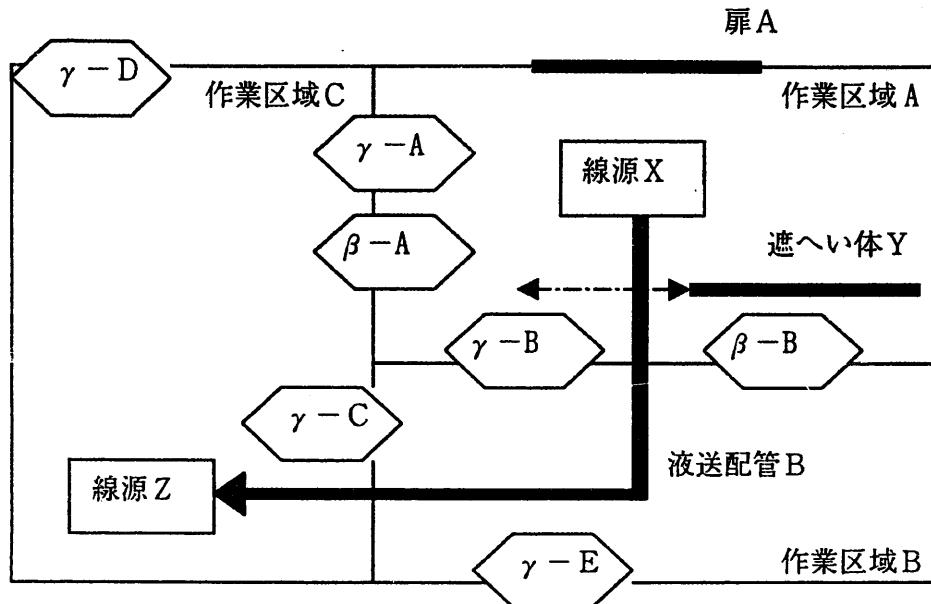


図-21 放射性溶液送水作業

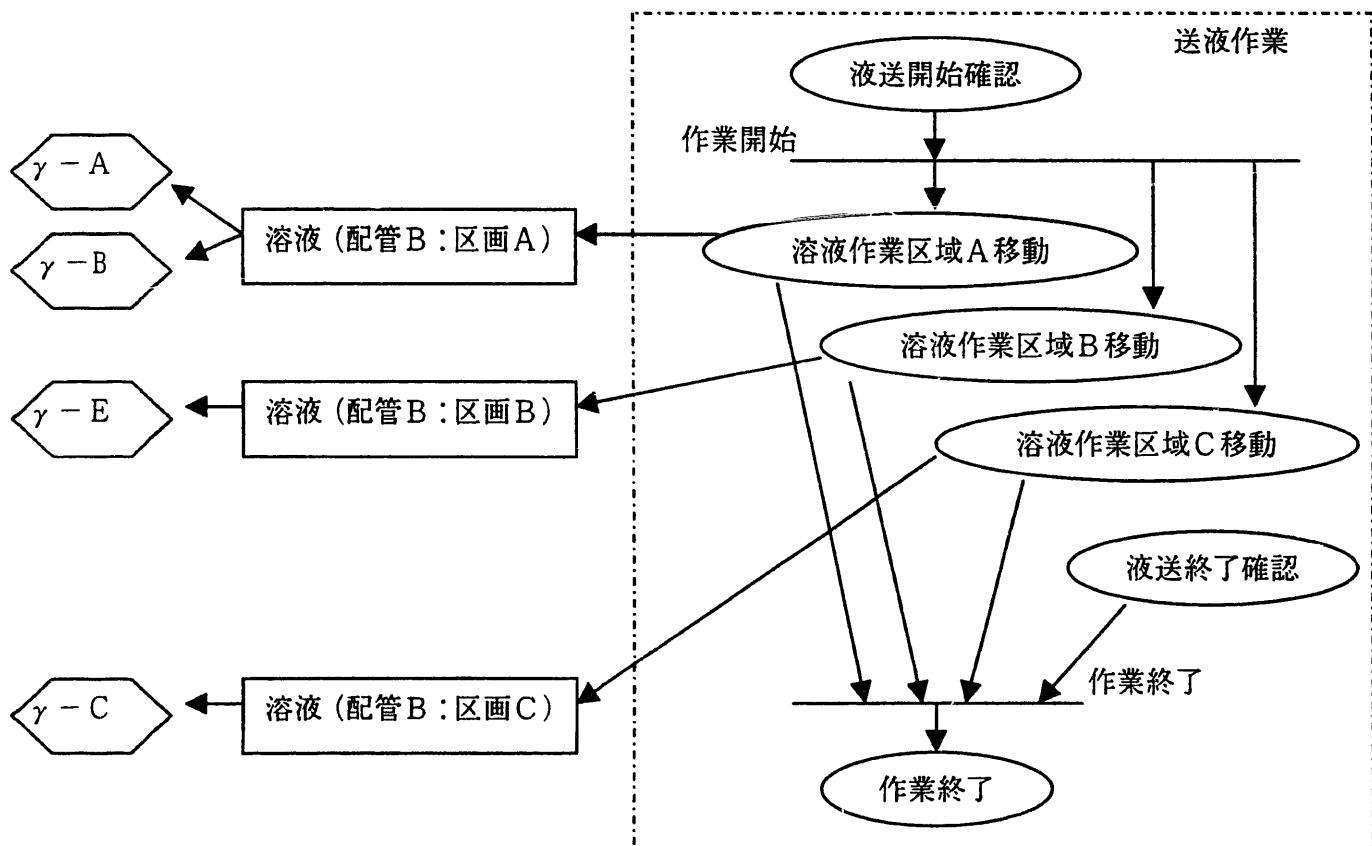


図-22 ペトリネット定義例

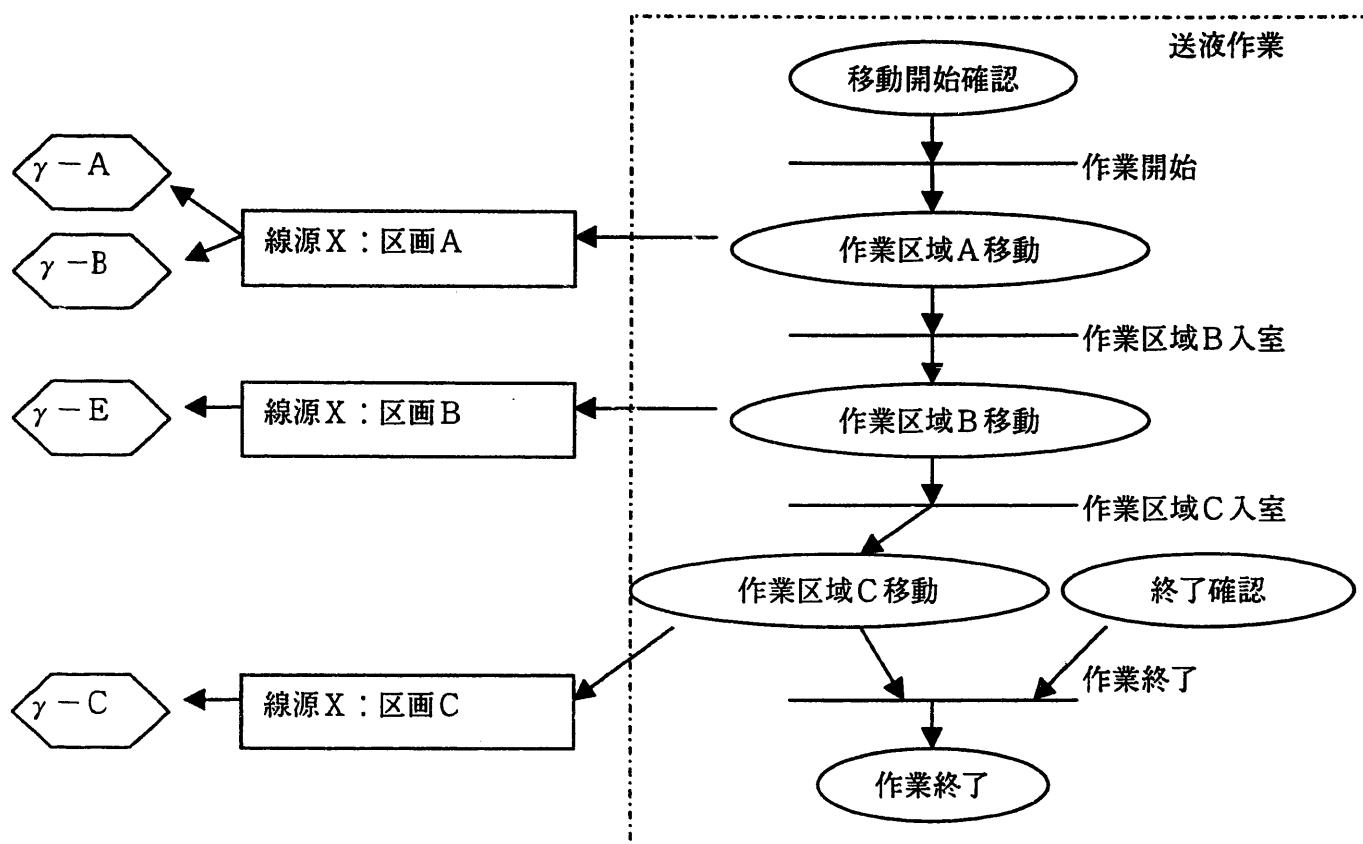


図-23 物流作業ペトリネット定義例

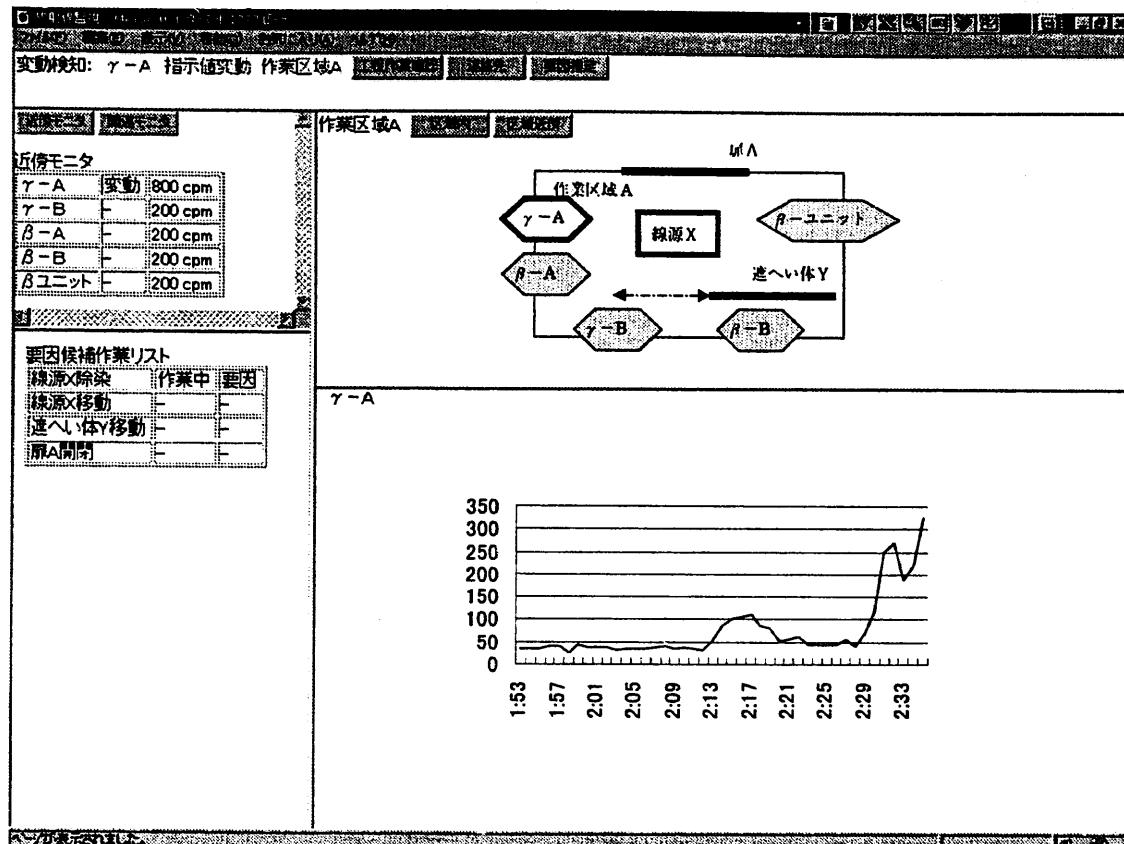


図-24 定置式モニタ異常検知画面例

工程作業確認					
対象日付: 2月20日 ①直					
開始時刻	建屋	部屋番号	作業内容	終了時刻	終了登録
1014	MP	G544	溶接作業開始	11:42	済
1050	CB	G144	セル開扉開放	11:12	済
1054	CB	G142	シーラ作業開始		終了登録未行
13:42	CB	G115	シーラ作業	13:14	済
15:25	MP	A348	シーラ作業		終了登録未行
1014	MP	G544	溶接作業開始	11:42	済
1050	CB	G144	セル開扉開放	11:12	済
1054	CB	G142	シーラ作業開始		終了登録未行
13:42	CB	G115	シーラ作業	13:14	済
15:25	MP	A348	シーラ作業		終了登録未行
1014	MP	G544	溶接作業開始	11:42	済
1050	CB	G144	セル開扉開放	11:12	済
1054	CB	G142	シーラ作業開始		終了登録未行
13:42	CB	G115	シーラ作業	13:14	済
15:25	MP	A348	シーラ作業		終了登録未行

新規登録

建屋: MP 部屋番号: A321 作業内容: 溶接作業開始

溶接作業  
溶接作業  
シーラ作業開始  
シーラ作業

図-25 作業進捗管理画面例

## 4.2 排気モニタ監視業務

排気モニタ監視支援システムは、以下の機能で構成する。また、システムの機能構成は図-26に示す。

### (機能)

#### ○排気モニタ監視業務支援機能

- ・警報吹鳴予備告知機能
- ・排気モニタ故障検知機能
- ・モニタ指示値変動追跡機能
- ・変動要因関連情報収集機能

#### ○知識ベース管理機能

排気モニタ監視支援機能で必要な再処理工程・放射線変動パターン等の知識ベースの構築・保守支援。

#### ○マンマシンインタフェース

排気モニタ監視業務支援機能及び知識ベース管理機能に対するマンマシンインターフェース。排気モニタ監視業務の過程で、判定基準、対応手順等の知識ベースに対して追加修正が必要な場合は、適宜本インタフェースを介して知識ベースを更新する。

### 4.2.1 排気モニタ監視業務支援方式

#### (1) 排気モニタ指示値変動検知機能

##### ① 支援機能

モニタ指示値変動検知機能は、以下の機能で構成する。

- ・警報吹鳴告知機能  
警報吹鳴レベルに到達する前での変動を告知する。
- ・排気モニタ故障検知機能  
多重化モニタ相互の偏差、通常のモニタ指示値変動を超える変動等を故障として識別する。
- ・モニタ指示値変動追跡機能  
運転員から報告された工程・作業に伴うモニタ指示値変動を推定し、観測値と推定値に定めた差が発生した場合、放管員に告知する。

##### ・変動要因関連情報収集機能

モニタ指示値予備告知、排気モニタ故障検知、モニタ指示値変動異常が検知されれば、関連する情報を提供できるためのインターフェースを提供する。

##### ② 実現方式

各機能の実現方式を以下に示す。なお、システム化においては、運用評価の結果を反映し、適宜追加・改良が可能な構成とする。

###### (a) 警報吹鳴予備告知機能

予備告知設定点と比較する。

###### (b) 排気モニタ故障検知機能

以下の状態が観測された場合、モニタ動作機構が故障と判定する。これ以外にモニタ動作故障の変動パターンがあれば、適宜判定規則に追加できるようにする。

- ・変動幅が、自然現象として発生し得ない幅である場合。
- ・バックグラウンドレベル以下、設計範囲以上の指示値である場合。
- ・最大許容揺らぎ成分値との比較。

#### (c) モニタ指示値変動値追跡機能

運転員から連絡のあった工程・作業内容から推定した定量的な指示値変動パターンと観測値とを比較する。

モニタ指示値変動追跡機能は、以下の処理で構成する。

##### ○最小作業工程変動パターン推定

せん断、溶解等の再処理工程は、通常更に幾つかの作業工程に分解できる。排気モニタの変動として識別できる最小の作業単位を最小作業工程と呼ぶ。最小作業工程に対応した標準的指示値変動パターンを用意し、最小作業工程実行時には、燃料種別、燃焼度、冷却期間等に応じた指示値変動パターン変換規則に従い、標準的指示値変動パターンから指示値変動パターンに変換する。標準的指示値変動パターンは、モニタ指示値を定量的に算出できる数式モデルである。指示値変動パターン変換規則としては、変動幅（最大値、変動時間幅）の変換、変動時間幅における最大値の出現時刻の変換、指示値変動パターンそのものの切り換え等が考えられる。また、複数の変換規則を組み合わせた変換も考えられる。図-27に指示値変動パターン変換規則の例を示す。指示値変動パターン変換規則の定義としては、例えば、次のような定義が考えられる。

変更規則例 1： 燃焼度が、\*\*から++の場合、最大値は標準の1.1倍。

変更規則例 2： 燃料がPWR ならば、指示値変動パターンは、XX。

変更規則例 3： せん断機不調ならば、変動時間幅は、1.1倍に伸びる。

##### ○排気変動パターン推定

定置式モニタの変動推定用の作業手順モデル化のためのペトリネットモデルを、排気モニタ指示値変動パターン推定における再処理工程フローの追跡にも適用する。最小作業工程に相当するペトリネットの各プレースごとに、それぞれ標準的な変動パターンを定義する。併せて、各プレースに相当する作業工程実行時に定置式モニタを変動させる可能性がある場合は、変動先の線源、あるいはモニタを定義する。したがって、定置式モニタ指示値変動要因推定処理と排気モニタ指示値変動追跡処理は、作業手順データを共有する。

プレース間のトークンの移動、すなわち、工程・作業の進行とともに、トークンが与えられた活性化したプレースごとに、それぞれ対応した標準的変動パターンと指示値変動パターン変換規則から指示値変動パター

ンを推定する。全ての活性化プレースに対する指示値変動パターンの推定結果を総和して排気の推定変動パターンとする。図一に推定値変動パターンの推定プロセスの例を示す。この例の再処理工程のペトリネットでは、溶解プロセスとせん断プロセスにトークンが存在する。まず、トークンが時刻Xに溶解プロセスに与えられ、この時点で溶解プロセスに対する標準指示値変動パターンから排気モニタ指示値を推定する。次に、トークンが時刻Yにせん断プロセスに与えられ、同様にせん断プロセスに対する標準指示値変動パターンから排気モニタ指示値を推定し、先に推定された溶解プロセスに対する推定値に加える。

再処理工程は、せん断、溶解のように標準的な工程継続時間が決められているものや、オフガス貯留、Kr施設運転等、標準的な継続時間が定まっていないものがある。後者の場合は、最小作業工程として、最低、工程開始と工程終了を含めた工程として定義する。例えば、オフガス貯留の場合は、「オフガス貯留開始」、「オフガス貯留終了」を最小作業工程とする。

#### ○推定変動パターン偏差監視・パターン推定・修正

指示値、推定値、偏差を監視し、定めた値以上の偏差が検知された場合、運転員に工程・作業内容を再確認する。以下に確認結果に対する処理を挙げる。

- ・指示値変動パターン推定時の前提条件と工程・作業内容に食い違いがある：

前提条件を再設定し、推定をやり直す。

- ・工程・作業内容に食い違いがない：

定置式モニタ指示値変動要因推定処理によって、変動要因を調査する。変動要因が確認できない場合は、モニタの故障を確認する。モニタの故障でないならば、標準指示値変動パターン、変動パターン変換規則を修正する。

- ・別の工程に移動

新たに変動パターンを推定する。

#### ○標準指示値変動パターン、変換規則修正

選択された登録されている標準指示値変動パターン、変換規則を修正する。

### ③ 知識ベース化項目

以下に、排気モニタ指示値変動識別機能に必要な知識ベースに登録する項目を挙げる。

#### ○排気モニタ関連

- ・予備警報値

#### ○作業関連

- ・最小作業工程に対する標準的変動パターン
- ・変動パターン変換規則

- ・最大許容偏差値
- ・再処理工程フロー

## (2) 変動要因関連情報収集

### ① 支援機能

変動要因関連情報収集機能は、以下の機能で構成する。定置式モニタ監視支援機能の変動要因関連情報収集と同一である。

- ・関連情報収集提供機能

放管員の要求に応じて情報を収集提供する機能。モニタの変動が検知された場合だけでなく、任意の時点で関連情報を要求できる。

- ・作業状況管理機能

運転室から連絡された作業内容、開始・終了時刻を入力し、必要に応じて作業状況が参照できる。作業状況をデータベース化することで、開始・終了時刻から各作業にかかる標準的な作業時間、作業に伴って変動したモニタの関連情報が蓄積でき、作業とモニタの因果関係の分析に利用できる。

### ② 実現方式

定置式モニタ監視支援機能の変動要因関連情報収集と同一である。

### ③ 知識ベース化項目

以下に知識ベースに登録する項目を列挙する。

#### ○排気モニタ関係

- ・モニタ設置場所（建屋、部屋、位置）
- ・モニタ指示値変動時担当部署
- ・保守作業履歴

#### ○作業関係

- ・作業担当部署

## 4.2.2 知識ベース管理

排気モニタ監視業務支援を実現するに当たり、必要な知識ベースに登録すべきデータ項目及びそれに基づいた知識ベース例を検討した。

## 4.2.2 マンマシンインタフェース

排気モニタ監視画面例を図-29に示す。

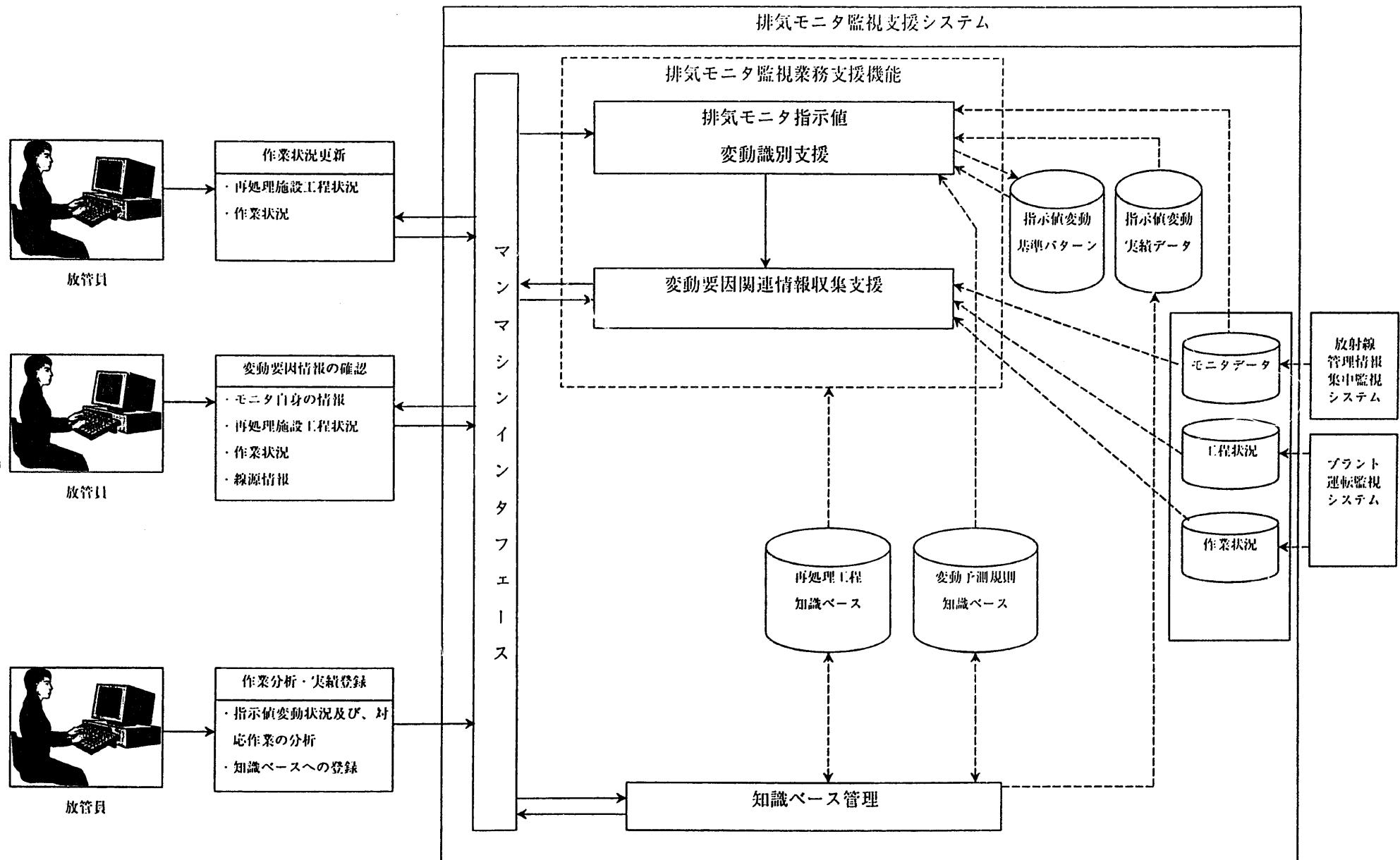


図-26 排気モニタ監視支援システム

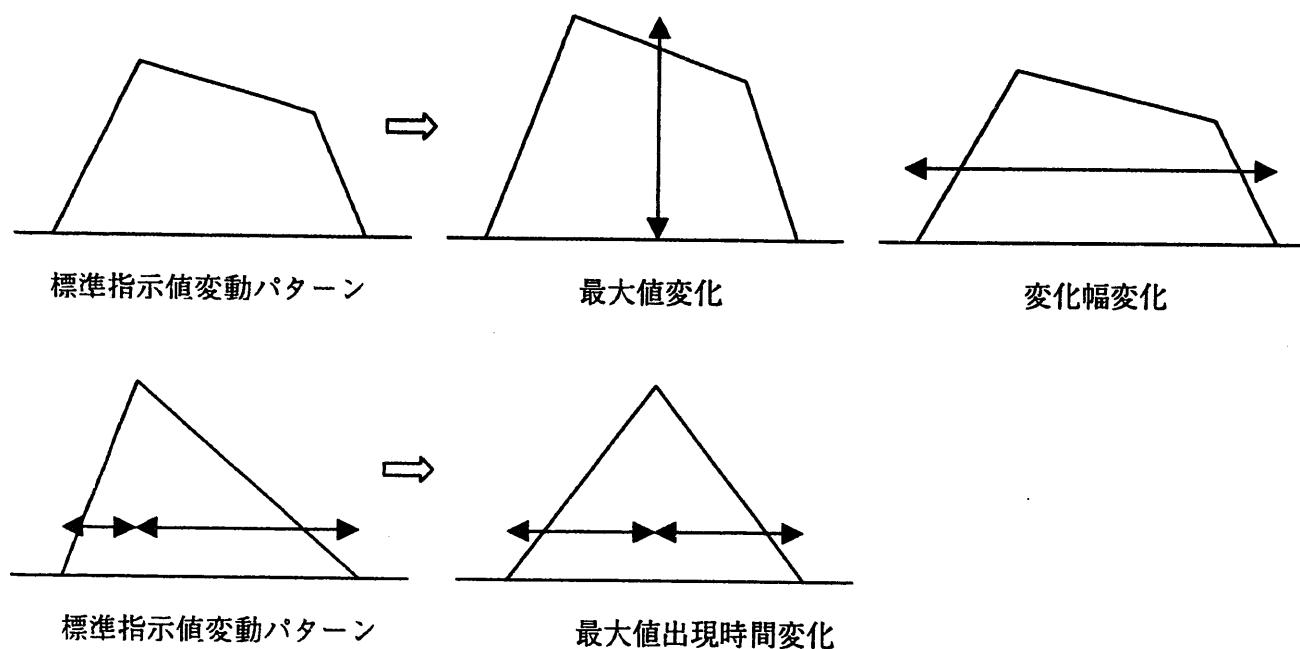


図-27 排気変化パターン変換規則例

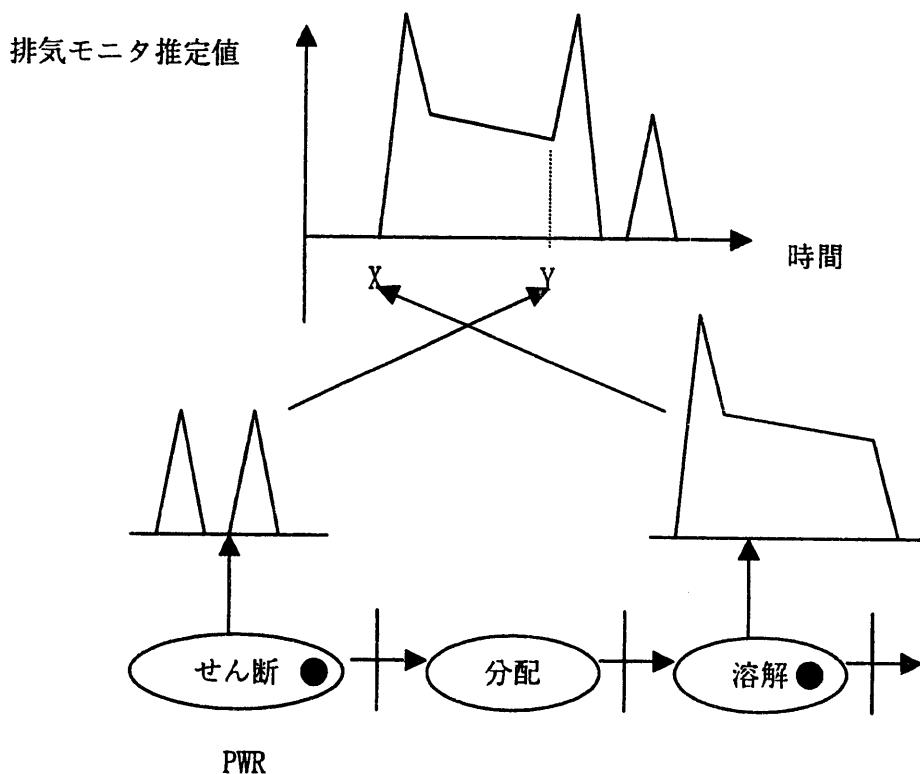


図-28 排気変動パターン生成

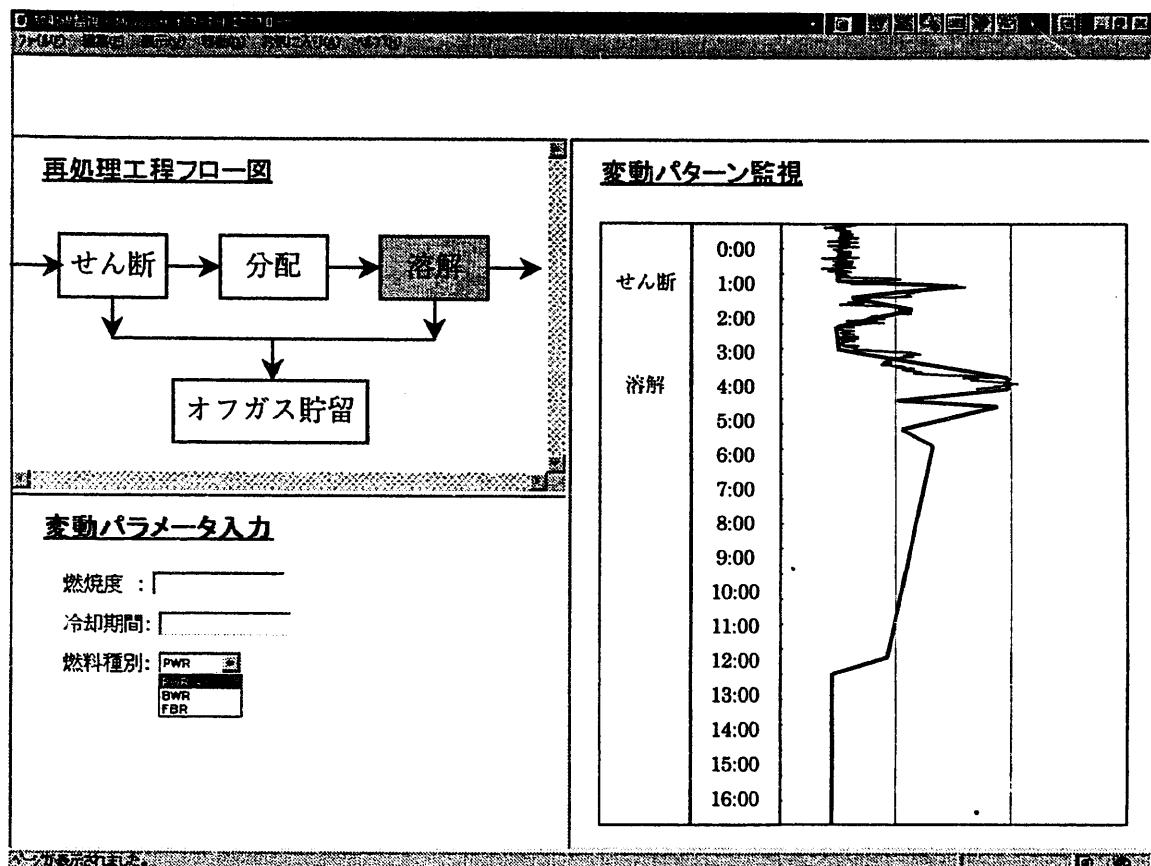


図-29 排気モニタ監視画面例

#### 4.3 放射線作業管理業務

放射線作業管理対応業務支援システムは、以下の機能で構成する。また、図-30に機能構成を示す。

##### (機能)

- ・放射線作業管理対応業務支援機能

線量当量推定の助言・指導支援機能、参照情報検索支援機能で構成する。

- ・知識ベース管理機能

放射線作業実績情報管理支援機能及び放射線作業管理対応業務支援機能で必要な判断基準、対応手順等の知識ベースの構築・保守支援。

- ・マンマシンインタフェース

放射線作業管理対応業務支援機能及び知識ベース管理機能に対するマンマシンインタフェース。

放射線作業管理対応業務の過程で、判断基準、対応手順等の知識ベースに対して、追加修正が必要な場合は、適宜本インタフェースを介して知識ベースを更新する。

#### 放射線作業管理対応支援システム

- 放射線作業管理対応業務支援機能

- 線量当量推定の助言・指導支援機能

- 線量当量推定シミュレーション計算支援機能

- 線量当量推定値の妥当性判定支援

- 参照情報検索支援機能

- 放射線作業実績情報管理支援機能

- 知識ベース管理機能

- マンマシンインタフェース

#### 4.3.1 放射線作業管理対応業務支援

##### (1) 線量当量推定の助言・指導支援機能

###### ① 支援機能

線量当量推定の助言・指導支援機能は、以下の機能で構成する。

- ・線量当量推定値シミュレーション計算支援機能

作業対象機器等を指定することによって、過去の放射線作業実績情報を使用した線量当量推定値を自動計算する。

- ・線量当量推定値の妥当性判定支援機能

計画された線量当量推定値の妥当性を判定するために必要な関連参照情報を提示し、線量当量推定値の妥当性判定を支援する。

###### ② 実現方式

以下に、各機能の実現方式を示す。なお、システム化においては、運用評価結果を反映し、適宜追加・改良が可能な構成とする。

###### (a) 線量当量推定値シミュレーション計算支援機能

当該作業の対象機器等を入力することによって、放射線実績情報データベースから当該作業の線量当量推定計算に使用する各要素を抽出して提示する。

提示された要素を選択していくことによって、線量当量推定値が自動計算される。

参考すべき適切な情報がデータベースに存在しない場合、その旨を告知し情報の入力をオペレータに要求する。入力された情報は、データベースに登録され、以後の業務支援に使用されるものとする。

線量当量推定の際に参照する放射線作業実績情報の選定ルールは、基本的に以下のとおりとする。

- ・事前に測定した放射線情報がある場合には、それを採用する。
- ・線量当量率のように作業対象に直接かかわる放射線情報は、当該作業と同じ作業の実績情報の中から、最も新しい情報を採用する。ただし、安全側に推論するために最大値を採用することもある。
- ・ $\gamma/\beta\gamma$ 比等、周辺作業区域に係る放射線情報は、当該作業対象機器と同室内にある別の機器に対して実施した作業の実績情報または、当該作業と同じユニットに属する部屋で実施された作業の実績情報も参照対象とする。この時、当該作業と同じ作業の実績情報より、同室内別機器の作業実績情報または、同ユニット内で実施された作業実績情報が新しい場合は、より新しい情報を採用するものとする。図-31のような場合、当該機器Aに対する作業が5年前に実施されており、同室の機器Bに対する作業が1か月前に実施されていた場合、周辺放射線状況等の情報は、機器Bの作業実績情報を参照する。
- ・当該作業の機器と別部屋の機器が配管等でつながっている場合、対象機器の放射線状況が同じと判断し、その作業の実績情報も参照対象とする。この時、同室内での作業実績情報より、配管でつながっている別室の機器に対する作業実績情報が新しい場合は、より新しい情報を

採用するものとする。図-31のような場合、当該機器Aに対する作業が5年前に実施されており、配管でつながっている機器Cに対する作業が1か月前に実施されていた場合、対象機器の放射線状況等の情報は、機器Cの作業実績情報を参照する。

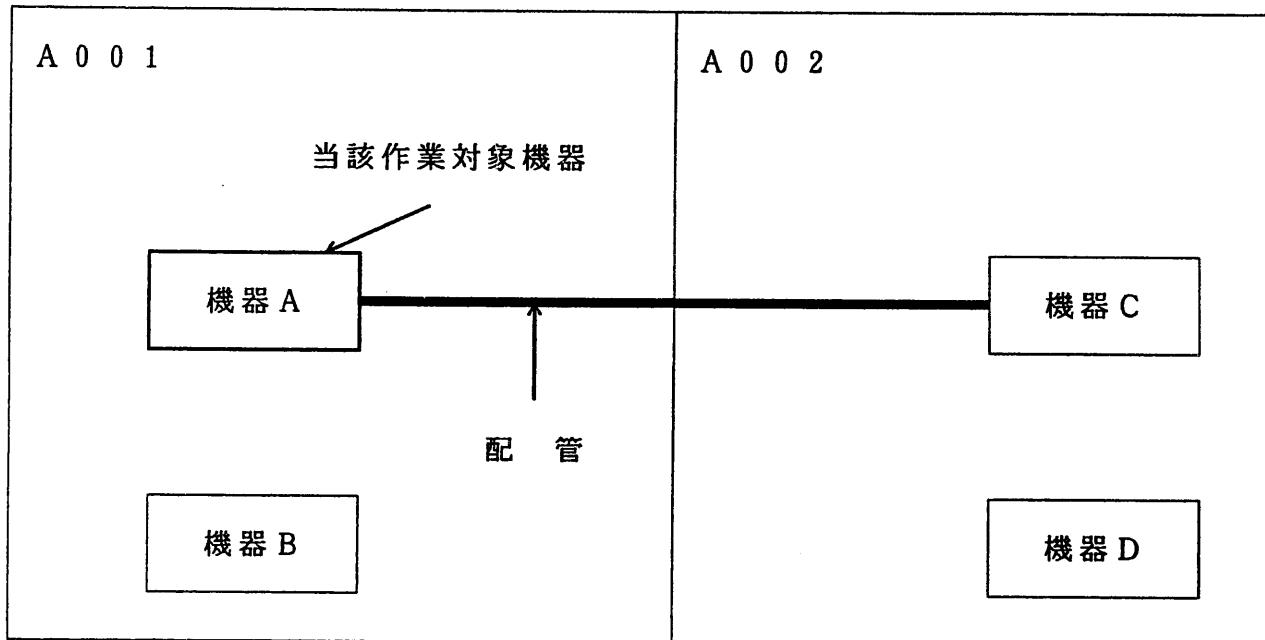


図-31 作業対象機器配置

(b) 線量当量推定値の妥当性判定支援機能

計画された線量当量推定値の妥当性を判定する。

当該作業の作業場所、作業対象機器を入力することによって、放射線作業実績情報データベース及び作業報告書データベースから、線量当量推定計算に使用する各要素を選択ルールに従って抽出し、計画された線量当量推定値と比較判定し、結果を表示する。

各要素の選定ルールは、線量当量推定値シミュレーション計算支援機能に示したルールに従うものとする。

③ 知識ベース化項目

線量当量推定の助言・指導支援機能実現に必要な主な知識ベース化項目を以下に示す。

○作業報告書関連

- 作業計画書番号
- 作業施設（部屋、ユニット、機器、件名、目的）

### ○放射線実績情報

- ・測定日
- ・測定位置
- ・線量当量率測定値
- ・減衰係数
- ・安全係数
- ・ $\gamma / \beta \gamma$  比
- ・作業対象機器施設情報

### ○要領書関連

- ・線量当量推定要領
- ・過去の実績情報参照基準

## (2) 参照情報の検索支援

### ① 支援機能

参照情報の検索支援機能は、以下の機能で構成する。

- ・線量当量関連放射線情報検索支援機能

指定された条件に従って、線量当量推定計算に必要な各要素を放射線実績情報データベースから抽出する。

- ・前回作業評価の反映確認支援機能

当該作業と同種作業の前回作業報告書を検索し、作業評価情報を提供する。

### ② 実現方式

#### (a) 線量当量関連放射線情報検索支援機能

線量当量推定に必要な各要素の参照情報を、過去の放射線実績情報から検索する。検索する放射線情報には、以下のように分けられる。

- ・同種作業

当該作業と同じ機器に対して、同じ目的で実施した作業。事前に測定した放射線状況のデータがない場合に参照したり、線量当量推定値の妥当性検討の際に参考情報とする。

- ・同区域作業

当該作業と同じ部屋にある別の機器に対して実施した作業を表す。作業区域周辺の放射線状況の参考情報とする。

- ・同ユニット作業

当該作業と同じユニットの部屋で実施された作業を表す。作業区域周辺の放射線状況の参考情報とする。

- ・同系統作業

当該作業の対象機器と配管等でつながっている別の部屋の機器に対して実施された作業を表す。作業区域周辺の放射線状況の参考情報とする。

以上の実績情報を検索するためには、複数のデータ項目を検索キーとし、その組み合わせで検索する。検索キーとなる組み合わせを表-2に示す。

表-2 参照情報検索条件

検索キー 検索対象	計画番号	実施目的	作業場所 建屋名	作業場所 部屋番号	ユニット	機器名	機器系統 情報
同種作業	◎	○	○	○	○	○	
同区域内作業			○	○			
同ユニット作業					○		
同系統作業						○	○

◎：1つのキーで検索できる項目

○：キーの組合せで検索するときに使用する項目

### (b) 前回作業評価の反映確認支援機能

前回作業評価の反映確認支援は、今までに実施された特作の作業報告書の中から、最も最近実施された当該作業と同種の作業報告書を検索し、作業評価情報を放管員に提示することである。

前回同種作業の作業報告書の検索は、表-2の検索キーを入力することによって、作業報告書データベースを検索し、全ての項目に該当する作業報告書の作業評価情報を放管員に提示するものとする。

なお、前回同種作業の作業計画書番号が分かっている場合は、作業計画書番号をキーとして入力することによって、検索するものとする。

### ③ 知識ベース化項目

以下に、主な知識ベース化項目を列挙する。

#### ○作業報告書関連

- ・作業計画番号
- ・作業施設
- ・作業部屋
- ・作業ユニット
- ・作業機器
- ・作業件名
- ・作業目的

#### ○放射線実績情報

- ・測定日

- 測定位置
- 線量当量率測定値
- 減衰係数
- 安全係数
- $\gamma / \beta \gamma$  比
- 作業対象機器施設情報

### (3) 放射線作業実績情報管理支援機能

#### ① 支援機能

特作計画書／報告書、作業実施中の放射線状況測定情報等、本支援システムで必要となる作業実績情報のデータベース登録を支援する。

#### ② 実現方式

作業計画書作成、作業報告書作成、放射線測定、作業立会等の各作業終了後に、各情報をデータベースに登録する。

#### ③ 知識ベース化項目

放射線作業実績情報管理支援機能に必要な主な知識ベース化項目を以下に列挙する。

本項目は、線量当量推定の助言・指導支援機能、参照情報検索支援機能で使用されるデータのうち、放射線作業の実績情報を対象とする。

##### ○作業報告書関連

- 作業計画書番号
- 作業施設
- 作業部屋
- 作業ユニット
- 作業機器
- 作業件名
- 作業目的

##### ○放射線実績情報

- 測定日
- 測定位置
- 線量当量率測定値
- 減衰係数
- 安全係数
- $\gamma / \beta \gamma$  比
- 作業対象機器施設情報

#### 4.3.2 知識ベース設計

ここでは、放射線作業管理対応業務支援を実現するにあたって必要な知識ベースに登録すべきデータ項目及びそれに基づいた知識ベース例を検討した。

#### 4.3.3 マンマシンインタフェース

放射線作業管理業務の線量当量推定支援画面の例を図-32、作業実績情報登録画面の例を図-33に示す。

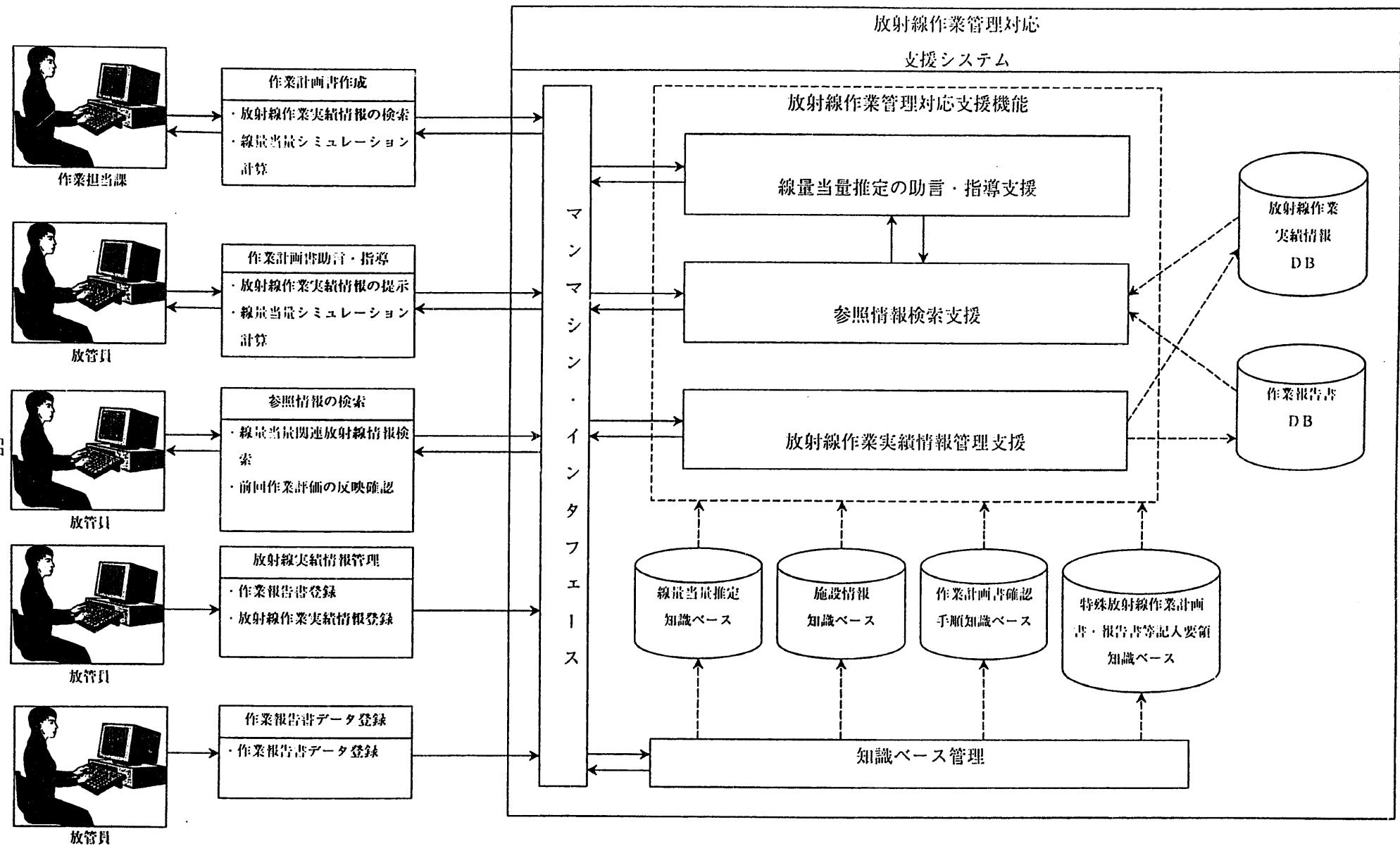


図-30 放射線作業管理対応支援システム機能構成

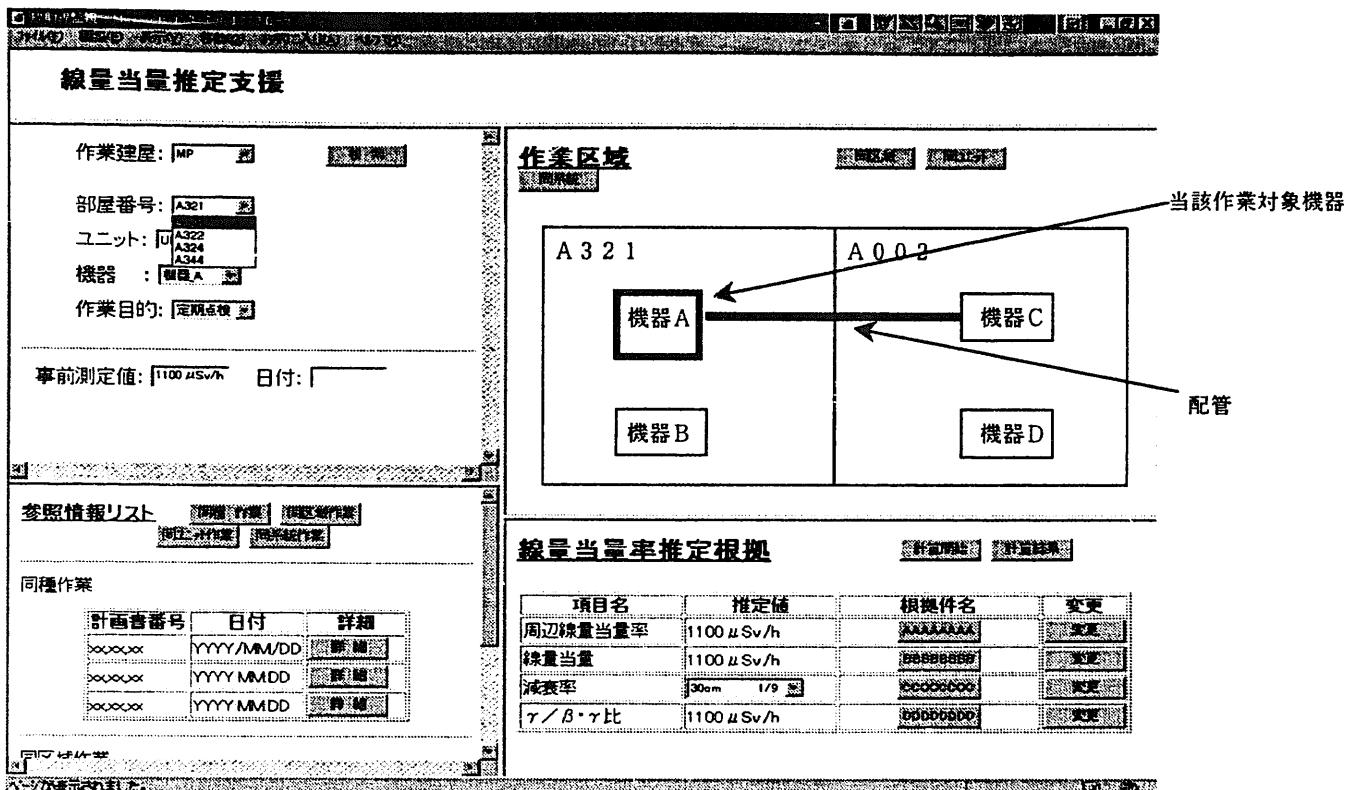


図-32 線量当量推定支援画面例

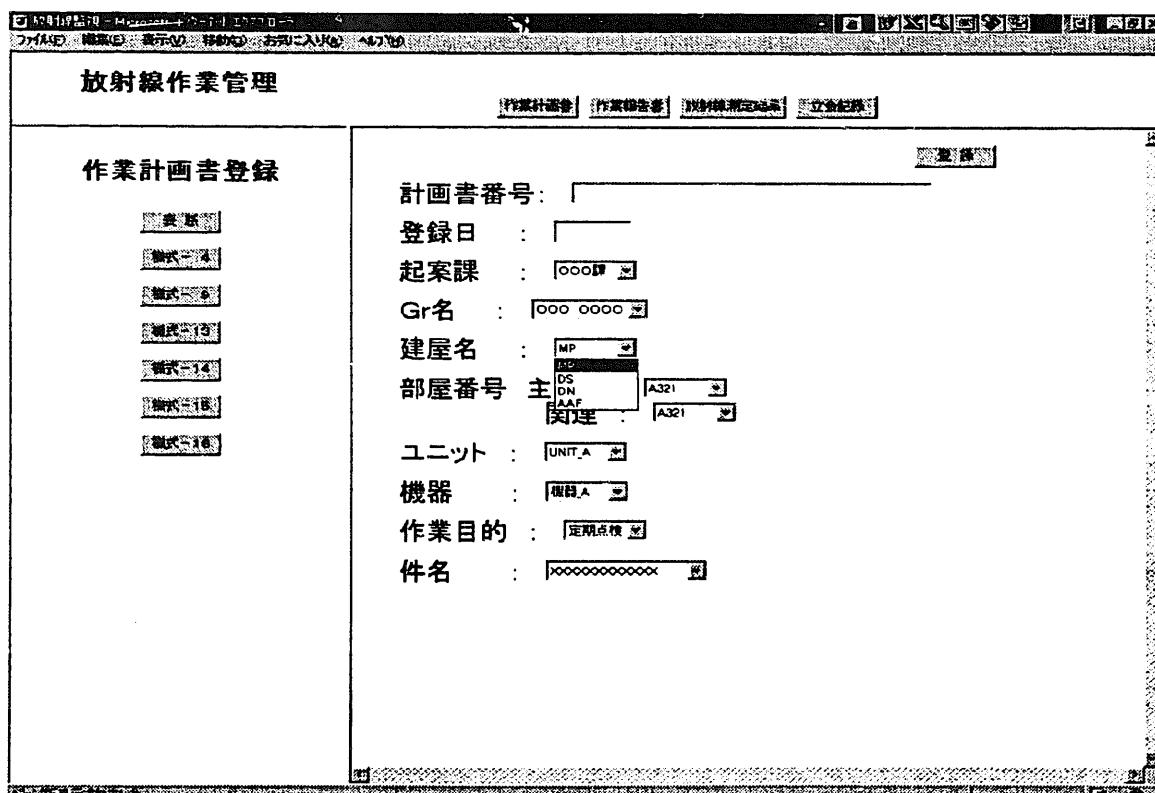


図-33 作業実績情報登録画面例

## 5. 市場調査

### 5.1 東京電力（株）福島第一原子力発電所 技術部 放射線管理課 「保安業務処理支援システム」

#### 5.1.1 開発目的

原子力発電所の管理区域内で火災等が発生した際には、発生場所の放射線の迅速な測定や放射線防護措置等の的確な対応が求められる。このため、これらの事象における放射線管理上の対応手順を記載した「保安業務処理マニュアル」が定められている。

本システムは、これらのマニュアルを「保安業務処理支援システム」として機械化し、火災等の事象発生時の的確で速やかな対応及び収集データの整理等を支援する。また、研修のための学習支援機能を持っている。

#### 5.1.2 システムの内容

本システムは、以下の機能を有している。

##### (1) 手順表示

汚染発生、予想線量超え、人身災害、火災発生、地震発生、保安管理用機材異常、空調停止等の計12件の登録されている事例のうち、選択された事例の対応手順をフローチャート形式で表示する。

##### (2) 学習支援

各事例発生時の対応手順の学習を支援する（フローチャートの虫食いテスト等）。

##### (3) 学習管理

「学習支援」で実施したテストの成績等、研修の実施結果を管理する。

##### (4) 様式編集

各事例に対応した様式で、対応結果を記録する。

##### (5) トラブル事例検索

「様式編集」で記録した過去の発生事象対応データを検索する。

#### 5.1.3 システムの運用状況

本システムを使用し、事例発生時の対応記録作成及び各事例の実技訓練を年4回（4半期に1回）程度実施している。また、本システムの運用によって、事例発生時における対応の漏れが無くなるとともに迅速な対応処理が可能となった。

今後は、本システムを現場（放射線管理室）とオンライン化し、対応データの報告時間の短縮を図る予定である。

#### 5.1.4 システムの評価

本システムは、「業務マニュアルの機械化」、「事象対応情報の記録」、「学

習支援」の3点において開発されており、作業員の知識や経験を知識ベースにしたエキスパートシステムを構築する前段階のシステムと位置づけられる。

#### 5.1.5 参考文献

第32回保健物理学会 研究発表会 要旨集（1997年発行）

## 5.2 原子力発電プラント保守支援エキスパートシステム

### 5.2.1 開発目的

我が国の原子力発電所では、これまでに安全性の確保及び信頼性の向上を最重要課題として取り組んできた成果が実り、70%を超える高い設備利用率を示している。

今後の総発電電力に占める原子力の比率の増大を考慮すると、この高い設備利用率を維持し、電力の安定供給を継続していくために、発電所の保守技術の高度化が重要課題となってくる。

このため、保守面での熟練技術者の専門的知識の経験的知識を知識ベースに格納し、迅速な判断を支援するエキスパートシステムを開発する。

### 5.2.2 システムの内容

本システムは、以下の3つの機能から構成される。

#### (1) 異常検出機能

プラントのプロセスデータの値や変化率を、知識ベースに格納したしきい値と比較し、異常事象発生の有無を判定する。

#### (2) 診断機能

上記の異常検出機能において検出された異常事象データに基づき、観測された異常事象の原因となりうる候補を事象波及に関する知識ベースを使用して推定し、候補の中から実際のプラント状態を説明できる原因を特定する。原因特定には、仮説検定<sup>\*1</sup>による処理を用いる。

仮説検定による処理について、図-34を用いて説明する。

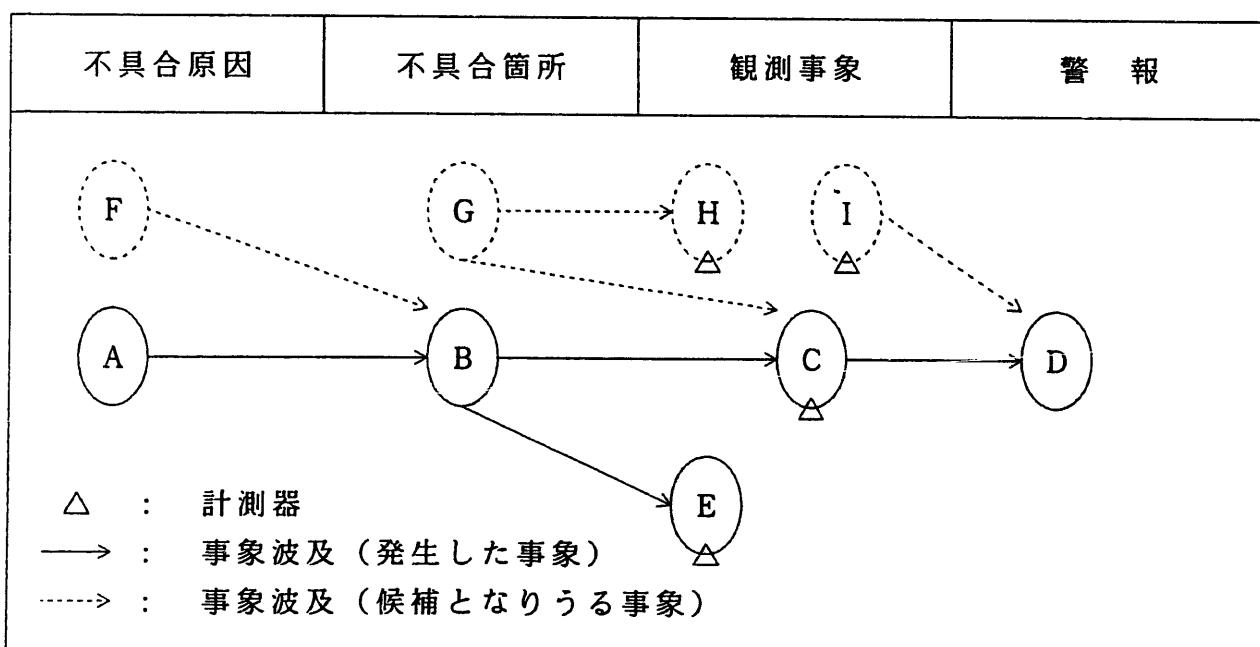


図-34 仮説検定処理の例

図のように、不具合原因Aによって事象Bが発生し、それに起因して事象C及びEが発生し、警報Dによって観測されたものとする。実線は実際に発生した事象とその波及を、また、破線は発生した事象の候補となりうる仮想的な事象との波及を示す。これらの事象波及の関係は、知識ベースに事象波及データとして格納される。また、△印を付けた事象は、計測器によって事象発生の有無を確認できるものとする。

警報Dが発生した場合の原因同定の処理プロセスは次のようである。まず、警報Dの原因候補の事象は、知識ベースの事象波及データに基づきIとCの2つであることが分かる。ここでは、観測データからIは発生しておらず、Cが発生していることを確認できる。次に、Cの原因となりうる候補は、同様に事象波及データに基づくとGとBのいずれかであるが、GもBも計測器が無く、直接観測できない。しかし、Gの波及事象に相当するHが発生していないことを観測データから確認できれば、Gが発生していないことを間接的に確認できる。同様に、Eの観測データを確認すれば不具合箇所として、Bが発生していることを間接的に確認できる。さらに、Bの原因候補としては、AとFが挙げられるが、観測による特定ができない。この場合には、確認項目をCTRに表示し、運転員による目視や切替操作をガイダンスして、対話によって不具合原因を同定できる。

### (3) 処理ガイダンス機能

運転方法データを用いて、処理方法の候補を選択する。

この運転方法データは、運転マニュアルに基づいて作成するものであり、不具合箇所や原因に応じて、制限条件、操作目標及び可能な運転方法を整理したものである。運転方法の候補が複数個存在する場合には、CRTに表示して運転員の判断を求める。

#### 5.2.3 システムの評価

発生する事象とその原因の関連を知識ベース化し、その関連をたどって発生事象の原因を推定する方法は、定置式モニタ監視支援システムの変動要因推定方式の参考となる。

#### 5.2.4 参考文献

日立評論 Vol.71 No.8 (1989年発行)

\*1) 仮説検定：不具合箇所や原因を仮定し、その波及事象の有無を確認することによって仮説の正しさを検定する方法。

## 5.3 列車故障診断エキスパートシステム

### 5.3.1 開発目的

最近の列車では、チョッパ装置、インバータ装置、ブレーキ装置、ATC（自動列車制御）装置等主要機器の電子化が進んでいるが、故障が発生した場合の故障箇所の発見と原因究明に多くの時間が必要となってきており、実際、保守に要する時間のうち、約3/4が費やされている。

これらの主要機器は、モニタリング装置によって常時監視され、異常発生時には、乗務員に通報するとともに、異常発生時の機器の信号データを記録している。

異常が発生した場合に、迅速かつ正確な診断と処置を支援するためのエキスパートシステムを開発した。

### 5.3.2 システムの内容

#### (1) 波形解析機能

メモリに記憶している異常発生前後5秒間のモニタ信号の波形を解析する機能。この解析は、ピークの有無、増加か減少か、しきい値を超えていているか等についておおまかに行う。

#### (2) 診断知識

診断するための診断知識は、異常事象間の因果関係が主体となり、その表現としてAND-ORグラフ<sup>\*2</sup>を用いる。図-35は、以下のような知識を表す。

PRRまたはBR信号がアクティブの時、OPR2-auxの原因事象のいずれかが発生するとOPR2信号が立ち上がり、モニタ信号の波形を記録する。また、サイリスタスイッチの異常高温によって温度リレーが作動した場合には、THAR、OPR1及び、OCARの立ち上がりを経てモニタ信号の波形を記録する。

#### (3) 推論方法

異常を検知した信号を基に、AND-ORグラフを探索し、確認しながらゴールの属性の事象にたどりついたら、異常原因の候補とし、残りの異常信号を探索する。全ての異常信号を探索した結果を要因として提示する。

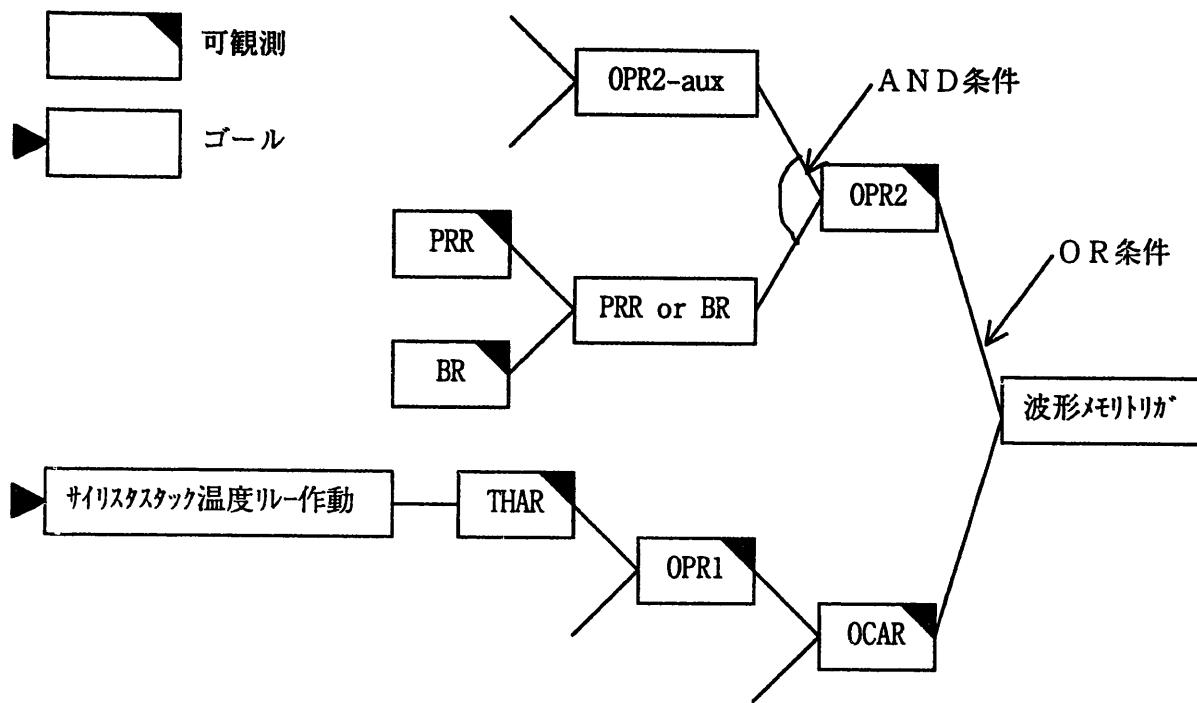
### 5.3.3 システムの評価

知識ベースとなる原因と発生事象の因果関係の表現方法として、AND-ORグラフを用いているが、再処理施設のように対象となるデータが多くなった場合の表現方法としては適切な方法ではない。

### 5.3.4 参考文献

三菱電機技報 Vol. 60 No. 9 (1986年発行)

\*2) AND-ORグラフ：事象の因果関係を表現する方法の1つで、事象間の接点が成立する条件をAND条件とOR条件で表す。



図において、左側が原因事象、右側が結果事象となる。

記載される事象には、次の属性が与えられる。

- ・ 可観測…その事象に関する信号が記録されており、信号の解析することにより確認できる事象
- ・ ゴール…その事象の根本原因と見なしうる事象であり、原因の枝を持たない。
- ・ 中間……上の 2 つに該当しないもの。AND – OR の合成結果を表す。

図-35 AND – OR グラフによる知識ベース

## 5.4 高速炉プラント運転支援システム

### 5.4.1 開発目的

高速炉（以下、「FBR」という。）プラントのマンマシン性、運転制御性の向上等の面から、運転員の判断を支援する高度な運転支援システムの開発が求められている。

知的工学を応用して、FBR プラント特有のシステムや機器固有の特性を知識として運転支援システムに組み込むことによって、より高度な運転支援システムを開発する。

### 5.4.2 システムの内容

#### (1) プラント異常の早期検知

主要なプロセス信号間のバランスを監視し、警報が発生する前に異常を検知する。

#### (2) 第一発生警報の表示

警報間の異常伝搬経路を納めた知識ベースを活用し、最初に発生した警報を CRT に表示する。

#### (3) シーケンスモニタリング

異常発生後の安全保護系、プラントのインタロック<sup>\*3</sup>の自動起動ロジックの動作が正常か否かを監視する。

#### (4) 異常原因の判定

観測される信号パターンと既知の異常原因とを関係付ける経験的知識情報をもとに、異常原因を判定する。

#### (5) 異常時処置マニュアル表示

監視、診断結果にもとづき、運転員がとるべき処置をCRT に表示する。

### 5.4.3 知識ベース

システムで発生する全ての警報に対して、図-36のように、その属性と発生条件が階層化されたフレーム形式<sup>\*1</sup>で表現されたものを最小単位として、知識ベースを構成する。

属性データには、処置マニュアル、警報の重要度等が記載されている。

発生条件データには、その警報の発生原因となりうる警報群の状態と影響伝搬の遅れ時間が、安全保護系あるいはプラントインタロックの動作によって伝搬するのか、物理的な因果関係によるものか、伝搬的特性別に記述されている。

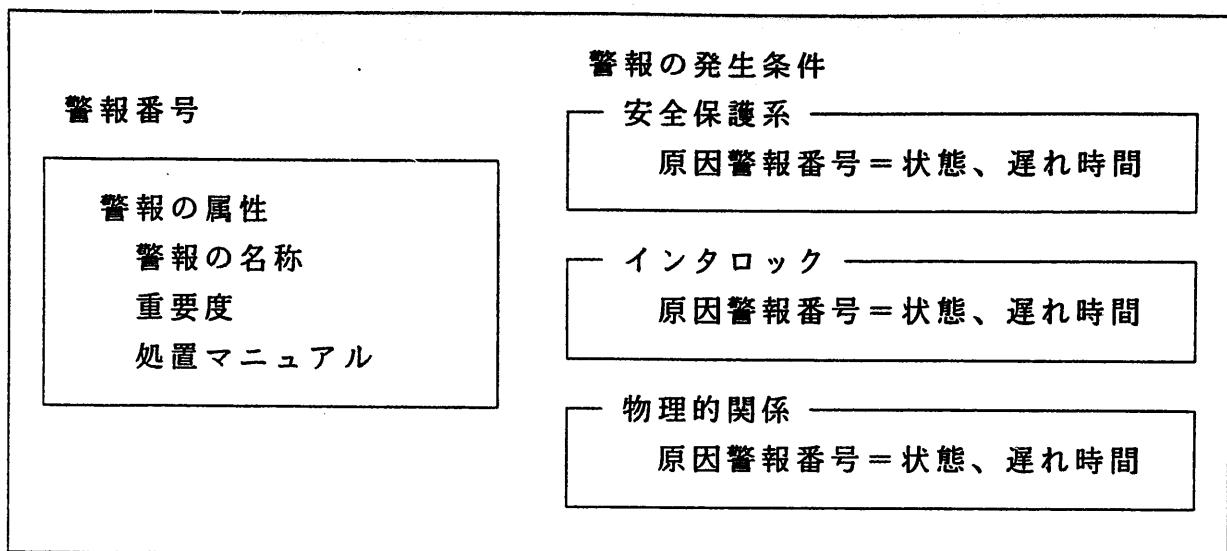


図-36 知識ベース構成単位

#### 5.4.4 推論手法

現在発生している警報について、その警報の発生条件となる警報の状態を調べる。これを繰り返すことによって、警報間の異常伝搬経路をたどり、発生原因となる警報を持たない警報が、第一発生警報と推論される。

第一発生原因の候補が複数ある場合は、それらの発生時間をもとに判定することができる。また、同時に発生している場合は、多重異常発生として運転員に提示する。

以上の推論結果と知識ベースの重要度等から、最も注目すべき警報の情報を運転員に提示する。

#### 5.4.5 システムの評価

本システムの推論は、発生した警報に対応する発生条件を知識ベースからたどって確認する方法で推論を進めるが、知識として警報に対応する発生条件を細かく全て知識ベース化することが不可欠であり、知識ベースの構築及びメンテナンスを行う際に手間がかかる。

このことを考えると、定置式モニタ監視支援システムの推論方法として適用するには問題がある。

#### 5.4.6 参考文献

東芝レビュー 42巻 5号 (1987年発行)

- \*3) インタロック : Aの制御装置が動作しているときにBの制御装置が動作してはならない場合、安全のために設ける保護装置。
- \*4) フレーム形式 : 知識の構成単位。項目や項目間の因果関係等をひとかたまりとした知識構造単位。

## 5.5 プラント運転リアルタイムエキスパートシステム

### 5.5.1 開発目的

最近の火力発電プラントは、大規模かつ複雑なシステムであり、多様な状況変化に応じて、安全かつ最適に運転するためには、高度な運転技術が必要となる。これに対応するため、経験豊富な熟練オペレータの技術を活用して、問題発生時に迅速な対応を支援するエキスパートシステムを開発する。

### 5.5.2 システムの内容

#### (1) データ処理機能

プロセスの信号入力を計算機に取り込む。また、主要プロセス値に対する期待値と現在値とを比較監視し、許容範囲を逸脱した場合にもプラント異常と判断する。

#### (2) 推論処理機能

このシステムでは、対象プラントを複数のサブシステムに分割し、個々のサブシステムの正常時の振る舞いや特性を定性的にモデル化し、現実の事象とのパターンマッチングによって、当該サブシステムが異常であることを診断する。

また、このシステムは、サブシステム内の異常原因をルールベース形式の知識で診断できる機能を持つため、サブシステムモデルを適切な大きさに分割すれば、大まかな診断から詳細な診断まで階層的に推論できる。

### 5.5.3 システムの評価

本システムで行われている定性的なモデルと実際の事象とのパターンマッチングによる判定方法は、排気モニタ監視業務支援システムのモニタ指示値変動検知の実現方式における考え方と共通するものがある。

ただし、モデル化する対象が実プラントとモニタ指示値変動パターンの違いがあるため実現する際の方法に大きな違いがあり、考え方のみ参照することが適切と思われる。

### 5.5.4 参考文献

三菱電機技報 Vol. 63 No. 7 (1989年発行)

## 5.6 浄水場制御エキスパートシステム

### 5.6.1 開発目的

浄水場の効率的な運用及び高度できめ細かな運転のためには、高機能で人間の操作に近い監視制御システムの実現が望まれてきている。

知識工学を応用し、操作員の知識を用いた浄水場の制御ができるエキスパートシステムを開発した。

### 5.6.2 システムの内容

ろ過池の能力を均一に保ち、かつろ過系統の管理、洗浄スケジュール管理を考慮しつつ着水流量変動に応じたろ過池の起動／停止の制御を維持することは、熟練した操作員の専門的知識を必要とする。

このシステムでは、ろ過池オンライン自動制御部にエキスパートシステムを適用した。

### 5.6.3 知識ベース

このシステムでは、制御仕様を”知識”として知識ベース内に記憶し、この知識に基づいて推論し、制御機能を実現する。

知識は、IF（条件部）、THEN（処理部）の形で形式化されたプロダクションルール<sup>\*5</sup>として記述する。また、メタ知識<sup>\*6</sup>によって知識をグループ化し、知識の階層化や機能単位で知識を整理する。

### 5.6.4 推論方法

推論部は、知識ベース内のプロダクションルールに従って前向きに推論し、制御目標値を決定する。

推論システムは、プロダクションルール群の中で、オンライン情報に対応して実行可能なルールから順次実行していく。

### 5.6.5 システムの評価

本システムで知識ベースに使用しているプロダクションルールは、考えられる事象を全てルールとして知識ベース化する必要がある。

このため、知識ベースの構築及び変更等メンテナンスの際に多くの手間がかかるという問題点がある。

### 5.6.6 参考文献

東芝レビュー 42巻 5号（1987年発行）

\*5 : プロダクションルール : “AならばBである”のような形式で表現される知識。

\*6 : メタ知識

: 知識を制御するための知識。ある推論を実施した結果該当する知識が複数存在した場合、その中から選択する処理を制御するための知識。

## 5.7 知識工学応用による系統事故判定・復旧支援システム

### 5.7.1 開発目的

電力系統に事故が発生すると関連する情報は自動的に収集され、運転員はその情報をもとに、事故の発生区間や事故の様相等を正確に、しかも迅速に判定することが求められている。

現状、運転員は、これらを専門的な知識、過去の経験的な知識を利用して人為的に判定している。この場合、同様に複数の事故が発生した場合や機器の誤動作を伴う事故が発生した場合等、多くの情報が一斉に提示されると、冷静で正確な判断が困難になると思われる。

今回、知識工学を応用して、事故判定・復旧を支援するエキスパートシステムを開発する。

### 5.7.2 システムの内容

- (1) オンライン情報に基づく事故判定機能
- (2) 復旧操作手順の作成機能

### 5.7.3 知識ベース

事故判定用の知識ベースの構成は、制御知識、判定知識、プリミティブの3つに階層化している（図-37参照）。

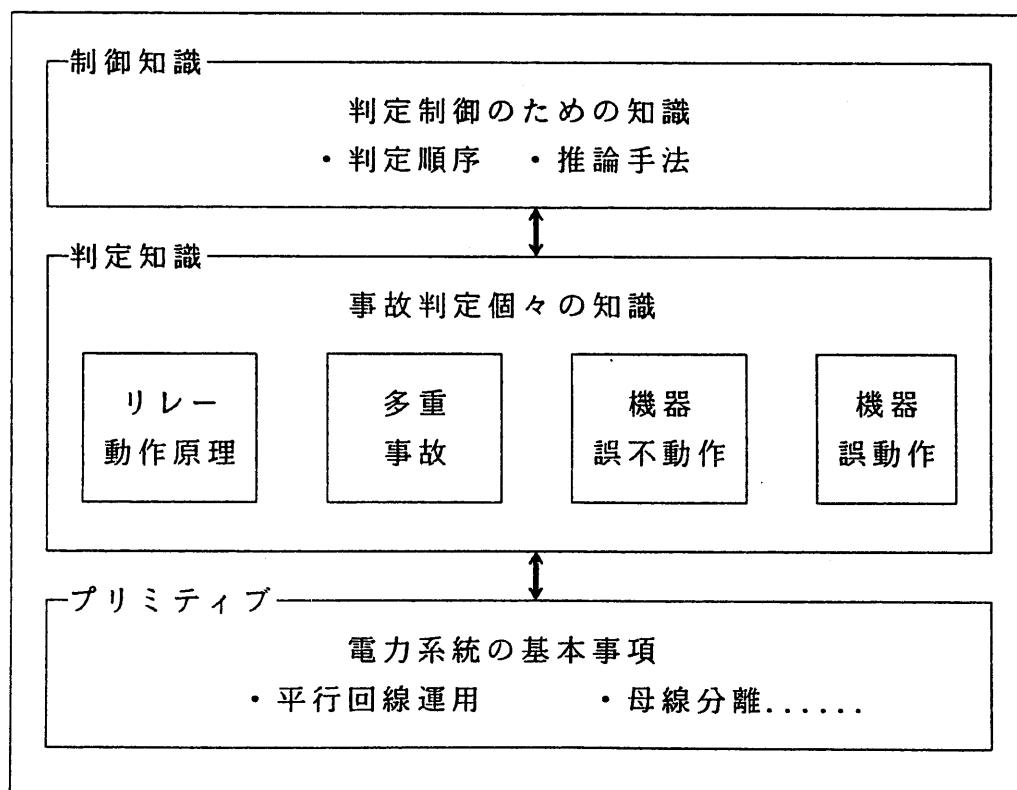


図-37 知識ベース

制御知識とは、判定の推論過程における制御に関する知識であり、判定の順序、推論手順、判定知識への入力値等を規定する。

判定知識とは、判定の用いる個々の知識であり、リレー動作原理、多重事故、機器の誤不動作に関する知識である。この知識は、プリミティブの組合せによって表現される。

プリミティブとは、電力系統における常識、基本項目を定義したものである。以下に、判定知識の一例（リレー動作原理）の記述を示す。

#### 知識：

平行回線運用している送電線で短絡バランスリレー（50s）が動作した場合は、事故区間は当該送電線であり、事故様相は短絡である。

#### 判定知識：

動作原理（\_\_リレー, \_\_事故区間, 事故様相： -

- a1 （50s, \_\_送電線, ),
- a7 （\_\_送電線),
- a21 （\_\_事故区間, \_\_送電線),
- a31 （\_\_事故様相).

#### プリミティブ：

- a1 （\_\_形, \_\_設備) ある設備でリレーが動作
- a7 （\_\_送電線) 平行回線運用している
- a21 （\_\_事故区間, \_\_設備) \_\_設備で事故
- a31 （\_\_事故様相) 事故は短絡である

#### 5.7.4 推論手法

制御知識を扱った推論を行う場合は、制御知識上で指定されている順序にしたがい、順に判定知識の知識モジュールを採用する。

判定知識を扱う推論の場合は、同一知識モジュール内での判定知識から適切な知識を採用することであり、採用可能な知識全てを採用する方法、優先度による採用方法、知識ベース上の順番に採用する方法のうちいずれかを選択する。

#### 5.7.5 システムの評価

電力系統を対象として構築されたシステムなので推論方法に関してはそのまま適用できないが、知識ベースを階層化する全体構成等は、定置式モニタ監視支援システム、排気モニタ監視支援システムの知識ベース構成の参考となる。

#### 5.7.6 参考文献

東芝レビュー 41巻 11号（1986年発行）

## 5.8 原子力発電所給水系診断エキスパートシステム

### 5.8.1 開発目的

原子力発電プラントでは、これまで安全性を最重要視した設計、開発が行われてきたが、原子力発電所の発電電力量の増加によって、今後は安全性を確保しつつ信頼性、経済性を一層向上させることが要求されている。

このために、プラント診断技術の強化による異常の早期検知、原因の早期同定、事故の未然防止と拡大防止等が重要になると考えられる。

プラントでの異常発生時の診断は、従来、多部門の技術者の専門的知識と経験に基づき行われてきた。この診断作業を体系化、機械化、迅速化し、技術者の原因究明を支援するエキスパートシステムを開発した。

### 5.8.2 システムの内容

原子力発電所の給水系を対象として、異常発生時に対話形式で診断支援する。

### 5.8.3 知識ベース

異常事象、観測事象、中間仮説、異常原因及びそれらの間の関連を、木構造図<sup>\*7)</sup>の形で表現する。この中に設計図、仕様書、事例集等に記載されている設計上の知識と過去の運転実績による経験的知識をあわせて記載する。

木構造形式で整理した知識をプロダクションルール形式で知識ベース化する。

### 5.8.4 推論手法

推論の実行順序は、技術者が実際に使う順序に極力一致させる。

### 5.8.5 システムの評価

本システムはルールベース形式の知識ベースを使用しているが、給水系のように限られた対象に対してならともかく、システムの対象範囲が大きくなる場合、全ての情報をルールとして知識ベース化することがシステム構築の課題となってくる。

### 5.8.6 参考文献

東芝レビュー 42巻 5号 (1987年発行)

\*7) 木構造図 : 個々の情報の関連を階層的に表した図。情報の親子関係が木の枝のように表される。

## 5.9 電力系統運転支援エキスパートシステム

### 5.9.1 開発目的

電力系統の分野では、電力供給信頼度の向上という社会の要求に対して、ハードウェアの面からは送変電設備の高信頼化、ソフトウェアの面からは計算機による監視制御等の対応が進められている。

しかし、事故発生状況の把握や設備の異常診断等では、熟練運転員の判断に頼る部分が多く残っている。

そこで知識工学を応用し、運転員のノウハウを取り込んだ運転支援システムの必要性が高まっている。

### 5.9.2 システムの内容

本システムは、以下の機能を有している。

#### (1) 事故区間判定 :

電力系統にて、地絡や短絡等の事故が発生した場合、事故が発生した区間の判定手順を支援する。

#### (2) 復旧操作手順作成

事故区間が判明した後、事故区間の切り離し操作及び健全区間の復旧操作の手順を作成し、運転員に提示する。

本システムの知識ベースは、設備等の静的な知識、事故の判定や復旧手順作成等の動的な知識、動的な知識の中で手続き的な表現に馴染まないものに分けて知識ベースを構築する。

### 5.9.3 知識ベース

#### (1) フレーム

系統を構成する個々の機器、保護リレー等を1つのフレームとし、それぞれの属性をフレーム内に記述する。

#### (2) プロダクションルール

事故判定や復旧操作手順作成等を行うための動的な知識を、if～then～型のプロダクションルールで表現する。

#### (3) メソッド<sup>\*8</sup>

動的な知識のうち、系統の検索等の手続き的でプロダクションルールの表現に馴染まないものは、メソッドとよぶ手続き型言語の関数で表現する。

### 5.9.4 推論手法

#### (1) 事故区間判定

##### ① 仮の事故区間の導出

事故によって作動した動作リレーの保護範囲を仮の事故区間とする。動作リレーが複数個存在する場合、リレーの誤動作や多重事故がないという仮定のもとに各動作リレーの保護範囲の共通部分を仮の事故区間とする。

② リレー誤不動作の判定

仮の事故区間に含まれる機器について、そこを事故点と仮定した場合に動作すべきなのに動作していないリレーがないかを確認する。誤不動作リレーは事故点を保護範囲に含む。

③ 事故区間の絞り込み

仮の事故区間に含まれる機器のうち、②で求めた誤不動作リレーの数が最も少ない機器が最も可能性が高い事故点といえる。そこで、それらの機器の集合を最終的な事故区間とする。

(2) 復旧操作手順作成

① 事故点の切り離し

健全区間を復旧するための準備として、事故点を含む区間と健全区間とを遮断器によって分離する。復旧禁止区間は、事故点を含む小さい区間となるよう決定する。

② 復旧操作

動作した遮断器について、投入してもよいか、投入によって健全区間が復旧されるかを様々な条件をチェックしながら判定する。

③ 手順作成

以上で求めた開放または投入すべき遮断器、断路器について、その操作手順を作成する。

#### 5.9.5 システムの評価

本システムでは、電力系統における事故発生区間の推定が対象であり、発生した事象の要因を推定する方法として適用するのは適当でない。

#### 5.9.6 参考文献

日立評論 Vol. 71 No. 8 (1989年発行)

\*8) メソッド : 方法を意味する。本システムでは、手続き型言語で作成された関数を表す。

## 5.10 浄水場水運用エキスパートシステム

### 5.10.1 開発目的

浄水場を合理的に運用するために、浄水の需要予測に基づいて場内の貯水容量を総合的に運用するために、専門家の経験的知識を用いた浄水場運用エキスパートシステムを開発する。

### 5.10.2 システムの内容

本システムは、以下の機能を有している。

#### (1) 最適計画策定

需要予測値に基づいて浄水場全体の負荷平滑を目的とした最適計画を立てる。

#### (2) プロセス監視・制御

策定された計画値をもとに全水量プロセスを常時監視し、各プロセスに応じて各制御量を決定する。

### 5.10.3 知識ベース

プロセスを図-38のように、動作、現象とその関係のネットワークモデルで表す。

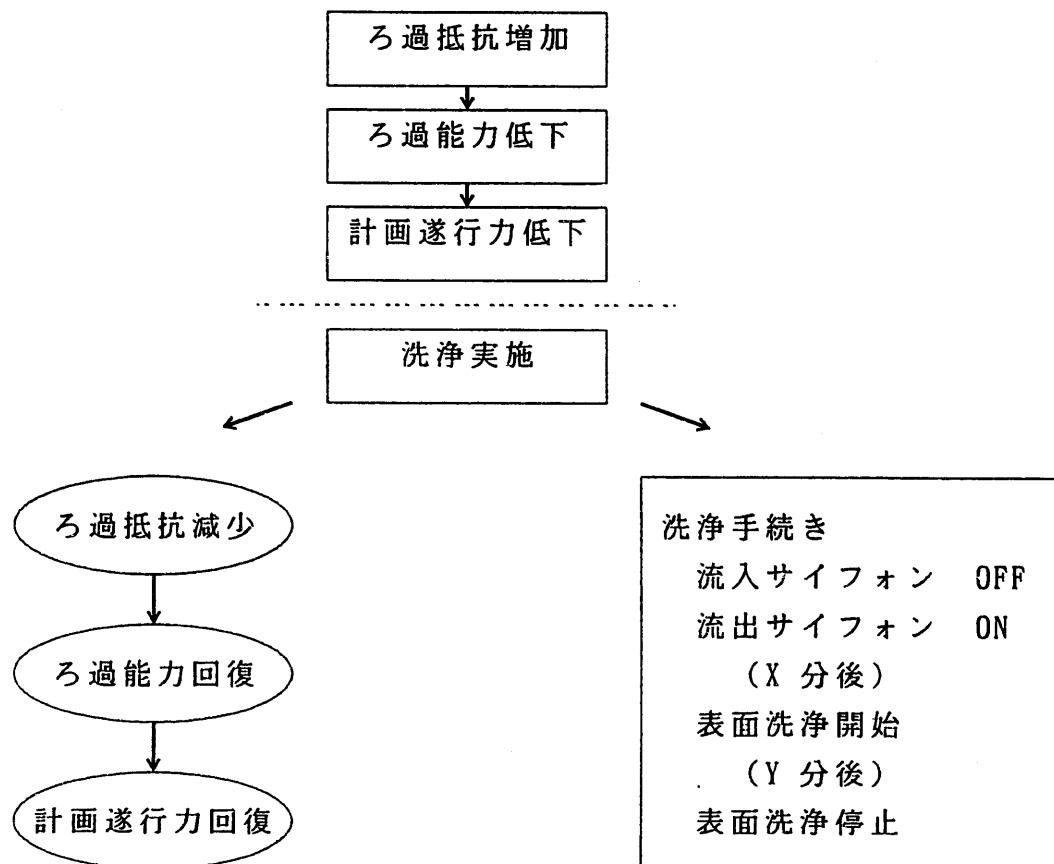


図-38 知識表現例

図のような知識は、”フレーム”という方法で表現することができる。図の「洗浄実施」は、次のように示される。

( ( 洗浄実施 is - a : 知識ベース

仮説される現象 : ろ過抵抗減少、洗浄手続き )

( ( ) ) 内をフレーム、各々の行をスロットと呼ぶ。スロットは、: 以降の値(文字列)を持っている。この例では、”仮説される現象”という値は、図中の→に相当する”関数”を示している。

#### 5.10.4 推論方法

フレームで表現された知識を用いて、推論する方法は、リレーション<sup>\*9</sup>を利用する方法、オブジェクト指向<sup>\*10</sup>による方法、前向き、あるいは後ろ向き等の推論方法<sup>\*11</sup>がある。図-38のようなネットワークに沿って推論する場合は、前向き推論を使用することができる。

#### 5.10.5 システムの評価

本システムの推論方法である発生する事象とその原因のリレーションを知識ベース化として利用する考え方には、定置式モニタ監視支援システムの要因推定において参考となる。ただし、施設の自動制御運転支援を目的として開発されたシステムなので考え方のみを参照する。

#### 5.10.6 参考文献

東芝レビュー 44巻 10号 (1988年発行)

\*9) リレーション : 関係を意味する。ここでは知識の関係をたどって推論することを表す。

\*10) オブジェクト指向 : データ構造と振る舞いを1つにまとめたものをオブジェクトと定義し、そのオブジェクトを中心とした考え方。

\*11) 前向き推論 : ”AならばBである”のようなルールを用いた推論の方法。  
成立した条件AからBを推論する方法。

\*11) 後ろ向き推論 : ”AならばBである”のようなルールを用いた推論の方法。  
結論Bの根拠となるAを推論すること。

## 6. 開発計画

本支援システムの今後の開発計画を以下に示す。また、開発工程を表-3に示す。

### 6.1 作業項目

#### 6.1.1 概念設計

##### (1) 機能定義

支援システムで実現する機能及び推論方式等を定義する。

##### (2) データ及びデータベース定義

支援システムで使用する知識ベースの項目及び構造を定義する。

##### (3) システム構成定義

支援システムのシステム全体構成を定義する。

##### (4) プロトタイピングによる方式評価

機能及び対象範囲を限定したプロトタイプシステムによって、推論方式及びマンマシンインターフェース等を評価する。

#### 6.1.2 試作システム設計製作及び検証

##### (1) システムの詳細設計

プロトタイピングによる評価結果をもとに試作システムを詳細設計する。

##### (2) 製作

詳細設計に基づき、試作システムを製作する。

##### (3) システムの検証

試作システムを試運用し、各機能を検証する。

##### (4) システムの改良

試運用において発生した問題点について、処理方式の変更等を機能改良し、試運用する。

#### 6.1.3 報告

##### (1) 検証結果分析

試運用結果を分析し、試作システム評価及び今後の正式運用にむけてのシステム開発の課題等をまとめる。

##### (2) 報告

本支援システム開発結果を報告する。

### 6.2 システム概略構成

本システムの概略構成例を図-39に示す。

サーバ側に、データベース管理・推論検索処理・ユーザインタフェースの3つを構築し、放管員はネットワークに接続したクライアント端末から操作する構成とする。

ユーザインタフェースは、WWW ブラウザ<sup>\*</sup>を利用してることが考えられる。WWW ブラウ

ザを利用すれば、クライアント端末が機種の制約を受けなくなり、現在使用しているパソコン等をネットワークに接続することによって、クライアント端末として使用することが可能になる。

提供する情報の種類によって必要に応じて、ヘルパーアプリケーション<sup>\*2</sup>やJavaアプレット<sup>\*3</sup>、Active Xコントロール<sup>\*4</sup>等のプラグイン<sup>\*5</sup>を追加する。

\*1) WWW ブラウザ

WWW (World Wide Web: ネットワーク上に構築される広域情報システム) 上の情報の全体を把握したり、目的の情報を取り出したりするのに用いるソフトウェア。

\*2) ヘルパーアプリケーション

WWW ブラウザでサード・パーティ製ソフトを組み込み、ブラウザが対応していない各種形式のファイルをブラウザに代わって処理することで表示できるようにする仕組み。WWW ブラウザからは完全に独立したアプリケーション。

\*3) Javaアプレット

米サン・マイクロシステムズが開発したオブジェクト指向プログラミング言語”Java”で作成したソフトウェア。

\*4) Active Xコントローラ

WWW に関する米Microsoft 社の技術。ネットワーク上のサーバ、クライアント間のアプリケーションの連携を実現する。

\*5) プラグイン

WWW ブラウザでサード・パーティ製ソフトを組み込むことで、WWW ブラウザが対応できない各種形式のファイルをWWW ブラウザのウインドウ内で表示できるようにする仕組み。WWW ブラウザと一体となって動作する。

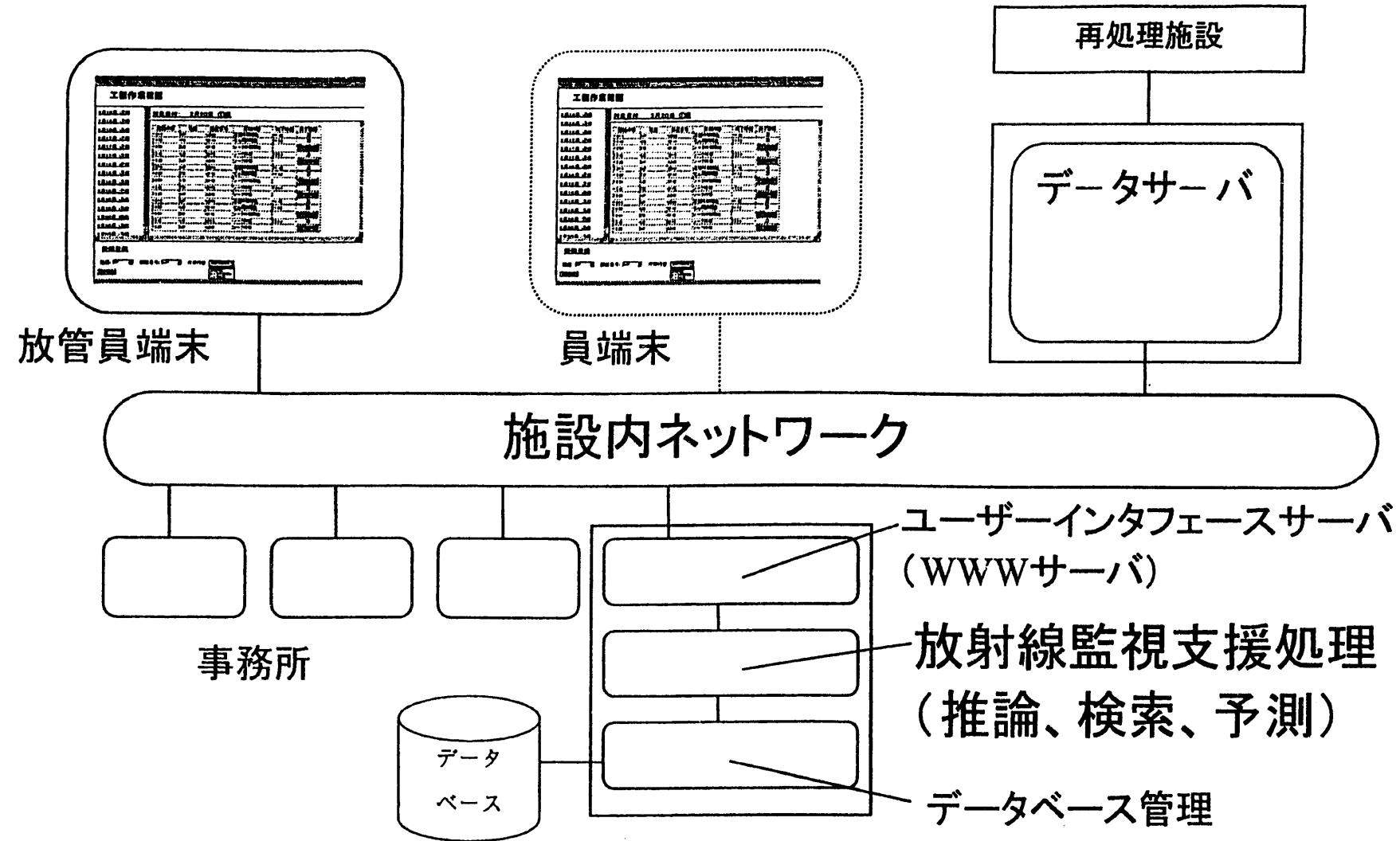


図-39 放射線監視・管理支援システム構成例

表-3 放射線監視・管理支援システム開発計画

作業項目	平成9年度		平成10年度		平成11年度		平成12年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期
1. 調査・検討 (1) 現状の対応作業分析 (2) 対象項目情報の調査・分析 (3) 知識ベースの収集・整理 (今年度実施作業 )								
2. 概念設計 *								
(1) 機能定義 (2) データ及びデータベース定義 (3) システム構成定義 (4) プロトタイプによる方式評価								
3. 試作システム設計製作 *								
(1) システム詳細設計 (プロトタイプによる機能評価含む) (2) 製作 (3) システム検証 (4) システム改良								
4. 報告 (1) 検証結果分析 (2) 報告書作成								

\* 特定のシステムを選択し、実施範囲を限定して行う。

別添 - 1

平成 9 年度研究開発等実施計画書／成果報告書

様式 1 - 1

平成 9年 2月 14日作成  
新規・継続・改訂平成9年度  
研究開発等実施計画書（Ⅰ）

工場長、部長、課室長、主査等	主担当者

課題名  再処理施設における放射線監視・管理の システム開発に関する研究	予算（項） 再処理開発費
	予算（目） 再処理技術開発費
評価単位名  放射線モニタリング技術の開発	担当部・課室 安全管理部 放射線安全課
	担当者氏名 川崎 位 田中 裕史 米澤 理加
課題の目的  再処理施設の放射線監視・管理に伴い、施設の工程運転状況に応じた的確な対応を図る ため、蓄積された経験を反映した放射線管理支援システムの開発等を行い、放射線監視・管理の高度化に 資する。	
研究開発の狙いとする目標又は期待されるレベル  放射線監視モニタ指示値上昇時の対応や放射線作業管理業務の経験が浅い放射線管理員でも、熟練者並 みの放射線管理対応ができるようなシステムを構築する。	

今年度の計画・目標  (1) 放射線監視支援システムの開発  放射線監視業務支援システムとして構築する項目について、全体像を明確にし、これをもとにシステムの概念設計及び、必要な知識・経験データの整理・分類を行う。また、本システムの放射線監視モニタとの接続について検討を実施する。
(2) 放射線作業管理対応支援システムの開発  構築する対象項目について全体像を明確にし、システムの概念設計を行う。また、構築に必要な熟練者の持つ知識・経験データの収集・分類を行う。

前年度までの進捗状況  放射線監視支援システムについては、構築ツールによる試行を実施し、システム運行フローを作成した。 作業管理対応については、「線量当量の推定」からシステム化を図ることとした。別添（有、無）
---

今年度の実施内容（項目、実施方法等。スケジュールは実施計画書（Ⅱ）に記載。）  (1) 放射線監視支援システムの開発  対象項目について、入力データ、拡張性、処理概要等の全体像（概念）を明確にし、これをもとに必要な知識・経験データの整理・分類を詳細に実施する。また、放射線監視パネルとの接続の検討を行う。
(2) 放射線作業管理対応支援システムの開発  対象項目「線量当量の推定」について、入力データ、拡張性、処理概要等の全体像を明確に、システムの概念設計を行う。また、構築に必要な熟練者の持つ知識・経験データの収集・分類を詳細に行う。 別添（有、無）

関連事項	外部実施機関・海外協力等		
R&D 今後の継続年 予定される年数	3年	投人資源 人員	職員・出向者（人） 1.5 人
内部実施の比率（内／外） 予定	100/0		役務者（人） 0.2 人
事業団主要実施場所	放安課	予算（設備費、研究費）	900万円

東海事業所

平成 9 年度研究開発等実施計画書（Ⅱ）  
(成果報告書)

課題名	再処理施設における放射線監視・管理のシステム開発に関する研究	
-----	--------------------------------	--

## 工 程 表

No.	項 目	平成 8 年 度		平 成 9 年 度				実施場所	達成目標 (次段階以降のための定量的目安)	達成度 (年度末に記入)
		年	間	4	7	10	1			
1	放射線監視支援システムの開発	構築ツールを用いた試行	全体像の明確化		システムの概念設計			詳細設計	放安課 居室	対象項目の全体像（概念）を明確にし、システムの概念設計を行う。また、必要な知識・経験データの整理・分類を実施する。さらに、本システムの放射線監視モニタとの接続について検討を行う。
2	放射操作業管理対応支援システムの開発	構築計画の作成	全体像の明確化		システムの概念設計			詳細設計	放安課 居室	先ず、「線量当量の推定」について全体像を明確化し、システムの概念設計を行う。また、システム化に必要な知識・経験データの収集・分類を行う。
予 算 (百万)		3		9			(50)	当該年度以降の必要予算 (百万)		(479)

## マスタースケジュール（上段は、%で全体に対する進行度を記載すること）

項目	年度	平成 年 度	平成 8 年 度	平成 9 年 度	平成 10 年 度	平成 11 年 度
1. 放射線監視支援システムの開発			(10%)			
2. 放射操作業管理対応支援システムの開発			(10%)			

## 開 発 目 標 (今後の継続年も明記する)

放射線監視モニタ指示値上昇時や放射操作業管理業務で経験の浅い放射線監理員でも熟練者並みの放射線管理対応ができるシステムを構築する。

(今後の継続年：3年)

成 果 の 評 価	工 場 長 又 は 部 長 所 見
記 入 者	部長印

放射線安全課長印 別紙 有・無

平成10年 3月 4日作成

# 平成9年度 研究開発等成果報告書（I）

工場長、部長、課室長、主査等	主担当者

課題名  再処理施設における放射線監視・管理のシステム開発に関する研究	予算（項）  再処理開発費
	予算（目）  再処理技術開発費
評価単位名  放射線モニタリング技術の開発	担当部・課室  安全管理部 放射線安全課
	担当者氏名  川崎 位 田中 裕史
	米澤 理加
1. 課題の目的  再処理施設の放射線監視・管理に伴い、施設の工程運転状況に応じた的確な対応を図るため、蓄積された経験を反映した放射線管理支援システムの開発等を行い、放射線監視・管理の高度化に資する。	
2. 研究開発の狙いとする目標又は期待されるレベル  放射線監視モニタ指示値上昇時の対応や放射線作業管理業務の経験が浅い放射線管理員でも、熟練者並みの放射線管理対応ができるようなシステムを構築する。	

3. 当年度の計画・目標に対する達成度  (1) 放射線監視支援システムの開発  定置式モニタ及び排気モニタにおける放射線監視の支援システムに必要な知識・経験等のデータ整理分類を行った。その結果、システム構築に必要な項目を抽出でき、さらに、全体像について把握することができた。	
(2) 放射線作業管理対応支援システムの開発  放射線作業計画時における「線量当量の推定」の助言・指導について、全体像を明確化し、システム構築に必要な情報項目の抽出・システム化の概念設計を行った。また、抽出した項目について熟練者の知識・経験データを過去2年分収集し、作業や作業場所等の項目で分類した。	

4. 次年度の計画・目標  (1) 放射線監視支援システムの開発  継続して収集・評価するとともに、今年度の抽出項目について詳細設計を行う。	
(2) 放射線作業管理対応支援システムの開発  今年度の概念設計をもとに詳細設計を行う。また、継続して知識・経験データを収集・評価する。	

R&D 進行度（全体に対する）	30%	R&D 今後の継続年 予定される年数	3年	内部実施の比率（内／外）	100／0	投入資源	人員	職員・出向者（人）	1.5人
						役務者（人）	0.5人		
事業団内主要実施場所	放安課	外部実施機関・海外協力等（略語で記述）				決算（設備費、研究費）（百万円）	1.8		
						外部発表資料（論文／報告、発表）	/		
外部実施機関・海外協力等（略語で記述）						社内登録資料（Z N, P Nのみ）	件		
						工業所有件出願	件		
						社内ソフト登録（情報センタ登録数）	件		

（注）本報告書には当該年度の実施計画書（II）に実績工程、成果の評価、部長所見を記入して添付すること。

## 平成 9 年度研究開発等実施計画書（Ⅱ） (成果報告書)

課題名  
再処理施設における放射線監視・管理のシステム開発に関する研究

工程表

No.	項目	平成 8 年度		平成 9 年度				平成 10 年度 実施場所	達成目標 (次段階以降のための定量的目安)	達成度 (年度末に記入)
		年間	4	7	10	1	年間			
1	放射線監視支援システムの開発	構築ツールを用いた試行	全体像の明確化	システムの概念設計	放射線監視モニタとの接続の検討		詳細設計	放安課 居室	対象項目の全体像（概念）を明確にし、システムの概念設計を行う。また、必要な知識・経験データの整理・分類を実施する。さらに、本システムの放射線監視モニタとの接続について検討を行う。	100%
2	放射線操作業管理対応支援システムの開発	構築計画の作成	全体像の明確化	システムの概念設計	知識・経験データの収集・分類		詳細設計	放安課 居室	先ず、「線量当量の推定」について全体像を明確化し、システムの概念設計を行う。また、システム化に必要な知識・経験データの収集・分類を行う。	100%
予算（百万）		3		9			(50)	当該年度以降の必要予算（百万）	(479)	

マスタースケジュール（上段は、%で全体に対する進行度を記載すること）

項目	年度	平成 年度	平成 8 年度	平成 9 年度	平成 10 年度	平成 11 年度	開発目標（今後の継続年も明記する）
1. 放射線監視支援システムの開発			(10%)	(30%)			放射線監視モニタ指示値上昇時や放射線操作業管理業務で経験の浅い放射線管理員でも熟練者並みの放射線管理対応ができるシステムを構築する。 (今後の継続年：3年)
2. 放射線操作業管理対応支援システムの開発			(10%)	(30%)			

## 成果の評価

今年度は、支援システム構築に係る各種データベースや知識ベース項目の具体化とシステム機能構成の概念が具体化できた。

記入者 水庭 春美

放射線安全課長印 別紙 有・無

工場長又は部長所見

部長印

年 月 日

別添 - 2

平成 9 年度安全研究成果調査票（原子炉施設等）

社 内 用

## 平成 9 年度 安全研究成果調査票

## (原子炉施設等)

原子力施設等安全研究年次計画（平成 8 年度～平成 12 年度）  
 単年度評価用（平成 8, 9, 11 年度）

国へ提出：様式 - 1 - 1 ~ - 1 - 3  
 要員配置等（参考）

社内とりまとめ情報：表紙、様式 - 2, - 3

分類番号	施設 - [3 - 4 - 5]	事業団管理番号	4 - 4
研究分野	核燃料施設の安全性に関する研究		
研究課題名	再処理施設における放射線監視・管理のシステム開発に関する研究		
調査票作成者		日付	
事業所・所属	氏名	作成	98.6.19
東海事業所 安全管理部 放射線安全課	石田 順一郎	改訂 1	98.8.21
	今熊 義一		
	江尻 英夫	改訂 2	98.9.8
	水庭 春美		
	秋山 聖光		
	川崎 位		
☆	米澤 理加		

## 調査票：平成 9 年度

施設 - [3 - 4 -- 5] - 1

研究分野	核燃料施設の安全性に関する研究			分類番号 3 - 4 - E
研究課題名 (Title)	再処理施設における放射線監視・管理のシステム開発に関する研究 Research on the Computer-aided Radiation Monitoring and Control System at Reprocessing Plant	継続状況	<input checked="" type="checkbox"/> 前年次計画より継続 <input type="checkbox"/> 現行年次計画より新規	
実施機関 (Organization)	動力炉・核燃料開発事業団 Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation	研究期間	平成 8 年度 ～ 平成 12 年度	
研究者名、所属及び連絡先 (Name, Affiliation, address, and Tel. No.)	〔所 属〕 東海事業所 Jun-ichiro Ishida 安全管理部 放射線安全課 Radiation Safety Section 〔氏 名〕 石田 順一郎 Health and Safety Division TOKAI WORKS 〔連絡先〕 〒319-1112 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 Muramatsu 4-33 Tokai-mura Naka-gun ☎ 029-282-1111 Ibaraki-ken			
キーワード key word	エキスパートシステム expert system	放射線監視 radiation monitoring	放射線作業管理 radiological work management	
関連する 共同研究 実証試験等	共同研究名（実施機関）： 実証試験名（実施機関）： 委託研究名（実施機関）：			
主要レポート名等	(1) 石田ら 再処理施設における放射線監視・管理のシステム開発に関する研究 (平成 8 年度報告) 89頁 1998年発行 PNC TN 8410 98-061 総数 1 件 (その他レポート等については研究成果欄参照)			
<p><b>【研究目的】</b>          再処理施設の放射線監視・管理に伴い、工程運転状況に応じた的確な対応を図るため、蓄積された経験を反映した放射線管理支援システムの開発等を行い、放射線監視・管理の高度化による施設の安全性の向上に資する。</p>				
<p><b>【研究内容（概要）】</b></p> <p>イ. 放射線監視支援システムの開発          再処理施設において放射線状況を連続測定している定置式モニタによるオンラインデータから安全側に推論し、異常発生傾向にある測定データに対して、原因の抽出や処置を迅速かつ容易に行うとともに、トラブル発生時には、その発生に伴い要求される放射線管理情報等を的確に抽出し、迅速かつ的確な放射線管理上の対応の立案を支援するエキスパートシステムの開発を行う。</p> <p>ロ. 放射線作業管理対応支援システムの開発          再処理施設の放射線作業に係る放射線管理において、作業の実施に要求される放射線管理情報等を的確に抽出し、必要な場合にはシミュレーション等を行うことによって、放射線防護上の対応の立案を支援するエキスパートシステムの開発を行う。</p>				
<p><b>【使用主要施設】</b>  <b>再処理施設</b></p>				

**【成果の活用方法】**

開発したエキスパートシステムを東海 再処理工場の放射線管理の実務に運用し、評価・解析する。  
また、最終的には商業ベースの再処理施設の放射線管理に反映する。

**【進捗状況】****イ. 放射線監視支援システムの開発**

定置式モニタ及び排気モニタによる放射線監視について、システムとして迅速かつ的確に支援するために必要な知識・経験等のデータを整理・分類した。また、システム構築に必要な作業状況、過去の履歴、放射線管理員の基本行動等の項目を抽出することによって、具体的な推論方法について案（研究成果 図-1 参照）を整理することができた。

**ロ. 放射線作業管理対応支援システムの開発**

放射線作業計画時における「線量当量の推定」の助言・指導業務の全体像を明確化し、システム構築に必要な作業場所の線量当量率・作業時間等の情報項目の抽出・システム化の概念設計を行った。また、抽出した項目について熟練者の知識・経験データを収集し、作業内容・作業場所等の項目で分類した。

**【今後の予定（平成10年度以降の計画）】**

平成10年度 データ分析・評価

平成11年度 システム製作

平成12年度 システム評価

**【その他 今後の発展性等】**

なし。

## 【研究成果】

## □、放射線作業管理対応支援システムの開発

## (1) データ収集・分類

作業計画受付時の「線量当量の推定」に対する助言・指導業務についてシステムを構築・運用していくには、どのような知識・経験データが必要であるかを検討し、立会記録シートを整備した。本シートとともに、作業報告書から「線量当量の推定」に必要な減衰率や安全係数等のデータを収集した。また、立会記録シート整備後（平成9年度8月以降）の作業についても本データ収集を実施した。これらのデータを作業や作業場所等で分類し、作表・グラフ化してデータ分析を開始した（本データ収集・分類・評価については、平成10年度も継続する）。

## (2) 概念設計

## ① 業務分析

現業務内容とその問題点を再確認した。

- ・線量当量推定には線量当量率や減衰率等の多くの要素が複雑に絡み合っており、適切に指導するには多くの経験が必要となる。
- ・初級者は、熟練者の指導なしでは推定線量当量値の妥当性を容易に判断できない。
- ・多くの作業実績の中から適切なものを検索し、反映させることが困難である。

## ② 構築機能の検討

業務分析結果とともに、構築する主要機能を検討し、以下の通りとした。

- ・線量当量の推定シミュレーション・妥当性評価の支援機能

初級者でも作業計画や過去の経験実績データ等をもとに、容易に被ばく推定値をシミュレーションしたり、評価する機能。

- ・参照情報検索支援機能

推定値をシミュレーションしながら、多くの作業実績の中から適切な過去データや基準値等を検索し、参照する機能。

- ・実績情報管理支援機能

一度使用したデータを蓄積し、その中から適切な過去データを参照情報として検索し、提供する。また、シミュレーション機能にも反映させる機能。

## ③ 操作性の検討

操作手順と構築におけるポイント事項を検討した。

(手 順)    

- ・作業件名や作業場所等の作業情報を設定する。

- ・事前モニタリング結果を入力する。
- ・過去の作業実績を検索し、参照する。
- ・検索した情報をもとに、計画値を確認し、妥当性を判断する。
- ・結果は自動登録され、次回以降の助言・指導に反映させる。

(ポイント)    

- ・誰でも容易に操作できる。

- ・作業担当者に対し、初級者でも線量当量推定の助言を容易にできる。
- ・各種経験値・知識データの反映・追加が可能である。
- ・作業担当課でも本システムを使用し、作業計画作成時にこれまでに比べ、容易に線量当量を推定できる。

## 【レポート、学会誌・国際会議への発表論文等】

なし。

## 【発表予定】

なし。

## 【研究成果】

## イ. 放射線監視支援システムの開発

放射線監視支援システムの開発については、定置式モニタによる作業環境の監視と排気モニタによる放射性ガス廃棄物の放出監視の2項目を対象としてその検討を実施した。

定置式モニタの指示値変動時の対応を支援するシステムについて、現在の監視業務における問題点、支援システムの概念等を継続して検討した。また、過去2年間のモニタ指示値変動履歴及び要因を調査し、放射線異常、工程運転作業、特殊放射線作業およびその他の項目に分類し、データベース化するとともに、これらの変動時に係る熟練放管員の処置・対応について検討した。その結果、変動要因に不可欠な情報として、①作業情報②作業箇所とモニタの配置③建屋の空気流線④過去の変動パターン⑤放管員の行動等の項目を抽出し、具体的な推論方法案について（図-1参照）整理することができた。

排気モニタの指示値変動時の対応を支援するシステムについては、施設の作業工程の実施状況によって大きく変動が観測されるクリプトンモニタを対象に概念設計を実施した。

先ず、予め得られる作業工程実施予定、作業実施前後の連絡等から予測される指示値変動パターンを、作業工程ごとに設定する。この指示値変動パターンを処理燃料、処理時間等の条件に併せて加工、表示する。これを実際の指示値変動と比較することで異常傾向を早期に検知する。さらに、作成した指示値変動パターンを、実際の作業工程の進捗状況にあわせて隨時再構成することによって予測精度を高度化する。以下にその支援機能の概略を示す。

## (1) 支援機能

- ①警報吹鳴予備告知機能：警報吹鳴レベルに到達する前に、変動の異常傾向を検知し告知する機能。
- ②排気モニタ故障検知機能：多重化モニタ相互の指示値変動を比較し機器異常を識別する機能。
- ③モニタ指示値変動追跡機能：工程作業に伴う指示値変動を工程運転予定から予め推定し、実測値と推定値に差が生じた場合、放管員に告知する機能。
- ④変動要因関連情報収集機能：異常が検知された際、関連するモニタ等の情報を提供するためのインターフェース。

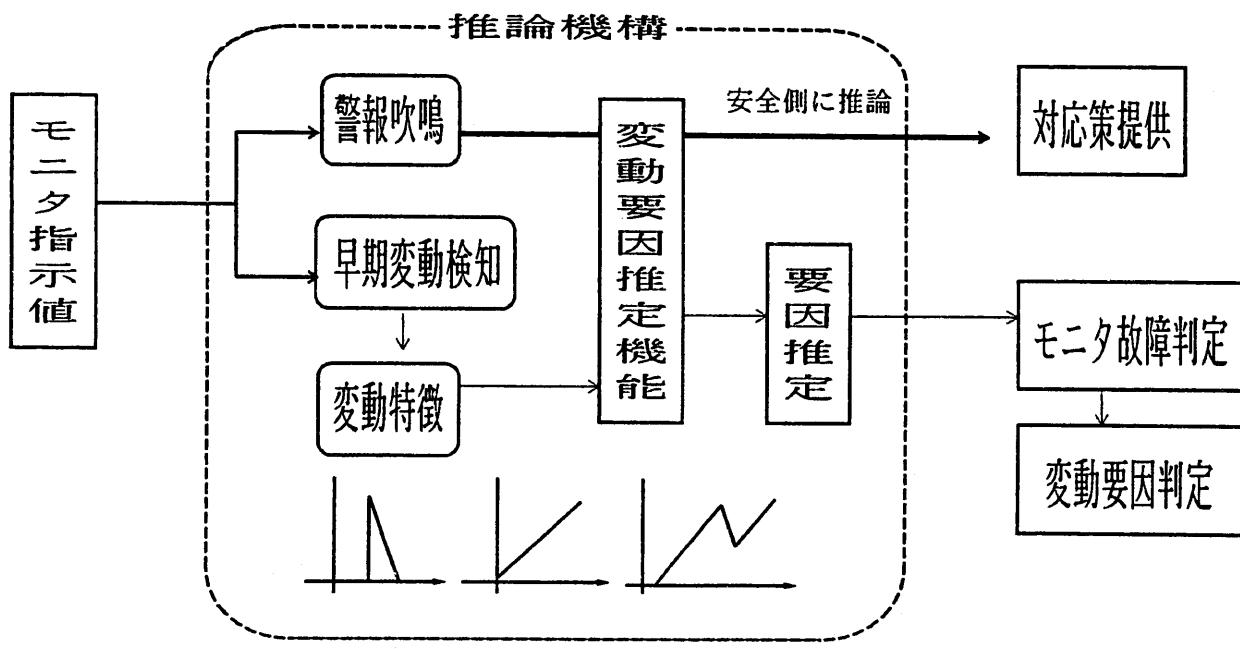


図-1 定置式モニタ監視システム概念図

**【民間の研究の現状と動向】**

支援システム、エキスパートシステムとしての手法的な技術は、1990年頃から特に新しいものは開発されていない（根本的な技術は変わらない）。その反面、計算機の性能（処理速度等）については、著しい進歩がみられる。

現在の支援システムの多くは、原子炉施設等における運転支援、故障診断（監視→異常検知→原因判定→対応指示）、マニュアルの電子化であり、再処理施設に係る支援システムについては、開発されていない。

**【参考文献】**

- ・ 第32回保健物理学会 研究発表会 要旨集 (1997)
- ・ 三菱電機技報 Vol. 60 No. 9 (1986) / Vol. 63 No. 7 (1989)
- ・ 日立評論 Vol. 70 No. 8 (1989)
- ・ 東芝レビュー 41巻 11号 (1986) / 42巻 5号 (1987) / 44巻 10号 (1988)

**【海外の研究の現状と動向】****【参考文献】**

## 参考

## 【要員配置等】

施設 - [3 - 4 - 5]

研究課題名：再処理施設における放射線監視・管理のシステム開発に関する研究

(百万)

年 度	8年度	9年度	10年度	11年度	12年度
要 員 (人)	1.7	2.0	—	—	—
経費概算	1.5	1.8	—	—	—

## 社 内 用

研究課題名 (Title)	再処理施設における放射線監視・管理のシステム開発に関する研究 Research on the Computer-aided Radiation Monitoring and Control System at Reprocessing Plant	分類番号 3-4-5
------------------	--	---------------

## 【研究評価（自己評価）】

評価項目	チェック欄	補足説明欄
1. 当初予定していた成果が得られたか	<input type="checkbox"/> 予定以上の成果が得られた <input checked="" type="checkbox"/> 予定どおりの成果が得られた <input type="checkbox"/> 予定どおりの成果が得られなかつた <small>(副次的な成果を右欄に記入)</small>	イ. 放射線監視の支援システムに必要な知識・経験等のデータ整理・分類を行った。 ロ. 作業計画受付時における「線量当量の推定に対する助言・指導について概念設計した。
2. 成果が有効に反映されるか	<input type="checkbox"/> 指針・基準類の整備に反映できる  <input type="checkbox"/> その他	安全性の向上に反映できる <input type="checkbox"/> 國際基準・協力等へ貢献できる <small>(上段は複数回答可)</small> 東海再処理工場の放射線管理の実務に反映できる。また、最終的には、商業ベースの再処理施設の放射線管理に反映する。
3. 研究は年次計画どおり進捗したか	<input checked="" type="checkbox"/> 計画どおり進捗した	<input type="checkbox"/> 計画どおりに進捗しなかった <small>(右欄に内容を記入)</small> イ. システム構築に必要な項目を抽出でき、全体像について把握することができた。 ロ. 「線量当量の推定」に対する助言・指導について、構築機能及びその操作性を検討した。
4. 継続の可否	<input type="checkbox"/> 基本計画どおり継続したほうがよい  <input checked="" type="checkbox"/> 基本計画を見直したほうがよい	<input type="checkbox"/> 研究を中止したほうがよい <small>(右欄に理由を記入) (右欄に理由を記入)</small> 次年度以降の認可額が、計画より大幅に少なくなっている。予算面で今後の開発計画を変更する可能性がある。
5. 新たな研究課題の設定	<input type="checkbox"/> 得られた研究成果に基づき、新たな研究課題を設定したほうがよい	<input checked="" type="checkbox"/> 新たな研究課題を設定する必要はない <small>(右欄に課題名、内容を記入)</small>
6. 自由評価欄		

## 社 内 用

研究課題名 (Title)	再処理施設における放射線監視・管理のシステム開発に関する研究 Research on the Computer-aided Radiation Monitoring and Control System at Reprocessing Plant	分類番号 3-4-5
------------------	--	---------------

## 【今までの作成レポート】

平成8年度

平成11年度

平成9年度

平成12年度

平成10年度

## 【実施部署研究予算等】

年 度	8 年度	9 年度	10 年度	11 年度	12 年度	合 計
認可予算額 (千円)	0	2,335	10,612			
実施予算額 (千円)	3,000	9,000	15,031			
経費概算 (千円)	1,500	1,800				
要 員 (人)	1.5(0.2)	1.5(0.5)	( )	( )	( )	( )

要員は職員・出向者数(役務者数)をそれぞれ記入

## 〔平成9年度認可予算科目及び認可予算件名〕

予算科目：再開 再処理  
 予算件名：再処理施設における放射線監視・管理のシステム化に関する研究

## 〔平成9年度実施予算科目及び実施予算件名〕

予算科目：再開 再処理  
 予算件名：再処理施設における放射線監視・管理のシステム化に関する研究

## 〔平成10年度認可予算科目及び認可予算件名〕

予算科目：再開 再処理  
 予算件名：再処理施設における放射線監視・管理のシステム化に関する研究

## 〔平成10年度実施予算科目及び実施予算件名〕

予算科目：再開 再処理  
 予算件名：再処理施設における放射線監視・管理のシステム化に関する研究

別添 - 3

契約に基づく三菱電機株式会社による成果報告会用資料

**再処理工場  
放射線監視支援システム**

98/2/20

**三菱電機株式会社**

## 開発目的

再処理施設の工程運転状況に応じた的確な放射線管理上の対応を図るため、蓄積された放射線管理員の対応経験や履歴データを反映した放射線監視・管理支援システムを開発する。

### ねらい

- 放管員の負担軽減
- 迅速、確実な判断・対応
- 作業計画業務の効率化

## 開発内容

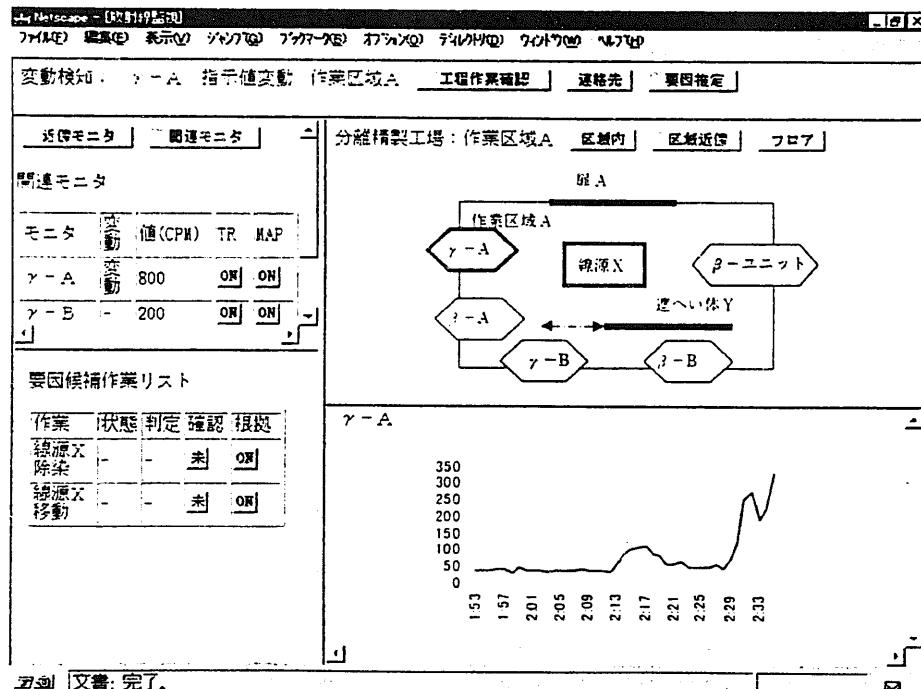
- ・ 定置式モニタ監視業務支援システム
  - 変動検知
  - 変動要因同定
  - 対応策策定
  - 関連情報提供
- ・ 排気筒モニタ監視業務支援システム
  - 変動監視
  - 関連情報提供
- ・ 放射線作業管理業務支援システム
  - 線量当量推定助言・指導
  - 参照情報検索支援
  - 放射線作業実績情報管理支援

# 定置式モニタ監視システム

- 変動検知
  - 警報レベル異常検知
  - モニタ変動早期検知
  - モニタ変動特徴抽出
  
- 関連情報提供
  - 変動要因関連情報提供
  - 作業項目入力・管理支援
  
- 変動要因判定
  - モニタ故障判定
  - 変動要因同定
  - 調査内容決定
  
- 対応策策定
  - 監視強化モニタ抽出
  - 変動要因調査
  - 現場対応策提供

# 定置式モニタ監視システム

異常検知、関連情報提供、要因推定結果



# 定置式モニタ監視システム

## 工程・作業状況管理画面

**工程作業確認**

2月16日_①直	2月16日_②直	2月16日_③直
2月17日_①直	2月17日_②直	2月17日_③直
2月18日_①直	2月18日_②直	2月18日_③直
2月19日_①直	2月19日_②直	2月19日_③直
2月20日_①直	2月20日_②直	2月20日_③直

**対象日付: 2月20日 ①直**

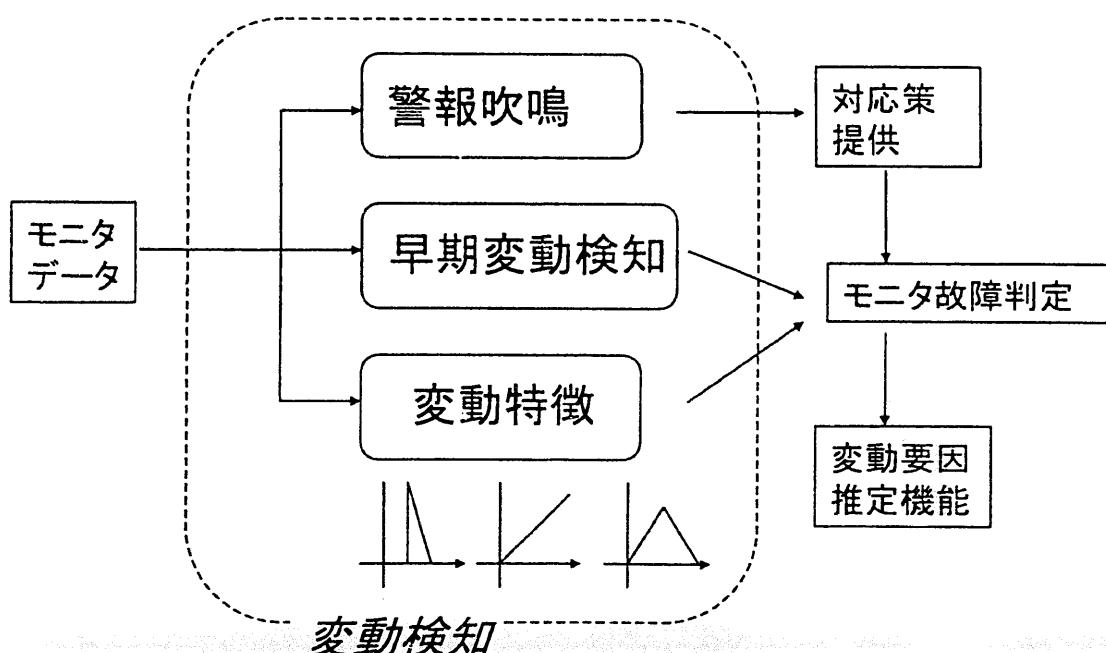
開始時刻	建屋	部屋番号	作業内容	終了時刻	終了結果
10:14	MP	G544	溶接作業開始	11:42	済
10:50	CB	G144	セル開閉開始	11:12	済
10:54	CB	G142	シーラ作業開始		NET未実現
13:42	CB	G115	シーラ作業	13:14	済
15:25	MP	A348	シーラ作業		NET未実現
10:14	MP	G544	溶接作業開始	11:42	済
10:50	CB	G144	セル開閉開始	11:12	済
10:54	CB	G142	シーラ作業開始		NET未実現
13:42	CB	G115	シーラ作業	13:14	済
15:25	MP	A348	シーラ作業		NET未実現
10:14	MP	G544	溶接作業開始	11:42	済
10:50	CB	G144	セル開閉開始	11:12	済
10:54	CB	G142	シーラ作業開始		NET未実現
13:42	CB	G115	シーラ作業	13:14	済
15:25	MP	A348	シーラ作業		NET未実現

**新規登録**

建屋:  部屋番号:  作業内容:   
溶接作業 シーラ作業 溶接作業

# 定置式モニタ監視システム

## - 変動検知 -



## 定置式モニタ監視システム - 関連情報提供 -

- ・ 関連情報: 変動検知したモニタの関連項目
  - 検知モニタ配置区域、モニタ配置図
  - 同区域モニタ、モニタ値
  - 関連部門連絡先
  - 区域内作業計画
  - モニタ保守履歴
  - ....

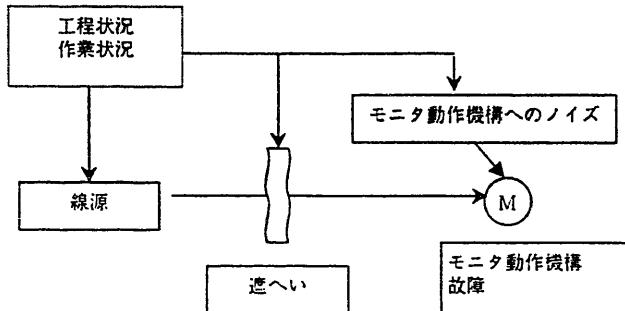
## 定置式モニタ監視システム - 変動要因判定／モニタ故障判定 -

- ・ モニタ変動状態による判定
  - 変動域上下限値逸脱
  - ゆらぎ
- ・ 関連モニタとの比較  
単独変動 → 現場調査

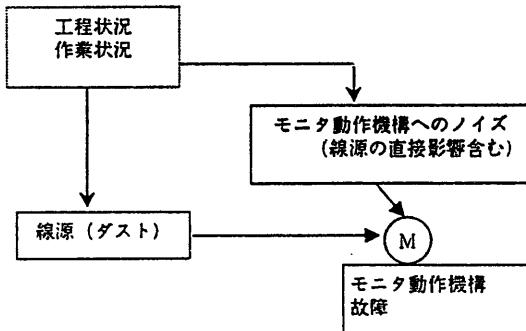
# 定置式モニタ監視システム

## - 変動要因判定 -

モニタ変動要因分類 → 知識ベース化



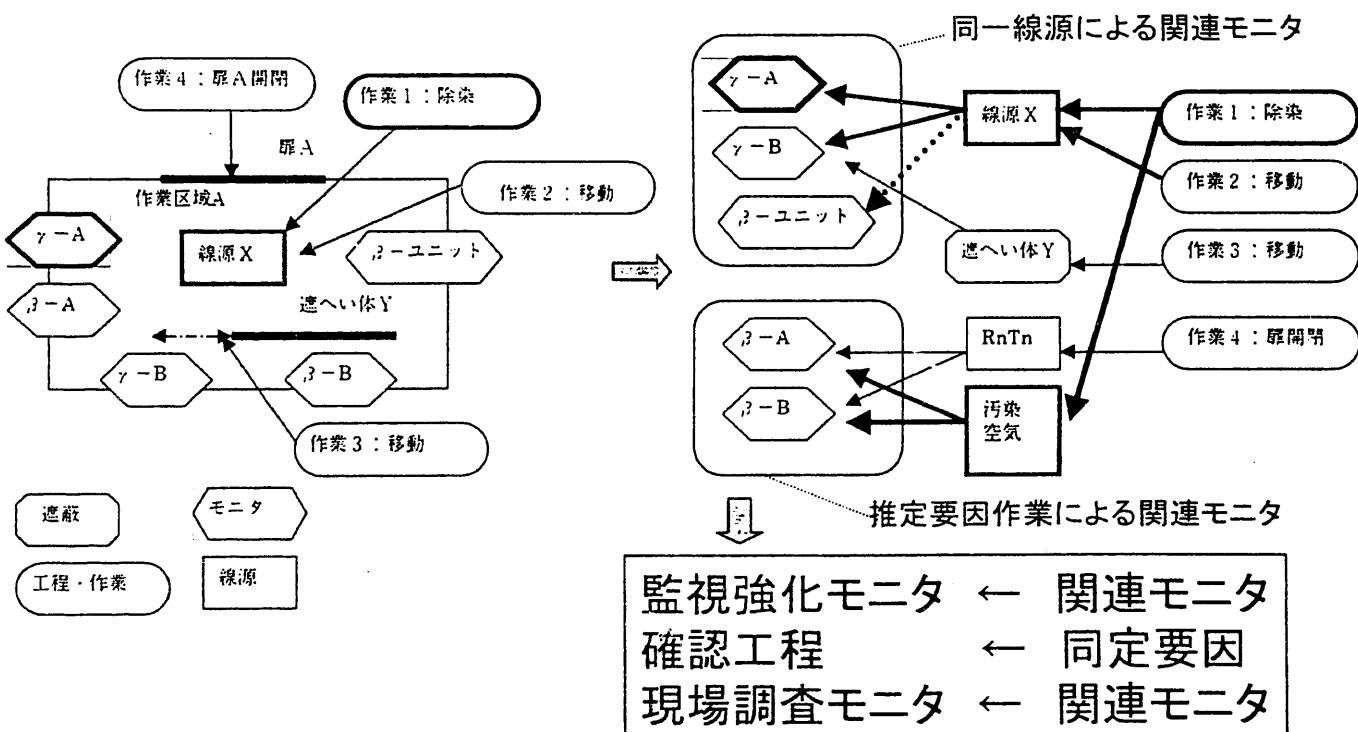
エリアモニタ変動要因



ダストモニタ変動要因

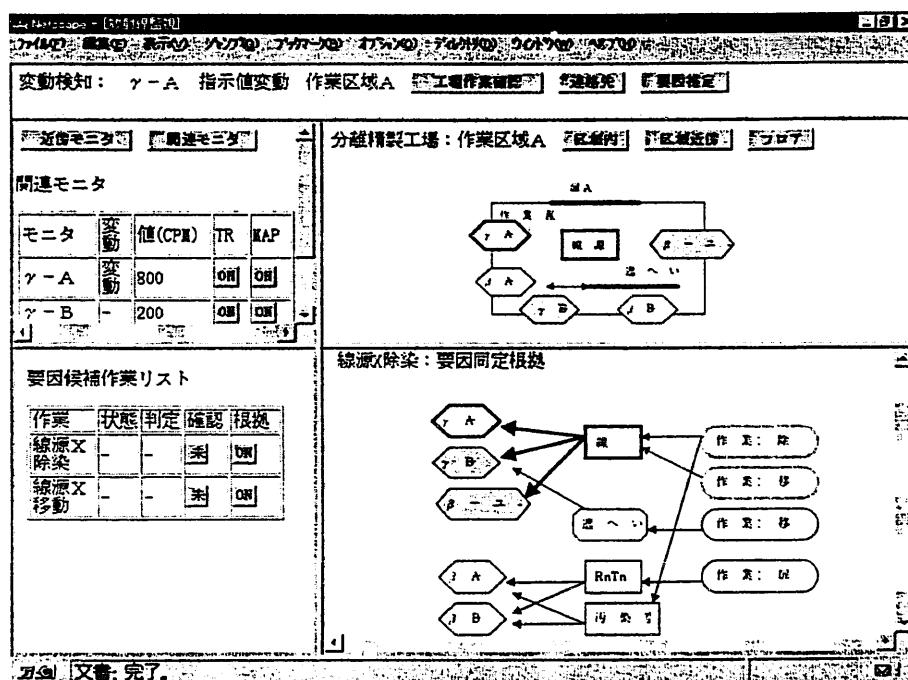
# 定置式モニタ監視システム

## 因果関係による変動要因同定、監視強化モニタ抽出



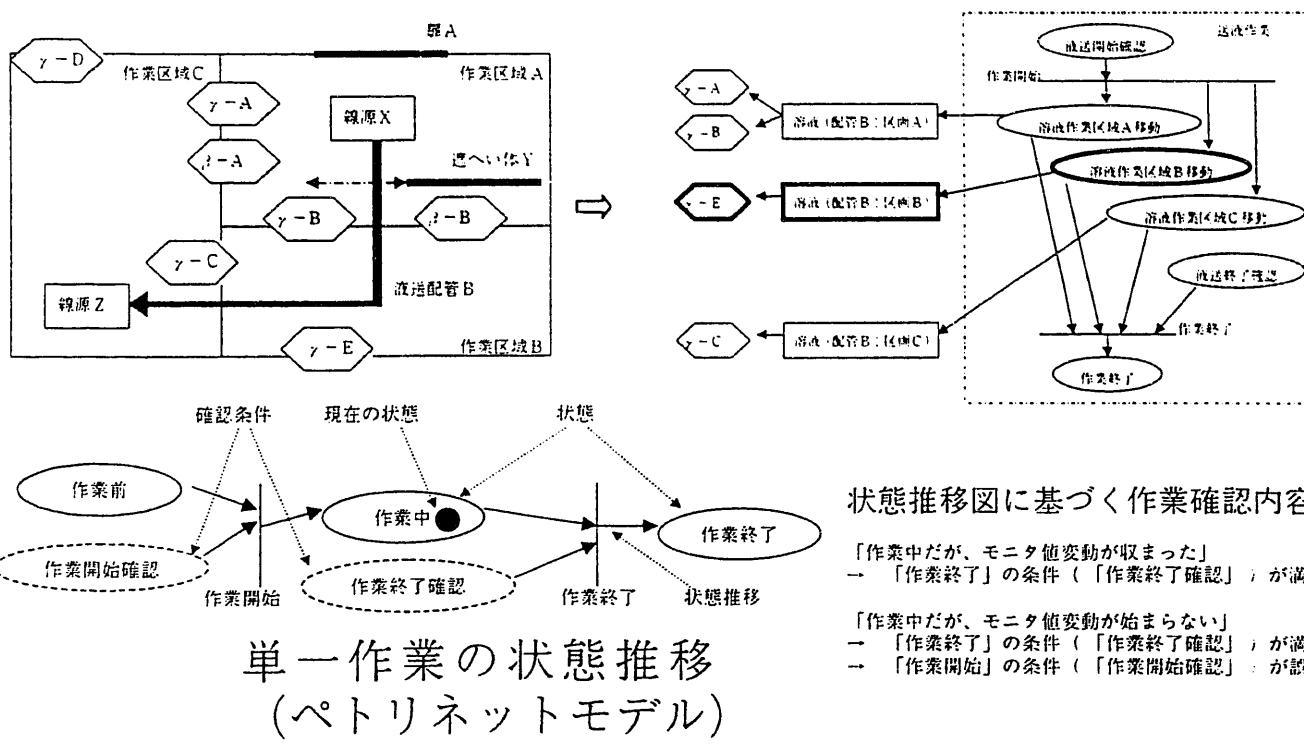
# 定置式モニタ監視システム

## 変動要因推定根拠表示例



# 定置式モニタ監視システム

## 工程・作業順序を考慮した変動要因推定



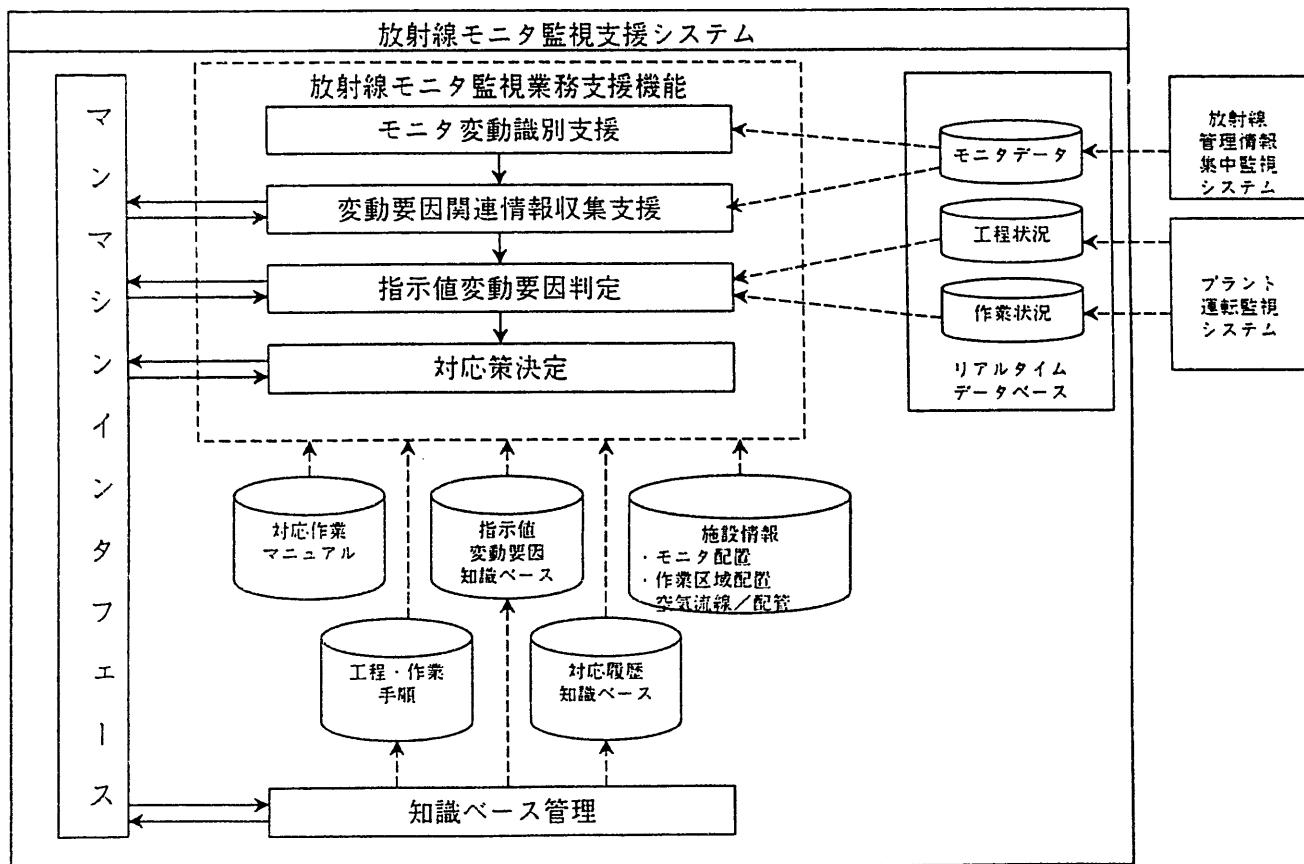
# 定置式モニタ監視システム

## - 対応策策定 -

- ・ 要因同定過程
  - 工程作業の再確認
  - モニタ故障調査(単独変動時)
  
- ・ 要因同定後
  - 変動要因線源による対応策の提供
  - 線量当量に応じた現場作業形態の策定

# 定置式モニタ監視システム

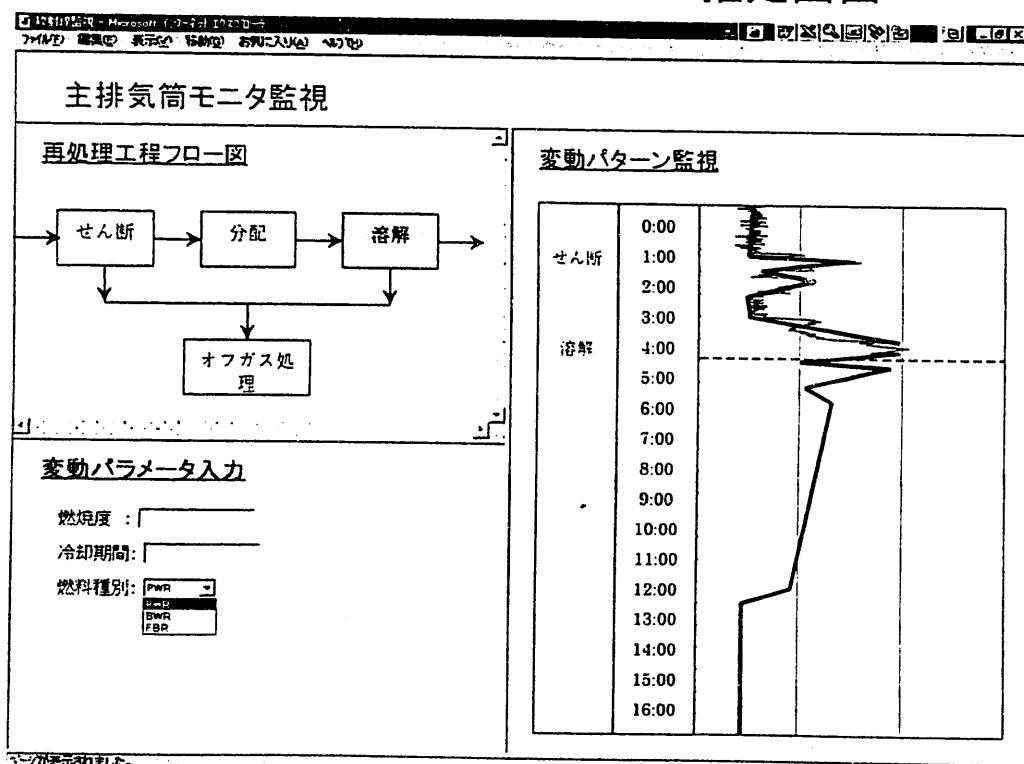
## - 機能構成図 -



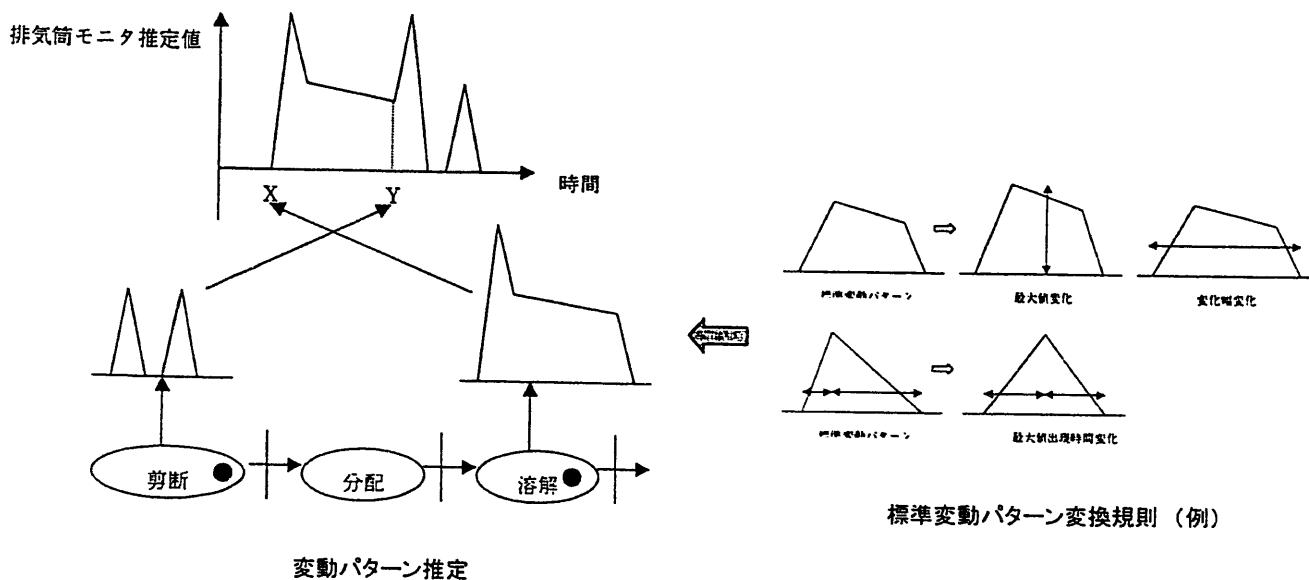
# 排気筒モニタ監視システム

- 警報吹鳴予備告知
- モニタ故障検知判定
- モニタ値変動予測
- 関連情報提供

## 排気筒モニタ監視システム 工程進捗状況、変動パターン推定画面

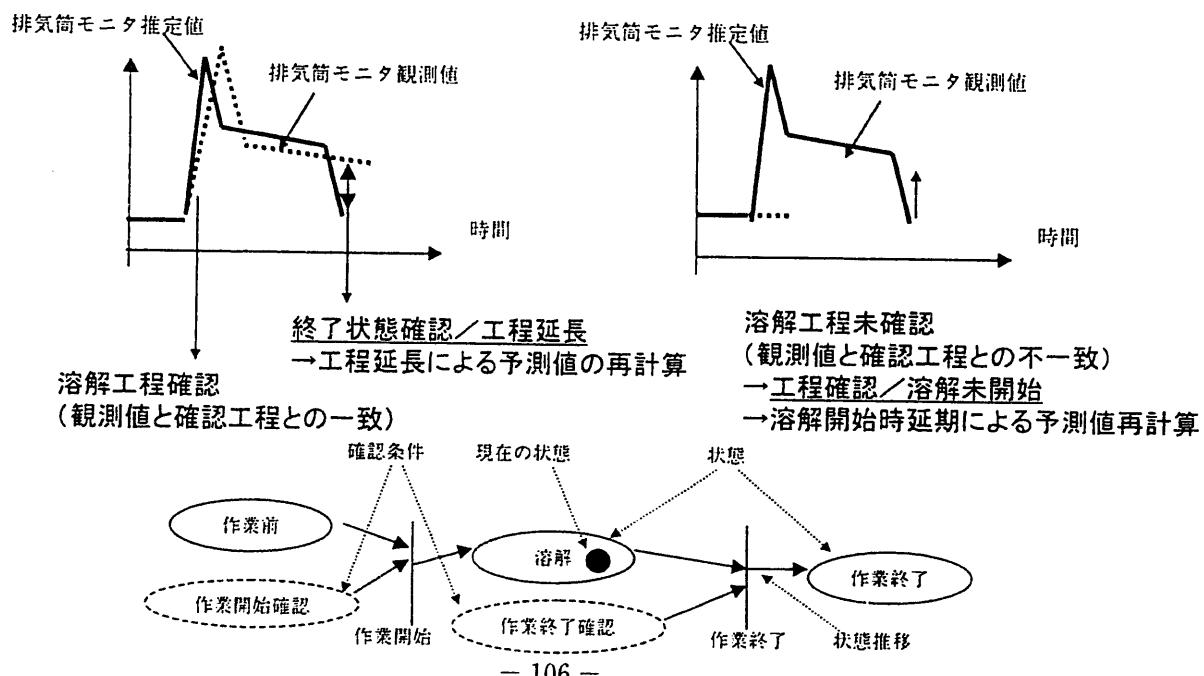


# 排気筒モニタ監視システム モニタ値変動パターン予測の流れ



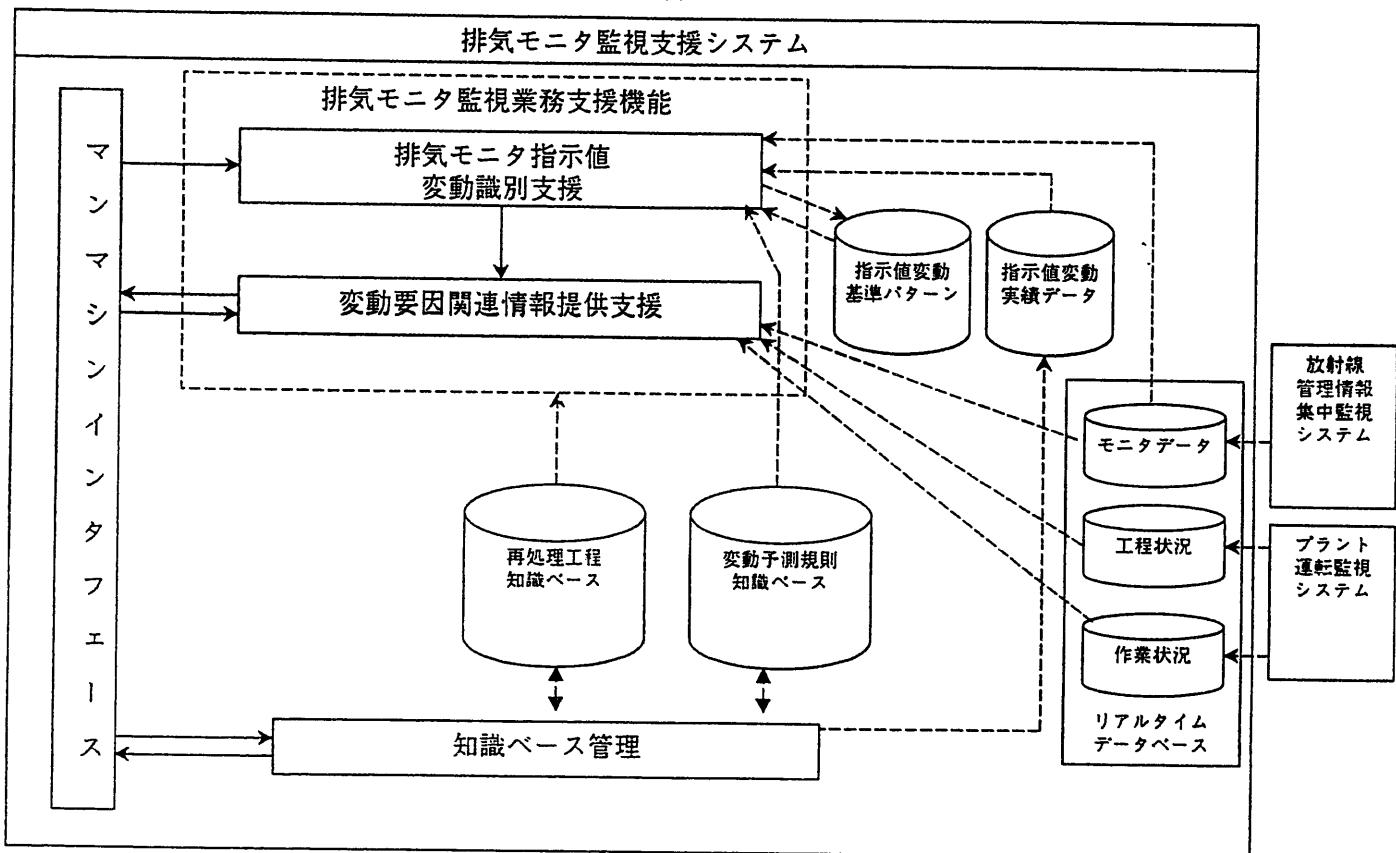
変動パターン推定

## 排気筒モニタ監視システム - モニタ値再予測 -



# 排気筒モニタ監視システム

## - 機能構成図 -



# 放射線作業管理業務支援システム

- ・ 線量当量推定の助言・指導支援機能
  - 線量当量推定シミュレーション計算支援
  - 線量当量推定値の妥当性評価支援
- ・ 参照情報検索支援機能
- ・ 放射線作業実績情報管理支援機能
  - 作業計画書／報告書登録
  - 放射線実績情報登録

# 放射線作業管理業務支援システム

## 線量当量推定シミュレーション計算支援

放射線作業管理業務支援システム

線量当量推定支援

作業建屋: [MP] 部屋番号: [A321]  
ユニット: [A322 A324]  
機器: [機器A]  
作業目的: [定期点検]  
事前測定値: [100 μSv/h] 日付: [ ]

参照情報リスト [同種作業] [同一区域作業]  
[同エコ作業] [同系統作業]

同種作業  
計画書番号 | 日付 | 詳細  
xxxxxx | YYYY/MM/DD | 詳細  
xxxxxx | YYYY/MM/DD | 詳細  
xxxxxx | YYYY/MM/DD | 詳細

作業区域  
A 3 2 1 | A 0 0 2  
機器A | 機器C  
機器B | 機器D

当該作業対象機器  
配管

線量当量率推定根拠  
[計算開始] [計算結果]

項目名	推定値	根拠件名	変更
周辺線量当量率	1100 μSv/h	AAAAAAA	[変更]
線量当量	1100 μSv/h	BBBBBBB	[変更]
減衰率	30cm 1/9	CCCCCCC	[変更]
$\tau/\beta \cdot \gamma$ 比	1100 μSv/h	DDDDDDD	[変更]

# 放射線作業管理業務支援システム

## 放射線作業実績情報登録機能

放射線作業管理

作業計画書登録

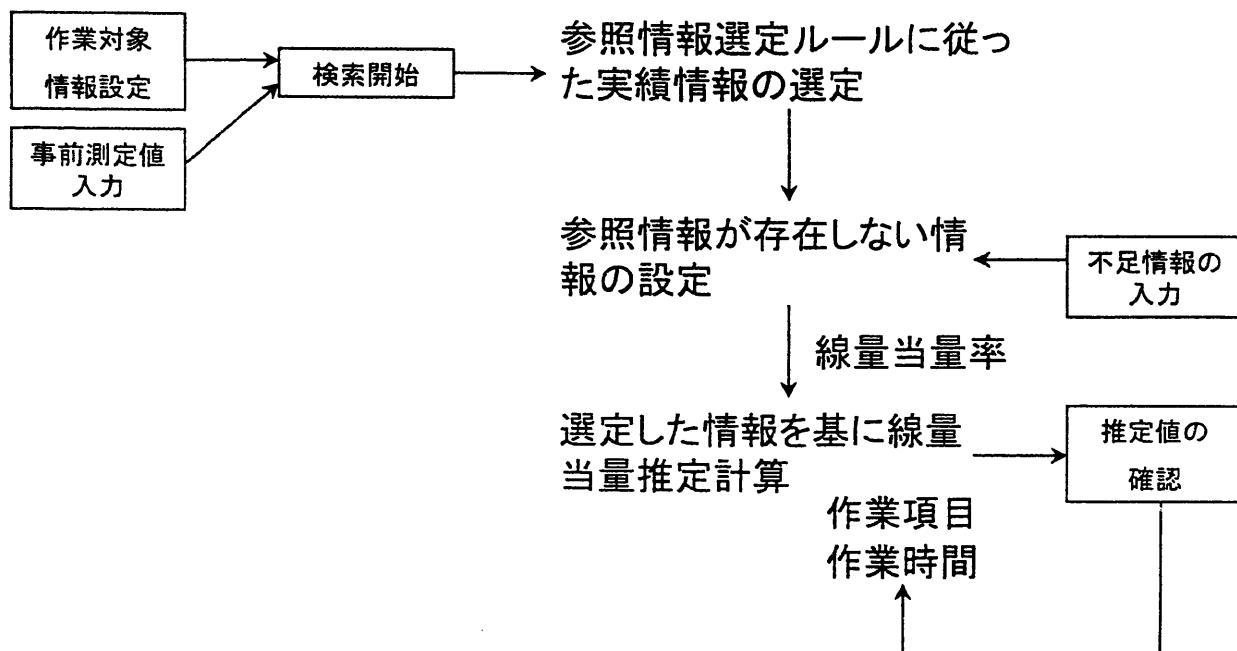
表紙  
様式-4  
様式-9  
様式-10  
様式-14  
様式-15  
様式-16

計画書番号: [ ]  
登録日: [ ]  
起案課: [ ]  
Gr名: [ ]  
建屋名: [MP]  
部屋番号 主: [DS] [A321]  
副: [A324]  
ユニット: [UNIT\_A]  
機器: [機器A]  
作業目的: [定期点検]  
件名: [xxxxxxxxxx]

一覧

# 放射線作業管理業務支援システム

## - 線量当量推定 -



# 放射線作業管理業務支援システム

## - 線量当量推定 -

- ・ 作業対象情報設定
  - 線量当量推定を実施する当該作業情報(実施場所、対象機器、作業目的、等)を設定する
- ・ 事前測定値入力
  - 事前測定が実施されている場合、その測定結果を入力する
- ・ 検索
  - 検索の結果、画面に以下の情報が表示される。
    - ・ 参照情報リスト欄——参考対象となる情報の一覧を表示
    - ・ 作業区域欄——当該作業対象機器の配置図情報を表示
    - ・ 推定根拠欄——参考情報の選定ルールに従って選定された推定値を表示
  - 初めて実施する作業で、該当する参考情報が無かった場合は、操作員に入力を要求する。又、そこで入力された情報はDBに登録され、以降の推定支援に使用される。
- ・ 推定値の確認
  - 推定された値を確認し、必要に応じて変更、推定値の再計算を行う。

## 放射線作業管理業務支援システム - 作業実績情報参照 -

### ・ 参照対象情報

- 特殊放射線作業計画書／報告書
- 放射線事前測定値
- 放射線モニタリング結果
- 機器配置図
- 配管系統図
- 特殊放射線作業計画書・報告書等記入要領
- 作業計画書確認手順

## 放射線作業管理業務支援システム - 参照情報選定基本ルール -

- ・ 該当情報が複数の場合、最も新しい情報を採用
- ・ 作業対象に直接係る情報(線量当量率、等)は、同種作業の実績情報を参照対象とする。
- ・ 周辺作業状況に係る情報( $\alpha / \beta$  比、等)は、同区域作業、同ユニット作業、同系統作業の実績情報が、同種作業の実績情報より新しい情報であれば、そちらを参照対象とする。

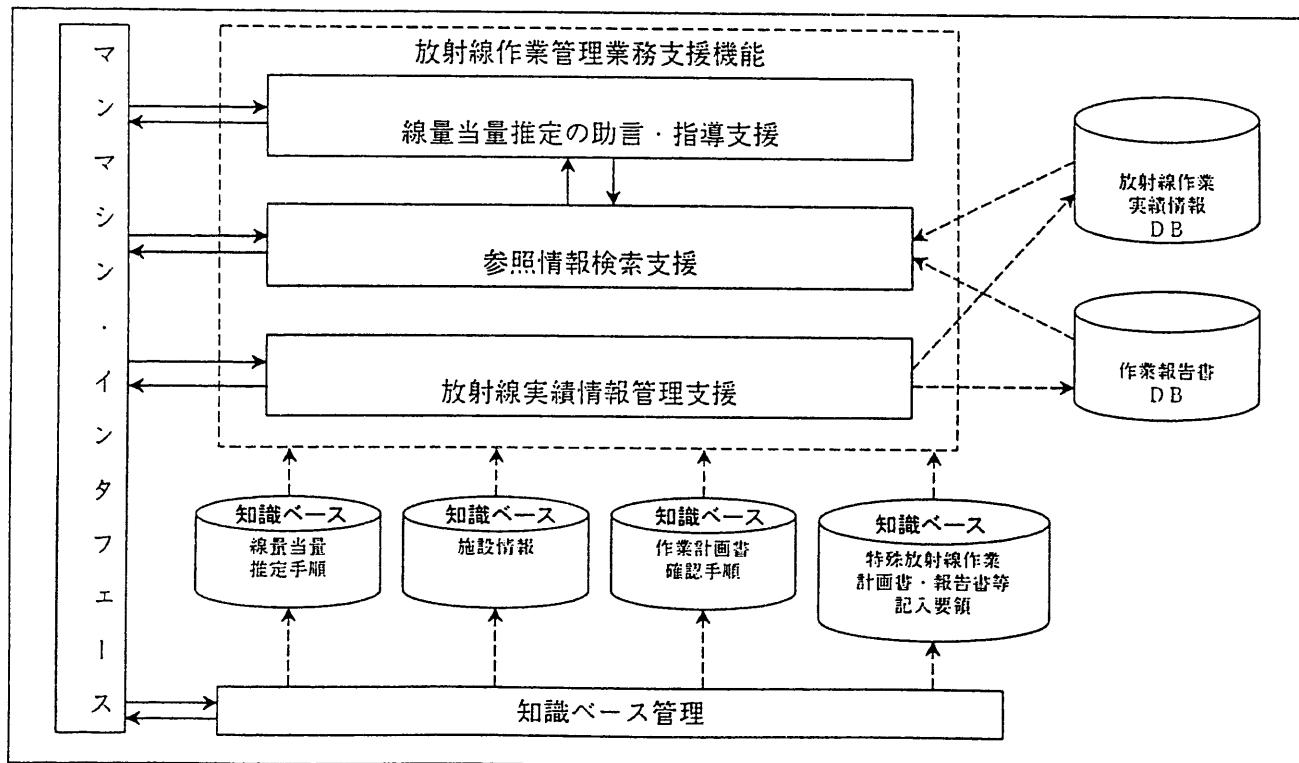
# 放射線作業管理業務支援システム

## -放射線実績情報分類-

- ・ 同種作業
  - 当該作業と同機器に対して、同目的で実施
- ・ 同区域内作業
  - 当該作業と同じ部屋にある、別の機器に対して実施
- ・ 同ユニット作業
  - 当該作業と同じユニットにて実施
- ・ 同系統作業
  - 当該作業対象の機器と、配管などでつながっている、別の部屋にある機器に対して実施

# 放射線作業管理業務支援システム

## - 機能構成図 -



## 放射線監視・管理支援システム開発計画

作業項目	H 9年度		H 10年度		H 11年度		H 12年度		備考
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期	
I 調査・検討									
1. 現状の対応作業分析		---							
2. 対象項目情報の調査・分析		---							
3. 知識ベースの収集・整理		---							
	今年度実施作業								
II 概念設計 *									
1. 機能定義			---						
2. データ及びデータベース定義			---	---					
3. システム構成定義			---	---					
4. プロトタイプによる方式評価			---	---					
III 試作システム設計製作 *									
1. システム詳細設計 (プロトotypingによる機能評価を含む)					---				
2. 製作					---				
3. システム検証					---				
4. システム改良					---				
IV 報告									
1. 検証結果分析									
2. 報告書作成									

\* 特定のシステムを選択し、実施範囲を限定して行う

## 放射線監視支援システム運用(例)

