

大リーク・ナトリウム-水反応時の初期スパイク圧解析

(SWACSC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5報)—

1979年3月

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-水反応時の初期スパイク圧解析 (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5報)—

進藤 嘉久* 山口 友久**
三宅 収* 佐藤 稔*

要 旨

大リーク・ナトリウム-水反応解析コード-SWACS-に含まれる初期スパイク圧解析計算モジュール(SWACS-5K/7)を用いて、蒸気発生器安全性総合試験装置(SWAT-3)のRun-3試験の初期スパイク圧挙動の実験解析を行った。まず、初期スパイク圧計算に必要なパラメータである注水率の時間変化、 H_2/H_2O モル転換比、および音速に関してパラメータスタディを行なった後、実験値との比較計算を実施して、実験をうまく説明出きる最適なパラメータ値を求めることができた。これらの検討をとおして、本計算モジュールの有効性が確認される。

* 動力炉・核燃料開発事業団, 大洗工学センター
蒸気発生器開発部 蒸気発生器安全性試験室
** 同上 囑託 (三井造船(株))

目 次

1. 概 要	1
2. 試験概要と計算モデル	2
2.1 試験装置と試験条件	2
2.2 計算モデル	7
3. パラメータスタディ	10
3.1 概 要	10
3.2 パラメータの説明	14
3.2.1 注水率パターン	14
3.2.2 初期水素気泡半径	14
3.2.3 H_2/H_2O モル転換比と水素気泡温度	14
3.2.4 球領域半径	15
3.2.5 球側部流路面積	15
3.2.6 ナトリウム中音速	16
3.3 結 果	17
3.3.1 注水率パターン	17
3.3.2 初期水素気泡半径	17
3.3.3 H_2/H_2O モル転換比	18
3.3.4 球領域半径	18
3.3.5 球側部流路面積	18
3.3.6 コイル部音速	19
3.3.7 下部プレナム音速	19
3.3.8 パラメータスタディのまとめ	19
4. 実験との比較	39
4.1 計算条件	39
4.2 計算結果	39
5. まとめ	46
参考文献	47
Appendix 図表リスト	49

March, 1979

Initial Spike 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.5)-

Yoshihisa Shindo^{*}, Tomohisa Yamaguchi^{**},
Osam Miyake^{*}, and Minoru Sato^{*}

Abstract

Computer analysis for the SWAT-3-Run3 experiment was performed using the calculation module for initial spike pressure (SWAC-5K/7) included in the large leak sodium-water reaction code "SWACS".

In order to verify the code, the sensitivity study for the significant parameters such as historical change of water injection rate, H_2/H_2O conversion ratio, sonic velocity of the sodium in the vessel were carried out, and the comparison between Calculation and measurements were accomplished.

The suitable values of the parameters to explain the measurements of the SWAT-3-Run-3 experiment were obtained. And the availability of the Calculation module of the SWACS has been demonstrated.

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

** Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.

図 目 次

Fig. 2.1	Reaction Vessel (SWAT3-Run-3).....	3
Fig. 2.2	Water Injection Piping.....	4
Fig. 2.3	注水系ラプチャ板 (RD502) の形状.....	5
Fig. 2.4	Analysis Model of Reaction Vessel.....	8
Fig. 2.5	計算体系図.....	9
Fig. 3.1	解析主要パラメータの相互関係.....	11
Fig. 3.2	Water Injection Rate Patterns.....	21
Fig. 3.3	Effect of Water Injection Rate Pattern on Bubble Pressure.....	22
Fig. 3.4	Effect of Water Injection Rate Pattern on Pressure near Reaction Zone.....	23
Fig. 3.5	Effect of Water Injection Rate Pattern on Pressure at Tube Bank.....	23
Fig. 3.6	Effect of Water Injection Rate Pattern on Pressure at Lower Plenum.....	24
Fig. 3.7	Effect of Initial Bubble Radius on Bubble Pressure.....	25
Fig. 3.8	Effect of Initial Bubble Radius on Pressure near Reaction Zone.....	26
Fig. 3.9	Effect of Initial Bubble Radius on Pressure at Lower Plenum.....	26
Fig. 3.10	Effect of H ₂ /H ₂ O Conversion Ratio on Pressure near Reaction Zone.....	27
Fig. 3.11	Effect of H ₂ /H ₂ O Conversion Ratio on Pressure at Lower Plenum.....	27
Fig. 3.12	Effect of H ₂ /H ₂ O Conversion Ratio on Peak and Duration of Pressure Spike.....	28
Fig. 3.13	Effect of Spherical Region Radius on Bubble Growth.....	29
Fig. 3.14	Effect of Spherical Region Radius on Pressure near Reaction Zone.....	30
Fig. 3.15	Effect of Spherical Region Radius on Pressure at Tube Bank.....	30
Fig. 3.16	Effect of Spherical Region Radius on Pressure at Lower Plenum.....	31

Fig. 3.17	Effect of Flow Area at Cylinder Region next to Sphere on Pressure near Reaction Zone.....	31
Fig. 3.18	Effect to Flow Area at Cylinder Region next to Sphere on Pressure at Tube Bank.....	32
Fig. 3.19	Effect of Flow Area at Cylinder Region next to Sphere on Pressure at Lower Plenum.....	32
Fig. 3.20	Effect of Tube Bank Sonic Velocity on Pressure near Reaction Zone.....	33
Fig. 3.21	Effect of Tube Bank Sonic Velocity on Pressure at Tube Bank.....	33
Fig. 3.22	Effect of Tube Bank Sonic Velocity on Pressure at Lower Plenum.....	34
Fig. 3.23	Effect of Tube Bank Sonic Velocity on Peak and Duration of Pressure Spike.....	35
Fig. 3.24	Effect of Lower Plenum Sonic Velocity on Pressure near Reaction Zone.....	36
Fig. 3.25	Effect of Lower Plenum Sonic Velocity on Pressure at Tube Bank.....	36
Fig. 3.26	Effect of Lower Plenum Sonic Velocity on Pressure at Lower Plenum.....	37
Fig. 3.27	Effect of Lower Plenum Sonic Velocity on Peak and Duration of Pressure Spike.....	38
Fig. 4.1	Comparison between Measurements and Calculation on Pressure near Reaction Zone.....	43
Fig. 4.2	Comparison between Measurement and Calculation on Pressure at Tube Bank.....	43
Fig. 4.3	Comparison between Measurement and Calculation on Pressure at Lower Plenum.....	44
Fig. 4.4	Comparison between Measurements and Calculation Pressure below Sodium Free Surface.....	44
Fig. 4.5	Bubble Pressure History.....	45
Fig. 4.6	Bubble Growth.....	45

表 リ ス ト

Table 2.1	試験条件	6
Table 3.1	パラメータスタディのケース内容および結果	12
Table 3.2	リファレンスケースの入力定数	13
Table 3.3	各パラメータの圧力波形への効果	20
Table 4.1	実験との比較計算の入力定数	42

1. 概 要

大リーク・ナトリウム-水反応解析コード・SWACSに含まれる初期スパイク圧計算モデル(SWAC-5K/7)を用いて、SWAT-3・Run-3試験(コイル下部注水)の解析を行なった。解析の目的は、ユーザ指定インプットパラメータのパラメータスタディを行なって実験値と比較してRun-3実験結果に最適なパラメータ値を選び出すことにある。選定されたパラメータ値は、本計算コードを用いた原型炉蒸気発生器の初期スパイク圧解析に採用される予定である。

本報告書に記載の内容は、2章では、Run-3の試験概要の紹介と計算モデルの説明を行なう。

3章では、パラメータスタディで取り上げるパラメータの説明とパラメータスタディの結果をまとめる。

4章では、Run-3の実験結果との比較を行ない最適なパラメータ値を選び出す。

5章では、以上の結果をまとめて、今後検討すべき事項を説明する。

2. 試験概要と計算モデル

2.1 試験装置と試験条件⁽¹⁾

Fig 2.1にSWAT-3装置のRun-3試験に用いられた反応容器の形状寸法および圧力センサーの取付位置を示す。図中に、計算結果と実験結果(Appendix of Fig.A.1を参照)の比較に使った胴壁での圧力測定点P1113, およびP1113から周方向に90°離れた位置にあるP1123 (注水点近傍), P1114 (コイル中間部), P1115 (コイル上部), およびP1111 (下部プレナム部)の位置が示されている。

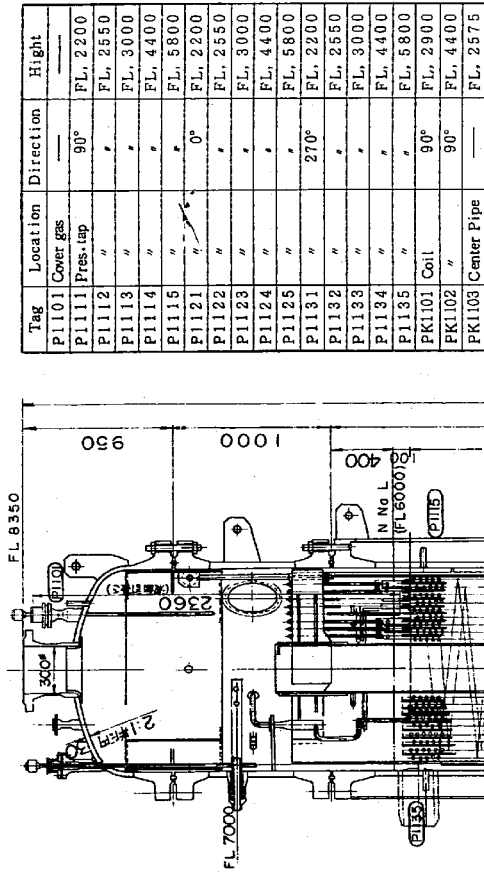
反応容器の内部構造物の仕様は下表のとおりである。

伝熱管型式	ヘリカルコイル型
伝熱管材質	STBA24
伝熱管径	2.5.4φ×3.2t
伝熱管配列	40×45 (軸方向×径方向)
伝熱管層数	9層
加圧伝熱管	1~5層
注水位置	5層目, FL3085
伝熱管支持構造	各層ごとが支持架構に固定
内筒径	355.6φ×1.1t
シユラウド径	1.190φ×9t

注水系をFig 2.2に示し、注水法は以下のように行なう。

水加熱器で加熱された高温・高圧水は注水弁 (V502) が開かれると注水配管を通り、途中に設けられたラプチャ板 (RD501) を破り、蒸発器内のヘッダーでコイル側とダウンカメラ側に分岐され、コイル部 (5層目, 90°方向, FL3085) に設けられたラプチャ板 RD502 (Fig 2.3参照) を破ってナトリウム中に噴出される。試験直前まではV502より下流は、伝熱管内残留ガスが注水に先立ってナトリウム中に噴出するのを防ぐため真空引きされている。(詳細は参考文献(1)を参照)

Table 2.1にRun-3試験の主な試験条件を示す。



Tag	Location	Direction	Height
P1101	Cover gas	—	—
P1111	Pres. tap	90°	FL, 2200
P1112	"	"	FL, 2550
P1113	"	"	FL, 3000
P1114	"	"	FL, 4400
P1115	"	"	FL, 5800
P1121	"	0°	FL, 2200
P1122	"	"	FL, 2550
P1123	"	"	FL, 3000
P1124	"	"	FL, 4400
P1125	"	"	FL, 5800
P1131	"	270°	FL, 2200
P1132	"	"	FL, 2550
P1133	"	"	FL, 3000
P1134	"	"	FL, 4400
P1135	"	"	FL, 5800
PK1101	Coil	90°	FL, 2900
PK1102	"	90°	FL, 4400
PK1103	Center Pipe	—	FL, 2575

Fig. 2.1 Reaction Vessel (SWAT-3, Run-3)

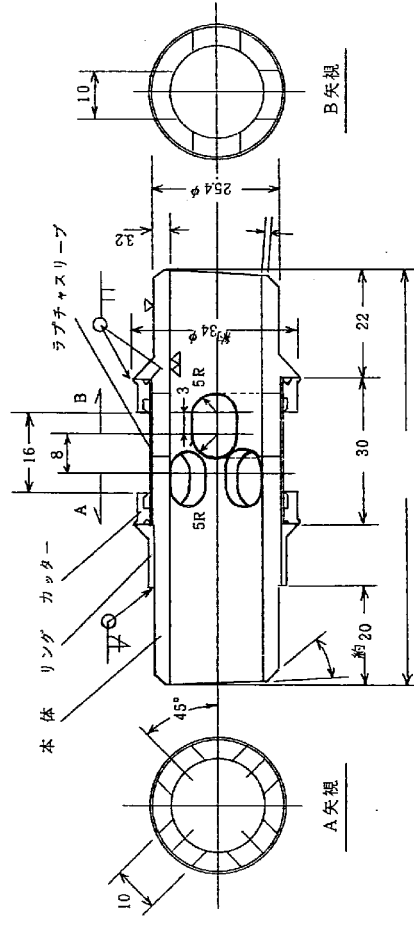


Fig. 2.3 注水系ラフチャ板 (RD502) の形状

Fig. 2.2 Water Injection Piping

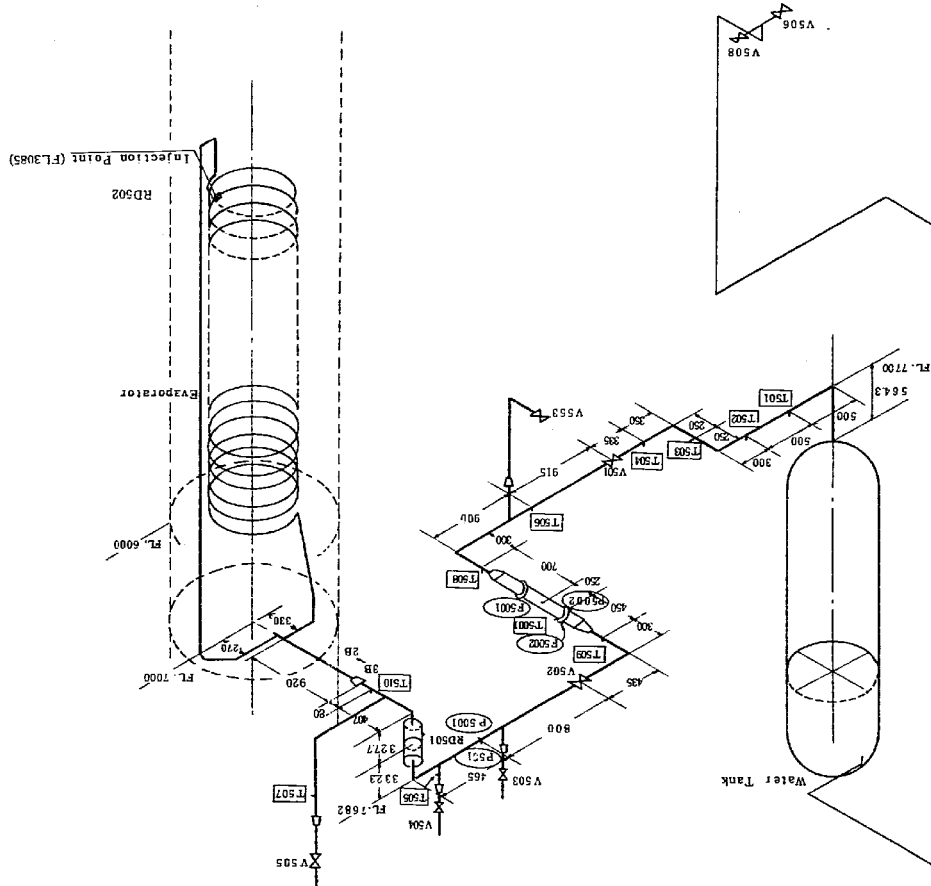


Table 2.1 試験条件

項		目		単	位	条	件
反応容器, 内 部構造物形式	反応器	容器	器			蒸	発
	内	構造物	物			へリカル・(I H I)	
反応点	反応 (注水)	点位置				へリカル下部5層目	
						FL. 3085	
注水側条件	注水孔・ラプチャ板	設置板形式				円筒型・19φ×2以上	
	ラプチャ板	設置板	定圧	kg/cm ²			
		RD501				100 ⁺⁰ ₋₁₀ (350°C)	
		RD502				100 ⁺⁰ ₋₅₀ (500°C)	
	準定常	注水率		kg/sec		88 (初期) ~ 7.9 (後期)	
	全注	水量		kg		78	
	注水配管	温度		°C		約300	
	水加熱器	温度		°C		300	
		圧力		kg/cm ² a		149	
	注水弁 (V502)	弁開持続時間		sec		9.5	
ナトリウム側条件	ナトリウム	温度		°C		898	
	ナトリウム	流量		ℓ/sec		静止	
	反応容器 (蒸発器)						
	カバ-ガス	圧		kg/cm ² G		0.5	
カバ-ガス	使用ガス					アルゴン	

2.2 計算モデル

初期スバイク圧計算モデルに採用されている主な仮定は以下の通りである。⁽²⁾⁽³⁾

- a) ナトリウムと水は瞬時に反応するものとする。
- b) 反応の結果発生する水素ガス気泡の温度は一定とする。
- c) 反応ガスとナトリウムは完全に分離し、反応ガスは球形に成長するものとする。
- d) 反応点近傍のナトリウム流れは球モデルで、反応点から離れた所では柱モデルで解析し、両モデルとも1次元状態取扱う。
- e) 初期気泡圧力は注水点でのナトリウム中圧力とする。

Fig 2.1 に示した反応容器を圧力波の伝播経路に着目して1次元化すると、Fig 2.4 に示す計算モデルとなる。すなわち、反応容器は、コイル部、センターパイプ部、ダウンカマ-部、下部プレナム部およびカバ-ガス部に分けてモデル化される。各部はさらに適当な個数の部材に分割される。(各部材のメッシュサイズはAppendixのTable A.2を参照)結局、Run-3試験の計算体系はFig 2.5のようになる。⁽⁴⁾ 計算値と実験値の比較のさいの圧力測定位置とモデル上の節点番号との対応を同図左下に表で示す。

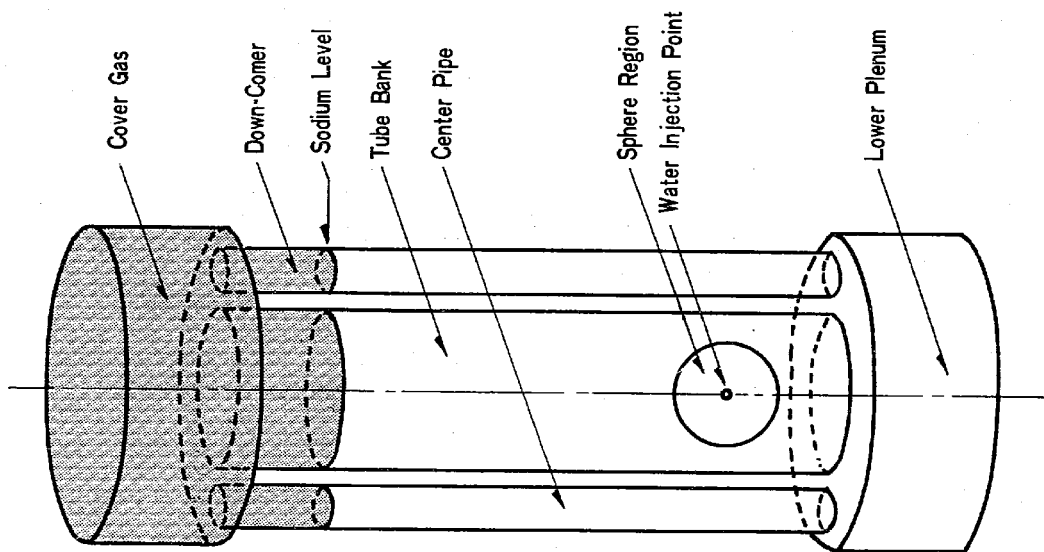


Fig.2.4 Analysis Model of Reaction Vessel

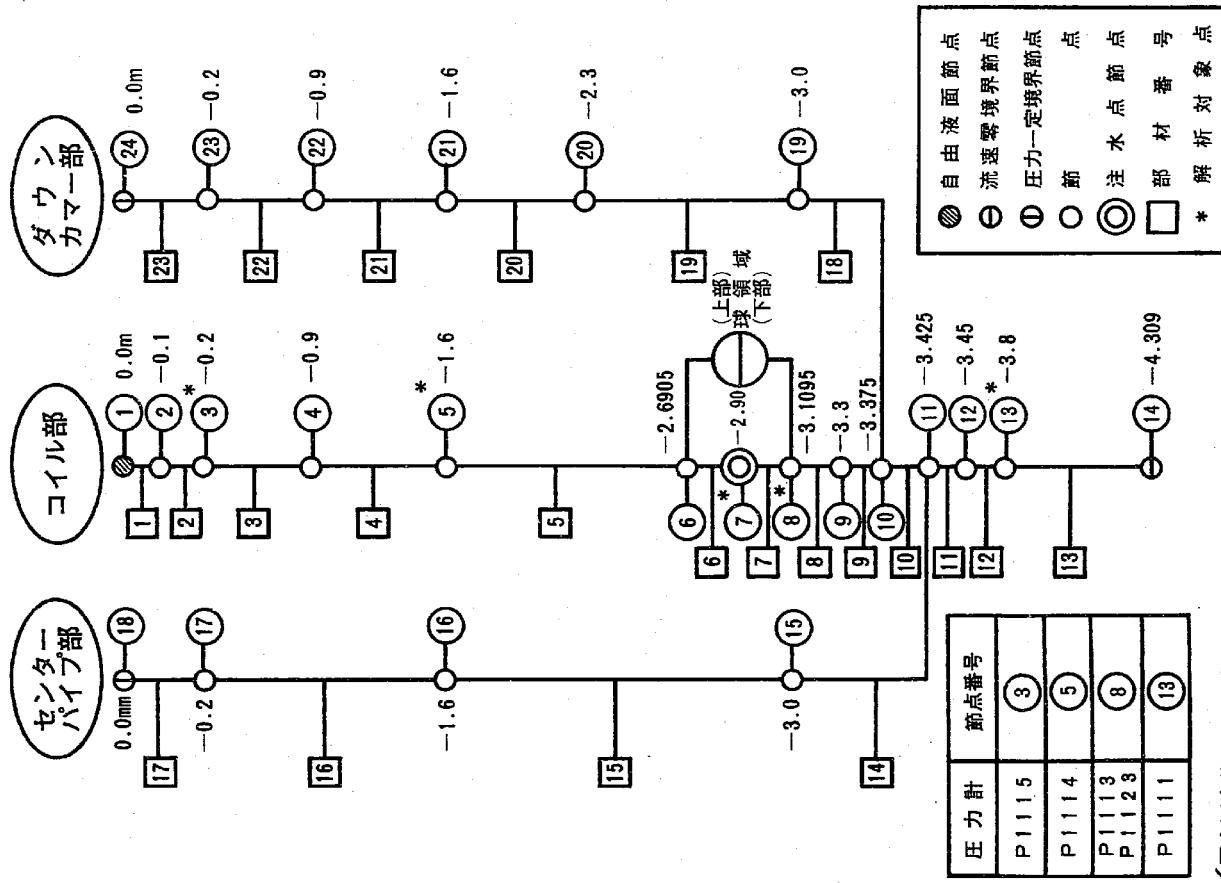


Fig.2.5 計算体系図

3. パラメータスタディ

3.1 概要

Fig 3.1に初期スパイク圧解析上の主要なパラメータの相互間の関係を示す。このうちセンタ-パイプとダウンカマ-の音速およびコイル部の流路面積は圧力波形に影響しないことがすでに報告されている。⁽⁴⁾

したがって本解析でパラメータスタディとして取り上げるパラメータは以下のとおりとする。

- (1) 注水率パターン
- (2) 初期水素気泡半径
- (3) H_2/H_2O モル転換比
- (4) 球領域半径
- (5) 球領域側部の流路面積
- (6) 音速 (コイル部, 下部アプレナム)

パラメータスタディは過去の経験から各パラメータにリアレンス値を設定し、それを基準として着目するパラメータ値を変化させて、解析対象点の圧力波形に対する効果をみることにした。パラメータスタディのケース内容、結果図番およびリアレンスケースの主な入力定数を各々 Table 3.1, Table 3.2に示す。(リアレンスケースのインプットデータの説明, インプットデータおよびインプットリストは Appendix の Table A.1, Table A.2および Table A.3に各々示す。) 圧力の計算結果の比較は、主に注水点横 (Fig 2.5の節点⑥), コイル中間部 (節点⑤), および下部アプレナム部 (節点③) にて行ない、それぞれの圧力波形の第1ピーク値と周期 (圧力波形の立上がり時点から最初の谷底までの期間) に対する各パラメータの影響に着目することにした。

Fig. 3.1 解析主要パラメータの相互関係

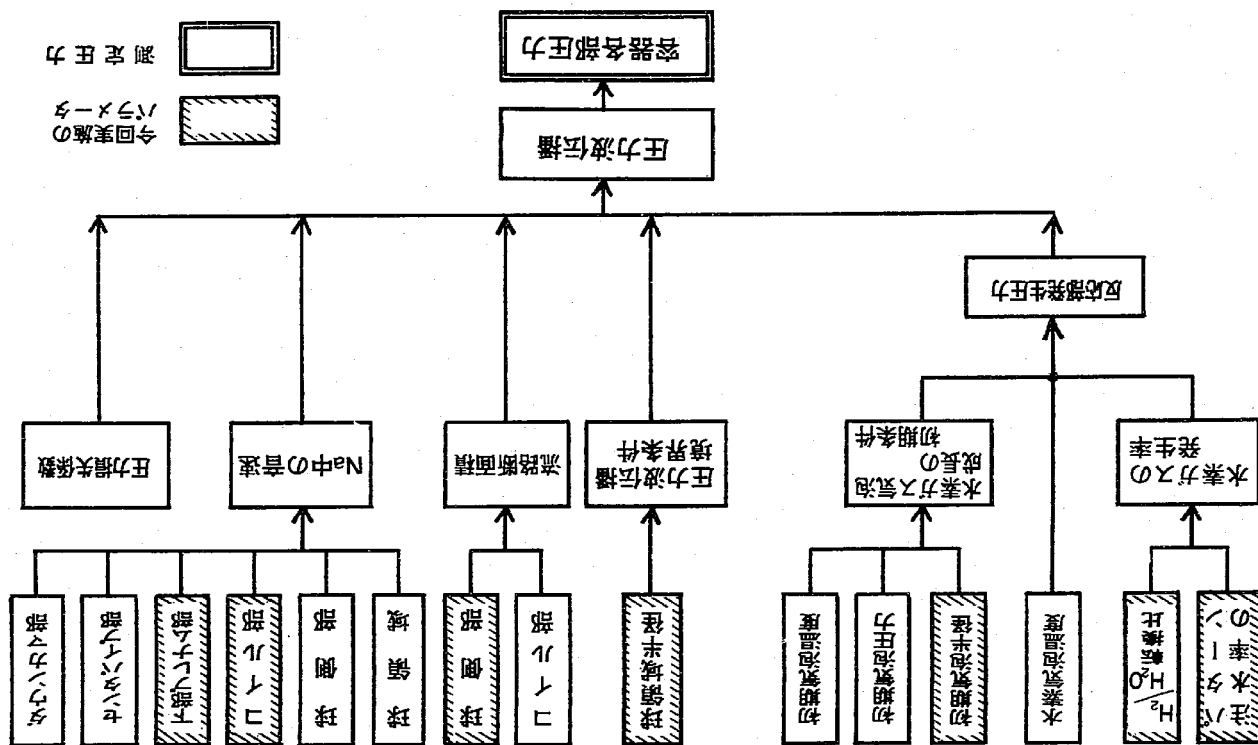


Table 3.1 パラメータスタディのケース内容および結果

ケース	パラメータ	数値	結果
1	注水率パターン	(*) パターン1 パターン2 パターン3 (Fig.3.2参照)	Fig. 3.3 Fig. 3.4 Fig. 3.5 Fig. 3.6
2	初期水素気泡半径	(*) 9.5 mm 180	Fig. 3.7 Fig. 3.8 Fig. 3.9
3	H ₂ /H ₂ Oモル転換比	0.35 (*) 0.50 0.65	Fig. 3.10 Fig. 3.11 Fig. 3.12
4	球領域半径	(*) 0.2095 m 0.1095	Fig. 3.13 Fig. 3.14 Fig. 3.15 Fig. 3.16
5	球側部流路面積	0.6697 m ² (*) 0.5473 0.1642	Fig. 3.17 Fig. 3.18 Fig. 3.19
6-1	コイル部音速	(*) 1714m/sec 1500 1300	Fig. 3.20 Fig. 3.21 Fig. 3.22 Fig. 3.23
6-2	下部プレナム音速	(*) 1617m/sec 1400 1100	Fig. 3.24 Fig. 3.25 Fig. 3.26 Fig. 3.27

注) (*)はリアレンスケースの値であり、計算結果はAppendix Fig. A-2~Fig. A-4に示す。

Table 3.2 リアレンスケースの入力定数

項	目		入力定数
初期条件	ナトリウム領域	流速	0 m/s
	反応領域	水温	398°C
		水素気泡半径	9.5 mm
注水条件	カバ-ガス領域	水素気泡圧力	1.766kg/cm ² a
		水素気泡温度	1273 °K
		圧力	1.533kg/cm ² a
注水条件	注水率	Fig.3.2のPattern 1参照	
境界条件	ナトリウム液面	カバ-ガス圧	1.53kg/cm ² a
	プレナム底部	流速	0 m/s
反応モデ-ル	H ₂ /H ₂ Oモル転換比		0.5
体系	形状寸法		Fig.2-1参照
	球領域半径		0.2095m
	ナトリウム入口および出口ノズル		無 視
	球側部流路面積		0.5473 m ²
		コイル部	1714m/sec
	音速	下部プレナム部	1617m/sec
		センタパイプ部	1769m/sec
		ダウンカム部	859m/sec
	メッシュ	球領域	5 mm
	サイズ	柱領域(反応部近傍)	12.3mm

3.2 パラメータの説明

3.2.1 注水率パターン

初期スバイク圧に大きく影響すると考えられる初期注水率は、これまで二相流の測定技術上の困難さから実験値が得られず、解析コードの推定計算に頼っている。しかしながら、解析コードそのものも、噴出初期の二相流の激しい過渡状態を確実に推定できるほど確立しているわけではない。そこで注水率に関するパラメータスタディとしてSWACSの水噴出率計算モジュール(SWAC-11)により計算したものをリファレンス値とし、ほかに注水率の立ち上がり時間とピーク値について2つの異なったパターンを仮定して、合わせて3ケースについて初期スバイク圧挙動に対する影響を見ることにした。

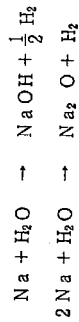
Fig.3.2に3つの注水率パターンを示す。パターン1はリファレンスケース、パターン2はリファレンスケースの注水率の立ち上がり時間をゼロとし、ピーク値およびピーク値からの降下の傾斜(降下速度)を同一として、15 msec以降は1.0.5kg/secで一定としたものである。パターン3は立ち上がりをリファレンスケースと同じにし0.5 msec以降は1.0.5kg/sec一定としたものである。

3.2.2 初期水素気泡半径

計算開始に必要な水素ガス気泡の初期状態を実験によって知ることがは難しい。そこで解析上は、Table 3.2に示したように初期気泡圧力は注水前の注水部のNa圧力の1.766kg/cm²a、気泡温度は1273 °K (3.2.3項参照)を用いることにした。さらに、計算開始に必要な初期水素気泡半径としては従来から用いられている伝熱管内径をとってリファレンス値とし、ほかにその2倍の値を用いた場合との比較を行なうこととした。

3.2.3 H₂/H₂Oモル転換比と水素気泡温度

水とナトリウムとの反応式は、接触時の水とナトリウム量の量やその温度等によって、次の2式のどちらかが1次反応として支配的になると言われる⁽⁵⁾。



したがってH₂/H₂Oモル転換比は0.5~1.0間に存在するとされる。一方、準定常圧時間領域での実験結果を見ると、反応領域で未反応水の存在が確認されており、初期スバイク圧時間領域においても瞬時反応が生じているという確証はない。したがって本来は

転換比は一定なものではなく時間とともに変化するとともに考えられる。この値を実験的に圧力データから定めようとする場合には、仮に注水率がおさえられない⁽⁶⁾、水素気泡温度の仮温度)と〔H₂/H₂Oモル転換比〕との積の形しか求められないため、水素気泡温度の仮定によりH₂/H₂Oモル転換比は変ることになる。このように〔H₂/H₂Oモル転換比〕および〔水素気泡温度〕の選定にはあいまいさが残る。しかし、この複雑な過程をミクロ的に追究することなしに、例えば本計算コードで採用している単純な単気泡モデルと仮定で現象をどこまで表現できるかを確認することは工学的には価値のあることである。そこで、両者の影響(両者の積で気泡圧力に影響する)をパラメータスタディをとおして把握し、Run-3試験結果と照合して、組合せとして得られた両者の値が常識的な範囲内にあるとすれば、本コードの実用性は一応確認されたものとすることにした。このような考え方には、現象の条件、寸法効果等で外挿性があるかとの疑問が生じ得るが、SWAT-3は実験規模の注水率による実験をおこなっているもので、すくなくとも本報告で得られた結論については、実験における同様の現象に対して説得力をもつものと考えられる。

以上の考え方にたたって注水率をSWAC-11により計算で得られた値を採用し、本報告では、水素気泡温度を1000 °C(1273 °C)に設定して固定し、〔H₂/H₂Oモル転換比〕は0.5をリファレンス値として、0.35~0.65の範囲でパラメータスタディを行なうことにした。

3.2.4 球領域半径

球領域半径は反応直後にナトリウムの流れが球状に振がると考えられる大きさを表すものである。本計算ではコイル部の流路幅の半分、すなわちシュラウド内径とセンチパイプ外径間の距離の $\frac{1}{2}$ をとっている⁽⁴⁾。

この値はH₂ガス気泡成長の拘束条件であり影響因子のひとつと考えられるので、上記の値をリファレンス値とした上、その半分の値の場合との比較を行なって見た。

3.2.5 球側部流路面積

球領域外側の柱領域部の流路面積(球側部流路面積)は圧力伝播に影響する。本コードの球一柱モデルでは球側部流路面積をコイル部流路面積と球領域流路面積との差として与えている。

そこでパラメータスタディとして上記の値をリファレンス値として、その1.2倍、および0.3倍の場合とを比較して見ることにした。

3.2.6 ナトリウム中音速

初期スパイク圧は反応容器内の圧力波伝播現象と密接に関連している。そしてナトリウム中音速は流路面積の変化とともに伝播圧力波の波形変化に直接影響する。

解析上、内部構造物を有するコイル部以外の下部プレナム、センターパイプおよびダウンカマ一部、ナトリウム中音速は弾性管内の流体音速として与えられたアリエビの式で計算した値を用いる。

コイル部音速は Run-1 の解析で用いた実験結果から推定した値⁽⁴⁾ (離れた2点の圧力波形のずれから求めたもの) 1714 m/s を仮に用いる。

実験では特に、ナトリウム中音速測定を目的としたものは為されておらず、また離れた2点の圧力波形のずれから音速を求めることも測定点間の距離が短かいこともあつて精度の高い値は求めたが、ここで本計算ではこのリアレンス値を上限であると考へて、それより低い音速で計算し、その効果を見ることにした。

3.3 結果

3.3.1 注水率パターン

Fig. 3.3 に3つの注水率パターンに対応する気泡圧力を示す。ピーク圧力はパターン2の場合が最も高く 25.4 ata であり、パターン1と3はほぼ同じ 6.0 ata となっている。これはパターン2の場合時刻ゼロで 1.8 kg/sec の注水率であるのに対し、パターン1と3は 0.5 msec で 1.05 kg/sec となる直線状の立ち上がり部分を持っていることによる。最初の谷の部分はパターン1が最も高くなっているが、これはこの時刻での注水率が3つのパターンの中で最も大きいことに対応している。2番目のピーク以降は3つのパターンともほぼ同様の変化を示し、これ以降の注水率の差による変化は明確に出てこない。

Fig. 3.4 は反応点横(以後、注水点横を反応点横として言へかえる)の圧力、すなわち計算モデル上での節点④(Fig. 2.3参照)における圧力波形を示す。時刻ゼロで 1.8 kg/sec 注水されるパターン2は、パターン1と比べて圧力波形の立ち上がりが急でありピーク値も高い。一方 0.5 msec までパターン1と同じ立ち上がりを持ち 0.5 msec 以降は一定である。パターン3は、圧力波形の第1ピークが低い点を除いてその波形も高さもパターン1とよく似ていることからパターン1の注水率振動の容器壁部での測定圧力に及ぼす影響は小さくことがわかる。

Fig. 3.5 はコイル中間部の圧力、計算モデル上での節点⑤における圧力波形を示す。 0.5 msec までは注水率パターンで同じ立ち上がりのパターン1と3がほぼ同じ波形を示すのに対して、パターン2の波形は早目にピークに到達している。これは気泡圧力挙動の注水率パターンによる影響とも符合するものである。

Fig. 3.6 は下部プレナムでの圧力、計算モデル上での節点③における圧力波形である。コイル中間部と同様の傾向がある。

これらの結果から、圧力波形は注水率パターン全体よりも注水開始直後の注水率の立ち上がり方に大きく影響されることがわかる。

3.3.2 初期水素気泡半径

初期水素気泡半径をリアレンス値の 0.95 cm とした場合と、その倍の 1.8 cm とした場合の気泡圧力の比較を Fig. 3.7 に示す。後者の場合、リアレンスケースと較べてピーク値で 1.0 ata 低く、ピーク発生時刻で 0.2 msec 遅くなっているが、それ以降はほぼ同じ波形を示す。Fig. 3.8 は反応点横の圧力、Fig. 3.9 は下部プレナムの圧力を示す

が、いずれも顕著な差が見られない。

初期水素気泡径のとり方は貯器罐での初期スパイク圧への影響は小さいと言える。

3.3.3 H_2/H_2O モル転換比

Fig.3.1.0は H_2/H_2O モル転換比を0.35~0.65の間で変えた時の反応点横の圧力である。 H_2/H_2O モル転換比は圧力の大きさのみに影響して波形的変化には影響を及ぼさないことがわかる。Fig.3.1.1は下部プレナムの圧力であるが、同様のことが言える。

Fig.3.1.2は、反応点横、コイル中間部、下部プレナムの圧力波形的第1ピーク値と周期への H_2/H_2O モル転換比の効果をまとめたものである。下部プレナムの圧力ピーク値への効果が最も大きくあらわれており、周期への影響はほとんどないことがわかる。

3.3.4 球領域半径

Fig.3.1.3は球領域半径を変えた時の水素気泡半径の変化を示したものである。水素気泡は上半球と下半球に分けて計算されるので図中には区別してある。また水素気泡半径が球領域半径に達すると計算は終了するので、0.1095mの球領域半径の場合には2.6msecで止まっている。すなわちリアレンス値の場合とその1/2の球領域半径の場合としては、水素気泡成長に大きな差は見られない。

Fig.3.1.4は反応点横の圧力、Fig.3.1.5はコイル中間部圧力、Fig.3.1.6は下部プレナム圧力をそれぞれ示す。計算が途中で止まっている（水素気泡半径が球領域半径を越えた）のでピーク圧力値でしか評価できないが、0.1095mの球領域半径の場合リアレンス値の場合と較べて下部プレナムでは5ata低く、コイル中間部では1ata高くなっている。

以上の結果から球領域半径により解析可能時間が制限されるので、十分な検討はできないが、モデル上は解析時間に現れた半径を決めてやればよいと云えよう。この効果を詳細に検討するにはSWAT-3の場合、球領域半径をリアレンス値より大きくとることは現実的でないので、今後「もんじゅ」体系のように大きな球領域半径をとれる条件でのパラメータスタディが必要であろう。

3.3.5 球側部流路面積

球側部流路面積をリアレンス値の0.3~1.2倍の範囲で変えた時の反応点横の圧力波形をFig.3.1.7に示す。またFig.3.1.8にはコイル中間部圧力、Fig.3.1.9には下部プレナム圧力をそれぞれ示す。圧力波形的のピーク値、周期ともほとんど変わらない。

球側部流路面積のとり方は圧力履歴にあまり影響しないことがわかる。

3.3.6 コイル部音速

コイル部音速をリアレンス値の1714m/secから1500m/sec、1300m/secとした時の反応点横の圧力、コイル中間部圧力、および下部プレナム圧力をそれぞれFig.3.2.0、Fig.3.2.1およびFig.3.2.2に示す。コイル部音速の変化は下部プレナムの圧力波形的にはほとんど影響しないが、コイル中間部圧力の周期を大きく変え、音速が1714m/secから1300m/secになるとコイル中間部での第1ピーク圧力の周期は3.2msecから3.9msecまで大きくなる。ピーク値はあまり変化しない。

Fig.3.2.3は圧力ピーク値と周期に及ぼすコイル部音速の効果をまとめたものである。

3.3.7 下部プレナム音速

下部プレナム音速をリアレンス値の1617m/secから、1400m/sec、1100m/secとした時の反応点横の圧力、コイル中間部圧力、および下部プレナム圧力を、それぞれFig.3.2.4、Fig.3.2.5、およびFig.3.2.6に示す。下部プレナム音速の変化はコイル中間部圧力の波形的にはほとんど影響しないが、下部プレナム圧力の周期を大きく変え、音速が1617m/secから1100m/secになると、反応点横の圧力ピーク値は25ataから20ataに減少するが第1ピーク圧力の周期はあまり変わらない、また、下部プレナムでの第1ピーク圧力の周期は4.3msecから5.6msecに大きくなるがピーク値は多少小さくなる傾向がある。

Fig.3.2.7は圧力ピーク値と周期に及ぼす下部プレナム音速の効果をまとめたものである。

3.3.8 パラメータスタディのまとめ

今回のパラメータスタディの結果から各パラメータの圧力波形的の第1ピーク値および周期に対する効果を比較対象点（反応点横、コイル中間部、下部プレナム）についてまとめたものをTable 3.3に表でまとめた。（横軸に各パラメータの変化幅をリアレンス値で割った無次元変数で表わしたときの各パラメータの効果図をAppendix Fig.A.5~Fig.A.7に示す。）

Table 3.3から各計算対象点についてまとめると次のようになる。

(a)反応点横の圧力波形的のピーク値は H_2/H_2O モル転換比と下部プレナム音速に、周期はコイル部音速に大きく影響をうける。

(b)コイル中間部の圧力波形的のピーク値は(a)と同様に H_2/H_2O モル転換比に最も大きく、次いで注水率の立上がり速度、球側部流路面積に、周期はコイル部音速に最も大きく、次

いで注水率の立上がり速度に影響をうける。

(c) 下部ブレンナム部の圧力波形のピーク値は(a), (b)と同様にH₂Oモル転換比に最も大きく、次いで下部ブレンナム部音速に、周期は下部ブレンナム部音速に最も大きく、次いで、注水率の立上がり速度に影響をうける。

(d) 計算対象点すべてに対する影響の小さいパラメータは初期水素気泡半径と球側部流路面積である。

(e) ピーク値と周期とは別に波形そのものに大きく影響を与えるものは、注水率の立上がり速度である。(Fig 3.4, Fig 3.5参照)

Table 3.3 パラメータの圧力波形への効果

比較対象 パラメータ	反応点横		コイル中間部		下部ブレンナム部	
	ピーク値	周期	ピーク値	周期	ピーク値	周期
注水率(立上り速度)	△	△	○	○	△	○
初期水素気泡半径	△	△	△	△	△	△
H ₂ /H ₂ Oモル転換比	◎	△	◎	△	◎	○
球領域半径	-	-	-	-	-	-
球側部流路面積	△	△	△	△	△	△
コイル部音速	○	◎	△	◎	△	△
下部ブレンナム部音速	◎	△	△	△	○	◎

注) 効果の程度: ◎ > ○ > △
(大) (中) (小)

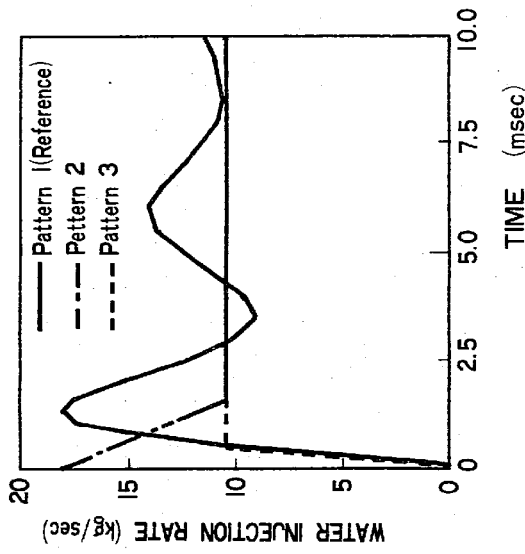


Fig. 3.2 Water Injection Rate Patterns

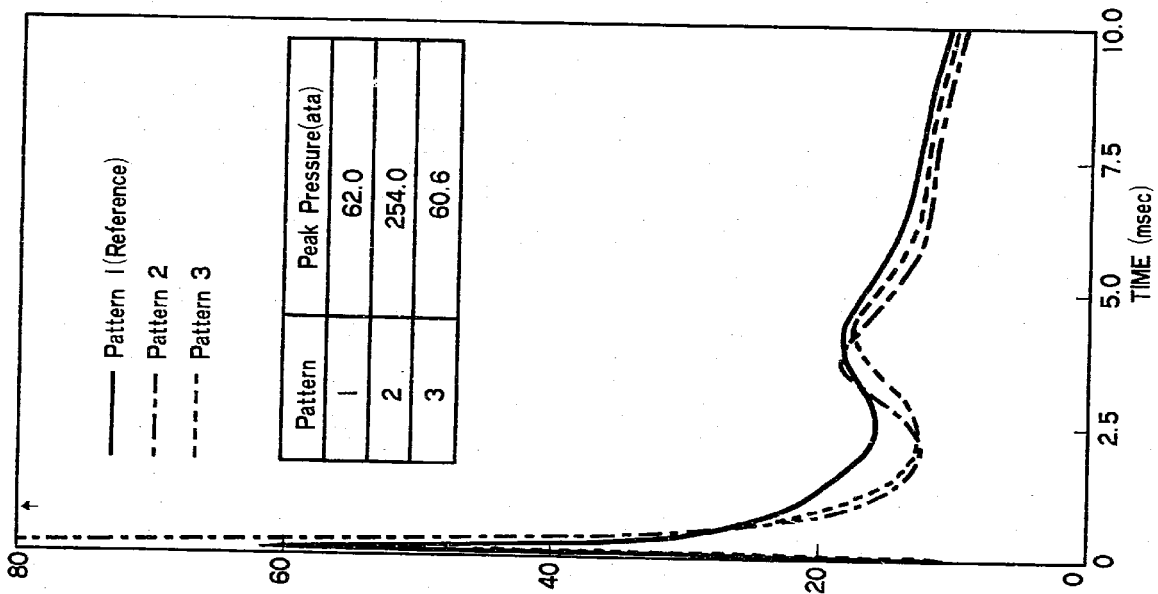


Fig. 3.3 Effect of Water Injection Rate Pattern on Bubble Pressure

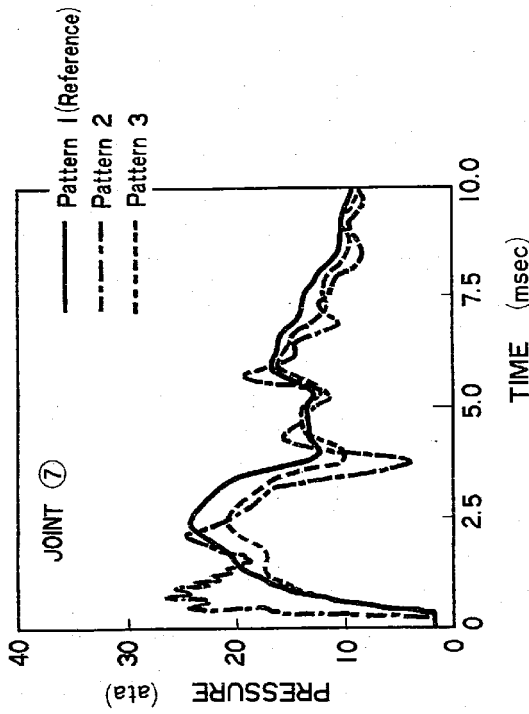


Fig. 3.4 Effect of Water Injection Rate Pattern on Pressure near Reaction Zone

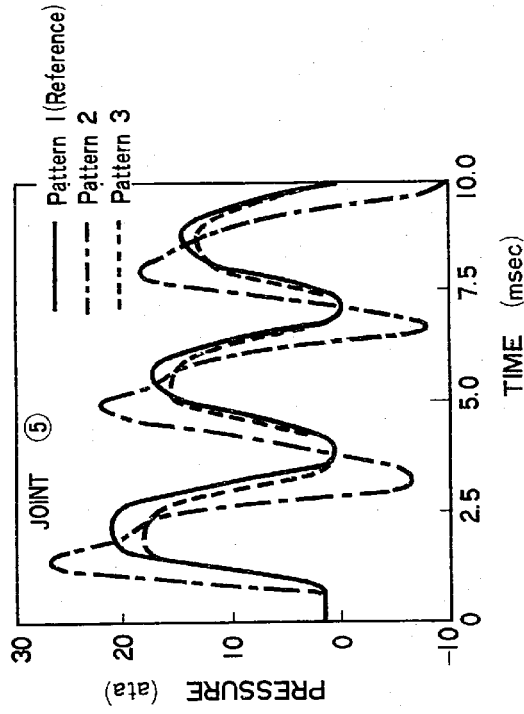


Fig. 3.5 Effect of Water Injection Rate Pattern on Pressure at Tube Bank

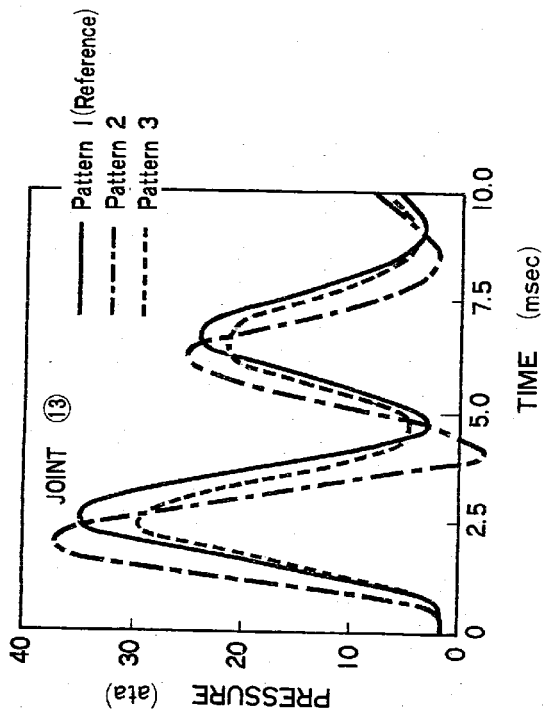


Fig. 3.6 Effect of Water Injection Rate Pattern on Pressure at Lower Plenum

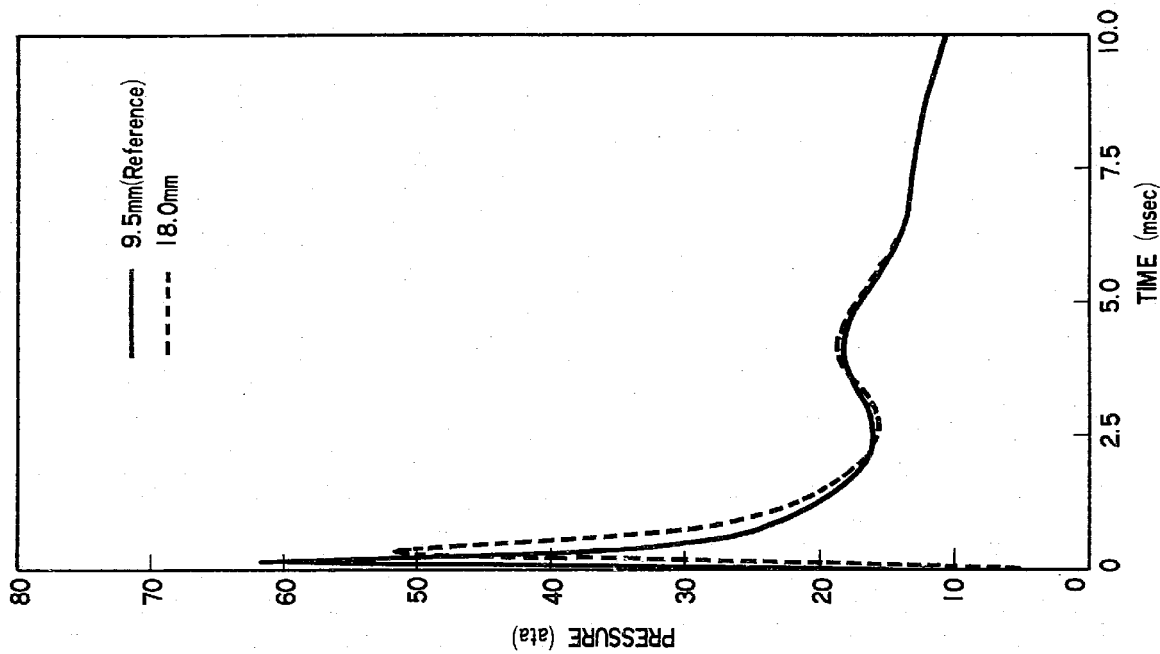


Fig. 3.7 Effect of Initial Bubble Radius on Bubble Pressure

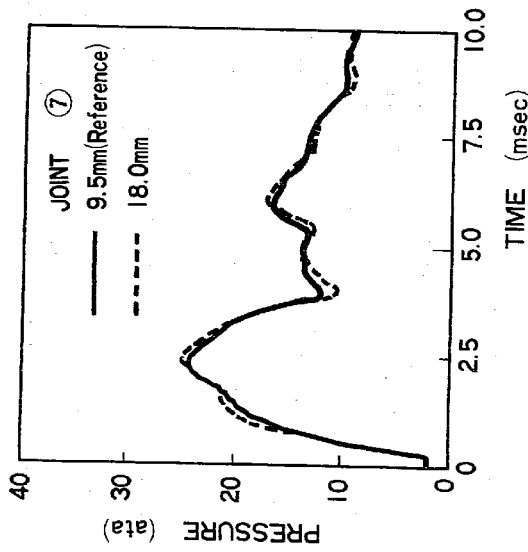


Fig. 3.8 Effect of Initial Bubble Radius on Pressure near Reaction Zone

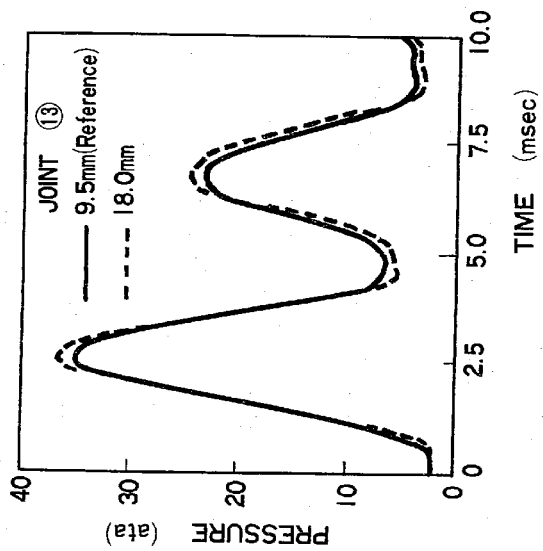


Fig. 3.9 Effect of Initial Bubble Radius on Pressure at Lower Plenum

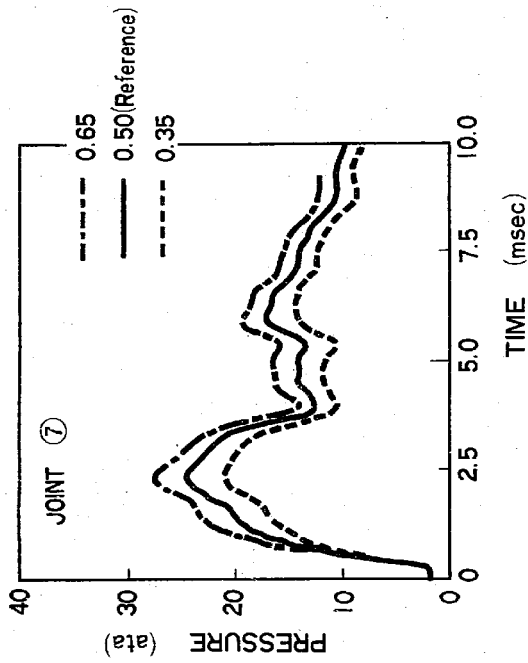


Fig. 3.10 Effect of H₂/H₂O Conversion Ratio on Pressure near Reaction Zone

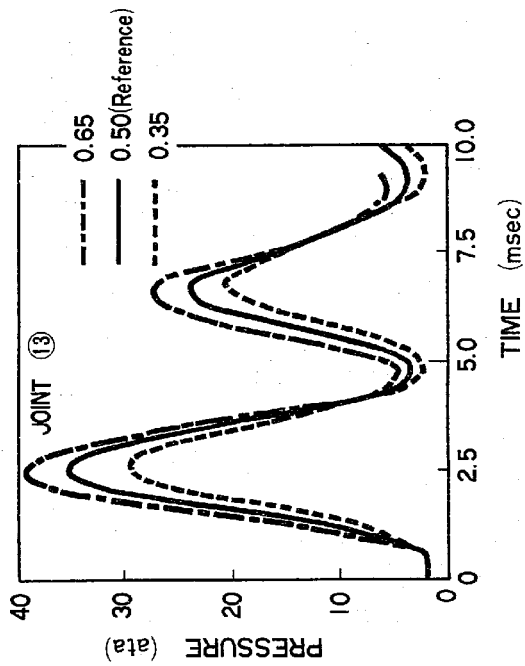
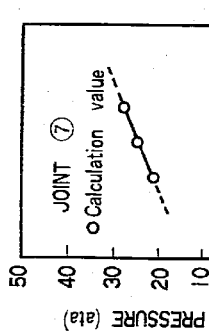
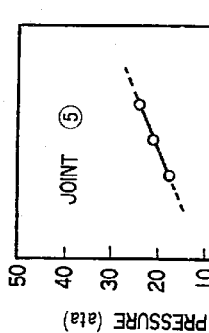


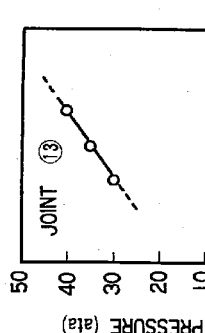
Fig. 3.11 Effect of H₂/H₂O Conversion Ratio on Pressure at Lower Plenum



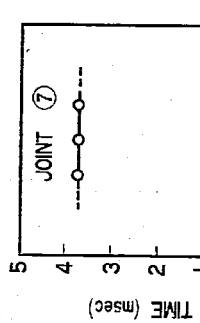
(a) Peak near Reaction Zone



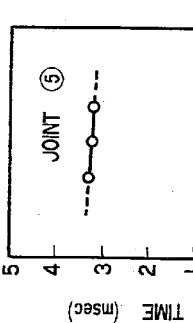
(c) Peak at Tube Bank



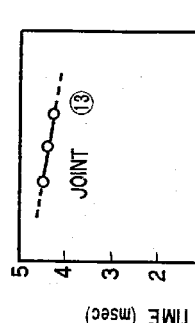
(e) Peak at Lower Plenum



(b) Duration near Reaction Zone



(d) Duration at Tube Bank



(f) Duration at Lower Plenum

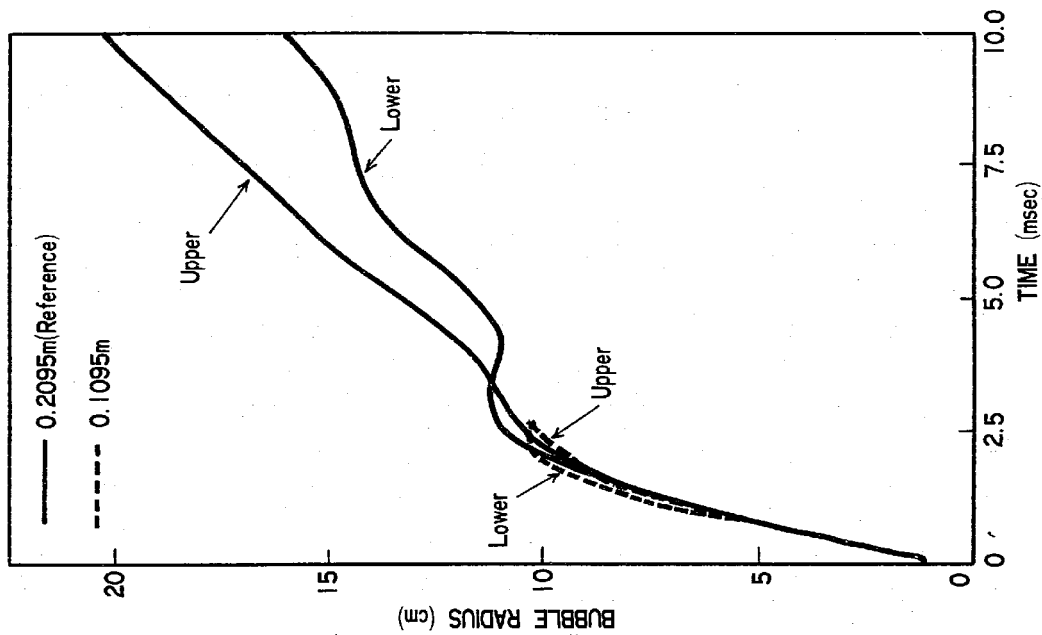


Fig 3.13 Effect of Spherical Region Radius on Bubble Growth

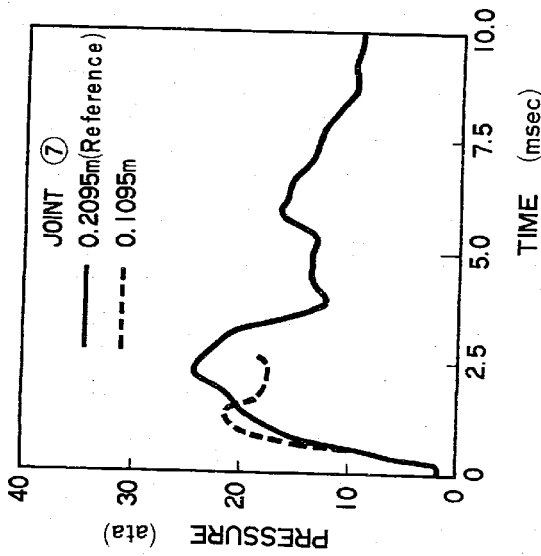


Fig. 3.14 Effect of Spherical Region Radius on Pressure near Reaction Zone

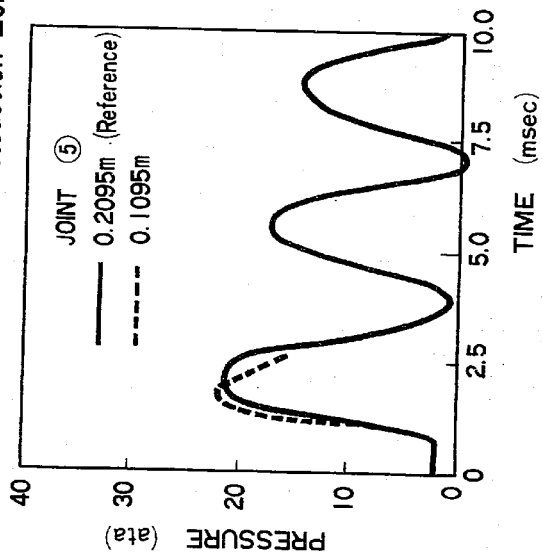


Fig. 3.15 Effect of Spherical Region Radius on Pressure at Tube Bank

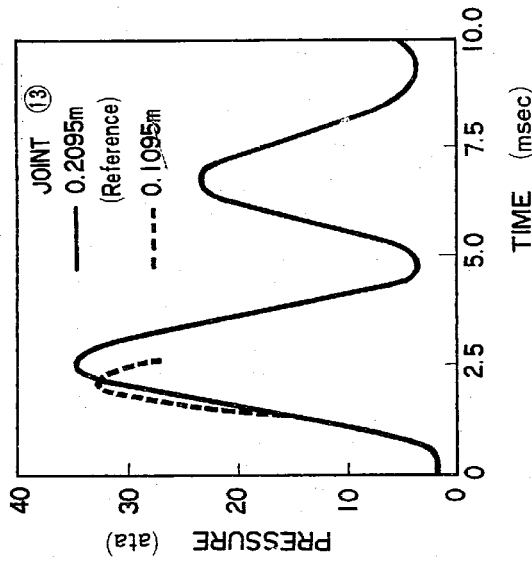


Fig. 3.16 Effect of Spherical Region Radius on Pressure at Lower Plenum

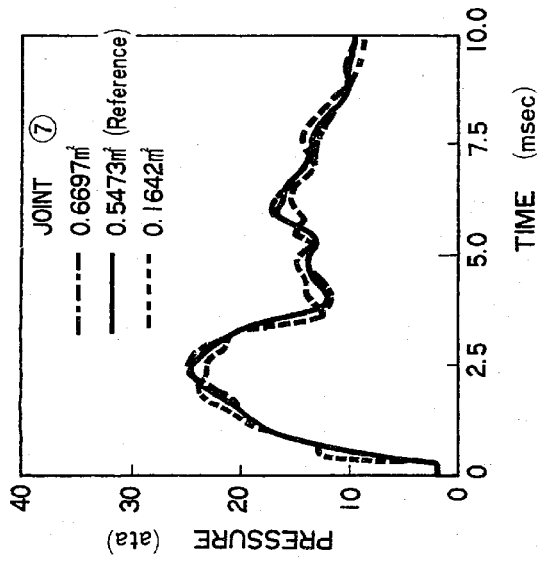


Fig. 3.17 Effect of Flow Area at Cylinder Region next to Sphere on Pressure near Reaction Zone

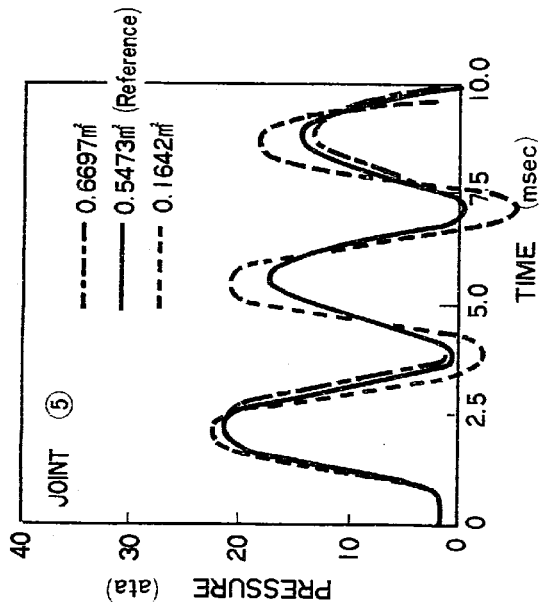


Fig. 3.18 Effect of Flow Area at Cylinder Region next to Sphere on Pressure at Tube Bank

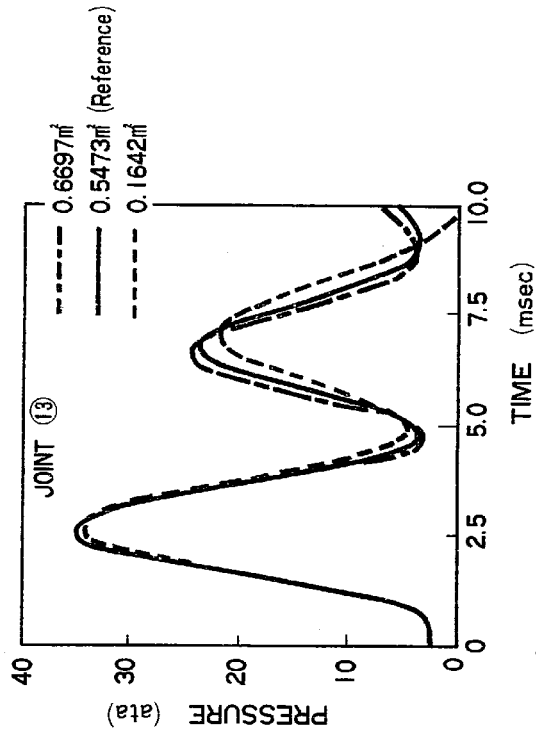


Fig. 3.19 Effect of Flow Area at Cylinder Region next to Sphere on Pressure at Lower Plenum

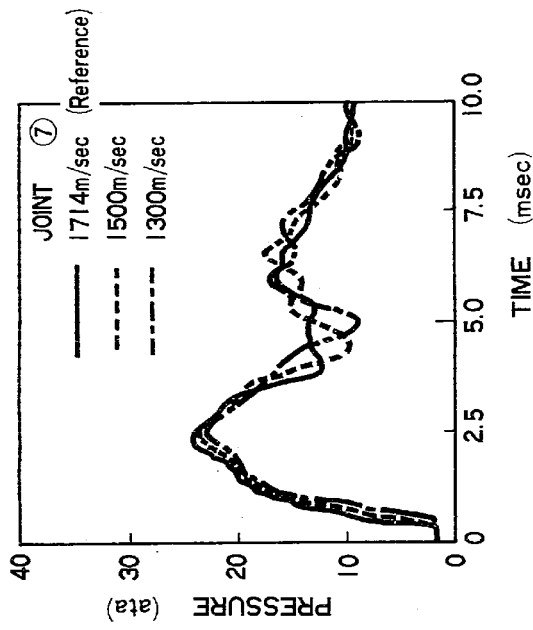


Fig. 3.20 Effect of Tube Bank Sonic Velocity on Pressure near Reaction Zone

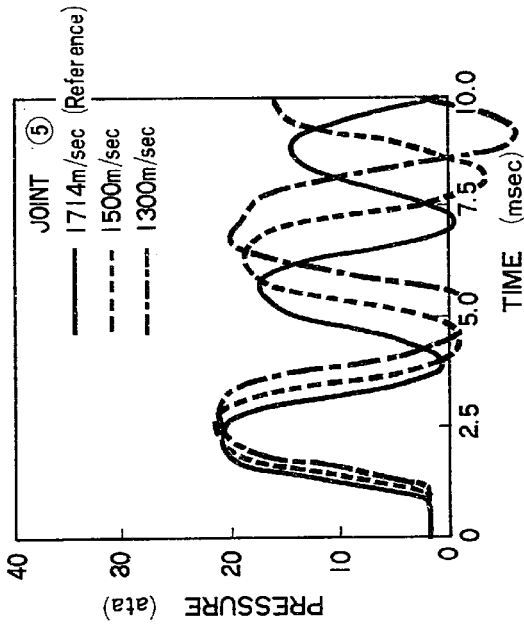


Fig. 3.21 Effect of Tube Bank Sonic Velocity on Pressure at Tube Bank

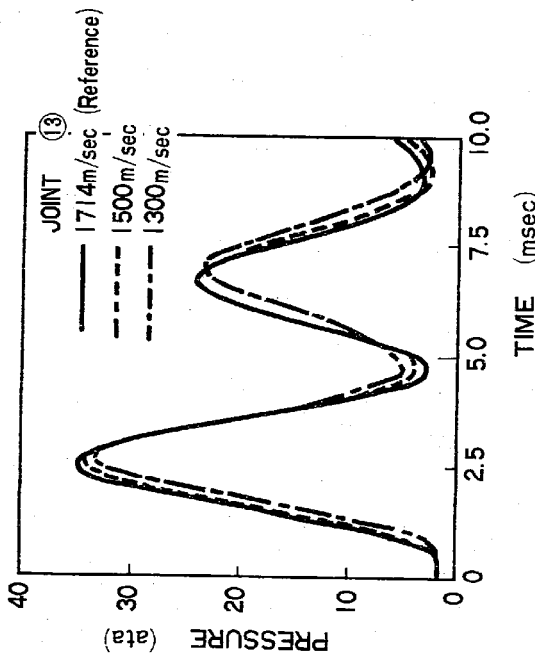
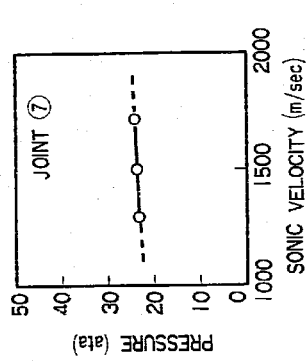
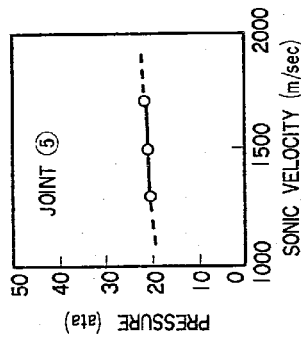


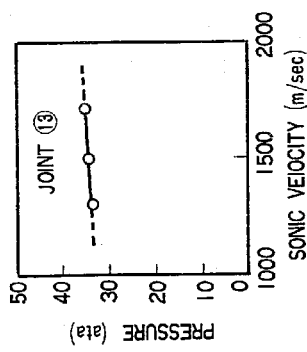
Fig. 3.22 Effect of Tube Bank Sonic Velocity on Pressure at Lower Plenum



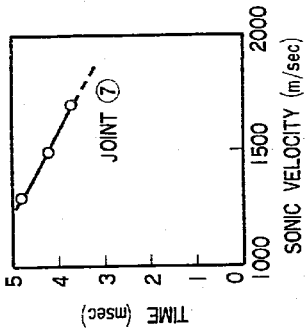
(a) Peak near Reaction Zone



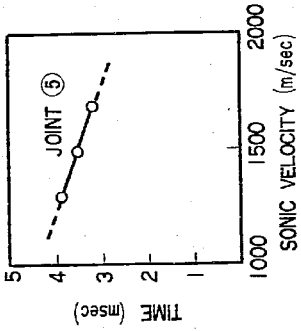
(c) Peak at Tube Bank



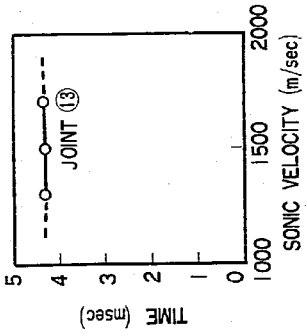
(e) Peak at Lower Plenum



(b) Duration near Reaction Zone



(d) Duration at Tube Bank



(f) Duration at Lower Plenum

Fig. 3.23 Effect of Tube Bank Sonic Velocity on Peak and Duration of Pressure Spike

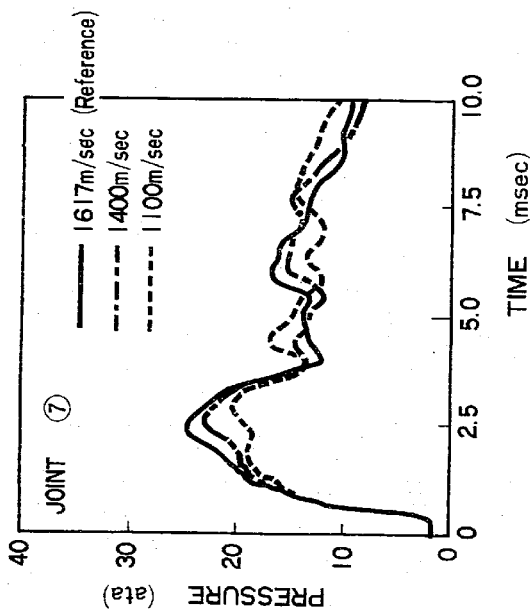


Fig. 3.24 Effect of Lower Plenum Sonic Velocity on Pressure near Reaction Zone

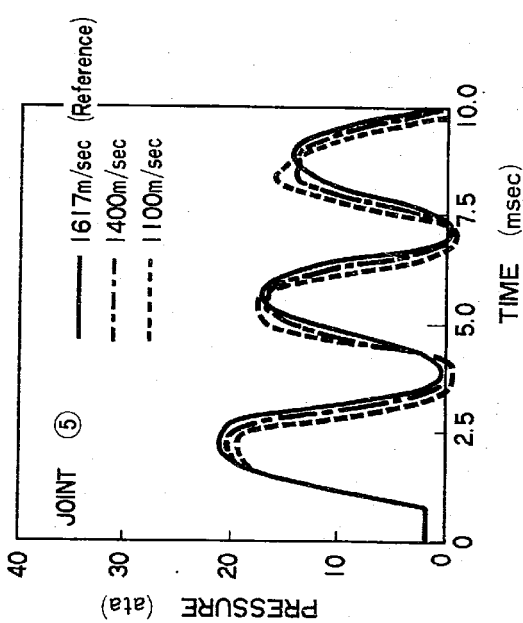


Fig. 3.25 Effect of Lower Plenum Sonic Velocity on Pressure at Tube Bank

4. 実験との比較

3章で行なったパラメータスタディの結果により、Run-3の実験値に最適なパラメータ値を選定するため実験での圧力測定値との比較計算を行なう。

4.1 計算条件

計算モデルはパラメータスタディに使用したものと同じである(2.2節参照)。

主な計算条件をTable 4.1に示す。計算条件は、まず反応点近傍の第1ピーク圧力の計算値に合わせた後に、反応点近傍と下部プレナムでのピーク幅に合わせるようにするためにパラメータスタディの結果を考慮して決めた。その結果、周期に対して最も効果の大きいコイル部および下部プレナムの音速を1200m/sに低くした他は、パラメータスタディのリファレンスケースと同じ条件となった。

4.2 計算結果

上記計算条件によって得られた結果のうち、反応容器壁に取付けられた圧力計の位置に対応するモデル上の節点での圧力計算値(Appendix Fig. A-8に Joint③,④,⑤,⑥,⑦,⑧,⑨,⑩の圧力値を示す。)と測定値とを比較する。反応点近傍の圧力(圧力計P1113),コイル中間部の圧力(P1114),下部プレナム圧力(P1111)およびコイル上部圧力(P1115)での計算値と測定値の比較をそれぞれFig 4.1, Fig 4.2, Fig 4.3およびFig 4.4に示す。水素気泡圧力, 気泡成長速度の計算結果は各々Fig 4.5, Fig 4.6に示す。

なお圧力計の受圧面は反応容器のシェル内面と同一面上にあるが, シェラウド壁に100φの孔が受圧面延長上に設けられているので圧力測定値はコイル部での圧力であると考えてよい。⁽¹⁾以下に個々の測定値との比較を考察する。

(1) 反応点近傍の圧力

圧力計P1113, P1123の位置での圧力履歴を示すFig 4.1において, 圧力計P1113は注水点近傍, P1123は注水点から周方向90°離れた位置にあり, いずれも注水点より85mm低い同一レベルにある。これらに対応する計算値として下部半球一柱境界点(節点③)での圧力値を示しているが, いずれもP1113とP1123の圧力波形とよく似ている。P1113に着目すると第1ピーク圧力で, 計算値は実験値に較べピーク値で約5%高く, ピーク幅で約1msec短い。一方, P1123は注水点から少し離れているためにP1113とは多少異なる波形となっているが, 計算値の波形とよく似ていることがわかる。第1ピーク

圧力を見ると、計算値は実験値と較べピーク値ではほぼ等しく、ピーク幅ではほぼ等しく、ピーク幅では約1 msec短い。

球一粒モデルでは周方向への圧力波伝播を評価できないことを考えれば、この結果は充分実験との一致を見ていると言える。また、パラメータスタディでの結果を参照すると、注水直後に注水率の急激な立ち上がりがないことが推論できる。したがって、計算に用いたSWAC-11モデルにより計算された水リーク率パターンに対しては、本計算で用いている計算条件 (H_2/H_0 モデル転換比等) は妥当であると推定できる。

(2) コイル中間部圧力

圧力計P1114の位置での履歴を示すFig 4.2において、第1ピーク圧力を較べると、計算値 (JOINT⑤) は実験値に較べピーク値で約5 ata高く、ピーク幅で約0.5 msec短かい。(このピーク幅を左右するパラメータはコイル部音速であるので、この計算では音速をリアレンス値の171.3 m/secから1200 m/secに落として行っている。) ピーク値で実験の方が低いことや第2ピーク圧力の減少が大きいことは、内部構造物等による圧力波の減衰効果が出ているものと考えられる。

(3) 下部プレナム圧力

圧力計P1112の位置での圧力履歴を示すFig 4.3において、第1ピーク圧力で較べると、計算値 (JOINT③) は実験値よりピーク値で約9 ata高いが、ピーク幅はほぼ一致している。(このピーク幅を左右するパラメータである下部プレナム音速をリアレンス値の1617 m/secから1200 m/secに落として計算しているためである。)

(4) コイル上部圧力

Fig 4.4はナトリウム液面近くにある圧力計P1115の位置での圧力履歴である。計算値 (JOINT⑥) は実験値より約2 ata高いが、波形全体の傾向は良く合っていると思われる。

以上に述べたごとく実験との比較計算で選定した諸条件のうち、容器壁での初期スパイク圧に強く影響するのは注水率パターンと (水素気泡温度、 H_2/H_0 モデル転換比を含む) ナトリウム中音速である。

注水率パターンについては、その値の大きさを別に考えればリアレンスとして設定したSWACSの水噴出計算モデル (SWAC-11) の計算に無理がないことが計算結果と実験

値の比較から云えよう。またパラメータスタディの結果を照合して実験値から注水直後にステップ状の大きな注水率でないことが推論できる。しかしSWAC-11の計算が背圧を無視しているので、この効果の程度を今後さらに評価する必要があるであろう。

一方ナトリウム中音速は、先に述べたようにまだ実験されておらず、計算条件としての検証ができていない。今回のRun-3との比較では、一応1200 m/secで実験との一致 (特に圧力の周期) を見たが、今後Run-4以降の実験解析によって実験と一致する音速を調べて比較するとともに内部構造物のある容器内での音速の評価法を確立する必要があるであろう。

Table 4.1 実験との比較計算の入力定数

項	目		入力定数	
初期条件	ナトリウム領域	流速	0 m/s	
		温度	398 °C	
	反応領域	水素気泡半径	9.5 mm	
		水素気泡圧力	1.766 kg/cm ²	
カバ-ガス領域	水素気泡温度	1273 °K		
	圧力	1.533kg/cm ² a		
注水条件	注水率	Fig 32のpat-tern 1参照		
境界条件	ナトリウム液面	カバ-ガス圧	1.53 kg/cm ² a	
	アレナム底部	流速	0 m/s	
反応モデル	H ₂ /H ₂ O モル転換比	0.5		
体系	形状寸法		Fig 21 参照	
	球領域半径		0.2095 m	
	ナトリウム入口および出口ノズル		無 視	
	球側部流路断面積		0.5473m ²	
	音速	コイル部		1200m/sec
		下部アレナム部		1200m/sec
		センタパイプ部		1769m/sec
	メッシュサイズ	ダウンカマ-部		859m/sec
		球領域		5 mm
		柱領域 (反応部近傍)		1.23 mm

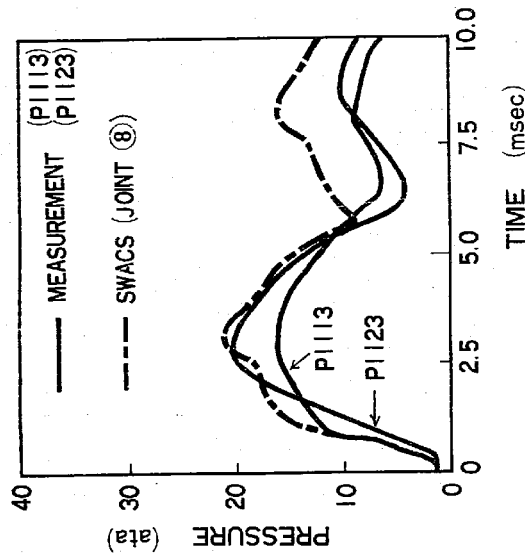


Fig. 4.1 Comparison between Measurements and Calculation Pressures near Reaction Zone

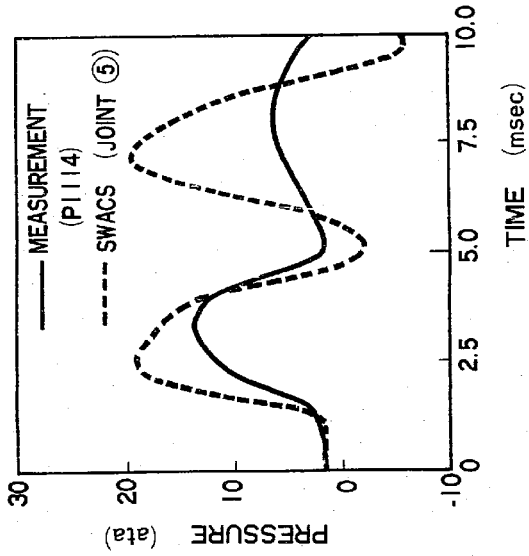


Fig. 4.2 Comparison between Measurement and Calculation Pressure at Tube Bank

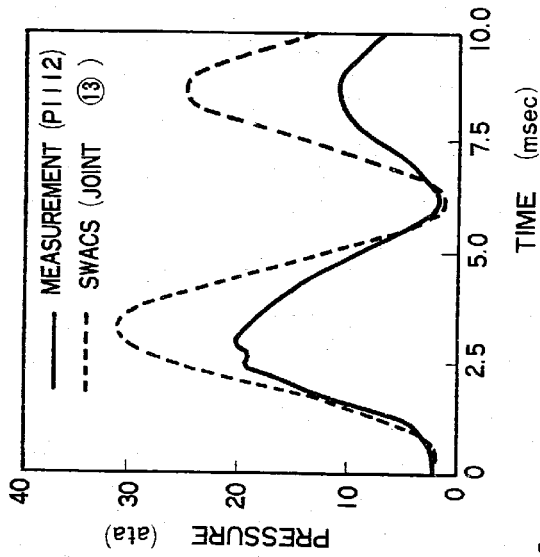


Fig. 4.3 Comparison between Measurement and Calculation Pressure at Lower Plenum

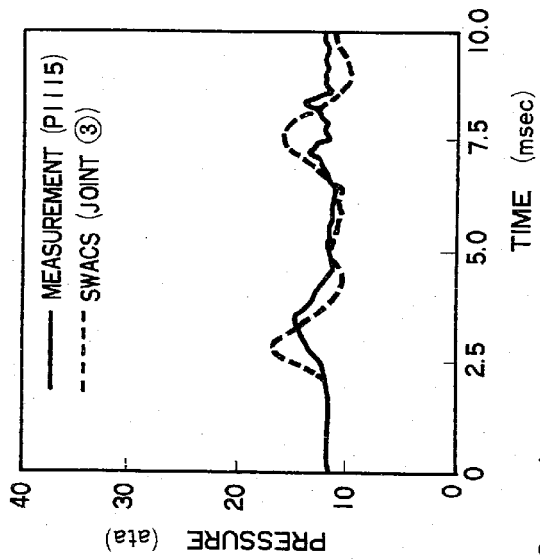


Fig. 4.4 Comparison between Measurement and Calculation Pressure below Sodium Free Surface

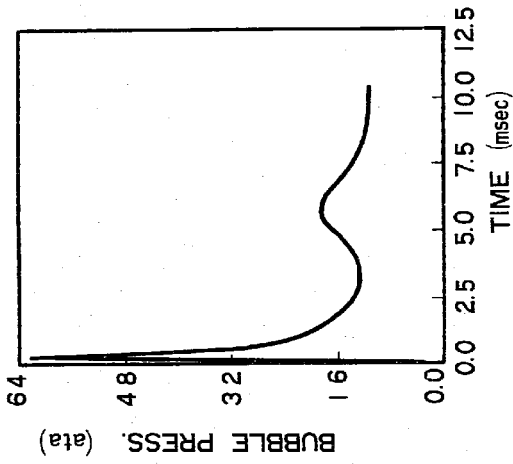


Fig. 4.5 Bubble Pressure History

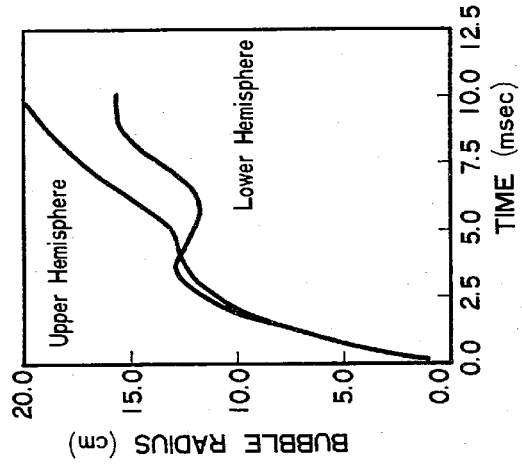


Fig. 4.6 Bubble Growth

5. ま と め

大リーク・ナトリウム-水反応解析コード・SWACCS-を用いて、SWAT-3、RUN-3の実験体系で初期スパイク圧に関する解析上のパラメータスタディを行なった。その結果、次のことがわかった。

- (a) 反応点横の圧力ピーク値は H_2/H_2O 転換比と下部プレナム流速に、周期はコイル部流速に大きく影響される。
 - (b) コイル中間部の圧力ピーク値は H_2/H_2O モル転換比に、周期はコイル部流速に大きく影響される。
 - (c) 下部プレナム部の圧力ピーク値は H_2/H_2O モル転換比に、周期は下部プレナム流速に大きく影響される。
 - (d) 初期気泡半径と球側部流路面積の解析対象点への影響は小さい。
 - (e) 注水率パターンで、注水直後の立ち上がりは初期スパイク圧形式に影響する。
- さらにこのパラメータスタディの結果をふまえ、以下に示す入力定数を用いてSWAT-3、RUN-3の実験との比較計算を行ない、次の結果を得た。

初期水素気泡半径	9.5 mm
注水率	Fig.3.2 pattern 1
H_2/H_2O モル転換比	0.5
球側部流路断面積	0.5473 m^2
コイル部流速	1200 m/s
下部プレナム部流速	1200 m/s
球領域メッシュサイズ	5 mm
柱領域メッシュサイズ	123 mm

- (a) 注水点（反応点）近傍での圧力のピーク値と周期は、実験とよく合う。
- (b) コイル部、下部プレナムでの圧力波形で、周期は一致するが、ピーク値は計算の方が高い。
- (c) コイル上部での圧力波形で、ピーク値は計算の方が高いが、波形全体の傾向は良く合っている。

実験との比較計算の結果、今後の項目の検討が必要と考える。

- (a) 背圧を考慮した注水率計算の必要性の検討
- (b) ナトリウム中流速の評価法の確立

参 考 文 献

- (1) 広井博，佐藤隆，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) -」
PNC SN941 78-93 (1978. 7)
- (2) 進藤嘉久，坂野耿介，井崎隆「大リーク・ナトリウム-水反応実験の解析研究 - 計算コード使用マニュアル -」 SJ213 76-02(1)
- (3) 三宅収，進藤嘉久，田中恒夫，佐藤隆「大リーク・ナトリウム-水反応解析コード - SWACCS 概要説明書 - 大リーク・ナトリウム-水反応解析 (第3報) -」 PNC SN952 78-05
- (4) 進藤嘉久，坂野耿介，井崎隆「大リーク・ナトリウム-水反応実験の解析研究 - SWAT-3 初期スパイク圧解析書 -」 SJ213 76-02(2)
- (5) Masao HORI, et al
「Safety Evaluation of the MONJU Steam Generator」
PNC N941 76-108 (1976 10)
- (6) Na - 水反応の安全性調査研究分科会，「ナトリウム加熱蒸気発生器の安全性と開発に関する試験研究」 SJ254 72-01 (1972年3月)
- (7) 堀雅夫，田辺裕美，吉岡直樹，SWAT試験グループ，田中恒夫，広井博，錦見正和，佐藤隆，「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 図表リスト

- Fig. A-1 Initial Spike Pressure at Vessel Shell of Run-3 Test [From Ref(1)]
- Fig. A-2 Bubble Pressure History (Reference Case)
- Fig. A-3 Bubble Growth (Reference Case)
- Fig. A-4 Pressure History (Reference Case)
- Fig. A-5 Summary of Sensitivity Study on Pressure at Reaction Zone
- Fig. A-6 Summary of Sensitivity Study on Pressure at Tube Bank
- Fig. A-7 Summary of Sensitivity Study on Pressure at Lower Plenum
- Fig. A-8 Pressure History (Final Case)
- Table A-1 初期スパイク圧計算モジュール用データの説明
- Table A-2 リファレンスケースのインプットデータ
- Table A-3 インプットデータリスト

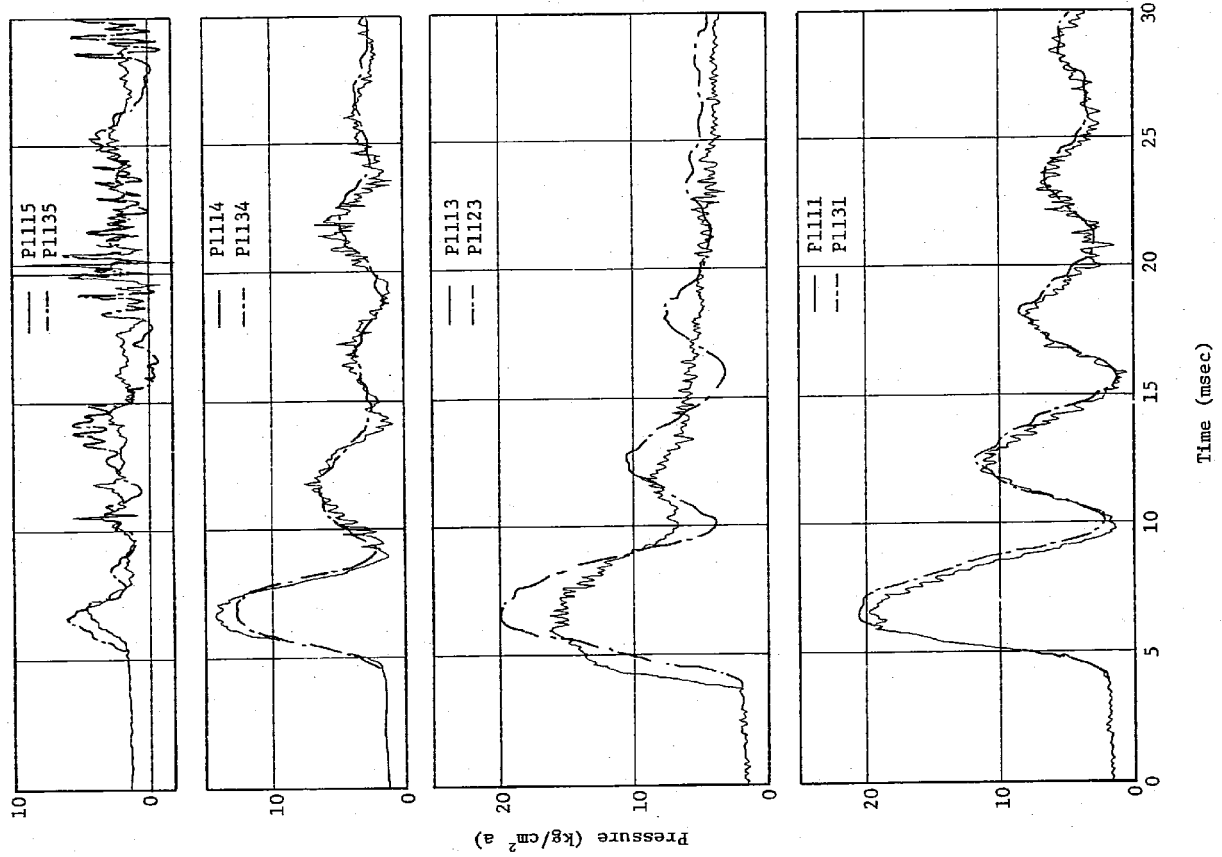


Fig. A.1 Initial Spike Pressure at Vessel Shell of Run-3 Test (From Ref (1))

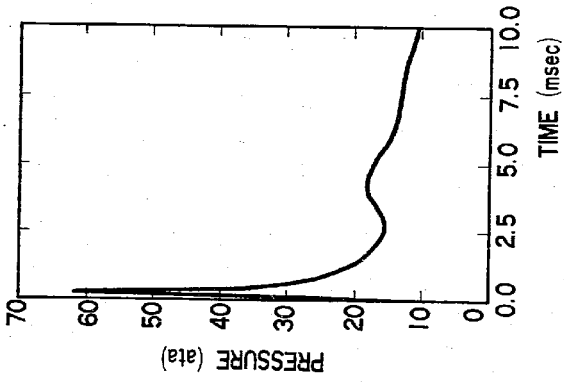


Fig. A. 2 Bubble Pressure History(Reference Case)

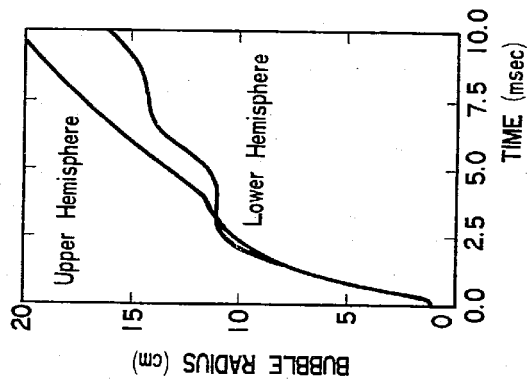


Fig. A. 3 Bubble Growth (Reference Case)

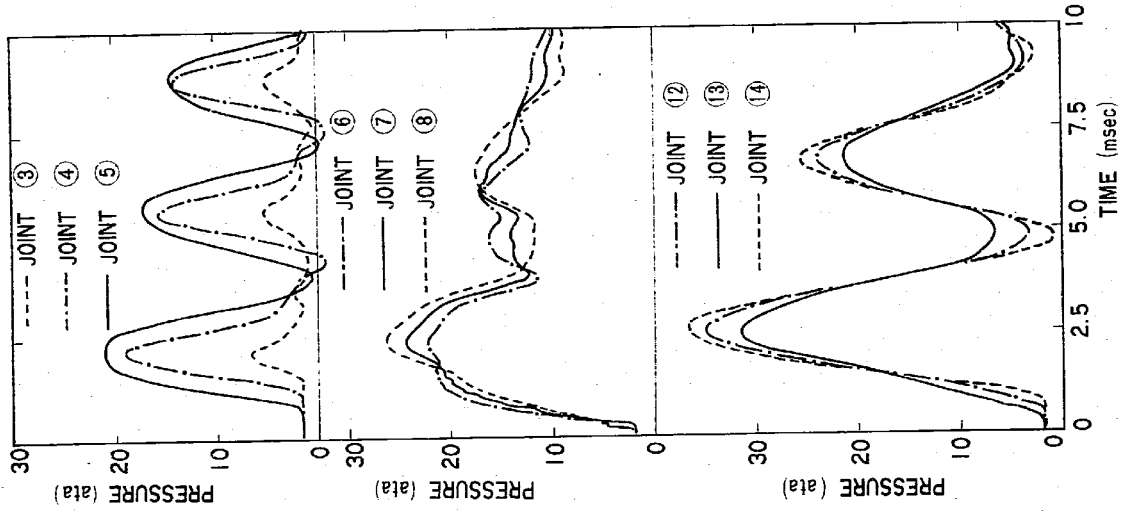
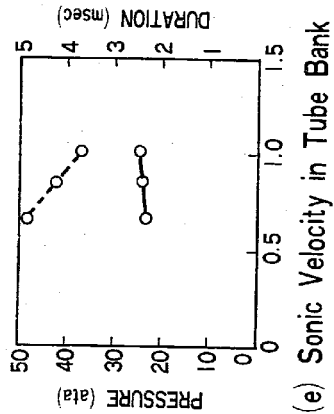
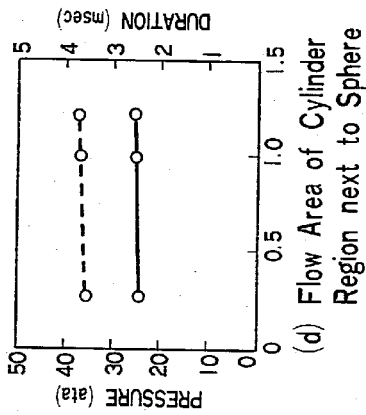
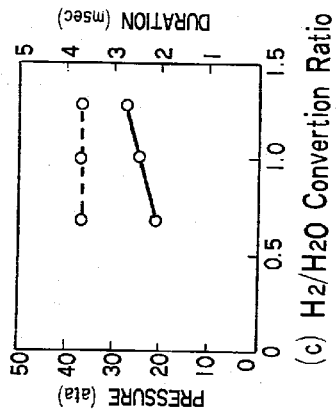
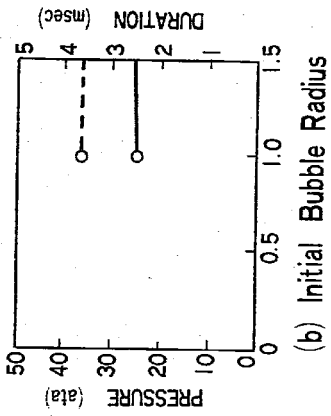
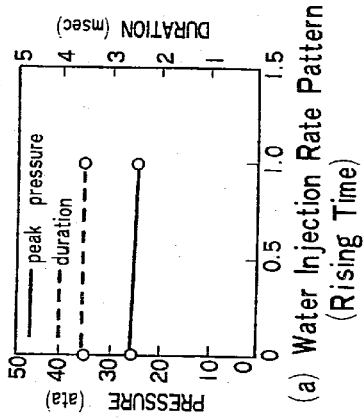
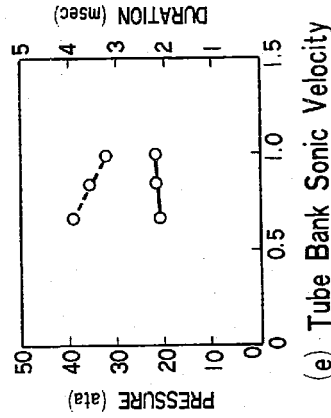
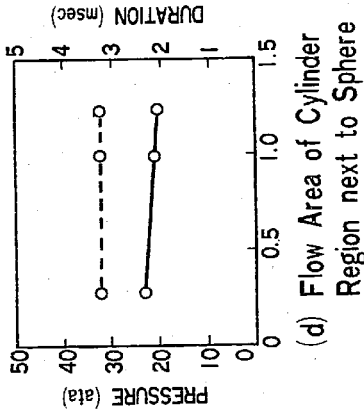
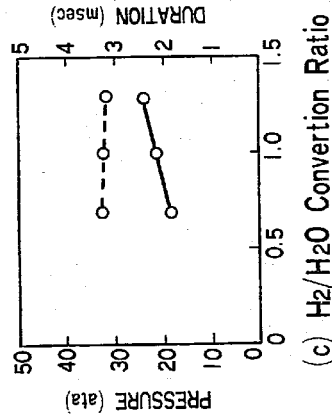
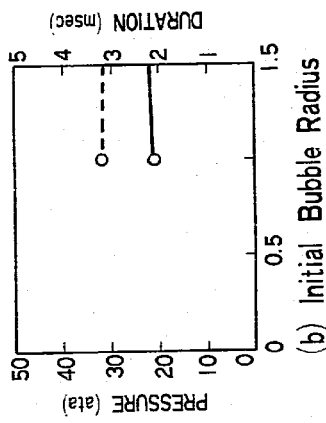
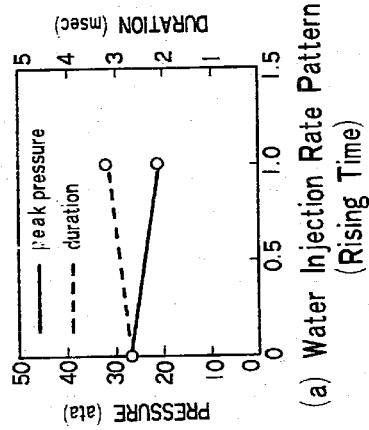


Fig. A. 4 Pressure History (Reference Case)



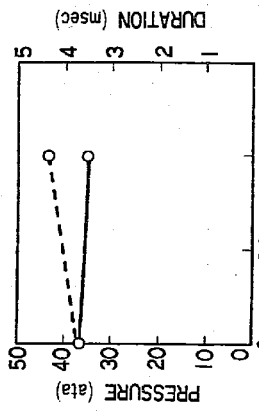
(f) Sonic Velocity in Lower Plenum

Fig. A.5 Summary of Sensitivity Study on Pressure at Reaction Zone

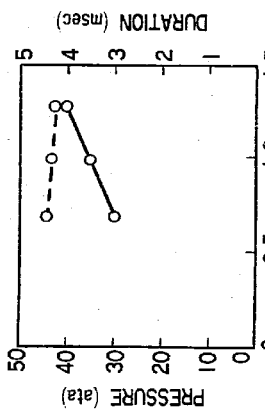


(f) Lower Plenum Sonic Velocity

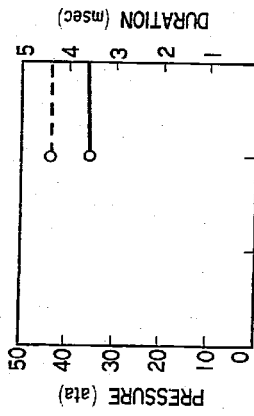
Fig. A.6 Summary of Sensitivity Study on Pressure at Tube Bank



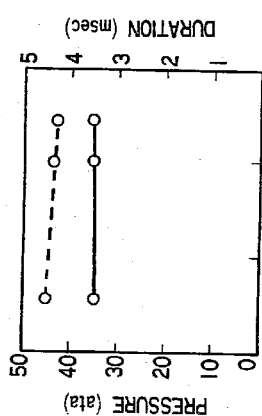
(a) Water Injection Rate Pattern (Rising Time)



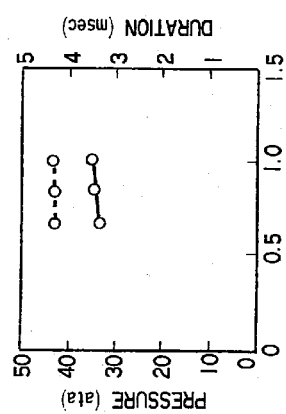
(c) H₂O Conversion Ratio



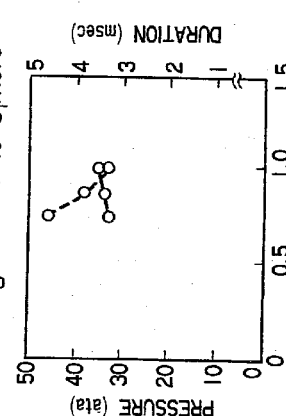
(b) Initial Bubble Radius



(d) Flow Area of Cylinder Region next to Sphere



(e) Sonic Velocity in Tube Bank



(f) Sonic Velocity in Lower Plenum

Fig. A. 7 Summary of Sensitivity Study on Pressure of Lower Plenum

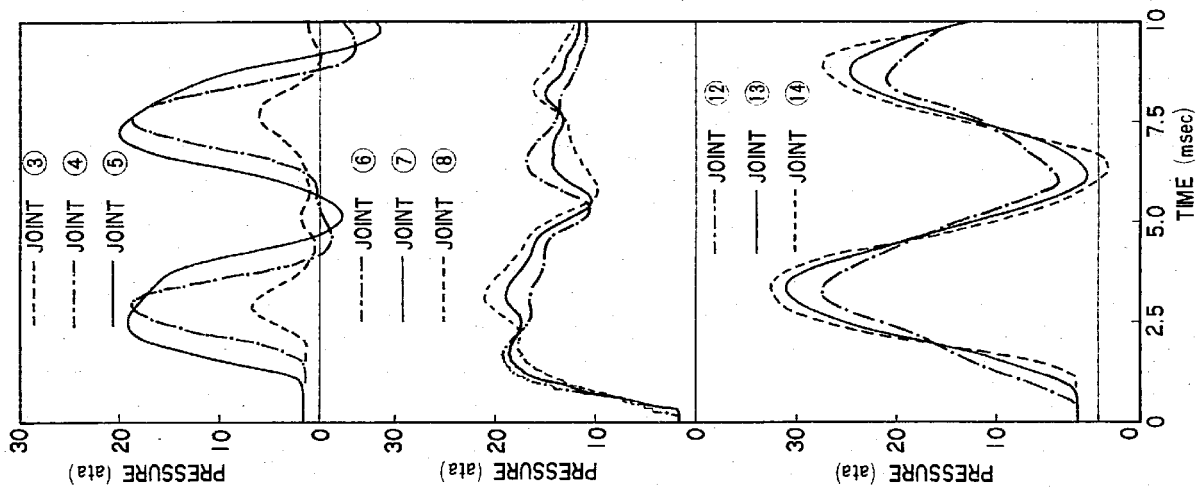


Fig. A. 8 Pressure History (Final Case)

Table A.1 初期スバイク圧計算モジュール用データの説明

I	タイトルカード	内	容	データ	備考
II	整数データ	FORMAT (20A4) FORMAT (I6, I6, I6, I6)			
	番地 記号	内	容	データ	備考
	1 NS	セクション数	≤ 20	5	
	2 NR (i=1, 20)	各セクション内部材数 (2 NS(i) ≤ 50)		→	Fig.25
	22 JS (i=1, 20)	各セクション両端の接合点番号 (4~6桁)		→	
	42 JN (i=1, 50)	各部材両端の接合点番号 (4~6桁) (セクションの1から順に座標軸方向に入力)		→	Table A.2
	92 NN (i=1, 50)	各部材分割数 (JN(i)と同順)	≤ 99	→	
	144 MT	サージタンク個数	≤ 5		不要
	145 MR	ラプチャーディスク個数 (液中) ≤ 10			
	146 JT (i=1, 5)	サージタンク接合点番号			
	151 JR (i=1, 10)	ラプチャーディスク接合点番号 (液中)			
	164 JB (i=1, 10)	1分岐境界接合点番号 (かならずセクションの端である事)		→	注1 参照
	175 NOUT (i=1, 2)	= 0 (NO) = 1 (Yes) NOUT(1) : P, Vを各点毎に出力 NOUT(2) : 各部材両端及び部材内最高圧 力点のP, Vを出力		0 1	
	187 JBNO	1分岐境界 (L DATA (164) ~ (173) の個数)		3	
	201 MFS	自由液面の個数	≤ 10	1	
	202 JFS (i=1~10)	自由液面接合点番号		1	
	212 MRFS	自由液面に設置したR/Dの個数 (MFS=MRFS)		1	
	213 JRFSS (i=1~10)	自由空間に設置したR/Dの自由液面接合点番号		1	

II	番地	記号	名	内	容	データ	備考
	231	NORIF		オリフィスの個数	≤ 5		不要
	232	JORIF (i=1,5)		オリフィスの接合点番号			
	237	NPWV		圧力波発生点数	≤ 2		
	238	JPWV (i=1,2)		圧力波発生接合点番号			
	240	NPTM		圧力波入力時の時間ステップ	< 50		
	250	I OPT57		球モデル計算をする。 = 1 しない。 = 0		1	
	261	JNH		球モデル中心に対応する接合点番号		7	Fig.25
	262	JJSP		球領域に対応する柱領域部材両端接合点番号		6008	
	263	NNSP		球領域分割数 (半径方向)		40	
	264	NNIW		注水率変化を与えるデータの数 (LEDECと連動計算、テープから入力の 場合は0)		31	
I	整数形データ入力終了データ			FORMAT (プランクカード)			Table A.2
IV	実数データ			FORMAT (I6, I6, 5E125)			
	番地	記号	内	容	単位		
	1	XL (i=1, 50)		各部材長さ	m	→	
	51	CC (i=1, 50)		各部材音速	m/sec	→	
	101	AA (i=1, 50)		各部流路面積	m ²	→	
	151	DB (i=1, 50)		各部材等価直径	m	→	
	202	GAM		流体比重値	kg/m ³	858.61	
	203	UU		流体の動粘性係数	m ² /s	3.3129×10 ⁻⁷	
	204	SR (i=1, 10)		ラプチャーディスク断面積	m ²		
	214	ZR (i=1, 10)		ラプチャーディスク圧損係数	-		
	224	ST (i=1, 5)		サージタンク断面積	m ²		
	229	SST (i=1, 5)		サージタンク入口配管断面積	m ²		
	239	PR (i=1, 10)		ラプチャーディスク設定圧	kg/cm ² a		

注2 参照

IV 番地	記号	内容	単位	データ	備考
249	HRO	開放系背圧	m		不要
250	PT (i=1, 5)	サージタンク内水位 (接合点1からの高さ)	m		
255	C1	摩擦係数パラメータ $f=C1 Re^2$ (0.3164)	-	0.3164	
256	C2	摩擦係数パラメータ $f=C1 Re^2$ (-0.25)	-	-0.25	
257	ZN (i=1, 50)	各部分形状圧損係数	-	0.0	
307	H1 (i=1, 50)	各接合点の高さ (自由液面高さを基準点=0とする)	m	→	Table A, 2
358	PG	カバ-ガス圧	Kg/cm ²	1533×10 ⁴	
359	BJ (i=1, 10)	1分較境界条件 1.64番JBが負(-P=CONST) 1.64番JBが正(+V=CONST)	mNa m/sec	→ →	注3参照
391	HFS (i=1, 10)	自由液面上の自由空間高さ	m	1.5	
401	AKAPA	上記自由空間の比熱比	-	1.66	
402	PRFS (i=1, 10)	上記自由空間に設置したR/Dの設 定圧力	Kg/cm ² a	1000	
412	ZFS	自由空間から放出系までの圧損係数	-		
421	AORI (i=1, 5)	流路のオリフィス係数	-		
426	STIME (i=1, 50)	入力圧力波の時間目盛 STIME(i)=0	sec		不要
476	PWAVE (i=1, 50)	圧力波発生面1の入力圧力波	Kg/cm ² a		
526	PWAVE (i=51, 100)	圧力波発生面2の入力圧力波	Kg/cm ² a		
601	FBB	1モルの水から発生するH ₂ のモ ル数	-	0.5	
602	XR	球モデルの等価半径	m	0.2095	
603	BPI	気泡の初期圧力	Kg/cm ² a	1.76616	
604	VT	気泡温度	°K	1273.0	

IV 番地	記号	内容	単位	データ	備考
605	BRI	気泡初期半径	m	9.50×10 ⁻³	
606	RTRI	タイムメッシュを決めるパラメー タ $\Delta t = \Delta XR / CC / RTRI$ (RTRI ≥ 1.0)	-	1.0	
607	GGG	重力加速度	m/sec ²	9.8	
610	CCC	共振感音速	m/s	1713.6	
611	TIME (i=1, 100)	注水率テ-プルの用時間 (NNIW個)	sec	→	Table A2
711	TEMPO (i=1, 100)	TIMEに対応する注水率	Kg/sec	→	
V	実数形データ入力終了データ		FORMAT (ブランクカード)		

注1

番地	1.64	1.65	1.66
データ	1.4	-1.8	-2.4

注2 カバ-ガス部は1分較境界 (圧力一定) として取っておりR/D設定圧のインプットは不要である。

注3

番地	3.59	3.60	3.61
データ	0.0	178544	178544

P=CONSTの場合に圧力はmNaである。

Table A.2 リファレンスケースのインプットデータ

部材No	接合点の高さ m	接合点番号		要素名	長さ m	水力学的等価直径 m	流路面積 m ²	音速 m/s	メッシュサイズ cm	備考	
		左	右							分割数	
1	0.0	1*	2	コイル	0.1	8.164×10^{-1}	9.795×10^{-1}	1055.1	0.3	12	* 自由液面接合点No./D取付No
2	-0.1	2	3	"	0.1	"	6.31722×10^{-1}	1713.6	1.25	8	
3	-0.2	3	4	"	0.7	"	"	"	1.25	56	
4	-0.9	4	5	"	0.7	"	"	"	1.25	56	
5	-1.6	5	6	"	1.0905	"	"	"	1.23	88	
6	-2.6905	6	7	球モデル横	0.2095	"	5.47319×10^{-1}	"	1.23	17	* 球領域の柱部材No
7	-2.90	7**	8	"	0.2095	"	"	"	1.23	17	* 球モデルの中心の接合点No
8	-3.1095	8	9	コイル	0.1905	"	9.795×10^{-1}	"	1.19	16	
9	-3.3	9	10	"	0.075	"	"	"	1.25	6	
10	-3.375	10	11	下部プレナムとセンターパイプ	0.05	9.444×10^{-1}	1.228	1555.0	1.25	4	
11	-3.425	11	12	下部プレナム	0.025	1.3	1.3273	1616.7	1.25	2	
12	-3.45	12	13	"	0.35	"	"	1616.7	1.66	21	
13	-4.309 -3.8	13	14*	"	0.509	"	"	1616.7	1.64	31	* 1分岐点No
14	-3.0 -3.425	11	15	センターパイプ	0.425	0.3334	8.73×10^{-2}	1768.6	1.25	34	
15	-3.0	15	16	センターパイプ	1.4	0.3334	8.73×10^{-2}	1768.6	1.55	90	

Table A.2 リファレンスケースのインプットデータ

部機No	接合点の高さ m	接合点番号		要素名	長さ m	水力学的等価直径 m	流路面積 m ²	音速 m/s	メッシュサイズ cm	備考	
		左	右							分割数	
16	-1.6	16	17	センターパイプ	1.4	0.3334	8.73×10^{-2}	1768.6	1.55	90	
17	-0.2	17	18*	"	0.2	"	"	"	1.53	13	* 1分岐点No
18	-3.375	10	19	ダウンカマ	0.375	0.11	2.1512×10^{-1}	859.1	0.625	60	
19	-3.0	19	20	"	0.7	"	"	"	0.777	90	
20	-2.3	20	21	"	0.7	"	"	"	0.777	90	
21	-1.6	21	22	"	0.7	"	"	"	0.777	90	
22	-0.9	22	23	"	0.7	"	"	"	0.777	90	
23	-0.2	23	24*	"	0.2	"	"	"	0.869	23	* 1分岐点No

球領域のインプットデータ

等価半径 0.2095 m

初期気泡半径 0.0095 m

分割数 40

メッシュサイズ 0.005 m

Table A. 2 リファレンスケースのインプットデータ

データ内容			備考	データ内容			備考	データ内容	
データ	単位	数値		データ	単位	数値		データ (単位)	データ (単位)
Naの比重量	kg/m ³	858.61		1モルの水から発生するH ₂ のモル数	-	0.50	パラメータスタディ	時刻 [Sec × 10 ⁻³]	注水率 (kg/s)
Naの動粘性係数	m ² /s	3.3129 × 10 ⁻⁷		球モデルの等価半径	m	0.2095	パラメータスタディ	0.0	0.0
摩擦係数パラメータ C1 f=C ₁ Re C ₂	-	0.3164		球領域の音速	m/s	1713.6		0.5	11.0
摩擦係数パラメータ C2 f=C ₁ Re C ₂	-	-0.25		気泡の初期圧力	kg/cm ² a	1.76616	注水前のNa圧力	1.0	17.5
カバーストラス	kg/m ² a	15330.		気泡温度	°K	1273.		1.25	18.0
1分岐境界条件 (流速一定)	m/s	0.0	節点 ⑭	気泡初期半径	m	9.50 × 10 ⁻³	パラメータスタディ	1.5	17.5
(圧力一定)	m	17.8544	" ⑰	タイムメッシュパラメータ (RIRI)	-	1.0		2.0	15.0
(")	m	17.8544	" ⑳	重力加速度	m/s ²	9.8		2.5	12.0
								3.0	10.0
自由液面上の自由空間長さ	m	1.5						3.5	9.0
自由空間ガスの比熱比	-	1.66						4.0	9.6
上記空間に設置のR/D設定圧力	kg/cm ² a	1000.	R/Dを破断させないための任意値					4.5	11.0
								5.0	12.4
								5.5	13.6
								6.0	14.0
								6.5	13.3
								7.0	12.3
								7.5	11.5
								8.0	10.8
								8.5	10.6
								9.0	10.8
								9.5	11.0
								10.0	11.5
								10.5	11.9
								11.0	12.0
								11.5	11.8
								12.0	11.5
								12.5	11.0
								13.0	10.6
								13.5	10.5
								14.0	10.5
								100	10.5

- 62 -

Table A.3 インプットデータリスト

** SWAT-3 ANALYSIS FOR RUN-3 TEST CASE-SW03,07,C,01R							JUN,22,1978				
1	10	0	1	0	0	0	10000	0	0		
21	5	50	50	50	1000	2000					
36	7	1	0	0	0	1	0	0			
51	8	0	0	15	0	0	0	1	1		
3	1		0.015								
SWAT-3 ISP CASE-SW03,07,C,01R							JUN,22,1978				
1	6	5	9	1	3	4	6				
22	5	1010	10011	11014	11018	10024					
42	10	1002	2003	3004	4005	5006	6007	7008	8009	9010	10011
52	10	11012	12013	13014	11015	15016	16017	17018	10019	19020	20021
62	3	21022	22023	23024							
92	10	12	8	56	56	88	17	17	16	6	4
102	10	2	21	31	34	90	90	13	60	90	90
112	3	90	90	23							
164	3	14	-18	-24							
175	2	0	1								
187	1	3									
201	2	1	1								
212	2	1	1								
250	1	1									
261	4	7	6008	40	31						
1	5	0.1		0.1		0.7		0.7		1.0905	
6	5	0.2095		0.2095		0.1905		0.075		0.05	
11	5	0.025		0.35		0.509		0.425		0.4	
16	5	1.4		0.2		0.375		0.7		0.7	
21	3	0.7		0.7		0.2					
51	5	1055.1		1713.6		1713.6		1713.6		1713.6	
56	5	1713.6		1713.6		1713.6		1713.6		1555.0	
61	5	1616.7		1616.7		1616.7		1768.6		1768.6	
66	5	1768.6		1768.6		859.12		869.12		859.12	
71	3	859.12		859.12		859.12					
101	5	0.9795		0.63172		0.63172		0.63172		0.63172	
106	5	0.6074		0.6074		0.9795		0.9795		1.228	

- 63 -

111	5	1.3273	1.3273	1.3273	0.0873	0.0873
116	5	0.0873	0.0873	0.21512	0.21512	0.21512
121	3	0.21512	0.21512	0.21512		
151	5	0.8164	0.8164	0.8164	0.8164	0.8164
156	5	0.8164	0.8164	0.8164	0.8164	0.9444
161	5	1.3	1.3	1.3	0.3334	0.3334
166	5	0.3334	0.3334	0.11	0.11	0.11
171	3	0.11	0.11	0.11		
202	2	858.61	3.3129	-7		
249	1	13.0				
255	2	0.3164	-0.25			
307	5	0.0	-0.1	-0.2	-0.9	-1.6
312	5	-2.6905	-2.9	-3.1095	-3.3	-3.375
317	5	-3.525	-3.45	-3.8	-4.309	-3.0
322	5	-1.6	-0.2	0.0	-3.0	-2.3
327	4	-1.6	-0.9	-0.2	0.0	
358	4	153330.	0.0	17.85444	17.85444	
391	1	1.5				
401	2	1.66	1000.			
601	5	0.50000	0.2095	1.7661691	1000.	9.50000E-03
606	2	1.0	9.8			
610	1	1713.6				
611	5	0.00000	0.50000E-03	1.00000E-03	1.25000E-03	1.50000E-03
616	5	2.00000E-03	2.50000E-03	3.00000E-03	3.50000E-03	4.00000E-03
621	5	4.50000E-03	5.00000E-03	5.50000E-03	6.00000E-03	6.50000E-03
626	5	7.00000E-03	7.50000E-03	8.00000E-03	8.50000E-03	9.00000E-03
631	5	9.50000E-03	1.00000E-02	1.05000E-02	1.10000E-02	1.15000E-02
636	5	1.20000E-02	1.25000E-02	1.30000E-02	1.35000E-02	1.40000E-02
641	1	0.10000E-00				
711	5	0.0	11.0	17.5	18.0	17.5
716	5	15.0	12.0	10.0	9.8	9.6
721	5	11.0	12.4	13.6	14.0	13.3
726	5	12.3	11.5	10.8	10.6	10.8
731	5	11.0	11.5	11.9	12.0	11.8
736	5	11.5	11.0	10.6	10.5	10.5
741	1	10.5				