

大リーク・ナトリウム-水反応時の準定常圧解析
(SWACSコードによるSWAT-3, Run-3実験解析)

—大リーク・ナトリウム-水反応解析(第6報)—

1979年4月

動力炉・核燃料開発事業団

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下さい。

〒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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

大リーク・ナトリウム-水反応時の準定常圧解析
(SWACSコードによるSWAT-3, Run-3 実験解析)
—大リーク・ナトリウム-水反応解析 (第6報) —

三宅 収* 進藤 嘉久* 佐藤 稔*

要 旨

ナトリウム冷却高炉増殖炉の蒸気発生器での大リーク・ナトリウム-水反応事故時の安全解析コードとして、SWACSコードが開発された。

本報告は、SWACSコードに含まれる準定常圧計算モジュールを用いて、蒸気発生器安全性総合試験装置 (SWAT-3) のRun-3 試験の準定常圧挙動の実験解析を実施した結果をまとめたものである。

準定常圧計算における重要な解析パラメータである、 H_2/H_2O 転換比、水素ガスとナトリウムのスリップ比、圧損係数、計算モデルについてはその感度解析を実施した。

また感度解析で得られた最適計算ケースはリファレンス・ケースとして計算結果と実験測定値の比較を詳細に行なった。両者は全般的によく一致しSWACSコードの有効性が確認された。

Apr., 1979

Quasi-Steady Pressure Analysis in
Large-Scale Sodium-Water Reaction

(Analysis of SWAT-3 Run-3 Test by SWACS code)

-Large Leak Sodium-Water Reaction Analysis (Report No.6)-

Osam Miyake* Yoshihisa Shindo* and Minoru Sato*

Abstract

The computer code SWACS had been developed for the safety analysis of the large-scale sodium-water reaction accident in the steam generator system of LMFBR.

In this report, summarized are the results of quasi-steady pressure analyses on Run-3 test in the Steam Generator Safety Test Facility (SWAT-3) by SWACS code.

Significant parameters of the quasi-steady pressure analysis such as H_2/H_2O conversion ratio, slip ratio of hydrogen gas and sodium, pressure loss factor and computational model, are investigated on account of their sensitivity on calculation results.

The best estimate calculation results are compared with the measured data in detail.

Good agreements are obtained in general and the availability of SWACS code has been confirmed.

* Steam Generator Safety Section,
Steam Generator Division, O-arai Engineering Center, PNC.

目 次

1	概要	1
2	試験体系と計算モデル	3
2.1	SWAT-3 RUN3 試験体系	3
2.2	計算モデル	7
3	解析パラメータと入力データ	9
3.1	ナトリウム-水反応のパラメータ	9
3.1.1	注水率 (水リーク率)	9
3.1.2	H ₂ /H ₂ O 転換比	11
3.1.3	水素ガス温度	11
3.2	流動に関するパラメータ	14
3.2.1	水素ガス/ナトリウム・スリップ比	14
3.2.2	圧力損失	14
3.3	その他の入力データ	14
4	パラメータ・スタディ	15
4.1	パラメータ・スタディの方針	15
4.2	スリップ比 (ケース: A01-A03)	18
4.3	二次系圧力損失 (ケース: B01-B02, A02)	21
4.4	H ₂ /H ₂ O 転換比 (ケース: C01-C02, A02)	24
4.5	二次系を無視した計算モデル (ケース: D01)	27
4.6	安全設計条件 (ケース: E01)	31
5	リファレンス・ケース (A02) と実験測定値との比較	35
5.1	反応容器内の圧力, 流動	35
5.2	放出系の圧力, 流動	39
5.3	二次系の圧力, 流動	43
5.4	体系内のボイド様相	48
6	まとめ	50

参考文献	51
Appendix A 入力データの詳細	52
Appendix B 計算時間	65
Appendix C SWACSコードの改修について	66

表 リ ス ト

Table 1.1	準定常圧解析の解析上の仮定	2
Table 2.1	SWAT-3 Run-3 試験条件	5
Table 2.2	SWAT-3 構成機器のインベントリ (計算値)	6
Table 4.1	パラメータ・サーベイ入力定数表	17
Table 4.2	スリップ比をパラメータとした反応容器 収納容器の最高圧力とR/D 破裂時間の比較	19
Table 4.3	二次系ミドルレグの圧損要因	22
Table 4.4	二次系圧損係数をパラメータとした反応容器, 模擬過熱器の 最高圧力とR/D 破裂時間の比較	22
Table 4.5	H ₂ /H ₂ O 転換比をパラメータとした反応容器 収納容器の最高圧力とR/D 破裂時間の比較	25
Table 4.6	二次系を無視した計算モデルと考慮した計算モデルの比較	29
Table 4.7	安全設計条件とリファレンス・ケースの比較	32
Table A1	ラプチャディスク破裂圧	53
Table A2	ナトリウム, 水素ガス物性値	54
Table A3	SWAT-3 RUN-3 準定常圧解析入力データ	55
Table A4	ノードに関する入力データ	58
Table A5	リンクに関する入力データ	59
Table A6	SWAT-3 Run-3 準定常圧解析インプット・データ・リスト	62
Table A7	計算時間 (SWACS 準定常圧計算モジュール)	65
Table A8	SWACS コードの修正 (準定常圧計算モジュールに関する部分)	67

☒ り ス ト

Figure 2.1	SWAT-3, RUN-3 Experimental Arrangement.	4
Figure 2.2	Computational Model for SWAT-3, RUN-3 Quasi-Steady Pressure Analysis (Model-I)	8
Figure 3.1	解析主要パラメータの相互関係	10
Figure 3.2	Measured Maximum Temperature in Reaction Vessel (SWAT-3, RUN-3)	12
Figure 3.3	H ₂ Gas Temperature Profile in Reaction Vessel used in Analysis.	13
Figure 4.1	パラメータ・サーベイのフローチャート	16
Figure 4.2	Effect of H ₂ /Na Slip Ratio on Comparison between Measurements and Calculations of Pressure in SWAT-3, Run-3 Test.	20
Figure 4.3	Effect of Pressure Loss Factor in Secondary Loop on Comparison between Measurements and Calculations of Pressure in SWAT-3 Run-3 Test.	23
Figure 4.4	Effect of H ₂ /H ₂ O Conversion Ratio on Comparison between Measurements and Calculations of Pressure in SWAT-3 Run-3 Test.	26
Figure 4.5	Computational Model Neglecting Second- ary Loop for SWAT-3, Run-3 Quasi-Steady Pressure Analysis (Model-II)	28
Figure 4.6	Effect of Computational Model on Com- parison between Measurements and Calculations of Pressure in SWAT-3 Run-3 Test.	30
Figure 4.7	Comparison between Measurements and Calculations, Safety Design Conditions Calculation (E01) and Reference Calcu- lation (A02), of Pressure in SWAT-3 Run-3 Test.	33
Figure 5.1.1	Comparison between Measurement and Calculation of Pressure at Reaction Zone in Reaction Vessel (EV) in SWAT-3,	

	Run-3 Test.	36
Figure 5.1.2	Comparison between Measurement and Calculation of Pressure at Cover Gas Zone in Reaction Vessel (EV) in SWAT-3 Run-3 Test.	36
Figure 5.1.3	Calculated Sodium Velocity at Tube Bank Region in Reaction Vessel (EV) in SWAT-3 Run-3 Test.	37
Figure 5.1.4	Calculated Sodium Velocity at Center Pipe Region in Reaction Vessel (EV) in SWAT-3 Run-3 Test.	37
Figure 5.1.5	Calculated Sodium Velocity at Down- comer Region in Reaction Vessel (EV) in SWAT-3 Run-3 Test.	38
Figure 5.2.1	Comparison between Measurement and Calculation of Pressure in Pressure Relief Line in SWAT-3 Run-3 Test.	40
Figure 5.2.2	Comparison between Measurement and Calculation of Pressure in Reaction Products Tank in SWAT-3 RUN-3 Test.	40
Figure 5.2.3	Calculated Sodium Velocity in Pressure Relief Line in SWAT-3 Run-3 Test.	41
Figure 5.2.4	Comparison between Measurement and Calculation of Void Fraction in Pressure Relief Line in SWAT-3 Run-3 Test.	42
Figure 5.3.1	Comparison between Measurement and Calculation of Pressure at Cover Gas Zone in SH in SWAT-3 Run-3 Test.	42
Figure 5.3.2	Comparison between Measurement and Calculation of Pressure in IHX in SWAT-3 Run-3 Test.	44
Figure 5.3.3	Calculated Sodium Velocity in Middle Leg Piping connecting EV and SH in SWAT-3 Run-3 Test.	45
Figure 5.3.4	Comparison between Measurement and Calculation of Sodium Level Movement	

	in SH in SWAT-3 Run-3 Test.	45
Figure 5.3.5	Comparison between Measurement and Calculation of Sodium Velocity in Hot Leg Piping connecting IHX and SH in SWAT-3 Run-3 Test.	46
Figure 5.3.6	Calculated Void Fraction in Middle Leg Piping connecting EV and SH in SWAT-3 Run-3 Test.	46
Figure 5.3.7	Calculated Void Fraction in IHX in SWAT-3 Run-3 Test.	47
Figure 5.4	Calculated Void Fraction Profile in SWAT-3 Run-3 Test.	49

用 語 に つ い て

LMFBRの構成機器の名称，あるいはナトリウム-水反応の現象の用語については，設計で用いられる用語，実験で用いられる用語，広く一般的に用いられている用語等，完全に統一のとられていないものが多い。

本資料で用いている用語について，紛らわしいと思われるものについて以下にまとめる。

(下線を付したものを本資料では用いた。)

- 準定常圧，準定常圧力，準静圧力
- ラプチャ・ディスク，破裂板，破壊板，圧力開放板，R/D
- 反応容器 (実験装置について)，蒸発器，EV，RV
- 模擬過熱器 (同上)，過熱器，SH
- 模擬中間熱交換器 (同上)，中間熱交換器，IHX
- 二次系，二次主冷却系
- 放出系，圧力開放系
- 収納容器，反応生成物収納容器，反応生成物収納設備
- R(P)T
- H₂/H₂O 転換比，モル転換比，ガス転換比
- 注水率 (実験について)，水噴出率，水リーク率

1. 概 要

大リーク・ナトリウム-水反応解析コード-SWACS-に含まれる準定常圧解析計算モジュール (SWAC-13) の実験検証のため, SWAT-3, RUN-3試験の解析を実施した。

SWAC-13 計算モジュール^{1), 2)} は, LMFBRの蒸気発器における大リーク・ナトリウム-水反応事故時の準定常時間領域について, 事故蒸気発生器, 2次主冷却系, 放出系の圧力挙動, ならびにナトリウムと水素ガスの流動を解析するものである。

解析手法は解析体系をノードとリンクのネットワーク・モデルにモデル化し, これに連続の式, 運動方程式を適用するもので, 数値解法としては陰的解法を用いている。

本計算ではナトリウムは非圧縮性の流体として扱われ, ナトリウムと水素ガスの二相流は一次元スリップモデルで扱う。計算に用いられる主な仮定をTable 1.1 に示す。

本報告は, このSWAC-13 計算モジュールをSWAT-3, RUN-3 試験体系に適用し, 解析を行なった結果をまとめたものであり, 解析上のパラメータ・スタディを主体としている。

2章では, 解析を行なうためのモデリングについて述べる。

3章では, 解析に必要な様々なパラメータについて述べる。

4章では, まず各パラメータ・スタディの結果を示し, その解析上の効果について考察する。

5章では, 4章の結果のうち, 最も適切と考えられる計算結果 (リファレンス・ケース) について実験測定データとの比較を詳細に行ない計算コードの妥当性あるいは問題点について考察する。ただし, ここで用いられる解析パラメータの妥当性はSWAT-3の他の試験解析 (RUN1, 2, 4~7) を終えた時点で最終的に確認されるべきもので, 解析作業は現在, 続行しており, 本報告は中間報告であることを附記する。

6章では今回の解析結果, 問題点をまとめ, 今後の解析の指針とした。

またAppendix として, 入力データ, 時間時間, 計算コードの改修についてまとめた。

Table 1.1 準定常圧解析の解析上の仮定

- 1) 体系はノードとリンクのネットワーク・モデルにモデル化し、一次元の流動とする。
- 2) ナトリウムと水素ガスの二相流は一次元のスリップ・モデルとし、スリップ比は入力で与える。
- 3) ナトリウムは非圧縮性として扱う。
- 4) ナトリウム-水反応による水素ガスとカバ-ガスは区別せず、理想気体の等温変化として扱う。
- 5) エネルギーバランスは考慮せず、各領域の水素ガス温度は入力で与える。
- 6) ナトリウム-水反応の反応速度は無大と考え、 $H_2(g)/H_2O$ モル転換比を入力で与える。

2. 試験体系と計算モデル

2.1 SWAT-3, RUN-3 試験体系³⁾

Fig 2.1 に SWAT-3 装置の RUN-3 試験体系を図示する。ただし、準定常圧解析に関する部分のみ示してあり、ドレン系、純化系、ガス系は省いている。

図には、後で計算結果と実験測定値の比較に用いる各センサーの位置も示した。

- P1111 は反応容器 (EV) の下部プレナム部に取付けられており、反応点近傍のナトリウム中の圧力を測定する。
- P1101 は反応容器のカバーガス空間に取り付けられている。
- P1201 は模擬過熱器 (SH) のカバーガス空間に取り付けられている。
- P1301 は模擬中間熱交換器 (IHX) の下部に取り付けられておりナトリウム中の圧力を測定する。
- P6033 は放出系配管 (RL) の反応容器に近い位置、P6101 は収納容器 (RT) に取り付けられている。

以上の圧力センサの他、IHX から SH への配管の途中に電磁流量計 (F101)、放出系配管にはガンマ線ボイド率計 (G6001) が取り付けられている。

RUN-3 試験では上記の他に多数の圧力、温度、加速度等が測定されているが、ここでは割愛した。

Table 2.1 には RUN-3 試験の主な試験条件をまとめた。また Table 2.2 には各構成機器のインベントリを示した。

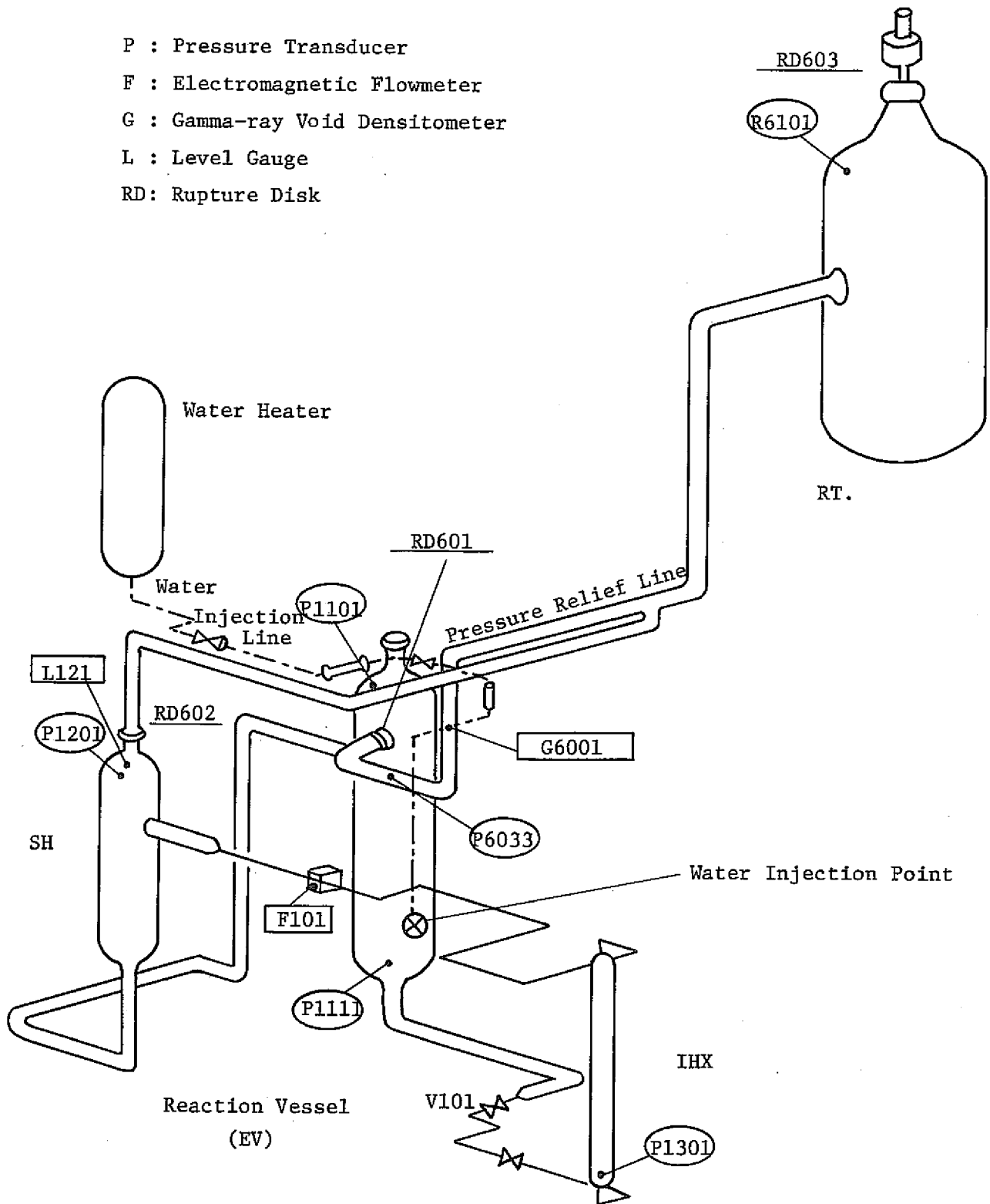


Figure 2.1 SWAT-3 Run-3 Experimental Arrangement.

Table 2.1 SWAT-3, RUN-3 試験条件

系 統	機 器	特 性	条 件 値
注 水 系	水加熱器	温 度 圧 力	300 °C 148 Kg/cm ² g
	ラプチャ・ディスク RD 501 RD 502	設定圧力 (設計値)	100 Kg/cm ² 100 Kg/cm ²
	注水弁 (V502)	弁開状態時間	9.5 sec
	注水孔	口 径 準定常注水率 全注水量	10 φ _{mm} ×8ヶ 8.8~7.9Kg/s (初期) (後期) 78 Kg
ナトリウム系	ループ	温 度 流 量	398 °C 0 m/s
	蒸発器 (反応容器)	アルゴン・カバーガス圧	0.5 Kg/cm ² g
	過熱器	アルゴン・カバーガス圧	0.5 Kg/cm ² g
放出系/ 大気解放系	ラプチャ・ディスク RD601 (EV) RD602 (SH) RD603 (RT)	設定圧力 (設計値)	3 Kg/cm ² 3 Kg/cm ² 1.5 Kg/cm ²
	配 管	温 度	272~305°C
	収納容器	温 度 アルゴン・カバーガス圧	372 °C 0.5 Kg/cm ² g

Table 2.2 SWAT-3 構成機器のインベントリ (計算値)^{*1)}

機 器	内 容 物	容 量 (m^3) ^{*1)}	Na 重量 (Kg) ^{*2)}
反応容器 (EV)	ナトリウム	4.312	3694
	カバーガス	2.554	—
過熱器 (SH)	ナトリウム	1.342	1150
	カバーガス	0.586	—
中間熱交換器 (IH X)	ナトリウム	0.165	141
二次系配管 (EV~SH)	ナトリウム	0.545	467
二次系配管 (EV~IH X) (IH X~SH)	ナトリウム	0.266	228
放出系配管	Ar ガス	1.523	—
収納容器 (RT)	Ar ガス	39.04	—
合 計	総 計	50.33	—
	ナトリウム	6.63	5680

*1) 値は本解析に使用した値で、計算の際支持構造物等は省略してある。

*2) ナトリウム比重量は $856.6 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$ (398°C) として計算した。

2.2 計算モデル

SWACSコードの準定常圧計算モジュール（SWAC-13）では解析対象の体系をノードとリンクから構成されるネット・ワークモデルにモデル化して計算を行なう。本解析で使用したネット・ワーク・モデルをFig 2.2に示す。図に示したように体系は22個のノードに分割され、各々のノード間をつなぐ31個のリンクから構成される。(各ノード・リンクについての形状寸法入力値の詳細はAppendix Aに示す。)

Fig 2.2において、ノード1～ノード10は反応容器内の分割を示す。ノード1は注水ノードで伝熱管コイル部下部に相当する。

反応容器内は垂直方向に大きく分けて3つの流路（コイル部＝ノード1～6，センターパイプ＝ノード8，ダウンコマ＝ノード9）に分割される。コイル部はさらに伝熱管支持構造を考え、周方向に4分割され、周方向の流れも考慮されている。（計算モデルでは対称性を考え3分割にしている。）

これらの流路は上部では上部プレナム（ノード4）とカバーガス（ノード10）で、下部では下部プレナム（ノード7）で結合される。

模擬過熱器はノード12～ノード15に分割され、反応容器とは二次系配管（ノード11，ノード16）で連結される。

収納容器はノード22で表わされ、反応容器，模擬過熱器とは放出系配管（ノード17～21）で連結される。

放出系配管接続部にはラプチャ・ディスク（RD）が設置され破裂設定値差圧に達するまでは、反応容器，模擬過熱器と放出系は隔離されている状態で計算を行なう。

収納容器の大气放出弁部にも同様にラプチャ・ディスクが設置されている。

Fig 2.2に示した計算モデルの他に、後述するように（4.5節，Fig 4.5），二次系を無視した事故蒸発器だけのモデルの計算も行ない両者を比較した。

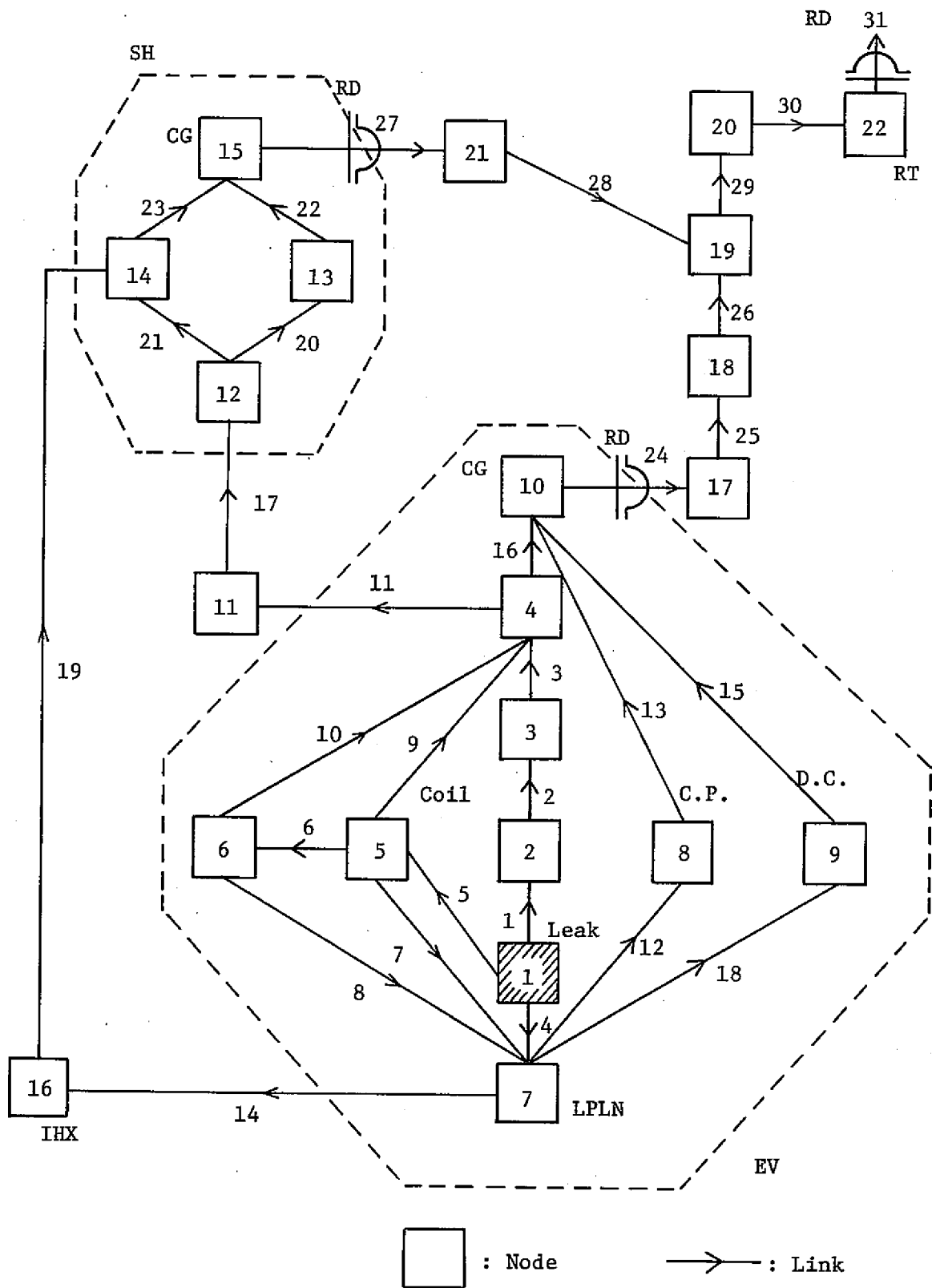


Figure 2.2 Computational Model for SWAT-3 Run-3 Quasi-Steady Pressure Analysis (Model-I).

3. 解析パラメータと入力データ

SWACSコードの準定常圧解析モデルでユーザが指定するパラメータと計算式の関係を図 3.1 に示す。パラメータは大別して、ナトリウムと水の反応に関するパラメータと、反応で生じた水素ガスとナトリウムの流動に関するパラメータに分類できる。

これらのパラメータの値は、大リーク実験結果との照合を行って計算結果が全体として best fit するように選定する必要がある。以下に各々のパラメータについて説明する。

3.1 ナトリウム-水反応のパラメータ

3.1.1 注水率（水リーク率）

蒸気発生器の伝熱管が破断（大リーク・ナトリウム-水反応解析では通常、最も厳しい条件である瞬時完全ギロチン破断を想定する。）した場合の水リーク率は水/蒸気の状態、伝熱管の破断位置等に依存し、原型炉タイプの蒸発器（EV）では定格運転条件で伝熱管 1 本当たり数 kg/sec ~ 10 数 kg/sec と予想されている。

SWAT-3, RUN-3 試験は、水加熱器条件を 300℃, 148 kg/cm²g として、蒸発器の伝熱管ヘリカルコイル下部での破断を模擬して行なわれた。

破断直後の注水率（=水リーク率、以下本報告では実験の立場から注水率と呼ぶ。）の過渡変化は測定することはできないが破断後 1 秒以内に定常化し、ほぼ一定流量の注水率になる。1 秒以降の注水率は注水配管中に設けられたタービンフロー・メータで測定され、RUN-3 試験では 8.8 kg/sec (1 秒) ~ 7.9 kg/sec (9 秒) であった。³⁾

この準定常注水率に対し、全注水量を注水時間で割った平均注水率は 8.21 kg/sec ^{*注)} (全注水量 = 78 kg, 注水時間 = 9.5 sec) であった。

両者の差はさほど大きくないので本報告では取扱いの簡単化のため平均注水率を用いることにした。すなわちステップ変化状の注水率（時間に関し一定な）を解析に使用することにした。

*注) 平均注水率は更に正確には次式で整理されている

$$\text{平均注水率} = \frac{(\text{総注水量}) - (V502 \text{ 下流容積}) \times (V502 \text{ 閉時比重量})}{(RD502 \text{ 破裂から } V502 \text{ 閉までの時間})}$$

V502: 注水弁, RD502: 注水伝熱管ラプチャディスク

Na-水反応のパラメータ

Na/H₂ (gas) 流動のパラメータ

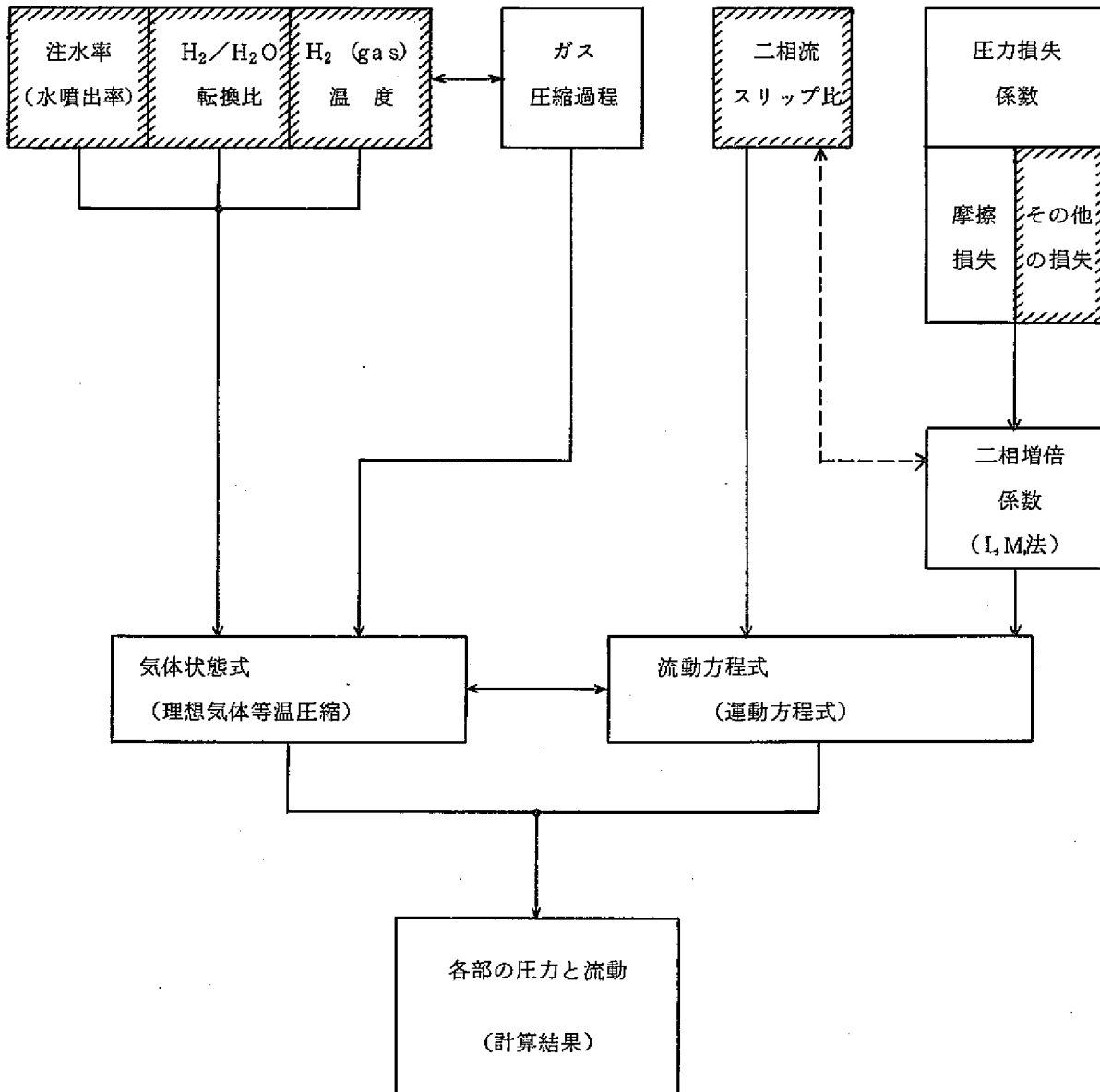



Figure 3.1 解析主要パラメータの相互関係

( : 入力で指定するパラメータ)

3.1.2 H₂/H₂O 転換比

ナトリウム-水反応時の水と水素ガスのモル転換比は解析上重要なパラメータであるが、実験的に完全に測定されているとは言い難い。特に反応初期には未反応水領域が拡大し、マクロな意味でH₂/H₂O転換比も変化すると考えられるが、解析上では一般に0.3~0.65⁷⁾程度の値が定数として用いられている。

本報告では、0.5をリファレンスとして、0.35~0.65の範囲でパラメータ・サーベイを行なうことにした。(4.4節参照)

3.1.3 水素ガス温度

SWAT-3, RUN-3試験では、ナトリウム-水反応による発熱のため、注水点近傍では最高約1200℃の温度が測定されている。しかし反応容器内で注水部より離れた位置の温度はほとんど初期ナトリウム温度(約400℃)程度しか測定されていない。Fig 3.2に反応容器内の各点で測定された最高温度を示した。³⁾

しかし、これらの最高温度は、固・液状反応生成物の温度を測定している可能性があり、本報告の目的である、圧力を評価するために必要な水素ガス温度の代表値として使用することには難がある。それで圧力上昇から評価した水素ガス温度、すなわち、ラプチャディスク破裂時刻より換算した水素ガス温度⁷⁾を基準とし、Fig 3.3に示した反応容器内の温度分布を解析に用いることにした。

反応容器以外の二次系配管、模擬過熱器、模擬中間熱交換器ならびに放出系では、測定された温度は初期ナトリウム温度であり解析でもナトリウム温度と同じ値とした。

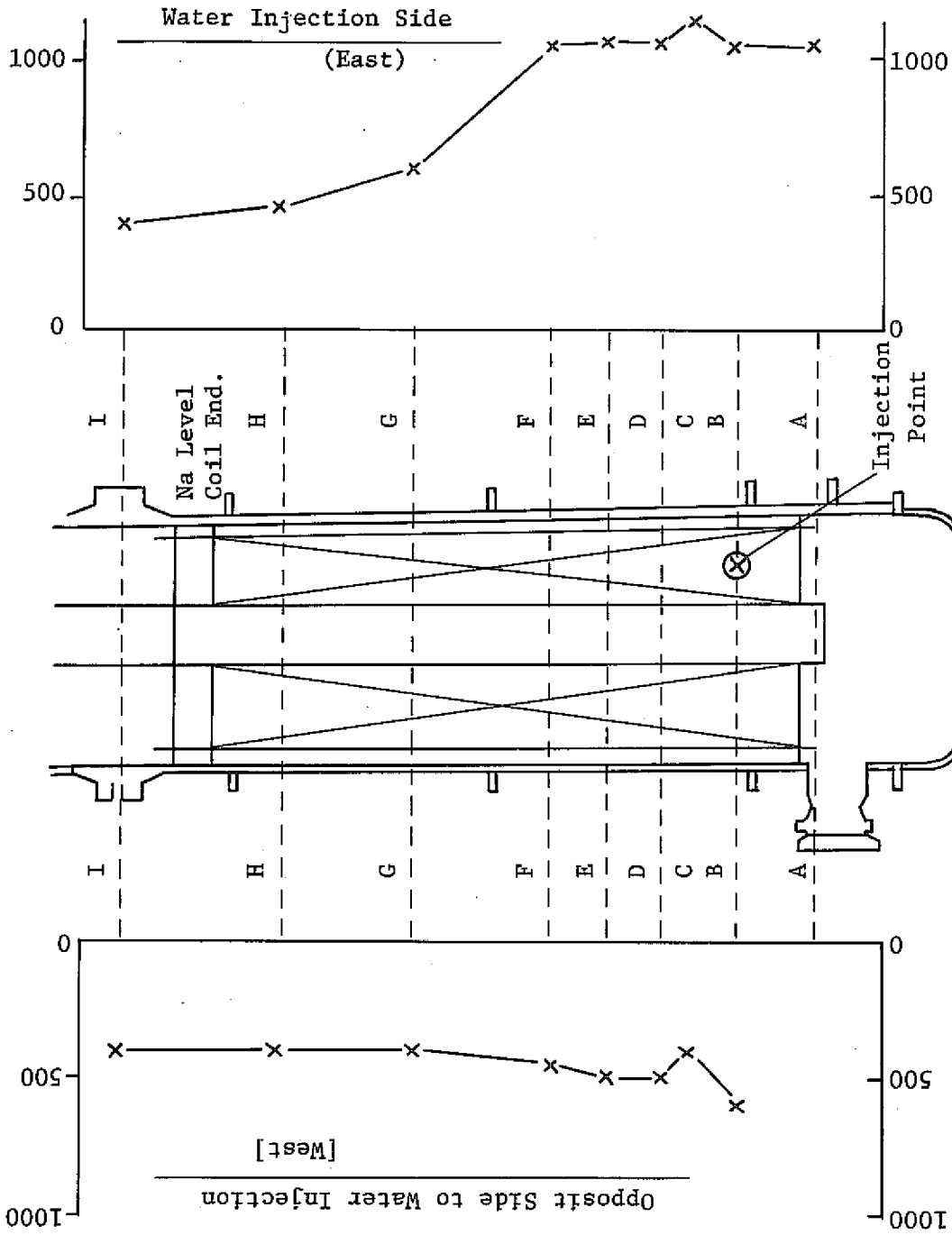


Figure 3.2 Measured Maximum Temperature in Reaction Vessel. (SWAT-3, Run-3)

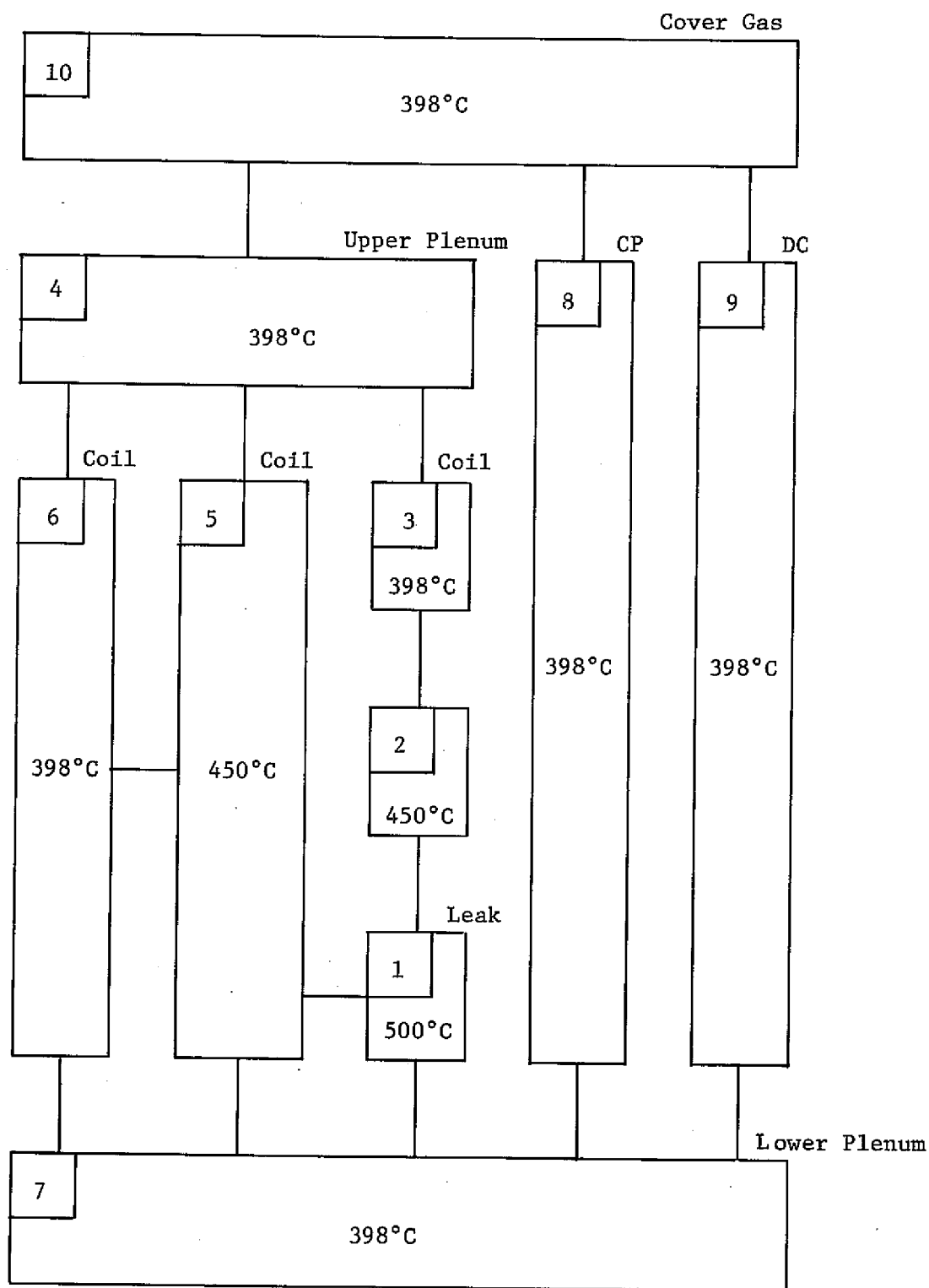


Figure 3.3 H₂ Gas Temperature Profile in Reaction Vessel used in Analysis.

3.2 流動に関するパラメータ

3.2.1 水素ガス/ナトリウム・スリップ比

水素ガスとナトリウム混合二相流のスリップ比はその流動様相と密接に関係しており、内蔵関数として与えることの難しいパラメータである。このためSWACSでは時間に関して一定のユーザ指定定数としている。しかしSWAT-1試験装置の放出系配管では放出初期では気泡流又はフロス流、中期以降は環状流と流動パターンが変化することが実験的に確認されており、⁴⁾定数扱いに限界があるのは否めない。

本報告では4.2節に示すようにスリップ比を1.0～4.0と振りパラメータ・サーベイを実施した。

3.2.2 圧力損失

SWACSでは摩擦損失係数をBlasiusの式、およびNikuraseの式で決め、更にLockhart-Martinelliの二相増倍係数を乗じて使用している。(本解析の後で変更された。Appendix Cを参照)

この計算コード内で処理される摩擦損失以外の形状的な圧損係数は入力値として与えるが、特に反応容器内のように複雑な流れの場合、通常の方法で圧力損失係数を推定することは困難である。そのため、とりあえず本解析では反応容器内の流路では形状圧損係数をゼロとおいた。

ただし、二次系への流動に関しては、後述するように圧力に関し測定値と解析値の一致が悪かったため、形状圧損係数をパラメータとしたパラメータ・サーベイを実施した。

3.3 その他の入力データ

上述の主要パラメータの他、解析に使用したパラメータ、入力データはAppendix Aにまとめた。

4. パラメータ・スタディ

4.1 パラメータ・スタディの方針

3章で述べたように準定常圧解析には一義的に決定することの難しい解析パラメータが多数存在する。本章ではそれらのパラメータのうち主要なものについて、計算結果に与える影響を検討する。

Fig 4.1 に今回実施したパラメータ・スタディの手順を示す。

今回の解析では水噴出率と水素ガス温度は固定した。(3.1.1項, 3.1.3項参照)

まず最初に水素ガス/ナトリウム二相流のスリップ比のサーベイを実施した (Fig4.1 Box1) 次に二次系配管, 機器における計算結果と測定値の一致が悪いため, 形状圧損係数のサーベイを実施した。(Box 2)

その後 H_2/H_2O 転換比のサーベイ (Box 3), 二次系を無視した計算体系モデルの計算 (Box 5), 原型炉の安全設計で用いられる保守的な解析条件での計算 (Box 6) を各々実施した。(Fig 4.1 中でBox 4の水素ガス温度のサーベイは未実施である。)

Fig 4.1 に対応した, パラメータ・サーベイのケース名と入力パラメータの値を Table 4.1 に示す。

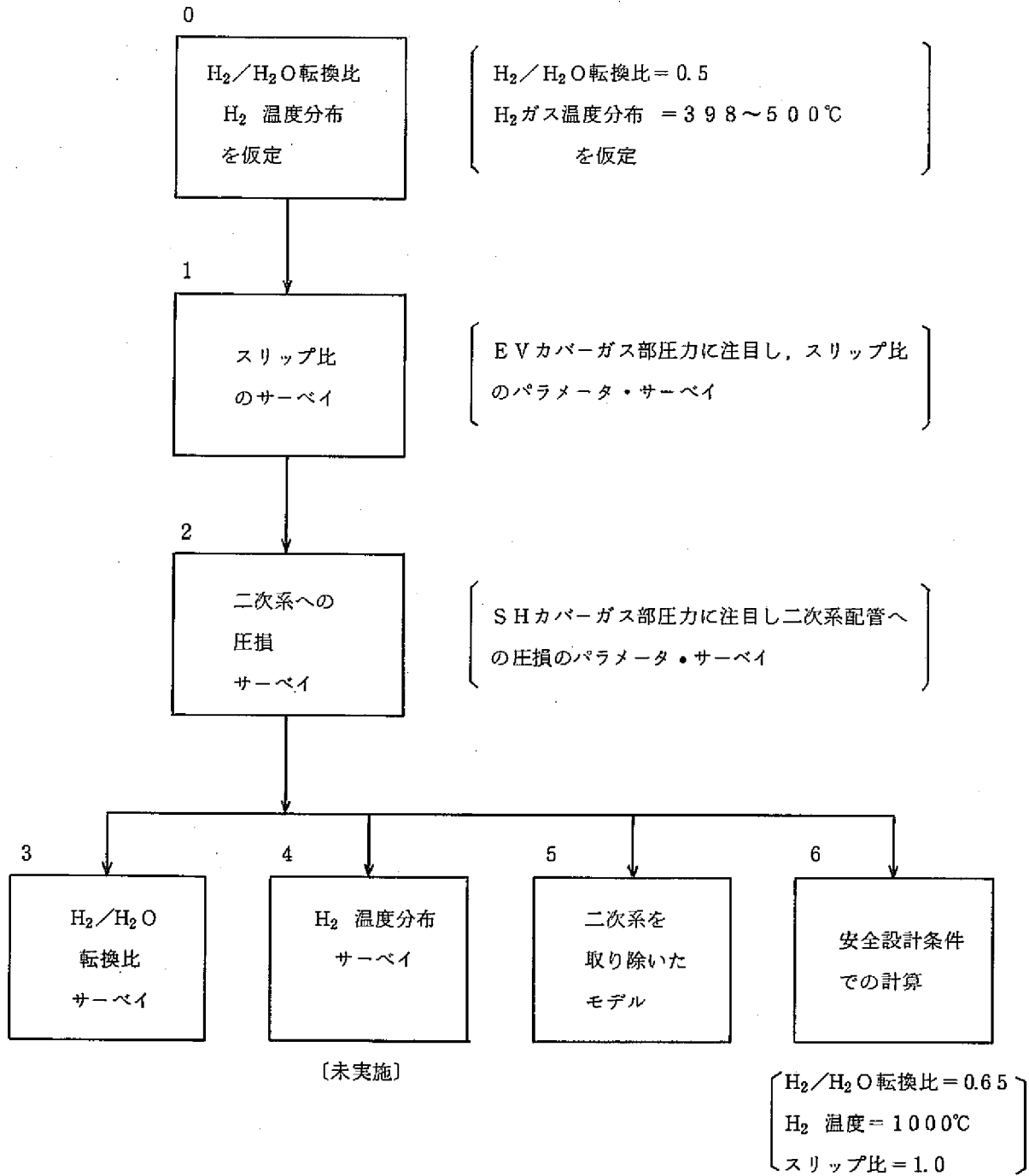


Figure 4.1 パラメータ・サーベイのフローチャート

Table 4.1 パラメータ・サーベイの入力定数表

項 目	ケース名	解析パラメータ					図	備 考
		スリップ比	圧損係数 *1)	H ₂ /H ₂ O転換比	H ₂ 温度	計算モデル		
スリップ比のサーベイ	AO1	1.0	10	0.5	398~500°C (Fig3.3)	Model I	Fig42	AO2 は リファレンス ケース
	AO2	2.0	"	"	"	"		
	AO3	4.0	"	"	"	"		
圧損係数のサーベイ	BO1	2.0	5	"	"	"	Fig43	
	BO2	"	15	"	"	"		
H ₂ /H ₂ O転換比のサーベイ	CO1	"	10	0.35	"	"	Fig44	
	CO2	"	"	0.65	"	"		
二次系を無視したモデル	DO1	"	"	0.5	"	Model II	Fig46	
安全解析条件	EO1	"	"	"	1000°C	Model I	Fig47	

*1) 二次系の流動に対するサーベイでFig2.22でリンクNo.11の形状圧損係数

4.2 スリップ比（ケース：A01-A03）

Table 4.1 に示すようにスリップ比を 1.0 より 4.0 の範囲で 3 ケース計算を行なった。ただし、二次系の流路内（Fig 2.2 でリンク 11, 14, 17, 19, 20, 21, 22, 23）のスリップ比は 1.0 に固定した。結果を Fig 4.2 と Table 4.2 に示す。

スリップ比を大きくとると反応容器内の圧力最大値は低くなる。これはスリップ比が大きいと放出系への水素ガスの抜けがよくなるためである。また、実験ではラプチャ・ディスク破裂後圧力が急に降下するが、これは反応容器のカバーガスがまず放出系に抜けるためと考えられる。しかし解析では、ノードに関し、ナトリウムと水素ガスが均一に混合すると仮定するため破裂直後の圧力降下は現われない。

スリップ比を大きくとると収納容器の圧力上昇速度は大きくなるが、収納容器の容量は大きいので、その効果はさほど大きくない。

反応容器ならびに収納容器の最高圧力とラプチャ・ディスクの破裂時間を測定値と計算結果を比較して Table 4.2 に示す。

またスリップ比 = 2.0 ケース（A02）については 5 章で更に詳細に測定値と比較する。

Table 4.2 スリップ比をパラメータとした反応容器，収納容器の最高圧力とRD破裂時間の比較

		反 応 容 器 (EV)		収 納 容 器 (RT)	
		最高圧力 ^{*1)} (Kg/cm ² a)	RD破裂時間 [sec]	最高圧力 (Kg/cm ² a)	RD破裂時間 [sec]
計算値	AO1 (S=1)	5.59	0.612	2.90	5.28
	AO2 (S=2)	4.93	0.633	2.90	5.05
	AO3 (S=4)	4.64	0.625	2.90	4.99
測定値		5.0 (4.6) ^{*2)}	0.56	2.9	4.05

* 1) 反応容器カバーガス部圧力

* 2) RD601破裂圧 (第1ピーク圧)

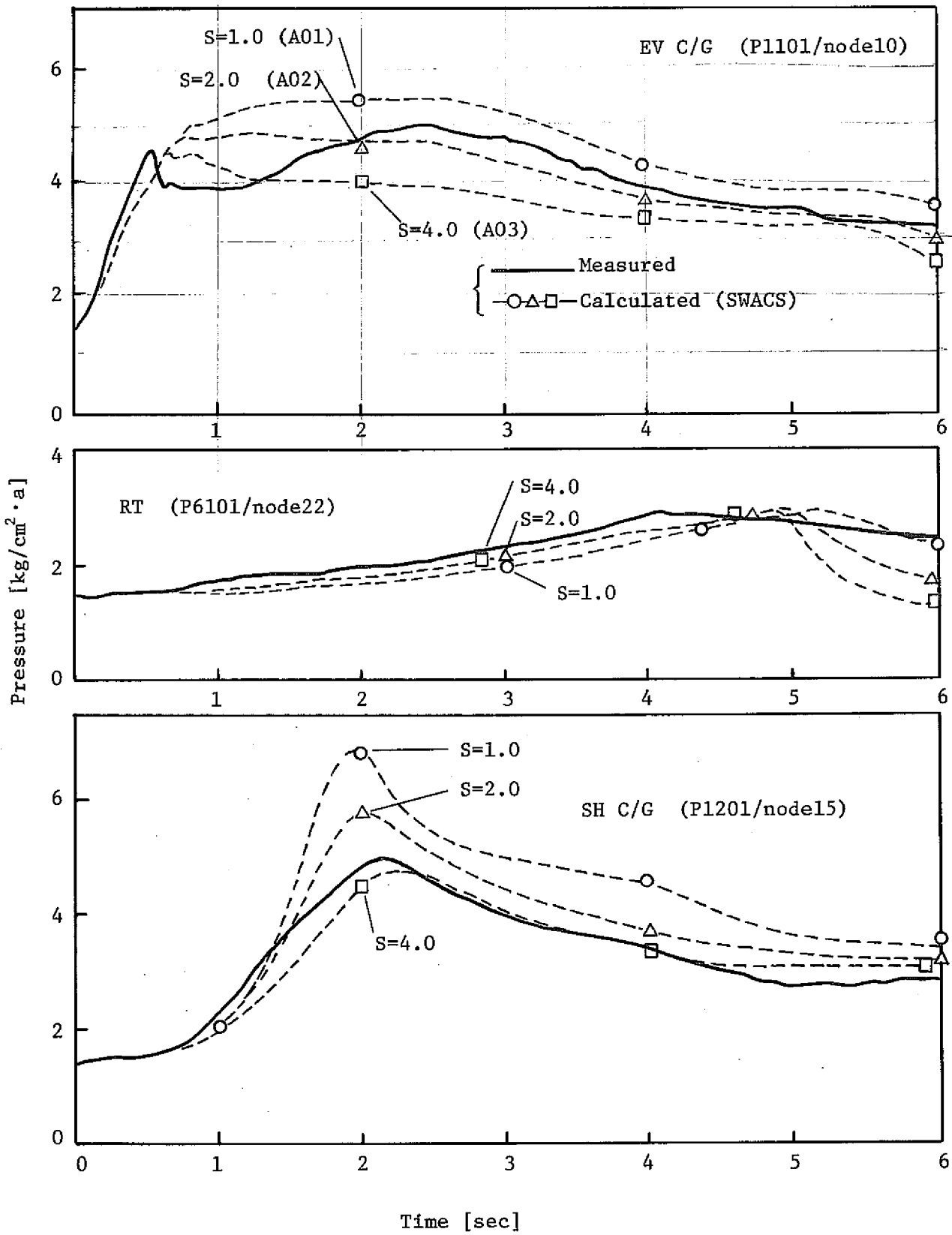


Figure 4.2 Effect of H₂/Na Slip Ratio on Comparison between Measurements and Calculations of Pressure in SWAT-3 Run-3 Test.

4.3 二次系圧力損失（ケース：B01-B02, A02）

パラメータ・サーベイを実施していく過程で、反応容器内の圧力挙動については計算結果と測定値にはほぼよい一致が得られたのに対し、二次系については両者の差は大きかった。

特に模擬過熱器の圧力については計算結果は測定値より非常に大きく、計算は二次系への流れやすさを過大評価する傾向にあった。

SWAT-3装置ではIHX 経由の流動（配管径 $203\phi\text{mm}$ 、長さ 5.35m + 径 $53\phi\text{mm}$ 、長さ 23.4m ）はEV~SHミドル・レグの流動（配管径 $203\phi\text{mm}$ 、長さ 16.8m ）と比較して小さいと考えられる。そこでミドル・レグ配管の圧損要因に注目してサーベイを実施した。

ミドル・レグにはベンドが5ヶ存在し、他に配管入口（反応容器側）、配管出口（模擬過熱器側）に圧損要因が考えられる。

これらをTable 4.3に示す。表に示すようにパラメータ・サーベイではハンドブック等で与えられる値の2~7倍程度の大きな圧損係数を用いた。（この形状圧損係数の入力はFig. 2.2のネットワークでリンク11に相当する。）

しかし、これらの大きな圧損係数を用いたにもかかわらず、やはり二次系の模擬過熱器の圧力はやや過大評価の傾向にある。（Fig 4.3, Table 4.4）この原因については、本解析（RUN-3）以降の解析を通じ検討が必要である。ただしFig 4.3に示したようにこれらの圧損係数は反応容器の圧力挙動にはほとんど影響を及ぼさない。

Table 4.3 二次系ミドルレグの圧損要因

	値	計	パラメータ・サーベイ・入力値		
			BO1	AO2	BO2
管入口 (EV側)	0.5	236	5.0	10.0	15.0
ベンド (5ヶ)	0.1725 ^{*1)} ×5		0 ^{*2)}	0 ^{*2)}	0 ^{*2)}
管出口 (SH側)	1.0		1.0	1.0	1.0

* 1) 文献 5) P8-19, 第 23 表 ($\theta=90^\circ, R/d=1.5$)

* 2) 計算コードのベンド圧損計算式に誤りがあったので本表では無視した値とした。

(Appendix C 参照)

Table 4.4 二次系圧損係数をパラメータとした反応容器, 模擬過熱器の最高圧力と RD 破裂時間の比較

		反応容器 (EV)		模擬過熱器 (SH)	
		最高圧力 (kg/cm ² a) ^{*1)}	RD破裂時間 [sec]	最高圧力 (kg/cm ² a)	ピーク圧到達時間 [sec]
計算値	BO1 ($\zeta_{11}=5$)	4.95	0.632	6.58	1.9
	AO2 ($\zeta_{11}=10$)	4.93	0.633	5.76	2.0
	BO2 ($\zeta_{11}=15$)	4.90	0.636	5.36	2.2
測定値		5.0 (4.6) ^{*2)}	0.56	5.0	2.2

* 1) , * 2) → Table 4.2 の注

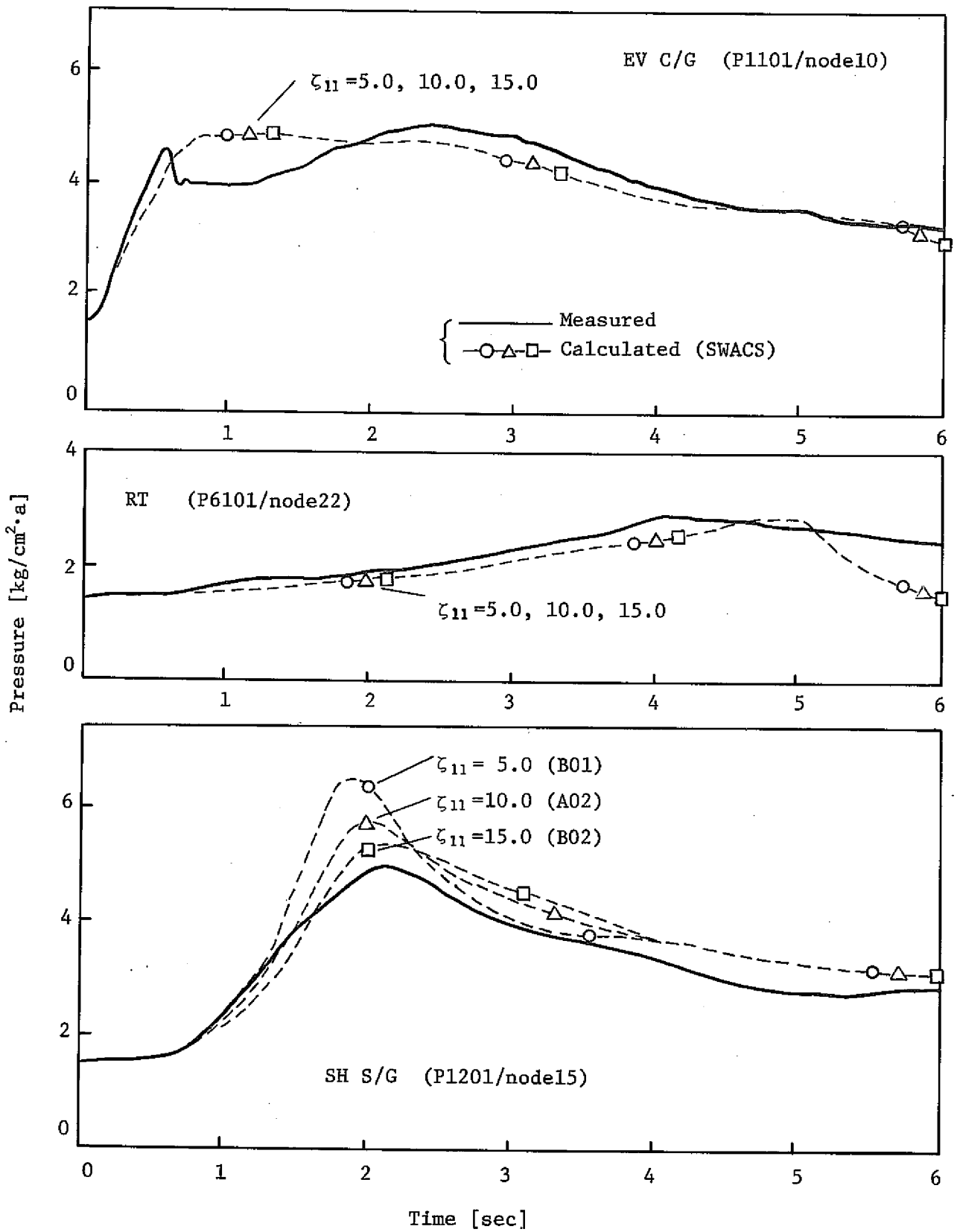


Figure 4.3 Effect of Pressure Loss Factor in Secondary Loop on Comparison between Measurements and Calculations of Pressure in SWAT-3 Run-3 Test.

4.4 H_2/H_2O 転換比 (ケース:CO1-CO2, A02)

3.1.2項で述べた水素ガスと水のモル転換比は0.35~0.65の範囲でパラメータサーベイを実施した。

解析上、発生水素ガス量は注水量と H_2/H_2O 転換比の積で評価するため、本項のサーベイは注水率のサーベイと等価である。(本解析では注水率は8.21kg/secのステップ変化としている。)また水素ガス温度とも密接な関係にある。

計算結果をTable 4.5とFig 4.4に示す。F(H_2/H_2O 転換比)を0.5としたリファレンスケースと比較して、反応容器(EV)の最高圧力はF=0.65では約1割高く、F=0.35では約1割低く評価する。

全般的傾向としてF=0.5が測定値との一致がよいと言える。ただしこれは絶対的な評価ではなく、あくまでFig 3.3に示した温度分布を仮定した上での相対的評価であることに留意する必要がある。またRD破裂前の反応容器内圧力はF=0.65の場合が測定値との一致がよい。すなわち全般的傾向の一致という観点からF=0.5を選ぶとすると初期に関しては水素ガス温度を低く評価しているか、あるいは注水率を低く評価していると言える。

Table 4.5 H₂/H₂O転換比をパラメータとした反応容器，収納容器の最高圧力と
RD破裂時間の比較

		反応容器 (EV)		収納容器 (RT)	
		*1) 最高圧力 (Kg/cm ² a)	RD破裂時間 (sec)	最高圧力 (Kg/cm ² a)	RD破裂時間 (sec)
計算値	CO1 (F=0.35)	4.64	0.929	- *3)	- *3)
	AO2 (F=0.5)	4.93	0.633	2.90	5.05
	CO2 (F=0.65)	5.58	0.484	2.90	4.19
測定値		5.0 (4.6) *2)	0.56	2.9	4.05

*1), *2) → Table 4.2の注

*3) 6秒までの計算でRD不破裂

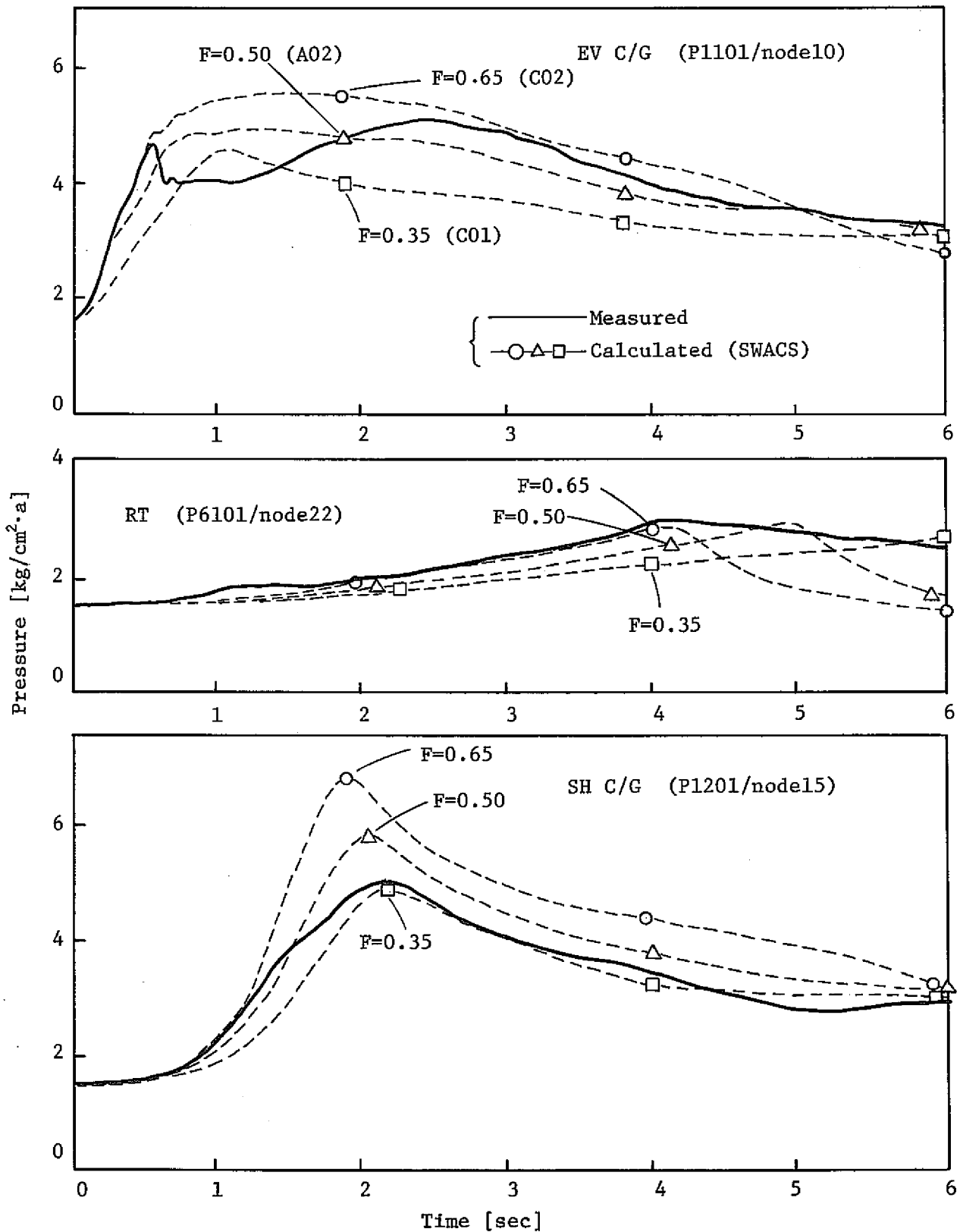


Figure 4.4 Effect of H₂/H₂O Conversion Ratio on Comparison between Measurements and Calculations of Pressure in SWAT-3 Run-3 Test.

4.5 二次系を無視した計算モデル (ケース: D O 1)

準定常圧解析において、しばしば二次系の機器、配管を無視した計算モデルで解析を行なうことがある。⁶⁾

これは主に計算時間の短縮化が目的であるが、同一体系に対し、二次系の有無の影響を計算し比較しておく必要がある。

ここで二次系を無視したモデルは4.3節で検討した二次系圧損係数の極端に大きなケースと考えることもできる。

Fig 4.5 に二次系を取り除いた計算モデル (Model-II) を示す。これは Fig 2.2 に示した二次系を含む計算モデル (Model-I) より二次系に相当するノードとリンクを取り除いたものであり、反応容器と放出系のモデル、入力データは両者とも同一のものを用いた。

計算結果を Fig 4.6 と Table 4.6 に示す。二次系を無視することにより反応容器の最高圧力は約1割高くなり、ラプチャ・ディスク破裂時間は早く評価するが、両者の差はそれほど大きくなく二次系を無視したモデルでも実用上充分であると言える。(例えば Fig 4.2 に示したスリップ比の効果と比べて、二次系考慮の有無の効果はむしろ小さい) これは準定常圧の圧力流動挙動は放出系が支配的であることを示すものと言える。

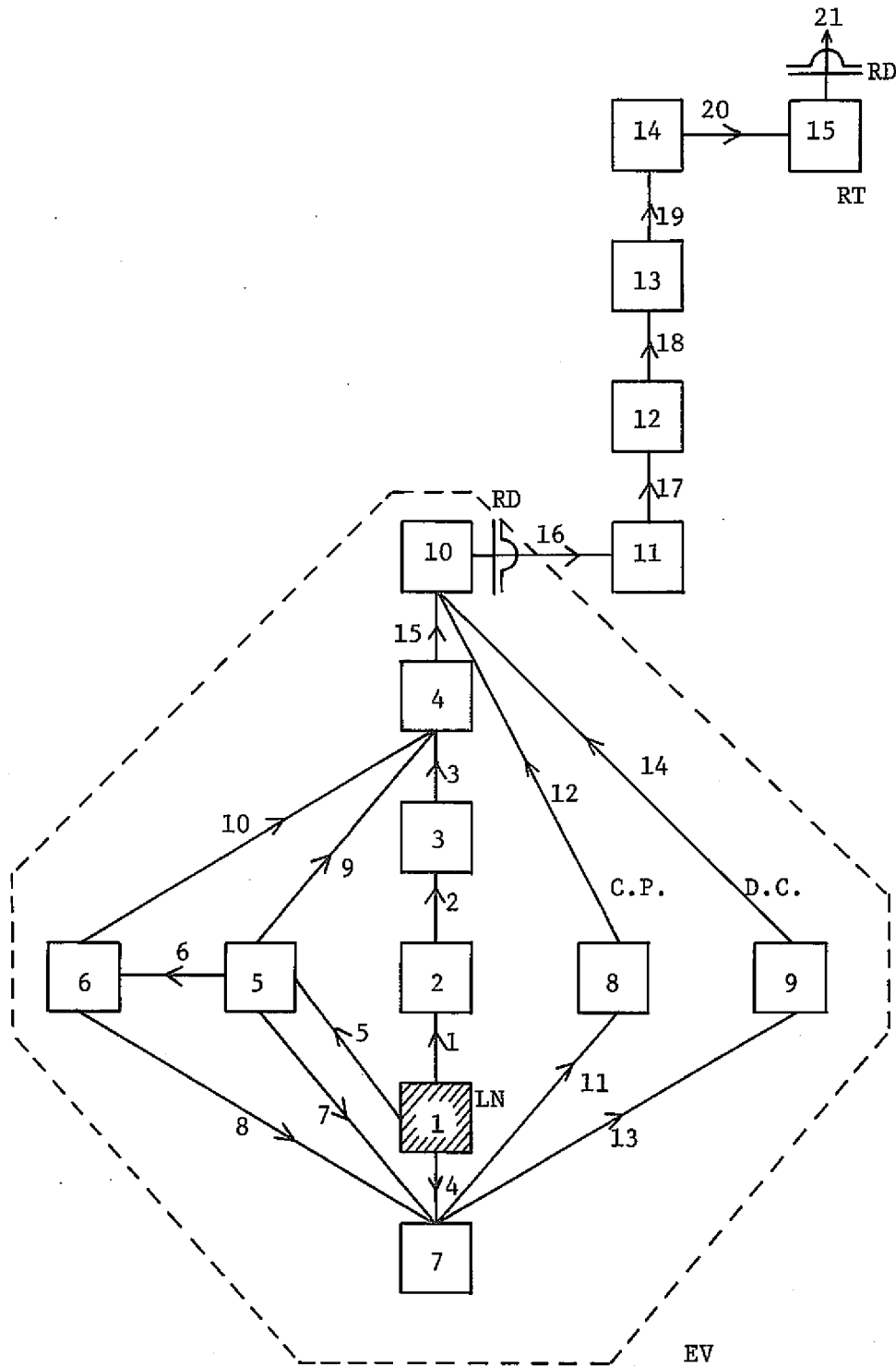


Figure 4.5 Computational Model Neglecting Secondary Loop for SWAT-3 Run-3 Quasi-Steady Pressure Analysis (Model-II)

Table 4.6 二次系を無視した計算モデルと考慮した計算モデルの比較

		反応容器 (EV)		収納容器 (RT)	
		最高圧力 ^{*1)} (Kg/cm ² a)	RD破裂時間 (sec)	最高圧力 (Kg/cm ² a)	RD破裂時間 (sec)
計算値	DO1 (二次系無視)	5.52	0.587	2.9	4.93
	AO2 (二次系考慮)	4.93	0.633	2.9	5.05
測定値		5.0 (4.6) ^{*2)}	0.56	2.9	4.05

*1), *2) → Table 4.2の注

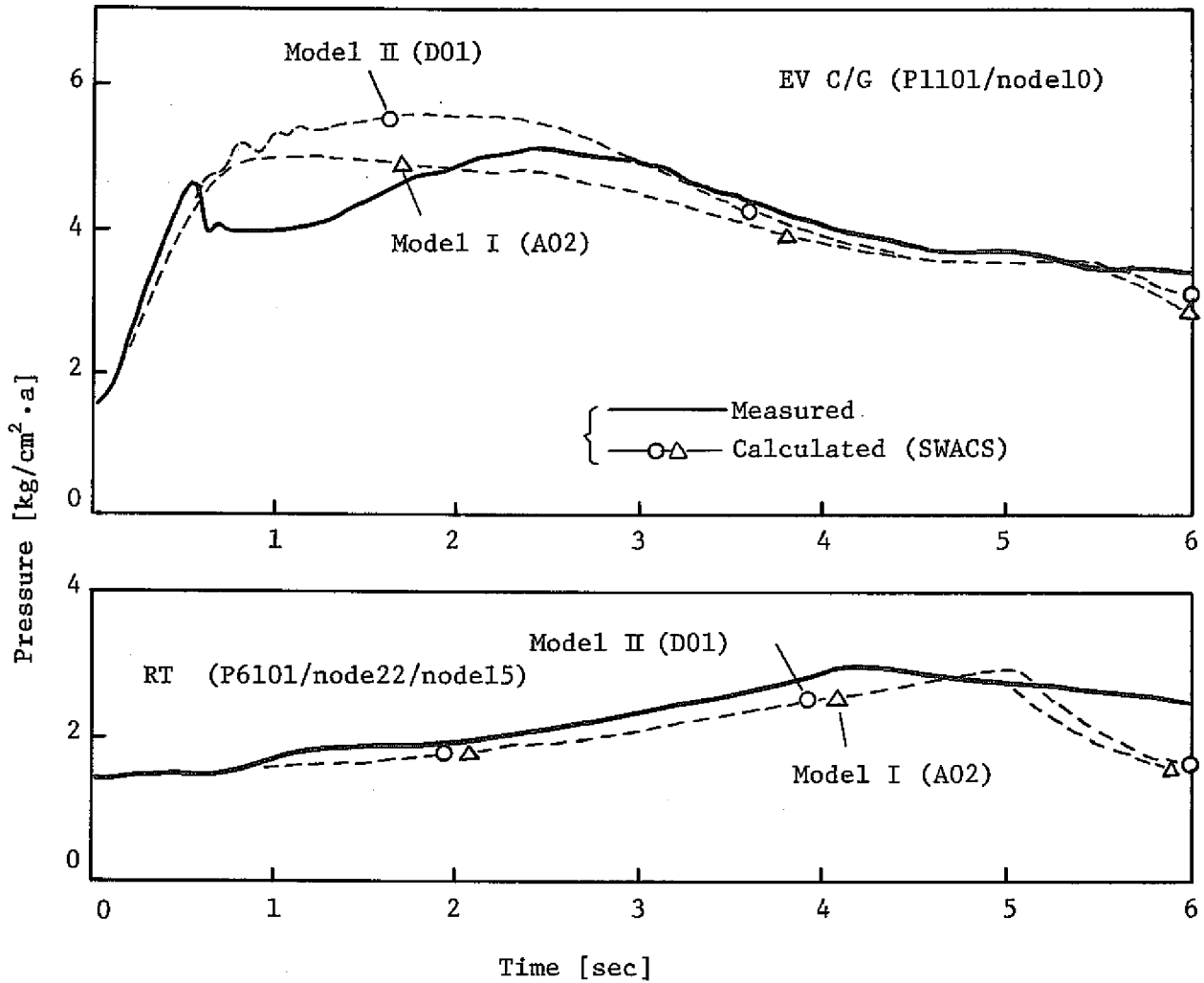


Figure 4.6 Effect of Computational Model on Comparison between Measurements and Calculations of Pressure in SWAT-3 Run-3 Test.

4.6 安全設計条件 (ケース: E O 1)

原型炉の安全設計の大リーク・ナトリウム-水反応解析では解析条件として、保守的なパラメータ値を用いている。⁷⁾ 準定常圧解析に関しては以下の条件が用いられている。

- (1) H_2/H_2O 転換比 0.65 (>本解析のリファレンス=0.5)
- (2) 水素ガス温度 1.000°C (>本解析のリファレンス Fig 3.3)
- (3) H_2/Na スリップ比 1.0 (<本解析のリファレンス=2.0)

これらの条件を SWAT-3, Run-3 実験体系に適用して計算を行なった結果を Fig 4.7 と Table 4.7 に示す。

安全設計条件は圧力に関し、測定値あるいはリファレンス・ケース (A O 2) の約 2 倍の計算結果を与え、設計基準としてこの解析条件を用いることは充分安全側の計算結果を与えていると言える。

Table 4.7 安全設計条件とリファレンス・ケースの比較

	反応容器 (EV)		模擬過熱器 (SH) *3)	収納容器 (RT)	
	最高圧力 (Kg/cm ² a) *1)	R D 破裂時間 (sec)		最高圧力 (Kg/cm ² a)	R D 破裂時間 (sec)
計算値	E01 (安全設計条件)	0.234	1.28	2.9	3.18
	A02 (リファレンス)	0.633	5.76	2.9	5.05
測定値	5.0 *2) (4.6)	0.56	5.0	2.9	4.05

*1), *2) → Table 4.2の注

*3) SHのRDは不破裂として計算を行なった。

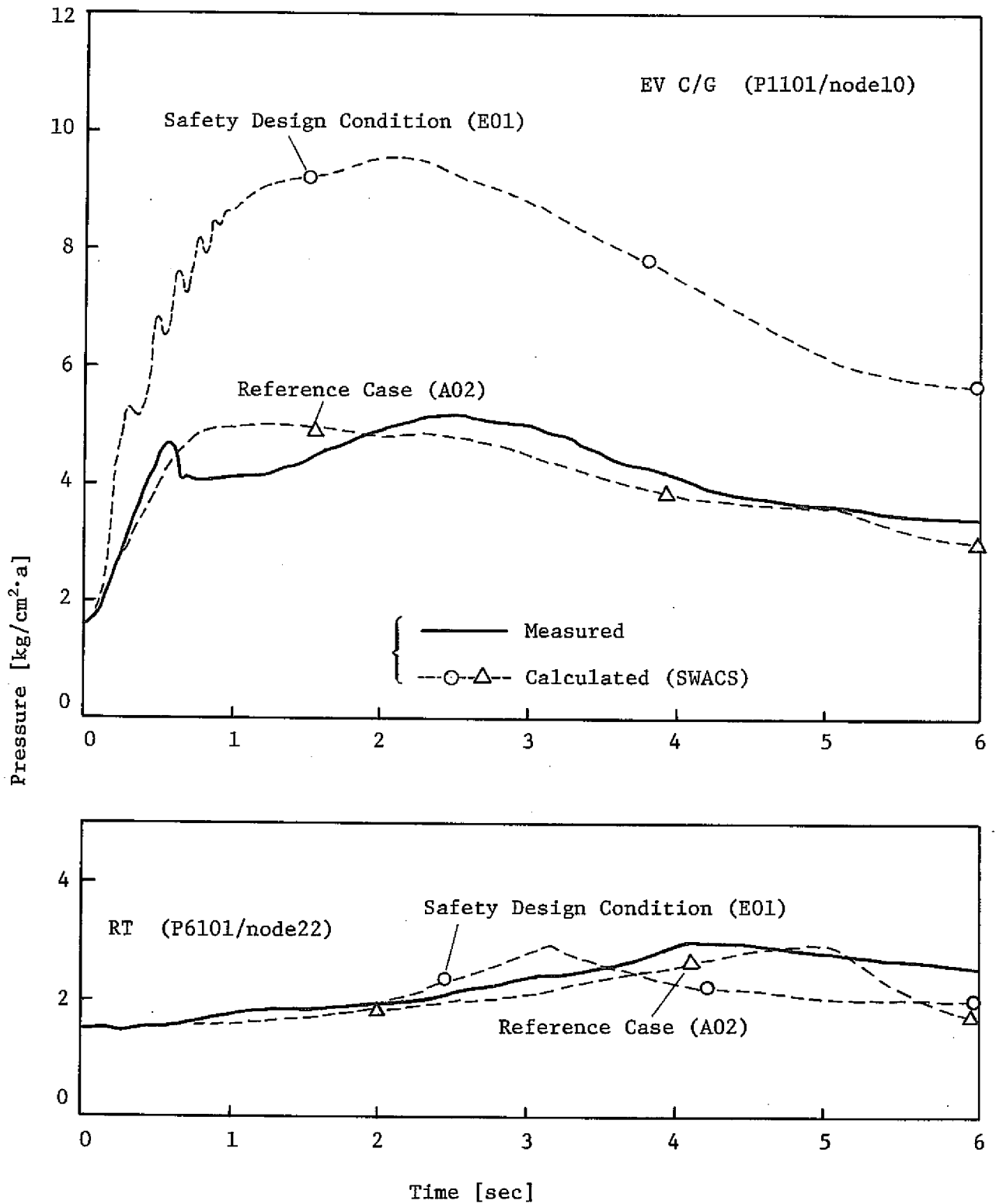


Figure 4.7 Comparison between Measurements and Calculations, Safety Design Conditions Calculation (E01) and Reference Calculation (A02), of Pressure in SWAT-3 Run-3 Test.

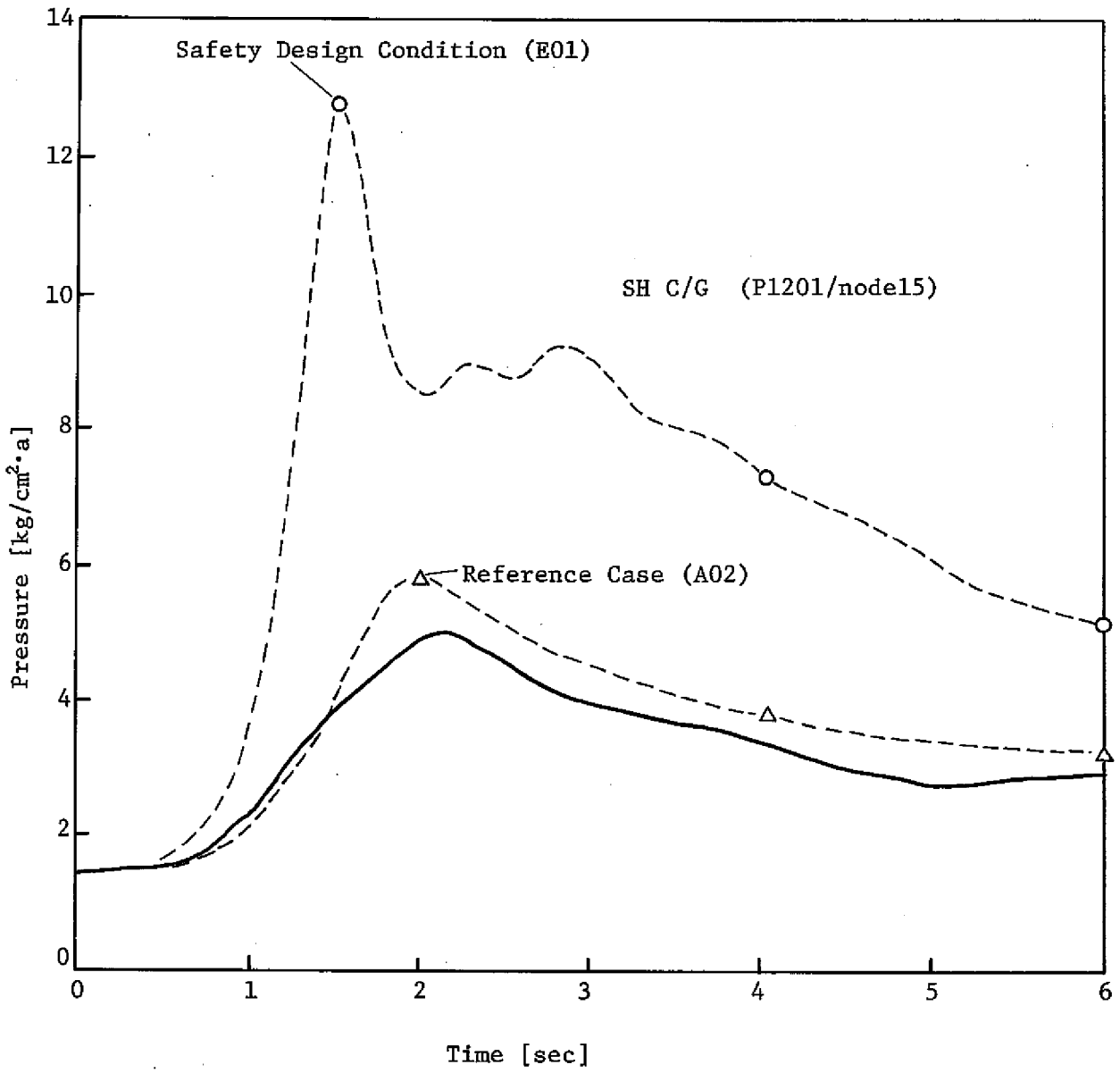


Figure 4.7 (cont'd)

5. リファレンス・ケース(AO2)と実験測定値との比較

4章では解析パラメータの効果を反応容器，模擬過熱器，収納容器の各圧力挙動に注目して検討を行なってきた。

本章では，そのうち全般的傾向の一致の良いリファレンス・ケース（AO2）について，更に詳細に実験測定値との比較を行なう。

比較を行なった各測定器，検出器の位置については，2.1節ならびにFig 2.1に示した。

5.1 反応容器内の圧力，流動

• Fig 5.1.1に反応容器内の反応部付近の圧力を，Fig 5.1.2に反応容器カバーガス部の圧力を各々測定値と計算結果を比較して示す。

両図を比べると明らかなように反応容器内における圧力挙動値は初期（～0.3秒位）を除いて，位置に依らずほとんど同一でありその絶対値の差も僅かである。

また測定値と計算結果の全体の傾向はよく一致している。ラプチャ・ディスク破裂後の圧力降下が計算では生じないことは4.2節でも述べた。これは均質流を仮定し，スリップ比を一定値として扱っているのが原因と考えられるが，ノード・リンクのモデル化にも改善の余地があるかもしれない。（参考までに，計算においてラプチャ・ディスク破裂時間（0.633秒）のカバーガス部ノード（ノード10）の平均（混合）比重量は 350kg/m^3 （ボイド率＝0.59）で，実際はラプチャ・ディスク破裂直後はカバーガスが流出するとすれば，これは非常に大きく評価していることを示す。）

• Fig 5.1.3-5に反応容器の各流路のナトリウム流速の計算結果を示す。

測定は連続式液面計（ナトリウム・レベル変動），あるいは抵抗式ナトリウム・ボイド計の検出時間差（水素ガスのボイド移動速度）で行なわれたが，流速を定量的に把握するまでには至っていない³⁾。しかし，定性的には反応初期はコイル部の流れの立ち上がりが早く，次第にセンターパイプの流動が優勢になることが推察されており計算と一致する。

Fig 5.1.5のダウンコマ部の流速計算値は逆流（下方向）となっているが，閉じた系での計算による誤差が影響していると考えられる。

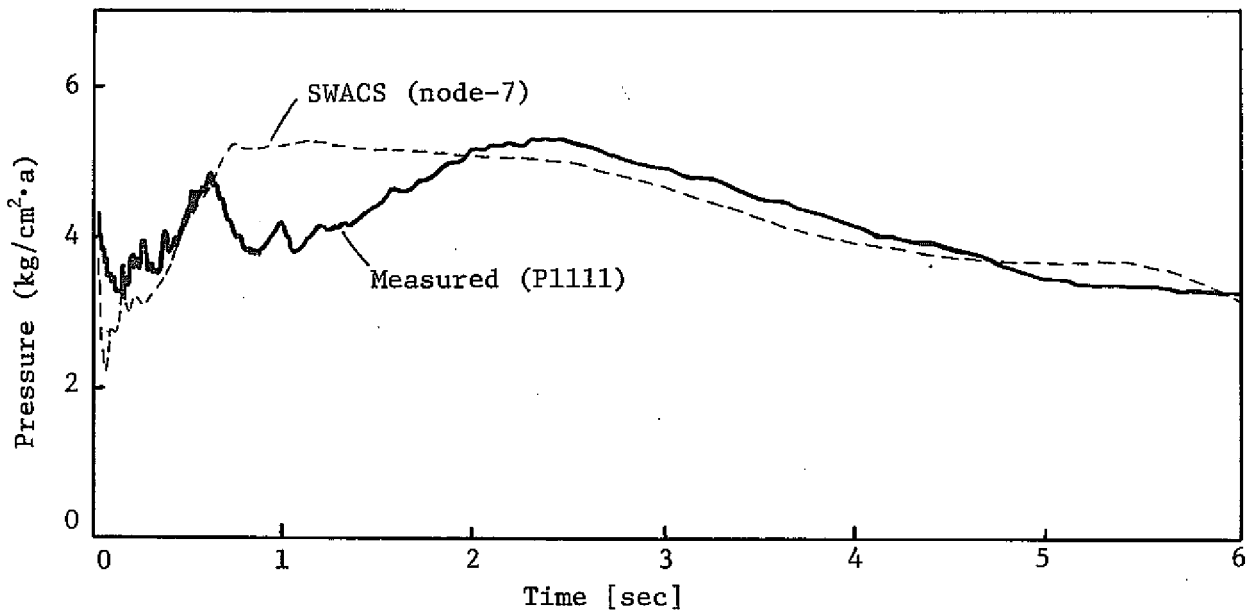


Figure 5.1.1 Comparison between Measurement and Calculation of Pressure at Reaction Zone in Reaction Vessel (EV) in SWAT-3 Run-3 Test.

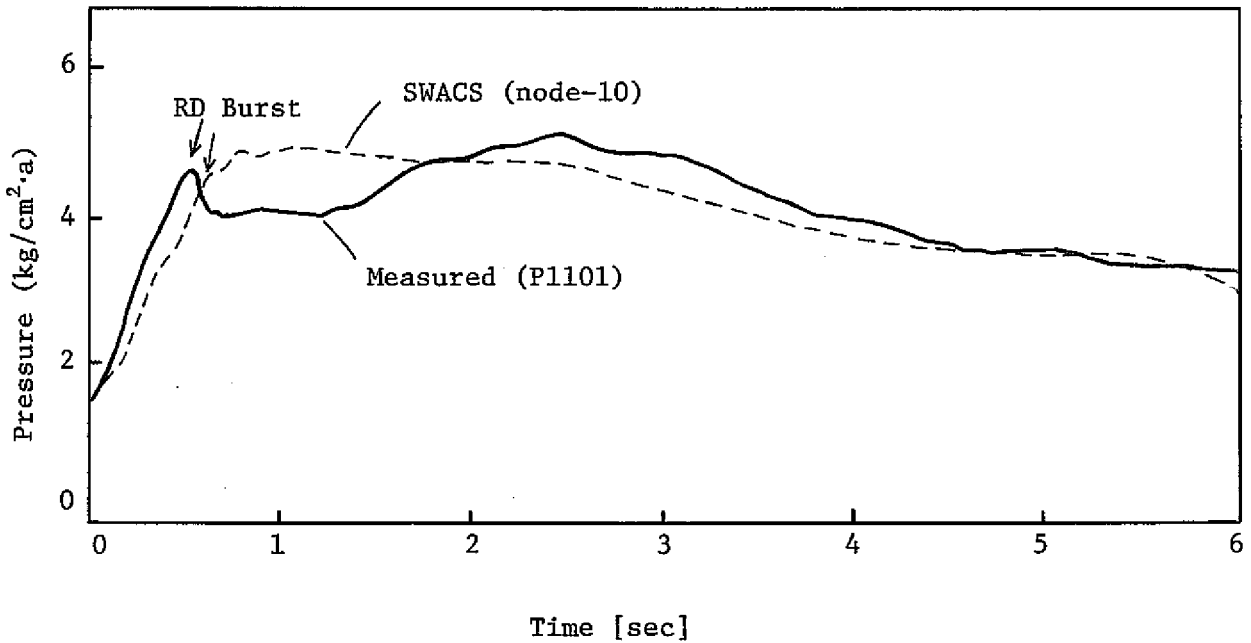


Figure 5.1.2 Comparison between Measurement and Calculation of Pressure at Cover Gas Zone in Reaction Vessel (EV) in SWAT-3 Run-3 Test.

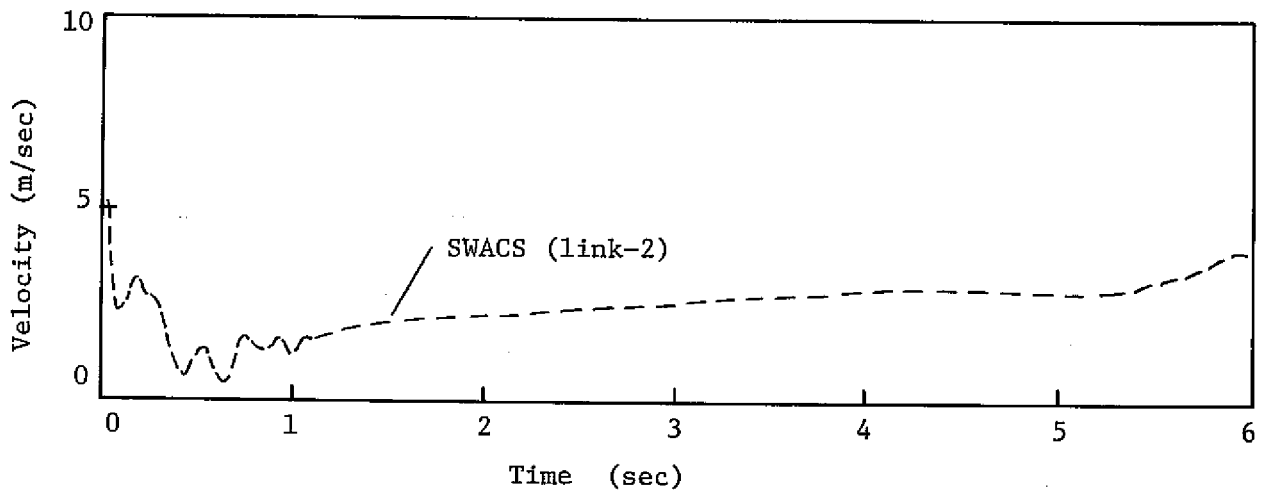


Figure 5.1.3 Calculated Sodium Velocity at Tube Bank Region in Reaction Vessel (EV) in SWAT-3 Run-3 Test.

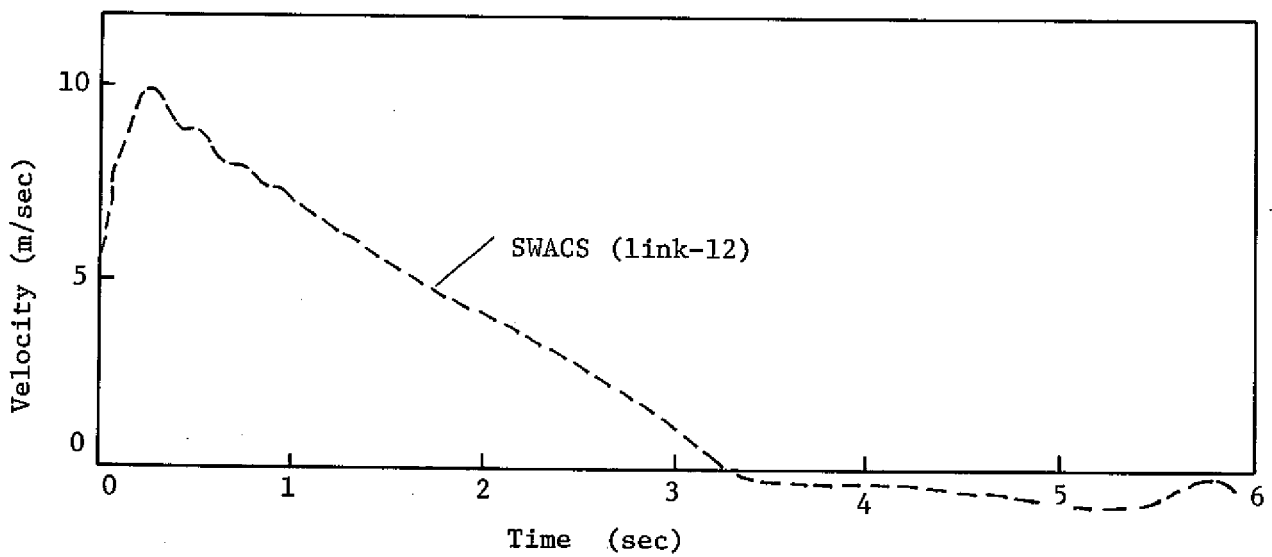


Figure 5.1.4 Calculated Sodium Velocity at Center Pipe Region in Reaction Vessel (EV) in SWAT-3 Run-3 Test.

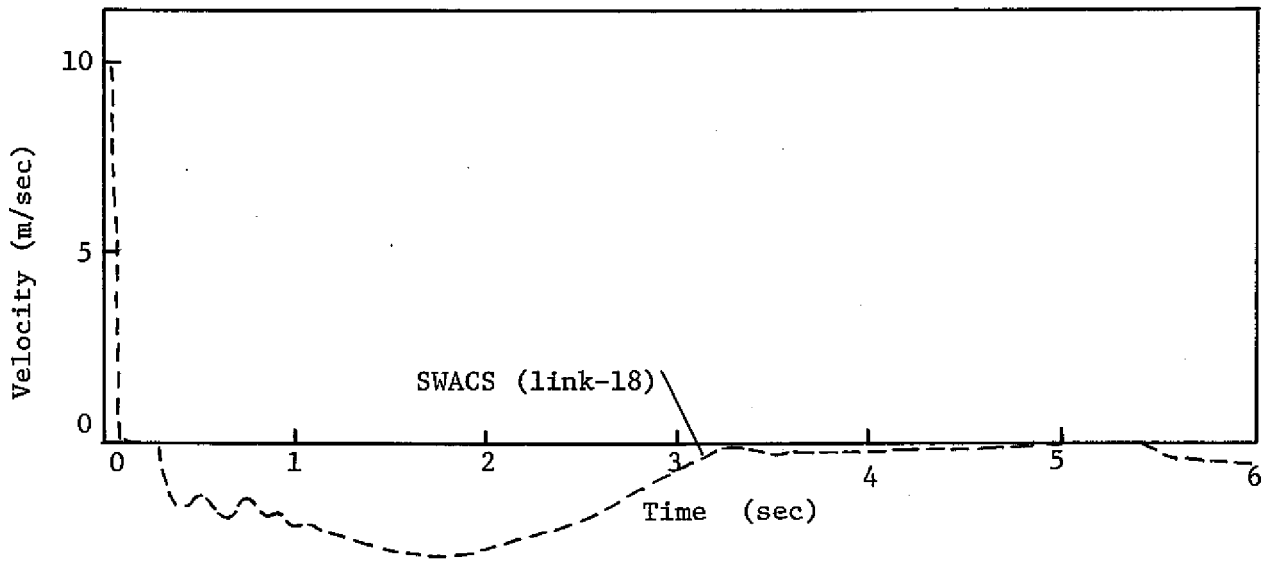


Figure 5.1.5 Calculated Sodium Velocity at Downcomer Region in Reaction Vessel (EV) in SWAT-3 Run-3 Test.

5.2 放出系の圧力，流動

- Fig 5.2.1 に放出系配管部圧力，Fig 5.2.2 に収納容器圧力の測定値と計算結果の比較を示す。両者とも，概ねよく一致している。反応容器のラプチャ・ディスク破裂直後の放出系配管圧力の計算結果が高目であるのは，Fig 5.1.2 の反応容器の圧力と対応している。

また収納容器の容量が非常に大きいため，圧力上昇速度は緩やかである。収納容器のラプチャ・ディスク破裂時刻は測定値と計算値の間に約1秒の差がある。ラプチャ・ディスク破裂後の収納容器内の圧力降下は，測定値と比べて計算結果はかなり速く，大気放出弁での流動を過大評価していると考えられる。

- Fig 5.2.3 に放出系配管中のナトリウム流速の計算結果を，Fig 5.2.4 にボイド率の測定値と計算結果の比較を示す。

ラプチャ・ディスク破裂直後の放出系配管を流れるナトリウムフロントの速度は，接触式ナトリウム検知器の検知時間差より約 3.6 m/sec と推定されている³⁾。他方Fig 5.2.3 に示した計算値の初期の立ち上がりは約 2.5 m/sec でありやや低目の値である。これは5.1節に記したように，ラプチャ・ディスク破断直後に放出系に流れ込む流体の混合比重量を大きく（ボイド率を低く）評価しているのが主な原因と考えられる。Fig 5.2.4 に示したボイド率の測定値はガンマ線ボイド率計（G6001，Fig 2.1）によるものであるが，計算結果は全体に低い値となっている。

- Fig 5.2.5 には収納容器のナトリウム収納量の計算結果を示した。6秒までの計算結果は約 2100 kg であるが，注水終了後（約9.5秒間）に測定されたナトリウム収納量は約 875 kg であった。

これらボイド率，ナトリウム収納量（総移動量）が，一致しえないのは計算では反応容器内の流路のチャンネル化（5.4節参照）あるいは放出系配管内のフローパターンの変化が考慮できないためと考えられる。

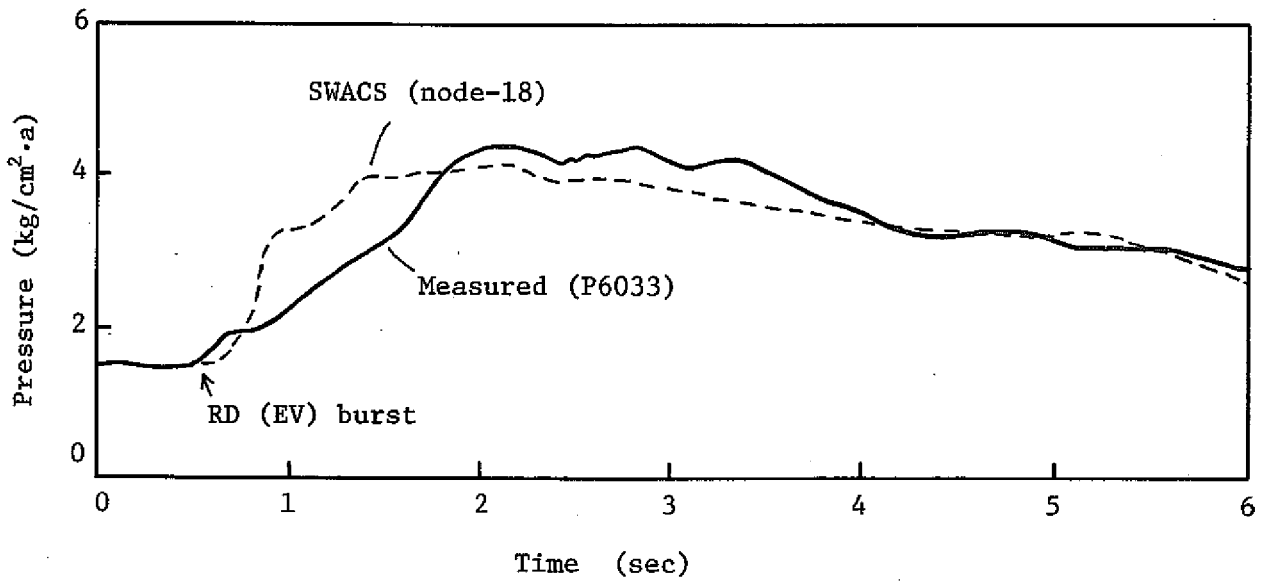


Figure 5.2.1 Comparison between Measurement and Calculation of Pressure in Pressure Relief Line in SWAT-3 Run-3 Test.

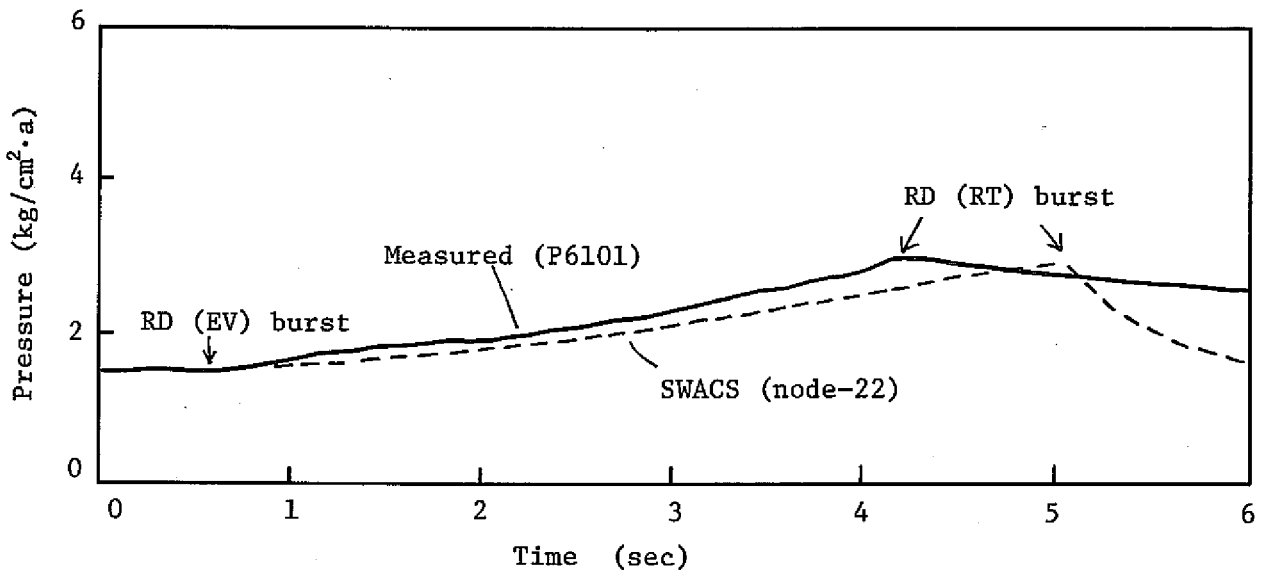


Figure 5.2.2 Comparison between Measurement and Calculation of Pressure in Reaction Products Tank in SWAT-3 Run-3 Test.

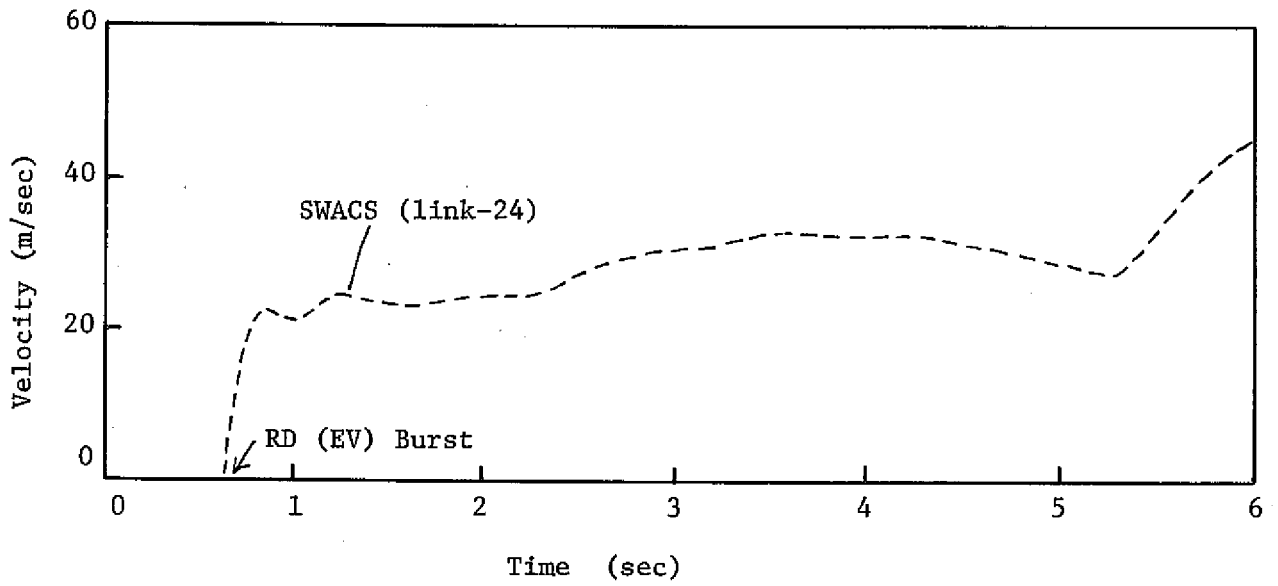


Figure 5.2.3 Calculated Sodium Velocity in Pressure Relief Line in SWAT-3 Run-3 Test. (Experimental Sodium Front Velocity was estimated to be about 36 m/sec from Sodium Detector Data.)

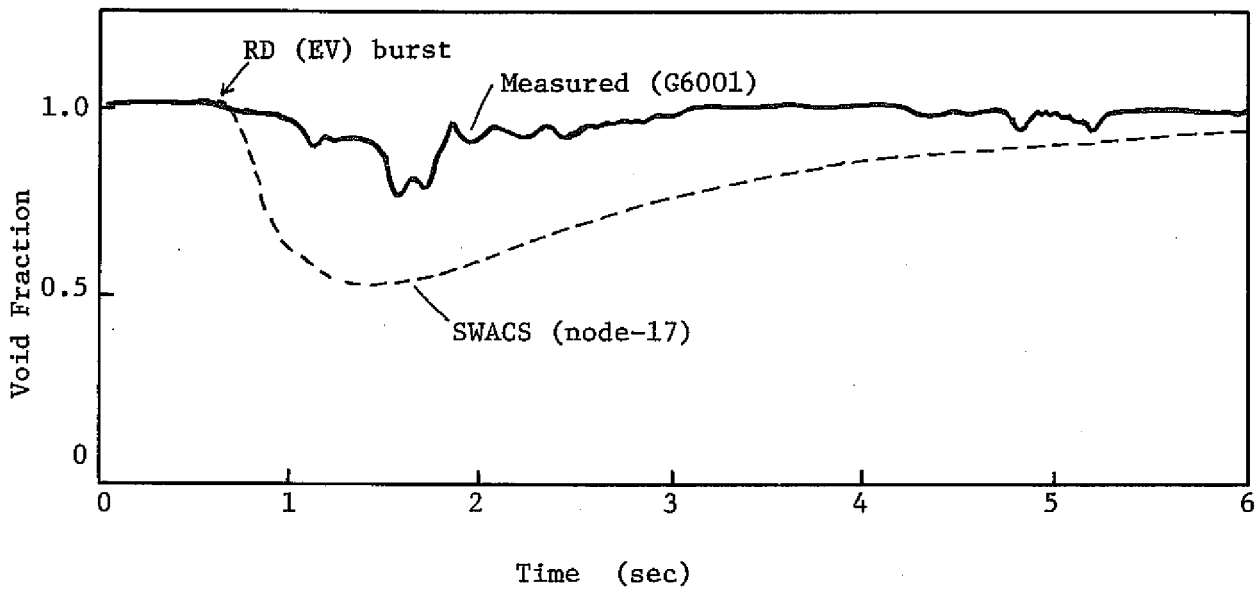


Figure 5.2.4 Comparison between Measurement and Calculation of Void Fraction in Pressure Relief Line in SWAT-3 Run-3 Test.

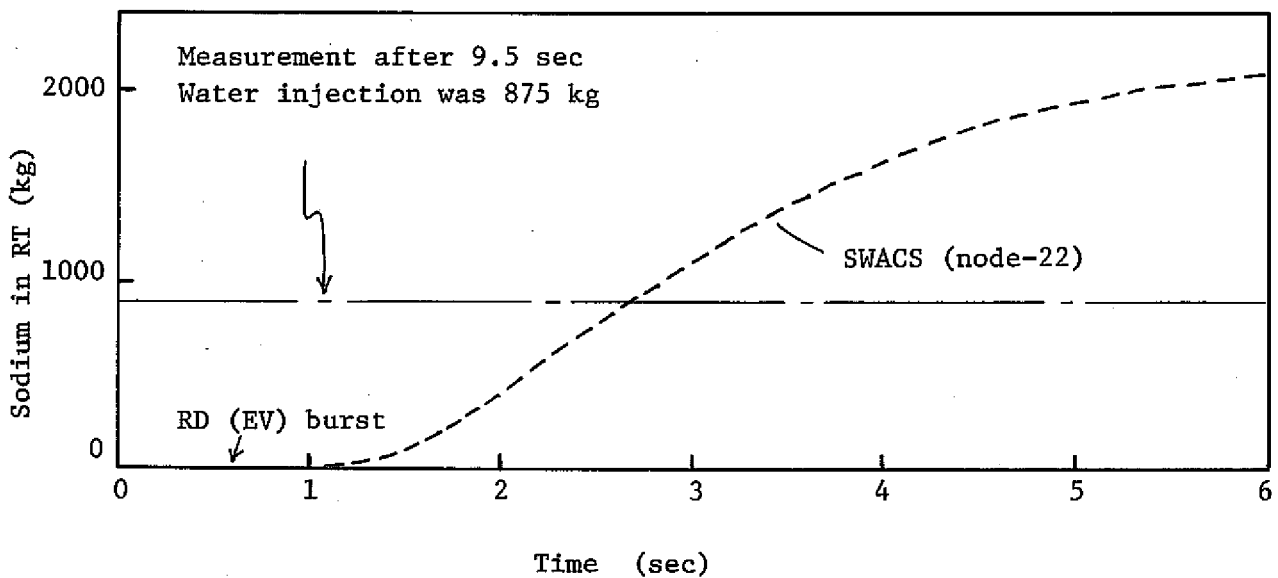


Figure 5.2.5 Calculated Sodium Removed into Reaction Products Tank in SWAT-3 Run-3 Test.

5.3 二次系の圧力、流動

- Fig 5.3.1 に模擬過熱器カバーガス部圧力、Fig 5.3.2 に模擬中間熱交換器部圧力の測定値と計算結果の比較を示す。両者とも比較的よく一致している。
- Fig 5.3.3 に反応容器と模擬過熱器をつなぐミドルレグ配管部の流速の計算結果を示す。(EV→SH方向を正としている。)

この流速と直接比較する測定データは無いが、参考として模擬過熱器の液面計の測定値と計算結果(ノード13と15に流入するナトリウム量より換算した値)の比較をFig 5.3.4に示す。2秒までの液位変動はやや過大評価しているが全体の傾向はよく一致している。(液面計の応答速度は必ずしも正確とは言えず、遅れている可能性がある。)

- Fig 5.3.5 に模擬中間熱交換器と模擬過熱器をつなぐホットレグ配管部流速の測定値と計算結果の比較を示す。

測定はFig 2.1.に示した電磁流量計(F101)で測定されたものであるが、データ収録時の入力オーバーのためFig 5.3.5に示した測定値は一部とぎれている。

計算結果は測定値の約2倍の評価をしており、反応容器の圧力変化はよく一致していることを考えると、この差の原因は圧損を過小評価しているためと考えられる。

- 二次系配管中のボイド率変化の計算結果をFig 5.3.6(ミドルレグ配管)とFig 5.3.7(IHX)に示す。

両者とも測定値はなく直接比較は行なえない。

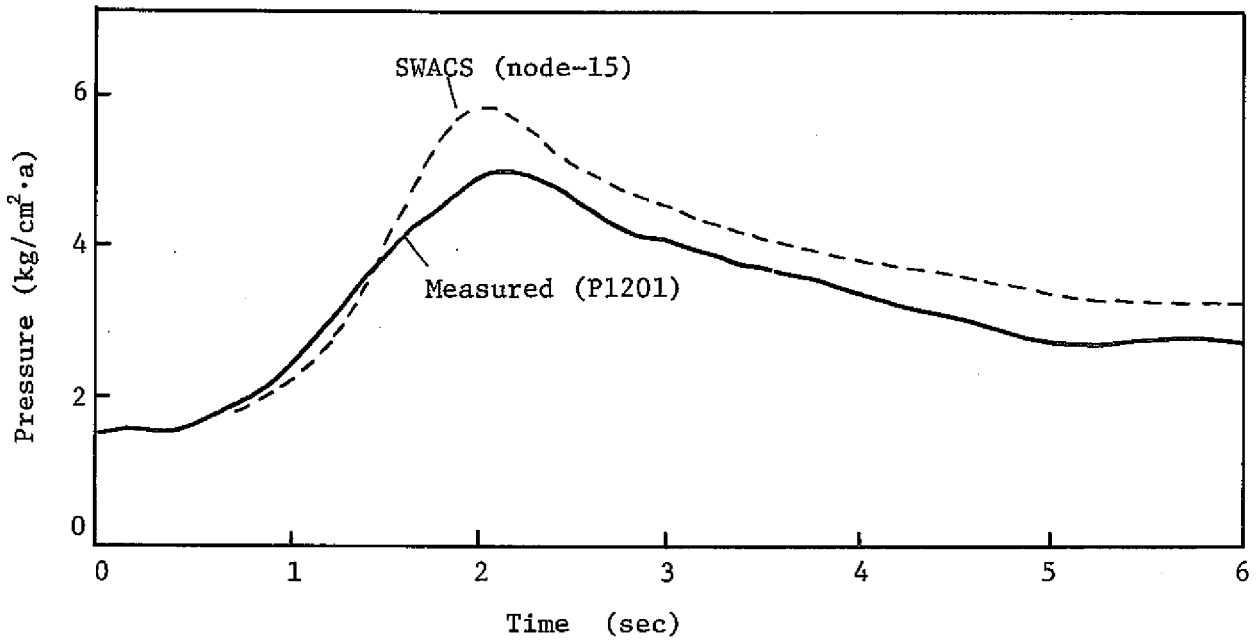


Figure 5.3.1 Comparison between Measurement and Calculation of Pressure at Cover Gas Zone in SH in SWAT-3 Run-3 Test.

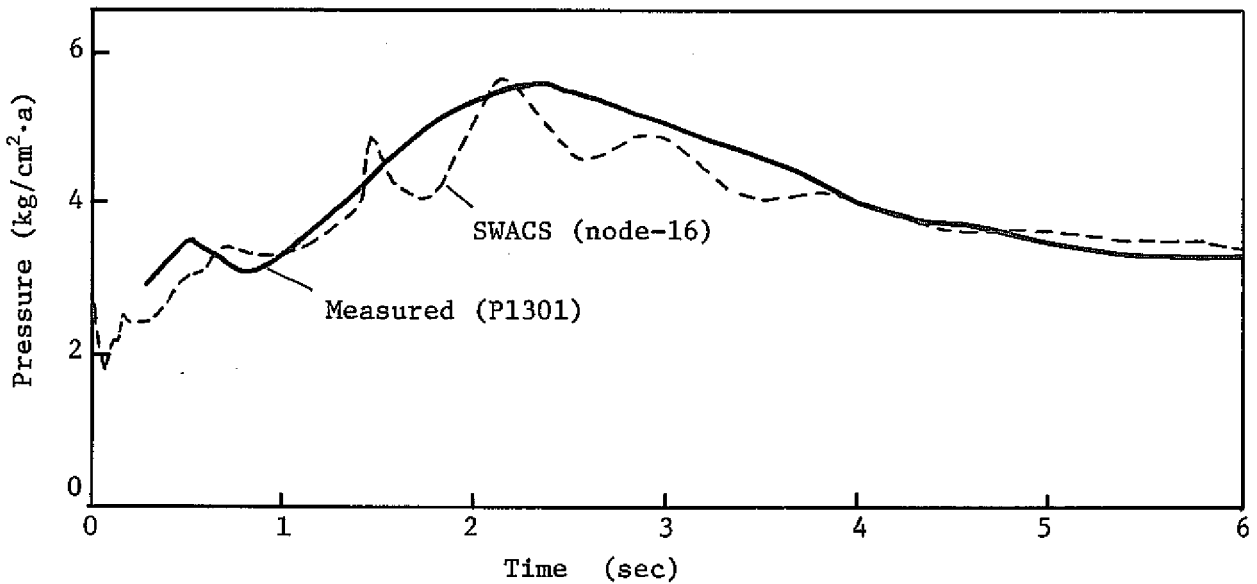


Figure 5.3.2 Comparison between Measurement and Calculation of Pressure in IHX in SWAT-3 Run-3 Test.

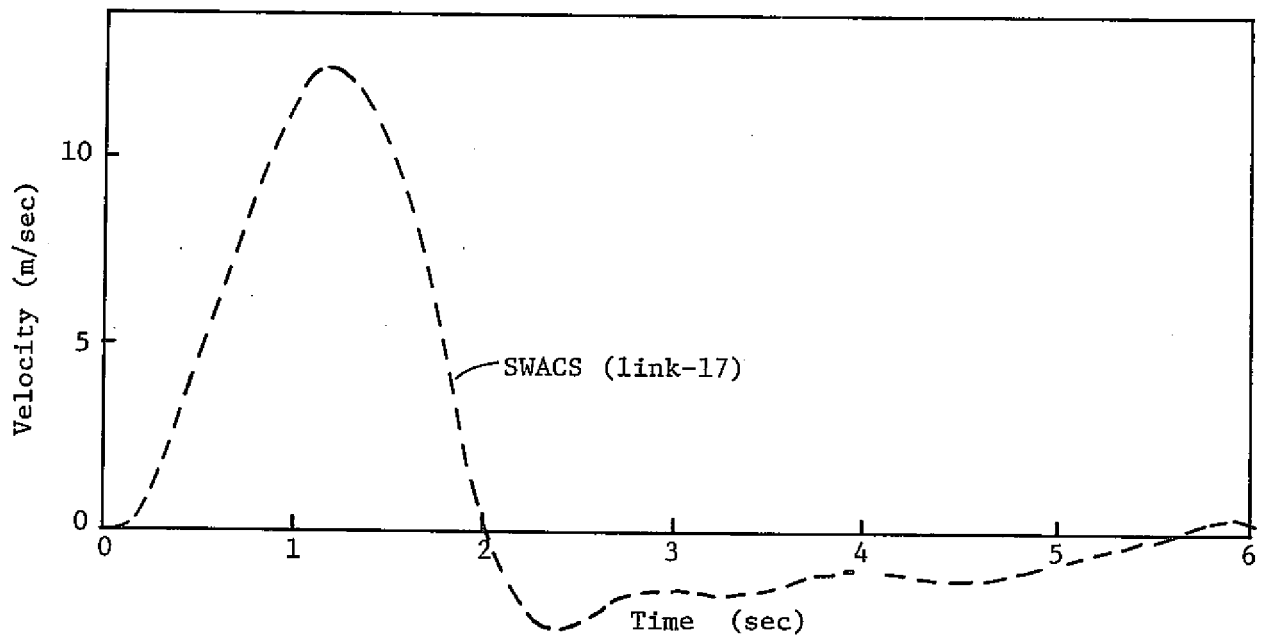


Figure 5.3.3 Calculated Sodium Velocity in Middle Leg Pinning connecting EV and SH in SWAT-3 Run-3 Test.

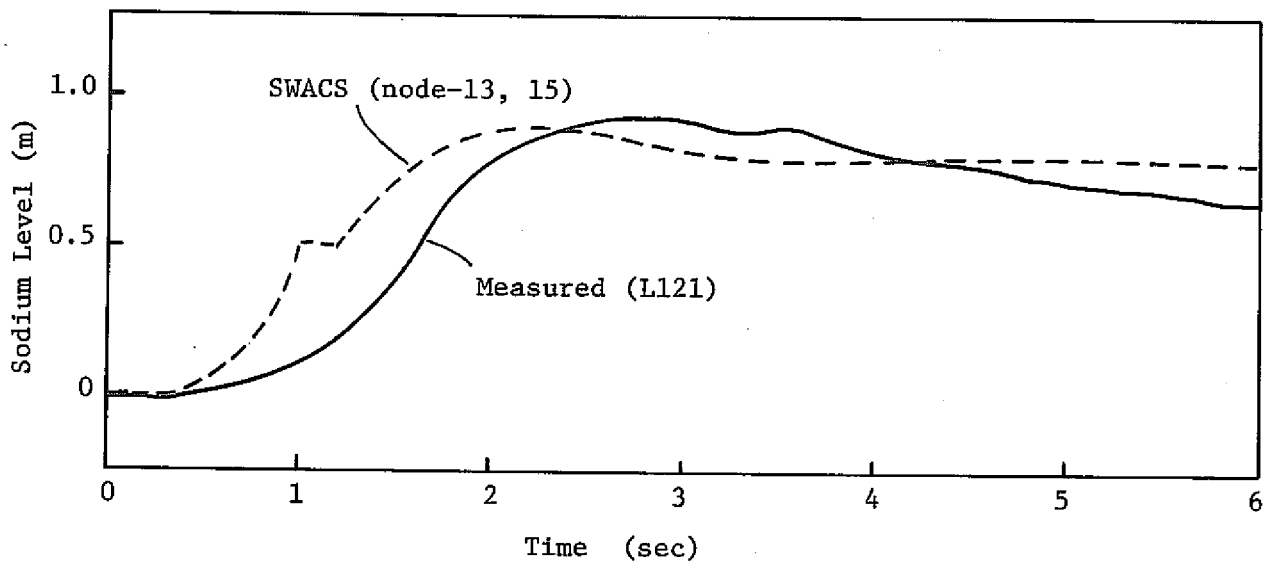


Figure 5.3.4 Comparison between Measurement and Calculation of Sodium Level Movement in SH in SWAT-3 Run-3 Test.

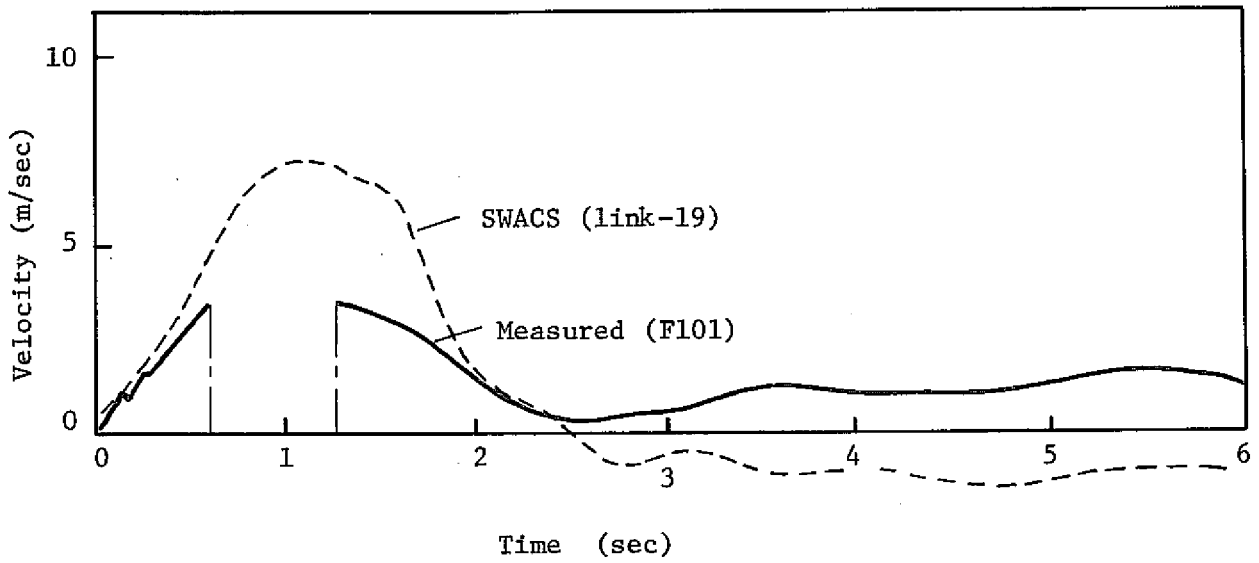


Figure 5.3.5 Comparison between Measurement and Calculation of Sodium Velocity in Hot Leg Piping connecting IHX and SH in SWAT-3 Run-3 Test.

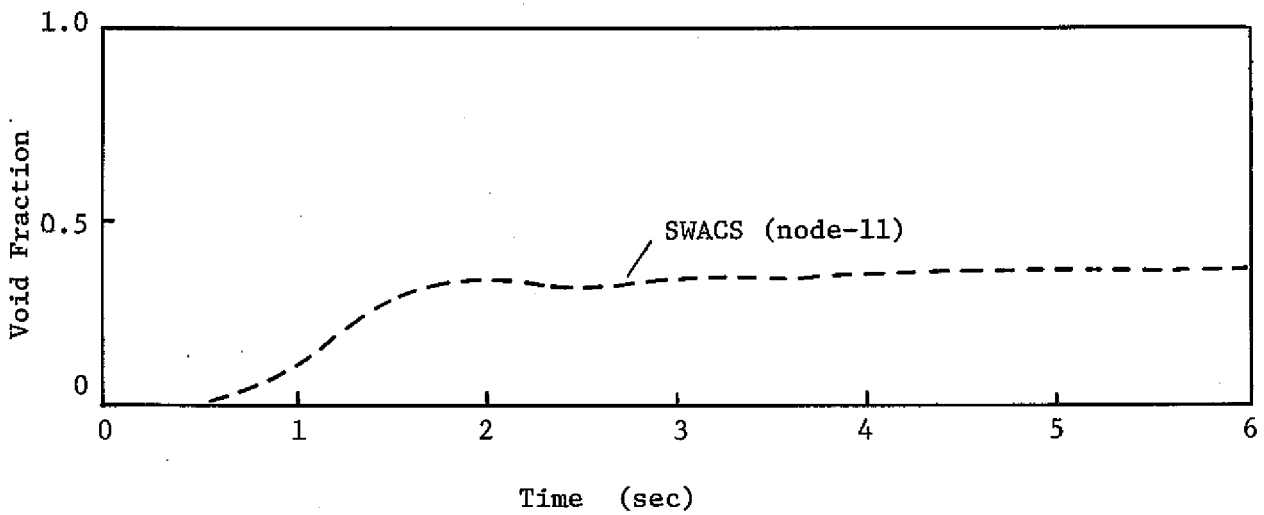


Figure 5.3.6 Calculated Void Fraction in Middle Leg Piping connecting EV and SH in SWAT-3 Run-3 Test.

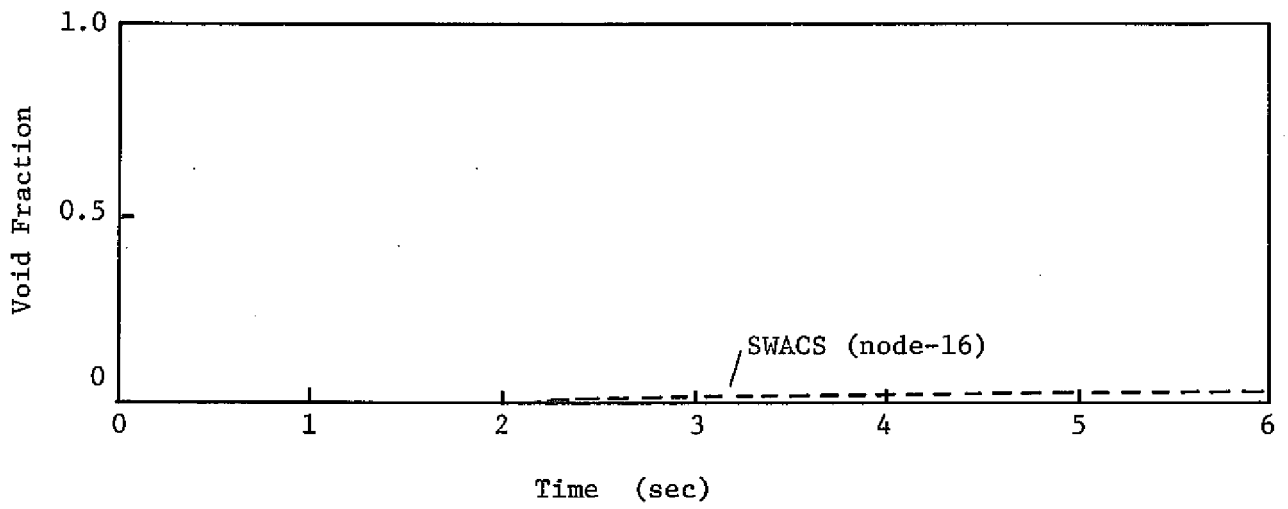


Figure 5.3.7 Calculated Void Fraction in IHX in SWAT-3 Run-3 Test.

5.4 体系内のボイド様相

- 体系内のボイド様相時間変化の計算結果を Fig 5.4 に示す。同図の分割は Fig 2.1 のノード分割に対応する。

時刻ゼロより注水部を中心として水素ガスがナトリウムを押し上げ広がっていき、放出系に解放されていく過程が推察できる。

ただし、前述したように本計算では流路のチャンネル化が模擬されないため、計算をすすめるに従い反応容器内はほぼ完全にボイド化してしまう。

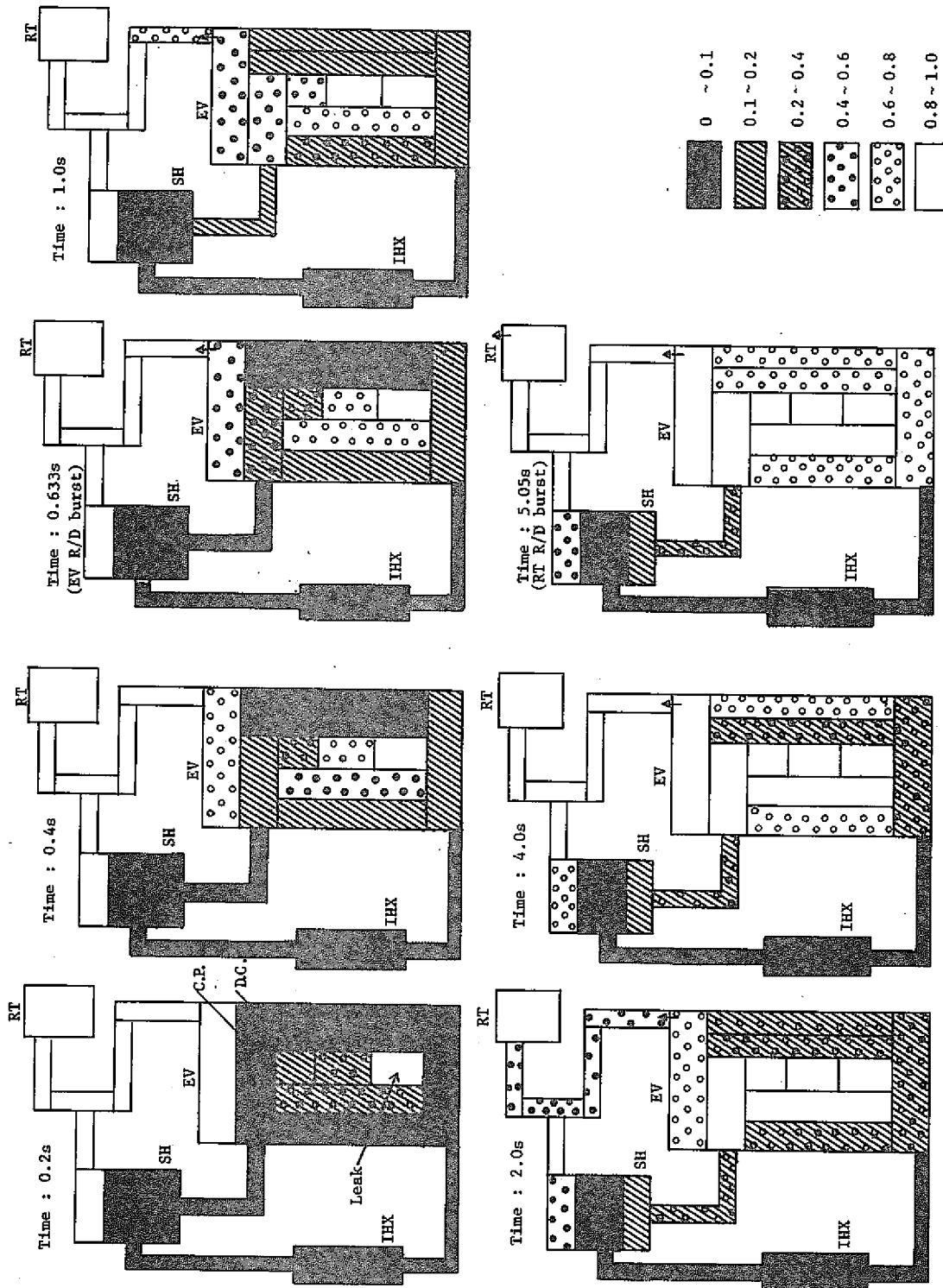


Figure 5.4. Calculated Void Fraction Profile in SWAT-3 Run-3 Test.

6. ま と め

SWACS計算コードを用いて、SWAT-3、RUN-3試験の準定常圧解析を実施し、以下の結果を得た。

(1) 解析パラメータの検討

- ・ 注水率は実験で測定された平均注水率を計算で用いた。(3.1.1項)
- ・ 水素ガス温度は実験のラプチャ・ディスク破裂時刻より推定した温度を用い、固定パラメータとした。(3.1.3項)
- ・ H_2/H_2O 転換比の効果(4.4節)

0.5が妥当な結果を与え、リファレンスとした。0.5と比較して0.35では圧力最大値を約1割低く、0.65では約1割高く評価する。
- ・ H_2/Na スリップ比の効果(4.2節)

2.0が妥当な結果を与え、リファレンスとした。2.0と比較して1.0では圧力最下値を約1割高く、4.0では約1割低く評価する。
- ・ 2次系構成機器、特に模擬過熱器の圧力挙動は計算結果は過大評価の傾向があり、実験測定値に近づけるためには圧損を大きくとる必要がある。(4.3節)

(2) 計算モデルの検討

計算体系の簡略化のため、二次系を無視した計算モデルを用いると圧力最大値を約1割高く評価するが、全体の圧力、流動に大きな影響を与えることはない(4.5節)

(3) 安全設計条件の評価

H_2/H_2O 転換比を0.65、水素ガス温度を1000℃、スリップ比を1.0とする安全設計条件で計算を行なうと圧力最大値を測定値の約2倍に評価する。(4.6節)

(4) 問題点と今後の方針

上述のようなパラメータ・サーベイを通じ、全体的には測定値と比較し妥当な計算結果を得ることができた。

Run-3試験との照合により選定されたパラメータの値は今後SWAT-3の他の試験との照合を行なってその妥当性を確認していかねばならない。また計算コード自体の欠点としては流路のチャンネル化、あるいはフローパターンの変化を考慮することができない点が挙げられる。しかし、この点については計算モデル(ノードとリンクの分割法)にも工夫の余地があると考えられ、今後さらに検討していく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 田辺裕美, 広井博, 佐藤稔, 堀雅夫

「大リーク・ナトリウム-水反応時の準定常圧力挙動計算コードSWAC-13 -大リーク・ナトリウム-水反応解析 (第2報)」SN941 77-170

- 2) 三宅収, 進藤嘉久, 田中信夫, 佐藤稔

「大リーク・ナトリウム-水反応解析コード-SWACS概要説明書-大リーク・ナトリウム-水反応解析 (第3報)」SN-952, 78-05

- 3) 広井博, 佐藤稔, 田辺裕美, 錦見正和, 吉岡直樹, 堀雅夫

「蒸気発生器安全性総合試験装置 (SWAT-3) RUN-3 試験結果-大リーク・ナトリウム-水反応試験 (第4報)」SN941 78-93

- 4) 田辺裕美, 錦見正和, 広井博, 佐々木和一, 佐藤稔

「SWAT-1装置放出系配管内流動様相-大リーク・ナトリウム-水反応試験 (第6報)-」SN941 78-78

- 5) 「機械工学便覧」改訂第5版 日本機械学会編 (1968)

- 6) Na-加熱大型蒸気発生器調査研究分科会

「Na 加熱大型蒸気発生器の水漏洩対策調査研究」

(受託研究) 昭和52年度 SJ 254 78-02

- 7) 堀雅夫, 田辺裕美, 吉岡直樹, SWAT試験グループ, 田中信夫, 広井博, 鏡見正和, 佐藤稔

「大リーク・ナトリウム-水反応試験 (第13報) -水-水素転換率と水素ガス温度の推定-」原子力学会 昭和51年秋の分科会・C-49

Appendix A. 入力データの詳細

本報告の解析で用いたSWACSコードの準定常圧計算モジュールのための入力データについてまとめる。解析上のパラメータについては本文3章で述べた。

以下に各入力データの算出基準をまとめ、Table A 3-5 にその値を示す。また Table A-6 には入力データ・カードのリストを示す。(なおデータはA O 2-リファレンス・ケースのものについて示してある。)

(1) ノード中心高さ

位置水頭を与えるデータで Table A.4 に示した値は F L (フロア・レベル) である。

(2) ノード直径・ノード長さ

ノードの容積を与えるデータであり、Table A.4 では直径を水平断面の面積を与える値とし、次にその直径を基準として、ノード容積を与える長さを逆算した。

(3) ガス空間長さ

初期状態でのノードのカバーガス空間の容積を与えるためのデータであり、ガス容積は $(\pi/4) \cdot (\text{ノード直径})^2 \cdot (\text{ガス空間長さ})$ で与えられる。

Fig 2.2 で初期にカバーガス空間を含むノードはノード4, 8, 9, 10, 13, 14, 15の7ヶである。

(4) リンク水力直径, 長さ

摩擦損失の計算に使用されるデータで、ぬれぶち長を考慮した値を使用した。

(5) 流路断面積

リンクの流路断面積を与える。ただし、反応容器のコイル部は (容積) / (長さ) で与えられるものとした。

(6) コイル段数

計算コード内のコイルに直交する流れの圧損式 (修正グリムソンの式) に使用される。

SWAT-3 の模擬過熱器ではコイルの代わりに多孔板が取り付けられているが、解析ではコイルとして扱った。

(7) ベンド

ベンドによる形状圧損は角度と曲率半径/内半径の比を入力データとして、計算コード内で処理される。本解析では角度 = 90° , 曲率半径/内半径 = 30 の一律とした。

(8) 形状圧損係数 (ベンド以外)

バンド以外の形状圧損係数（管入口，管出口，分岐，レデューサ，バルブ等）は文献5)を参考にして決定した。ただし，反応容器内部，模擬過熱器内部の流れについては形状圧損係数は無視した。

(9) ラプチャ・ディスク破裂圧

解析では Table A.1 に示す。測定破裂圧力を入力データとした。

Table A.1 ラプチャ・ディスク破裂圧（差圧）

	RD601 (EV)	RD602 (SH)	RD603 (RT)
設計値	3.0 kg/cm ² d ± 10%	3.0 kg/cm ² d ± 6%	1.5 kg/cm ² d ± 6%
RUN-3測定値 (本解析で使用)	3.1 kg/cm ² d	不破裂	1.9 kg/cm ² d * 1)

*) RD603 は破裂信号がでなかったため，推定値である。

(10) カバーガス，放出系初期圧力

カバーガス（EV，SH），放出系（配管，収納容器）とも初期には，1.5 kg/cm²a のアルゴンガスが充填されている。ただし計算コードではナトリウム-水反応で発生する水素ガスと区別されない。

(11) ナトリウム，水素ガス物性値

Table A.2 に示す。

表中，比重量，粘性係数は温度を入力値として計算コード内で計算された値である。

Table A 2 ナトリウム，水素ガス物性値

項	目	値	備 考	
ナトリウム	温 度	398 °C	} 計算コード処理値	
	比 重 量	856.7 Kg/m ³		
	粘 性 係 数	0.2914×10 ⁻⁴ Kg・S/m ²		
水 素 ガス	温 度	3.1.3項参照	} 等温変化として扱われる	
	気 体 定 数	420.55Kgm/KgK		
	粘 性 係 数	0.1764×10 ⁻⁵ Kg・S/m ²	500°C	} 計算コード処理値
		0.1693×10 ⁻⁵ Kg・S/m ²	450°C	
0.1607×10 ⁻⁵ Kg・S/m ²		398°C		
重 力 加 速 度		9.807 m/s ²		

Table A 3 SWAT-3, RUN-3 準定常圧解析入力データ

ケース名	(内容, 目的) SWAT-3, RUN-3 準定常圧解析 (Model-I)	
日付	1978/6/1	
作成者	Miyake	
データ・カード・タイトル (20A4)		
1. ネットワーク・モデル・データ		
NSG	SG個数	≤ 3 2
NNODE	総ノード数	≤ 40 22
NLINK	総リンク数	≤ 55 31
NODERT	収納容器のノード番号	22
NNODEC (i=1, 3)	SG _i のカバーガスを有するノード数	各 ≤ 5 4, 3
NODECG (i=1, 3)	SG _i のカバーガス部における放出管接続ノード番号	10, 15
NODEC (J, K) J=1.5 K=1.3	SG(K)のカバーガス部を含むノード番号	4, 8, 9, 10 13, 14, 15
NLINKD	SG間の配管部リンク総数	≤ 20 4
LINKD (i=1, 20)	SG間の配管部リンク番号	11, 14, 17, 19
NLINKH	伝熱管コイルと直交する流路方向を持つリンクの総数	≤ 20 10
NLINKZ	ベンド以外の圧損要因を有するリンクの総数	≤ 30 24
NLINKB	ベンドを有するリンクの総数	≤ 20 10
LINKH (i=1, 20)	伝熱管コイルと直交する流路方向を持つリンクの番号	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 ≤ 20 10, 21, 23
LINKZ (i=1, 30)	ベンド以外の圧損要因を有するリンクの番号	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 15, 16, 17, 18, 19 20, 22, 23, 24, 27 28, 30
LINKB (i=1, 20)	ベンドを有するリンクの番号	11, 14, 17, 19, 24 25, 26, 27, 29, 30
NNODEW	注水されるノードの総数	≤ 10 1
NODEW (i=1, 10)	注水されるノード番号	1

2. プラント・パラメータ, 試験条件

SOLVL	基準点からの Na 液位	m	6.0
LPCOIL	伝熱管コイルの半径方向ピッチ	m	0.045
DCOIL	伝熱管外径	m	0.0254
HSURF	破断点の液面からの深さ	m	2.9
PRD (i=1.4)	ラプチャーディスク破壊圧力 (i=4 は, 収納容器のラプチャーディスク)	Kg/m ² g (差圧)	3.1×10 ⁴ (EV)
			- (SH)
			-
			1.9×10 ⁴ (RT)
M (i=1.3)	SGi 付ラプチャーディスク破壊開度 (完全開 =∞)	-	1.0×10 ¹⁰
			"
			"
LV	大気放出弁の開き長	m	0.06
SC	大気放出弁の縮流係数	-	1.0
PCINT (i=1.3)	SGカバーガス初期圧力	Kg/m ² a	1.5×10 ⁴
			1.5×10 ⁴
			-
PRINT	収納容器の初期圧力	Kg/m ² a	1.5×10 ⁴
PATM	大気圧力	Kg/m ² a	1.033×10 ⁴
TS	ナトリウム温度	°C	398

3. 解析定数

ALPHAW	ナトリウム/水反応時のH ₂ /H ₂ O のモル転換比	-	0.5
RCONST	水素ガス定数	Kgm/KgK	420.55
GRAV	重力加速度	m/sec ²	9.807
GRAVC	重力換算係数	Kgm/Kgs ²	9.807
NT	ポリトロープ指数	-	1.66
NFRICT	L, M法2相パラメータφ ² に対し(φ ²) ^{NFRICT} の補正指数	-	1.0

4. シミュレーション

DT	タイムメッシュ	sec	1.0×10 ⁻³
TSTDB	デバッグ開始時刻	sec	-
TENDB	デバッグ終了時刻	sec	-
	注水率インプット点数 ≤ 20		3
TT (i=1.20)	WTR (i=1.20)		
注水率を指定する時刻 sec	上記時間に対応する注水率 Kg/sec		
0	8.21		
10	8.21		
100	8.21		
	*全注水量 78 Kg 弁開時間 9.5 sec 平均注水率 78 / 9.5 = 8.21 Kg/sec		
NVOID	ボイド率インプット点数 ≤ 20 =0 計算される上部プレナムボイド率で放出 >1 インプットにより上部プレナムボイド率あ たえる時のインプット点数		0

Table A 4 ノードに関する入力データ (1/1)

NODE 番号	HNODE (ノード中心高さ)	DNODE (ノード直径)	LNODE (ノード長さ)	Volume (ノード容積)	LCCG (ガス空間長さ)	FT (温度比)	T _{H2} [ガス温度]	FW (注水配分率)	名称
	[m]	[m]	[m]	[m ³]	[m]	(°K/°K)	[°C]	(-)	
1	3.4	0.4734	1.0	0.1760	-	1.15	500	1.0	EV コイルリークノード
2	4.4	"	"	"	-	1.08	450	0.0	" 破損 ch 中
3	5.4	"	"	"	-	1.0	398	"	" " 上
4	6.325	1.117	0.75	0.7349	0.65	"	"	"	" 上部PLN
5	4.4	0.6695	3.0	1.0561	-	1.08	450	"	" 非破損 ch
6	4.4	0.4734	"	0.5280	-	1.0	398	"	"
7	2.115	1.3	0.8206	1.0892	-	"	"	"	" 下部PLN
8	4.4	0.3334	4.0	0.3492	0.65	"	"	"	" C/P
9	4.4	0.5233	"	0.8603	0.65	"	"	"	" D/C
10	6.8	1.3	1.296	1.7202	1.296	"	"	"	" C/G
11	1.035	0.2033	16.79	0.5450	-	"	"	"	EV~SH配管
12	3.5	0.8	0.5143	0.2585	-	"	"	"	SH 下部PLN
13	5.15	0.2979	2.7	0.1882	0.5	"	"	"	" C/P
14	5.15	0.7339	2.7	1.1421	0.5	"	"	"	" コイル部
15	6.85	0.8	0.6759	0.3397	0.6759	"	"	"	" C/G
16	3.398	0.2163	11.725	0.4308	-	"	"	"	EV~IHX~SH
17	6.9	0.2979	4.702	0.3277	-	"	"	"	放出系配管
18	9.32	"	"	"	-	"	"	"	"
19	10.9	"	"	"	-	"	"	"	"
20	14.5	"	"	"	-	"	"	"	"
21	9.0	0.152	11.7	0.2123	-	"	"	"	"
22	14.5	3.0	5.5233	39.04	-	"	"	"	収納容器

Table A5 リンクに関する入力データ (1/3)

LINK 番号	INODE イニシャル ノード	TNODE ターミナル ノード	SUB LINK			NCOIL (コイル股数)	ベ ン ド			形 状 圧 損		W (kg/s)	S (スリップ比)
			D (水力直径) [m]	L (長さ) [m]	AL (流路面積) [m ²]		NBEND (個数)	ZNUMB (角度)	RR (曲率半径 内半径)	NZ (個数)	ZETB (形状圧損係数)		
1	1 ~ 2		0.4734	1.0	0.1760	25	-	-	0	-	0.0	2.0	
2	2 ~ 3		"	"	"	25	-	-	0	-	"	"	
3	3 ~ 4		0.4734	0.5	0.1760	12.5	-	-	1	0.0	"	"	
			1.117	0.325	0.9799	-	-	-	1	"	"	"	
4	1 ~ 7		0.4734	0.5	0.1760	12.5	-	-	1	"	"	"	
			1.3	0.4103	1.3273	-	-	-	1	"	"	"	
5	1 ~ 5		0.05897	0.3	0.5884	-	-	-	1	"	"	"	
			0.05897	0.3	"	-	-	-	1	"	"	"	
6	5 ~ 6		0.05897	0.3	1.1768	-	-	-	1	"	"	"	
			0.05897	0.3	"	-	-	-	1	"	"	"	
7	5 ~ 7		0.6695	0.5	0.3520	12.5	-	-	1	"	"	"	
			1.3	0.4103	1.3273	-	-	-	1	"	"	"	
8	6 ~ 7		0.4734	1.0	0.1760	25	-	-	1	"	"	"	
			1.3	0.4103	1.3273	-	-	-	1	"	"	"	
9	5 ~ 4		0.8655	2.5	0.5883	62.5	-	-	1	"	"	"	
			1.117	0.325	0.9799	-	-	-	1	"	"	"	
10	6 ~ 4		0.4734	2.0	0.1760	50	-	-	1	"	"	"	
			1.117	0.325	0.9799	-	-	-	1	"	"	"	
11	4 ~ 11		0.2033	4.198	0.0325	-	-	-	1	"	"	"	
			0.2033	4.198	"	-	-	-	1	"	"	"	
12	7 ~ 8		1.3	0.4103	1.3273	-	-	-	1	"	"	"	
			0.3334	2.0	0.0873	-	-	-	1	"	"	"	
13	8 ~ 10		0.3334	2.0	0.0873	-	-	-	1	"	"	"	
			1.3	0.648	1.3273	-	-	-	1	"	"	"	

Table A5 リンクに関する入力データ (2/3)

LINK 番号	INODE イニシャル ノード	TNODE ターミナル ノード	SUB LINK			NCOIL (コイル段数)	ベ ン ド						W (初期流量) (kg/s)	S (スリップ比)	
			D (水力直径) [m]	L (長さ) [m]	AL (流路面積) [m ²]		NBEND (個数)	ZNUMB	THETA (角度) [度]	RR (曲率半径) (内半径) [mm]	NZ (個数)	ZETB (形状係数)			
14	7 ~ 16		0.2033	5.352	0.0325	-	2	1	90×2	3.0×2	-	0.5	0.0	-	
			0.0527	8.113	0.0022	-	4	2	90×4	3.0×4	2	7.2			
			0.2163	2.25	0.0367	-	-	-	-	-	-	-			-
15	9 ~ 10		0.110	2.0	0.2151	-	-	-	-	-	1	-	-	2.0	
			1.3	0.648	1.3273	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	4 ~ 10		1.117	0.325	0.9799	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
			1.3	0.648	1.3273	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	11 ~ 12		0.2033	4.198	0.0325	-	2	1	90×2	3.0×2	1	1.0	-	1.0	
			"	"	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	7 ~ 9		1.3	0.4103	1.3273	-	-	-	-	-	1	2.66	-	2.0	
			0.110	2.0	0.2151	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			0.2163	2.25	0.0367	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19	16 ~ 14		0.0527	15.287	0.0022	-	6	2	90×6	3.0×6	2	2.13	-	1.0	
			0.2033	1.254	0.0325	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			0.8	0.2572	0.5026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	12 ~ 13		0.2979	1.35	0.0697	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
			0.7339	1.35	0.4230	37.5	-	-	-	-	0	-	-	-	
22	13 ~ 15		0.2979	1.35	0.0697	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
			0.8	0.338	0.5026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			0.7339	1.35	0.4230	37.5	-	-	-	-	1	-	-	-	
23	14 ~ 15		0.8	0.338	0.5026	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
			0.2979	1.881	0.0697	-	1	1	90	3.0	1	0.5	-	2.0	
24	10 ~ 17		"	1.881	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			"	3.762	"	-	1	1	90	3.0	0	-	-	-	
25	17 ~ 18		"	3.762	"	-	-	-	-	1	1	90	3.0	-	-

Table A5 リンクに関する入力データ (3/3)

LINK 番号	INODE イニシアル ノード	TNODE ターミナル ノード	SUB LINK			NCOIL (コイル段数)	ベ ン ド				形 状 圧 損			W (初時流量) (kg/s)	S (スリップ比)
			D (水力直径) [m]	L (長さ) [m]	AL (流路面積) [m ²]		NBEND (個数)	ZNUNB (個数)	THETA (角度) [度]	RR (曲率半径) (内半径) [m]	NZ (個数)	ZETB (形状圧損)			
26	18 ~ 19	19	0.2979	3.762	0.0670	-	1	1	90	30	0	-	0.0	2.0	
27	15 ~ 21		0.152	2.925	0.0181	-	1	1	"	"	1	0.5	"	"	
			"	"	"	-	1	2	"	"	-	-	-	"	"
28	21 ~ 19		"	"	"	-	-	-	-	-	1	1.71	"	"	
			"	"	"	-	-	-	-	-	-	-	-	"	"
29	19 ~ 20	20	0.2979	3.762	0.0670	-	1	1	90	30	0	-	"	"	
			"	1.881	"	-	1	1	"	"	1	1.0	-	"	"
30	20 ~ 22		"	1.881	"	-	-	-	-	-	-	-	-	"	"
			"	1.881	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	"
31	22 ~ 大気		0.248	0.1	0.0483	-	-	-	-	-	0	-	"	"	

Table A 6 SWAT-3, RUN-3 準定常圧解析インプット・データ・リスト

(インプット・データ・リスト 1/5)

** SWACS QUASI-STATIC PRESSURE ANALYSIS (SWAT-3 RUN-3 CASE-A02) **											
1	10	2	22	31	22	4	3	0	10	15	
11	4	4	8	9	10						
16	3	13	14	15							
26	5	4	11	14	17	19					
47	10	1	2	3	1	1	5	5	6	5	6
57	10	4	7	8	7	9	4	11	7	16	12
67	10	12	13	14	10	17	18	15	21	19	20
77	1	22									
102	10	2	3	4	7	5	6	7	7	4	4
112	10	11	8	10	16	10	10	12	9	14	13
122	10	14	15	15	17	18	19	21	19	20	22
132	1	0									
157	3	10	24	10							
160	10	1	2	3	4	7	8	9	10	21	23
180	10	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
190	10	13	14	15	16	17	18	19	20	22	23
200	4	24	27	28	30						
210	10	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
220	10	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1
230	10	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1
240	1	0									
265	10	11	14	17	19	24	25	26	27	29	30
285	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
295	10	3	0	0	6	0	0	2	0	6	0
305	10	0	0	0	1	1	1	2	0	1	1
315	1	0									
440	3	2	2	2							
470	6	1	1	2	2	2	2				
500	2	1	1	1							
520	6	2	2	2	2	2	2				
570	1	1									
580	1	1									
590	1	1									
600	2	1	2								
620	1	1									
630	1	1									
890	2	1	1								
901	1	3									

(インプット・データ・リスト 2/5)

4	1	0.65									
8	3	0.65	0.65	1.296							
13	3	0.50	0.50	0.6759							
41	3	6.00	0.045	0.0254							
44	5	3.4	4.4	5.4	6.325					4.4	
49	5	4.4	2.115	4.4	4.4					6.8	
54	5	1.035	3.5	5.15	5.15					6.85	
59	5	3.398	6.9	9.32	10.9					14.5	
64	2	9.0	14.5								
84	5	0.4734	0.4734	0.4734	1.117					0.6695	
89	5	0.4734	1.3	0.3334	0.5233					1.3	
94	5	0.2033	0.8	0.2979	0.7339					0.8	
99	5	0.2163	0.2979	0.2979	0.2979					0.2979	
104	2	0.152	3.0								
124	5	1.0	1.0	1.0	0.75					3.0	
129	5	3.0	0.8206	4.0	4.0					1.296	
134	5	16.79	0.5143	2.7	2.7					0.6759	
139	5	11.725	4.702	4.702	4.702					4.702	
144	2	11.7	5.523								
164	1	0.4734									
174	1	0.4734									
184	2	0.4734	1.117								
194	2	0.4734	1.300								
204	2	0.058973	0.058973								
214	2	0.058973	0.058973								
224	2	0.6695	1.300								
234	2	0.4734	1.300								
244	2	0.8655	1.117								
254	2	0.4734	1.117								
264	2	0.2033	0.2033								
274	2	1.3000	0.3334								
284	2	0.3334	1.300								
294	3	0.2033	0.0527	0.2163							
304	2	0.110	1.3								
314	2	1.1170	1.3000								
324	2	0.2033	0.2033								
334	2	1.3	0.110								
344	3	0.2163	0.0527	0.2033							
354	2	0.8600	0.2979								

(インプット・データ・リスト 4/5)

364	1	0.7339			
374	2	0.2979	0.8		
384	2	0.7339	0.8		
394	2	0.2979	0.2979		
404	1	0.2979			
414	1	0.2979			
424	2	0.1520	0.1520		
434	2	0.1520	0.1520		
444	1	0.2979			
454	2	0.2979	0.2979		
464	1	0.2480			
714	1	1.0			
724	1	1.0			
734	2	0.5	0.325		
744	2	0.5	0.4103		
754	2	0.3	0.3		
764	2	0.3	0.3		
774	2	0.5	0.4103		
784	2	1.0	0.4103		
794	2	2.5	0.325		
804	2	2.0	0.325		
814	2	4.1980	4.1980		
824	2	0.4103	2.0		
834	2	2.0	0.648		
844	3	5.3520	8.1130	2.2500	
854	2	2.0	0.648		
864	2	0.3250	0.6480		
874	2	4.198	4.198		
884	2	0.4103	2.0		
894	3	2.250	15.287	1.254	
904	2	0.2572	1.35		
914	1	1.35			
924	2	1.35	0.338		
934	2	1.35	0.338		
944	2	1.881	1.881		
954	1	3.762			
964	1	3.762			
974	2	2.925	2.925		
984	2	2.925	2.925		
994	1	3.762			
1004	2	1.881	1.881		

(インプット・データ・リスト 3/5)

1014	1	0.1				
1364	3	90.0	90.0	90.0		
1394	5	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
1399	1	90.0				
1424	2	90.0	90.0			
1444	5	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
1449	1	90.0				
1494	1	90.0				
1504	1	90.0				
1514	1	90.0				
1524	2	90.0	90.0			
1544	1	90.0				
1554	1	90.0				
1854	1	0.0				
1864	1	0.0				
1914	1	10.0				
1944	2	0.5	7.2			
1954	1	0.0				
1974	1	1.00				
1984	1	0.0				
1994	2	0.00	2.13			
2044	1	0.50				
2074	1	0.50				
2084	1	1.71				
2104	1	1.00				
2464	3	3.0	3.0	3.0		
2494	5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
2499	1	3.0				
2524	2	3.0	3.0			
2544	5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
2549	1	3.0				
2594	1	3.0				
2604	1	3.0				
2614	1	3.0				
2624	2	3.0	3.0			
2644	1	3.0				
2654	1	3.0				
2914	4	25.0	25.0	12.5	12.5	
2920	4	12.5	25.0	62.5	50.0	
2934	3	37.5	0.0	37.5		

(インプット・データ・リスト 5/5)

2969	3	1.5E+4	1.5E+4	1.5E+4		
2972	2	1.5E+4	1.033E+4			
2974	4	3.1E+4	1.0E+6	1.0E+6	1.9E+4	
2978	1	398.0				
3034	5	1.15	1.08	1.0	1.0	1.08
3039	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3044	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3049	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3054	2	1.0	1.0			
3074	3	1.0E+10	1.0E+10	1.0E+10		
3077	5	1.0	0.06	0.5	2.9	1.0
3121	3	0.0	10.0	100.0		
3141	3	8.21	8.21	8.21		
3161	1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3162	5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3167	5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3172	5	1.0	2.0	2.0	1.0	2.0
3177	5	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
3182	5	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
3187	5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3192	1	2.0				
3257	4	420.55	9.807	9.807	1.66	
3261	4	100.0	1.0E-3	100.0	100.1	
3351	2	0.5884	0.5884			
3361	2	1.1768	1.1768			
3451	1	0.21512				
3482	1	0.21512				

Appendix B. 計 算 時 間

本報告の解析はすべて大洗工学センター計算資料室のFACOM 230/58計算機で計算を行なった。

同計算機による各計算ケースについての計算時間（CPU時間）をTable A-7に示す。

計算時間に影響を与える因子は多いが、便宜上リンク数で数理すると $15\sim 20 \times 10^{-3}$ CPU秒 / リンク / ステップとなる。

Table A-7 計算時間（SWACS準定常圧計算モジュール）

ケース名	ノード数	リンク数	シミュレーション時間〔秒〕	計算ステップ数	CPU時間〔分〕
AO1	22	31	6	6000 ^{*1)}	48
AO2	"	"	"	"	"
AO3	"	"	"	"	"
BO1	"	"	"	"	"
BO2	"	"	"	"	"
CO1	"	"	"	"	47
CO2	"	"	"	"	64
DO1	15	21	"	"	25
EO1	22	31	"	"	50

*1) 計算時間メッシュ巾 (Δt) = 1×10^{-3} (sec)

Appendix C. 本解析以降のSWACSコードの改修

本解析はSWACSコードのバージョンSWACS・REG2で行なった。その後SWACSコードの改修が行なわれ、本報告執筆時(1979/1/22)での最新バージョンはSWACS・REG3である。

REG2 からREG3 への変更は水噴出率計算モジュールが中心であるが、準定常圧計算モジュールについても若干変更を行なっている。

Table A-8に準定常圧計算モジュールについての変更部を示す。これらは本報告の内容に大きな影響を与えるものではない。

Table A-8 SWACSコードの修正 (準定常圧計算モデルに関する部分)

項 目	修正理由	SWACS・REG2 (本報告で使用)	SWACS・REG3
乱流域の 管摩擦損失係数	管壁の粗さを考慮する式に変更	$2300 < Re < 10^5$ $\lambda = 0.3164 Re^{-0.25}$ (プラジウスの式) $Re > 10^5$ $\lambda = 3.2 \times 10^{-3} + 0.221 Re^{-3.27}$ (ニコラゼの式)	$Re > 2300$ $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left\{ \frac{e/d_i}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right\}$ (コールブルックの式)
バンドの形状圧損係数	誤りの修正	$\zeta_B = 0.00873 \lambda \lambda \theta (R/r)$ $Re (r/R)^2 < 91$ $\zeta_B = 0.00241 \lambda \theta Re^{-0.17} (R/r)^{0.84}$ $Re (r/R)^2 > 91$ $\zeta_B = \begin{cases} 0.95 + 1.72 (R/r)^{-1.96} & R/r < 19.7 \\ 1.0 & R/r > 19.7 \end{cases}$ (誤)	同 左 $\chi = \begin{cases} 0.95 + 1.72 (R/r)^{-1.96} & R/r < 19.7 \\ 1.0 & R/r > 19.7 \end{cases}$ (正)