

小リーク・ナトリウムー水反応
「セーフティ・マップ」解析コード

SWAC-10-MJ/2の使用マニュアル

1979年12月

三菱原子力工業株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

小リーク・ナトリウム-水反応「セーフティ・マップ」解析コード
 SWAC-10-MJ/2 の使用マニュアル*

渡	辺	**
岸	田	雅
白	滝	子
平	沢	康
		次
		義
		也

要　旨

ナトリウム冷却高速炉の蒸気発生器において、伝熱管小リーク発生時の、リーク検出計-水素濃度計-の検出性能評価は、いわゆる「セーフティ・マップ」でおこなわれる。本報告書は原型炉用「セーフティ・マップ」作成コード SWAC-10-MJ/2 の取扱いマニュアルとして作成されたものである。以下、本コードの特徴を記す。

- (1) 計算対象は高速原型炉「もんじゅ」とする。
- (2) ウェステージ式はリーク点と隣接伝熱管間距離を考慮したPNC実験式を用いている。
- (3) 初期水リーク率とリーク孔拡大比の関係は外部入力で与える。
- (4) 水素濃度計算時にはリーク孔拡大効果が考慮される。
- (5) Na 中(プレナム部)水素濃度のミキシング効果が考慮できる。
- (6) Na スタグナント部(ダウンカマー部)リークに対するカバーガス中検出特性を評価できる。
- (7) Na 部とカバーガス部との間の水素移行効果が考慮できる。
- (8) 検出器の応答計算において、Ni 膜中の水素拡散応答特性が考慮できる。
- (9) 計算可能なリーク率計算点数は、50 点であり約20,000 秒までの計算が可能である。
 (時間きざみ巾 4 sec × 最大計算ステップ数 5,000)

尚、本コードに必要なリージョンサイズは、約470KBであり、計算時間(CPU Time)は、IBM 370/168 で、約0.83 msec/リーク率/ステップである。

* 本報告書は、三菱原子力工業株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

** 三菱原子力工業株式会社 動力炉開発部

User's Manual of Safety Map Code SWAC-10-MJ/2

- Evaluate Detector Capability against
Small Leak Sodium-Water Reaction* -

Osamu Watanabe**, Masako Kishida**
Koji Shirataki**, Yoshiya Hirazawa**

Abstract

Water leak detectors-hydrogen concentration meters are equipped with secondary cooling system of LMFBR to detect small leak of water from heat transfer tube in steam generator.

Leak rate region to be able to detect the water leaks before secondary tube failure is decided by using the concept of so-called "safety map".

Computer code "SWAC-10-MJ/2" provides the safety map for secondary cooling system of proto-type reactor. This paper is written for user's manual of the code. Performance of "SWAC-10-MJ/2" code is as follows;

- (1) Secondary cooling system of proto-type LMFBR is selected for calculation object.
- (2) Wastage rate equations proposed by PNC are accepted.
- (3) The relation between the initial leak rate and the enlargement of the leak hole is enabled to be feeded as an input.
- (4) The enlargement by self wastage is taken into account in calculating the change of hydrogen concentration.
- (5) Effect of mixing of hydrogen in sodium is introduced for plenum regions.
- (6) Detectability of water leak in stagnant sodium (in the down-commer region) by means of hydrogen detectors is enabled to be evaluated.
- (7) Movement of hydrogen between sodium and cover gas is enabled to be evaluated.
- (8) Hydrogen diffusion process in Ni membrance of hydrogen detector is introduced.

* Work performed by Mitsubishi Atomic Power Industries, Inc. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

** Advanced Reactors Engineering Department, Mitsubishi Atomic Power Industries, Inc.

(9) The number of calculating points of leak rate is 50 points,
and the range of calculation time is about 20,000 seconds.
(Time mesh size; 4 seconds and Calculating step; 5,000 steps)

By the way, the region size needed is about 470KB and the computing
time for IBM 370/168 is about 0.83msec/point of leak rate/step.

目 次

1. まえがき	1
2. 計算コード	3
2.1 計算体系	3
2.2 計算モデル	3
2.2.1 セーフティマップ	3
2.2.2 許容損耗時間	5
2.2.3 反応停止時間	5
2.2.3-1 管東部リーク	8
2.2.3-2 スタグナント部リーク	10
2.3 計算式	14
2.3.1 許容損耗時間	14
2.3.2 ナトリウム中及びカバーガス中水素濃度	17
2.3.2-1 管東部リーク	17
2.3.2-2 スタグナント部リーク	26
2.3.3 検出時間	29
2.3.4 反応停止時間	30
2.4 計算コードの構成	31
2.5 インプット形式	40
2.5.1 プログラムモジュールの選択データ	41
2.5.2 管東部リークモジュールインプットデータ	41
2.5.3 スタグナント部リークモジュールインプットデータ	58
2.6 アウトプット	64
2.7 データ作成要領	78
2.8 計算コード使用上の制限条件と注意点	78
3. テスト計算	81
3.1 テスト計算の概要	81

3.2 テスト計算条件	81
3.2.1 テスト計算ケース	81
3.2.2 管東部リーク計算条件	81
3.2.3 スタグナント部リーク計算条件	85
3.3 計算結果	86
3.3.1 ケース-1 蒸発器管東部下部リーク(ナトリウム中水素検出系評価)計算	86
3.3.2 ケース-2 蒸発器管東部下部リーク(カバーガス中水素検出系評価)計算	88
3.3.3 ケース-3 蒸発器ダウンカマード下部リーク計算	88
4. あとがき	98
5. 参考文献	99
6. 付録	101
6.1 付録-1 ; 2次ナトリウム系水素濃度計算式	101
6.2 付録-2 ; インプットデータリスト	107
6.2.1 ケース-1 のインプットデータリスト	107
6.2.2 ケース-2 のインプットデータリスト	108
6.2.3 ケース-3 のインプットデータリスト	109

1. まえがき

ナトリウム冷却高速炉の蒸気発生器（以下 SGと略記する）においてなんらかの原因により伝熱管壁にピンホールが発生し、ナトリウム中への水リーク、いわゆる小リークが生じる場合がある。水リークの近傍では、ナトリウムと水の反応面に生ずる高温・高腐食性反応生成物により、隣接健全伝熱管壁が「ウェステージ」され、放置すれば短時間で侵食されて、二次破損が生じる場合がある。

この破損伝播を防止するためには、小リークを検出して伝熱管内保有水を大気中にブローし、ナトリウムへの水の噴出を止める必要がある。

小リークの検出法として現在実用レベルに達していると目されるものは、水素濃度計を用いるものである。これは、ナトリウムと水の反応生成物の一つである水素によってナトリウム中およびカバーガス中の水素濃度が、通常の運転レベルから異常に上昇するのを検知することで、水リークを知ろうというものである。この検出法は、水リーク点から水素計の設置されている場所への水素の輸送遅れ時間、水素計構造上からくる測定遅れ時間などにより、検出するにある時間が必要である。

さまざまな SG運転条件と水リーク条件とにおいて、水リークが始まつてから検出し、二次破損防止対策を講じてその効果が現われるまでの時間と、ウェステージにより二次破損が生じる時間を比較することにより、二次破損を防止し得る条件領域が明らかとなる。通常、これらは「セーフティ・マップ」と呼ばれる図上で比較される。「セーフティ・マップ」作成用計算コードとして、動燃 50 MW蒸気発生器試験施設（以後 50 MWS GTFと略記する）用に「SWAC-10」コード⁽¹⁾が開発され、原型炉「もんじゅ」設計用として以下に示す改造を加え、「SWAC-10-MJ/1」コード⁽²⁾が作成されて来た。

- (1) 計算対象「もんじゅ」製作準備設計 I の体系とした。
- (2) ウェステージ式はリーク点と隣接ターゲット管間距離を考慮した動燃実験式を用いた。
- (3) 一次破損孔のセルフウェステージによる孔径拡大効果を導入した。
- (4) 通常運転時の初期バックグラウンド濃度は内部計算により求めるようにした。
- (5) リーク率の外部入力化および計算点の増加を行ない、25 点まで計算可能とした。
- (6) ナトリウム中への水素溶解割合、許容損耗肉厚を外部入力で与えるようにした。
- (7) 検出器の Ni 膜中の水素拡散応答特性を取扱えるようにした。

本報告の「SWAC-10-MJ/2」コードは、さらに、50 MWS GTFにおける Na 中水素

注入試験データ⁽³⁾あるいは、G E社等で行われているセルフウェステージ試験データ⁽⁴⁾を反映できるように、また、スタグナント部リーク等これまで扱うことができなかつた領域に対する評価及び種々のモデルの詳細化を計るべく「SWAC-10-MJ/1」コードを改修したものである。

「SWAC-10-MJ/2」コードを改造するにあたり、変更した箇所は次のとおりである。

(1) セルフウェステージの扱い

初期リーク率とリーク孔径拡大比の関係を入力できるようにした。

(2) 自己拡大を考慮した水素濃度変化の扱い

隣接伝熱管損耗量及び水素濃度変化計算において、自己拡大に伴うリーク率変化が考慮されるようにした。

(3) Na 中水素濃度のミキシング効果の扱い

SG出入口プレナム部及びIHX出口プレナム部及び配管内におけるNa中水素のミキシング効果を扱えるようにした。

(4) スタグナント部の扱い

スタグナント部(ダウンカマー部等)で生じた水リークに対し、Na中への溶解、ガス空間部における水素ガス吸収効果を考慮し、カバーガス中検出特性を評価できるようにした。

(5) Na部とカバーガスとの水素移行の扱い

Na部(SG内Na液面近傍)とカバーガス間の水素移動(濃度差に基づく移動)を考慮できるようにした。

(6) 計算可能なリーク率の範囲拡大の扱い

シミュレーション実時間メッシュ巾を可変にして、シミュレーション実時間を従来の2000 sec(時間メッシュ巾; 1 sec固定、ステップ数; 2000)から20000 sec程度(時間メッシュ巾; 4 sec、ステップ数; 5000)まで拡張した。この時の計算時間メッシュ巾は、リーク率に応じて入力できるようにし、また、サーベイ水リーク率の計算点数を現在の25から50に増加した。

(7) ナトリウム中水素溶解割合の関数化の扱い

リーク率と水素溶解割合の関係を関数形で扱えるようにした。

このため、従来のコード使用マニュアルの一部を変更し、コード改造に伴なうテスト計算結果を追加して、使用マニュアルとしたのが本報告である。

2. 計算コード

2.1 計算体系

図2.1に計算体系を示す。2次ナトリウム系は中間熱交換器、ヘリカル伝熱管、有液面型蒸気発生器（過熱器、蒸発器）、主循環ポンプから構成されている。純化系は蒸発器出口側のコールドレグ配管のポンプ入口部付近に設置されている。蒸発器のナトリウム液面は、オーバーフローラインからダンプタンク常時、ナトリウムが流入し、ダンプタンクからくみ上げラインにより、蒸発器の入口配管部にもどされることにより、一定に保たれている。

水素検出系はナトリウム中には過熱器出口Eおよび蒸発器出口Jに、カバーガス中には過熱器および蒸発器に各々取付られている。両検出計ともNi膜の拡散型検出器を用いている。

水／蒸気系は蒸発器、気水分離器、過熱器を通り、タービン系に連がる。隔壁弁は蒸発器入口、気水分離器出口、過熱器出口に設けられている。水／蒸気の大気放出系は蒸発器出口、過熱器入口、過熱器出口配管に大気放出配管が結合されている。蒸発器入口からの放出系は放出配管にプロータンクが結合されている。

2.2 計算モデル

2.2.1 セーフティ・マップ

セーフティ・マップは小リークが蒸発器または過熱器の伝熱管部で発生した時、隣接伝熱管がウェステージを受け、破損するまでの時間（許容損耗時間）とリーク発生時から発生水素を検出し、水／蒸気系のプローダウンによりナトリウム－水反応が停止するまでの時間（反応停止時間）を同一水リーク率に対して表わしたものである。反応停止時間と許容損耗時間の大小を同一水リーク率（初期リーク率）に対して比較することにより隣接伝熱管が破損するか否かを判定することができる。反応停止時間が許容損耗時間よりも短ければ、リークが発生しても隣接伝熱管を破損させずに、プラントを停止することができる。

このセーフティ・マップにより小リーク時の検出能力を評価する方法はJ・A・Ford⁽⁵⁾らにより開発されたものである。

以下にこのセーフティ・マップの計算モデルについて記す。

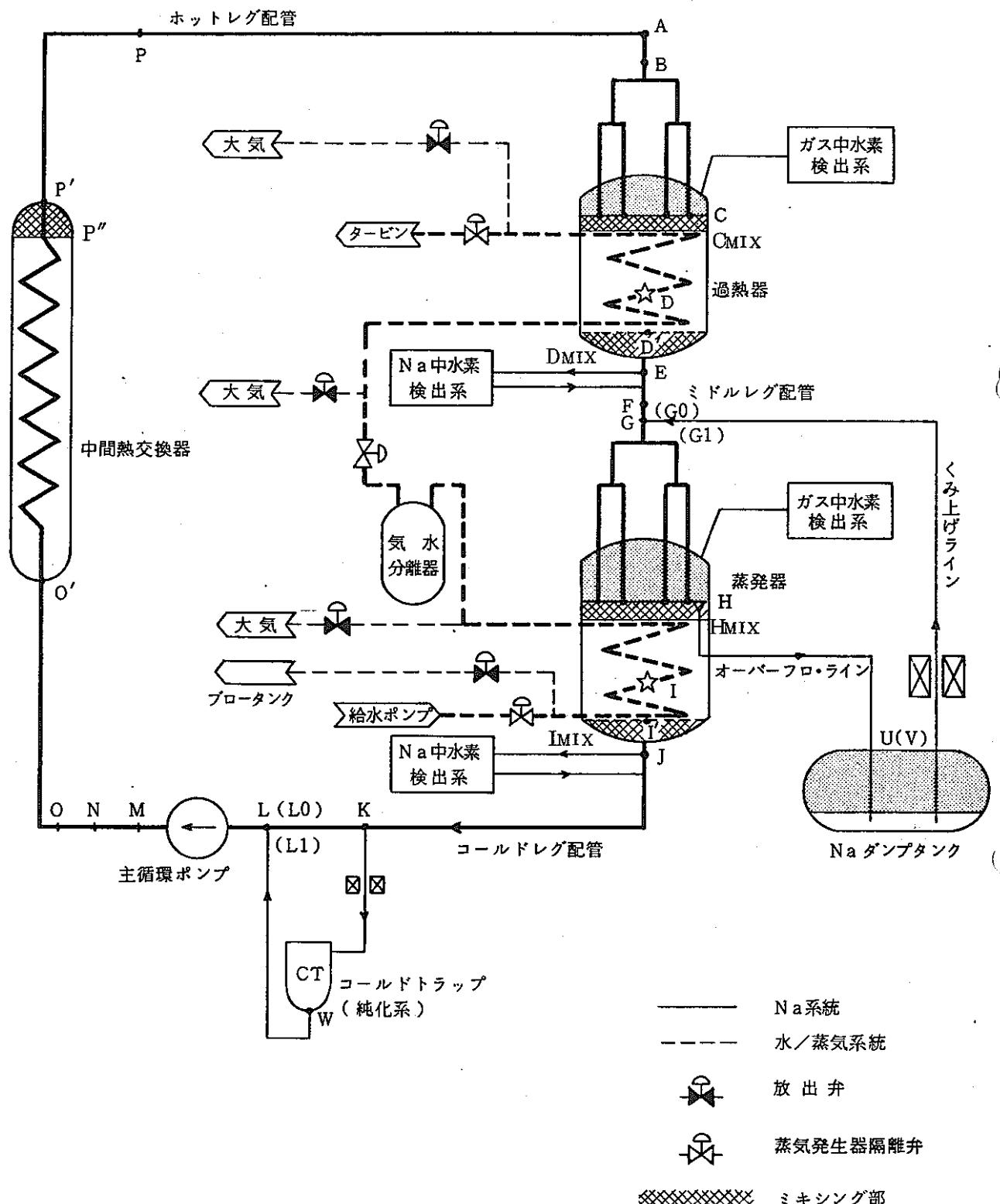


図 2.1 計 算 体 系

2.2.2 許容損耗時間

許容損耗時間とは、セルフウェステージによる初期リーク孔の自己拡大（リーク率の増大）を考慮し、初期リークおよび自己拡大後のリーク（自己拡大発生時のみ）による隣接伝熱管へのウェステージ（以後ターゲットウェステージと略記する）によって許容損耗肉厚まで減肉させるに要する時間とし、初期リーク率に対して示される。

自己拡大がある場合は、自己拡大発生までの期間に損耗された肉厚を、許容損耗肉厚から引いた残存肉厚が、自己拡大後の増大リークにより損耗されるまでの時間を自己拡大発生時間に加えるものとし、この自己拡大は、あるリーク率に達すまで繰り返すものとする。

(1) ターゲットウェステージ率は小リーク試験装置 SWAT-2 の実験結果から得られた実験式⁽⁶⁾を用いる。この式は伝熱管材質（SUS、クロモリ）、ナトリウム温度、リーク点と隣接伝熱管外面間距離 L_{LT} / リーク孔径 D_L を実験パラメータとして整理されたものであり適用範囲の最小水リーク率は L_{LT}/D_L を実験パラメータとして整理された同装置による実験結果⁽⁶⁾から L_{LT}/D_L が 150 の D_L に相当する値（外部入力として与える）とする。この値以下ではウェステージ率は零とする。

(2) セルフウェステージによるリーク孔拡大時間はクロモリに対しては G E 社の実験データ⁽⁷⁾⁽⁴⁾を、ステンレスに対しては SWAT-2 の実験データから求めた水リーク率に対して整理した式を用いている。

リーク孔拡大後の増大リーク率は初期リーク率に対するリーク孔拡大倍率を外部入力により与えて計算する。

(3) 許容損耗肉厚は、外部入力により任意に指定する。

2.2.3 反応停止時間

リーク発生から水素濃度上昇、水素検出、反応停止までの過程を管東部リーク及びスタグナント部リークについて各々図 2.2(a)及び図 2.2(b)に示す。反応停止時間は検出時間 (t_{DT})、オペレータ判断時間 (t_{OP})、水／蒸気系のプローダウン時間 (t_{DP}) の和で表わされる。

検出時間はナトリウム中濃度検出法では、①リーク検出器の真空側の水素濃度が、検出可能な濃度となるまでの水素蓄積時間（Hydrogen build up time）(t_{DT})
②リーク発生場所から検出器までの水素輸送時間 (t_{TR})との和とし、カバーガス中濃度検出法では、①水素気泡がリーク発生場所からカバーガスの自由液面まで上昇し、リーク検出器の真空側の水素濃度が検出可能な濃度となるまでの水素蓄積時間 (t_{DT})、②カバ

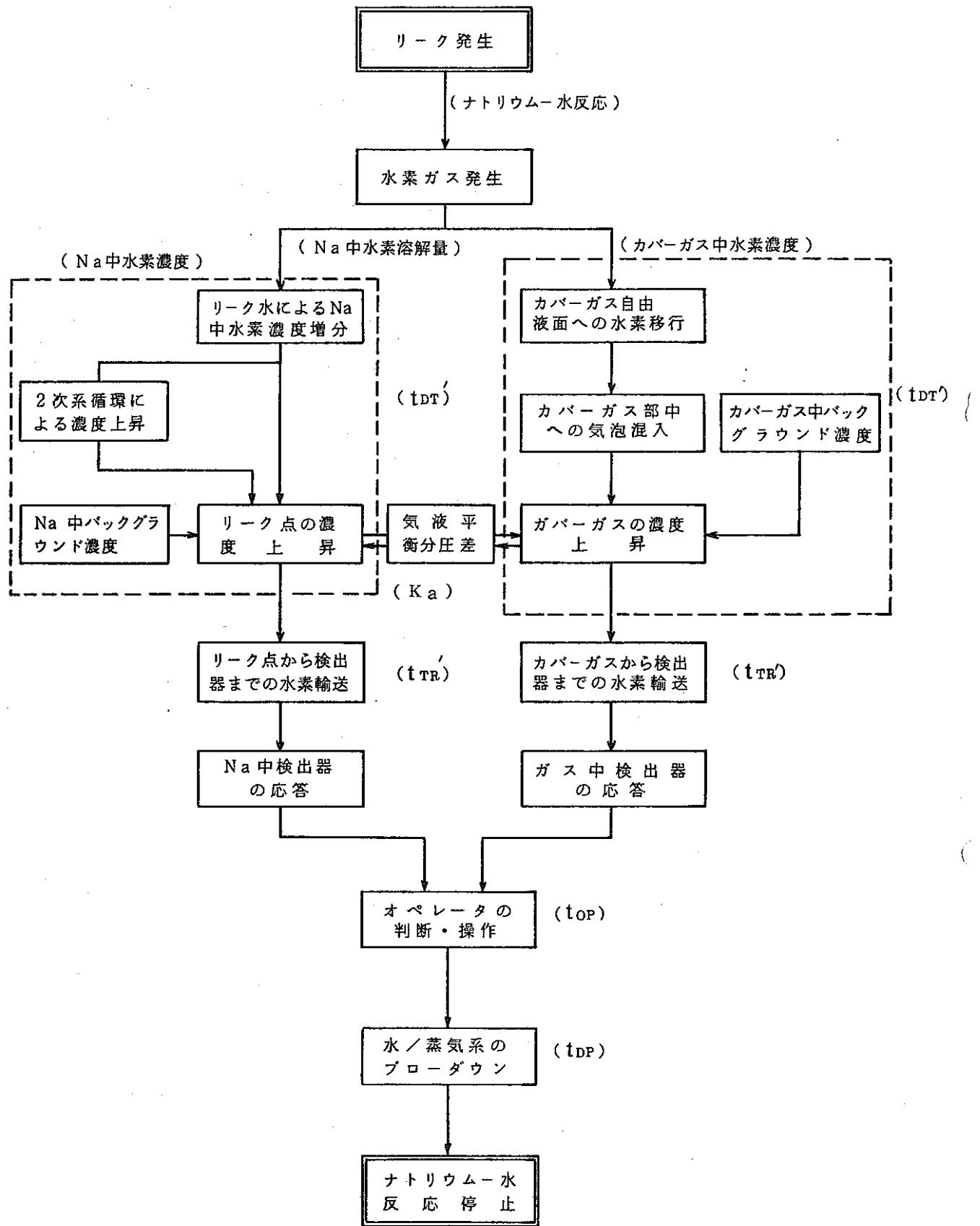


図 2.2(a) 管東部リーク発生から反応停止までの過程

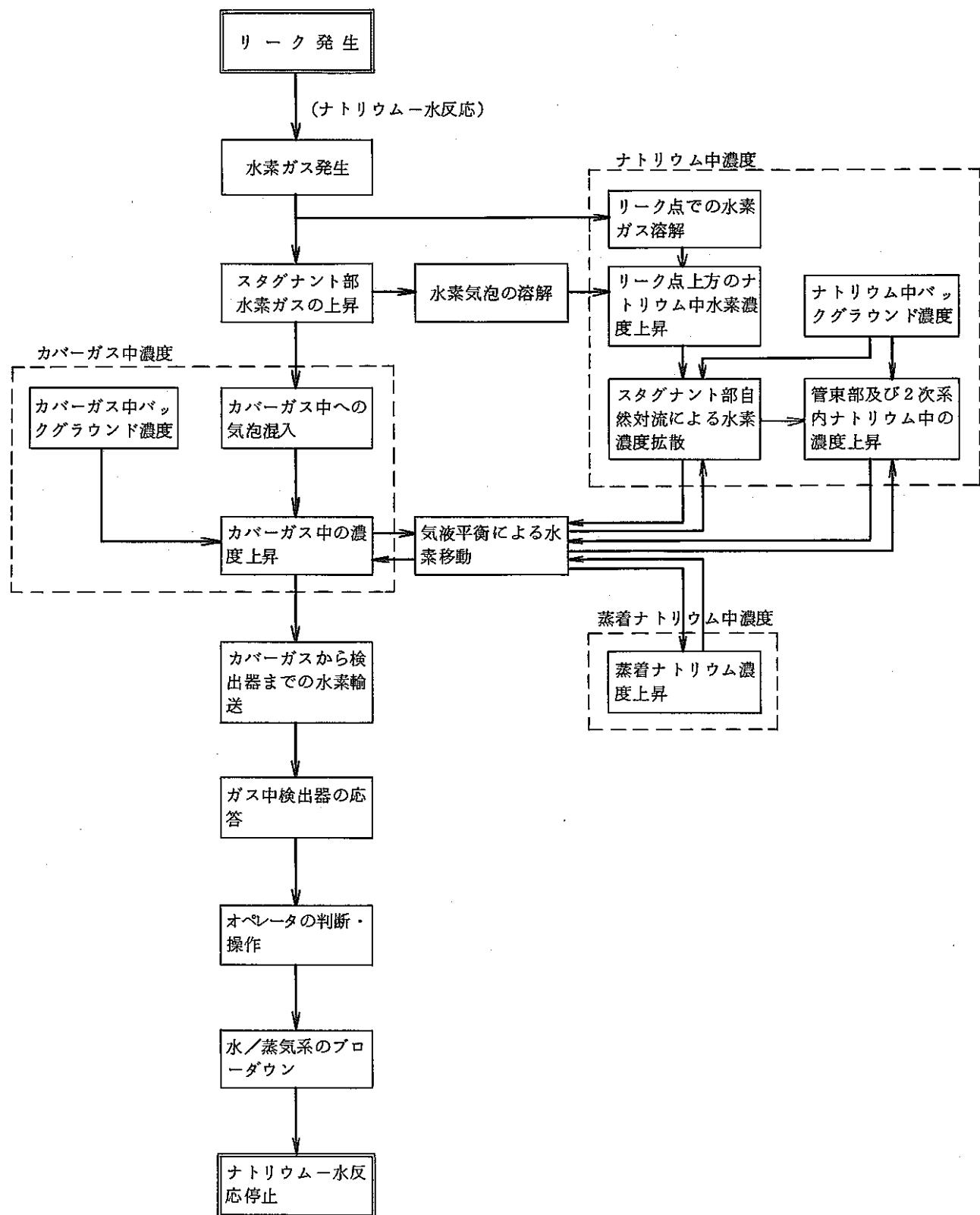


図 2.2(b) スタグナント部リーク発生から反応停止までの過程

ーガスから検出器までの水素輸送時間 (t_{TR}) との和とする。

以下に同図の事象の流れに従がって、管東部及びスタグナント部リークについての反応停止時間を説明する。

2.2.3-1 管東部リーク

ここでは、SG伝熱管、管東部の様にナトリウムが主流によって流動している部分におけるリークの扱いについて述べる。管東部リーク計算モデルは、図2.1計算体系に示した如くである。本モデルは、各SG内部（流動部）、2次主冷却系、純化系及びオーバーフロー系内のナトリウムと各SGのカバーガス部とから構成される。水リークにより発生した水素の内ナトリウム中に溶解したものは、ナトリウムの流速に従ってピストンフロー的（1部ミキシング効果を考慮）に輸送され、相当時間後には、各ナトリウム中検出器まで到達する。また、ナトリウム中に溶解しない水素は、気泡として上昇し、カバーガス中に拡散して、ガス中の検出器まで到達する。これらの検出器に輸送された水素（水素濃度）が、検出設定値を越えた時点で検出される。

以下、リーク発生から検出に至るまでに考慮される事項について説明する。

(1) 水素ガスの発生

リーク水とナトリウムとの反応は次式に従がうとする。



但し、 m は1とし、水1モルに対し、水素1モルが発生するものとする。

(2) ナトリウム中水素濃度

(a) リーク水によるナトリウム中水素濃度増分

ナトリウム中に溶解する水素の溶解割合は外部入力により水リーク率の関数として20点の線形テーブルで与える場合と、内部計算により求める場合がある。内部計算の計算モデルはSWAT-2試験装置の実験結果から求められた実験式(根井の式)⁽⁸⁾を液面までの温度分布が考慮できるように修正して用いた。

ここで、ナトリウム中に溶解しない水素ガスについては、ナトリウム中を上昇し、カバーガス中へ移行するものとした。

(b) 2次系循環による濃度上昇

ナトリウム中に溶け込んだ水素は2次系のナトリウム流速と同じ流速で、流路方向に1次元（ピストンフロー）的に輸送されるものとし、その他の濃度拡散効果は考慮しない。

但し、S G、出入口プレナム部及び I H X 内部のミキシング部分については 1 次遅れ的な挙動を考慮することができる。

(c) リーク点の濃度上昇

リーク点の濃度は初期バックグラウンド濃度に、リーク点での発生濃度増分が、2 次系循環時間遅れて加算されたものである。すなわちステップ状の増分を循環回数回バックグラウンド濃度に加えたものとする。

(d) ナトリウム中初期バックグラウンド濃度

伝熱管壁を通して水側より拡散してくる水素量と 2 次ナトリウム純化系のコールドトラップによる除去水素量から決定される。

(3) カバーガス中水素濃度

(a) カバーガス自由液面への水素移行

発生水素のうちナトリウムと溶解しない分は気泡となり、リーク点からカバーガス自由液面まで一定上昇速度（外部入力）で浮上するものとする。

(b) カバーガス部中への気泡混入

カバーガス自由液面へ浮上した水素気泡が完全にカバーガス中に混入する時間を考慮する。（外部入力）

(c) カバーガス中水素濃度

(i) カバーガス中水素濃度変化は(a)、(b)の水素気泡の浮上混入のほか、バルクのナトリウムとカバーガスの気液平衡からの水素分圧のずれによる水素移行およびカバーガス部内壁に付着する Na に吸着し、NaH となることによる減少分をも考慮する。

また、気泡上昇により、カバーガス中水素分圧が、Na 中分圧より高くなった場合、Whittinghan⁽⁹⁾ の Na 中水素吸収速度 (k_a) に従って移行する。

(ii) ナトリウム中水素濃度が上昇し、液面部ナトリウム中気液平衡分圧が、カバーガス中水素分圧より高くなった場合、この差に相当する量の水素が、カバーガス中に放出されるものとする。この気液間濃度不balanceから平衡状態になる時間も考慮し、外部入力で与える。

(iii) 通常運転開始時では、初期カバーガス中水素濃度以下の気液間濃度不balanceによる水素移行は考慮しない。

(d) カバーガス中初期バックグラウンド濃度

通常運転開始時は、外部入力で与えるものとし、開始以後の通常運転時はナトリウム中溶解水素の液面で気液平衡が保たれているものとし、その平衡分圧の濃度とする。気液平衡式における係数は Vissers⁽¹⁰⁾ らの求めたものを用いる。

(4) 検出器までの輸送時間

ナトリウム中検出器ではリーク発生場所から、またカバーガス中検出器ではカバーガス部から、それぞれの検出器の Ni 膜まで水素が輸送される時間 t_{TR} 、 $t_{TR'}$ とする。

(5) 検出器の応答

検出部に到達した水素は検出器の Ni 膜中を拡散で通過し、真空側に出る。この応答計算を簡単化するために、むだ遅れ時間と 1 次おくれ型の応答曲線で近似する。すなわち図 2.3(a)に示すようにナトリウム中検出器では、Ni 膜表面にステップ状の水素濃度変化があると、むだ遅れ時間 (t_{DY}) 経過した後、時定数 (t_T) の 1 次遅れ型応答が現われる。ガス中検出器では同図(b)に示すように、検出部に輸送されてくる水素濃度変化はランプ状変化があると、むだ遅れ時間 ($t_{DY'}$) の後に現われるものとする。

ここで Ni 膜に加わる水素濃度はリーク点で発生した増分に検出率（検出器に輸送される迄の濃度変化率）を乗じたものとする。

これらのむだ遅れ時間、時定数および検出率は外部入力として与えられる。

(6) オペレータの判断・操作

オペレータは図 2.3 の検出器の指示する水素濃度の増加値がバックグラウンドレベルの指定パーセント以上になったとき、水リーク発生と判断し、SG のシャットダウン操作を開始する。この動作に要する時間 (t_{DP}) は外部入力で与える。

(7) SG シャットダウンに伴なう水側保有水のブローダウン動作 (SG の隔離弁の閉動作、放出弁の開動作等) により伝熱管内圧力が下がり、水リーク率は減少し、ナトリウムー水反応現象は実質的に終了する。

このブローダウン所用時間 (t_{DP}) は外部入力で与える。

2.2.3-2 スタグナント部リーク

ここでは、原型炉「もんじゅ」 SG の有するダウンカマー部等のナトリウムがほぼ静止している部分（スタグナント部）におけるリークの扱いについて述べる。

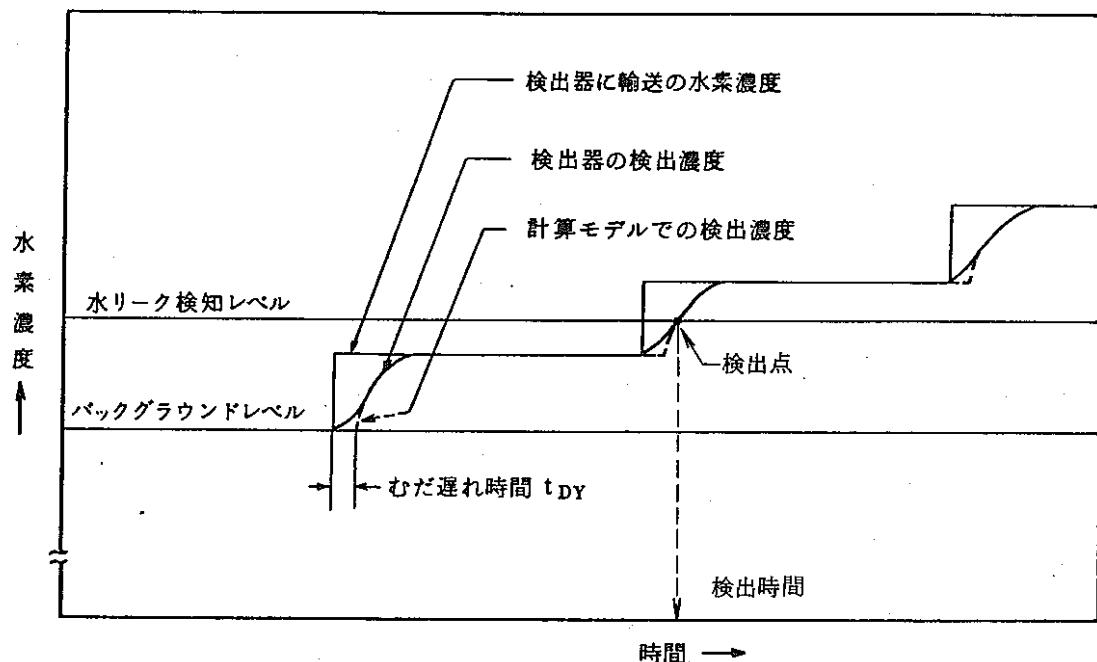


図 2.3. (a) Na 中水素検出系の検出濃度

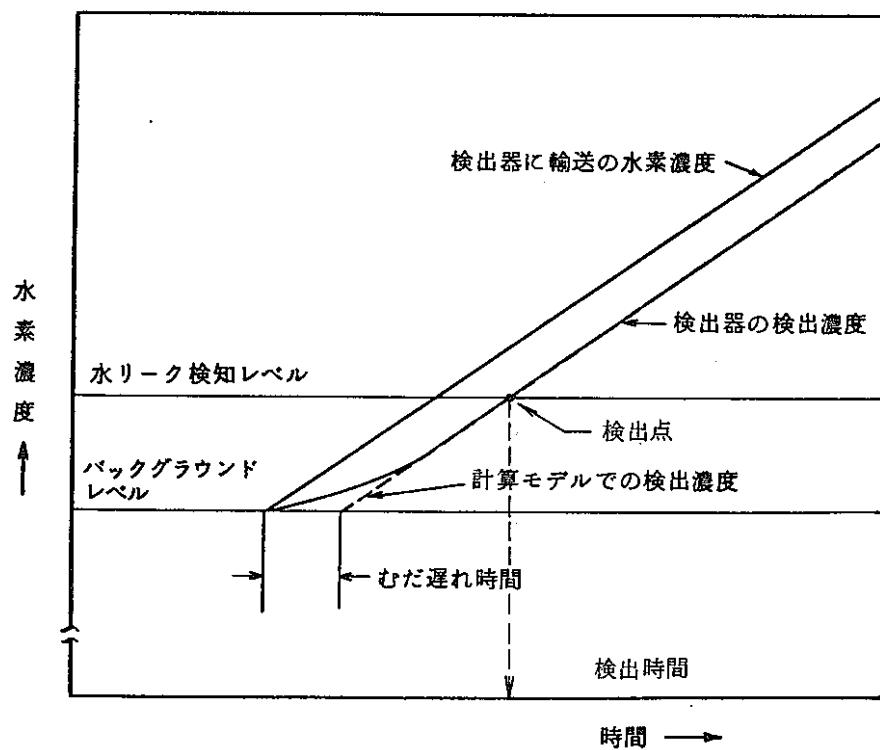


図 2.3. (b) ガス中水素検出系の検出濃度

図 2.4 にスタグナント部リーク計算モデルを示す。本モデルは、スタグナント部ナトリウム、蒸着ナトリウム、カバーガス及びリーク SG 管東部を含む主系統内全体のナトリウムから構成され、特にスタグナント部ナトリウムは、軸方向に対しメッシュ分割した形で扱われる。水リークによって発生した水素の 1 部は、リーク点近傍のナトリウム中にただちに溶解し、微小のナトリウム循環流量（自然対流） W_{cna} 、 W_{na} (kg/sec) によって上・下方向に移動し、相当時間後には、ナトリウム液面近傍及び主系統内まで輸送されるものとした。また、1 部は、未溶解水素気泡として上昇を開始するものとし、この際、通過する各ノード内ナトリウムにその 1 部が溶解して行くものとした。以下、リーク発生から検出に至るまでに考慮される事項について説明する。

(1) 水素ガスの発生

基本的には、2.2.3-1(1)記載と同様だが、リーク点において、未溶解水素として発生する水素ガス割合 f を外部入力で与える。

(2) ナトリウム中水素濃度

(a) スタグナント部ナトリウムの濃度上昇

(i) リーク点より上方の場合は、そのノードを水素気泡が通過する時に溶解した水素量及び W_{cNa} によって運ばれる水素量に相当した増加がタイムメッシュ巾 Δt (sec) 内に生じるものとした。

(ii) リーク点では、上記(i)に加へ、 $(1 - f)$ に水素発生量を乗じた量に相当した増加が生じるものとした。

(iii) リーク点より下方の場合は、 W_{cNa} によって運ばれる量だけ考慮される。

(iv) 液面直下の場合は、上記(i)に加えて、2.2.3-1 に示したカバーガスへの水素ガス放出及びナトリウムへの吸収効果が加わる。

(b) 主系統内ナトリウム中濃度上昇

主系統内ナトリウムでは、 W_{Na} によって運ばれる水素量とカバーガスへの放出及びナトリウムの吸収効果による水素移行量が考慮される。

(c) ナトリウム中バックグラウンド水素濃度は外部入力で与える。

(3) カバーガス中水素濃度

カバーガス中水素濃度は、カバーガス中への水素気泡混入、スタグナント部液面、管東部液面及び蒸着ナトリウムへの水素ガス放出及び吸収効果を考慮し 2.2.3-1(3) と同様に決定される。

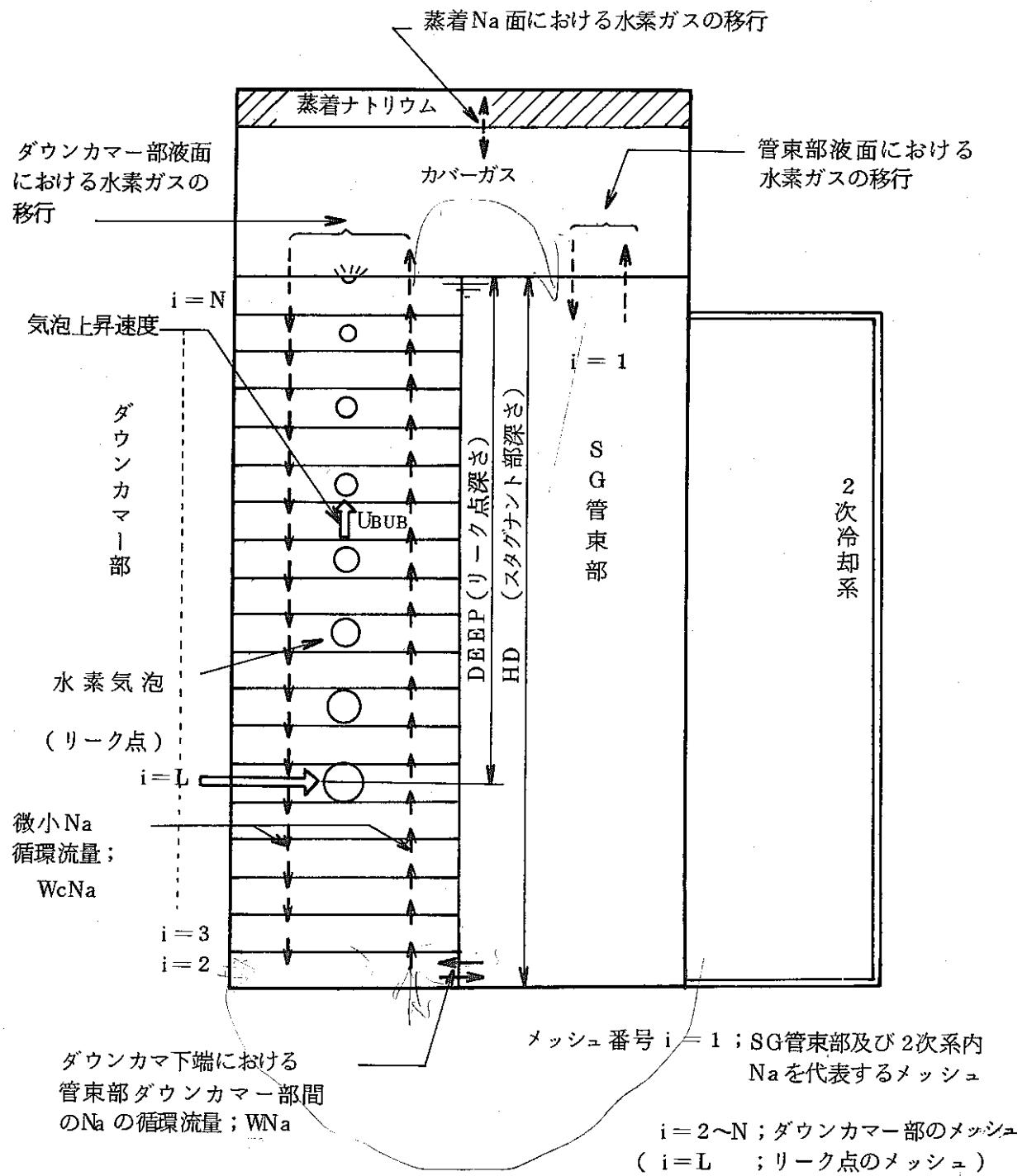


図24. スタグナント部モデル

(4) 蒸着ナトリウム中水素濃度

カバーガス境界面への水素ガス放出及び吸収効果を考慮して決定される。

(5) その他の

検出器は、カバーガス中検出器について評価し、輸送時間及び応答特性に関しては、
2.2.3-1と同様である。

2.3 計算式

2.3.1 許容損耗時間

許容損耗時間 t_A (sec) は、単純には許容損耗肉厚 τ_A (mm) をウェステージ率 WR (mm/sec) で除して求められる。但し、セルフウェステージによるリーク率増加が生じ、 WR が時間的に変化する場合、一般的には、(2.2) 式の関係に基づいて決定される。

$$\tau_A = \int_0^{t_A} WR(G(t)) dt \quad (2.2)$$

以下、この t_A を決定するために必要なウェステージ率及びセルフウェステージによるリーク孔拡大時間等に関する関係式を示す。また、図 2.5 にセーフティマップ上に示される許容損耗時間の概念図を示す。

(1) ターゲットウェステージ率

(a) クロモリ⁽⁶⁾

$$WR = \frac{4410}{L_{LT}} \exp \left[- \left\{ 0.255 \left(\ell \ln \frac{G}{5.12} \right)^2 + \frac{5460}{(T_L + 273)} \right\} \right] [\text{mm/s}] \quad (2.3)$$

(b) ステンレス⁽⁶⁾

$$WR = \frac{9205}{L_{LT}} \exp \left[- \left\{ 0.287 \left(\ell \ln \frac{G}{3.19} \right)^2 + \frac{7180}{(T_L + 273)} \right\} \right] [\text{mm/s}] \quad (2.4)$$

(2.3)、(2.4) 両式の適用範囲はリーク孔とターゲット間距離 L_{LT} (mm) と
リーク孔直径 D_L (mm) との比、 L_{LT}/D_L が 150 以上の範囲ではウェステージ
率は零とする。

計算では $D_L = L_{LT}/150$ に相当する水リーク率 G_{LD} が外部入力として与え
られ、ウェステージ率の適用範囲を限定している。

$G \leq G_{LD}$ のとき

$$WR = 0 \quad [\text{mm/s}] \quad (2.5)$$

但し、 L_{LT} 、G、ナトリウム温度 T_L (°C) の適用範囲は以下のとおりである。

$$\left. \begin{array}{l} 5 < L_{LT} (\text{mm}) < 100 \\ 5 \times 10^{-4} < G (\text{g/s}) < 17.5 \\ 280 < T_L (\text{°C}) < 530 \end{array} \right\}$$

(2) リーク孔自己拡大発生時間 (t_E)

(a) クロモリ

自己拡大時間評価式としては、GE社の実験データ⁽⁷⁾をPNCで整理した式、その後、GE社⁽⁴⁾によって新たに実験し、セルフウェステージ率 SW_R (mm/sec) によって整理された式及び外部入力によるものの3種類について使用することができる。

$$i) t_E = 280 \times G^{-0.42} \quad [\text{sec}] \quad (2.6)$$

(PNCで整理した式)

$$ii) t_E = \tau_{SA} / SW_R \quad [\text{sec}] \quad (2.7)$$

($T_L \leq 482^\circ\text{C}$)

$$SW_R = 0.0299 G^{0.61} \quad [\text{mm/sec}] \quad (2.8)$$

($T_L \leq 470^\circ\text{C}$)

$$SW_R = 0.01008 G^{0.60} \quad [\text{"}] \quad (2.9)$$

($T_L \leq 460^\circ\text{C}$)

$$SW_R = 0.0062 G^{0.585} \quad [\text{"}] \quad (2.10)$$

($T_L \leq 343^\circ\text{C}$)

$$SW_R = 0.000795 G^{0.5} \quad [\text{"}] \quad (2.11)$$

(GE社の実験式)

但し、 τ_{SA} (mm) は、リーク伝熱管の肉厚であり、外部入力で与える。

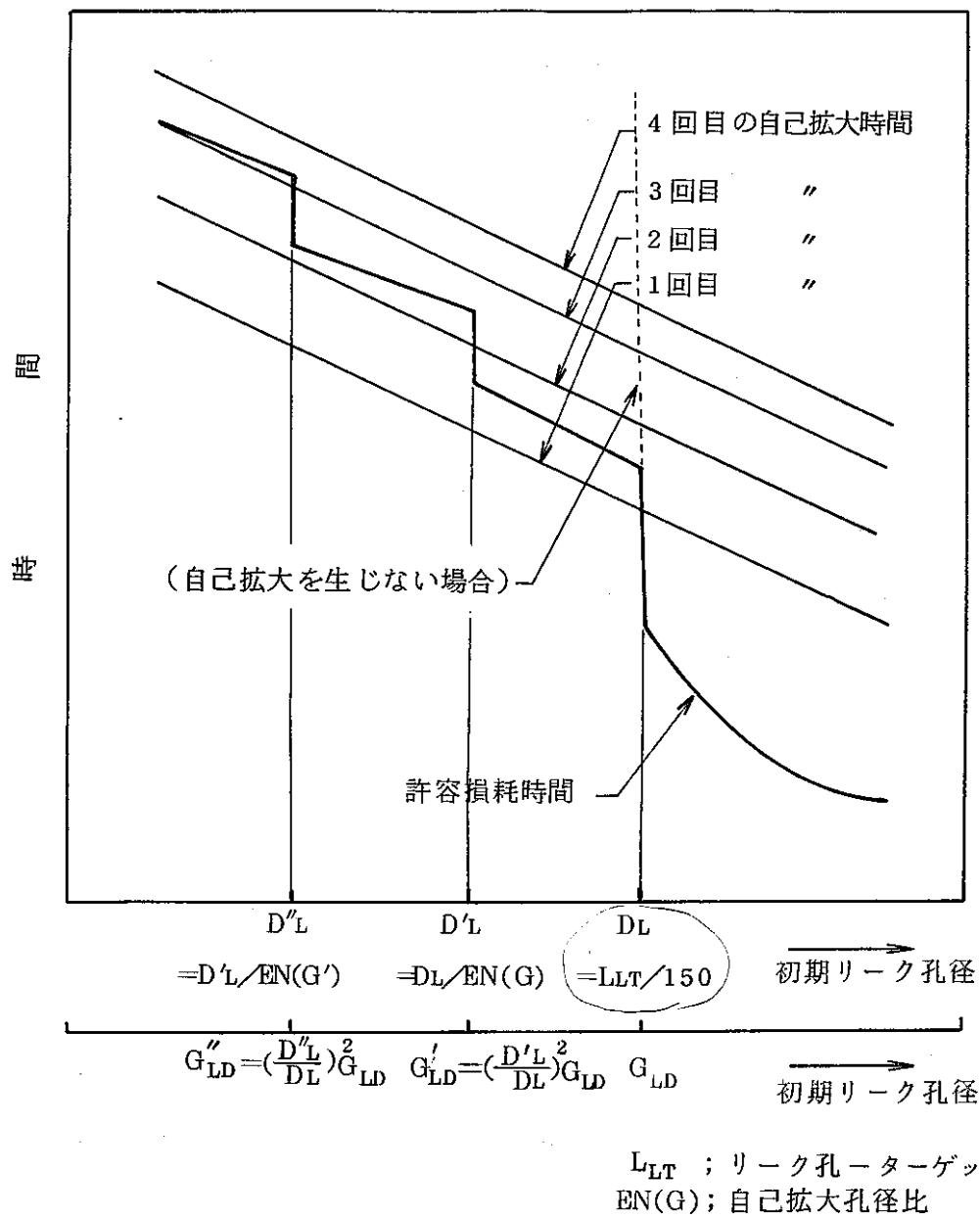
(b) ステンレス⁽⁷⁾

$$t_E = 150 \times G^{-1.0} \quad [\text{sec}] \quad (2.12)$$

ここで、自己拡大後のリーク孔径は、拡大前のリーク率の関数(20点の線形内挿)として外部入力で与え、拡大後のリーク率は、リーク孔径の2乗に比例するものとして扱う。

(c) 外部入力で与える場合

上記(2.6)及び(2.12)式の形で、係数部と指数部を外部入力で与える。



2.3.2 ナトリウム中及びカバーガス中水素濃度

2.3.2-1 管東部リーク

(1) 発生水素ガス量 (Q_H)

$$Q_H = m \times \frac{2}{18} \times G \quad [g/s] \quad (2.13)$$

但し、 m [-] : 水 1 モルに対して発生する水素モル数 ($m=1$)

(2) Na 中水素溶解量 (Q_{HN})

$$Q_{HN} = \phi \times Q_H \quad [g/s] \quad (2.14)$$

(3) Na 中水素溶解割合 (ϕ)

外部入力と計算による場合がある。

(a) 外部入力の場合はリーク率の関数を 20 点の線形内挿テーブルで与える。

(b) 計算による場合は、根井の式⁽⁸⁾に SG 内軸方向温度分布を考慮したもので与えられる。以下計算方法について記す。

$$\phi = 1 - \left(\frac{r_x = L_{LLV}}{r_0} \right) \frac{\rho_{HN}}{\rho_{H_0}} \quad (2.15)$$

$$r_x = L_{LLV} = \int_0^{L_{LLV}} \left\{ -\frac{k \rho_N (C_{SL} - C_{OBG})}{\rho_H (U_B - U_N)} - \frac{r}{3} \frac{1}{\rho_H} \frac{d\rho_H}{dx} \right\} dx \quad (2.16)$$

$$\approx \sum_{i=1}^N \left\{ -\frac{k \rho_{Ni} (C_{SLi} - C_{OBG})}{\rho_{Hi} (U_B - U_N)} \Delta x - \frac{r_{i-1}}{3} \frac{\Delta \rho_{Hi}}{\rho_{Hi}} \right\} + r_0 \quad [cm] \quad (2.17)$$

ここで

$$\begin{aligned} \rho_{Ni} &= (950.09 - 0.229774 T_{Ni} - 1.52065 \times 10^{-5} T_{Ni}^2 \\ &\quad + 5.63796 \times 10^{-9} T_{Ni}^3) \times 10^3 \quad [g/cm^3] \quad (2.18) \end{aligned}$$

$$\rho_{Hi} = \frac{10 Pi}{423.91 (T_{Ni} + 273)} \quad [g/cm^3] \quad (2.19)$$

$$\log_{10} C_{SL} = 6.067 - \frac{2880}{T_N + 273} \quad (2.20)$$

$$r_0 = \frac{1}{2} G^{0.7} \quad [cm] \quad (2.21)$$

但し、

- G [g/s] : 水リーク率
ρ_N [g/cm³] : ナトリウム密度
ρ_H [g/cm³] : 水素密度
C_{SL} [ppm] : 水リーク点におけるナトリウム中飽和水素濃度
C_{OBG} [ppm] : バックグラウンドナトリウム中水素濃度
K [cm/sec] : 物質移動係数 (k = 0.2)
r [cm] : 水素気泡半径
x [m] : 軸方向座標
L_{LLV} [m] : 液面からリーク点までの深さ
U_B [m/sec] : 静止ナトリウム中気泡上昇速度
U_N [m/sec] : ナトリウム流速
△x [m] : 空間メッシュ巾 ($\Delta x = 0.2$)
N [-] : メッシュ数 ($L_{LLV}/\Delta x$ を整数化したもの)
T_{NI} [°C] : ナトリウム温度分布 (管東部出入口温度より線形内挿する)

(4) リーク水によるナトリウム中水素濃度増分 (ΔC_{SG})

$$\Delta C_{SG} = \frac{Q_{HN}}{W_N \times 10^3} \times 10^6 \quad [ppm] \quad (2.22)$$

但し、W [kg/s] : ナトリウム流量

(5) 2次ナトリウム系の水素濃度上昇

2次ナトリウム系内の水素濃度上昇は、図 2.1 に示した計算体系図の各節点について計算される。各々の節点についての計算方法は付録 (6.1) に詳細に示すものとし、ここでは、これらの内代表的なものについて説明する。

(a) 配管部の節点

i) 合流がない場合 (図 2.6(a) 参照)

上流側の接点の水素濃度が輸送されてくる以前の状態 ($t \leq t_{D1}$) では

$$C_c(t) = C_{BG} \quad [ppm] \quad (2.23)$$

以降の状態 ($t > t_{D1}$) では

$$C_c(t) = C_{c1} \quad (t - t_{D1}) \quad [ppm] \quad (2.24)$$

として、むだ時間遅れ分だけを考慮する。

ii) 合流がある場合 (図 2.6 (b) 参照)

$t > t_{D1}$, $t \geq t_{D2}$ の場合

$$C_{c(t)} = \frac{C_{c1} (t - t_{D1}) \times W_1 + C_{c2} (t - t_{D2}) \times W_2}{W_1 + W_2} \quad [\text{ppm}] \quad (2.25)$$

として、均質混合を考える。

(b) ミキシング部の水素濃度計算 (図 2.7 参照)

$t \leq t_{D1}$ の時

$$C_{c(t)} = C_{BG} \quad [\text{ppm}] \quad (2.26)$$

$t > t_D$ の時

$$C_{c(t+\Delta t)} = C_{c(t)} + \frac{\Delta t \times W_1 \{ C_{c1}(t-t_{D1}) - C_{c(t)} \}}{W_T} \quad [\text{ppm}]$$

(c) リーク部の水素濃度計算 (図 2.8 参照)

$t \leq t_{D1}$ の時

$$C_{c(t)} = C_{BG} + \Delta C_{SG} \quad [\text{ppm}] \quad (2.28)$$

$t > t_{D1}$ の時

$$C_{c(t)} = C_{c1}(t - t_{D1}) + \Delta C_{SG} + \Delta C_{DF} \quad [\text{ppm}] \quad (2.29)$$

ここで $\Delta C_{SG} = \frac{Q_{HM}}{W_1} \times 10^3$ [\text{ppm}] (2.30)

$$\Delta C_{DF} = \frac{S \cdot A}{W_1} \times 10^6 \quad [\text{ppm}] \quad (2.31)$$

但し、 t_{Di} [sec] : 上流側節点の水素濃度が輸送されるまでの時間

C_{ci} [ppm] : 節点における水素濃度

W_i [kg/sec] : ナトリウム流量

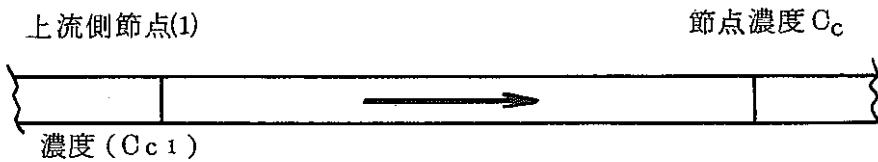
Δt [sec] : 計算時間メッシュ

C_{BG} [ppm] : 節点における水素濃度

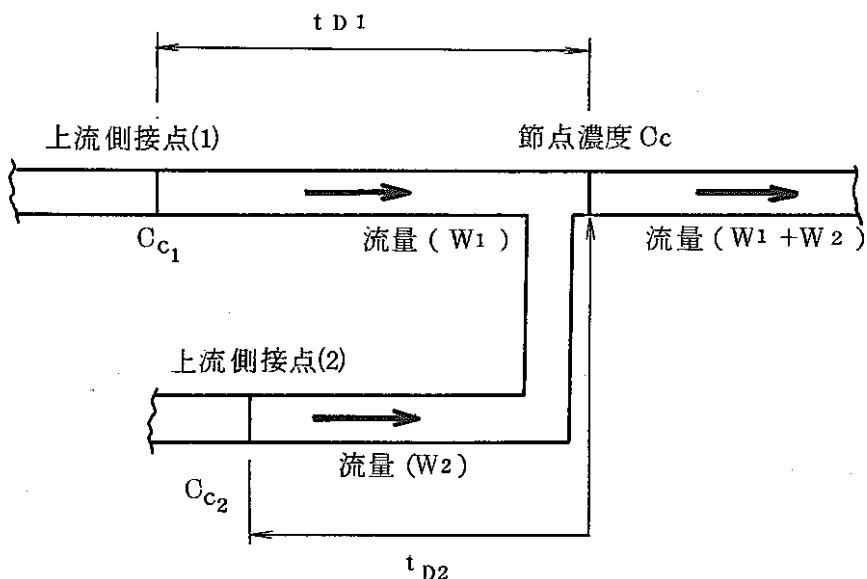
Q_{HN} [g/sec] : 水素溶解量

S [$\text{kg-H}_2/\text{m}^2\text{hr}$] : 伝熱管単位面積からの拡散水素量

W_T [kg] : ミキシング部ナトリウム重量



(a) 合流がない場合



(b) 合流がある場合

図 2.6 配管部の濃度計算モデル

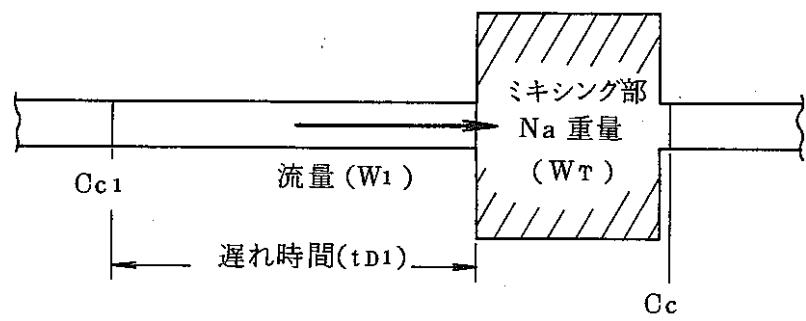


図 2.7 ミキシング部の濃度計算モデル

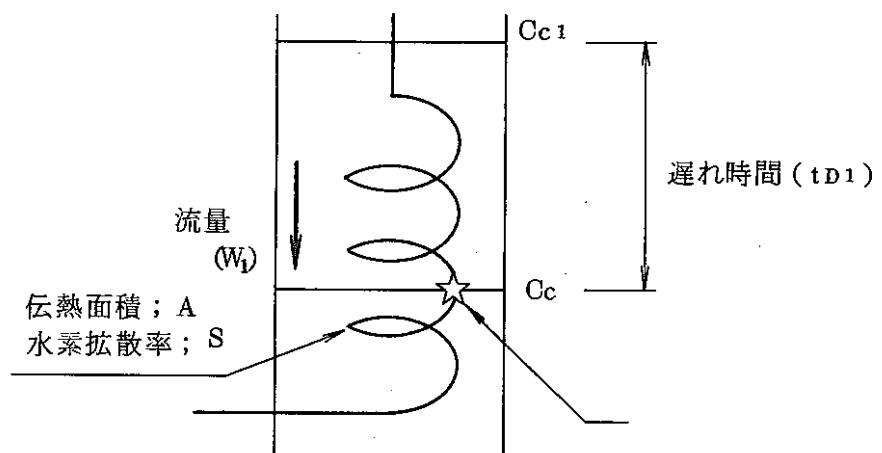


図 2.8 リーク部の濃度計算モデル

A [m²] : 伝熱管ナトリウム接液表面積

(6) 2次ナトリウム系の初期バックグラウンド濃度 (C_{OBG})

S Gおよび純化系を含む2次ナトリウム系の水素濃度変化dc/dtを1点近似モデルで表わすと、SGの伝熱管から拡散で出てくる水素量と純化系のコールドトラップにより除去される水素量との収支より次式が成り立つ。

$$\frac{dc}{dt} = \frac{S \cdot A}{W_N} - \eta \frac{Q_{CT}}{W_N} (C - C_{SCT}) \quad (2.33)$$

上式の解においてt→∞としたものをバックグラウンド水素濃度とする。

$$C_{OBG} = \frac{S \cdot A}{\eta \cdot Q_{CT}} \times 10^6 + C_{SCT} \quad [\text{ppm}] \quad (2.34)$$

但し、コールドトラップ効果ηは

$$\eta = \frac{C_{CT1} - C_{CT0}}{C_{CT1} - C_{SCT}} \quad [-] \quad (2.35)$$

コールドトラップ温度に対するコールドトラップ出口のナトリウム中飽和水素濃度C_{SCT}はVissersらの式⁽¹⁰⁾を用いる。

$$\log_{10} C_{SCT} = 6.067 - \frac{2880}{(T_{CT} + 273.0)} \quad [\text{ppm}] \quad (2.36)$$

S [kg-H₂/m² hr] : 伝熱管単位面積からの拡散水素量

A [m²] : 伝熱管ナトリウム接液表面積

W_N [kg] : 系内ナトリウムインベントリー

Q_{CT} [kg/hr] : 純化系ナトリウム流量

C_{CT1} [ppm] : コールドトラップ入口水素濃度

C_{CT0} [ppm] : コールドトラップ出口水素濃度

T_{CT} [°C] : コールドトラップ最低温度

(7) カバーガス中水素濃度

カバーガス中水素濃度計算は、以下の事項を考慮して行う。また、図2.9に計算モデルを示す。

(1) 気液平衡分圧のずれによる水素移行

i) ナトリウム中水素分圧高…ガス中への水素移行

ii) ガス中水素分圧高…ナトリウム中への水素移行

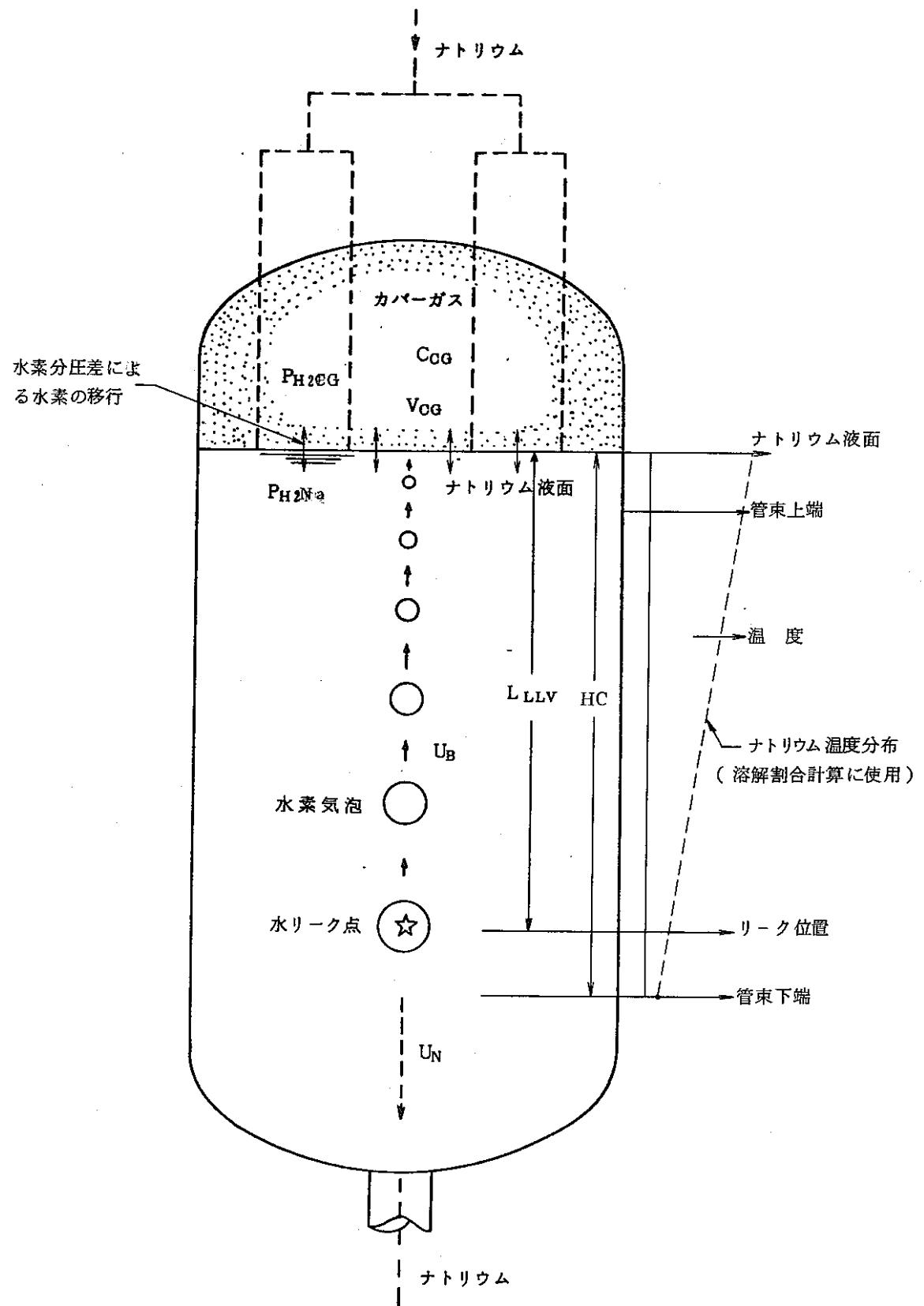


図 2.9 カバーガス水素濃度計算モデル（リーク SG）

(a) 水素気泡の混入 (リーク S G)

(b) 蒸着ナトリウムによる水素ガス吸収。

(a) 気液平衡分圧のずれによる水素移行

(i) ナトリウム中水素分圧が高い時 ($P_{H_2NaL} > P_{H_2CG}$) は、気液平衡時間遅れ、 t_{RSB} (sec) をもって移行し、移行水素ガスは、混合時間遅れ t_{MXB} (sec) をもって、カバーガス中に均質混合する。

$$V_{H1MIG} = (P_{H_2NaL} - P_{H_2CG}) / (P_{CG} + P_{H_2NaL}) \times V_{CG}$$

$$C_{1MIG} = V_{H1MIG} / 2.24 \quad (2.38)$$

(ii) ガス中水素分圧が高い時 ($P_{H_2Na} \leq P_{H_2CG}$) は、Whittingham⁽⁹⁾の水素吸収式に従ってナトリウム中へ水素が移行する。

$$V_{H2MIG} = (k_a \times S \times P_{H_2CG}) \times \frac{1(\ell)}{1000 \text{ (cm}^3\text{)}} \times \Delta t \quad [\ell] \quad (2.39)$$

$$\log_{10} k_a = 4.17 - 4.130 / T^{(9)} \quad (2.40)$$

$$C_{2MIG} = V_{H2MIG} / 2.24 \quad [\text{mol}] \quad (2.41)$$

故に、気液平衡の水素分圧のずれによるガス部への水素移行量は、

$$C_{MIG} = C_{1MIG} - C_{2MIG} \quad [\text{mol}] \quad (2.42)$$

であり、この値はナトリウム中水素濃度計算にも寄与する。

(b) 水素気泡の混入は、気泡上昇時間遅れ t_{RSB} (sec) と混合時間遅れを持って考慮する。

$$V_B = (1 - \phi) \times H_2 / 2.02 \times \Delta t \times 2.24 \quad [\ell] \quad (2.43)$$

$$t_{RSB} = L_{LLV} / (U_B - U_N) \quad [\text{sec}] \quad (2.44)$$

(c) 蒸着ナトリウムによる水素吸収は、カバーガス中へ移行してきた全水素量に実質混合割合（外部入力）を掛けることによって考慮する。

以上(a)、(b)、(c)より、カバーガス中水素濃度計算は次式で定義される。

$$C_{CG} = V_{H2} / (V_{CG} + V_{H2}) \times 10^6 \quad (2.45)$$

$$V_{H2} = C_{CG}^{n-1} \times V_{CG} / (10^6 - C_{CG}^{n-1}) - V_{H2MIG} \\ + (V_{H1MIG} + V_B) \times C_{GPHI} \quad [V \text{ ppm}] \quad (2.46)$$

P_{H_2Na}	ナトリウム中水素分圧 (ata)
P_{H_2NaL}	気液平衡時間遅れ前のナトリウム中水素分圧 (ata)
$P_{H_2NaL} = P_{H_2Na}$	(t - 気液平衡時間)
P_{H_2CG}	カバーガス中水素分圧 (ata)
V_{CG}	初期カバーガス体積、0 °C 1 ata 換算値 (ℓ)
V_{H_1MIG}	ナトリウム中からガス中への水素移行量 (ℓ)
C_{1M1G}	" (mol)
V_{H_2MIG}	ガス中からナトリウム中への水素移行量 (ℓ)
C_{2M1G}	" (mol)
V_B	水素気泡による混入量 (ℓ)
S	ナトリウム液面面積 (cm^2)
T	ナトリウム表面温度 (°K)
Δt	タイムステップ巾 (sec)
ϕ	水素気泡のナトリウム中溶解割合 (-)
H_2	水素ガス発生量 (g)
C_{CG}	カバーガス中水素濃度 (vppm)
n	計算ステップ (-)
C_{GPH2}	カバーガス中に混合した水素がNaHとして胴内壁に吸着する効果を考慮した時のガス中水素の実質混合割合 (-)
L_{LLV}	リーク点からナトリウム液面までの距離 (m)
U_B	水素気泡のナトリウム中での上昇速度 (m/sec)
U_N	リーク点からナトリウム液面迄のナトリウム流速 (m/sec)

(8) カバーガス中初期バックグラウンド濃度 (C_{OBGCG})

(a) 通常運転開始時の場合

外部入力で与える。

(b) 通常運転の場合

ナトリウムバルクとの気液平衡状態にあることから、カバーガス中水素分圧

P_{H_2BG} は

$$P_{H_2BG} = \left(\frac{C_{OBG}}{K} \right)^2 \quad [\text{torr}] \quad (2.47)$$

従がって、初期カバーガスバックグラウンド濃度 C_{OBGCG} は

$$C_{OBGCG} = \frac{P_{H2BG}}{760} \times 10^6 \quad [\text{vppm}] \quad (2.48)$$

但し、気液平衡式の係数 K は Vissers らの式のものを用いる。

$$\log_{10} K = 0.86 - \frac{122}{(T_N + 273.0)} \quad [\text{ppm/Torr}^{\frac{1}{2}}] \quad (2.49)$$

$T_N [^\circ\text{C}]$: ナトリウム液面近傍温度

2.3.2-2 スタグナント部リーグ

(1) 水素ガスの発生

(a) リーク率における水素ガス泡発生量 (Q_{HG})

$$Q_{HG} = f \frac{2}{18} G \quad [g/sec] \quad (2.50)$$

また、Na中に溶解する水素ガス量 (Q_N) は、

$$Q_N = (1-f) \frac{2}{18} G \quad [g/sec] \quad (2.51)$$

(2) ナトリウム中水素濃度 (C_i)

(a) リーク点上方における水素濃度

$$\left(\frac{dc_i}{dt} \right)^n = \{ W_{CNa} (C_{i+1} + C_{i-1} - 2C_i) + \Delta \phi_i G_{bi} - \frac{1}{2} \}^n / \Delta M_i \quad (2.52)$$

ここで $\Delta \phi_i$ は、 i メッシュを気泡が通過する際の溶解割合

$$\Delta \phi_i^n = 1 - \left(\frac{r_{i+\frac{1}{2}}}{r_{i-\frac{1}{2}}} \right)^3 \frac{\rho_v^n_{i+\frac{1}{2}}}{\rho_v^n_{i-\frac{1}{2}}} \quad (2.53)$$

$G_{bi} - \frac{1}{2} (g/sec)$ は、 $i-1$ から i に上昇して来る水素ガス量であり、メッシュ間の関係は、以下の如くである。

$$G_{bi}^{n-1} = G_{bi}^{-\frac{1}{2}} (1 - \Delta \phi_i^n) \quad (2.54)$$

(b) リーク点下方における水素濃度

$$\left(\frac{dC_i}{dt} \right)^n = \{ W_{CNa} (C_{i-1} - 2C_i) \}^n / \Delta M_i \quad (2.55)$$

(c) リーク点における水素濃度

$$\frac{d C_L}{d t})^n = \{ W_{CNa} (C_{L+1} + C_{L-1} - 2C_L)^n + \Delta \phi_L G_b L^{-\frac{1}{2}} + Q_N \} / \Delta M_L$$

(2.56)

(d) スクグナント部液面直下の点における水素濃度

$$\frac{d C_N}{d t})^n = \{ W_{CNa} (C_{N-1} + C_N)^n + \Delta \phi_N G_b N^{-\frac{1}{2}} + G_{HCGN} \} / \Delta M_N$$

(2.57)

(e) SG管東部及び2次ナトリウム系内における水素濃度

$$\frac{d C_1}{d t})^n = \{ W_{CNa} (C_2 - C_1) + G_{Hcoil} \} / \Delta M_i$$

(2.58)

ここで

$$r_i^n \simeq \frac{d i}{d x} \frac{n}{i} \Delta x + r_L$$

(2.59)

とし、気泡吸収に相当する気泡半径減少割合 dr/dx は根井の式⁽⁸⁾あるいは、Whittingham⁽⁹⁾ の式が適用できる。また、どちらかを使うかについては、外部入力で指定する。

(根井の式)

$$\frac{dr}{dx}_i^n = - \frac{K \rho_{li}^n (C_{si} - C_i)^n}{\rho_{vi}^n U} - \frac{r_i^n}{3 \rho_{vi}^n} \frac{\rho_{vi}^n}{d x}$$

(2.60)

または

(Whittinghamの式)

$$\frac{dr}{dx}_i^n = \frac{1}{U} \frac{dr}{dt} = \frac{1}{U} \{ K_{ai} \frac{T_{ki}}{273} \}^n$$

(2.67)

ここで、(2.52)式、(2.55)～(2.58)式は差分式で解くものとし、この場合の時間メッシュ巾 Δt (sec) は、以下の様に決定される。

$$dt \simeq \Delta t = \Delta x / U$$

(2.62)

但し、

C_i [-] : 各メッシュ内における水素濃度

t [sec] : 時間

W_{CNa} [g/sec] : スタグナント部ナトリウム微少循環流量

W_{Na} ["] : " 下部におけるナトリウム流量

$\Delta\phi_i$ [-] : メッシュ内における溶解割合

$G_{bi} - \frac{1}{2}$ [g/sec] : メッシュ内に流入する水素ガス泡流量

ΔM_i [g] : 各メッシュ内 Na 重量

$r_i - \frac{1}{2}$ [cm] : メッシュ内に流入する気泡半径

φ_i [g/cm³] : 各メッシュ内部のナトリウム密度

ρ_{vi} ["] : " 水素ガス密度

C_{si} [-] : 各メッシュにおける飽和水素濃度

U [cm/sec] : 気泡上昇速度 (外部入力)

T_{ki} [°K] : 各メッシュ内ナトリウム温度

K_{ai} [cm³ NTP · cm Na atm⁻¹ sec⁻¹]

: 水素ガス吸収速度

$$\log_{10} K_a = 4.17 - 4130/T_k^{(g)} \quad (2.63)$$

C_{HCGN} [g/sec] : スタグナント部液面を介してカバーガス中から吸収される水素量

C_{Hcoil} ["] : 管東部液面を介してカバーガス中から吸収される水素量

n [-] : 時間ステップを示すサフィックス

L [-] : リーク点を示すサフィックス

N [-] : メッシュ分割数

(f) ナトリウム中初期水素濃度

本モデルでは、(2.34)式で計算されるナトリウム系内バックグラウンド水素濃度を外部入力で与える。

(3) カバーガス中水素濃度

カバーガス中では、流入して来る水素ガスとカバーガスとは瞬時に均質混合するものとし、以下のカバーガス中水素量 M_{CH} (g)に関する方程式を解くことにより計算する。

$$\frac{dM_{CH}}{dt} = G_{bN} + \frac{1}{2} - (G_{HCGN} + C_{HBX} + G_{HCOI}) \quad (2.64)$$

これより、カバーガス中水素濃度 C_{CG} (V ppm) は、

$$C_{CG} = V_{H_2} / (V_{CG} + V_{H_2}) \times 10^6 \quad (2.65)$$

$$V_{H_2} = 273 \cdot R \cdot M_{CH} / P_{CG} \times 10^{-7} \quad (2.66)$$

また、蒸着ナトリウム中の水素濃度 C_{BX} (ppm) は、以下の方程式から求まる。

$$\frac{dC_{BX}}{dt} = G_{HBX} / M_{BX} \times 10^6 \quad (2.67)$$

但し、

C_{CG} [V ppm] : カバーガス中水素濃度

C_{BX} [ppm] : 蒸着ナトリウム中水素濃度

G_{HBX} [g/sec] : 蒸着ナトリウム表面を介してカバーガス中から吸収される水素量

M_{BX} [g] : 蒸着ナトリウム重量

ここで、各ナトリウム表面に吸収される水素量及びカバーガス中に放出される水素量の計算は、2.3.2-1(7)(a)と同様に行われる。

2.3.3 検出時間 (t_{DCT} , $t_{DCT'}$)

2.2.3に記したように検出時間は次式で表わされる。

$$t_{DCT} = t_{DT} + t_{TR} \quad (\text{ナトリウム中検出}) \quad [\text{sec}] \quad (2.68)$$

$$t_{DCT'} = t_{DT'} + t_{TR'} \quad (\text{ガス中検出}) \quad [\text{sec}] \quad (2.69)$$

(1) ナトリウム中検出の場合 (t_{DCT})

(a) t_{DT} はリーク検出器の真空側の水素濃度がバックグラウンド値の指定% (水リーク検知レベル) 以上になるまでの濃度上昇に必要な時間である。

検出器の濃度信号出力 $C_{DT}(t)$ は、Ni 膜中の水素拡散方程式の解析解を 1 次遅れにより近似した次式で与えられる。

$$C_{DT}(t) = F_C(t_1) + \frac{F_C(t) - F_C(t_1)}{t_T} \Delta t \quad [\text{ppm}] \quad (2.70)$$

$$\text{但し } F_C(t) = \beta \times f_C(t) \quad [\text{ppm}] \quad (2.71)$$

$F_C(t)$ [ppm] : 検出器に輸送されてきた水素濃度

t_1 [sec] : 1 ステップ前の計算時刻

t_T [sec] : 1次遅れ曲線の時定数

β [-] : 検出率

Δt [sec] : 時間メッシュ

$f_C(t)$ [ppm] : リーク点の水素濃度変化

この C_{DT} が下記の条件式を満たすときに水リークを検知したものとする。

$$C_{DT}(t) \geq C_{OBG} + C_{OBG} \times \frac{k_{DT}}{100} \quad [\text{ppm}] \quad (2.72)$$

但し、 C_{OBG} [ppm] : ナトリウム中初期バックグラウンド値

k_{DT} [%] : 検知レベル (C_{OBG} の指定 %)

t_{DT} は上式の判定式が満足される時点までの経過時間であり、この時間は計算ステップを進めていく過程で決定される。

(b) t_{TR} (リーク点から検出器までの水素輸送時間)

$$t_{TR} = t_{LDT} + t_{DTS} \quad [\text{sec}] \quad (2.73)$$

但し t_{LDT} [sec] : リーク点から検出系取出し部までの水素輸送時間

t_{DTS} [sec] : 検出系の2次系配管取出点から検出器の N_i 膜面 (検出部)
までの水素輸送時間

(2) ガス中検出 ($t_{DCT'}$) の場合

(a) $t_{DCT'}$ はナトリウム中検出と同様に検出器の真空側の水素濃度がバックグラウンド
値の指定 % 以上になるまでの濃度上昇に必要な時間である。

検出器の検出濃度および検知と判定する条件は各々 (2.70)、(2.72) 式に従
がう。

(b) $t_{TR'}$ はカバーガス部から検出器までの水素輸送時間であり外部入力により与えら
れる。

2.3.4 反応停止時間 (t_{STP})

2.2.3 で記したように反応停止に要する時間は次式となる。

$$t_{STP} = t_{DCT} + t_{OP} + t_{OP} \quad (\text{ナトリウム中検出}) \quad [\text{sec}] \quad (2.74)$$

$$= t_{DCT'} + t_{OP} + t_{OP} \quad (\text{ガス中検出}) \quad [\text{sec}] \quad (2.75)$$

2.4 計算コードの構成

図2.10及び図2.11に「SWAC-10-MJ/2」のフローチャートを示す様に、本コードは、コイル部リーク計算モジュールと、スタグナント部リーク計算モジュールから構成される。モジュールの選択は、オプションデータ（ICODE）により定義される。

コイル部リーク計算モジュールは、初期値を設定したあと、水リーク率をパラメータにとり、自己拡大による水リーク率変化も考慮し、発生水素量のナトリウム中への溶解量を算出して、ナトリウム中水素濃度の増加分およびカバーガス中への水素気泡の増加分を計算する。次に時間を1ステップづつ進め、リークSGを有する系統の水素濃度上昇過程を、各リーク検出系取付け位置で、それぞれ算出し、各リーク検出器により検出可能となる時刻を計算する。

スタグナント部リーク計算モジュールは、初期値を設定したあと、水リーク率をパラメータにとり、タイムステップ巾を計算する。次に自己拡大による水リーク率変化を計算しておき、時間を1ステップづつ進め、スタグナント部各メッシュ、2次系流動部（1点）、カバーガス部蒸着ナトリウム、カバーガス部のそれぞれの水素濃度上昇過程を計算し、カバーガス部リーク検出器により検出可能となる時刻を計算する。

以上の計算結果をもとに、両モジュール共、「セーフティマップ」作図に必要な処理を行い、プロッターにより作図する。

以上の計算過程をメインプログラムと28個のサブプログラムにより実行する。図2.12～図2.15に主なサブルーチンの構成と役割を、フローチャートとして示す。以下に各ルーチンの概要を示す。

MAIN	主なサブルーチンをコントロールするメインルーチン (フローチャート参照の事)
INPUT	インプットデータの読み込みと、定数計算をする。
OUTPUT	インプットデータと定数をプリントアウトする。
WLEAK	CALCH2ルーチンで求める値から検出系でのレコーダ指示値を計算してそれを外部記憶装置に書出す。（フローチャート参照の事）
CALCH2	ナトリウム中のミキシング位置、リーク位置、ナトリウム検出系取付位置、およびカバーガス中での水素濃度変化を0秒からシュミレーション打切り時間まで計算する。

CALOUT

セーフティマップ相当のデータをプリントアウトする。

GRAPH

①セーフティマップ ②リーク検出器応答特性図 ③リーク検出器指示値と応答勾配図の作成をする。③図勾配は S M I N ルーチンで指示値の近似式を求める算出する。

WASTG

ウェステージ率を計算する。

S MIN

近似式を最小自乗法により求める。

G AMN

ナトリウム比重量を計算する。

PVISS

気液平衡式よりカバーガス中の水素分圧を求める。

CVISSL

ナトリウム中飽和水素溶解度を計算する。

GAMH2

水素ガス比重量を計算する。

BLOCK

初期データを定義する BLOCK DATA ルーチン。

BUBLAG

水素気泡の上昇時間とカバーガス混合時間遅れ分だけ前の、溶解割合と水素リーグ量を参照する。

BUBBLE

水素気泡の溶解割合を計算する。

COVGAS

カバーガス部の水素濃度変化を次の項目を考慮して計算する。①気液平衡による。ナトリウム部からガス部への移動 (Na 部濃度高の時) あるいは、ガス部からナトリウム部への移動 (ガス部濃度高の時。)。②水素気泡上昇によるガス部への流入。

CTRL

2 次系内の水素濃度変化計算のためのコントロールルーチンである。(フローチャート参照の事)

GSTATE

自己拡大による水リーク率変化、隣接管許容損耗時間、ナトリウム中水素溶解割合、水素リーク率、ナトリウム中水素濃度変化等を、自己拡大を起す時間と合せて、データーテーブルに作成する。

G T

BUBBLEルーチンでCALLされる。気泡の位置(液面よりの深さ)の関数として、ナトリウム温度、ナトリウム及び水素ガス比重量、水素ガス圧力を計算する。

F INTER

リーク率に関する自己拡大口径比関数を20点以内のテーブルで与えることにより、あるリーク率に対応する拡大口径比を線形内挿計算により求める。

S MAIN

SCALルーチンで求める値から検出系でのレコーダ指示値を計算してそれを外部記憶装置に書出す。(フローチャート参照の事)

S INPUT

インプットデータの読み込みと、定数計算をする。

S OUTPUT

インプットデータと定数をプリントアウトする。

SCAL

カバーガス部、蒸着ナトリウム部、2次系ナトリウム流動部、スタグナント各区分の水素濃度変化を計算する。

S BUBLE

スタグナント部における、水素気泡の溶解計算をする。

S COVER

ガス部とナトリウム部の境界面における水素の移動量を計算する。

S CONTL

スタグナント部リーク計算のコントロールルーチンである。

(フローチャート参照の事)

尚、本プログラムの使用言語はFORTRAN-IVを用い、プログラムの大きさは、コアリージョンサイズ470KB、ステップ数約3200である。

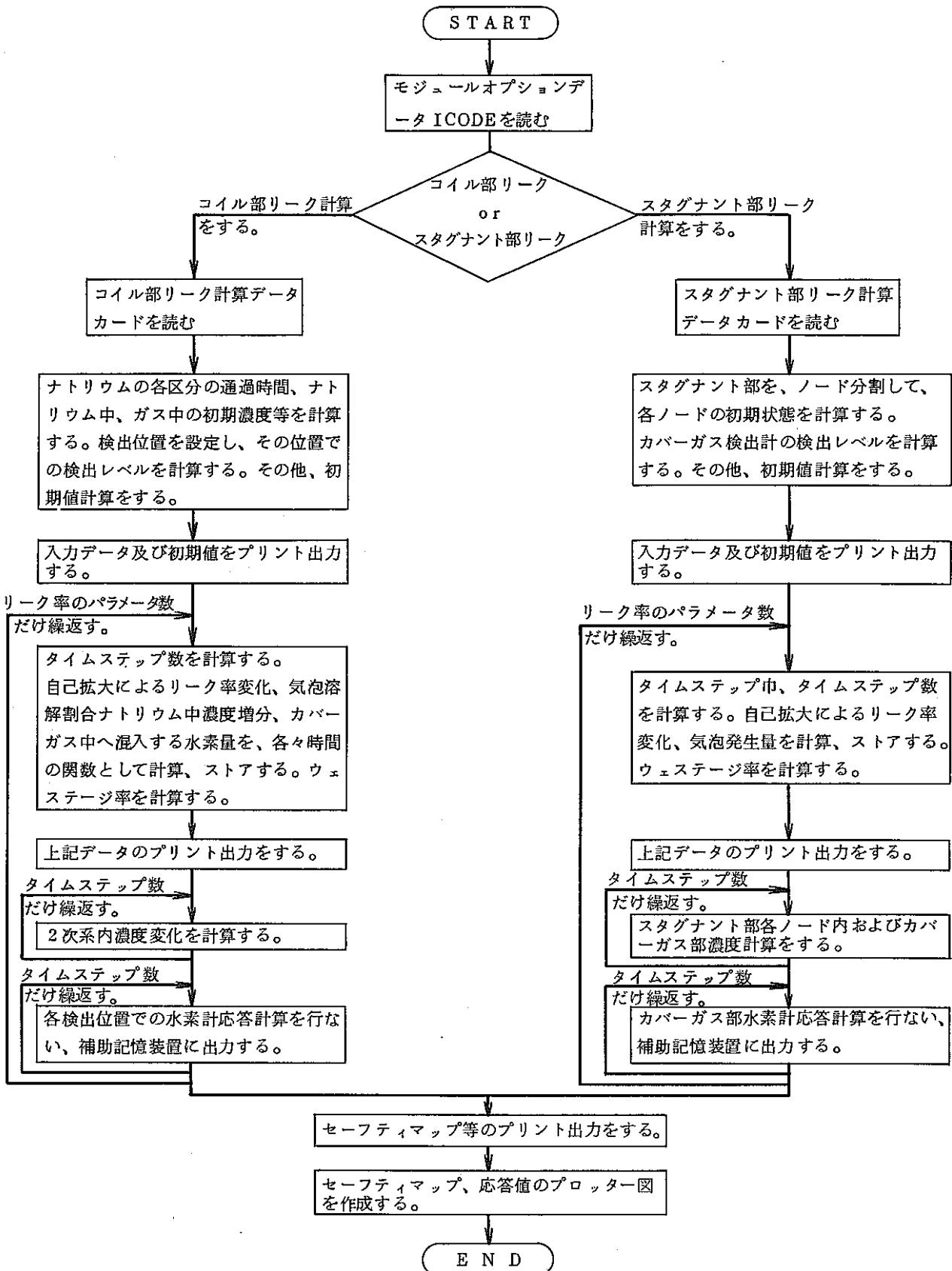


図 2.1.0 「SWAC-10-MJ/2」フローチャート

メインフロー

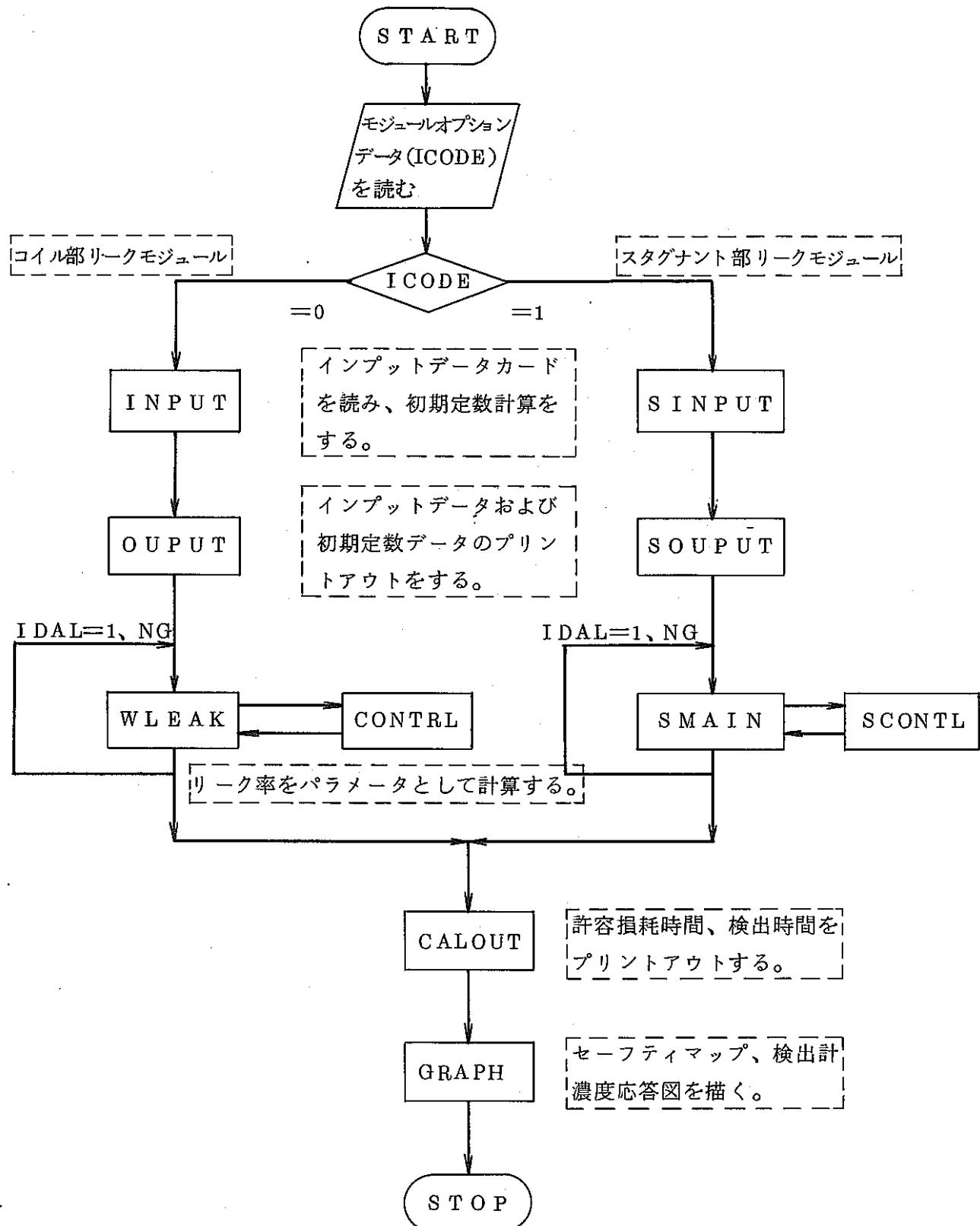


図 2.1.1 「SWAC-10-MJ/2」メインルーチンフローチャート

W L E A K ルーチンフロー

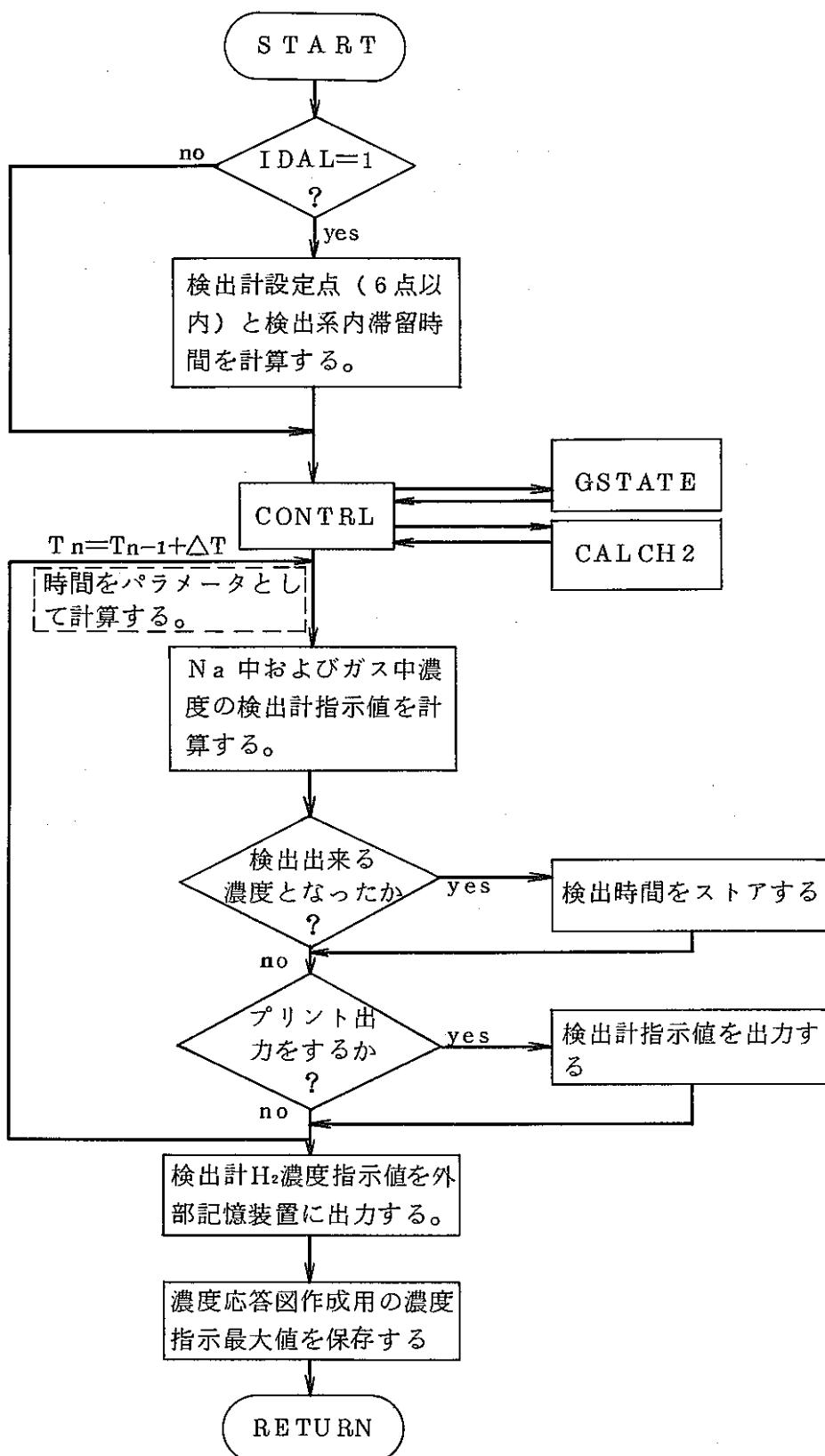


図 2.1.2 「SWAC10-MJ/2」 WLEAK ルーチンフローチャート

CONT RL ルーチンのフロー

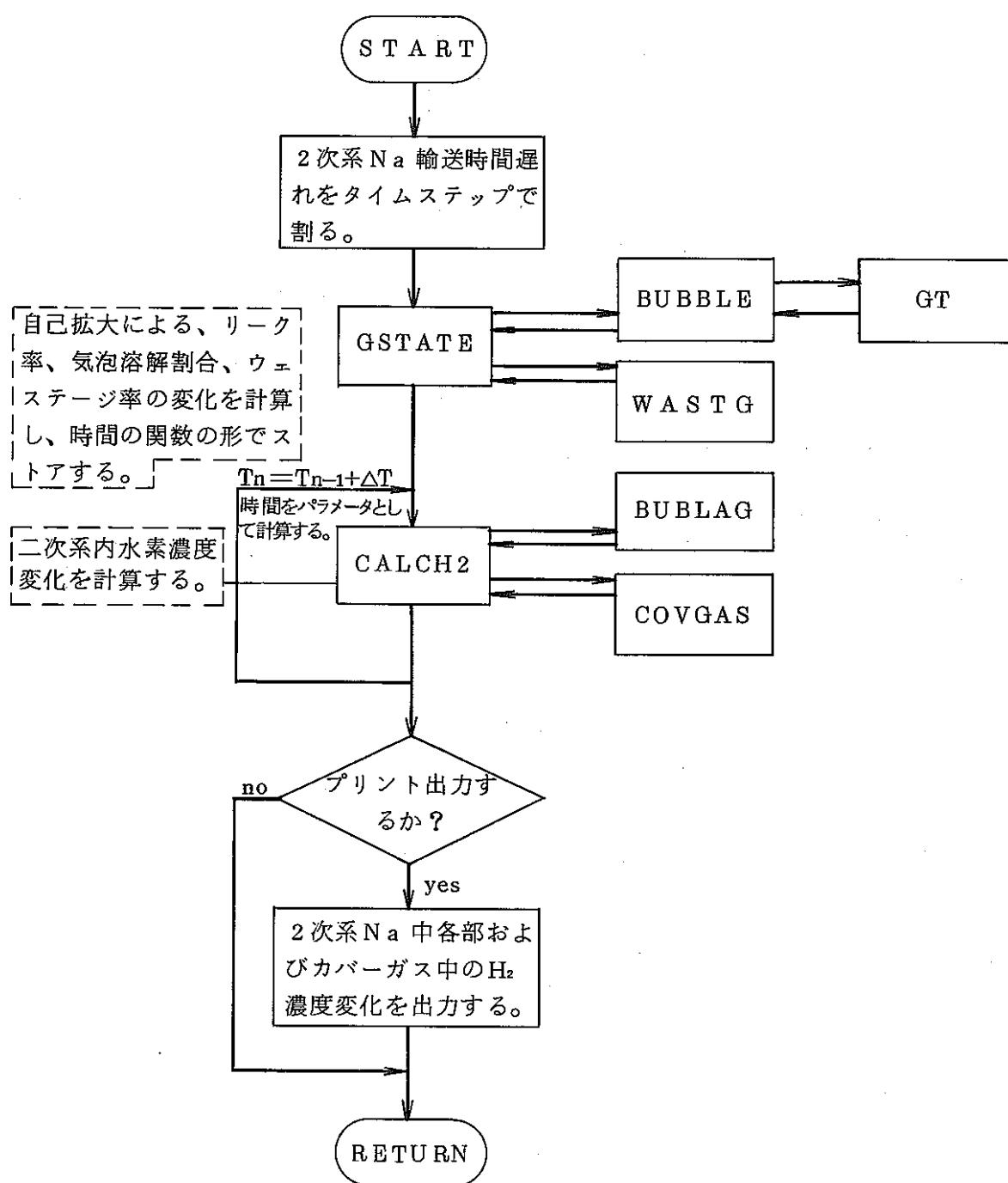


図 2.1.3 「SWAC 10-MJ/2」 CONT RL ルーチンフローチャート

SMAIN ルーチンフロー

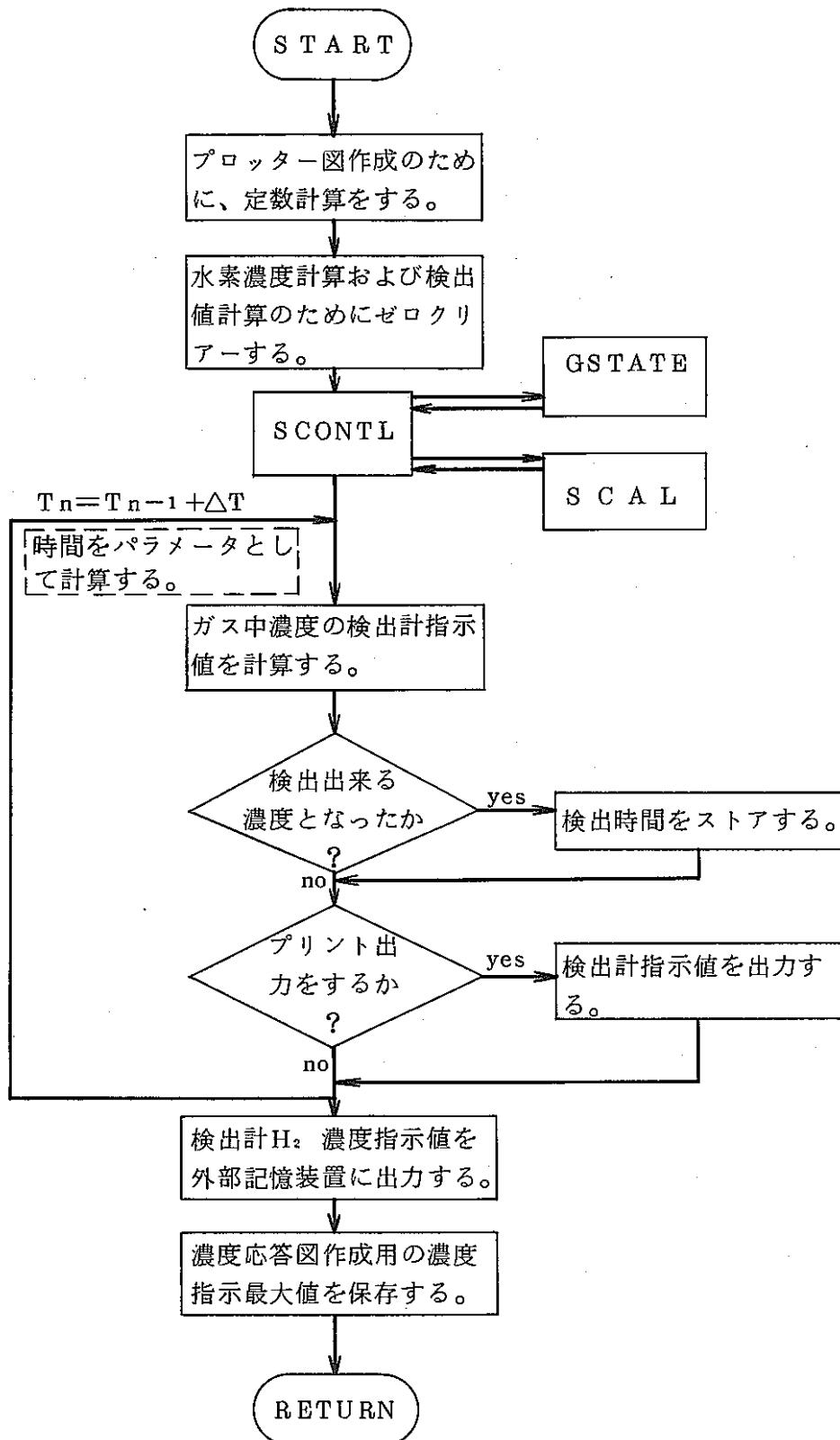


図 2.1.4 「SWAC10-MJ/2」 SMAIN ルーチンフローチャート

SCONTLルーチンのフロー

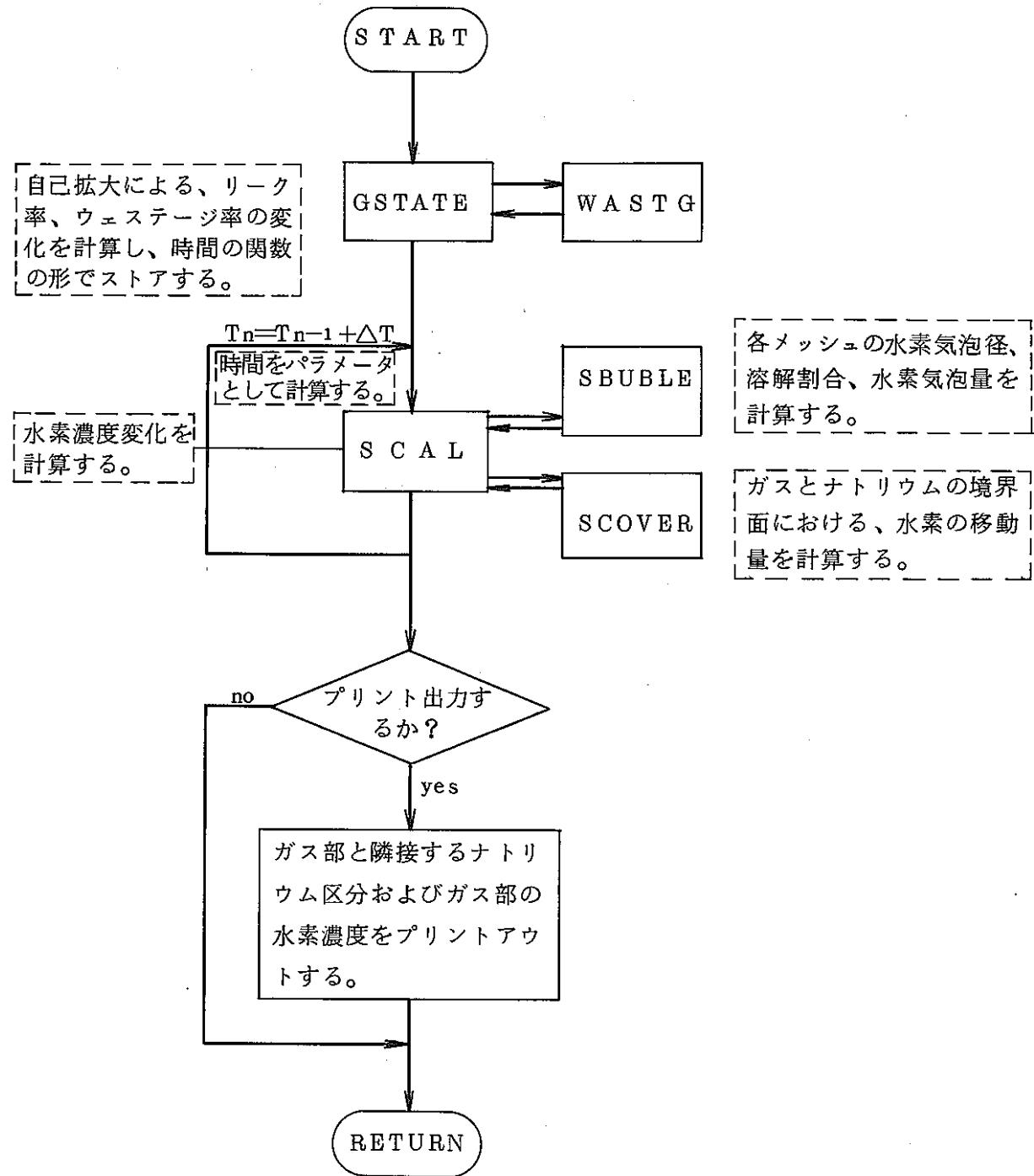


図 2.1.5 「SWAC10-MJ/2」 SCONTLルーチンフローチャート

2.5 インプット形式

インプットデータは

- ① プログラムモジュールの選択データ………カード枚数=1まい

$$\left. \begin{array}{l} I\ CODE=0 \text{ 管束部リークモジュールの計算をする。} \\ I\ CODE=1 \text{ スタグナント部リークモジュールの計算をする。} \end{array} \right\}$$

- ② コイル部リークモジュール計算データ………カード枚数=6 7まい

- ③ スタグナント部リークモジュール計算データ………カード枚数=4 9まい

の、3組に分類される。

コイル部リーク計算をする時には、①と②のカードをセットし、スタグナント部リーク計算をする時には、①と③のカードをセットする。

2.5.1 プログラムモジュールの選択データ

表 2.1 モジュールオプションデータ

データ No.	整数データ			FORMAT 18I4
	データ カードNo.	記号	内 容	備 考
1	1	I CODE	プログラムモジュールの選択 = 0 コイル部リークモジュール = 1 ダウンカマ部リークモジュール	

2.5.2 管東部リークモジュールーインプットデータ

インプットは整数データ、タイトルデータ、実数データからなる。

計算体系は図 2.1 6 を参照の事。

表 2.2 管東部リーク整数データ (1/4)

データ No.	整 数 デ 一 タ			FORMAT I4
	データ カードNo.	記 号	内 容	備 考
1	2	IOPTA	計算モデル オプション もんじゅ = 3	—
2		LOCA	リーク位置の指定 SH上部プレナム or SH伝熱部 = 1 EV上部プレナム or EV伝熱部 = 3	
3	3	IPLT1	セーフティ・マップを描くか? yes = 1 no = 0	
4		IPLT2	リーク検出器応答性図を描くか? yes = 1 no = 0	
5		IPLT3	= 0	本データは使用せず。
6	4	KAKSAN	水素拡散量データの与え方 = 1 (外部入力)	
7	5 *	JB ICHII(1)	図 2.1 6 の計算体系のB位置にNa中検出系を置くか? yes = 1 no = 0	

注) * 検出位置の指定箇所は最大 6 とする。

表 2.2 管束部リーグ整数データ (2/4)

データ No.	整 数 デ タ			FORMAT	1 4
	データ カード No.	記 号	内 容	備 考	
8	5	J E I C H I(2)	図 2.16 の計算体系の E 位置に Na 中検出系を置くか? y e s = 1 n o = 0	検出設定レベル - 1 I C H I(13), (14) のデータと併せて、検出のレベルを 3 点まで得ることが出来る。	
9		J G I C H I(3)	" " G 位置		
10		J J I C H I(4)	" " J 位置	検出設定レベル - 1 I C H I(11), (12) のデータと併せて、検出のレベルを 3 点まで得ることが出来る。	
11		J O I C H I(5)	" " O 位置		
12		J P I C H I(6)	" " P 位置		
13		J S H G - 1 I C H I(7)	図 2.16 の計算体系の S H のガス中検出 1 を置くか? y e s = 1 n o = 0		
14		J S H G - 2 I C H I(8)	図 2.16 の計算体系の S H のガス中検出系 2 を置くか? y e s = 1 n o = 0		
15		J E V G - 1 I C H I(9)	図 2.16 の計算体系の E V のガス中検出系 1 を置くか? y e s = 1 n o = 0		
16		J E V G - 2 I C H I(10)	図 2.16 の計算体系の E V のガス中検出系 2 を置くか? y e s = 1 n o = 0		

表 2.2 管東部リーク整数データ (3/4)

データ No	整 数 デ 一 タ			F O R M A T	1 4
	データ カード No	記 号	内 容	備 考	
17	5	I C H I(1)	図 2.16 の計算体系の J 位置に Na 中検出系を置くか? y e s = 1 n o = 0	検出設定レベル-2	
18		I C H I(2)	" y e s = 1 n o = 0	検出設定レベル-3	
19		I C H I(3)	図 2.16 の計算体系の E 位置に Na 中検出系を置くか? y e s = 1 n o = 0	検出設定レベル-2	
20		I C H I(4)	" y e s = 1 n o = 0	検出設定レベル-3	
21		I C H I(5)	= 0	本データは使用せず	
22	6	I P R I N T	各検出位置での濃度変化をプリントアウトするか? y e s = 1 n o = 0		
23		L E A K N O	プリントアウトしたいリーク率に対応するIDAL番号の指定 (I P R I N T=1 のときのみ有効)	I D A L番号はB L O C K D A T AのD A L Rのデータ番号である。	
24		I P U T	濃度変化のプリントアウトの間隔を何秒ごとにするか? (I P R I N T=1 のときのみ有効)		
25	7	I P A I	水素のナトリウム中への溶解割合 外部入力で与える = 0 計算式から求める = 1	リーク率の関数 根井の式	
26		J S L F	= 0	本データは使用せず	
27		I T A L O W	許容損耗肉厚データの与え方 = 1 (外部入力)		
28		I C B G	カバーガス中の初期バックグラウンド水素濃度 外部入力で与える = 1 計算式から求める = 0	初期ならし運転時は外部入力で与える。通常時は計算式から求める。	

表 2.2 管束部リーク整数データ (4/4)

データ No.	整 数 デ 一 タ			F O R M A T 1 4
	データ カード No.	記 号	内 容	
29	8	N G	水リーク率の計算数	N G \leq 5 0
30		N E N	自己拡大考慮回数	自己拡大を考慮しないなら、 N E N = 0 とする。 N E N < 1 0
31		I E N E V	E V (クロモリ材) の自己拡大式のオプション 1. P N C式 2. G E式 T _{Na} = 4 8 2 °C 3. " 4 7 0 °C 4. " 4 6 0 °C 5. " 3 0 4 < T _{Na} < 3 4 0 °C 6. 係数をインプットして計算する。	
31 -A		I E N S H	S H (S U S材) の自己拡大式のオプション = 1 P N C式 = 2 係数をインプットして計算する。	
32		I S U P M X	S H入口部でミキシングを考慮するか? y e s = 1 n o = 0	
33		I 4 M I X	S H出口部でミキシングを考慮するか? y e s = 1 n o = 0	
34		I E U P M X	E V入口部でミキシングを考慮するか? y e s = 1 n o = 0	
35		I 9 M I X	E V出口部でミキシングを考慮するか? y e s = 1 n o = 0	
36		I 1 5 M I X	I H X出口部でミキシングを考慮するか? y e s = 1 n o = 0	
37 41	10	N G P(1) l (5)	検出計水素濃度値のプロット図を描く、リーク率 の番号	N G以下の値を小さい順に 5点指定する。

表 2.3 管東部リークタイトルデータ

データ No.	タ イ ト ル デ ー タ F O R M A T A 4			
	データ カード No.	記 号	内 容	備 考
1	11	T I T L E (1~4)	ケース番号	4 A 4
2		T I T L E (5~16)	ケースタイトル	12 A 4

表 2.4 管東部リーク実数データ (1/12)

データ No.	実 数 デ ー タ F O R M A T E 1 2 . 0			
	データ カード No.	記 号	内 容	備 考
1	12	F S H	N a流量 (ton/hr)	
2		F R H	= 0	本データは使用せず。
3		F C T	コールドトラップ流量 (ton/hr)	
4		F O V E R	E Vオーバーフロー流量 (ton/hr)	
5		F S U R G E	= 0	本データは使用せず
6	13	A T F	計算時間 (秒)	
7	14	S T N A	N a中検出器感度 (アラーム設定) (%)	対バックグラウンドレベル
8		S T G A S	ガス中検出器感度 (アラーム設定) (%)	"
8-A		S T N A 2	N a中検出器感度 (アラーム設定2) (%)	図2.16のEおよびJ位置 に対してのみ有効
8-B		S T N A 3	" (アラーム設定3) (%)	"
9	15	E T A C T	コールドトラップ純化効率 (-)	
10		T C T	コールドトラップ運転温度 (°C)	
11	16	T H O T	N aホットレグ温度 (°C)	
12		T C O L D	N aコールドレグ温度 (°C)	

表 2.4 管東部リーク実数データ (2/12)

データ No	実 数 デ ー タ			FORMAT E 12.0
	デー カ カード No	記 号	内 容	
13	16	T M I D L	N aミドルレグ温度 (°C)	
14	17	D D O (1)	= 0 (任意の値)	本データは使用せず
15		D D O (2)	= 0 (")	"
16		D D O (3)	= 0 (")	"
17		S I G M A(1)	= 0 (")	"
18		S I G M A(2)	= 0 (")	"
19		S I G M A(3)	= 0 (")	"
20		P W (1)	= 0 (")	"
21	18	P W (2)	= 0 (")	"
22		P W (3)	= 0 (")	"
23		S T (1)	= 0 (")	"
24		S T (2)	= 0 (")	"
25		S T (3)	= 0 (")	"
26		S T A (1)	= 0 (")	本データは使用せず
27	19	S T A (2)	= 0 (")	"
28		S T A (3)	= 0 (")	"
29		A (1)	S H の伝熱面積 (m^2)	
30	20	A (2)	= 0	本データは使用せず
31		A (3)	E V の伝熱面積 (m^2)	
32		S S E 2(1)	S H の伝熱管単位面積当りの水素拡散量 ($\text{g-H}_2/cm^2 \cdot \text{s}$)	
33		S S E 2(2)	= 0	本データは使用せず
34		S S E 2(3)	E V の伝熱管単位面積当りの水素拡散量 ($\text{g-H}_2/cm^2 \cdot \text{s}$)	

表 2.4 管束部リーク実数データ (3/12)

データ No.	実 数 デ ー タ			FORMAT E 12.0
	データ カード No.	記 号	内 容	
35	21	S S K 1(1)	= 0 (任意の値)	本データは使用せず
36		S S K 1(2)	= 0 (")	"
37		S S K 1(3)	= 0 (")	"
38		S S K 2(1)	= 0 (")	"
39		S S K 2(2)	= 0 (")	"
40		S S K 2(3)	= 0 (")	"
41	22	A C R S(1)	S Hコイル部Na側流路断面積 (m^2)	
42		A C R S(2)	= 0	本データは使用せず。
43		A C R S(3)	E Vコイル部Na側流路断面積 (m^2)	
44		D E E P(1)	水リーク点位置のNa液面からの深さ (S Hで水リーク発生時) (m)	
45		D E E P(2)	= 0	本データは使用せず
46		D E E P(3)	水リーク点位置のNa液面からの深さ (E Vで水リーク発生時) (m)	
47	23	T A U I(1)	S Hの伝熱管の許容損耗肉厚 (mm)	
48		T A U I(2)	= 0	本データは使用せず
49		T A U I(3)	E Vの伝熱管の許容損耗肉厚 (mm)	
49-A		T A U A S	自己拡大に至る損耗深さ (mm)	
50	24	P G (1)	S Hのカバーガス圧力 (ata)	
51		P G (2)	= 0	本データは使用せず
52		P G (3)	E Vのカバーガス圧力 (ata)	
53		T G (1)	S Hのカバーガス温度 (°C)	
54		T G (2)	= 0	本データは使用せず
55		T G (3)	E Vのカバーガス温度 (°C)	

表 2.4 管束部リーク実数データ (4/12)

データ No	実 数 デ 一 タ			FORMAT E 1 2 . 0
	データ カードNo	記 号	内 容	
56	25	V G (1)	S Hのカバーガス体積 (m^3)	
57		V G (2)	= 0	本データは使用せず
58		V G (3)	E Vのカバーガス体積 (m^3)	
59	26	C O G (1)	S Hのカバーガス中初期水素濃度 (VPPM) (ICBG = 1のときのみ有効) Naの水素吸収 が起きる下限値ともなる。	
60		C O G (2)	= 0	本データは使用せず
61		C O G (3)	E Vのカバーガス中初期水素濃度 (VPPM) (ICBG = 1のときのみ有効) Naの水素吸収 が起きる下限値ともなる。	
62		C O G (4)	= 0	本データは使用せず
63	27	T S H U T(1)	S Hのしゃ断時間 (sec) (オペレータの判断時間も含む)	
64		T S H U T(2)	= 0	本データは使用せず
65		T S H U T(3)	E Vのしゃ断時間 (sec) (オペレータの判断時間も含む)	
66	28	T B U B(1)	S Hのカバーガス部水素気泡の混合時間遅れ (S Hで水リーク発生時) (sec)	
67		T B U B(2)	= 0	本データは使用せず
68		T B U B(3)	E Vのカバーガス部水素気泡の混合時間遅れ (E Vで水リーク発生時) (sec)	
69	29	T E Q U(1)	S Hのカバーガス部気液平衡到達への混合時間遅れ (sec)	
70		T E Q U(2)	= 0	本データは使用せず
71		T E Q U(3)	E Vのカバーガス部気液平衡到達への混合時間遅れ (sec)	
72		T E Q U(4)	= 0	本データは使用せず

表 2.4 管束部リーク実数データ (5/12)

データ No.	実数データ			FORMAT E 12.0
	データ カードNo.	記号	内容	
73	30	T A R (1)	S H カバーガス検出系内の水素輸送時間 (sec)	
74		T A R (2)	= 0	本データは使用せず。
75		T A R (3)	E V カバーガス検出系内の水素輸送時間 (sec)	
76		T A R (4)	= 0	本データは使用せず。
77		T A R (5)	= 0	"
78		T A R (6)	= 0	"
79	31	T S T A Y(1)	図2.16の計算体系のB位置のNa中検出系内の水素輸送時間 (sec)	Ni 膜拡散計算時のむだ遅れ時間を含める。
80		T S T A Y(2)	" E 位置 "	"
81		T S T A Y(3)	" G 位置 "	"
82		T S T A Y(4)	" J 位置 "	"
83		T S T A Y(5)	" O 位置 "	"
84		T S T A Y(6)	" P 位置 "	"
85	32	T S T A Y(7)	= 0	本データは使用せず。
86		T S T A Y(8)	= 0	"
87		T S T A Y(9)	= 0	"
88	33	T A L M	Na中検出器のNi膜センサーの1次遅れ応答の時定数 (sec)	
89		T G A L M	ガス中検出器のNi膜センサーの1次遅れ応答の時定数 (sec)	
90	34	B E T A	Na 中検出系の検出率 (-)	1.00

表 2.4 管東部リーク実数データ (6/12)

データ No.	実 数 デ 一 タ			FORMAT	E 1 2.0
	データ カード No.	記 号	内 容	備 考	
91	34	B E T A G	ガス中検出系の検出率 (-)	1.00	
92		A L F A	= 0	本データは使用せず	
92-A		C L I M T	2次系内の水素濃度上昇により打切条件となる、 上限値 (ppm)		
93	35	D L G T H	リーク点からターゲット管間の距離 (mm)		
94		U B U B	水素気泡のNa静止中の上昇速度 (m/s)		
95		G N W G M X	ウェステージ率適用のリーク率上限値。これ以上のリーク率では、上限値でのウェステージ率となる。(g/s)	ウェステージ率式をそのまま使用したい時は、大きな値(1000 g/s)を与える。	
96		C E L G	= 0	本データは使用せず。	
97		G N W G	L/D = 150 となる時のリーク率 (ウェステージ率が零となるリーク率) (g/s)	L = D I G T H (mm) D = リーク孔径 (mm)	
98		C G P H I	カバーガス中に混入した水素の実質溶解割合 (-)		
99		V 1	図2.16の計算体系のSHへの配管部 区分(A-B)のNaインベントリー (m³)		
100	36	V 2	" SH " " (B-C) "	V S H M I X でミキシングを考慮しない時は、V 2にV S H M I X を加える。	
101		V S H M I X	図2.16の計算体系のSH液面近傍ミキシング区分 (C-C M I X) のNa体積 (m³)	ミキシングを考慮しない時は0とする。	
102		V S H	" SHコイル部 (C M I X-D') の "		
103		V 4 M I X	" SH下部ミキシング区分 (D'-D M I X) の "	ミキシングを考慮しない時は、0とする。	
104		V 4	" SH出口配管部 (D M I X-E) の "	V 4 M I X で、ミキシングを考慮しない時は、V 4にV 4 M I X を加える。	
105	37	V 5	" ミドルレグ配管部 (E-F) の "		

表 2.4 管東部リーグ実数データ (7/12)

データ No.	実 数 デ タ			FORMAT E 12.0
	データ カード No.	記 号	内 容	
106	37	V 6	図2.16の計算体系のミドルグ配管部 (E-F) の N a 体積 (m^3)	
107		V 7	" EV入口配管部 (G-H) の "	VEVMIXでミキシング を考慮しない時は、V 7に VEVMIXを加える。
108		VEVMIX	" EV液面近傍 ミキシング区分 (H-HMIX) の "	ミキシングを考慮しない時 は0とする。
109		VEV	" EVコイル部 (HMIX-I') の "	
110		V 9MIX	" EV下部ミキシング区分 (I'-IMIX) の "	ミキシングを考慮しない時 は0とする。
111	38	V 9	" EV " " (IMIX-J) "	V 9MIXでミキシングを 考慮しない時は、V 9 MIXをV 9に加える。
112		V 10	" コールドレグ配管部 (J-K) "	
113		V 11	" " (K-L) "	
114		V 12	" ポンプ (L-M) "	
115		V 13	" コールドレグ配管部 (M-N) "	
116		V 14	" " (N-O) "	
117	39	V 15-1	" IHXコールドレグ配管 (O-O') "	
118		V 15-2	" IHX本体 (O'-P'") "	V 15MIXのミキシング を考慮しない時は、V 15 MIXをV 15-2に加え る。
119		V 15MIX	" IHX出口ミキシング部 (P''-P') "	ミキシングを考慮しないの なら0とする。

表 2.4 管束部リーク実数データ (8/12)

データ No.	実数データ			FORMAT E 1 2.0
	データ カードNo.	記号	内容	備考
120	39	V 1 5 - 3	図2.16計算体系のIHXホットレグ配管部 (P'' - P) のNa体積 (m^3)	
121		V 1 6	" ホットレグ配管部 (P - A) "	
122	40	V 2 4	= 0	本データは使用せず
123		V 2 5	= 0	"
124	V 3 1	図2.16の計算体系のEVオーバフロー配管部区分 (H-U) のNaインベントリー (m^3)		
125	V 3 2	= 0		本データは使用せず
126	V 3 3	図2.16の計算体系のEVくみあげ系配管区分 (V-G) のNaインベントリー (m^3)		
127	V 4 1	図2.16の純化系のコールドトラップ入口側配管部 区分 (K-W) のNaインベントリー (m^3)		
128	41	V 4 2	" " 出口側配管部 区分 (W-L) "	
129		V 5 1	= 0	本データは使用せず。
130	V 5 2	= 0		"
131	H C(1)	図2.16のSHにおけるNa液面からヘリカルコイル 下端までの深さ区分 (C-D') (m)		
132	H C(2)	= 0		本データは使用せず
133	H C(3)	図2.16のEVにおけるNa液面からヘリカルコイ ル下端までの深さ 区分 (H-I') (m)		
134 139	42	D A L R(1) " D A L R(6)	計算する水リーク率 (g/s)	D A L R(i) > D A L R (i+1) リーク率パラメ ータ数 ≤ 50 N G個指定する。
140 145		D A L R(7) " D A L R(12)	"	

表 2.4 管東部リーク実数データ (9/12)

データ No.	実 数 デ タ			FORMAT E 1 2.0
	データ カード No.	記 号	内 容	
146 { 151	44	D A L R(13) { D A L R(18)	計算する水リーク率 (g/s)	
152 { 157	45	D A L R(19) { D A L R(24)	"	
158 { 163	46	D A L R(25) { D A L R(30)	"	
164 { 169	47	D A L R(31) { D A L R(36)	"	
170 { 175	48	D A L R(37) { D A L R(42)	"	
176 { 181	49	D A L R(43) { D A L R(48)	"	
182 { 183	50	D A L R(49) { D A L R(50)	"	
184 { 189	51	D E L T(1) { D E L T(6)	D A L R(i)に対応するタイムステップ巾 (sec)	ミキシング部の通過時間を 越えないこと (2.8を参照)
190 { 195	52	D E L T(7) { D E L T(12)	"	"
196 { 201	53	D E L T(13) { D E L T(18)	"	"
202 { 207	54	D E L T(19) { D E L T(24)	"	"

表 2.4 管束部リーク実数データ (10/12)

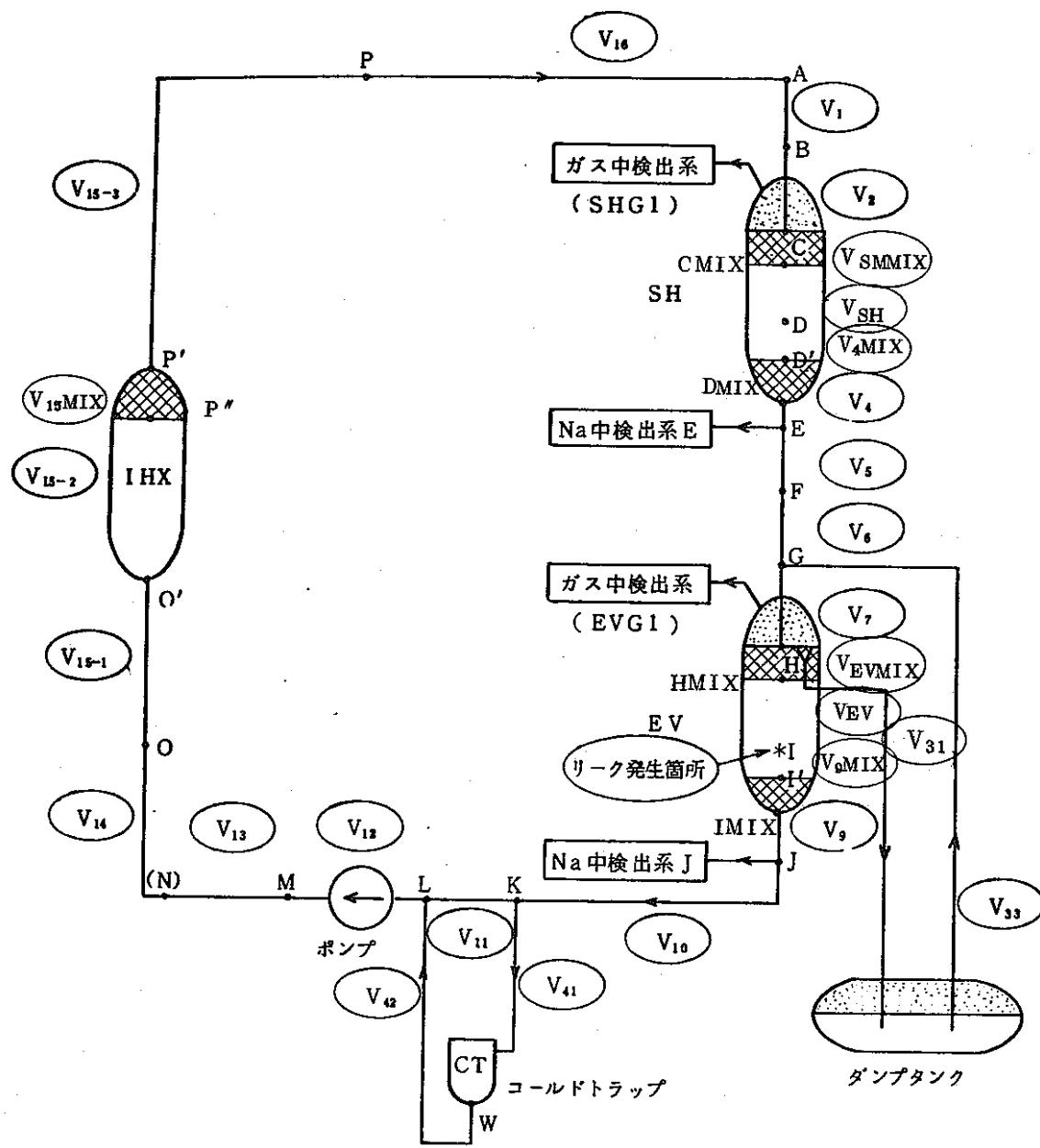
データ No.	実 数 デ 一 タ			FORMAT	E 1 2.0
	データ カード No.	記 号	内 容	備 考	
208 & 213	55	D E L T(25) & D E L T(30)	D A L R(i)に対応するタイムステップ巾(sec)	ミキシング部の通過時間を越えないこと。 (2.8を参照)	
214 & 219	56	D E L T(31) & D E L T(36)	"	"	
220 & 225	57	D E L T(37) & D E L T(42)	"	"	
226 & 231	58	D E L T(43) & D E L T(48)	"	"	
232 & 233	59	D E L T(49) & D E L T(50)	"	"	
234	60	G S L F M X	自己損耗拡大の上限となる水リーク (g/s)		
235 & 240	61	GENLG(i, 1) & (i, 2) (i, 3)	水リーク率に関する自己拡大口径比関数を20点以内のテーブルで与える。	i = 1 リーク率 i = 2 拡大口径比	
241 & 246	62	GENLG(i, 4) & (i, 5) (i, 6)	"	"	
247 & 252	63	GENLG(i, 7) & (i, 8) (i, 9)	"	"	
253 & 258	64	GENLG(i, 10) & (i, 11) (i, 12)	"	"	
259 & 264	65	GENLG(i, 13) & (i, 14) (i, 15)	"	"	
265 & 270	66	GENLG(i, 16) & (i, 17) (i, 18)	"	"	

表 2.4 管東部リーク実数データ (11/12)

データ No.	実 数 デ 一 タ			FORMAT E 1 2.0
	データ カード No.	記 号	内 容	
271 & 274	67	GENLG(i, 19) & (i, 20)	水リーク率に関する自己拡大口径比関係を20点以内のテーブルで与える。	i = 1 リーク率 i = 2 拡大口径比
275	68	A S H	S H液面面積 (m^2)	
276		A E V	E V液面面積 (m^2)	
277		H S H M I X	S H液面近傍部のミキシング区分の液面からの深さ (m)	
278		H E V M I X	E V液面近傍部のミキシング区分の液面からの深さ (m)	
279 & 284	69	GPHI(i, 1) & (i, 2) (i, 3)	水リーク率に関する水素気泡溶解割合を20点以内のテーブルであたえる。	i = 1 リーク率 i = 2 溶解割合 IPA1 = 0 の時のみ有効
285 & 290	70	GPHI(i, 4) & (i, 5) (i, 6)	"	
291 & 296	71	GPHI(i, 7) & (i, 8) (i, 9)	"	
297 & 302	72	GPHI(i, 10) & (i, 11) (i, 12)	"	
303 & 308	73	GPHI(i, 13) & (i, 14) (i, 15)	"	
309 & 314	74	GPHI(i, 16) & (i, 17) (i, 18)	"	
315 & 318	75	GPHI(i, 19) & (i, 20)	"	
319	76	CENEV1	クロモリの自己拡大式係数 $S_{WR} = CENEV1 \times GENEV2$	IENEV = 6 の時のみ有効

表 2.4 管東部リーク実数データ (12/12)

データ No.	実 数 デ 一 タ			FORMAT E 1 2.0
	データ カード No.	記 号	内 容	備 考
320	76	CENEV2	クロモリの自己拡大式係数 $SWR = CENEV1 \times GCENEV2$	IENEV = 6 の時のみ有効
321		CENSH1	SUS材の自己拡大式係数 $SWR = CENSH1 \times GCENSH2$	IENSH = 2 の時のみ有効
322		CENSH2	" "	"



2.5.3 スタグナント部リークモジュールーインプットデータ

インプットデータは整数データ、タイトルデータ、実数データからなる。

表 2.5 スタグナント部リーク整数データ

データ No.	FORMAT I 4			
	データカード No.	記号	内 容	備 考
1	2	M E S H	スタグナント部メッシュ分割数	2.8 を参照 ≤ 100 $\frac{10}{20}$ $\frac{0.01}{sec}$ $\frac{1}{2}$
2		N G	リーク率パラメータ数	≤ 50 21
3		M A T E L	伝熱管材質 =1 SUS, =2 クロモリ	2
4		N E N	自己拡大考慮回数	$< 10^0$ 拡大を考慮しないなら0
5		I E N E V	自己拡大式オプション 1 PNO式 2 GE式 … $T_{Na} = 482^\circ C$ 3 " … $470^\circ C$ 4 " … $460^\circ C$ 5 " … $304 < T_{Na} < 340^\circ C$ 6 インプットした係数より計算する。	MATEL=2の時有効
6		I P A I	水素のナトリウム中への溶解割合 =1 根井の式 =2 whittinghamの式	1
7		I O B G	カバーガス部初期水素濃度 定義のオプション =0 計算する。 =1 INPUTとする。	1
8		I E N S H	自己拡大式オプション 1 PNO式 2 インプットした係数より計算する。	MATEL=1の時有効
9	3	I P L T 1	セーフティマップを描くか? yes = 1, no = 0	1
10		I P L T 2	リーク検出器応答性図を描くか? yes = 1, no = 0	1
11		I P R I N T	各検出位置での濃度変化をプリントアウトするか? yes = 1, no = 0	1
12		L E A K N O	プリントアウトしたいリーク率に対応するIDAL 番号の指定 (I P R I N T = 1 のときのみ有効)	1
13		I P U T	プリント間隔を何ステップおきにするか。	5
14 15	4	N G P (1) (5)	検出訂水素濃度値のプロット図を描く、リーク率 の番号	N G 以下の値を小さい順 に5点指定する。 F.F. (L) b

表 2.6 スタグナント部リーク・タイトルデータ

データ No.	TITLE DATA				備 考
	データカード No.	記号	内 容	FORMAT A 4	
1	5	TITLE (1 ~ 4)	ケース番号		4 A 4
2		TITLE (5 ~ 18)	ケースタイトル		1 4 A 4

表 2.7 スタグナント部リーク実数データ (1/4)

データ No	実数データ			FORMAT E 12.5
	データカード No	記号	内 容	
1	6	A T F	シミュレーション時間 (sec)	5,000 タイムステップの上限 ; 10000ステップ
2		D E E P	リーク点の液面からの深さ (m)	6,88
3		H D	ダウンカマ部下端の液面からの深さ (m)	6,88
4	7	S F	水素ガス発生割合(モル転換比) 水素ガス = $S F * \frac{1}{9}$ * リーク量 水素化合物 = $(1 - S F) * \frac{1}{9}$ * リーク量	1.0
5		G S L F M X	自己拡大上限値 (g/s)	26,64
6		D L G T H	リーク点からターゲット管間の距離 (mm)	22,2
7		G N W G	$L/D = 150$ となる時のリーク率 (ウェステージを起す、下限リーク率) (g/s)	$L = D L G T H (mm)$ $D = リーク孔径 (mm)$
8		C G P H I	ガス中に混合した水素の実質溶解割合 (-)	0.5
9		O G L I M	カバーガス部濃度上昇により、計算打切りとなる 上限値 (V ppm)	10,000
10	8	T A U I	伝熱管の許容損耗肉厚 (mm)	2,744
11		T A U A S	自己拡大に至る損耗肉厚 (mm)	3,8
12		G N W G M X	ウェステージ式適用のリーク率上限値 これ以上のリーク率では、上限値でのウェステージ率となる。 (g/s)	ウェステージ式をそのまま 使用したい時は大きな 値 (1000 g/s) を与える。
13		O E N 1	伝熱管の自己拡大式の係数 $SWR = C_{EN1} * G * C_{EN2}$	10 —
14		O E N 2	"	—
15	9	T A R	カバーガス検出系内の水素輸送時間 (sec)	65
16		T G A L M	ガス中検出器のN i 膜センサーの1次遅れ応答の 時定数 (sec)	25
17		T S H U T	S G のしゃ断時間 (sec) (オペレータの判断時間も含む)	0
18		T E Q U	カバーガス部気液平衡到達への混合時間遅れ (sec)	10

表 2.7 スタグナント部リーク実数データ (2/4)

データ No	データカード No	記号	内 容	備 考
19	10	OOG	ガス中初期水素濃度 (V ppm) かつ、ナトリウム水素吸収が起る下限値 (IOBG = 1のときのみ有効)	10 V ppm
20		OBG	ナトリウム中初期水素濃度 (ppm)	0, 169
21		OWOGN	気液平衡分圧のずれによる、ナトリウムの水素吸 収式に係る係数 ダウンカマ(スタグナント)液面(-)	whittingham の吸収 式に係る値 1±1
22		OWBX	" 蒸着ナトリウム部(-)	" /
23		OWOOL	" ライザー側(2次系流動部)液面(-)	" /
24	11	STGAS(1)	ガス中検出器感度(アラーム設定) -1	対バックグラウンドレペ ル 900
25		" (2)	-2 "	4900
26		" (3)	-3 "	9900
27	12	VG	カバーガス部インベントリー (m³)	30
28		PG	カバーガス部圧力 (ata)	2 ata
29		TG	カバーガス部温度 (°C)	420 °C
30	13	GBX	カバーガス部の蒸着ナトリウム重量 (kg)	70 19
31		SBX	カバーガス部の蒸着ナトリウム表面積 (m²)	230
32		TBX	" 温度 (°C)	420
33	14	VD	ダウンカマ部ナトリウムインベントリー (m³)	8, 64
34		SD	ダウンカマ部液面面積 (m²)	2, 3
35		WDNA	ダウンカマ部循環流量 (kg/s)	0
36		WNA	ダウンカマ部と2次系流動部との循環流量 (kg/s)	0
37	15	VCOIL	2次系流動部ナトリウムインベントリー (m³)	202, 8

PNC 製
 CCP → DC 023
 形状、条件等
 B
 P. DC - 052

表 2.7 スタグナント部リーク実数データ (3 / 4)

データ No.	データカード No.	記号	内 容	備 考
38	15	S C O I L	2 次系 (コイル部) 液面面積 (m^2)	3,85
39		T C O I L	2 次系液面温度 (°C)	469,3
40 45	16	DALR(1) ↓ (6)	水リーク率 (g/s)	
46 51	17	DALR(7) ↓ (12)	"	
52 57	18	DALR(13) ↓ (18)	"	
58 63	19	DALR(19) ↓ (24)	"	
64 69	20	DALR(25) ↓ (30)	"	
70 75	21	DALR(31) ↓ (36)	"	
76 81	22	DALR(37) ↓ (42)	"	
82 87	23	DALR(43) ↓ (48)	"	
88 89	24	DALR(49) " (50)	"	10 → 257 6.88 → 248
90 95	25	TNA (i,1) ↓ (i,2) ↓ (i,3)	ダウンカマ部ナトリウム温度を液面からの深さで 与える。	i=1 液面からの深さ(m) i=2 ナトリウム温度 (°C)
96 101	26	TNA (i,4) ↓ (i,5) ↓ (i,6)	"	"
102 107	27	TNA (i,7) ↓ (i,8) ↓ (i,9)	"	"
108 109	28	TNA (i,10)	"	"
110 115	29	GENLG (i,1) (i,2) (i,3)	水リーク率に関する自己拡大比関数を 20 点以内 のテーブルで与える。	i=1 リーク率 (g/s) i=2 拡大口径比 (-)
116 121	30	(i,4) (i,5) (i,6)	"	"
122 127	31	(i,7) (i,8) (i,9)	"	"
128 133	32	(i,10) (i,11) (i,12)	"	"

表 2.7 スタグナント部リーク実数データ (4 / 4)

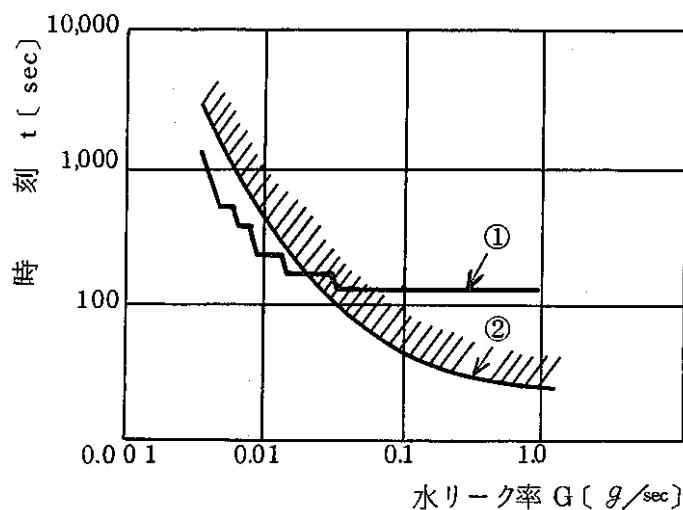
データ No	データカード No	記号	内 容	備 考
134 { 139	33	GENLG(i,13) (i,14) (i,15)	水リーク率に関する自己拡大比関数を20点以内のテーブルで与える。	i=1 リーク率(g/s) i=2 拡大口径比(→)
140 { 145	34	(i,16) (i,17) (i,18)	"	"
146 { 149	35	(i,19) (i,20)	"	"
150 { 155	36	UBUB(i,1) (i,2) (i,3)	水リーク率に関する水素気泡上昇速度の関数を20点以内のテーブルで与える。	i=1 リーク率(g/s) i=2 H ₂ 上昇速度(m/s)
156 { 161	37	(i,4) (i,5) (i,6)	図示 " "	"
162 { 167	38	(i,7) (i,8) (i,9)	"	"
168 { 173	39	(i,10) (i,11) (i,12)	"	"
174 { 179	40	(i,13) (i,14) (i,15)	"	"
180 { 185	41	(i,16) (i,17) (i,18)	"	"
186 { 189	42	(i,19) (i,20)	"	"
190 { 195	43	RBUB(i,1) (i,2) (i,3)	水リーク率に関する水素気泡径を20点以内のテーブルで与える。	i=1 リーク率(g/s) i=2 水素気泡径(mm)
196 { 201	44	(i,4) (i,5) (i,6)	"	"
202 { 207	45	(i,7) (i,8) (i,9)	"	"
208 { 213	46	(i,10) (i,11) (i,12)	"	"
214 { 219	47	(i,13) (i,14) (i,15)	"	"
220 { 225	48	(i,16) (i,17) (i,18)	"	"
226 { 229	49	(i,19) (i,20)	"	"

水素気泡上昇速度は初期リーク率のみで与えられ自己拡大によるリーク率増大があつてもそれを考慮しないものとする。

2.6 アウトプット

(1) プロッターによる作図は以下の通りである。

(a) セーフティマップの作成

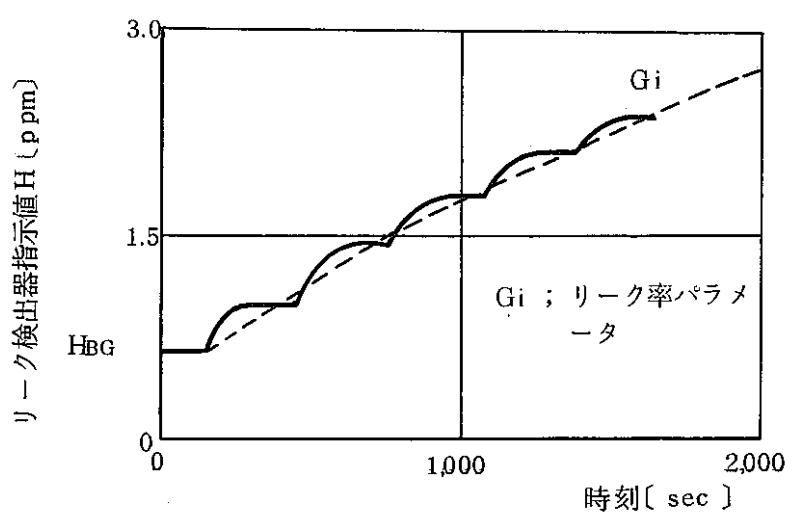


① 反応停止時間

② 許容損耗時間

斜線部分は、ウェステージにより隣接伝熱管が破損する領域を示し、この限界線②以下に①の小リーク検出系による反応停止曲線がある場合には、2次破損へのリーク事故の拡大伝播を未然に防止することが可能である。

(b) リーク検出器応答特性図作成



H_{BG} ; バックグラウンド水素濃度

G_i ; 水リーク率

(2) プリンターによる出力は以下の如くである。

プリンター出力には管東部リーク時のものとスタグナント部リーク時のものの2種類がある。

以下その出力形式について示す。

[インプットデータの出力]

OPTION DATA

整数データ

INVENTORY - INPUT DATA

実数データ（インベントリーデータ

..... RUN NO

..... タイトル データ

実数データ

管東部リーク出力形式 2 / 7

初期計算データの出力

CONSTANT DATA

バックグラウンド濃度

各位置での検出器設定値

N a 輸送時間

WN a =	N a 流量 (kg / S)	
TALOW(2)=	伝熱管許容肉厚 (mm)	VVG(NTP) = カバーガス体積 (lata, 0 °C , ℥) UNA = 気泡上昇速度
TRIBUB=	気泡上昇時間 (SEC)	

DELAY TIME

MJ / 2 モデルでの N a 輸送時間

MIXING REGION SODIUM WEIGHT

ミキシング部のナトリウム重量 (kg), ミキシング部ナトリウム通過時間 (SEC)

テーブルデータの出力

LEAK RATE PARAMETER

IDAL

DALR

DELT

番号

リーク率

タイムステップ巾

パラメータとなる初期リーク率のテーブル

- 68 -

NO

GENLG(1,I)

GENLG(2,I)

GPHI(1,I)

GPHI(2,I)

番号

リーク率
(g/S)

自己拡大口径比(-)

リーク率
(g/S)

水素気泡溶解割合(-)

リーク率の関数となる
自己拡大比、溶解割合のテーブル

管東部リーク出力形式 4 / 7

[パラメータとなるリーク率ごとに]

***** SELF - ENLARGE EFFECTS ***** 自己拡大考慮回数

INITIAL LEAK RATE , ALR = 初期リーク率 (G/S)

TARGET TUBE WASTAGE TIME, TP = 破損時間 (SEC)

ITER	LEAK RATE (G/S)	ENLARGE TIME (S)	PHI (-)	DELT C (PPM)	H2 LEK (G/S)	TAU (MM)	WASTAGE (MM/S)
拡大回数	水リーク率	拡大時間	気泡溶解割合	単位時間当りのNa中変化割合	水素リーク率	隣接する伝熱管の残存肉厚	損耗率

[EV or SH ナトリウム出口部での水素濃度が上限値を超えた時のメッセージ]

***** ISTEP = [ステップ数] TIME = [時刻] C(SH) = [SH出口部濃度] C(EV) = [EV出口部濃度] CLIMT = [上限濃度] *****

[検出計の水素濃度応答値]

RUN NO.

***** タイトルデータ

IDAL = リーク番号

LEAK RATE = 初期リーク率

IX(1) = 検出位置番号

IX(2) = 検出位置番号

IX(3) = 検出位置番号

IX(4) = 検出位置番号

.....

[6箇所まで]

ステップ番号	検出器応答値 (PPM)	ステップ番号	検出器応答値 (PPM)	ステップ番号	検出器応答値 (PPM)	ステップ番号	検出器応答値 (PPM)

Na 中およびカバーガス中水素濃度

RUN NO.

***** タイトルデータ

* * * * *

[セーフティマップの出力]

RUN NO.

***** タイトルデータ

SAFTY MAP PRINT OUTREACTION TERMINATION TIME

LEAK RATE(G/S) WASTAGE TIME

DETECTOR

▽ 1 ▽

▽ 2 ▽

▽ 3 ▽

番号	初期リーク率 (g/s)	隣接伝熱管の損耗時刻 (SEC)	設定値 ▽ ₁ での検出時刻 (SEC)	設定値 ▽ ₂ での検出時刻 (SEC)	設定値 ▽ ₃ での検出時刻 (SEC)
----	-----------------	---------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------

スタグナント部リーク出力形式 1 / 5

RUN NO.

タイトルデータ

STAGNANT MODULE INPUT DATA

整数インプットデータ

実数インプットデータ

LEAK RATE PARAMETER DALR(I)(G/S)

初期リーク率インプットデータ

TABLE DATA

DEPTH (M)	NA TEMP (DEG-C)	LEAK RATE (G/S)	ENLARGEMENT (-)	LEAK RATE (G/S)	BUBBLE VELOCITY (M/S)	LEAK RATE (G/S)	BUBBLE RADIUS (CM)	NO
液面からの深さ	Na 温度	リーク率	自己拡大口径比	リーク率	気泡上昇速度	リーク率	初期水素気泡半径	1 2 3 4 20

RUN NO.

タイトルデータ

MESH CONSTANT DATA

NO

20
19
18
17
...
3
2
1

DEPTH (M)	TEMP (DEG-C)	PRESS(ATA)	WEIGHT (kg)	SAT.CONC(PPM)	ROWNA(kg/m ³)	ROWH2 (kg/cm ³)	KA
メッシュの深さ メッシュ中心の液面から	メッシュ温度	メッシュ圧力	メッシュNa重量	濃度 メッシュの飽和水素	メッシュのNa比重量	比重 メッシュにおける水素	whittingham の定数

NO ROW-H₂ (I + 1/2) (G/cm³)21
20
19
18
17
...
3
2
1

水素の比重量 メッシュ境界における

DX MESH LENGTH = メッシュ長さ (m)

L LEAK POINT MESH NO = リーク点メッシュ番号 (-)

DEEPL ... LEAK POINT DEPTH(M) = リーク点の深さ (m)

COVER GAS DATA

COGBO..... INITIAL CONCENTRATION(VPPM) = カバーガス初期水素濃度

CDETCT ... DETECTABLE CONCENTRATION(VPPM) = 検出器設定値 1 , ... 2 , ... 3

VCG COVER GAS INVENTORY-NTP(L) = カバーガス体積 (1ata , 0°C , 単位 (ℓ))

FKABX = 蒸着Na部 whittingham定数

スタグナント部リーク出力形式 3 / 5

パラメータとなるリーク率ごとに

*** SELF - ENLARGE EFFECTS ***

自己拡大考慮回数

INITIAL LEAK RATE , ALR = 初期リーク率 (G/SEC)

TARGET WASTAGE TIME , TP = 破損時間 (SEC)

ITER

LEAK RATE (G/S)

ENLARGE TIME(S)

ROLEK (CM)

HZLEK (G/S)

TAU (MM)

WASTAGE (MM/S)

拡大回数

水リーク率

拡大時間

気泡半径

水素リーク率

残存肉厚

損耗率

TIME STEP (DELT) = タイムステップ数

ISTEP = ステップ数

通常は 100 ステップ目の値を出力

IDAL = リークパラメータ番号

IT = 計算ステップ番号

濃度変化を出力するリーク率に対しては、2~20、
100 ステップ目での値を出力

MESH

C (PPM)

DC (PPM/S)

PI (-)

GB (G/S)

R (CM)

DR (CM/M)

メッシュ番号

21
20
19
18
...
3
2
1

メッシュ内、
水素濃度量

メッシュ内、
濃度変化量

メッシュ内、
気泡溶解割合

メッシュ境界における
水素気泡量

メッシュ境界における
水素気泡半径

メッシュ内、
長さ当たりの変化量
水素気泡半径の単位

VH2 = ガス部への気泡移動量 , VH2D = ダウンカマ液面での水素移動量 , VH2O = コイル部液面での水素移動量 , VH2BX = 蒸着Na部での水素移動量

ガス中濃度が上限値を超えた時のメッセージ

単位 (ℓ)

***** THE COVER GAS HYDROGEN CONCENTRATION OVER THE UPPER LIMIT. ISTEP=ステップ番号 TIME=時刻 CG=ガス中濃度

スタグナント部リーク出力形式 4 / 5

Na 中、ガス中での水素濃度を出力する。

RUN NO.

タイトルデータ

IT	TIME (SEC)	CG (PPM)	CD (PPM)	CO (PPM)	OBX (PPM)
計算ステップ番号	時 刻	カバーガス部、水素濃度	スタグナント、最上部メッシュでの水素濃度	コイル側、水素濃度	蒸着ナトリウム部、水素濃度

スタグナント部リーク出力形式 5 / 5

ガス部検出計での応答値の出力

RUN NO.

タイトルデータ

COVER GAS DETECTOR RECODE

NO.	応 答 値								

***** DETECTABLE IPR = 1 TIME = 検出時刻 ***** ← [検出設定値 1 での応答時刻]

NO.	応 答 値								

***** DETECTABLE IPR = 2 TIME = 検出時刻 ***** ← [検出設定値 2 での応答時刻]

NO.	応 答 値								

***** DETECTABLE IPR = 3 TIME = 検出時刻 ***** ← [検出設定値 3 での応答時刻]

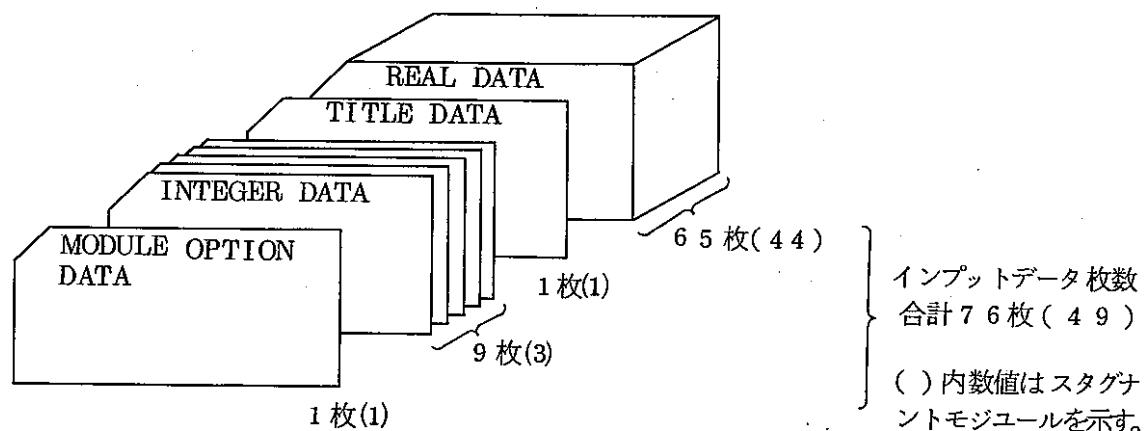
NO.	応 答 値								

セーフティマップの出力はコイル部リークの出力に同じ

2.7 データ作成要領

(1) インプットデータカードの配列

コイル部リーグモジュール計算、スタグナント部リーグモジュール計算は、それぞれ下図の様な構成となる。



(2) BLOCK DATA で定義するデータ

リーグ検出器応答特性図のプロッターグラフの 100% の目盛り [PPM]

N_a 中 N_i センサー検出器 DFUL 2(5)

ガス中 N_i センサー DFUL 3(5)

DFUL 2 / 0.2, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 /

DFUL 3 / 100, 250, 500, 2500, 1000 /

2.8 計算コード使用上の制限条件と注意点

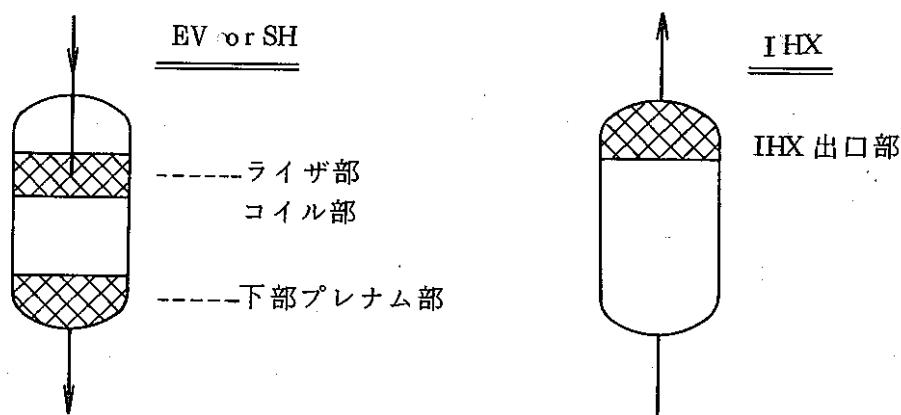
(1) コイル部リーグ計算時において

- ① リーグ率パラメータ数は、50点まで。
- ② タイムステップ数は、5000 Step まで。
- ③ タイムステップ値は、通常定格計算で $\Delta t = 1, 2, 3$ 秒程度取れる。

タイムステップの最大値は、ミキシン部通過時間まで取ることが出来るが、タイムステップ値を大きく取ると、N_a 輸送時間等の遅れ時間をタイムステップで割り 4 捨五入して整数値で扱うため、計算誤差が大きくなる恐れがある。

- ④ 検出計設定点は、2次系内の定められた点において 6 点まで取れる。

- ⑤ 自己拡大回数上限は、9回まで扱うことが出来る。
- ⑥ 自己拡大口径比のリーク率に対するデータテーブルは、20点まで取れる。（少くともパラメータとなるリーク率の最小値から、自己拡大を起こすリーク率上限値までの値を定義する必要がある。）
- ⑦ 溶解割合のリーク率に対するデータテーブルは、20点まで取れる。
- ⑧ ミキシング区分



上図に示す様に、2次系において5箇所のミキシングを考慮出来る様にした。これら5箇所におけるミキシング効果を出したくない時は、INPUTのオプションデータによりコントロール出来る。この際、注意を要することは、ミキシング区分のインベントリーデータを0として、前の区分にインベントリーを加える必要がある。

⑨ EV および SH のコイル部インベントリー

今回の改修で、コイル部インベントリーは、直接 INPUT で与えることとした。

（従来のコードでは、ライザ一部とコイル部インベントリーデータの扱いに問題があった。）

⑩ ウェステージ式適用のリーク率上限値 (GNWGMX) により、ウェステージ式の適用範囲を制限しているので、全リーク率に対しウェステージ式を適用したい時は、GNWGMXに大きな値を与える。（例 GNWGMX = 1000.）

(2) スタグナント部計算時において

① タイムステップ巾 Δt は、次式でコード中で定義される。タイムステップの上限値 = 10000.

$$\Delta t (s) = \Delta X / \text{水素気泡上昇速度 (UBUB, m/s)}$$

$$\Delta X = \frac{\text{スタグナント部深さ (HD, m)}}{\text{メッシュ分割数 (MESH)}}$$

- ② メッシュ分割数 ≤ 100
- ③ リーク率パラメータ数 ≤ 50
- ④ 自己拡大の考慮回数 ≤ 9
- ⑤ 上昇速度は初期リーク率のみで定義され、拡大後のリーク率増加による上昇速度変化は考慮しない。
- ⑥ リーク率の関数として与える、水素気泡径のテーブルは、自己拡大によるリーク率の増大をも満足する様なリーク率の範囲を与えること。
- ⑦ リーク点は、メッシュの下端に定義されるので、リーク点深さが、インプットした値とコード中で再設定された値と少し異なる。そのずれが大きい時には、メッシュ分割数等を変えて調整する必要がある。
- ⑧ GNWGMX の扱いに関し、(1)の⑩と同じ。

(3) データセット参照番号の定義

計算を実行するに当り、下記のデータセット参照番号を定義する必要がある。

表 2.8 データセット参照番号の定義

番号	データセット参照番号	役割
1	5	インプットデータカード入力用
2	6	プリント出力用
3	9	水素計応答値のプロット図作成のための補助記憶装置
4	PLOT TAPE	プロッターテープ

3. テスト計算

3.1 テスト計算の概要

本テスト計算では、従来の「SWAC-10-MJ/1」コードからの改修点（第1章参照）が明確に表われるものについて行った。尚、各ケース共計算対象として高速原型炉「もんじゅ」のSG及び2次冷却系を選定した。

3.2 テスト計算条件

3.2.1 テスト計算ケース

ケース-1 蒸発器管東部下部リーク (Na中水素検出系評価)

(ナトリウム中水素溶解割合 $\phi = 0.75$)

ケース-2 蒸発器管東部下部リーク (カバーガス中水素検出系評価)

(ナトリウム中水素溶解割合 ϕ について、ナトリウム中温度分布を考慮した根井の式を使用)

ケース-3 蒸発器ダウンカマード下部リーク

(Case. 2と同様、根井の式を使用)

尚、各ケースの主要な計算条件については、次項以降に示すものとし、各ケースのインプットデータリストについては、付録-2に示すものとした。

3.2.2 管東部リークの計算条件

ケース-1及び2についての主な計算条件を以下に記す。

(1) 運転条件

通常運転状態とし、カバーガス内の水素濃度は平衡状態とする。

Naホットレグ温度 (505. °C)

Naコールドレグ温度 (325. °C)

Naミドルレグ温度 (469.3 °C)

カバーガス温度 (SH) (505. °C)

" (EV) (469.3 °C)

カバーガス圧力 (SH) (2.784 ata)

" (EV) (2.0 ata)

Na流量 (3730 ton/hr)

EVオーバフロー流量 (10 ton/hr)

(2) リーク位置

E V コイル部下部 (7.4 m)

(Na液面から水リーク点までの深さ)

(3) 形状およびナトリウムインベントリー(表3.1参照)

カバーガス体積 (SH) (21.6 m³)

$$\text{''} \quad (\text{EV}) \quad (3 \ 0.0 \ m^3)$$

コイル部 Na 側流路断面積 (SH) (1.607 m²)

$$" \qquad \qquad (\text{E V}) \qquad \qquad (\text{1.8} \text{ } \text{1.5} \text{ } m^2)$$

(4) 許容損耗時間

リーク孔からターゲット管外面距離 (14.6 mm)

伝熱管の自己拡大に至る深さ (3.8 mm)

セルフウェステージによる自己拡大孔径比 (2) 一定

自己拡大回数の上限 (5.)

伝熱管の許容損耗肉厚 (EV) (2.744 mm)

自己拡大時間摘要式 (PNCの整理式)

L/Dが150に相当する水リーク率 (0.86 g/s)

自己拡大を起す上限リーク率 (5 g/s)

(5) 初期ナトリウムバックグラウンド水素濃度

伝熱面積 (SH) (5.607 m²)

$$'' \quad (\text{EV}) \quad \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 3 & m^2 \end{pmatrix}$$

伝熱管単位面積当たりの水素拡散量 (SH) $(\text{mole H}_2 / \text{cm}^2 \text{S})$

$$'' \qquad \qquad (\text{E V}) \qquad \qquad (2.0 \times 10^{-11} g = H_2 / cm^2 S)$$

コールドトラップ流量 (1.0 ton/hr.)

コールドトラップ純化効率 (0.7 -)

コールドトラップ運転温度 (120 °C)

(7) 検出器感度（アラーム設定値）

(-1.0 %)

カバーガス由検出器 (15 %)

	初期カバーガスバックグラウンド水素濃度	(100 V ppm)
(8)	水素気泡の上昇速度(一定)	(1 m / s)
(9)	カバーガス中への水素混合遅れ時間	
	上昇気泡との混合時間(SH, EV)	(10 sec)
	気液平衡到達への混合時間(SH, EV)	(1.0 sec)
(10)	カバーガス中に混入した水素の実質溶解割合	(0.5 -)
(11)	検出系内の水素輸送時間	
	ナトリウム中検出系(E, J点)	(60 sec)
	カバーガス中検出系(SH, EV)	(40 sec)
(12)	Ni膜拡散計算のむだ時間遅れ	(15 sec)
(13)	検出器応答の時定数(Ni膜センサー)	
	ナトリウム中検出器	(25 sec)
	カバーガス中検出器	(25 sec)
(14)	検出系の検出率	
	ナトリウム中検出器	(100 %)
	カバーガス中検出器	(100 %)
(15)	S G停止時間	(本テスト計算では考慮しない)

表3.1 ナトリウムインベントリーデータ

記号	内容	数值 (m^3)
V_1	系統区分 A-B	0.
V_2	B-C	2.97
V_{SHMIX}	C-CMIX	4.362
V_{SH}	CMIX-D'	7.221
V_{eMIX}	D'-DMIX	8.248
V_4	DMIX-E	0.
V_5	E-F	4.75
V_6	F-G	0.
V_7	G-H	1.094
$V_{EV MIX}$	H-HMIX	6.9
V_{EV}	HMIX-I'	1.54
V_{eMIX}	I'-IMIX	8.5
V_9	IMIX-J	0.
V_{10}	J-K	4.43
V_{11}	K-L	1.78
V_{12}	L-M	1.03
V_{13}	M-N	0.
V_{14}	N-O	0.
V_{15-1}	O-O'	4.461
V_{15-2}	O'-P''	2.2
V_{15MIX}	P''-P'	0.
V_{15-3}	P'-P	5.99
V_{16}	P-A	0.
V_{31}	H-U	0.13
V_{33}	V-G	4.109
V_{41}	K-W	1.04
V_{42}	W-L	0.2

※ 系統区分は、図2.16を参照のこと。

3.2.3 スタグナント部リークの計算条件

ケース 3 についての主な計算条件を以下に記す。

(1) 運転条件

ダウンカマ部温度	液面	(257 °C)
(各メッシュ点で線型補間する)	{ 下端部	(248 °C)
カバーガス温度		(469.3 °C)
蒸着 Na 温度		(360 °C)
コイル側液面温度		(469.3 °C)
カバーガス圧力		(2. ata)
ダウンカマ部 Na 自然循環流量		(50 kg/S)
" のコイル側との循環流量		(50 kg/S)

(2) 構造条件

ダウンカマ部の Na インベントリー	(5.491 m³)
" 下端の深さ	(7.43 m)
" 液面面積	(1.33 m²)
コイル側の Na インベントリー	(201.7 m³)
" 液面面積	(1.33 m²)
蒸着 Na の重量	(50 kg)
" 表面面積	(150 m²)

(3) リーク位置

Na 液面からの深さ	(5 m)
------------	---------

(4) 許容損耗時間

リーク孔からターゲット管外面距離	(43.2 mm)
伝熱管の自己拡大に至る深さ	(3.8 mm)
セルフウェステージによる自己拡大孔径比	(2 -) 一定
自己拡大回数の上限	(5 -)
伝熱管許容損耗肉厚	(2.744 mm)
自己拡大時間適用式	(PNC の整理式)
L/Dが 150 に相当する水リーク率	(2.293 g/s)
自己拡大の上限 リーク率	(5 g/s)

(5) 初期水素濃度

N a 中水素濃度 (0.18 ppm)

カバーガス中水素濃度 (10 Vppm)

(6) 検出器感度 (アラーム設定値)

カバーガス中検出器 (100 Vppm)

(500 Vppm)

(1000 Vppm)

(7) 水素気泡上昇速度と初期水素気泡半径

水リーグ率に関する下記のテーブルから線型補間する。

水リーグ率 (g/s)	気泡上昇速度 (m/s)	気泡半径 (cm)
0.005	0.164	0.0279
0.01	0.205	0.0454
0.05	0.341	0.14
0.1	0.425	0.227
0.5	0.660	0.7
1.	0.822	1.14
1.5	1.	1.52
5.	1.	3.5
100.	1.	3.5

(8) ナトリウム中への水素溶解割合 (根井の式を使用)

(9) その他の条件に関しては、管東部リーグ(9)～(15)に同じ。

3.3 計算結果

図3.1から図3.8に前記3ケースのセーフティマップ及び検出指示値の変化を示す。以下各ケース毎に計算結果の説明を行う。

3.3.1 ケースー1 蒸発器管東部下部リーグ(ナトリウム中水素検出系評価)計算

図3.1に蒸発器管東部下部リーグ時のセーフティマップを示す。本図中E点(記号○)で示した曲線は、過熱器出口ナトリウム中検出計による検出時間であり、J点(△)で示した曲線は、蒸発器出口ナトリウム中検出計による検出時間である。また、SHG1点(+)で示した曲線は、過熱器カバーガス中検出計による検出時間である。以上の各曲線とも初

期水リーク率（横軸）が減少するのに従って検出時間は増加する。また、各曲線が有する波状の変化は、2次系内ナトリウムの1循時に従って生じる水素濃度の重ね合せ効果・ミキシング効果及び検出器の1次遅れ要素による影響である。

本図中に示される直線（左上りの実線）は、1回目の自己拡大時間である。これと検出時間が交差した以降に検出時間の上昇率が低下するのは、リーク率増大により濃度上昇率が途中から増加し、検出時間が早められるためである。また、図中折れ線状に示されているのは許容損耗時間であり、この変曲の原因は、主にリーク孔の自己拡大によるNDLR ($L/D \geq 150$ におけるNon damage Leak Rate) の変化及びウェステージ率の変化によるものである。本ケースの場合、初期水リーク率 $5 \times 10^{-3} \text{ g/sec}$ 迄の計算において、最大4回の自己拡大を生じている。

尚、ナトリウム中検出器の検出時間については、リーク点が蒸発器内にあるために蒸発器出口の検出時間（J点）の方が過熱器出口（E点）よりも輸送時間分だけ短い。また、過熱器カバーガス中検出時間が過熱器出口ナトリウム中検出時間より短いのは、カバーガス中の検出設定値がナトリウム中に比べて相対的に低かったためである。ここで、蒸発器出口ナトリウム中検出器に着目すれば、 $5 \times 10^{-3} \text{ g/sec} \sim 5 \text{ g/sec}$ の初期水リーク率領域において、破損伝播を生じさせる以前に検出できることがわかる。また、この時の時間余裕は概ね以下の如くである。

初期リーク率	$1 \times 10^{-2} \text{ g/sec}$ の時、約 1800 sec
"	$1 \times 10^{-1} \text{ g/sec}$ の時、約 800 sec
"	$1 \times 10^0 \text{ g/sec}$ の時、約 200 sec

図3.2から図3.4に各検出位置における検出計指示値を示す。各指示値に見られる波状の変化は、セーフティマップに見られたものと同様の影響で生じたものであり、この変化が時間経過に従ってなだらかになるのは、2次系内プレナム部におけるミキシング効果によるものである。また、本図では時間スケールを5000 secとしたため、最終自己拡大後のリーク率に対する水素濃度上昇が示されており、それ以前については上昇率がこのリーク率の1/4以下となるためにほぼ時間軸に平行な形で示されている。尚、図中に示されている初期水リーク率に対する最終水リーク率は、自己拡大を生じる上限水リーク率（インプット各GSLFMX; 5 g/sec ）により決定され、各々、次の値に対応している。

記号	初期水リーク率	最終水リーク率	拡大回数
○	0.30 g/sec	19.2 g/sec	3
△	0.19 "	12.16 "	3
+	0.10 "	6.40 "	3
×	0.08 "	5.10 "	3
◇	0.05 "	1.28 "	4

3.3.2 ケースー2 蒸発器管東部下部リーク(カバーガス中水素検出系評価)計算

図3.5にリークSGカバーガス中検出器に関するセーフティマップを示す。検出特性が約 10^{-1} g/sec を境界にして大きく異なるのは、 10^{-1} g/sec 以上のリークには、ナトリウム中水素溶解割合が低いためにSGのカバーガス中へ水素ガスが直接気泡上昇として運ばれるのに対し、 10^{-1} g/sec 以下のリークでは、水素ガスのほとんどがナトリウム中に溶解し、2次ナトリウム系中を循環した後にSG内の液面を介してカバーガス中に移行するためである。従って 10^{-1} g/sec 以下のリークでは、ケースー1のナトリウム中検出器とほぼ同様の検出特性を示す。

尚、自己拡大時間及び許容損耗時間はケースー1と全く同様である。

図3.6には、カバーガス中水素検出計指示値の変化を示す。

図中500～2000secに見られる濃度上昇率の変化は、自己拡大効果によるものであり、それ以降の指示値は、ケースー1と同様の最終リーク率に対応するものである。

3.3.3 ケースー3 蒸発器ダウンカマー下部リーク計算

図3.7にダウンカマーリーク時におけるセーフティマップを示す。検出時間は、カバーガス中検出計の設定値を100Vppm、500Vppm及び1000Vppmにした場合について示されている。ダウンカマーパーは、ナトリウム温度が低いためほとんどが気泡として上昇してカバーガス中に混入し、検出される。また、許容損耗時間は管東部に比べナトリウム温度が低く、リーク点と隣接伝熱管との距離が大きいために長時間かかる。従って、カバーガス中の検出計設定値を100Vppmとしても、運転時間余裕は管東部に比べて長く、概ね以下の如くである。

初期水リーク率	$1 \times 10^{-2} \text{ g/sec}$ の時、約 4500 sec
"	$1 \times 10^{-1} \text{ g/sec}$ の時、約 2000 sec
"	$1 \times 10^0 \text{ g/sec}$ の時、約 1000 sec

図3.8には、カバーガス中検出計指示値の変化を示す。本図からも、自己拡大効果による上昇率の変化が見られる。

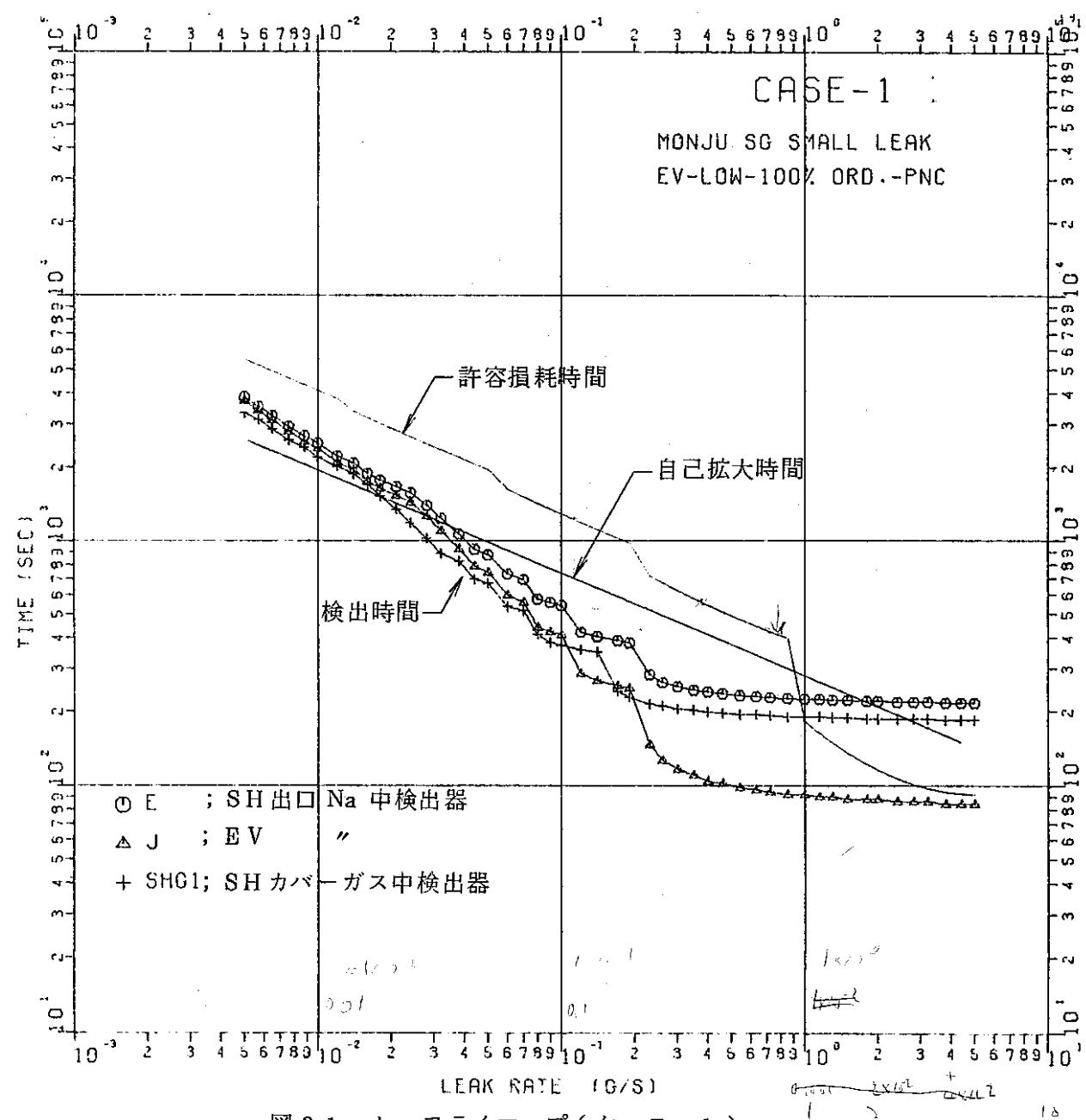


図 3.1 セーフティマップ(ケースー1)

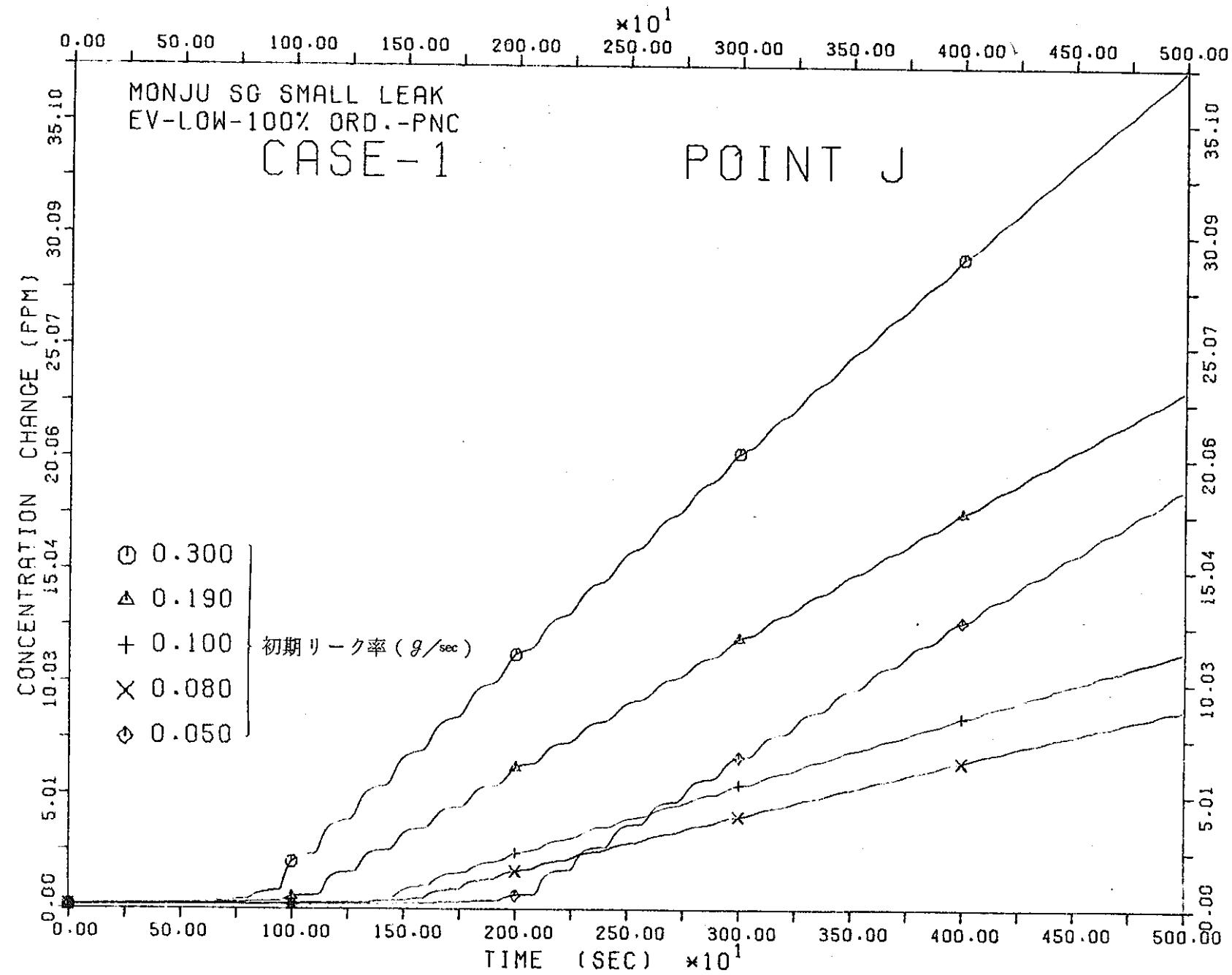


図 3.2 過熱器出口ナトリウム中検出計指示値(ケース-1)

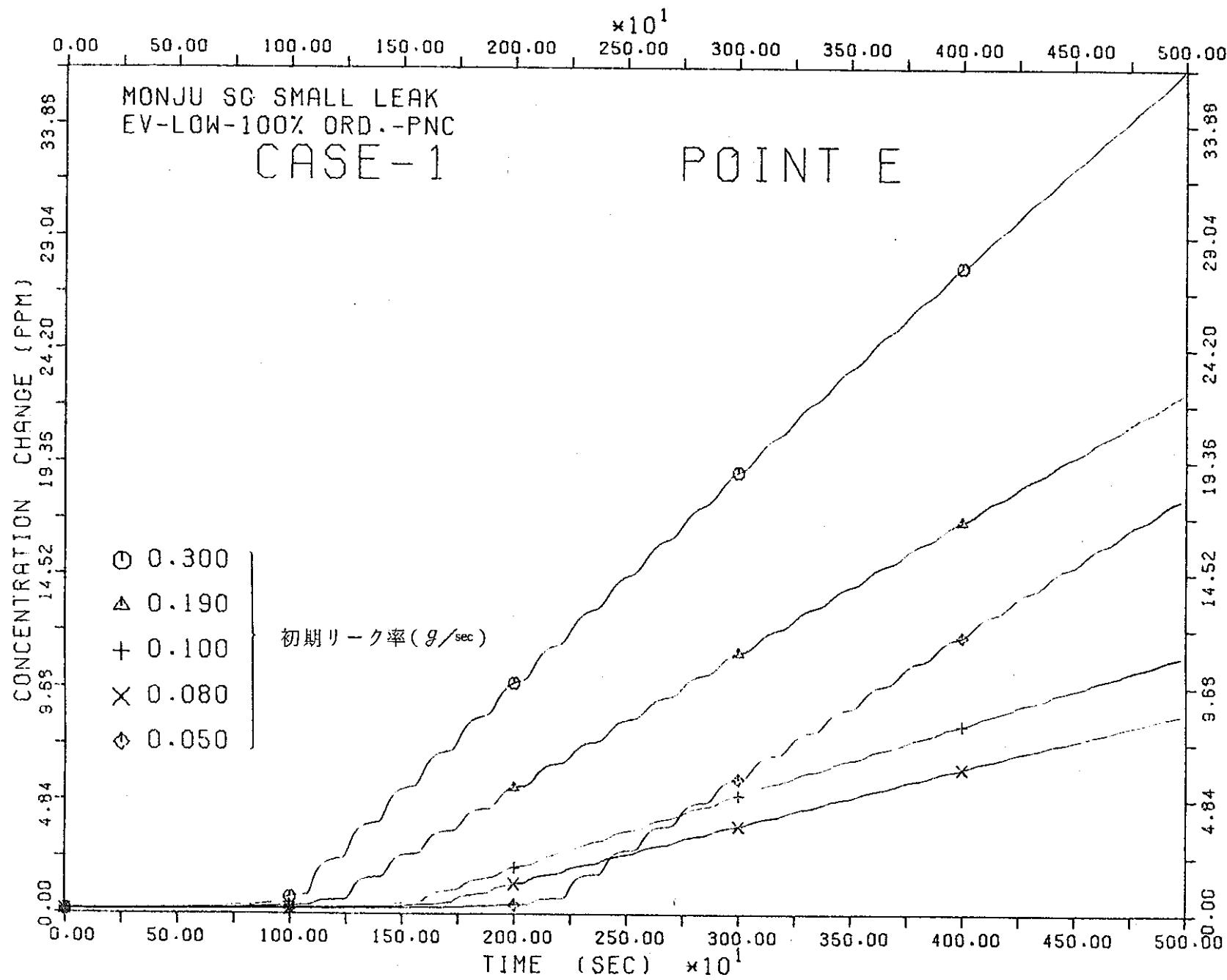


図3.3 蒸発器出口ナトリウム中検出計指示値(ケースー1)

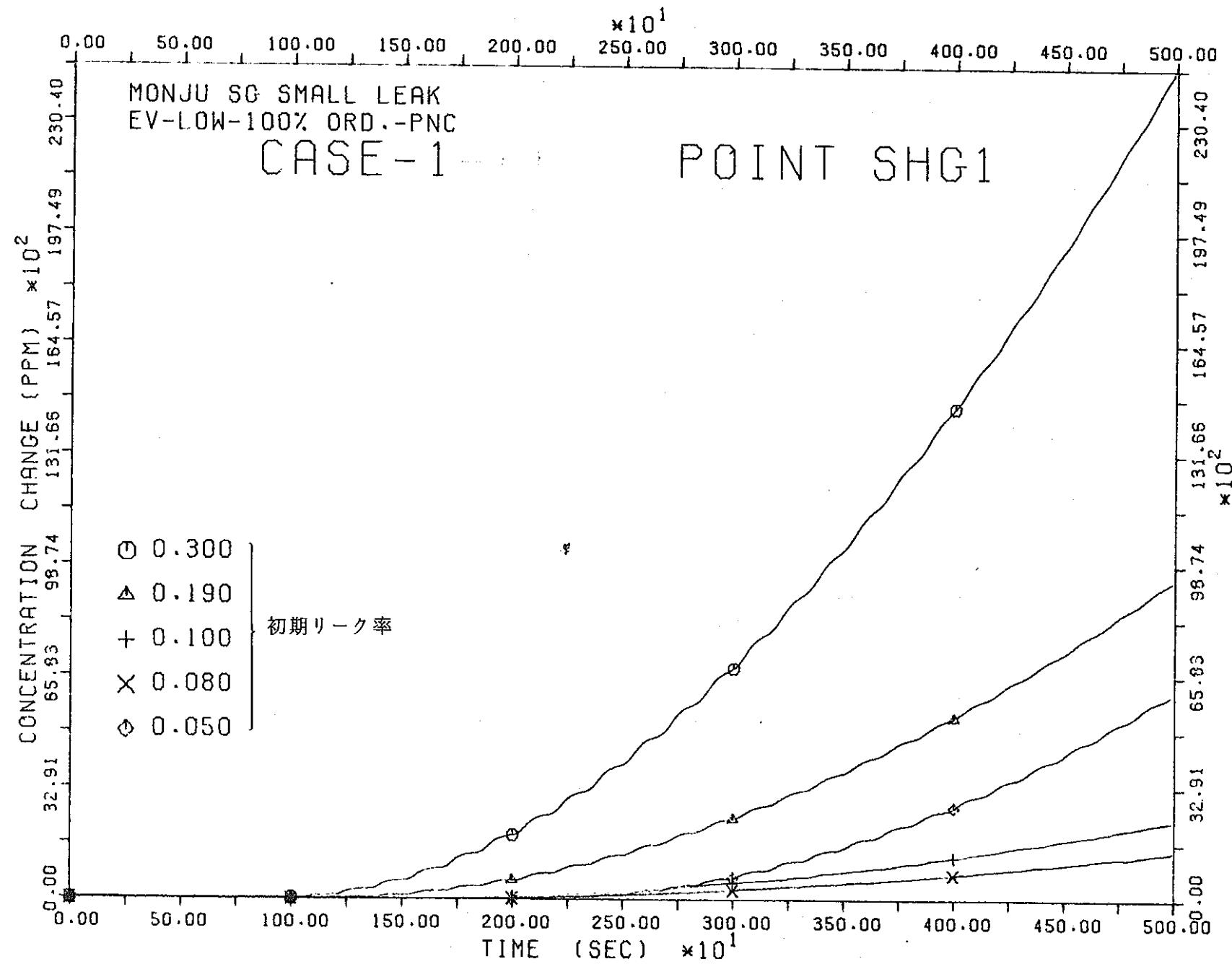


図 3.4 過熱器カバーガス中検出計指示値(ケースー1)

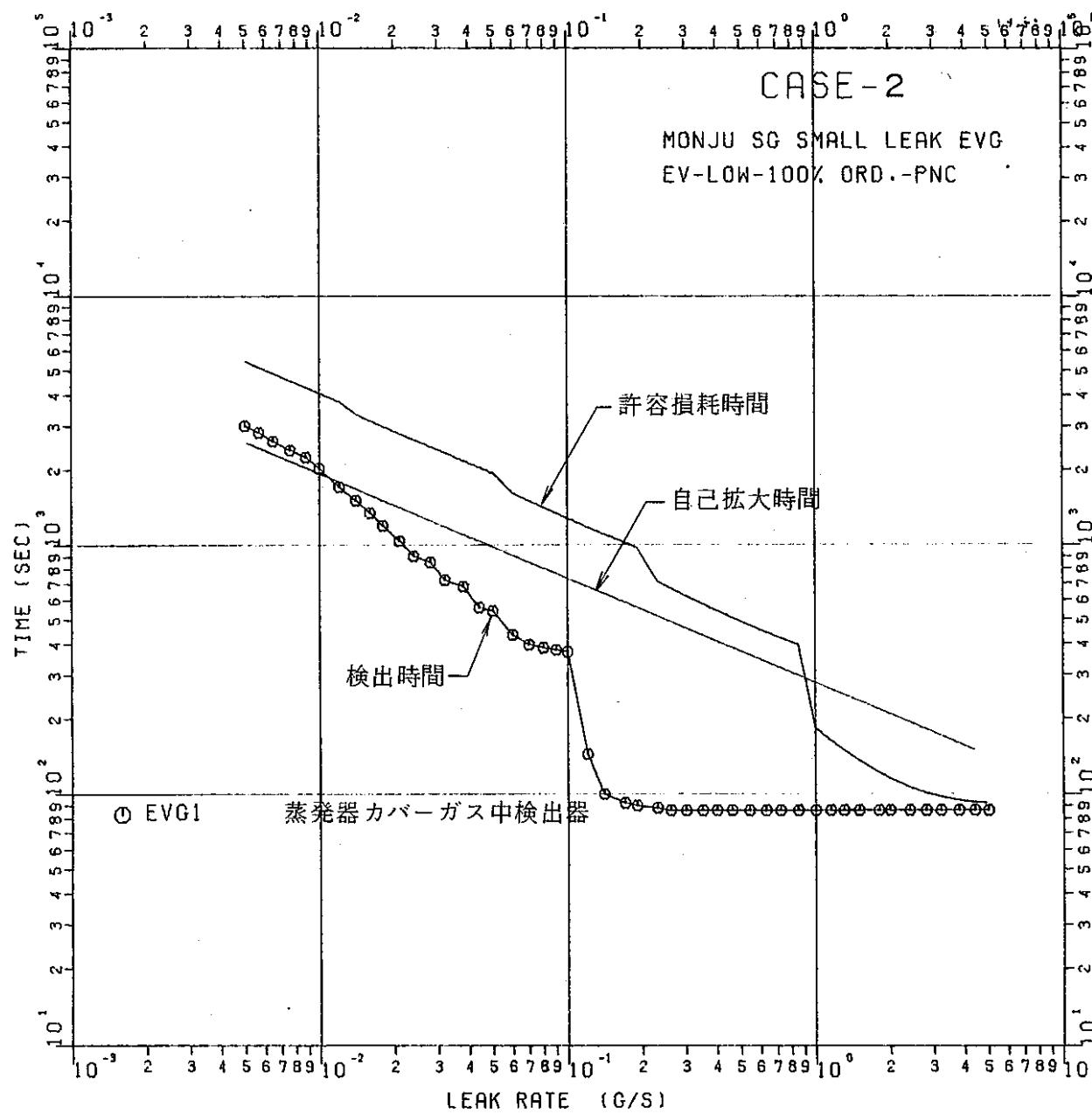


図 3.5 セーフティマップ(ケース-2)

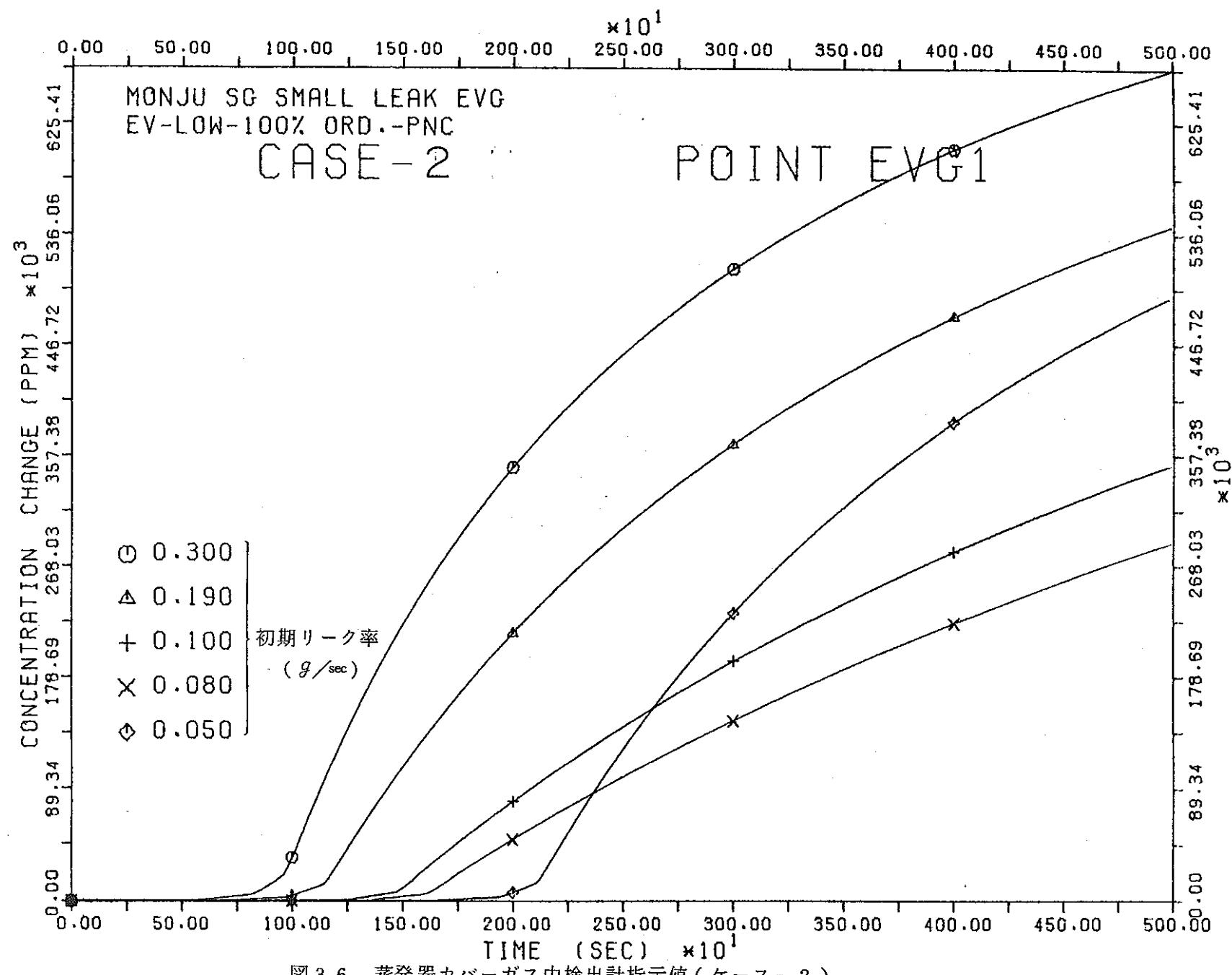


図 3.6 蒸発器カバーガス中検出計指示値(ケース-2)

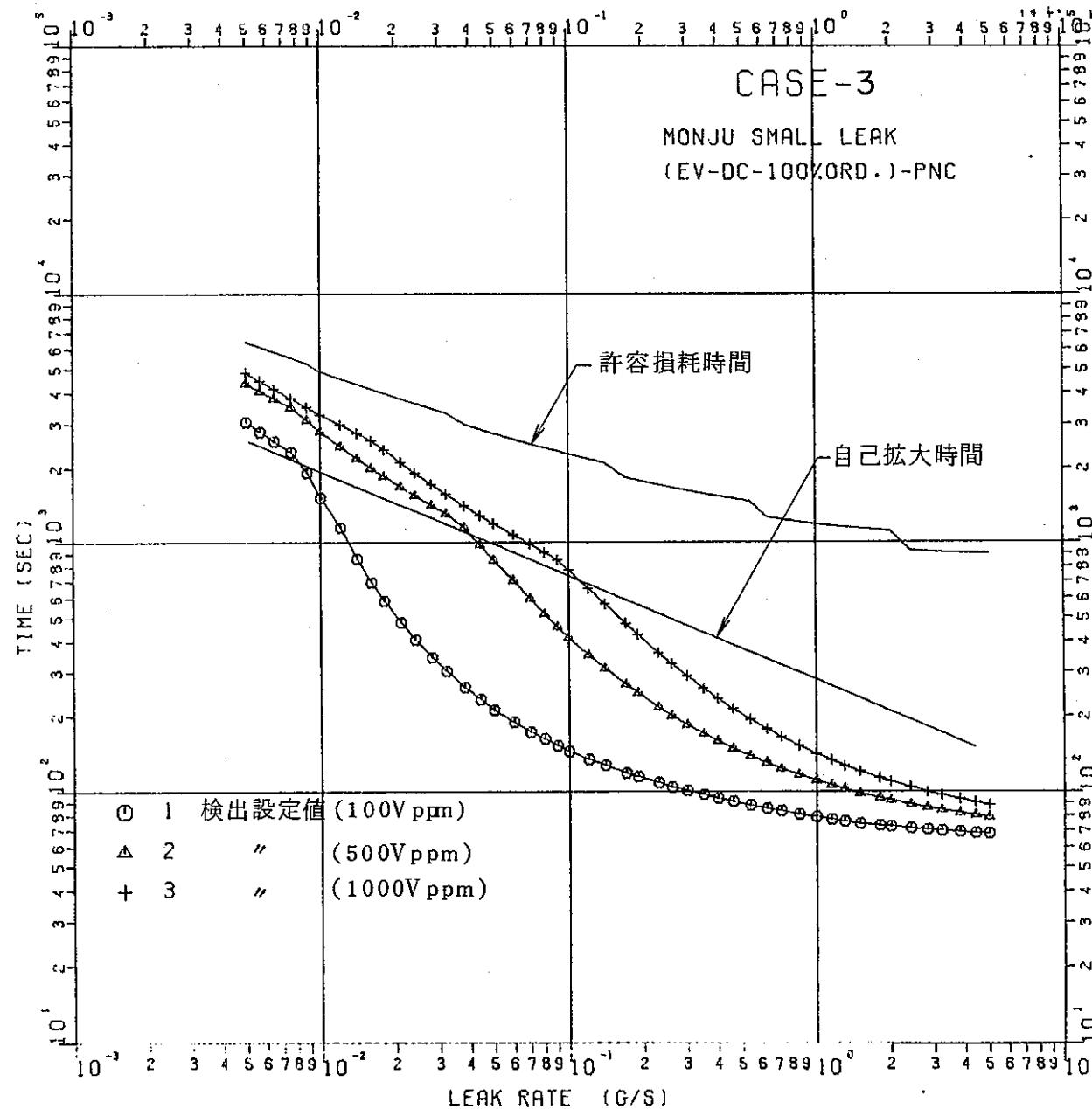


図 3.7 セーフティマップ(ケース-3)

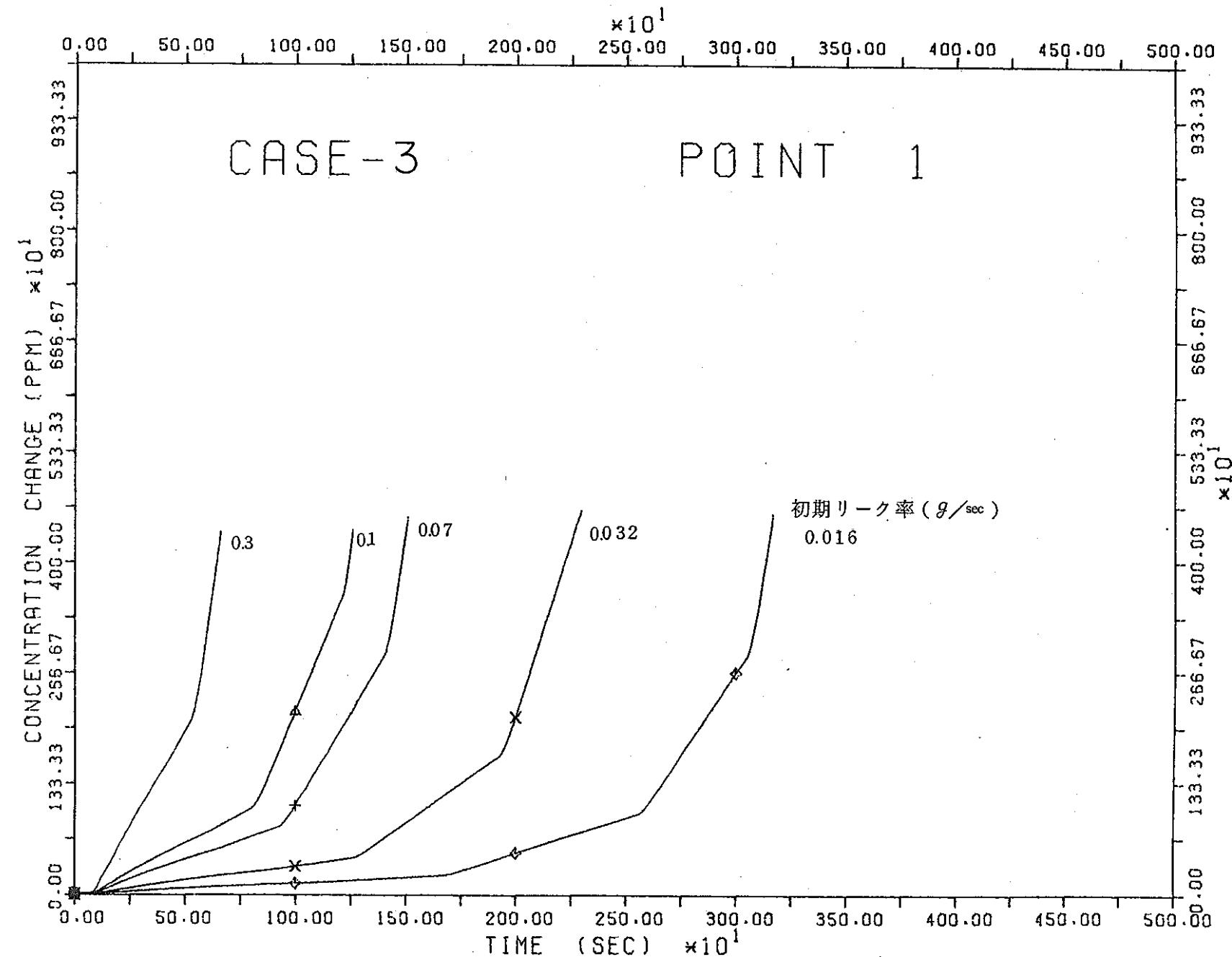


図 3.8 蒸発器カバーガス中検出計指示値(ケース-3)

4. あとがき

これまで、原型炉「もんじゅ」設計用に使用されて来た小リーク・ナトリウム-水反応「セーフティマップ」解析コード「SWAC-10-MJ/1」に改修を加え、セルフウェステージによるリーク孔拡大、ナトリウム中への水素溶解、ナトリウム中水素濃度のミキシング、及びナトリウム/カバーガス間の水素移行等についての取扱いを詳細化し、さらにスタグナント部における水リーク評価が行なえるように新モデルを導入した。また、計算コードの使用性を向上させるために計算時間メッシュを可変にし、計算ステップ数及び水リーク率評価点数の増加を行った。これによって、今まで行なわれて来た小リーク・ナトリウム-水反応に関する研究の成果が「セーフティマップ」解析に十分反映できるようになったものと考えられる。

今後、本コードの実験検証を行なうために、既に実施されている 50 MW SGTF, SWAT-2 での試験データ及び現在実施されているカバーガス中水素検出器に関する試験データと計算結果との比較検討が必要であろう。

終わりにあたり、本コード改修（「SWAC-10-MJ/2」へのバージョンアップ）に際し種々の情報を提供し、また、助言を与えて下さった動力炉核燃料開発事業団 S G 安全性試験室の佐藤室長、進藤氏、大後氏、また、50 MW SG 試験室の仲井氏に対し深く感謝するものであります。

5. 参 考 文 献

- (1) SJ 206 77-29
蒸気発生器内小リーク事故解析コード「SWAC-10」の作成 三菱原子力工業株式会社
1974年 (C-3592)
- (2) 進藤、大後、三宅、堀、佐藤
“小リーク・ナトリウム-水反応「セーフティマップ」解析コード
SWAC-10-MJ/1 の使用マニュアル” PNC SN952 78-07 1978年10月
- (3) 玉山、仲井、他
“50 MW蒸気発生器試験施設における水リーク検出システム評価試験-第5報-注水素
試験” PNC SN941-78-50, 1978年3月
- (4) J. A. Gudahl, D. H. Magee, “Microleak Wastage Test Result”
GEFR-00352 March, 1978
- (5) J. A. Ford et al.
“Criteria for detection of small sodium water reactions in LMFBR
SG” APDA 255 June 1970
- (6) 鐘ヶ江、橋口、池本、大内、井上、堀
“小リーク・ナトリウム水反応試験研究 第7報” (SN941 76-27)
1967年3月
- (7) D. A. Greene
“Sodium-Water Wastage and Reactions Program Performed by general
Electric in Support of the U. S. AEC LMFBR Steam Generator
Development”
IAEA Bensberg Meeting Report (1974)
- (8) 日本機械学会Na-加熱蒸気発生器調査研究分科会
「高速増殖炉蒸気発生器の安全性、信頼性向上に関する調査研究」
SJ 254 75-02 (1975)
- (9) A. C. Whittingham “The Liquid Sodium-Hydrogen System and Kinetic
Measurements in The Temperature Range 610-677°K” RD/B/N2550,
Aug. 1974

(10) D. R. Vissers et al

"A Hydrogen-Activity Meter for Liquid Sodium and its Application
to Hydrogen

Solubility Measurements" Nucl Technol. Vol 21 P 235 March 1974

(11) 鐘ヶ江、大後、池本、井上、堀

"小リーク・ナトリウム水反応試験研究 第11報" (SN941 77-189)

1977年11月

(12) C. H. Golden et al. "Thermodynamic Properties of Sodium"

ANL-7323, 1967

6. 付 錄

6.1 付録-1 2次ナトリウム系の水素濃度計算式

本文中図 2.1 の計算体係図において、各節点の水素濃度は次式で計算される。

(a) O点の濃度 C_{CO} (ppm) は、

$$I_{TO} \leq M_{LO} \text{ の時, } C_{CO} = C_{BGO} \quad (6.1)$$

$$I_{TO} > M_{LO} \text{ の時, } C_{CO} = f_{CL} (I_{TO} - M_{LO}) \quad (6.2)$$

(b) P' 点 (IHX 出口ミキシング部) の濃度 f_{PMIX} (ppm) は、

$$I_{TO} \leq M_{LPP} \text{ の時, } f_{PMIX}(I_T) = C_{BGO} \quad (6.3)$$

$I_{TO} > M_{LPP}$ の時、

$I_{15MIX} = 1$ なら

$$f_{PMIX}(I_T) = f_{PMIX}(I_{TO}) + \frac{\Delta t \times W_{Na} \times \{ f_{CL}(I_{TO} - M_{LPP}) - f_{PMIX}(I_{TO}) \}}{W_{IHX}} \quad (6.4)$$

$I_{15MIX} = 0$ なら

$$f_{PMIX}(I_T) = f_{CL}(I_{TO} - M_{LPP}) \quad (6.5)$$

(c) P点の濃度 C_{CP} (ppm) は、

$$I_{TO} \leq M_{PMP} \text{ の時, } C_{CP} = C_{BGO} \quad (6.6)$$

$$I_{TO} > M_{PMP} \text{ の時, } C_{CP} = f_{PMIX}(I_{TO} - M_{PMP}) \quad (6.7)$$

(d) B点の濃度 C_{CB} (ppm) は、

$$I_{TO} \leq M_{PMB} \text{ の時, } C_{CB} = C_{BGO} \quad (6.8)$$

$$I_{TO} > M_{PMB} \text{ の時, } C_{CB} = f_{PMIX}(I_{TO} - M_{PMB}) \quad (6.9)$$

(e) C点 (SH 上部プレナム=液面) の濃度 f_{CMIX} (ppm) は、

$$(i) I_{TO} = O \text{ の時, } f_{CMIX}(I_T) = C_{BGO} \quad (6.10)$$

$$O < I_{TO} \leq M_{PMC} \text{ の時, } f_{CMIX}(I_T) = C_{BGO} + \Delta C_{SH} \times L_{EAKP1} \quad (6.11)$$

$I_{TO} > M_{PMC}$ の時、

$I_{SUPMX} = 1$ なら、

$$f_{CMIX}(I_T) = f_{CMIX}(I_{TO}) + \frac{\Delta t \cdot W_{Na} \{ \Delta C_{SH} \times L_{EAKP1} + f_{PMIX}(I_{TO} - M_{PMC}) - f_{CMIX}(I_{TO}) \}}{W_{TSHUP}} \quad (6.12)$$

$I_{SUPMX} = 0$ なら、

$$f_{CMIX}(I_T) = f_{PMIX}(I_{TO} - M_{PMC}) + \Delta C_{SH} \times L_{EAKP1} \quad (6.13)$$

(ii) SH カバーガスの濃度 $f_{GSH}(I_T)$ (ppm) は、

$$I_{TO} = 0 \text{ の時 } I_{CBG} = 1 \text{ なら } f_{GSH}(I_T) = C_{OGSH} \quad (6.14)$$

$$I_{CBG} = 0 \quad f_{GSH}(I_T) = P_{H_2SH} / P_{GSH} \times 10^6 \quad (6.15)$$

$$C_{MIGSH} = 0$$

$I_{TO} > 0$ の時 (カバーガス部濃度計算を参照のこと)

サブルーチン COVGAS をコールして $f_{GSH}(I_T)$ とナトリウム濃度に寄与する水素移行量 C_{MIGSH} (mol) を求める。

(iii) カバーガス部への水素移行量による補正をする。

$$f_{CMIX}_{NEW}(I_T) = f_{CMIX}(I_T) - C_{MIGSH} \times 2.02 / (W_{Na} \times 1000) \times 10^6 \quad (6.16)$$

(f) D 点 (SH の水リーキ点) の濃度 f_{CD} (ppm) は、

$$I_{TO} = 0 \text{ の時, } f_{CD}(I_T) = C_{BG1} \quad (6.17)$$

$$0 < I_{TO} \leq M_{CMD} \text{ の時, } f_{CD}(I_T) = C_{BG1} + \Delta C_{SH} \times L_{EAKP2} \quad (6.18)$$

$$I_{TO} > M_{CMD} \text{ の時, } f_{CD}(I_T) = f_{CMIX}(I_{TO} - M_{CMD}) + \Delta C_{SH} \times L_{EAKP2} + \Delta C_{DFSH} \quad (6.19)$$

(g) SH 下部プレナム (ミキシング) 部の濃度 f_{DMIX} (ppm) は、

$$I_{TO} \leq M_{DDD} \text{ の時, } f_{DMIX}(I_T) = C_{BG1} \quad (6.20)$$

$I_{TO} > M_{DDD}$ の時、

$I_{4MIX} = 1$ なら

$$f_{DMIX}(I_T) = f_{DMIX}(I_{TO}) + \frac{\Delta t \times W_{Na} \times \{ f_{CD}(I_{TO} - M_{DDD}) - f_{DMIX}(I_{TO}) \}}{W_{TSHLW}} \quad (6.21)$$

$I_{4MIX} = 0$ なら

$$f_{DMIX}(I_T) = f_{CD}(I_{TO} - M_{DDD}) \quad (6.22)$$

(h) E 点の濃度 C_{CE} (ppm) は、

$$I_{TO} \leq M_{DME} \text{ の時, } C_{CE} = C_{BG1} \quad (6.23)$$

$$I_{TO} > M_{DME} \text{ の時, } C_{CE} = f_{DMIX}(I_{TO} - M_{DME}) \quad (6.24)$$

(i) G 点 (ミドルレグ配管とくみ上げ系配管との合流点) の濃度 f_{CG} (ppm) は、

(i) GO 型

$$I_{TO} \leq M_{DMG} \text{ の時, } C_{CGO} = C_{BG1} \quad (6.25)$$

$$I_{TO} > M_{DMG} \text{ の時, } C_{CGO} = f_{CDMIX}(I_{TO} - M_{DMG}) \quad (6.26)$$

(ii) G 1 側

$$I_{TO} \leq M_{HG} の時、 C_{CG1} = C_{BG1} \quad (6.27)$$

$$I_{TO} > M_{HG} の時、 C_{CG1} = f_{HMX}(I_{TO} - M_{HG}) \quad (6.28)$$

(iii) G 点

$$f_{CG}(I_T) = \frac{C_{CG0} \times W_{Na} + C_{CG1} \times W_{OV}}{W_{Na} + W_{OV}} \quad (6.29)$$

(j) H点 (EV上部プレナム=液面) の濃度 $f_{HMX}(I_T)$ (ppm) は、

$$(i) I_{TO} = 0 の時、 f_{HMX}(I_T) = C_{BG1} \quad (6.30)$$

$$0 < I_{TO} \leq M_{GH} の時、 f_{HMX}(I_T) = C_{BG1} + \Delta C_{EV} \times L_{EAKP1} \quad (6.31)$$

$I_{TO} > M_{GH}$ の時、

$I_{EUPMX} = 1$ なら、

$$f_{HMX}(I_T) = f_{HMX}(I_{TO}) + \frac{\Delta t \times W_{Na} \{ \Delta C_{EV} \times L_{EAKP1} + f_{CD}(I_{TO} - M_{GH}) - f_{HMX}(I_{TO}) \}}{W_{TEVUP}} \quad (6.32)$$

$I_{EUPMX} = 0$ なら、

$$f_{HMX}(I_T) = f_{CD}(I_{TO} - M_{GH}) + \Delta C_{EV} \times L_{EAKP1} \quad (6.33)$$

(ii) EV カバーガスの濃度 $f_{GEV}(I_T)$ (ppm) は、

$$I_{TO} = 0 の時、 I_{CBG} = 1 なら、 f_{GEV}(I_T) = C_{OGEV} \quad (6.34)$$

$$I_{CBG} = 0 なら、 f_{GEV}(I_T) = P_{H2EV} / P_{GEV} \times 10^6 \quad (6.35)$$

$I_{TO} > 0$ の時 (カバーガス部濃度計算を参照の事。)

サブルーチン COVGAS をコールして $f_{GED}(I_T)$ とナトリウム濃度に寄与する水素移行量 C_{MIGEV} (mol) を求める。

(iii) カバーガス部への水素移行量による補正をする。

$$f_{HMX}_{NEW}(I_T) = f_{HMX}(I_T) - C_{MIGEV} \times 2.02 / (W_{Na} \times 1000.) \times 10^6 \quad (6.36)$$

(k) EV 下部プレナム (ミキシング) 部の濃度 $f_{IMIX}(I_T)$ (ppm) は、

$$I_{TO} \leq M_{III} の時、 f_{IMIX}(I_T) = C_{BG5} \quad (6.37)$$

$I_{TO} > M_{III}$ の時、

$I_{9MIX} = 1$ なら

$$f_{IMIX}(I_T) = f_{IMIX}(I_{TO}) + \frac{\Delta t \times W_{Na} \times \{ f_{CI}(I_{TO} - M_{III}) - f_{IMIX}(I_{TO}) \}}{W_{TEVLW}} \quad (6.38)$$

$I_{9MIX} = 0$ なら

$$f_{IMIX}(I_T) = f_{CI}(I_{TO} - M_{III}) \quad (6.39)$$

(I) J点の濃度 C_{CJ} (ppm) は、

$$I_{TO} \leq M_{IMJ} \quad C_{CJ} = C_{BG5} \quad (6.40)$$

$$I_{TO} > M_{IMJ} \quad C_{CJ} = f_{IMIX}(I_{TO} - M_{IMJ}) \quad (6.41)$$

(II) K点の濃度 C_{CK} (ppm) は、

$$I_{TO} \leq M_{IMK} \quad C_{CK} = C_{BG5} \quad (6.42)$$

$$I_{TO} > M_{IMK} \quad C_{CK} = f_{IMIX}(I_{TO} - M_{IMK}) \quad (6.43)$$

(III) L点(コールドレグ配管と純化系出口配管との合流点) $f_{CL}(I_T)$ (ppm) は、

(i) LO側

$$I_{TO} \leq M_{IML} \text{ の時, } C_{CL0} = C_{BG5} \quad (6.44)$$

$$I_{TO} > M_{IML} \text{ の時, } C_{CLD} = f_{IMIX}(I_{TO} - M_{IML}) \quad (6.45)$$

(ii) L1側(コールドトラップによる除去効率を考慮する。)

$$I_{TO} \leq (M_{IMK} + M_{KWL}) \quad C_{CL1} = C_{OUT}(C_{BG5}) \quad (6.46)$$

$$I_{TO} > (M_{IMK} + M_{KWL}) \quad C_{CL1} = C_{OUT}\{f_{IMIX}(I_{TO} - M_{IMK} - M_{KWL})\} \quad (6.47)$$

(iii) L点

$$f_{CL}(I_T) = \frac{C_{CL0} \times (W_{Na} - W_{CT}) + C_{CL1} \times W_{CT}}{W_{Na}} \quad (6.48)$$

但し、 I_T ステップ数

t 時刻 ($t = \Delta t \times (I_T - 1)$)

I_{TO} $I_{TO} = I_T - 1$

M_{XXX} 各点間の(水素, ナトリウム)輸送時間遅れをタイムステップで割り、4捨5入して整数値化した値である。

M_{LO} : L ~ O 間

M_{LPP} : L ~ P "

M_{PMP} : P' - P

M_{PMB} : P' - B

M_{PMC} : P' - C

M_{CMD} : C_{MIX} - D

M_{DDD} : D - D'

M_{DME} : D_{MIX} - E

M_{DMG}	: $D_{MIX} - G$
M_{HG}	: $H - G$ (オーバーフロー系)
M_{GH}	: $G - H$
M_{HMI}	: $H_{MIX} - I$
M_{III}	: $I - I'$
M_{IMJ}	: $I_{MIX} - J$
M_{IMK}	: $I_{MIX} - K$
M_{IML}	: $I_{MIX} - L$
M_{KWL}	: $K - L$ (コールドトラップ系)
M_{EQUSH}	: S H 気液平衡の時間遅れ
M_{EQUEV}	: E V " "
C_{BGX} (ppm)	: バックグラウンドナトリウム中水素濃度
ΔC_{SH} (ppm)	: S H のリーク部の水素濃度増分
ΔC_{EV} (ppm)	: E V " "
ΔC_{DFSH} (ppm)	: S H の伝熱管からの拡散水素による濃度の増分
ΔC_{DFEV} (ppm)	: E V " "
W_{Na} (kg/s)	: ナトリウム流量
W_{OV} (kg/s)	: オーバーフロー流量
W_{CT} (kg/s)	: コールドトラップ流量
L_{EAKP1}	: 上部プレナム部におけるリークフラッグデータ = 0 、リーク無し = 1 、リーク有り
L_{EAKP2}	: コイル部におけるリークフラッグデータ = 0 、リーク無し = 1 、リーク有り
$IXXXX$: ミキシングモデルを表すオプションデータ = 1 、ミキシング計算をする。 = 0 、 " しない。

但し、 IXXXX は下記を意味する。

I 15MIX	I H X出口部
I SUPMX	S H上部プレナム部
I 4MIX	S H下部 "
I EUPMX	E V上部プレナム部
I 9MIX	E V下部 "

6.2 付録-2 インプットデータリスト

6.2.1 ケース-1 のインプットデータリスト

	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2	3 3							
3	1 1							
4	1							
5	1 1 1							
6	1 27 20							
7	0 1 1							
8	48 5 1							
9	1 1 1 1							
10	20 23 27 29 32							
11	CASE-1	MONJU SG SMALL LEAK		EV-LOW-100% ORD.-PNC				
12	3730.		10.	10.				
13	5000.							
14	10.	15.						
15	0.7	120.						
16	505.	325.	469.3					
17	0.							
18	0.							
19	0.							
20	560.7	1113.			2.	-11		
21	0.							
22	1.607	1.815	4.95		7.40			
23	2.584	2.744	3.8					
24	2.728	2.0	505.		469.3			
25	21.6	30.0						
26	0.							
27	0.							
28	10.	10.						
29	1.0	1.0						
30	55.	55.						
31	75.	75.	75.	75.	75.	75.		
32	0.							
33	25.	25.						
34	1.	1.	10.					
35	16.2	1.	1000.	4.	0.86	0.5		
36	0.	3.47	4.362	7.221	8.248	0.		
37	4.75		10.94	6.9	15.4	8.5		
38	0.	4.43	1.78	1.03				
39	44.61	22.	0.	59.9				
40	0.	0.	0.13		41.09	10.4		
41	0.2			4.98		7.43		
42	5.0	4.4	3.8	3.2	2.5	2.4		
43	2.0	1.8	1.5	1.3	1.15	1.0		
44	0.85	0.72	0.63	0.54	0.46	0.4		
45	0.35	0.30	0.26	0.23	0.19	0.17		
46	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07		
47	0.06	0.05	0.044	0.038	0.032	0.028		
48	0.024	0.021	0.018	0.016	0.014	0.012		
49	0.01	0.0088	0.0076	0.0065	0.0057	0.0050		
50	0.							
51	2.	2.	2.	2.	2.	2.		
52	2.	2.	2.	2.	2.	2.		
53	2.	2.	2.	2.	2.	2.		
54	2.	2.	2.	2.	2.	2.		
55	2.	2.	2.	2.	2.	2.		
56	2.	2.	2.	2.	2.	2.		
57	2.	2.	2.	2.	2.	2.		
58	2.	2.	2.	2.	2.	2.		
59	0.							
60	5.0							
61	0.	2.	100.	2.				
62								
63								
64								
65								
66								
67								
68	0.01	0.01	1.55	1.8				
69	0.0	0.75	100.	0.75				
70								
71								
72								
73								
74								
75								
76								

.....+....0....+....0....+....0....+....0....+....0....+....0....+....0....+....0

1 2 3 4 5 6 7 8

6.2.2 ケース-2 のインプットデータリスト

	T	Z	3	4	5	6	7	8	
1+....0.....+....0.....+....0.....+....0.....+....0.....+....0.....+....0.....+....0.....+....0								
2	3	3							
3	1	1							
4	1								
5			1						
6	1	27	20						
7	1	1	1						
8	48	5	1						
9	1	1	1	1					
10	20	23	27	29	32				
11	CASE-2	MONJU SG SMALL LEAK EVG EV-LOW-100% ORD.-PNC							
12	3730.		10.		10.				
13	5000.								
14	10.	15.							
15	0.7	120.							
16	505.	325.		469.3					
17	0.								
18	0.								
19	0.								
20	560.7		1113.			2.	-11		
21	0.								
22	1.607		1.815	4.95		7.40			
23	2.584		2.744	3.8					
24	2.728		2.0	505.		469.3			
25	21.6		30.0						
26	0.								
27	0.								
28	10.	10.							
29	1.0		1.0						
30	55.		55.						
31	75.	75.	75.	75.	75.	75.			
32	0.								
33	25.	25.							
34	1.	1.	10.						
35	16.2	1.	1000.	4.	0.86	0.5			
36	0.	3.47	4.362	7.221	8.243	0.			
37	4.75		10.94	6.9	15.4	8.5			
38	0.	4.43	1.78	1.03					
39	44.61	22.	0.	59.9					
40	0.	0.	0.13		41.09	10.4			
41	0.2			4.98		7.43			
42	5.0	4.4	3.8	3.2	2.8	2.4			
43	2.0	1.8	1.5	1.3	1.15	1.0			
44	0.85	0.72	0.63	0.54	0.46	0.4			
45	0.35	0.30	0.26	0.23	0.19	0.17			
46	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07			
47	0.06	0.05	0.044	0.038	0.032	0.028			
48	0.024	0.021	0.018	0.016	0.014	0.012			
49	0.01	0.0088	0.0076	0.0065	0.0057	0.0050			
50	0.								
51	2.	2.	2.	2.	2.	2.			
52	2.	2.	2.	2.	2.	2.			
53	2.	2.	2.	2.	2.	2.			
54	2.	2.	2.	2.	2.	2.			
55	2.	2.	2.	2.	2.	2.			
56	2.	2.	2.	2.	2.	2.			
57	2.	2.	2.	2.	2.	2.			
58	2.	2.	2.	2.	2.	2.			
59	0.								
60	5.0								
61	0.	2.	100.	2.					
62									
63									
64									
65									
66									
67									
68	0.01	0.01	1.55	1.8					
69	0.0	0.75	100.	0.75					
70									
71									
72									
73									
74									
75									
76									
+....0.....+....0.....+....0.....+....0.....+....0.....+....0.....+....0.....+....0.....+....0	1	2	3	4	5	6	7	8

6.2.3 ケースー3 のインプットデータリスト

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	20	48	2	5	1	1	1	0
3	1	1	1	27	20			
4	20	27	30	35	40			
5	CASE-3	MONJU SMALL LEAK		(EV-DC-10080RD.1)-PNC				
6	5000.	5.0	7.43					
7	0.65	5.	43.2	2.293	0.5	5000.		
8	2.744	3.8	5.0					
9	55.	25.	0.	1.0				
10	10.	0.180	1.0	1.0	1.0			
11	900.	4900.	9900.					
12	30.	2.	469.3					
13	50.	150.	360.					
14	5.491	1.33	50.	50.				
15	201.7	3.8	469.3					
16	5.0	4.4	3.8	3.2	2.8	2.4		
17	2.0	1.8	1.5	1.3	1.15	1.0		
18	0.85	0.72	0.63	0.54	0.46	0.4		
19	0.35	0.30	0.26	0.23	0.19	0.17		
20	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07		
21	0.06	0.05	0.044	0.038	0.032	0.028		
22	0.024	0.021	0.018	0.016	0.014	0.012		
23	0.01	0.0088	0.0076	0.0065	0.0057	0.0050		
24	0.							
25	0.0	257.	7.43	248.				
26								
27								
28								
29	0.	2.	100.	2.				
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36	0.	0.0164	0.005	0.164	0.01	0.205		
37	0.05	0.341	0.1	0.425	0.5	0.660		
38	1.0	0.822	1.5	1.00	5.0	1.00		
39								
40								
41								
42								
43	0.	0.0279	0.005	0.0279	0.01	0.0454		
44	0.05	0.14	0.1	0.227	0.5	0.7		
45	1.0	1.14	1.5	1.52	5.	3.5		
46	10000.	3.5						
47								
48								
49								

	1	2	3	4	5	6	7	8