PNC ZN941 85−53

配布限定

区分変更	
変更後資料番号	~~PNC~~
決裁年月日	平成10年3月26日

大リーク・ナトリウム-水反応時の準定常時温度解析
(SWAC-13EによるSWAT-3 Run-4,5,6,7の実験解析)
—大リーク・ナトリウム-水反応解析（第14報）—

図書室
No.
60.6.13

1985年3月

技術資料コード

開示区分	レポートNo.
S	N941 85-53

この資料は 図書室保存資料です
閲覧には技術資料閲覧票が必要です

動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

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

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

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

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

登録区分
'98. 3. 26
変更表示

配布限定
PNC ZN941 85-53
1985年3月

大リーク・ナトリウム－水反応時の準定常時温度解析

（SWAC－13EによるSWAT－3 Run－4,5,6,7の実験解析）

－大リーク・ナトリウム－水反応解析（14報）－

田辺 裕美* 加藤木洋一* 黒羽 光男*
岡部 綾夫** 吉岡 直樹*** 大音 明洋****
藤又 和博*****

要　　旨

高速増殖炉の蒸気発生器での大リーク・ナトリウム－水反応事故解析のための準定常温度計算コードSWAC－13Eが開発された。本コードは，大リーク・ナトリウム解析総合コードSWACS の準定常圧力計算モジュールSWAC－13にエネルギ保存式を組み込み大リーク時の温度評価も行なえるように改良したものである。

本報告書は，蒸気発生器安全性総合試験装置（SWAT－3）での大リーク試験データを用いて行なったSWAC－13Eの検証計算結果についてまとめたものである。

本検証作業で用いた主な解析パラメータは，i）相対速度計算モデル，ii）気泡／液滴密度，iii）注水ノード分割数，及びiv）反応熱である。これらの解析パラメータの適切な選択によって，SWAT－3試験結果を保守的に評価できる事が明らかとなった。

* 大洗工学センター高速炉安全工学部プラント安全工学室
** 高速炉エンジニアリング（嘱　託）
*** 三菱原子力工業（同　上）
**** 東　芝（同　上）
***** 日立製作所（同　上）

登録区分
98. 3. 26
変更表示

NOT FOR PUBLICATION
PNC ZN941 85-53
Mar. 1985

Long-Term Thermo-Hydraulic Analysis in Large-Scale Sodium-Water Reaction (Analysis of SWAT-3 Runs 4, 5, 6, and 7 by SWAC-13E)

- Large-Scale Sodium-Water Reaction Analysis (Report No. 14) -

Hiromi Tanabe*, Yoichi Katogi*,
Mitsuo Kuroha*, Ayao Okabe**,
Naoki Yoshioka***, Akihiro Ohto****, and
Kazuhiro Fujimata*****

Abstract

SWAC13E is a one-dimensional thermo-hydraulic computer program to analyze large scale sodium-water reaction accidents in an LMFBR steam generator. The code is the advanced version of SWAC13, the long-term hydraulic analysis module of SWACS; the energy conservation is taken into consideration in the new version to add the function to analyze the temperature behavior of the reaction.

The present document covers the validation study of the code by using the large leak data of the Steam Generator Safety Test Facility (SWAT-3). The analytical parameters are as follows:

1) Model of relative velocity
2) Void/droplet density
3) The number of nodes where water leaks
4) Reaction heat

It is concluded that the code can analyze the phenomena with a reasonable conservatism by choosing the proper value of the parameters.

* Plant Safety Section, FBR Engineering Division,
** FBR Engineering Co., Ltd.
*** Mitsubishi Atomic Power Industories, Ltd.
**** Toshiba, Ltd.
***** Hitachi, Ltd.

目　　次

1.0 はじめに …… 1
2.0 SWAT－3実験と計算コードの概要 …… 2
2.1 実験装置と実験概要 …… 2
2.2 計算コードの概要 …… 7
3.0 実験検証 …… 10
3.1 Run－4の実験解析 …… 11
3.2 Run－5の実験解析 …… 15
3.3 Run－6の実験解析 …… 21
3.4 Run－7の実験解析 …… 25
4.0 実験検証のまとめ …… 29
4.1 概　論 …… 29
4.2 主要解析パラメータの選択 …… 29
4.3 今後の課題 …… 32
5.0 おわりに …… 33
参考文献 …… 34
Appendix A コードの修正 …… 108
Appendix B インプット・データ・リスト …… 111

図　リ　ス　ト

図2.1−1　SWAT−3試験装置
Layout of SWAT−3 Test Facility ····· 35
図2.1−2　Run−5試験体組立図
Evaporator (Run 5) ····· 36
図2.1−3　Secondary Loop Circuit in SWAT−3 ····· 37
図2.1−4　模擬加熱器組立図
Superheater ····· 38
図2.1−5　中間熱交換器
IHX ····· 39
図2.1−6　Instrumentations in Pressure Relief Line ····· 40
図2.1−7　放出系収納容器組立図
Reaction Rroduct Tank ····· 41
図3.1−1　SWAT−3, Run−4実験解析モデル
Network Model for SWAT−3 Run−4 Analysis ····· 42
図3.1−2　気液相対速度の気泡／液滴控力係数の依存性(リンク27)−Hirtのモデル
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Drag Coefficient
on Relative Velocity (Link 27)−Hirt's Model ····· 43
図3.1−3　水素ガス温度の気泡／液滴抗力係数の依存性(ノード23)−Hirtのモデル
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Drag Coefficient
on Hydrogen Temperature (Node 23)−Hirt's Model ····· 43
図3.1−4　水素ガス温度の気泡／液滴密度の依存性(ノード7)−Hirtのモデル
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Hydrogen
Temperature (Node 7)−Hirt's Model ····· 44
図3.1−5　水素ガス温度の気泡／液滴密度の依存性(ノード13)−Hirtのモデル
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Hydrogen
Temperature (Node 13)−Hirt's Model ····· 44
図3.1−6　水素ガス温度の気泡／液滴密度の依存性(ノード23)−Hirtのモデル
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Hydrogen
Temperature (Node 23)−Hirt's Model ····· 45
図3.1−7　水素ガス温度の気泡／液滴密度の依存性(ノード7)−Zuberのモデル
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Hydrogen
Temperature (Node 7)−Zuber's Model ····· 45

図3.1－8 水素ガス温度の気泡／液滴密度の依存性(ノード13)－Zuberのモデル
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Hydrogen Temperature (Node 13)－Zuber's Model ····· 46
図3.1－9 水素ガス温度の気泡／液滴密度の依存性(ノード23)－Zuberのモデル
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Hydrogen Temperature (Node 23)－Zuber's Model ····· 46
図3.1－10 蒸発器カバーガス部圧力
Sensitivity Study of Reaction Heat on Evaprorator Cover Gas Pressure ····· 47
図3.1－11 蒸発器カバーガス部圧力
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Evapnrator Cover Gas Pressure ····· 47
図3.1－12 蒸発器カバーガス部水素ガス温度
Sensitivity Study of Reaction Heat on Hydrogen Temperature of EV Cover Gas ····· 48
図3.1－13 蒸発器カバーガス部水素ガス温度
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Hydrogen Temperature of EV Cover Gas ····· 48
図3.1－14 蒸発器カバーガス部ナトリウム温度
Sensitivity Study of Reaction Heat on Sodium Temperature of EV Cover Gas ····· 49
図3.1－15 蒸発器カバーガス部ナトリウム温度
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Sodium Temperature of EV Cover Gas ····· 49
図3.1－16 放出系配管水素ガス温度
Sensitivity Study of Reaction Heat on Hydrogen Temperature of Pressure Relief Line ····· 50
図3.1－17 放出系配管水素ガス温度
Sensitivity Study of Bbble／Droplet Density on Hydrogen Temperature of Pressure Relief Line ····· 50
図3.1－18 放出系配管ナトリウム温度
Sensitivity Study of Reaction Heat on Sodium Temperature of Pressure Relief Line ····· 51

図3.1－19 放出系配管ナトリウム温度
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Sodium Temperature of Evaporator Cover Gas ····· 51
図3.1－20 蒸発器カバーガス部圧力
Sensitivity Study of Reaction Heat on Evaporator Cover Gas Pressure ····· 52
図3.1－21 蒸発器カバーガス部圧力
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Evaporator Cover Gas Pressure ····· 52
図3.1－22 蒸発器カバーガス部水素ガス温度
Sensitivity Study of Reaction Heat on Evaporator Cover Gas Pressure ····· 53
図3.1－23 蒸発器カバーガス部水素ガス温度
Sensitivity Study of Reaction Heat on Hydrogen Temperature of Evaporator Cover Gas ····· 53
図3.1－24 蒸発器カバーガス部ナトリウム温度
Sensitivity Study of Reaction Heat on Sodium Temperature of Evaporator Cover Gas ····· 54
図3.1－25 蒸発器カバーガス部ナトリウム温度
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Sodium Temperature of Evaporator Cover Gas ····· 54
図3.1－26 放出系配管水素ガス温度
Sensitivity Study of Reaction Heat on Hydrogen Temperature of Pressure Relief Line ····· 55
図3.1－27 放出系配管水素ガス温度
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Hydrogen Temperature of Pressure Relief Line ····· 55
図3.1－28 放出系配管ナトリウム温度
Sensitivity Study of Reaction Heat on Sodium Temperature of Pressure Relief Line ····· 56
図3.1－29 放出系配管ナトリウム温度
Sensitivity Study of Bubble／Droplet Density on Sodium Temperature of Pressure Relief Line ····· 56

図3.1－30 注水点の圧力
Comparison between Measurement in Run－4 Test and Calculations by SWAC－13E(Water Injection Point). 57
図3.1－31 蒸発器カバーガス圧力
Comparison between Measurement in Run－4 Test and Calculations by SWAC－13E(Cover－Gas of Evaporator). 57
図3.1－32 IHX圧力
Comparison between Measurement in Run－4 Test and Calculations by SWAC－13E(IHX). 58
図3.1－33 過熱器カバーガス圧力
Comparison between Measurement in Run－4 Test and Calculations by SWAC－13E(Superheater). 58
図3.1－34 放出系配管圧力
Comparison between Measurement in Run－4 Test and Calculations by SWAC－13E(Pressure Relief Piping). 59
図3.1－35 反応生成物収納容器圧力
Comparison between Measurement in Run－4 Test and Calculations by SWAC－13E(Reaction Product Tank). 59
図3.1－36 注水点下部水素ガス圧力
Comparison between Measurement in Run－4 Test and Calculations by SWAC－13E(Lower Part of Water Injection Point). 60
図3.1－37 注水点下部ナトリウム温度
Comparison between Measurement in Run－4 Test and Calculations by SWAC－13E(Lower Part of Water Injection Point). 60
図3.1－38 注水点上部水素ガス温度
Comparison between Measurement in Run－4 Test and Calculation by SWAC－13E(Upper Part of Water Injection Point). 61
図3.1－39 注水点上部ナトリウム温度
Comparison between Measurement in Run－4 Test and Calculations by SWAC－13E(Upper part of Water Injection Point). 61

図3.1−40 蒸発器カバーガス部水素ガス温度
Comparison between Measurement in Run−4 Test and Calculations by SWAC−13E(Cover−Gas of Evaporator). ····· 62
図3.1−41 蒸発器カバーガス部ナトリウム温度
Comparison between Measurement in Run−4 Test and Calculations by SWAC−13E(Cover−Gas of Evaporator). ····· 62
図3.1−42 放出系配管水素ガス温度
Comparison between Measurement in Run−4 Test and Calculations by SWAC−13E(Pressure Relief Piping). ····· 63
図3.1−43 放出系配管ナトリウム温度
Comparison between Measurement in Run−4 Test and Calculations dy SWAC−13E(Pressure Relief Piping). ····· 63
図3.2−1 Run−5解析モデル図
Network Model for SWAT−3 Run−5 Analysis ····· 64
図3.2−2 EVカバーガス−放出系配管リンクモデル
Link Model between EV Cover Gas and Relief Line ····· 65
図3.2−3 反応部圧力
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC13E Run−5 Test (Reaction Zone Pressure) ····· 66
図3.2−4 反応部圧力
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run−5 Test (Reaction Zone Pressure) ····· 66
図3.2−5 反応部圧力
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run−5 Test (Reaction Zone Pressure) ····· 67
図3.2−6 反応部圧力
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run−5 Test (Reaction Zone Pressure) ····· 67
図3.2−7 反応部圧力
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run−5 Test (Reaction Zone Pressure) ····· 68
図3.2−8 蒸発器下部プレナム，放出系配管ボイド率
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run−5 Test (EV Lower Plenum, Relief Line

Void Fraction) ····· 68
図3.2−9 蒸発器下部プレナム，放出系配管ボイド率
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run−5 Test (EV Lower Plenum, Relief Line Void Fraction) ····· 69
図3.2−10 蒸発器下部プレナム，放出系配管ボイド率
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run−5 Test (EV Lower Plenum, Relief Line Void Fraction) ····· 69
図3.2−11 蒸発器下部プレナム，放出系配管ボイド率
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run−5 Test (EV Lower Plenum, Relief Line Void Fraction) ····· 70
図3.2−12 蒸発器下部プレナム，放出系配管ボイド率
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run−5 Test (EV Lower Plenum, Relief Line Void Fraction) ····· 70
図3.2−13 蒸発器下部プレナム水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC13E Run−5 Test (EV Lower Plenum Temperature) ····· 71
図3.2−14 蒸発器下部プレナム水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC13E Run−5 Test (EV Lower Plenum Temperature) ····· 71
図3.2−15 蒸発器下部プレナム水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC13E Run−5 Test (EV Lower Plenum Temperature) ····· 72
図3.2−16 蒸発器下部プレナム水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC13E Run−5 Test (EV Lower Plenum Temperature) ····· 72
図3.1−17 蒸発器下部プレナム水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by SWAC13E Run−5 Test (EV Lower Plenum Temperature) ····· 73
図3.2−18 蒸発器放出系配管水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by

SWAC13E Run−5 Test(Relief Line Temperature) ····· 73
図3.2−19 蒸発器放出系配管水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by
SWAC13E Run−5 Test(Relief Line Temperature) ····· 74
図3.2−20 蒸発器放出系配管水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by
SWAC13E Run−5 Test(Relief Line Temperature) ····· 74
図3.2−21 蒸発器放出系配管水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by
SWAC13E Run−5 Test(Relief Line Temperature) ····· 75
図3.2−22 蒸発器放出系配管水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by
SWAC13E Run−5 Test(Relief Line Temperature) ····· 75
図3.2−23 蒸発器上部プレナム水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by
SWAC13E Run−5 Test(EV Upper Plenum Temperature) ····· 76
図3.2−24 蒸発器上部プレナム水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by
SWAC13E Run−5 Test(EV Upper Plenum Temperature) ····· 76
図3.2−25 蒸発器上部プレナム水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by
SWAC13E Run−5 Test(EV Upper Plenum Temperature) ····· 77
図3.2−26 蒸発器上部プレナム水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by
SWAC13E Run−5 Test(EV Upper Plenum Temperature) ····· 77
図3.2−27 蒸発器上部プレナム水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by
SWAC13E Run−5 Test(EV Upper Plenum Temperature) ····· 78
図3.2−28 蒸発器上部プレナム水素，ナトリウム温度
Comparison between Measurement and Calculations by
SWAC13E Run−5 Test(EV Upper Plenum Temperature) ····· 78
図3.3−2 SWAT−3，Run−6解析モデル
Network Model for SWAT−3, Run−6 Analysis ····· 79

図3.3 −4(1) ミドルレグ・ナトリウム温度
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E(Sodium Temperature in Middle Leg). 80
図3.3 −4(2) ミドルレグーナトリウム温度
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E(Sodium Temperature in Middle Leg). 81
図3.3 −5(1) コールドレグナトリウム温度
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E(Sodium Temperature in Cold Leg). 82
図3.3 −5(2) コールドレグナトリウム温度
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E(Sodium Temperature in Cold Leg). 83
図3.3 −6(1) ホットレグナトリウム温度
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E(Sodium Temperature in Hot Leg). 84
図3.3 −6(2) ホットレグナトリウム温度
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E(Sodium Temperature in Hot Leg). 85
図3.3 −7(1) ホットレグ・ナトリウム流速
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E(Velocity in Hot Leg). 86
図3.3 −7(2) ホットレグ・ナトリウム流速
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E(Velocity in Hot Leg). 87
図3.3 −8(1) ナトリウム温度（ケースR6H43P）
Comparison between Measurements in Run−6 Test

and Calculations by SWAC−13E (Sodium Temperature). ····· 88

図3.3−8(2) 水素温度（ケースR6H43P）
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E (Hydrogen Temperature). ····· 89

図3.3−9(1) ナトリウム温度（ケースR6H60P）
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E (Sodium Temperature). ····· 90

図3.3−9(2) 水素温度（ケースR6H60P）
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E (Hydrogen Temperature). ····· 91

図3.3−10(1) ナトリウム温度（ケースR6H61P）
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E (Sodium Temperature). ····· 92

図3.3−10(2) 水素温度（ケースR6H61P).
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculation by SWAC−13E (Hydrogen Temperature). ····· 93

図3.3−11 ナトリウム温度（ケースR6H43S).
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E (Sodium Temperature). ····· 94

図3.3−12 ホットレグナトリウム流速（ケースR6H43S）
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E (Velocity in Hot Leg). ····· 95

図3.3−13 蒸発器のナトリウ温度（ケースR6H43S）
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E (Sodium Temperature in Evaporator). ····· 96

図3.3－14 放出系配管内のナトリウム温度（ケースR6H43S）
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E(Sodium Temperature in Pressure Relief Line). ····· 97
図3.4－1 Network Model for SWAT－3, Run－7 Analysis ····· 98
図3.4－2 ダウンカマ部の状態変化（ノードNo.3）
Comparison between Measurements in Run－7 Test and Calculations by SWAC−13E(Downcomer Region－Node 3－). ····· 99
図3.4－3 放出系配管における状態変化（ノードNo.24）
Comparison between Measurements in Run－7 Test and Calculations by SWAC－13E(Pressure Relief Line－Node 24－). ····· 100
図3.4－4 下部プレナムにおける状態変化（ノードNo.14）
Comparison between Measurements in Run－7 Test and Calculations by SWAC−13E(Lower Pleum of Evaporator－Node 14－). ····· 101
図3.4－5 相対速度モデルのサーベイ
Comparison between Measurements in Run－7 Test and Calculations by SWAC−13E(Parameter : Relative Velocity). ····· 102
図3.4－6 ダウンカマ中部の状態変化（ノードNo.3）
Comparison between Measurements in Run−7 Test and Calculations by SWAC−13E(Middle Downcomer −Node 3−). ····· 103
図3.4－7 放出系配管部の状態変化（ノードNo.24）
Comparison between Measurements in Run−6 Test and Calculations by SWAC−13E(Pressure Relief Line −Node 24−). ····· 104
図3.4－8 放出系内状態変化（長時間解析）
Comparison between Measurements in Run−7 Test and Calculation by SWAC−13E(Long−Term Analysis for Pressure Relief System). ····· 105

図3.4－9　リング面積及び注水ノードのサーベイ
Comparison between Measurements in Run－7 Test and Calculations by SWAC－13E (Parameter : Link Area, Number of Water Injection Node). ……106

表　リ　ス　ト

表2.1－1　SWAT－3，Run－4～Run－7内部構造物
Internals Specifications in SWAT－3　Runs 4 thru 7 …… 4
表2.1－2　試験条件のまとめ …… 5
表2.1－3　SWAT－3における主な大リーク試験結果
SWAT－3　Test Results …… 6
表2.2－1　SWAC 13とSWAC 13Eの違い …… 9
表3.1－1　SWAT－3　Run－4　解析ケース一覧表 …… 14
表3.2－1　SWAT－3　Run－5　解析ケース一覧表 …… 20
表3.3－1　SWAT－3　Run－6　解析ケース一覧表 …… 24
表3.4－1　SWAT－3，Run－7　実験解析ケース …… 28
表4.1　最適パラメータの選択 …… 31
表4.2　最適パラメータでの温度評価 …… 31

1.0 はじめに

本報告書は，もんじゅ蒸気発生器（以下SG）の大リーク・ナトリウム−水反応時における準定常圧力及び温度解析コードSWAC−13E[2]の実験検証結果について報告するものである。

SWAC−13Eは，大リーク・ナトリウム−水反応解析コードSWACSの準定常圧解析モジュールSWAC−13[1]の新バージョンであり，旧バージョンでは考慮されていなかった水素ガス，ナトリウムのエネルギ・バランスを計算に取り入れて，大リーク・ナトリウム−水反応時の体系内の温度挙動までも評価できるように開発されたものである。

もんじゅ工認での構造評価にこのSWAC−13Eを使用することが決定され，短時間にそのための温度挙動等を解析することが求められた。

このために本コードの実験検証として解析結果を，蒸気発生器安全性総合試験装置（SWAT−3）の大リーク・ナトリウム−水反応試験Run−4[3]，−5[4]，−6[5]および−7[6]の温度データ等と比較した。これらの試験の注水点はRun−4がヘリカルコイル上部，Run−5と6がヘリカルコイル部下部（両者で注水率が異なる），およびRun−7がダウンカマ部注水である。これらの4ケースでは，厳しい温度挙動の発生する場所がそれぞれで異なっており，このような多面的なデータにより本コードの普遍的な実験検証を計った。

本実験検証計算の目的は以下の通りである。

(i) SWAC−13Eの大リーク・ナトリウム−水反応時の温度挙動解析の有用性を確認する。

(ii) SWAC−13Eによる「もんじゅ」解析のために，保守的な温度評価を与えるパラメータ・セットを得る。

(iii) 現SWAC−13Eの改善点を指摘・検討し，今後の改造に反映させる。

本報告では，第2章でRun−4から7で使用された試験体や試験の概要およびSWAC−13E の概要について紹介する。

第3章では，主要な解析パラメータとして二相流計算モデル，気泡／液滴密度，注水ノード数および反応熱量などを選択して得られた解析結果と実験結果を比較し，検討を行った。

第4章では，前章の結果をまとめ，実機解析上の保守的パラメータ・セットの選定と，残された問題点から今後さらに実験データとのベスト・フィットを達成するにはどのような改造が必要かを指摘した。また，本検証作業の過程で行なわれたコードの小改造についてはAppendix Aにまとめ，各Runの代表的な入力データの例をAppendix Bに示した。

2.0 SWAT－3実験と計算コードの概要

蒸気発生器安全性総合試験装置（SWAT−3）を用いた大リーク・ナトリウム−水反応試験はRun 1～7まで7回実施された。SWAT−3はもんじゅ2次系を模擬した約2／5の縮小モデルであり，各試験の注水率はEV内径換算で，もんじゅ伝熱管2～5本の両端ギロチン破損に相当するものであった。これらのうちSWAC－13Eによる計算結果との比較を行なったのは，Run4～7の4回の試験に対してである。

2.1 実験装置と実験概要[4][5][6]

SWAT−3の装置全体の立体配置図を，Fig. 2.1−1に示す。反応容器は，蒸発器（EV）を模擬した高さ6850 mm，径1360 mm，材質SUS 304の容器で，ナトリウム液面を有する。ナトリウム容量は約4.5 m^3で，内部構造物（伝熱管，伝熱管支持構造，内筒，シュラウド）は試験毎に異なる。Fig. 2.1−2にRun−5の試験に用いられた内部構造物を示す。各試験の内部構造物仕様をTable 2.1－1に示す。伝熱管はすべてヘリカルコイル型の2−1／4 Cr−1 Mo材伝熱管で，管径，ピッチは原型炉設計に準じて決定されている。

反応容器上部のカバーガス空間側部には，ラプチャディスクを介して，放出系が接続されている。ラプチャディスクは，径300 mmの引張型で，設計破裂圧は3 kg／cm^2で，材質はSUS 316 である。二次系は，配管（Fig. 2.1－3），模擬過熱器（SH）（Fig. 2.1－4），模擬中間熱交換器（IHX）（Fig. 2.1－5）より構成されている。二次系の総ナトリウム容量は，約2.3 m^3（模擬過熱器1.3 m^3，模擬中間熱交間器0.14 m^3，配管0.83 m^3）である。模擬過熱器は，全長4850 mm，径838 mm，材質SUS 304の容器で，反応容器と同様にナトリウム液面を有する。模擬過熱器のヘリカルコイル部に相当するアニュラス部には，伝熱管の代りに圧力損失を模擬した多孔板が設置されている。カバーガス部頂部には，ラプチャディスクが取り付けられ，放出系に接続されている。ラプチャディスクはRun−4では反転型（径165 mm，設計破裂圧3 kg／cm^2），Run−5, −6および−7では引張型（径160 mm，設計破裂圧3 kg／cm^2）であるが，破裂しないのはRun−6のみである。模擬中間熱交換器は，全長4500 mm，径216 mmのパイプで，内部構造物は無い。二次系配管は，反応容器と模擬過熱器の間のミドルレグ配管（8B sch 20 s，16.8 m），反応容器と模擬中間熱交換器の間のコールドレグ配管（8B sch 20 s，5.6 mと2B sch40，8.25 m），ならびに模擬中間熱交換器と模擬過熱器の間のホットレグ配管（2B sch 40，15.9 mと8B sch 20 s，1.45 m）から構成される。

放出系は，配管（Fig. 2.1－6）と収納容器（Fig. 2.1－7）より構成されている。放出系は反応容器側部，模擬過熱器頂部に各々ラプチャーディスクを介して接続されており，各々配管は途中で合流し，収納容器につながる。反応容器と収納容器の間の配管は12B sch 40，全長19.3 m，材質は2−1／4 Cr−1 Moである。模擬過熱器と合流部までの配管は，6B sch 40，全長12 m，

材質は2−1／4 Cr−1Moである。収納容器は，全長8025mm，径3000mmの容器で，内部にセパレータを有する。容量は，約40 m^2 で，材質は2−1／4 Cr −1Moである。収納容器頂部には，大気放出弁，ラプチャディスクが設置され，ラプチャディスクは，径267 mmの反転型で，設計破裂圧は1.5 kg／cm^2 である。

SWAT−3の試験上のパラメータは，内部構造物（伝熱管径，配列），破断位置，注水率（水／蒸気初期圧力，温度），ナトリウム温度等である。表2.1−2に各Runの試験条件を示す。以下に各試験の特徴について述べる。

Run−4は，ヘリカルコイル部上部（FL5460）の1DEG相当の注水試験で，注水率は9.0 ～ 7.2 kg／secであった。ナトリウム温度は380℃である。

Run−5は，ヘリカルコイル部下部（FL3109）の1DEG相当の注水試験であるが，伝熱管径，配列が大きくなった。注水率は15～11 kg／secであった。ナトリウム温度は360℃である。

Run−6は，−5と同様にヘリカルコイル部下部（FL3070）の1DEG相当の注水試験で，伝熱管径，配列はRun−4と同寸である。その注水率は9.4～8.3 kg／secであり，ナトリウム温度は445℃でSWAT−3全試験中で最も高い点である。

Run−7は，他の3ケースと異なり，ダウンカマ部下部（FL3875）での1DEG相当の注水試験である。その注水率は10.6～7.9 kg／secで，ナトリウム温度は245℃であった。

表2.1−3にこれらの試験の主要な結果を示す。

Table 2.1－1　SWAT－3，Run－4～Run－7内部構造物

Internals Specifications in SWAT－3 Runs 4 thru 7

	Run－4	Run－5	Run－6	Run－7
伝熱管形式	ヘリカルコイル型	←	←	ダウカマ模擬
材質	2－1／4 Cr－Mo	←	←	←
径	25.4 φ × 3.2 t	31.8 φ × 3.8 t	25.4 φ × 3.2 t	←
配列	40 × 45 mm	50 × 50 mm	40 × 45 mm	(層間) { (内層) 50.44 × 43 mm (外層) 54.66
層数	9	6	9	2
本数	34本	16本	71本	128本
注水位置	5層目　FL 5460	4層目　FL 3109	5層目　FL 3070	ダウンカマ部 FL 3875
円筒径	355.6 φ × 11.1 t	{ 318.5 φ × 6.9 t 502 φ × 20 t	318.5 φ × 17.4 t	355.6 φ × 11.1 t
シュラウド径	1190 φ × 9 t	1158 φ × 10 t	1143 φ × 9 t	1202 φ × 12 t

表 2.1－2　試験条件のまとめ

項目		単位	Run 4	Run 5	Run 6	Run 7
試験年月日			1977.3.18	1977.9.22	1978.3.8	1978.10.26
反応容器	反応容器		蒸発器	蒸発器	蒸発器	蒸発器
内部構造物	内部構造型式		ヘリカル・東芝/IHI	ヘリカル・MHI	ヘリカル・日立	ダウンカマ模擬
型式	反応点位置		ヘリカル上部5層目	ヘリカル下部4層目	ヘリカル下部5層目	ダウンカマ部
			FL. 5460	FL. 3109	FL. 3070	FL. 3875
注水条件	注水孔・ラプチャ板形式		円筒型・19φ×2以上	円筒型・19φ×2以上	円筒型・19φ×2以上	ノズル19φ,円板引張型
	ラプチャ板設定圧					
	RD 501	kg／cm²	100^{+0}_{-10} (350℃)	100^{+0}_{-10} (350℃)	100^{+0}_{-10} (350℃)	100^{+0}_{-10} (350℃)
	RD 502	kg／cm²	100^{+0}_{-50} (500℃)	100^{+0}_{-50} (500℃)	100^{+0}_{-50} (350℃)	100^{+0}_{-10} (245℃)
	準定常注水率	kg／sec	9.0 (初期)～7.2(後期)	15 (初期)～11 (後期)	9.4(初期)～8.3(後期)	10.6 (1 sec後)～7.9 (9 sec後)
	全注水量	kg	83	150	90	85
	注水配管温度	℃	254～386	231～331	約300	283～357
	水加熱器温度	℃	306	280	305	298
	〃 圧力	kg／cm² a	155	154	154	124
	〃 初期給水量	kg	390	390	465	445
	注水弁(V502)弁開時間	sec	9.4	9.7	9.5	9.5
ナトリウム系	ナトリウム温度	℃	380	360	445	245
条件	ナトリウム流量	ℓ／sec	静止	静止	静止	静止
	カバーガス圧					
	蒸発器	kg／cm²G	0.5	0.5	0.5	0.5
	過熱器	kg／cm² G	0.5	0.5	0.5	0.5
	カバーガス使用ガス		アルゴン	アルゴン	アルゴン	アルゴン
放出系条件	ラプチャ板設定圧					
	RD 601	kg／cm²	3 (485℃)	3 (485℃)	3 (485℃)	3 (485℃)
	RD 602	kg／cm²	3 (515℃)	3 (485℃)	3 (485℃)	3 (485℃)
	RD 603	kg／cm²	1.5 (150℃)	1.5 (150℃)	1.5 (150℃)	1.5 (150℃)
	放出系配管取出し位置		側部	側部	側部	側部
	運転温度					
	放出系配管	℃	267～298	272～305	350	235～241
	収納容器	℃	358	365	350	257
	カバーガス圧(収納容器)	kg／cm²G	0.5	0.5	0.5	0.5
	カバーガス使用ガス		アルゴン	アルゴン	アルゴン	アルゴン

Table 2.1－3　SWAT－3における主な大リーク試験結果

SWAT－3 Test Results

試験結果＼試験No.		Run－4	Run－5	Run－6	Run－7
初期スパイク圧力〔kg／cm² a〕	リーク位置近傍値	14.7	23.2～25.0	12.0～14.6	16.0～19.5
	EV内最大値	14.7	27.5	14.6	19.5
	IHX伝播値	7.5[3]	12.5	12.0[3]	6.1
準定常圧力〔kg／cm² a〕	EV内最大値	5.4	7.6（9.5）[4]	5.1	5.8
	SH内最大値	3.0[5]	8.3	5.7	5.8
ラプチャ板破裂〔EV／RT〕	破裂時刻〔sec〕	0.536／2.95	0.23／2.89	0.430／3.62	0.613／2.93[7]
	破裂圧力〔kg／cm²a〕	5.4／2.4	5.2／2.8	4.3／2.42	5.1／2.6[7]
EV内最高温度〔℃〕		1175	1250	1180	1140
EV外壁最大歪〔×10⁻⁶〕		164	320	124	165
放出系配管内初期流速〔m／sec〕		46	34	36	34
収能容器への放出Na〔kg〕		466	1440[8]	980	670
伝熱管二次破断		なし	なし	なし	破断はなし．曲がり数本．

2）途中で減衰している

3）途中で減衰。遅れて生じたピーク値

4）（）内はNa中圧力の平均ピーク値

5）P1204では3.7 kg／cm² a

6）不完全破裂，設定圧に達する前に破裂

7）不完全開口

8）SHのプラチャ板も破裂

2.2 計算コードの概要

本解析で使用した計算コードSWAC 13E[2]は，大リーク・ナトリウム−水反応解析コードSWACSの準定常圧力計算モジュールSWAC 13[1]の改良バージョンである。準定常圧計算の解析対象は，大リーク・ナトリウム−水反応による初期の急激な圧力上昇，つまり初期スパイク圧に引続いて，系内の圧力が発生水素ガスの蓄積により準定常的に上昇する比較的長時間の領域を取扱っている。SWAC 13 Eと旧バージョンSWAC 13との違いを表2.2−1に示す。

SWAC 13 Eの概要を以下に述べるが，詳細は，SWAC 13Eの使用説明書[2]を参照されたし。

解析体系は事故SG，ナトリウム・水反応生成物収納設備，ならびに2次主冷却系全体であり，これらを領域（ノード）に分割し更に各ノードを流路（リンク）でつないだネットワーク系にモデル化する。このようにモデル化した体系に対し，ノードに関し質量保存則及びエネルギー保存則，リンクに関して運動量保存則を適用する。基礎保存則の解法としては陰的差分法（陰解法）を使用する。

(1) 計算上の仮定

(i) ナトリウムと水素ガスの二相流は一次元ドリフト・フラックス・モデルを用いる。

(ii) ナトリウムは非圧縮性，水素ガスは圧縮性として扱う。

(iii) ナトリウム・水反応の反応速度は無限大と考え，反応の時間遅れはないものとする。

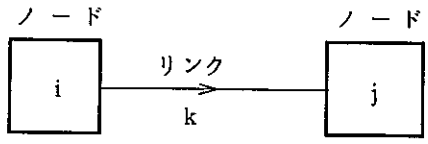
(iv) エネルギの交換は，ナトリウムと水素，ナトリウムと構造材，及び水素と構造材の間で考慮される。

(v) 各SGおよび収納容器の圧力開放板は設定値に達すると直ちに作動するものとする。

(vi) カバーガスの物理的特性は水素ガスと同一とする。

(2) 基礎方程式

下図に示すようなノード・リンクモデルに対して以下に示す3種の基礎式を立てる。



ノード•リンクモデル

(i) 質量保存式

ノードについてナトリウム，水素ガス各々に次のように展開する。

$$\begin{cases} \dfrac{dM_{Hi}}{dt} = \sum_{kin} W_{Hk} - \sum_{kout} W_{Hk} + \Gamma_{Hi} \\ \dfrac{dM_{Si}}{dt} = \sum_{kin} W_{Sk} - \sum_{kout} W_{Sk} \end{cases}$$

ここで両式の右辺第1項は流入する成分，第2項は流出する成分で，Γ_{Hi} は水素ガスの発生を表わす。

(ii) 運動量保存式

リンクについて混合流体に対する保存式を以下のように展開する。

$$\frac{dW_k}{dt}=\frac{1}{K_k}\left\{g(P_i-P_j)+\left[\frac{W_i^2}{\rho_i A_i^2}-\frac{W_j^2}{\rho_j A_j^2}\right]\right.$$

$$+\left[\left(\frac{\alpha_H\alpha_S\rho_H\rho_S}{\rho A^2}\right)_i\left(\frac{W_{Hi}}{(\alpha_H\rho_H)}-\frac{W_{Si}}{(\alpha_S\rho_S)_i}\right)^2-\left(\frac{\alpha_H\alpha_S\rho_H\rho_S}{\rho A^2}\right)_j\left(\frac{W_{Hj}}{(\alpha_H\rho_H)_j}-\frac{W_{Sj}}{(\alpha_S\rho_S)_j}\right)^2\right]$$

$$\left.+\frac{1}{2}\left[\frac{W_{Hk}^2}{(\alpha_H\rho_H)_k}+\frac{W_{Sk}^2}{(\alpha_S\rho_S)_k}\right]\left(\frac{1}{A_{ki}^2}-\frac{1}{A_{kj}^2}\right)+g\rho\Delta Z_k+g\Delta P_{ik}\right\}$$

上式で括弧内の第1項から第7項まで，それぞれ静圧差，対流の運動量，相対速度の効果，断面積変化による運動量変化，重力項及び摩擦損失項である。またKはイナーシャであり，リンク内を更に細かく分割したサブリンクの長さと断面積の比の和として次のように定義される。

$$K_k=\Sigma\frac{\ell_{ke}}{A_{ke}}$$

また，混合質量からナトリウム，水素ガスそれぞれの質量流量は相対速度U_r（$=U_H-U_S$）を用いて次のように定義される。

$$\begin{cases}W_{Hk}=\dfrac{\alpha_H\rho_H}{\rho}\cdot W_k+A\cdot\dfrac{\alpha_H\alpha_S\rho_H\rho_S}{\rho}\cdot U_{rk}\\[2ex] W_{Sk}=\dfrac{\alpha_S\rho_S}{\rho}\cdot W_k-A\cdot\dfrac{\alpha_H\alpha_S\rho_H\rho_S}{\rho}\cdot U_{rk}\end{cases}$$

(iii) エネルギ保存式

SWAC 13Eにおいて新たに考慮されたこの保存式はナトリウム，水素ガスに対してそれぞれ次のように展開される。

$$\begin{cases}\dfrac{dU_{Hi}}{dt}+\dfrac{\ell_i}{2gA_iA_j}\cdot\dfrac{d}{dt}\left[\dfrac{W_{Hi}^2}{(\alpha_H\rho_H)_i}\right]=\underset{kin}{\Sigma}W_{Hk}\left\{h_{Hk}+\left(\dfrac{U_{Hk}^2}{2g}+\Delta Z_k\right)\dfrac{1}{A_j}\right\}\\[2ex] \qquad\qquad-\underset{kout}{\Sigma}W_{Hk}\left\{h_{Hk}+\left(\dfrac{U_{Hk}^2}{2g}+\Delta Z_k\right)\dfrac{1}{A_j}\right\}+Q_{Hi}\\[2ex] \dfrac{dU_{Si}}{dt}+\dfrac{\ell_i}{2gA_iA_j}\cdot\dfrac{d}{dt}\left[\dfrac{W_{Si}^2}{(\alpha_S\rho_S)_i}\right]=\underset{kin}{\Sigma}W_{Sk}\left\{h_{Sk}+\left(\dfrac{U_{Sk}^2}{2g}+\Delta Z_k\right)\dfrac{1}{A_j}\right\}\\[2ex] \qquad\qquad-\underset{kout}{\Sigma}W_{Sk}\left\{h_{Sk}+\left(\dfrac{U_{Sk}^2}{2g}+\Delta Z_k\right)\dfrac{1}{A_j}\right\}+Q_{Si}\end{cases}$$

上の式で左辺はノードiの内部エネルギ及び運動エネルギの変化を，右辺はそれぞれ流入，

流出成分及び他の流体／構造材との熱交換を表わしている。

以上の式を整理すると$\Delta W^{n+1} = W^{n+1} - W^{n}$に関しL元（L：リンク数）の連立方程式が得られる。これを陰的差分法（陰解法）を用いて解くことにより流量が更新される。

各ノードの圧力を求めるのに，水素ガス，カバーガスを含んだノードについては完全気体の状態式を用いる。ナトリウム，単相ノードについてはそのノード周辺の圧力既知ノードに関し連立方程式をたて解いて求める。

表2.2－1　SWAC13とSWAC13Eの違い

	SWAC13	SWAC13E
基礎方程式	・質量保存式：2 ・運動量保存式：1	・質量保存式：2 ・運動量保存式：1 ・エネルギー保存式：2
二相流モデル	均質流スリップモデル	ドリフト・フラックスモデル
水素ガス温度	ノード毎に一定値（不変）を入力	気液熱交換等考慮

3.0 実 験 解 析

本検証計算に先立って，SWAT－3試験データを用いた予備的な検証計算[7]が1982年に実施され，解析パラメータの適正範囲が明らかになった。

解析パラメータのうち下記のものについては，予備検証での推奨値を用いる。

- H_2／H_2Oモル転換比　：0.5
- 注水ノードの水素ガス温度：各試験で測定された最高温度
  - Run 4　1175℃
  - Run 5　1250℃
  - Run 6　1180℃
  - Run 7　1140℃
- 相対温度　：熱交換・流量計算の両方に考慮する。
- 管群圧損計算法　：Jakob の式

予備検証[7]での成果を基に，本検証作業では以下のパラメータについてのサーベイを行なった。

i) 相対速度のモデル（Hirt のモデル，Zuber のモデル）

SWAC－13Eの伝熱，流動に大きく影響を及ぼすものとして，気－液（水素ガス－ナトリウム）間の相対速度のモデルがある。SWAC－13Eには，相対速度のモデルとして，Hirt のモデルとZuber のモデルが組み込まれており，この2つのモデルの相違による影響を調べた。

ii) 気泡液滴密度　N（10^2～10^6 個／m^3）

このパラメータは，ナトリウム－水素間の伝熱面積を指定し，又，ドリフトフラックスモデルにHirt らのモデルを適用した場合には，ナトリウム－水素間の相対速度に影響する。ここでは，ナトリウム－水素間の伝熱特性が大きく変わる近辺をサーベイ範囲とし，伝熱特性が良いものとして10^6 個／m^3，悪いものとして10^2 個／m^3 両者の中間として10^4 個／m^3 をサーベイ値として設定した。

iii) 反応熱　Q（0～30 Kcaℓ／mol ）

反応による発生熱のうち，水素ガスの温度上昇に消費されるものについては，実験での測定最高温度を入力値として与える事で考慮されているが，水素ガス以外の反応生成物より直接ナトリウムに伝えられる熱量について無視した場合と，理論上の発生熱量30 kcaℓ／mol まで考慮した場合との影響を見た。

iv) 注水ノードの数　N（1～7）

反応界面が通常1個しか選んでいない注水ノードの範囲を越えている実験ケースとの比較の場合，温度を過小評価する恐れがあるので，複数ノードを注水ノードとした場合の影響を見た。

この他，Run－4の実験解析において気泡／液滴抗力係数をパラメータにとって，水素ガスとナトリウムの相対速度を変化させた場合の影響を見た。また，Run－5の実験解析においてナトリウムに

対する水素の相対速度のベクトルの向きが常に上向きになる様なモデルを設定した。これは，予備解析[7]により多量のナトリウムが放出系に放出されてしまい，反応後，反応容器内に残存するナトリウム量が極端に少なくなる傾向がうかがえたためで，この現象を避けるため従来のHirtらのモデルに対して反応部上部流動様相を水素ガスがよりチャンネリングに近い形でEV上部に達する様なモデルを設定したものである。

3.1 Run−4の実験解析

SWAT−3，Run−4の実験解析では，注水点がヘリカルコイル部上部であることから，特にカバーガス，放出系等に着目して，保守的な結果を得るための解析を実施した。

3.1.1 解析パラメータ

上記の点を考慮してRun−4でパラメータとした変数は次の通りである。

(1) 相対速度計算モデル（Hirtのモデル，Zuberのモデル）

(2) 気泡／液滴抗力係数（1.0，0.8，0.6）

(3) 気泡／液滴密度（10^2，10^4，10^5，10^6個／m^3）

(4) 注水ノード数（1，4，7ノード）

(5) 反応熱のナトリウム入熱（0，10，30 kcal／mol）

3.1.2 解析モデル

SWAT−3，Run−4の実験解析モデルを図3.1−1に示す。本モデルは実験体系を模擬して，EV，SH，IHX，RPTおよび配管より構成されており，反応容器であるEVは特に詳細な分割が行なわれている。注水ノードは，Run−4に合わせて管束部上部としてある。

3.1.3 解析条件

3.1.1で選定したパラメータを基にした解析条件を表3.1−1に示す。解析は3ステップで実施された。ステップ1で基本的なパラメータを選別し，これをベースにステップ2で気泡／液滴密度をパラメータにとって注水ノード数と反応熱の影響を評価した。最後に，ステップ3で最適パラメータの保守性の確認を行なった。

3.1.4 解析結果と実験結果の比較・検討

(1) ステップ1

(a) 気泡／液滴抗力係数の影響（Hirtのモデル）

気泡／液滴抗力係数のパラメータ・サーベイの結果を図3.1−2〜図3.1−3に示す。相対速度U_rと気泡／液滴抗力係数Cdの間に以下の関係式[2]が成立し，

$$\frac{\partial U_r}{\partial t} = \left(\frac{1}{\rho_S} - \frac{1}{\rho_H}\right)\frac{\partial P}{\partial Y}Y - \frac{\rho^2 C_d A_S}{8\,\alpha_C\,\alpha_S\,\alpha_H\,\rho_S\,\rho_H}\,|U_r|\,U_r$$

定常状態ではC_dを小さくするとU_rは大きくなる。実際の解析結果もほぼ予想した通りであったが，これが水素ガス温度等の他の状態量に与える影響は極めて小さく，このパラメー

タは有意なものではなかった。

(b) 気泡／液滴密度の影響（Hirtのモデル）

Hirtのモデルを用いた気泡／液滴密度のパラメータ・サーベイの結果を図3.1−4 ～ 図3.1−6に示す。気泡／液滴密度Nを低下させると，気泡／液滴半径r_sが次式により増加し，気液間伝熱面積A_{lg}は減少する。

$$r_s = \left(\frac{3\alpha_s}{4\pi N}\right)^{1/3},\quad A_{lg} = 4\pi r_s^2 N = (36\pi\alpha_s N)^{1/3}$$

このため気液間の熱交換量が減少し，反応点での高温の水素ガスが放出系配管に移動しても高温を保つ。解析の結果，放出系配管ではいずれのケースも保守側となっているが，一方SG内部ではNが10^5以上で非保守側の結果となっている。

(c) 気泡／液滴密度の影響（Zuberのモデル）

Zuberのモデルを用いた気泡／液滴密度のパラメータサーベイの結果を図3.1−7～図3.1～9に示す。Zuberのモデルも Hirtのモデルと傾向は同一であるが，温度自体は低く，保守的なパラメータとは言えない。また，Zuberのモデルは気泡流についてのモデルであり，放出系配管等高ボイド率下の液滴流への適用性についても未確認である。これらのことから相対速度の計算にはHirtのモデルの方が適切と考えられる。

(2) ステップ2

多ノード注水時の各部への注水分配率は次の通りである。

7ノード注水

0.25			
0.15	0.25		
0.10	0.15		
0.05	0.05		

4ノード注水

0.3			
0.1	0.5		
	0.1		

1ノード注水

	1.0		

(a) 7ノード注水モデル

7ノード注水モデルを用いた気泡／液滴密度及び反応熱のパラメータ・サーベイの解析結果を図3.1−10～図3.1−19に示す。ここでは5ケースのみを提示するが，他の4ケースについても同様の挙動である。全体として水素ガス温度が1ノード注水のステップ1に比べて低く，実験値を下回っている。また，反応熱の影響はほとんど現れず，僅かに気泡／液滴密度の影響が表われただけである。これらの原因としては初期にカバーガス空間を有するノード7を注水ノードに指定したが，コード上はこのノードの水素ガス温度が556℃と入力値の約半分の温度で一定値となることが考えられる。このため，カバーガスのノードを注水ノードとして指定するのはあまり有効でない。

(b) 4ノード，1ノード注水モデル

4ノード，1ノード注水モデルを用いた気泡／液滴密度および反応熱のパラメータサーベイの解析結果を図3.1－20～図3.1－29に示す。4ノード注水モデルについてはカバーガスの注水ノード指定のため7ノード注水モデルと同一の現象が生じていた。

一方，1ノード注水モデルでは，ステップ1で明らかになったように，気泡／液滴密度は水素ガス温度に大きく影響するが，ナトリウム温度に対する影響は比較的小さい。逆に，反応熱はナトリウム温度に大きく影響するが，水素ガスに対する影響は比較的少さいことが明らかになった。このためナトリウム－水反応時の反応熱を考慮しないのは明らかに非保守的である。従って，これを考慮した1ノード注水とし，気泡／液滴密度については，一応10^4個／m^3 を最適パラメータとして選定した。

(3) ステップ3

ステップ2で設定した最適パラメータを用いて，他の状態量（圧力，他ノード温度）の保守性を確認するための解析結果を図3.1－30～図3.1－43に示す。また，ここでは気泡／液滴密度を確定するためにパラメータとした。まず圧力については，気泡／液滴密度が小さくなるほど初期圧力が上昇する。これは水素ガス温度が高くなるためである。しかし，長時間(約3.5秒以上）の比較ではほぼ同様の挙動を示す。この状態でも気泡／液滴密度が低いほどガス温度が高く，発生したガスも多く放出されたことを示す。これは，気泡／液滴密度が小さくなるほど相対速度が大きくなることからも言える。圧力に関しては，どのケースも保守的な値が得られている。

次に温度についてはステップ2に得られた結果が確認された。気泡／液滴密度が小さくなると水素ガス温度が上昇しても，ナトリウムの温度変化が微少である理由は，両者の熱容量の違いにある。同一体積であれば，ナトリウムは水素ガスの約100倍の熱容量を有する。例えば，ボイド率が90％と仮定しても熱容量は約10倍異なり，ある程度の伝熱が行われ，水素ガスの温度が低下したとしても，ナトリウムの温度変化分は，水素ガスの温度変化分の1／10にすぎない。本解析の結果では，気泡／液滴密度を10^6個／m^3 とすると非保守的となり，10^2個／m^3 とすると実験値とは異なった挙動が発生することが明らかになった。

3.1.5 最適パラメータの選定

以上のパラメータサーベイの結果，以下のパラメータを最適パラメータとして選定した。

(1) 相対速度計算モデル　　Hirtのモデル
(2) 気泡／液滴抗力係数　　1.0
(3) 気泡／液滴密度　　10^4 個／m^3
(4) 注水ノード数　　1ノード注水
(5) 反応熱　　30 kcal／mol

表3.1－1　SWAT－3　Run－4　解析ケース一覧表

ステップ	ケース	相対速度モデル	気泡／液滴抗力係数	気泡／液滴密度	注水ノード数	反応熱	報告用引用
1	H 16	Hirt	1.0	10^6	1ノード	0 kcal/mol	○
	H 86	〃	0.8	〃	〃	〃	○
	H 66	〃	0.6	〃	〃	〃	○
	H 15	〃	1.0	10^5	〃	〃	○
	H 14	〃	〃	10^4	〃	〃	○
	H 12	〃	〃	10^2	〃	〃	×
	Z 16	Zuber	〃	10^6	〃	〃	○
	Z 15	〃	〃	10^5	〃	〃	○
	Z 14	〃	〃	10^4	〃	〃	○
	Z 12	〃	〃	10^2	〃	〃	×
2	P 760	Hirt	1.0	10^6	7ノード	0 kcal/mol	×
	P 740	〃	〃	10^4	〃	〃	○
	P 720	〃	〃	10^2	〃	〃	×
	P 761	〃	〃	10^6	〃	10 〃	○
	P 741	〃	〃	10^4	〃	〃	○
	P 721	〃	〃	10^2	〃	〃	○
	P 763	〃	〃	10^5	〃	30 〃	×
	P 743	〃	〃	10^4	〃	〃	○
	P 723	〃	〃	10^2	〃	〃	×
	P 441	〃	〃	10^4	4ノード	10 〃	○
	P 140	〃	〃	10^4	1ノード	0 〃	○
	P 161	〃	〃	10^6	〃	10 〃	×
	P 141	〃	〃	10^4	〃	〃	○
	P 121	〃	〃	10^2	〃	〃	○
	P 143	〃	〃	10^4	〃	30 〃	○
3	FX 6	Hirt	1.0	10^6	1ノード	30 〃	○
	FX 4	〃	〃	10^4	〃	〃	○
	FX 2	〃	〃	10^2	〃	〃	○

3.2 Run−5の実験解析

本解析ケースは，SWAT−3 Run−5実験に対するもので，注水位置は伝熱管コイル部下部，また注水規模はSWAT実験シリーズ中最大である。

予備的な検証計算では，Run−5ケースの場合，パラメータを適当に設定することにより圧力挙動は比較的実験値に合った。しかし，温度挙動では，EV放出系配管，上部プレナム等の一部で，実験値に対して解析結果が過少評価，又は極端な過大評価になる傾向が見られた。

3.2.1 解析パラメータ

この点を考慮し，Run−5では以下のパラメータ項目を選定し，実験値との比較，検証を行なった。

(1) 気泡液滴密度 （10^2，10^4，10^6 個／m^3）

(2) ドリフトフラックスモデル（Hirtのモデル，修正Hirtのモデル）

(3) 注水ノード点 （破損コイルチャンネル下部1ノード注水，コイル部6ノード，下部プレナム1ノードの計7ノード注水）

(4) 反応熱のナトリウム入熱 （0，10，30 kcal／mole）

(5) カバーガス−放出系配管リンクモデル （反応容器カバーガスから放出系へのリンクについて，流路断面積の扱いを変えた2種類のモデルにて行なった。図3.2−2参照）

3.2.2 解析モデル

Run−5の全体解析モデル図を，図3.2−1に示す。

又，パラメータの1つであるカバーガス−放出系配管リンクのモデルを図3.2−2に示す。

3.2.3 解析条件

上記の5つのパラメータについて表3.2−1に示す12ケースを選定した。その他，参考用として，12ケースの他に1ケース行なった。

尚，ナトリウム入熱について，10 kcal／molのケースは予想通り0 kcal／molと30 kcal／molの中間的な結果を示した。説明の煩雑さを避けるため，ここでは，この結果の評価，検討を割愛した。

又，表中のケース4〜8の多ノード注水時の注水率分配を以下に示す。

注水ノードと注水分配率

注水ノード番号	1	2	3	4	5	6
注水分配率	0.25	0.15	0.05	0.20	0.10	0.20

3.2.4 解析結果と実験結果の比較・検討

3.2.4−1 解析結果

ケース1〜12の解析結果を図3.2.−3〜図3.2−28に示す。出力点及びそれに対応する図

を以下に示す。

(1) 反応部圧力　　図3.2－1～図3.2－7

(2) 蒸発器下部プレナム，放出系配管ボイド率　　図3.2－8～図3.2－12

(3) 蒸発器下部プレナム水素，ナトリウム温度　　図3.2－13～図3.2－17

(4) 蒸発器放出系配管水素，ナトリウム温度　　図3.2－18～図3.2－22

(5) 蒸発器上部プレナム水素，ナトリウム温度　　図3.2－23～図3.2－28

又，反応部圧力，ボイド率，上部プレナム温度，放出系温度については，次の実験値をそれぞれ対応する図に点線でオーバープロットした。圧力，ボイドの実験データは振動したものであるので平均的な値を実験値とした。

(1) 反応部圧力　　図3.2－1～図3.2－7

(2) EV放出系配管ボイド率（G 6001）　　図3.2－8～図3.2－12

(3) EV下部プレナム温度（T 1102）　　図3.2－13～図3.2－17

(4) EV放出系配管部温度（T 6031）　　図3.2－18～図3.2－22

(5) EV上部プレナム温度（T 1147）　　図3.2－23～図3.2－28

尚，図中の番号は，表3.2－1の解析ケースの番号を示す。

3.2.4－2　各ケースの比較・検討

圧力，ボイド率および各温度毎に，各ケースについての比較を以下に述べる。

(1) 圧　力

図3.2－3～図3.2－7に示す反応部圧力の解析結果より，主に次のような傾向が得られた。

i) 各ケース共，圧力ピークの発生が1～1.5秒前後となり，実験値（2～3秒）に比べ，早い時期に圧力上昇が見られる。

ii) ケース1,2,6,9および10に見られるように，気泡液滴密度が小さい程，圧力は全般に大きくなる。これは，水素ガスから，ナトリウムへの熱移行量が少なくなるために，水素ガスが高温に保持され，圧力が上がるためと考えられる。

iii) ケース1とケース9の比較からわかるように，ナトリウムの入熱が圧力に与える影響は，小さい。ケース1,9では，気泡液滴密度は，10^2であるが，ケース5とケース8のように，気泡液滴密度10^6のケースでも，ほとんど差は見られず，いずれにしても，あまり影響はないと考えられる。

iv) ケース4～8に見られるように，多ノード注水のケースでは，1ノード注水に比べ，ピーク圧力は若干高めとなり，又，2秒後の圧力がややもち上がる傾向がある。

これは，全コイル部及び下部プレナムでは水素温度は，常に1250℃に保持されるためと考えられる。

v) 図3.2－6及び図3.2－7に見られるように，カバーガス－放出系配管リンクモデル

を変更した場合は，ピーク圧までの挙動はモデルを変更しない場合とあまり変わらないが，ピーク以降はさらに下がる傾向が見られる。

以上，各パラメータが解析結果に及ぼす影響を反応部圧力について比較・検討したが，その他の2次系回りの各部圧力も，この傾向と同様な傾向が見られた。

(2) ボイド率

ボイド率に関するEV下部プレナム及びEV放出系配管部の解析結果とEV放出系配管部結果を図3.2－8～図3.2－12に示す。以下にこれらの主な傾向を記す。

i) 全般に放出系配管部では，解析結果が実験結果に比べ，ボイド率の低下が大きく，又その時間も長い。すなわち，解析ではかなり多量のナトリウムが放出される。

ii) 多ノード注水の場合は，1ノード注水に比べボイド率の低下が大きく，0.25程度まで下がり，かなりのナトリウムが放出される。

iii) ナトリウム入熱による影響は，ケース4,5とケース6,7,8又は，ケース1とケース9を比べてわかるように，ほとんど見られない。

iv) カバーガス－放出系配管リンクモデルを変更した場合は，ケース10, 12の如く，ボイド率の落ち込めがかなり改善される。これは，変更モデルでは，このリンクで相対速度が大きくなり，放出系へのナトリウム流れが抑制されるためである。

(3) 温　　度

温度については，実験と解析の比較した図を下部プレナム，EV放出系配管部及び上部プレナム部について，それぞれ図3.2－13～3.2－17，図3.2－18～3.2－22，及び図3.2－23～3.2－28に示す。

各部の温度について以下に記す。

(3)－1　下部プレナム温度

実験値では約0.5秒にピークが見られるが，それ以降は初期ナトリウム温度である。恐らく，初期のピークは，局所的に高い反応界面の温度を測定した結果だと考えられるが，解析結果から次のような傾向を認めることができる。

i) 図3.2－15のケース6, 7および8を比較すると，気泡液滴密度が大きい程，水素からナトリウムへの熱移行が大きく，ナトリウム温度が上昇する。

ii) 図3.2－15のように，ナトリウム入熱があり，下部プレナムがかなりボイド化する場合は，ナトリウム温度の上昇が大きく沸点に達する場合もある。

iii) 図3.2－16，図3.2－17のケース10, 12のように，下部プレナム部のボイド化が図3.2－11および図3.2－11に示されるように，ある程度小さくなれば，ナトリウム温度の上昇が小さく抑えられる。

(3)－2　放出系配管部温度

実験値はゆるやかに上昇し，ナトリウム温度について実験値を下まわるのはケース1～

3であり，他は高めに評価している。各パラメータの影響について以下に示す。

i) ナトリウム入熱がない場合，図3.2－18の如く，ナトリウム温度の上昇が見られず3秒以後は過小評価となる。

ii) 図3.2－19のように多ノード注水の場合は，コイル部全域でナトリウムが加熱されることから，温度上昇が見られ，気泡液滴密度を大きくとったケース5の場合は，さらに顕著となり，ほとんど水素温度と同じ温度で上昇する。

iii) 図3.2－21および図3.2－22のケース10，12のように，カバーガス－放出系配管部リンクモデルを変えた場合は，反応容器内にナトリウムが多めに残るため，ナトリウム熱容量も大きくなり，ナトリウム温度の上昇は，やや低く抑えられる。

(3)－3 上部プレナム温度

実験データでは，1.5秒頃から徐々に温度が上がり，3秒前後で急激に上昇し，振動しながら推移している。これに対して解析では，以下のような結果である。

i) 図3.2－24，図3.2－25のように，多ノード注水の場合，水素温度は高めとなり，ナトリウム入熱がない前者の場合はゆるやかに上昇するが，入熱がある後者の場合は，初期から水素温度は高くなる。図3.2－25ケース8では，水素とナトリウムの熱バランスで共に上昇し，ナトリウムは沸点に達する。

ii) 図3.2－26のように，気泡液滴密度が小さい場合，1秒頃に1200～1300℃のピークが生じ，以後800℃前後で一定となる。

一方，気泡液滴密度が大きい場合は，図3.2－27のように500℃前後を推移し，3秒以降ゆるやかに上昇する。

iii) 3秒頃に水素温度のみの立上りが見られるのは，ケース3（図3.2－23）及びケース12の放出系入口圧損を一部変えた参考ケースのケース13（図3.2－28）である。

以上のようにコイル部での伝熱流動が，コイル上部の条件に非常に過敏であり，ケース3のように水素ガスを抜けやすくした場合に，実験に近い傾向を示す場合もあるが，その3秒以降の立上りのメカニズムについては不明であった。又，ドリフトフラックスモデル変更案については，Hirtらのモデルとの整合性，高流速時の相対速度の考え方等に問題が残り，現状での適用は難しいと考えられる。

3.2.5 最適パラメータの選択

Run－5ケースの圧力，ボイド率，温度について実験とパラメータ解析で比較検討を行ったが圧力，ボイド率等については，ある程度解析結果に妥当性があり，温度については，基本的に実験データに合致，又は保守的であるものを選定した。

(1) 圧力については，いずれのケースも，ほぼ合うか，保守的評価となっているが，概して，気泡液滴密度は10^4～10^6（$1/m^3$）が実験値に近い。

(2) ボイド率（放出系配管）は，解析結果では全般に低めであるが，ナトリウム温度の上昇の

観点から，できるだけ反応容器内にナトリウムが残留し，実験データにより近いケース 10 又はケース 12 が望ましい。

(3) 下部プレナム温度については，実験値の初期のピークを反応界面と考えれば，いずれのケースの解析結果も実験値に合うか，過大評価となっている。又，多ノード注水の場合は，かなり過大評価となっている。

放出系配管部の温度については，ケース 1～3 を除き水素，ナトリウム温度共に解析結果は実験値に対し過大評価であるが，ケース 11, 12 が比較的実験値に近い。

上部プレナム温度については，実験で見られる 1.5 秒以降の高温の温度推移は反応界面の移動とも考えられるが，首尾一貫してこの現象を模擬できるパラメータセットは見当らなかった。この反応界面の移動については今後十分検討を要する課題と考えられる。

以上より，現段階で上部プレナム温度を除き，比較的実験データに近いケース 12 を最適パラメータケースとする。以下にケース 12 のパラメータ条件を示す。

最適パラメータ

◦気泡液滴密度	10^4 (1／m^3)
◦注水ノード数	1
◦ナトリウム入熱	30 kcal／mol
◦C／G－放出系リンクモデル	変 更 案

表3.2－1　SWAT－3　Run 5　解析ケース一覧表

番号	ケース名	(1) 気泡液滴密度（1／m^3）	(2) ドリフトフラックスモデル	(3) 注水ノード数	(4) ナトリウム入熱（kcaℓ／mol）	(5) C／G－放出系リンクモデル	備考
1	CASE 1	10^2	従　来	1	0	従　来	
2	CASE 2	10^2	変　更	1	〃	〃	
3	CASE 3	10^4	〃	1	〃	〃	
4	CASE 4	10^4	従　来	7	〃	〃	
5	CASE 5	10^6	〃	7	〃	〃	
6	CASE 6	10^2	〃	7	30	〃	
7	CASE 7	10^4	〃	7	〃	〃	
8	CASE 8	10^6	〃	7	〃	〃	
9	CASE 9	10^2	〃	1	〃	〃	
10	CASE10	10^2	〃	1	〃	変　更	
11	CASE11	10^4	〃	1	〃	従　来	
12	CASE12	10^4	〃	1	〃	変　更	
13	（CASE13）	10^4	〃	1	〃	〃	ケース12のパラメータ＊

＊C／G～放出系の圧損を小さめに評価した。

3.3 Run—6の実験解析

本節ではSWAC－13EによるSWAT－3，Run－6の実験解析について述べる。本実験解析では，主に2次系配管におけるナトリウム－水反応時の挙動，すなわち，構造評価上問題となるナトリウム温度，水素温度，及び流速に着目してコードの検証，解析に使用する最適パラメータの選定を行なった。コードの検証，及び最適パラメータの選定に際しては，他の実験解析の結果も踏えて解析コード（SWAC－13E）がナトリウム－水反応事故時の2次系各部の構造評価に適用できるよう留意した。

3.3.1 解析パラメータ

上記の点を考慮し，以下のパラメータ項目を選定し，実験値との比較・検証を行なった。

(1) 気泡／液滴密度　（10^2，10^4，10^6，10^8 個／m^3）

(2) 相対速度のモデル　（Hirt のモデル，Zuber のモデル）

(3) 反応熱のナトリウム入熱　（0，10，30 kcal／mol）

(4) 注水ノード数　（1，7ノード(*1)）

*1　7ノードに対する注水率分配割合は，Run－5解析と同じ

3.3.2 解析モデル

SWAT－3，Run－6の実験解析をSWAC－13Eにより行なう際の解析モデルを図3.3.2に示す。本解析において主に着目した2次系配管は，図において，ノード番号14，15のミドルレグ配管，ノード番号16のコールドレグ配管，及びノード番号18のホットレグ配管である。

3.3.3 解析条件

上記の気泡／液滴密度，相対速度のモデル，及び反応熱の取扱いによる解析結果に及ぼす影響を明らかにするために，表3.3－1に示す解析を行なった。表3.3－1において解析ケース名の表わす内容は次の通りである。

R 6 H 4 3 S
① ②③④⑤

① SWAT－3，Run－6

② 相対速度のモデル　H… Hirt のモデル
Z… Zuber のモデル

③ 気泡／液滴密度　2… 10^2
4… 10^4
6… 10^6
8… 10^8

④ 反応熱　0…従来通り
1… 10 kcal／mol
3… 30 kcal／mol

⑤ 注水ノード　S… 1ノード
P… 複数ノード

3.3.4 解析結果と実験結果の比較，検討

ここでは，SWAT－3，Run－6の実験結果と解析結果の，主に2次系配管における挙動の比較を述べる。なお，実験結果は図中に破線で示した。

(1) 気泡／液滴密度，相対速度のモデルの影響

気泡／液滴密度（10^2，10^4，10^6，10^8）と2種類の相対速度のモデル（Hirtのモデル，Zuberのモデル）の組み合わせによる計8ケースの解析における2次系配管各部（ミドルレグ，コールドレグ，ホットレグ）のナトリウム温度の変化，及びホットレグでの流速（ナトリウム）の変化を，それぞれ図3.3－4(a)〜(h)，図3.3－5(a)〜(h)，図3.3－6(a)〜(h)，図3.3－7－7(a)〜(h)に示す。なお，図中に表3.3－1で示した解析ケース名を記した。

図3.3－4に示すミドルレグ（ノード番号14；図3.3－2参照）のナトリウム温度は気泡／液滴密度，相対速度のモデルにかかわらず，いずれの場合も初期温度でほぼ一定である。

図3.3－5に示すコールドレグ（ノード番号16；図3.3－2参照）のナトリウム温度は，Hirtのモデルで気泡／液滴密度10^2で5.5秒から急激に上昇するが，これは，SWAC－13Eのプログラムに問題があったためで（付録A，コードの修正A.4参照），その後のコード修正により，このような現象は見られなくなった。その他のケースでは，ナトリウム温度は，あまり変化していない。

図3.3－10に示すホットレグ（ノード番号18；図3.3－2参照）のナトリウム温度は，上記と同じ理由でHirtのモデルの気泡／液滴密度10^2，10^4の場合に上昇するが，他のケースではほぼ一定となる。

一方，図3.3－7に示すホットレグ（リンク番号21；図3.3－2参照）における流速では，相対速度のモデルによる相違が大きく，実験結果（図中破線）と比較して，Hirtのモデルが定性的には一致している。また，Zuberのモデルでは，1秒前後の計算がやや不安定になっている。このため，相対速度のモデルにはHirtのモデルを用いることが望ましい。

(2) 反応熱の影響

ナトリウム－水反応時に発生する反応熱を考慮し，さらに注水ノードを複数（7ノード）にした場合の解析結果を図3.3－8(a)〜(h)，図3.3－9(a)〜(h)，図3.3 10－(a)〜(h)に示す。

図3.3－8は気泡／液滴密度10^4，反応熱30 kcal／mol，Hirtのモデル，注水ノード複数の場合（R6H43P）である。

図3.3－9は気泡／液滴密度10^6，反応熱0 kcal／mol（従来と同様水素ガスのみに反応熱を与え，他は無視），Hirtのモデル，注水ノード複数の場合（R6H60P）である。

図3.3－10は気泡／液滴密度10^6，反応熱10 kcal／mol，Hirtのモデル，注水ノード複数の場合（R6H61P）である。

上記各図には，ミドルレグ，コールドレグ，ホットレグのナトリウム温度，水素温度が示されている。なお，表3.3－1に示すように，気泡／液滴密度10^2のすべてのケース，気泡／液滴

密度10^4の反応熱0 kcal／mol，10 kcal／molの2ケース，気泡／液滴密度10^6，反応熱30 kcal／molのケースの合わせて6ケースは計算が初期に停止し，結果が得られていない。

解析結果は，上記3ケースのみの比較，及びRun−6以外の解析結果（本章他節参照）から，一般にナトリウム温度は気泡／液滴密度の小さい方が高く，また，同一の気泡／液滴密度に対しては反応熱の大きいほど高くなる。2次系配管においては，注水ノードを複数にしたため，蒸発器内の多数のノードでナトリウム温度が沸点にまで達したことから各部で温度が高くなり，実験結果に対し，極めて保守的な解析となっている。

上記を反映し，注水ノードを複数ノードから1ノード（図3.3−2のノード番号1）にして，気泡／液滴密度10^4，反応熱30 kcal／mol，Hirtのモデルにして行った解析結果を図3.3−11〜図3.3−17に示す。気泡／液滴密度を10^4としたのは，ここでは触れていないが他のRun及び本解析における蒸発器内部及び放出系配管における挙動の比較より，10^4という値が実験結果に最も近く，かつ実験結果を包絡することが明らかになったことによる。

図3.3−11は2次系配管のナトリウム温度を示しており，図よりナトリウム温度はミドルレグ，コールドレグで上昇するものの，わずかで実験値に対し，それを包絡し安全側の結果が得られている。

ホットレグにおける流速を図3.3−12に示す。流速に関しては反応熱の影響は少なく，前出の図3.3−7(b)とほぼ変らない結果が得られている。

蒸発器内部のナトリウム温度を示した図3.3−13においても，実験値（図中破線）を解析値が上回り，保守的な結果が得られている。また，放出系配管においても，図3.3.14に示す解析値が実験値（図中破線）を上回り，蒸発器内部同様保守的な結果が得られている。しかしながら，蒸発器内部，放出系配管ともに，解析値の方が実験値をかなり上回っているため，この原因となっている。蒸発器ナトリウムの残存量の実際量以上の低下を，どのように押えるかが今後の課題といえる。

3.3.5 最適パラメータの選定

前節3.3.3で得られた結果から，SWAC−13EによりSWAT−3，Run−6の実験解析を行う際の最適パラメータとして，以下の値が得られた。

(1) 気泡／液滴密度 …10^4〜10^8(*2)

(2) 相対速度のモデル…Hirtのモデル

(3) 反応熱 …30 kcal／mol

(4) 注水ノード数 …1（Node №1）

*2 この値は，2次系配管に着目した値であり，節3.3.3でも述べたように，蒸発器内部及び放出系配管での挙動を保守的に評価するためには10^4程度が妥当と考えられる。

表3.3－1　SWAT－3　Run 6　解析ケース一覧表

気泡／液滴密度	相対速度のモデル	注水ノード＼反応熱	0 kcal/mol		10 kcal/mol		30 kcal/mol	
			1ノード	複数ノード	1ノード	複数ノード	1ノード	複数ノード
10^2	Hirt		R6H20S	R6H20P*		R6H21P*		R6H23P*
	Zuber		R6Z20S					
10^4	Hirt		R6H40S	R6H40P*		R6H41P*	R6H43S	R6H43P
	Zuber		R6Z40S					
10^6	Hirt		R6H60S	R6H60P		R6H61P		R6H63P*
	Zuber		R6Z60S					
10^8	Hirt		R6H80S					
	Zuber		R6Z80S					

注）表中＊印を記したケースは計算が初期にストップし，結果は得られていないその後その原因は取り除かれ現在では計算可能となっている。

3.4 Run－7の実験解析

SWAT－3，Run－7の注水点はダウンカマ下部であり，前3ケースとはこの点で大きく異なる。このような注水点であっても温度評価上の保守的なパラメータを前3ケースと整合性をもたせて決定するために，Run－7の実験解析を実施した。

3.4.1 解析パラメータ

上記の点を考慮して次のパラメータ項目を選定した。

(1) 気泡／液滴密度　　(10^2, 10^4, 10^5, 10^6個／m^3)

(2) 相対速度のモデル　　(Hirt, Zuberのモデル)

(3) 反応熱のナトリウム入熱　　(0, 10, 30, kcal／mol)

(4) 注水ノード数　　(1, 7, 8ノード)

(5) カバーガス－放出系配管リンクモデル　　(Run－5の解析と同じ)

3.4.2 解析モデル

SWAT－3，Run－7の実験解析のネットワークモデルは図3.4－1に示すとおりである。Run－7はダウンカマ注水であるためRun－4～6までの解析モデルとは異っている。コイルのように物理的に分割されていないので，反応チャンネル（ダウンカマ）において横方向への流れを考慮している点及び反応チャンネルの下側にプレナム的ノードを設けている点に特徴がある。

3.4.3 解析条件

Run－7の実験解析条件を表3.4－1に示す。タタノード注水時の注水率配分割合は次のとうりである。

8ノード注水

([ ]内はクノード注水時)

ノード	1	2	3	4	5	6	7	8
注水割合	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.05	0.1 [0.0]	0.1 [0.2]

これは，カバーガスを含むノード（上部プレナム）にも注水されるとするモデルである（この場合コードの制約上カバーガスを含むノードを通過する水素ガス温度は低く見積られる）。

3.4.4 解析結果と実験結果の比較検討

3.4.4－1 水素以外への反応熱を無視した解析

気況／液滴密度および相対速度モデルのサーベイの結果得られた主要な結果を以下に示す。

(1) 気泡／液滴密度の影響（図3.4.4－1～図3.4.4－3参照）

気泡／液滴密度が小さくなるほど気泡／液滴界面の表面積が小さくなり，水素ガス温度は高くなる結果が反応部近傍，放出系配管および下部プレナムにおいて同様に得られた。これらの結果を図3.4.4－1から図3.4.4－3に示す。但し，反応部近傍（ダウンカマ）の水素ガス温度について，初期は気泡／液滴密度10^2(m^{-3})のケースが実験データに対する包絡

性が良いが，約2秒以後は気泡／液滴密度$10^4(m^{-3})$のケースを下廻る。これは，$10^2(m^{-3})$の場合ＳＧ内の圧力が高くなるため，水素ガスの流速が速くなり放出系へ早く抜けやすくなった影響と思われる。気泡／液滴密度を$10^2(m^{-3})$とすると，放出系配管内の水素ガス温度がかなり過大評価となる可能性が有り，全般的に見ると気泡／液滴密度は$10^4(m^{-3})$程度が適当と思われる。

なお，構造材の温度についてはどのケースにおいてもほとんど上昇しておらず，本実験の範囲では気泡／液滴密度の構造材温度へ及ぼす影響は小さいと言える。

(2) 相対速度モデルの影響

相対速度モデルが各部の水素ガス温度に及ぼす影響を図3.4.4－4に示す。

同図によると，Hirtのモデルおよび Zuber のモデルともに，気泡／液滴密度$10^2(m^{-3})$では特に放出系配管内の水素ガス温度を大きく過大評価する。気泡／液滴密度$10^4(m^{-3})$の場合は，反応部近傍（ダウンカマ）および放出系ともにHirtのモデルの方が保守側の結果となる。

Zuber のモデルでは，気泡／液滴密度$10^4(m^{-3})$の両ケースともにSG内の水素ガス温度に振動が見られる。（Zuber のモデルはもともと熱的平衡な事象としており，本ナトリウム・水反応への適用には多少無理がある)。

また，Zuber のモデルでは気泡／液滴密度$10^4(m^{-3})$の場合にさらに長時間計算では放出系配管の下流側において過小評価となる可能性がある。

3.4.4－2 水素以外への反応熱を考慮した解析

反応熱および気泡／液滴密度のサーベイの結果を主として以下にまとめる。また参考として，カバーガスと放出系を結ぶリンクの流路面積のサーベイ結果について示す。

(1) 反応熱の影響（図3.4.4－5～図3.4.4－7参照）

ここでは，1ノード注水，気泡／液滴密度$10^4(m^{-3})$でナトリウム中への反応熱，30kcalℓ／molを考慮した場合と，無視して0kcalℓ／molとした場合について比較検討する。（＊3.4.4−1との比較)図3.4.4.−5(a)によるとダウンカマ部（ノード3）において，水素ガス温度は反応熱30 kcal／molを考慮した場合が約20～40℃ピーク値が高くなる。

放出系配管部（ノード24）においては，反応熱を考慮した場合が水素ガス温度約100 ℃（at 6秒），構造材温度で約10℃（at 6秒）高くなっている。

(2) 気泡／液滴密度の影響（図3.4.4－5～図3.4.4－7参照）

ダウンカマ部（ノード3）の温度については，気泡／液滴密度$10^4(m^{-3})$の場合が実験値に対する包絡性は比較的よい。ナトリウムの温度は，気泡／液滴密度10^4，$10^2(m^{-3})$の場合ともに約1秒で沸点に達する。これは反応部近傍のノードが急激にボイド化され，ナトリウムが解析上ほとんどなくなるためで熱容量的には小さく，構造材温度へ及ぼす影響は小さい。

図3.4.4.7によると放出系配管部（ノード24）については，気泡／液滴密度10^2(m^{-3}）の場合，約6秒以後急激にナトリウム温度が上昇し，これに伴って水素ガス温度も再び上昇する傾向にあり，実験値に対してもかなり過大となっている。これは気泡／液滴密度が10^2（m^{-3}）の場合SGから収能容器へ放出されるナトリウム量が多いため，SG内に残存するナトリウムが少なくなり高温となって放出系配管へ流入したこと等が原因と考えられる。

気泡／液滴密度10^4(m^{-3}）の場合，約6～10秒で温度が頭打ちとなり，ナトリウム温度及び水素温度はそれぞれ約400℃，約500℃（at10秒）で実験値に対して両者とも保守側の結果となっている。

(3) 流路面積の影響（図3.4.4－8参照）

カバーガスと放出系配管を結ぶリンク（サブリンク1）の流路面積を放出系配管の断面積からカバーガス部の断面積に変更した場合の解析を実施した。後者はイナーシャが小さくなるため，ガスが放出系へ逃げやすくSG内の圧力が低くなっている。このため収納容器へ放出されるナトリウム量が少なくなり，放出系配管内の温度が低くなっている。ダウンカマ部の温度には，本ケースの場合大きな影響はない。

3.4.5 最適パラメータの選定

SWAT－3，Run7の実験解析より得られた最適パラメータは以下のとおりである。

- ◦気泡／液滴密度　：　10^4　m^{-3}
- ◦モル転換比　：　0.5　モル
- ◦反応部水素ガス温度　：　1140　℃
- ◦反応熱　：　30　kcaℓ/mol
- ◦相対速度モデル　：　Hirtのモデル
- ◦注水ノード　：　1　ノード

なお，以上は流体温度を実験値に対して保守側に対して保守側に評価するという観点等から選定した値である。

表3.4－1　SWAT－3，Run 7実験解析ケース

解析ケース	気泡／液滴密度〔m^{-3}〕	相対速度モデル	反応熱〔kcal/mol〕	注水モデル	備考
Run 7 DF00	10^6	Hirt	0	1ノード注水	
〃 DF01	10^2	↓	↓	↓	
〃 DF02	10^4	↓	↓	↓	
〃 DF03	10^5	↓	↓	↓	
〃 DF04	10^4	Zuber	↓	↓	
〃 DF05	10^2	Zuber	↓	↓	
Run 7 QNW1	10^6	Hirt	30	8ノード注水	
〃 QNW2	10^4	↓	↓	↓	
〃 QNW3	10^2	↓	↓	↓	
〃 QNW4	10^4	↓	10	↓	
〃 QNW5	10^4	↓	0	↓	
Run 7 QN2	10^4	↓	30	1ノード注水	
〃 QN3	10^2	↓	↓	〃	
RN7 QNW2A	10^4	↓	↓	7ノード注水	
Run 7AL1	10^4	↓	↓	1ノード注水	カバーガス→放出系リンク面積変更

＊水素以外の反応生成物等に与えられる反応熱

4.0 実験検証のまとめ

4.1 概　論

圧力挙動についてはSWACS以来同様のパラメータ・サーベイがなされて来ているので，比較的良い一致が見られた。しかしながら，放出ナトリウム量に関しては依然過大評価する傾向が見られ，これがEVや放出配管内でのかなり高い流体温度となって現われている。

EVコイル部上部破損を模擬したRun 4のケースでは圧力挙動については全般に保守性が見られた。温度評価については，パラメータ，特に気泡／液滴密度の選択により保守性を保つ事ができる。

EVコイル部下部破損でなお且つ最大規模の水リーク試験であったRun 5の場合，やや問題が生じた。それは，EV内と放出系配管内の評価に対して最適パラメータが異なり，また上述した原因で過度に保守的な結果が放出系配管内流体温度に対して得られている事である。圧力挙動に関して概ね適度な保守性の範囲にあると言える。

EVコイル部下部破損であるRun 6では特に2次系に注目した解析を行なった。Run 6試験結果では2次系内の熱交換器間を接続する配管内での温度上昇はわずかであったが，計算上は最初に述べたEV内のナトリウム温度の上昇の影響を受けて，ミドルレグやコールドレグでは温度上昇が現われ，保守的な計算結果となっている。

EVダウンカマ一部でのリークを模擬したRun 7のケースでも，他の場合と同様放出系配管内のナトリウム温度がかなり過大となっているが，解析の保守性は全ての場合保たれている。

いずれの場合もEV内や放出系配管内のナトリウム温度は過度に高いが，ボイド率も高いため構造材に対する影響は意外に小さく，構造材の温度上昇も妥当な範囲に収まっている点は注目しなければならない。

4.2 主要解析パラメータの選択

(1) 反応熱量QGEN

水素以外の反応生成物から直接ナトリウムに伝えられる反応熱を考慮した場合，当然の事ながらナトリウムの温度上昇は見られるが，水素ガス温度の変化はわずかである。特にリーク率の大きいRun 5のケースでは反応熱を考慮しない場合，実験結果に比べナトリウム温度を過小評価する恐れもある。これに対し，反応熱 30 kcal/mol を考慮するとEV及び放出系のナトリウム温度は沸点にまで達する場合もある。但しリーク率の小さい他のRunのケースでは両者の開きはそれほどではない。

反応熱を考慮すると構造評価上厳し過ぎる面もあるがそれについて後述するとして，ともかく過小評価は避けると言う意味から，理論上の反応熱量 30 kcal/mol は考慮しない訳にはいかない。よって，

QGEN＝ 30 kcal/mol

(2) 注水ノード数

注水ノードを複数個にする事によって，ある程度広範囲に反応域を想定する事は可能となったが，別の面での影響が現れた。即ち，多ノード注水のケースでは放出ナトリウム量が更に増え，EV内や放出系配管内流体温度にかなり過大な評価を招く。これに対し，単ノード注水の場合は潜熱の形で熱量が保持される事もあり，同温度の過大評価の程度はやや弱まる。現SWAT−3解析においては，反応熱を考慮した事による過度なナトリウム温度上昇が問題となっており，このため，少しでも温度上昇を抑える意味で単ノード注水を選択する。

NNODEW＝1

(3) 相対速度モデル

Hirtのモデルに比べてZuberのモデルでは水素からナトリウムへの熱移行が大きく，従って水素ガスの温度降下が早くから生じる。このためEV内では気泡／液滴密度N＝ 10^4 を用いても過小評価となる事がある。これに対しHirtのモデルではN＝ 10^4 で実験値を包絡しておりZuberのモデルより適している。

(4) 気泡／液滴モデル

Nは水素ガスからナトリウムへの熱移行に特に強い影響を及ぼしている。放出系配管内ではN＝ 10^6 の場合，両者は熱的平衡状態にあり，ほぼ同じ温度を示す。これに対し，N＝ 10^2 の場合は水素ガスがかなり（Runで1300℃）のまま放出系まで運ばれる。放出出流体温度に関しては反応熱を考慮した場合，N＝ 10^2 ～ 10^6 のいずれの場合もかなり保守性が強く特に 10^2 では厳しくなる。EV内の温度については，N＝ 10^6 を選ぶと過小評価となる。またRun5の上部プレナムでは 10^4 でも過小評価となっている。従って一般の解析にはN＝ 10^4 を用い，反応域に含まれるような局所的な評価には 10^2 を用いると言うような工夫も考えられる。

(5) EVカバーガス−放出系配管リンク・モデル

Run5及び7で行なったEVカバーガス→放出系配管サブリンクの変更については，EV内及び放出系配管内の流体温度の過大評価を緩和するに効果のある事が判った。方法としてはやや人為的過ぎるきらいはあるが，現コードの2相流モデルがうまく現象を把えていると言い難い状況では過度に保守的な評価を行なわないためにも，このようなある程度の便宜的な方法もやむを得ないものと思われる。

表4.1　最適パラメータの選択

○ナトリウム入熱	:	30〔kcaℓ/mol〕
○注水ノード数	:	1
○ドリフト・フラックス・モデル	:	Hirt 3のモデル
○気泡／液滴密度	:	10^4〔m^{-3}〕

表4.2　最適パラメータでの温度評価

	E V 内	放出系	2次系配管
Run 4	◎	○	
Run 5	◎ (×上部プレナム)	△	
Run 6	○	△	◎
Run 7	△	△	

△　かなり保守側
○　やや保守側
◎　良く一致
×　非安全側

4.3 今後の課題

本実験検証にて現SWAC－13Eの問題点がいくつか明らかになった。更にSWAC－13Eの完成度を上げるために今後の改良が必要と思われる項目を以下に列挙した。

i) 2相流モデルの改良

2相流モデルの不適切さから来る問題として，放出されるナトリウム量が実際以上に多過ぎSG側で圧力の抜けが悪く，逆にRPT側では圧力を過小評価する恐れがある。

放出ナトリウム量が過大評価であるため，温度評価上も極めて厳しい解析結果を招いている。より適切な2相流モデル（TRAC，RELAP等）を適用する必要がある。

ii) 2次系配管流モデル

本書では特に取り上げなかったが，2次系配管内流動モデルにもやや問題があり，SH等での圧力挙動に不一致が目立つ。

iii) 反応域モデル

反応部のモデルの問題として，実現象としての反応域はかなり広く分布し，コイル部下部注水のケースでは下部プレナムやコイル部上部まで反応界面が及んでいるにもかかわらず，計算コードのモデルは注水ノードで完全に反応を終え，隣接ノードに流れ込む水素ガスはナトリウムとの熱交換により温度が低下していくと言うようになっているので，特にリーク率が大きい場合，注水ノード以外のリーク点近傍は水素ガス温度の過小評価が生じる。これは一つには，気泡／液滴密度等のパラメータが事故SG内と放出系に対して同一値で適用される事にやや無理があると思われているので，特に反応域近辺実現象に即したパラメータ値を内部的に計算して用いるような方式も検討する必要がある。

5.0 おわりに

今回のSWAC－13EのSWAT－3データを使った実験検証により，大リーク・ナトリウム－水反応時の温度挙動評価に対する本コードの有用性と，もんじゅSGの評価に使用可能な安全側のパラメータを決定することができた。

現コードには，実験データとのベスト・フィットの観点からはまだ不充分な所もあるが，設工認の構造評価作業スケジュールに間に合わせる関係上，コードの大きな改造を避けた。しかしながら本コードの妥当性の立証と，過度な保守性を排するためには，今後コードの改造とその実験検証が必要である。

最後に末筆ながら本検証作業グループの発足と作業計画の立案に当っては，FBR本部安全工学ブロックの渡辺章主幹，羽賀一男副主任研究員に御指導をいただき，また原型炉建設部機械課の小川信行研究員，大洗工学センタープラント安全工学室の三宅収研究員には種々の有益な助言と協力をいただいた。ここに各氏への感謝を表します。

参 考 文 献

(1) 田辺，広井，佐藤，堀「大リーク・ナトリウム−水反応時の準定常圧力学動計算コード SWAC−13−大リーク・ナトリウム−水反応解析 (第2報)−」
PNC SN941 77−170, 1977年4月

(2) O. Miyake, M. Sato, "Interium Report on SWAC−13E Development for Analysis of Long−Term Transients of Large−Scale Sodium−Water Reaction (Large Leak Sodium−Water Reaction Analysis Report №13)"
PNC SN941 83−133, Aug., 1983.

(3) 広井，佐藤，田辺，錦見，吉岡，堀「蒸気発生器安全性総合試験装置 (SWAT−3) Run−4試験結果 大リーク・ナトリウム−水反応試験 (第9報)−」
PNC SN941 79−118, 1979年6月

(4) 広井，佐藤，田辺，錦見，吉岡，堀「蒸気発生器安全性総合試験装置 (SWAT−3) Run−5試験結果 −大リーク・ナトリウム−水反応試験 (第10報)−」
SN941 79−04, 1978年10月

(5) 田辺，佐藤，広井，錦見，吉岡，堀「蒸気発生器安全 総合試験装置 (SWAT−3) Run−6試験結果 −大リーク・ナトリウム−水反応試験 (第11報)−」
SN941 78−154, 1978年10月

(6) 広井，佐藤，大後，堀「蒸気発生器安全性総合試験装置 (SWAT−3) Run−7試験結果 −大リーク・ナトリウム−水反応試験 (第12報)−」
SN941 79−155, 1979年8月

(7) 小原，中島，三宅「大リーク・ナトリウム−水反応解析コードの検証計算と適用計算」
(プラント安全工学室内部資料) 1982年9月

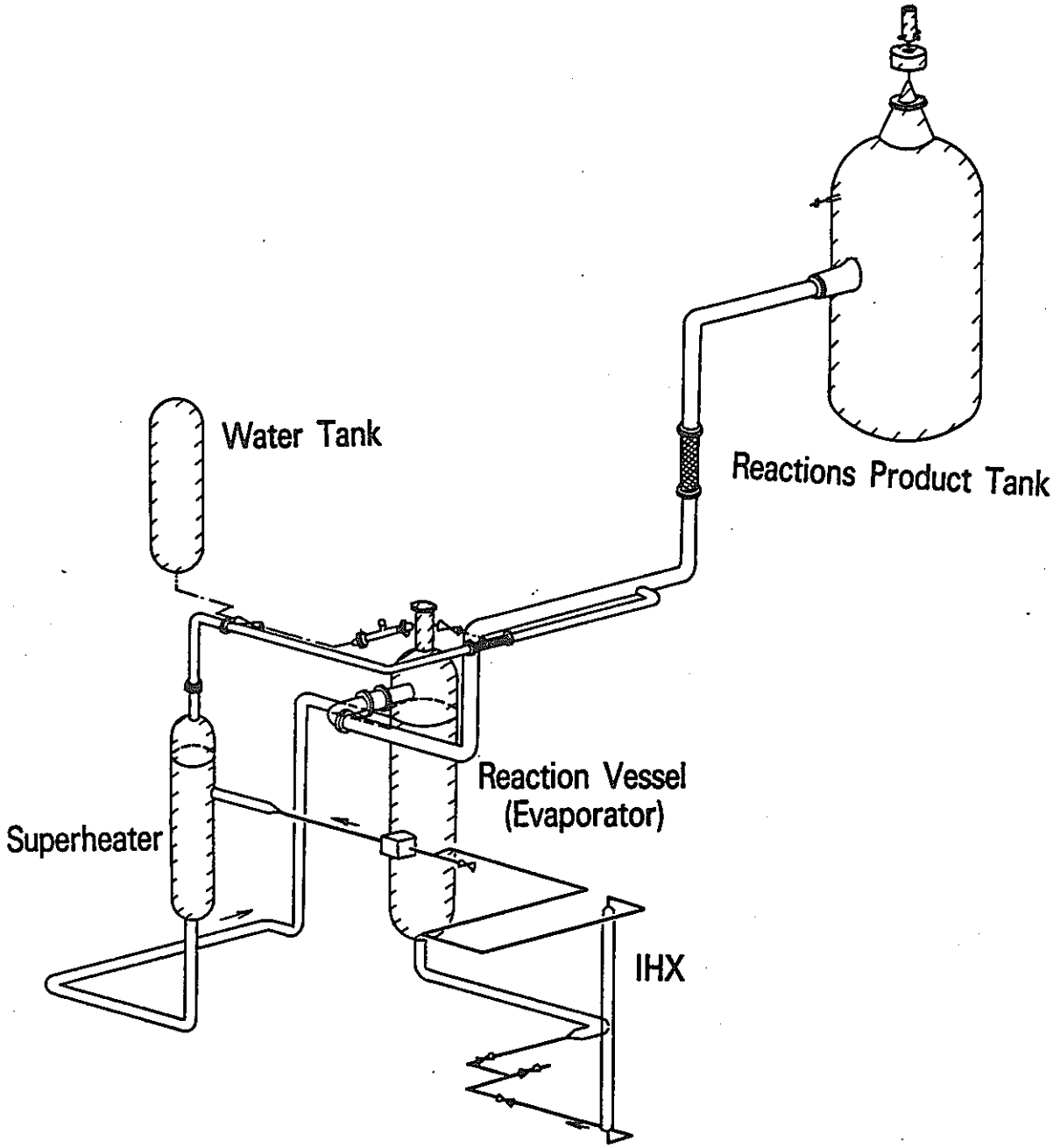


Fig 2.1－1 SWAT－3 試験装置

Layout of SWAT-3 Test Facility

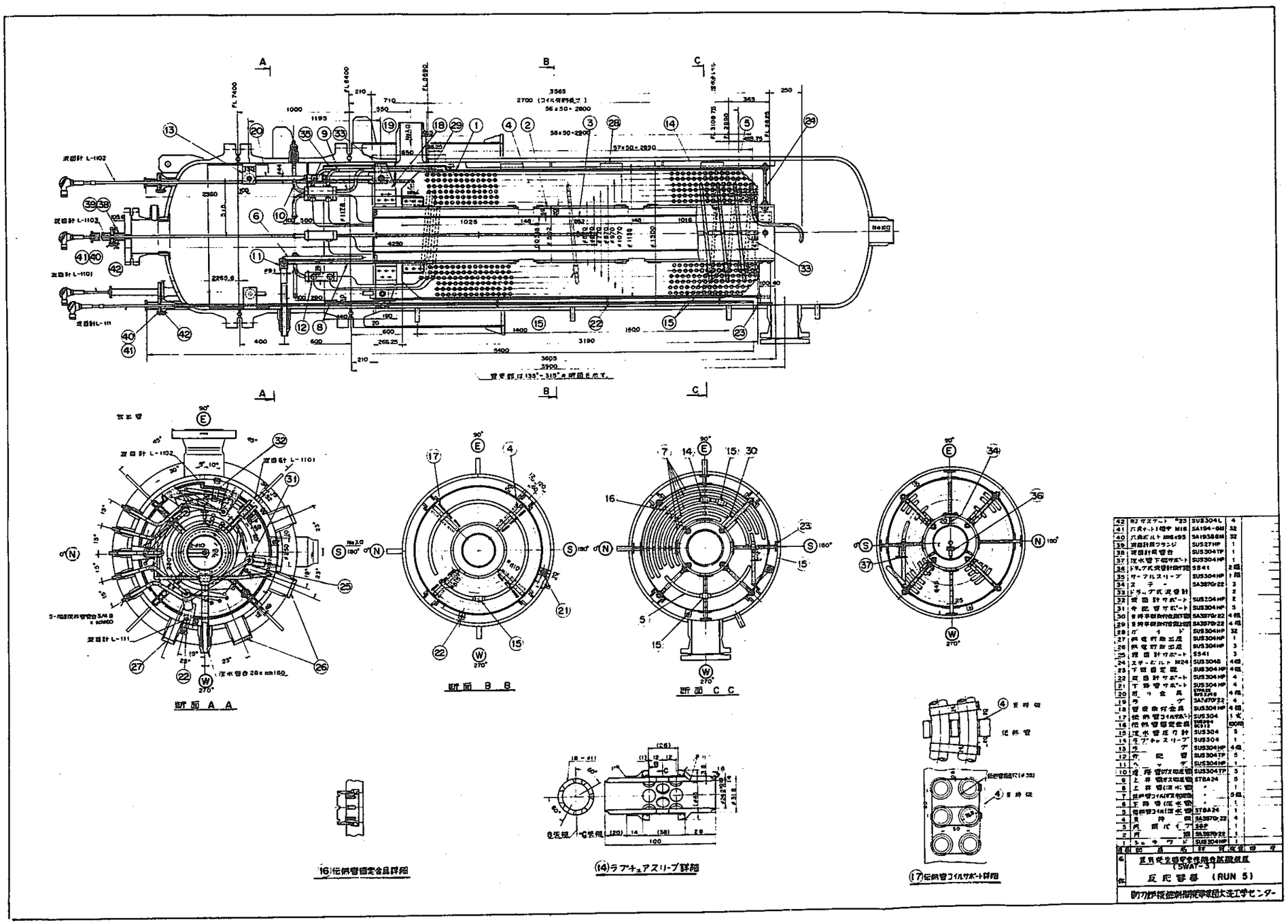
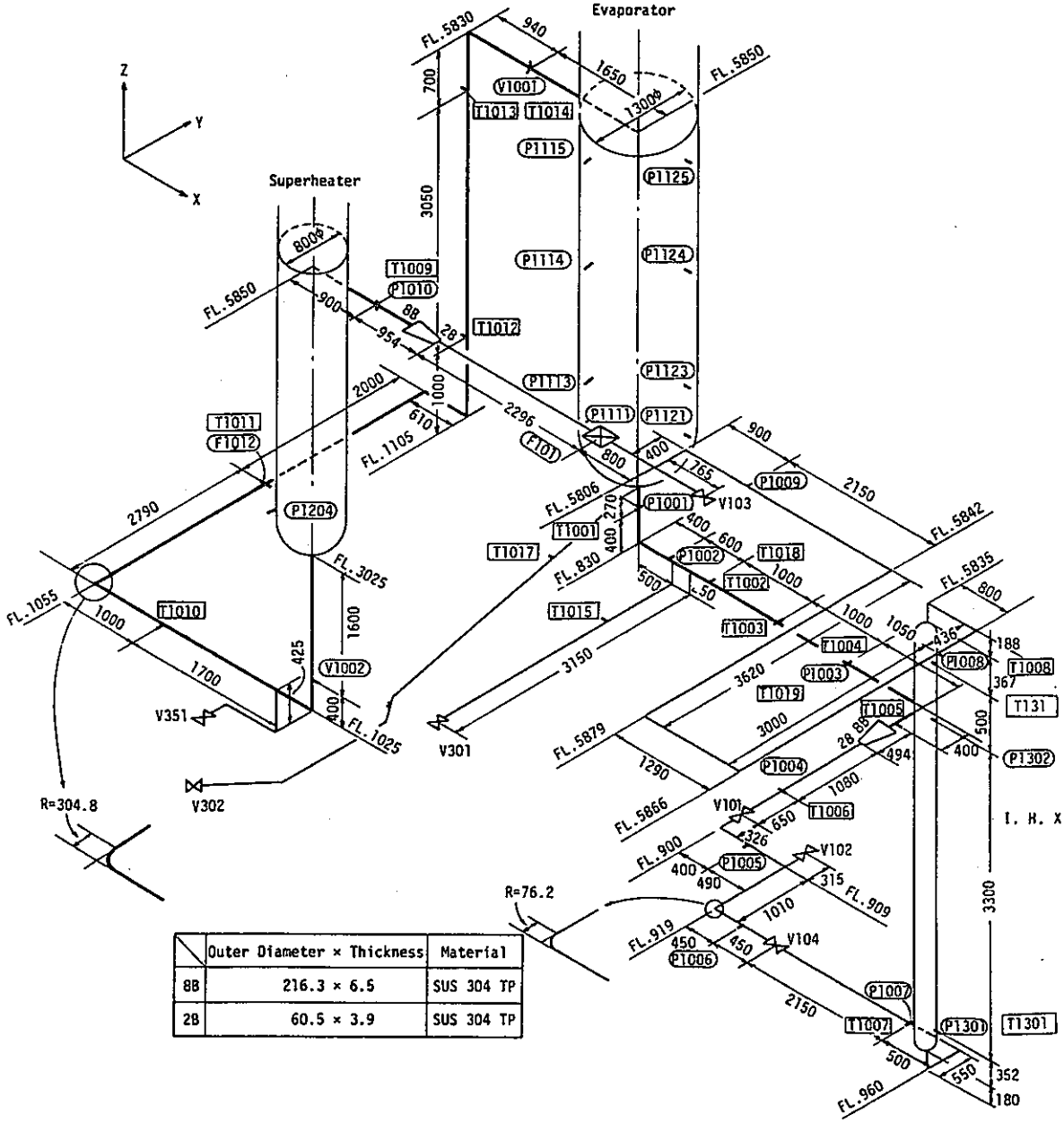


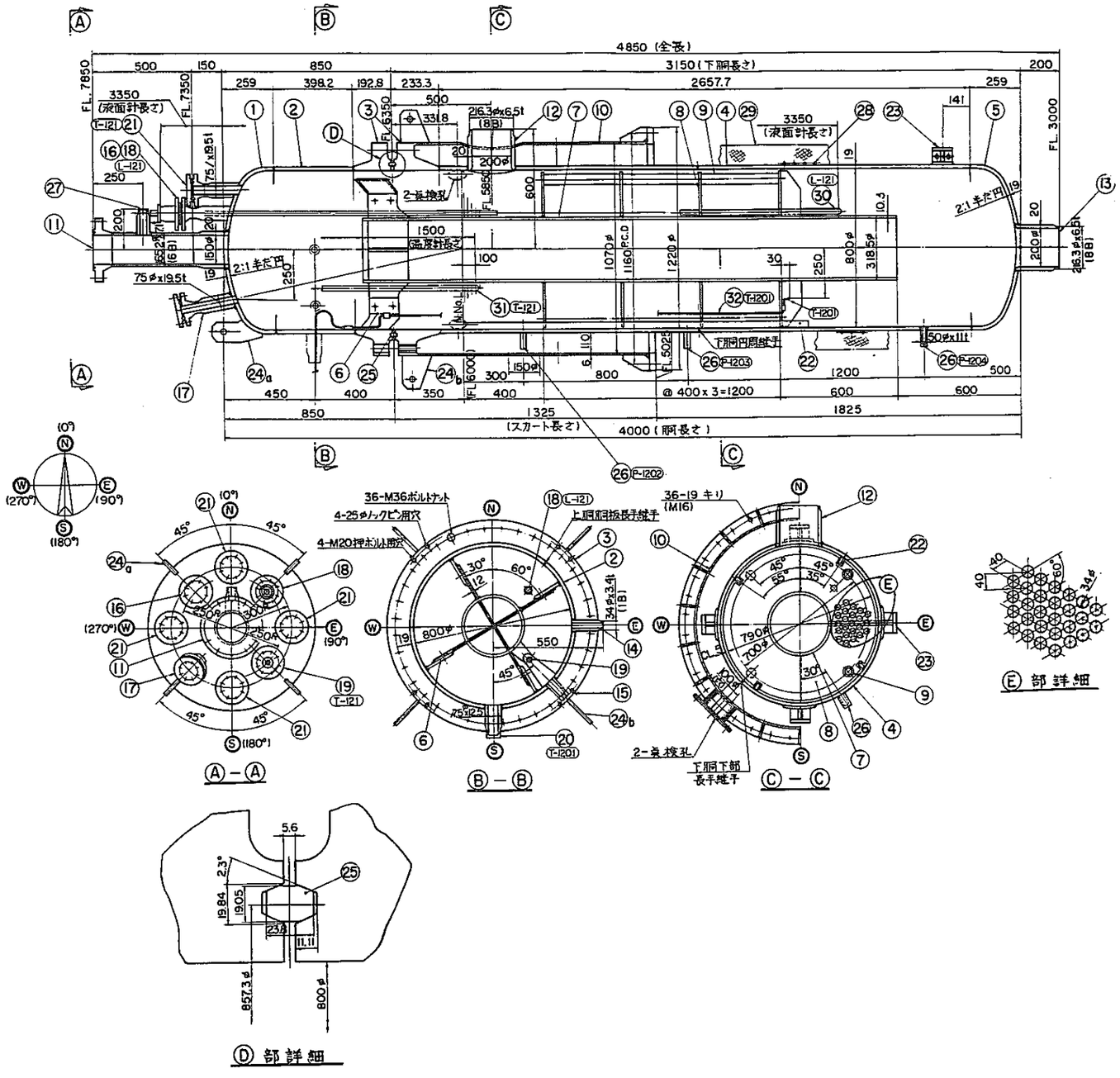
Fig. 2.1－2　Run－5 試 験 体 組 立 図

Evaporator (Run 5)



	Outer Diameter × Thickness	Material
8B	216.3 × 6.5	SUS 304 TP
2B	60.5 × 3.9	SUS 304 TP

Fig. 2.1-3 Secondary Loop Circuit in SWAT-3



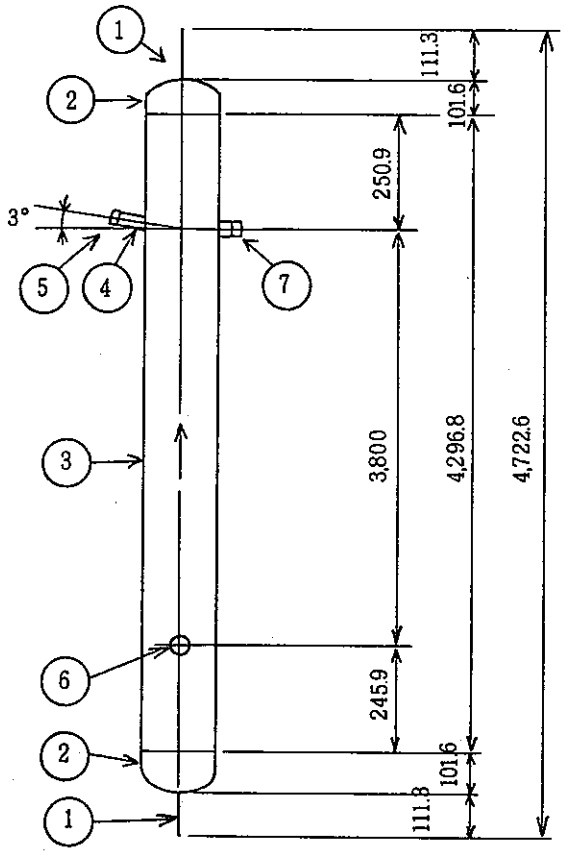
N-SH-13	放出バイパス管台	JIS SUS304B	1	
-12	エンジン指圧計用座		3	(P-1202)~(P-1204)
-11	試験用予備座		4	
-10	熱電対取出座		1	(T-1201)
-09	温度計用座		1	(T-121)
-08	差圧式液面計用座		1	(L-121) (3孔振れ)
-07			1	(L-1202) 他3ヶ所
-06	差圧式液面計用座		1	(L-120) 〃
-05	カバーガス圧力計用座		1	(P-120) 1B
-04	カバーガス入口管台	JIS SUS304B	1	1B
-03	ナトリウム出口管台	JIS SUS304 管台 鍛造材	1	8B
-02	ナトリウム入口管台		1	8B
N-SH-01	放出管台	JIS SUS304 管台 鍛造材	1	6B
管台番号	名称	材質	数量	備考

管台一覧表

32	シース型熱電対	インコネル JIS SUS316	1組	(T-1201)
31	ウェル型熱電対	JIS SUS316	1組	(T-121)
30	差圧式液面計 L=3500	—	1組	(L-121)
29	保温材	ケイシフレックスフェルト	0.39 m³	
28	予備用シースヒーター	JIS SUS304	1組	
27	バイパス放出管	JIS SUS304B	1	放出管台付 (2B)
26	エンジン指圧計用座	JIS SUS304B	3	2B相当 (P-1203)~(P-1204)
25	ガスケット	JIS SUS304L 厚さ3.2	1	本体フランジ用
24a,b	機ぼおよび吊り金具	JIS SUS304	a=2 b=2	
23	本体振止金具		4組	
22	内部機器架台金具	JIS SUS304	4	
21	試験用予備座	JIS SUS304B	4	上部鏡板付 (2B管フランジ)
20	熱電対取出座		1	上胴付 (T-1201)
19	温度計用座		1	上部鏡板付 (T-121)
18	差圧式液面計用座		1	(L-121)
17			1	(予備座)
16	差圧式液面計用座		1	上部鏡板付 (予備座)
15	カバーガス圧力計用座		1	上胴付 (エンジン指圧計)
14	カバーガス入口管台	JIS SUS304B	1	上胴付 (1B)
13	ナトリウム出口管台	JIS SUS304 管台 鍛造材	1	下部鏡板付 (8B)
12	ナトリウム入口管台		1	下胴付 (8B)
11	放出管台	JIS SUS304 管台 鍛造材	1	上部鏡板付 (6B)
10	本体支持スカート	JIS SUS304-GR鋳 SS41 (下部)	1組	
9	タイロッド	JIS SUS304TP	12	
8	多孔板	JIS SUS304	4	
7	内筒	JIS SUS304TP	1	
6	内部受置支持承	JIS SUS304	4	
5	下部鏡板		1	
4	下胴	JIS SUS304	1	
3	本体フランジ	JIS SUS304 管台 鍛造材	1組	
2	上胴	JIS SUS304	1	
1	上部鏡板	JIS SUS304	1	
品番	部品名	材質	個数	備考

名称: 蒸気発生器安全性総合試験装置 (SWAT-3)
模擬過熱器 組立図
動力炉核燃料開発事業団大洗工学センター

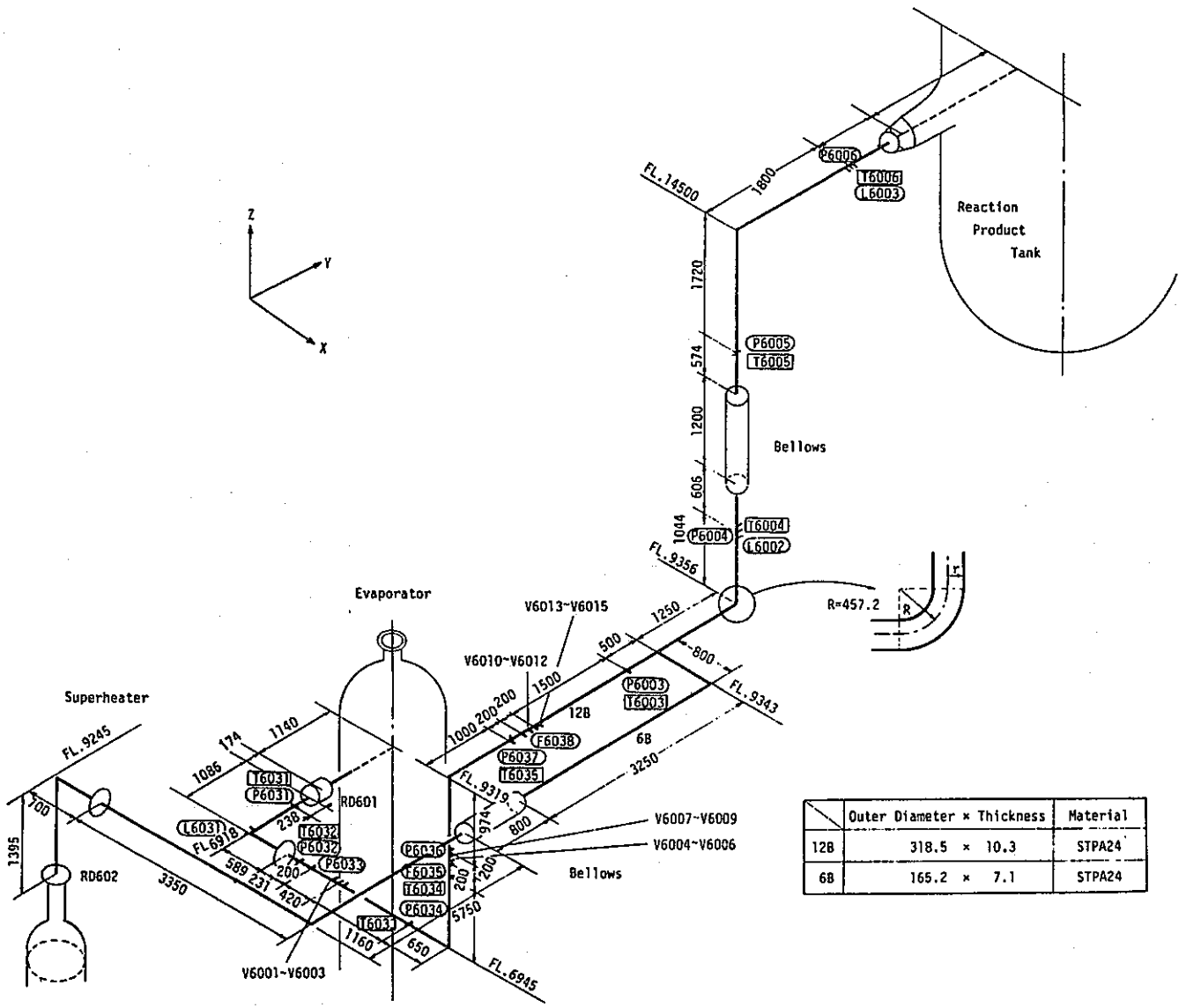
Fig. 2.1－4 模擬加熱器組立図
Superheater



部品表	7	T 1301温度計用座	SUS 304 TP	1	0.3			
	6	T 131 温度計用座		1	0.3			
	5	P 1302圧力計用座		1	0.2			
	4	P 1302圧力計取付管		1	0.6			
	3	8B × S/40 × 4296.8	SUS 304 TP	1	144.4			
	2	8B × S/40 キャップ	SUS 304 相当	2	8.1	(JIS−B−2305)		
	1	2B × S/40 × 120	SUS 304 TP	2	1.4			
MLC	番号	品名・寸法	材質	個数	重量	引当番号		合計重量

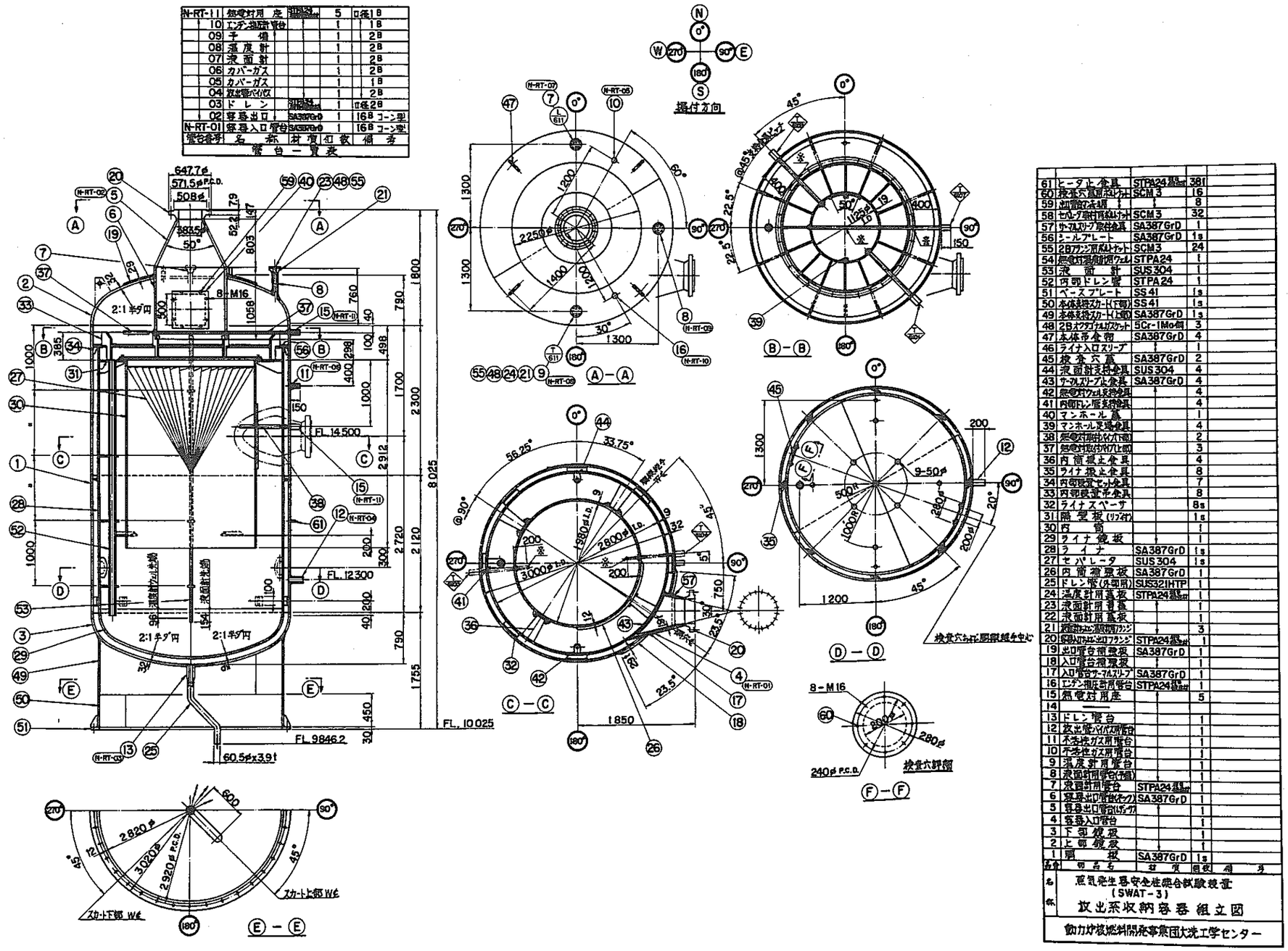
Fig. 2.1−5 中間熱交換器

IHX



	Outer Diameter × Thickness	Material
12B	318.5 × 10.3	STPA24
6B	165.2 × 7.1	STPA24

Fig. 2.1-6 Instrumentation Locations in Pressure Relief Line



61	ヒータ止金具	STPA24	381	
60	検査穴閉止フランジ	SCM3	16	
59	出口管台フランジ	↑	8	
58	セルフ-ク用内ねじボルト	SCM3	32	
57	サーマルスリーブ取付金具	SA387GrD	1	
56	シールプレート	SA387GrD	1s	
55	2Bブラインドボルト	SCM3	24	
54	熱電対温度計用ウェル	STPA24	1	
53	液面計	SUS304	1	
52	内部ドレン管	STPA24	1	
51	ベースプレート	SS41	1s	
50	本体支持スカート(下部)	SS41	1s	
49	本体支持スカート(上部)	SA387GrD	1s	
48	2Bスタッドボルトナット	SCr-1Mo鋼	3	
47	本体吊金物	SA387GrD	4	
46	ライナスロスリーブ	↑	1	
45	検査穴蓋	SA387GrD	2	
44	液面計支持金具	SUS304	4	
43	サーマルスリーブ止金具	SA387GrD	4	
42	熱電対ウェル支持金具		4	
41	内部ドレン座支持金具		4	
40	マンホール蓋		1	
39	マンホール受座金具		4	
38	熱電対温度計(小)用		2	
37	熱電対取付ボルト(上部)		3	
36	内筒振止金具		4	
35	ライナ振止金具		8	
34	内筒設置セット金具		7	
33	内筒設置吊金具		8	
32	ライナスペーサ		8s	
31	階望板(リブ付)		1s	
30	内筒		1	
29	ライナ鏡板		1	
28	ライナ	SA387GrD	1s	
27	セパレータ	SUS304	1s	
26	内筒補強板	SA387GrD	1	
25	ドレン管(外側用)	SUS321HTP	1	
24	温度計用蓋板	STPA24	1	
23	液面計用蓋座	↑	1	
22	液面計用蓋板	↑	1	
21	熱電対ウェル測温カバー		3	
20	熱電対ウェル出口フランジ	STPA24	1	
19	出口管台補強板	SA387GrD	1	
18	入口管台補強板	↑	1	
17	入口管台サーマルスリーブ	SA387GrD	1	
16	エンデン温度計用管台	STPA24	1	
15	熱電対用座	↑	5	
14	———			
13	ドレン管台	↑	1	
12	放出管・ベント用管台	↑	1	
11	不活性ガス用管台	↑	1	
10	不活性ガス用管台	↑	1	
9	温度計用管台	↑	1	
8	液面計用管台(予備)	↑	1	
7	液面計用管台	STPA24	1	
6	窓導出口管台(キック)	SA387GrD	1	
5	窓導出口管台(レデューサ)	↑	1	
4	窓導入口管台	↑	1	
3	下部鏡板	↑	1	
2	上部鏡板	↑	1	
1	胴板	SA387GrD	1s	
品番	品名	材質	個数	備考

名称: 蒸気発生器安全性総合試験設備 (SWAT-3)
放出系収納容器組立図
動力炉核燃料開発事業団大洗工学センター

Fig. 2.1－7 放出系収納容器組立図
Reaction Product Tank

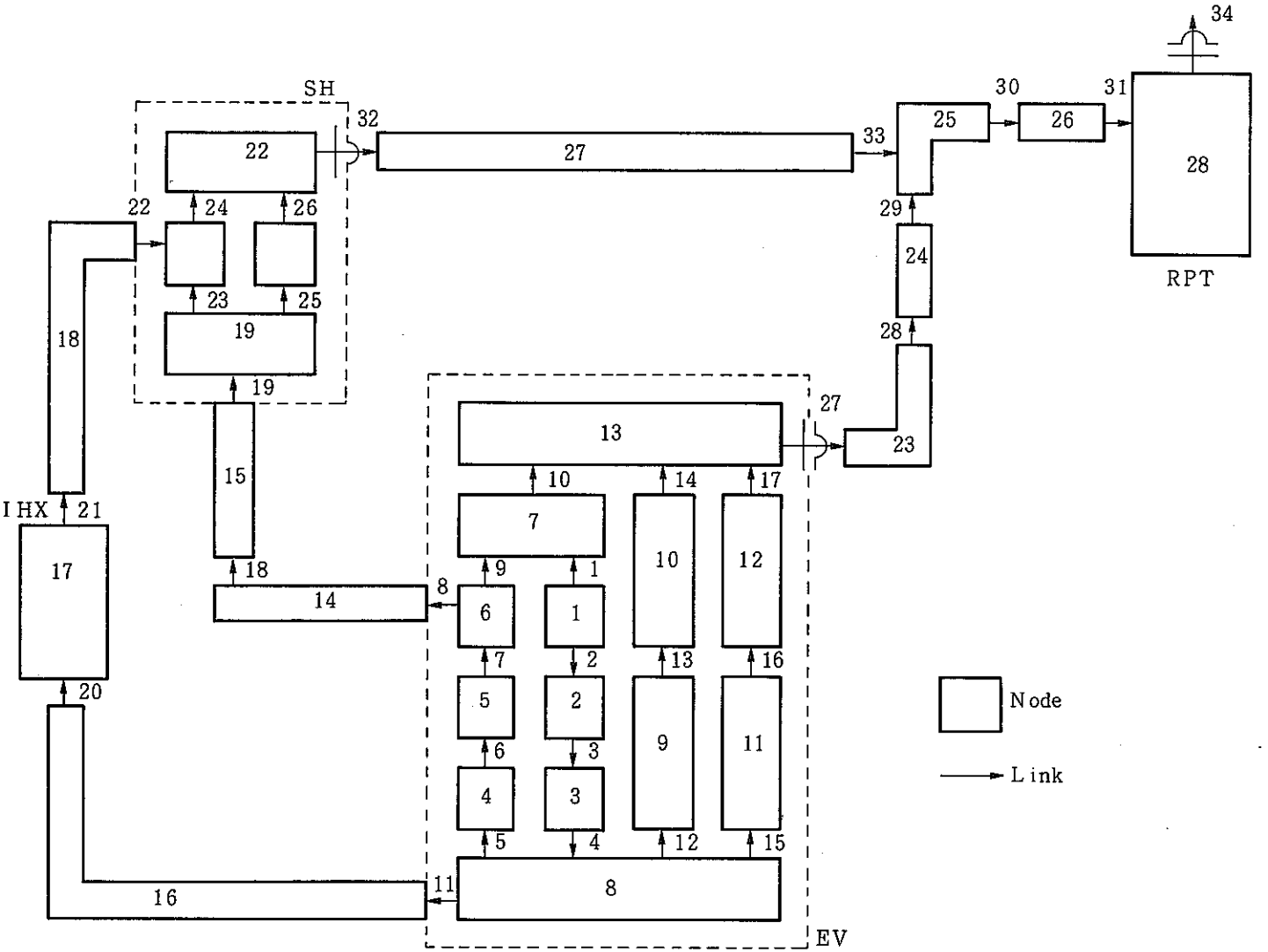


図3.1－1　SWAT－3，Run－4実験解析モデル

Network Model for SWAT-3 Run-4 Analysis

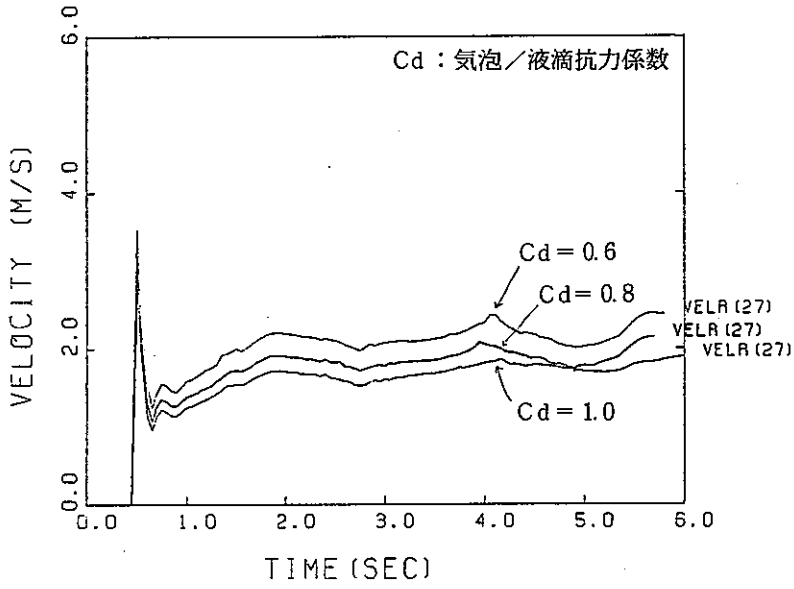


図3.1－2　気液相対速度の気泡／液滴抗力係数の依存性（リンク27）－Hirtのモデル

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Drag
Coefficient on Relative Velocity (Link 27) - Hirt's Model

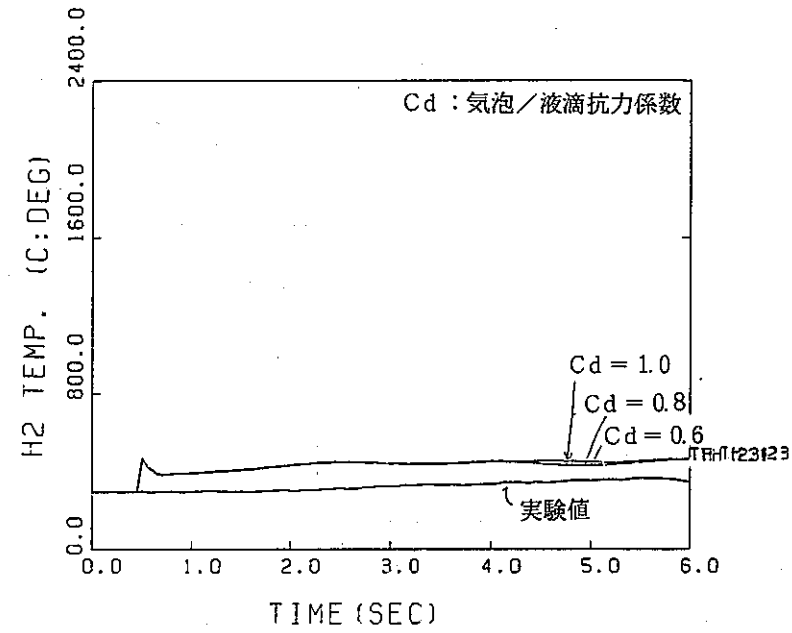


図3.1－3　水素ガス温度の気泡／液滴抗力係数の依存性（ノード23）－Hirtのモデル

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Drag
Coefficient on Hydrogen Temperature (Node 23) - Hirt's Model

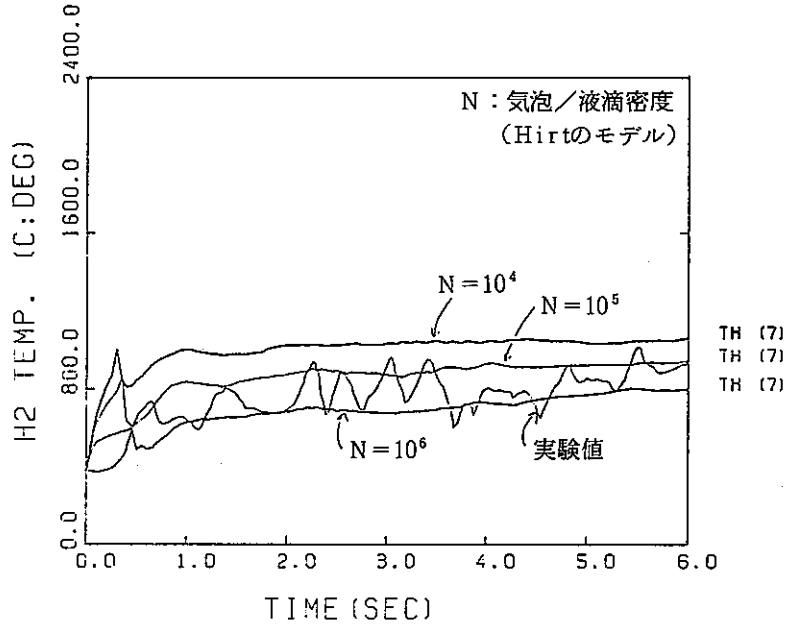


図3.1－4　水素ガス温度の気泡／液滴密度の依存性（ノード7）－Hirtのモデル

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Hydrogen Temperature (Node 7) - Hirt's Model

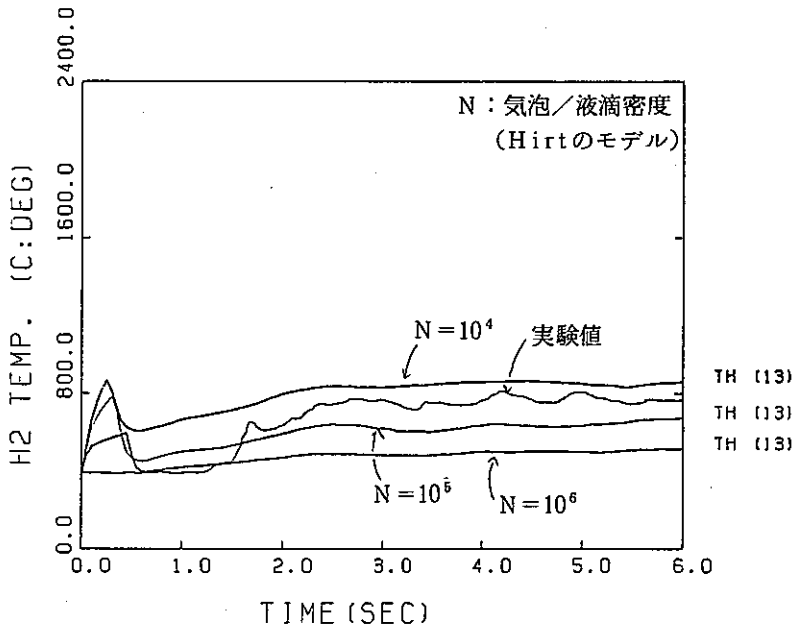


図3.1－5　水素ガス温度の気泡／液滴密度の依存性（ノード13）－Hirtのモデル

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Hydrogen Temperature (Node 13) - Hirt's Model

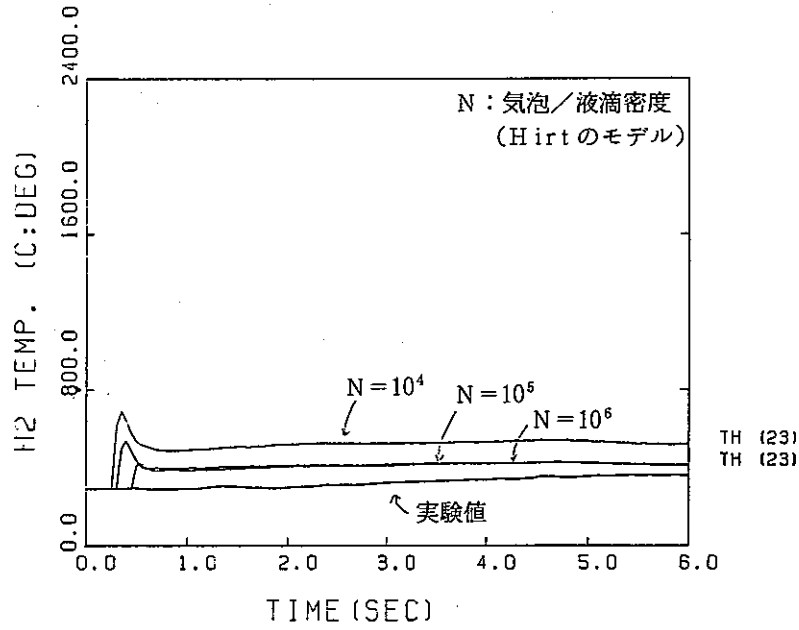


図3.1－6　水素ガス温度の気泡／液滴密度の依存性（ノード23）－Hirtのモデル

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Hydrogen Temperature (Node 23) - Hirt's Model

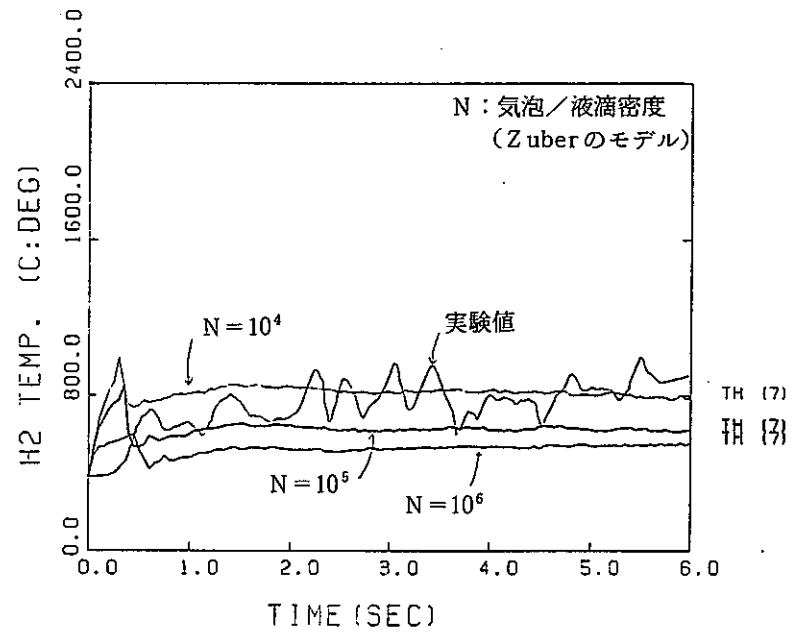


図3.1－7　水素ガス温度の気泡／液滴密度の依存性（ノード7）－Zuberのモデル

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Hydrogen Temperature (Node 7) - Zuber's Model

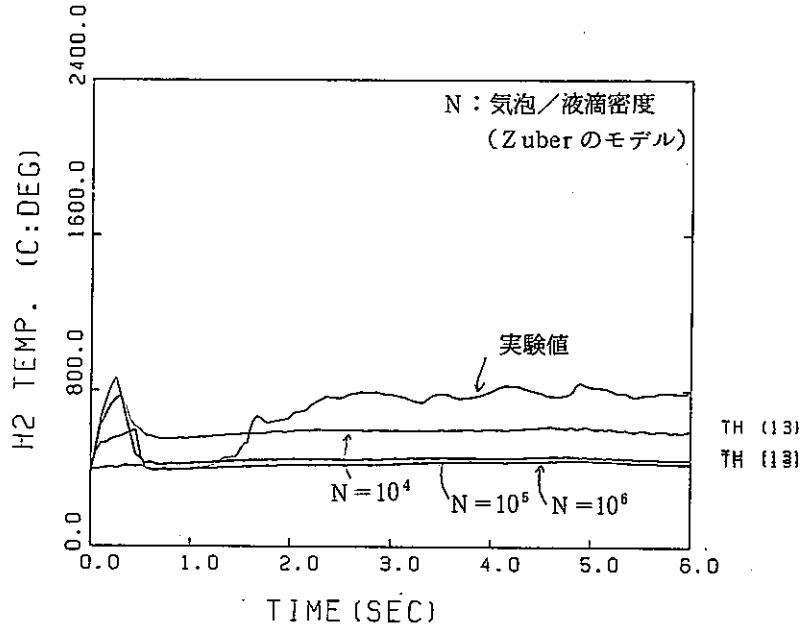


図3.1－8　水素ガス温度の気泡／液滴密度の依存性（ノード13）－Zuberのモデル

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Hydrogen Temperature (Node 13) - Zuber's Model

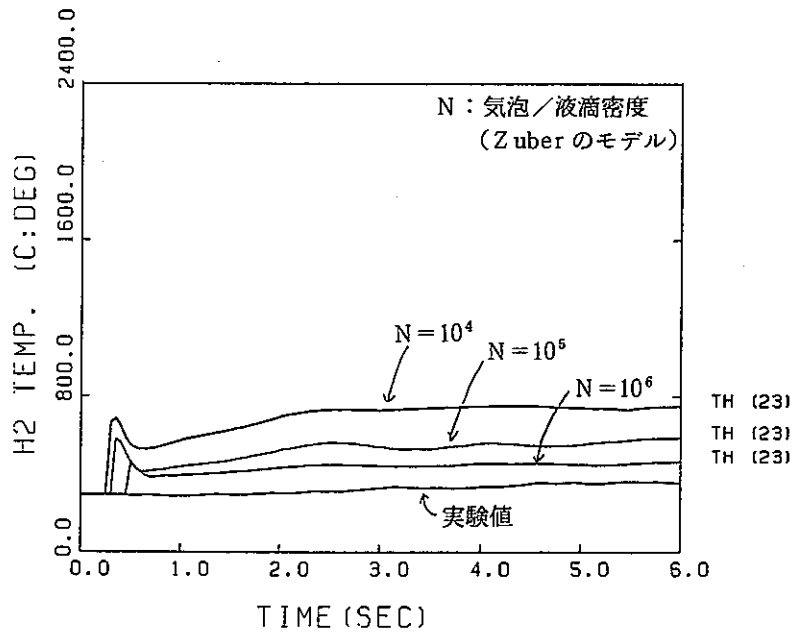


図3.1－9　水素ガス温度の気泡／液滴密度の依存性（ノード23）－Zuberのモデル

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Hydrogen Temperature (Node 23) - Zuber's Model

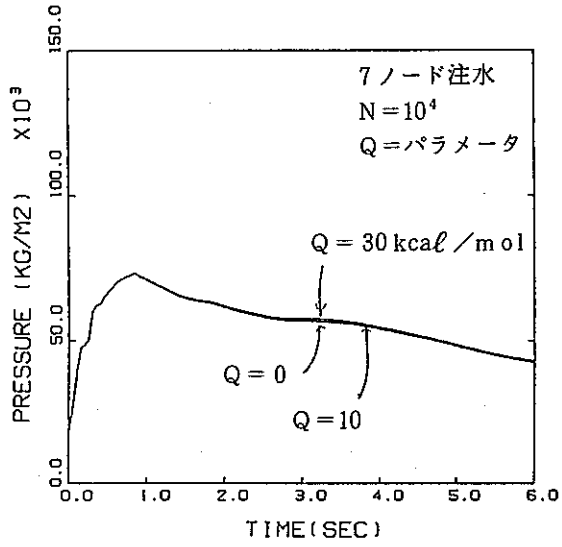


図3.1－10　蒸発器カバーガス部圧力

Sensitivity Study of Reaction Heat on Evaporator Cover Gas Pressure

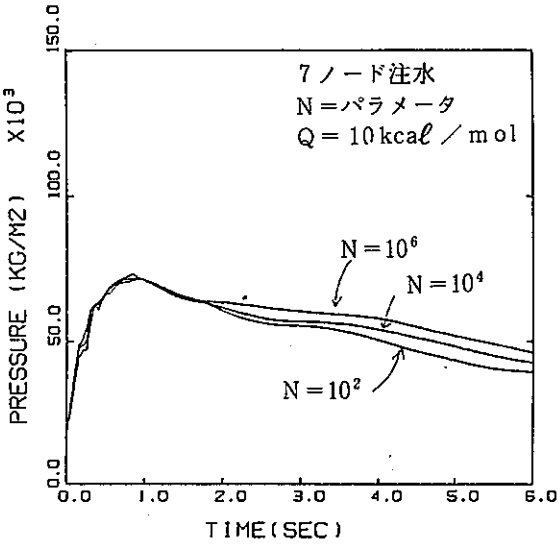


図3.1－11　蒸発器カバーガス部圧力

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Evaporator Cover Gas Pressure

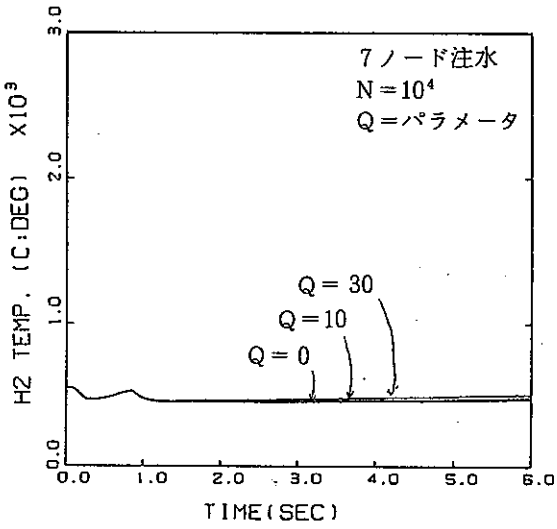


図3.1－12　蒸発器カバーガス部水素ガス温度

Sensitivity Study of Reaction Heat on Hydrogen Temperature of EV Cover Gas

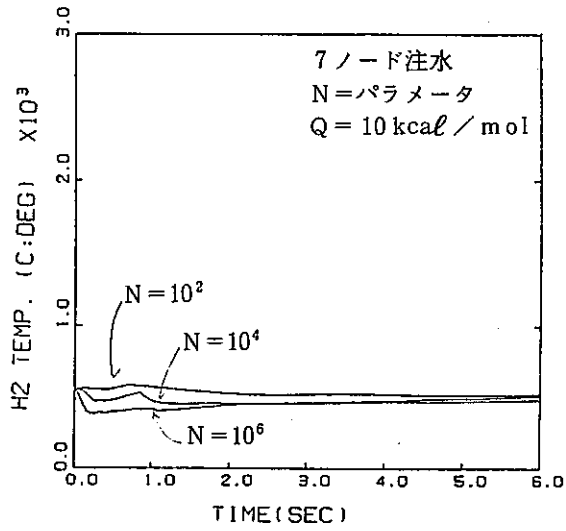


図3.1－13　蒸発器カバーガス部水素ガス温度

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Hydrogen Temperature of EV Cover Gas

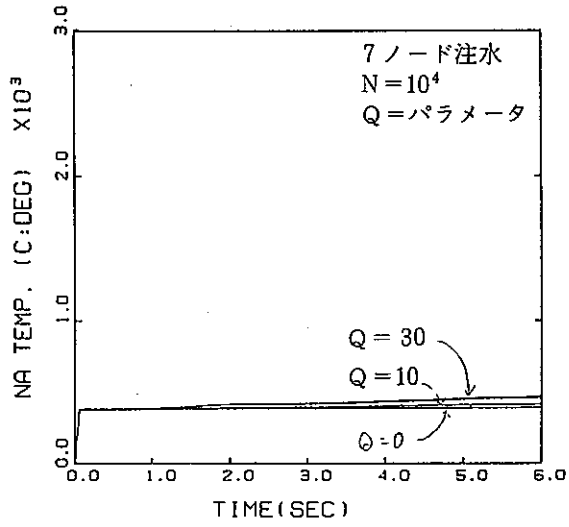


図3.1－14　蒸発器カバーガス部ナトリウム温度

Sensitivity Study of Reaction Heat on
Sodium Temperature of EV Cover Gas

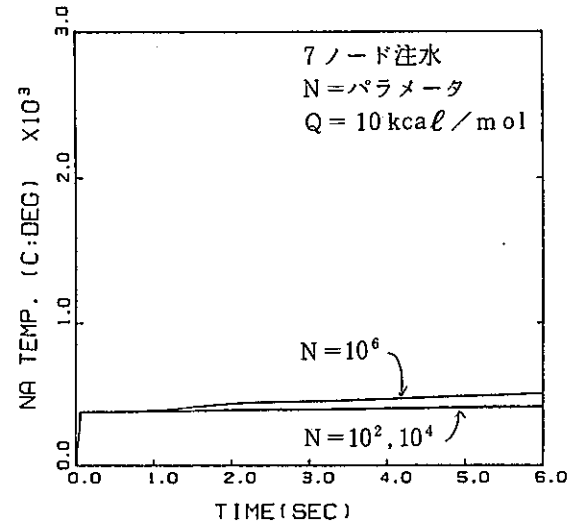


図3.1－15　蒸発器カバーガス部ナトリウム温度

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density
on Sodium Temperature of EV Cover Gas

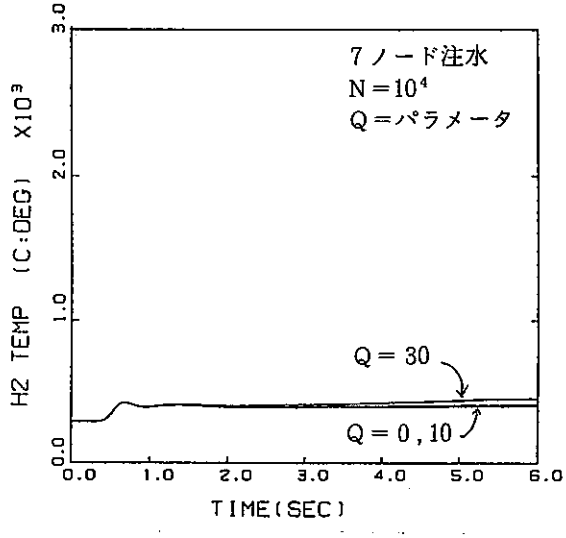


図3.1－16　放出系配管水素ガス温度

Sensitivity Study of Reaction Heat on
Hydrogen Temperature of Pressure Relief Line

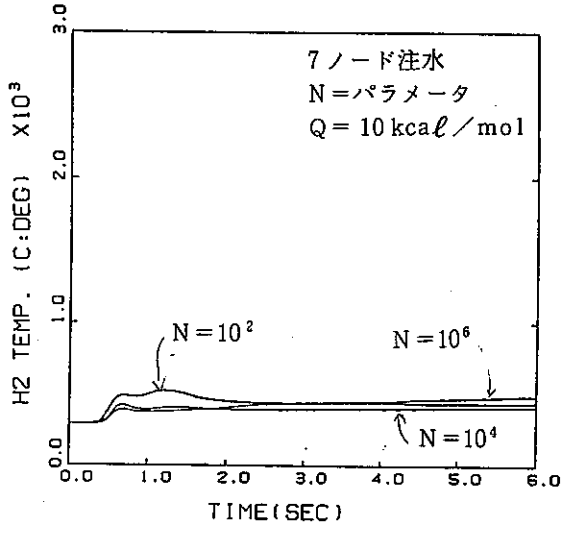


図3.1－17　放出系配管水素ガス温度

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density
on Hydrogen Temperature of Pressure Relief Line

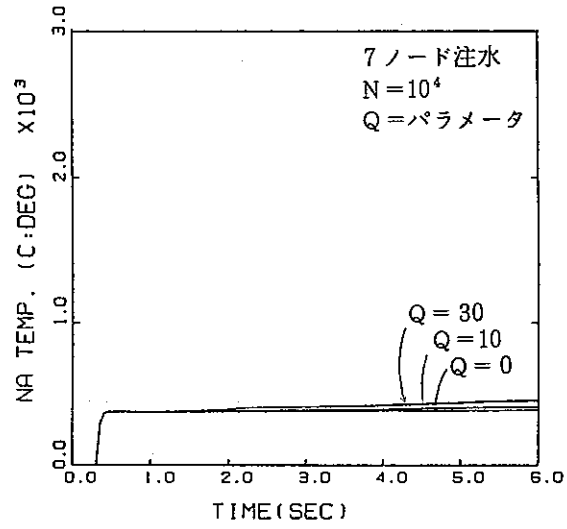


図3.1－18　放出系配管ナトリウム温度

Sensitivity Study of Reaction Heat on Sodium Temperature of Pressure Relief Line

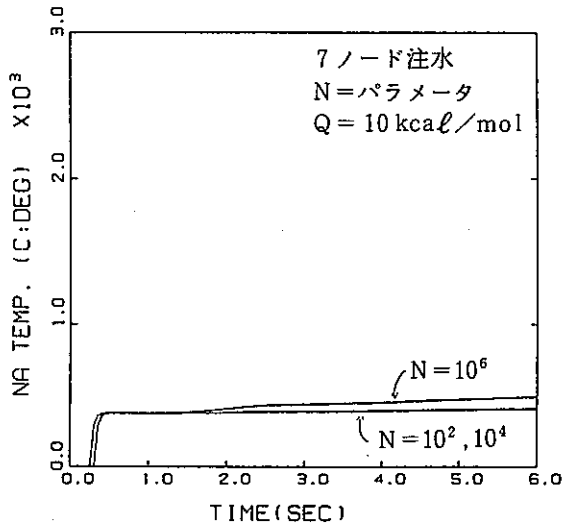


図3.1－19　放出系配管ナリリウム温度

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Sodium Temperature of Evaporator Cover Gas

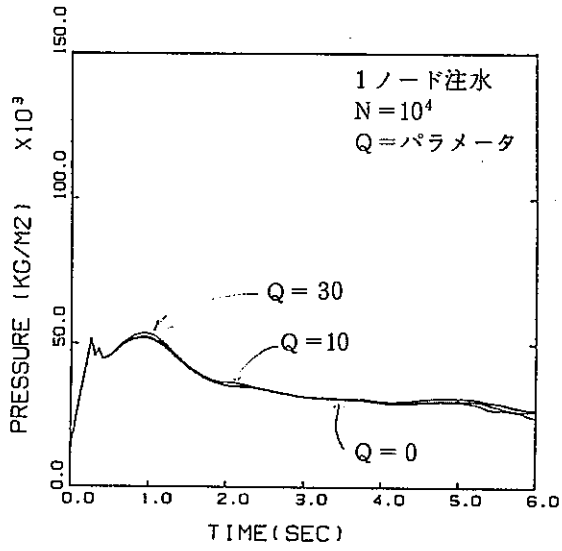


図3.1－20　蒸発器カバーガス部圧力

Sensitivity Study of Reaction Heat on Evaporator Cover Gas Pressure

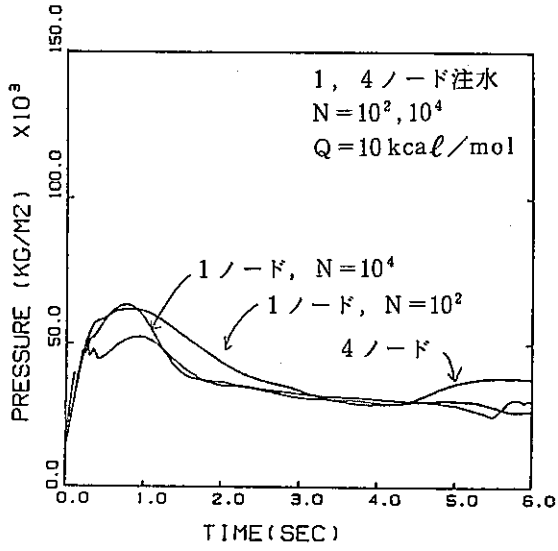


図3.1－21　蒸発器カバーガス部圧力

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Evaporator Cover Gas Pressure

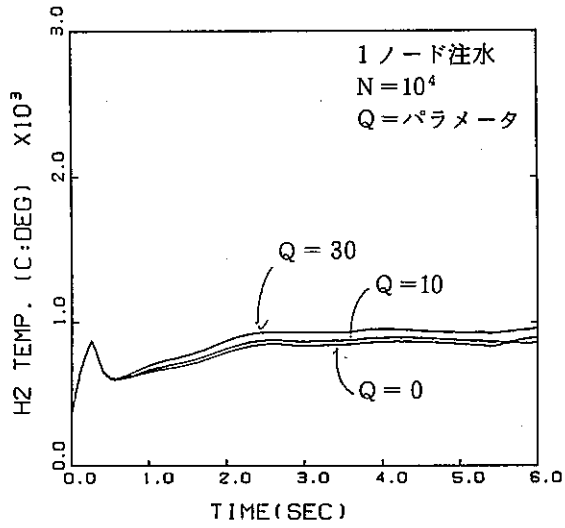


図3.1－22　蒸発器カバーガス部水素ガス温度

Sensitivity Study of Reaction Heat on Evaporator Cover Gas Pressure

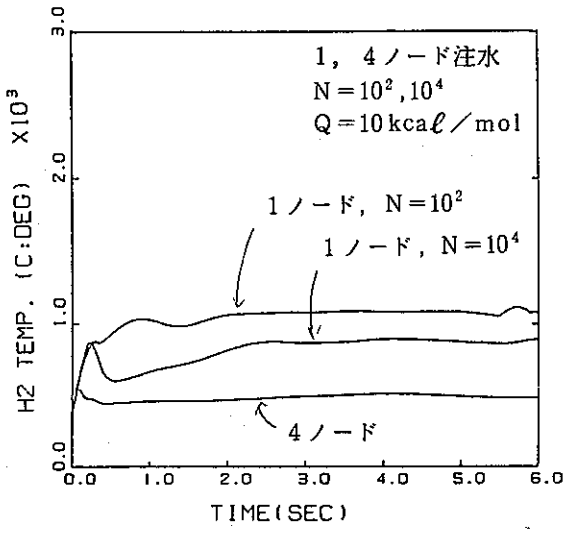


図3.1－23　蒸発器カバーガス部水素ガス温度

Sensitivity Study of Reaction Heat on Hydrogen Temperature of Evaporator Cover Gas

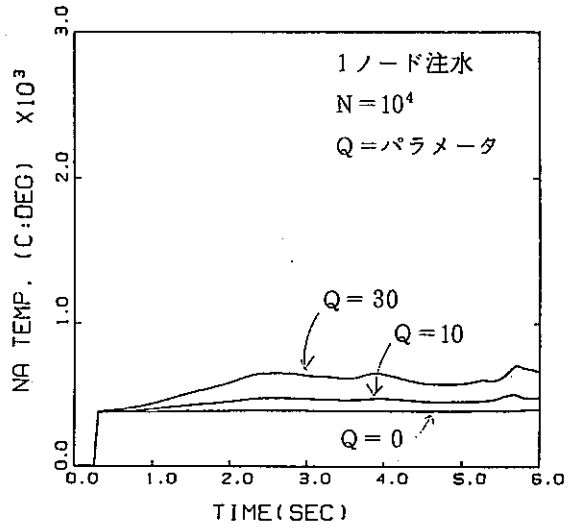


図3.1－24　蒸発器カバーガス部ナトリウム温度

Sensitivity Study of Reaction Heat of Sodium Temperature of Evaporator Cover Gas

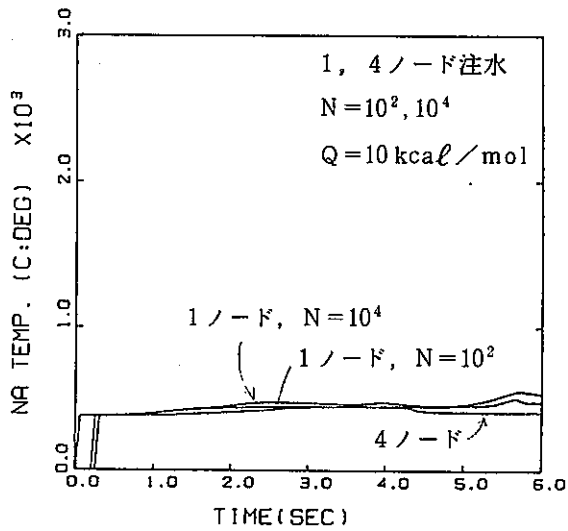


図3.1－25　蒸発器カバーガス部ナトリウム温度

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Sodium Temperature of Evaporator Cover Gas

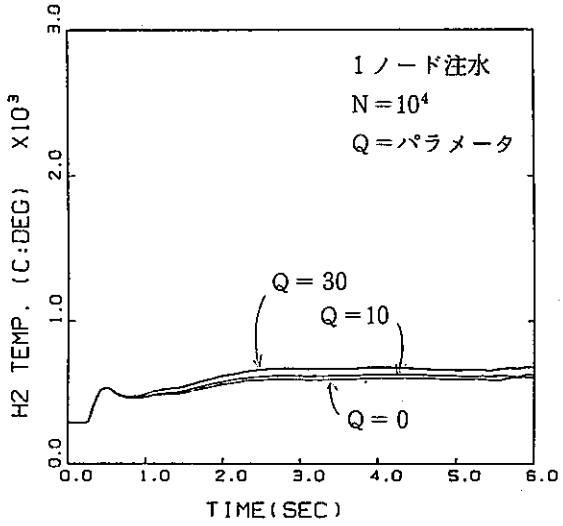


図 3.1 − 26　放出系配管水素ガス温度

Sensitivity Study of Reaction Heat on Hydrogen Temperature of Pressure Relief Line

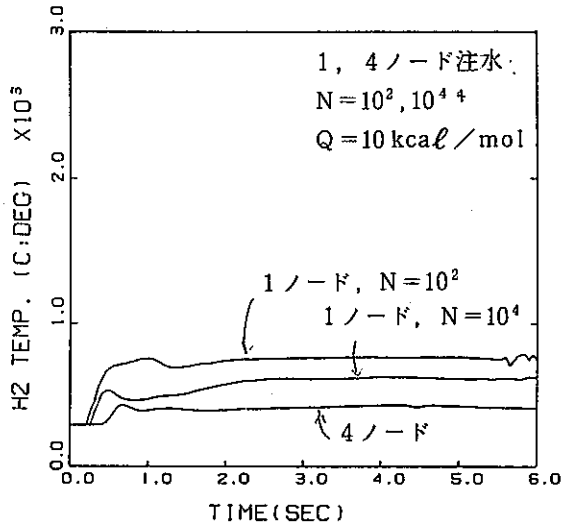


図 3.1 − 27　放出系配管水素ガス温度

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Hydrogen Temperature of Pressure Relief Line

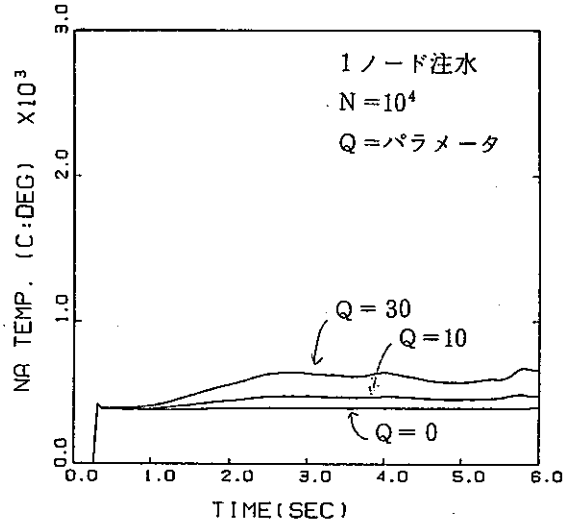


図3.1－28　放出系配管ナトリウム温度

Sensitivity Study of Reaction Heat on Sodium Temperature of Pressure Relief Line

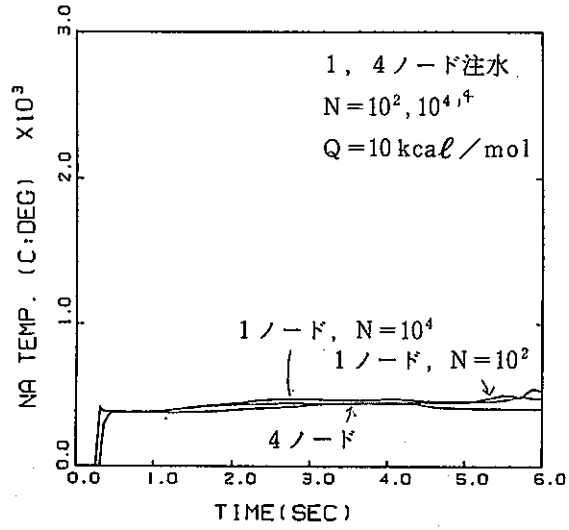


図3.1－29　放出系配管ナトリウム温度

Sensitivity Study of Bubble/Droplet Density on Sodium Temperature of Pressure Relief Line

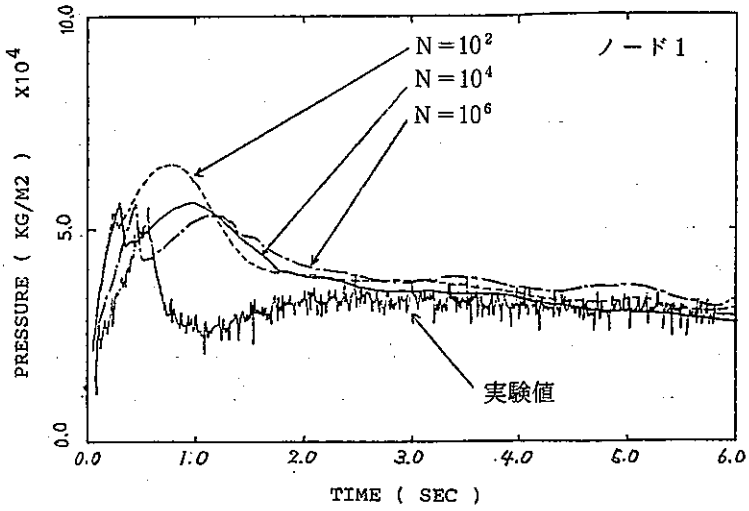


図3.1－30　注水点の圧力

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Water Injection Point).

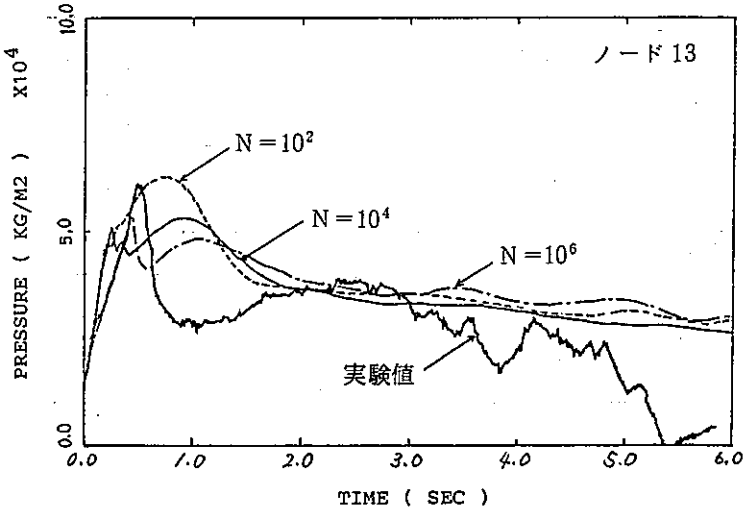


図3.1－31　蒸発器カバーガス圧力

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Cover-Gas of Evaporator).

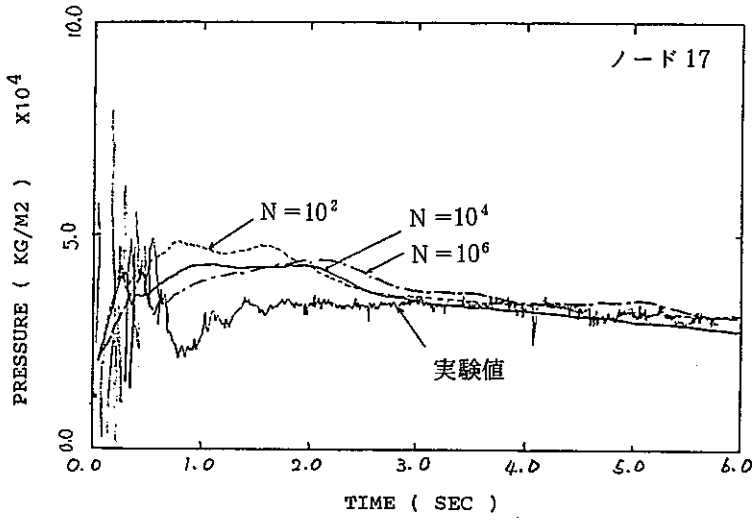


図3.1－32　IHX圧力

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (IHX).

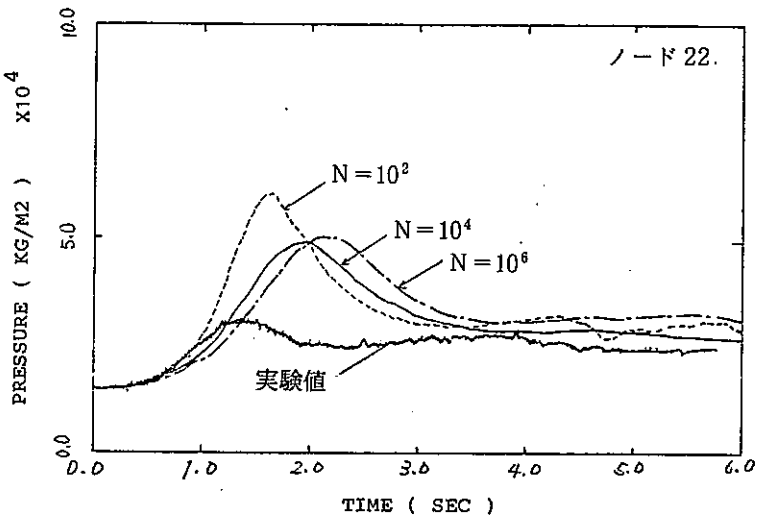


図3.1－33　過熱器カバーガス圧力

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Superheater).

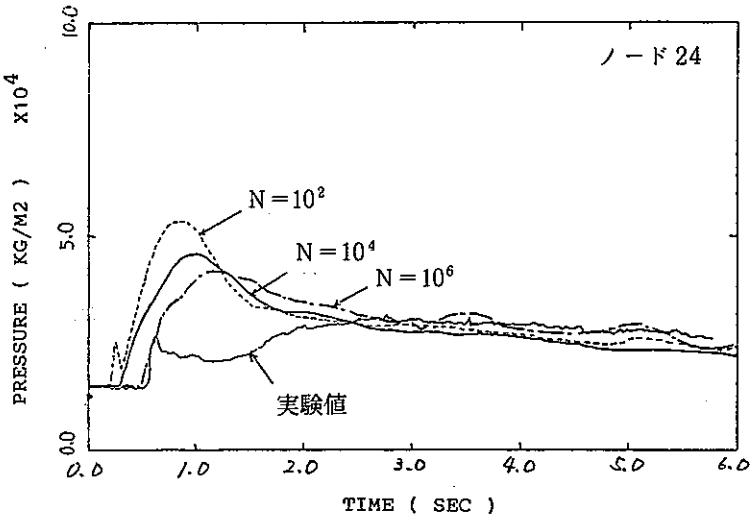


図 3.1－34　放出系配管圧力

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Pressure Relief Piping).

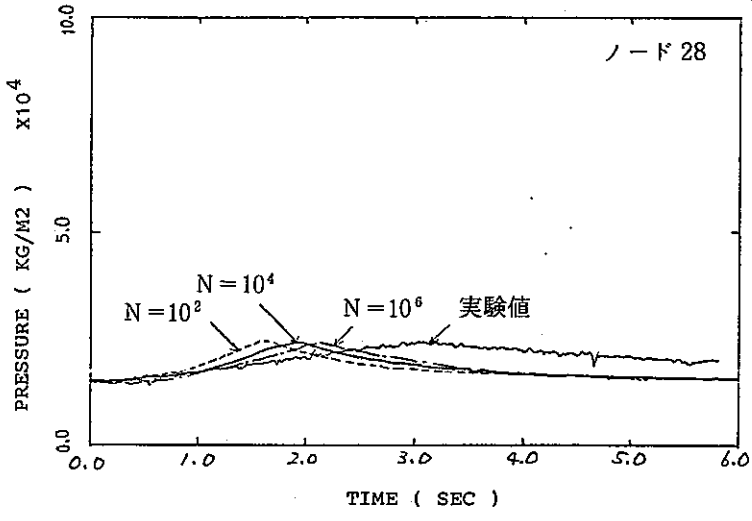


図 3.1－35　反応生成物収納容器圧力

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Reaction Product Tank).

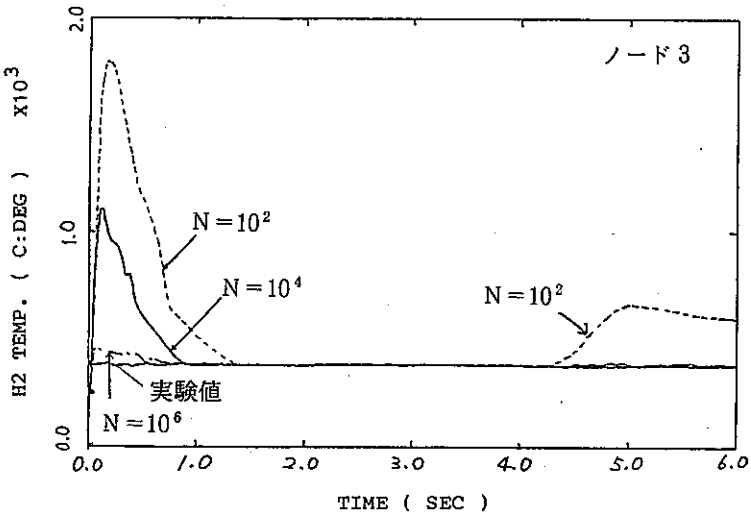


図3.1－36　注水点下部水素ガス圧力

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Lower Part of Water Injection Point).

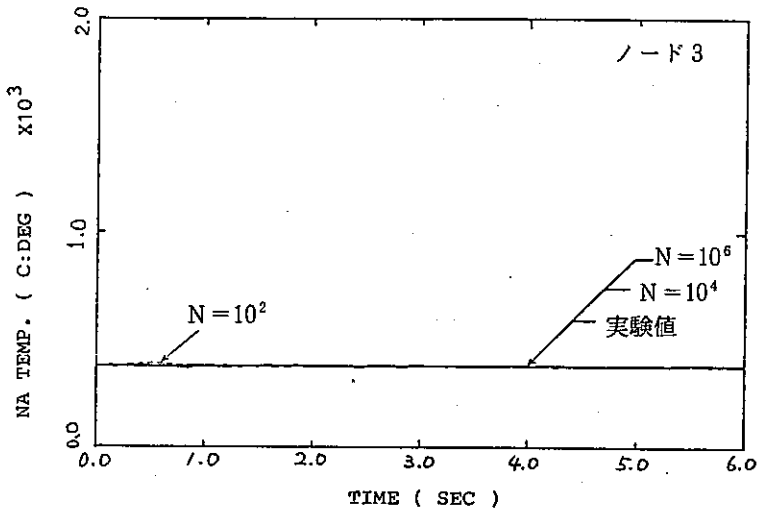


図3.1－37　注水点下部ナトリウム温度

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Lower Part of Water Injection Point).

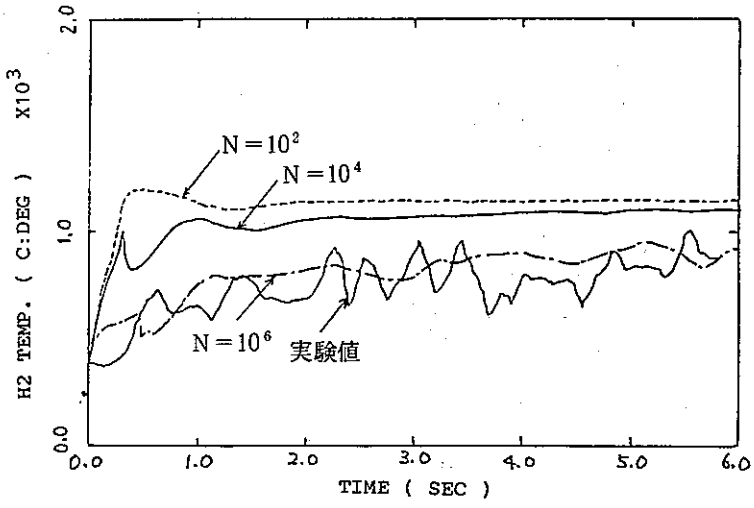


図3.1－38　注水点上部水素ガス温度

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Upper Part of Water Injection Point).

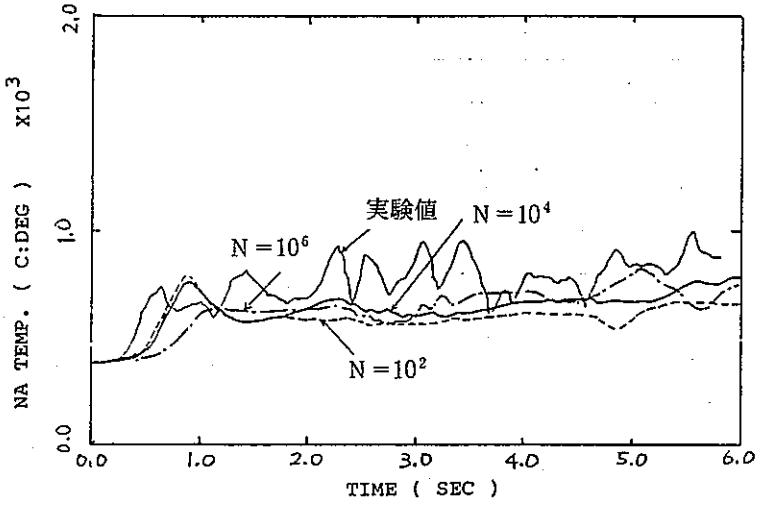


図3.1－39　注水点上部ナトリウム温度

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Upper part of Water Injection Point).

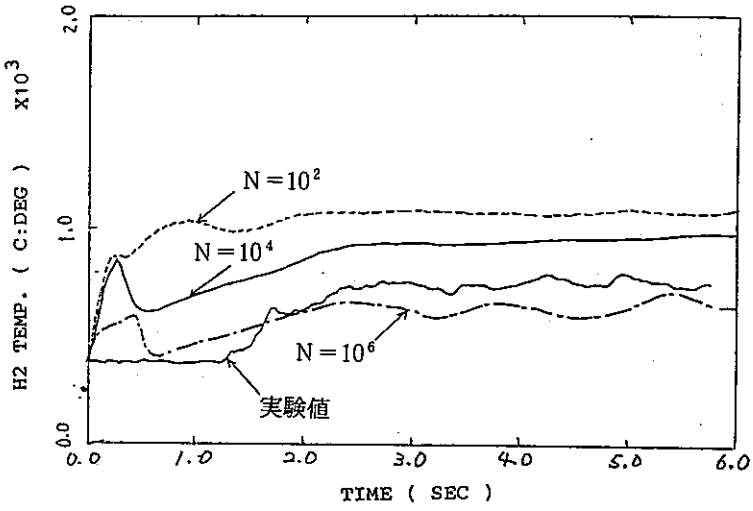


図3.1－40　蒸発器カバーガス部水素ガス温度

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Cover-Gas of Evaporator).

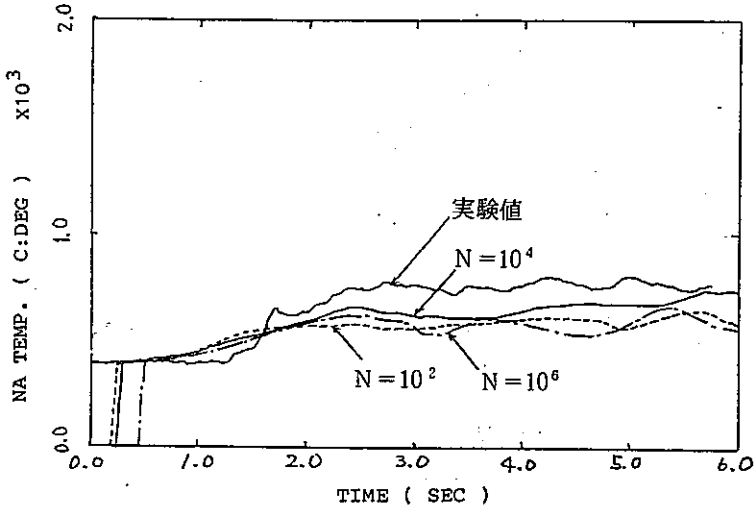


図3.1－41　蒸発器カバーガス部ナトリウム温度

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Cover-Gas of Evaporator).

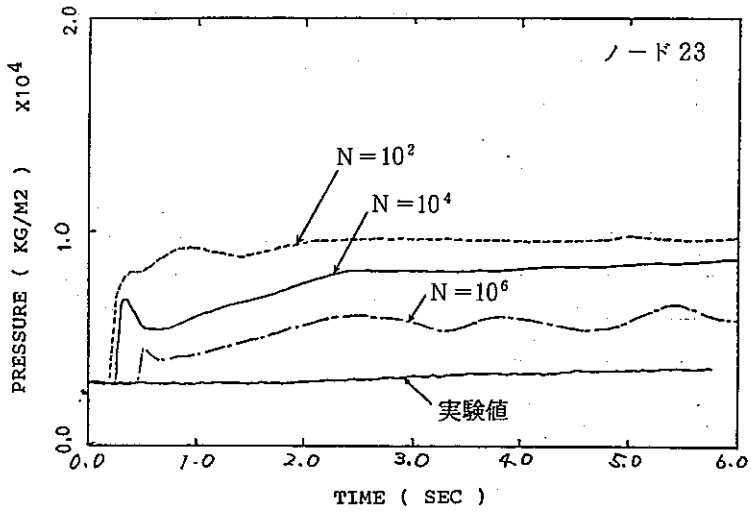


図 3.1 − 42　放出系配管水素ガス温度

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Pressure Relief Piping).

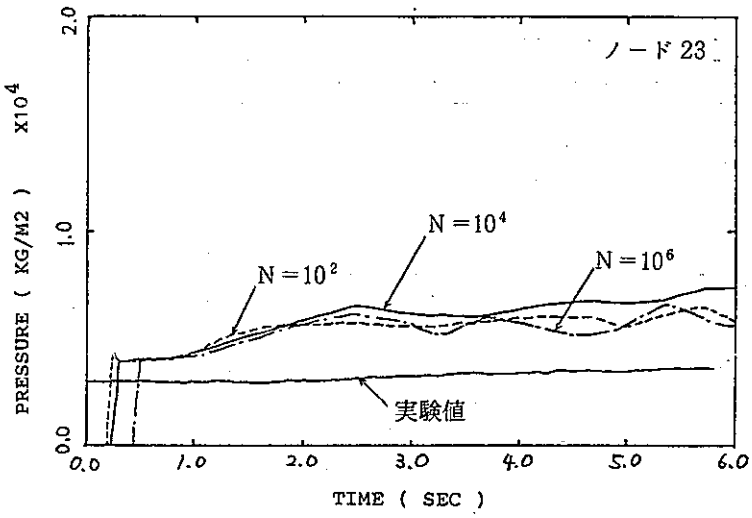


図 3.1 − 43　放出系配管ナトリウム温度

Comparison between Measurement in Run-4 Test and Calculations by SWAC-13E (Pressure Relief Piping).

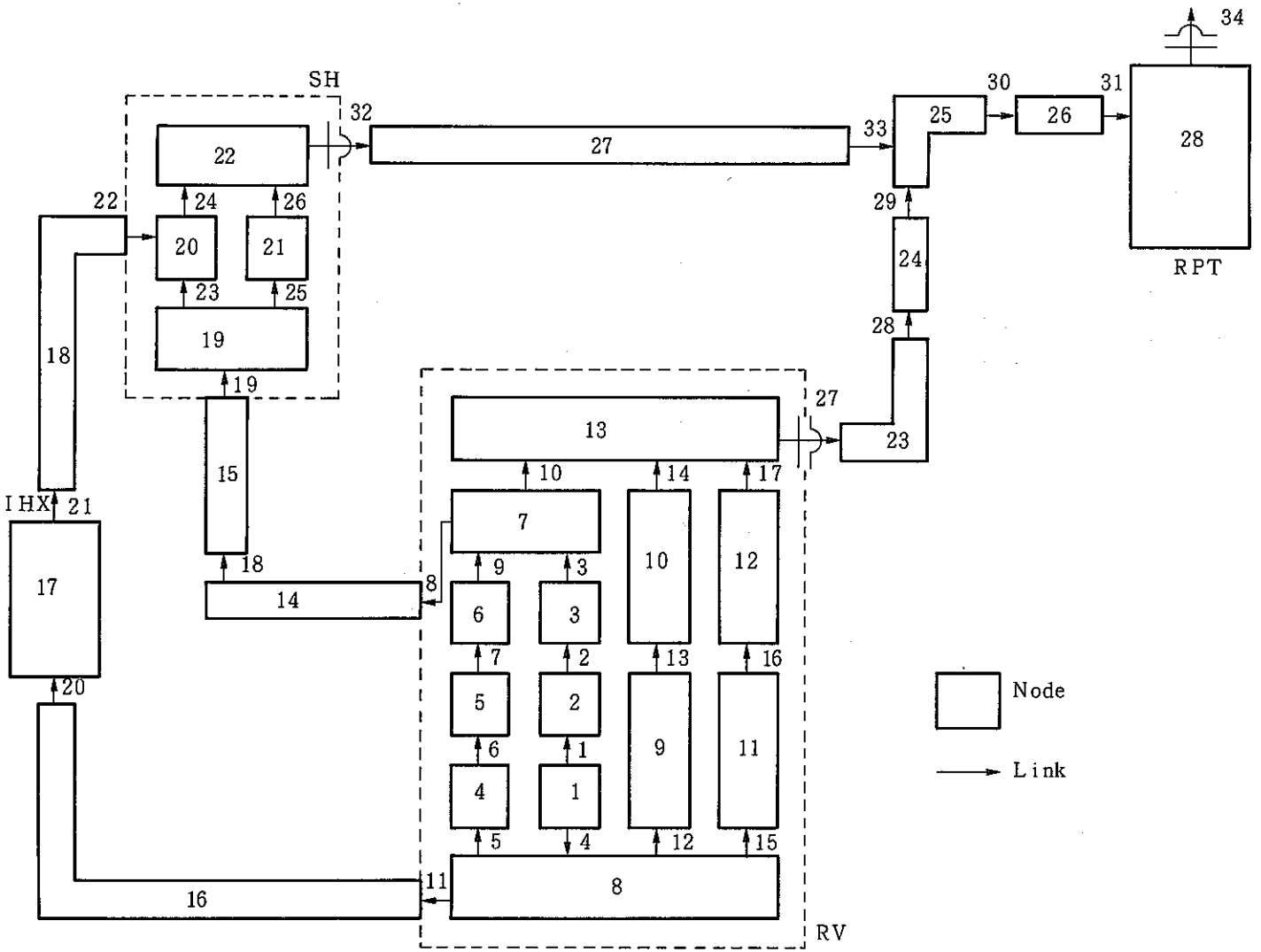


図 3.2－1　Run－5 解析モデル図

Network Model for SWAT-3 Run-5 Analysis

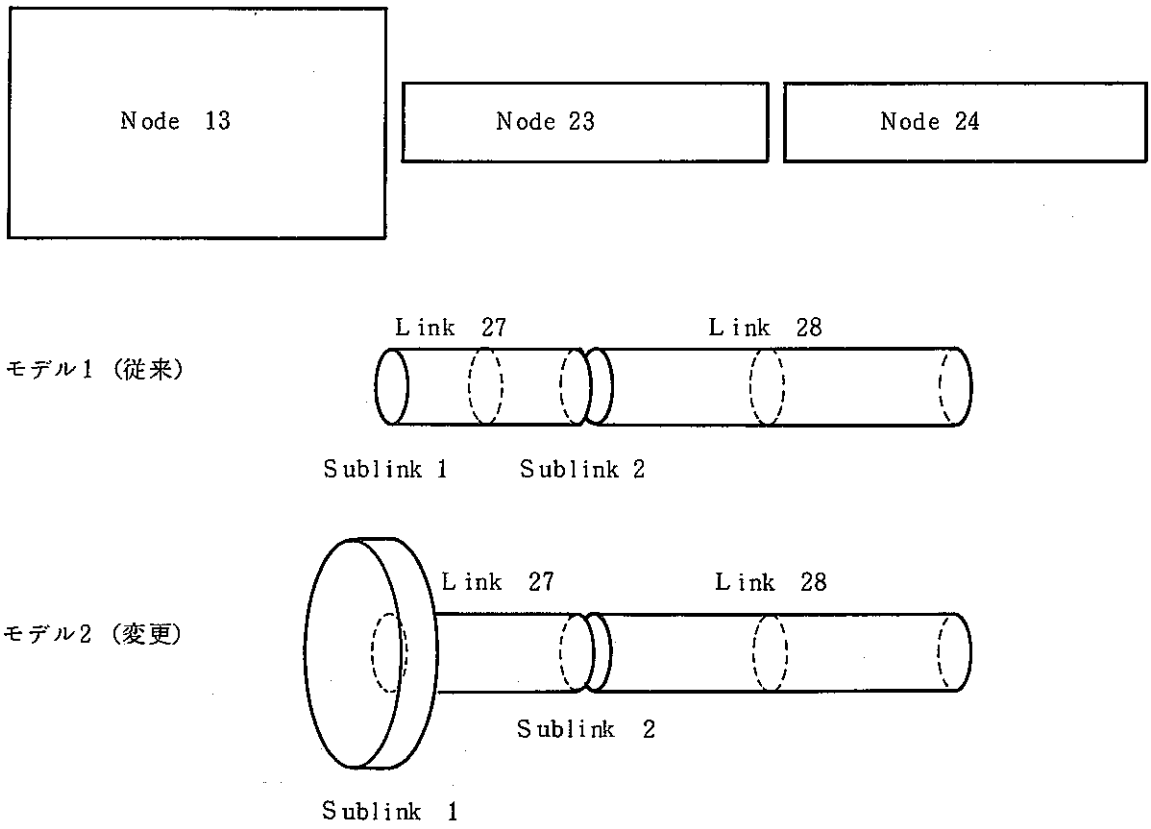


図3.2－2　EVカバーガス一放出系配管リンクモデル

Link Model between EV Cover Gas and Relief Line

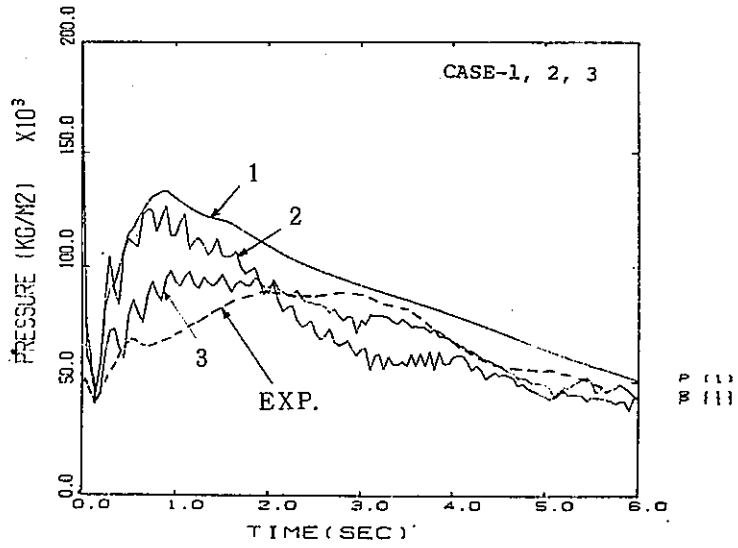


図3.2－3　反応部圧力

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC-13E Run-5 Test (Reaction Zone Pressure)

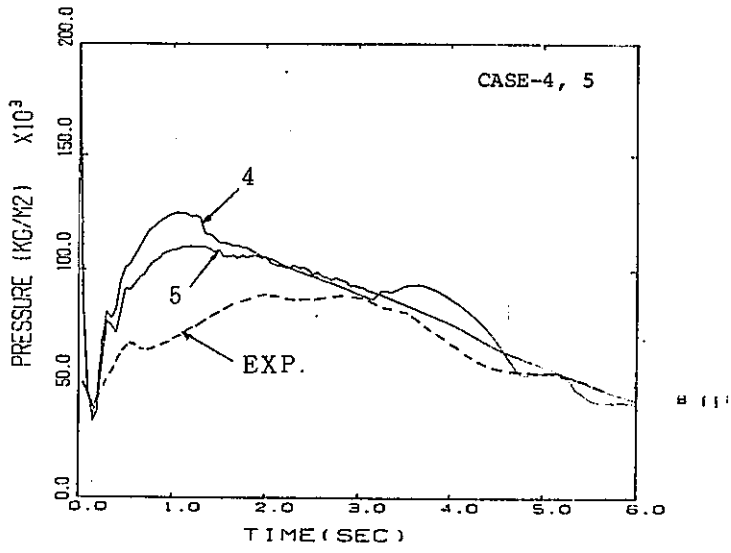


図3.2－4　反応部圧力

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (Reaction Zone Pressure)

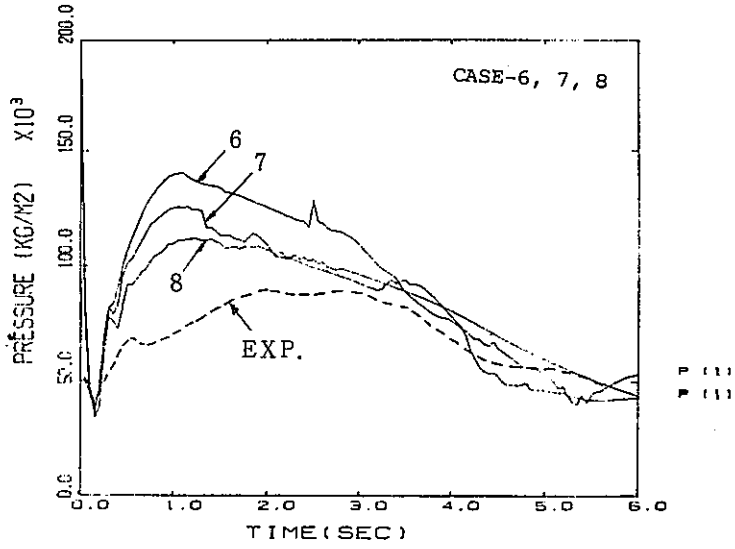


図3.2－5　反応部圧力

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (Reaction Zone Pressure)

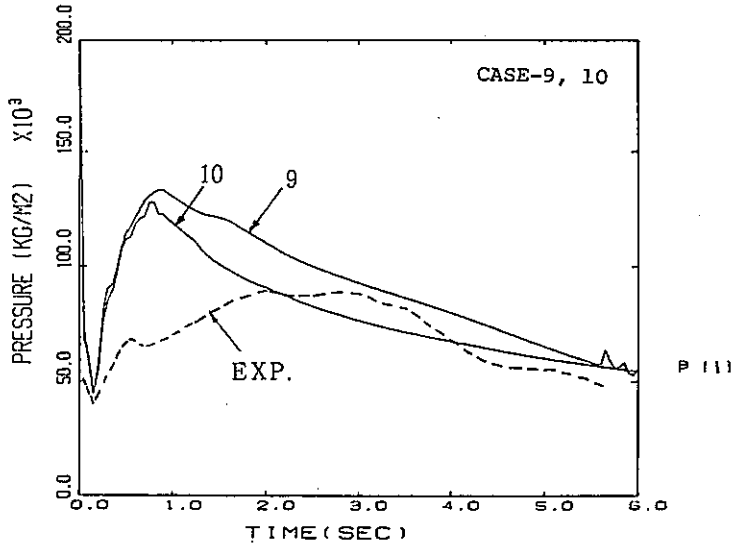


図3.2－6　反応部圧力

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (Reaction Zone Pressure)

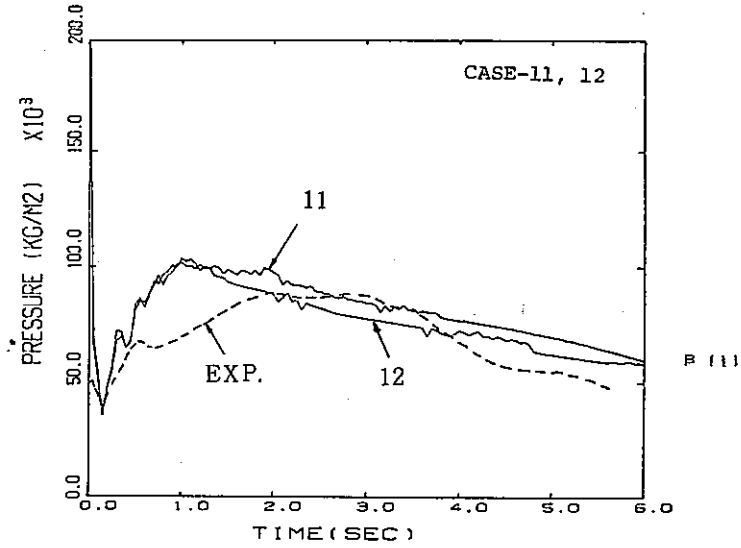


図3.2－7　反応部圧力

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (Reaction Zone Pressure)

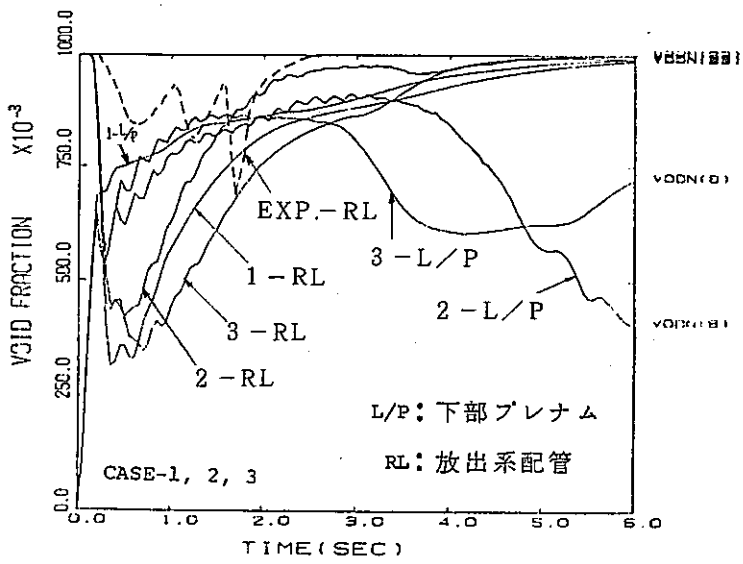


図3.2－8　蒸発器下部プレナム，放出系配管ボイド率

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Lower Plenum, Relief Line Void Fraction)

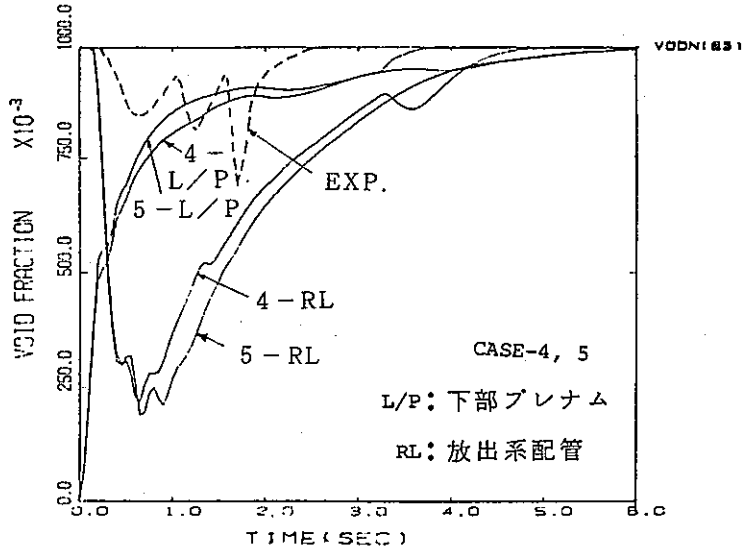


図3.2－9　蒸発器下部プレナム，放出系配管ボイド率

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Lower Plenum, Relief Line Void Fraction)

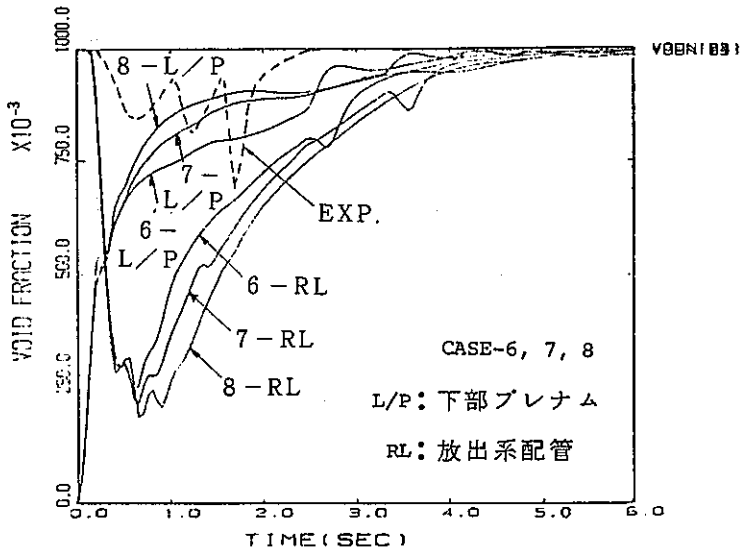


図3.2－10　蒸発器下部プレナム，放出系配管ボイド率

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Lower Plenum, Relief Line Void Fraction)

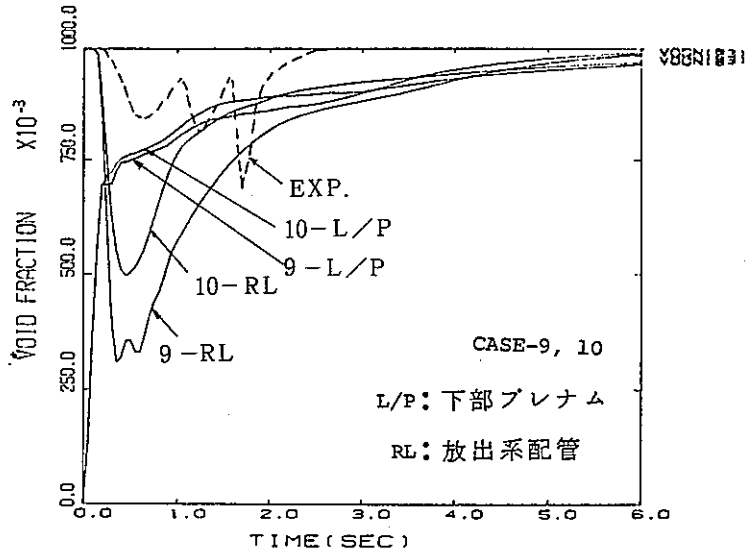


図3.2－11　蒸発器下部プレナム，放出系配管ボイド率

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Lower Plenum, Relief Line Void Fraction)

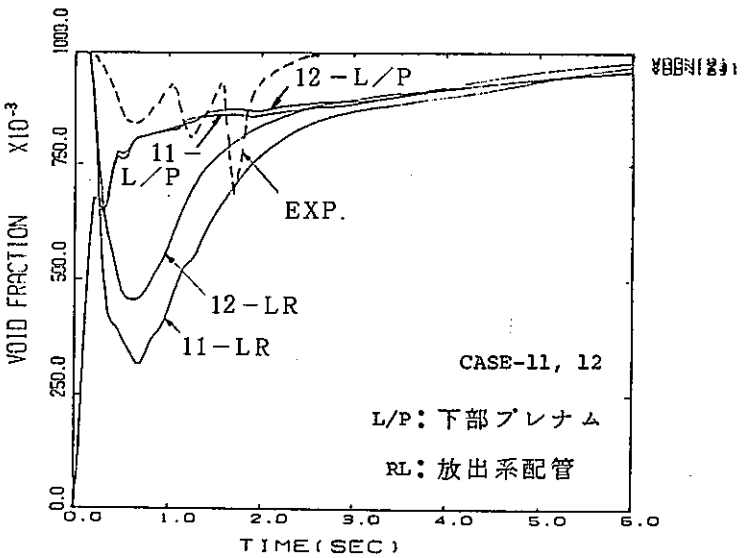


図3.2－12　蒸発器下部プレナム，放出系配管ボイド率

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Lower Plenum, Relief Line Void Fraction)

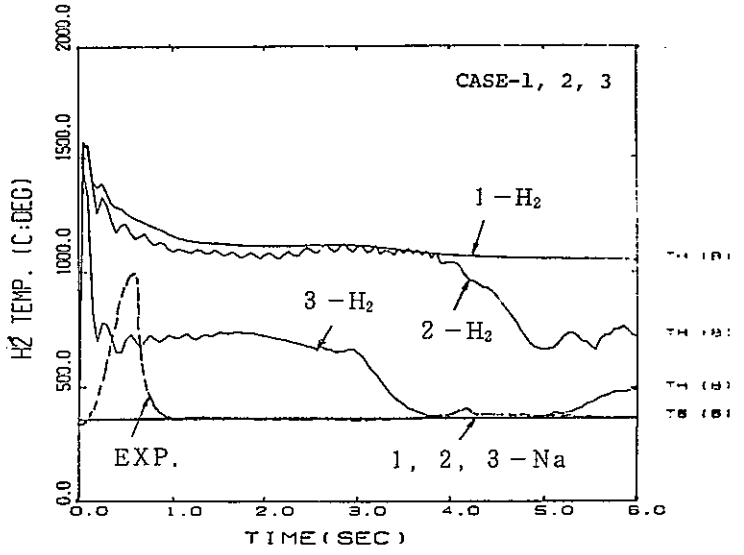


図3.2−13　蒸発器下部プレナム水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Lower Plenum Temperature)

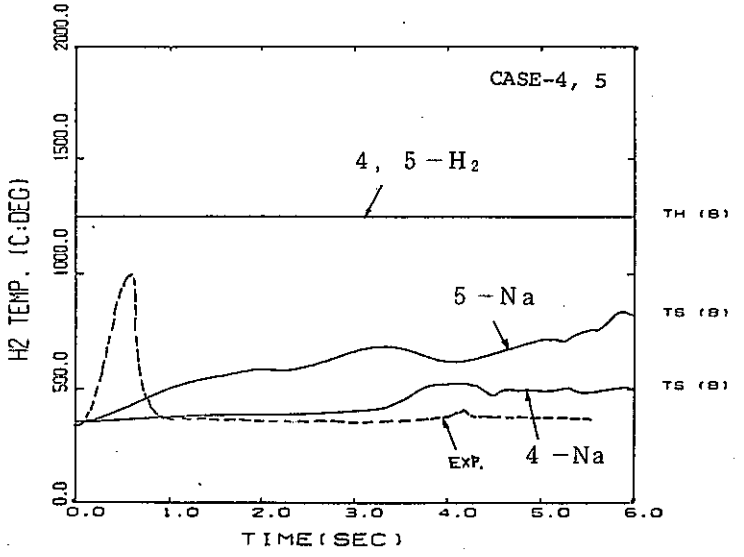


図3.2−14　蒸発器下部プレナム水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Lower Plenum Temperature)

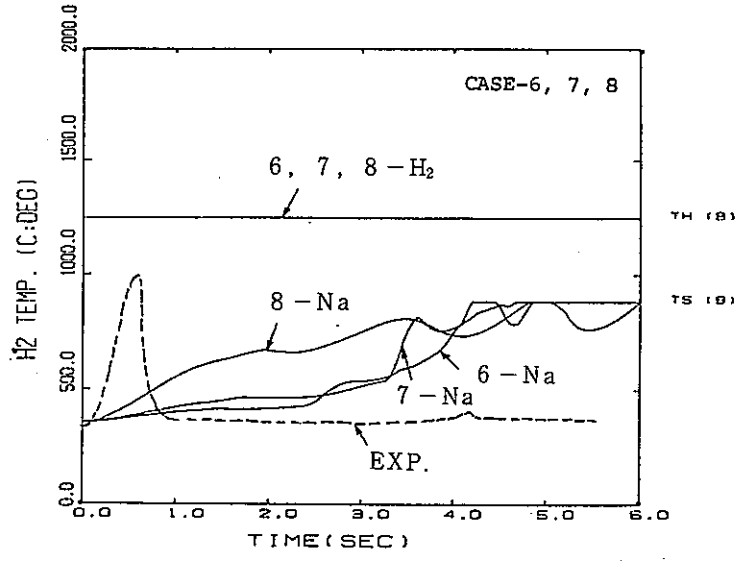


図3.2－15　蒸発器下部プレナム水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Lower Plenum Temperature)

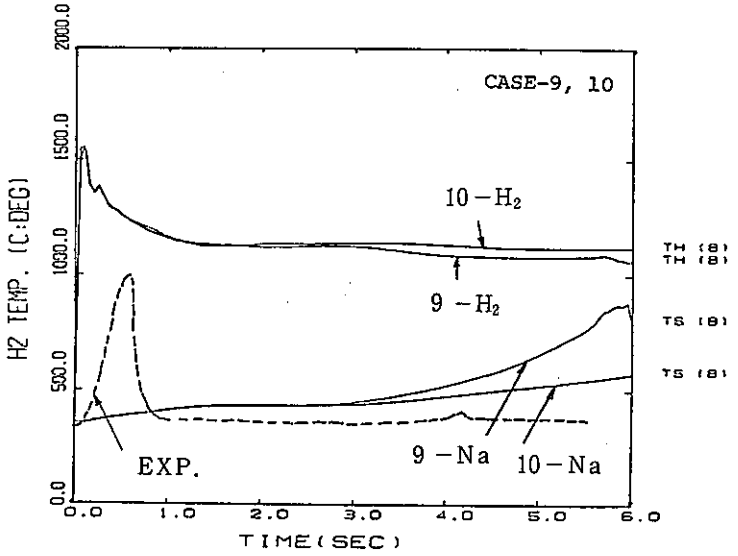


図3.2－16　蒸発器下部プレナム水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Lower Plenum Temperature)

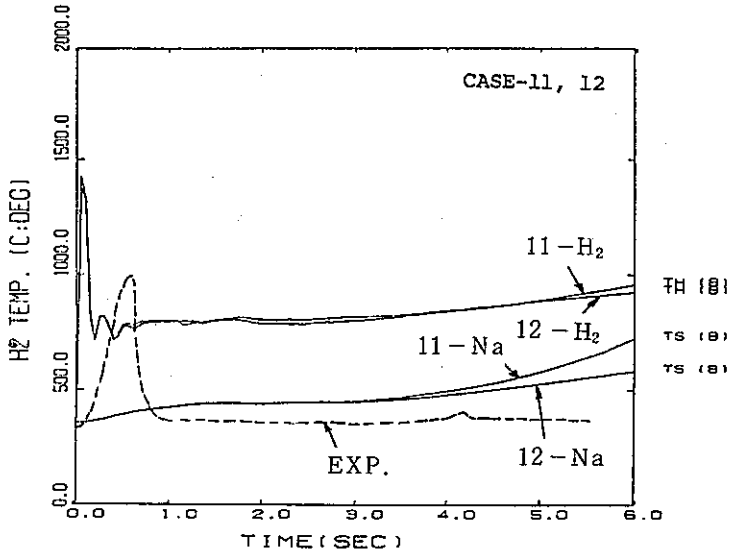


図3.2－17　蒸発器下部プレナム水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Lower Plenum Temperature)

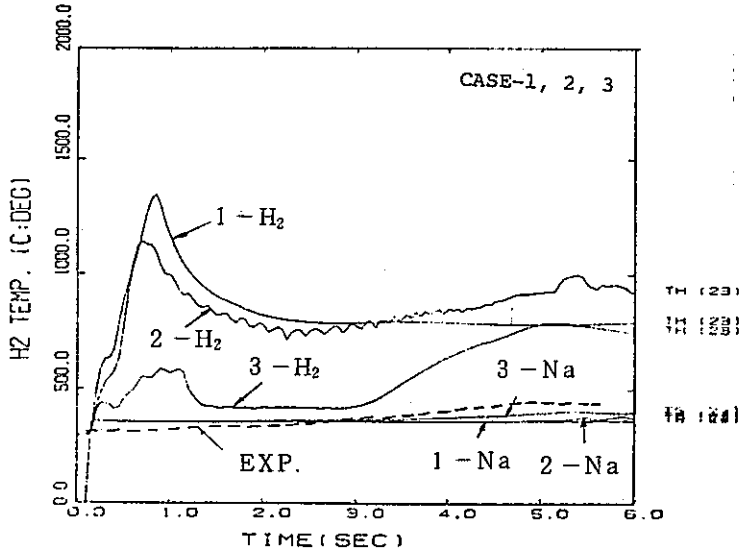


図3.2－18　蒸発器放出系配管水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (Relief Line Temperature)

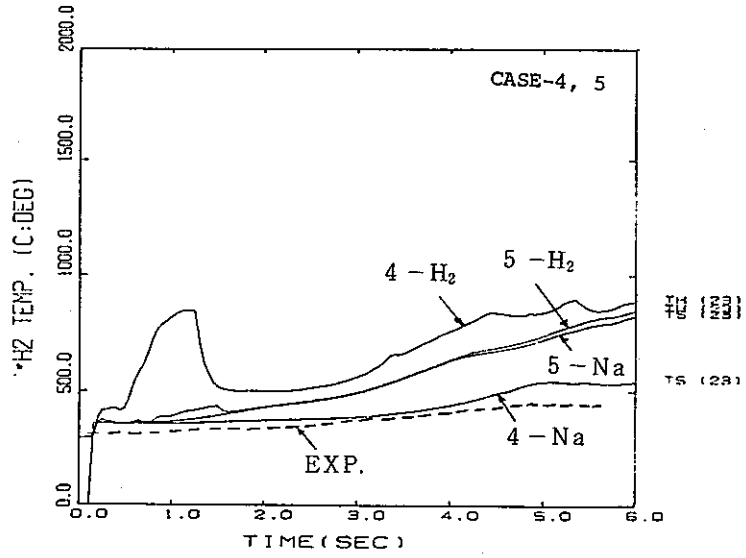


図3.2－19　蒸発器放出系配管水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (Relief Line Temperature)

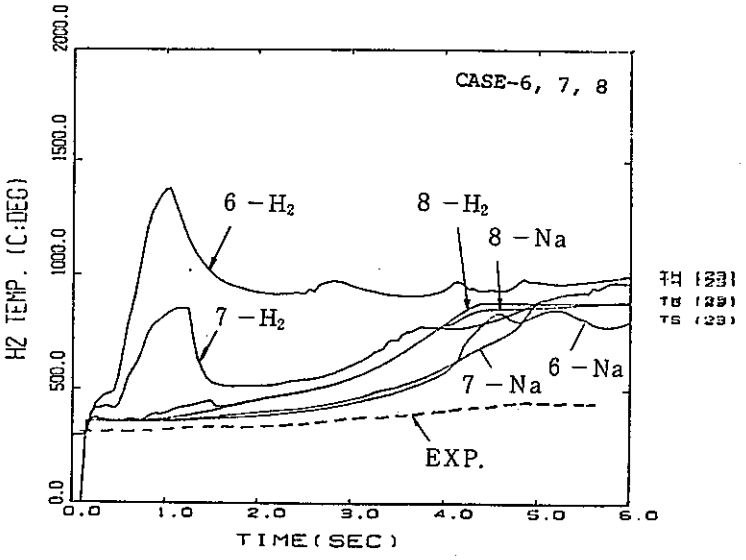


図3.2－20　蒸発器放出系配管水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (Relief Line Temperature)

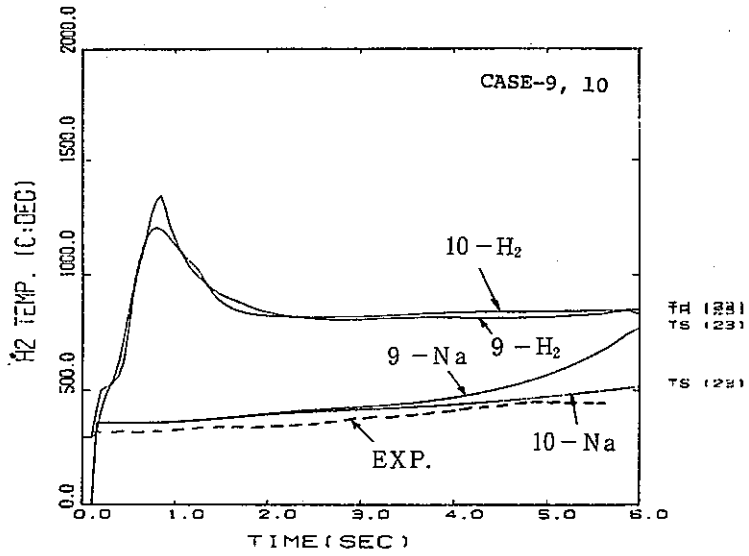


図3.2－21　蒸発器放出系配管水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (Relief Line Temperature)

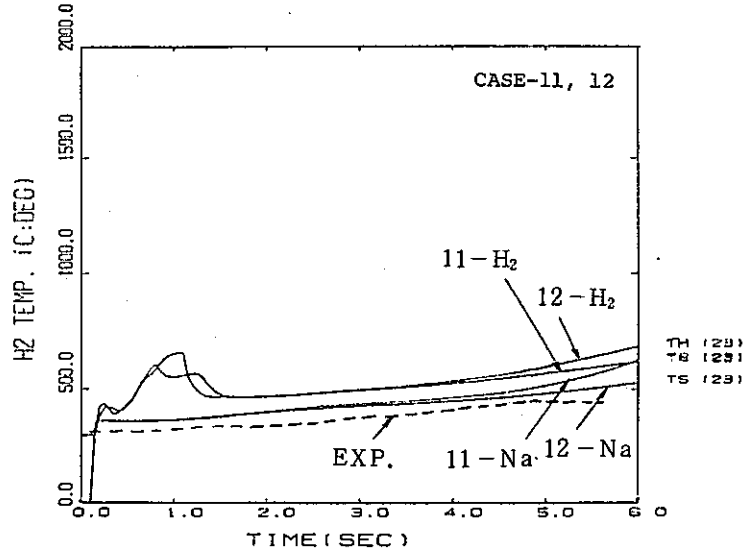


図3.2－22　蒸発器放出系配管水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E run-5 Test (Relief Line Temperature)

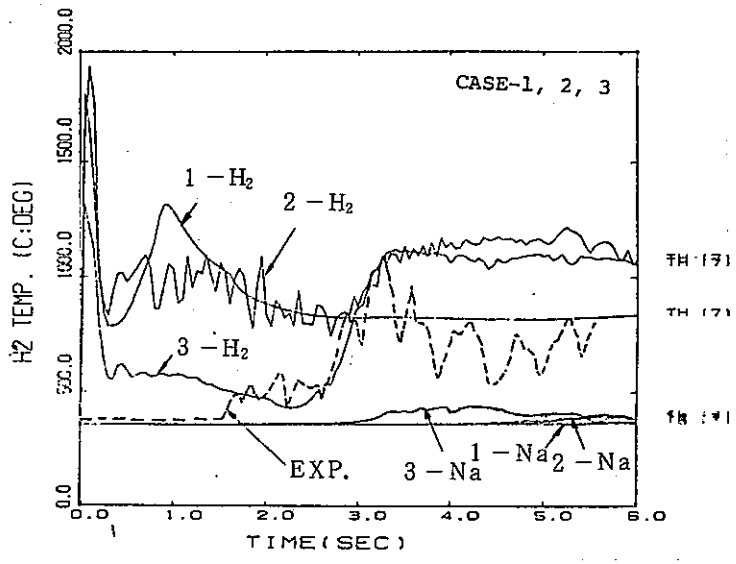


図3.2－23　蒸発器上部プレナム水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Upper Plenum Temperature)

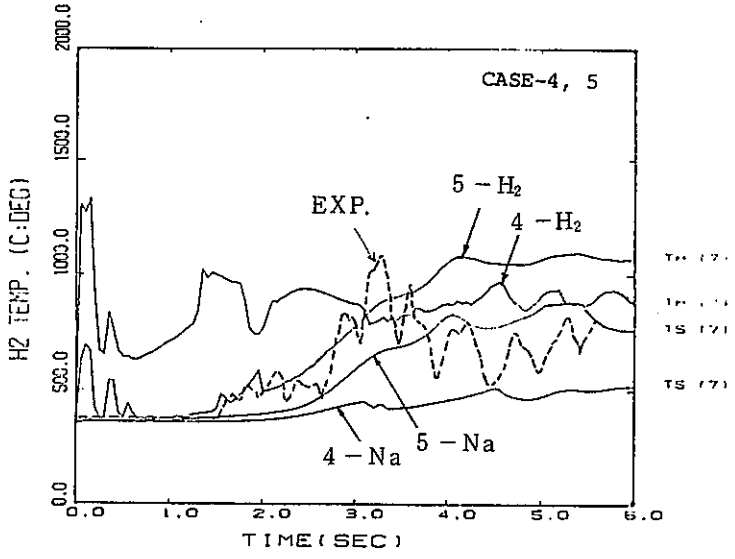


図3.2－24　蒸発器上部プレナム水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Upper Plenum Temperature)

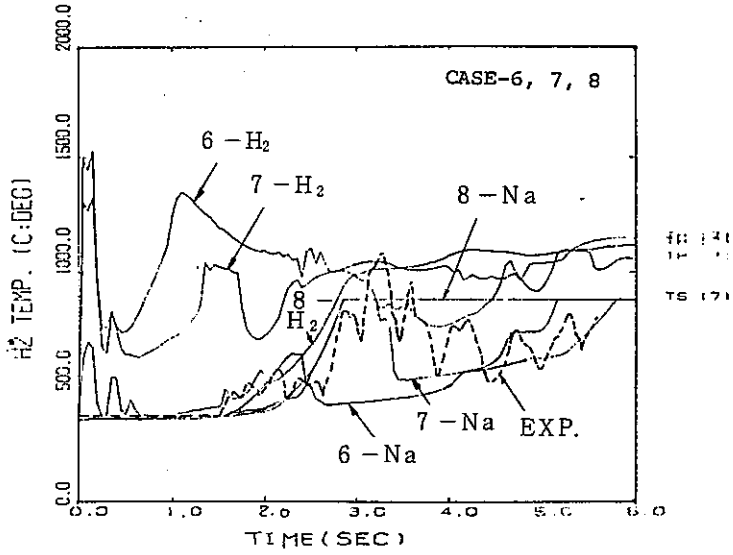


図3.2－25　蒸発器上部プレナム水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Upper Plenum Temperature)

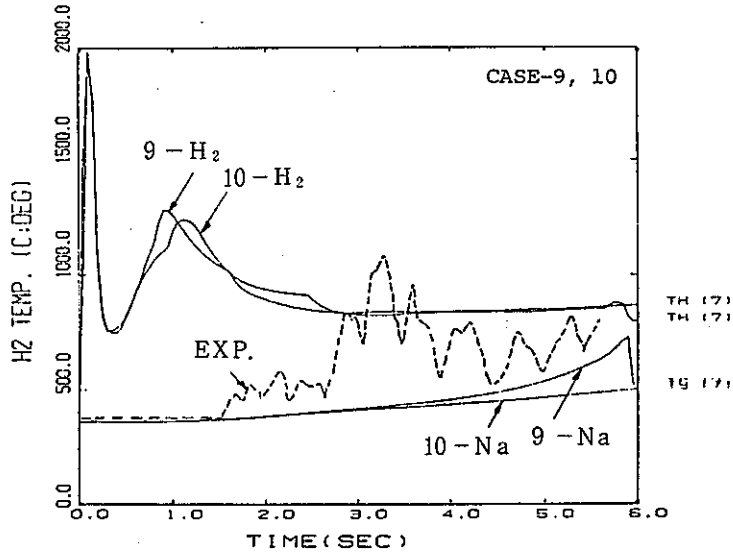


図3.2－26　蒸発器上部プレナム水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Upper Plenum Temperature)

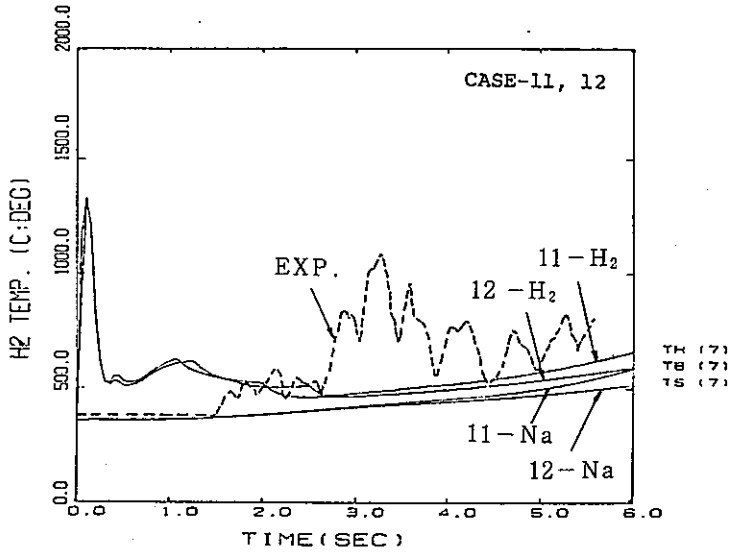


図3.2－27　蒸発器上部プレナム水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Upper Plenum Temperature)

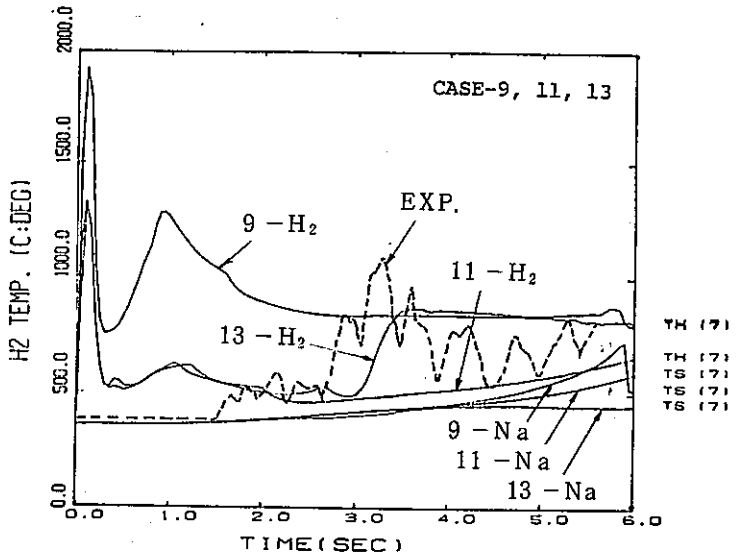


図3.2－28　蒸発器上部プレナム　水素，ナトリウム温度

Comparison between Measurement and Calculations by SWAC 13E Run-5 Test (EV Upper Plenum Temperature)

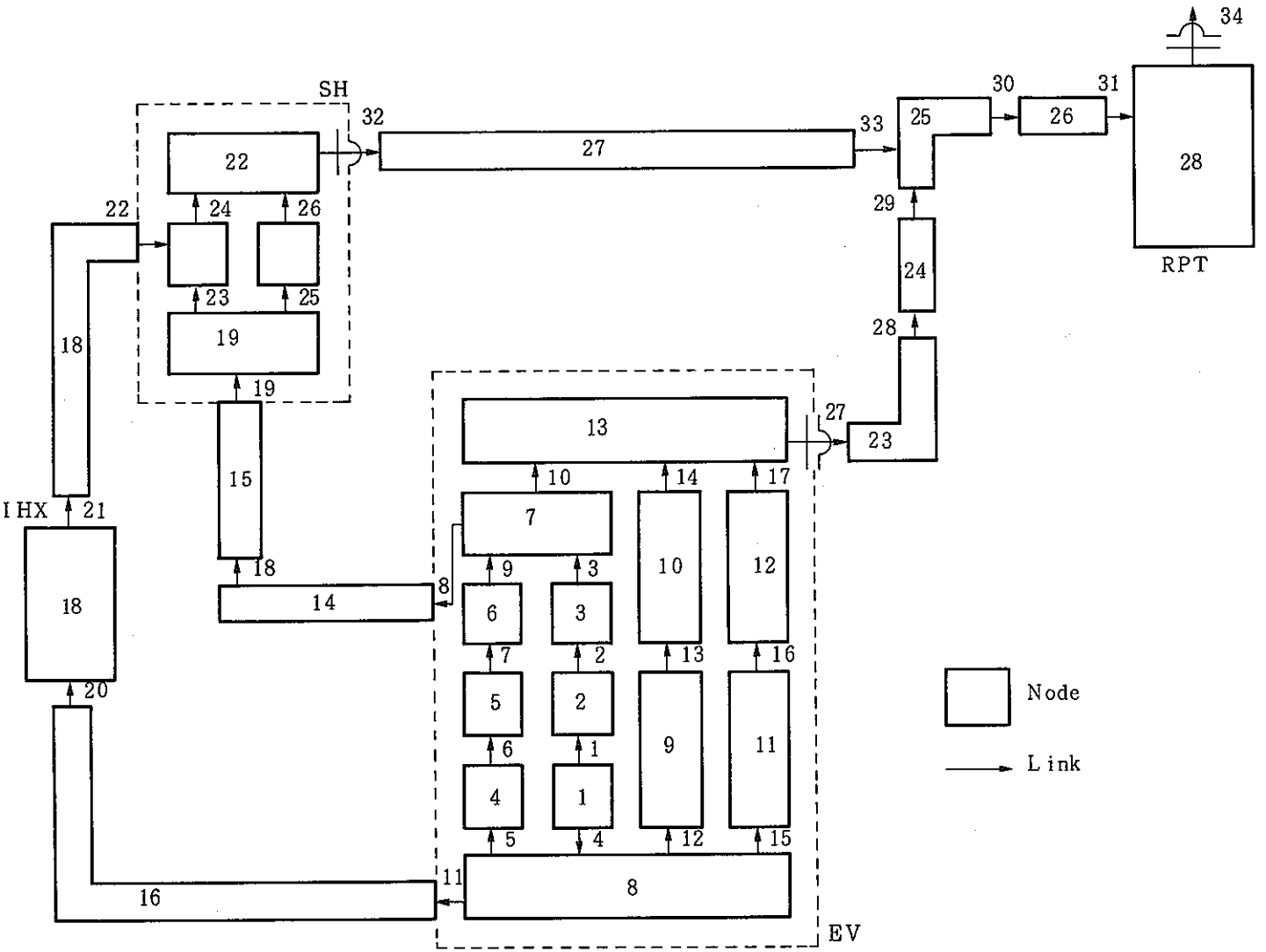
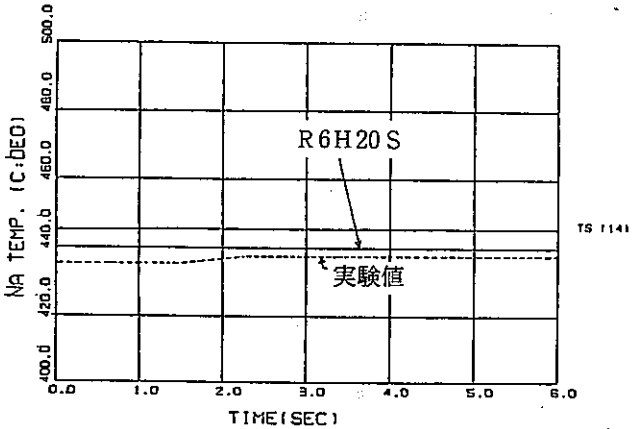
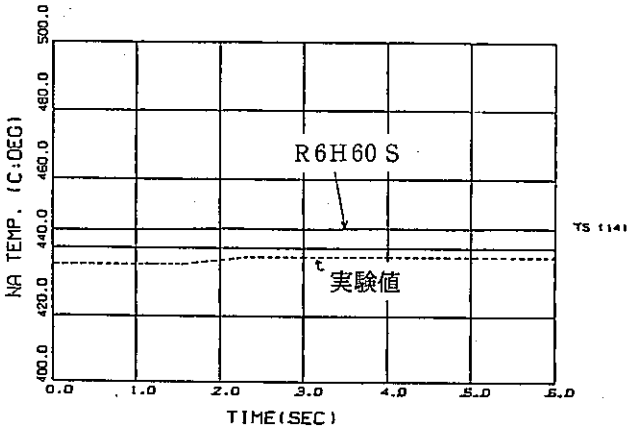


図3.3－2　SWAT－3，Run－6解析モデル

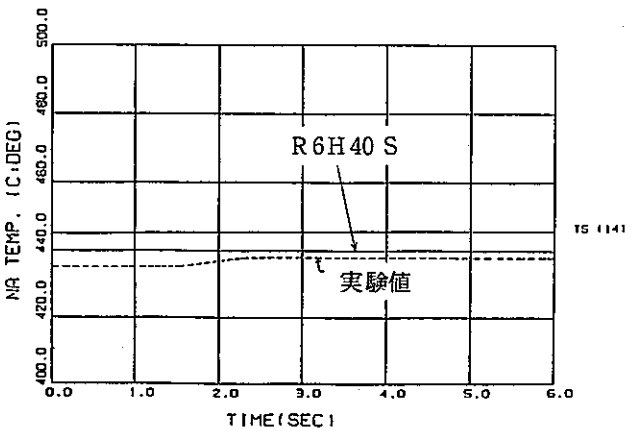
Network Model for SWAT-3, Run-6 Analysis



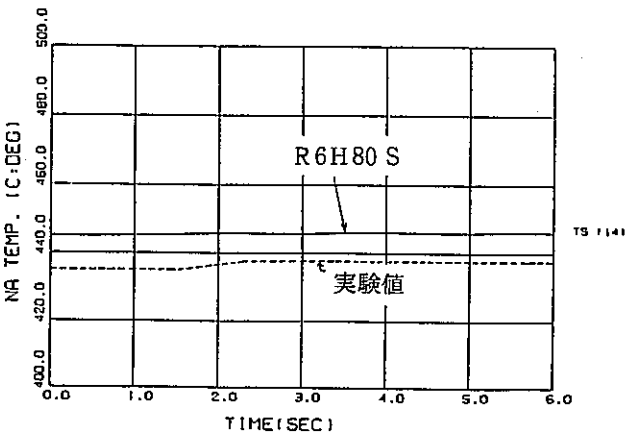
(a) 10^2, Hirtのモデル



(c) 10^6, Hirtのモデル



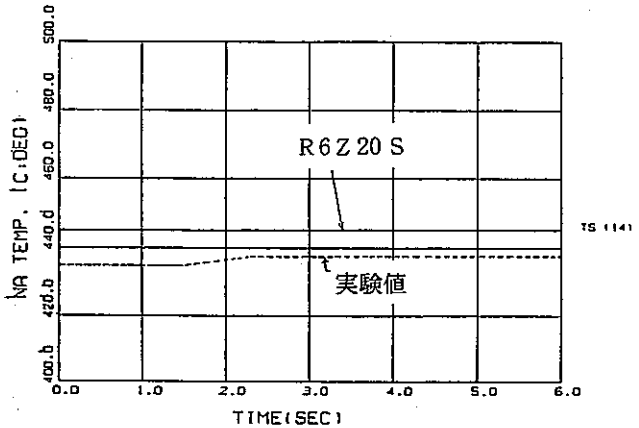
(b) 10^4, Hirtのモデル



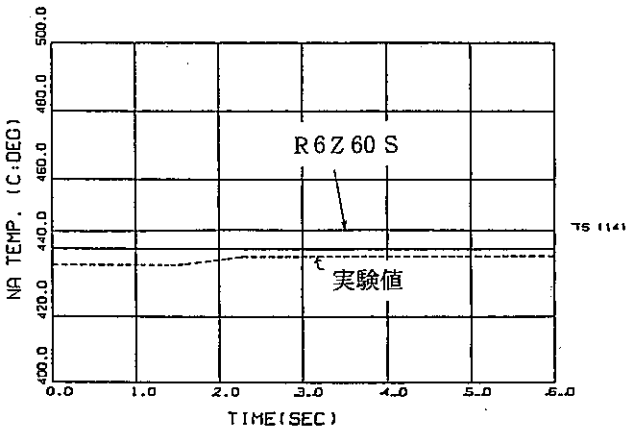
(d) 10^8, Hirtのモデル

図3.3－4(1) ミドルレグ・ナトリウム温度

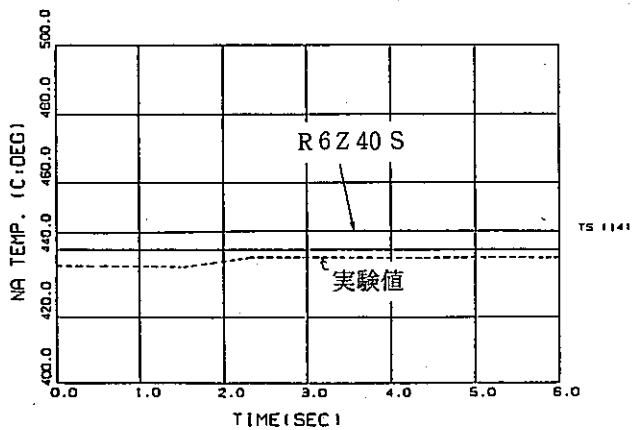
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Sodium Temperature in Middle Leg).



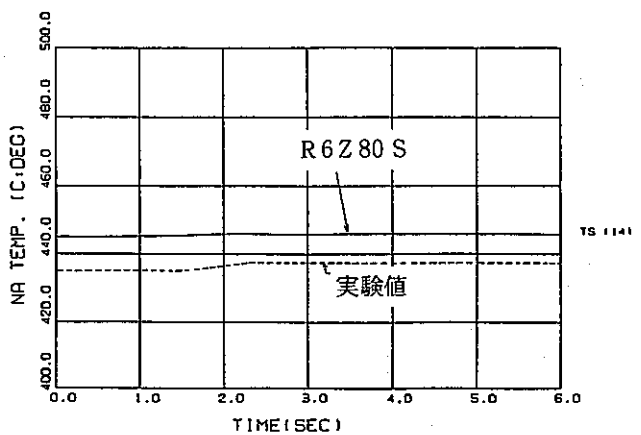
(e) 10^2, Zuber のモデル



(g) 10^6, Zuber のモデル



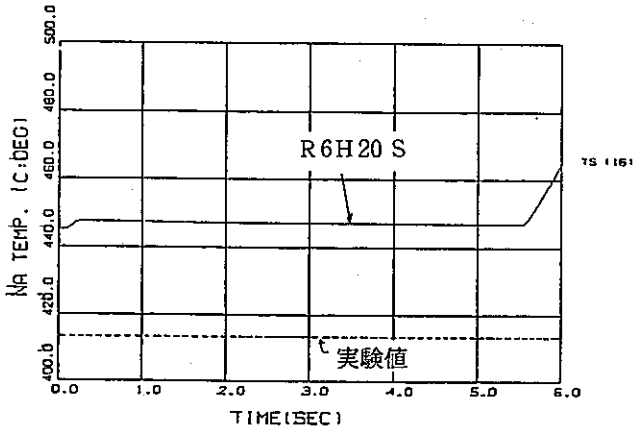
(f) 10^4, Zuber のモデル



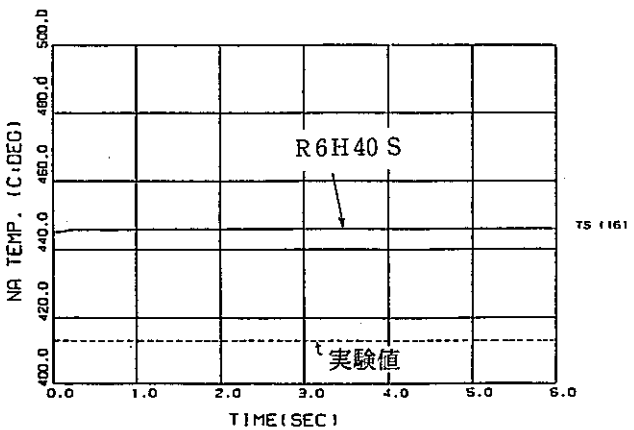
(h) 10^8, Zuber のモデル

図3.3－4(2) ミドルレグーナトリウム温度

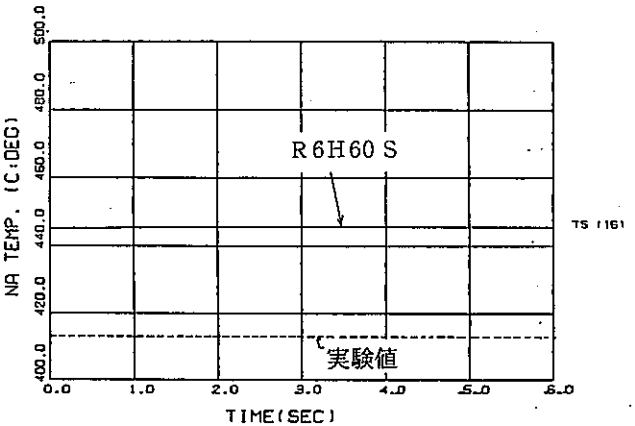
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Sodium Temperature in Middle Leg).



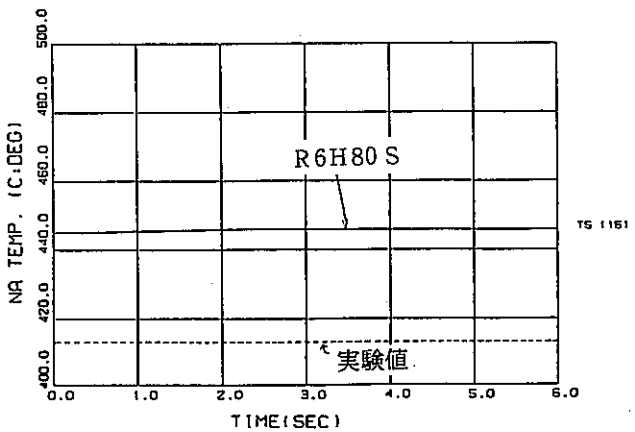
(a) 10^2, Hirt のモデル



(b) 10^4, Hirt のモデル



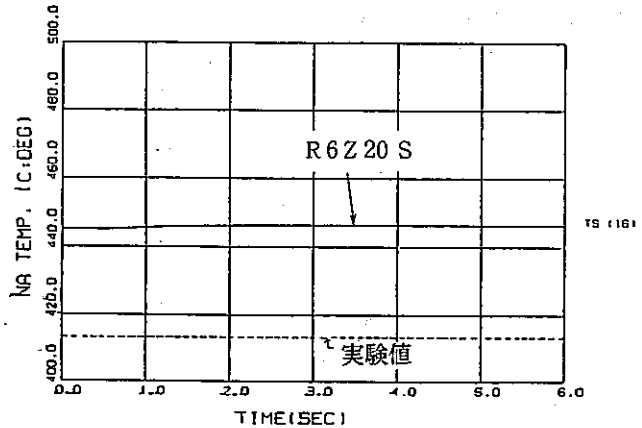
(c) 10^6, Hirt のモデル



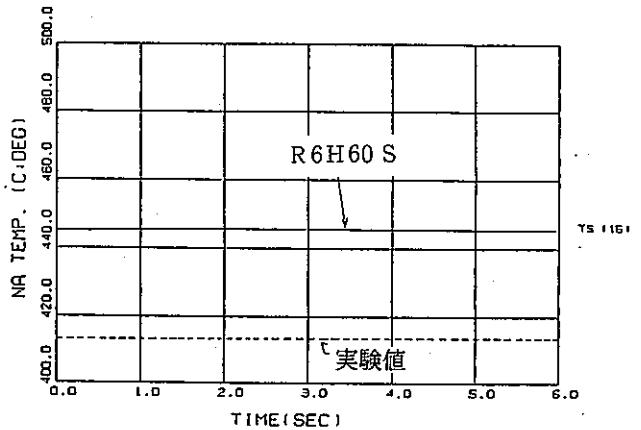
(d) 10^8, Hirt のモデル

図3.3－5(1) コールドレグナトリウム温度

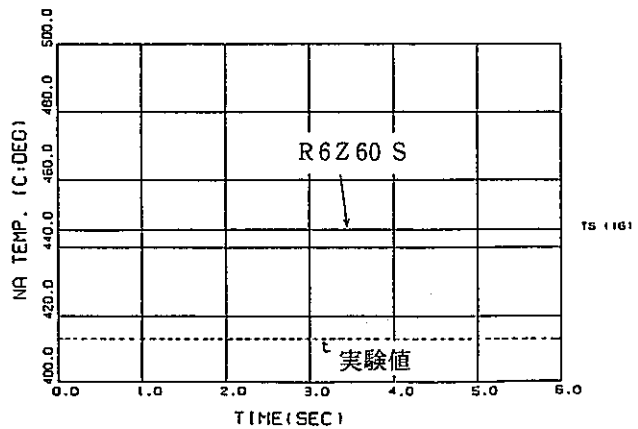
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Sodium Temperature in Cold Leg).



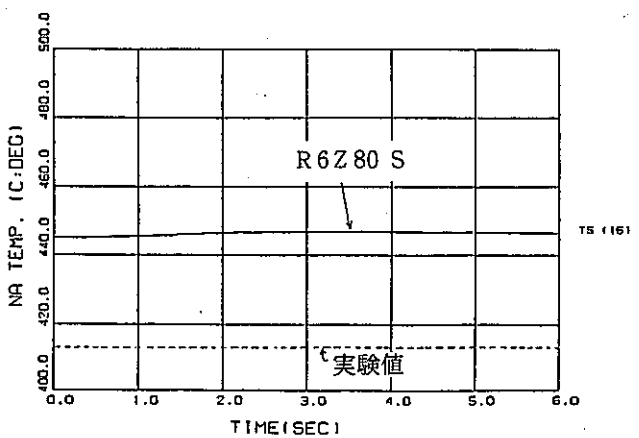
(e) 10^2, Zuber のモデル



(g) 10^6, Zuber のモデル



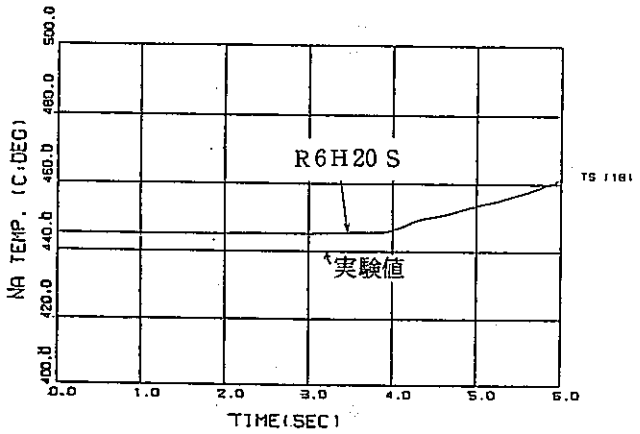
(f) 10^4, Zuber のモデル



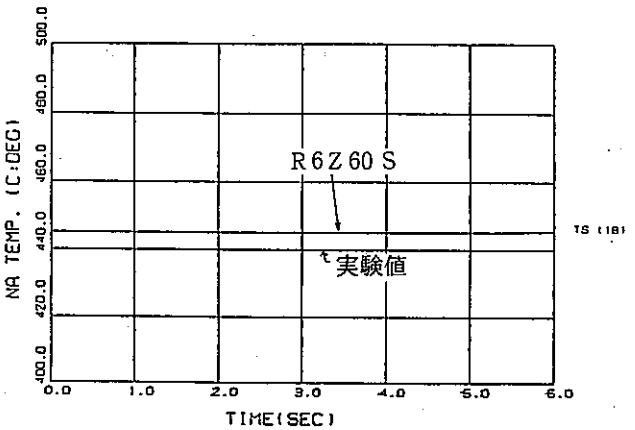
(h) 10^8, Zuber のモデル

図 3.3－5(2) コールドレグナトリウム温度

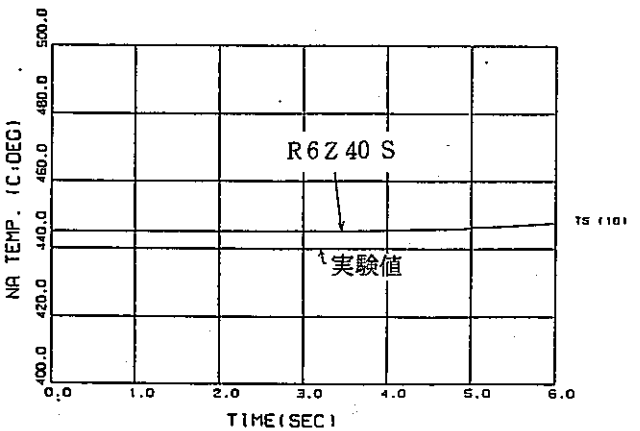
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Sodium Temperature in Cold Leg).



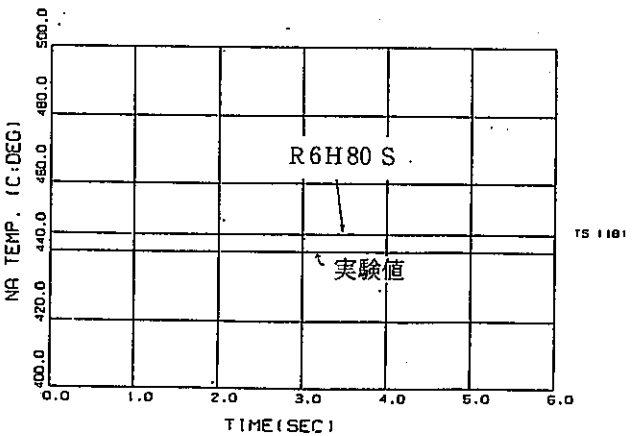
(a) 10^2, Hirtのモデル



(c) 10^6, Hirtのモデル



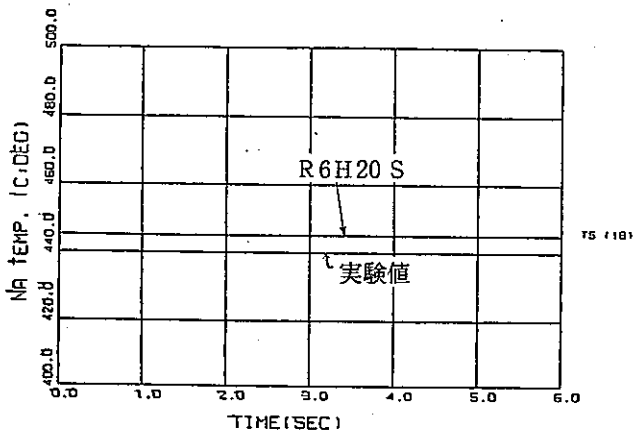
(b) 10^4, Hirtのモデル



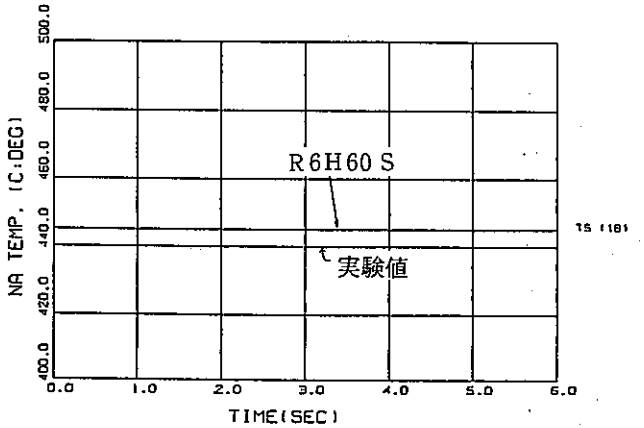
(d) 10^8, Hirtのモデル

図3.3－6(1) ホットレグナトリウム温度

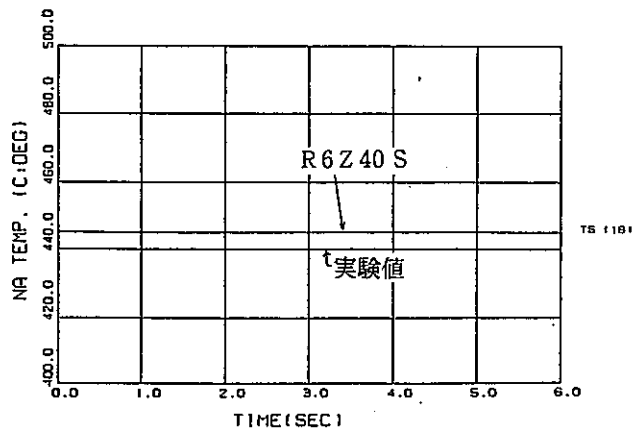
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Sodium Temperature in Hot Leg).



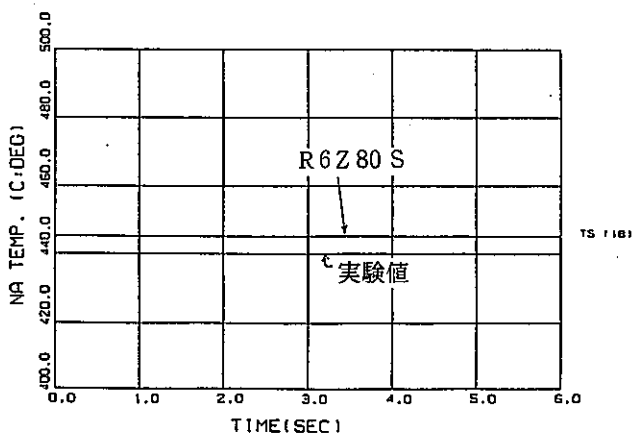
(e) 10^2, Zuber のモデル



(g) 10^6, Zuber のモデル



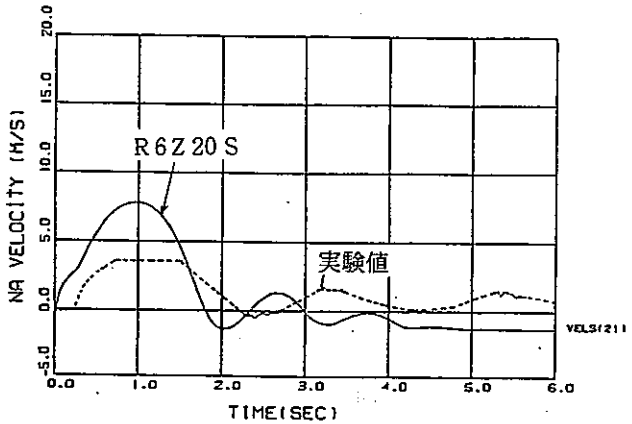
(f) 10^4, Zuber のモデル



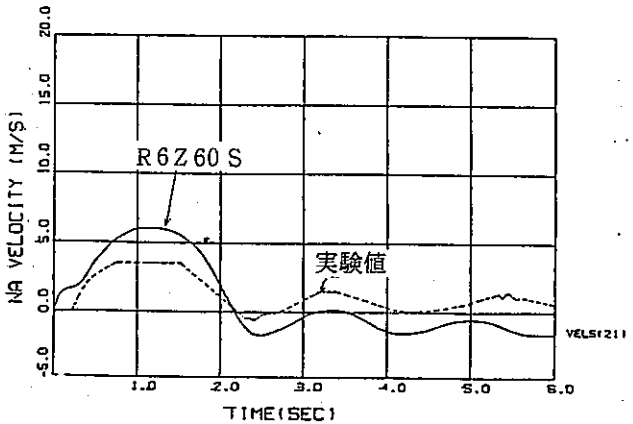
(h) 10^8, Zuber のモデル

図 3.3 − 6(2) ホットレグナトリウム温度

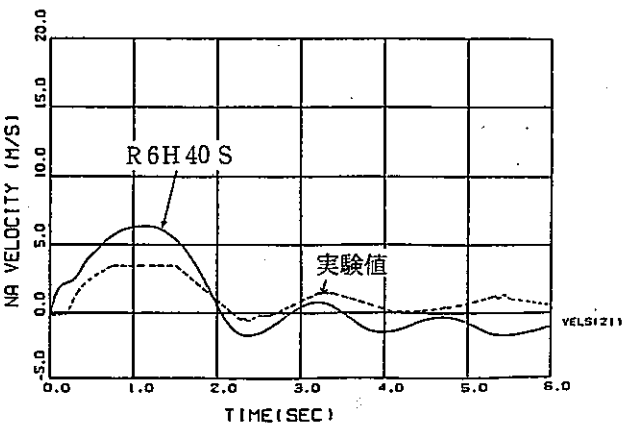
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Sodium Temperature in Hot Leg).



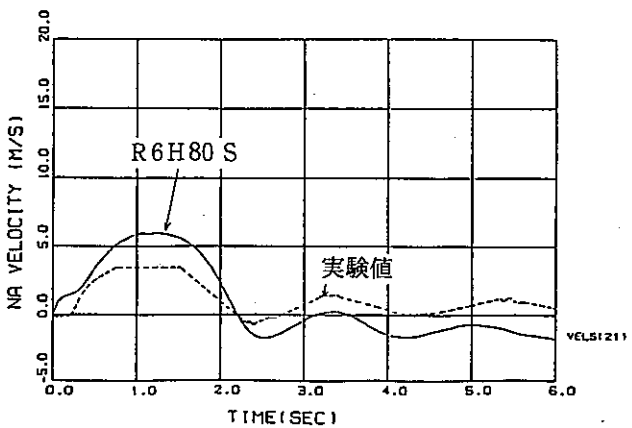
(a) 10^2, Hirtのモデル



(c) 10^6, Hirtのモデル



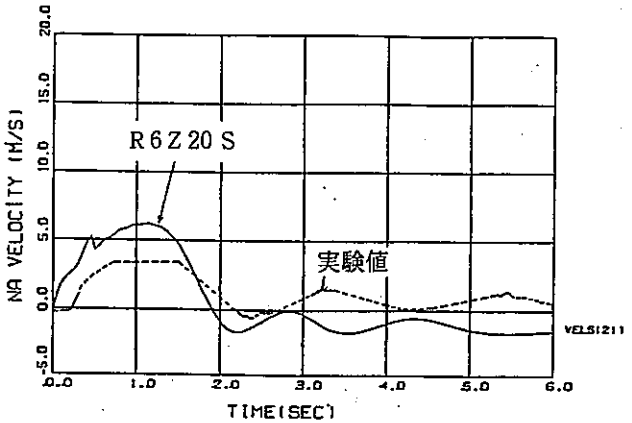
(b) 10^4, Hirtのモデル



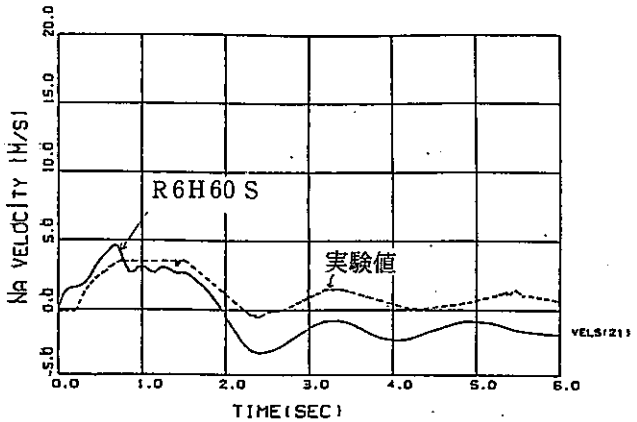
(d) 10^8, Hirtのモデル

図3.3－7(1) ホットレグ・ナトリウム流速

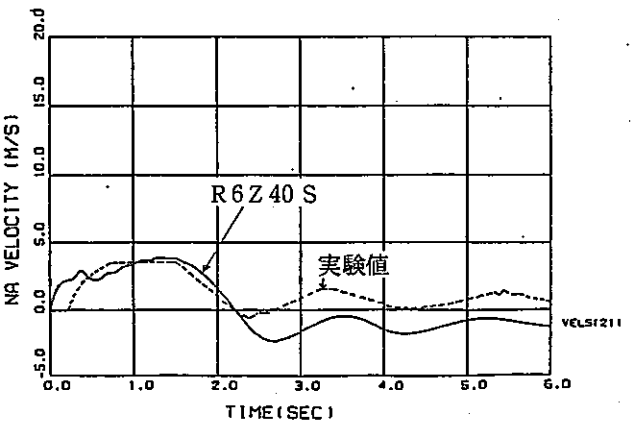
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Velocity in Hot Leg).



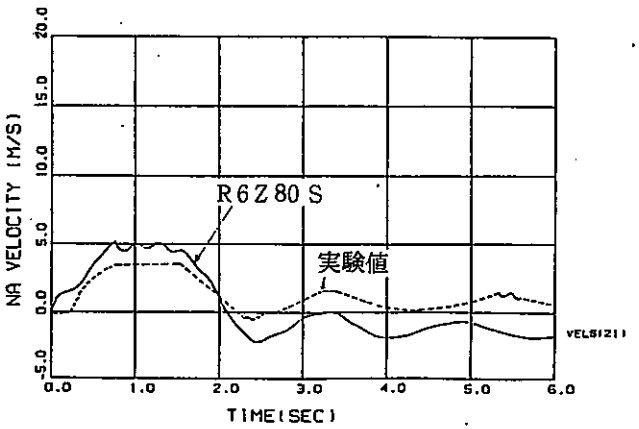
(e) 10^2, Zuber のモデル



(g) 10^6, Zuber のモデル



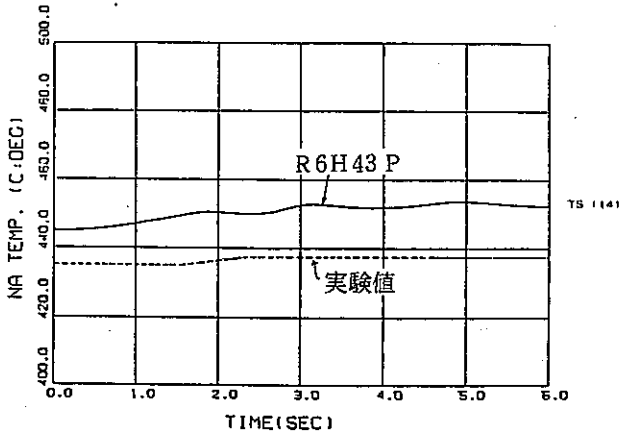
(f) 10^4, Zuber のモデル



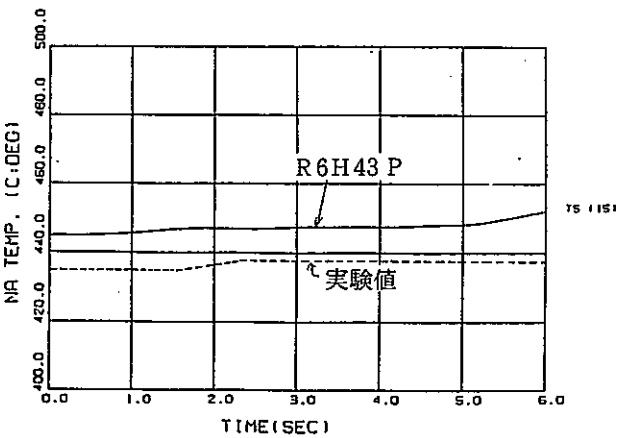
(h) 10^8, Zuber のモデル

図3.3－7(2) ホットレグ・ナトリウム流速

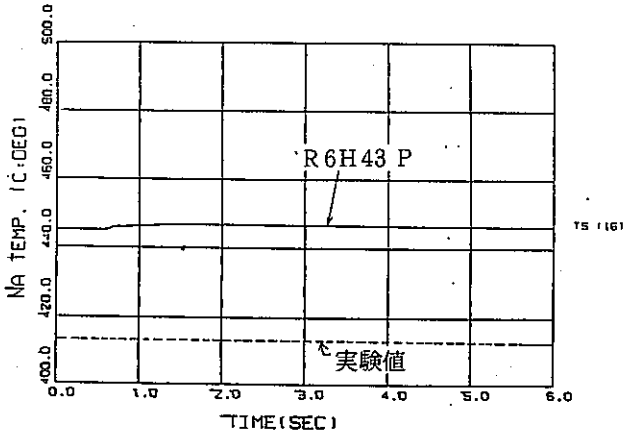
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Velocity in Hot Leg).



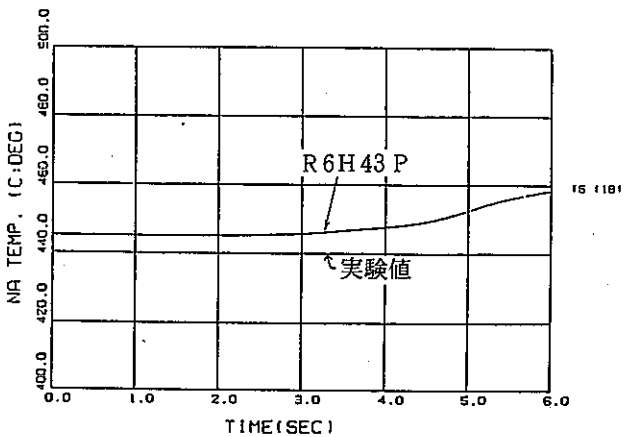
(a) ミドルレグナトリウム温度（ノード14）



(b) ミドルレグナトリウム温度（ノード15）



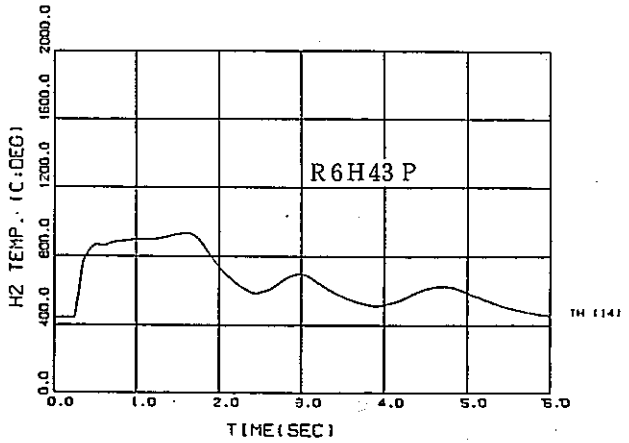
(c) コールドレグナトリウム温度（ノード16）



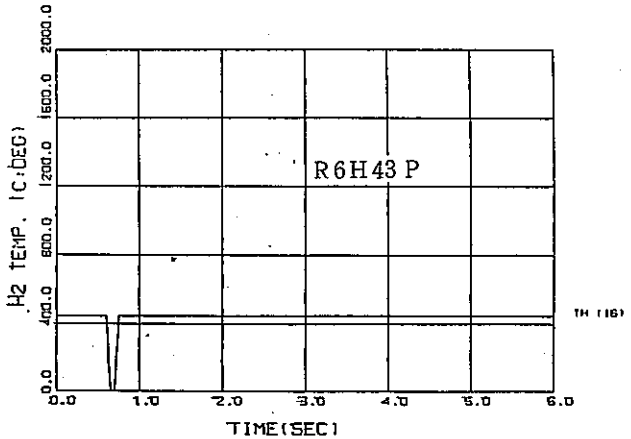
(d) ホットレグナトリウム温度（ノード18）

図3.3－8(1) ナトリウム温度（ケースR6H43P）

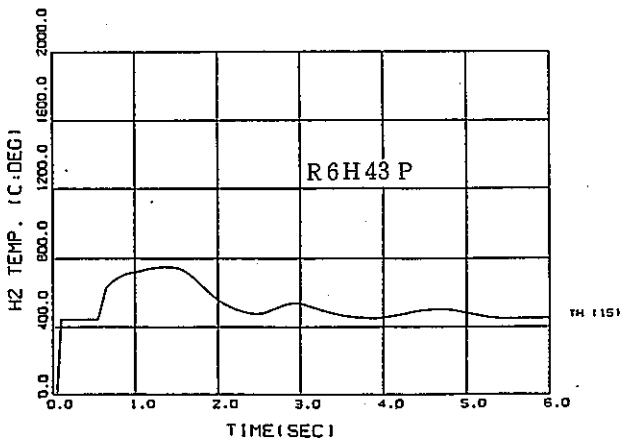
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Sodium Temperature).



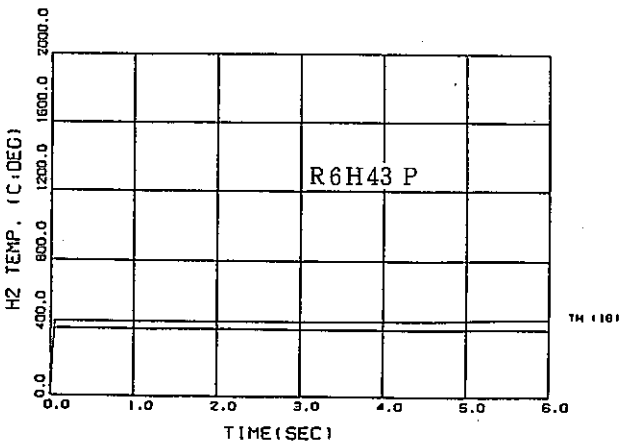
(e) ミドルレグ水素温度（ノード14）



(g) コールドレグ水素温度



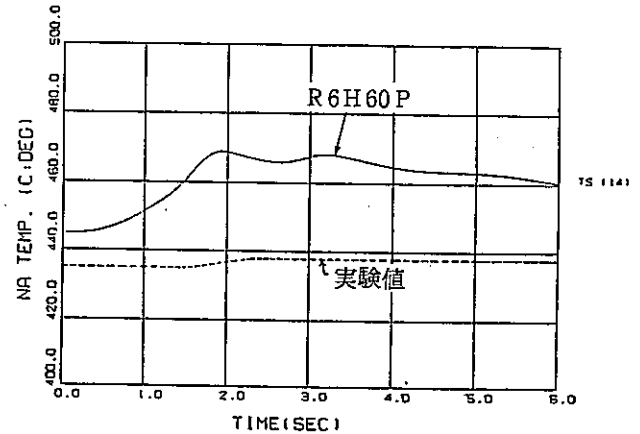
(f) ミドルレグ水素温度（ノード15）



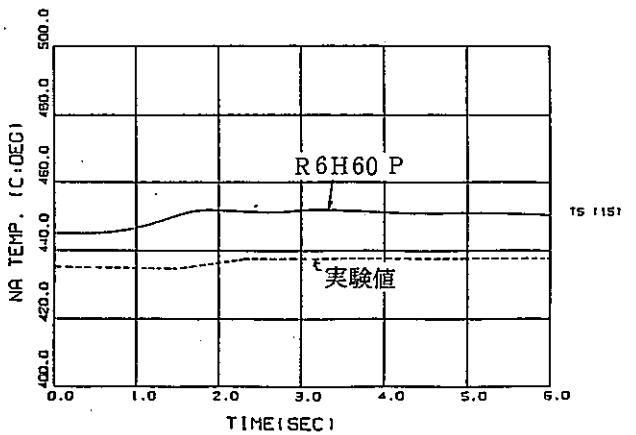
(h) ホットレグ水素温度

図3.3－8(2) 水素温度（ケースR6H43P）

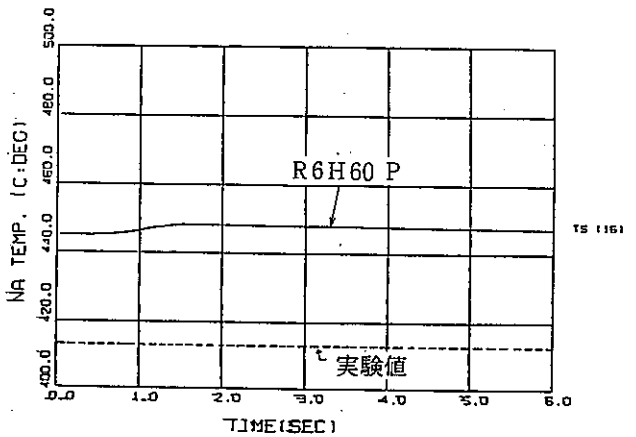
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Hydrogen Temperature).



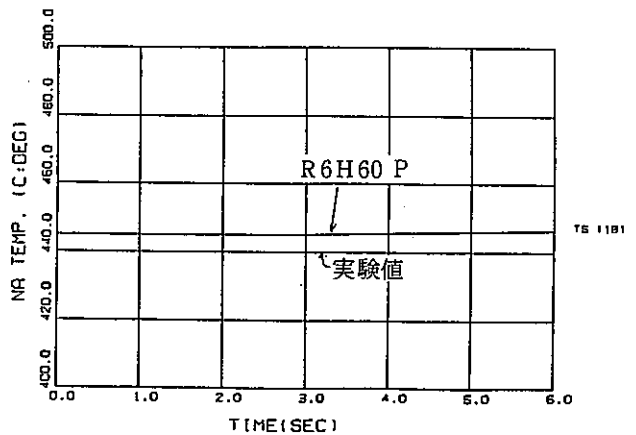
(a) ミドルレグナトリウム温度



(b) ミドルレグナトリウム温度



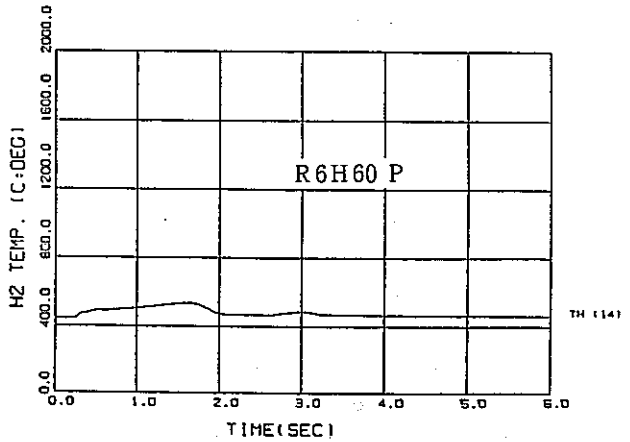
(c) コールドレグナトリウム温度



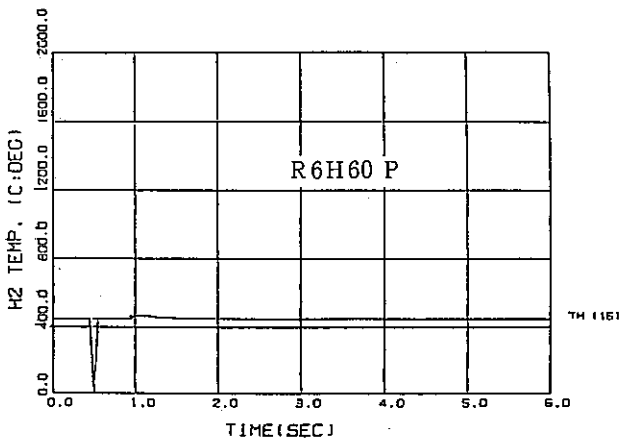
(d) ホットレグナトリウム温度

図3.3－9(1) ナトリウム温度（ケースR6H60P）

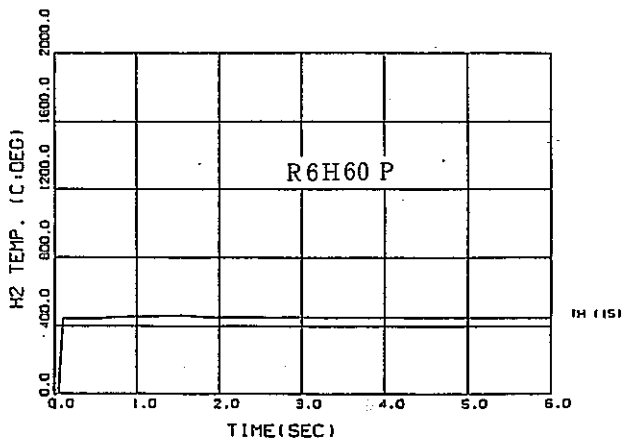
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Sodium Temperature).



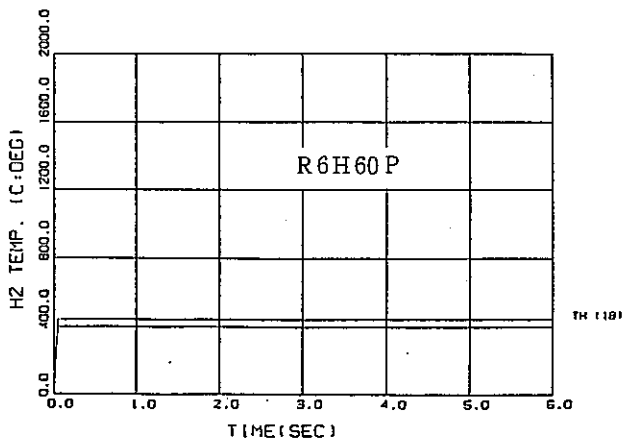
(e) ミドルレグ水素温度（ノード14）



(f) コールドレグ水素温度



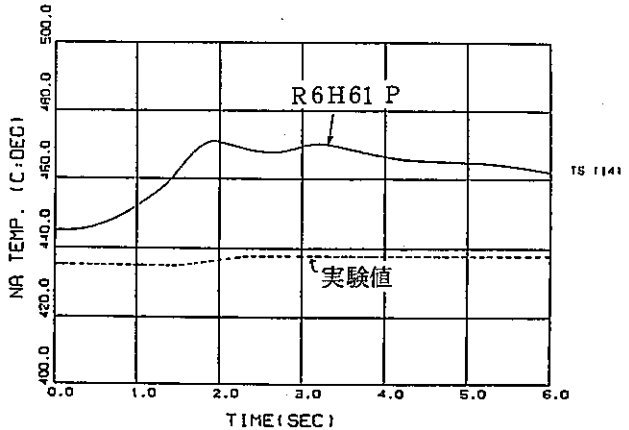
(f) ミドルレグ水素温度（ノード15）



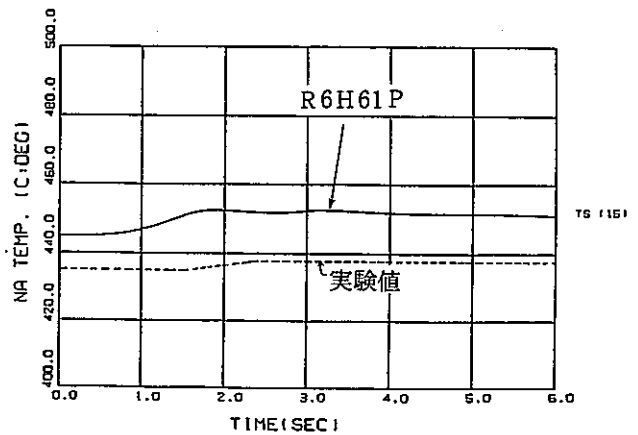
(g) ホットレグ水素温度

図3.3.9(2) 水素温度（ケースR6H60P）

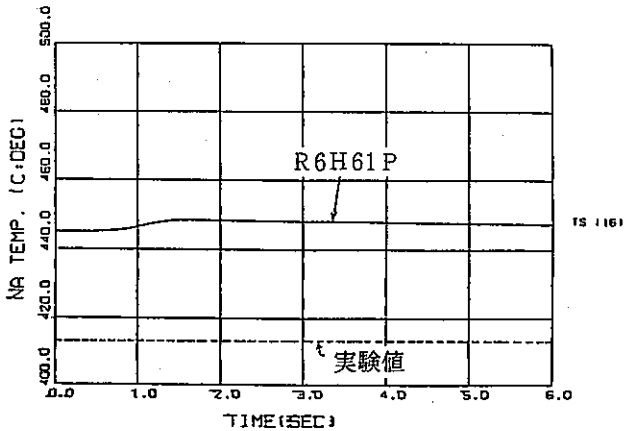
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Hydrogen Temperature).



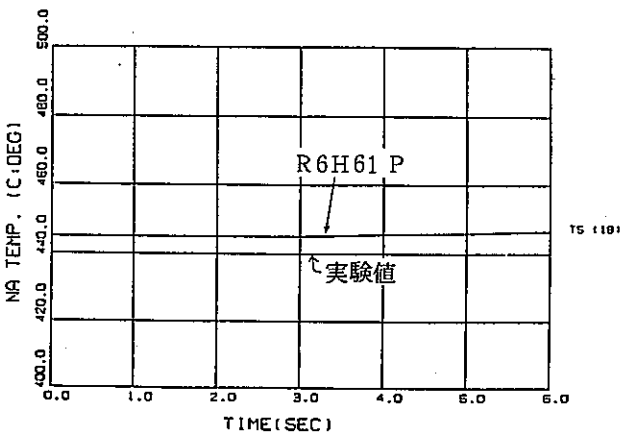
(a) ミドルレグナトリウム温度（ノード14）



(b) ミドルレグナトリウム温度（ノード15）



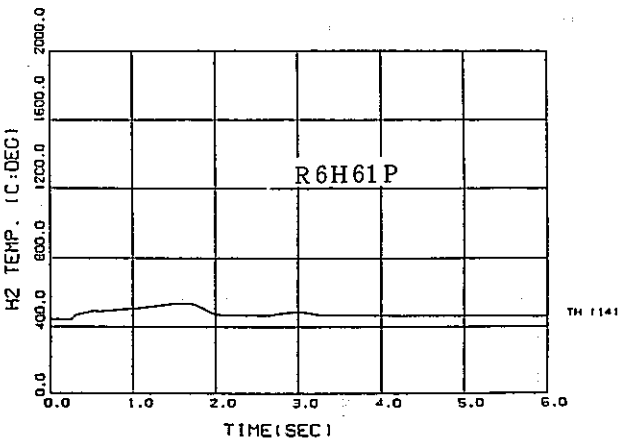
(c) コールドレグナトリウム温度



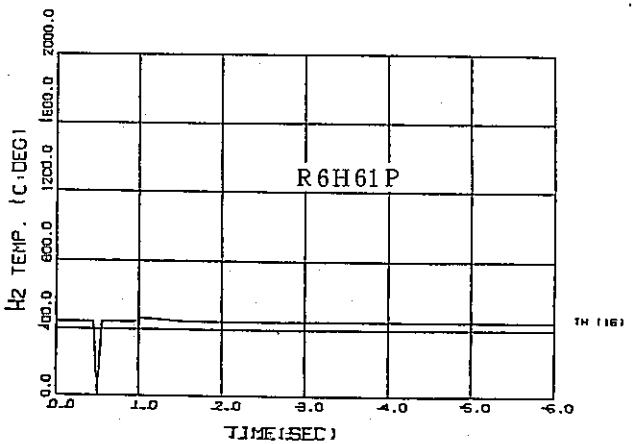
(d) ホットレグナトリウム温度

図3.3－10(1) ナトリウム温度（ケースR6H61P）

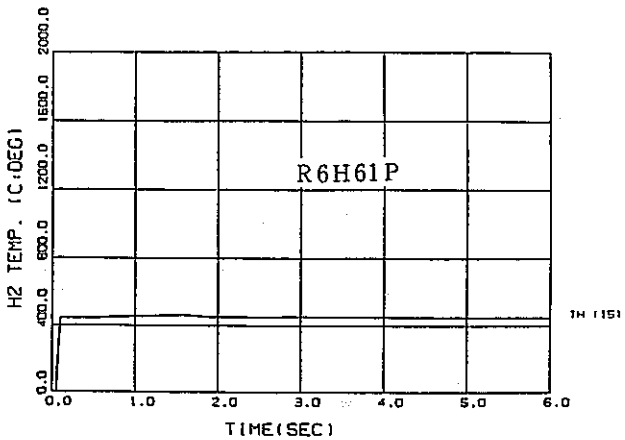
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Sodium Temperature).



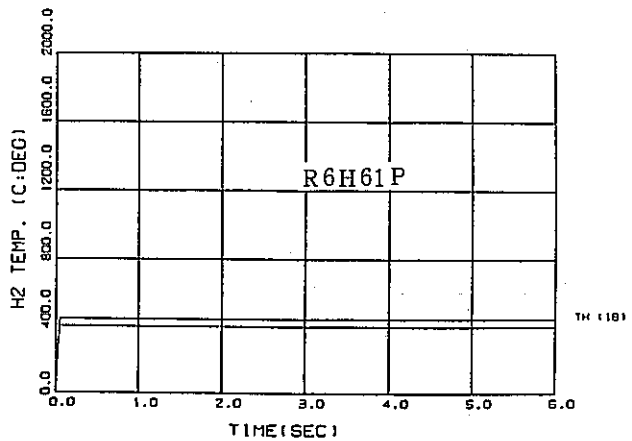
(e) ミドルレグ水素温度（ノード14）



(g) コールドレグ水素温度



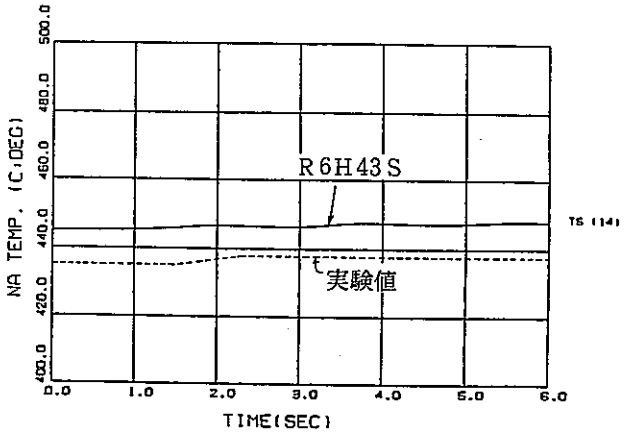
(f) ミドルレグ水素温度（ノード15）



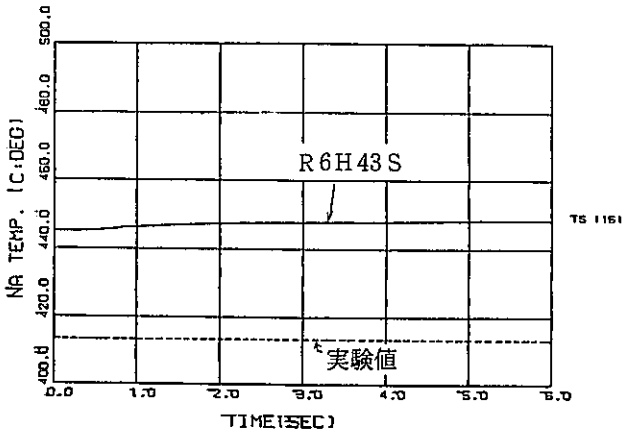
(h) ホットレグ水素温度

図3.3－10(2) 水素温度（ケースR6H61P）.

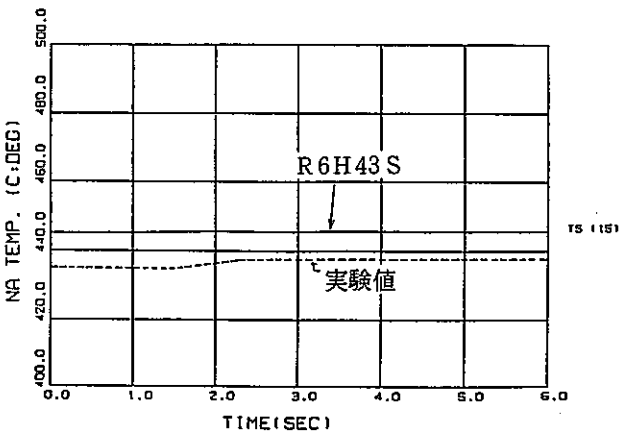
Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculation by SWAC-13E (Hydrogen Temperature).



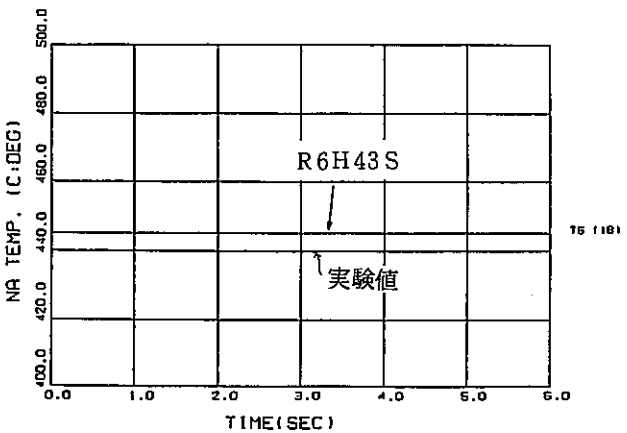
(a) ミドルレグ（ノード14）



(c) コールドレグ



(b) ミドルレグ（ノード15）



(d) ホットレグ

図3.3－11　ナトリウム温度（ケースR6H43S）.

Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Sodium Temperature).

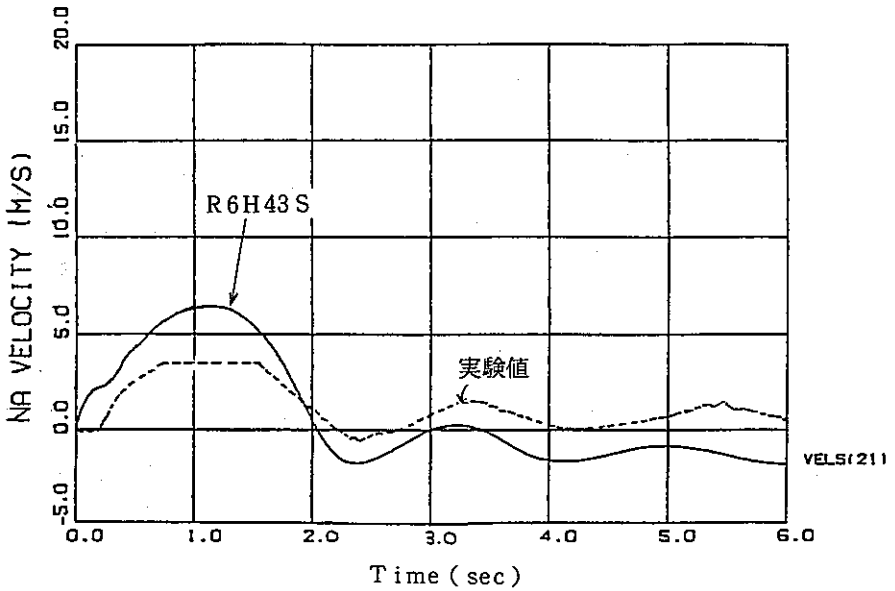
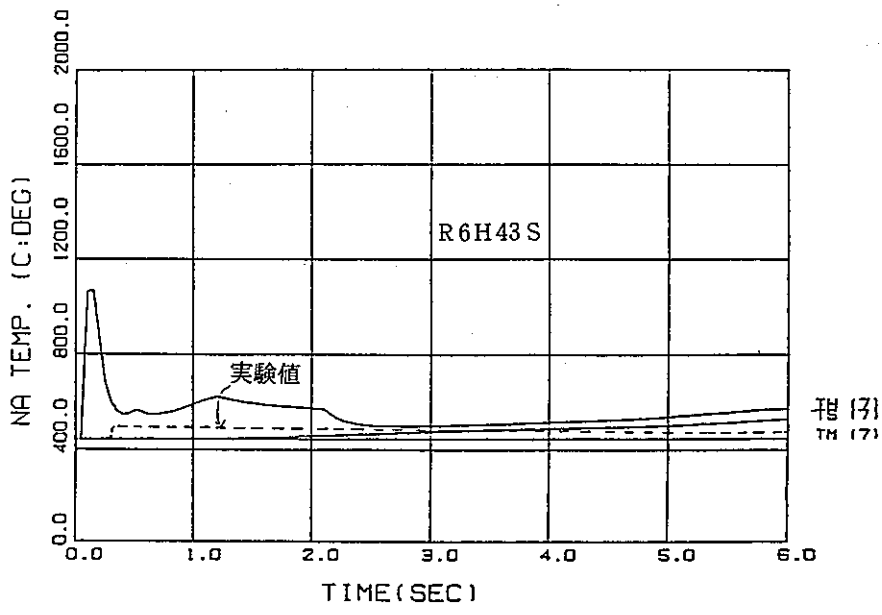
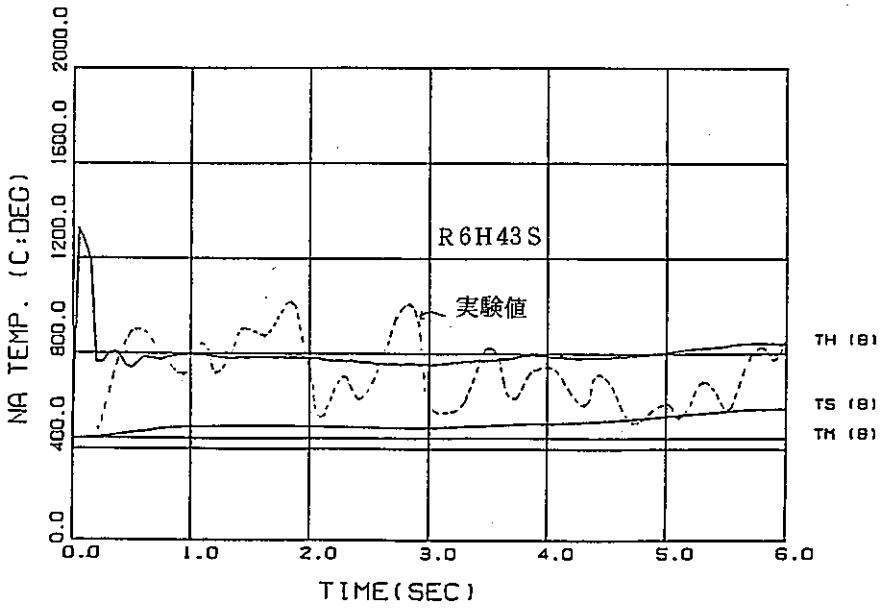


図3.3－12　ホットレグナトリウム流速（ケースR6H43S）

Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Velocity in Hot Leg).



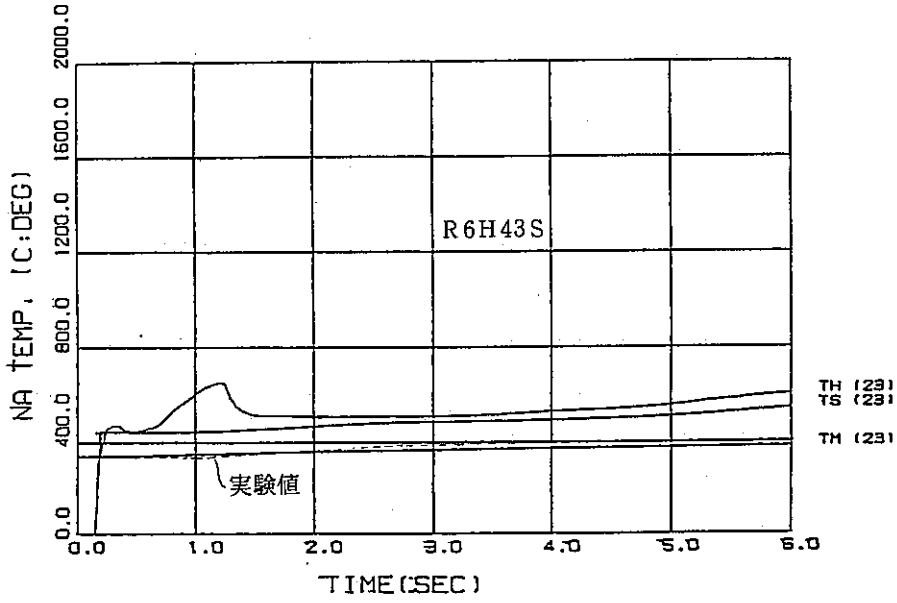
(a) 上部プレナム



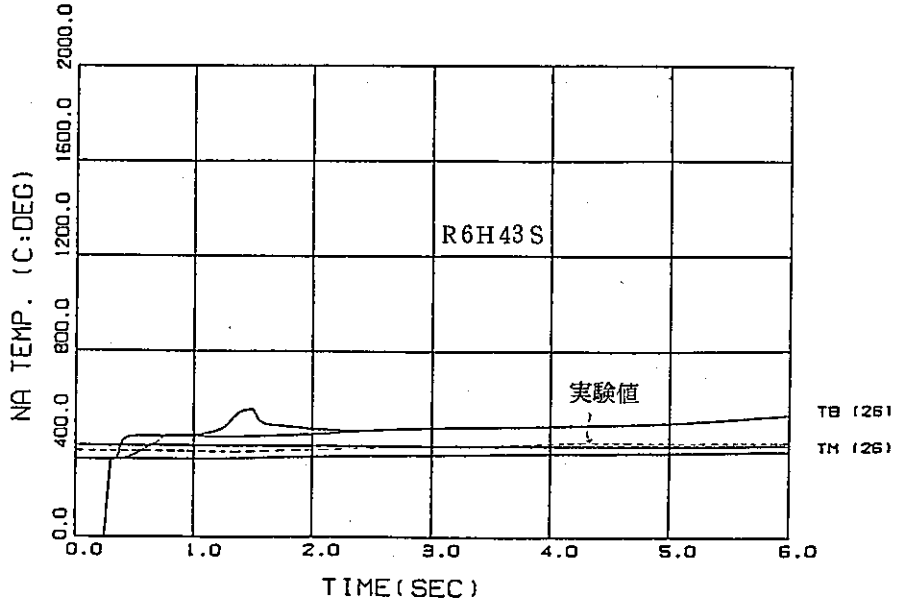
(b) 下部プレナム

図3.3－13 蒸発器のナトリウム温度（ケースR6H43S）

Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Sodium Temperature in Pressure Relief Line).



(a) ノード23



(b) ノード26

図3.3－14　放出系配管内のナトリウム温度（ケースR6H43S）

Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Sodium Temperature in Evaporator).

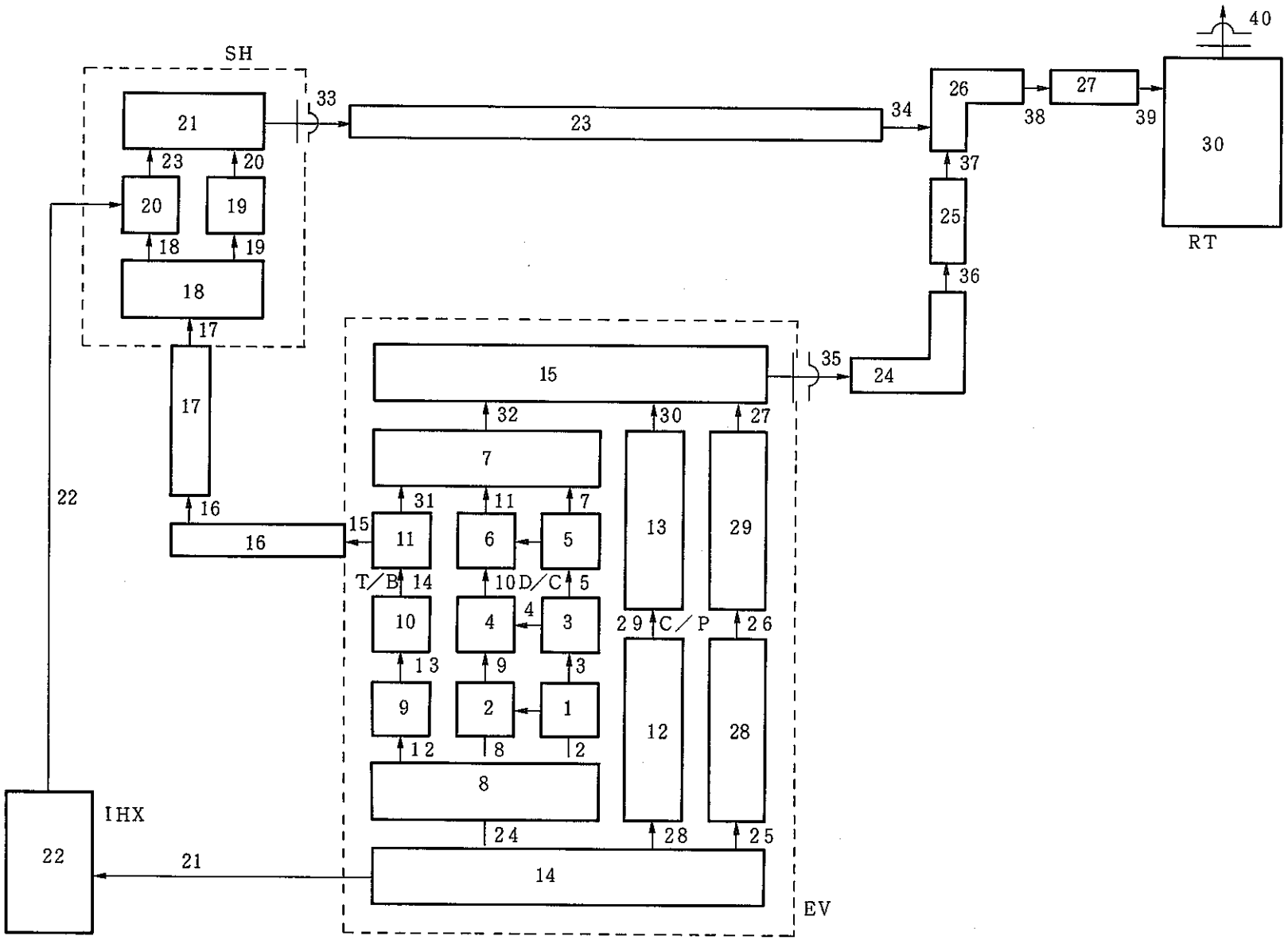
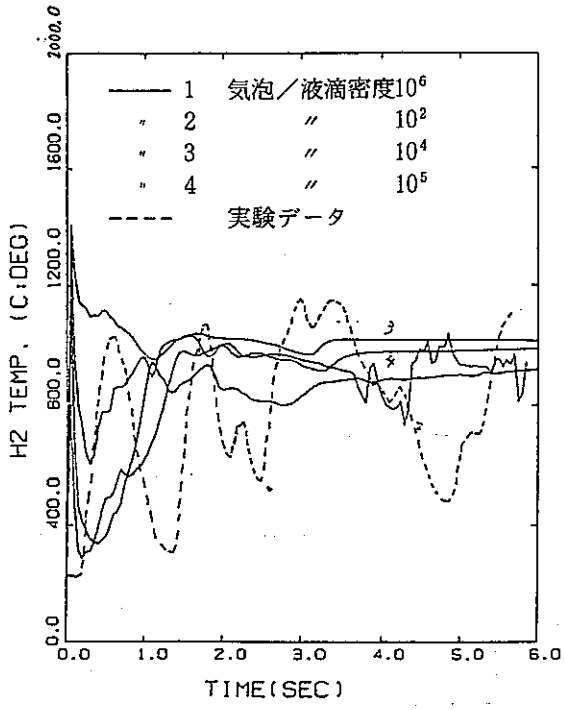
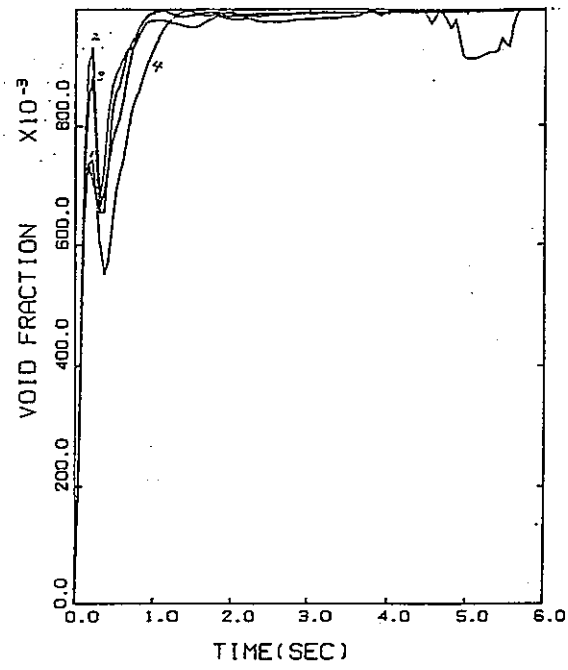


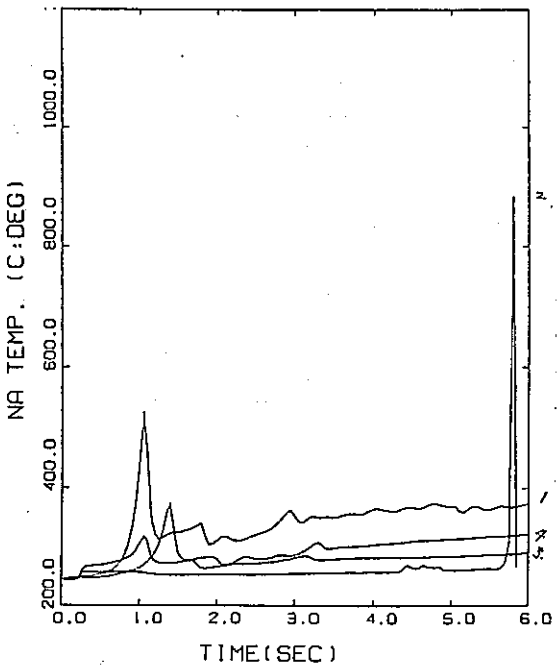
Fig. 3.4-1 Network Model for SWAT-3, Run-7 Analysis



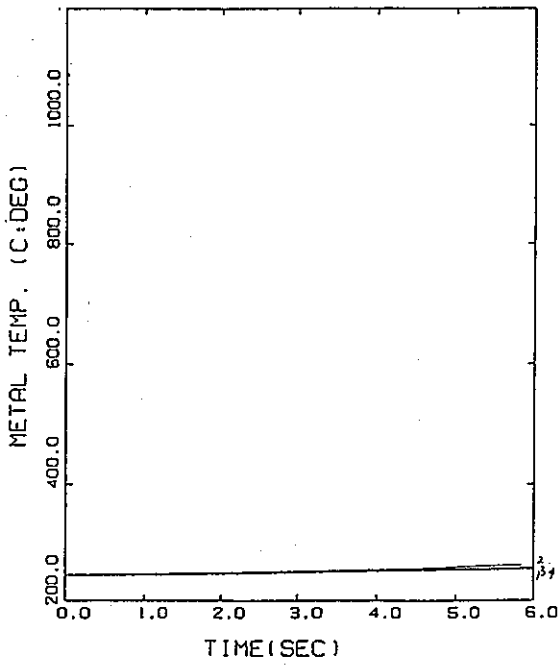
(a) 水素ガス温度



(b) ボイド率



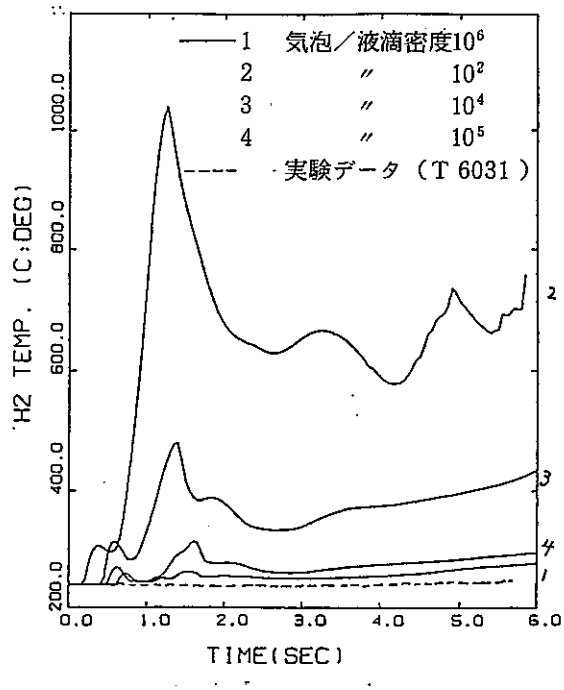
(c) Na温度



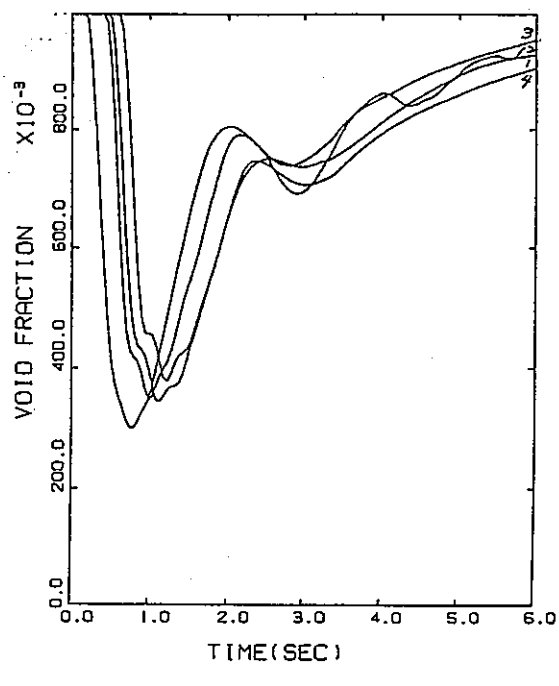
(d) 構造材温度

図3.4－2 ダウンカマ部の状態変化（ノードNo.3）

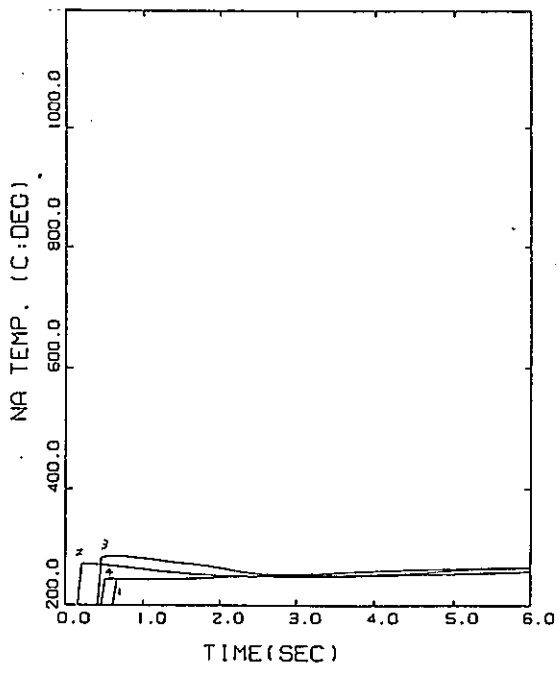
Comparison between Measurements in Run-7 Test and Calculations by SWAC-13E (Downcomer Region - Node 3 -).



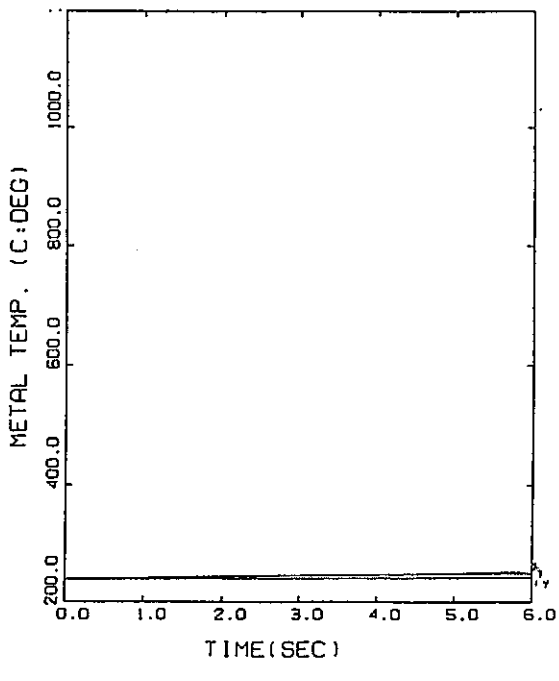
(a) 水素ガス温度



(b) ボイド率



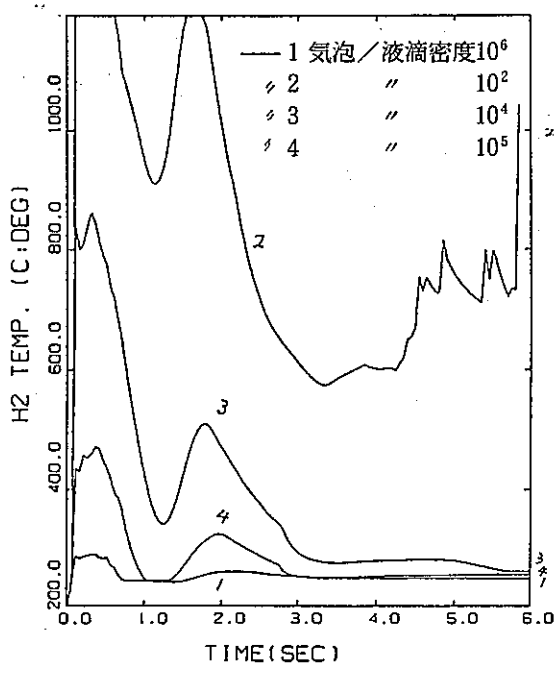
(c) Na 温度



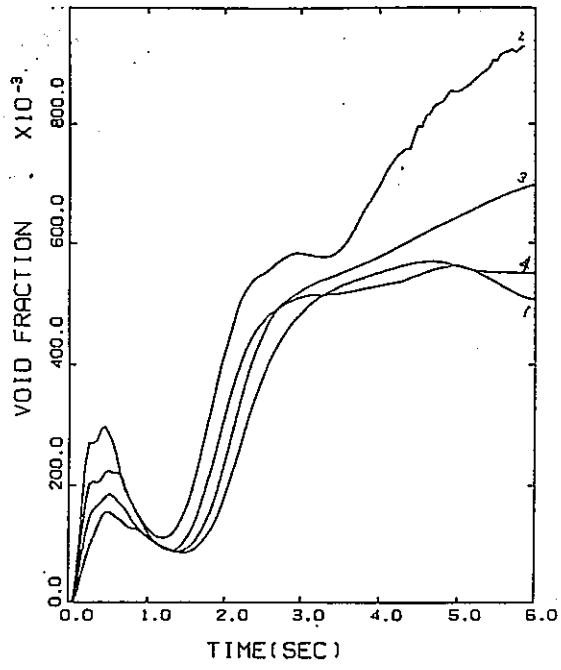
(d) 構造材温度

図 3.4 － 3　放出系配管における状態変化（ノードNo.24）

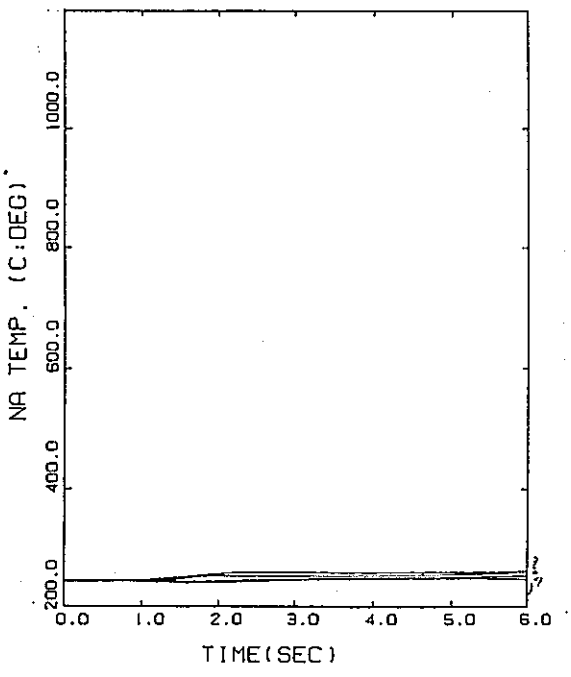
Comparison between Measurements in Run-7 Test and Calculations by SWAC-13E (Pressure Relief Line - Node 24 -).



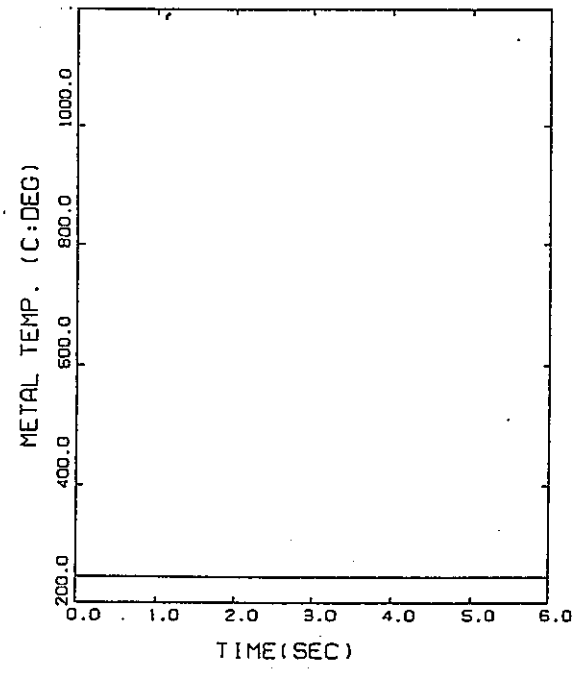
(a) 水素ガス温度



(b) ボイド率



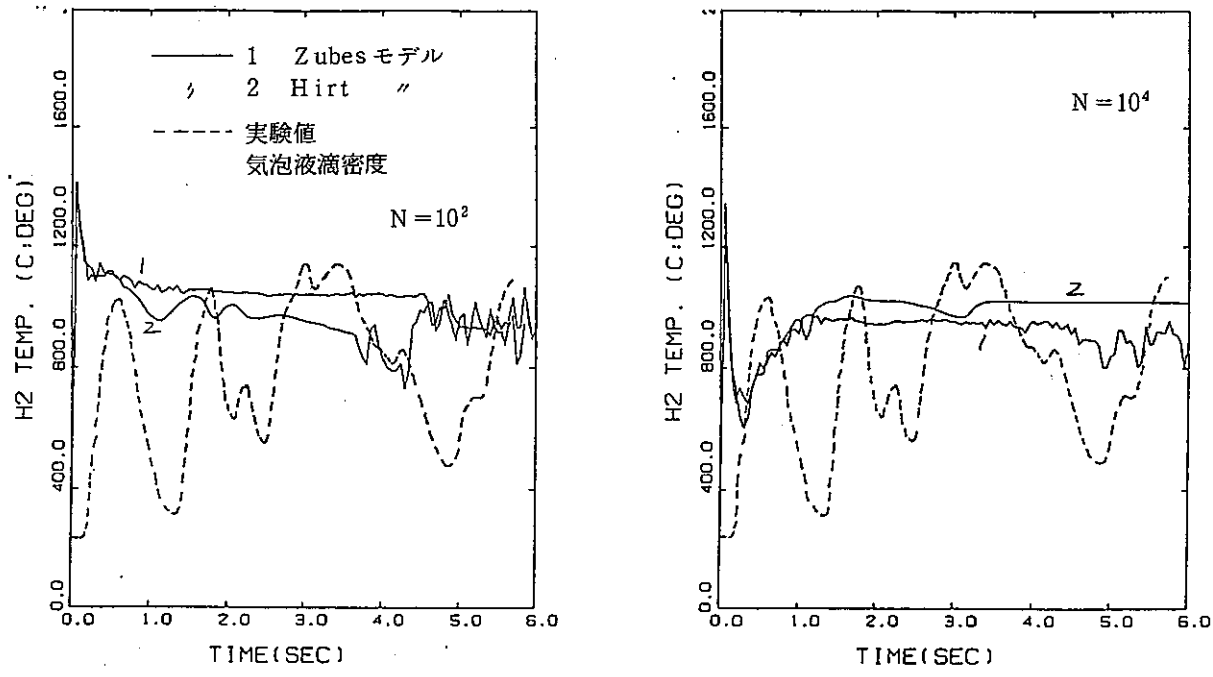
(c) Na 温度



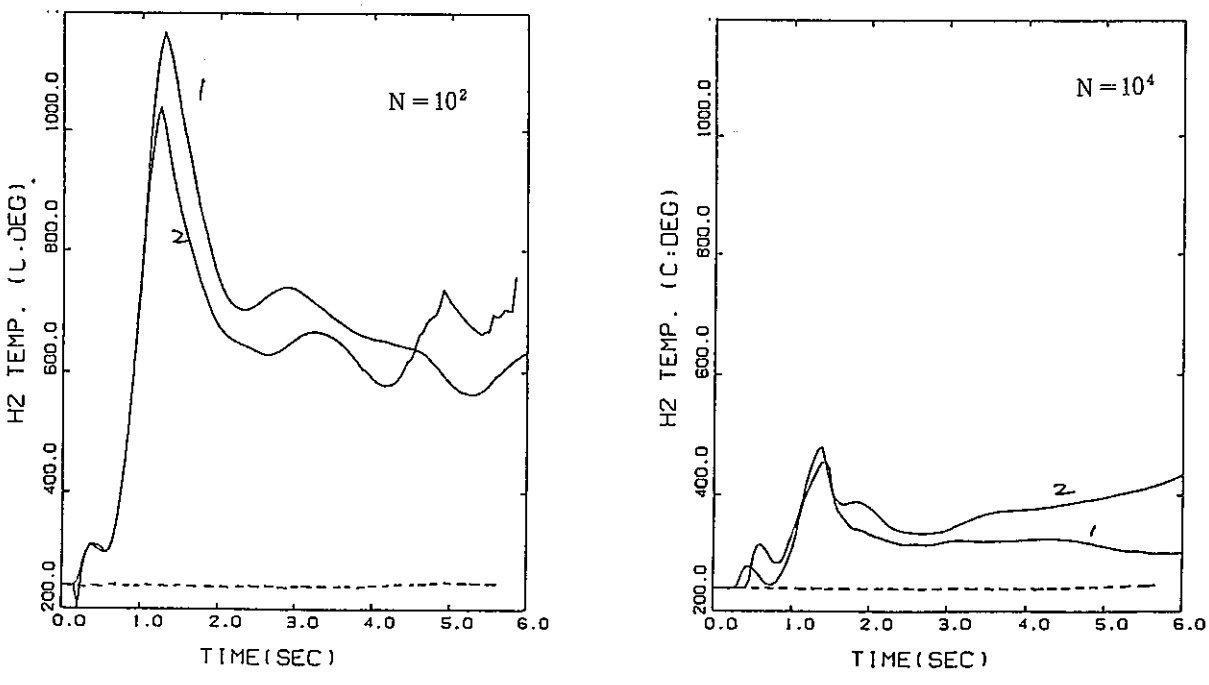
(d) 構造材温度

図3.4－4 下部プレナムにおける状態変化（ノードNo.14）

Comparison between Measurements in Run-7 Test and Calculations by SWAC-13E (Lower plenum of Evaporator - Node 14 -).



(a) ダウフカマ部温度（ノードNo.3）



(b) 放出系配管部温度（ノードNo.24）

図3.4－5 相対速度モデルのサーベイ

Comparison between Measurements in Run-7 Test and Calculations by SWAC-13E (Parameter: Relative Velocity).

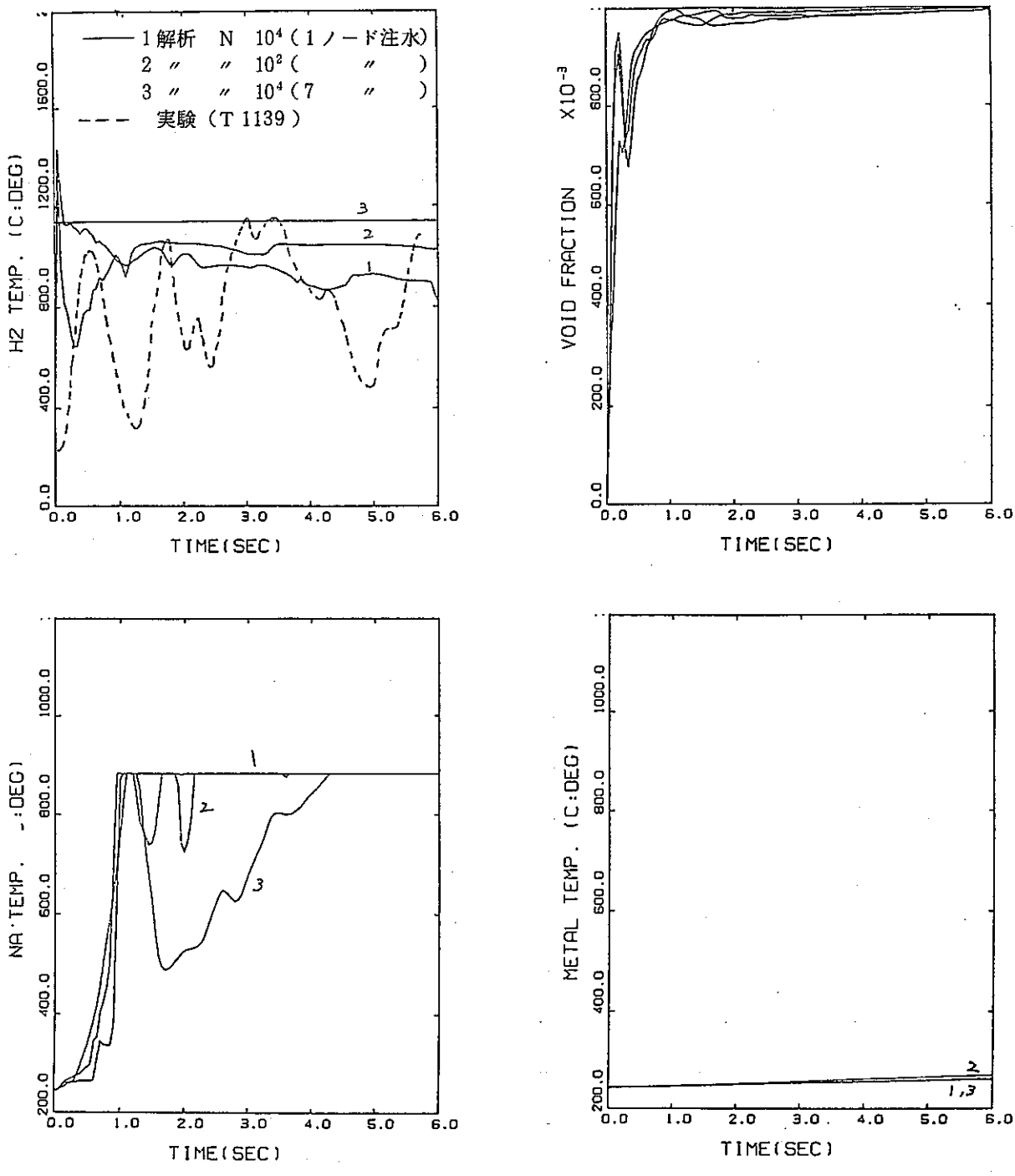


図3.4－6　ダウンカマ中部の状態変化（ノードNo.3）

Comparison between Measurements in Run-7 Test and Calculations by SWAC-13E (Middle Downcomer - Node 3 -).

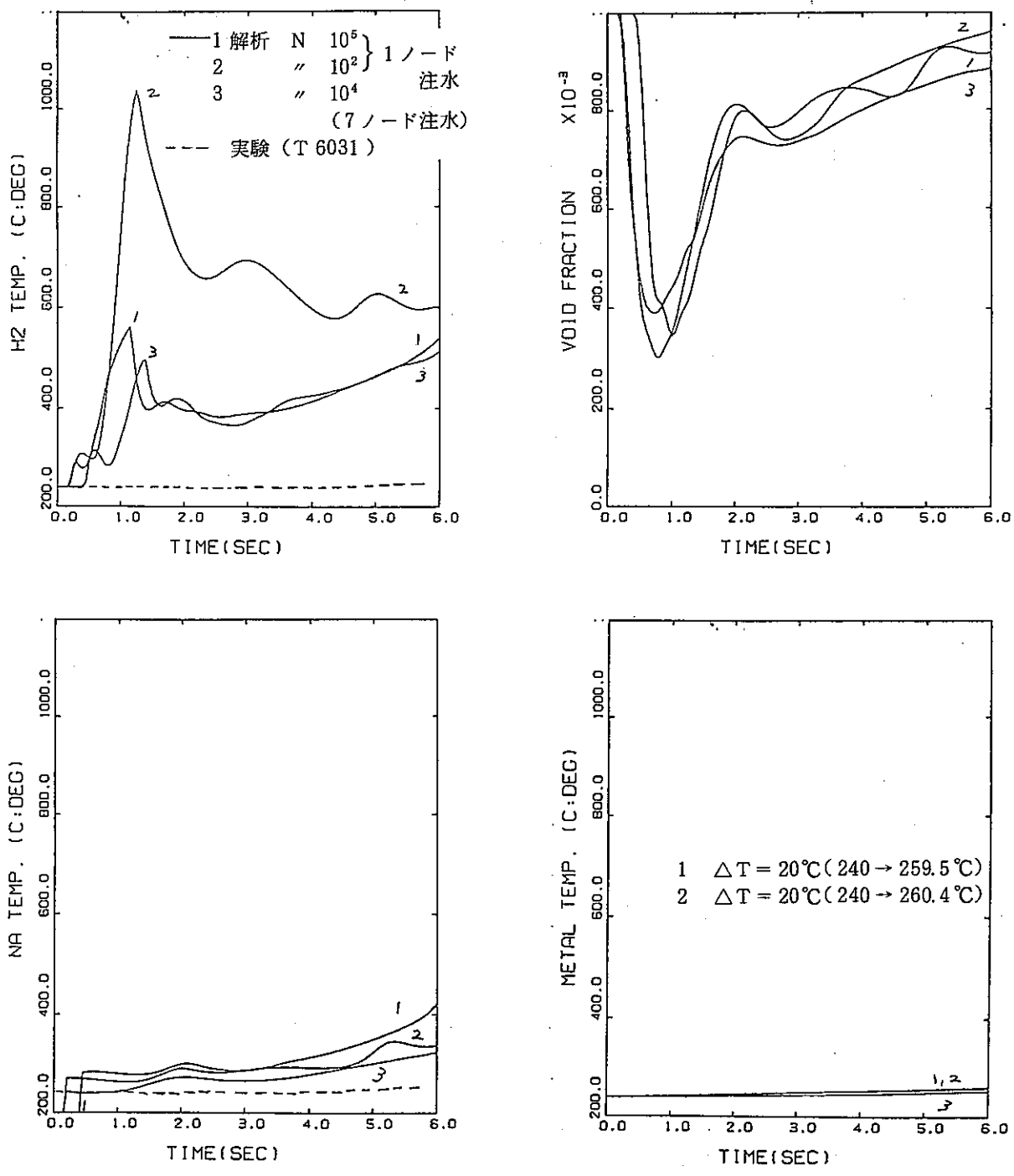


図 3.4－7　放出系配管部の状態変化（ノードNo.24）

Comparison between Measurements in Run-6 Test and Calculations by SWAC-13E (Pressure Relief Line - Node 24 -).

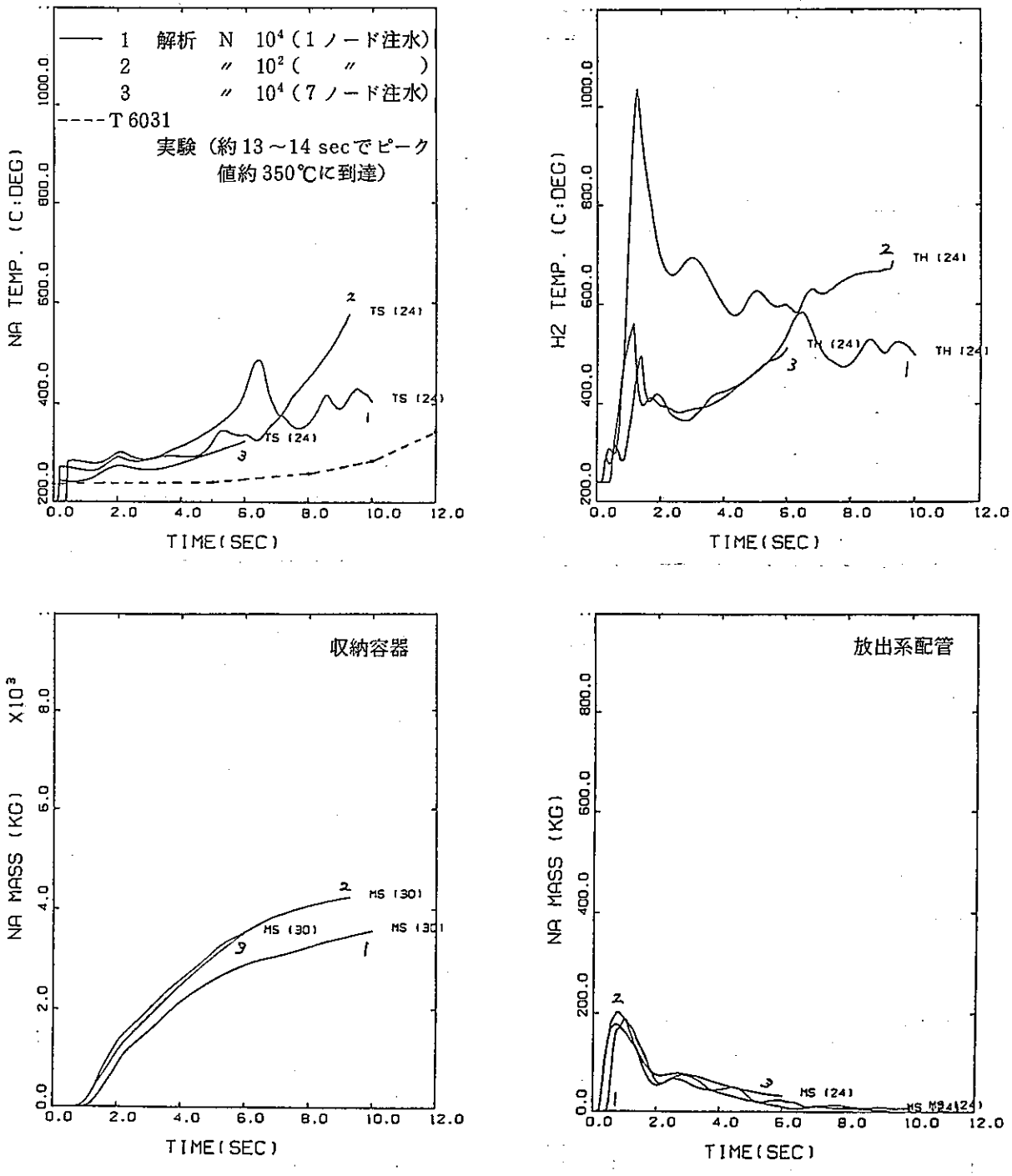


図3.4－8　放出系内状態変化（長時間解析）

Comparison between Measurements in Run-7 Test and Calculations by SWAC-13E (Long-Term Analysis for Pressure Relief System).

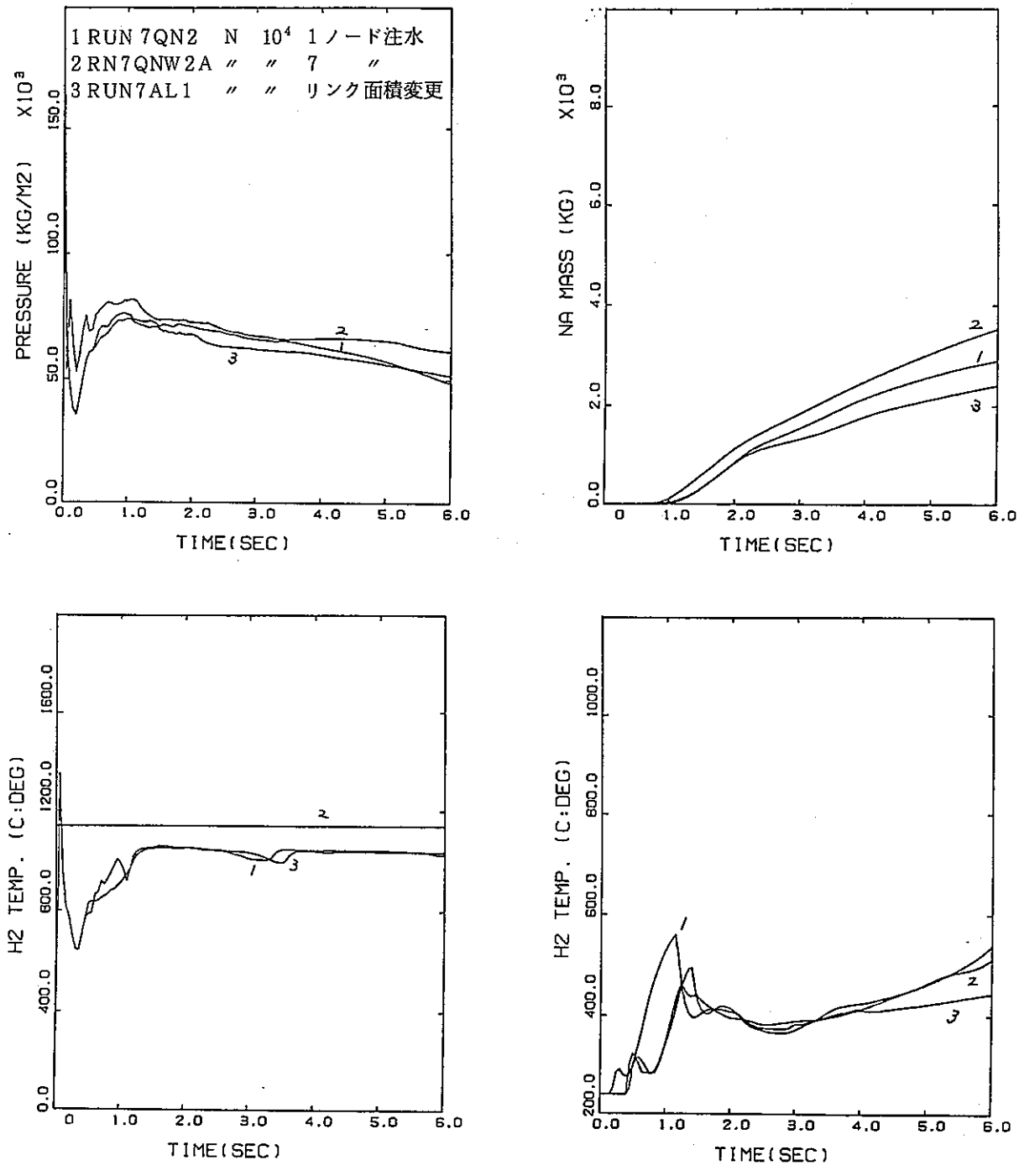


図3.4－9　リンク面積及び注水ノードのサーベイ

Comparison between Measurements in Run-7 Test and Calculations by SWAC-13E (Parameter: Link Area, Number of Water Injection Node).

付　　録

Appendix A　コードの修正

A.1　非圧縮ノード→圧縮ノードへの圧力の連続性

A.2　反応熱の取扱い

A.3　ボイド率が非常に高くなった場合の処置

A.4　ナトリウム，ガスが対向流となる場合の処理

A.5　混合流体温度，同熱伝達率の計算及び出力

A.6　圧力開放板破裂時刻をインプットで指定

Appendix B　入力データ・リスト

B.1　Run－4 入力データのカード・リスト

B.2　Run－5　〃　〃

B.3　Run－6　〃　〃

B.4　Run－7　〃　〃

Appendix A　コードの修正

A.1 非圧縮ノード→圧縮ノードへの圧力の連続性

(1) 問題点

ノードはそのボイド率によって圧縮ノードと非圧縮ノードとに分類される。即ち境界ボイド率（現状では10^{-3}）以下のノードは非圧縮ノードとして，圧力も直接に導かれる圧縮ノードを基に圧力場を解く事によって求めている。

これは，気相密度よりノード圧力を定義する手法では，ボイド率が低い場合，小さな流動変化が大きな圧力変動をもたらすからである。ところが問題はナトリウム中に更に水素気泡が侵入して来て，ノードのボイド率が上記の境界ボイド率を越える際に圧力の不連続が生じる事にあった。

(2) 対　策

この問題を解決するために以下のルーチンを追加した。

i）圧縮ノードと非圧縮ノードを結んでいるリンクを全て選び出し，圧力を上記の2通り手法，即ち状態式より直接に計算する方法と，圧力場を解いて間接的に求める方法を用いて計算する。

ii）非圧縮ノードについて上記2通りの定義に基づく圧力を比較し，間接的に得た値に近づくように，非圧縮ノードのナトリウムを隣の圧縮ノードに移す（又は隣から移す）。

iii）但し，この操作は注水ノードを含むリンクには適用しない。

A.2　反応熱の取扱い

(1) 問題点

反応によって発生する熱量のうち，水素ガスに直接移行する分については，注水ノードに対してインプットの形で水素ガス温度を与える事によって，考慮されている。しかし反応熱のうちかなりの部分は反応生成物（NaOH，Na_2O等）を通してナトリウムに伝えられる。

これまではこのようなナトリウムに伝えられる熱量については考慮されていなかったので，温度評価上過小評価していた可能性がある。

(2) 対　策

注水ノード内でナトリウムに移行する反応熱をインプットで与える。単位はkcal／molである。また同時に，ナトリウム温度が沸点（881.4℃）に到達した時点で上昇を抑えていた内部エネルギーについても，この制限を取りはずし，ナトリウム温度が沸点に達した後も潜熱の形で内部エネルギーが上昇できるように変えた。これも反応熱を厳密に考慮するために行なったものである。インプット仕様は以下の通り。

番地	実変数名	内　　容	単位
4331	QGEN	反応熱のうち直接水素ガスに移行する分を除いた熱量	$\frac{kca\ell}{mole}$

A．3　ボイド率が非常に高くなった場合の処置

(1) 問題点

ボイド率がある境界値（現状では 0.9999）を越えると，ガス単相ノードとして取扱い，流体密度としてもガス密度を用いる事になっている。しかしながら，境界ボイド率を越えた前後のステップでの質量流量の変化は一般にそれほど大きくないため，ガス密度で割った体積流量は次のステップで相当大きくなり，水素ガスが上流ノードから無くなってしまうなどの障害が生じる。

(2) 対　策

上記の問題を取り除くため，ボイド率が境界値以上では上流ノードのガスが無くならないようにチェック機能を設けた。

A．4　ナトリウム，ガスが対向流となる場合の処置

(1) 問題点

たとえばEV下部プレナムからコールド・レグ配管に向かうリンクで生じ易い問題であるが，リーク開始後しばらくは水素ガスがコールド・レグ配管に侵入するが，その後ナトリウムは依然コールド・レグ配管に向かって押し出されて来るものの，水素ガスは逆向き（即ちEVにもどる方向に）流れるような状態がしばしば起きる。コード内では常に上流ノードにナトリウム／水素ガスが残っているかのチェックを行なっているが，いずれのノードが上流かの判断は，平均流量で見ており，ナトリウム／ガス別々に見ている訳ではないので，ガス流についての上流ノードが平均流量についての上流ノードと一致しない場合が出て来る。このため，既にガスの無くなったノードから更にガスを奪うと言う状況が生じる。

(2) 対　策

流れの向きをナトリウム，ガスそれぞれ別個にチェックして，ガスの流れの上流ノードが非圧縮ノードとなった場合は，ガス流速がゼロとなるようにドリフト速度を与える。

$$Ur = -\frac{W}{\alpha_s \rho_s}$$

但し，Wは混合平均質量流量，α_s，ρ_s，はそれぞれホールドアップ及び液相の密度

A．5　混合流体温度，同熱伝達率の計算及び出力

(1) 問題点

本コードにおいては気相・液相がそれぞれ個別の流体温度及び熱伝達率で構造材との熱交換を

行なっている。しかし，構造評価用に用いられる一般の計算コードは通常1流体の温度・熱伝達率を入力する形となっている。このため，2流体に関する値から実効的な混合1流体の値を求めなければならない。

(2) 対 策

以下の式で実効的な混合流体温度，同熱伝達率を定義する。

$$\text{流体温度：} T_E = \frac{H_g\ A_g\ T_g + H_l\ A_l\ T_l}{H_g\ A_g + H_l\ A_l}$$

$$\begin{cases}\text{流体→構造材}\\ \text{への熱伝達率}\end{cases}: H_E = \frac{H_g\ A_g + H_l\ A_l}{A}$$

但し，H_g，H_l ：気相／液相から構造材への熱伝達率

T_g，T_l ：気相／液相の流体温度

A_g，A_l ：気相／液相と構造材との接触面積でボイド率の関数として与える。但し

$A_g + A_l = A$（全接触面積）

A.6 圧力解放板破裂時刻をインプットで指定

(1) 問題点

圧力開放板は，開放板前後のノードの差圧が設定圧を越えた時に破裂するようになっているが，SWAC 13との比較の際など，特定の指定時刻に作動させたい場合がある。

(2) 対 策

各SG及びRPTの圧力開放板作動時刻をインプットで指定できるように改造した。インプット仕様は以下の通り。

番 地	実変数名	内 容	単 位
4332	TRDBST(i) (i=1～3)	各SGのR／D 作動時刻 (default=1.0D10)	sec
4335	TCRBST	RPTのR／D作動時刻 (default=1.0D10)	sec

但し，この時刻指定を行う場合，該当するSGの開放板破裂設定圧は充分大きな値を入れておかねばならない。

Appendix B 入力データ・リスト

本検証計算で用いたインプット・データのうち代表的なケースを各試験No毎に添付する。

Run 4	Case	FX4	(表3.1－1参照)
Run 5	Case	11	(表3.2－1参照)
Run 6	Case	R6H4.3S	(表3.3－1参照)
Run 7	Case	RUN7QN2	(表3.4－1参照)

B.1 Run 4入力データのカード・リスト

```
=== SWAC-13E   SWAT-3  RUN-4   INPUT DATA    CASE FX4    1984/11/14 ===
************ SWACS CONTOL DATA INPUT ************************************
     1     4     0     0     1     0
     5     4     0     0 10000     0
    26     5   100   200   200  1000  2000
    49     1     1
    52     1     1
    56     1    50
    58     1     1

     1     5 0.000     0.000       0.000       6.000       0.000

=== SWAT-3 RUN-4 QUASI-STEADY PRESSURE CALCULATION     === CASE-FX4 ===
************ SWACS QUASI-STEADY PRESSURE ORIGINAL INPUT DATA
     1     4     2    28    34    28
     5     5     4     3     0    13    22
    11     8     7    10    12    13     0    20    21    22
    26     8     7     8    11    18    19    20    21    22
    47    10     1     1     2     3     8     4     5     6     6     7
    57    10     8     8     9    10     8    11    12    14    15    16
    67    10    17    18    19    20    19    21    13    23    24    25
    77     4    26    22    27    28
   102    10     7     2     3     8     4     5     6    14     7    13
   112    10    16     9    10    13    11    12    13    15    19    17
   122    10    18    21    20    22    21    22    23    24    25    26
   132     4    28    27    25     0
   157     3     8    12    13
   160     8     1     2     3     4     5     6     7     9
   180    10     8    11    19    20    21    22    25    26    27    31
   190     2    32    33
   210    10     0     0     0     0     0     0     0     1     0     0
   220    10     1     0     0     0     0     0     0     0     1     1
   230    10     1     1     0     0     1     1     1     0     0     0
   240     4     1     1     1     0
   265    10     8    11    18    19    20    21    22    27    28    29
   275     3    30    32    33
   285    10     0     0     0     0     0     0     0     1     0     0
   295    10     2     0     0     0     0     0     0     3     1     4
   305    10     4     2     0     0     0     0     1     1     1     2
   315     4     0     2     1     0
   410     1     1
   440     2     1     2
   510     3     1     1     1
   520     1     1
   530     4     1     1     1     1
   540     4     1     1     1     1
   550     2     1     1
   600     1     1
   610     1     1
   620     1     1
   630     2     1     1
   650     2     1     2
   660     1     1
   890     2     1     1
   901     3     4     0     2
****** 904 : OPTION FOR DRIFT VELOCITY CALCULATION
****** 905 : OPTION FOR FRICTION LOSS OF BANKS TUBES
   904     7     1     1     0     0     0     0     0
****** 911 : REPRESENTATIVE SUBLINK NUMBER OF LINK
   911    10     1     1     1     1     1     1     1     1     1     1
   921    10     1     1     1     1     1     1     1     1     1     1
   931    10     1     1     1     1     1     1     1     1     1     1
   941     4     1     1     1     1
***** 1001 : OPTION FOR MOMENTUM CALCULATION OF NODE
  1001    10     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0
  1011    10     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0
  1021     8     0     0     0     0     0     0     0     0
***** 1045 : OUTPUT CONTROL DATA
  1045    10     5     5     0     0     0     2     4     0     0     0
***** 1091 : OPTION FOR REACTION ZONE TEMPERATURE CALCULATION
  1091     1     0
************ SWAC-13E QUASI-STEADY PRESSURE OPTION INPUT DATA

************ SWACS QUASI-STEADY PRESSURE ORIGINAL INPUT DATA
     7     1         0.55
    10     4         0.55          0.0         0.55        1.297
    20     3        0.381        0.381        0.676
    41     3          6.1        0.045       0.0254
```

44	5	5.40	4.40	3.40	3.40	4.40
49	5	5.40	6.28	2.31	3.84	5.71
54	5	3.84	5.71	6.90	3.99	1.05
59	5	0.89	3.40	5.85	3.84	5.71
64	5	5.13	6.82	6.93	9.32	9.88
69	3	14.5	9.29	14.5		
84	5	0.473	0.473	0.473	0.819	0.819
89	5	0.819	1.117	1.3	0.523	0.523
94	5	0.3334	0.3334	1.3	0.2033	0.2033
99	5	0.136	0.1999	0.0775	0.8	0.2979
104	5	0.734	0.8	0.2979	0.2979	0.2979
109	3	0.2979	0.152	3.0		
124	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
129	5	1.0	0.75	1.071	1.875	1.875
134	5	1.875	1.875	1.297	8.395	8.395
139	5	13.86	4.5	17.33	0.514	2.7
144	5	2.7	0.676	4.82	4.82	4.82
149	3	4.82	11.995	5.54		
164	1	0.816				
174	1	0.816				
184	1	0.816				
194	1	0.816				
204	1	0.816				
214	1	0.816				
224	1	0.816				
234	2	0.2033	0.2033			
244	1	0.816				
254	1	0.816				
264	2	0.2033	0.2033			
274	1	0.110				
284	1	0.110				
294	1	0.110				
304	1	0.3334				
314	1	0.3334				
324	1	0.3334				
334	1	0.2033				
344	2	0.2033	0.2033			
354	2	0.0527	0.1999			
364	2	0.0527	0.1999			
374	2	0.0527	0.2033			
384	1	0.2979				
394	1	0.2979				
404	2	0.120	0.120			
414	2	0.120	0.120			
424	2	0.2979	0.2979			
434	1	0.2979				
444	1	0.2979				
454	1	0.2979				
464	2	0.2979	0.2979			
474	2	0.152	0.152			
484	2	0.152	0.152			
494	1	0.248				
714	1	0.5				
724	1	1.0				
734	1	1.0				
744	1	0.5				
754	1	0.5				
764	1	1.0				
774	1	1.0				
784	2	2.099	2.099			
794	1	0.5				
804	1	0.75				
814	2	2.807	2.807			
824	1	0.938				
834	1	1.875				
844	1	0.938				
854	1	0.938				
864	1	1.875				
874	1	0.938				
884	1	8.395				
894	2	2.099	2.099			
904	2	8.244	2.25			
914	2	8.67	2.25			
924	2	8.67	1.454			
934	1	1.35				
944	1	1.35				
954	2	0.675	0.675			
964	2	0.675	0.675			

974	2	1.205	1.205			
984	1	4.82				
994	1	4.82				
1004	1	4.82				
1014	2	1.205	1.205			
1024	2	3.0	3.0			
1034	2	3.0	3.0			
1044	1	0.1				
1334	1	90.				
1364	2	90.	90.			
1434	3	90.	90.	90.		
1444	1	90.				
1454	4	90.	90.	90.	90.	
1464	4	90.	90.	90.	90.	
1474	2	90.	90.			
1524	1	90.				
1534	1	90.				
1544	1	90.				
1554	2	90.	90.			
1574	2	90.	90.			
1584	1	90.				
1884	1	10.				
1914	1	0.5				
1994	1	1.0				
2004	1	6.2				
2014	1	0.5				
2024	1	5.95				
2054	1	2.8				
2064	1	2.8				
2074	1	0.5				
2114	1	1.0				
2124	1	0.5				
2134	1	1.0				
2434	1	3.0				
2464	2	3.0	3.0			
2534	3	3.0	3.0	3.0		
2544	1	3.0				
2554	4	3.0	3.0	3.0	3.0	
2564	4	3.0	3.0	3.0	3.0	
2574	2	3.0	3.0			
2624	1	3.0				
2634	1	3.0				
2644	1	3.0				
2654	2	3.0	3.0			
2674	2	3.0	3.0			
2684	1	3.0				
2914	5	12.5	25.	25.	12.5	12.5
2919	4	25.	25.	0.0	12.5	
2969	5	1.5E+4	1.5E+4	0.	1.5E+4	1.033E+4
2974	5	3.9E+4	10.E+9	0.	1.4E+4	380.
3034	5	2.07	1.0	1.0	1.0	1.0
3039	5	1.18	2.15	1.0	1.0	1.43
3044	5	1.0	1.43	2.19	1.11	1.0
3049	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3054	5	1.0	1.0	1.44	1.44	1.44
3059	3	1.44	1.44	1.26		
3074	5	10.E+9	10.E+9	10.E+9	1.0	0.06
3079	2	0.5	0.64			
3081	1	1.0				
3121	4	0.0	1.0	9.0	100.0	
3141	4	9.0	9.0	7.2	7.2	
3161	1	1.0				
3162	5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3167	5	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0
3172	5	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3177	5	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0
3182	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3187	5	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3192	4	2.0	2.0	2.0	2.0	
3257	4	420.55	9.807	9.807	1.66	
3262	3	1.0E-3	100.0	0.0		
3311	1	0.176				
3321	1	0.176				
3331	1	0.176				
3341	1	0.176				
3351	1	0.528				
3361	1	0.528				
3371	1	0.528				

```
  3391     1       0.528
  3401     1       0.881
  3421     1       0.215
  3431     1       0.215
  3441     1       0.215
  3551     2       0.423       0.423
  3561     2       0.423       0.423
  3311     1      0.1264
  3321     1      0.1264
  3331     1      0.1264
  3341     1      0.1264
  3351     1      0.3791
  3361     1      0.3791
  3371     1      0.3791
  3391     1      0.3791
  3900     1     0.05E-3
***** 3079 : H2/H2O MOLE CONVERSIN RATIO
  3079     1   0.500
********** SWAC-13E QUASI-STEADY PRESSURE OPTION INPUT DATA
***** 4001 : INITIAL TEMPERATURE OF NODE
  4001     5   380.0       380.0       380.0       380.0       380.0
  4006     5   380.0       380.0       380.0       380.0       380.0
  4011     5   380.0       380.0       380.0       380.0       380.0
  4016     5   380.0       380.0       380.0       380.0       380.0
  4021     5   380.0       380.0       295.0       295.0       295.0
  4026     3   295.0       295.0       340.0
***** 4041 : H2 GAS TEMPERATURE OF REACTION NODE
  4041     5   1175.0      20.00       1.380       0.660       1.356E-11
  4046     1   0.140
***** 4047 : DRAG COEFFICIENT OF BUBBLE/DOPLET
***** 4048 : BUBBLE/DOPLET DENSITY
  4047     2   1.000       1.000E+04
  4049     4   0.500       0.050       0.500       0.040
  4057     1   0.0083
***** 4061 : HEAT TRANSFER EQ.
  4061     4   0.025       0.800       0.800       5.000
  4065     4   0.023       0.800       0.400       0.000
  4069     5   0.921       0.500       0.500       0.000       1.000
  4074     5   0.600       0.500       0.333       2.000       1.000
***** 4101 : EFFECTIVE THERMAL LENGTH OF STRUCTURE OF NODE
  4101     5   4.500E-03   4.500E-03   4.500E-03   4.500E-03   4.500E-03
  4106     5   4.500E-03   4.500E-03   1.500E-03   1.500E-03   1.500E-03
  4111     5   0.000       0.000       1.500E-03   3.250E-03   3.250E-03
  4116     5   3.250E-03   4.100E-03   1.950E-03   9.500E-03   5.150E-03
  4121     5   9.500E-03   9.500E-03   5.150E-03   5.150E-03   5.150E-03
  4126     3   5.150E-03   3.550E-03   16.00E-03
***** 4141 : INNER HERT TRANSFER AREA OF STRUCTURE OF NODE
  4141     5   1.200       1.200       1.200       3.600       3.600
  4146     5   3.600       3.600       4.820       7.660       7.660
  4151     5   0.000       0.000       6.340       5.360       5.360
  4156     5   4.950       2.830       3.560       1.460       2.530
  4161     5   6.790       1.810       4.510       4.510       4.510
  4166     3   4.510       5.690       56.55
***** 4221 : WEIGHT OF STRUCTURE ATTACHED TO NOOD
  4221     5   88.500      88.500      88.500      265.50      265.50
  4226     5   265.50      266.00      1127.0      1833.0      1833.0
  4231     5   0.0000      0.0000      1484.0      281.00      281.00
  4236     5   232.00      188.00      134.00      171.00      210.00
  4241     5   1030.0      211.00      375.00      375.00      375.00
  4246     3   375.00      330.00      14115.
***** 4261 : HYDRAULIC DIAMETER OF NOOD
  4261     5   0.0092      0.0092      0.0092      0.0092      0.0092
  4266     5   0.0092      0.8160      1.3000      0.1100      0.1100
  4271     5   0.0000      0.0000      1.3000      0.2033      0.2033
  4276     5   0.2033      0.1999      0.0527      0.8000      0.2979
  4281     5   0.1200      0.8000      0.2979      0.2979      0.2979
  4286     3   0.2979      0.1510      3.0000
***** 4310 : TIME STEP CONTROL DATA
  4310     2   1.000       100.0
  4315     2   0.010       0.010
  4320     2   0.001       0.001
  4325     5   0.010       7.110E+06   7.110E+06   7.110E+06   1000.0
  4330     1   1000.0
***** 4331 : SODIUM-WATER REACTION ENERGY
  4331     1   30.00
```

B. 2 Run 5 入力データのカード・リスト

```
SWAT-3  Q.S.P.(SWAC13E) --CASE 11 (NBUB=10**4)  DEC.20.1984 -
    3     1     1
    7     1 10000
   26     5   100   200   200  1000  2000
   49     1     1
   52     1     1
   56     1    50
   58     1     1

    4     1        6.0

  SWAT-3 CASE 4A QUASI-STEADY PRESSURE CALCULATION CASE-4A SW13E
    1     4     2    28    34    28
    5     5     4     3     0    13    22
   11     8     7    10    12    13     0    20    21    22
   26     8     7     8    11    18    19    20    21    22
   47    10     1     2     3     1     8     4     5     7     6     7
   57    10     8     8     9    10     8    11    12    14    15    16
   67    10    17    18    19    20    19    21    13    23    24    25
   77     4    26    22    27    28
  102    10     2     3     7     8     4     5     6    14     7    13
  112    10    16     9    10    13    11    12    13    15    19    17
  122    10    18    21    20    22    21    22    23    24    25    26
  132     4    28    27    25     0
  157     3     8    12    13
  160     8     1     2     3     4     5     6     7     9
  180    10     8    11    19    20    21    22    25    26    27    31
  190     2    32    33
  210    10     0     0     0     0     0     0     0     1     0     0
  220    10     1     0     0     0     0     0     0     0     1     1
  230    10     1     1     0     0     1     1     1     0     0     0
  240     4     1     1     1     0
  265    10     8    11    18    19    20    21    22    27    28    29
  275     3    30    32    33
  285    10     0     0     0     0     0     0     0     1     0     0
  295    10     2     0     0     0     0     0     0     3     1     4
  305    10     4     2     0     0     0     0     1     1     1     2
  315     4     0     2     1     0
  410     1     1
  440     2     1     2
  510     3     1     1     1
  520     1     1
  530     4     1     1     1     1
  540     4     1     1     1     1
  550     2     1     1
  600     1     1
  610     1     1
  620     1     1
  630     2     1     1
  650     2     1     2
  660     1     1
  890     2     1     1
  901     1     4
  903     7     2     1     1     0     0     0     0
  911    10     1     1     1     1     1     1     1     1     1     1
  921    10     1     1     1     1     1     1     1     1     1     1
  931    10     1     1     1     1     1     1     1     1     1     1
  941     4     1     1     1     1
 1001    10     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0
 1011    10     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0
 1011     8     0     0     0     0     0     0     0     0
 1045     2     5     5
 1050     2     2     4
 1091     1     0

    7     1      0.10
   10     4      0.10       0.0      0.10     1.757
   20     3     0.391     0.391     0.676
   41     3      6.09      0.05    0.0318
   44     5      3.44      4.34      5.24      3.44      4.34
   49     5      5.24      5.94     2.356      3.79      5.39
   54     5      3.79      5.39      6.90      3.99      1.05
   59     5      0.89      3.40      5.85      3.84      5.71
   64     5      5.13      6.82      6.93      9.32      9.88
   69     3      14.5      9.29      14.5
   84     5     0.421     0.421     0.421     0.729     0.729
   89     5     0.729     1.021       1.3     0.591     0.591
   94     5    0.3047    0.3047       1.3    0.2033    0.2033
```

99	5	0.136	0.1999	0.0775	0.8	0.2979
104	5	0.734	0.8	0.2979	0.2979	0.2979
109	3	0.2979	0.152	3.0		
124	5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
129	5	0.9	0.5	1.161	1.6	1.6
134	5	1.6	1.6	1.757	8.395	8.395
139	5	13.86	4.5	17.33	0.514	2.7
144	5	2.7	0.676	4.82	4.82	4.82
149	3	4.82	11.995	5.54		
164	1	0.636				
174	1	0.636				
184	1	0.636				
194	1	0.636				
204	1	0.636				
214	1	0.636				
224	1	0.636				
234	2	0.2033	0.2033			
244	1	0.636				
254	1	0.636				
264	2	0.2033	0.2033			
274	1	0.142				
284	1	0.142				
294	1	0.142				
304	1	0.3047				
314	1	0.3047				
324	1	0.3047				
334	1	0.2033				
344	2	0.2033	0.2033			
354	2	0.0527	0.1999			
364	2	0.0527	0.1999			
374	2	0.0527	0.2033			
384	1	0.2979				
394	1	0.2979				
404	2	0.120	0.120			
414	2	0.120	0.120			
424	2	0.2979	0.2979			
434	1	0.2979				
444	1	0.2979				
454	1	0.2979				
464	2	0.2979	0.2979			
474	2	0.152	0.152			
484	2	0.152	0.152			
494	1	0.248				
714	1	0.9				
724	1	0.9				
734	1	0.45				
744	1	0.45				
754	1	0.45				
764	1	0.9				
774	1	0.9				
784	2	2.099	2.099			
794	1	0.45				
804	1	0.5				
814	2	2.807	2.807			
824	1	0.8				
834	1	1.6				
844	1	0.8				
854	1	0.8				
864	1	1.6				
874	1	0.8				
884	1	8.395				
894	2	2.099	2.099			
904	2	8.244	2.25			
914	2	8.67	2.25			
924	2	8.67	1.454			
934	1	1.35				
944	1	1.35				
954	2	0.675	0.675			
964	2	0.675	0.675			
974	2	1.205	1.205			
984	1	4.82				
994	1	4.82				
1004	1	4.82				
1014	2	1.205	1.205			
1024	2	3.0	3.0			
1034	2	3.0	3.0			
1044	1	0.1				
1334	1	90.				

1364	2	90.	90.			
1434	3	90.	90.	90.		
1444	1	90.				
1454	4	90.	90.	90.	90.	
1464	4	90.	90.	90.	90.	
1474	2	90.	90.			
1524	1	90.				
1534	1	90.				
1544	1	90.				
1554	2	90.	90.			
1574	2	90.	90.			
1584	1	90.				
1884	1	10.				
1914	1	0.5				
1994	1	1.0				
2004	1	6.2				
2014	1	0.5				
2024	1	5.95				
2054	1	2.8				
2064	1	2.8				
2074	1	0.5				
2114	1	1.0				
2124	1	0.5				
2134	1	1.0				
2434	1	3.0				
2464	2	3.0	3.0			
2534	3	3.0	3.0	3.0		
2544	1	3.0				
2554	4	3.0	3.0	3.0	3.0	
2564	4	3.0	3.0	3.0	3.0	
2574	2	3.0	3.0			
2624	1	3.0				
2634	1	3.0				
2644	1	3.0				
2654	2	3.0	3.0			
2674	2	3.0	3.0			
2684	1	3.0				
2914	5	18.	18.	9.	9.	9.
2919	4	18.	18.	0.	9.	
2969	5	1.5E+4	1.5E+4	0.	1.5E+4	1.033E+4
2974	5	3.7E+4	3.2E+4	0.	1.8E+4	360.
3034	5	2.36	2.25	2.28	1.22	1.41
3039	5	1.22	2.12	1.22	1.11	1.27
3044	5	1.11	1.27	1.41	1.08	1.0
3049	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3054	5	1.0	1.0	1.3	1.3	1.3
3059	3	1.3	1.3	1.05		
3074	5	10.E+9	10.E+9	10.E+9	1.0	0.06
3079	2	0.5	2.981			
3081	1	1.0				
3121	4	0.0	1.0	9.0	100.0	
3141	4	15.0	15.0	11.0	11.0	
3161	1	1.0				
3162	5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3167	5	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0
3172	5	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3177	5	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0
3182	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3187	5	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3192	4	2.0	2.0	2.0	2.0	
3257	4	420.55	9.807	9.807	1.66	
3262	3	1.0E-3	100.	0.		
3311	1	0.0985				
3321	1	0.0985				
3331	1	0.0985				
3341	1	0.0985				
3351	1	0.2955				
3361	1	0.2955				
3371	1	0.2955				
3391	1	0.2955				
3401	1	0.8192				
3421	1	0.2741				
3431	1	0.2741				
3441	1	0.2741				
3551	2	0.423	0.423			
3561	2	0.423	0.423			
3900	1	0.05E-3				
4001	5	360.	360.	360.	360.	360.

4006	5	360.	360.	360.	360.	360.
4011	5	360.	360.	360.	360.	360.
4016	5	360.	360.	360.	360.	360.
4021	5	360.	360.	300.	300.	300.
4026	3	300.	300.	345.		
4041	5	1250.	0.	1.38	0.66	1.356E-11
4046	5	0.14	1.0	1.E+4	0.5	0.05
4051	2	0.5	0.05			
4057	1	0.0083				
4061	5	0.025	0.8	0.8	5.0	0.023
4066	5	0.8	0.4	0.0	0.921	0.5
4071	5	0.5	0.0	1.0	0.6	0.5
4076	3	0.333	2.0	1.0		
4101	5	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
4106	5	0.005	0.005	0.015	0.015	0.015
4111	5	0.00345	0.00345	0.015	0.00325	0.00325
4116	5	0.00325	0.0041	0.00195	0.0095	0.00515
4121	5	0.0095	0.0095	0.00515	0.00515	0.00515
4126	3	0.00515	0.00355	0.016		
4141	5	1.159	1.159	1.159	3.477	3.477
4146	5	3.477	2.576	5.183	6.535	6.535
4151	5	1.532	1.532	8.218	5.36	5.36
4156	5	4.95	2.83	3.56	1.46	2.53
4161	5	6.79	1.81	4.51	4.51	4.51
4166	3	4.51	5.69	56.55		
4221	5	116.45	116.45	116.45	349.35	349.35
4226	5	349.35	258.8	1212.7	1564.4	1564.4
4231	5	84.3	84.3	1923.1	281.0	281.0
4236	5	232.0	188.0	134.0	171.0	210.0
4241	5	1030.0	211.0	375.0	375.0	375.0
4246	3	375.0	330.0	14115.		
4261	5	0.4323	0.4323	0.4323	0.4323	0.4323
4266	5	0.4323	0.636	1.3	0.2685	0.2685
4271	5	0.3047	0.3047	1.3	0.2033	0.2033
4276	5	0.2033	0.1999	0.0527	0.8	0.2979
4281	5	0.12	0.8	0.2979	0.2979	0.2979
4286	3	0.2979	0.151	3.0		
4310	2	1.0	100.			
4315	2	0.01	0.01			
4320	2	0.001	0.001			
4325	5	0.01	7.11E+6	7.11E+6	7.11E+6	1000.
4330	1	1000.				
4331	1	30.				

B.3 Run 6入力データのカード・リスト

```
== QUASI-STEADY PRES CALCULATION FOR SWAT-3 RUN-6 TEST  FEB.1,1980 ==
     3     1     1
     7     1 10000
    26     5   100   200   200  1000  2000
    49     1     1
    52     1     1
    56     1    50
    58     1     1

     4     1        6.0

== SWAT-3 RUN-6 QUASI-STEADY PRESSURE CALCULATION CASE-R6H43S ==
     1     4     2    28    34    28
     5     5     4     3     0    13    22
    11     8     7    10    12    13     0    20    21    22
    26     8     7     8    11    18    19    20    21    22
    47    10     1     2     3     1     8     4     5     6     6     7
    57    10     8     8     9    10     8    11    12    14    15    16
    67    10    17    18    19    20    19    21    13    23    24    25
    77     4    26    22    27    28
   102    10     2     3     7     8     4     5     6    14     7    13
   112    10    16     9    10    13    11    12    13    15    19    17
   122    10    18    21    20    22    21    22    23    24    25    26
   132     4    28    27    25     0
   157     3     8    12    13
   160     8     1     2     3     4     5     6     7     9
   180    10     8    11    19    20    21    22    25    26    27    31
   190     2    32    33
   210    10     0     0     0     0     0     0     0     1     0     0
   220    10     1     0     0     0     0     0     0     0     1     1
   230    10     1     1     0     0     1     1     1     0     0     0
   240     4     1     1     1     0
   265    10     8    11    18    19    20    21    22    27    28    29
   275     3    30    32    33
   285    10     0     0     0     0     0     0     0     1     0     0
   295    10     2     0     0     0     0     0     0     3     1     4
   305    10     4     2     0     0     0     0     1     1     1     2
   315     4     0     2     1     0
   410     1     1
   440     2     1     2
   510     3     1     1     1
   520     1     1
   530     4     1     1     1     1
   540     4     1     1     1     1
   550     2     1     1
   600     1     1
   610     1     1
   620     1     1
   630     2     1     1
   650     2     1     2
   660     1     1
   890     2     1     1
   901     1     4
   903     4     2     1     1     0
  1045     2     5     5
  1050     2     2     4
  1091     1     0

     7     1      0.38
    10     4      0.38       0.0      0.38     1.447
    20     3     0.361     0.361     0.676
    41     3      6.12     0.045    0.0254
    44     5      3.35      4.35      5.35      3.35      4.35
    49     5      5.35      6.18      2.29      3.79      5.59
    54     5      3.76      5.59      6.90      3.99      1.05
    59     5      0.89      3.40      5.85      3.49      5.13
    64     5      5.13      6.82      6.93      9.32      9.88
    69     3      14.5      9.29      14.5
    84     5     0.451     0.451     0.451     0.781     0.781
    89     5     0.781     1.068       1.3     0.619     0.619
    94     5    0.3185    0.3185       1.3    0.2033    0.2033
    99     5     0.136    0.1999    0.0775       0.8    0.2979
   104     5     0.734       0.8    0.2979    0.2979    0.2979
   109     3    0.2979     0.152       3.0
   124     5       1.0       1.0       1.0       1.0       1.0
   129     5       1.0      0.65     1.021     1.825     1.825
   134     5     1.825     1.825     1.447     8.395     8.395
   139     5     13.86       4.5     17.33     0.514       2.7
```

144	5	2.7	0.676	4.82	4.82	4.82
149	3	4.82	11.995	5.54		
164	1	0.7717				
174	1	0.7717				
184	1	0.7717				
194	1	0.7717				
204	1	0.7717				
214	1	0.7717				
224	1	0.7717				
234	2	0.2033	0.2033			
244	1	0.7717				
254	1	0.7717				
264	2	0.2033	0.2033			
274	1	0.157				
284	1	0.157				
294	1	0.157				
304	1	0.3185				
314	1	0.3185				
324	1	0.3185				
334	1	0.2033				
344	2	0.2033	0.2033			
354	2	0.0527	0.1999			
364	2	0.0527	0.1999			
374	2	0.0527	0.2033			
384	1	0.2979				
394	1	0.2979				
404	2	0.120	0.120			
414	2	0.120	0.120			
424	2	0.2979	0.2979			
434	1	0.2979				
444	1	0.2979				
454	1	0.2979				
464	2	0.2979	0.2979			
474	2	0.152	0.152			
484	2	0.152	0.152			
494	1	0.248				
714	1	1.0				
724	1	1.0				
734	1	0.5				
744	1	0.5				
754	1	0.5				
764	1	1.0				
774	1	1.0				
784	2	2.099	2.099			
794	1	0.5				
804	1	0.65				
814	2	2.807	2.807			
824	1	0.9125				
834	1	1.825				
844	1	0.9125				
854	1	0.9125				
864	1	1.825				
874	1	0.9125				
884	1	8.395				
894	2	2.099	2.099			
904	2	8.244	2.25			
914	2	8.67	2.25			
924	2	8.67	1.454			
934	1	1.35				
944	1	1.35				
954	2	0.675	0.675			
964	2	0.675	0.675			
974	2	1.205	1.205			
984	1	4.82				
994	1	4.82				
1004	1	4.82				
1014	2	1.205	1.205			
1024	2	3.0	3.0			
1034	2	3.0	3.0			
1044	1	0.1				
1334	1	90.				
1364	2	90.	90.			
1434	3	90.	90.	90.		
1444	1	90.				
1454	4	90.	90.	90.	90.	
1464	4	90.	90.	90.	90.	
1474	2	90.	90.			
1524	1	90.				

1534	1	90.				
1544	1	90.				
1554	2	90.	90.			
1574	2	90.	90.			
1584	1	90.				
1884	1	10.				
1914	1	0.5				
1994	1	1.0				
2004	1	6.2				
2014	1	0.5				
2024	1	5.95				
2054	1	2.8				
2064	1	2.8				
2074	1	0.5				
2114	1	1.0				
2124	1	0.5				
2134	1	1.0				
2434	1	3.0				
2464	2	3.0	3.0			
2534	3	3.0	3.0	3.0		
2544	1	3.0				
2554	4	3.0	3.0	3.0	3.0	
2564	4	3.0	3.0	3.0	3.0	
2574	2	3.0	3.0			
2624	1	3.0				
2634	1	3.0				
2644	1	3.0				
2654	2	3.0	3.0			
2674	2	3.0	3.0			
2684	1	3.0				
2914	5	25.	25.	12.5	12.5	12.5
2919	4	25.	25.	0.	12.5	
2969	5	1.5E+4	1.5E+4	0.	1.5E+4	1.033E+4
2974	5	2.8E+4	10.E+9	0.	1.42E+4	445.
3034	5	1.94	2.02	2.02	1.33	1.19
3039	5	1.05	1.24	1.1	1.0	1.02
3044	5	1.0	1.02	1.1	1.0	1.0
3049	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3054	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3059	3	1.0	1.0	0.9		
3074	5	10.E+9	10.E+9	10.E+9	1.0	0.06
3079	2	0.5	3.05			
3081	1	1.00				
3121	4	0.0	1.0	9.0	100.0	
3141	4	9.4	9.4	8.3	8.3	
3161	1	1.0				
3162	5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3167	5	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0
3172	5	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3177	5	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0
3182	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3187	5	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3192	4	2.0	2.0	2.0	2.0	
3257	4	420.55	9.807	9.807	1.66	
3262	3	1.0E-3	100.	0.		
3311	1	0.1125				
3321	1	0.1125				
3331	1	0.1125				
3341	1	0.1125				
3351	1	0.3376				
3361	1	0.3376				
3371	1	0.3376				
3391	1	0.3376				
3401	1	0.8960				
3421	1	0.3012				
3431	1	0.3012				
3441	1	0.3012				
3551	2	0.423	0.423			
3561	2	0.423	0.423			
3900	1	0.05E-3				
4001	5	445.0	445.0	445.0	445.0	445.0
4006	5	445.0	445.0	445.0	445.0	445.0
4011	5	445.0	445.0	445.0	445.0	445.0
4016	5	445.0	445.0	445.0	445.0	445.0
4021	5	445.0	445.0	340.0	340.0	340.0
4026	3	340.0	340.0	350.0		
4041	5	1180.0	20.0	1.38	0.66	1.356E-11
4046	5	0.14	1.0	1.0E4	0.5	0.05

4051	2	0.5	0.05			
4057	1	0.0083				
4061	5	0.025	0.8	0.8	5.0	0.023
4066	5	0.8	0.4	0.0	0.921	0.5
4071	5	0.5	0.0	1.0	0.6	0.5
4076	3	0.333	2.0	1.0		
4101	5	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045
4106	5	0.0045	0.0075	0.015	0.015	0.015
4111	5	0.0	0.0	0.015	0.00325	0.00325
4116	5	0.00325	0.0041	0.00195	0.0095	0.00515
4121	5	0.0095	0.0095	0.00515	0.00515	0.00515
4126	3	0.00515	0.00355	0.016		
4141	5	1.161	1.161	1.161	3.483	3.483
4146	5	3.483	3.037	4.611	7.453	7.453
4151	5	0.0	0.0	6.95	5.36	5.36
4156	5	4.95	2.83	3.56	1.46	2.53
4161	5	6.79	1.81	4.51	4.51	4.51
4166	3	4.51	5.69	56.55		
4221	5	98.328	98.328	98.328	294.984	294.984
4226	5	294.984	365.46	1078.95	1784.35	1784.35
4231	5	0.0	0.0	1626.85	281.0	281.0
4236	5	232.0	188.0	134.0	171.0	210.0
4241	5	1030.0	211.0	375.0	375.0	375.0
4246	3	375.0	330.0	14115.0		
4261	5	0.5505	0.5505	0.5505	0.5505	0.5505
4266	5	0.5505	0.772	1.3	0.2950	0.2950
4271	5	0.0	0.0	1.3	0.2033	0.2033
4276	5	0.2033	0.1999	0.0527	0.8	0.2979
4281	5	0.12	0.8	0.2979	0.2979	0.2979
4286	3	0.2979	0.151	3.0		
4310	2	1.0	100.0			
4315	2	0.01	0.01			
4320	2	0.001	0.001			
4325	5	0.01	7.11E+6	7.11E+6	7.11E+6	1000.0
4330	2	1000.0	30.0			

B.4 Run 7入力データのカード・リスト

```
*** QUASI-STEADY PRESSURE SWAT-3 RUN 7  CASE RUN7QN2          11/12/84 **
     3     1     1
     7     1 10000
    26     5   100   200   200  1000  2000
    49     1     1
    52     1     1
    56     1    50
    58     1     1

     4     1          6.0
     4     1         12.0

*** SWAT-3 RUN7QN2 BUB/DROP DENS AND REACTION ENRGY      11/12/83  **
     1    10     2    30    40    30     4     3     0    15    21     0
    11     4     7    13    15    29
    16     3    19    20    21
    26     6     5    15    16    17    21    22
    47    10     1     1     1     3     3     5     5     2     2     4
    57    10     6     8     9    10    11    16    17    18    18    19
    67    10    14    22    20     8    14    28    29    14    12    13
    77    10    11     7    21    23    15    24    25    26    27    30
   102    10     2     8     3     4     5     6     7     8     4     6
   112    10     7     9    10    11    16    17    18    20    19    21
   122    10    22    20    21    14    28    29    15    12    13    15
   132    10     7    15    23    26    24    25    26    27    30     0
   157     6     3    16    11     1     4     6
   180    10     2     3     7     8     9    11    15    17    18    21
   190     6    22    23    33    34    35    39
   210    10     0     1     1     0     0     0     1     1     1     0
   220    10     1     0     0     0     1     0     1     1     0     0
   230    10     2     2     1     0     0     0     0     0     0     0
   240    10     0     0     1     1     1     0     0     0     1     0
   265    10    15    16    17    21    22    33    35    36    37    38
   275     1    39
   285    10     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0
   295    10     0     0     0     0     1     2     2     0     0     0
   305    10     6     6     0     0     0     0     0     0     0     0
   315    10     0     0     2     0     1     1     1     1     1     0
   480     1     1
   490     2     1     1
   500     2     1     2
   540     6     1     1     2     2     2     2
   550     6     2     2     2     2     2     2
   660     2     1     2
   680     1     1
   690     1     1
   700     1     1
   710     1     1
   720     1     1
   890     2     1     1
   901     1     4
   903     4     2     1     1     0
  1045     2     5     5
  1050     2     2     4

     7     1        0.67
    13     1        0.67
    15     1       1.197
    19     3        0.47        0.47       0.676
    29     1        0.67
    41     3        6.03       0.043      0.0254
    44     5        3.55        3.55        4.55        4.55        5.55
    49     5        5.55         6.4       2.813        3.55        4.55
    54     5        5.55       3.619       5.706       2.148        7.38
    59     5        3.35       1.025         3.5        5.15        5.15
    64     5        6.85       3.398          9.         6.9        9.32
    69     5        10.9        14.5       3.594       5.681        14.5
    84     5       0.429       0.429       0.429       0.429       0.429
    89     5       0.429       1.123       1.123      0.8745      0.8745
    94     5      0.8745      0.3334      0.3334         1.3         1.3
    99     5      0.2033      0.2033         0.8      0.2979       0.734
   104     5         0.8      0.1999       0.152      0.2979      0.2979
   109     5      0.2979      0.2979      0.4952      0.4952         3.0
   124     5         1.0         1.0         1.0         1.0         1.0
   129     5         1.0         0.7       0.475         1.0         1.0
   134     5         1.0      2.0875      2.0875      0.7456       1.197
   139     5       8.145       8.145      0.5143         2.7         2.7
   144     5       0.676      12.992        11.7       4.702       4.702
```

149	5	4.702	4.702	2.0875	2.0875	5.54
164	1	0.21				
174	2	0.0682	0.0682			
184	2	0.0682	0.0682			
194	1	0.21				
204	2	0.0682	0.0682			
214	1	0.21				
224	2	0.0682	0.0682			
234	2	0.0682	0.0682			
244	2	0.0682	0.0682			
254	2	0.0682	0.0682			
264	2	0.0682	0.0682			
274	2	0.5884	0.5884			
284	1	0.5884				
294	1	0.5884				
304	2	0.2033	0.2033			
314	1	0.2033				
324	2	0.2033	0.2033			
334	2	0.442	0.442			
344	1	0.2979				
354	1	0.2979				
364	3	0.2033	0.0527	0.1999		
374	3	0.1999	0.0527	0.2033		
384	2	0.442	0.442			
394	1	0.8224				
404	1	0.098				
414	1	0.098				
424	1	0.098				
434	1	0.3334				
444	1	0.3334				
454	1	0.3334				
464	1	0.5884				
474	1	0.8224				
484	2	0.152	0.152			
494	2	0.152	0.152			
504	2	0.2979	0.2979			
514	1	0.2979				
524	1	0.2979				
534	1	0.2979				
544	2	0.2979	0.2979			
554	1	0.248				
714	1	1.685				
724	2	0.25	0.25			
734	2	0.5	0.5			
744	1	1.685				
754	2	0.5	0.5			
764	1	1.685				
774	2	0.25	0.25			
784	2	0.25	0.25			
794	2	0.5	0.5			
804	2	0.5	0.5			
814	2	0.25	0.25			
824	2	0.25	0.25			
834	1	1.0				
844	1	1.0				
854	2	2.715	2.715			
864	1	5.43				
874	2	2.715	2.715			
884	2	0.675	0.675			
894	1	1.350				
904	1	1.35				
914	3	5.352	8.113	2.25		
924	3	2.25	15.207	1.254		
934	2	0.675	0.675			
944	1	0.475				
954	1	1.0				
964	1	2.0				
974	1	1.0				
984	1	1.044				
994	1	2.0875				
1004	1	1.044				
1014	1	0.5				
1024	1	0.7				
1034	2	2.925	2.925			
1044	2	2.925	2.925			
1054	2	1.881	1.881			
1064	1	3.762				
1074	1	3.762				

1084	1	3.762				
1094	2	1.881	1.881			
1104	1	3.762				
1404	1	90.0				
1414	2	90.0	90.0			
1424	2	90.0	90.0			
1464	5	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
1469	1	90.0				
1474	5	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
1479	1	90.0				
1584	2	90.0	90.0			
1604	1	90.0				
1614	1	90.0				
1624	1	90.0				
1634	1	90.0				
1644	1	90.0				
1824	1	36.63				
1834	1	7.935				
1874	1	7.935				
1884	1	36.63				
1894	1	7.935				
1914	1	7.935				
1954	1	10.0				
1974	1	1.0				
1984	1	5.6				
2014	2	5.6	7.2			
2024	2	0.0	2.31			
2034	1	0.0				
2134	1	0.5				
2144	1	1.71				
2154	1	0.5				
2194	1	1.0				
2504	1	13.0				
2514	2	13.0	3.0			
2524	2	13.0	3.0			
2564	5	13.0	3.0	3.0	3.0	3.0
2569	1	13.0				
2574	5	13.0	3.0	3.0	3.0	3.0
2579	1	13.0				
2684	2	13.0	3.0			
2704	1	13.0				
2714	1	13.0				
2724	1	13.0				
2734	1	13.0				
2744	1	13.0				
2914	1	32.0				
2917	3	32.0	0.0	32.0		
2969	3	1.5E+4	1.5E+4	0.0		
2972	2	1.5E+4	1.033E+4			
2974	4	3.6E+4	1.0E+6	0.0	1.6E+4	
3074	3	1.0E+10	1.0E+10	1.0E+10		
3077	2	1.0	0.06			
3079	1	0.5				
3080	2	2.155	1.0			
3121	4	0.0	1.0	9.0	1000.0	
3141	4	10.6	10.6	7.9	7.9	
3161	1	1.0				
3257	4	420.55	9.8	9.8	1.66	
3262	1	1.0E-3				
3263	2	100.0	0.0			
3311	1	0.054				
3321	2	0.1445	0.1445			
3331	2	0.1445	0.1445			
3341	1	0.054				
3351	2	0.1445	0.1445			
3361	1	0.054				
3371	2	0.1445	0.1445			
3381	2	0.1445	0.1445			
3391	2	0.1445	0.1445			
3401	2	0.1445	0.1445			
3411	2	0.1445	0.1445			
3421	2	0.6006	0.6006			
3431	1	0.6006				
3441	1	0.6006				
3481	2	0.4123	0.4123			
3531	2	0.4123	0.4123			
3541	1	0.9906				
3551	1	0.1926				

```
  3561     1      0.1926
  3571     1      0.1926
  3611     1      0.6006
  3621     1      0.9906
  3900     1     0.05E-3
  4001     5       245.0       245.0       245.0       245.0       245.0
  4006     5       245.0       245.0       245.0       245.0       245.0
  4011     5       245.0       245.0       245.0       245.0       245.0
  4016     5       245.0       245.0       245.0       245.0       245.0
  4021     5       245.0       245.0       240.0       240.0       240.0
  4026     5       240.0       240.0       245.0       245.0       257.0
  4041     5      1140.0        20.0        1.38        0.66    1.356E-11
  4046     5        0.14         1.0      1.0E+4         0.5        0.05
  4051     3         0.5     0.05255         0.0
  4057     1      0.0083
  4061     5       0.025         0.8         0.8         5.0       0.023
  4066     5         0.8         0.4         0.0       0.921         0.5
  4071     5         0.5         0.0         1.0         0.6         0.5
  4076     3       0.333         2.0         1.0
  4101     5       0.006       0.006       0.006       0.006       0.006
  4106     5       0.006       0.006       0.006     0.00555     0.00555
  4111     5     0.00555         0.0         0.0       0.015       0.015
  4116     5     0.00325     0.00325      0.0095     0.00515      0.0095
  4121     5      0.0095      0.0025     0.00355     0.00515     0.00515
  4126     5     0.00515     0.00515       0.015       0.015       0.016
  4141     5       3.371       3.371       3.371       3.371       3.371
  4146     5       3.371       3.411       2.317       1.117       1.117
  4151     5       1.117         0.0         0.0       3.488        5.93
  4156     5        5.36        5.36        1.46        2.53        6.79
  4161     5        1.81       11.34        5.69        4.51        4.51
  4166     5        4.51        4.51        8.17        8.17       56.55
  4221     5      315.52      315.52      315.52      315.52      315.52
  4226     5      315.52      373.32      257.81       93.70       93.70
  4231     5       93.70         0.0         0.0       816.1      1387.9
  4236     5       281.0       281.0       216.3       210.0      1030.0
  4241     5       268.2       554.0       330.0       375.0       375.0
  4246     5       375.0       375.0      1955.5      1955.5      14114.
  4261     5       0.172       0.172       0.172       0.172       0.172
  4266     5       0.172       0.823       0.823       0.588       0.588
  4271     5       0.588         0.0         0.0         1.3         1.3
  4276     5      0.2033      0.2033         0.8      0.2979        0.12
  4281     5         0.8       0.101       0.151      0.2979      0.2979
  4286     5      0.2979      0.2979       0.098       0.098         3.0
  4310     2         1.0        100.
  4315     2        0.01        0.01
  4320     2       0.001       0.001
  4325     5        0.01     7.11E+6     7.11E+6     7.11E+6       1000.
  4330     1       1000.
****** 4331 QGEN: REACTION ENRGY ******
  4331     1        30.0
```