

本資料は2003年 3月 10日付で
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

蒸気発生器伝熱管の破損伝播解析コードLEAPⅡ

(使用説明書)

1982年2月

動力炉・核燃料開発事業団

本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部または一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別の許可を必要としますので、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

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



開 示 制 限
PNC T N952 82-04
1 9 8 2 年 2 月

蒸気発生器伝熱管の破損伝播解析コードLEAP II

(使用説明書)

田 辺 裕 美 *
三 宅 収 *
大 後 美 道 **
佐 藤 稔 *

要 旨

ナトリウム冷却高速増殖炉の蒸気発生器内で発生した初期リークが、ウェステージ等により破損伝播するという現象を解析するため、LEAP (Leak Enlargement and Propagation) コードが開発された。

本コードは、初期リーク発生から水側ダンプによるナトリウム-水反応終止までの水リーク率変化等を計算するもので、蒸気発生器運転条件、水リーク率計算、ジェット衝突点の決定、ターゲット・ウェステージ、ターゲット管の貫通、リーク孔の自己拡大、リーク検出時間計算、カバーガス圧力計算、及びタイム・ステップ・コントロールの各要素から構成されている。

本報告書は、計算モデル、解析手法、プログラムの構成、入出力形式について説明したものである。

なお、本コードは1978年川崎重工によって開発されたものであるが、その後のR & D成果を反映して種々の修正がなされたので、ここに、本報告書をLEAP IIのコード・マニュアルの改訂版として作成したものである。

* 大洗工学センター蒸気発生器開発部 蒸気発生器安全性試験室

** 高速増殖炉開発本部



COMMERCIAL
PNC J#N952 82-04
Feb., 1982

Analysis Code for Failure Propagation
of Steam Generator Tube -LEAPII-

Hiromi Tanabe*, Osamu Miyake*,
Yoshimichi Daigo** and Minoru Sato*

Abstract

A computer code, LEAP (Leak Enlargement and Propagation), was developed in order to analyze failure propagation phenomenon in an LMFBR steam generator.

This code calculates a water leak rate change from the initiation of water leakage to the termination of sodium-water reaction by the water dump. It consists of such components as; the operational condition of the steam generator, the calculation of the water leak rate, the decision of jet impingement, target wastage, the penetration of the target tube, the self-enlargement of the leak nozzle, the calculation of the leak detection schedule, the calculation of the cover gas pressure, and time step control.

Here reported are calculation models, analytical methods, the source program organization, and the input/output forms.

This program was developed originally in 1978 by Kawasaki Heavy Industries and has been modified in some points to reflect the results of research and the development of the sodium-water reaction tests.

* Steam Generator Safety Section, Steam Generator Division,
Oarai Engineering Center, PNC.

** Fast Breeder Reactor Development Project, PNC.

目 次

1. ま え が き	1
2. 解析モデル	2
2.1 破損伝播の定義	2
2.2 モデルの体系	2
2.2.1 モデルの概要	2
2.2.2 構成要素	4
2.2.3 前提条件	4
3. 解析手法	9
3.1 水リーク率の計算	9
3.2 ジェット衝突点の決定	13
3.3 ターゲット・ウェステージ	15
3.4 ターゲット管の貫通	22
3.5 リーク孔の自己拡大	23
3.6 リーク検出時間	24
3.7 カバー・ガス圧力計算	24
3.8 タイム・ステップ・コントロール	27
4. プログラムの構成	30
4.1 概 要	30
4.2 プログラムの構成	30
4.3 サブ・ルーチンの機能	30
4.4 プログラムの主要変数	30
5. 入出力形式	49
5.1 入力形式	49
5.2 出力形式	57
6. 謝 辞	61
7. 参考文献	62

List of Figures and Tables

Fig. 2.1	破損伝播現象のモデル.....	3
Fig. 2.2	各構成要素間のつながり.....	5
Fig. 2.3a	正三角形配置	7
Fig. 2.3b	長方形配置	7
Fig. 2.3c	千鳥配置.....	7
Fig. 3.1	水リーク率計算モデル.....	10
Fig. 3.2	水リーク率計算の流れ図	12
Fig. 3.3	リークジェットの形状.....	13
Fig. 3.4	ターゲット管の決定	14
Fig. 3.5	ジェット間の干渉効果のモデル図	16
Fig. 3.6	ジェット衝突点を決める計算の流れ図	17
Fig. 3.7	ジェット衝突角度 ϕ	19
Fig. 3.8	ジェット衝突角度を考慮した補正係数	19
Fig. 3.9	ジェット中心からのズレによる補正	20
Fig. 3.10	遷移域でのスムージング	21
Fig. 3.11	トロイダル状ウェステージの開孔孔径	22
Fig. 3.12	カバーガス圧計算のモデル.....	25
Fig. 3.13	タイムステップの与え方	27
Fig. 3.14	カバーガス圧計算の流れ図.....	28
Fig. 4.1	LEAPの構成とサブプログラムの機能	31
Fig. 4.2	Flow Chart of MAIN.....	33
Fig. 4.4	Flow Chart of STEPGO.....	35
Fig. 4.5	Flow Chart of DTCONT.....	36
Fig. 4.6	Flow Chart of DAMAGE.....	37
Fig. 4.7	Flow Chart of SWGPRC.....	39
Fig. 4.8	Flow Chart of TWGPRC.....	41
Fig. 4.9	Flow Chart of INTFR.....	43
Fig. 4.10	Flow Chart of TARDEC.....	45
Fig. 5.1	Input Card Deck.....	50
Fig. 5.2	Output Data Format.....	59
Fig. A.1	An Example of Timing History.....	67
Fig. A.2	An Example of Failure Propagation Process.....	68

Table 4.1	主要変数リスト	46
Table 5.1	整数入力データ	51
Table 5.2	実数入力データ	53
Table A.1	入力データの例	64
Table A.2	出力リストの例	65

1. ま え が き

ナトリウム冷却高速増殖炉の蒸気発生器伝熱管において、初期リーク発生後、リークを検出し、水側をダンプし、ナトリウム-水反応を完全に停止させる時点までに進行する破損伝播過程を解析するための計算コードとしてLEAP (Leak Enlargement and Propagation) が、動燃事業団委託のもとに川崎重工によって1978年9月に開発された。¹⁾

ところが、その後も動燃事業団の大洗工学センターで続けられていたナトリウム-水反応試験の結果が²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾明らかになるにつれて、いくつかの改造の必要性が生じて来た。具体的には、次のようなものである。

- ① 他の伝熱管の影に当たる部分についてもウェステージを考慮すべき事
- ② ジェット対ジェットの干渉効果を導入すべき事
- ③ 中～大リーク領域でのウェステージ率の新しい実験式を採用すべき事
- ④ カバーガス圧力変化の計算を導入して、種々のリーク検出法に対応させる事
- ⑤ 水リーク率計算法をより現実的なものに近づける事

また、このほか一般的な改良点として、

- ⑥ 時間刻み幅を自動可変として計算時間を短かくする。
- ⑦ 計算結果を見易くするためプロッタ・ルーチンを付ける。

などがある。これらの点を踏まえて、プログラムの改造を行なったので、新しいコード名をLEAP IIとしてマニュアルも全面的改訂を行なった。

第2章には、本コードの解析対象たる破損伝播の定義とそのモデル化について述べ、第3章には、解析の手法を示した。また第4章では、プログラムの構成、主要サブルーチンのフローチャート、主要変数の説明等を記述して計算コードの概要を示した。更に第5章にはインプット・データの作成要領とアウトプット・データの内容を示した。

最後に付録として、インプット・データのリストと、アウトプットのプロッタの例を示す。

2. 解析モデル

2.1 破損伝播の定義

ナトリウム冷却高速増殖炉用蒸気発生器（以下SGと記す）の伝熱管に何らかの原因により、小破損が発生すると、破損孔から高圧水／蒸気がナトリウム中に噴出し、ナトリウム－水反応を生じてフレイム状の高温ジェットが形成される。このジェットが隣接管にあたると、損耗（ウェステージ）作用により新しい孔をあけ、放置すれば次々に隣接管を破損させながらリーク規模も拡大していくと想定し、これを破損伝播と定義する。

2.2 モデルの体系

2.2.1 モデルの概要

破損伝播現象を次のような過程として把握し、モデルを構成した。

- (1) 伝熱管に小破損（小リーク）が発生する。
- (2) リーク孔から噴出した水／蒸気が、管外のナトリウムと反応し、高温のジェットとなって隣接する伝熱管（ターゲット管）に衝突する。
- (3) ターゲット管の損耗（ウェステージ）が進行し、一定時間経過後、ターゲット管が貫通する。
- (4) 貫通したターゲット管は、貫通孔からジェットを噴出し、再び他管にウェステージをおよぼす。
- (5) 一方、リーク孔は、自己拡大（セルフウェステージ）し、段階的にリーク率を増大し、ウェステージの拡がり範囲、ウェステージ率もそれに伴って変化する。
- (6) (1)～(5)の過程が繰り返される。

この間、SGのリーク検出計によりリークが検出され、オペレータ操作等により水側ダンプが行なわれる。水側ダンプの進行に伴ってSG運転条件が序々に変化し、ウェステージの進行に影響を与える。

- (7) 水側ダンプが終了すると、ナトリウム－水反応は停止し、破損伝播過程は終了する。

これらの現象モデルのフロー図を Fig. 2.1 に示す。

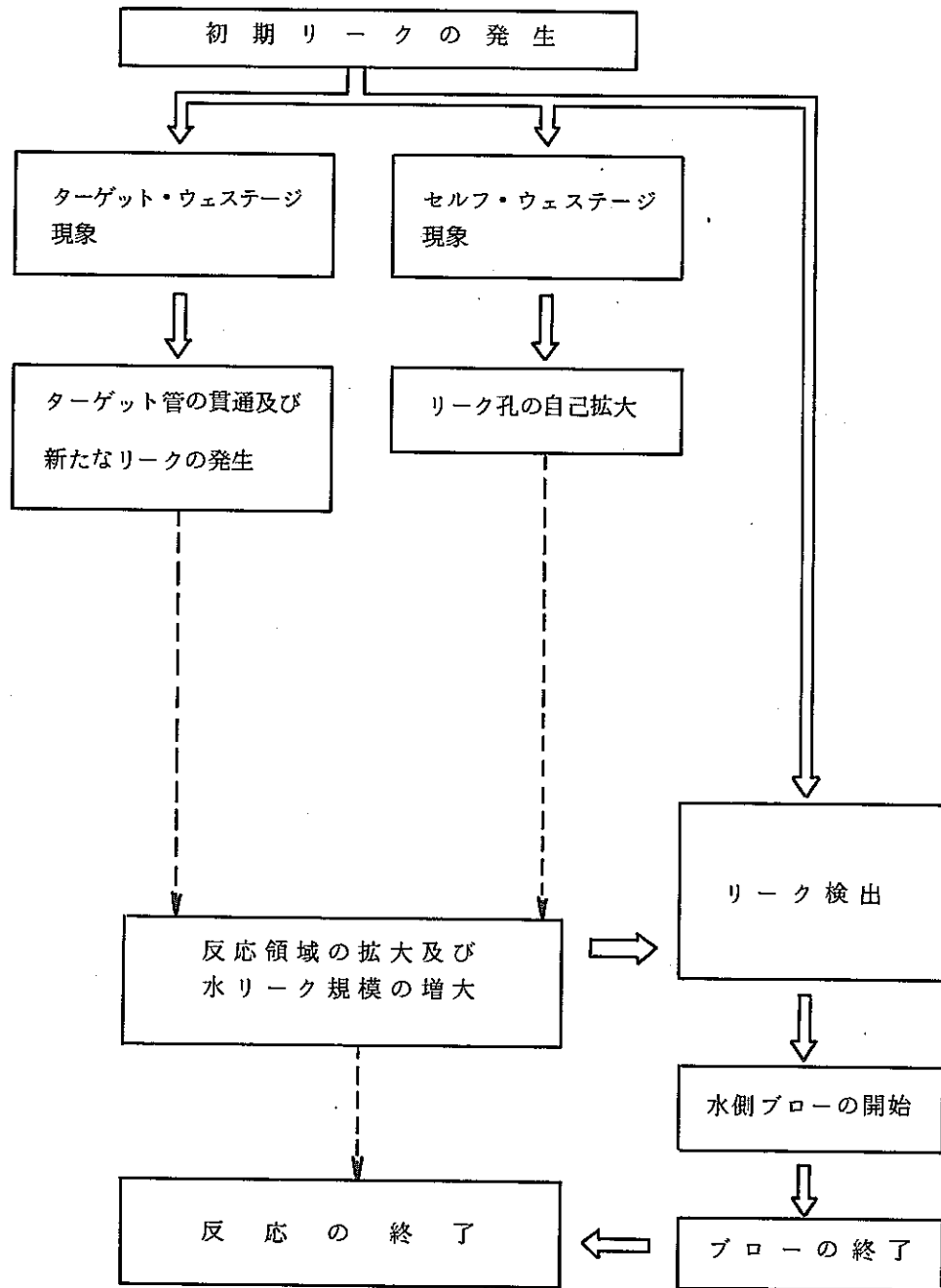


Fig. 2.1 破損伝播現象のモデル

2.2.2 モデルの構成要素

前節で述べた現象モデルを計算するために、以下に示すいくつかの構成要素に分けた。

(1) 水リーク率の計算

SG 運転条件を基に各破損孔からの水リーク率を計算する。

(2) ウェステージ点の決定

ジェットの拡がり角度やジェット到達距離を基に、干渉効果を考慮しながら、ターゲット管を選別し、また管上のウェステージ点を決定する。

(3) ターゲット・ウェステージ

水リーク率やリーク点～ウェステージ点間距離等を考慮して、全てのウェステージ点についてウェステージ率を計算する。

(4) ターゲット管の貫通

上記ウェステージ率を基にターゲット管に破損孔が貫通する時間及びその破損孔径を求める。

(5) リーク孔の自己拡大

セルフ・ウェステージによるリーク孔拡大時間及び拡大後の孔径を求める。

(6) リーク検出時間

種々のリーク検出計による検出時間を計算する。

(7) カバーガス圧力の計算

発生水素ガスとガス系を流出する水素／カバーガスとの量から圧力の過渡計算を行なう。

(8) タイム・ステップ・コントロール

計算時間をできるだけ減らすようなタイム・ステップの選択を行なう。

これらの構成要素のつながりを Fig. 2.2 に示す。

2.2.3 前提条件

また、これらの各構成要素で計算する際の前提条件として、次のものが入力データとして与えられなければならない。

(1) 初期条件に関するデータ

i) 初期リーク孔の位置

初期リーク孔の給水入口／出口ヘッダからの長さを与える。

ii) 初期リーク噴出方向

ジェットの中心軸と X 軸正方向とのなす角度で与える。

iii) 初期リーク孔径

iv) リーク位置の初期エンタルピ

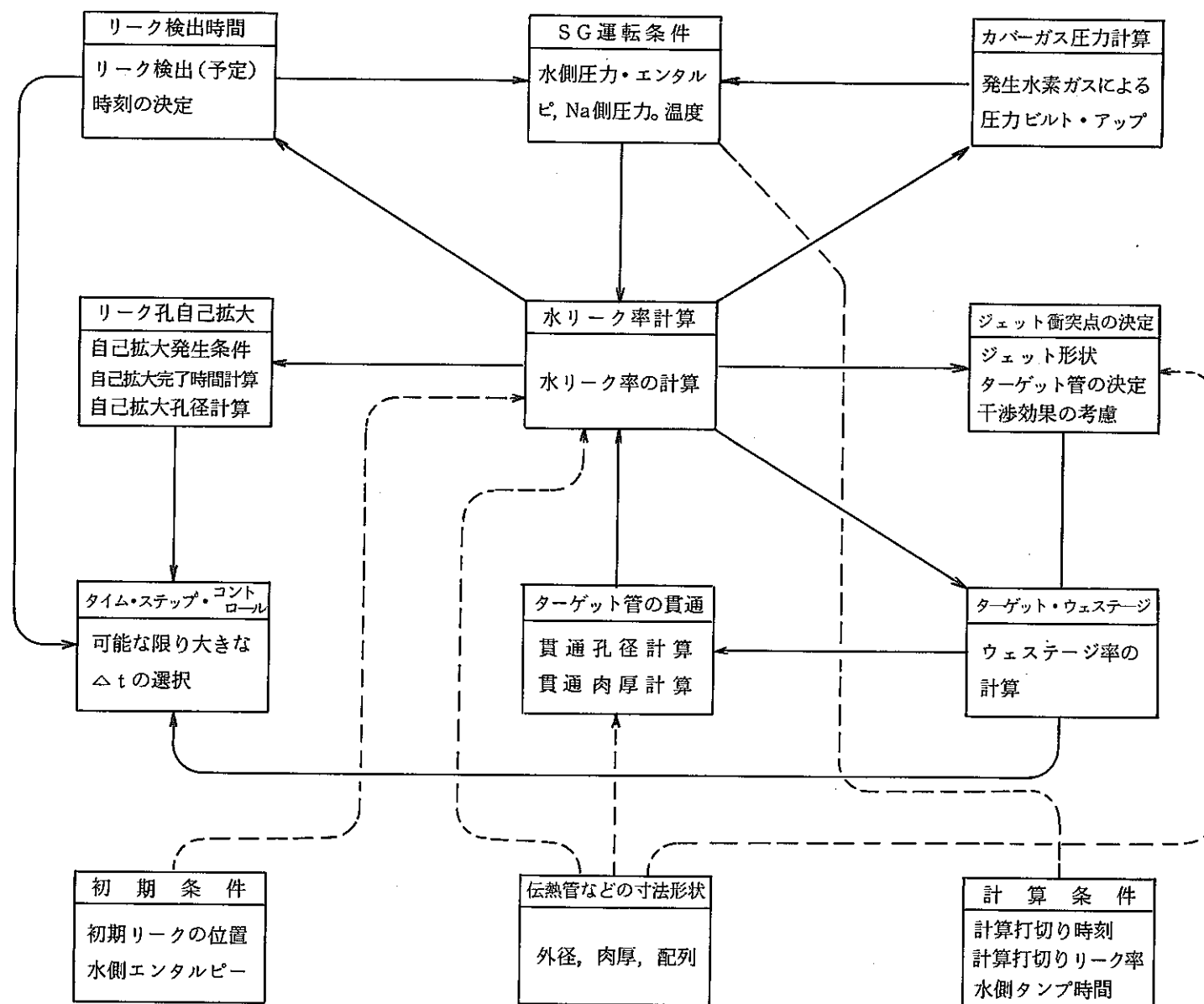


Fig. 2.2 各構成要素間のつながり

(2) 伝熱管に関するデータ

i) 伝熱管材料

$2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo材かSUS材のいずれかをインプットで指定する。

ii) 伝熱管外径

iii) 伝熱管肉厚

iv) 伝熱管内面の摩擦圧損係数

i)～iv)は、全伝熱管について同一条件とする。

v) 伝熱管配置

次の4種類の配置のいずれかを、インプットで指定する。

A) 非定型配置

伝熱管の中心座標をインプットで指定する。

B) 定型配置

配列のピッチと共に、解析の対象とする空間の境界を、インプットで指定する。但し、境界は、初期リーク管の中心を中心とする円、または長方形として設定する。

以下の配置のいずれかを、インプットで指定する。

a. 正三角形配置 (Fig. 2.3.a)

対象空間の境界は円とする。

次の項目を、インプットで指定する。

① ピッチ

② 境界(円)の直径

b. 長方形配置 (Fig. 2.3.b)

対象空間の境界は長方形とする。

次の項目を、インプットで指定する。

① x軸方向ピッチ

② y軸方向ピッチ

③ 境界(長方形)のx軸方向長さ

④ 境界(長方形)のy軸方向長さ

c. 千鳥配置 (Fig. 2.3.c)

b.と同じ

(3) SG運転条件に関するデータ

初期リーク孔近傍でのSGの状態量として、以下の6項目を設定する。

i) 給水入口ヘッド圧力

ii) 給水入口ヘッド比エンタルピ

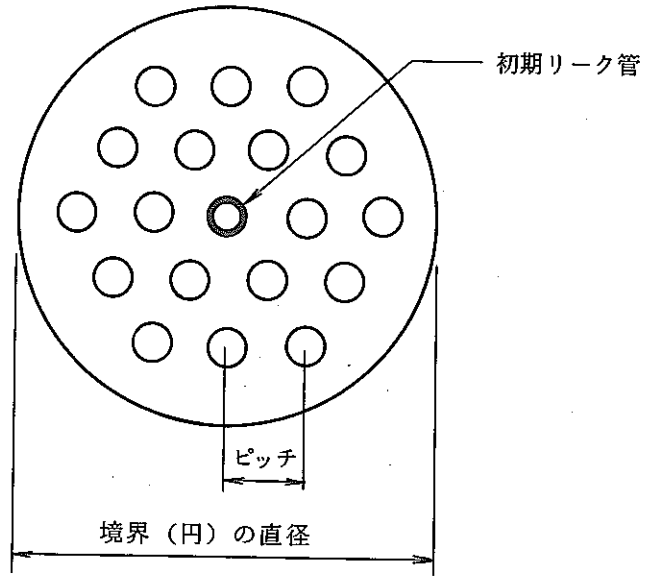


Fig. 2.3.a 正三角形配置

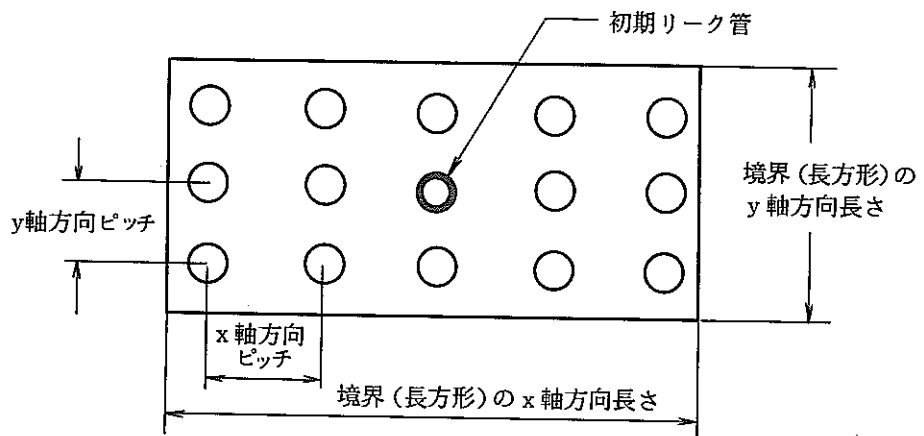


Fig. 2.3.b 長方形配置

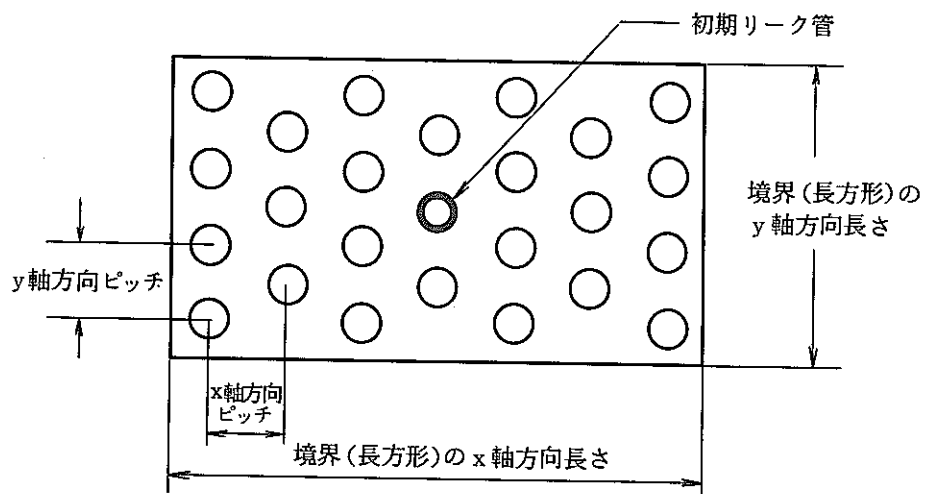


Fig. 2.3.c 千鳥配置

- iii) 給水出口ヘッダ圧力
- iv) 給水出口ヘッダ比エンタルピ
- v) ナトリウム側圧力
- vi) ナトリウム側温度

SGの状態量は、水側ダンプに従って変化することを考慮し、初期リーク開始時および水側ダンプ開始後の幾つかの時点における諸状態量の値を入力データとして与えると、必要な時刻に対しては内挿もしくは外挿によって値を求める。

(4) 計算条件の変更に関わるデータ

- i) タイム・ステップ
- ii) オペレータ操作時間
リーク検出後、水側ダンプ操作開始までの時間
- iii) 水側ダンプ時間
- iv) 計算打ち切り時刻
- v) 計算打ち切りリーク率

このリーク率以上になると計算を終了させる。

- vi) リスタート開始希望時刻
- vii) 小/中リークの境界リーク率
このリーク率を境界としてウェステージ率計算式を変える。
- viii) ウェステージ作用を無視する大リーク域の下限リーク率
- ix) 1本の伝熱管よりの水リーク率上限値

3. 解析手法

本章では、前章に示した解析モデルの前提条件および構成要素の各項目について、それらを計算コード上に表現する手法について述べる。なお、各節の標題の括弧内にそれぞれの構成要素に対応しているサブルーチンの最も代表的なものを挙げる。

3.1 水リーク率の計算 (LKRAT)

3.1.1 計算上の仮定

- 1) 計算は、入口／出口ヘッダとリーク孔を境界とする一次元の定常計算である。
- 2) リーク孔からの流出率（水リーク率）は、リーク位置の状態をスタグナントとして、次の式で求める。

{	サブクール域	:	ノズル流出式 (ベルヌーイ式)
	飽和域	:	Moody 臨界流モデル
	過熱域	:	理想気体臨界流モデル

- 3) 伝熱量は初期条件一定とし、管内流速変化による熱伝達率の変化等は無視する。
- 4) 伝熱管内の圧損は摩擦損失と加速損失とし、ヘッド差は無視する。又、摩擦損失係数は入力値一定とする。
- 5) 計算で扱う入口／出口ヘッダからリーク孔の伝熱管長さは、どの伝熱管も同一とする。
- 6) 同一伝熱管に複数のリーク孔がある場合、リーク率はそのトータルのリーク孔断面積で計算し、そのトータルリーク率を各リーク孔断面積の比に従って配分する。ただし、計算体系で扱う伝熱管はすべて独立した管とし、コイルを一周して同一管が計算体系中に複数回現われることは考慮されない。

3.1.2 計算モデルと計算法

1) 計算モデル

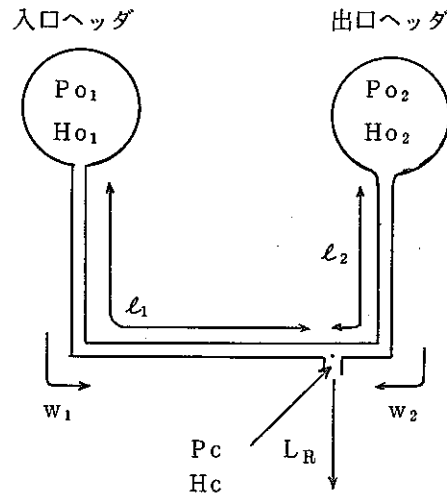


Fig. 3.1 水リーク率計算モデル

i) 圧力変化は、次式で求める。

$$P_{01} - P_c = \sum_{\Delta L} \frac{\lambda}{2gd} \bar{U} \left(\frac{w_1}{A} \right)^2 \Delta L + \sum_{\Delta L} \frac{1}{g} \left(\frac{w_1}{A} \right) \Delta U \quad (3-1)$$

$$P_{02} - P_c = \sum_{\Delta L} \frac{\lambda}{2gd} \bar{U} \left(\frac{w_2}{A} \right)^2 \Delta L + \sum_{\Delta L} \frac{1}{g} \left(\frac{w_2}{A} \right) \Delta U \quad (3-2)$$

ii) エンタルピー変化は、次式で求める。

$$\Delta H_1 = \left(\frac{H_b' - H_{01}'}{\ell_2} \right) \cdot \left(\frac{w_0}{w_1} \right) \cdot \Delta L \quad (3-3)$$

$$\Delta H_2 = \left(\frac{H_{02}' - H_b'}{\ell_2} \right) \cdot \left(\frac{w_0}{w_2} \right) \cdot \Delta L \quad (3-4)$$

ここで、

P_0 : ヘッダ圧力 [kg/m²] , H_0 : ヘッダ・エンタルピー [kcal/kg]

P_c : リーク点圧力 [kg/m²] , H_c : リーク点エンタルピー [kcal/kg]

w : 流量 [kg/sec] , ℓ : ヘッダ～リーク点長さ [m]

d : 管径 [m] , A : 管断面積 [m²]

λ : 摩擦損失係数 [-] , g : 重力加速度 = 9.8 [m/s²]

ΔL : 伝熱管メッシュ幅 [m] , \bar{U} : ΔL 間平均比容積 [m³/kg]

ΔU : ΔL 間の比容積変化分 [m³/kg]

- H_0 : ヘッダ初期エンタルピー [kcal / kg]
 H_b : リーク点初期エンタルピー [kcal / kg]
 w_0 : 初期流量 [kg / sec]
 ΔH : ΔL 間のエンタルピー変化 [kcal / kg]

iii) リーク率は、次式で求める。

サブクール水の場合

$$L_R = \phi \cdot F \sqrt{\frac{2g(P_c - P_{ex})}{\rho_c}} \quad (3-5)$$

飽和二相の場合

$$L_R = F \cdot G_M (P_c \cdot H_c) \quad (3-6)$$

過熱蒸気の場合

$$L_R = \phi \cdot F \cdot \sqrt{\left[\frac{2}{k+1} \right] \left(\frac{k+1}{k-1} \right) \cdot g \kappa \frac{P_c}{\rho_c}} \quad (3-7)$$

ここで、 F : リーク孔面積 [m^2]

(1本の伝熱管に複数のリーク孔が在る場合は、そのトータル面積)

- L_R : リーク率 [kg / sec] ϕ : 流出係数 [-]
 P_{ex} : 背圧 (Na圧) [kg / m^2] ρ_c : リーク位置の比容積 [m^3 / kg]
 κ : 過熱蒸気の比熱比 [-]
 G_M : Moody モデルによる臨界流量 [kg / $m^2 \cdot sec$]

リーク位置の状態は、もし、 $w_1 \geq 0$, $w_2 \geq 0$ (リーク孔に流れ込む方向の場合は、

$$\left. \begin{aligned} H_c &= (H_{c1}w_1 + H_{c2}w_2) / (w_1 + w_2) \\ \rho_c &= EOS(P_c, H_c) \text{ (状態式より求める)} \end{aligned} \right\} \quad (3-8)$$

$w_1 \geq 0$, $w_2 < 0$ の場合は、

$$\left. \begin{aligned} H_c &= H_{c1} \end{aligned} \right\} \quad (3-9)$$

$w_2 \geq 0$, $w_1 < 0$ の場合は、

$$H_c = H_{c2}$$

ここで、 H_{c1} / H_{c2} は、入口 / 出口ヘッダ側からリーク位置に流れ込む水 / 蒸気のエンタルピーである。

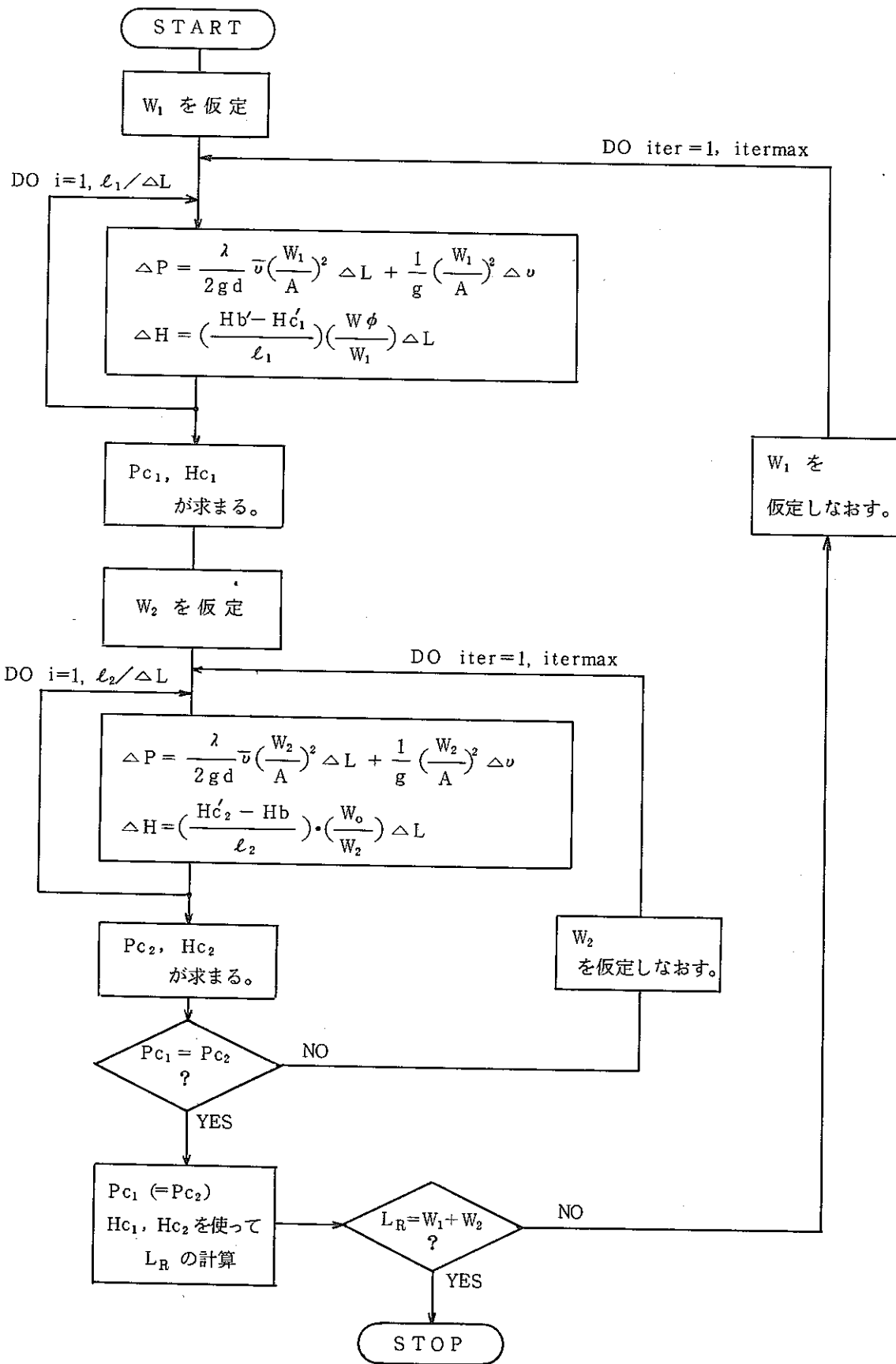


Fig. 3.2 水リーク率計算の流れ図

2) 計算方法

プログラムでは、 $L_R = w_1 + w_2$ となる流量を繰り返し計算で求める方法をとっている。
(繰り返し計算は、2分法を使用)

計算の流れ図を Fig. 3.2 に図示する。

3.2 ジェット衝突点の決定 (TWGPRC)

3.2.1 リーク・ジェット形状の決定

リーク・ジェットの形状は、下図のように噴出角度 θ 、到達距離 L とを持つ扇形として表わされる。またジェット中心軸は、リーク中心を通る法線とする。

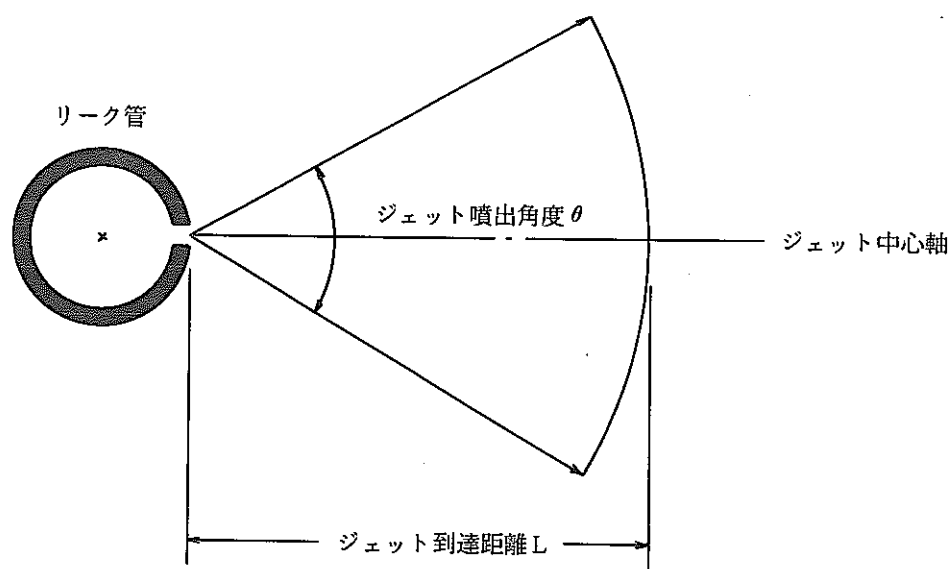


Fig. 3.3 リークジェットの形状

(1) ジェット噴出角度

リーク孔から噴出するジェットは、リーク孔出口 (Na 側) 中心からの一定の拡がり角度 (これをジェット噴出角度と称する) をもって直線状に噴出するものとする。

次の2種類のいずれかを、インプットで指定する。

i) 噴出角度は一定とする。

噴出角度を、インプットで指定する。

ii) 噴出角度を、リーク率の関数として与える。

リーク率に対する噴出角度のデータを、インプットとして与え、計算コード内部で内そうする。

(2) ジェット到達距離

ジェットの到達する最長距離をリーク孔径の倍数として与え、この距離以上ではウェス

テージ率をゼロとし、ターゲット管の存在を無視する。この倍数は入力データで与える。

3.2.2 ターゲット管の決定

以下の方法によりターゲット管を決定する。(Fig. 3.4)

- ① リーク孔から、リーク噴出方向に充分多くの半直線群を放射し、これらの半直線群で、ジェットの拡がり表現する。
- ② 上の各半直線について、伝熱管との交点または接点があれば、各伝熱管において、リーク孔からの距離が最小となる点のみがウェステージを受けるものとし（すなわち、他管の「影」となる部分についてもウェステージを受けるものとする）、この点をウェステージ影響点と称する。但し、リーク孔からの距離がジェット到達距離以上となる点は、ウェステージ影響点から除外する。

ウェステージ影響点を有する伝熱管をターゲット管とする。

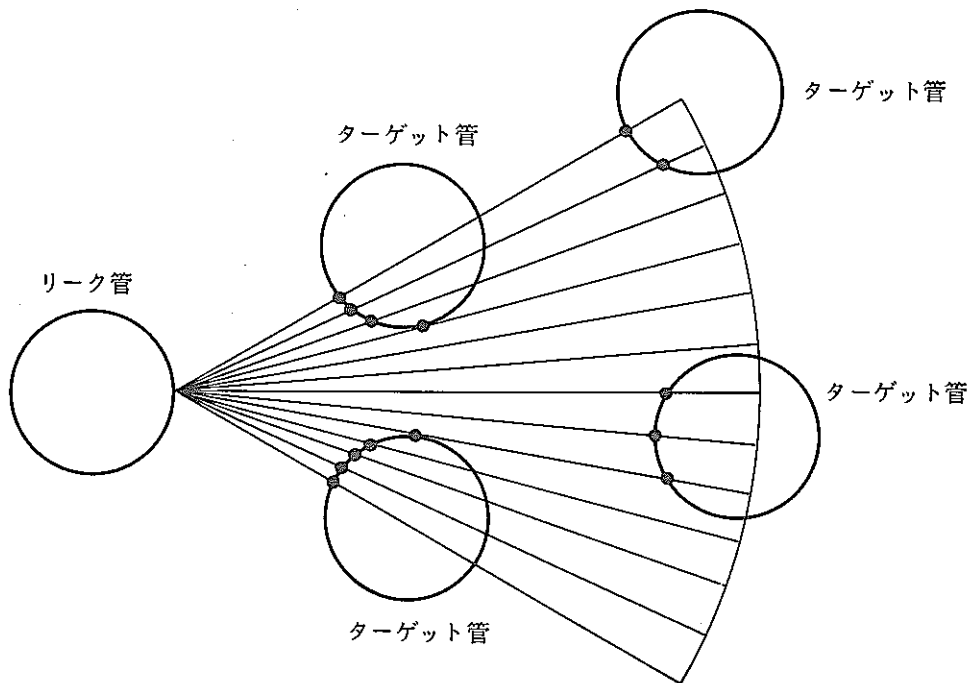


Fig. 3.4 ターゲット管の決定

3.2.3 ジェット衝突点の決定

ターゲット管上のウェステージ部は、現実には面（ウェステージ影響点の集合）であるが、計算コード上は、これを最大ウェステージ率をとる点（ジェット衝突点と称する）で代表させ、点として取扱う。

但し、2個以上のリーク孔から同一ターゲット管に対してウェステージが及ぶ場合、各

々のリーク孔からのジェット衝突点が伝熱管上で一定の距離範囲（これを“公差”と称する）にある場合には、同一のジェット衝突点としてまとめて取扱う。〔この場合、当該ジェット衝突点におけるウェステージ率は、最大リーク率のジェットによるウェステージ率として設定する。〕

ジェット衝突点決定時の公差は、伝熱管の中心が公差（弧長）を張る角度としてインプットで指定する。

3.2.4 干渉効果

大・小リーク規模の異なるジェットが衝突する場合、小規模なジェットの方は打消されるという現象が見られるが、このいわゆる干渉効果を以下の要領で導入したのでFig. 3.5を用いて説明する。

- ① 噴出角度と到達距離とからなるジェット領域の内部に、扇形のジェット干渉域なるものを定義する。
- ② このジェット干渉域に対して（管No.2）、それよりも小規模のリーク・ジェット（管No.1）が交叉する場合に、小規模ジェットを分割した各放射線分について、ジェット干渉域との交点を求める。
- ③ 小規模リークのジェット到達距離をリーク孔からこの交点までとする。この結果、小規模リーク孔（管No.1）から見て、大規模リークのジェット干渉域の背後にある伝熱管（管No.4及び5）に対しては、小規模リークは損耗効果を及ぼさなくなる。

このジェット衝突点の決定を行なうための計算のフローをFig. 3.6に示す。

3.3 ターゲット・ウェステージ⁵⁾ (TWGRAT)

前節で与えられた全ジェット衝突点に対して、ウェステージ率を計算する。

ウェステージ率 W_R は、単位時間当たりの損耗深さとして定義され、これまで水リーク率 G 、水漏えい孔からターゲット管までの距離 L 、ナトリウム温度 T_{Na} 等との関係が実験的に明らかにされている。ウェステージ率は、水リーク率に応じて次の2領域に分け、それぞれ異なる実験式を用いている。

3.3.1 小規模水リーク域

(1) ウェステージ率

小規模水リーク域は、ジェット到達距離が短かく、ほとんど1本の伝熱管をウェステージの対象として考慮すれば充分と考えられる領域である。

ウェステージ率 W_R [mm/sec] は、 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo鋼に対して、

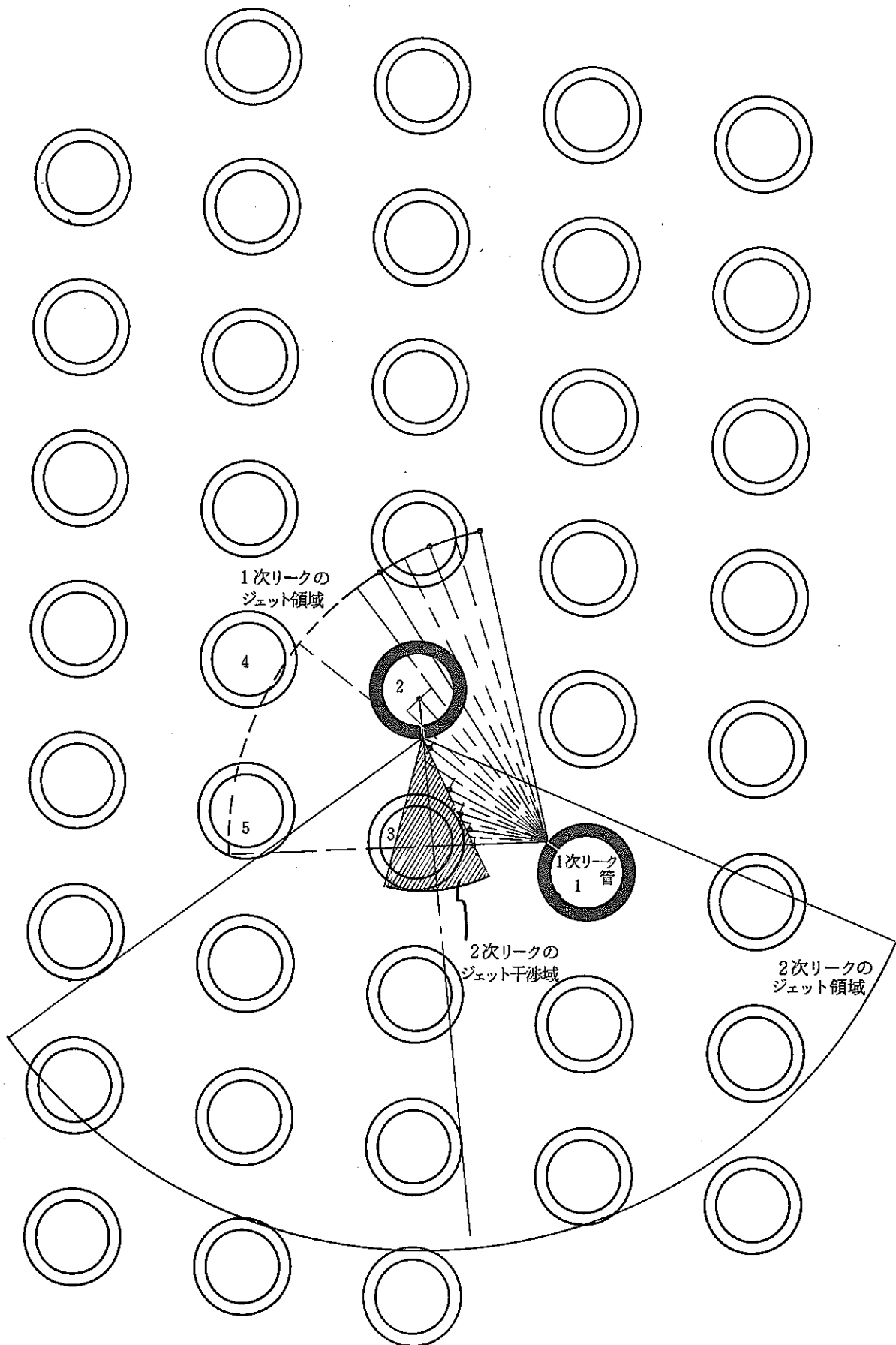


Fig. 3.5 ジェット間の干渉効果のモデル図

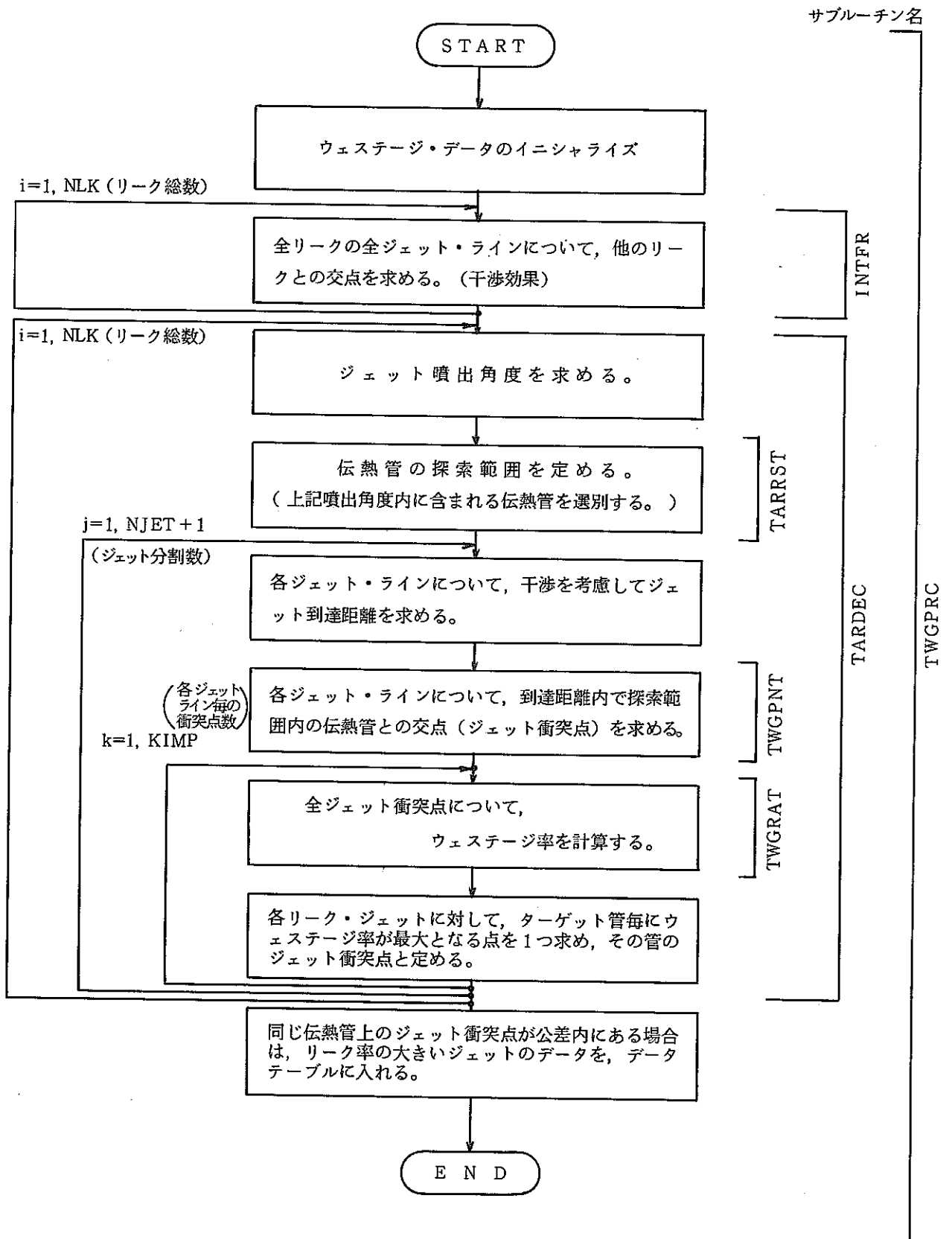


Fig. 3.6 ジェット衝突点を定める計算の流れ図

$$W_R = \frac{7104}{L^*} \exp \left\{ -0.255 \left(\ell_n \frac{G}{5.12} \right)^2 - \frac{5460}{T_{Na}} \right\} \quad [\text{mm/sec}] \quad (3-10)$$

オーステナイト・ステンレス鋼に対して

$$W_R = \frac{1.46 \times 10^4}{L^*} \exp \left\{ -0.287 \left(\ell_n \frac{G}{3.19} \right)^2 - \frac{7180}{T_{Na}} \right\} \quad [\text{mm/sec}] \quad (3-11)$$

$$\text{但し } L^* = \begin{cases} 30D & L < 30D \\ L & L \geq 30D \end{cases}$$

で表わされる。ここで、 G は水リーク率 [g/sec]、 T_{Na} はナトリウム温度 [$^{\circ}\text{K}$]、 L は水リーク孔からターゲット管までの距離 [mm]、 D は水リーク孔径 [$\text{mm}\phi$]である。

(2) ジェット衝突角度の考慮

リーク・ジェットが伝熱管表面に対して角度をもって当たる場合、その衝突角度 (Fig. 3.7) を考慮した補正係数を掛ける場合がある。この補正を行なうかどうかは、初めに入力データで指定しなければならない。

補正は、次のように行なう。

$$W_R = K(\phi) \times W_R^* \quad (3-12)$$

ここで、 $K(\phi)$ が補正係数で Fig. 3.8 に示すような関係⁶⁾であり、特に

$$\begin{cases} K(90^{\circ}) = 1 \\ K(0^{\circ}) = 0 \end{cases} \quad \text{となる。また } W_R^* \text{ は、前項で示した直撃の場合のウェステージ}$$

率である。

3.3.2 中・大規模水リーク域

(1) ウェステージ率

多数の伝熱管に同時にウェステージが進行して行くような、もっとリーク規模の大きい領域では、ウェステージ率を表わす実験式は次のようになる。2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo鋼に対して、

$$W_R = A \exp \{ -B(L-50)^2 \} \quad [\text{mm/sec}] \quad (3-13)$$

但し、

$$A = \begin{cases} 7 \times 10^{-2} & 10 \leq G < 800 \quad [\text{g/sec}] \\ 244 G^{-1.22} & G \geq 800 \quad [\text{g/sec}] \end{cases}$$

$$B = \begin{cases} 8.33 \times 10^{-4} G^{-0.4} & 10 \leq G < 200 \quad [\text{g/sec}] \\ 1.00 \times 10^{-4} & 200 \leq G < 500 \quad [\text{g/sec}] \\ 5.48 \times 10^{-11} G^{2.32} & 500 \leq G < 1,000 \quad [\text{g/sec}] \\ 5.0 \times 10^{-4} & G \geq 1,000 \quad [\text{g/sec}] \end{cases}$$

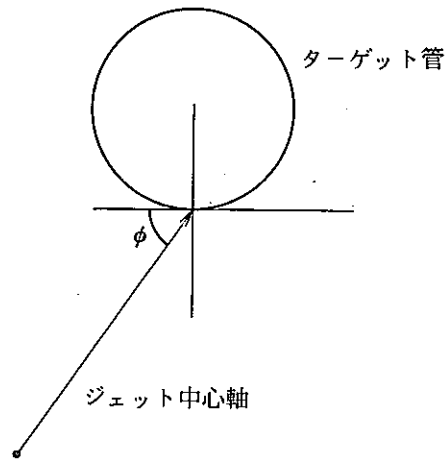


Fig. 3.7 ジェット衝突角度 ϕ

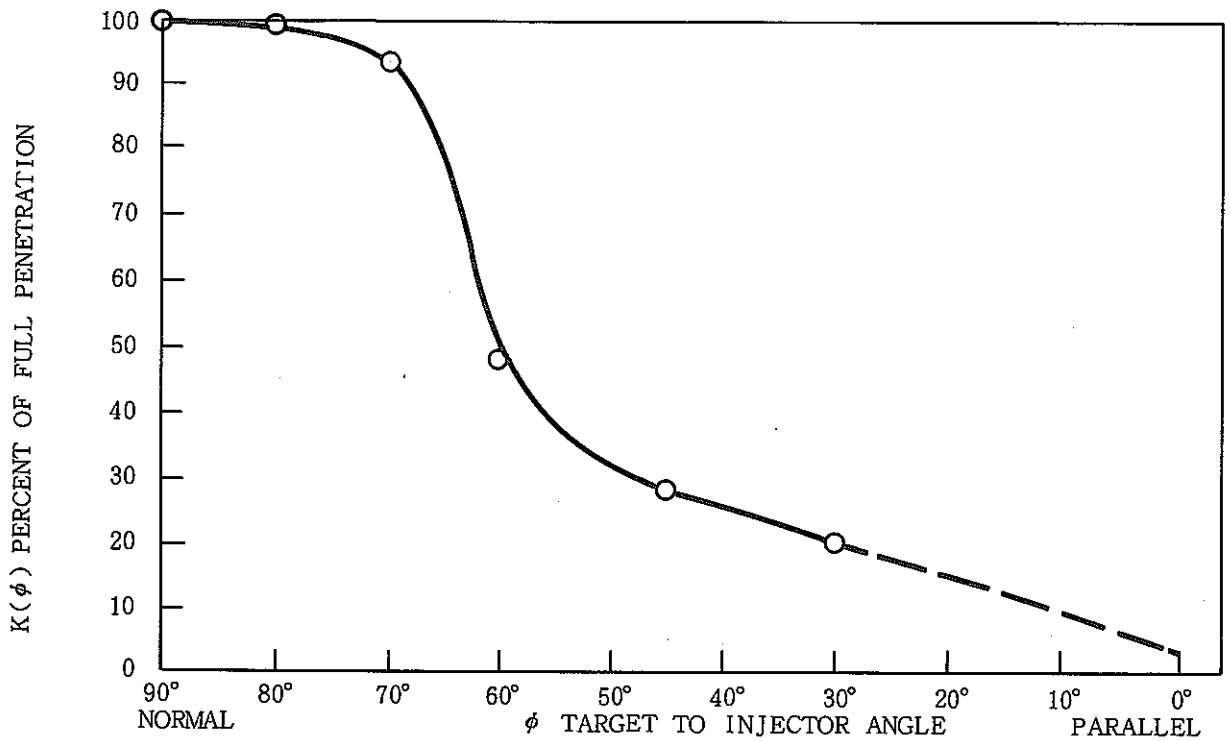


Fig. 3.8 ジェット衝突角度を考慮した補正係数

オーステナイト・ステンレス鋼に対しては、上記式で

$$A = \begin{cases} 0.11 \exp\left(-\frac{1,720}{T_{Na}}\right) \\ 387 \exp\left(-\frac{1,720}{T_{Na}}\right) \end{cases} \quad (3-14)$$

としている。

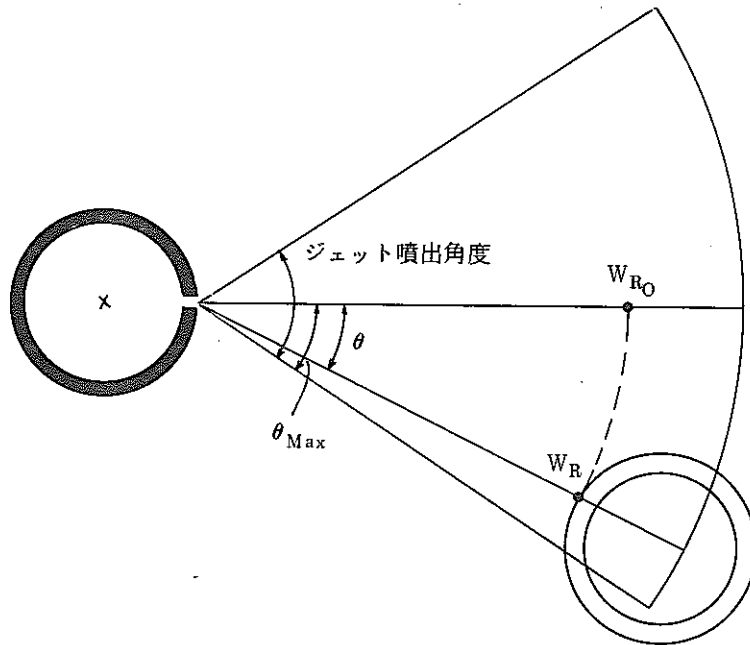


Fig. 3.9 ジェット中心からのズレによる補正

(2) ジェット中心からのズレに対する補正

この中・大リーク域では、小リーク域のようなジェットの伝熱管に対する衝突角度の影響は顕著ではない。しかし、噴出角度が大きいため、ジェット中心からズレている領域に対しては、ジェット中心近傍でのウェステージ率に減衰係数を掛けたものを与えてやる必要がある。この補正係数は、実験データを基に次のように定義される。

$$W_R = \left(1 - \frac{\theta}{\theta_{Max}}\right)^2 W_{R0} \quad (3-15)$$

- 但し、
- W_R : ズレ角度を考慮したウェステージ率
 - W_{R0} : ジェット中心でのウェステージ率 式(3-13)
 - θ : ジェット中心よりのズレ
 - θ_{Max} : 3.2.1 で与えたジェット噴出角度

3.3.3 遷移域

水リーク規模に応じて2つの式を使い分けているが、この境界となるリーク率は入力データとして与えられる。通常は、このリーク率は10 g/sec とするのが望ましい。

上述した2式の値は、そのままでは境界リーク率のところで一致しない。従って、両者を連続的につなげるために下記の方法を用いた。

$$W_R = (1 - f) W_{RS} + f \cdot W_{RL} \quad (3-16)$$

但し、
$$f = \frac{\log \left(\frac{2G}{G_0} \right)}{\log 4}$$

- ここで、
 G_0 境界リーク率 (通常 10 g/sec)
 G 水リーク率 但し、 $G_0/2 \leq G < 2G_0$
 W_{RS} 上記Gを(3-12)式に代入して得られる値
 W_{RL} 上記Gを(3-15)式に代入して得られる値

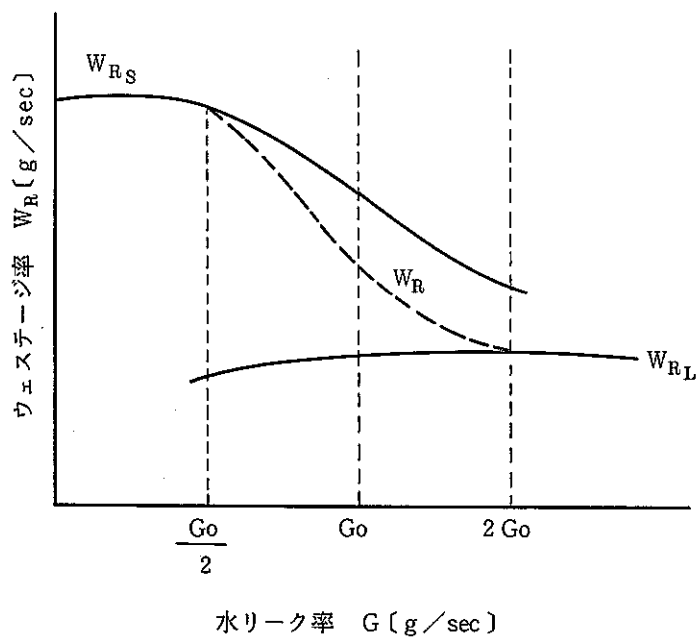


Fig. 3.10 遷移域でのスムージング

3.4 ターゲット管の貫通 (PENET)

貫通孔径および貫通肉厚の計算方法は、次の2種類のうちいずれかをインプットで指定する。

3.4.1 貫通孔径を損耗を及ぼしたリーク孔孔径の関数として表わす方法

ナトリウム-水反応試験によって得られたデータを基に、貫通孔径を対応するリーク孔孔径の関数として表わす方法として、更に次の2通りの方法がある。⁵⁾

(1) ピット型ウェステージの場合

ウェステージが進行して貫通した場合の破損孔径は、ピット型貫通孔径の式を用いる。すなわち、

$$D_2 = 4.5 D_1^{.25} \quad [\text{mm } \phi] \quad (3-17)$$

但し、 D_2 は、1 DEG (両端ギロチン破損) 相当以上の値はとらない。ここで、

D_1 : 損耗を及ぼしたリークの孔径 [mm ϕ]

D_2 : 貫通したリーク孔径 [mm ϕ]

(2) トロイダル状

Fig. 3.11 に示すようにリーク孔径 D_1 、リーク孔からターゲット管までの距離 L とで決まる

$$D_{tr} = 1.8 D_1^{.5} \cdot L^{.5} \quad (3-18)$$

なる直径を持つ円が、1本の伝熱管表面に完全に投影されるとき、ターゲット管に貫通するリーク孔径は、

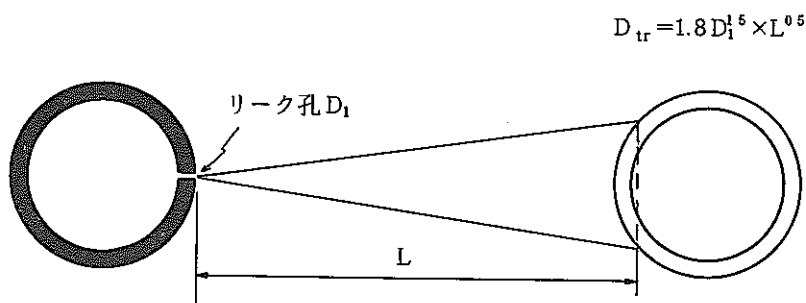


Fig. 3.11 トロイダル状ウェステージの開孔孔径

$$D_2 = D_{tr}$$

として与えられる。しかし、投影された円の一部でも伝熱管表面からはずれる場合には、(1)のピット型の計算式を適用する。

(1), (2)のいずれの場合も、貫通肉厚は入力データとして与える。

3.4.2 ウェステージ断面曲線を正規分布で近似し、内圧で破損するものとする計算法
以下の式で計算する。⁷⁾

$$r_R = \frac{1}{2b} - \sqrt{\frac{1}{4b^2} - \left(\frac{x}{a}\right)^2} \quad (3-19)$$

但し、 r_R : 貫通孔半径 (mm)

$$b = \frac{P}{2\tau\delta} \times 10^{-2}$$

P : ターゲット管内圧力 (kg/cm²)

τ : 伝熱管材料引張強さ (kg/mm²)

δ : 伝熱管肉厚 (mm)

$$\frac{x}{a} = (0.64 G^{-0.53})^{-1} = 1.563 G^{0.53}$$

$$\left(\begin{array}{ll} G : \text{リーク率} & (\text{g/sec}) \\ x : \text{リーク・ターゲット間距離} & (\text{mm}) \\ a : \text{実験定数} & (-) \end{array} \right)$$

伝熱管材料引張強さ τ は、インプットで指定する。

貫通肉厚は、次式で計算する。

$$h_R = (P/2\tau) \cdot r_R \times 10^{-2} \quad (3-20)$$

但し、 h_R : 貫通肉厚 (mm)

P : ターゲット管内圧力 (kg/cm²)

τ : 伝熱管材料引張強さ (kg/mm²)

r_R : 貫通孔半径 (mm)

3.5 リーク孔の自己拡大 (セルフ・ウェステージ) (ENLARG)

3.5.1 自己拡大発生条件

リーク孔の自己拡大 (セルフ・ウェステージ) の発生の有無を、次式によって判定する。

$$\left\{ \begin{array}{l} L_0/D_0 > A_1 \text{ のとき, 自己拡大が発生する。} \\ L_0/D_0 \leq A_1 \text{ のとき, 自己拡大は発生しない。} \end{array} \right.$$

但し、 L_0 : 初期リーク孔の深さ (mm)

D_0 : 初期リーク孔径 (mm)

A_1 : 実験定数 (-)

A_1 は、インプットで指定する。

3.5.2 自己拡大完了時間

伝熱管材料により、下記の2種類を使用する。

(1) $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼の場合

$$W_R = \begin{cases} 4.38 \times 10^{32} \text{ G} \cdot \exp\left(-\frac{5.8 \times 10^4}{T_{\text{Na}}}\right) & T_{\text{Na}} \geq 733 \text{ K} \\ 1.37 \text{ G} \cdot \exp\left(-\frac{3139}{T_{\text{Na}}}\right) & T_{\text{Na}} < 733 \text{ K} \end{cases} \quad (3-21)$$

(2) オーステナイト・ステンレス鋼の場合

$$W_R = 0.119 \text{ G}^{1.19} \quad (3-22)$$

3.5.3 拡大倍率

リーク率増大係数 K は、 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼及びオーステナイト・ステンレス鋼について、次式のように与えられる。

$$K = 1.59 \text{ G}^{-1.24} \quad (3-23)$$

但し、 $K < 1$ となる場合は、 $K = 1$ とする。

3.6 リーク検出時間 (LDETTM)

ナトリウム中水素計などのように、リーク検出時間が水リーク率に依存しているものについては、あらかじめ入力データとしてリーク率とリーク検出時間との関係を与えておき、水リーク率総合計が変化するとリーク検出予定時刻を更新する。但し、新しいリーク率での検出予定時刻が、前のリーク率での検出予定時刻より遅れる場合は、更新は行なわない。すなわち、

$$\begin{cases} T + t < T_1 \text{ のとき、リーク検出予定時刻を } T + t \text{ に変更する。} \\ T + t \geq T_1 \text{ のとき、リーク検出予定時刻は変更しない。} \end{cases}$$

但し、 T : 現在時刻

t : 現在時刻におけるリーク率に対する検出所要時間

T_1 : 前回の更新の結果としてのリーク検出予定時刻

3.7 カバーガス圧力計算 (GLFC)

前節で述べたリーク検出計のほかにも、カバーガス圧力計や圧力開放板によるリーク検出法があるが、これらの方法によるリーク検出時間を決めるためには、発生する水素ガスとガス系配管を通じて流出するカバーガス/水素ガスとを考慮した圧力計算を行なわなければならない。

以下にその計算法を説明する。

3.7.1 計算上の仮定

- 1) 対象となる体系は，集中定数系として扱う。
- 2) ガス空間の質量保存則のみを扱う。
 - ・ 流出ガス量は，入力データで与える C_V 値より（定常）ガス流量式で求める。
 - ・ ガス温度は，入力データで与え，一定値とする。
 - ・ 流出ガスは，初期に存在するアルゴンガスと Na - 水反応により発生した水素ガスの均質混合とする。
- 3) Na - 水反応は，瞬時反応とし，入力データで与える実効的（Na 中に溶け込む水素ガスも考慮した，カバーガス圧上昇に寄与する実効的なモル転換比の意味）な水素/水モル転換比に従って水素ガスが発生するとする。
- 4) Na の液面変動は扱わない。すなわち，ガス空間容積（入力データ）は一定とする。
- 5) 状態式は，理想気体の等温変化とする。
- 6) ダンプタンクの容量は十分大きく，圧力は初期一定とする。

3.7.2 計算モデルと計算法

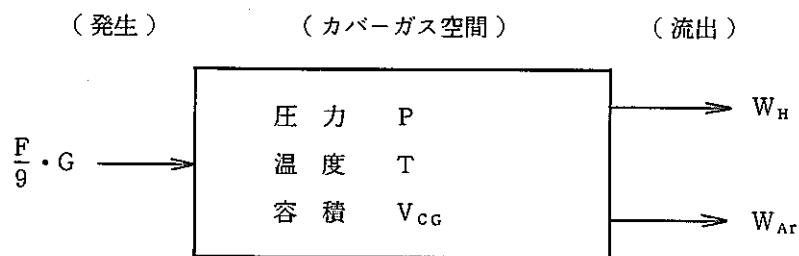


Fig. 3.12 カバーガス圧計算のモデル

ガス空間に於る質量保存則は，

$$\frac{dM_{H_2}}{dt} = \frac{F}{9} \cdot G - W_H \quad (3-24)$$

$$\frac{dM_{Ar}}{dt} = -W_{Ar} \quad (3-25)$$

流出ガス流量は，

$$W = \frac{\bar{\gamma}_N}{3600} \cdot \left\{ 307 \cdot C_V \sqrt{\frac{(P - P_D) \cdot (P + P_D)}{\bar{\gamma}_N \cdot T}} \right\} \quad (3-26)$$

$$W_H = \left\{ \frac{M_{H_2}}{M_{H_2} + M_{Ar}} \right\} \cdot W \quad (3-27)$$

$$W_{Ar} = \left\{ \frac{M_{Ar}}{M_{H_2} + M_{Ar}} \right\} \cdot W \quad (3-28)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{\gamma}_N &= (2 a_H + 40 a_A) / 22.4 \\ a_H &= n_H / (n_H + n_A), \quad n_H = M_{H_2} / 2 \\ a_A &= n_A / (n_H + n_A), \quad n_A = M_{Ar} / 40 \end{aligned} \right\} \quad (3-29)$$

状態式は,

$$P = \frac{M_{H_2} \cdot R_{H_2} + M_{Ar} \cdot R_{Ar}}{V_{CG}} \cdot T \times 10^{-4} \quad (3-30)$$

(3-24), (3-25) の連立微分方程式は, Runge Kutta 法で解かれる。

以上で,

M_{H_2}	: C/G 中の水素ガス重量	[kg]
M_{Ar}	: C/G 中のアルゴンガス重量	[kg]
F	: H ₂ /H ₂ O モル転換比	[-]
G	: 水リーク率	[kg/sec]
W	: 混合重量流量	[kg/sec]
W_H	: 水素ガス流出流量	[kg/sec]
W_{Ar}	: アルゴンガス流出流量	[kg/sec]
P	: C/G 圧力	[kg/cm ² a]
P	: ダンプ・タンク圧力	[kg/cm ² a]
T	: C/G 絶対温度	[K]
$\bar{\gamma}_N$: 標準状態比重量	[kg/m ³]
V_{CG}	: C/G 空間容積	[m ³]
R_{H_2}	: 水素ガス気体定数	= 420.57
R_{Ar}	: アルゴンガス気体定数	= 21.22

以上のカバーガス圧計算は, LEAP の計算タイム・ステップ (DT) とは独立したタイム・ステップ (DTGAS) で計算する。

すなわち, LEAP のタイム・ステップは, 後述するようにリーク率の変化時刻を基準にし

てコントロールされるので、その間はカバーガス圧計算のみ独立して計算が行なわれる。

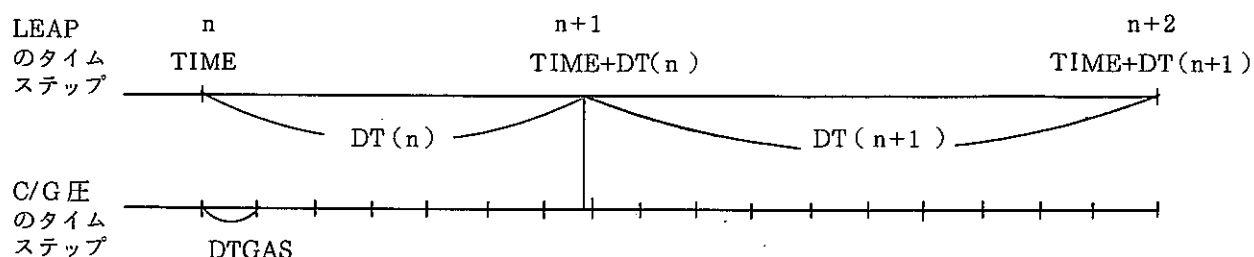


Fig. 3.13 タイムステップの与え方

もし、カバーガス圧計算で圧力がリーク検出圧（圧力計又はラプチャ・ディスク破裂）に達した場合は、その時刻で計算を打ち切り、LEAPに計算を戻す。LEAPは、タイム・ステップをその検出時刻までに切換えて計算を進める。

このコントロールは、LEAPのサブルーチンSTPI NTで行なわれる。これを次頁のFig. 3.13に図示する。図中IFLは、圧力が検出圧に達した(=0)か、否($\neq 0$)を示すコントロール・フラッグである。

3.8 タイム・ステップ・コントロール (DTCONT)

ここでの働きは、計算結果に影響を与えない範囲で、計算時間を最小とするようなタイム・ステップを選ぶ事である。

LEAPコードで計算を行っている項目は、1) セルフ・ウェステージ、2) ターゲット・ウェステージ、3) 検出特性の3つである。この3項目の現象/項目は、リーク率（水/蒸気の状態）、ナトリウムの状態が決まれば一義的に決まる。

換言すれば、ブローが開始する以前の時間領域では、ある時刻より自己拡大でリーク孔が広がるか、ターゲット・ウェステージでターゲット管に孔が開くまでの間のタイム・ステップを細かくとる必要はない。

従って、ある時刻より、自己拡大時間、あるいはターゲット管貫通時間までを一つのタイム・ステップとすればよい。

ブロー開始後は、刻々と水/ナトリウムの状態が変化するため、この変化に追従できるタイム・ステップとする必要がある。

このタイム・ステップは、従来通り入力データで指定する。ただし、この入力データで与えるタイム・ステップ内で、自己拡大、ターゲット管貫通が生じる場合は、その最初の自己拡大またはターゲット管貫通の時刻までをタイムステップとする。

具体的方法を、次に示す。

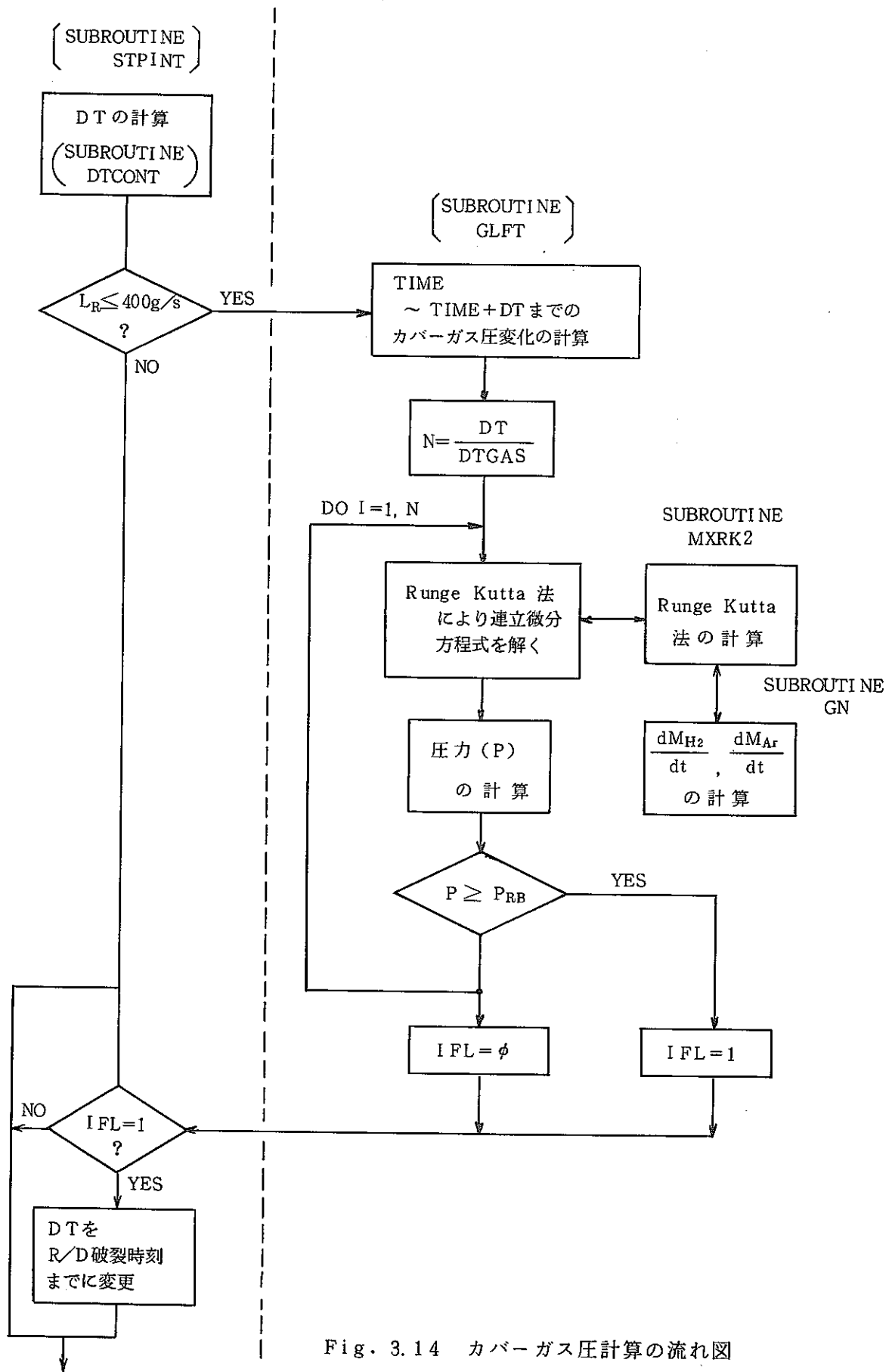


Fig. 3.14 カバーガス圧計算の流れ図

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ブロー開始以前は, 次式で決定する。} \\ DT = \text{Min} \{ DT1, DT2, DT3 \} \\ \text{ブロー開始後は, 次式で決定する。} \end{array} \right. \quad (3-31)$$

$$DT = \text{Min} \{ DT1, DT2, DTin \} \quad (3-32)$$

ここで, DT : 計算に実際に使われるタイム・ステップ

DT1 : 自己拡大に要する時間

DT2 : ターゲット管貫通に要する時間

DT3 : ブロー開始までの時間

DTin : 入力データとして与えるタイム・ステップ

DT1, DT2, DT3 は, 以下のように計算する。

$$DT1 = \text{Min} \left[\frac{TUBT - T_6}{TUBT / \Delta Ts} \right] \quad \text{全リーク点について} \quad (3-33)$$

TUBT : 管肉厚 [mm]

T_6 : その時刻でのセルフ・ウェステージ進行深さ [mm]

ΔTs : セルフ・ウェステージ完了時間 [sec]

$$DT2 = \text{Min} \left[\frac{T_8 - t_H}{W_R} \right] \quad \text{全ターゲット点について} \quad (3-34)$$

T_8 : ターゲット点の残存肉厚 [mm]

W_R : ウェステージ率 [mm/sec]

t_H : 貫通肉厚 [mm]

$$DT3 = \text{Min} \left[\frac{W_{TB} - T_w}{Gt}, (T_{det} + Top) - T \right] \quad (3-35)$$

W_{TB} : CG 圧力計検出又は RD 破裂に必要な
トータル・リーク量 [g]

T_w : その時刻までのトータル・リーク量 [g]

Gt : その時刻の総リーク率 [g/sec]

T_{det} : H₂ 計での検出予定時刻 [sec]

Top : オペレーション時間 [sec]

T : その時刻 [sec]

4. プログラムの構成

4.1 概 要

本プログラムの主な特徴を示す。

- (1) 使用言語は、IBM FORTRAN IVである。
- (2) 1回のランで複数ケースの計算が可能である。
- (3) リスタート機能を有する。
- (4) プログラムのステップ数は、約2,500である。
- (5) 必要記憶容量は、約980 kBである。
- (6) 計算時間は、計算条件にも依存するが、給水ブロー終了までがFACOM/M200で平均130秒である。

4.2 プログラムの構成

本プログラムは、主プログラムと49のサブルーチンから構成されている。それらのルーチン間の流れと各ルーチンの主な働きをFig. 4.1に示す。

4.3 サブルーチンの機能

主プログラムのフローチャートをFig. 4.2に示す。また、主要サブルーチン(CASINT, STEPGO, DTCONT, DAMAGE, SWGPRC, TWGPRC, INTFR及びTARDEC)のフローチャートを、それぞれFig. 4.3～4.10に示す。

4.4 プログラムの主要変数

本プログラムで用いている主な変数の内容、単位、配列の大きさについてTable 4.1に示す。

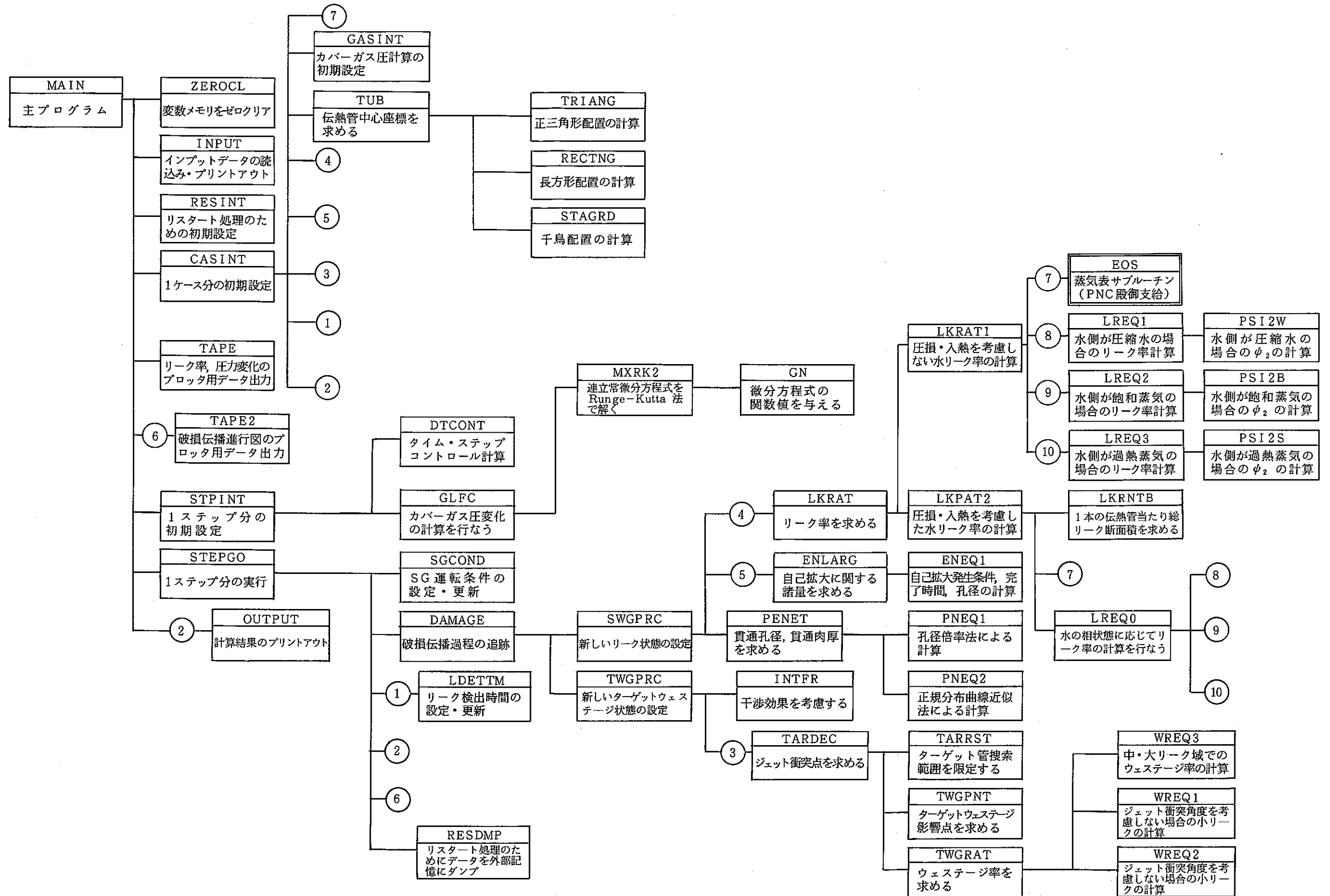


Fig. 4.1 LEAPの構成とサブプログラムの機能

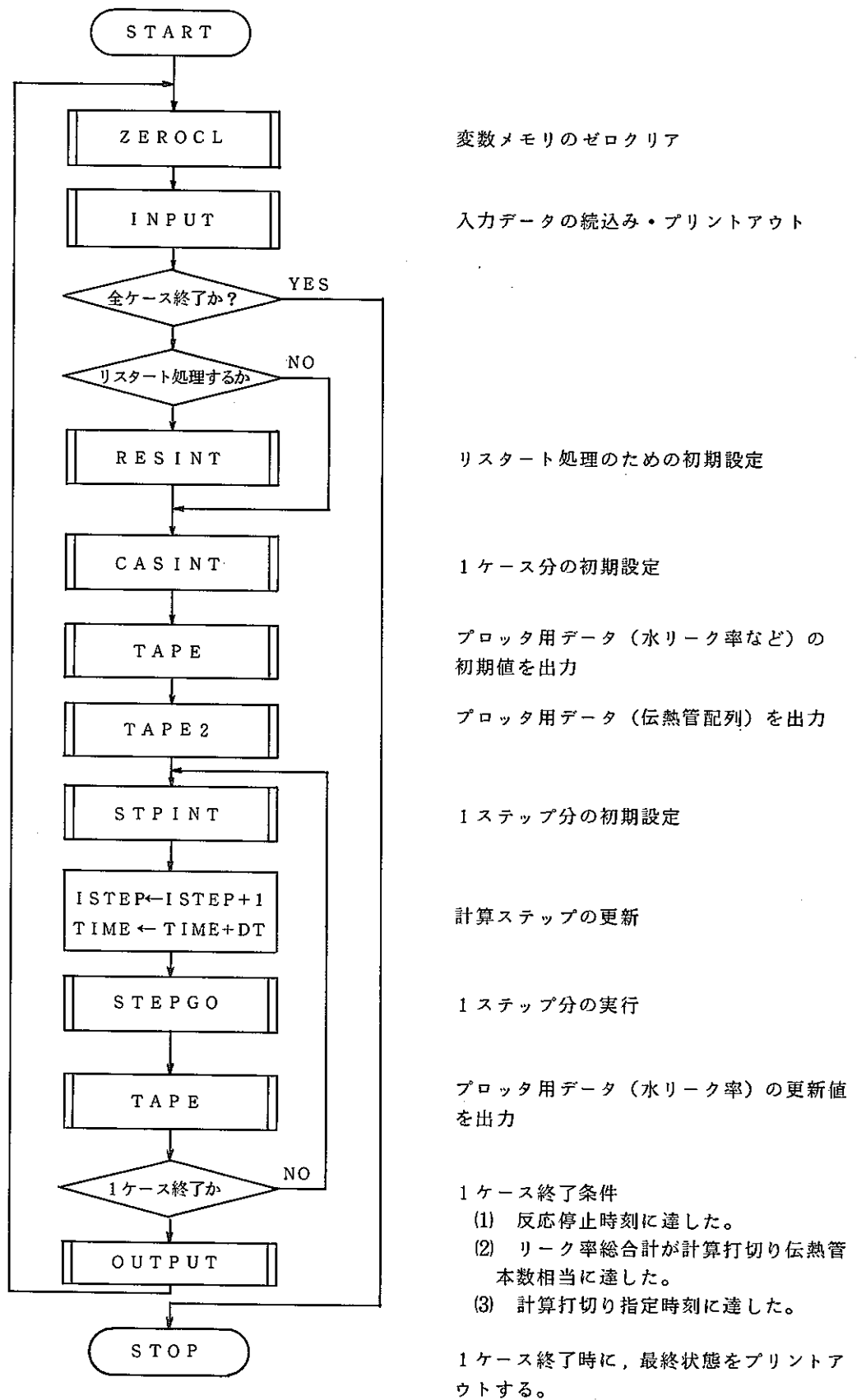


Fig. 4.2 Flow Chart of MAIN

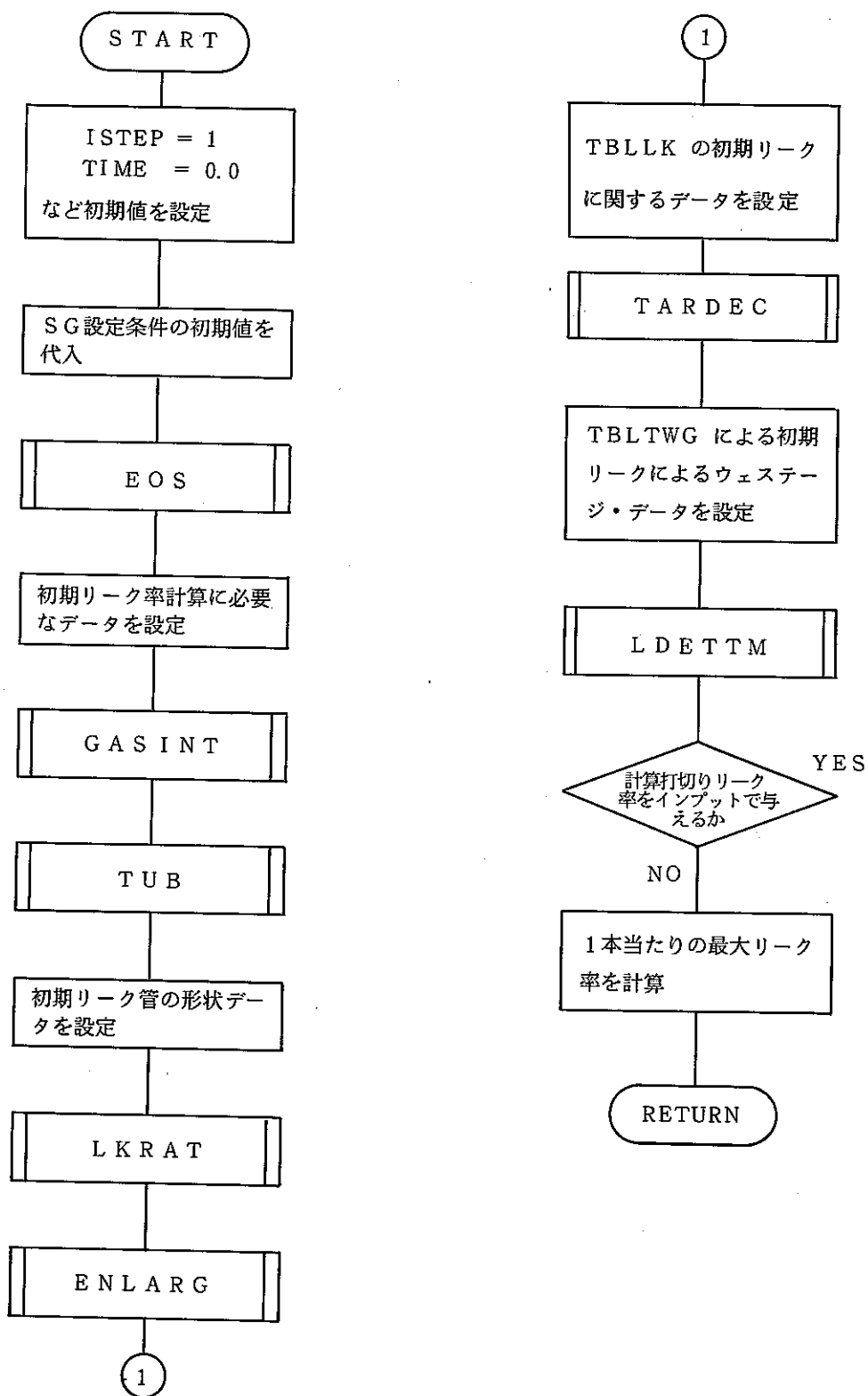


Fig. 4.3 Flow Chart of CASINT

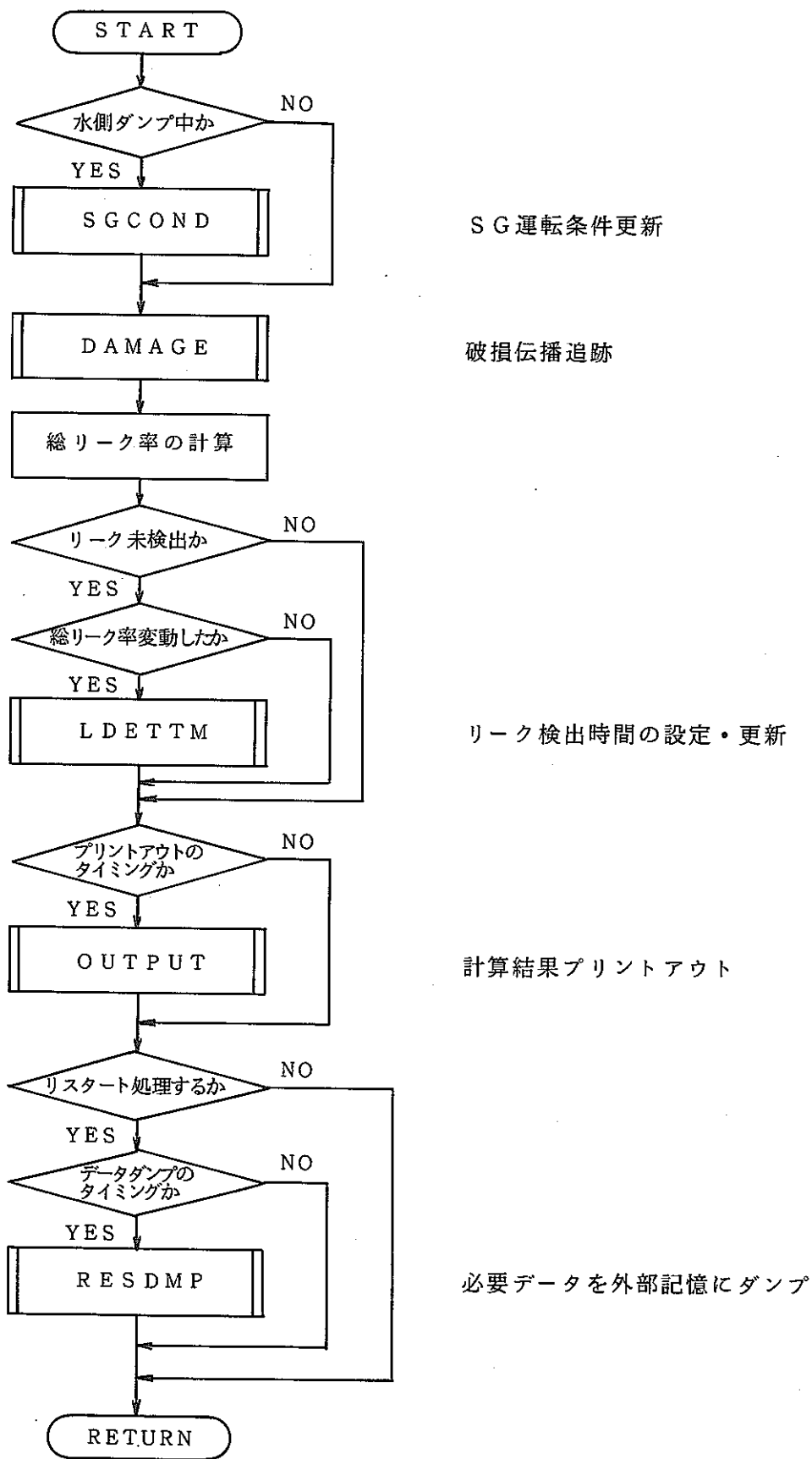


Fig. 4.4 Flow Chart of STEPGO

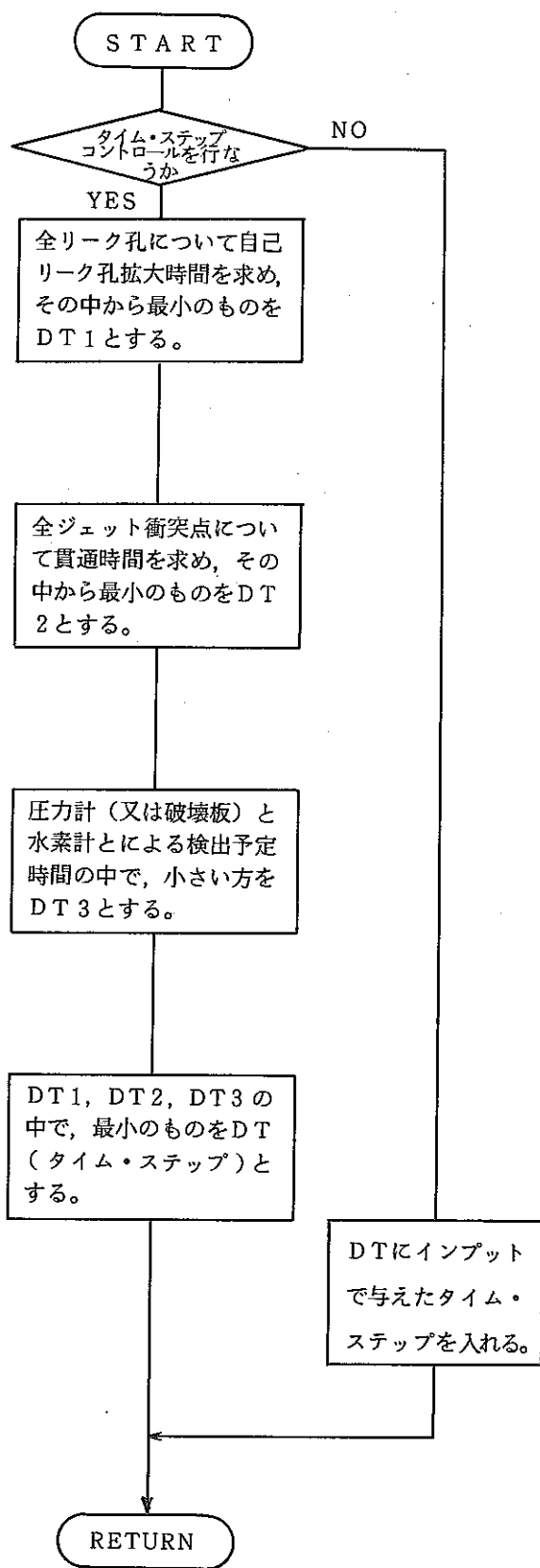
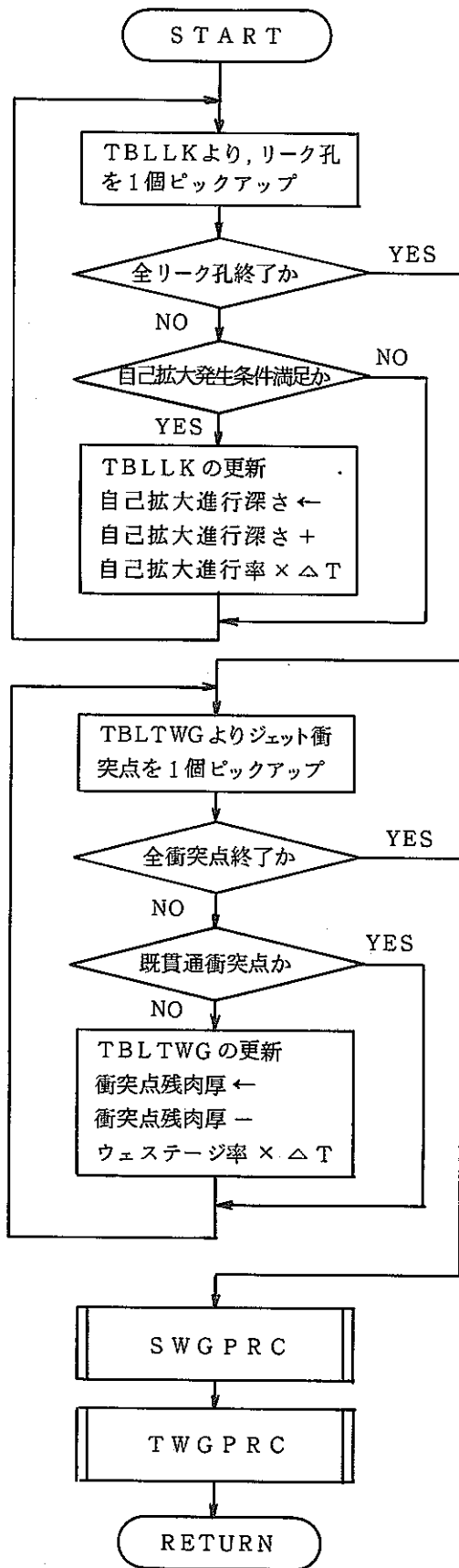


Fig. 4.5 Flow Chart of DTCONT



TBLLK……リーク状態テーブル

$$\text{自己拡大進行率} = \frac{\text{伝熱管肉厚}}{\text{自己拡大完了時間}}$$

ΔT = 単位計算ステップ当りの時間

TBLTWG……ターゲットウェステージ状態
テーブル

新しいリーク状態の設定

新しいターゲットウェステージ状態の設定

Fig. 4.6 Flow Chart of DAMAGE

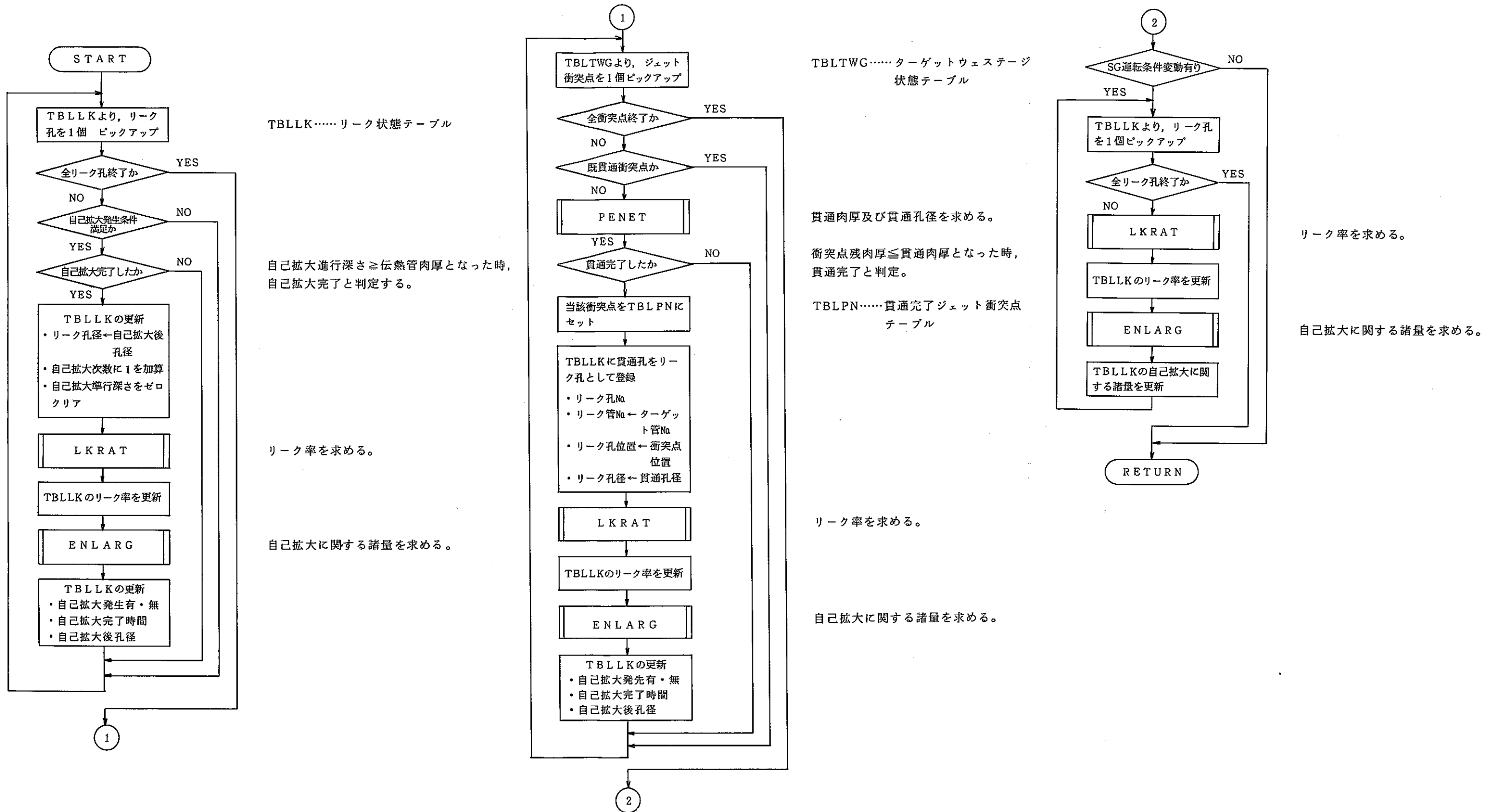


Fig. 4.7 Flow Chart SWGPRC

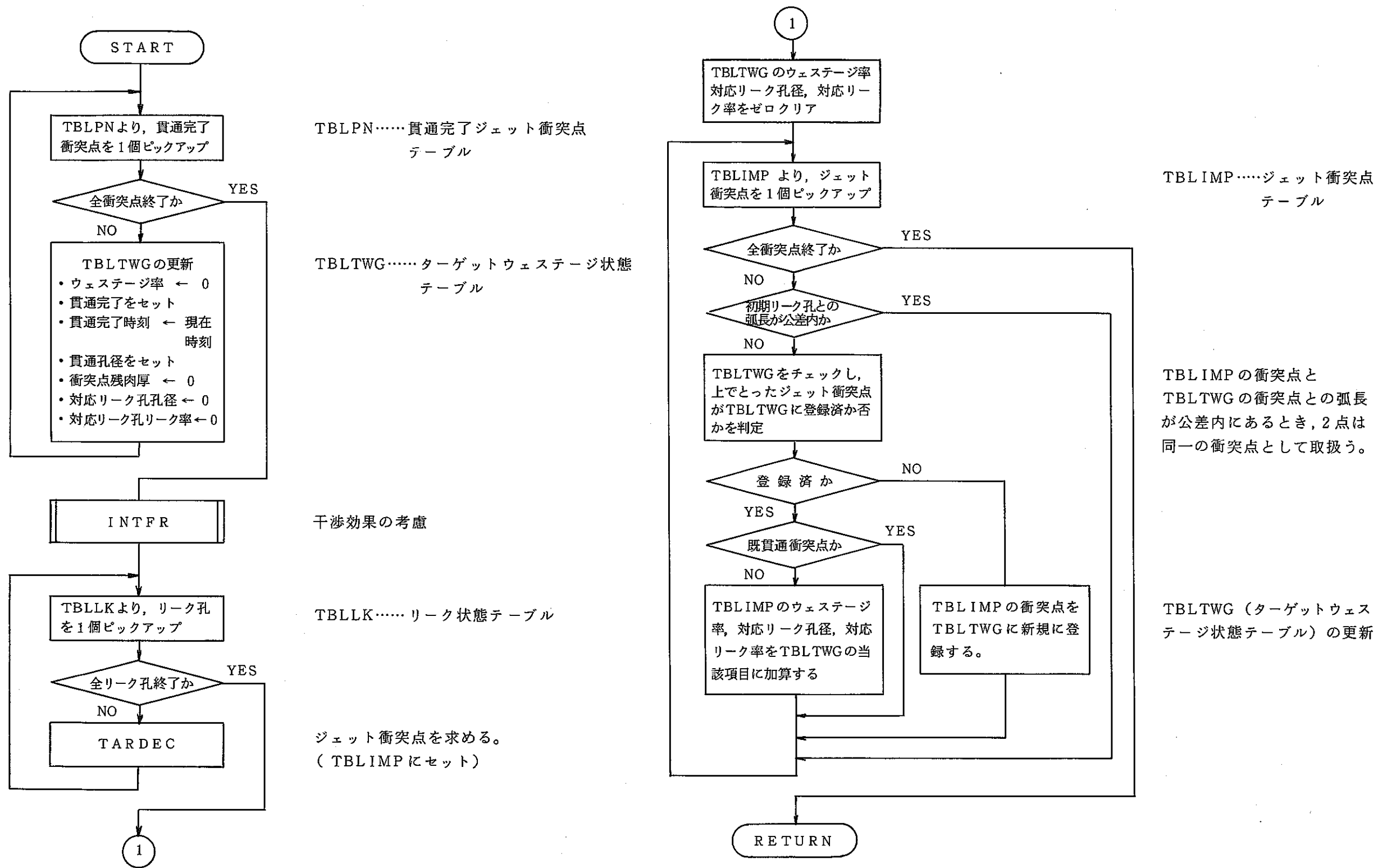
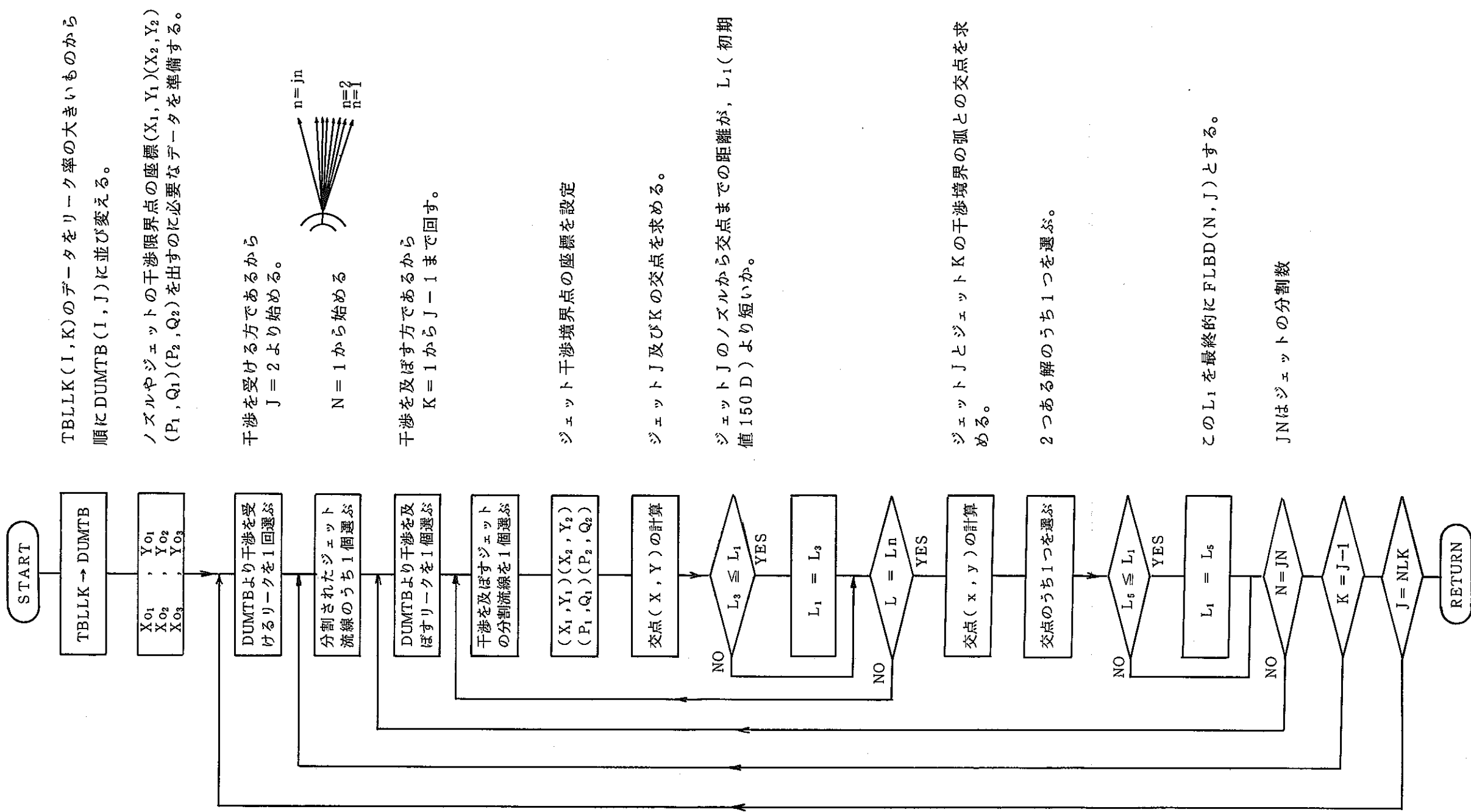


Fig. 4.8 Flow Chart of TWGPRC



TBLLK(I, K)のデータをリーク率の大きいものから順にDUMTB(I, J)に並び変える。

ノズルやジェットの干渉限界点の座標(X1, Y1)(X2, Y2)(P1, Q1)(P2, Q2)を出すのに必要なデータを準備する。

干渉を受ける方であるから
J = 2より始める。



N = 1から始める

干渉を及ぼす方であるから
K = 1からJ-1まで回す。

ジェット干渉境界点の座標を設定

ジェットJ及びKの交点を求める。

ジェットJのノズルから交点までの距離が、L1(初期値 150 D)より短い。

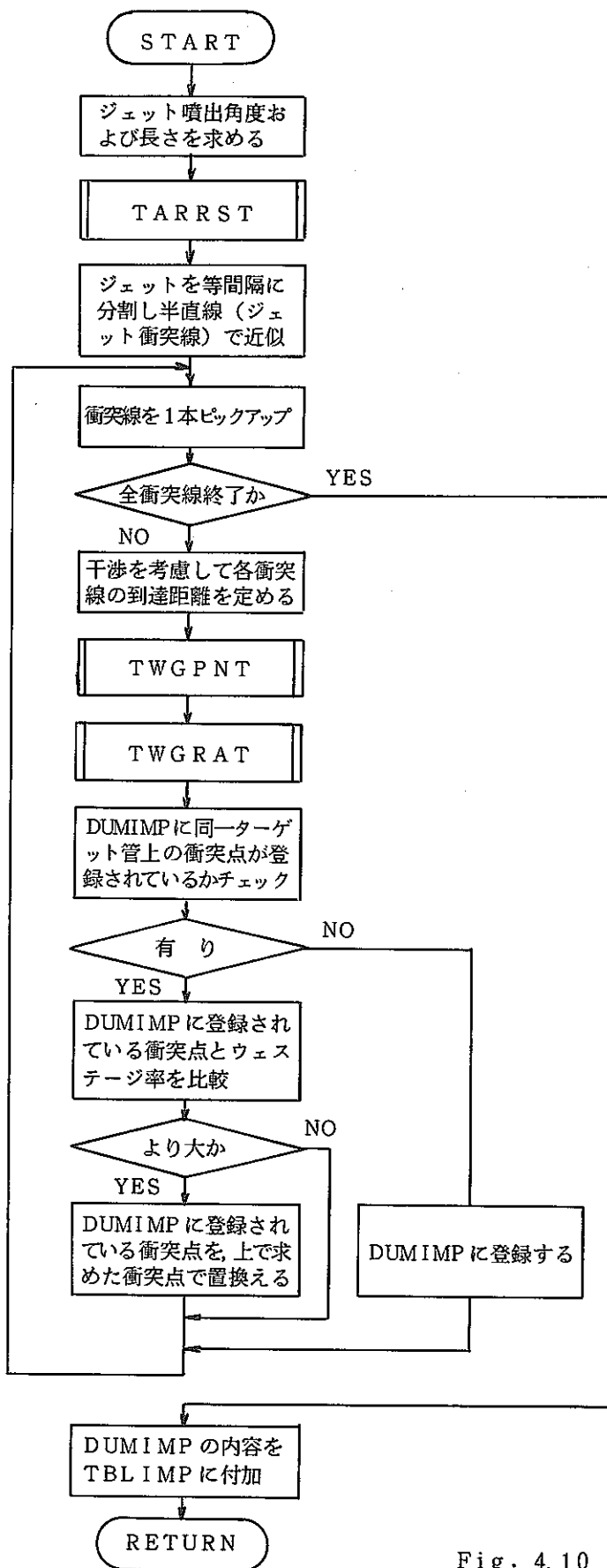
ジェットJとジェットKの干渉境界の弧との交点を求める。

2つある解のうち1つを選ぶ。

このL1を最終的にFLBD(N, J)とする。

JNはジェットの分割数

Fig. 4.9 Flow Chart of INTFR



ターゲット管の検索範囲を限定

ターゲットウェステージの影響点を求める。
 上で求めたジェット衝突点における当該ジェットによるウェステージ率を求める。
 DUMIMP……本プログラムの内部でのみ使用するテーブル

ターゲットウェステージ影響点中水リーク率が最大となる点をジェット衝突点としてDUMIMPに登録

Fig. 4.10 Flow Chart of TARDEC

Table 4.1 主要変数リスト

変数	内容	単位	配列の大きさ
ICASE	計算ケースNo	—	
ISTEP	現時間ステップ	—	
TIME	現在時刻	sec	
ENDTM	反応停止時刻	sec	
IDSG	SG運転状態	—	
	$\left\{ \begin{array}{l} \text{リーク未検出時} = 1 \\ \text{オペレータ操作中} = 2 \\ \text{水ダンプ中} = 3 \end{array} \right.$		
SGCON	SG運転条件		(8)
	① 給水入口ヘッド圧力	kg/cm ²	
	② 給水入口ヘッド・エンタルピ	kcal/kg	
	③ Na側圧力	kg/cm ²	
	④ Na側温度	℃	
	⑤ 給水入口ヘッドの相状	—	
	⑥ 給水出口ヘッド圧力	kg/cm ²	
	⑦ 給水出口ヘッド・エンタルピ	kcal/kg	
	⑧ 給水出口ヘッドの相状	—	
TOTLR	リーク率の総合計	g/sec	
DETTM	リーク検出(予定)時刻	sec	
DMP TM	水側ダンプ開始時刻	sec	
PRTNXT	次プリントアウト時刻	sec	
DMPNXT	次メモリダンプ(外部記憶へ)時刻	sec	

Table 4.1 主要変数リスト (続き)

変数	内容	単位	配列の大きさ
TBLLK	リーク状態テーブル		(11, MLK)
	① リーク孔No	—	
	② リーク管No	—	
	③ リーク孔位置 (リーク孔と当該リーク管中心とを結ぶ直線とx軸とのなす角度)	°	
	④ リーク孔径	mm	
	⑤ リーク率	g/sec	
	⑥ 自己拡大進行深さ	mm	
	⑦ 自己拡大次数	—	
	⑧ 自己拡大発生有・無 { 有 = 1 無 = 0	—	
	⑨ 自己拡大完了時間	sec	
	⑩ 自己拡大孔径	mm	
	⑪ ジェット噴出角度		
NLK	TBLLKの現在登録リーク孔数	—	
MLK	TBLLKの最大登録可能リーク孔数	—	
TBLTWG	ターゲットウェステージ状態テーブル		(11, MTWG)
	① ジェット衝突点No	—	
	② ターゲット管No	—	
	③ 衝突点位置 (衝突点と当該ターゲット管中心とを結ぶ直線とx軸とのなす角度)	°	
	④ ウェステージ率	mm/sec	
	⑤ 貫通の完了・未完了 { 完了 = 1 未了 = 0	—	
	⑥ 貫通完了時刻	sec	
	⑦ 貫通孔径	mm	
	⑧ 衝突点残肉厚	mm	
	⑨ 対応リーク孔の孔径	mm	
	⑩ 対応リーク孔のリーク率	g/sec	
	⑪ 対応リーク孔のリーク孔No	—	
NTWG	TBLTWGの現在登録衝突点数	—	
NTWG	TBLTWGの最大登録可能衝突点数	—	

Table 4.1 主要変数リスト (続き)

変 数	内 容	単 位	配列の大きさ
TBLIMP	サブルーチンTARDECで求めたジェット衝突点のテーブル ① ターゲット管No. ② 衝突点位置 (衝突点と当該ターゲット管中心とを結ぶ直線とx軸とのなす角度) ③ ウェステージ率 ④ 対応リーク孔の孔径 ⑤ 対応リーク孔のリーク率 ⑥ 対応リーク孔のリーク孔No.	— ° mm/sec mm g/sec	(1, MIMP)
NIMP	TBLIMPの現在登録衝突点数	—	
MIMP	TBLIMPの最大登録可能衝突点数	—	
MTUB	対象伝熱管最大登録可能本数 (伝熱管テーブル: TBLTUBに, 登録可能な伝熱管本数)	—	
TBLTAR	ターゲット管の候補となる伝熱管の番号テーブル	—	(1, MTAR)
NTAR	TBLTARの現在登録伝熱管本数	—	
MTAR	TBLTARの最大登録可能伝熱管本数	—	
TBLPN	貫通完了ジェット衝突点テーブル ① TBLTWGにおける当該衝突点のNo. ② 貫通孔径	— mm	(2, MPN)
NPN	TBLPNの現在登録衝突点数	—	
MPN	TBLPNの最大登録可能衝突点数	—	
IDSGC	SG運転条件の変動有・無 { 有 = 1 無 = 0	—	

5. プログラムの入出力

5.1 プログラムの入出力

入力データの一覧を、Table 5.1, Table 5.2 に示す。

入力データは、タイトルデータ、整数データ、実数データに大別される。

タイトルデータ、整数データ、実数データの一般的説明を以下に示す。

- (1) タイトルカードは、1枚のカードで、下に示す形式で記入する。

タイトル (20 A 4)

- (2) 整数データは、下に示す形式で記入する。

空 き (A 4, 6 X)	番 地 (I 5)	データ個数 (I 5)	整数データ (5 I 10)
--------------------	--------------	----------------	----------------

- (3) 整数データ終了後、1カラム目から * IDEND と打ったカードを付加する。

- (4) 実数データは、下に示す形式で記入する。

空 き (A 4, 6 X)	番 地 (I 5)	データ個数 (I 5)	整数データ (5 E10 * 4)
--------------------	--------------	----------------	-------------------

- (5) 実数データ終了後、1カラム目から * RDENT と打ったカードを付加する。

- (6) 複数ケースの計算を行なう場合は、Fig. 5.1 に示すようにしてカードをセットする。

第2ケース以降のデータは、変化させたい変数についてのみ入力すればよい。

- (7) 入力データ終了後、1カラム目から * DEND と打ったカードを付加する。

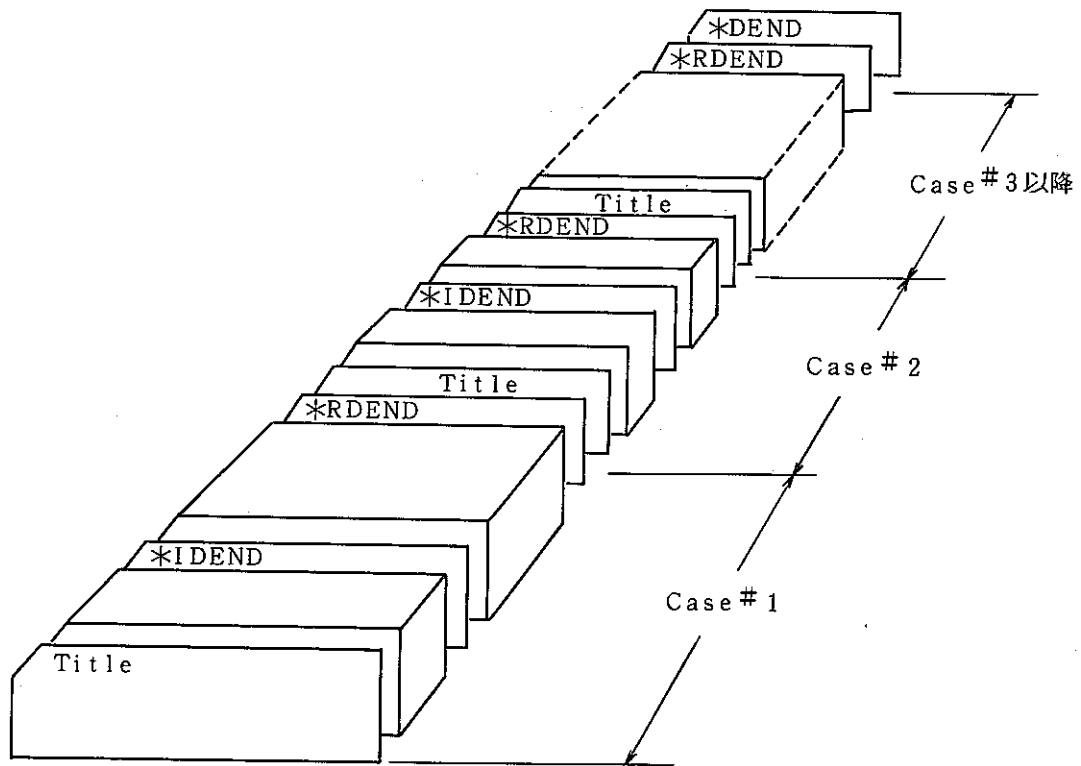


Fig. 5.1 Input Card Deck

Table 5.1 整数入力データ

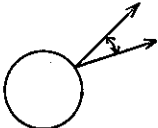
番地	変数	内 容	単 位	備 考
1	IDTUB	伝熱管配置 { 非定型配置 = 1 { 正三角型配置 = 2 { 長方形配置 = 3 { 千鳥配置 = 4	—	
2	NTUB	対象伝熱管本数	—	IDTUB = 1 の時のみ要 $1 \leq NTUB \leq 2000$
3	IDTMFL	伝熱管材料 { Cr-Mo材 = 1 { SUS材 = 2	—	
4	IDSPLR	計算打ち切りリーク率の設定方法 { インプットで指定 = 1 { 計算機内部で計算 = 0	—	
5	IDSPTM	計算打ち切り時刻指定の有・無 { 有 = 1 { 無 = 0	—	
6	IDRES	リスタート処理の有・無 { 有 = 1 { 無 = 0	—	
7	IDPRT	計算結果プリントアウトのタイミング { 等時間間隔 = 1 { 総リーク率変動時 = 2 { 貫通発生時 = 3	—	
8	NSGW	水側状態量SWG(I, J)を与える際 のJの変化点数	—	$1 \leq NSGW \leq 100$
9	NSGS	Na側状態量SGS(I, J)を与える 際のJの変化点数	—	$1 \leq NSGS \leq 100$
10	NLDTM	リーク検出時間XLDTM(I, J)を 与える際のJの変化点数	—	$1 \leq NLDTM \leq 100$
11	IDANGJ	ジェット噴出角度の設定方法 { 噴出角度一定 = 0 { リーク率の関数 = 1	—	
12	NANGJ	ジェット噴出角度ANGJ(I, J)を 与える際のJの変化点数	—	IDANGJ = 0 の時のみ要

Table 5.1 整数入力データ (続き)

番地	変数	内 容	単 位	備 考
13	IDWREQ	ウェステージ率計算方法 ジェット衝突角度を $\left\{ \begin{array}{l} \text{考慮しない} = 1 \\ \text{考慮する} = 2 \end{array} \right.$	—	
14	IDPNEQ	貫通孔径計算方法 $\left\{ \begin{array}{l} \text{リーク孔径の関数} = 1 \\ \text{正規分布曲線近似} = 2 \end{array} \right.$	—	
15	NJET	ジェット噴出角度の等分割数	—	
16	INTLR	大リーク領域でのウェステージ作用無視 $\left\{ \begin{array}{l} \text{無視しない} = 1 \\ \text{総リーク率が一定値以上で無視} = 2 \\ \text{1本当りのリーク率が} \quad \quad = 3 \end{array} \right.$	—	
17	IPRTSP	ウェステージ点の計算結果を $\left\{ \begin{array}{l} = 0 \text{ プリントアウトする。} \\ = 1 \text{ プリントアウトしない。} \end{array} \right.$	—	
18	IFRIC	水リーク率計算で圧損, 入熱を $\left\{ \begin{array}{l} = 0 \text{ 考慮しない。} \\ = 1 \text{ 考慮する。} \end{array} \right.$	—	
19	IDTCON	タイム・ステップ幅を $\left\{ \begin{array}{l} = 0 \text{ 入力値 (DTINP) 一定とする。} \\ = 1 \text{ コントロールする。} \end{array} \right.$	—	
20	TDGAS	カバーガス圧変化の計算を $\left\{ \begin{array}{l} = 0 \text{ しない。} \\ = 1 \text{ する。} \end{array} \right.$	—	
21	ILP	カバーガス圧変化の計算結果のプリントアウト $\left\{ \begin{array}{l} = 0 \text{ プリントアウトしない。} \\ = N \text{ Nステップ毎にプリントアウトする。} \end{array} \right.$	—	DTGAS(Real Data # 6309) ×N時間毎のプリントとなる。

Table 5.2 実数入力データ

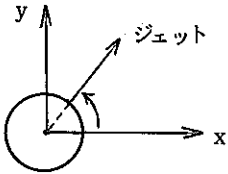
番地	変数	内 容	単 位	備 考
1	XINTD	初期リーク孔径	mm	X軸正方向に対する ジェット中心軸の角 度 
2	XINTA	初期リーク噴出方向	°	
3	OPTM	オペレータ操作時間	sec	
4	WDTM	水側ダンプ時間	sec	
5	TUBD	伝熱管外径	mm	
6	TUBT	伝熱管肉厚	mm	
7	SPLR	計算打切りリーク率	g/sec	IDSPLR = 1 の時のみ要。
8	SPTM	計算打切り時刻	sec	IDSPTM = 1 の時のみ要。
9	RESTM	リスタート開始希望時刻	sec	IDRES = 1 の時のみ要。
10	DT	単位計算ステップ当りの時間	sec	
11	DTPRT	計算結果プリントアウト時間間隔	sec	IDPRT = 1 の時のみ要。
12	DTDMP	データを外部記憶にダンプする時間間隔	sec	IDRES = 1 の時のみ要。
13	PSI	オリフィス係数	-	
14	XKAPPA	過熱蒸気の断熱指数	-	
16	A1	自己拡大発生条件計算式の定数 A ₁	-	
17	BLRW	小規模水リーク率と中規模水リーク率のウェステージ計算式の境界を与える水リーク率	g/sec	
24	TAUC	伝熱管材料 (Cr-Mo) の引張り強さ	kg/mm ²	IDTMTL = 1 かつ, IDPNEQ = 2 の時のみ要。

Table 5.2 実数入力データ (続き)

番地	変数	内 容	単 位	備 考
25	TAUS	伝熱管材料 (SUS) の引張り強さ	kg/mm ²	IDTMTL = 2 かつ, IDPNEQ = 2 の時のみ要。
26	PENETT	貫通肉厚	mm	IDPNEQ = 1 の時のみ要。
27	TOLRNS	ジェット衝突点決定時の公差	°	伝熱管上の2つのジェット衝突点について、それらを結ぶ弧長が角度TOLRNSに相当する弧長以内である時、2つの衝突点として取扱う。
28	XJLNG	ジェット長を制限するL/D値	-	L/D ≥ XJLNGの範囲では、ウェステージ率は0とみなす。
伝熱管配置が正三角形配置の時のパラメータ (IDTUB = 2 の時のみ要。)				
1000	TP	ピッチ	mm	
1001	TD	境界 (円) の直径	mm	
伝熱管配置が長方形配置の時のパラメータ (IDTUB = 3 の時のみ要。)				
1002	RPX	x 軸方向のピッチ	mm	
1003	RPY	y 軸方向のピッチ	mm	
1004	RDX	境界 (長方形) の x 軸方向長さ	mm	
1005	RDY	境界 (長方形) の y 軸方向長さ	mm	
伝熱管配置が千鳥配置の時のパラメータ (IDTUB = 4 の時のみ要。)				
1006	SPX	x 軸方向のピッチ	mm	
1007	SPY	y 軸方向のピッチ	mm	
1008	SDX	境界 (長方形) の x 軸方向長さ	mm	
1009	SDY	境界 (長方形) の y 軸方向長さ	mm	
伝熱管配置が非定形配置の時のインプットデータ (IDTUB = 1 の時のみ要。)				
1100	TBLTUB(I,J)	伝熱管中心座標 $\left\{ \begin{array}{l} \text{TBLTUB}(1, J) = x \text{ 座標} \\ \text{TBLTUB}(2, J) = y \text{ 座標} \end{array} \right.$	mm mm	$I \leq J \leq \text{NTUB}$ J = 1 は初期リーク管とすること。

Table 5.2 実数入力データ (続き)

番地	変数	内 容	単 位	備 考
S G 運転条件に関する入力データ				
5100	SGW(I,J)	水側の状態量の時間変化 SGW (1, J)=ダンプ開始後経過時間 SGW (2, J)=入口ヘッド圧力 SGW (3, J)=入口ヘッドエンタルピ SGW (4, J)=出口ヘッド圧力 SGW (5, J)=出口ヘッドエンタルピ	sec kg/cm ² a kcal/kg kg/cm ² a kcal/kg	1 ≤ J ≤ NSGW SGW (1, 1) = 0.0, SGW (1, NSGW) ≥ WDTM (ダンプ時 間) とすること。 iFRiC (ID18) = 0 の場合は SGW (4, J) と SGW (5, J) はダミー
5600	SGS(I,J)	Na 側の状態量の時間変化 SGS (1, J)=水側ダンプ開始後経過時 間 SGS (2, J)=圧力 SGS (3, J)=温度	sec kg/cm ² ℃	1 ≤ J ≤ NSGS SGS (1, 1) = 0.0, SGS (1, NSGS) ≥ WDTM (ダンプ時 間) とすること。
リーク検出時間に関する入力データ				
5900	XLDTM(I,J)	リーク率に対するリーク検出時間 XLDTM (1, J)=リーク率 XLDTM (2, J)=リーク率 が, XLDTM (1, J) 以上, XLDTM (1, J+1)未満の 場合のリーク検出時間	g/sec sec	1 ≤ J ≤ NLDTM XLDTM (1, 1)未満 のリーク率に対して は, XLDTM (2, 1) とみなす。 XLDTM (1, NLDT M)より大なるリーク 率に対しては, 検出 時間を XLDTM (2, NLDTM) とみなす。
ジェット噴出角度に関する入力データ				
6100	ANGJ(I,J)	リーク率に対するジェット噴出角度 ANGJ (1, J) = リーク率 ANGJ (2, J) = 噴出角度	g/sec °	1 ≤ J ≤ NANGJ IDANGJ=0の時AN GJ (1, 2)に噴出角度 をセットする。 ANGJ (1, 1)=0.0と する。

Table 5.2 実数入力データ (続き)

番地	変数	内 容	単 位	備 考
6300	WDTM9	水側圧力が8[atg]になるダンプ時間	sec	ANGJ(1, NANGJ)
6301	PINTLR	ウェステージ作用を無視とする大リーク域の下限リーク率	g/sec	より大なるリーク率に対しては噴出角度をANGJ(2, NANGJ)とみなす。
6302	WTBLOW	ブローを開始するためのトータル・リーク率	g	CHGLEK(Real Data #6304)以上のリーク率になると積算開始する。
6303	DLMX	破損口径の上限値	mm	
6304	CHGLEK	トータル・リーク量の積算下限リーク率	g/sec	
6305	RAMDA	伝熱管の摩擦損失係数	-	
6306	RLIN	入口ヘッダ〜リーク位置長さ	m	
6307	RLOUT	出口ヘッダ〜リーク位置長さ	m	
6308	HBREAK	リーク位置の初期エンタルピー	kcal/kg	
6309	DTGAS	カバーガス圧変化計算のタイムステップ	sec	
6310	RATEH2	H ₂ /H ₂ Oモル転換比	-	
6311	TGAS	カバーガス絶対温度	K	
6312	PCG0	カバーガス初期圧力	kg/cm ² a	
6313	VCG	カバーガス空間容積	m ³	
6314	PRDBST	カバーガス圧による検出圧力値	kg/cm ² a	圧力計検出圧又はRD破裂圧
6315	CV	カバーガスに接続されるガス系ラインの等価CV値	-	
6316	PDMPT	ダンプ・タンク圧力	kg/cm ² a	
6317	WGMAX	1本の伝熱管よりの水リーク率上限値	g/sec	

5.2 プログラムの出力

出力は、サブプログラム INPUT と OUTPUT とにより行なわれる。出力される内容を以下に示す。

(1) サブプログラム INPUT

入力データをカード・イメージのままプリントアウトする。

(2) サブプログラム OUTPUT

計算ケースの開始時に、伝熱管配置、対象伝熱管配置、伝熱管材料等及び、伝熱管の中心座標をプリントアウトする。

また、指定されたタイミングで、破損伝播の進行状況を、プリントアウトする。

サブルーチン OUTPUT による出力データのフォーマットを Fig. 5.2 に示す。

また、計算結果は、リスト出力のほか図形処理された形でも見る事ができる。但し、この図形処理プログラムは、LEAPコードとは別個の独立したもので、LEAPコードは、図形処理に必要なデータをダンプする機能を有しているのみである。従って、図形処理法についての詳細説明は除き、APPENDIXに1例を載せるに止める。

```

*****
*
*   SG TUBE DAMAGE PROPAGATION
*
*   TUBE          NUMBER OF   MATERIAL OF   O.D. OF     THICKNESS OF
*   ARRANGEMENT  TUBES       TUBE         TUBE        TUBE
*   伝熱管配置   伝熱管本数   伝熱管材料   伝熱管外径  伝熱管肉厚
*
*   INITIAL LEAK INITIAL LEAK  TIME FOR     TIME FOR     JET EXTENSION
*   DIAMETER     DIRECTION  OPERATOR ACTION DUMP        ANGLE
*   初期リーク孔径 初期リーク噴出方向 オペレータ操作時間 ダンプ時間   ジェット噴出角度
*
*   I D.E.G.     TIME MESH   WASTAGE      PENETRATION
*   LEAK RATE    単位計算ステップ当り ウェステージ率計算式 貫通孔径計算式
*   計算打ち切りリーク率
*
*****
- TUBE POSITION -
          TUBE NO          X(MM)          Y(MM)
          伝熱管番号      x座標          y座標
*****
***** OUTPUT DATA *****
CASE : ケース番号      STEP : ステップ番号      TIME : 現在時刻      (CPU = SEC) 消費CPU時間
- TIME STEP CONTROL EXECUTION -
          DTMIN1=自己リーク孔拡大      DTMIN2 =ターゲット貫通      DTMIN3=ブロー開始までの
          に要する時間                  に要する時間                  時間
          DTINP =入力値                  DT      =実際に用いる
                                          タイム・ステップ
- SG CONDITION -
WATER SIDE          PRESSURE          SPECIFIC ENTHALPY,          PHASE
                    (KG/CM2)                  (KCAL/KG)                  水側相状
                    入口ヘッダ水側圧力      入口ヘッダ水側比エンタルピー
                    出口ヘッダ水側圧力      出口ヘッダ水側比エンタルピー
SODIUM SIDE         PRESSURE          TEMPERATURE
                    (KG/CM2)                  (DEGREE C.)
                    ナトリウム側圧力      ナトリウム側温度
- LEAK DETECTION SCHEDULE -
          リーク検出(予定)時刻
- NUMBER OF LEAK TUBES -
          リーク管本数      TUBE NO.
                          リーク管の番号
- TOTAL LEAK RATE -
          全リーク率      リーク量の積算値
- STATE OF LEAKAGE -
LEAK      TUBE      POSITION      LEAK DIA.      LEAK RATE      ENLARGEMENT
NO.       NO.       (DEGREE)   (MM)          (G/SEC)        (N-TH)
リーク孔番号 リーク管番号 リーク孔位置 リーク孔径   リーク率      自己拡大次数
- NUMBER OF TARGET TUBES -
          ターゲット管本数      TUBE NO.
                          ターゲット管番号
- STATE OF TARGET WASTAGE -
IMPINGE.  TUBE  POSITION  WASTAGE RATE  PENETRATION  PENET.DIA.  RESIDUAL  THICKNESS
POINT NO. NO.   (DEGREE) (MM/SEC)     貫通完了・未完了 貫通孔径    (MM)      (MM)
ジェット衝突 ターゲッ ジェット衝突点 ウェステージ率   貫通完了・未完了 貫通孔径    残肉厚
点番号       ト管番号 位置
                                          WASTAGE
                                          (MM)
                                          損耗深さ

```

Fig. 5.2 Output Data Format

6. 謝 辞

本プログラムの改造に当って、川崎重工の滝谷紘一氏、三菱原子力の吉岡直樹氏、東芝の大音明洋氏、日立製作所の岡部綾夫氏らに貴重な助言と多大な援助をいただいた。ここに深い感謝の意を表す。

7. 参 考 文 献

- (1) 赤松幹夫, 坂野耿介, 井崎隆「SG伝熱管の破損伝播解析コード開発解析」ZJ 213, 78-07, (1978. 9).
- (2) 田辺裕美, 錦見正和, 山田敏雄, 佐々木和一, 渡辺智夫, 佐藤稔, 「高速増殖炉蒸気発生器伝熱管の中のリーク・ウェステージ破損試験」PNC SN 941 80-27 (1980. 2).
- (3) 田辺裕美, 佐藤稔, 錦見正和, 大後美道, 「蒸気発生器安全性総合試験装置 (SWAT-3) による破損伝播試験 I」PNC SN 941 81-05 (1981. 1).
- (4) 黒羽光男, 井上設生, 大後美道, 佐藤稔「高速炉蒸気発生器伝熱管 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼のリーク孔自己拡大試験」, PNC 941 80-135 (1980. 6)
- (5) Hiromi TANABE, Minoru SATO and Yoshimichi DAIGO, " Experimental Studies on Leak Propagation of Heat Transfer Tube by SWAT-1 and SWAT-3", PNC SN 943 81-03 Jun., 1981.
- (6) Hiromi TANABE, Yoshimichi DAIGO, Osamu MIYAKE, Minoru SATO et al. " Analysis of Leak Propagation for DBL Selection of MONJU Steam Generator ", PNC SN 943 81-02 Jun., 1981.
- (7) D. A. Greene, J. A. Gudahl and P. M. Magee : Recent Experimental Results on Small Leak Behavior and Interpretation for Leak Detection, DOE/PNC Plant Components W/Gr First Joint Steam Generator Seminar Tokyo, Oarai (No. 2. U. S. A. Papers), PNC SAO 13 KWG 78-01, p.10-17, 1978.
- (8) 根井弘道, 氏原幸三朗, 大内義弘, 橋口功, 大島巖, 井上設生, 堀雅夫「小リーク・ナトリウム・水反応試験研究 第4報 蒸気ウェステージと検出計の応答」, SN 941 74-45, p.9~11, 1974.
- (9) F. J. Moody, " Maximum Flow Rate of a Single Component, Two-Phase Mixture ", J. Heat Transfer (ASME), 87 (1965)

APPENDIX

入出力データの例

ここではサンプル・ケースとして、蒸発器下部での初期リーク率 $10 \text{ g} / \text{sec}$ の場合の入力データ、出力リスト、タイム・ヒストリー及び破損伝播進行図の例を示す。


```

*****
*
*   SG TUBE DAMAGE PROPAGATION
*
*   TUBE          NUMBER OF   MATERIAL OF   O.D. OF     THICKNESS OF
*   ARRANGEMENT  TUBES        TUBE         TUBE        TUBE
*   伝熱管配置   伝熱管本数   伝熱管材料   伝熱管外径   伝熱管肉厚
*
*   INITIAL LEAK  INITIAL LEAK  TIME FOR     TIME FOR     JET EXTENSION
*   DIAMETER      DIRECTION    OPERATOR ACTION DUMP        ANGLE
*   初期リーク孔径 初期リーク噴出方向 オペレータ操作時間 ダンプ時間   ジェット噴出角度
*
*   1 D.E.G.      TIME MESH     WASTAGE      PENETRATION
*   LEAK RATE     単位計算ステップ当り ウェステージ率計算式 貫通孔径計算式
*   計算打ち切りリーク率
*
*****
- TUBE POSITION -
          TUBE NO          X(MM)          Y(MM)
          伝熱管番号       x座標         y座標
*****
***** OUTPUT DATA *****
CASE : ケース番号      STEP : ステップ番号      TIME : 現在時刻      (CPU = SEC) 消費CPU時間
- TIME STEP CONTROL EXECUTION -
          DTMIN1=自己リーク孔拡大      DTMIN2=ターゲット貫通      DTMIN3=ブロー開始までの
          に要する時間                  に要する時間                  時間
          DTINP = 入力値                  DT = 実際を用いる
                                          タイム・ステップ
- SG CONDITION -
WATER SIDE          PRESSURE          SPECIFIC ENTHALPY,      PHASE
                    (KG/CM2)                  (KCAL/KG)                水側相状
                    入口ヘッダ水側圧力      入口ヘッダ水側比エンタルピー
                    出口ヘッダ水側圧力      出口ヘッダ水側比エンタルピー
SODIUM SIDE         PRESSURE          TEMPERATURE
                    (KG/CM2)                  (DEGREE C.)
                    ナトリウム側圧力      ナトリウム側温度
- LEAK DETECTION SCHEDULE -
          リーク検出(予定)時刻
- NUMBER OF LEAK TUBES -
          リーク管本数      TUBE NO.
                              リーク管の番号
- TOTAL LEAK RATE -
          全リーク率      リーク量の積算値
- STATE OF LEAKAGE -
LEAK      TUBE      POSITION      LEAK DIA.      LEAK RATE      ENLARGEMENT
NQ        NO.        (DEGREE)    (MM)           (G/SEC)        (N-TH)
リーク孔番号 リーク管番号 リーク孔位置 リーク孔径   リーク率      自己拡大次数
- NUMBER OF TARGET TUBES -
          ターゲット管本数      TUBE NO.
                              ターゲット管番号
- STATE OF TARGET WASTAGE -
IMPINGE.  TUBE  POSITION  WASTAGE RATE  PENETRATION  PENET.DIA.  RESIDUAL  THICKNESS
POINT NO. NO.   (DEGREE) (MM/SEC)     貫通完了・未完了 (MM)        (MM)
ジェット衝突 ターゲッ ジェット衝突点 ウェステージ率   貫通完了・未完了 貫通孔径     残肉厚
点番号       ト管番号 位置
                                          WASTAGE
                                          (MM)
                                          損耗深さ

```

Fig. 5.2 Output Data Format

Table A-2. 出力リストの例

***** O U T P U T D A T A *****

* CASE : 1 STEP : 4 TIME : 63.12 SEC. (CPU = 3 SEC)

- TIME STEP CONTROL EXECUTION -

DTMIN1 = 0.32883E+02 DTMIN2 = 0.16813E+01 DTMIN3 = 0.10000E+11
 DTINP = 0.20000E+01 DT = 0.16913E+01

- SG CONDITION -

WATER SIDE	PRESSURE (KG/CM2)	SPECIFIC ENTHALPY, (KCAL/KG)	PHASE
	154.0000	248.0000	SUBCOOLED WATER
	146.0000	681.0000	SUPER HEATED STEAM
SODIUM SIDE	PRESSURE (KG/CM2)	TEMPERATURE (DEGREE C.)	
	2.0000	469.0000	

- LEAK DETECTION SCHEDULE -

***** SEC

- NUMBER OF LEAK TUBES -

4	TUBE NO.
	1 31 33 39

- TOTAL LEAK RATE -

25456.9414 G/SEC 39.057 KG

- STATE OF LEAKAGE -

LEAK NO.	TUBE NO.	POSITION (DEGREE)	LEAK DIA. (MM)	LEAK RATE (G/SEC)	ENLARGEMENT (N-TH)
1	1	281.0	0.7750	10.0681	0
2	33	75.0	4.7681	446.8735	0
3	31	303.6	31.7065	12500.0000	0
4	39	174.0	35.8000	12500.0000	0

- NUMBER OF TARGET TUBES -

144	TUBE NO.
	1 2 3 4 5 6 7 8 9
	11 12 13 14 15 16 17 18 19
	21 22 23 24 25 26 27 28 29
	31 32 33 34 35 36 37 38 39
	41 42 43 44 45 46 47 48 49
	51 52 53 54 55 56 57 58 59
	61 62 63 64 65 66 67 68 69
	71 72 73 74 75 76 77 78 79
	81 82 83 84 85 86 87 88 89
	91 92 93 94 95 96 97 98 99
	101 102 103 104 105 106 107 108 109
	111 112 113 114 115 116 117 118 119
	121 122 123 124 125 126 127 128 129
	131 132 133 134 135 136 137 138 139
	141 142 143 144

- STATE OF TARGET WASTAGE -

IMPINGE. POINT NO.	TUBE NO.	POSITION (DEGREE)	WASTAGE RATE (MM/SEC)	PENETRATION	PENET.DIA. (MM)	RESIDUAL THICKNESS (MM)	WASTAGE (MM)
1	33	75.0	0.0	FIN.	4.7681	0.0	3.1300
2	34	72.6	0.0004	NOT FIN.	0.0	1.7605	1.3895
3	35	75.4	0.0000	NOT FIN.	0.0	2.4863	0.6437
4	42	123.7	0.0000	NOT FIN.	0.0	2.4777	0.6523
5	41	141.6	0.0	NOT FIN.	0.0	2.4801	0.6499
6	40	124.8	0.0023	NOT FIN.	0.0	1.6930	1.4370
7	47	114.8	0.0006	NOT FIN.	0.0	2.4557	0.6743
8	127	114.4	0.0	NOT FIN.	0.0	3.1193	0.0107
9	139	115.2	0.0	NOT FIN.	0.0	3.1286	0.0014
10	54	141.1	0.0001	NOT FIN.	0.0	2.6202	0.5098
11	114	149.8	0.0000	NOT FIN.	0.0	2.9862	0.1438
12	138	165.4	0.0000	NOT FIN.	0.0	3.1244	0.0256

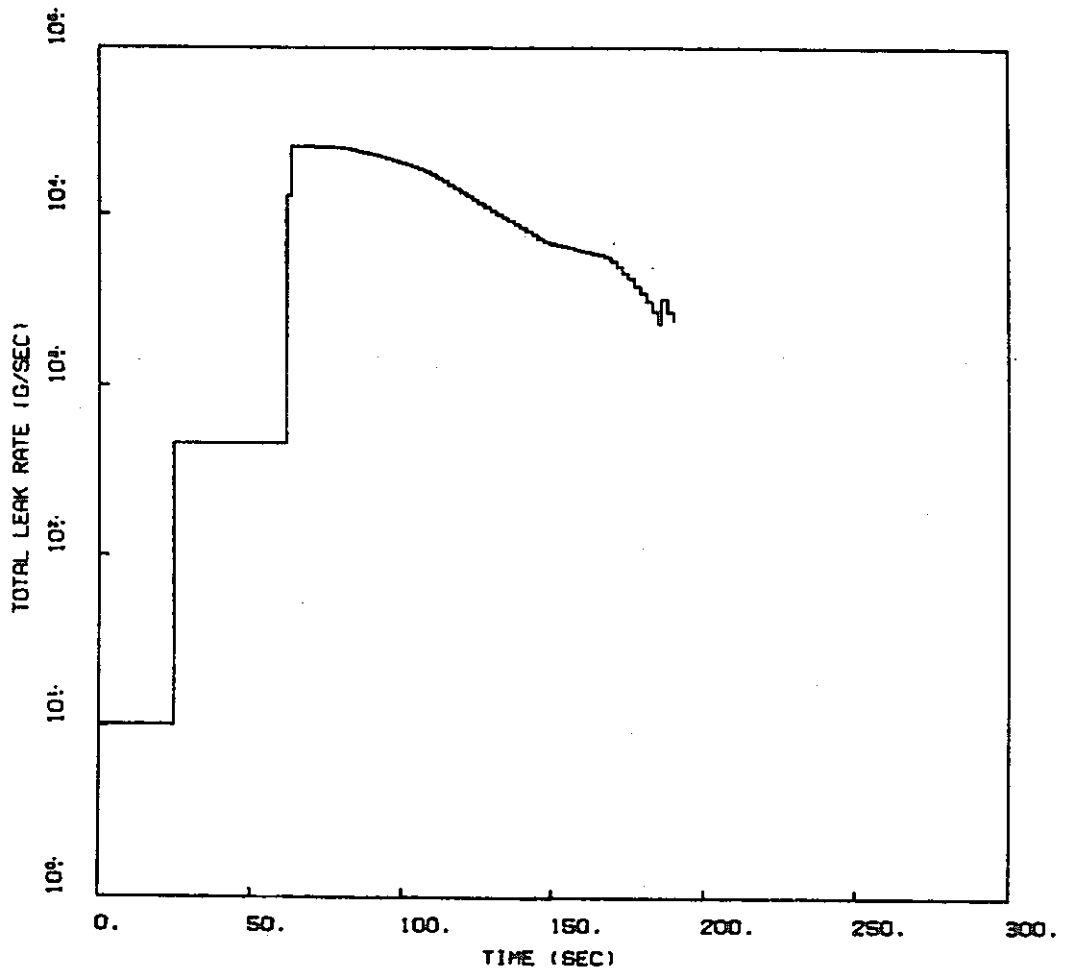


Fig. A-1 An Example of Timing History

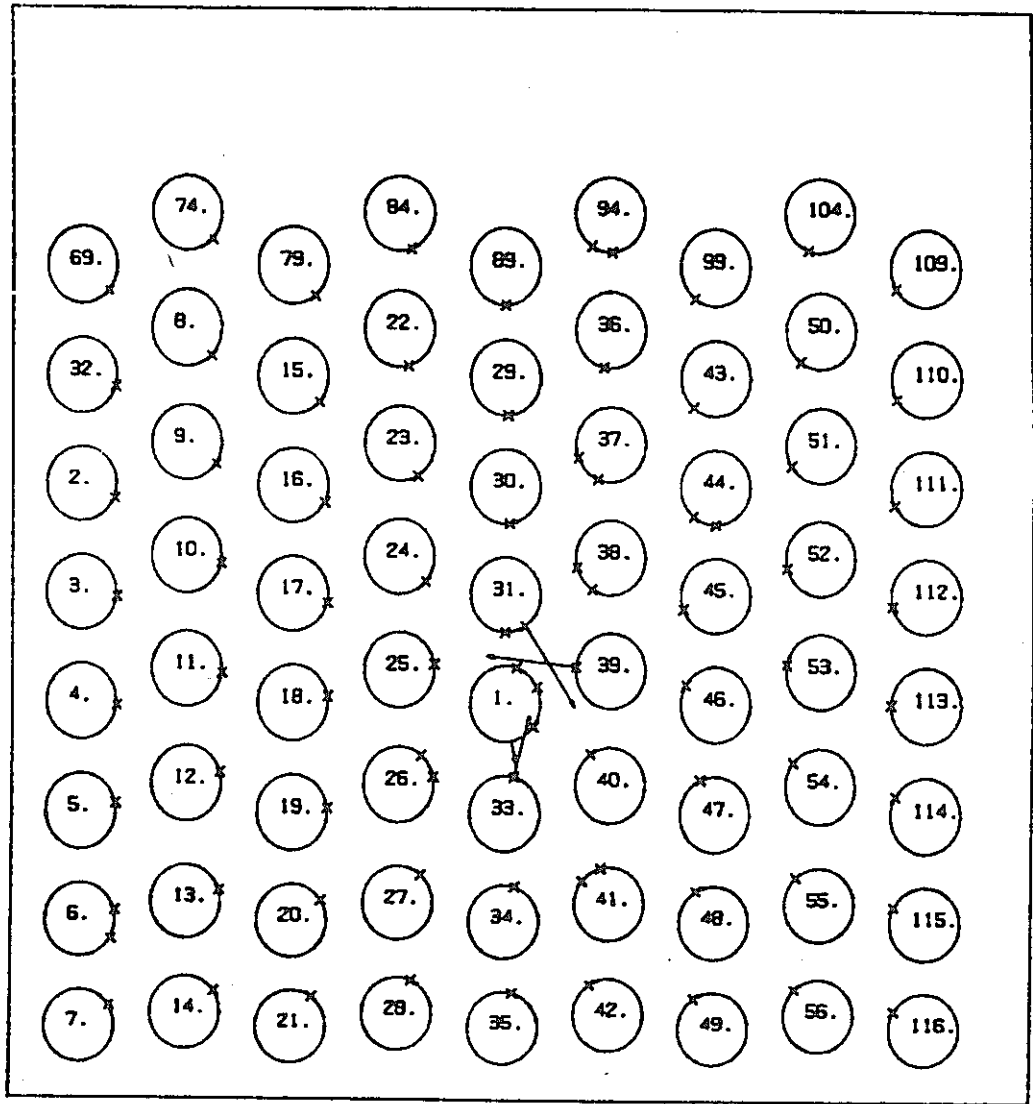


FIG. AN EXAMPLE OF LEAK CALCULATION
TIME = 63.12

WASTAGE RATE (MM/SEC)

- X 0.44-0.005
- + 0.005-0.01
- ◆ 0.01-0.03
- ◇ 0.03-0.05
- ▲ 0.05-0.07
- 0.07-0.1
- 0.1-0.4

LEAK RATE (G/SEC)

- 1. TUBE-1. 10.1
- 2. TUBE-33. 446.9
- 3. TUBE-31. 12500.0
- 4. TUBE-39. 12500.0

TOTAL LEAK RATE (G/SEC)

25457.0

Fig. A-2 An Example of Failure Propagation Process.