

JAERI - M

90-158

核燃料サイクル施設リスク解析コード  
STARの導入と整備

1990年9月

野村 靖

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1990

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 いばらき印刷株

核燃料サイクル施設リスク解析コードSTARの導入と整備

日本原子力研究所東海研究所燃料安全工学部

野村 靖

(1990年8月21日受理)

STARコードは、核燃料サイクル施設の正常時及び事故時の放射性物質環境放出に関するPSA（確率論的安全評価）を実施する計算コードであり、元々、西独の核燃料サイクル・バックエンド関連施設の安全解析コードの開発を目的としたPSEプロジェクトの中で、NUKEM GmbHにより開発された。

原研では再処理施設等核燃料サイクル関連施設のPSA（確率論的安全評価）を実施するため、STARコードを西独NUKEM GmbHから1986年に導入し、以来コードの改良等整備を行ってきた。元のコードは、IBMのPC及びヒューレット・パッカード社のプロッターの上で作動する仕様になっていたが、これを核燃料施設安全評価研究室付設のNEC PC9801及びページ・プリンタ上で作動するようプログラム変換した。また、事故時に施設のスタックから環境へ放出された放射性物質による公衆の内部被ばく線量を評価できるようにプログラムの機能を追加した。

本報告書は、STARコード導入以来実施したプログラムの改良・整備の内容を述べると共に、出入力データフォーマット、プログラムの機能概要について述べ、サンプル問題としてHALW（高レベル廃液）タンクの冷却材喪失事故をとり上げて出入力データの例を示した。従って、本書はSTARコードの使用手引書としても用いられる。

Introduction and Preparation of  
the Nuclear Fuel Cycle Facility Risk Analysis Code: STAR

Yasushi NOMURA

Department of Fuel Safety Research  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 21, 1990)

STAR code is a computer program, by which one can perform the probabilistic safety assessment (PSA) for the nuclear fuel cycle facility in both the normal and the accidental event of environmental radioactive material release. This code was originally developed by NUKEM GmbH in West Germany as a fruit of the PSE (Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung) aiming at R&D of safety analysis methods for use in nuclear fuel cycle facilities such as reprocessing plants.

In JAERI, efforts have been made to research and develop safety assessment methods applicable to the accidental situations assumed to happen in the reprocessing plants. In this line of objectives, the STAR code was introduced from NUKEM GmbH in 1986 and, since then, has been improved and prepared to add an ability to analyze public radiation exposure by released activities from the plants. At the first stage of this code preparation, the program conversion was made to adapt the STAR code, originally operative on IBM-compatible PC's and Hewlett Packard 7550A plotters, to NEC PC 9801RX and NEC PR 602R page printers installed in the Fuel Cycle Safety Assessment Laboratory of JAERI.

This report describes calculational performances of the STAR code, results of the improvement and preparation works together with input/output data format in illustration of a sample HALW (High Activity Liquid Waste) tank PSA problem, thus making a users' manual for the STAR code.

Keywords: PSA Computer Code, Reprocessing Facility, Release of Radioactivity, Public Radiation Exposure

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 解析手法 .....	2
2.1 STARコードの概要 .....	2
2.2 準静的近似リスク解析 .....	4
3. サンプル問題用計算モデル .....	11
3.1 ソースターム・モデル .....	11
3.2 バリア透過率計算モデル .....	14
3.3 公衆被ばく評価モデル .....	20
3.4 計算モデルのサブプログラム化 .....	21
4. 入力データ・ファイル .....	36
4.1 ミニマム・カットセット・ファイル .....	36
4.2 機器信頼性データ・ファイル .....	36
4.3 被ばく評価用データ・ファイル .....	37
4.4 ジョブ・データ・ファイル .....	37
5. サンプル問題による計算出力例 .....	42
5.1 リスク解析結果の出力 .....	42
5.2 プロッター出力 .....	42
6. おわりに .....	52
参考文献 .....	53

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Calculational methods .....	2
2.1 Outline of STAR code performance .....	2
2.2 Steady states approach for modelling the system trangent .....	4
3. Calculational model for sample problem .....	11
3.1 Source-term model .....	11
3.2 Barrier penetration model .....	14
3.3 Public radiation exposure model .....	20
3.4 Incorporation of models in subprograms .....	21
4. Input data file .....	36
4.1 Minimum cutset file .....	36
4.2 Components reliability data file .....	36
4.3 Radiation exposure data file .....	37
4.4 Job data file .....	37
5. Example of output data for sample problem .....	42
5.1 Output data for sample PSA .....	42
5.2 Output of plotter .....	42
6. Conclusions .....	52
References .....	53

## 1. はじめに

STARコードは、核燃料サイクル関連施設の平常時及び事故時における環境への放射性物質放出量及び事故発生頻度を解析し、これらを総合してリスク解析を行う。このコードは、西独において1977年から1985年にかけて、再処理施設等の核燃料サイクル・バックエンド関連施設の安全解析手法の開発を目的としたPSEプロジェクトが実施された中で、NUKEM GmbHにより開発された。

原研では、再処理施設事故時安全評価手法の開発を目的として研究を進めてきているが、この研究の一環としてSTARコードを1986年より導入、整備し、環境へ放出された後の放射性物質が一般公衆の被ばくに寄与する効果も解析できるように改良した。導入当初のSTARコードは、IBMパーソナル・コンピューター及びヒューレット・パッカード社製プリンターの上で作動するようになっていたが、原研の核燃料施設安全評価研究室付設のNECパーソナル・コンピューターPC9801及びNECページプリンターPC-PR602Rの上で作動するように、これを変換した。

本報告書は、このSTARコードの機能の概要、改良整備の内容、サンプル問題による入力・出力データの例について書かれており、STARコード使用手引書となっている。

## 2. 解析手法

### 2.1 STARコードの概要

核燃料サイクル施設において平常時及び事故時に容器内部あるいはセル内部に放出された放射性物質は、オフガス系あるいは換・排気系に配置されたトラップ装置（フィルター等）を通過していく間に大部分が除去され、残余が空気に稀釈されてスタックから環境へ放出され、一般公衆の被ばくに寄与する。STARコードは、これら放射性物質の施設内放出、移行、環境放出、公衆被ばくにいたる経路について、放射性物質挙動及び公衆被ばく量を解析するばかりでなく、事故発生確率及びオフガス、換・排気系に設置された各装置の故障確率等のデータを用いて、その事故・故障発生の頻度及び継続時間等を解析し、一般公衆に対する被ばくリスクを総合的に解析する。ここで“総合的に”と述べたのは、平常時ばかりでなく事故時の各モード、すなわち事故発生及び各装置故障の組合せのそれぞれについて解析するばかりでなく、これらを総合した結果も算出するという意味である。Fig.2.1にSTARコードによるリスク解析における計算及びデータの流れを図示する。図中、破線で示した部分は、STARコードの計算範囲外にあり、別の計算コードあるいは実験等によりデータ又は計算モデルを準備しておく必要がある。たとえば、事故発生及び装置故障状態を記述するフォールトツリーは、別の専用の計算コードにより解析し、得られる主要なミニマムカットセットをSTARコードの入力データとして用意する必要がある。

STARコードの解析対象は、1個の放射性物質放出源及び複数個のバリアから構成される核燃料サイクル施設の放射性物質放出に係わる1系統である。放射性物質の源の放出特性及びバリアのエアロゾル透過特性等の解析対象に特有な性質については、解析者自身がこれらをモデル化してFUNCTIONサブプログラムとして作成しSTARオブジェクト・モジュールとリンクして実行可能型式の計算プログラムとする必要がある。放射性物質放出源及びバリアの特性のモデル化に際しての仮定条件は、次のとおりである。

- 放出源の事故状態でのエアロゾル発生割合は、一般に時間の経過に伴ない変化する温度・圧力等の関数として記述される。STARコードではこれをいくつかの時間間隔に分割し、ひとつ的时间（フェイズ）ではこれらの変数が一定であると仮定して、いわゆる準静的に解析を進める。すなわち、放出源は、ひとつの健全状態及び時間的に連続した複数の事故状態をとり得るものとし、それぞれの状態においては、温度、圧力、エアロゾル発生割合等のパラメータの値は一定と仮定する。
- バリアは、ひとつの健全状態及びひとつの故障状態をとり得るものとし、いずれの状態においても温度、圧力、エアロゾル透過率等のパラメータの値は、その状態に特有な一定値をとるものと仮定する。

STARは、元々64KバイトのメモリーのZ80プロセッサーを有するマイクロ・コンピュータ用に作成された計算プログラムであり、その後、IBMパーソナル・コンピュータ用のMS-DOS/PC-DOSの下で作動するように改良された。原研に導入・整備されて現バージョン 1.13Mとなっ

てからは、NECパーソナル・コンピューターPC-9801 RXのMS-DOSの下で動くように変換された。STARの使用計算機言語はFORTRAN-77であり、放射性物質放出源及びバリアの特性を解析者自身がモデル化し組込んだFUNCTIONサブプログラムはマイクロソフト社製のFORTRAN-77 コンパイラーによりコンパイルされる。

STARコードを走らせるには、キーボードから必要な情報を会話的(interactively)に打込んで計算を進めるほかに、ジョブ・データ・ファイルを用意してデータの入力を一括して行う方式があり、最初の選択画面でどちらかの方式を選択する。次のメニュー選択画面ではSTARによる計算モードの選択が要求される。これらのオプションは次に示す3とおりである。

- (1) オプションNo.1は、リスク解析の実行である。このため、STARコードは計算実行に必要な全ての情報・データをフォーマット通りに書き込んだジョブ・データ・ファイルを要求する。もし、このジョブ・データ・ファイルを指定しない場合には、RETURNキーを押印後、会話的に必要な情報・データをキー入力して計算を進めることができる。入力データ・ファイルとして、次の3種類の名称が要求される（ここではデフォルト名で示してある）。

STAR.CUT ミニマム・カットセット・ファイル

STAR.RAT 機器信頼性データ・ファイル

STAR.DSE 被ばく評価用データ・ファイル

また、出力データ・ファイルとして次の3種類の名称が要求される。

STAR.OUT 計算出力・データ・ファイル

STAR.FAR ファーマー線図用データ・ファイル

STAR.KOV CCDF用データ・ファイル

- (2) オプションNo.2は、上記オプションNo.1の実行により作成されたCCDF(Complementary Cumulative Distribution of Frequency)データ・ファイルを、STARコード・パッケージに含まれるKOVERプログラム・モジュールにより処理して、プロッター・プログラムSTARPL入力用のデータ・ファイルSTAR.CCDを作成する。

- (3) オプションNo.3は、オプションNo.1の実行後に、粒径依存のエアロゾル粒子数流量、質量流量、放射性物質流量、バリア透過率のデータを、STARコード・パッケージに含まれるBARPLOプログラム・モジュールにより処理して、プロッター・プログラムSTARPL入力用のデータ・ファイルSTAR.PAR及びSTAR.PENを作成する。

プロッター・プログラムSTARPLは、STARコードの計算実行により作成されるプロッター・データ・ファイルSTAR.FAR, STAR.CCD, STAR.PAR及びSTAR.PENの内、任意の1つをヒューレット・パッカード社製プロッター7550Aにより作図する機能を有する。原研では、これをNECページ・プリンターPC-PR602Rにより作図できるようにプログラムを改造した。この場合、STARPLによりプロット・ファイルSTAR.PLTを出力し、このSTAR.PLTから別に開発した図形出力プログラムTOLBPを用いて、ページプリンターNEC PC-PR602Rへ図形出力する。

Fig.2.2に、STARコード・パッケージにおける各種入出力データ・ファイル及びプログラム・モジュールの関係を示す。

## 2.2 準静的近似リスク解析

核燃料サイクル施設の正常運転時から事故時への状態変化は、過渡的変化であり、そこでの温度・圧力や放射性物質放出量は、厳密に言うと時間に依存して連続的に変化する関数として表わされる。しかしながら、この変化は、一般に比較的緩慢に進行するので、核燃料サイクル施設のリスク評価においては一定の期間では変化しないと仮定する、準静的(quasi-stationary)近似の解析手法によることが多い。

核燃料サイクル施設から放出される放射性物質により一般公衆の受けける放射線被ばくのリスクを評価するとき、解析対象として、ひとつのエアロゾル発生源とスタックから放出されるまでエアロゾルの低減にあづかる数個のバリアから構成されるシステムを考える。ここで発生源及びバリアは、それぞれ、ひとつの正常状態と、0ないしいくつかの事故あるいは故障状態をとりうるものとする。準静的近似の手法では、これらのうち定められたひとつの状態においては、状態変数が一定であると仮定する。実際の状態変数の変化は、異なる故障状態へのステップ変化として取り扱われる。

例として、放射性物質を含むある容器から発生したエアロゾルが排気系に引かれ、プレフィルタと最終フィルタの2個のバリアを通過して低減を受けた後、スタックから環境へ放出されるという状況を考えよう。この場合、発生源及びバリアの取り得る状態として、ひとつの正常状態とひとつの事故あるいは故障状態を考えることにすれば、システムの状態として実現する発生源及びバリアの状態の組合せは、Fig.2.3に示すようなイベントツリーを用いて表わすことができる。このイベントツリーの各分岐点における選択枝の組合せにより定められる放出経路を放出シーケンスと呼ぶことにする。

核燃料サイクル施設の総合的なリスク評価を行うためには、上述したような実現する可能性のあるシステム状態のそれぞれ、すなわち各放出シーケンスに対して発生確率が求まり、環境への放射性物質放出量が算出されなければならない（リスクは発生確率×放出量として評価される）。放射性物質の環境への放出を頂上事象にとり、発生源及びバリアの状態を考慮してファールトツリーをFig.2.4に示すように構築することができる。これを特に放出ツリーと呼ぶ。STARコードでは、この放出ツリーを解析することにより、各々の放出シーケンスの発生確率と放射性物質放出量を求めてリスクを総合的に評価する。Fig.2.4において、事象を示す各ブロックの下に△を付けて示したものは、これがいわゆる中間事象であることを意味し、その下に機器故障等に係わる通常のフォールトツリーが展開される。STARコードでは、この下部のフォールトツリーが直接に解析されることなく、あらかじめ専用計算コードにより解析して求めておいたミニマム・カットセットを入力データとして与える必要がある。

STARコードでは、入力されたミニマム・カットセットを放出ツリーに従って統合し、各々のシステム状態に応じたカットセット（これをスーパーカットセットという）を求める。これがいくつある中で、i番目のシステム・カットセットに対して発生頻度密度 $h_i$ 及び平均継続時間 $D_i$ が求まり、これから観測期間 $t_B$ におけるシステムの状態zの発生頻度 $H_z$ 及び平均継続時間 $D_z$ が次式により求められる。

$$H_z = \sum_i H_i, \quad H_i = \int_0^{t_B} h_i(t) \cdot dt \leq h_i(\infty) \cdot t_B \quad (2.1)$$

$$D_z = \sum_i H_i \cdot D_i / \sum_i H_i \quad (2.2)$$

ここで、システムの状態 $z$ は、発生源の状態 $s_0$ 及び $n$ 個のバリアの状態 $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ の組合せにより、放射性物質の放出経路を次式に示すように定める。

$$z = (s_0, s_1, s_2, \dots, s_n)$$

放射性物質を含むエアロゾルの流れがひとつのバリアに入ると、その流れは、質的にも又量的にも影響を受ける。温度、圧力、エアロゾル粒径分布などの流れの状態を記述するパラメータの一組みを $\alpha$ で表わすことにすれば、バリアに入る前の流量 $A(\alpha)$ 、及びバリアを出た後の流量 $A(\alpha')$ は、バリア演算子 $B$ を用いて次式に示すように関係づけられる。

$$\dot{A}(\alpha') = B \cdot \dot{A}(\alpha)$$

このバリア演算子 $B$ の $\dot{A}(\alpha)$ に関する固有値がバリアの透過率 $P_\alpha$ である。

$$B \cdot \dot{A}(\alpha') = P_\alpha \dot{A}(\alpha), \quad P_\alpha = \dot{A}(\alpha') / \dot{A}(\alpha)$$

このことは、流れの中に運ばれるエアロゾルの粒径分布がバリアを通過することによってどのように変化するかを調べることで理解を深められる。エアロゾルの粒径分布を考慮すると $A(\alpha)$ 、 $A(\alpha')$ などは次のように定式化される。

$$\begin{aligned} \dot{A}(\alpha) &= \int \frac{\partial A(\alpha)}{\partial y} \cdot dy \\ \dot{A}(\alpha') &= \int \frac{\partial \dot{A}(\alpha')}{\partial y} \cdot dy = \int p(y) \cdot \frac{\partial \dot{A}(\alpha)}{\partial y} \cdot dy \\ &= B \cdot \dot{A}(\alpha) = P_\alpha \cdot \dot{A}(\alpha) \\ \therefore P_\alpha &= \frac{\int p(y) \cdot \frac{\partial \dot{A}(\alpha)}{\partial y} \cdot dy}{\int \frac{\partial \dot{A}(\alpha)}{\partial y} \cdot dy} \end{aligned}$$

ここで、 $p(y)$ は、エアロゾル粒径 $y$ に対するバリアの透過特性であり、上式からバリアの透過特性の影響を受けてエアロゾルの粒径分布が形状、大きさ共に変化することがわかる。又、バリアの積分透過率 $P_\alpha$ は、バリアの透過特性ばかりでなく、バリアに入る流れの中のエアロゾル粒径分布に依存することがわかる。以上は、流れの状態 $\alpha$ としてエアロゾル粒径分布のみに着目して結論を導いたが、温度、圧力など他の状態変数に着目しても同様な結論を導くことができる。

以上述べたことから、あるシステムの状態 $z$ において、発生源から流れ出るエアロゾルの流量 $\dot{A}_z(\alpha)$ 、 $k$ 番目のバリアにおける演算子 $B_{k,z}$ を用いて、 $N$ 個のバリアを通過して環境へ放出される放射性物質の透過率 $P_z$ を次式のように表わすことができる。

$$P_z = \left[ \prod_{k=1}^N B_{N-k+1,z} \cdot A_z(\alpha) \right] / A_z(\alpha) \quad (2.3)$$

(2.1), (2.2), (2.3)で求まる $P_z, D_z, H_z$ を用いて、システムの状態 $z$ の観測期間 $t_B$ における放射性物質放出のリスクは、次式に示すような放出量の期待値として評価される。

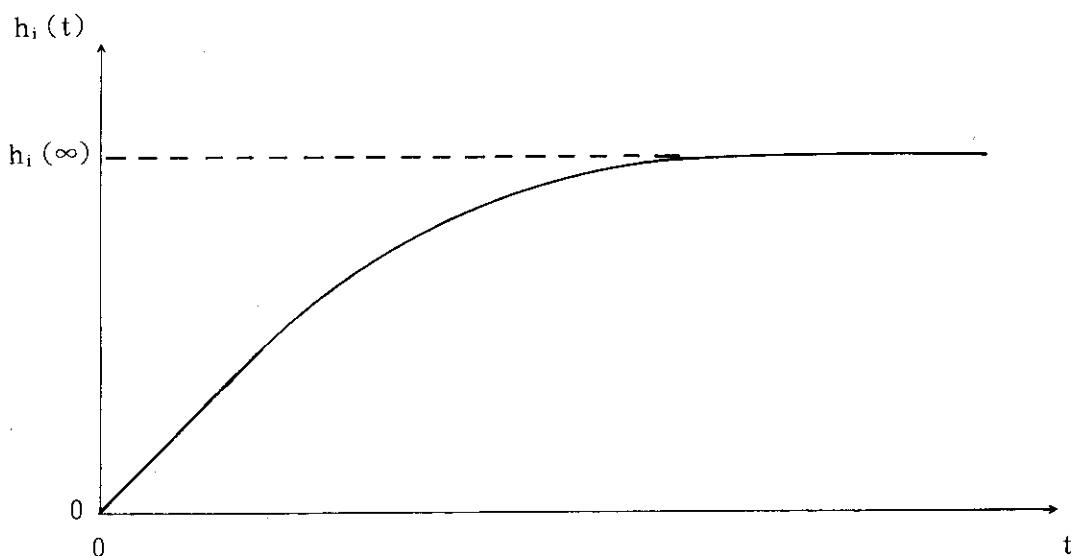
$$\begin{aligned} \langle A_z \rangle &= A_z(\alpha) \cdot P_z \cdot D_z \cdot H_z \\ &= A_z(\alpha) \cdot P_z \cdot \text{Sum}_{\text{SCS}}(H_i \cdot D_i) \\ &= A_z(\alpha) \cdot P_z \cdot t_B \cdot \text{Sum}_{\text{SCS}}(h_i(\infty) \cdot D_i) \end{aligned}$$

ここで、 $\text{Sum}_{\text{SCS}}$ はシステムの全てのカットセットにわたる総和をとることを示す。

システムの放射性物質放出によるリスクの総合的な評価を行うためには、上で求めた $\langle A_z \rangle$ をシステムの取りうる全ての状態( $z=0, 1, 2, \dots, M$ )についても加え合わさなければならない。これには、システムの健全状態( $z=0$ )も含まれる。

$$\begin{aligned} \langle A \rangle &= \sum_{z=0}^M \langle A_z \rangle \\ &= \langle A_0 \rangle + \sum_{z=1}^M \langle A_z \rangle \\ &= A_0(\alpha) P_0 \cdot t_B + \sum_{z=1}^M A_z(\alpha) \cdot P_z \cdot t_B \cdot \text{Sum}_{\text{SCS}}(h_i(\infty) \cdot D_i) \end{aligned}$$

注) システムに故障が発生する確率の時間的密度 $h_i(t)$ は、一般に下図に示すように時間の経過と共に増加し、 $t \rightarrow \infty$ である一定値に漸近する。入力データとしてこの一定値 $h_i(\infty)$ を用いる。



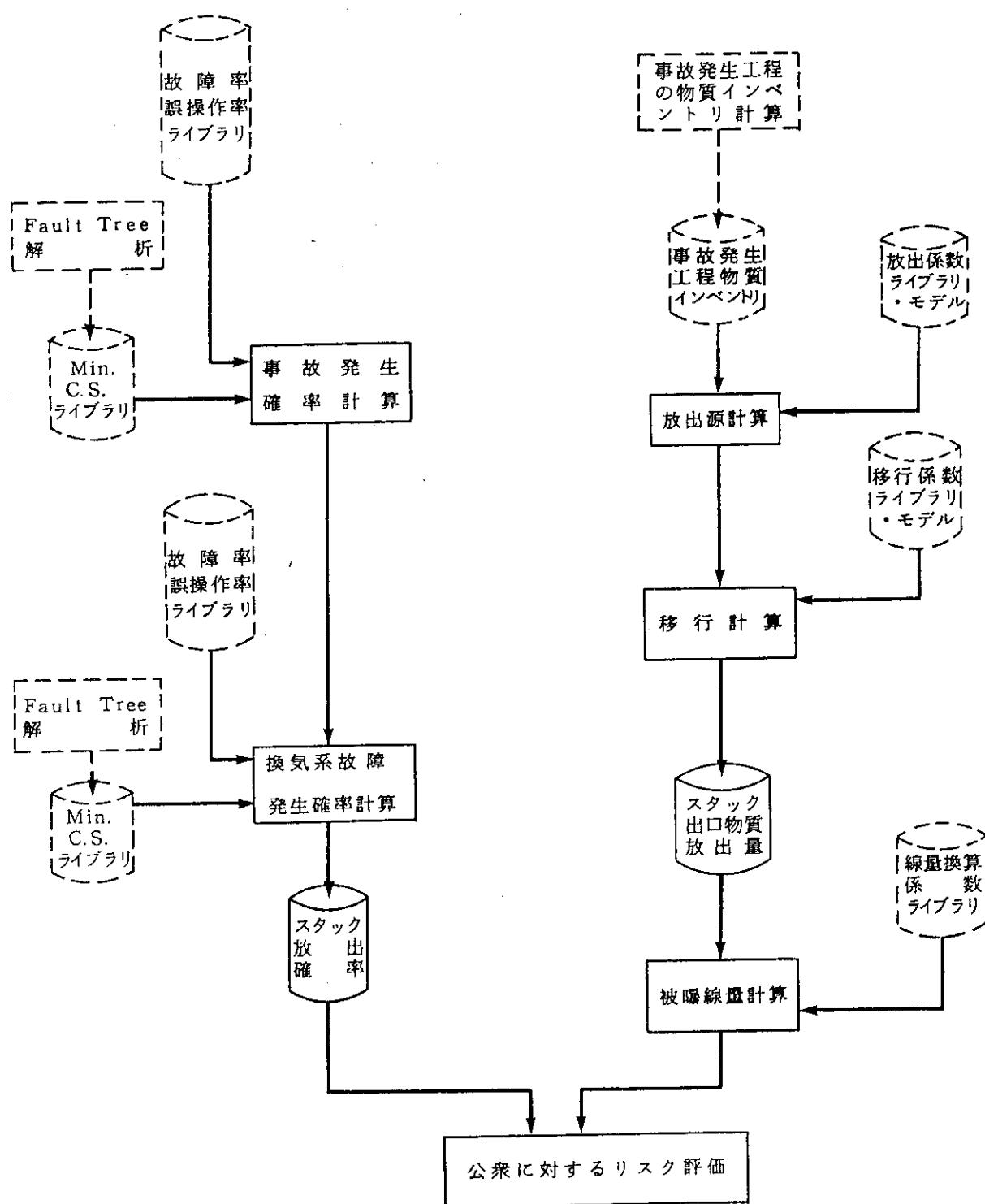
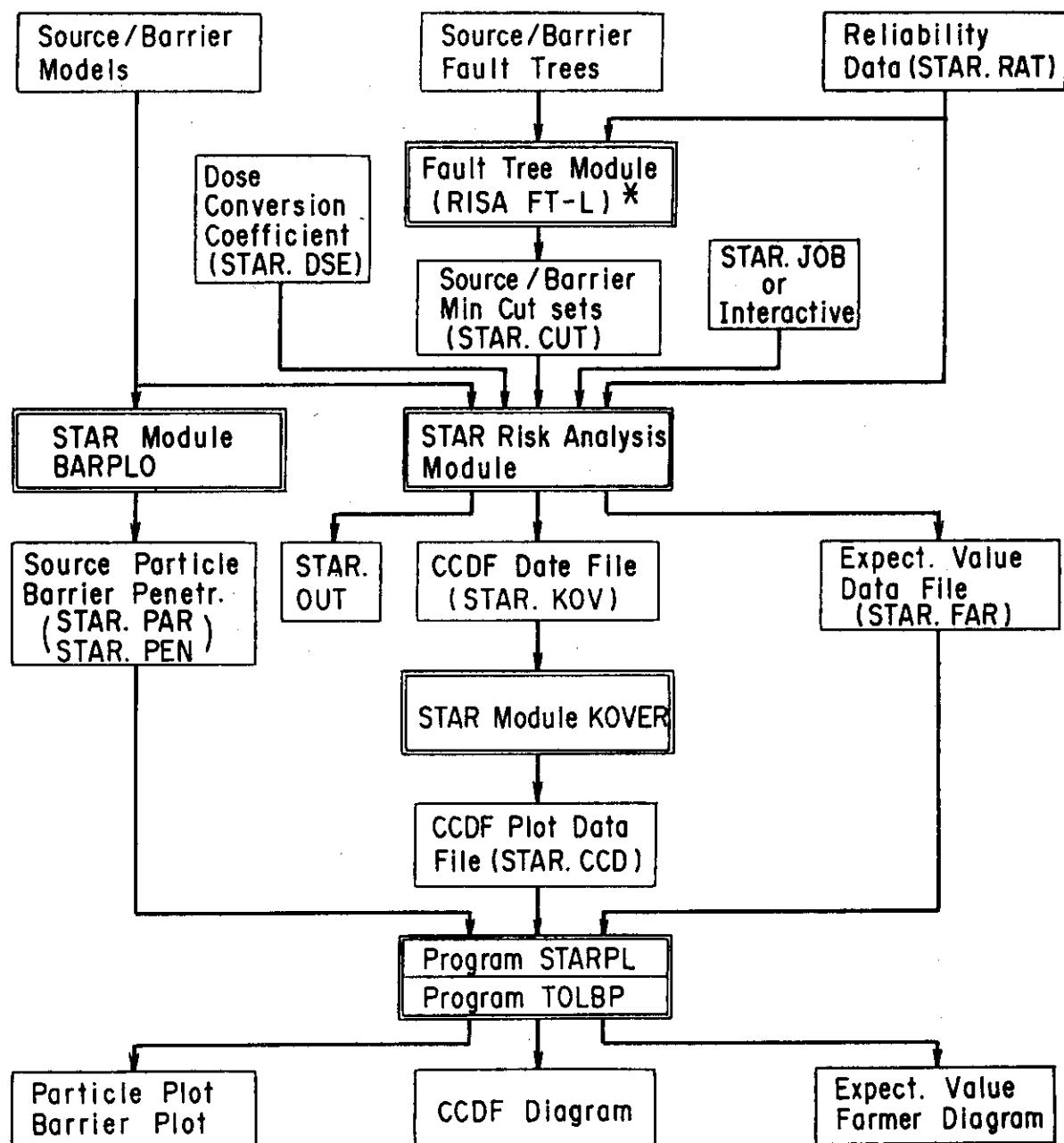


Fig. 2.1 Calculational data flow in STAR risk analyses.



\* not included in STAR Version 1.1 code package

Fig. 2.2 Relations between calculational modules and input/output data files.

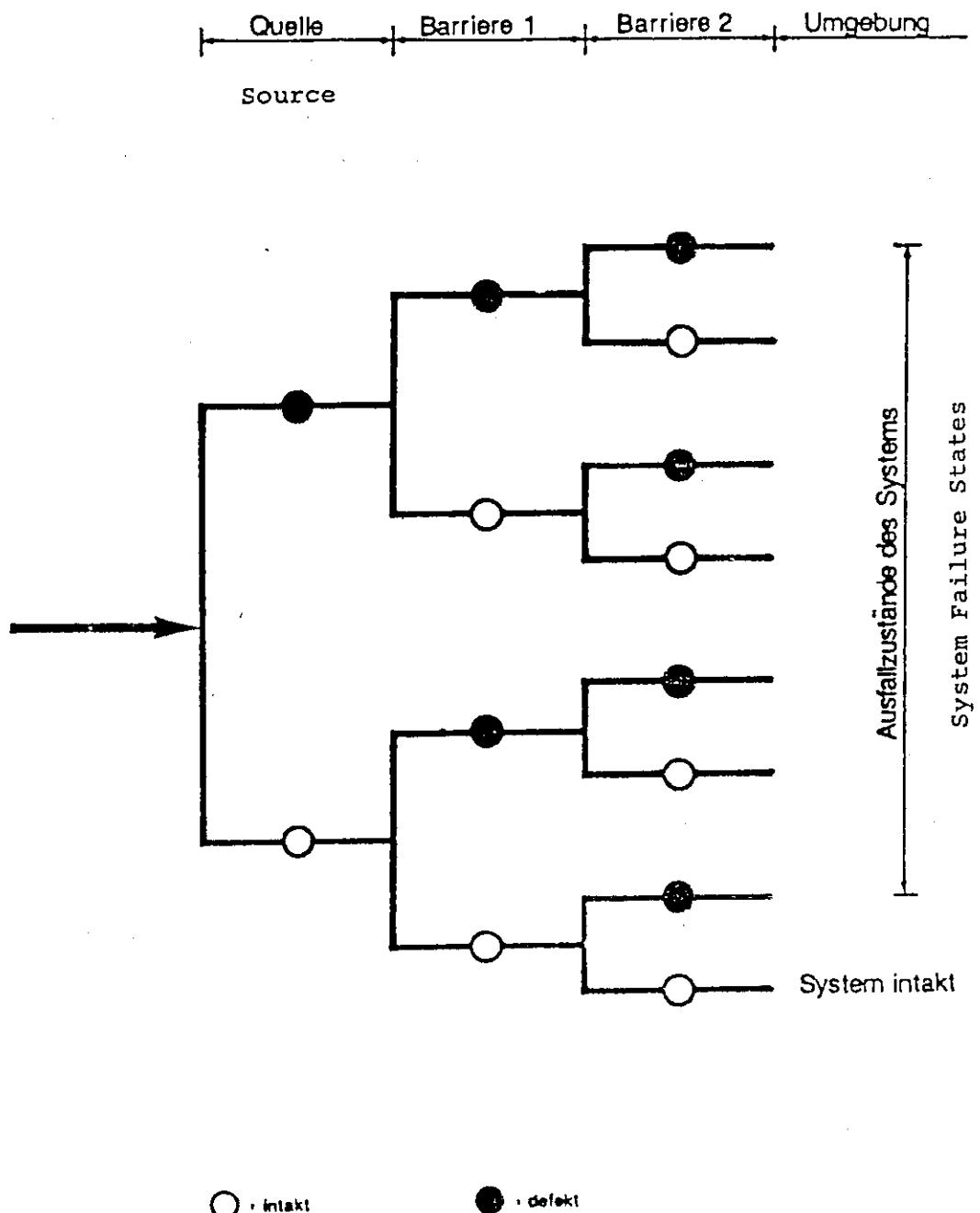


Fig. 2.3 Example of a release sequence of system consisting of one source and two barriers.

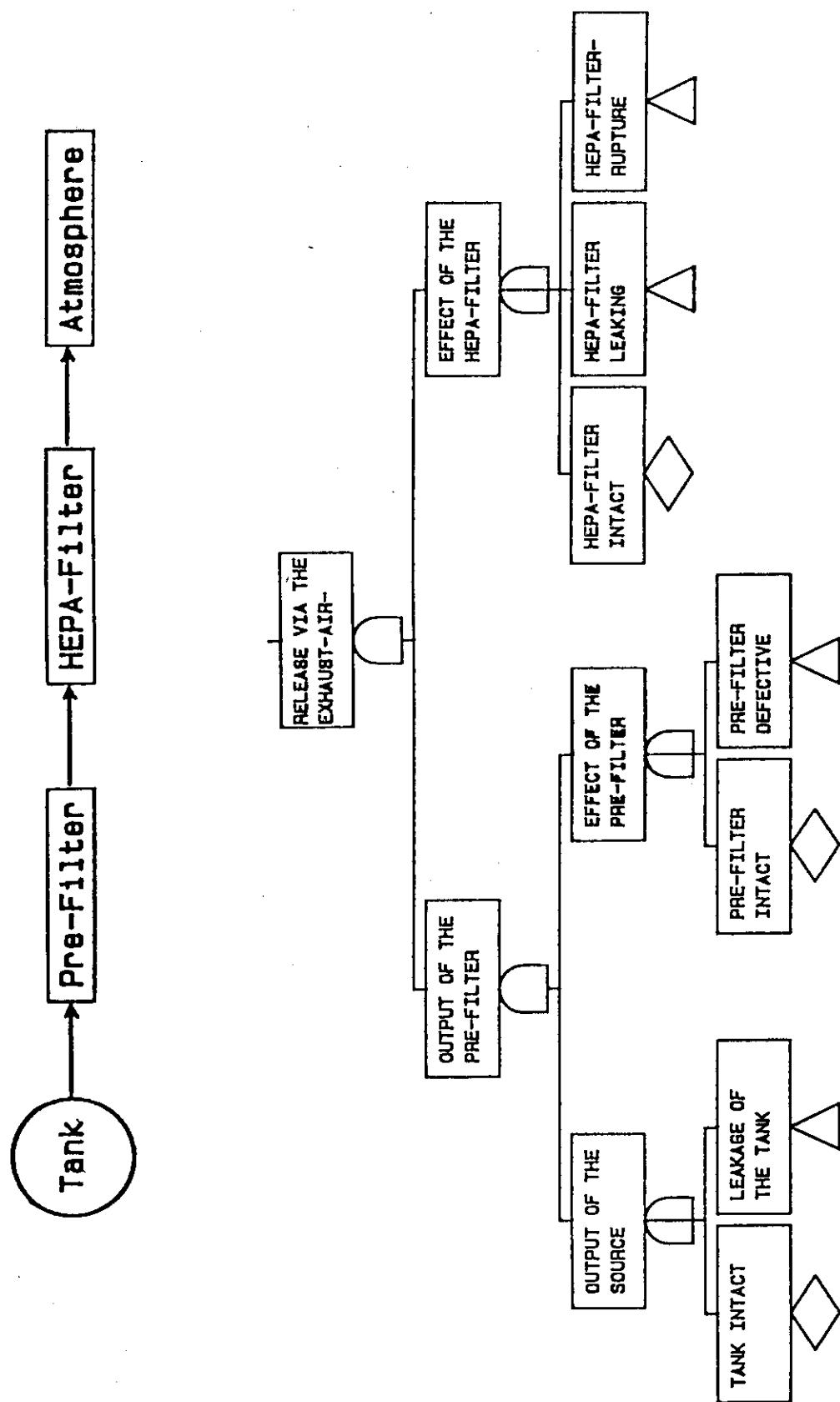


Fig. 2.4 Example of a release tree for the system.

### 3. サンプル問題用計算モデル

サンプル問題として、再処理施設の高レベル廃液(HALW)タンクにおける冷却材喪失事故をとり上げ、環境への放射性物質放出による一般公衆の受けける放射線被ばくのリスク解析を行う。本章では、NUKEM社で開発されたSTARコード用サンプル問題のソースターム及びバリアの計算モデル<sup>1)</sup>に加えて、原研で開発した公衆被ばくモデルについて述べる。

#### 3.1 ソースターム・モデル

Fig.3.1は、HALWタンク及び関連する排気系、オフガス系の配置の概念図である。HALWタンクは、各75m<sup>3</sup>の体積容量を持つ水冷式貯蔵タンク2基から成る。タンク及びそれを格納するホットセルの主要諸元をTable 3.1に示す。タンク内には溶液攪拌及び水素ガス分離・稀釀用の空気が溶液相下部に導入されている。タンク外側には、崩壊熱除去用の冷却用マントルが巻かれおり、通常運転時に溶液温度を一定に保っている。溶液から発生した水蒸気及びエアロゾルは空気に同伴して、タンク上方に設けられた開口部よりオフガス系に引かれ、ガス洗浄用の各装置(バリア)を通過して低減されたあと、規準値以下となったものが空気と共にスタックより環境へ放出される。オフガス系モデルを図式的にFig.3.2に示す。

##### (1) 気泡破裂によるエアロゾル発生

タンク内に導入された乾燥空気は、溶液底部より気泡となって上昇して溶液表面に到達するまでの間に水蒸気で飽和される。これによる溶液表面からの水蒸気の質量移行流 $\dot{M}_{D,P}$ は、次式で表わされる。

$$\dot{M}_{D,P} = \dot{M}_P \cdot K_s(T_F)$$

ここで、 $\dot{M}_P$ ；空気の質量流量

$K_s(T_F)$ ；溶液温度 $T_F$ における飽和水蒸気分率(水蒸気含有(kg)/空気(kg))。

冷却材喪失事故により、溶液が加熱・沸騰する場合は次式に示すような沸騰により発生した水蒸気の気泡の質量移行流が溶液中に存在する。

$$\dot{M}_{D,S} = \hat{L} / \Delta h$$

ここで、 $\hat{L}$ ；溶液発熱量

$\Delta h$ ；蒸発潜熱

溶液中に発生したこれらの気泡は、溶液表面に到達すると弾けて消滅するが、その際に水蒸気と溶液の一部はエアロゾルとなって気相に移行することになる。この場合のエアロゾル質量移行流は、次式に従う。

$$\dot{M}_{A,B} = F_B \cdot (\dot{M}_{D,P} + \dot{M}_{D,S})$$

ここで $F_B$ は、気泡破裂によるエアロゾル生成割合であり実験データとの比較から溶液温度 $T_F$

(Kelvin)の関数として次式により与えられる<sup>2)</sup>。

$$F_B(T_F) = 2.014 \times 10^4 \cdot \exp(-4.322 \times 10^{-2} \cdot T_F)$$

気相中のエアロゾルは、溶液の微粒子として存在し、粒子の重力沈降速度によって決まる最大安定直徑は、約20~60 μmの範囲にあることがわかっている。このときエアロゾルの粒径依存は、実験データとの比較から一般に平均粒径約30 μm、バラツキ因子2.3の対数正規分布により表わされる。

### (2) 蒸発によるエアロゾル発生

溶液表面からの蒸発による水蒸気の質量移行流M<sub>D,V</sub>は次式により表わされる。

$$\dot{M}_{D,V} = \sigma_s \cdot A_F \cdot (x_s(T_F) - \hat{x}(T_F))$$

ここで、 $\sigma_s$  ; 物質移行係数

$A_F$  ; 溶液表面積

$x_s(T_F)$  ; 溶液温度T<sub>F</sub>における溶液表面の気相中の飽和水蒸気含有率

$\hat{x}(T_F)$  ; 溶液温度T<sub>F</sub>における溶液表面の気相中の水蒸気含有率

蒸発により水蒸気が溶液表面から発生すると同時に、溶液の一部がエアロゾルとなって気相に移行する。この場合のエアロゾル質量移行流は、次式に従う。

$$\dot{M}_{A,V} = F_V \cdot \dot{M}_{D,V}$$

ここで、 $F_V$ は、蒸発によるエアロゾル発生割合であり実験データとの比較から、溶液温度T<sub>F</sub>(Kelvin)の関数として次式により与えられる<sup>2)</sup>。

$$F_V(T_F) = 6.9 \times 10^5 \cdot \exp(-8.9 \times 10^3 / T_F)$$

エアロゾル発生割合の溶液温度T<sub>F</sub>に対する変化をFig.3.3に示す。

このときエアロゾル粒径依存は、実験データとの比較から中央粒径0.5 μm、バラツキ因子2の対数正規分布に従う。

### (3) HALWタンクから発生するエアロゾル流の流径分布モデル

以上(1), (2)に述べたことを総合して、PSEプロジェクトの解析に用いられたエアロゾル発生流に係わる粒径分布モデルを示すと次のようになる。

- ・正常運転時 (モデル名 QK)

溶液温度を40°Cとし、エアロゾル粒径D μmの範囲、 $0.1 \leq D \leq 3.75$ において分布密度関数を、

$$\frac{dQ_k}{dD}(D) = 2.8 \times 10^9 \cdot f_{0.5,2.0}(D) + 1.9 \times 10^8 \cdot f_{30.0,2.3}(D)$$

と表す。ここで、 $f_{a,b}(D)$ は変数Dに対する平均値a、バラツキ因子bの対数正規分布密度関数である。

- ・冷却材喪失事故時

溶液の加熱過程と沸騰過程の2つの過程に分け、それぞれの過程ではエアロゾル発生速

度が一定と仮定して（準静的手法により）解析を行う。

溶液の加熱過程（モデル名**QKV**）では、溶液温度を90°Cとし、エアロゾル粒径D μmの範囲、 $0.1 < D < 8.0$ において分布密度関数を、

$$\frac{dQ_{kv}}{dD}(D) = 2.0 \times 10^{12} \cdot f_{0.5,2.0}(D) + 7.5 \times 10^8 \cdot f_{28.0,2.3}(D)$$

と表わす。

沸騰過程（モデル名**QKS**）では、溶液温度を100°Cとし、エアロゾル粒径D μmの範囲、 $0.1 < D < 30.0$ において分布密度関数を、

$$\frac{dQ_{ks}}{dD}(D) = 5.2 \times 10^{13} \cdot f_{0.5,2.0}(D) + 1.5 \times 10^{10} \cdot f_{28.0,2.3}(D)$$

と表わす。

#### (4) 事故時の溶液加熱・沸騰過程の時間

HALWタンクの冷却材喪失事故時には、崩壊熱により溶液が加熱されて温度上昇し、やがて沸点に達する。タンク内溶液の加熱時間T<sub>1</sub>は、75m<sup>3</sup>の溶液が187.5kWの発熱により通常時の40°Cから100°Cの沸騰点まで温度上昇するために要する時間として、

$$T_1 = \frac{75 \times 10^6 \times 1.2 \times 1.0 \times (100 - 40)}{187.5 \times 10^3 \times 0.23885}$$

$$= 120578 \text{secs} = 33.5 \text{hrs}$$

と求められる。

事故時には、緊急冷却系が働いて、蒸発により発生した水蒸気及びエアロゾルは再び水及び溶液となってタンク内へ戻されるので、タンク内溶液は事実上枯渇することはないと考えられる。

従って、溶液の加熱過程及び沸騰過程の開始及び終了時間として、次のように仮定する。

溶液の加熱過程に対して、0~33hrs。

溶液の沸騰過程に対して、33~10000hrs。

#### (5) 溶液（エアロゾル）の密度

タンク内溶液の密度と発生するエアロゾルの密度は等しいと仮定し、その値を1.2g/cm<sup>3</sup>（Table 3.1参照）とする。

#### (6) 溶液（エアロゾル）の比放射能

密度と同様に比放射能の値も、タンク内溶液中とエアロゾル中とで等しいと仮定し、次のように求める。

- 初期濃縮度4.5%のPWR用燃料1トンを45GWd/tU燃焼させた後、4年間冷却させたものの中に含まれる核種別放射能強度を、ORIGEN-2コードの計算により求める。
- 使用済燃料1トンを再処理することにより、派生する高レベル廃液中の核種別放射能強度は、工程到達率をかけて得られる。ここで工程到達率は、使用済燃料の剪断、溶解に始まり、ウラン・プルトニウムの分離、精製の一連のプロセスを経て、高レベル廃液として貯蔵されるまでに放射性物質が分離、減少する割合であり、Exxon再処理工場のPSAR（予備的安全解析書）<sup>3)</sup>記載のデータを用いた。

- 上記PSARには、使用済燃料の再処理により高レベル廃液が517 l 派生するとしており、廃液密度を1.2kg/l とすれば、核種別の比放射能はTable 3.2に示すように求められる。

### 3.2 バリア透過率計算モデル

事故時の放射性物質放出に係わる種々の放出シーケンスを考えられる中で、前述したようにオフガス系を通じてスタックから環境へ放出される経路に関する機器・装置の故障のシーケンスを考える。この場合、機器信頼性等を考慮してFig.3.4に示すようなシーケンスについて解析を進める。

HALWタンクの冷却材喪失事故時には、タンク上部に開口しているオフガス系入口付近に配置された緊急冷却系が作動し、発生した水蒸気を凝縮し水に還元してタンク内へ戻す働きをする。ここを通過したエアロゾル及び水分を含むオフガスは、NOXスクラバの塔に入り回流する洗浄液により環境に有害なNO<sub>x</sub>が除去される。次いでデミスター（除湿器）に入り、前段の洗浄過程で混入した飛沫が除去される。ここまででオフガスの粗濾過を行い、以降にオフガス中のエアロゾルや水分を高性能に捕集するフィルター類が配置されている。まず、コンデンサ（凝縮器）により残存する水分の大部分が凝縮・除去され、次にバッフル板式の水分除去器、さらにファイバ充填式の水分除去器を通過したあとのオフガスには、湿分がほぼ完全に除去されている。このあと、ヒータにより温度条件を整えたあとオフガスはHEPAフィルタに入り、残存する水分、エアロゾルを除去してから、プロアに引かれてスタックから環境へ放出される。

これらのオフガス系に配置されたバリアにおけるエアロゾル透過率の粒径依存特性は、西独のKfK研究所のPASSAT等の実験装置を用いて得られたデータ、あるいは各国研究機関で実施した実験によるデータで公開されたものを基にモデル化する。実験データが得られない場合には理論的に導かれた計算式を用いることとする。この場合、データの不確定性や実際の装置への適用性を考慮し安全側の結果を与えるようにモデル化する。また必要に応じて、規格・規準に記載してあるデータも考慮する。以下、Fig.3.4の括弧内に示した各バリアのモデル名称ごとに、解析に用いる計算モデルについて説明する。なお、これらのバリア名称は、STARコードの入力データとして用いられる。

SK；

HALWタンクの冷却材喪失事故時にのみ作動し、発生する水蒸気を凝縮してタンク内に還元する役割を果す緊急冷却系（凝縮器）のモデルである。

エアロゾル及びトリチウムは、Fig.3.5に示すような並列に配した予備用の他の1基を有する冷却器内部での水分凝縮により除去される。冷却器入口及び出口におけるオフガス中の水分は、飽和状態にあると仮定して、エアロゾルの透過率を次式のように導くことができる。ここで、エアロゾルはオフガス中に均一に分布しているものと考えられる。

$$\begin{aligned}
 P_{SK} &= \frac{\dot{M}'_D + \dot{M}_L}{\dot{M}_D + \dot{M}_L} \\
 &= \frac{\dot{M}_L x_s(T') + \dot{M}_L}{\dot{M}_L x_s(T) + \dot{M}_L} \\
 &= \frac{x_s(T') + 1}{x_s(T) + 1}
 \end{aligned}$$

ここで、  
 $\dot{M}_D$  ; 入口オフガス流量中の水分質量流量  
 $\dot{M}'_D$  ; 出口オフガス流量中の水分質量流量  
 $\dot{M}_L$  ; オフガス流量中の空気質量流量  
 $T$  ; 入口オフガス温度  
 $T'$  ; 出口オフガス温度

$x_s(T)$  は、温度  $T$  における空気中の飽和水蒸気含有率であり、飽和水蒸気圧  $p_D(T)_{atm}$  を用いて次式により表わされる。

$$x_s(T) = 0.622 \times \frac{p_D(T)}{1 - p_D(T)}$$

上に述べたエアロゾル透過率の関係式の有効性は、実験により充分確かめられている<sup>4)</sup>。  
 本解析では通常用いられる状況でのHALWタンクの故障時に作動する緊急冷却系の入口及び出口温度を評価し、エアロゾル透過率として次の値を与える。

- タンク内溶液の加熱過程では、入口オフガス温度を90°C、出口オフガス温度40°Cとして、

$$P_{SK}=0.29$$

- タンク内溶液の沸騰過程では、入口オフガス温度を100°C、出口オフガス温度40°Cとして、

$$P_{SK}=0.028$$

冷却器の故障として、ポンプ電源喪失等により冷却水供給不能及び配管破断が考えられる。この場合、冷却器のオフガス中水分凝縮が行われなくなるので、エアロゾル透過率  $P_{SK}=1.0$  を与える。

なお、本解析では用いないが、オフガス中のトリチウムの冷却器透過率モデルは、トリチウムが水の構成原子でのみ存在することを考慮して次式により与えられる。

$$\begin{aligned}
 P_{SK}^T &= \frac{\dot{M}'_D}{\dot{M}_D} \\
 &= \frac{\dot{M}_L x_s(T')}{\dot{M}_L x_s(T)} \\
 &= \frac{x_s(T')}{x_s(T)} \\
 &= \frac{p_D(T')}{p_D(T)} \cdot \frac{(1-p_D(T))}{(1-p_D(T'))}
 \end{aligned}$$

**KOL :**

オフガス中のNO<sub>x</sub>を除去するために設けられるNOXスクラバのモデルである。

NOXスクラバは、鐘形の反応板を重ねた塔の内部をFig.3.6に示すように洗浄液が上から下へ流れ、対向して上昇するオフガス中のNO<sub>x</sub>を除去する装置である。オフガス中に含まれる粒径Y(μm)のエアロゾルに対して、次式に示す透過率のモデルが実験により導かれた<sup>5)</sup>。

$$P_{KOL} = (\exp(-0.071 \cdot Y^2))^n$$

上式におけるnは、塔内の反応板の段数であり、ここでは、通常用いられるn=5とする。

スクラバ内部を還流する洗浄液から気流中に同伴するエアロゾルの比放射能は小さく、これの環境放出による公衆の被ばくリスクへの影響は無視できる。

NOXスクラバの故障として、上述した洗浄液の供給停止が考えられ、この場合P<sub>KOL</sub>=1.0として解析する。

**DEM :**

NOXスクラバの頭部の出口にあって飛沫同伴したエアロゾルを除去するために設けられるデミスタのモデルである。

デミスタは、Fig.3.7に示すようにワイヤのメッシュ層により通過する気流中の水分を除去する装置である。デミスタ入口・出口の差圧をΔp(mbar)とすれば、オフガス中に含まれる粒径Y(μm)のエアロゾルに対して、次式に示す透過率のモデルが実験により導かれた<sup>6)</sup>。

$$P_{DEM} = 2.28 [\Delta p^{1/3} Y]^{-2.168}, \quad 1.5 < \Delta p^{1/3} \cdot Y < 10$$

Δpの典型的な値として本解析では通常用いられる状況での1.5mbarを与える。この場合、上式は次式のようになる。

$$P_{DEM} = 1.701 Y^{-2.168}, \quad 1.3 < Y < 8.7$$

粒径Yが上式の適用範囲を超える場合には、次のようにする。

- ① Yが1.3 μmより小さい範囲では、上限値1.0として上式により外挿する。
  - ② Yが8.7 μmより大きい範囲では、漸近領域における適当な指數関数を用いて外挿する。
- これをまとめると次のようになる。

$$P_{DEM} = \begin{cases} M_h(1, 1.701 Y^{-2.168}), & 0 < Y < 1.3 \\ \exp(-0.9826 Y^{2/3}), & 8.7 < Y \end{cases}$$

同一のデミスタを用いた耐久試験では、長期間にわたり故障せずにエアロゾル除去能力を維持することが証明された。従って、本解析でデミスタの故障は考えないこととする。

**KON :**

デミスタの後段にあって、デミスタを通過したオフガス中に残存する水分を除去するために設けられるコンデンサ（凝縮器）のモデルである。

コンデンサの機器の構成は、緊急冷却系と同様にFig.3.5に示すような予備用の他の一基を有する冷却器が主体となる。エアロゾルの透過率モデルは、緊急冷却系におけると同様にして導かれる。但し、コンデンサにおいては、入口オフガス温度が30°C、出口オフガス温度が15°Cと評価されるので、エアロゾル透過率は $P_{KON}=0.98$ となる。

コンデンサの故障としても、緊急冷却系の故障と同様に冷却水供給不能及び配管破断が考えられ、この場合 $P_{KON}=1.0$ を与える。但し、緊急冷却系の故障状況は動作が要求されたときに起こることが問題になるのに対し、コンデンサの故障は、これの動作中に起こることが問題となる。

#### LAM :

金属製バッフル板式の水分除去器のモデルである。

ガス流速8m/sにおけるエアロゾル透過率の実験値をフィッティングして、次式が導かれる<sup>7)</sup>。

$$P_{LAM} = \exp(-0.0305Y^2)$$

ここでY；エアロゾル直径(μm)である。流速 $Q_G$ が8m/sより大きくなると、流速を補正項に持つ次式が適合する。

$$P_{LAM} = \exp(-0.0305(Q_G/8)Y^2)$$

本解析では通常用いられる状況の $Q_G=8\text{m/s}$ と仮定する。

この型式の水分除去器の構造は堅牢であり、本質的に故障しにくいことから、解析においては故障状態を考慮しない。

#### VOR :

グラスファイバー充填式の水分除去器のモデルである。これは、前段の金属バッフル板式水分除去器と共に、効率よく水分・エアロゾルを除去し、後段のHEPAフィルタの寿命を延長するため設ける。エアロゾル粒径1.5から6.0 μmまでの範囲における実験データから、内・外挿して次式に示すような透過率のフィッティング式が得られる<sup>8)</sup>。

$$P_{VOR} = \begin{cases} 0.002, Y < 1 \mu m \\ 0.002 - 0.00154(Y-1)^{1.1}, 1 \leq Y \leq 2 \mu m \\ 0.0776Y^{-7.4}, 2 \leq Y \leq 4 \mu m \\ 0.000348Y^{-3.5}, 4 \leq Y \end{cases}$$

ここで、Y；エアロゾル直径(μm)である。

充填部以外をリークして流れる効果については、DIN25414の規準に従うと $3.0 \times 10^{-5}$ まで許容されるとしており、ここでは安全率10倍を見込んで0.0003を上記の式に加えて透過率モデルとする。

この型式の水分除去器の構造は堅牢であり、本質的に故障しにくいことから、解析においては故障状態を考慮しない。

ERH ;

HEPA フィルタ前段に設けられる加熱用ヒータのモデルである。このヒータによりオフガス温度は、約80°Cまで引き上げられ、オフガス中のエアロゾルを効率よく除去するための条件が整えられる。ただしエアロゾルの透過に対しては何の阻止機能も有していないので、解析に用いる透過率モデルとしては故障の有無にかかわらず全てのエアロゾル粒径に対して次式を与える。

$$P_{ERH} = 1.0$$

ヒータを通過するオフガスが加熱されるため、溶液エアロゾルの水分が蒸発する。このためエアロゾル粒径及び溶液比放射能が次式に示すように変化する。

$$Y_f = Y_i \cdot \left( \frac{\rho_i - 1}{\rho_f - 1} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$a_f = a_i \cdot \frac{\rho_i}{\rho_f} \cdot \frac{\rho_f - 1}{\rho_i - 1}$$

ここで、  
 $Y_i$  ; ヒータ入口におけるエアロゾル直径(μm)

$Y_f$  ; ヒータ出口におけるエアロゾル直径(μm)

$\rho_i$  ; ヒータ入口における溶液密度(g/cm³)

$\rho_f$  ; ヒータ出口における溶液密度(g/cm³)

$a_i$  ; ヒータ入口における溶液比放射能(C<sub>i</sub>/kg)

$a_f$  ; ヒータ出口における溶液比放射能(C<sub>f</sub>/kg)

本解析では、上式において通常用いられる状況の  $\rho_i = 1.2 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_f = 4.0 \text{ g/cm}^3$  とおいてモデル化したものを用いる。

ヒータの故障時には、加熱源が喪失するためにオフガス中に含まれるエアロゾルの量、質は、何の変化も受けずにヒータを通過することとなる。この結果、HEPA フィルタでエアロゾルを効率よく除去することができなくなる。従って、解析上、ヒータの故障原因は、HEPA フィルターの故障の起因事象のひとつとして考慮することとする。

S ;

オフガス系バリアの最終段に位置して、オフガスをスタックから放出する前に残存するエアロゾルを効率よく除去するHEPA フィルターのモデルである。

フィルター透過率としてPuO<sub>2</sub>エアロゾルに対する実験から得られた次表のデータを用いる<sup>9)</sup>。

空気力学直径Ya ( $\mu\text{m}$ amad)	透 過 率 *1E-6	標準偏差 *1E-6
<0.12	36	36
0.12-0.22	54	50
0.22-0.44	71	59
0.44-0.96	64	57
0.96-1.50	39	33
1.50-2.30	30	30
2.30-3.40	14	13
3.40-5.40	13	12
>5.40	13	13

上記の透過率のデータのうちエアロゾル粒径が $4\mu\text{m}$ より小さい範囲では、任意の粒径に対してスpline法(Spline-Verfahren)により内挿して透過率を求める。また、エアロゾル粒径が $4\mu\text{m}$ を超す範囲では、別の同様な実験から得られたフィッティング式( $3.5 \times 10^{-4} \cdot Ya^{-3.5}$ )を用いることとし、結局、実験データからは次に示すような方法により透過率を求める。

$$P_{\text{HEPA}}^{\text{exp}}(Ya) = \begin{cases} \text{上表のデータのスpline内挿法, } Ya \leq 4\mu\text{m} \\ 3.5 \times 10^{-4} \cdot Ya^{-3.5}, Ya > 4\mu\text{m} \end{cases}$$

上記のデータを実際の安全解析に用いるためには、個々のHEPAフィルタの仕様が異なることによる性能のバラツキを考慮に入れなければならない。DIN24184にはHEPAフィルタに対する許容透過率が次のように定められている。

- $0.05\mu\text{m} < Ya < 0.08\mu\text{m}$  の範囲で  $<0.03\%$
- $0.3\mu\text{m} < Ya < 0.5\mu\text{m}$  の範囲で  $<0.03\%$

従って、この許容透過率をバラツキの上限と考えることにすれば、 $P_{\text{HEPA}}^{\text{exp}}(Ya)$ に4倍を掛けなければならない。さらに、フィルタ使用中の性能劣化等を考慮して10倍の安全係数を掛けることとする。

HEPAフィルタの漏洩により、エアロゾルの透過が増える分については、DIN25414に規準があり差圧20mbarのとき、漏洩流は公称流量の $3 \times 10^{-5}$ 以下でなければならないとされている。従って、本来の透過率に上記漏洩率に10倍の安全係数を乗じた数値を加算したものを、安全解析に使用することとする。

以上述べたことをまとめると、本解析に使用するHEPAフィルタのエアロゾル透過率モデルは、次式に示すように与えられる。

$$P_{\text{HEPA}}(Ya) = 40 \cdot P_{\text{HEPA}}^{\text{exp}}(Ya) + 3 \times 10^{-4}$$

HEPAフィルタの故障としては、前段に配置してあるオフガス温度調節用のヒータが電源喪失などを起因事象として作動しなくなったときに、追従的に発生すると考えられる。この場合の透過率モデルは、 $P_{\text{HEPA}}(Ya)=1.0$ とする。

フィルタ自体は、堅牢な構造となっているため通常のオフガス流動条件では破損することは考えなくてよいが、爆発事故等におけるように急激にフィルタ差圧が変化する場合においては、別に考慮が必要となることもある。

Fig.3.8に、これまで述べてきたオフガス系を構成する各バリアのエアロゾル透過率の粒径依存モデルを比較して示す。凝縮器モデルKON及び緊急冷却系モデルSKの透過率は図に示したように一定値を与える。NOXスクラバーのモデルKOL、除湿器モデルDEM、バッフル板式水分除去器モデルLAMについては、エアロゾル粒径の $10\text{ }\mu\text{m}$ 前後の値の範囲を遷移領域として除去効率を急激に悪化し、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の粒径のエアロゾルの大部分を透過してしまうことがわかる。一方、この範囲の粒径のエアロゾルに対して良好な除去効率を維持できるものとし、ファイバー充填式水分除去器モデルVOR及びHEPAフィルタのモデルSがある。このように、エアロゾル粒径の全範囲にわたり良好な除去効率を維持する2個の異なるバリアを独立に直列配置することにより、オフガス系バリアの信頼性を増している。

### 3.3 公衆被ばく評価モデル

HALWタンクの冷却材喪失事故において、環境へ放出される放射性物質の核種に関しては、拡散中の放射性核種の吸入による内部被ばくが重要な被ばく経路となる。従って、本解析においてはこれらの核種の吸入による内部被ばくのみを考慮する。

内部被ばくの対象臓器は、「原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて<sup>10)</sup>」及び「核燃料施設の立地評価上必要なプルトニウムに関するめやす線量について<sup>11)</sup>」に定められている事項を考慮し、赤色骨髓、精巣、卵巣、甲状腺、骨表面、肺及び肝臓とする。また、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針<sup>12)</sup>」(以下、気象指針という)及び「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針<sup>13)</sup>」(以下、線量評価指針という)に記載された方法に基づいて、次式により各核種の各臓器に対する内部被ばく線量を算出する。

$$D_{INH}^{i,m,\ell,n}(x) = (DF)_{i,m,\ell,n} \cdot R \cdot Q_i \cdot (\chi/Q)_x$$

ただし、

$D_{INH}^{i,m,\ell,n}(x)$  ; 放出源の風下 $x$ (m)の地点における化学形 $\ell$ 、AMAD  $n$ ( $\mu\text{m}$ )の核種*i*の吸入による臓器*m*に対する被ばく線量(rem)

$(DF)_{i,m,\ell,n}$  ; 化学形 $\ell$ 、AMAD  $n$ ( $\mu\text{m}$ )の核種*i*を単位量吸入した時の臓器*m*の預託線量(線量換算係数; rem/Ci)

$R$  ; 人間の吸収率( $\text{m}^3/\text{hr}$ )、成人に対して $1.25\text{ m}^3/\text{hr}$

$Q$  ; 核種*i*の放出量(Ci)

$(\chi/Q)_x$  ; 放出源の風下 $x$ (m)の地点における核種の相対濃度( $\text{hr}/\text{m}^3$ )

線量換算係数 $(DF)_{i,m,\ell,n}$ には、ICRP Pub.30<sup>14)</sup>に記載された方法に基づいて原研で整備・改良した計算コードDOSDACにより算出したデータを用いる。核データには、評価済核構造データファイル<sup>15)</sup>の1982年版のデータを使用した。また代謝データには、Srに対してNRPB-R82<sup>16)</sup>に示された値、その他の元素に対してICRP Pub.30に記載された値を用いた。

相対濃度( $\chi/Q$ )<sub>x</sub>は、

$$(\chi/Q)_x = \frac{1/3600}{2\pi \sigma_y \sigma_z u} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left( e^{-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}} \right)$$

において、 $y=0$ ,  $z=0$ とおくと求められる。ここで、

$H$  ; 放出高(m)

$u$  ; 風速(m/s)

$\sigma_y$  ; 濃度分布のy方向の拡がりのパラメータ(m)

$\sigma_z$  ; 濃度分布のz方向の拡がりのパラメータ(m)

$\sigma_y$ 及び $\sigma_z$ は風下距離と大気安定度の関数として示され、気象指針ではPasquill-Meadeによる推定法が用いられている。

これらのパラメータを設定するため、気象データやサイトデータ等具体的な情報がないので、以下のようにした。

- 放出高は100mとし、スタックの吹上げ効果及び建物の効果を無視した。
- 風速は、安全側の1m/sとした。100mの高所では多くの場合1m/sより大きい風速が観測される。
- 大気安定度についても、施設敷地外で最大の( $\chi/Q$ )が得られるA(不安定)を仮定した。

内部被ばく量の計算には、核種の化学形とエアロゾルの粒子径(空気力学的放射能中央径:AMAD)の影響が大きい。本解析では、対象とする核種の水溶性の化学形のみを考慮した。又、スタックから放出されるエアロゾルが一般人の居所にまで拡散していく間の蒸発等による粒径変化が考えられるので、簡単のため内部被ばく量の計算のためにはエアロゾル粒径を一律に1μmと仮定した。Table 3.3に、各核種・各臓器に対する単位放射能放出あたりの最大被ばく地点での内部被ばく線量の計算結果を示す。表中、D,W,Yという記号は、吸入された核種の肺からのクリアランスの違いの程度を表わす。原研では、Table 3.3記載のデータを基に一般公衆の内部被ばくによるリスクを解析するようにSTARコードを改良した。

### 3.4 計算モデルのサブプログラム化

前にも述べたように、放射性物質放出源(ソースターム)及びバリアの挙動については、解析者自らが解析目的に従って計算モデルを開発し、FUNCTIONサブプログラムとして作成したものをSTARオブジェクトモジュールとリンクし、実行型式の計算プログラムとして走らせる必要がある。

STARコードのプログラム構成をFig.3.9に示す。ここに現れているサブプログラムの内容をTable 3.4に要約して示す。解析者の用意すべきFUNCTIONサブプログラム群は、ここではBAROP及びSYSTEMと記されている部分に対応しており、これを今振りにUSER.FORと呼ぶことにしよう。STARコードのメイン・フレームとしてSTAR, STAR1, STAR2, KOVER,

BARPLOをまとめてSTAR.FORとする。残りのライブラリー・サブプログラム群のRATEIN, CSIN, ZUVER, PROBAB等をまとめてSTARLIB.FORとする。これら3つのFORTRANで書かれたプログラム群を別々にフォートラン・コンパイラにかけて3つのオブジェクト・モジュール, すなわちUSER.OBJ, STAR.OBJ, STARLIB.OBJを作成しておき, 解析を行う場合にこれらをリンクして実行型式の計算プログラムを作成することにする。これにより計算モデルを変更したいときには, USER.OBJのみ更新すればよいので簡便となる。

解析者自身がソースターム及びバリアの挙動をモデル化したものを, FORTRAN言語により計算プログラムとする場合には, 次の注意事項を守る必要がある。

- (1) ソース及びバリアのサブプログラムの呼出し機能を有するFUNCTION BAROP(K,IZ,Y)において, 入出力パラメータの有する意味は次のとおりである。

入力パラメータ :

K=実際のソース／バリア・サブプログラムのSYSTEM中の順番指定。

IZ=ソース／バリアの状態を示す整数であり,

IZ=0のとき正常状態,

IZ=1,2,……のとき事故・故障状態を示す。

Y=エアロゾル放出を解析する場合の粒径( $10^{-6}$ m単位)。

出力パラメータ (例) :

Kがソースを指定するとき, エアロゾル粒子の微分質量流量(kg/ $10^{-6}$ m/h), Kがバリアを指定するとき, 粒径Yのエアロゾルの指定バリアの透過率(－)。

この他, サブプログラムBAROPにおいては, 指定するソース／バリアの全数NBAR, 及びソース／バリア・システムの名称SYSTEM(24文字以下)を定義しておく必要がある。

- (2) ソースあるいはバリアのFUNCTIONサブプログラムを作成するときの注意事項は, 次のとおりである。

入力パラメータ :

- IZ<0 (初期化) のとき,

ソース／バリアの名称 BNAM (4文字以下)

取り得る状態数 NSBAR

出力値の分散 DBAR

を入れる。

- IZ=0 (正常状態) のとき,

ソースの場合,

フェイズの名称 BNAM (4文字以下)

エアロゾル放出開始時期 X1(=0)

エアロゾル放出終了時期 X2(=10000)

エアロゾル粒子最小直径 DMIN( $10^{-6}$ m単位)

エアロゾル溶液密度 RHO(kg/m<sup>3</sup>単位)

を入れる。

バリアの場合, 必要なデータを入れる。

- $I_2 > 0$  (事故・故障状態)

ソースの場合、事故時のエアロゾル放出開始時期X1及び終了時期X2を、準静的近似解析が成立するように各フェイズで連続するように値を入れる。その他ソース解析に必要なデータを入れる。

バリアの場合、必要なデータを入れる。この故障状態には、エアロゾルの透過率1.0(100%)に入れると安全側の仮定をとったことになる。

出力パラメータ：

FUNCTION BAROPから呼ばれるとき、エアロゾル粒子の微分質量流量（ソースの場合）あるいは粒径Yのエアロゾルのバリア透過率（バリアの場合）を算出して返す。

サンプル問題用に、高レベル廃液貯蔵タンクの冷却水喪失事故時の放射性物質放出の解析のため作成された、ソース及びバリアのFUNCTIONサブプログラム(Fig.3.9, Table 3.4の中身)の一覧をTable 3.5に示す。

Table 3.1 Data for Main Items of Sample HALW Tank

項目	データ
タンク内容積	75 m <sup>3</sup>
発熱量	187.5 kW *
冷却方式	マントル冷却方式
正常運転温度	<45 °C
ホットセル床面積	60 m <sup>2</sup>
ホットセル体積	500 m <sup>3</sup>
溶液密度	1.2 kg/l
溶液比放射能	1.75 x 10 Bq/kg *

\* 表示の値はPSEプロジェクト最終報告書記載のものであり、  
本報告書のサンプル問題解析用には別に算出した。

Table 3.2 Specific Radioactivity per Nuclide  
in HALW Liquid

核種	比放射能 Ci/kg	核種	比放射能 Ci/kg
<sup>90</sup> Sr	1.47 x 10 <sup>2</sup>	<sup>238</sup> U	2.50 x 10 <sup>-6</sup>
<sup>95</sup> Zr	3.84 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>237</sup> Np	7.61 x 10 <sup>-4</sup>
<sup>95</sup> Nb	8.49 x 10 <sup>-4</sup>	<sup>239</sup> Np	4.16 x 10 <sup>-2</sup>
<sup>99</sup> Tc	2.52 x 10 <sup>-2</sup>	<sup>238</sup> Pu	4.98 x 10 <sup>-2</sup>
<sup>106</sup> Ru	5.22 x 10 <sup>1</sup>	<sup>239</sup> Pu	4.32 x 10 <sup>-3</sup>
<sup>129</sup> I	4.22 x 10 <sup>-8</sup>	<sup>240</sup> Pu	6.85 x 10 <sup>-3</sup>
<sup>134</sup> Cs	1.01 x 10 <sup>2</sup>	<sup>241</sup> Pu	1.61
<sup>137</sup> Cs	2.06 x 10 <sup>2</sup>	<sup>242</sup> Pu	2.88 x 10 <sup>-5</sup>
<sup>144</sup> Ce	6.03 x 10 <sup>1</sup>	<sup>241</sup> Am	1.79
<sup>235</sup> U	1.76 x 10 <sup>-7</sup>	<sup>242</sup> Cm	0.23
<sup>236</sup> U	3.03 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>244</sup> Cm	4.93

Total 575.1 Ci/kg

Table 3.3 Committed Dose Equivalent in Organs per Emitted Radioactivity  
(Rem/Ci) for AMAD: 1.0 Micron

NUCLEUS	$\bar{q}$ (Ci)	LIVER	LUNGS	OVARIES	R HOLLOW	TESTIS	THYROID	BONE SURF
I - 129 (D)	1.000E+00	2.421E-06	8.983E-06	2.385E-06	3.823E-06	2.225E-06	4.159E-02	3.745E-06
CS - 134 (D)	1.000E+00	3.773E-04	3.507E-04	3.390E-04	3.524E-04	3.863E-04	3.310E-04	3.269E-04
CS - 137 (D)	1.000E+00	2.551E-04	2.611E-04	2.410E-04	2.464E-04	2.600E-04	2.352E-04	2.336E-04
NP - 237 (W)	1.000E+00	1.520E-01	4.711E-01	9.086E-01	5.664E+00	9.061E-01	3.053E-04	7.016E+01
NP - 239 (W)	1.000E+00	7.885E-05	7.780E-04	5.297E-06	2.432E-05	3.735E-06	2.937E-04	1.719E-07
AN - 241 (W)	1.000E+00	1.620E-01	5.399E-01	9.628E-01	6.016E+00	9.628E-01	2.247E-05	7.519E-01
CH - 242 (W)	1.000E+00	3.855E-01	4.548E-01	1.691E-02	1.195E-01	1.691E-02	3.772E-02	1.493E-00
CH - 244 (W)	1.000E+00	8.935E-00	5.666E-01	4.723E-01	3.099E-00	4.733E-01	1.856E-07	3.833E+01
SR - 90 (D)	1.000E+00	8.505E-05	1.217E-04	8.505E-05	1.137E-02	8.505E-05	8.505E-05	2.513E-02
NB - 91 (W)	1.000E+00	1.570E-05	1.613E-04	1.448E-05	1.993E-05	7.551E-06	9.270E-06	7.203E-05
TC - 99 (D)	1.000E+00	1.842E-06	1.034E-05	1.351E-06	1.351E-06	1.351E-06	3.616E-05	1.351E-06
CE - 144 (W)	1.000E+00	7.549E-03	5.386E-03	7.931E-04	5.571E-03	5.571E-03	5.571E-03	1.351E-03
PU - 238 (W)	1.000E+00	1.423E+01	5.600E-01	8.274E-01	5.215E+00	8.274L-01	6.519E-07	6.519E-01
PU - 239 (W)	1.000E+00	1.558E+01	5.031E-01	9.309E-01	5.805E+00	9.309L-01	1.263E-07	7.256E+01
PU - 240 (W)	1.000E+00	1.573E+01	5.086E-01	9.397E-01	5.858E+00	9.397L-01	1.633E-07	7.323E+01
PU - 241 (W)	1.000E+00	3.053E-01	2.186E-04	2.016E-02	1.210E-01	2.016L-02	4.456E-07	1.512E+00
PU - 242 (W)	1.000E+00	1.494E+01	4.820E-01	8.927E-01	5.567E+00	8.927L-01	8.457E-07	6.958E+01
ZR - 95 (D)	1.000E+00	4.029E-05	6.430E-05	5.609E-05	3.855E-04	3.574E-05	4.281E-05	3.056E-03
RU - 106 (D)	1.000E+00	4.260E-04	5.554E-04	4.233E-04	4.245E-04	4.271E-04	4.224E-04	4.224E-04
U - 235 (D)	1.000E+00	6.763E-04	8.314E-03	6.779E-04	6.737E-04	6.737L-04	6.783E-04	2.912E-01
U - 236 (D)	1.000E+00	7.054E-04	8.863L-03	7.054E-02	1.967E-02	7.054L-02	7.054L-02	3.088E-01
U - 238 (D)	1.000E+00	7.104E-04	8.593E-03	7.152E-04	3.148E-02	7.053L-04	7.093L-04	3.243E-01
SR - 90 (Y)	1.000E+00	8.680E-06	1.049E-01	8.688E-06	1.098E-03	8.680L-06	8.680L-06	2.404E-03
NB - 91 (Y)	1.000E+00	1.965E-05	2.442E-04	1.298E-05	1.307E-05	1.931L-06	1.050L-05	1.525L-05
TC - 99 (W)	1.000E+00	1.624E-06	4.918L-06	1.191E-06	1.191E-06	1.191L-06	3.189L-05	1.191E-06
CE - 144 (Y)	1.000E+00	2.325E-02	6.966E-06	8.429E-05	5.707E-06	8.378E-06	1.399E-04	1.399E-04
PU - 238 (Y)	1.000E+00	5.440E+00	9.389E-00	3.077E-01	1.957E+00	3.077L-01	5.804L-08	2.447E+01
PU - 239 (Y)	1.000E+00	6.059E+00	9.389E+00	3.514E-01	2.219E+00	3.514L-01	6.777L-08	2.774E+01
PU - 240 (Y)	1.000E+00	6.114E+00	9.485E+00	3.545E-01	2.239E+00	3.545L-01	7.202L-08	2.799E+01
PU - 241 (Y)	1.000E+00	1.308E-01	9.341E-02	8.123E-03	4.996E-02	8.123L-03	2.316L-07	6.265E-01
PU - 242 (Y)	1.000E+00	5.809E+00	8.999E+00	3.369E-01	2.128E+00	3.369L-01	5.006L-07	2.660L-01
ZR - 91 (W)	1.000E+00	3.473E-05	5.658E-04	2.504E-05	9.612E-05	9.047L-06	2.302L-05	6.458E-04
RU - 106 (W)	1.000E+00	1.285E-04	6.466E-03	1.245E-04	1.251E-04	1.219L-04	1.234L-04	1.234L-04
U - 235 (W)	1.000E+00	2.118E-04	4.177E-01	2.082E-04	6.152E-03	2.028L-04	8.752E-02	8.752E-02
U - 236 (W)	1.000E+00	2.121E-04	4.555E-01	2.121E-04	5.911E-03	2.121L-04	9.286L-02	9.286L-02
U - 238 (W)	1.000E+00	2.237E-04	4.469E-01	2.254E-04	9.485E-03	2.136L-04	2.152L-04	2.152L-04
RU - 91 (Y)	1.000E+00	6.204E-05	1.195L-03	1.712E-05	3.967E-05	2.446L-06	3.416L-05	6.932L-05
RU - 106 (Y)	1.000E+00	6.981E-05	3.196L-02	3.998E-05	5.352E-05	3.572L-05	5.201L-05	4.907L-05
U - 235 (Y)	1.000E+00	2.274E-04	7.797E+00	8.202E-05	2.202E-03	7.146L-05	1.191L-04	2.990E-07
U - 236 (Y)	1.000E+00	7.394E-05	8.314E+00	7.392E-05	2.015E-03	7.392L-05	7.595L-05	3.161E-02
U - 238 (Y)	1.000E+00	8.481E-04	8.935E-05	8.936E-05	3.334E-03	7.586L-05	8.760L-05	3.333L-02

Table 3.4 Characterization of STAR Subprograms

Name	Description
AMASS	evaluates aerosol mass from particle diameter
ANSI	initializes screen control sequences
AROMB	integration subroutine (integration over particle size)
BAROP	barrier operator
BARPLO	module for size dependent source particle flow and barrier penetration
CSIN	input of minimum cut sets of failed source or barrier states
CUTSET	evaluation of minimum cut set probabilities
DAMS	differential aerosol mass flow function
FARMER	output of frequency and release expectation values for Farmer diagram plot with STARPL
KOVER	module for CCDF plot data evaluation
PARA	conversion of expectation values/variances into median
PROBAB	evaluation of probabilities of failed states
RATEIN	input of component reliability data
REDUCE	minimizing of cut sets values/error factors and vice versa.
ROMBER	integration subroutine
STAR1	risk analysis module input subroutine
STAR2	risk analysis evaluation
SYSTEM	system specific, user-supplied source and barrier subprograms
ZUVER	evaluation of asymptotic component reliability

Table 3.5 System Specific Source/Barrier Subprograms

Name	Description
QK	source model of aerosol release from HLLW tank for normal operation and failure states (heating and boiling)
SK	model of passive emergency cooling system. active only during boiling phase, normal operation & failure state
PENKOL	aerosol penetration through a NOx -scrubber, norm. & fail.
PENDEM	aerosol penetration through a demister , norm & fail.
PENKON	aerosol penetration through a condenser ,norm & fail.
PENLAM	aerosol penetration through a baffle plate mist eliminator, no failure state assigned
PENVOR	aerosol penetration through a packed fiber mist eliminator no failure state assigned
PENERH	effect on aerosols of an electric heater, normal & fail.
PENS	aerosol penetration through a HEPA- filter, norm. & fail.

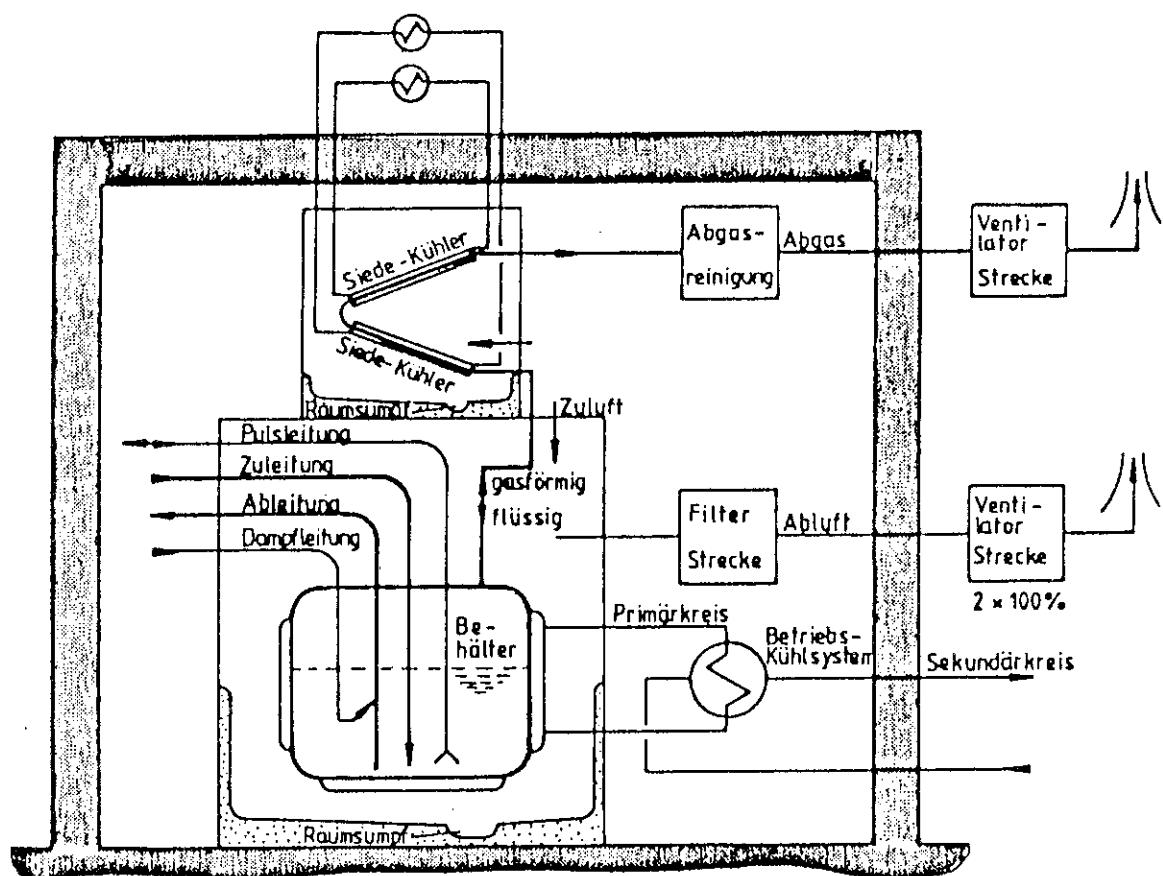


Fig. 3.1 Off-gas and exhaust gasflow diagram for a HALW tank.

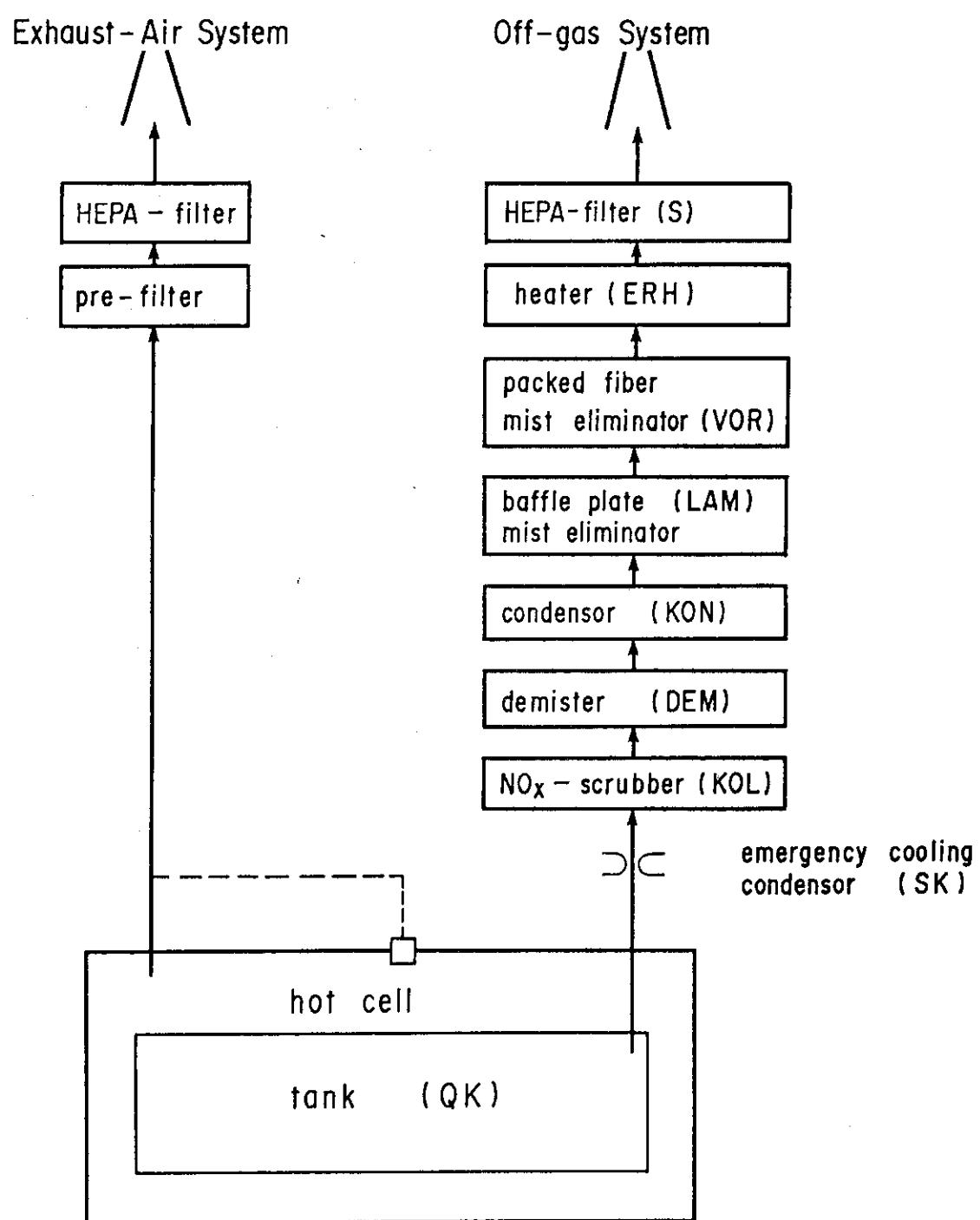


Fig. 3.2 Arrangement of source and barriers for airborne radioactive materials in a simplified HALW model.

## Aerosol Fraction

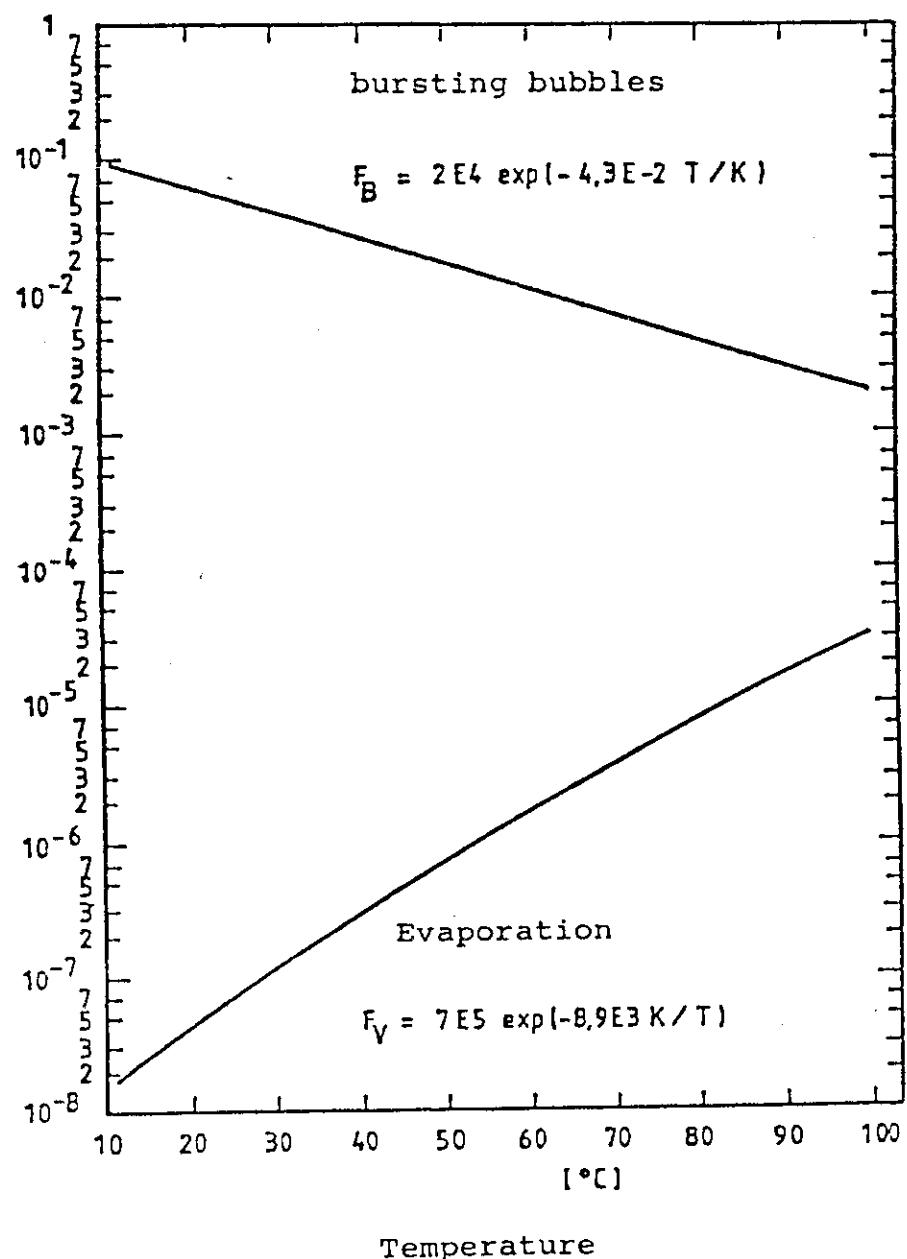


Fig. 3.3 Aerosol fraction produced by bursting bubbles and evaporation depending on liquid temperature.

故障状態の有無 (yes or no)

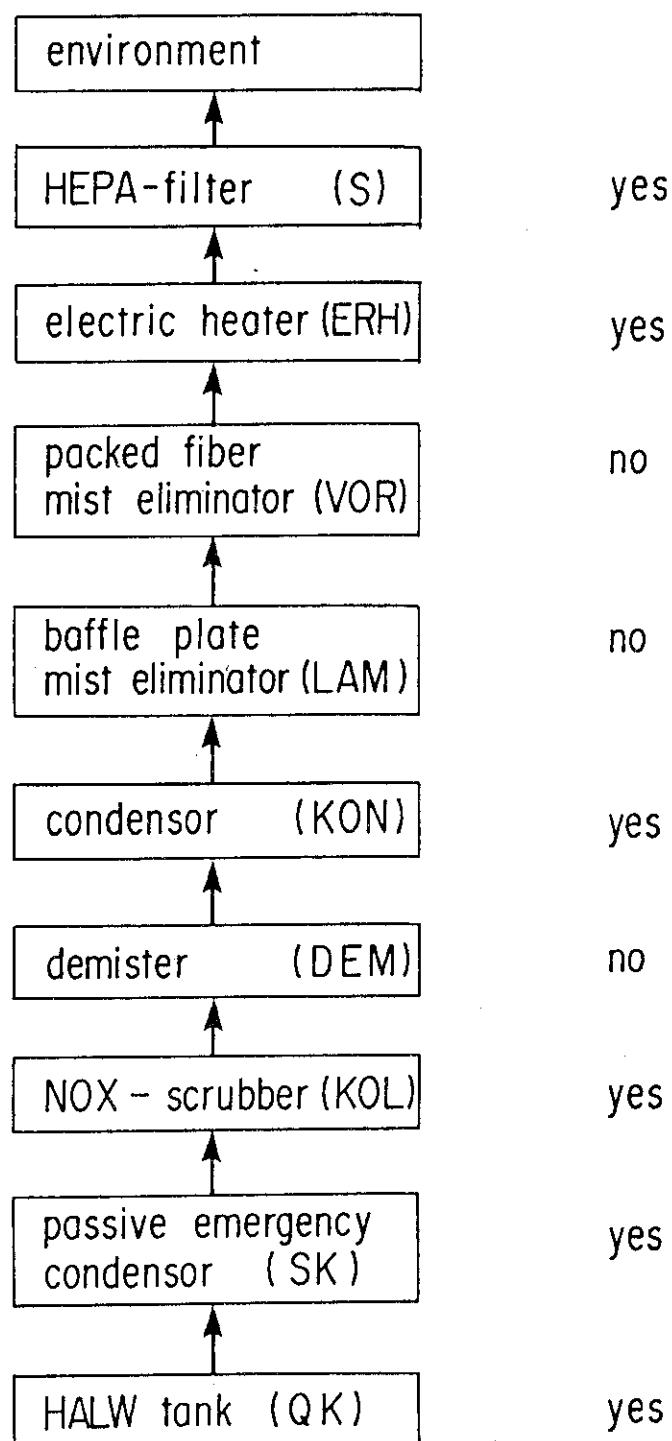
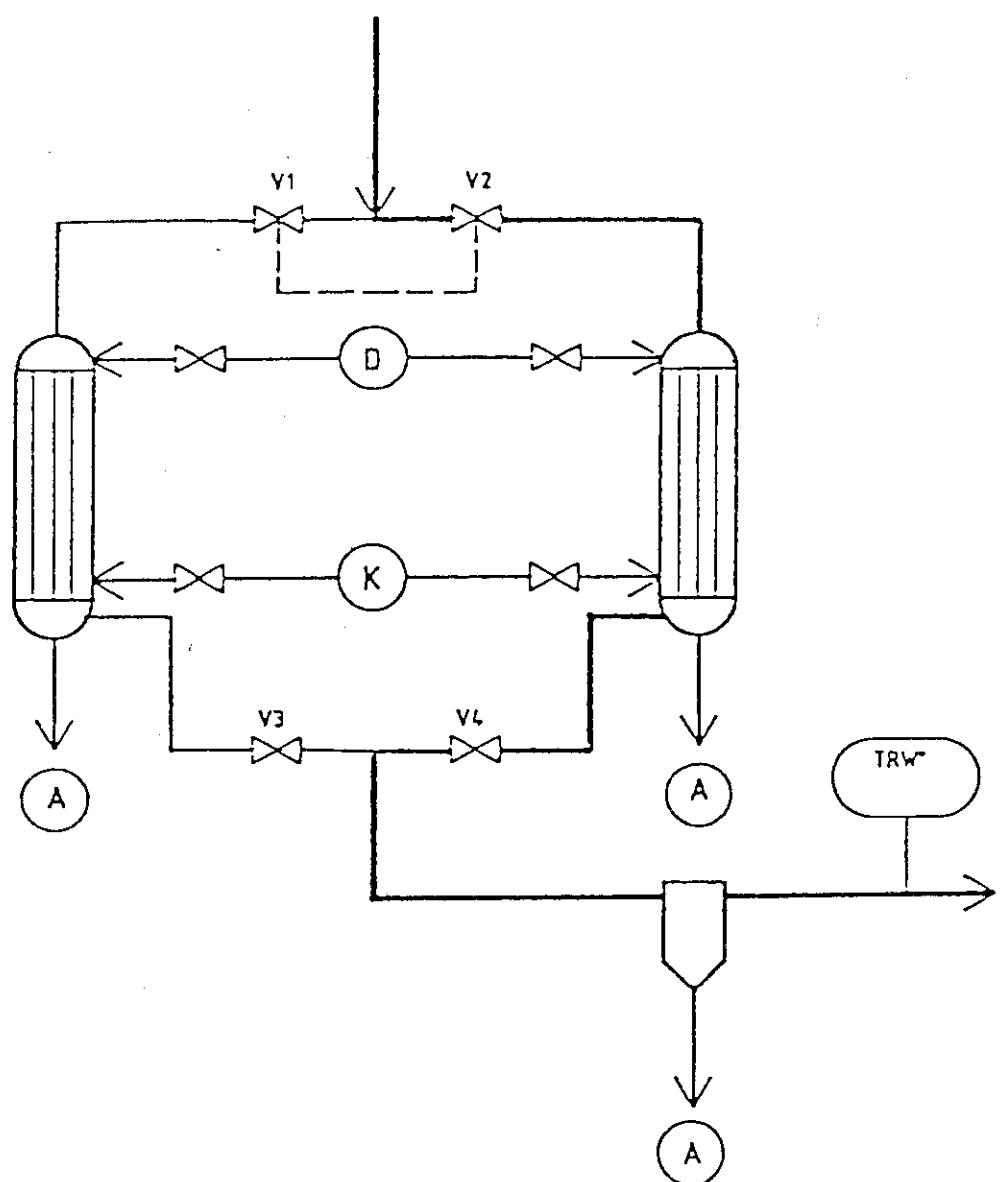


Fig. 3.4 Release sequence model for HALW sample problem.

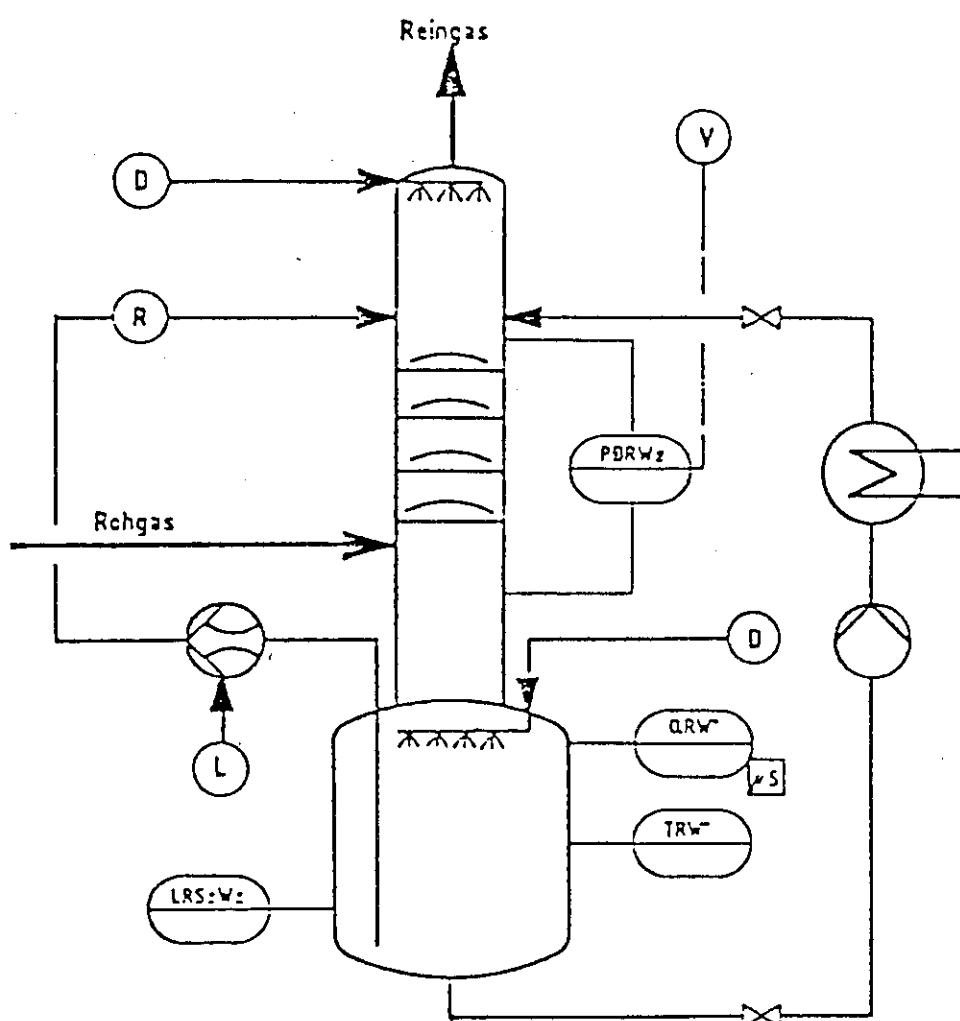


D : Dekontwasserversorgung

K : Kaltwasserversorgung

A : Kondensatableitung

Fig. 3.5 System diagram of off-gas cooler of sample HALW tank.



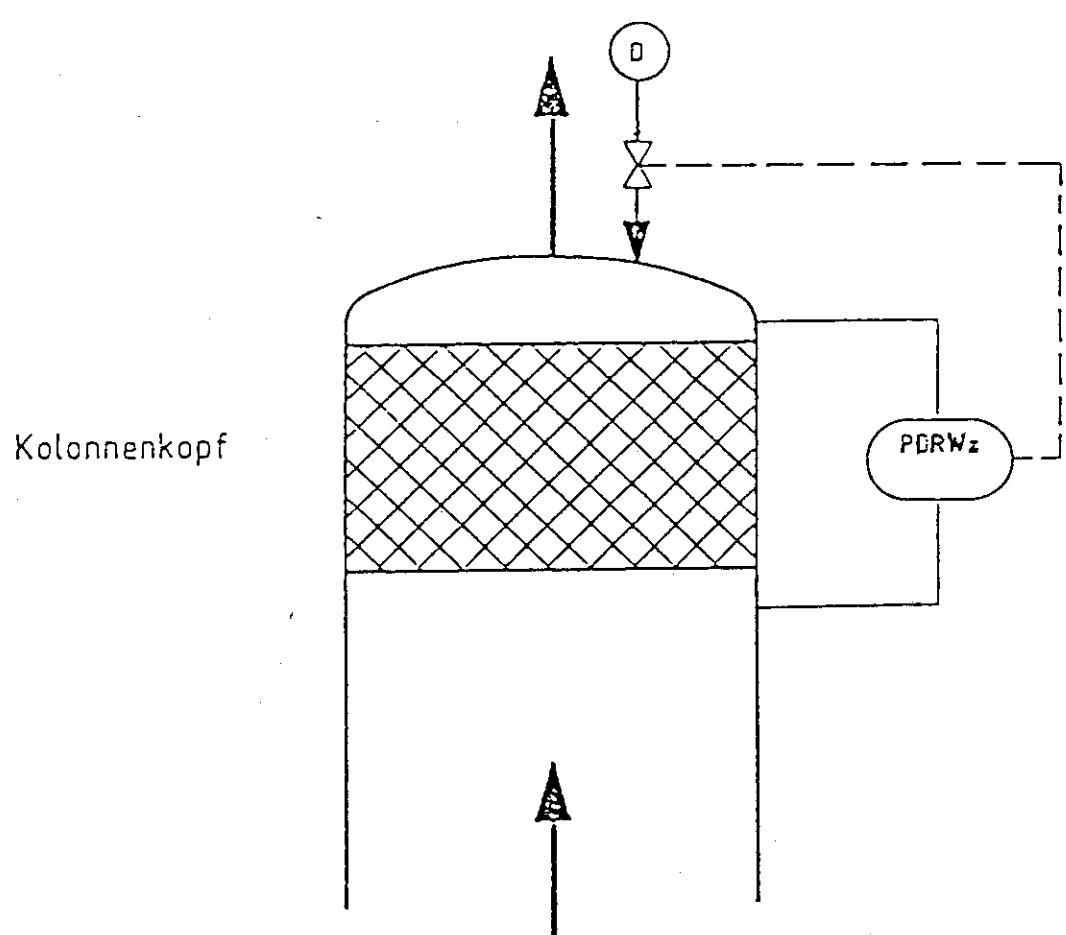
D : Dekontflüssigkeitsversorgung

L : Druckluftversorgung

R : Waschflüssigkeitsrezyklierung

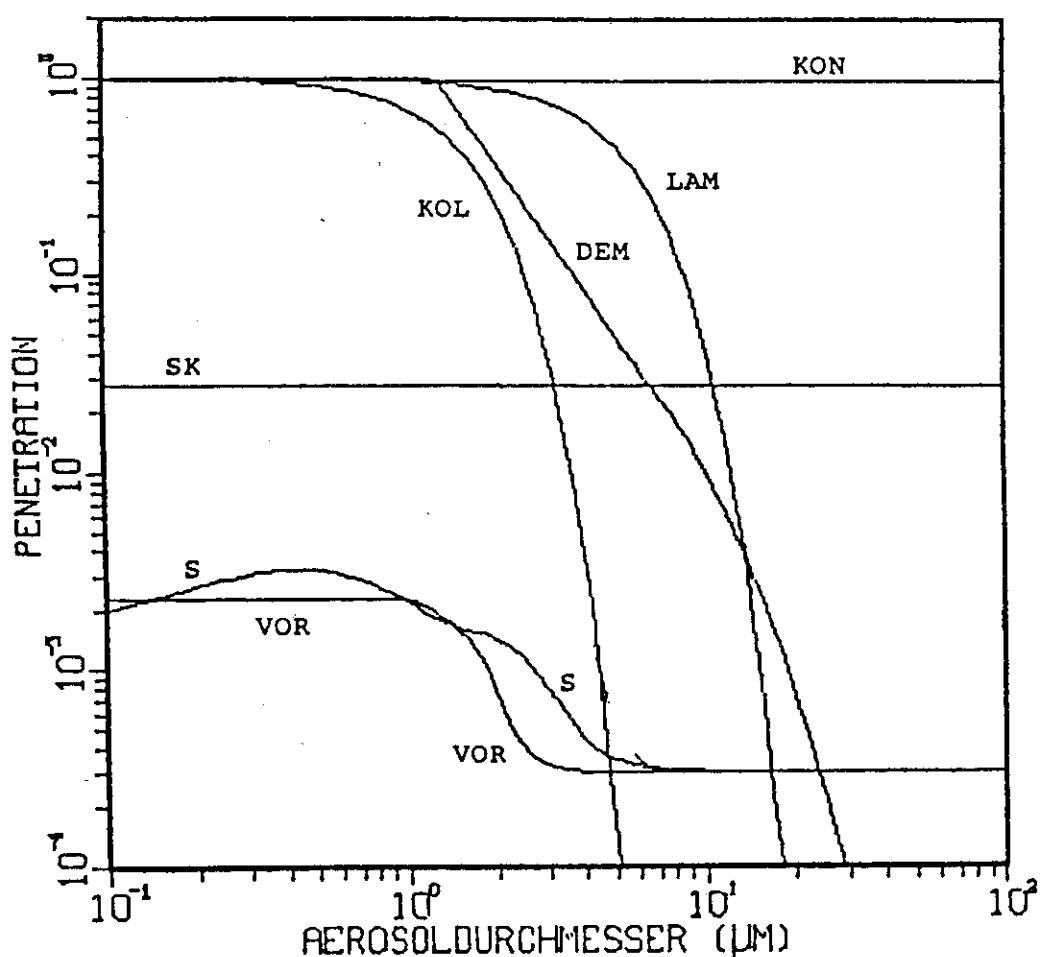
V : Unterdruckhaltung

Fig. 3.6 System diagram of NOx scrubber of HALW off-gas line.



D : Dekontwasserversorgung

Fig. 3.7 System diagram of demister of HALW off-gas line.



SK	Siedekühler (Siedephase)
KOL	Glockenbodenkolonne
DEM	Demister
KON	Kondensator
LAM	Lamellenabscheider
VOR	Glasfasertiefbettfilter
S	S-Filter

Fig. 3.8 Penetration of barriers at HALW off-gas line for aerosole, showing dependency on particle diameters.

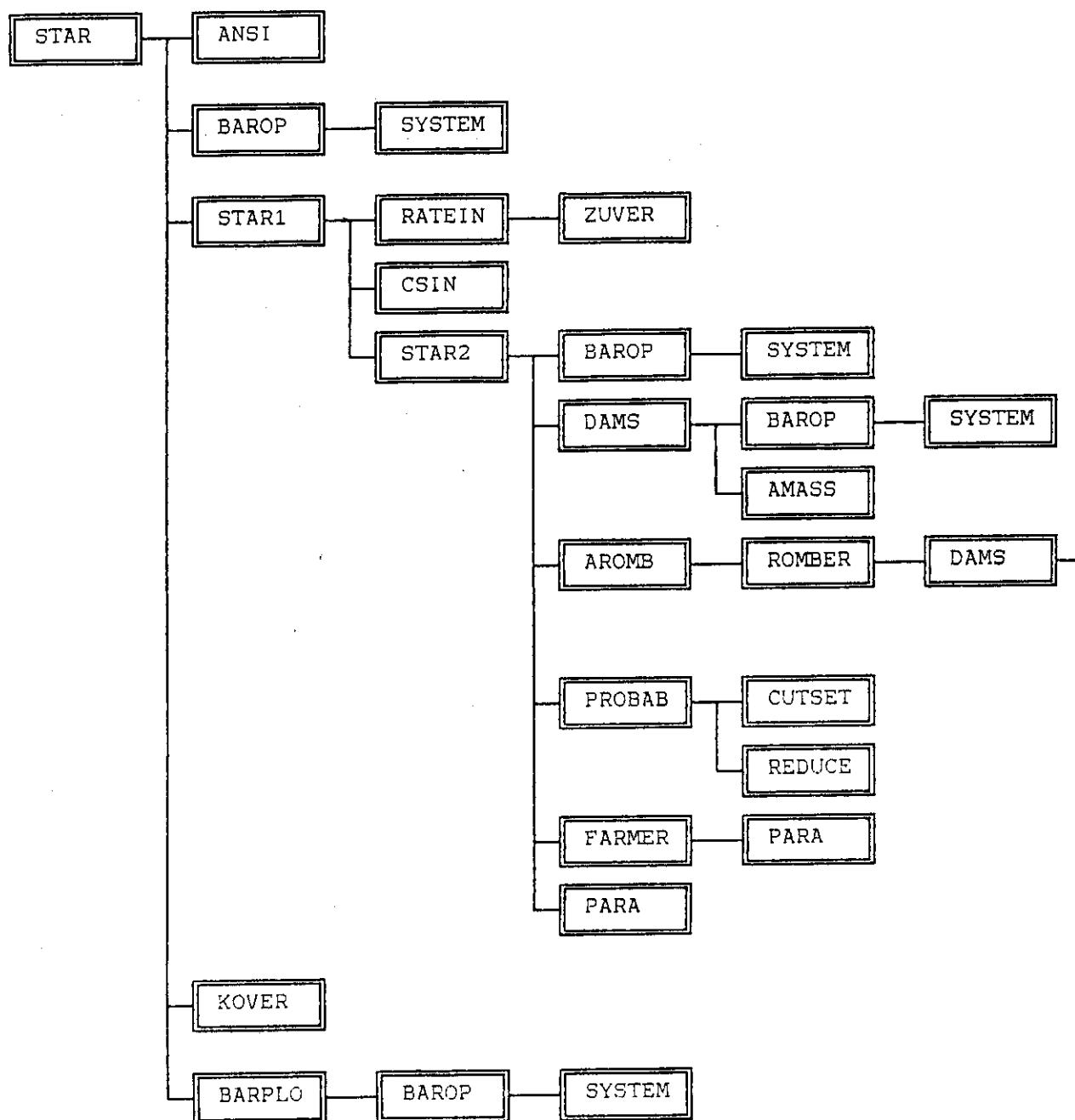


Fig. 3.9 Program structure of STAR.

## 4. 入力データ・ファイル

### 4.1 ミニマム・カットセット・ファイル

エアロゾルの発生源及びバリアの全ての故障状態は、それぞれ特定のフォールトツリーで表されなければならない。これらのフォールトツリーは、別にフォールトツリー解析コードにより評価し、主要なミニマム・カットセットを求めておいてSTARコード用の入力データ・ファイルを作成する。これには、次に示すようなフォーマットでファイルにデータを記入する。

(1) コメント文 (ファイルの標題)

(2) XNAM<A4>;

最大3英文字で呼ぶ発生源及びバリアのモデルの名称XNAMを1行に入力する。異なる名前を同一モデルに用いてもよい。その場合は、次行以降に順次重ねる。

(3) コメント文 (発生源及びバリアの標題)

(4) コメント文 ("CUT SETS")

(5) K,(NAMCS(I),I=1,8)<I3,8(1X,A10)>;

K番目のカットセットに含まれる機器名を最大8個並べたものを重ねる。K=1,2,……<50

(6) 2枚の空白カードで次のバリアのカットセット・データの記述に移る。

Fig.4.1 に、サンプル問題解析用のミニマム・カットセット・ファイルを示す。

### 4.2 機器信頼性データ・ファイル

上で述べたミニマム・カットセット・ファイルの中に含まれる全ての機器に対して、信頼性データが与えられていなければならない。これらは、用いた機器名ごとに次に示すようなフォーマットで信頼性に関するデータを記入し、入力データ・ファイルを作成する。

(1) コメント文 (ファイルの標題)

(2) コメント文 ("RATEFILE")

(3) NAM,ITYP,A1,MTTR,TI,SFA,SFR<A10,I2,5E12.5>;

NAMは、機器名称である。ITYPは、機器の型であり、次に示すような3種類がある。

(a) 修復可能で指示計つきのもの(ITYP=1)。10<sup>6</sup>時間あたりの故障率(A1)及び平均修復時間(MTTR)のデータが必要となる。

(b) 修復可能で指示計のつかないもの(ITYP=2)で、一定期間ごとに点検・整備する必要があるもの。10<sup>6</sup>時間あたりの故障率(A1)及び平均修復時間(MTTR)の他に、検査間隔(TI)をデータ入力する。

(c) 予備として設置された機器であり(ITYP=3)、運転要請あたりの故障確率(A1)及び平均修復時間(MTTR)をデータ入力する。

全ての型の機器に対して、データA1のエラーファクター及びデータMTTRのエラーファ

クターを、SFA及びSFRの欄に書き入れる必要がある。但し、SFA、SFRのデフォルト値として、それぞれ3及び5がコード内に用意されている。

Fig.4.2にサンプル問題解析用の機器信頼性データ・ファイルを示す。

#### 4.3 被ばく評価用データ・ファイル

被ばく評価用データとして、核種別溶液比放射能(Ci/kg)のデータ及び線量換算係数(Rem/Ci)のデータを用意する。これらは次に示すようなフォーマットでデータを記入し、入力データ・ファイルを作成する。

- (1) コメント文(標題)
- (2) コメント文("SPECIFIC RADIOACTIVITY")
- (3) NENV,YBE<I3,E12.5>;  
エアロゾル溶液中の放射性核種数(NENV), エアロゾル粒径(YB)  $\mu\text{m}$ をデータ入力する。
- (4) NUC,CURI<I3,E12.5>;  
核種指定番号(NUC)と対応する比放射能(CURI)Ci/kg を核種数(NENV)対だけ順次データ入力する。
- (5) コメント文("DOSE EQUIVALENT IN ORGANS")
- (6) ORGNAM,(CONV(I),I=1,41)<A10/,6(7E10.3)>  
臓器名称(ORGNAM)と対応する41核種の線量換算係数(CONV)Rem/Ciを指定フォーマットでデータ入力する。これを、Table 3.3に示すような全ての臓器についてデータ入力する。  
(4)の核種指定番号は、Table 3.3の核種の上からの順番号である。Fig.4.3及びFig.4.4にサンプル問題解析用の被ばく評価用データ・ファイルを示す。

#### 4.4 ジョブ・データ・ファイル

標題のコメント文のあと、発生源あるいはバリアの名称のあとに取り得る状態の数を並べたものを一組みとし、必要なだけ順次重ねる。発生源に対しては複数の事故状態を指定できるが、バリアに対しては单一の故障状態の指定のみしか許されない。合計10個の事故・故障バリアを指定することができる。このあと、故障機器の組合せの解析上の最大数(MAX)を入力し、入力データ・ファイルの名称(機器信頼性データ・ファイル、ミニマム・カットセット・ファイル、被ばく評価用データ・ファイルの3個),出力データ・ファイルの名称(ジョブ・出力データ・ファイル、CCDFデータ・ファイル、ファーマー線図用データファイルの3個),及びスーパーカットセットの縮約数を各行に順次データ入力する。Fig.4.5にサンプル問題解析用のジョブ・データ・ファイルを示す。

HLWAGCS VERSION 18/05/84

QK  
TK  
RUK  
KUEHLUNGS-AUSFALL AM HAW-TANK  
CUT SETS  
1 QBSL  
2 QBKTZ  
3 QBKUV QBSOM

KOL  
KOLOMNE  
CUT SETS  
1 GWAI  
2 GWR  
3 GWMA

KON  
TKO  
RKO  
KONDENSATOR  
CUT SETS  
1 GKV1 GKLL  
2 GKV3 GKLL  
3 GKUMR GKLL  
4 GKKV

S  
QS  
AGSFILT ABGAS-S-FILTER  
CUT SETS  
1 GFSEU  
2 GWEDLU

SK  
TSK  
RSK  
AUSFALL EINES SIEDEKUEHlers  
CUT SETS  
1 QSBRL  
2 QSBKS  
3 QSBLK

(RKO)  
KONDENSATOR ODER SIEDEKUEHLER  
CUT SETS  
1 GKV1 GKLL  
2 GKV3 GKLL  
3 GKUMR GKLL  
4 GKKV  
5 QSBRL  
6 QSBKS  
7 QSBLK

Fig. 4.1 Contents of minimum cut set file HLW.CUT.

HLWAGDAT VERSION 27/02/84

HLW-TANK  
RATEFILE

F 2		86.	24.				
GWV12	GFRV		WKDVE	GKV1	GFVE	GWV	
F 2		43.	24.				
GWVR	KGAV		LSEV	WKDVR	GKV3	GWVD	KGD
GFRVA							
F 1		12.	6.				
GFSE	GFSG		GKUMR	GWMT			
F 1		15.	72.				
GKKL	GWEDL						
F 1		10.	6.				
Q1S	GWHSA		GWMA	GKKV	KDMA		
GWA1		125.	24.				
F 1		17.	6.				
GFMR	GFVMR		KGAMR	KGDMR	VDEL	FVEMR	
F 3		0.001	1.				
WVMV1	KGAMV		WKDMV	GKMV	GFVMV	GWVMV	
F 2		43.	24.				
GFVR	KBV						
CMVS	3	.1	1.E5				
QSBRL	1	.03	12.				
QSBKS	1	.5	72.				
QSBLK	1	.5	48.				
GFSEU	1	12.	.5				
GWEDLU	1	15.	.5				
QBSL	1	5.0	48.				
QBKUV	1	.73	9.				
QBKTZ	1	2.0	10.				
QBSOM	1	.14	8.				
END							
END							
STOP							

Fig. 4.2 Contents of reliability data file HLW.RAT.

## COMMITTED DOSE EQUIVALENT IN ORGANS (REM/CURIE) PER ORGAN AND NUCLEUS

## LIVER

2.421E-06	3.773E-04	2.551E-04	1.520E+01	7.885E-05	1.620E+01	3.855E-01
8.935E+00	8.505E-05	1.570E-05	1.842E-06	7.549E-03	1.423E+01	1.558E+01
1.573E+01	3.053E-01	1.494E+01	4.029E-05	4.260E-04	6.763E-04	7.054E-04
7.104E-04	8.680E-06	1.965E-05	1.624E-06	7.671E-04	5.420E+00	6.059E+00
6.114E+00	1.308E-01	5.809E+00	3.473E-05	1.285E-04	2.118E-04	2.121E-04
2.237E-04	6.204E-05	6.981E-05	2.274E-04	7.394E-05	2.464E-04	

## LUNGS

8.983E-06	3.507E-04	2.611E-04	4.711E-01	7.780E-04	5.399E-01	4.548E-01
5.666E-01	1.217E-04	1.613E-04	1.034E-05	5.386E-03	5.400E-01	5.031E-01
5.086E-01	2.186E-04	4.820E-01	6.430E-05	5.554E-04	8.314E-03	8.863E-03
8.593E-03	1.049E-01	2.442E-04	4.918E-04	2.325E-02	9.389E+00	9.389E+00
9.485E+00	9.341E-02	8.999E+00	5.458E-04	6.466E-03	4.177E-01	4.455E-01
4.469E-01	1.195E-03	3.196E-02	7.797E+00	8.314E+00	8.481E+00	

## OVARIES

2.385E-06	3.390E-04	2.410E-04	9.086E-01	5.297E-06	9.268E-01	1.691E-02
4.723E-01	8.505E-05	1.448E-05	1.351E-06	5.717E-05	8.274E-01	9.309E-01
9.397E-01	2.016E-02	8.927E-01	5.609E-05	4.254E-04	6.779E-04	7.054E-04
7.152E-04	8.680E-06	1.294E-05	1.191E-06	6.962E-06	3.071E-01	3.514E-01
3.545E-01	8.123E-03	3.369E-01	2.504E-05	1.245E-04	2.082E-04	2.121E-04
2.254E-04	1.712E-05	3.998E-05	8.205E-05	7.392E-05	8.935E-05	

## R MARROW

3.823E-04	3.524E-04	2.464E-04	5.664E+00	2.432E-05	6.016E+00	1.195E-01
3.099E+00	1.137E-02	1.993E-05	1.351E-06	7.931E-04	5.215E+00	5.805E+00
5.858E+00	1.210E-01	5.567E+00	3.855E-05	4.245E-04	2.045E-02	1.967E-02
3.142E-02	1.098E-03	1.307E-05	1.191E-06	8.489E-05	1.957E+00	2.219E+00
2.239E+00	4.996E-02	2.128E+00	9.612E-05	1.251E-04	6.152E-03	5.911E-03
9.485E-03	3.967E-05	5.352E-05	2.202E-03	2.015E-03	3.334E-03	

## TESTES

2.225E-06	3.863E-04	2.600E-04	9.086E-01	3.755E-06	9.628E-01	1.691E-02
4.723E-01	8.505E-05	7.551E-06	1.351E-06	5.527E-05	8.274E-01	9.309E-01
9.397E-01	2.016E-02	8.927E-01	3.575E-05	4.271E-04	6.737E-04	7.054E-04
7.053E-04	8.680E-06	1.951E-06	1.191E-06	5.707E-06	3.071E-01	3.514E-01
3.545E-01	8.123E-03	3.369E-01	9.047E-06	1.219E-04	2.028E-04	2.121E-04
2.136E-04	2.446E-06	3.522E-05	7.146E-05	7.392E-05	7.586E-05	

## THYROID

4.159E-02	3.310E-04	2.352E-04	3.055E-04	1.719E-07	2.247E-05	3.772E-09
1.856E-07	8.505E-05	9.270E-06	3.616E-05	5.576E-05	1.351E-07	1.265E-07
1.633E-07	4.456E-07	8.457E-07	4.281E-05	4.221E-04	6.785E-04	7.054E-04
7.092E-04	8.680E-06	1.050E-05	3.189E-05	8.378E-06	5.801E-08	6.727E-08
7.202E-08	2.316E-07	5.096E-07	2.308E-05	1.238E-04	2.066E-04	2.121E-04
2.152E-04	3.416E-05	5.240E-05	1.191E-04	7.393E-05	8.760E-05	

## BONE SURF

3.745E-06	3.269E-04	2.356E-04	7.076E+01	2.937E-04	7.519E+00	1.495E+00
3.873E+01	2.513E-02	7.205E-05	1.351E-06	1.351E-06	6.519E+01	7.256E+01
7.323E+01	1.512E+00	6.958E+01	3.056E-03	4.224E-04	2.912E-01	3.088E-01
3.243E-01	2.404E-03	1.525E-05	1.192E-06	1.399E-04	2.447E+01	2.774E+01
2.799E+01	6.245E-01	2.660E+01	6.458E-04	1.234E-04	8.752E-02	9.286E-02
9.747E-02	6.932E-05	4.907E-05	2.990E-02	3.161E-02	3.332E-02	

Fig. 4.3 Contents of dose evaluation data file HLW.DSE(hind).

SPECIFIC RADIOACTIVITY PER RELEASED NUCLIS  
22 1.0  
90Sr 9 1.47E+02  
95Zr 18 3.84E-04  
95Nb 10 8.49E-04  
99Tc 11 2.52E-02  
106Ru 19 5.22E+01  
129I 1 4.22E-08  
134Cs 2 1.01E+02  
137Cs 3 2.06E+02  
144Ce 26 6.03E+01  
235U 20 1.76E-07  
236U 21 3.03E-06  
238U 22 2.50E-06  
237Np 4 7.61E-04  
239Np 5 4.16E-02  
238Pu 13 4.98E-02  
239Pu 14 4.32E-03  
240Pu 15 6.85E-03  
241Pu 16 1.61  
242Pu 17 2.88E-05  
241Am 6 1.79  
242Cm 7 0.23  
244Cm 8 4.93

Fig. 4.4 Contents of dose evaluation data file HLW.DSE( fore ).

HLW : RELEASE OF AEROSOLS VIA HLLW TANK OFF-GAS SYSTEM  
QK  
3  
SK  
2  
KOL  
2  
DEM  
1  
KON  
2  
LAM  
1  
VOR  
1  
ERH  
1  
S  
2  
  
2  
HLW.RAT  
HLW.CUT  
HLW.DSE  
HLW.OUT  
HLW.KOV  
HLW.FAR  
1

Fig. 4.5 Contents of job file for batch use of STAR.

## 5. サンプル問題による計算出力例

### 5.1 リスク解析結果の出力

STARコードによるリスク解析を実行した場合には計算の進行に伴ないキーボード画面上にTable 5.1に示すような計算結果が順次に表示される他、出力データ・ファイル "STAR.OUT" へ書き込まれる。このSTAR.OUTの内容は、適当な印刷出力コマンドあるいはプログラム・モジュールを用いて、NECパソコン・コンピューターPC-9801RX付属のページ・プリンターNEC PC-PR602Rへ書き出すことができる。Table 5.2からTable 5.6までに、このようにページ・プリンター上へ印刷されたサンプル問題計算出力例を示す。これらを以下に示す。

Table 5.2 サンプル・リスク解析用ジョブ・データ

Table 5.3 ミニマム・カットセット・ファイルの内容

Table 5.4 機器信頼性データ・ファイルの内容

Table 5.5 サンプル・リスク解析結果

Table 5.6 最大公衆被ばく計算結果

このうち、Table 5.3及びTable 5.4は、オプションの出力となっており、キーボードから出力の有無を選択することできる。

### 5.2 プロッター出力

サンプル問題(HALWタンク冷却材喪失事故リスク解析)についてSTARコードによる解析の結果を、STAR PLコード及びTOL BPコードにより処理して、ページ・プリンターNEC PC-PR602R上へ作図したものを、以下の図に示す。

Fig.5.1 サンプル問題のファーマー線図

Fig.5.2 サンプル問題のCCDF線図

Fig.5.3 サンプル問題の粒径依存エアロゾル粒子流量

Fig.5.4 サンプル問題の粒径依存エアロゾル質量流量

Fig.5.5 サンプル問題の粒径依存放射性物質流量

Fig.5.6 サンプル問題の粒径依存バリア透過率

Table 5.1 Sample Computation Output On a Key-board Screen

## Program STAR : Release Risk Evaluation

path failed no. barriers	annual frequency	effective duration	released flow	dose equiva.	dose risk
1 N O N E	1.00E+00	8.76E+03	7.30E+01	2.22E-06	2.22E-06
2 QKV	6.13E-02	2.01E+01	1.55E+04	1.08E-06	6.60E-08
3 QKS	6.13E-02	1.71E+01	3.89E+04	2.30E-06	1.41E-07
4 QKV SK	6.05E-06	1.68E+01	5.34E+04	3.11E-06	1.88E-11
5 QKS SK	6.05E-06	5.97E+00	1.39E+06	2.87E-05	1.74E-10
6 KOL	1.56E+00	2.30E+01	9.51E+01	7.58E-09	1.18E-08
7 QKV KOL	5.92E-04	1.27E+01	2.05E+04	9.03E-07	5.34E-10
8 QKS KOL	5.92E-04	1.60E+00	5.16E+04	2.86E-07	1.69E-10
9 KON	8.89E-02	6.16E+00	7.45E+01	1.59E-09	1.42E-10
10 QKV KON	2.68E-05	5.23E+00	1.58E+04	2.87E-07	7.69E-12
11 QKS KON	2.68E-05	1.95E-02	3.97E+04	2.68E-09	7.17E-14
12 KOL KON	3.65E-04	4.80E+00	9.70E+01	1.62E-09	5.90E-13
13 S	2.37E-01	5.00E-01	3.10E+04	5.38E-08	1.27E-08
14 QKV S	6.23E-05	4.93E-01	6.53E+06	1.12E-05	6.96E-10
15 QKS S	6.23E-05	1.21E-30	1.64E+07	6.91E-35	4.31E-39
16 KOL S	7.43E-04	4.89E-01	3.96E+04	6.72E-08	4.99E-11
17 KON S	1.54E-05	4.62E-01	3.17E+04	5.07E-08	7.81E-13

enter RETURN to continue

Table 5.2 STAR Job Data List For Sample Risk Analysis

```
*****
PROGRAM STAR
QUASI-STATIONARY RELEASE RISK EVALUATION      R.LEICHT/NUKEM
VERSION 1.13 08/06/88                           25/03/87 13:20
*****
```

```
BARRIER SYSTEM : HLWAGBA VERSION 17.02.87
COMMENT TEXT : HLW : RELEASE OF AEROSOLS VIA HLLW TANK OFF-GAS SYSTEM
*****
```

```
*****
INPUT DATA
*****
```

BARRIERS	:	QK	SK	KOL	DEM	KON	LAW	VOR	ERH	S
NUMBER OF STATES	:	3	2	2	1	2	1	1	1	2

```
MAXIMUM NUMBER OF STATES: 2
```

```
OBSERVED TIME PERIOD (H): 8760.0
```

```
MIN. CUT SETS FROM FILE : HLW.CUT
```

```
FAILURE RATES FROM FILE : HLW.RAT
```

```
DOSE CONV. COEFF. FROM FILE : HLW.DSE
```

```
JOB FILE : HLW.JOB
```

```
*****
OUTPUT DATA FILES
*****
```

```
CCDF DATA FOR KOVER : HLW.KOV
FARMER PLOT DATA : HLW.FAR
```

```
SUPER CUT SETS NOT REDUCED
*****
```

Table 5.3 Contents of The Minimum Cut-set File Used As Input

CUT SETS OF BARRIER QK		NAMES AND NUMBERS OF BASIC EVENTS	
NR			
1	QBSL 16		
2	QBKTZ 18		
3	QBKUV 17		
	QBSOM 19		

CUT SETS OF BARRIER SK		NAMES AND NUMBERS OF BASIC EVENTS	
NR			
1	QSBR1 11		
2	QSBSK 12		
3	QSBLK 13		

CUT SETS OF BARRIER KOL		NAMES AND NUMBERS OF BASIC EVENTS	
NR			
1	GWAI 6		
2	GWR 2		
3	GWMA 5		

CUT SETS OF BARRIER KON		NAMES AND NUMBERS OF BASIC EVENTS	
NR			
1	GKVI 1	GKKL 4	
2	GKV3 2	GKKL 4	
3	GKUMA 3	GKKL 4	
4	GKKV 5		

CUT SETS OF BARRIER S		NAMES AND NUMBERS OF BASIC EVENTS	
NR			
1	GESEU 14		
2	GWEGLU 15		

Table 5.4 Contents of The Reliability Data File Used As Input

## RELIABILITY DATA OF THE BASIC EVENTS

CLASS	TYPE	BASIC EVENT	FAILURE RATE(1/H)		REPAIR RATE(1/H)		UNAVAILABILITY		FAILURE FREQ. DEN.(1/H)	
			A	DA	R	DR	U	DU	H	DH
1	2	GWV12	8.60E-05	2.07E-08	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	8.60E-05	2.07E-08
1	2	GFRV	8.60E-05	2.07E-08	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	8.60E-05	2.07E-08
1	2	FVEV	8.60E-05	2.07E-08	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	8.60E-05	2.07E-08
1	2	WKDVE	8.60E-05	2.07E-08	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	8.60E-05	2.07E-08
1	2	GKV1	8.60E-05	2.07E-08	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	8.60E-05	2.07E-08
1	2	GFVE	8.60E-05	2.07E-08	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	8.60E-05	2.07E-08
1	2	GWV	8.60E-05	2.07E-08	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	8.60E-05	2.07E-08
2	2	GWVR	4.30E-05	5.18E-09	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	4.30E-05	5.18E-09
2	2	KGAV	4.30E-05	5.18E-09	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	4.30E-05	5.18E-09
2	2	GWR	4.30E-05	5.18E-09	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	4.30E-05	5.18E-09
2	2	LSEV	4.30E-05	5.18E-09	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	4.30E-05	5.18E-09
2	2	WKDVR	4.30E-05	5.18E-09	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	4.30E-05	5.18E-09
2	2	GKV3	4.30E-05	5.18E-09	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	4.30E-05	5.18E-09
2	2	GWVD	4.30E-05	5.18E-09	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	4.30E-05	5.18E-09
2	2	KGDRV	4.30E-05	5.18E-09	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	4.30E-05	5.18E-09
2	2	GFRVA	4.30E-05	5.18E-09	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	4.30E-05	5.18E-09
3	1	GFSE	1.20E-05	4.04E-10	1.67E-01	1.69E-01	7.20E-05	4.60E-08	1.20E-05	4.04E-10
3	1	GFSG	1.20E-05	4.04E-10	1.67E-01	1.69E-01	7.20E-05	4.60E-08	1.20E-05	4.04E-10
3	1	WKDMR	1.20E-05	4.04E-10	1.67E-01	1.69E-01	7.20E-05	4.60E-08	1.20E-05	4.04E-10
3	1	GKUMR	1.20E-05	4.04E-10	1.67E-01	1.69E-01	7.20E-05	4.60E-08	1.20E-05	4.04E-10
3	1	GWMT	1.20E-05	4.04E-10	1.67E-01	1.69E-01	7.20E-05	4.60E-08	1.20E-05	4.04E-10
4	1	GKKL	1.50E-05	6.31E-10	1.39E-02	1.17E-03	1.08E-03	1.03E-05	1.50E-05	6.29E-10
4	1	GWEDL	1.50E-05	6.31E-10	1.39E-02	1.17E-03	1.08E-03	1.03E-05	1.50E-05	6.29E-10
5	1	QIS	1.00E-05	2.80E-10	1.67E-01	1.69E-01	6.00E-05	3.20E-08	1.00E-05	2.80E-10
5	1	GWHSA	1.00E-05	2.80E-10	1.67E-01	1.69E-01	6.00E-05	3.20E-08	1.00E-05	2.80E-10
5	1	KGAM	1.00E-05	2.80E-10	1.67E-01	1.69E-01	6.00E-05	3.20E-08	1.00E-05	2.80E-10
5	1	GWMA	1.00E-05	2.80E-10	1.67E-01	1.69E-01	6.00E-05	3.20E-08	1.00E-05	2.80E-10
5	1	GKKV	1.00E-05	2.80E-10	1.67E-01	1.69E-01	6.00E-05	3.20E-08	1.00E-05	2.80E-10
5	1	KDMA	1.00E-05	2.80E-10	1.67E-01	1.69E-01	6.00E-05	3.20E-08	1.00E-05	2.80E-10
6	1	GWA1	1.25E-04	4.38E-08	4.17E-02	1.06E-02	2.99E-03	7.90E-05	1.25E-04	4.38E-08
7	1	GFMR	1.70E-05	8.10E-10	1.67E-01	1.69E-01	1.02E-04	9.24E-08	1.70E-05	8.10E-10
7	1	GFVMR	1.70E-05	8.10E-10	1.67E-01	1.69E-01	1.02E-04	9.24E-08	1.70E-05	8.10E-10
7	1	LSEMR	1.70E-05	8.10E-10	1.67E-01	1.69E-01	1.02E-04	9.24E-08	1.70E-05	8.10E-10
7	1	KGAMR	1.70E-05	8.10E-10	1.67E-01	1.69E-01	1.02E-04	9.24E-08	1.70E-05	8.10E-10
7	1	KGDMR	1.70E-05	8.10E-10	1.67E-01	1.69E-01	1.02E-04	9.24E-08	1.70E-05	8.10E-10
7	1	VDEL	1.70E-05	8.10E-10	1.67E-01	1.69E-01	1.02E-04	9.24E-08	1.70E-05	8.10E-10
7	1	FVEMR	1.70E-05	8.10E-10	1.67E-01	1.69E-01	1.02E-04	9.24E-08	1.70E-05	8.10E-10
8	3	WVMV1	1.00E-03	2.80E-06	1.00E+00	6.08E+00	1.00E-03	2.80E-06	.00E+00	.00E+00
8	3	KGAMV	1.00E-03	2.80E-06	1.00E+00	6.08E+00	1.00E-03	2.80E-06	.00E+00	.00E+00
8	3	GFMV	1.00E-03	2.80E-06	1.00E+00	6.08E+00	1.00E-03	2.80E-06	.00E+00	.00E+00
8	3	WKDMV	1.00E-03	2.80E-06	1.00E+00	6.08E+00	1.00E-03	2.80E-06	.00E+00	.00E+00
8	3	GKMV	1.00E-03	2.80E-06	1.00E+00	6.08E+00	1.00E-03	2.80E-06	.00E+00	.00E+00
8	3	GFVMV	1.00E-03	2.80E-06	1.00E+00	6.08E+00	1.00E-03	2.80E-06	.00E+00	.00E+00
8	3	GWVMV	1.00E-03	2.80E-06	1.00E+00	6.08E+00	1.00E-03	2.80E-06	.00E+00	.00E+00
9	2	GFVR	4.30E-05	5.18E-09	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	4.30E-05	5.18E-09
9	2	KBV	4.30E-05	5.18E-09	4.17E-02	1.06E-02	.00E+00	.00E+00	4.30E-05	5.18E-09
10	3	CMVS	1.00E-01	2.80E-02	1.00E-05	6.08E-10	1.00E-01	2.80E-02	.00E+00	.00E+00
11	1	QSBR	3.00E-08	2.52E-15	8.33E-02	4.22E-02	3.60E-07	1.15E-12	3.00E-08	2.52E-15
12	1	QSBKS	5.00E-07	7.01E-13	1.39E-02	1.17E-03	3.60E-05	1.15E-08	5.00E-07	7.01E-13
13	1	QSBLK	5.00E-07	7.01E-13	2.08E-02	2.64E-03	2.40E-05	5.11E-09	5.00E-07	7.01E-13
14	1	GFSEU	1.20E-05	4.04E-10	2.00E+00	2.43E+01	6.00E-06	3.20E-10	1.20E-05	4.04E-10
15	1	GWEDLU	1.50E-05	6.31E-10	2.00E+00	2.43E+01	7.50E-06	4.99E-10	1.50E-05	6.31E-10
16	1	QBSL	5.00E-06	7.01E-11	2.08E-02	2.64E-03	2.40E-04	5.11E-07	5.00E-06	7.00E-11
17	1	QBKUV	7.30E-07	1.49E-12	1.11E-01	7.50E-02	6.57E-06	3.83E-10	7.30E-07	1.49E-12
18	1	QBKTZ	2.00E-06	1.12E-11	1.00E-01	6.08E-02	2.00E-05	3.55E-09	2.00E-06	1.12E-11
19	1	QBSOM	1.40E-07	5.49E-14	1.25E-01	9.50E-02	1.12E-06	1.11E-11	1.40E-07	5.49E-14

Table 5.5 Computed Results For The Sample Risk Analysis

STAR : QUASI-STATIONARY RELEASE RISK EVALUATION

NO.	PATH FAILED	BARRIERS	ANNUAL FREQ.			RELEASED FLOW			ENVIRONMENTAL RISK																	
			QK	SK	KOL	DEM	LAM	VOR	ERH	S		MEAN	VARIANCE	MEAN	VARIANCE	DOSE EQ.	RISK									
1	N O N E		1.00E+00	.00E+00	8.76E+03	.00E+00	7.30E+01	1.10E+04	6.39E+05	8.43E+11	2.22E-06	2.22E-06	2.22E-06	2.22E-06	2.22E-06	2.22E-06										
2	QKV		6.13E-02	6.24E-03	2.01E+01	1.07E+03	1.55E+04	4.05E+08	3.11E+05	4.56E+11	1.08E-06	6.60E-06	1.08E-06	6.60E-06	1.08E-06	6.60E-06										
3	QKS		6.13E-02	6.24E-03	1.71E+01	5.89E+03	3.89E+04	3.11E+09	6.64E+05	9.81E+12	2.30E-06	1.41E-07	2.30E-06	1.41E-07	2.30E-06	1.41E-07										
4	QKV SK		6.05E-06	7.47E-11	7.92E+02	5.34E+04	5.17E+09	8.95E+05	3.71E+12	3.11E+06	1.88E-11	3.11E+06	1.88E-11	3.11E+06	1.88E-11	3.11E+06	1.88E-11									
5	QKS SK		6.05E-06	7.47E-11	5.97E+00	4.14E+02	1.39E+06	3.49E+12	8.29E+06	9.23E+04	2.87E-05	1.74E-05	2.87E-05	1.74E-05	2.87E-05	1.74E-05										
6	KOL		1.56E+00	3.76E+00	2.30E+01	2.82E+03	9.51E+01	1.64E+04	2.19E+03	3.41E+07	7.58E-09	1.18E-08	7.58E-09	1.18E-08	7.58E-09	1.18E-08										
7	QKV KOL		5.92E-04	1.14E-06	1.27E+01	7.83E+02	2.05E+04	7.64E+08	2.60E+05	4.53E+11	9.03E-07	5.34E-10	9.03E-07	5.34E-10	9.03E-07	5.34E-10										
8	QKS KOL		5.92E-04	1.14E-06	1.60E+00	6.93E+01	5.16E+04	4.83E+09	8.26E+04	1.97E+11	2.86E-07	1.69E-10	2.86E-07	1.69E-10	2.86E-07	1.69E-10										
9	KON		8.89E-02	2.15E-02	6.16E+00	3.11E+02	7.45E+01	1.00E+06	4.59E+02	2.10E+06	1.59E-09	1.42E-10	1.59E-09	1.42E-10	1.59E-09	1.42E-10										
10	QKV KON		2.68E-05	5.29E-09	5.23E+00	3.14E+02	1.58E+04	4.53E+08	8.27E+04	9.07E+10	2.87E-07	7.69E-12	2.87E-07	7.69E-12	2.87E-07	7.69E-12										
11	QKS KON		2.68E-05	5.29E-09	1.95E-02	2.29E-02	3.97E+04	2.85E+09	7.71E+02	3.71E+07	2.68E-09	7.17E-14	2.68E-09	7.17E-14	2.68E-09	7.17E-14										
12	KOL KON		3.65E-04	8.55E-07	4.80E+00	2.25E+02	9.71E+01	1.47E+04	4.66E+02	2.46E+06	1.62E-09	5.90E-13	1.62E-09	5.90E-13	1.62E-09	5.90E-13										
13	S		2.37E-01	7.94E-02	5.00E+01	1.12E+00	3.10E+04	1.98E+09	1.55E+04	1.58E+09	5.38E-08	1.27E-08	5.38E-08	1.27E-08	5.38E-08	1.27E-08										
14	QKV S		6.23E-05	1.92E-08	4.93E-01	1.84E+00	6.53E+06	8.79E+13	3.22E+06	9.97E+3	1.12E-05	6.96E-10	1.12E-05	6.96E-10	1.12E-05	6.96E-10										
15	QKS S		6.23E-05	1.92E-08	1.21E-30	.00E+00	1.64E+07	5.55E+14	1.99E-23	.00E+00	6.91E-35	4.31E-39	6.91E-35	4.31E-39	6.91E-35	4.31E-39										
16	KOL S		7.43E-04	2.95E-06	4.89E-01	1.95E+00	3.96E+04	2.84E+09	1.94E+04	3.74E+09	6.72E-08	4.99E-11	6.72E-08	4.99E-11	6.72E-08	4.99E-11										
17	KON S		1.54E-05	1.20E-09	4.62E-01	1.64E+00	3.17E+04	1.82E+09	1.46E+04	2.02E+09	5.07E-08	7.81E-13	5.07E-08	7.81E-13	5.07E-08	7.81E-13										
ALL FAILURE PATHS			1.94E+00	3.87E+00							3.46E+04	1.20E+10	4.81E-05	2.34E-07												
Release Risk During Observation Time Period of 8760.0 h :																										
total failures																										
expectation value :			7.07E+05								6.73E+04															
variance :			8.85E+11								5.01E+10															
median value :			4.24E+05								1.94E+04															
error factor :			5.26E+00								1.34E+01															
dose equivalent :			5.03E-05								4.81E-05															
dose risk public :			2.45E-06								2.34E-07															

Table 5.6 Computed Maximum Dose Equivalent Committed By Public

MAXIMUM DOSE EQUIVALENT COMMITTED PER NUCLIDE AND HUMAN ORGAN (REM)							
NUCLIDE	LIVER	LUNGS	OVARIES	R MARROW	TESTES	THYROID	BONE SURF
90Sr	1.89E-09	2.71E-09	1.89E-09	2.53E-07	1.89E-09	1.89E-09	5.59E-07
95Zr	2.34E-15	3.74E-15	3.26E-15	2.24E-15	2.08E-15	2.49E-15	1.78E-13
95Nb	2.02E-15	2.07E-14	1.86E-15	2.56E-15	9.70E-16	1.19E-15	9.26E-15
99Tc	7.03E-15	3.94E-14	5.15E-15	5.15E-15	5.15E-15	1.38E-13	5.15E-15
106Ru	3.37E-09	4.39E-09	3.36E-09	3.35E-09	3.37E-09	3.34E-09	3.34E-09
129I	1.55E-20	5.74E-20	1.52E-20	2.44E-18	1.42E-20	2.66E-16	2.39E-20
134Cs	5.77E-09	5.36E-09	5.18E-09	5.39E-09	5.91E-09	5.06E-09	5.00E-09
137Cs	7.95E-09	8.14E-09	7.51E-09	7.68E-09	8.11E-09	7.33E-09	7.35E-09
144Ce	7.00E-09	2.12E-07	6.35E-11	7.75E-10	5.21E-11	7.65E-11	1.28E-09
235U	1.80E-17	2.21E-16	1.81E-17	5.45E-16	1.79E-17	1.81E-17	7.76E-15
236U	3.24E-16	4.06E-15	3.24E-16	9.02E-15	3.24E-16	3.24E-16	1.42E-13
238U	2.69E-16	3.25E-15	2.71E-16	1.19E-14	2.67E-16	2.68E-16	1.23E-13
237Np	1.75E-09	5.43E-11	1.05E-10	6.52E-10	1.05E-10	3.52E-14	8.15E-09
239Np	4.96E-13	4.90E-12	3.34E-14	1.53E-13	2.36E-14	1.08E-15	1.85E-12
238Pu	1.07E-07	4.07E-09	6.24E-09	3.93E-08	6.24E-09	1.02E-15	4.91E-07
239Pu	1.02E-08	3.29E-10	6.09E-10	3.80E-09	6.09E-10	8.27E-17	4.74E-08
240Pu	1.63E-08	5.27E-10	9.74E-10	6.07E-09	9.74E-10	1.69E-16	7.59E-08
241Pu	7.44E-08	5.33E-11	4.91E-09	2.95E-08	4.91E-09	1.09E-13	3.68E-07
242Pu	6.51E-11	2.10E-12	3.89E-12	2.43E-11	3.89E-12	3.69E-18	3.03E-10
241Am	4.39E-06	1.46E-07	2.51E-07	1.63E-06	2.61E-07	6.09E-12	2.04E-06
242Cm	1.34E-08	1.58E-08	5.89E-10	4.16E-09	5.89E-10	1.31E-16	5.20E-08
244Cm	6.67E-06	4.23E-07	3.52E-07	2.31E-06	3.52E-07	1.38E-13	2.89E-05
TOTAL	1.13E-05	8.23E-07	6.35E-07	4.30E-06	6.46E-07	1.77E-08	3.26E-05

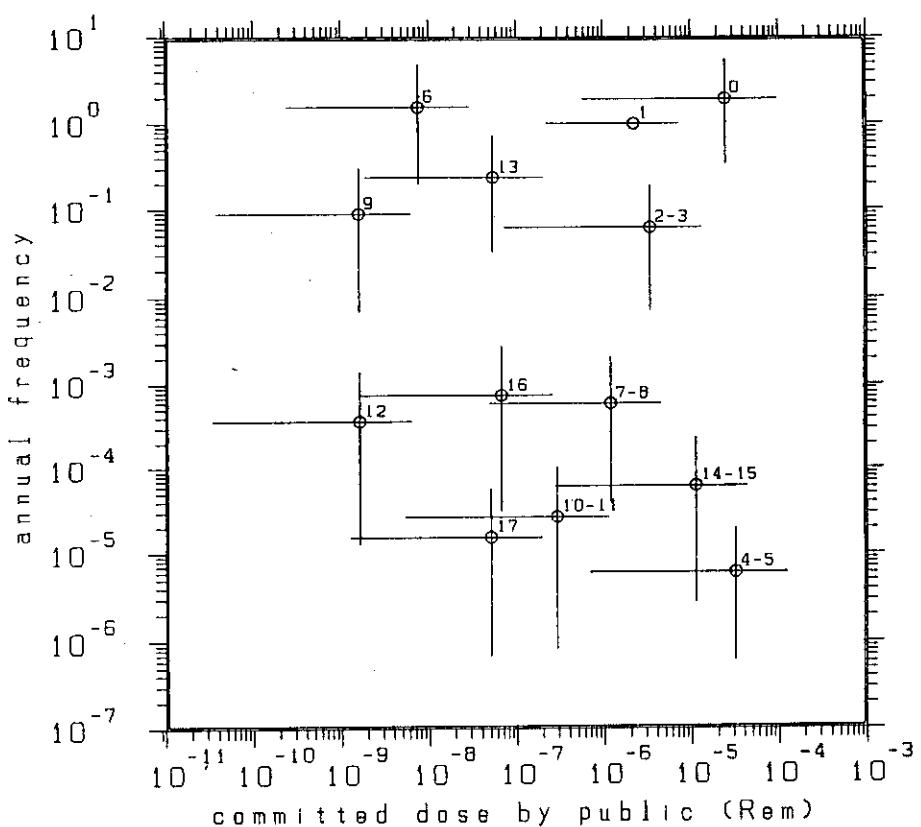


Fig. 5.1 Farmer diagram for sample loss of coolant accident.

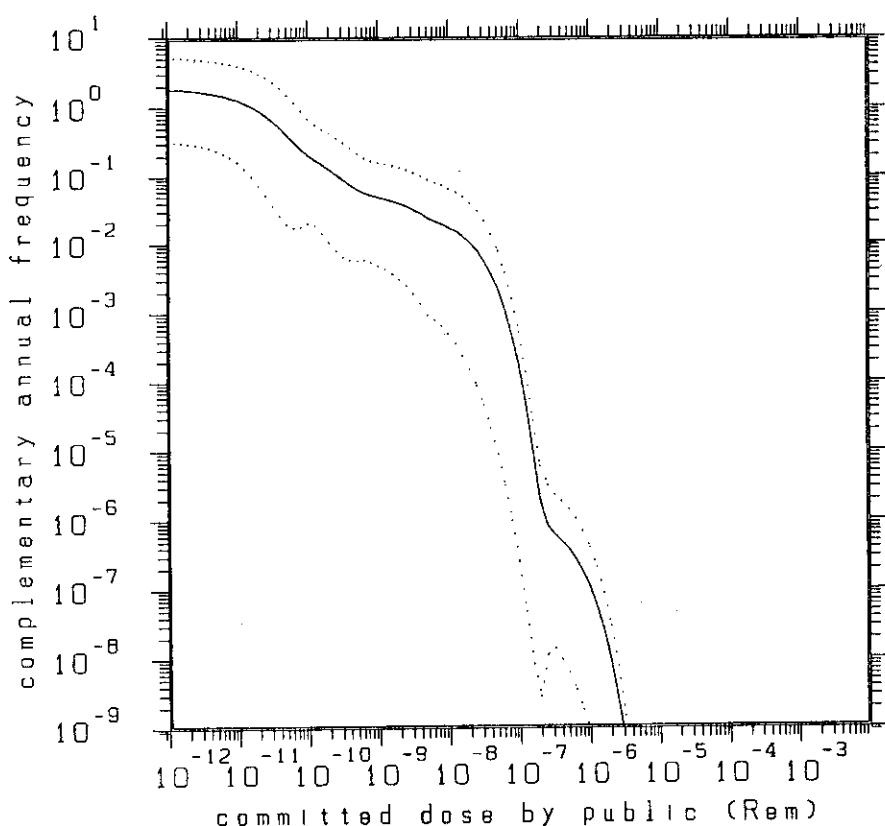


Fig. 5.2 Complementary cumulative distribution of frequency for sample loss of coolant accident.

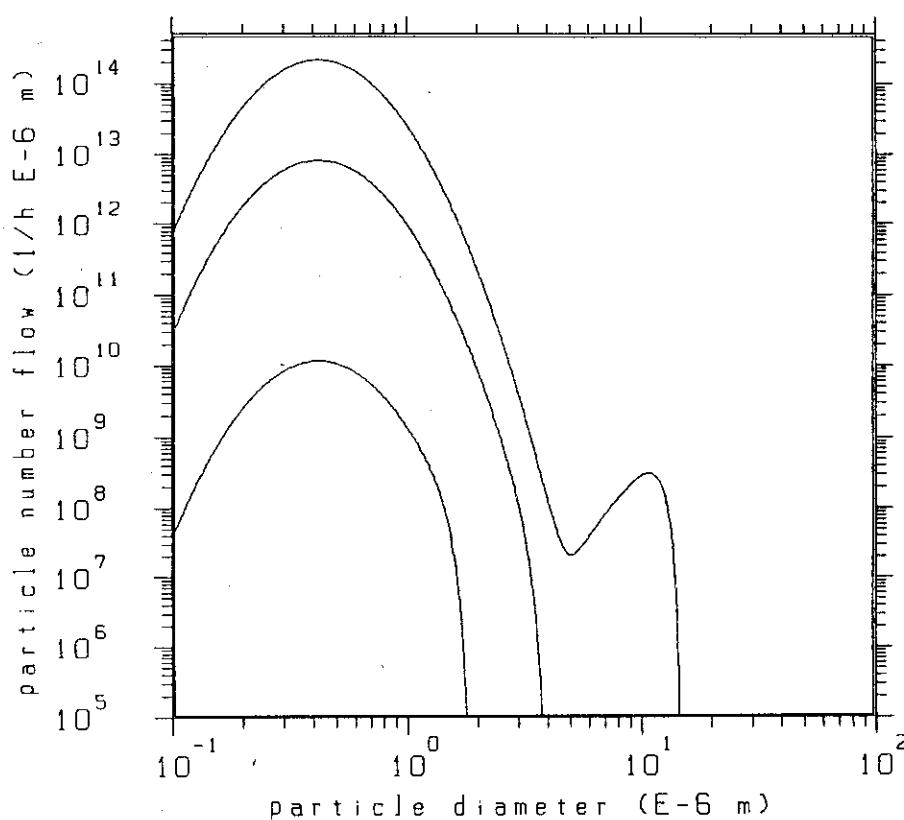


Fig. 5.3 Size dependent particle number flow  
for sample loss of coolant accident.

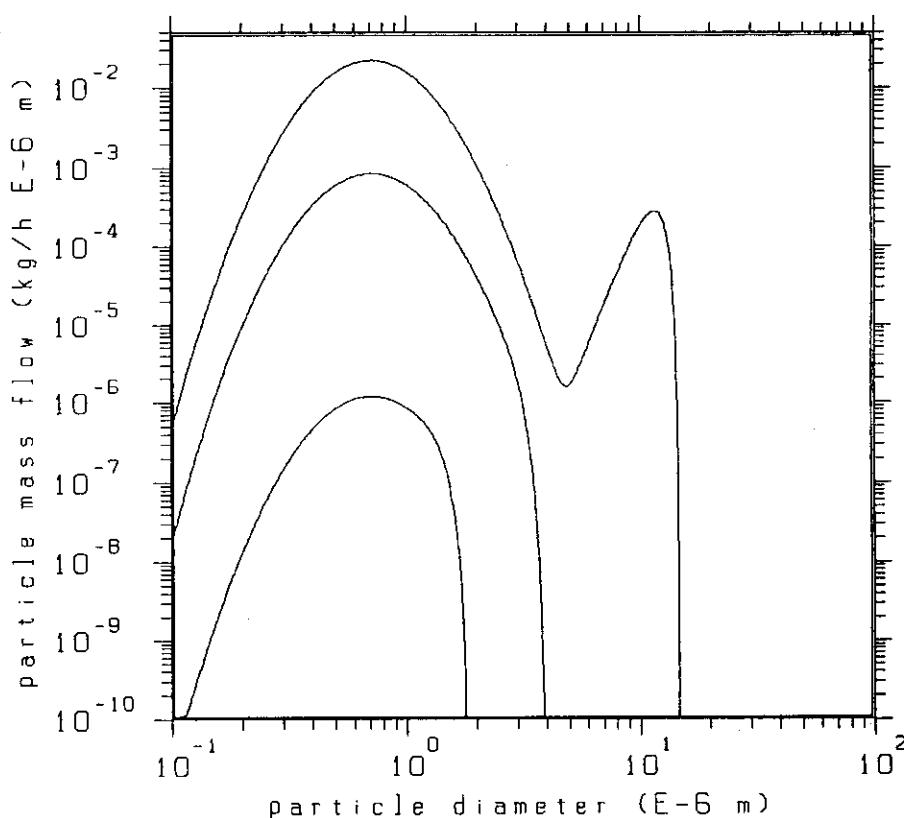


Fig. 5.4 Size dependent particle mass flow  
for sample loss of coolant accident.

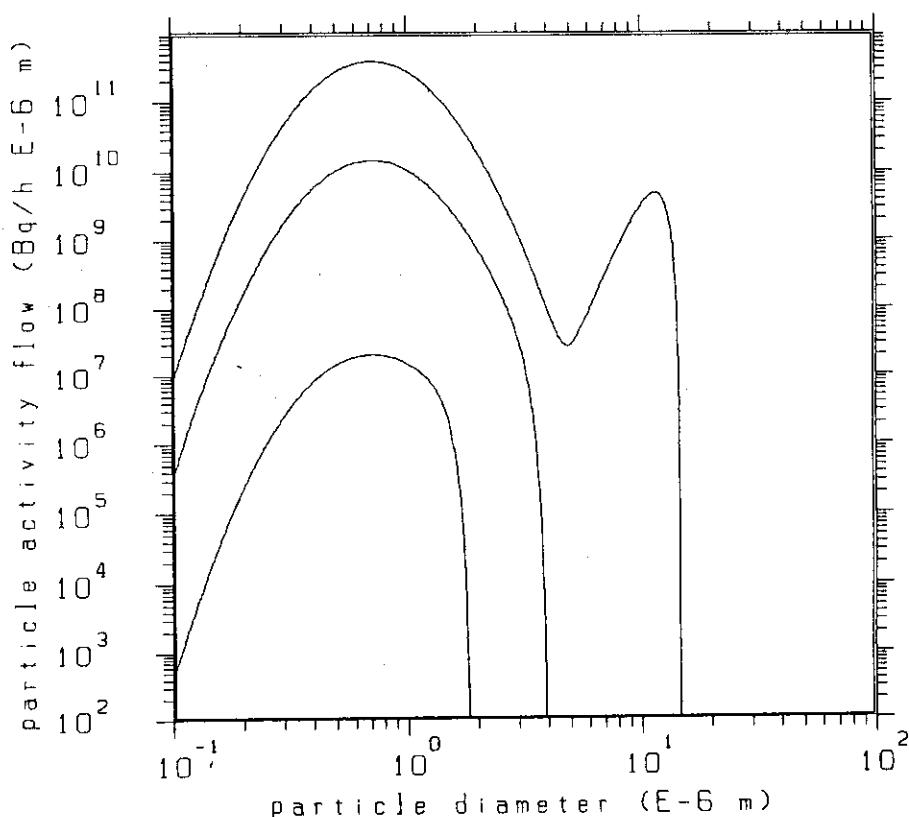


Fig. 5.5 Size dependent particle activity flow  
for sample loss of coolant accident.

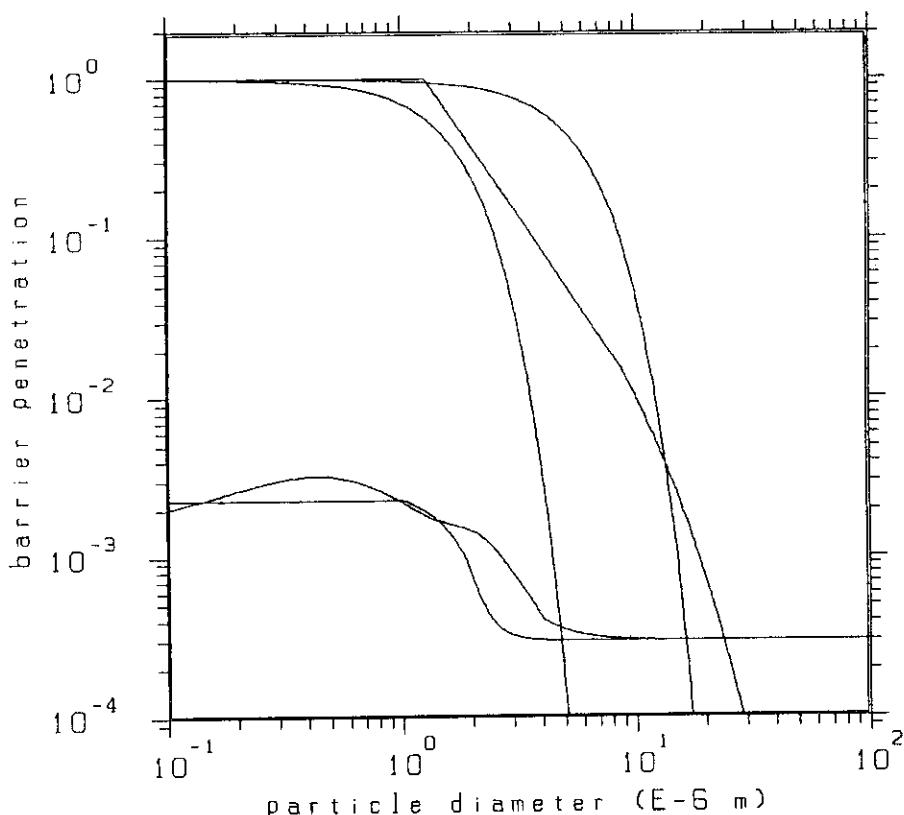


Fig. 5.6 Particle size dependent barrier penetration  
for sample loss of coolant accident.

## 6. おわりに

以上述べたように、STARコードは西独PSEプロジェクトの中で開発されたものであるが、原研燃料安全工学部の核燃料施設安全評価研究室に導入されてからは、当研究室付設のNECパソコン・コンピュータPC9801及びNECページプリンターPC-PR602Rの上で作動するように変換され、又機能面としては環境の公衆被ばくをも解析できるように改良された。従って、当研究室において、これから核燃料サイクル関連施設のリスク解析を実施する上で、STARコードは有力な解析手法を与えるものと思われる。

STARコードのプログラム構成としては、解析者の意図したリスク解析を行うために組み込んだソースターム及びバリアの計算モデルのサブプログラム群が主要な部分を占めている。従って、核燃料サイクル関連施設で想定される多種多様な事故状況に対応したこれらの計算モデルを、用いられるデータと共に整備しておくことが、リスク解析を実施し施設の安全性を評価して行くために必要となる。

STARコードは、システムを構成する個々の機器・装置の故障率等のデータからシステム全体の機能喪失を評価するのではなく、あらかじめフォールトツリー解析コードにより各サブシステムの信頼性解析を行って得られるミニマム・カットセットを入力データとする。従って、各種の事故状況・事故シナリオについてフォールトツリー解析を行えるような計算コード及び用いられるデータの整備も、将来に向けて重要な課題となる。

最後に、STARコードの改良・整備の成果を本報告書にまとめるに当たり、多くの方々の協力と援助をいただいた。ここに記して深く感謝する次第であります。特に、日本原子力研究所・核燃料施設安全評価研究室室長の内藤淑孝氏には多くの貴重な御助言を戴き、又センチュリリサーチセンター株式会社原子力部第一課の針山芳晴氏及び高田友幸氏にはプログラム変換及びプロッタ一作図機能整備について多大な御協力を戴いたことに対し、深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) R. Leicht, H.J. Dorst et. al., "Anwendung der Sicherheitsanalyse auf oberirdische Anlagen des Integrierten Entsorgungskonzepts", Project Sicherheitsstudien Fachband 5, Berline (1985).
- 2) J. Mishima, L.C. Schwendiman and C.A. Radash, "Plutonium Release Studies IV: Fractional Release from Heating Plutonium Nitrate Solution in a Flowing Air Stream", BNWL931 (1968).
- 3) Exxon Nuclear Co., Inc., "Preliminary Safety Analysis Report - Nuclear Fuel Recovery and Recycling Center", XN-FR-32, Rev.1 (1977).
- 4) R.J. Davis and J. Triutt, "Function of Condensing Steam in Aerosol Scrubbers", ORNL 4654 (1971).
- 5) J. Stichlmair, "Grundlagen der Dimensionierung des Gas-Flüssigkeits-Kontakt-apparates Bodenkolonne", Verlag Chemie, New York (1978).
- 6) R. Bödege and J. Clauss, "Sind die Behälter für den Transport von Brennelementen sicher?", Atomstrom, Jg. 33 (1977).
- 7) Euroform Produktinformation, "Hochleistungsabscheider", Typenreihe TS5.
- 8) K. Nagel, J. Furrer et. al., "Off-Gas Cleaning Installtions in a Processing Plant", 17th DOE Nuclear Air Cleaning Conference (1982).
- 9) M. Gonzalez, J.C. Elder et. al., "Performance of Multiple HEPA-Filters Against Plutonium Aerosols", LA-6546 (1976).
- 10) 原子力委員会, "原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて", 原子力安全委員会安全審査指針集, 大成出版社, 東京(1984).
- 11) 原子力安全委員会, "核燃料施設の立地評価上必要なプルトニウムに関するめやす線量について", 原子力安全委員会安全審査指針集, 大成出版社, 東京(1984).
- 12) 原子力安全委員会, "発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針", 原子力安全委員会安全審査指針集, 大成出版社, 東京(1984).
- 13) 原子力委員会, "発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針", 原子力安全委員会安全審査指針集, 大成出版社, 東京(1984).
- 14) International Commission on Radiological Protection: "Limits for Intakes of Radionuclides by Workers", ICRP Publication 30, Pergamon Press, Oxford (1978).
- 15) Ewbank W.B. and Schmorak M.R.: "Evaluated Nuclear Structure Data File, A Manual for Preparation of Data Sets", ORNL-5054/R1, Oak Ridge (1977).
- 16) Adams, N., Hunt B.W. and Reissland J.A.: "Annual Limits of Intake of Radio-nuclides for Workers", NRPB-R82, Harwell (1978).