

**伝熱管破損伝播評価用ブローダウン解析コード
(LEAP-BLOW)の開発**

- ナトリウム - 水反応試験(SWAT-1R)による検証 -
(研究報告)

2003 年 6 月

核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松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
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

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)
2003

伝熱管破損伝播評価用ブローダウン解析コード(LEAP-BLOW)の開発
- ナトリウム - 水反応試験 (SWAT-1R) による検証 -
(研究報告)

實 晃司*、小野 功**、川田 耕嗣*
栗原 成計*、谷田部 敏男*

要 旨

高速増殖炉の蒸気発生器(以下 SG)におけるナトリウム - 水反応時の伝熱管の設計基準水リーク(以下 DBL)の選定は、プラントの安全性、経済性等に影響を及ぼす重要事項の一つである。

現在計画している大型炉用 SG の DBL 選定に当たっては、ナトリウム - 水反応事象を高精度で合理的に評価するための計算モデルの確立が必要不可欠となる。大型炉用 SG においては、近年の設計進捗に伴い、さらに評価手法の高度化が要求されており、高度化の一環として高温ラプチャ型破損伝播事象に対しても検討の必要性が示されている。高温ラプチャ挙動は、伝熱管内の水蒸気条件に大きく影響されることから、その評価手法の開発が重要な要求事項となっている。

本書は、伝熱管破損伝播解析コードとして開発したブローダウン解析コード(LEAP-BLOW)について、ナトリウム - 水反応試験装置(SWAT-1R)の試験データにより検証した結果を報告するものである。本検証解析により、以下の結果と検討課題が得られた。

- (1) SWAT-1R 体系において、注水率が約 160g/s ~ 約 540g/s 間については、LEAP-BLOW による圧力解析は実測値とのよい一致を示し、さらに実測値に対し小笠原モデルがより近い値を示した。
- (2) 注水開始後約 10 秒以降の定常的な注水率の評価については、LEAP-BLOW による注水率解析は模擬されており、小笠原モデルのほうが実測値に対し、より近い値を示した。
- (3) 注水率の大きい HT-3 試験における圧力解析結果については、Moody 及び小笠原モデルの臨界流モデルにおいて実測値より若干低めに評価していることから、これらについて今後検討する必要がある。
- (4) 注水率解析には、水加熱器出口配管部における注水開始直後での注水率のピーク形成及び左記ピークの時間遅れと考えられる約 2 秒以降の注水ノズル部でのピーク形成がみられるが、前者のピーク値は実測値に対し過大評価と考えられることから、今後検討が必要である。
- (5) Moody 及び小笠原モデルの臨界流モデルにおける注水ノズル部での注水率解析結果は、実測値に対し、高めに評価する傾向を示すことから、上記(4)と合わせて今後検討する必要がある。

* 大洗工学センター 要素技術開発部 熱化学安全試験グループ

** 株式会社 NESI

Development of Blow Down Model for the LEAP Code
- Validation by Data of Sodium-Water Reaction Tests -
(Research Document)

Koji JITSU *, Isao ONO **, Koji KAWATA *,
Akikazu KURIHARA * and Toshio YATABE *

Abstract

It is one of the important matters to select the design base leak (DBL) of the steam generator (SG) of a fast breeder reactor (FBR) in sodium-water reaction. The selection of the DBL has an influence on safety, economical efficiency, etc. of the plant.

It is necessary to develop the computational model to estimate the sodium-water reaction phenomenon with high accuracy and rationality for selecting the DBL of large SGs. The blow down evaluation on overheating tube failure phenomenon is pointed out as part of the necessary improvements, since the behavior of overheating tube failure is largely affected by the steam conditions inside of the tube.

This document shows the validation of blow down model for the LEAP code, which is developed as analysis code for failure propagation of the SG tubes, by test's data in Sodium-Water Reaction Test Rig No.1 (SWAT-1R). The following results have been obtained through the validation.

- (1) Within the mass flow rate ranging from 160 to 540 g/s in SWAT-1R, it has been confirmed that calculated internal pressure shows good agreement with the test's one. The pressure in tests becomes close to the calculation by Ogasawara model in critical flow models.
- (2) Mass flow rate is appropriately calculated of the test after about 10 seconds in the beginning of test. Calculated mass flow rate by Ogasawara model is closer to the test than that by Moody model.
- (3) On both Moody model and Ogasawara model in critical flow models, internal pressure in calculation shows the underestimation of HT-3 test. It will be necessary to investigate this reason.
- (4) Mass flow rate at the pipe near water heater tank shows the large overshoot in the beginning of test. Also, the small overshoot that supposed to be moved from upper stream appears at the nozzle about 2 seconds. Since these overshoots are estimated too large, these phenomena should require to be examined.
- (5) As calculated mass flow rate at the nozzle in both critical models have a tendency to be evaluated larger than the test, this result must be investigated according as the above item (4).

*: Thermochemistry Safety Engineering Group, Advanced Technology Division, O-arai Engineering Center

** : NESI Inc.

目 次

1 .	はじめに	1
2 .	ブローダウン解析コード(LEAP-BLOW)の概要	2
3 .	ナトリウム-水反応試験の概要	3
3.1	試験目的	3
3.2	試験装置及び試験体	3
3.3	試験方法	3
4 .	解析条件	4
4.1	計算（試験）条件	4
4.2	計算モデル	4
4.3	解析ケース	7
4.4	解析モデル	7
5 .	解析結果	13
5.1	管内圧力	13
5.2	注水率	13
5.3	検討課題	14
6 .	おわりに	15
	謝 辞	16
	参考文献	17
	付 録	
	付録 A LEAP-BLOW 入力データリスト	46
	付録 B LEAP-BLOW プロットデータ処理方法（バイナリ テキスト 変換）と出力変数指定方法	55
	付録 C LEAP-BLOW 計算結果出力形式	60
	付録 D 加熱器内液面下保有水量の計算	68
	付録 E 計算モデルの相関式	71

図表目次

図 2.1	LEAP-BLOW コード 計算モデル	31
図 3.1	SWAT-1R 試験装置フローシート	32
図 3.2	SWAT-1R 試験体配置図 (HT-3 試験用)	33
図 4.1	ヘッダ・配管モデルの基本構成例	7
図 4.2.1	水加熱器の構造図	34
図 4.2.2	反応容器 (試験容器) の内部構造図 (HT-3 試験)	35
図 4.3.1	HT-1 試験 ネットワークモデル (全体図)	36
図 4.3.2	HT-1 試験 注水管構造図	36
図 4.4.1	HT-2 試験 ネットワークモデル (全体図)	37
図 4.4.2	HT-2 試験 注水管構造図	37
図 4.5.1	HT-3 試験 ネットワークモデル (全体図)	38
図 4.5.2	HT-3 試験 注水管構造図	38
図 4.6.1	水加熱器 (ヘッダ) の分離モデルに関するデータ	39
図 5.1.1	水加熱器の圧力 (臨界流モデル: Moody モデル)	40
図 5.1.2	水加熱器の圧力 (臨界流モデル: 小笠原モデル)	41
図 5.1.3	圧力計 PI-501 部圧力 (臨界流モデル: Moody モデル)	42
図 5.1.4	圧力計 PI-501 部圧力 (臨界流モデル: 小笠原モデル)	43
図 5.2.1	注水率 (臨界流モデル: Moody モデル)	44
図 5.2.2	注水率 (臨界流モデル: 小笠原モデル)	45
表 3.1	SWAT-1R 試験条件	18
表 4.1	解析ケースの内容	19
表 4.2.1	SWAT-1R HT-1 試験体系の解析データ	20
表 4.2.2	SWAT-1R HT-2 試験体系の解析データ	23
表 4.2.3	SWAT-1R HT-3 試験体系の解析データ	26
表 4.3.1	バルブの圧損係数 ζ の算出 (定格)	29
表 4.3.2	注水停止弁 WV502 の圧損係数 ζ とトラベル値	30

1. はじめに

ナトリウムを冷却材とする高速増殖炉プラントの蒸気発生器（以下 SG）は、ナトリウムと水・蒸気との熱交換を担う重要な機器であることから、万一のナトリウム - 水反応事象における設計基準水リーク（以下 DBL）の適切な選定は、プラントの安全性、経済性等にとって重要な事項の一つである。特に現在計画している大型炉 SG の DBL 選定にあたっては、ナトリウム - 水反応事象を高精度で合理的に評価するための計算モデルの確立が必要不可欠となる。

ナトリウム - 水反応評価手法については、原型炉 SG を対象にウェステージ型破損伝播解析コード（LEAP）等の開発と検証を進めてきた。大型炉用 SG においては、近年の設計進捗に伴いさらに評価手法の高度化が要求されており、高度化の一環として高温ラプチャ型破損伝播現象に対しても検討の必要性が示された。このため高温ラプチャ型破損伝播事象を解析するツールとして、以下のコードを開発した。

- (1)伝熱管内の水・蒸気挙動評価のブローダウン解析コード（LEAP-BLOW）
- (2)伝熱管構造健全性評価の高温ラプチャ解析コード（TRUE）
- (3)ナトリウム - 水反応領域での温度分布評価としてのナトリウム - 水反応ジェット解析コード（LEAP-JET）

本報告書では、ブローダウン解析コード（LEAP-BLOW）について、ナトリウム - 水反応試験装置（SWAT-1R）における試験データを用いて検証した結果を報告する。

2. ブローダウン解析コード (LEAP-BLOW) の概要

ブローダウン解析コード (LEAP-BLOW) は、平成 6 年度に SG 廻りの水・蒸気側のブローダウン挙動を評価するために開発した¹⁾。

本コードは、50MW 蒸気発生器を使用した水・蒸気系ブロー試験による検証、「もんじゅ」用ブローダウン解析コード (BLOOPH) 及び汎用ブローダウン解析コード (RELAP5/Mod.2) 等との比較検証により、その妥当性が確認されている²⁾。

LEAP-BLOW コードには、スリップモデル、臨界流モデル等の流動に関する相関式、ドライアウト相関式、各状態の伝熱相関式等が多数用意されている。SG のブローダウン特性を現実的に評価するにあたっては、核沸騰領域からドライアウトした後の膜沸騰領域の伝熱相関式を適切に選定することが重要である。

LEAP-BLOW コードには、図 2.1 に示すようにそれぞれ数種類の相関式が組み込まれており、解析においては最適な相関式を自由に組み合わせる選択することができる。これまでの LEAP-BLOW コードの検証結果から、ベストフィット解析による最適な相関式の組み合わせは以下の通りである^{2),3),4)}。

ベストフィット解析の最適なモデル使用例

- ・スリップ相関式：Smith
- ・二相流管摩擦圧損増倍係数：Thom(1.724MPa[250psi]以上)+
Martinelli-Nelson(1.724MPa[250psi]
未満)の組合せ
- ・二相流臨界流オプション：小笠原モデル
 - サブクール領域：Henry-Fauske の式
 - 二相領域：小笠原の式
 - 過熱蒸気領域：単相流理論式
- ・熱伝達モデル
 - サブクール領域：森 - 中山の液相の式
 - 核沸騰領域：Jens-Lottes の式
 - 膜沸騰領域：Rohsenow-Dougall の式
 - 過熱蒸気領域：森 - 中山の気相の式
 - 限界熱流束モデル：Jens-Lottes の式

3 . ナトリウム - 水反応試験の概要⁵⁾

ブローダウン解析コード (LEAP-BLOW) の検証に用いたナトリウム - 水反応試験の概要を以下に記す。

3 . 1 試験目的

ナトリウム - 水反応試験装置 (SWAT-1R) を用いて行ったナトリウム-水反応試験は、ナトリウム - 水反応ジェットの熱的特性、ウェステージ特性等を明らかにするために実施したものである。

試験は、水リーク率をパラメータとし、表 3.1 に主な試験条件を示す。

3 . 2 試験装置及び試験体

SWAT-1R 試験装置は、蒸気発生器を模擬した試験容器 (反応容器)、ナトリウムを貯蔵するダンプタンク、ナトリウム - 水反応によって発生した反応生成物を除去し、水素ガスだけを大気へ放出するための収納容器、高温・高圧の水蒸気を生成するための水加熱器等から構成されている。SWAT-1R 試験装置の系統図を図 3.1 に示す。

試験容器 (反応容器) 内部には伝熱管を模擬した注水管、ダミー管、熱伝達率測定管の計 4 3 本の伝熱管群が配置されている。伝熱管は、2-1/4Cr-1Mo 材の直管 (長さ約 300mm) を使用し、水蒸気をナトリウム中へ放出させるための注水管、ナトリウム温度やウェステージ率を測定するためのダミー管、伝熱管の外側及び内側の温度を測定し熱伝達率を求めるための熱伝達率測定管から構成されている。HT-3 試験の熱電対の配置を図 3.2 に示す。

3 . 3 試験方法

試験は、反応容器に所定のナトリウム (約 0.6m³) を充填し、約 470 まで昇温させ、ナトリウム側の試験条件を設定する。また、水・蒸気系については、水加熱器の外部に巻かれたヒータを昇温して水加熱器内 (容量 0.075m³) の蒸気条件 (16 ~ 17MPa・g、350) を設定する。所定の試験条件が設定できたら、水加熱器の止め弁を開放し、反応容器へ注水し、ナトリウム - 水反応試験を開始する。約 30 秒間の注水後、水加熱器の止め弁を閉止し、注水を完了する。その後、残水ブロー、降温、ナトリウムのドレン等を行い試験の終了となる。

4. 解析条件

4.1 計算（試験）条件

表 3.1 に示す各試験条件に伴う水蒸気系配管サイズと初期の水加熱器内温度・圧力条件（液面下保有水量、ボイド率等）、注水弁の位置等の相違は解析条件に反映した。これらの相違は 4.4 の解析モデルにて詳述する。

4.2 計算モデル

本検証解析に使用した各種相関式は「LEAP コード用ブローダウンコードの改良と検証 - 50MWtSG ブローダウン試験データとの比較 - 」⁴⁾においてベストフィットとして選定した基本計算モデルを用いた。各モデルの概略を(2)項以降に記述し、そのモデル式を付録 E に示す。

なお、基本計算モデル以外の各計算式については報告書「LEAP コード用ブローダウンモデルの開発」³⁾を参照のこと。

(1) 基本計算モデル

ベストフィット解析によって選定した基本計算モデルを以下に示す。

流動モデル（スリップ相関式）	: Smith モデル
二相流管摩擦圧損増倍係数	: Thom(1.724MPa[250psi]以上) + Martinelli-Nelson(1.724[250psi] 未満)の組み合わせ
二相流臨界流オプション	: 以下のオプションを設定 (パラメータ) ・ Moody モデル ・ 小笠原モデル
熱伝達モデル	
(サブクール領域)	: 森・中山の液相の式
(核沸騰領域)	: Jens - Lottes の式
(遷移沸騰領域)	: McDonough, Milch and King の式
(膜沸騰領域)	: Rohsenow-Dougall の式
(過熱蒸気領域)	: 森・中山の気相の式
限界熱流束モデル	: Jens - Lottes の式

(2) スリップ相関式モデル

LEAP-BLOW コードで用意されている 10 種のスリップ相関式(Homogeneous (均質) Fauske、Moody、Smith、Zivi、Levy、Fujie、Bankoff、Jones (修正 Bankoff) HTL (流量依存)) の中から、特徴を考慮した代表的な相関式を選択しサーベイした⁴⁾ことにより、試験との一致および保守性を考慮し、Smith モデルの適用が妥当である結果を得た。

(3) 二相流管摩擦圧損増倍係数

LEAP-BLOW コードで用意されている二相流管摩擦圧損増倍係数モデル (Thom の式、Thom(1.724MPa[250psi]以上) + Martinelli-Nelson (1.724MPa [250psi]未満)の組み合わせ、 Homogeneous モデル、 Martinelli-Nelson の式) の中から、サーベイし比較検討した結果、いずれのモデルを用いても水蒸気系ヘッダの圧力挙動に大きな影響は与えないことが分かった。これはブローダウン挙動が臨界流により支配されることから流動圧損の影響は比較的小さくなっているものと推察できる⁴⁾。ブローダウン挙動の評価では大気圧程度に低下する時間までを解析対象とすること、参考文献 6)において、Thom(1.724MPa[250psi]以上) + Martinelli-Nelson(1.724MPa [250psi]未満)の組み合わせの使用が妥当と認められていることから、本相関式を適用した。

(4) 二相流臨界流オプション

LEAP-BLOW コードに組み込まれている二相流の臨界流モデルで比較的試験値との整合性がよい 3 つの計算オプションを以下に示す。なお、以下の臨界流モデルの計算オプションに対するサブクール領域、過熱領域の臨界流の適用式は以下のとおりである。

臨界流モデル計算オプション：MCRIT

MCRIT=1：小笠原の式 (二相領域のみ/固有値法)

MCRIT=2：下記の組み合わせテーブル関数 (Moody モデル)

- ・サブクール領域 : Henry-Fauske の式
- ・二相領域 : Moody の式
- ・過熱蒸気領域 : 断熱噴流の式

MCRIT=3：下記の組み合わせテーブル関数 (小笠原モデル)

- ・サブクール領域 : Henry-Fauske の式
- ・二相領域 : 小笠原の式
- ・過熱領域 : 単相流理論式

これまでの検証解析⁴⁾の知見によれば MCRIT=3 と MCRIT=2 のいずれのモデルを用いても水蒸気ヘッダの圧力挙動に大きな影響はなく、比較的長時間後の圧力挙動については MCRIT=3 が試験値との一致がよかった。また Moody モデル(流体の全質量速度に対する蒸気相の質量速度の比)は一般に破断口に達する冷却材のクオリティが 2 %以上 100 %未満の場合に使用するものであり、小笠原モデルは冷却材の状態に応じて細かく組み合わせを考慮している。

(5) 流出係数について

試験時の二相流における注水率は(4)で示した各オプションの臨界流モデルで計算できるが、実際には噴出孔に入るときに流れが絞られ(縮流)噴出孔の内面の粗さなどが影響して、計算結果よりも実流量は小さくなる。これらを考慮して、実際は 1 より小さい係数(流出係数)を乗じる必要がある。

従来用いられてきた Moody の臨界流モデルは、リザーバ内の状態量と気液二相間のスリップ比の関数として流量を計算するものであるが、通常は流量が最大となるスリップ比を与えて計算を行っている⁶⁾。そのため、Moody モデルは、そのままの形で適用すると著しく過大な流量が計算される⁶⁾。これを補正するため、本解析では流出係数により補正する手法を採用している。二相流状態では、この流出係数を 0.6 程度とすれば多くの場合最も試験値と合うことが判っている⁶⁾。これらから、本検証解析では流出係数に 0.6 を採用し検証解析を実施する。

(6) 熱伝達モデルについて

解析条件に使用した各熱伝達モデル相関式を付録 E に示す。

4.3 解析ケース

(1) 解析ケースの内容

本検証解析で実施した解析ケースを表 4.1 に示す。解析パラメータは以下の(2)項に示した2つの二相流臨界流オプション(Moody モデル、小笠原モデル)とし、全6ケースの解析を実施した。

(2) 解析パラメータ

ブローダウン時の挙動はブロー弁(注水ノズル)からのブロー流量に最も大きく依存する。ブロー流量即ち試験時の注水流量は注水ノズルで臨界流になっているため、適用する臨界流モデルによっては注水流量の相違が大きくなると予想される。このことから、本検証解析では LEAP-BLOW コードに組み込まれた比較的試験値との整合がよい2つの二相流臨界流モデル(Moody モデル、小笠原モデル)を解析パラメータとして、試験注水率を評価した。

4.4 解析モデル

(1) LEAP-BLOW モデル構成

LEAP-BLOW モデルは、図 4.1 のヘッダ・配管モデルの基本構成例に示すように、ヘッダと配管で構成されている。配管1本は複数のセクションに分割され、さらにセクションは複数のノードに分割されている。

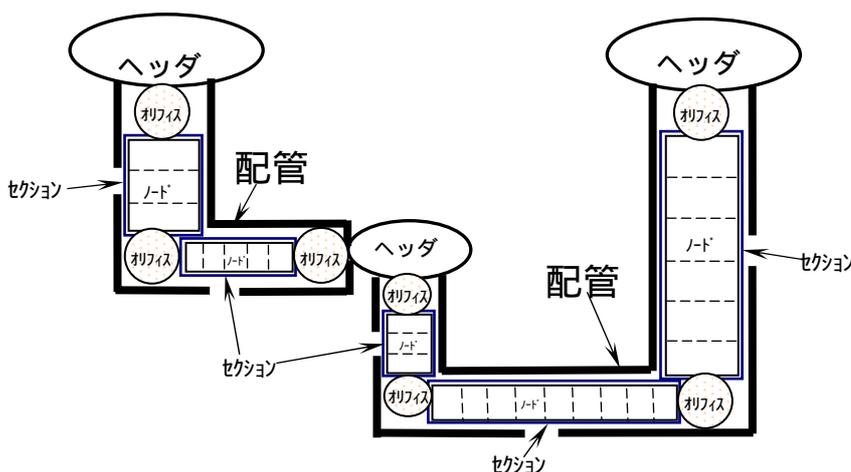


図 4.1 ヘッダ・配管モデルの基本構成例

本モデルでは配管分岐の無い流路を1つの配管として取り扱っており、途中で形状が異なっても1本の配管として取り扱うことができる。配管では出入口部におけるヘッダとの圧力境界条件の取り合い、流動と圧力の収

束判定等を行っている。

1つの配管では、長さ、口径、肉厚、引き廻し等の形状の異なる部位をセクションとして取り扱う。また、セクションの出入口およびセクション間にはオリフィスを配置し、オリフィスでは形状圧損係数と弁の開閉操作をシミュレーションできるように考慮している。

セクション内の状態量（温度、エンタルピ、密度、圧力等）分布は、ノード単位で計算している。また、各ノードで摩擦圧力損失を内部計算し、これを総和してセクションの摩擦圧損として取り扱う。

(2) 解析範囲

LEAP-BLOWでのモデル化範囲は、水蒸気供給元の水加熱器(WH)とこの水加熱器の上部に接続された水蒸気系配管からこの配管の末端となるナトリウム中への注水ノズルまでである。

実際の解析範囲は図 3.1 のフローシートに示すように、水加熱器上部の水蒸気系配管、注水作動弁(WV2またはWV501)、レギュレーサを經由し、反応容器内注水管末端（注水ノズル）までとなる。

参考として、図 4.2.1 に水加熱器(WH)の構造図、図 4.2.2 に反応容器(RV)の内部構造図を示す。

(3) ネットワークモデル（計算体系図）

SWAT-1RのHT-1試験、HT-2試験、HT-3試験のそれぞれのネットワークモデル図（ヘッダ、配管、セクション、オリフィスで構成された計算体系図）を以下の図番号に示す。

- ・HT-1試験：図 4.3.1（水・蒸気系配管全体図）、図 4.3.2（注水管構造図）
- ・HT-2試験：図 4.4.1（水・蒸気系配管全体図）、図 4.4.2（注水管構造図）
- ・HT-3試験：図 4.5.1（水・蒸気系配管全体図）、図 4.5.2（注水管構造図）

LEAP-BLOWでは図 4.3.1 に示すようにヘッダ3個(H1~H3)とそれぞれのヘッダを連結する水・蒸気系配管2本(L1,L2)で構成される。なお、各試験(HT-1,HT-2,HT-3)におけるヘッダ数3個、配管数2本の構成は全3試験ともに共通である。

次に解析モデル化について、HT-1試験体系を例にとって以下に説明する。

ヘッダ1(H1)について：

ヘッダ1(H1)は水加熱器本体の容積部(0.075m³)が定義しており、この容積には水加熱器の下部から仕切弁(WV1)までの注水用水系配管

の容積部は考慮していない。なお、本内容については以下の(4)項に水加熱器(ヘッダ)の分離モデル化で説明する。

ヘッダ2(H2)について:

ヘッダ2(H2)は注水作動弁(WV2)から下流側へ向かい、途中2方向へ分岐した仕切弁(WV1)側配管部と注水止弁(WV501)側配管部までの水・蒸気配管流路域(40A配管)である。なお、分岐点から仕切弁(WV1)まではスタグナント域となる。

ヘッダ3(H3)について:

ヘッダ3(H3)は水・蒸気系配管末端部の注水ノズル出口からナトリウム中へ水蒸気が噴出される反応容器空間(0.589 m³)である。

配管L1について:

配管L1は水加熱器(H1)の上部から注水作動弁(WV2)までの水・蒸気系配管域(40A配管)で、セクション数が5個(配管分割数)で構成される。

配管L2について:

配管L2はヘッダ2の下流部に当たるWV501から注水ノズルまでの水・蒸気系配管域で、セクション数が6個(配管分割数)で構成される。なお、配管の分割(セクション)は流路断面が変化するエルボ、弁、レジューサ等をオリフィス(セクションの分割点)として定義している。

各試験(HT-1,HT-2,HT-3)における体系の違いは、所定の注水率を得るために配管L2のセクション4以降の口径(注水ノズルまで)が変わるのみである。なお、注水開始前の蒸気が封入されている存在領域は注水作動弁(WV2:HT-1試験、WV501:HT-2およびHT-3試験)の上流側であり、注水開始(解析時間0秒)と同時に弁が開き下流側の注水ノズルへと蒸気が流れ込むようにシミュレーションしている。

(4) 水加熱器(ヘッダ)の分離モデル化

LEAP-BLOWにはヘッダモデルオプションとして、均質モデル、分離モデルの2つがあり、本検証解析では実現象をより正確に再現することができる分離モデルを水加熱器のモデル化に採用した。

水加熱器の分離モデル化を行うためには、注水開始直前の液面下保有水量を決める必要がある。本検証解析では SWAT-1R 試験の液面計の検知長さ（電圧値）より液面下保有水量を計算した。

図 4.6.1 に示すように、注水開始 0 秒の液面計の液位電圧値と水加熱器の熱膨張による液面計の検知長さ（電圧値）の補正、水加熱器内の飽和水密度による検知長さ（0- h）の補正を行い、実際の液面高さ（水加熱器内の液面下保有水量）を求める。

算出例として、付録 D に HT-3 試験時の液面下保有水量の計算過程を詳述する。

(5) 解析データ

各試験 (HT-1, HT-2, HT-3) の主要な解析データを以下で示す表に整理した。これ以外の詳細内容については付録 A にケース 1.1、ケース 2.1、ケース 3.1 の入力データリストに示す。

ヘッダ関係のデータ：容積、初期圧力、初期温度、初期液面下保有水量、
ポイド率

HT-1 試験 / 表 4.2.1(a)

HT-2 試験 / 表 4.2.2(a)

HT-3 試験 / 表 4.2.3(a)

配管関係のデータ：長さ、断面積、等価直径

HT-1 試験 / 表 4.2.1(b)

HT-2 試験 / 表 4.2.2(b)

HT-3 試験 / 表 4.2.3(b)

オリフィス関係のデータ 1：流路面積、圧損係数（正流、逆流）

HT-1 試験 / 表 4.2.1(c)

HT-2 試験 / 表 4.2.2(c)

HT-3 試験 / 表 4.2.3(c)

オリフィス関係のデータ 2：初期圧力、初期温度、初期ポイド率

HT-1 試験 / 表 4.2.1(d)

HT-2 試験 / 表 4.2.2(d)

HT-3 試験 / 表 4.2.3(d)

(6) 注水時間

注水時間は試験条件と同様に以下に示した時間とした。

- ・ HT-1 試験：注水開始 0 秒～注水停止 30.0 秒
- ・ HT-2 試験：注水開始 0 秒～注水停止 29.3 秒
- ・ HT-3 試験：注水開始 0 秒～注水停止 29.7 秒

なお、注水停止とは注水停止弁 WV502 を閉鎖開始する時間である。

(7) 解析時間 (シミュレーション時間)

解析時間は注水停止から流路末端にあたる注水装置 (ノズル) での流量が 0(kg/s) になるまでの時間を目安に、本解析では長めに設定して全解析ケースとも 40 秒とした。

(8) 弁 (注水作動弁、注水停止弁) のシミュレーション

a . 注水作動弁

HT-1 試験(WV2) : 開動作時間(0～2.30 秒)、圧損係数 (表 4.3.1)

HT-2 試験(WV501) : 開動作時間(0～0.53 秒)、圧損係数 (表 4.3.1)

HT-3 試験(WV501) : 開動作時間(0～0.53 秒)、圧損係数 (表 4.3.1)

b . 注水停止弁

HT-1 試験(WV502) : 閉動作時間(表 4.3.2)、圧損係数 (表 4.3.2)

HT-2 試験(WV502) : 閉動作時間(表 4.3.2)、圧損係数 (表 4.3.2)

HT-3 試験(WV502) : 閉動作時間(表 4.3.2)、圧損係数 (表 4.3.2)

(9) 体系外からの入熱

体系外からの入熱条件として、配管セクション構造材の外気側境界温度と外気側境界表面熱伝達率を与える。本試験において、水加熱器上部から反応容器の上部までの配管セクションには断熱材があり、反応容器内に入るとカバースト部とナトリウム接液部に配管セクションがある。

以下に配管セクションの入熱条件 (外気側境界温度、外気側境界表面熱伝達率) を整理する。

・ 断熱材のある配管セクション

境界温度 = 30.0 ()

境界表面熱伝達率 = 0.0 W/(m²·K) (0.0 kcal/(m²·s·))

・カバーガス部の配管セクション

境界温度 = 470.0()

境界表面熱伝達率 = 1164 W/(m²·K) (0.278 kcal/(m²·s·))

・ナトリウム接液部の配管セクション

境界温度 = 470.0()

境界表面熱伝達率 = 7478 W/(m²·K) (1.786 kcal/(m²·s·))

カバーガス部およびナトリウム接液部の配管セクションには自然対流熱伝達率相当の値を与えた。

5. 解析結果

5.1 管内圧力

HT-1～HT3 試験における臨界流モデル (Moody モデル、小笠原モデル) をパラメータにした水加熱器圧力履歴を図 5.1.1 及び図 5.1.2 に、圧力計 PI-501 部における管内圧力履歴を図 5.1.3 及び図 5.1.4 に示す。

管内圧力に対する解析結果は以下のとおりである。

- ・ 図 5.1.1 に示す水加熱器の圧力解析 (Moody モデル) 結果は、試験値 (実測値) に対し若干低めに評価する傾向が見られるが、HT-3 試験を除き概ね実測値と一致している。
- ・ 図 5.1.2 に示す水加熱器の圧力解析 (小笠原モデル) 結果は、上記の Moody モデルよりさらに実測値に近い傾向を示している。
- ・ 図 5.1.3 に示す PI-501 部圧力解析 (Moody モデル) 結果は、試験値 (実測値) に対し、HT-3 試験を除き、よい一致を示している。
- ・ 図 5.1.4 に示す PI-501 部圧力解析 (小笠原モデル) 結果は、HT-1～HT-3 の各試験値 (実測値) に対し、よい一致を示している。

これらの結果から、SWAT-1R 体系で、注水率が約 160g/s～約 540g/s 間においては LEAP-BLOW による圧力解析は模擬されており、注水率での比較評価結果から実測値に対し小笠原モデルがよい一致を示していることが分かった。

また、本解析により、注水率の大きい HT-3 試験における圧力解析結果について、双方の臨界流モデルにおいても実測値より若干低めに評価していることから、これらについて今後検討する必要がある。

5.2 注水率

HT-1～HT3 試験における Moody モデルで評価した注水率履歴を図 5.2.1 に、小笠原モデルで評価した注水率履歴を図 5.2.2 に示す。

注水率の解析部位は、水加熱器出口配管及び注水ノズルとした。

図中に示す注水率の試験 (液面計) 及び試験 (残水回収量) は以下のとおりに算出した。

- ・ 試験 (液面計) の注水率は、水加熱器(WH)の液面計降下率に水・蒸気系統内の水蒸気の状態及び水・蒸気系統内容積を考慮して導出した。
- ・ 試験 (残水回収量) の注水率は、試験前後の水加熱器及び系統内配管における水の質量変化より算出した注水時間での平均値である。

注水率に対する解析結果は以下のとおりである。

- ・ 注水率履歴の解析値を、Moody モデルと小笠原モデルで比較すると全体的

には同様な傾向を示すことが分かった。特に水加熱器出口配管部における注水開始直後における注水率のピーク形成及び左記ピークの時間遅れと考えられる約 2 秒以降の注水ノズル部でのピーク形成については、いずれの解析結果においても同じような傾向を示す。これらの特性については、注水弁下流側の大気圧状態での注水配管内に、注水弁が開くと同時に水を含んだ蒸気が一気に高流速で流れこむ現象を計算していることが要因であると考えられる。

- ・ 注水率を評価する上では、オーバシュートが終了する経過時間 10 秒以降の水加熱器出口配管部での解析データと試験（液面計）との比較が有効である。本条件で比較評価した場合は、Moody モデルより小笠原モデルのほうが実測値（試験（液面計））に対し、比較的よい一致を示している。
- ・ HT-3 試験における解析注水率の低下は、早い段階で多くの水蒸気が流失したことによる水加熱器での圧力低下によるものと考えられる。

これらの結果から、注水率の評価については、オーバシュートが終了する注水開始後 10 秒以降については、LEAP-BLOW による注水率解析は模擬されており、小笠原モデルのほうが実測値に対し、より近いことが示された。

5.3 検討課題

本報告書では、ナトリウム - 水反応試験で得られた注水率及び管内圧力により LEAP-BLOW コードを検証した。得られた結果から、今後の検討課題を以下に示す。

- (1) 管内圧力解析により、注水率の大きい HT-3 試験における圧力解析結果については、双方の臨界流モデルにおいて実測値より若干低めに評価していることから、これらについて今後検討する必要がある。
- (2) 水加熱器出口配管部における注水開始直後での注水率のピーク形成及び左記ピークの時間遅れと考えられる約 2 秒以降の注水ノズル部でのピーク形成が見られるが、ピーク値は過大評価と考えられることから、今後検討が必要である。
- (3) 両臨界流モデルにおける注水ノズル部での注水率解析結果は、実測値に対し、高めに評価する傾向を示すことから、上記(2)と合わせて今後検討する必要がある。

6. おわりに

伝熱管破損伝播評価用として開発したブローダウン解析コード (LEAP-BLOW) について、ナトリウム - 水反応試験装置 (SWAT-1R) のナトリウム水反応試験データで検証した。解析コードの計算モデルは、50MWSG ブローダウン試験データとの比較で最適なものを基本とし、臨界流計算モデルをパラメータとした。本検証解析より得られた結果と今後ブローダウンコード LEAP-BLOW の検証に対して必要と考えられる課題は次のとおりである。

(1) 検証結果

- a. SWAT-1R 体系において、注水率が約 160g/s ~ 約 540g/s 間については LEAP-BLOW による圧力解析は実測値とのよい一致を示し、さらに実測値に対し小笠原モデルがより近い値を示した。
- b. 注水開始後 10 秒以降の定常的な注水率の評価については、LEAP-BLOW による注水率解析は模擬されており、小笠原モデルが実測値に対し、より近い値を示した。

(2) 検討課題

- a. 注水率の大きい HT-3 試験における圧力解析結果については、双方の臨界流モデルにおいて実測値より若干低めに評価していることから、これらについて今後検討する必要がある。
- b. 注水率解析には、水加熱器出口配管部における注水開始直後での注水率のピーク形成及び左記ピークの時間遅れと考えられる約 2 秒以降の注水ノズル部でのピーク形成がみられるが、前者のピーク値は実測値に対し過大評価と考えられることから、今後検討が必要である。
- c. 両臨界流モデルにおける注水ノズル部での注水率解析結果は、実測値に対し、高めに評価する傾向を示すことから、上記 b. と合わせて今後検討する必要がある。

謝 辞

本研究の実施と報告書の作成にあたっては、新技術開発試験グループ三宅収グループリーダー（前熱化学安全試験グループリーダー）、熱化学安全試験グループ宮原信哉グループリーダー、浜田広次サブリーダー、清野裕研究員より有益な助言とご指導をいただきました。ここに各位に感謝の意を表します。

ナトリウム - 水反応試験の試験データの整理と提供では、東興機械工業株式会社 鈴木和右氏はじめ各氏、熱化学安全試験グループ下山一仁副主任技術員及び西村正弘副主任研究員にご助力をいただきました。ここに謹んで謝意を表します。

参考文献

- 1)熊坂勝行、他：“LEAP 改造予備設計”、PNC TJ9124 94-009、(1994)
- 2)糸岡聡、他：“LEAP-コード用ブローダウンコードの検証 - RELAP5/Mod.2 及び BLOOPH コードによる検証 - ”、JNC TJ9440 99-024、(1999)
- 3)真野多喜夫、他：“LEAP コード用ブローダウンモデルの開発”、PNC TJ9124 95-003、(1995)
- 4)糸岡聡、他：“LEAP コード用ブローダウンコードの改良と検証 - 50MWtSG ブローダウン試験データとの比較 - ”、PNC TJ9124 97-006、(1997)
- 5)西村正弘、他：“ナトリウム - 水反応時の熱的影響確認試験”、JNC TN9400 2003-014、(2003)
- 6)“軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針”、原子力安全委員会安全審査指針、(1981)

表 3.1 SWAT-1R 試験条件

試験 No.	HT-1	HT-2	HT-3
試験体型式	直管 43 本で管束部を模擬		
伝熱管材質	STBA24 (2-1/4Cr-1Mo 鋼) もんじゅ (蒸発器) 相当材		
伝熱管寸法	31.8 × 3.8t × L260 (mm)		
水リーク率 (実績)	約 160 g/sec	約 340 g/sec	約 540 g/sec
水加熱器圧力 (実績)	約 17MPa・g	約 17MPa・g	約 16MPa・g
注水時間	30 sec		
初期 Na 温度	470		

表 4.1 解析ケースの内容

解析 ケース	試験 名称	設定注水率 (ノズル内径)	注水 作動弁 *	解析パラメータ (臨界流計算モデルオプション)
1.1	HT-1	150g/s (3.7mm)	WV2	Moody モデル
1.2				小笠原モデル
2.1	HT-2	300g/s (6.0mm)	WV501	Moody モデル
2.2				小笠原モデル
3.1	HT-3	600g/s (8.0mm)	WV501	Moody モデル
3.2				小笠原モデル

注記 * : 注水作動弁 WV2 及び WV501 の設置位置は図 3.1 参照。

表 4.2.1(1/3) SWAT-1R HT-1 試験体系の解析データ

(a) ヘッド関係のデータ [HT-1]

ヘッド 番号	容積	初期 圧力	初期 温度	初期液面下 保有水量 ¹	ポイド 率	備考
(No.)	(m ³)	(MPa)	()	(kg)	(-)	
1	0.075	16.766	351.13	26.42	0.388	水加熱器
2	0.0106	0.294	396.40	-	1.0	水系配管 ²
3	0.589	0.208	470.00	-	1.0	反応容器

注記 1: ヘッドが分離モデルのときに入力
2: 40A 配管 (WV1 ~ WV2 ~ WV501 の流路)

(b) 配管関係のデータ [HT-1]

配管番号	長さ	面積	等価直径	備考
配管 No. - セクション No.	(m)	(m ²)	(m)	
1 - 1	1.0	9.294×10^{-4}	0.0344	水加熱器 注水作動弁 WV2 (40A Sch160 水系配管)
1 - 2	1.925	9.294×10^{-4}	0.0344	
1 - 3	2.0	9.294×10^{-4}	0.0344	
1 - 4	1.0	9.294×10^{-4}	0.0344	
1 - 5	1.3	9.294×10^{-4}	0.0344	
2 - 1	3.958	2.061×10^{-4}	0.0162	弁 WV501 注水停止弁 WV502 (20A Sch160 水系配管)
2 - 2	0.950	2.061×10^{-4}	0.0162	注水停止弁 WV502 レジューサ (20A Sch160 水系配管)
2 - 3	2.567	1.267×10^{-4}	0.0127	レジューサ レジューサ (10A Sch40 水系配管)
2 - 4	0.760	2.552×10^{-5}	0.0057	反応容器内カバーガス部 (6A Sch80 水系配管)
2 - 5	1.496	2.552×10^{-5}	0.0057	反応容器内ナトリウム中 (6A Sch80 水系配管)
2 - 6	0.120	1.963×10^{-5}	0.0050	注水管 (5mm)

表 4.2.1(2/3) SWAT-1R HT-1 試験体系の解析データ

(c) オリフィス関係のデータ 1 [HT-1]

配管番号	流路面積	正流圧損	逆流圧損	備考
配管 No.-オリフィス No.	(m^2)	(-)	(-)	
1 - 1	9.294×10^{-4}	0.438	1.00	水加熱器上部の接続配管部
1 - 2	9.294×10^{-4}	0.65	0.65	40A 水系配管のエルボ部
1 - 3	9.294×10^{-4}	0.65	0.65	
1 - 4	9.294×10^{-4}	0.65	0.65	
1 - 5	9.294×10^{-4}	1.3	1.3	
1 - 6	1.188×10^{-4}	75.46	75.46	注水作動弁 WV2 (12.3mm, Cv=6.3) ¹
2 - 1	1.539×10^{-4}	2.62	2.62	弁 WV501 (14.0mm, Cv=7.5) ¹
2 - 2	1.539×10^{-4}	2.62	2.62	注水停止弁 WV502 (14.0mm, Cv=7.5) ²
2 - 3	1.267×10^{-4}	0.823	1.043	レギュレーサ (20A - 10A)
2 - 4	2.552×10^{-5}	0.709	1.35	レギュレーサ (10A - 6A)
2 - 5	2.552×10^{-5}	0.0	0.0	Na 液面部 (流路変化なし)
2 - 6	1.963×10^{-5}	0.754	0.74	配管接続部 (6A - 注水管)
2 - 7	1.075×10^{-5}	0.0	0.0	注水ノズル (3.7mm)

注記 1: 表 4.3.1 バルブの圧損係数 の算出を参照。

なお、注水作動弁と注水停止弁の圧損係数 は水系配管系・バルブ関係データ (時間テーブル) で定義する。

2: 表 4.3.2 注水停止弁(WV502)の閉塞によるトラベル値と圧損係数 を参照。

表 4.2.1(3/3) SWAT-1R HT-1 試験体系の解析データ

(d) オリフィス関係のデータ 2 [HT-1]

配管番号	初期 圧力	初期 温度	初期 ボイド率	備考
配管 No.-オリフィス No.	(kg/cm ² (abs))	(-)	(-)	
1 - 1	170.96	351.13	0.999	水加熱器上部の接続配管部
1 - 2	170.90	355.0	0.999	40A 水系配管のエルボ部
1 - 3	170.80	357.2	0.999	
1 - 4	170.70	394.5	0.999	
1 - 5	170.60	395.0	0.999	
1 - 6	170.50	397.0	0.999	注水作動弁 WV2
2 - 1	3.0	396.6	1.001	弁 WV501
2 - 2	2.8	398.7	1.001	注水停止弁 WV502
2 - 3	2.5	398.7	1.001	レギュレーサ (20A - 10A)
2 - 4	2.4	395.5	1.001	レギュレーサ (10A - 6A)
2 - 5	2.3	470.0	1.001	Na 液面部 (流路変化なし)
2 - 6	2.2	470.0	1.001	配管接続部 (6A - 注水管)
2 - 7	2.122	470.0	1.001	注水ノズル (3.7mm)

注記 : 配管外壁部に設置した実験計測温度より入力。反応容器中のナトリウム接液部はナトリウム温度 (470) を入力。

表 4.2.2(1/3) SWAT-1R HT-2 試験体系の解析データ

(a) ヘッダ関係のデータ [HT-2]

ヘッダ 番号	容積	初期 圧力	初期 温度	初期液面下 保有水量 ¹	ボイド 率	備考
(No.)	(m ³)	(MPa)	()	(kg)	(-)	
1	0.075	16.795	351.5	34.205	0.199	水加熱器
2	0.0106	16.672	397.0	-	0.999	水系配管 ²
3	0.589	0.180	470.0	-	1.0	反応容器

注記 1: ヘッダが分離モデルのときに入力
2: 40A 配管 (WV1 ~ WV2 ~ WV501 の流路)

(b) 配管関係のデータ [HT-2]

配管番号	長さ	面積	等価直径	備考
配管 No. - セクション No.	(m)	(m ²)	(m)	
1 - 1	1.0	9.294×10^{-4}	0.0344	水加熱器 弁 WV2 (40A Sch160 水系配管)
1 - 2	1.925	9.294×10^{-4}	0.0344	
1 - 3	2.0	9.294×10^{-4}	0.0344	
1 - 4	1.0	9.294×10^{-4}	0.0344	
1 - 5	1.3	9.294×10^{-4}	0.0344	
2 - 1	3.958	2.061×10^{-4}	0.0162	注水作動弁 WV501 注水停止弁 WV502 (20A Sch160 水系配管)
2 - 2	0.950	2.061×10^{-4}	0.0162	注水停止弁 WV502 レジューサ (20A Sch160 水系配管)
2 - 3	2.567	1.267×10^{-4}	0.0127	レジューサ レジューサ (10A Sch40 水系配管)
2 - 4	0.760	4.778×10^{-5}	0.0078	反応容器内カバーガス部 (12.3 ^{0D} × 2.25 ^t 水系配管)
2 - 5	1.496	4.778×10^{-5}	0.0078	反応容器内ナトリウム中 (12.3 ^{0D} × 2.25 ^t 水系配管)
2 - 6	0.120	2.827×10^{-5}	0.0060	注水管 (6mm)

表 4.2.2(2/3) SWAT-1R HT-2 試験体系の解析データ

(c) オリフィス関係のデータ 1 [HT-2]

配管番号	流路面積	正流圧損	逆流圧損	備考
配管 No.-オリフィス No.	(m^2)	(-)	(-)	
1 - 1	9.294×10^{-4}	0.438	1.00	水加熱器上部の接続配管部
1 - 2	9.294×10^{-4}	0.65	0.65	40A 水系配管のエルボ部
1 - 3	9.294×10^{-4}	0.65	0.65	
1 - 4	9.294×10^{-4}	0.65	0.65	
1 - 5	9.294×10^{-4}	1.3	1.3	
1 - 6	1.188×10^{-4}	75.46	75.46	弁 WV2 (12.3mm, Cv=6.3) ¹
2 - 1	1.539×10^{-4}	2.62	2.62	注水作動弁 WV501 (14.0mm, Cv=7.5) ¹
2 - 2	1.539×10^{-4}	2.62	2.62	注水停止弁 WV502 (14.0mm, Cv=7.5) ² 20A 水系配管のエルボ部
2 - 3	1.267×10^{-4}	0.823	1.043	レジューサ (20A - 10A)
2 - 4	4.778×10^{-5}	0.63	3.076	レジューサ (10A - 6A)
2 - 5	4.778×10^{-5}	0.0	0.0	Na 液面部 (流路変化なし)
2 - 6	2.827×10^{-5}	0.834	1.126	配管接続部 (6A - 注水管)
2 - 7	2.827×10^{-5}	0.0	0.0	注水ノズル (6.0mm)

注記 1: 表 4.3.1 バルブの圧損係数 の算出を参照。

なお、注水作動弁と注水停止弁の圧損係数 は水系配管系・バルブ関係データ (時間テーブル) で定義する。

2: 表 4.3.2 注水停止弁(WV502)の閉塞によるトラベル値と圧損係数 を参照。

表 4.2.2(3/3) SWAT-1R HT-2 試験体系の解析データ

(d) オリフィス関係のデータ 2 [HT-2]

配管番号	初期 圧力	初期 温度	初期 ボイド率	備考
配管 No.-オリフィス No.	(kg/cm ² (abs))	(-)	(-)	
1 - 1	171.26	351.5	0.999	水加熱器上部の接続配管部
1 - 2	171.1	380.0	0.999	40A 水系配管のエルボ部
1 - 3	171.0	390.0	0.999	
1 - 4	170.8	395.9	0.999	
1 - 5	170.5	390.0	0.999	
1 - 6	170.2	384.5	0.999	弁 WV2
2 - 1	4.023	385.4	1.001	注水作動弁 WV501
2 - 2	4.00	399.5	1.001	注水停止弁 WV502
2 - 3	3.80	398.1	1.001	レギュレーサ (20A - 10A)
2 - 4	3.50	434.0	1.001	レギュレーサ (10A - 6A)
2 - 5	3.00	470.0	1.001	Na 液面部 (流路変化なし)
2 - 6	2.00	470.0	1.001	配管接続部 (6A - 注水管)
2 - 7	1.834	470.0	1.001	注水ノズル (6.0mm)

注記 : 配管外壁部に設置した実験計測温度より入力。反応容器中のナトリウム接液部はナトリウム温度 (470) を入力。

表 4.2.3(1/3) SWAT-1R HT-3 試験体系の解析データ

(a) ヘッダ関係のデータ [HT-3]

ヘッダ 番号	容積	初期 圧力	初期 温度	初期液面下 保有水量 ¹	ボイド 率	備考
(No.)	(m ³)	(MPa)	()	(kg)	(-)	
1	0.075	15.739	346.0	35.190	0.204	水加熱器
2	0.0106	15.691	396.0	-	0.999	水系配管 ²
3	0.589	0.178	470.0	-	1.00	反応容器

注記 1: ヘッダが分離モデルのときに入力
2: 40A 配管 (WV1 ~ WV2 ~ WV501 の流路)

(b) 配管関係のデータ [HT-3]

配管番号	長さ	面積	等価直径	備考
配管 No. - セクション No.	(m)	(m ²)	(m)	
1 - 1	1.0	9.294×10^{-4}	0.0344	水加熱器 弁 WV2 (40A Sch160 水系配管)
1 - 2	1.925	9.294×10^{-4}	0.0344	
1 - 3	2.0	9.294×10^{-4}	0.0344	
1 - 4	1.0	9.294×10^{-4}	0.0344	
1 - 5	1.3	9.294×10^{-4}	0.0344	
2 - 1	3.958	2.061×10^{-4}	0.0162	注水作動弁 WV501 注水停止弁 WV502 (20A Sch160 水系配管)
2 - 2	0.950	2.061×10^{-4}	0.0162	注水停止弁 WV502 レジューサ (20A Sch160 水系配管)
2 - 3	2.567	1.267×10^{-4}	0.0127	レジューサ レジューサ (10A Sch40 水系配管)
2 - 4	0.760	1.267×10^{-4}	0.0127	反応容器内カバーガス部 (10A Sch40 水系配管)
2 - 5	1.496	1.267×10^{-4}	0.0127	反応容器内ナトリウム中 (10A Sch40 水系配管)
2 - 6	0.120	5.027×10^{-5}	0.0080	注水管 (8mm)

表 4.2.3(2/3) SWAT-1R HT-3 試験体系の解析データ

(c) オリフィス関係のデータ [HT-3]

配管番号	流路面積	正流圧損	逆流圧損	備考
配管 No.-オリフィス No.	(m^2)	(-)	(-)	
1 - 1	9.294×10^{-4}	0.438	1.00	水加熱器上部の接続配管部
1 - 2	9.294×10^{-4}	0.65	0.65	40A 水系配管のエルボ部
1 - 3	9.294×10^{-4}	0.65	0.65	
1 - 4	9.294×10^{-4}	0.65	0.65	
1 - 5	9.294×10^{-4}	1.3	1.3	
1 - 6	1.188×10^{-4}	75.46	75.46	弁 WV2 (12.3mm, Cv=6.3) ¹
2 - 1	1.539×10^{-4}	2.62	2.62	注水作動弁 WV501 (14.0mm, Cv=7.5) ¹
2 - 2	1.539×10^{-4}	2.62	2.62	注水停止弁 WV502 (14.0mm, Cv=7.5) ² 20A 水系配管のエルボ部
2 - 3	1.267×10^{-4}	0.823	1.043	レギュレーサ (20A - 10A)
2 - 4	1.267×10^{-4}	0.35	0.35	エルボ (10A - 10A)
2 - 5	1.267×10^{-4}	0.0	0.0	Na 液面部
2 - 6	5.027×10^{-5}	0.921	2.961	配管接続部 (10A - 注水管)
2 - 7	5.027×10^{-5}	0.0	0.0	注水ノズル (8.0mm)

注記 1: 表 4.3.1 バルブの圧損係数 の算出を参照。

なお、注水作動弁と注水停止弁の圧損係数 は水系配管系・バルブ関係データ (時間テーブル) で定義する。

2: 表 4.3.2 注水停止弁(WV502)の閉塞によるトラベル値と圧損係数 を参照。

表 4.2.3(3/3) SWAT-1R HT-3 試験体系の解析データ

(d) オリフィス関係のデータ 2 [HT-3]

配管番号	初期 圧力	初期 温度	初期 ボイド率	備考
配管 No.-オリフィス No.	(kg/cm ² (abs))	(-)	(-)	
1 - 1	160.49	346.0	0.999	水加熱器上部の接続配管部
1 - 2	160.45	395.0	0.999	40A 水系配管のエルボ部
1 - 3	160.3	395.0	0.999	
1 - 4	160.2	397.0	0.999	
1 - 5	160.1	399.0	0.999	
1 - 6	160.0	398.5	0.999	
2 - 1	2.835	398.0	1.001	注水作動弁 WV501
2 - 2	2.80	399.0	1.001	注水停止弁 WV502
2 - 3	2.75	393.0	1.001	レギュレーサ (20A - 10A)
2 - 4	2.60	431.5	1.001	レギュレーサ (10A - 6A)
2 - 5	2.50	470.0	1.001	Na 液面部 (流路変化なし)
2 - 6	2.00	470.0	1.001	配管接続部 (6A - 注水管)
2 - 7	1.816	470.0	1.001	注水ノズル (6.0mm)

注記 : 配管外壁部に設置した実験計測温度より入力。反応容器中のナトリウム接液部はナトリウム温度 (470) を入力。

表 4.3.1 バルブの圧損係数 の算出 (定格)

弁	トラベル (%)	Cv (-)	C (-)	弁と接続の 管路内径 (m)	管路断面積 (m ²)	(-)
WV2	100	6.3	1.513 × 10 ⁻⁴	0.0344	9.294 × 10 ⁻⁴	75.46
WV501	100	7.5	1.801 × 10 ⁻⁴	0.0162	2.061 × 10 ⁻⁴	2.62
WV502	100	7.5	1.801 × 10 ⁻⁴	0.0162	2.061 × 10 ⁻⁴	2.62

注 : バルブの圧力損失と容量係数との関係(JIS B2005-1995)

$$=2 \cdot A^2 / C^2 \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

但し : 弁の圧力損失係数[-]

A : 弁と接続する管路の断面積[m²]

C : 容量係数 (流量係数) [m²]

容量係数 : $C=7.59805 \times 10^{-7} \cdot w^{1/2} \cdot Cv$

但し Cv : 容量係数 (流量係数) [USgal/min/(lbf・in²)^{1/2}]

w : 温度 15.6 [60 ° F]での水の密度[kg/m³](=999.171)

1(USgal)=3.78541 × 10⁻³(m³)

1(lbf/in²)=1(psi)=6.89476 × 10³(Pa)

表 4.3.2 注水停止弁 WV502 のトラベル値と圧損係数

シミュレーション 時間(s)			トラベル (%)	Cv ¹ (-)	C (-)	² (-)	弁の絞り 断面積 (m ²)	相当 直径 (mm)
HT-1	HT-2	HT-3						
0.0	0.0	0.0	100	7.5	0.00018013	2.62	1.5394 × 10 ⁻⁴	14.0
30.0	29.3	29.7	100	7.5	0.00018013	2.62	1.5394 × 10 ⁻⁴	14.0
30.2	29.5	29.9	10.0	0.750	1.8013 × 10 ⁻⁵	261.88	1.5394 × 10 ⁻⁵	4.427
30.375	29.675	30.075	5.0	0.375	9.0064 × 10 ⁻⁶	1047.52	7.6969 × 10 ⁻⁶	3.130
30.50	29.8	30.2	1.0	0.075	1.8013 × 10 ⁻⁶	26188.01	1.5394 × 10 ⁻⁶	1.400
32.0	31.3	31.7	0.5	0.070	1.6812 × 10 ⁻⁶	30062.76	7.6969 × 10 ⁻⁷	0.990
32.5	31.8	32.2	0.2	0.050	1.2009 × 10 ⁻⁶	58923.01	3.0788 × 10 ⁻⁷	0.626
33.0	32.3	32.7	0.1	0.040	9.6069 × 10 ⁻⁷	92067.21	1.5394 × 10 ⁻⁷	0.443
40.0	40.0	40.0	0.0			92067.21	0.0	0.0

注記 1 : トラベル値 100% ~ 1% の Cv 値はトラベル値の割合より算出
 トラベル値 0.5% ~ 0.1% の Cv 値は推定値
 2 : 表 4.3.1 の(1)式による計算値

注 : WV502 仕様

valve(m) 0.0140 : 弁の呼び口径
 pipe(m) 0.0162 : 弁と接続する管路の内径
 断面積 A(m²) 0.0002061 : 上記 pipe の断面積
 密度 w(kg/m³) 999.171 : 温度 15.6 (60 °F) での水の密度
 定格 Cv 7.5 : 定格時

スリップモデル (クオリティボイド相関式)

- ・ Smith の式 (圧力とボイド率依存性を考慮)
- ・ Homogeneous モデル (スリップ比 1.0)
- ・ Fauske の式 (圧力依存性を考慮)
- ・ Moody の式 (圧力依存性を考慮)
- ・ HTL の式 (JNC で得られた式)
- ・ Zivi の式
- ・ Levy の式
- ・ Fujie の式
- ・ Bankoff の式
- ・ Jones(修正 Bankoff)の式

二相流管摩擦圧損増倍係数モデル

- ・ Thom の式
- ・ Thom + Martinelli-Nelson の組み合わせ
- ・ Homogeneous モデル
- ・ Martinelli-Nelson の式

二相流臨界流オプション

- ・ Moody モデル
- ・ 小笠原モデル

伝熱相関式モデル

- ・ 修正 Bromley の式
- ・ 修正 Schrock-Grossman の式
- ・ 修正 Chen の式
- ・ Jens-Lottes の式
- ・ Heineman の式
- ・ Rohsenow-Dougall の式
- ・ McEligot の式
- ・ Dittus-Boelter の式
- ・ 森・中山の式 (液相 / 気相) *1
- ・ McDonough, Milch and King の式
- ・ Groeneveld の式
- ・ Bishop の式
- ・ Thom の相関式

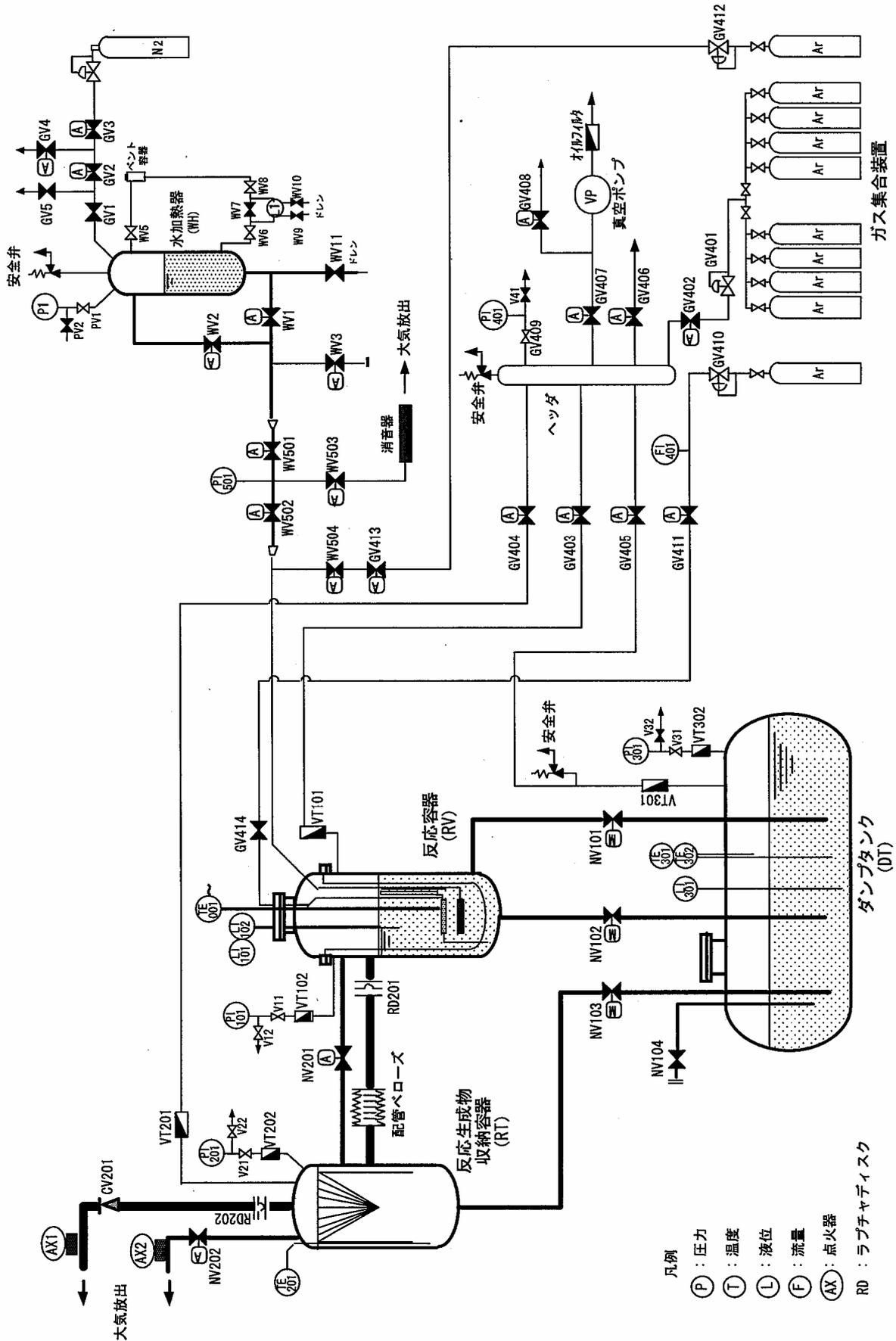
限界熱流束計算モデル (ドライアウト相関式)

- ・ Roko の式
- ・ LEAP-コード評価式 *2
- ・ Jens-Lottes の式

注記 *1 : 森・中山の式には、ヘリカルコイルによる旋回流の影響を考慮している。

*2 : HTL(Heat Transfer Test Loop)で実施された実験データの下限相関式

図 2.1 LEAP-BLOW コード 計算モデル



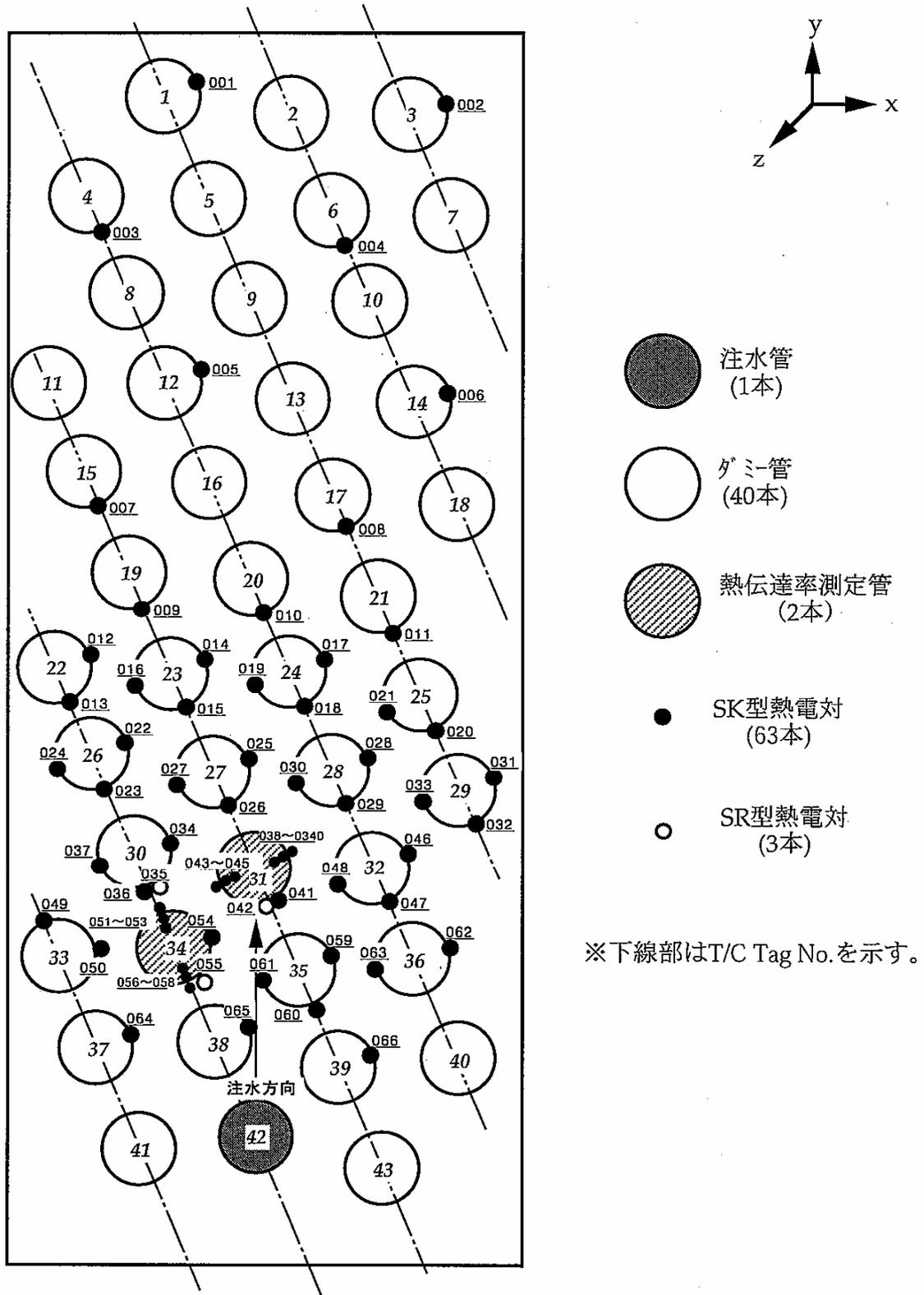
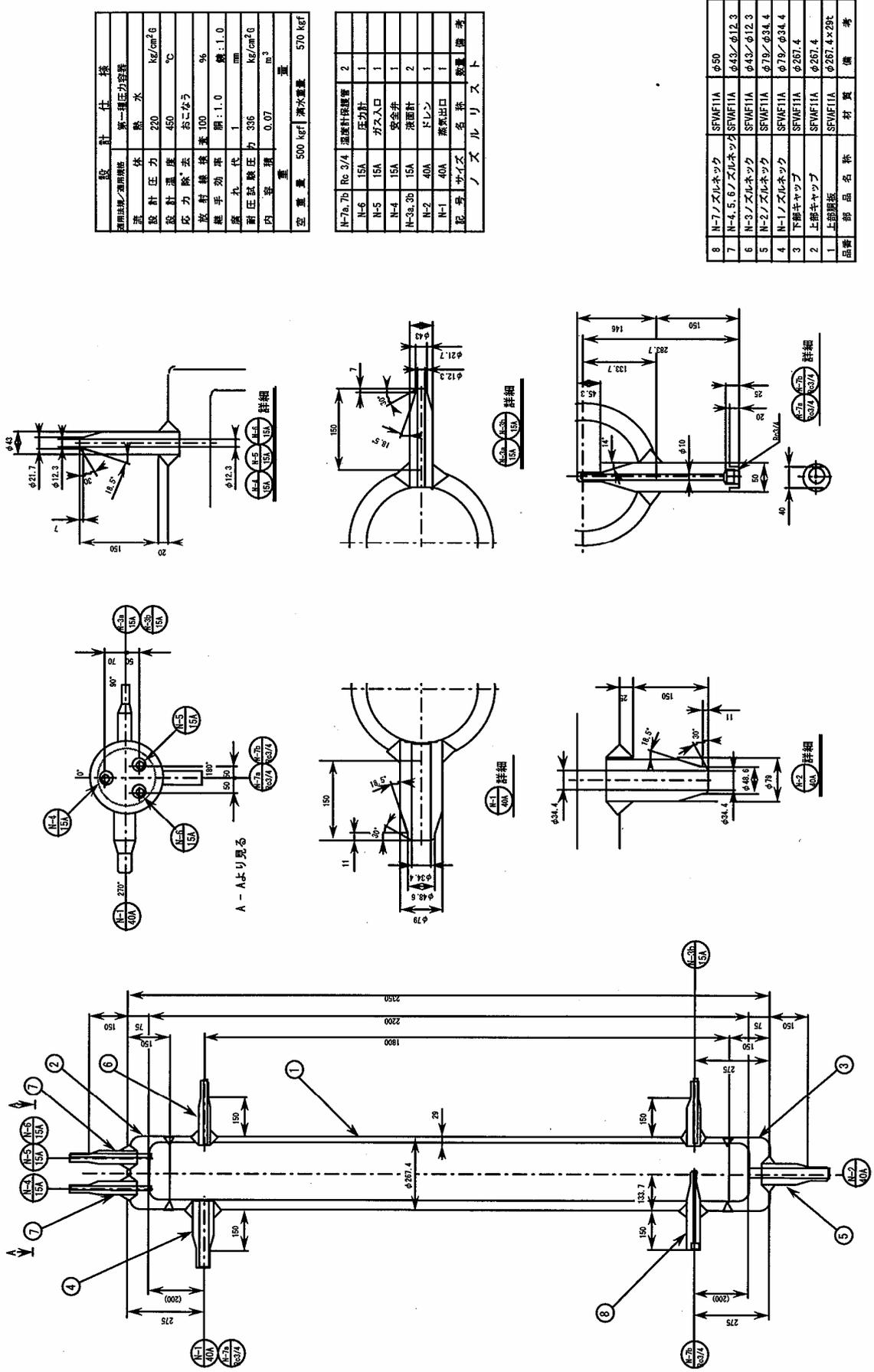


図 3.2 SWAT-1R 試験体配置図(HT-3 試験用)



設計仕様	
適用燃料/適用熱媒	第一種圧力容器
用途	熱水
設計圧力	220 kg/cm ² G
設計温度	450 °C
応力除去	おこなう
放射線検査	100 %
継手強度	鋼:1.0
腐蝕許容率	1 mm
耐圧試験圧力	336 kg/cm ² G
内容積	0.07 m ³
空重量	500 kgf
満水重量	570 kgf

ノズルリスト	
N-7a, 7b	Re 3/4 遠征計保護管 2
N-6	15A 圧力計 1
N-5	15A ガス入口 1
N-4	15A 安全弁 1
N-3a, 3b	15A 液面計 2
N-2	40A ドレン 1
N-1	40A 蒸気出口 1
記号	サイズ 名称 数量 備考

8	N-7ノズルネット	SFVAE11A	φ50
7	N-4, 5, 6ノズルネット	SFVAE11A	φ43.2/φ12.3
6	N-3ノズルネット	SFVAE11A	φ43.2/φ12.3
5	N-2ノズルネット	SFVAE11A	φ79/φ34.4
4	N-1ノズルネット	SFVAE11A	φ79/φ34.4
3	下部キャップ	SFVAE11A	φ267.4
2	上部キャップ	SFVAE11A	φ267.4
1	上部胴板	SFVAE11A	φ267.4×28t
品番			部品名称 材質 備考

図 4.2.1 水加熱器の構造図

番号	部品名	個数	材	備	考
1	注水ノズル	1	SUS304		
2	気泡ポンプ用湯水管	1	SUS304	1 B sch20	
3	気泡ポンプ用湯水管	1	SUS304	1 B sch20	
4	シュラウド	1	SUS304		
5	気泡ポンプ用Arガス供給配管	1	SUS304	1/4インチ 11.0	
6	注水配管	1	SUS304	3/8 B (φ17.3sch40)	
7	シュラウド吊り金具	4	SUS304		
8	試験体吊り金具	4	SUS304		
9	連絡ユニオン	1	SUS304	3/8-1/4インチ	
10	気泡ポンプ用Arガス供給配管	1	SUS304	(既設) 3/8インチ	11.5
11					

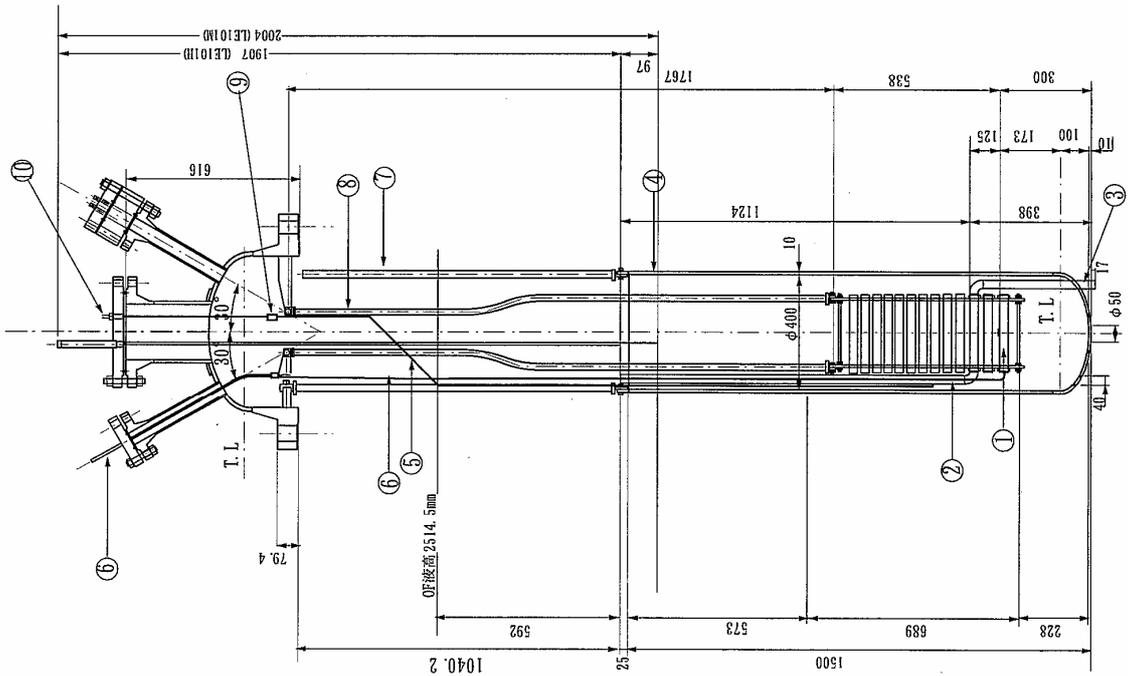
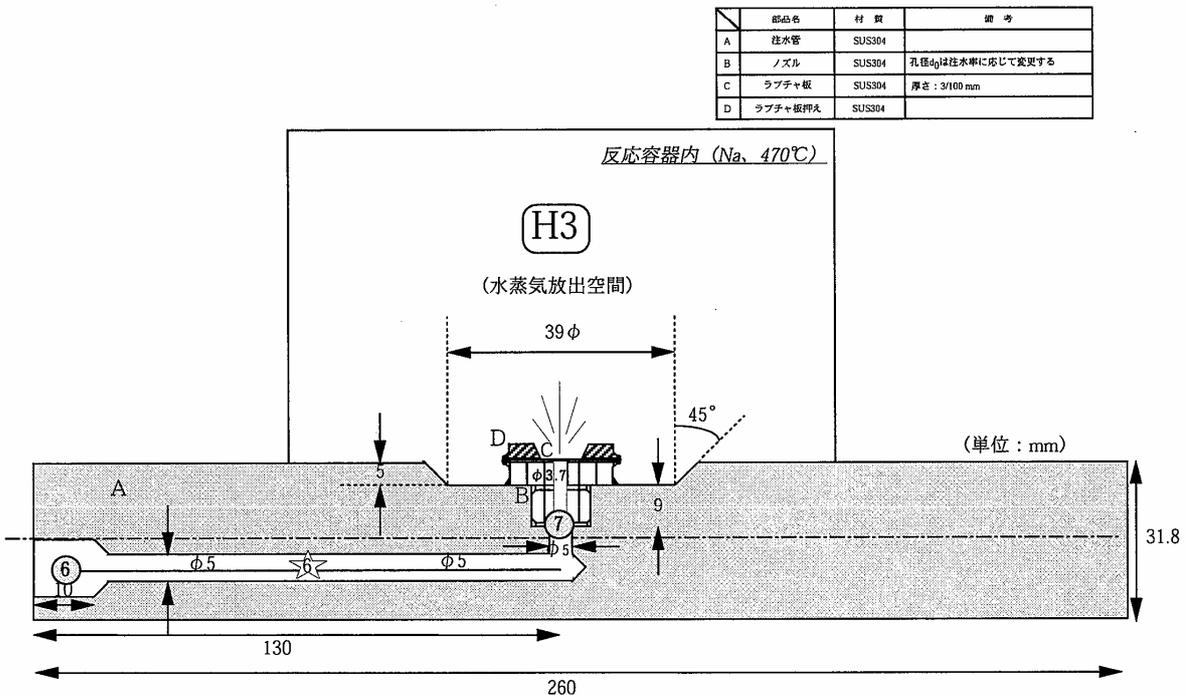
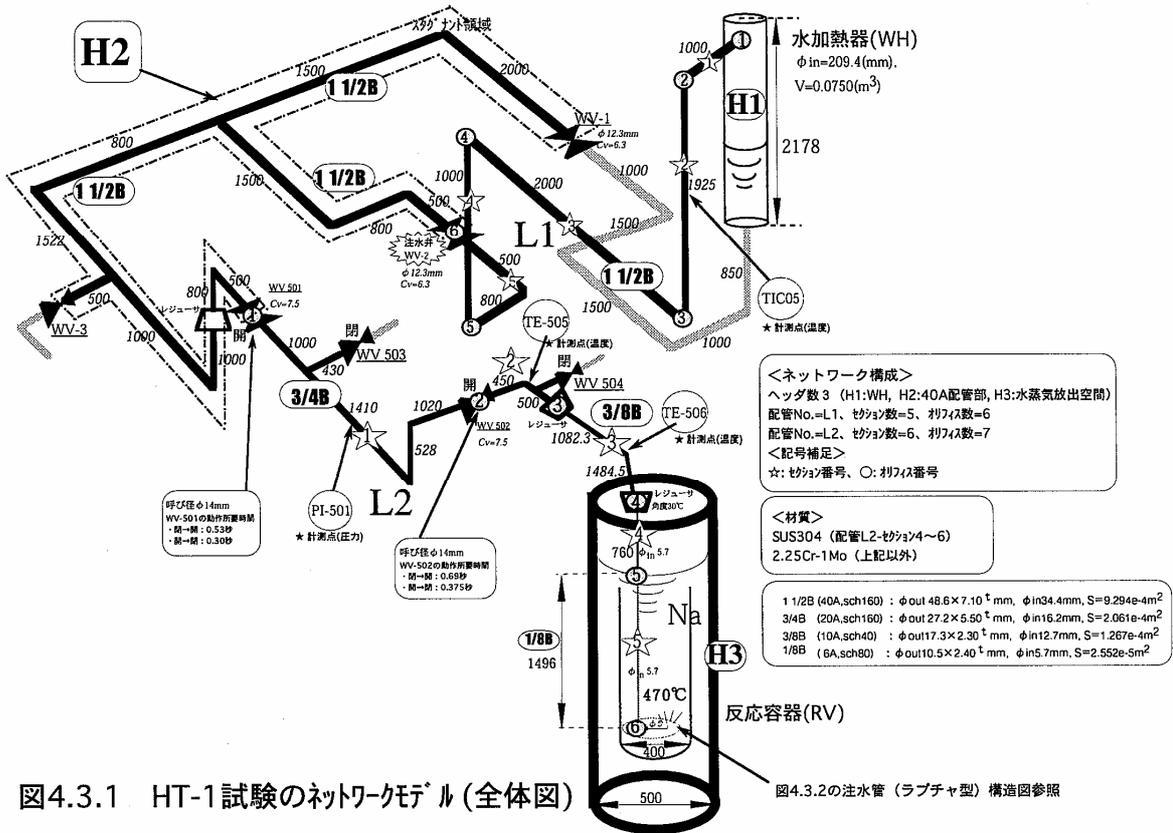
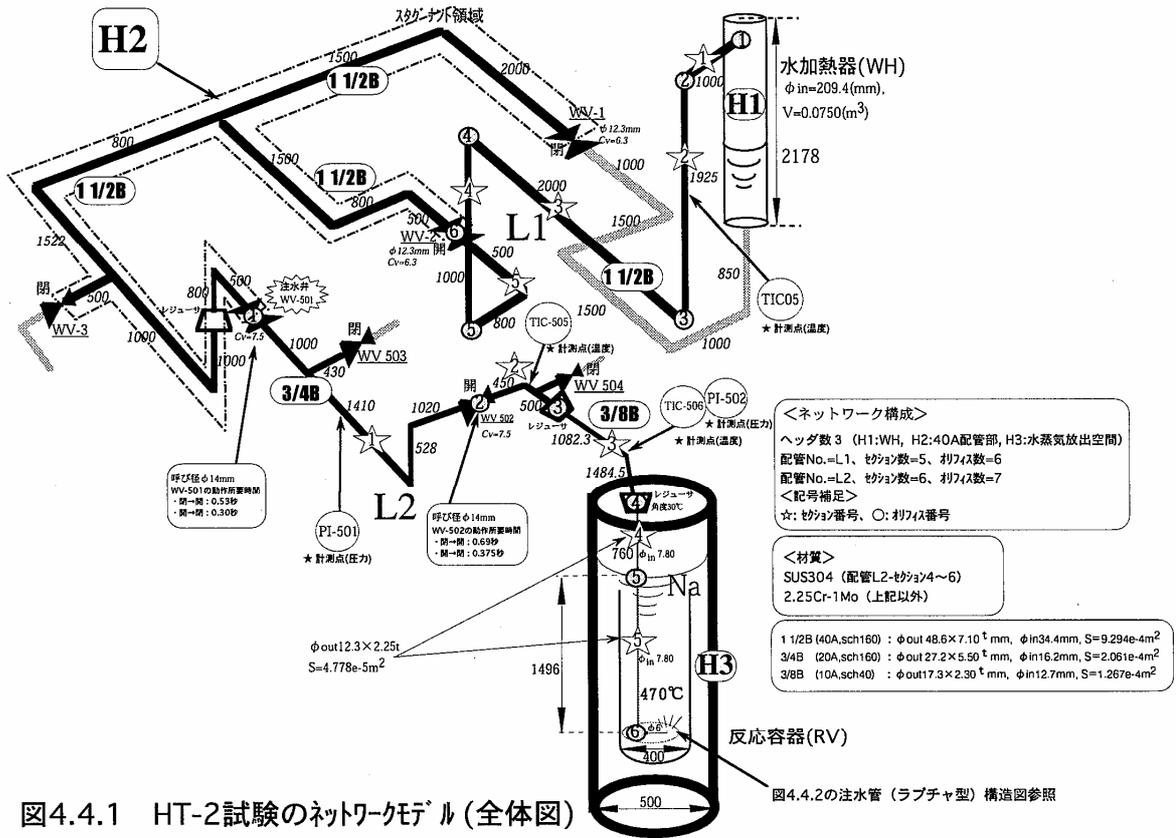


図 4.2.2 反応容器（試験容器）の内部構造図（HT-3 試験）





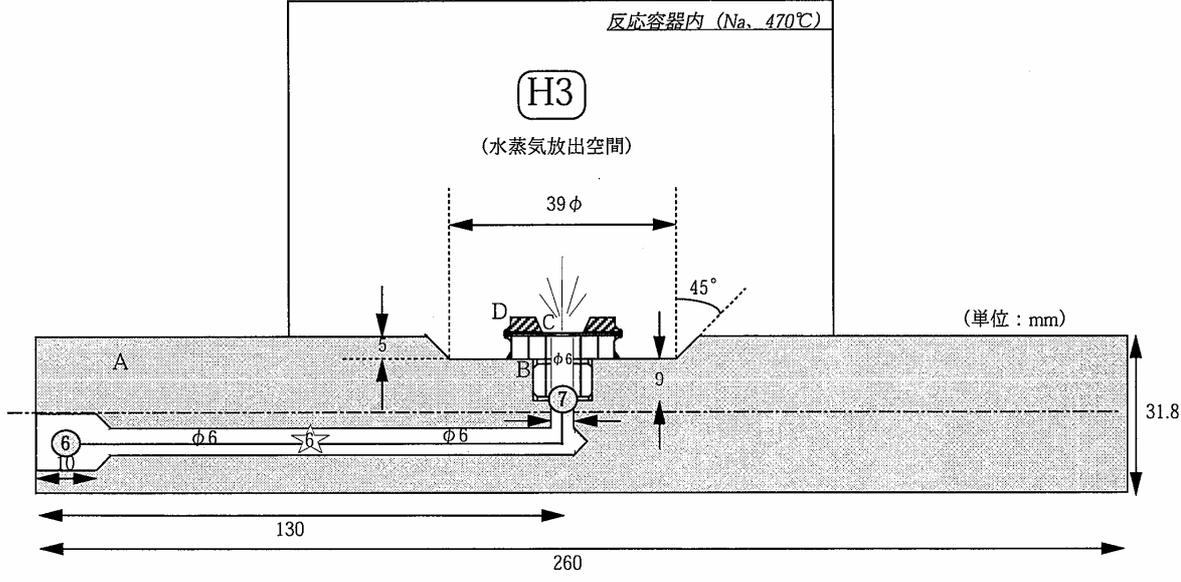
<ネットワーク構成>
 ヘッド数3 (H1:WH, H2:40A配管部, H3:水蒸気放出空間)
 配管No.=L1、セクション数=5、肘ノイズ数=6
 配管No.=L2、セクション数=6、肘ノイズ数=7
 <記号補足>
 ☆: セクション番号、○: 肘ノイズ番号

<材質>
 SUS304 (配管L2-セクション4~6)
 2.25Cr-1Mo (上記以外)

1/2B (40A,sch160) : $\phi_{out} 48.6 \times 7.10$ mm, $\phi_{in} 34$ mm, $S=9.294e-4m^2$
 3/4B (20A,sch160) : $\phi_{out} 27.2 \times 5.50$ mm, $\phi_{in} 16.2$ mm, $S=2.061e-4m^2$
 3/8B (10A,sch40) : $\phi_{out} 17.3 \times 2.30$ mm, $\phi_{in} 12.7$ mm, $S=1.267e-4m^2$

図4.4.2の注水管(ラプチャ型)構造図参照

部品名	材質	備考
A	注水管	SUS304
B	ノズル	SUS304 孔径 ϕ_B は注水率に応じて変更する
C	ラプチャ板	SUS304 厚さ: 3/100 mm
D	ラプチャ板押え	SUS304



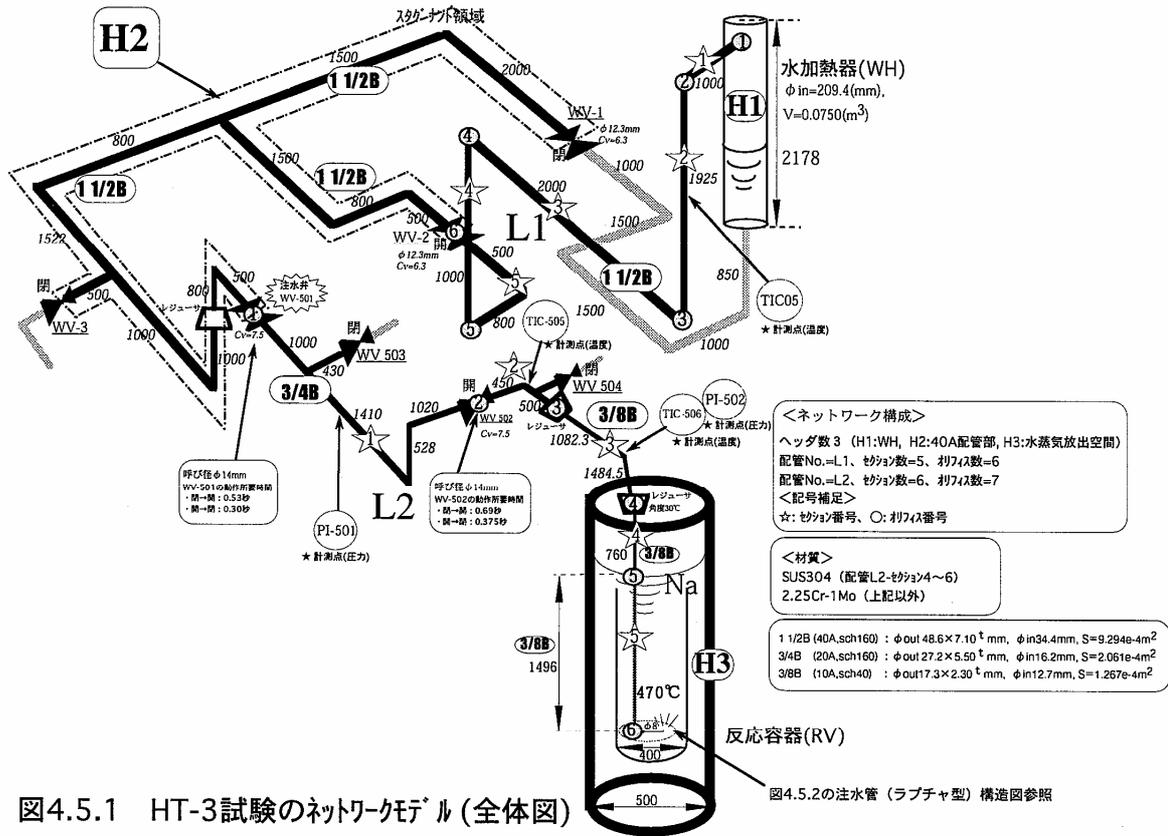


図4.5.1 HT-3試験のネットワークモデル(全体図)

部品名	材質	備考
A	注水管	SUS304
B	ノズル	SUS304 孔径 ϕ_B は注水率に応じて変更する
C	ラプチャ板	SUS304 厚さ: 3/100 mm
D	ラプチャ板押え	SUS304

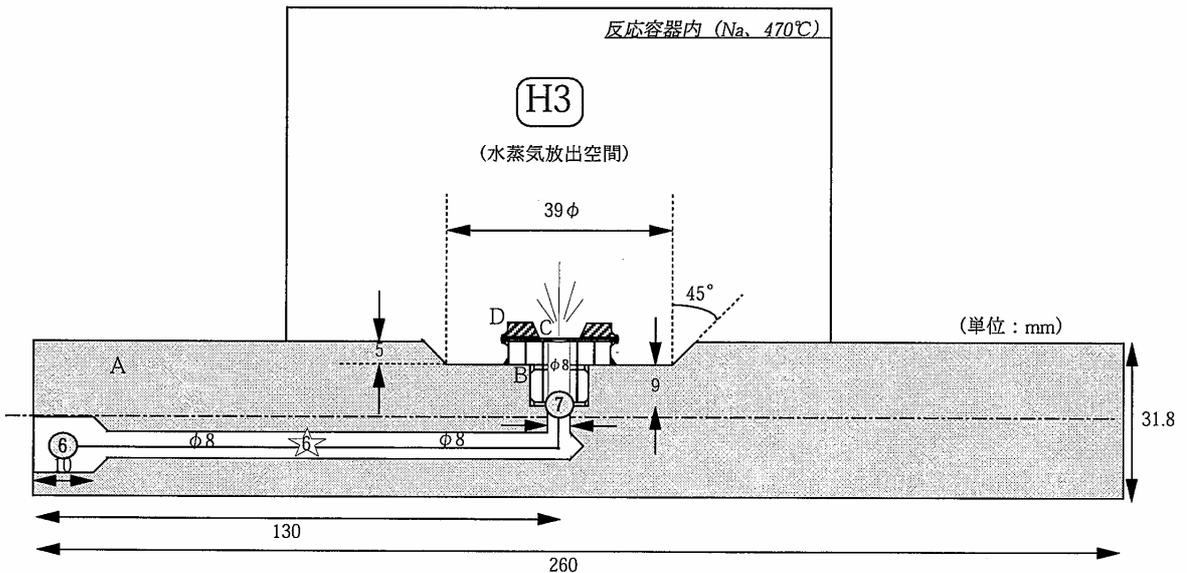


図4.5.2 HT-3試験の注水管(ラプチャ型)構造図

試験名	水加熱器(WH)内水蒸気の物性条件			WH内の 基準水量 (kg)	WH形状データ		WHの水蒸気データ			
	設定圧 (MPa)	POHD (kg/cm ² -a)	TOND 飽和温度(°C)		飽和水密度 ρ' (kg/m ³)	飽和蒸気エンタルピ h'' (kcal/kg)	VLHD, VTBHD 全容積(m ³)	内筒径 ϕ in (m)	WOHD 保有水量(kg)	ZTBHD 液面高さ(m)
HT-1	16.766	170.96	351.13	575.4	611.40	0.075	0.2107	26.42	1.317	0.388
HT-2	16.795	171.26	351.50	569.6	611.83	0.075	0.2107	34.205	1.722	0.199
HT-3	15.739	160.49	346.00	589.6	619.33	0.075	0.2107	35.190	1.712	0.204

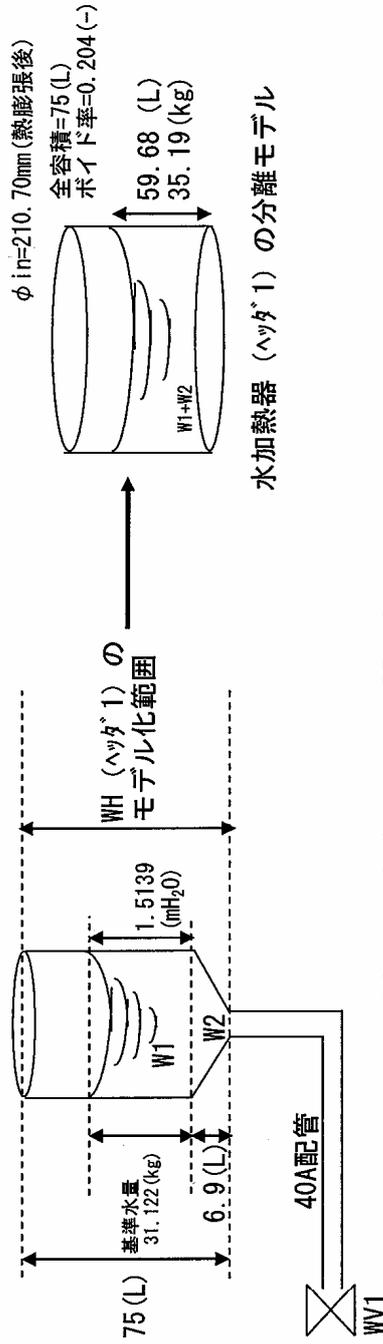
注：表中で示された値や計算式について

WH内の基準水量はWHの熱膨張分や液面計検知長さ (0- Δh (m)) の補正を行い、初期の液面計検知長さ(電圧値)から算出した値である。

WOHD=基準水量 + (下部容積 × 飽和水密度 ρ')

液面高さ：ZTBHD=(WOHD/ ρ') / [($\pi/4$) · ϕ in²]

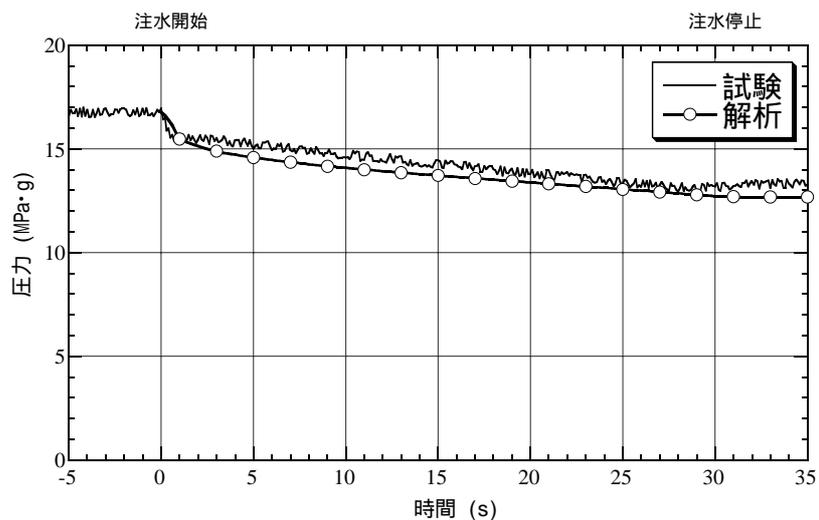
ポイド率：VOHD=(VLHD-WOHD/ ρ')/VLHD



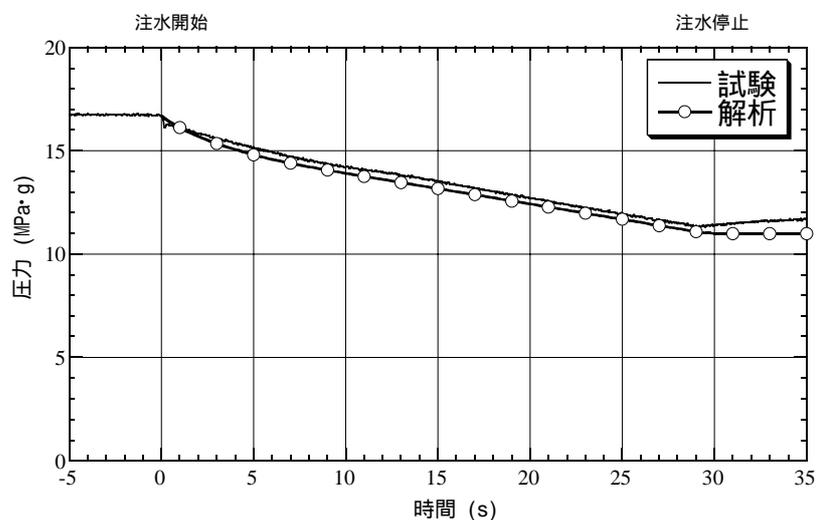
水加熱器 (ヘッド 1) の分離モデル

(例) HT-3試験の水加熱器内状態の模式図

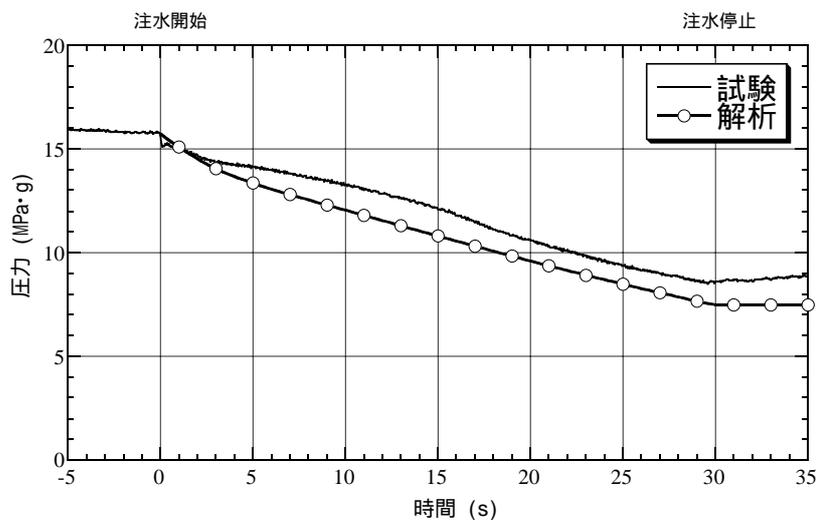
図4.6.1 水加熱器 (ヘッド) の分離モデルに関するデータ



(a) HT-1 試験

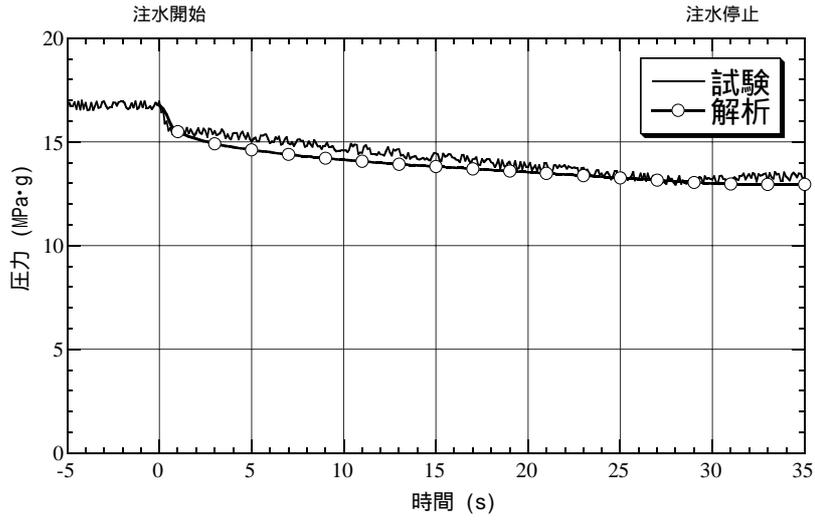


(b) HT-2 試験

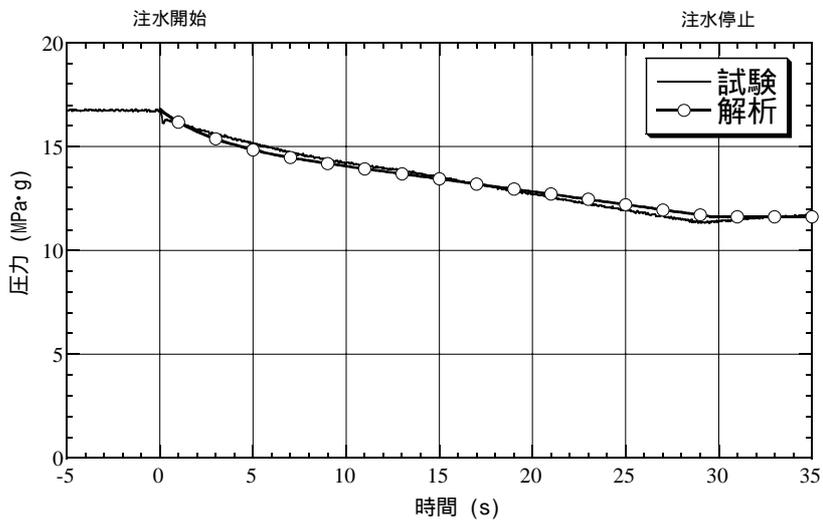


(c) HT-3 試験

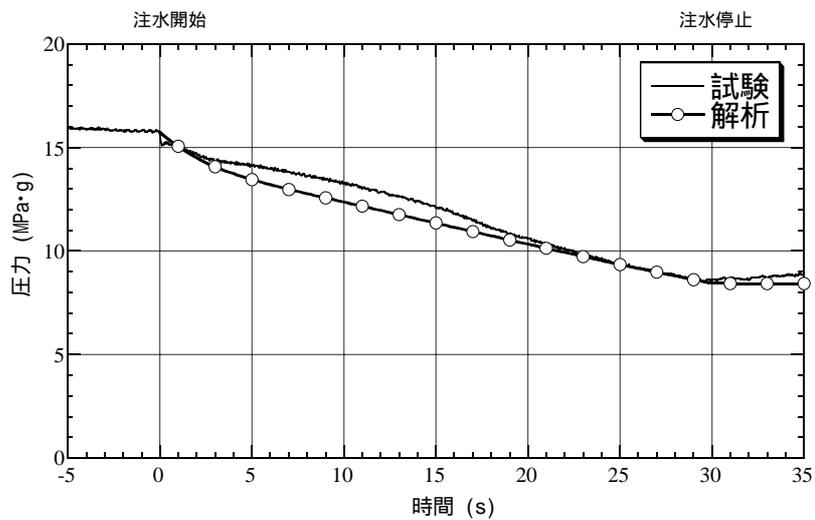
図 5.1.1 水加熱器の圧力 (臨界流モデル: Moody モデル)



(a) HT-1 試験

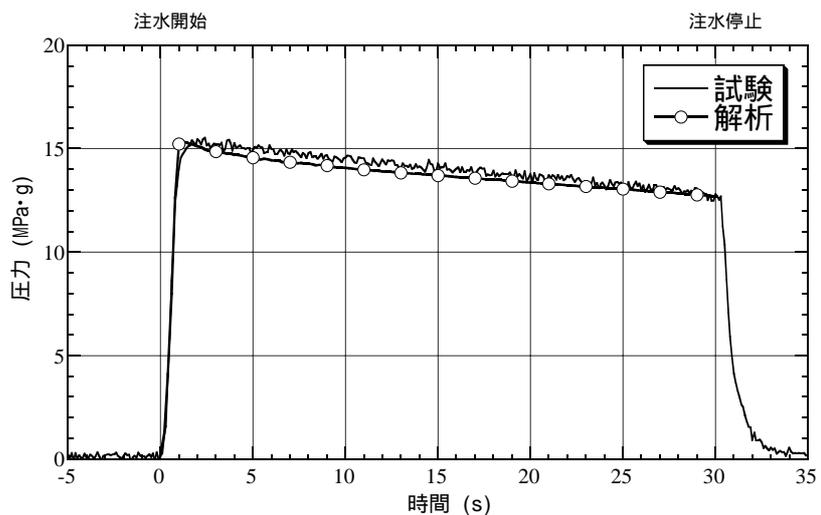


(b) HT-2 試験

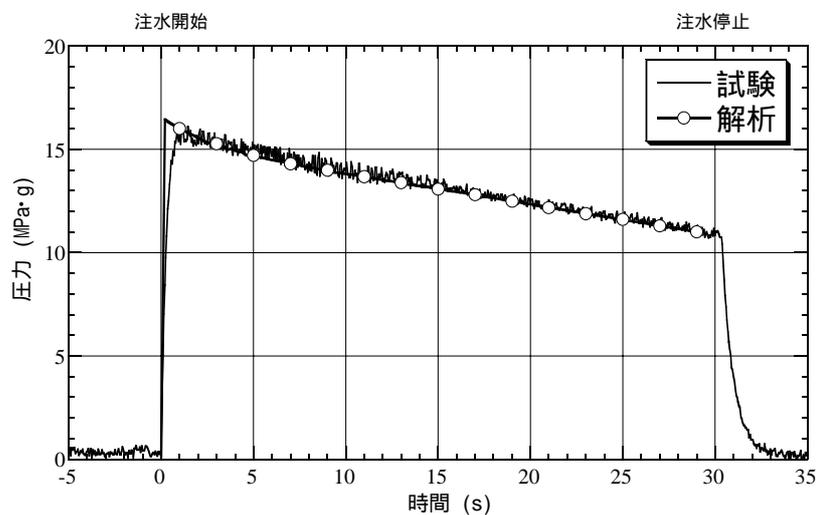


(c) HT-3 試験

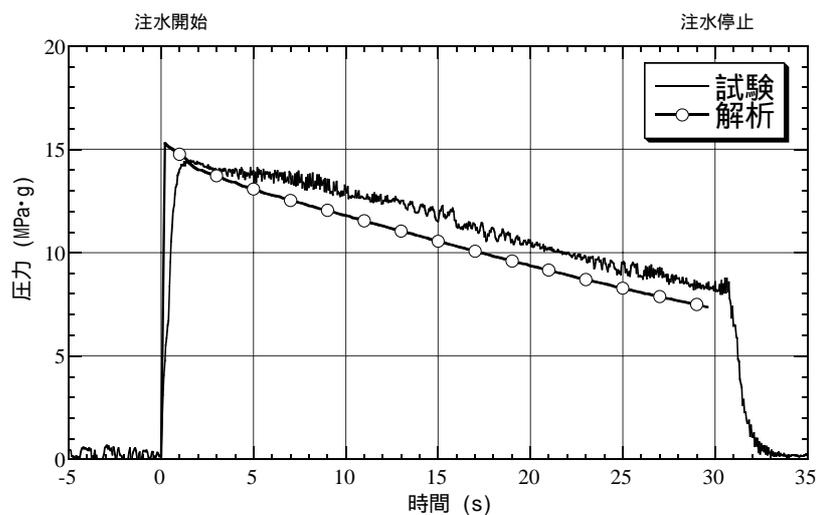
図 5.1.2 水加熱器の圧力 (臨界流モデル: 小笠原モデル)



(a) HT-1 試験

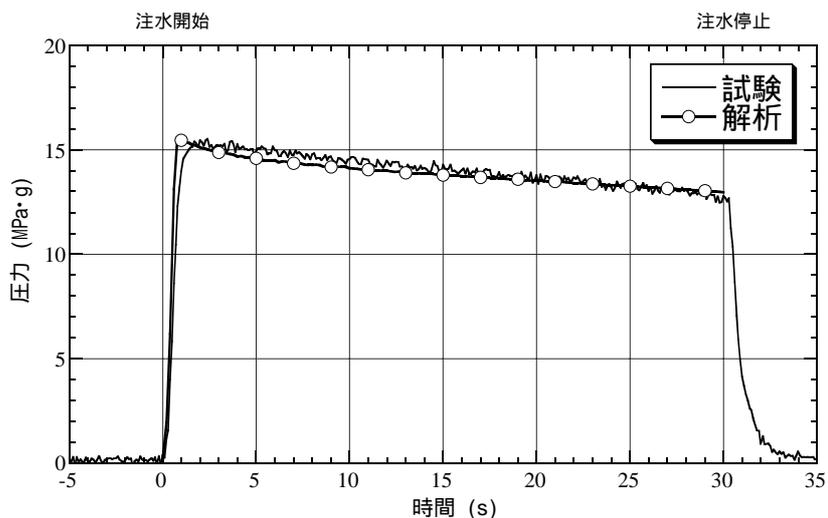


(b) HT-2 試験

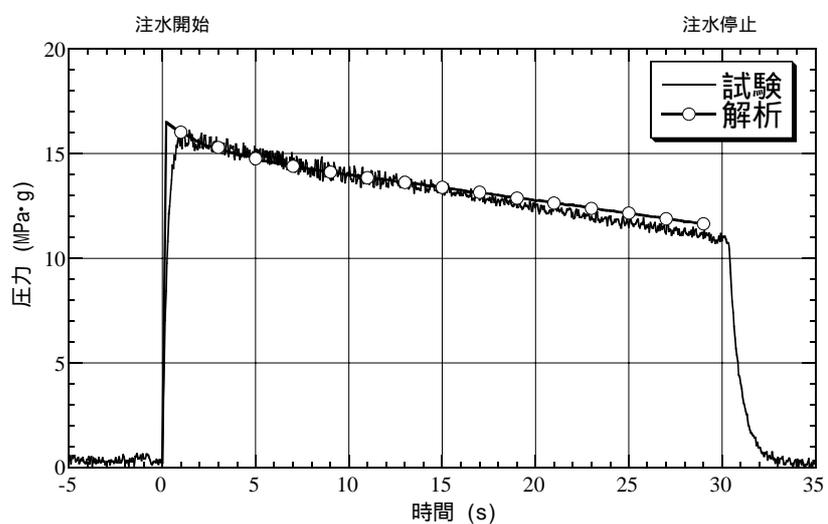


(c) HT-3 試験

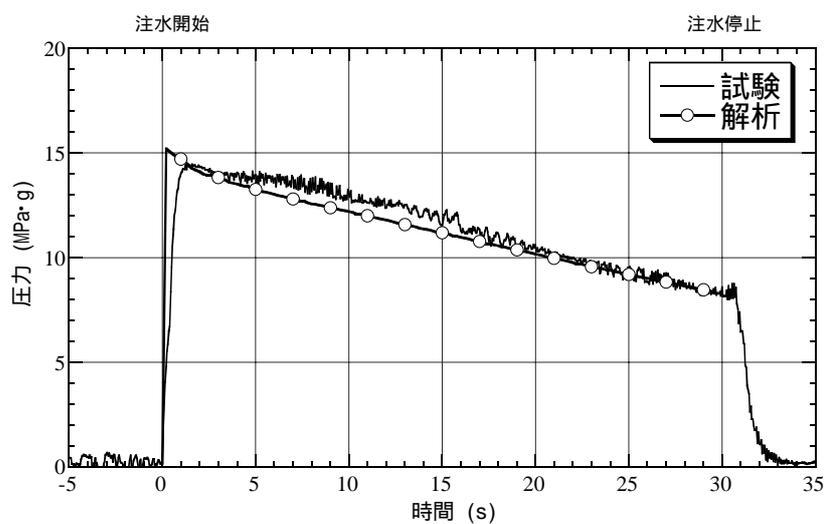
図 5.1.3 圧力計 PI-501 部圧力 (臨界流モデル: Moody モデル)



(a) HT-1 試験

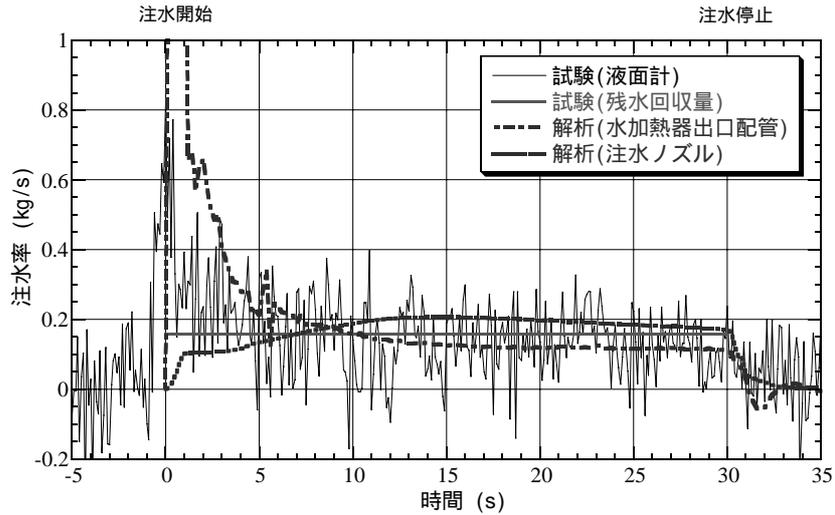


(b) HT-2 試験

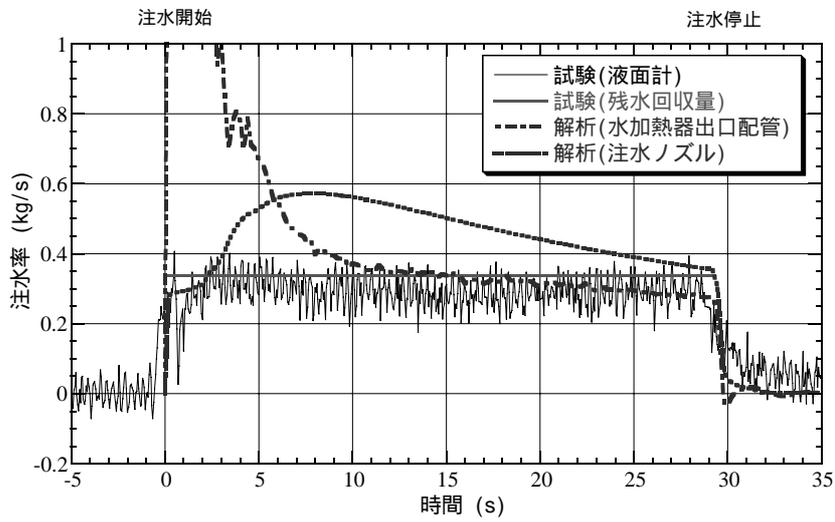


(c) HT-3 試験

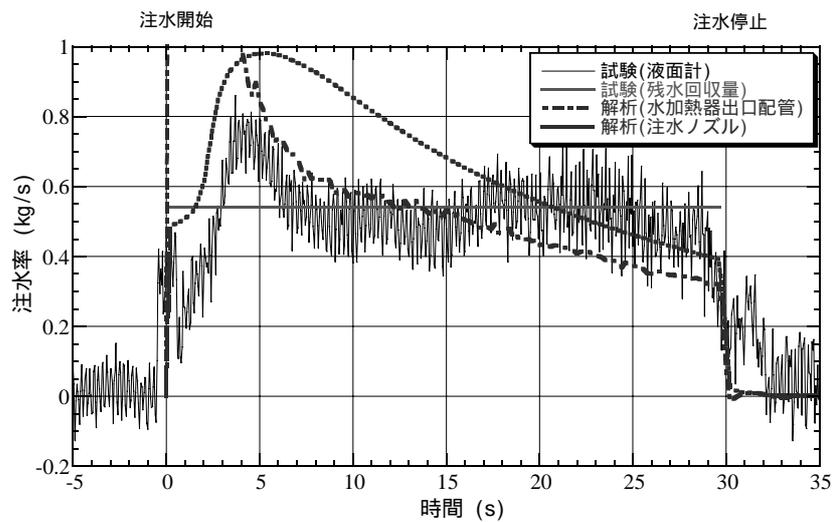
図 5.1.4 圧力計 PI-501 部圧力 (臨界流モデル: 小笠原モデル)



(a) HT-1 試験

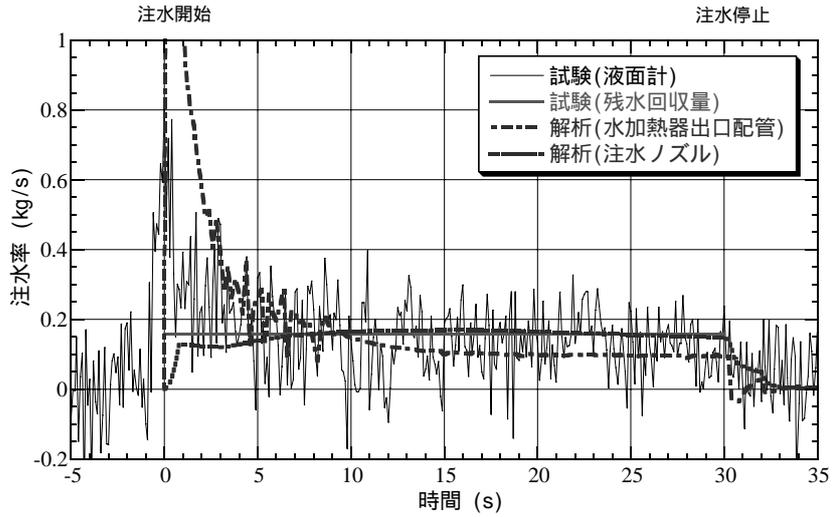


(b) HT-2 試験

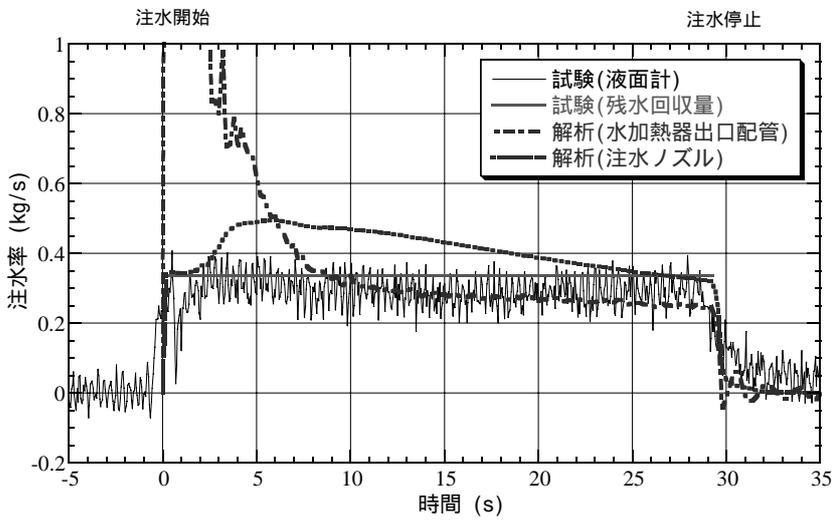


(c) HT-3 試験

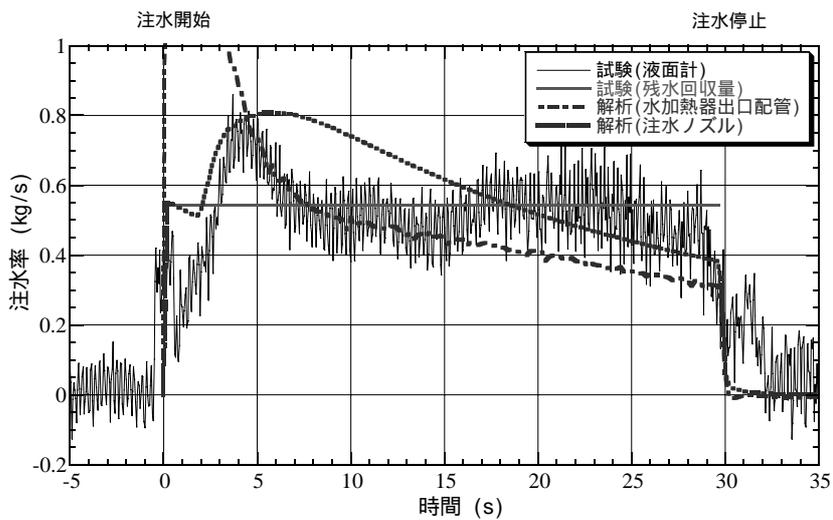
図 5.2.1 注水率 (臨界流モデル: Moody モデル)



(a) HT-1 試験



(b) HT-2 試験



(c) HT-3 試験

図 5.2.2 注水率 (臨界流モデル: 小笠原モデル)

表 A.1 (2/3) LEAP-BLOW SWAT-1R/HT-1 試験体系の検証解析データ (ケース 1.1)

C *	SEP-HEADER	ZTBHD-1	2	3	4	5	VTBHD-1	2	3	4	5	3000	601	(,6)	2	6	09	1.963E-5	0.0050	0.120	+0.000	0.0	/	
2000	401	(1)	1.317	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	C *											/	
C *	SEP-HEADER	ZLGHHD-1										C *											/	
2000	501	(1)	2.100									3000	1001	(,1,1)	1	1	9.294E-4	0.438	1.00	0.438	1.00	1.00	/	
C *	TUBE DATA											3000	1011	(,2)	1	2	9.294E-4	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	/	
C *												3000	1021	(,3)	1	3	9.294E-4	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	/	
C *												3000	1031	(,4)	1	4	9.294E-4	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	/	
C *												3000	1041	(,5)	1	5	9.294E-4	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	/	
C *	OPTION	ITN	IGV	INT	IWL	MST	ERRLG	ERPLG	ERSLG	/		C... OPEN-VALVE	WV-2										/	
3000	1	20	0	100	0	2	20	0.010	0.010	1.0E4	/	3000	1051	(,6)	1	6	1.188E-4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	/	
C *	CHEK VALV	WDCV	J1CV	J2CV	J3CV						/	3000	1061	(2,1)	2	1	1.539E-4	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	/	
C *											/	C... SHUT-VALVE	WV502										/	
3000	31	0	0	0	0						/	3000	1071	(,2)	2	2	1.539E-4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	/	
C *											/	3000	1081	(,3)	2	3	1.267E-4	0.823	1.043	0.823	1.043	1.043	/	
CXX											/	3000	1091	(,4)	2	4	2.552E-5	0.709	1.35	0.709	1.35	1.35	/	
C *	RUPTURE	KCBK	J1BK	J2BK	MPBK	NZBK	ZFBK				/	3000	1101	(,5)	2	5	2.552E-5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	/	
3000	81	0	0	0	0	0	0.60				/	3000	1111	(,6)	2	6	1.963E-5	0.754	0.74	0.754	0.74	0.74	/	
CXX											/	Ca#####	Nozle: Fai=3.7mm	#####								/		
C *	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK	/		3000	1121	(,7)	2	7	1.0752E-5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	/	
3000	91	0	0	0	0	0.000	0.0	1.0	0.1	/	C *											/		
C *											/	C *											/	
C *	PIPE	NSLG	NPLG	ICLG	IFLG	IDLG	WOLG	FHLG		/		3000	1501	(,1,1)	1	1	170.96	351.13	0.999	351.13	0.999	0.999	/	
3000	101	(1)	05	01	02	0	1	0.000	0.0	/	3000	1511	(,2)	1	2	170.90	355.0	0.999	355.0	0.999	0.999	0.999	/	
3000	111	(2)	06	02	03	0	1	0.000	0.0	/	3000	1521	(,3)	1	3	170.80	357.2	0.999	357.2	0.999	0.999	0.999	/	
C *											/	3000	1531	(,4)	1	4	170.70	394.5	0.999	394.5	0.999	0.999	/	
C *	BND.CND.	PBLG11	PBLG0	HLGI	HBLG0					/		3000	1541	(,5)	1	5	170.60	395.0	0.999	395.0	0.999	0.999	/	
3000	301	(1)	170.96	170.00	611.404	611.404	611.404			/	3000	1551	(,6)	1	6	170.50	397.0	0.999	397.0	0.999	0.999	0.999	/	
3000	311	(2)	3.0000	2.122	0.00	0.00	0.00			/	3000	1561	(2,1)	2	1	3.0	396.6	1.001	396.6	1.001	1.001	1.001	/	
C *											/	3000	1571	(,2)	2	2	2.8	398.7	1.001	398.7	1.001	1.001	1.001	/
C *	SECTION	I	J	MSLG	ASLG	DSL	XSLG	ZSLG	FSLG	/		3000	1581	(,3)	2	3	2.5	398.7	1.001	398.7	1.001	1.001	1.001	/
3000	501	(,1,1)	1	09	9.294E-4	0.0344	1.000	+0.000	0.0	/	3000	1591	(,4)	2	4	2.4	395.5	1.001	395.5	1.001	1.001	1.001	/	
3000	511	(,2)	1	2	09	9.294E-4	0.0344	1.925	-1.925	0.0	/	3000	1601	(,5)	2	5	2.3	470.0	1.001	470.0	1.001	1.001	1.001	/
3000	521	(,3)	1	3	09	9.294E-4	0.0344	2.000	+0.000	0.0	/	3000	1611	(,6)	2	6	2.2	470.0	1.001	470.0	1.001	1.001	1.001	/
3000	531	(,4)	1	4	09	9.294E-4	0.0344	1.000	-1.000	0.0	/	3000	1621	(,7)	2	7	2.122	470.0	1.001	470.0	1.001	1.001	1.001	/
3000	541	(,5)	1	5	09	9.294E-4	0.0344	1.300	+0.000	0.0	/	C *											/	
3000	551	(2,1)	2	1	09	2.061E-4	0.0162	3.958	+0.528	0.0	/	C *											/	
3000	561	(,2)	2	2	09	2.061E-4	0.0162	0.950	+0.0	0.0	/	C *											/	
3000	571	(,3)	2	3	09	1.267E-4	0.0127	2.567	-1.40	0.0	/	3000	2001	(,1,1)	1	1	03	0.1081	0.0071	0.141	7843.0	0.00878	0.00878	/
3000	581	(,4)	2	4	09	2.552E-5	0.0057	0.760	-0.76	0.0	/	3000	2011	(,2)	1	2	03	0.1081	0.0071	0.141	7843.0	0.00878	0.00878	/
3000	591	(,5)	2	5	09	2.552E-5	0.0057	1.496	-1.496	0.0	/	3000	2021	(,3)	1	3	03	0.1081	0.0071	0.141	7843.0	0.00878	0.00878	/
											/	3000	2031	(,4)	1	4	03	0.1081	0.0071	0.141	7843.0	0.00878	0.00878	/

表 A.1 (3/3) LEAP-BLOW SWAT-1R/HT-1 試験体系の検証解析データ (ケース 1.1)

3000 2041	(, 5)	1	5	03	0.1081	0.0071	0.141	7843.0	0.00878	/	3000 3221	FNWL1(2)	2.62	2.62	261.88	1047.52	26188.01	/
3000 2051	(2, 1)	2	1	03	0.0509	0.0055	0.141	7843.0	0.00878	/	3000 3226		30062.76	58923.01	92067.21	92067.21		/
3000 2061	(, 2)	2	2	03	0.0509	0.0055	0.141	7843.0	0.00878	/	3000 3231	FNWL2(2)	2.62	2.62	261.88	1047.52	26188.01	/
3000 2071	(, 3)	2	3	03	0.0399	0.0023	0.141	7843.0	0.00878	/	3000 3236		30062.76	58923.01	92067.21	92067.21		/
3000 2081	(, 4)	2	4	03	0.0179	0.0024	0.132	7860.0	0.00470	/	3000 3241	FCVL1(2)	2.62	2.62	261.88	1047.52	26188.01	/
3000 2091	(, 5)	2	5	03	0.0179	0.0024	0.132	7860.0	0.00470	/	3000 3246		30062.76	58923.01	92067.21	92067.21		/
3000 2101	(, 6)	2	6	03	0.0157	0.0134	0.132	7860.0	0.00470	/	3000 3256		30062.76	58923.01	92067.21	92067.21		/
C *											C*							
C *	WALL B.C.	I	J	TOWILG	HF/WLG	QF/WLG					C*							
3000 2501	(1, 1)	1	1	30.0	0.0	0.0				/	C*							
3000 2511	(, 2)	1	2	30.0	0.0	0.0				/	C*	TABLE DATA (HEADER)						
3000 2521	(, 3)	1	3	30.0	0.0	0.0				/	C*							
3000 2531	(, 4)	1	4	30.0	0.0	0.0				/	8000 261	(14)	0.0	1.0E+9				BLOW AREA (SEC)
3000 2541	(, 5)	1	5	30.0	0.0	0.0				/	8000 271		2.181E-3	2.181E-3				2B-sch40 (W2)
3000 2551	(2, 1)	2	1	30.0	0.0	0.0				/	8000 281	(15)	-1.0E9	1.0E9				PRES LOSS (SEC)
3000 2561	(, 2)	2	2	30.0	0.0	0.0				/	8000 291		0.00	0.00				D=3.7MM (-)
3000 2571	(, 3)	2	3	30.0	0.0	0.0				/	C*							
3000 2581	(, 4)	2	4	470.0	0.278	0.0				/	C*	TABLE DATA (TUBE INITIAL)						
3000 2591	(, 5)	2	5	470.0	1.7861	0.0				/	C*							
3000 2601	(, 6)	2	6	470.0	1.7861	0.0				/	C *							
C *											C *	END OF DATA						
C *	WALL B.C.	NTVL	J1VL	J2VL	TS/VL						C *							
C/////	WV-2(OPEN),	WV-502(SHUT)	/////								C*							
3000 3001	(1) 04	01	06	0.00						/	C *							
3000 3011	(2) 09	02	02	0.00						/	C *							
C *											C*							
C+	-----	WV-2 DATA	-----								C	Valve size: 12.3mm-in(15A-sch160)						
3000 3101	T1VL(1)	0.0	0.50	2.30	100.0					/	3000 3111	AOVL(1)	0.0	9.504E-5	1.188E-4	1.188E-4	at FAI 12.3mm	/
3000 3121	FNVL1(1)	75.46	75.46	75.46	75.46					/	3000 3131	FNVL2(1)	75.46	75.46	75.46	75.46		/
3000 3141	FCVL1(1)	75.46	75.46	75.46	75.46					/	3000 3151	FCVL2(1)	75.46	75.46	75.46	75.46		/
C *											C+	-----	WV-502 DATA	-----				
3000 3201	T1VL(2)	0.0	30.0	30.2	30.375	30.50				/	3000 3206		32.0	32.5	33.0	40.0		/
3000 3211	AOVL(2)	1.5394E-4	1.5394E-4	1.5394E-5	7.6969E-6	1.5394E-6				/	3000 3216		7.6969E-7	3.0788E-7	1.5394E-7	0.00000		/

表 A.2 (1/3) LEAP-BLOW SWAT-1R/HT-2 試験体系の検証解析データ (ケース 2.1)

C*	*****	1000	136	(8)	080215	080225	080235	080255	080269	/	QUALITY-2
C*	SWAT-1R/RUN-HT2/KENSYO, WH(P=171.26ATA, T-Liq=350.C, T-gas=351.5.C)	1000	141	(9)	091100	090111	090125	090139	091200	/	VOID-1
C*	*****	1000	146	(10)	090215	090225	090235	090255	090269	/	VOID-2
	TITLE=20A4	C									
	SWAT-1R/RUN-HT2/BLOW (CRIT=2:Moody, ZFBK=0.60, FAI=6.0MM, 300G/S)	1000	151	(11)	011100	010111	010125	010139	011200	/	TEMP-1
C*	MAIN CONTROL DATA	1000	156	(12)	010215	010225	010235	010255	010269	/	TEMP-2
C*		C									
C*	CLHD CLLG CLNA DUMY DUMY CLST SPRT	1000	161	(13)	051100	050111	050125	050139	051200	/	VEL-1
	1000 1 OPTION 5 1 0 0 0 0	1000	166	(14)	050215	050225	050235	050255	050269	/	VEL-2
C	IDT NDT TINT TIMAX DTINT DTMIN DTMAX CPUXK /	C									
1000	11 TIME 1 07 0.0 40.00 0.001 0.001 0.500 30.00 /	1000	171	(15)	101100	100111	100125	100139	101200	/	HTC-1
1000	21 TDTBL(1) 0.00 10.0 30.0 50.0 100. 200. 1.E9 /	1000	176	(16)	100215	100225	100235	100255	100269	/	HTC-2
1000	31 DTTBL(1) 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 /	C									
1000	41 NPTBL(1) 2000 2000 2000 2000 2000 2000 /	1000	181	(17)	111100	110111	110125	110139	111200	/	HELX-1
C*		1000	186	(18)	110215	110225	110235	110255	110269	/	HELX-2
C*	NPRT NPLT DTPRT DTPLT /	C									
1000	51 PLOTOUT 1 1 5.000 0.20 /	1000	191	(19)	061100	061200	061300			/	MASS
C*		C									
C*	OPT. CASE-ID /	C*									
1000	61 RESTART 0 1001 /	C*									
C*		C*									
C*	HEAD LEGS VALV /	C*									
1000	71 NETWORK 03 02 02 /	C*									
C*		C*									
C*	CALC.MDL SLIP CRIT FRIC MULT /	C*									
1000	81 03 02 02 01 /	C*									
1000	91 HEAT-FLW 02 01 00 02 02 /	2000	1	OPTION	IPA	IWL	BDL	FXS	FVI	SVD	DTX
C*		C*									
C*	PLOT-ID (1) (2) (3) (4) (5) /	2000	1	OPTION	1	0	1.000	2.000	0.5	5.0E-7	/
1000	101 (1) 021100 020111 020125 020139 021200 / PRESS-1	C*									
1000	106 (2) 020215 020225 020235 020255 020269 / PRESS-2	C*									
C		C*									
1000	111 (3) 041100 040111 040125 040139 041200 / FLOW-1	C*									
1000	116 (4) 040215 040225 040235 040255 040269 / FLOW-2	C*									
C		C*									
1000	121 (5) 031100 030111 030125 030139 031200 / ENTHAL-1	C*									
1000	126 (6) 030215 030225 030235 030255 030269 / ENTHAL-2	C*									
C		C*									
1000	131 (7) 081100 080111 080125 080139 081200 / QUALITY-1	C*									

表 A.2 (2/3) LEAP-BLOW SWAT-1R/HT-2 試験体系の検証解析データ (ケース 2.1)

C *	SEP-HEADER	ZTBHD-1	2	3	4	5	VTBHD-1	2	3	4	5	3000 581	(,4)	2	4	09	4.778E-5	0.0078	0.760	-0.76	0.0	/
2000	401	(1)	1.722	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3000 591	(,5)	2	5	09	4.778E-5	0.0078	1.496	-1.496	0.0	/
C *	SEP-HEADER	ZLGHHD-1										3000 601	(,6)	2	6	09	2.827E-5	0.0060	0.120	+0.000	0.0	/
C *	SEP-HEADER	ZLGHHD-1										C *										/
2000	501	(1)	2.100									C *	ORIFES	I	J	AOR	FNOR	FNOR	FCOR	FCOR		/
C *	TUBE DATA											3000 1001	(,1,1)	1	1	9.294E-4	0.438	1.00	0.438	1.00		/
C *	TUBE DATA											3000 1011	(,2)	1	2	9.294E-4	0.65	0.65	0.65	0.65		/
C *	TUBE DATA											3000 1021	(,3)	1	3	9.294E-4	0.65	0.65	0.65	0.65		/
C *	OPTION	ITN	IGV	INT	IWL	MST	ERRLG	ERPLG	ERSLG			3000 1031	(,4)	1	4	9.294E-4	0.65	0.65	0.65	0.65		/
3000	1	20	0	100	0	2	20	0.010	0.010	1.0E4		3000 1041	(,5)	1	5	9.294E-4	1.30	1.30	1.30	1.30		/
C *	CHEK VALV	MDCV	J1CV	J2CV	J3CV							3000 1051	(,6)	1	6	1.188E-4	75.46	75.46	75.46	75.46		/
C *	CHEK VALV	MDCV	J1CV	J2CV	J3CV							C...	OPEN-VALVE	WV501								/
3000	31	0	0	0	0							3000 1061	(,2,1)	2	1	1.539E-4	0.0	0.0	0.0	0.0		/
C *	RUPTURE	KCBK	J1BK	J2BK	NPBK	NZBK	ZFBK					C...	SHUT-VALVE	WV502								/
C	RUPTURE	KCBK	J1BK	J2BK	NPBK	NZBK	ZFBK					3000 1071	(,2)	2	2	1.539E-4	0.0	0.0	0.0	0.0		/
3000	81	0	0	0	0	0	0.60					3000 1081	(,3)	2	3	1.267E-4	0.823	1.043	0.823	1.043		/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1091	(,4)	2	4	4.778E-5	0.63	3.076	0.63	3.076		/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1101	(,5)	2	5	4.778E-5	0.00	0.00	0.00	0.00		/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1111	(,6)	2	6	2.827E-5	0.834	1.126	0.834	1.126		/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			C#####	Nozle: Fai=6.00m	#####								/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1121	(,7)	2	7	2.827E-5	0.000	0.000	0.000	0.000		/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			C *										/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			C *	ORIFES	I	J	POOR	TOOR	VOOR				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1501	(,1,1)	1	1	171.26	351.5	0.999				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1511	(,2)	1	2	171.1	380.0	0.999				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1521	(,3)	1	3	171.0	390.0	0.999				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1531	(,4)	1	4	170.8	395.9	0.999				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1541	(,5)	1	5	170.5	390.0	0.999				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1551	(,6)	1	6	170.2	384.5	0.999				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1561	(,2,1)	2	1	4.023	385.4	1.001				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1571	(,2)	2	2	4.00	399.5	1.001				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1581	(,3)	2	3	3.80	398.1	1.001				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1591	(,4)	2	4	3.50	434.0	1.001				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1601	(,5)	2	5	3.00	470.0	1.001				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1611	(,6)	2	6	2.00	470.0	1.001				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 1621	(,7)	2	7	1.834	470.0	1.001				/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			C *										/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			C *	PIPE WALL	I	J	NDW	ASWLG	THWLG	CPWLG	GNWLG	GNWLG	/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 2001	(,1,1)	1	1	03	0.1081	0.0071	0.141	7843.0	0.00878	/
C	PIPE LEAK	KCLK	J1LK	J2LK	J3LK	AXLK	AYLK	ZFLK	TILK			3000 2011	(,2)	1	2	03	0.1081	0.0071	0.141	7843.0	0.00878	/

表 A.2 (3/3) LEAP-BLOW SWAT-1R/HT-2 試験体系の検証解析データ (ケース 2.1)

3000 2021	(,3)	1 3	03	0.1081	0.0071	0.141	7843.0	0.00878	/	3000 3216	7.6969E-7	3.0788E-7	1.5394E-7	0.00000	/		
3000 2031	(,4)	1 4	03	0.1081	0.0071	0.141	7843.0	0.00878	/	3000 3221	FNVL1(2)	2.62	2.62	261.88	1047.52	26188.01	/
3000 2041	(,5)	1 5	03	0.1081	0.0071	0.141	7843.0	0.00878	/	3000 3226	30062.76	58923.01	92067.21	92067.21			/
3000 2051	(,2,1)	2 1	03	0.0509	0.0055	0.141	7843.0	0.00878	/	3000 3231	FNVL2(2)	2.62	2.62	261.88	1047.52	26188.01	/
3000 2061	(,2)	2 2	03	0.0509	0.0055	0.141	7843.0	0.00878	/	3000 3236	30062.76	58923.01	92067.21	92067.21			/
3000 2071	(,3)	2 3	03	0.0399	0.0023	0.141	7843.0	0.00878	/	3000 3241	FCVL1(2)	2.62	2.62	261.88	1047.52	26188.01	/
3000 2081	(,4)	2 4	03	0.0245	0.00225	0.132	7860.0	0.00470	/	3000 3246	30062.76	58923.01	92067.21	92067.21			/
3000 2091	(,5)	2 5	03	0.0245	0.00225	0.132	7860.0	0.00470	/	3000 3251	FCVL2(2)	2.62	2.62	261.88	1047.52	26188.01	/
3000 2101	(,6)	2 6	03	0.0188	0.0129	0.132	7860.0	0.00470	/	3000 3256	30062.76	58923.01	92067.21	92067.21			/
C *									/	C *							/
C *	WALL B.C. I J	TOWILG	HFILWG	QFVLWG					/	C*////////							/
3000 2501	(,1,1)	1 1	30.0	0.0	0.0				/	C*	TABLE DATA (HEADER)						/
3000 2511	(,2)	1 2	30.0	0.0	0.0				/	C*////////							/
3000 2521	(,3)	1 3	30.0	0.0	0.0				/	8000 261	(14)	0.0	1.0E+9				/ RV Header Blow-T(s)/
3000 2531	(,4)	1 4	30.0	0.0	0.0				/	8000 271		1.791E-2	1.791E-2				/ 6B-sch40 (M2) /
3000 2541	(,5)	1 5	30.0	0.0	0.0				/	8000 281		-1.0E9	1.0E9				/ Press-Loss (s) /
3000 2551	(,2,1)	2 1	30.0	0.0	0.0				/	8000 291		0.00	0.00				/ Loss(-), F-in 151mm /
3000 2561	(,2)	2 2	30.0	0.0	0.0				/	C*////////							/
3000 2571	(,3)	2 3	30.0	0.0	0.0				/	C*	TABLE DATA (TUBE INITIAL)						/
3000 2581	(,4)	2 4	470.0	0.278	0.0				/	C*////////							/
3000 2591	(,5)	2 5	470.0	1.7861	0.0				/	C*	END OF DATA						/
3000 2601	(,6)	2 6	470.0	1.7861	0.0				/	C *							/
C *									/	LAST							/
C *	WALL B.C. NTVL J1VL J2VL TSVL								/								/
C////////	WV-501, -502	////////							/								/
3000 3001	(,1)	04	02	01	0.00				/								/
3000 3011	(,2)	09	02	02	0.00				/								/
C *									/								/
C+-----	WV-501 DATA	-----+							/								/
3000 3101	TIVL(,1)	0.0	0.10	0.53	100.0				/								/
3000 3111	AOVL	0.0	1.231E-4	1.539E-4	1.539E-4				/								/
3000 3121	FNVL1	2.62	2.62	2.62	2.62				/								/
3000 3131	FNVL2	2.62	2.62	2.62	2.62				/								/
3000 3141	FCVL1	2.62	2.62	2.62	2.62				/								/
3000 3151	FCVL2	2.62	2.62	2.62	2.62				/								/
C *									/								/
C+-----	WV-502 DATA	-----+							/								/
3000 3201	TIVL(,2)	0.0	29.3	29.5	29.675	29.8			/								/
3000 3206		31.3	31.8	32.3	40.0				/								/
3000 3211	AOVL(,2)	1.5394E-4	1.5394E-4	1.5394E-5	7.6969E-6	1.5394E-6			/								/

付録 B

LEAP-BLOW プロットデータ処理方法（バイナリ テキスト変換）と出力変数指定方法

(1) プロットデータ作成の流れ

図 B.1 より LEAP-BLOW コードの時系列計算データをプロットするためには、あらかじめ解析用入力データ中でプロット出力変数（解析結果の評価に必要な物理量とその出力部位）の指定を行う必要がある。ここで指定した物理量はバイナリ形式のプロットファイル（中間ファイル）に格納されるため、変換プログラム（バイナリ テキスト変換）によってテキスト形式のプロットファイルに変換する必要がある。なお、プロット出力変数の内容と指定方法は、(3)プロット出力変数の指定方法に詳述する。

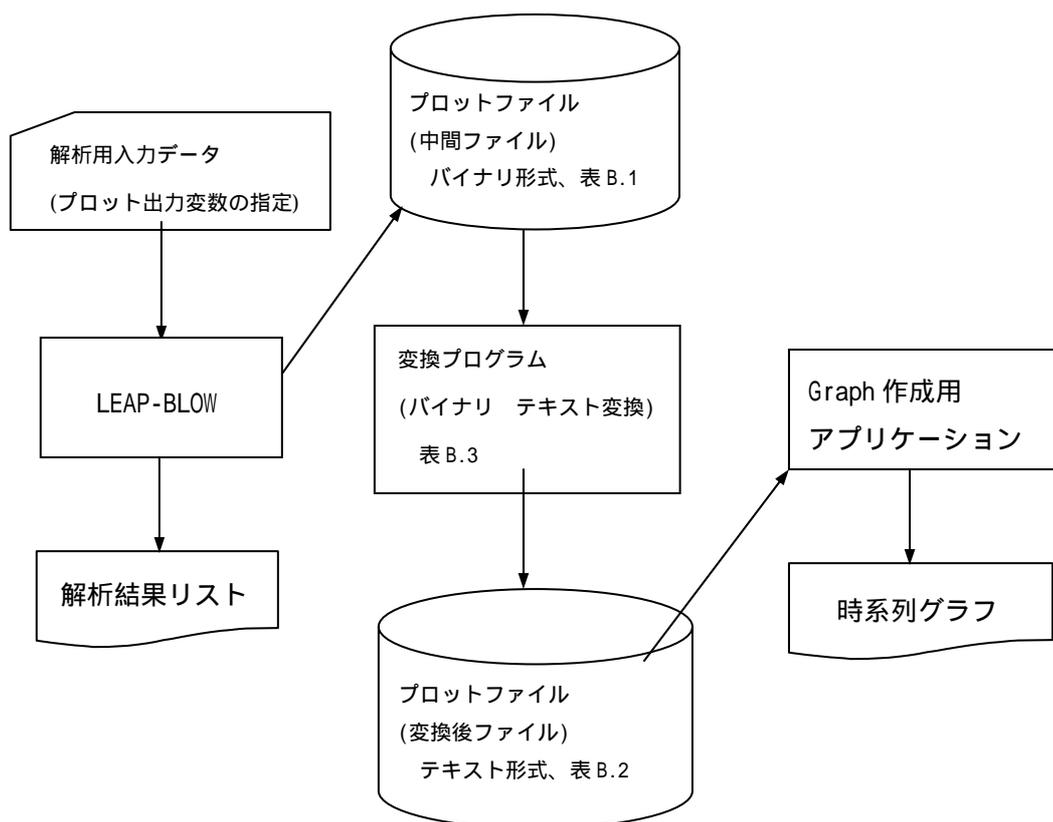


図 B.1 プロットデータ作成フロー図

(2) プロットファイル (中間ファイル) とその変換プログラム

図 B.1 で示した 2 つのプロットファイル (バイナリ形式の中間ファイル、テキスト形式の変換後ファイル) のデータ形式をそれぞれ表 B.1、表 B.2 に示す。また、表 B.3 には変換プログラム (バイナリ テキスト変換) のリストに示す。

表 B.1 プロットファイル (バイナリ形式の中間ファイル) のデータ形式

```
( 中間ファイルのデータを変数に読込むプログラムより抜粋 )
DIMENSION TS(20), XDT(250), YDT(250,100)
READ(ID) TS
READ(ID) NG, NP, MG

DO 1 I=1, NP
    READ(ID) XDT(I), (YDT(I,J), J=1, MG)
1 CONTINUE
```

注 : プログラム内変数の内容

TS : タイトル (文字型 80 文字、20A4)

NG : グラフの組数 (1 NG 20、出力変数 5(個 / 組))

NP : 出力変数のデータプロット点数 (1 NP 250) . . . 全変数共通

MG : 出力変数 (物理量) の総数 (NG × 5、最大 100)

XDT : X 軸データ (時間 ; 秒)

YDT : Y 軸データ (任意に指定した出力変数)

表 B.2 プロットファイル (テキスト形式の変換後ファイル) のデータ形式

X 軸データ	変数 1	変数 2	変数 3	変数 4	変数 5	
(時系列)						
XV(1),	YV(1,1,1),	YV(1,2,1),	YV(1,3,1),	YV(1,4,1),	YV(1,5,1)	出力変数 (1 組目)
XV(NP),	YV(NP,1,1),	YV(NP,2,1),	YV(NP,3,1),	YV(NP,4,1),	YV(NP,5,1)	
空白行						
(中 略)						
XV(1),	YV(1,1,NGR),	YV(1,2,NGR),	YV(1,3,NGR),	YV(1,4,NGR),	YV(1,5,NGR)	出力変数 (最終組=NGR)
XV(NP),	YV(NP,1,NGR),	YV(NP,2,NGR),	YV(NP,3,NGR),	YV(NP,4,NGR),	YV(NP,5,NGR)	
空白行						

注：プロット変数の内容

NP : 出力変数のデータプロット点数 (1 NP 250) . . . 全変数共通

NGR : 出力変数の組数 (1 NGR 20)

表 B.3 変換プログラム (バイナリ テキスト変換) のリスト

```

C*****
C   PROGRAM   PLOTFX ( FT01,FT06 )
C*****
C
C   COMMON / CALCM /
C   1   ITIT(20), XV(250), YV(250,5,20), PDAT(100),
C   2   ID1(10), ID2(10), PDT(10)
C   CHARACTER*32 FT01,FT06
C...
C   OPEN ( 1,FILE=FT01,FORM='UNFORMATTED' )
C   OPEN ( 6,FILE=FT06 )
C
C.... READ .....
C
C   READ ( 5) ITIT
C   READ ( 5) NGR,NP,MAXP
C   DO 1130 J= 1,NP
C     READ ( 5) XV(J), (PDAT(K),K=1,MAXP)
C     DO 1120 N= 1,NGR
C       DO 1110 I= 1,5
C         K      = (N-1)*5+I
C         YV(J, I,N) = PDAT(K)
C1110   CONTINUE
C1120   CONTINUE
C1130   CONTINUE
C
C.... MAX,MIN .....
C
C   DO 1220 I= 1,NGR
C     DO 1210 J= 1,250
C       IF (J.LE.NP)   WRITE( 6,6010) XV(J), (YV(J,K,I),K=1,5)
C1210   IF (J.GE.NP)   WRITE( 6,6020)
C1220   CONTINUE
C
C.... FORMAT .....
C
C6010 FORMAT (1H ,6(1PE12.4))
C6020 FORMAT (1H )
C
C   STOP
C   END

```

(3) プロット出力変数の指定方法

解析用入力データ中で指定するプロット出力変数（解析結果の評価に必要となる物理量とその出力部位）の指定方法について説明する。

表 B.4 より、出力指定する物理量は 11 変数で、次の 6 桁の数値（AABBCD）を用いて出力指定を行う。

出力変数の指定形式（6 桁）：AABBCD

AA：出力する物理量（表 B.4 の変数）

BB：出力する配管番号（1～9：水系配管、11～19：水系ヘッド、
91～95：ナトリウム系）

C：出力する配管セクション番号

D：出力するノード番号

留意事項として、出力する物理量と指定箇所の組み合わせによっては出力できない場合もあるため（例えば、クオリティとナトリウム）、この場合はプリント出力に警告を出力して実際の出力は行われぬ。

表 B.4 プロット出力の変数と部位の対応表

AA	変数	単位	水系配管	水系ヘッド	ナトリウム系
01	温度		TTLG	TAHD	TXNA
02	圧力	MPa	PPLG	PAHD	×
03	エンタルピ	MJ/kg	HHLG	HAHD	×
04	流量	kg/s	(GGLG)	FBLHD	FANA
05	流速	m/s	(GGLG)	(FBLHD)	×
06	質量	kg	(RRLG)	WAHD	×
07	比重量	kg/m ³	RRLG	RAHD	×
08	クオリティ	%	XXLG	XHHD	×
09	ボイド率	%	VRLG	VAHD	×
10	熱伝達率	MW/(m ² ·K)	HFWL	HFWD	H1NA
11	熱流束	MW/m ²	QHLG	QHHD	×
部位指定	BB		配管番号	プレナム	流路番号
	C		セクション	-	CD 二桁で
	D		ノード	-	ノード指定

注記：水系プレナムに 2 つまで設置できるブロー弁の物理量

BB でプレナム番号を指定し、C でブロー弁番号を指定。

注：×印は出力できない組み合わせを示す。() で記載の物理量は解析コード内で直接計算していないが、() に記した関連する変数より求めている。

付録 C

LEAP-BLOW 計算結果出力形式 (1/8)

入力データのプリント出力		*** READIN-INPUT CARD LIST (CARD IMAGE) ***							
カード番号	→	1	2	3	4	5	6	7	8
CARD NO. = 1	↓	C*****							
CARD NO. = 2		C*	PROGRAM NAME = LEAP					*	
CARD NO. = 3		C*****							
CARD NO. = 4		TITLE=20M4						/	
CARD NO. = 5		50MFT SG BLOW DOWN CALCULATION						/	
CARD NO. = 6		C*						/	
CARD NO. = 7		C*	MAIN CONTROL DATA					/	
		:							
		:							
		:							
		:							
CARD NO. = 342		8000	891	0.0	0.0			/	
CARD NO. = 343		C*						/	
CARD NO. = 344		C*			END OF DATA			/	
CARD NO. = 345		C*						/	
CARD NO. = 346		LAST						/	

..... CASE END THERE IS NO ERROR AND RETURN TO MAIN PROGRAM (SUB. READIN)

入力データ読み終了メッセージ

LEAP-BLOW 計算結果出力形式 (2/8)

ケースタイトル 50MW SC BLOW DOWN CALCULATION ページ番号
PAGE 1

TIME -10.00000 SEC ***** INITIAL CONDITIONS OF TUBES *****

水系配管初期値出力

配管番号	分節数	シジョン番号	流路断面積	等価直径	長さ	壁面との接触面積	管壁厚さ	管壁熱伝導率	体積	重量
J1 J2	MSH	C. SCTN	EQ. DIA.	LENGTH	WET PER	WAL	THC	HEATCON	VOLUME	INVENTY
			-M2-	-M-	-M-	-MM-	K/MSEC	-M3-		-KG-
1	1	6	.0130	.1288	5.5550	.4046	18.2000	.0130	.14	118.93
1	2	6	.0130	.1288	5.5550	.4046	18.2000	.0130		
5	4	3	.0159	.0248	2.9360	2.5089	3.8000	.0130		
6	1	5	.0130	.1288	5.3280	.4046	18.2000	.0130	.23	8.68
6	2	8	.0130	.1288	12.0200	.4046	18.2000	.0130		
:										
:										
J1 J2	PRESSURE	ORIF. CS	P. LOSS	-M PA-	臨界流速発生時リアス圧損(正流)	臨界流速発生時リアス圧損(逆流)				
1	1	13.006	.0130	3.3871	6.7743	3.3871	6.7743			
1	2	13.005	.0130	.0000	.0000	.0000	.0000			
6	2	11.914	.0130	.0000	.0000	.0000	.0000			
6	3	11.884	.0130	.0000	.0000	.0000	.0000			

LEAP-BLOW 計算結果出力形式 (3/8)

水系配管初期値出力その2

配管番号	セクション番号	圧力	エンタルピー	密度	クオリティ	流量	流速	体積流量	温度	壁面内側温度	外側温度	熱流束
J1 J2 J3	PRESE	M PA	MJ/KG	KG/M3	QUALITY	FLWRAT	FLOW	M3/HR	WSTEMP	WALL-I	WALL-O	H. FLOW
					-%	KG/M2S	KG/S		DEG. C	DEG. C	DEG. C	MJ/M2S
1	1	13.006	1.039	823.43	.00	1709.2	22.22	97.1	239.49			
	2	13.006	1.039	823.43	.00	1709.2	22.22	97.1	239.49			
	3	13.006	1.039	823.43	.00	1709.2	22.22	97.1	239.49			
2	4	12.873	2.257	210.72	63.90	1461.8	22.22	379.6	333.82	333.27	350.44	.23760
	2	12.858	2.324	201.01	69.81	1461.8	22.22	398.0	333.72	333.27	350.33	.23760

水系プレナム部初期値出力

50MWT SG BLOW DOWN CALCULATION

TIME -10.00000 SEC --- INITIAL CONDITIONS AND DIMENSIONS OF RISERVOIRS ---

ヘッダ番号 ヘッダ計算モデル

*** LOWER HEADER NO. 1 HOMOGENEOUS MODEL ***

*** LOWER HEADER NO. 2 HOMOGENEOUS MODEL ***

*** LOWER HEADER NO. 6 HOMOGENEOUS MODEL ***

*** LOWER HEADER NO. 7 HOMOGENEOUS MODEL ***

PAGE 3

LEAP-BLOW 計算結果出力形式 (4/8)

水系ブレナム初期値出力その2

*** HEADER ***

	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4	NO. 5	NO. 6	NO. 7	ヘッダ番号
OPRESSURE (M PA)	13. 01389	12. 99428	12. 55296	12. 53335	12. 50392	11. 96454	11. 94493	← 圧力
VOLUME (M**3)	. 05200	. 19000	. 23800	. 08800	. 17800	. 21200	. 13000	← 体積
TEMPERATURE (DEG C)	240. 000	240. 000	366. 000	366. 000	366. 000	487. 000	487. 000	← 温度
WALL THICK (MM)	18. 200	40. 000	55. 000	18. 200	40. 000	55. 000	18. 200	← 壁厚
SURFACE AREA (M**2)	1. 620	2. 177	2. 068	2. 726	2. 036	1. 843	4. 050	← 表面積
HEAT CONDT. (K/M*S*C)	. 01300	. 01300	. 01300	. 01300	. 01300	. 01300	. 01300	← 壁面熱伝導率
WATER INVT. (KG)	42. 823	156. 463	. 000	. 000	. 000	. 000	. 000	← 水重量
STEAM INVT. (KG)	. 000	. 000	13. 627	5. 027	10. 134	8. 118	4. 969	← 蒸気重量
TOTAL ENERGY (MJ)	4. 37886E+01	1. 59996E+02	3. 65486E+01	1. 34858E+01	2. 71934E+01	2. 43822E+01	1. 49249E+01	← エネルギー
ENTHALPY (MJ/KG)	1. 03836	1. 03836	2. 90136	2. 90204	2. 90306	3. 31587	3. 31614	← エンタルピ

配管境界条件

*** CALCULATION RESULTS FOR THE STEADY STATE ***

配管番号	境界圧力	流入圧力	流入流量	流量をパラメータとした場合の計算流量	局所圧損係数をパラメータにした場合の局所圧損係数に係るファクター
JT IT NO.	BOUND. PRES.	GUESS PRES.	INPUT MASS	CALC. MASS	PRES. FACT.
1	2	12. 9943	12. 9943	. 0000	6. 7743
2	2	12. 5530	12. 5529	. 0000	8. 4370
3	51	12. 5333	12. 4791	. 0000	. 0000 (NOT CONVERGED)
4	51	12. 5039	12. 4991	. 0000	. 0000 (NOT CONVERGED)
5	51	11. 9645	12. 0024	. 0000	10. 0000 (NOT CONVERGED)
6	51	11. 9449	11. 8837	. 0000	. 0000 (NOT CONVERGED)

LEAP-BLOW 計算結果出力形式 (5/8)

50MWt SG BLOW DOWN CALCULATION

PAGE 4

=== TIME : -10.00 (SEC) ===

ナトリウム系初期値出力									
プレナム温度									
PLENUM :	476.00	320.00	515.00	476.00					
事故SGリーク部	SG隣接部	SG健全部	健全SG伝熱管部	SG間管部					
ナトリウム温度	ナトリウム温度	ナトリウム温度	ナトリウム温度	ナトリウム温度					
構造材温度	構造材温度	構造材温度	構造材温度	構造材温度					
LEAK	TARGET	NORMAL	2ND SG	PIPE					
--TNA--TW2	--TNA--TW2	--TNA--TW2	--TNA--TW2	--TNA--TW2					
476.00 473.11	476.00 473.11	476.00 473.11	515.00 513.92	476.00 476.00					
470.22 467.33	470.22 467.33	470.22 467.33	512.83 511.75	476.00 476.00					
:	:	:	:	:					
331.56 328.67	331.56 328.67	331.56 328.67	.00 .00	.00 .00					
325.78 322.89	325.78 322.89	325.78 322.89	.00 .00	.00 .00					
320.00	320.00	320.00	.00	.00					

LEAP-BLOW 計算結果出力形式 (6/8)

50MWT SG BLOW DOWN CALCULATION

PAGE 50

過渡状態計算結果出力

時間 ↓

ステップ ↓

TIME 30.02000 SEC STEP 2001 ITERATION IN MAIN

水系プレナム部出力

*** HEADER ***

	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4	NO. 5	NO. 6	NO. 7	ヘッダ番号
PRESSURE (M PA)	11.80902	11.82515	11.74612	11.72637	11.71812	11.56284	11.54471	← 圧力
TEMPERATURE (DEG C)	239.405	239.257	399.870	388.515	384.996	501.403	500.338	← 温度
WATER INVT. (KG)	42.785	156.371	.000	.000	.000	.000	.000	← 水重量
STEAM INVT. (KG)	.000	.000	11.127	7.071	12.091	8.612	5.514	← 蒸気重量
TOTAL ENERGY (MJ)	4.37985E+01	1.59962E+02	3.12448E+01	2.03226E+01	3.42774E+01	2.64648E+01	1.70019E+01	← エネルギー
ENTHALPHY (MJ/KG)	1.03803	1.03734	3.06932	3.02011	3.00755	3.35784	3.35528	← エンタルピー
SAT. WATER (MJ/KG)	1.48341	1.48406	1.48084	1.48003	1.47969	1.47332	1.47258	← 飽和水エンタルピー
SAT. STEAM (MJ/KG)	2.69240	2.69207	2.69370	2.69411	2.69428	2.69744	2.69781	← 飽和蒸気エンタルピー
WALL TEMP. (DEG C)	240.000	240.000	366.000	366.000	366.000	487.000	487.000	← 壁温度
VOID RATIO (-%)	.000	.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	← ボイド率
QUALITY (-%)	.000	.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	← クオリティ

50MWT SG BLOW DOWN CALCULATION

PAGE 51

タイムステップ ↓

TIME 30.02000 SEC DT .020000 SEC

配管番号 ↓

イタレーション回数 ↓

TUBE NO. = 1 ITERATION IN LEGFLOW 2

TUBE NO. = 2 ITERATION IN LEGFLOW 12

TUBE NO. = 6 ITERATION IN LEGFLOW 2

LEAP-BLOW 計算結果出力形式 (7/8)

水系配管出力												
配管番号	配管番号	圧力	エンタルピー	密度	クオリティ	流量	流速	体積流量	温度	壁面内側温度	外側温度	熱流束
J1	J2	J3	PRESER	ENTLPI	DENSITY	FLWRAT	FLOW	VOL FL	WSTEMP	WALL-I	WALL-O	H. FLOW
M	PA	MJ/KG	KG/M3	%	KG/M2S	M3/HR	KG/S	M3/HR	DEG. C	DEG. C	DEG. C	MJ/M2S
1	1	11.809	1.038	822.37	.00	165.8	2.15	9.4	239.40			
2	1	11.810	1.038	822.36	.00	165.6	2.15	9.4	239.41			
3	1	11.812	1.038	822.36	.00	165.5	2.15	9.4	239.41			
2	3	11.825	1.554	471.46	5.82	377.7	5.74	43.8	326.23	328.45	330.36	.04390

50MWt SG BLOW DOWN CALCULATION

=== TIME : 30.02 (SEC) ===

プレートナム温度

プレートナム系出力									
プレートナム温度	事故SGリーク部	SG隣接部	SG健全部	健全SG伝熱管部	SG間管部				
LEAK	TNA	TW2	TNA	TW2	TNA				
478.53	473.11	470.84	478.53	473.11	515.00				
368.18	322.89	299.43	315.03	368.18	322.89				
362.40	287.43	287.43	362.40	362.40	362.40				
478.53	301.80	515.00	475.09						
プレートナム温度	事故SGリーク部	SG隣接部	SG健全部	健全SG伝熱管部	SG間管部				
LEAK	TNA	TW2	TNA	TW2	TNA				
478.53	473.11	470.84	478.53	473.11	515.00				
368.18	322.89	299.43	315.03	368.18	322.89				
362.40	287.43	287.43	362.40	362.40	362.40				

PAGE 52

LEAP-BLOW 計算結果出力形式 (8/8)

計算結果プロット出力情報

PLOTTER DUMP DATA

NAME	NG	NC	NP	START	END	MAX	MIN	時間
出力グループ番号	列番号	出力点数	開始	終了	最大	最小		
			→	→	→	→	→	←
XV		25	2.000E-02	2.924E+01	2.924E+01	2.000E-02		
YV	1	25	1.426E+01	1.186E+01	1.426E+01	1.186E+01		物性値 1
YV	1	25	1.397E+01	1.177E+01	1.397E+01	1.177E+01		物性値 2
YV	1	3	1.414E+01	1.174E+01	1.414E+01	1.174E+01		
			:	:	:	:		
YV	10	3	4.682E+02	4.711E+02	4.839E+02	4.682E+02		
YV	10	4	4.647E+02	4.757E+02	4.807E+02	4.647E+02		
YV	10	5	4.642E+02	4.784E+02	4.806E+02	4.642E+02		

計算終了メッセージ

***** CASE END (LEAP - BLOW VER.1) *****

付録 D**初期の液面計検知長さ(電圧値)からの水加熱器内液面下保有水量の計算**

図 4.6.1 より水加熱器の分離モデル化を行うためには、注水開始直前の液面下保有水量を決める必要がある。ここでは SWAT-1R HT-3 試験の液面計の検知長さ(電圧値)より液面下保有水量を計算する例を詳述する。

(1) 瞬時値(温度)から容器の熱膨張を計算

水加熱器内のヘッド・内径 in を入力し、高さ方向・径方向の熱膨張長さを算出する。

熱膨張計算式(m) $L=L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T)$

ここで、L: 熱膨張後の長さ (m)

L_0 : 熱膨張前の長さ (m)・・・常温スパン調整時の最大ヘッド

α : 線膨張係数 ($1/^\circ\text{C}$) = 18.0×10^{-6}

T: 熱膨張前後の温度差(= $T_0 - T_1$)

但し、 T_0 (熱膨張後温度)=349 ……WH 外壁中部温度(試験値)

T_1 (熱膨張前温度)=10 ……常温

L_0 (熱膨張前の長さ)とは常温スパン調整時の最大ヘッドであり、これは、図 D.1 の水加熱器液位計(L-1)の校正結果より、最大保有水量 62L(横軸)に対する圧力電圧値 4.6V(縦軸)から算出したヘッドである。

常温スパン調整時の最大ヘッド L_0 :

$L_0 = \text{容積} / \text{断面積}$ より $L_0 = 0.062 / 0.03444 \cdot 1.80(\text{mH}_2\text{O}) = 1800.0(\text{mmH}_2\text{O})$

以上により、熱膨張後の長さは以下となる。

高さ方向: $LH = 1800.0 \times (1 + 18.0 \times 10^{-6} \times (349 - 10)) = 1810.98(\text{mmH}_2\text{O})$

径方向: $LW = 209.4 \times (1 + 18.0 \times 10^{-6} \times (349 - 10)) = 210.7$

(2) 熱膨張による液面計検知長さの補正計算

図 D.1 の常温での水加熱器液面計(L-1)の校正結果より

0-1800 (mm) 1-4.600 (V)

0-18xx (mm) 1-VMAX (V)

但し、18xx は(1)で求めた $LH = 1810.98(\text{mmH}_2\text{O})$

電圧値 $V_{MAX} = 1810.98 / 1800 \times 4.600 = 4.628(\text{V})$

(3) 常温での 0-1810.98(mmH₂O) に対応する圧力スパン 0- P(Pa) の計算

圧力スパン(Pa) : $P = \rho \cdot g \cdot h$ 但し、 $\rho = 999(\text{kg}/\text{m}^3)$ at 16()

$$P = 999 \times 9.80 \times 1810.98 \times 10^{-3} = 1.773 \times 10^4 (\text{Pa})$$

(4) 初期温度における密度 ρ による検知長さ 0- h(m) の補正

(3) で求めた P を用いる (常温時と昇圧した試験時の静圧 P は一定)。

検知長さ : $h = P / (\rho \cdot g) = 1.773 \times 10^4 / (589.60 \times 9.80) = 3.0684(\text{m})$

ここで、初期の水加熱器内条件 (15.739MPa, 346) の飽和水密度 $\rho = 589.60(\text{kg}/\text{m}^3)$

(5) 初期の液位 (電圧値) から実際の液面高さの計算

(2) で求めた 1-VMAX (V) 及び (4) で求めた 0- h(m) と液位電圧値 (瞬時値) から求める。

試験収録データから注水開始時の液位電圧値 L1 は L1=2.790(V) になる。

液面高さ:

$$\begin{aligned} \text{head} &= h / (V_{\text{MAX}} - 1) \times (\text{電圧値} - 1) \\ &= 3.0684 / (4.628 - 1) \times (2.790 - 1) \\ &= 1.5139(\text{mH}_2\text{O}) \end{aligned}$$

(6) 液面高さより飽和水量の計算

(5) で求めた液面高さ head=1.5139(mH₂O) より初期飽和水量 W1 を求める。熱膨張を考慮した WH の断面積 S と (5) で算出した液面高さ head より、

$$W1 = S \cdot \text{head}$$

ここで、飽和水密度 ρ 、熱膨張後の断面積 S

$$W1 = (\pi / 4) \times (0.2107)^2 \times 1.5139 \times 589.60 = 31.122(\text{kg})$$

(7) 液面下保有水量の計算

(6) より、液面計測定範囲の保有水 W1=31.122(kg)

下部プレナム部の容量 (W2 の容量) $6.9 \times 10^{-3}(\text{m}^3)$ より、

$$W2 = 6.9 \times 10^{-3} \times 589.60 = 4.068(\text{kg})$$

$$\text{全液面下保有水量 } W_{\text{OHD}} = W1 + W2 = 31.122 + 4.068 = \underline{35.19(\text{kg})}$$

(8) 初期のボイド率

$$\text{初期ボイド率 } V_{\text{OHD}} = (75.0 - (52.78 + 6.9)) / 75.0 = 0.204(-)$$

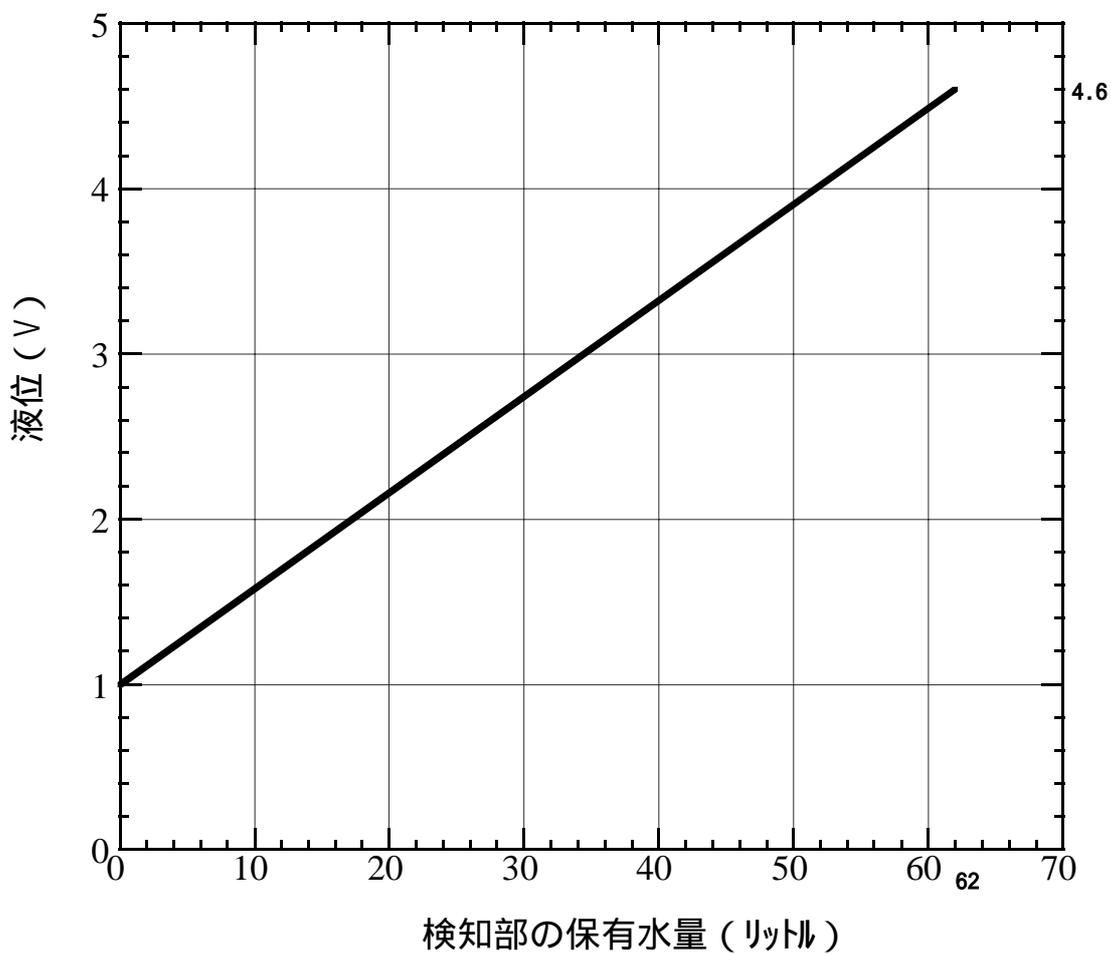
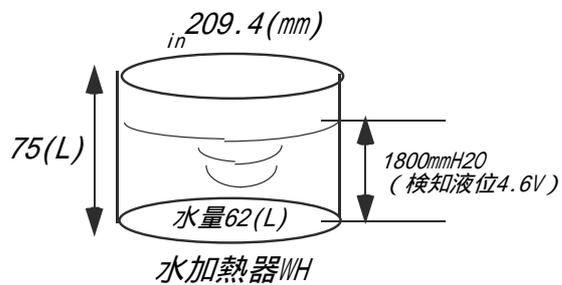


図 D.1 SWAT-1R 水加熱器液面計(L-1)の校正結果

付録 E 計算モデルの相関式

本検証解析で使用した各計算モデルの相関式を示す。

1. スリップ相関式 (Smith モデル) について

スリップ比 S およびボイド率 α はクオリティ X の関数として計算する。

$$S = e + (1 - e) \left\{ \frac{\rho_l + e \left(\frac{1}{X} - 1 \right)}{\rho_g} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{X} - 1 \right) \frac{\rho_g}{\rho_l} S}$$

$$e = 0.4$$

ここで

$S(-)$: スリップ比

$\alpha(-)$: ボイド率

$X(-)$: クオリティ

$\rho_l (\text{kg/m}^3)$: 飽和水密度

$\rho_g (\text{kg/m}^3)$: 飽和蒸気密度

2. 二相流管摩擦圧損増倍係数について

二相流管摩擦圧損増倍係数モデル :

Thom(1.724MPa[250psi]以上)+Martinelli-Nelson(1.724MPa[250psi]未満)の組み合わせ

二相流管摩擦圧損増倍係数を用い下式により圧力損失が与えられる。

$$\Delta P = P_A - P_B = f_0 \frac{G_a^2}{2\rho_l A^2} \phi^2$$

ここで

$\Delta P (\text{Pa})$: 局所圧損

$P_A (\text{Pa})$: オリフィス前の圧力

P_B (Pa) : オリフィス後の圧力

G_a (kg/s) : 流量

A (m²) : 流路面積

ρ_l (kg/m³) : 液相密度

f_0 (-) : 局所圧損係数

ϕ^2 (-) : 二相増倍係数

Thom の式については、コード内で数表を用いてクオリティと圧力に関して内挿し、増倍係数を得る。

Martinelli-Nelson の式については、以下のように計算される。

$$\phi^2 = \phi_0^2 (1-x)^{1.75}$$

ここで

$$\phi_0^2 = (1-X^{-0.636})^{2.75}$$

$$X = \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0.143} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0.571} \frac{1-x}{x}$$

なお

x (-) : クオリティ

ρ_l (kg/m³) : 飽和水密度

ρ_g (kg/m³) : 飽和蒸気密度

μ_l (Pa·s) : 飽和水粘性係数

μ_g (Pa·s) : 飽和蒸気粘性係数

3. 臨界流量計算モデルについて

本検証解析で使用した臨界流モデル計算オプション (MCRIT=1,2,3) に組込まれている臨界流量計算モデルについて示す。

臨界流モデル計算オプション：MCRIT

MCRIT=1：小笠原の式（二相領域のみ / 固有値法）

MCRIT=2：下記の組合せテーブル関数

- ・サブクール領域 : Henry-Fauske の式
- ・二相領域 : Moody の式
- ・過熱蒸気領域 : 断熱噴流の式

MCRIT=3：下記の組合せテーブル関数

- ・サブクール領域 : Henry-Fauske の式
- ・二相領域 : 小笠原の式
- ・過熱蒸気領域 : 単相流理論式

LEAP-BLOW コードの臨界流量は、以下に示す臨界流量計算モデルの組合せにより求められる。

ここで、

G	: 単位面積流量	H	: エンタルピ
P	: 圧力	N	: 実験パラメータ
S*	: スリップ比	S	: エントロピ
V	: 比容積	X	: クオリティ
	: ボイド率		: 断熱指数
	: 臨界圧力比		: 密度

添え字は、

S	: 境界	C	: 臨界部
L	: 液相	G	: 気相

をそれぞれ示している。

a. Henry-Fauske の式 (サブクール領域)

以下に、Henry-Fauske の式を示す。境界圧力及び境界エンタルピを与えて、臨界圧力比と臨界流量を求める式を連立させて解き、臨界圧力及び臨界流量を得る。

$$\eta = 1 - \frac{V_{LS} G_C^2}{2P_S} \quad \eta = \frac{P_C}{P_S}$$

$$G_C^2 = \left[(V_{GC} - V_{LS}) \frac{N}{S_{GC} - S_{LC}} \frac{dS_{LC}}{dP} \right]_S^{-1}$$

$$N = \frac{X_C}{0.14} \quad \text{ただし、} 0 \leq N \leq 1$$

b. Moody の式 (二相領域)

以下に、Moody の式を示す。境界圧力及び境界エンタルピを与えて、流量が最大となる臨界圧力を収束計算で求め、この流量を臨界流量とする。

$$G = \sqrt{\frac{2 \cdot \left[H_S - H_L - \frac{H_{GL}}{S_{GL}} (S_S - S_L) \right]}{\left[\frac{S^* (S_G - S_S) V_L}{S_{GL}} + \frac{(S_S - S_L) V_G}{S_{GL}} \right]^2 \left[\frac{S_S - S_L}{S_{GL}} + \frac{S_G - S_S}{S^{*2} S_{GL}} \right]}}$$

$$S^* = \left(\frac{V_G}{V_L} \right)^{\frac{1}{3}} \quad H_{GL} = H_G - H_L \quad S_{GL} = S_G - S_L$$

$$\frac{dG_C}{dP_C} = 0$$

c. 小笠原の式 (二相領域)

以下に、小笠原の式を示す。境界圧力及び境界エンタルピを与えて、臨界圧力及び臨界流量を収束計算により求める。

$$G = \frac{S^* \rho_L \rho_G}{X \rho_L + S^* (1 - X) \rho_G} V_L$$

$$\begin{aligned}
 & (S^* - 1)^2 \{1 - X(S^* + 1)\} \xi \left(\frac{V_L^2}{g} \right)^2 \\
 & + 2F \frac{V_L^2}{g} - 2M^2 (H_G - H_L) \frac{1}{S^* \rho_G \rho_L} = 0 \\
 \\
 F &= [\rho_L \{1 + 2(S^* - 1)X\} - S^* \rho_G \{2 - S^* + 2(S^* - 1)X\}] \eta \\
 & + \{1 + (S^* - 1)X\} \xi (H_G - H_L) \\
 & - M \left\{ [2 + 3(S^{*2} - 1)X] \frac{1}{2S^* \rho_G} - [3 - S^{*3} + 3(S^{*2} - 1)X] \frac{1}{2\rho_L} \right\} \\
 \\
 M &= X\rho_L + (1 - X)S^* \rho_G \\
 \xi &= \frac{X\rho_L}{\rho_G} \frac{\partial \rho_G}{\partial P} + \frac{(1 - X)S^* \rho_G}{\rho_L} \frac{\partial \rho_L}{\partial P} \\
 \eta &= X \frac{\partial H_G}{\partial P} + (1 - X) \frac{\partial H_L}{\partial P}
 \end{aligned}$$

d. 単相流理論式（過熱蒸気領域）

下記の単相流理論式により、臨界圧力点の物性値を用いて臨界流量を得る。

$$G_C = \rho \sqrt{\frac{\rho}{\left(\frac{\partial \rho}{\partial H}\right)_P + \rho \left(\frac{\partial \rho}{\partial P}\right)_H}}$$

e. 断熱噴流の式（過熱蒸気領域）

下記の断熱噴流の式により、臨界圧力比及び臨界流量を得る。

$$\begin{aligned}
 G_C &= \sqrt{\rho \gamma P_s \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}} \\
 P_C &= P_s \eta = P_s \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}
 \end{aligned}$$

4. 熱伝達モデルについて

解析条件に使用した各熱伝達モデルに関する関係式を以下に示す。

a. サブクール領域 / 森・中山の液相の式：

$$\text{Nu} = \frac{1}{41} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}^{0.6} - 0.062} \text{Re}^{\frac{5}{6}} \left(\frac{\text{di}}{\text{D}} \right)^{\frac{1}{12}} \left[1 + \frac{0.061}{\left\{ \text{Re} \left(\frac{\text{di}}{\text{D}} \right)^{2.5} \right\}^{\frac{1}{6}}} \right]$$

$$h_f = \frac{K}{\text{di}} \cdot \text{Nu}$$

但し $\text{Nu}(-)$: ヌセルト数

$\text{Pr}(-)$: プラントル数

$\text{Re}(-)$: レイノルズ数

$\text{D}(\text{m})$: 流路等価直径

$\text{di}(\text{m})$: 加熱管内径

$h_f(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$: 熱伝達率

$K(\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}))$: 熱伝導率

b. 核沸騰熱伝達モデル / Jens - Lottes の式：

$$T_{\text{sat}} = 0.82q^{1/4} e^{\left(\frac{p}{63 \times 10^4 \cdot g} \right)}$$

従って

$$h_f = \frac{q}{T_{\text{sat}}} = \frac{1}{0.82} q^{0.75} e^{\left(\frac{p}{63 \times 10^4 \cdot g} \right)}$$

但し $T_{\text{sat}}(\text{K})$: 伝熱面の過熱度 ($= T_w - T_s$)

$T_w(\text{K})$: 壁面温度

$T_s(\text{K})$: 飽和温度

$h_f(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$: 熱伝達率

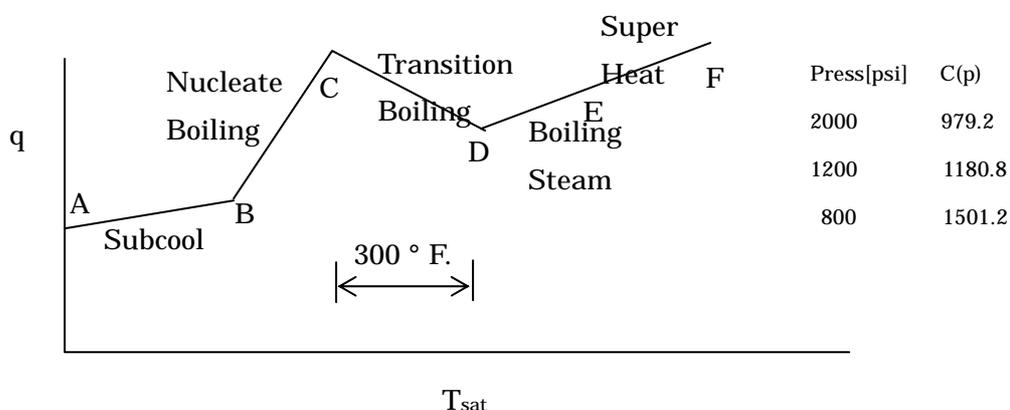
$q(\text{W}/\text{m}^2)$: 表面熱流束

$p(\text{Pa})$: 圧力

$g(\text{m}/\text{s}^2)$: 重力加速度

c. 遷移沸騰域熱伝達モデル / McDonough, Milch and King の式 :

$$q = q_{CHF} - C(P) \cdot (T_w - T_{w,CHF})$$



d. 膜沸騰域熱伝達モデル / Rohsenow-Dougall の式 :

$$h_f = \frac{K_s}{De} \cdot (0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4})$$

- 但し h_f (W/(m²·K)) : 熱伝達率
 K_s (W/(m·K)) : 飽和蒸気の熱伝導率
 De (m) : 流路等価直径
 Pr (-) : プラントル数
 Re (-) : レイノルズ数

e. 過熱蒸気域の熱伝達モデル / 森・中山の気相の式

$$Nu = \frac{1}{26.2} \cdot \frac{Pr}{Pr^{\frac{2}{3}} - 0.074} \cdot Re^{\frac{4}{5}} \cdot \left(\frac{di}{D}\right)^{\frac{1}{10}} \cdot \left[1 + \frac{0.098}{\left\{ Re \cdot \left(\frac{di}{D}\right)^2 \right\}^{\frac{1}{5}}} \right]$$

$$h_f = \frac{K}{di} \cdot Nu$$

但し Nu (-) : ヌセルト数

Pr(-) : プラントル数
Re(-) : レイノルズ数
D(m) : 流路等価直径
di(m) : 加熱管内径
h_f(W/(m²·K)) : 熱伝達率
K(W/(m·K)) : 熱伝導率

f. 限界熱流束計算モデル / Jens-Lottes の式 :

$$q_{BO} = 3.154 \cdot c \cdot \left(\frac{737.3 \cdot G}{10^6} \right)^m \times \left(\frac{9}{5} T_{sub} \right)^{0.22} \times 10^6$$

ここで q_{BO} : バーンアウト熱流束 (W/m^2)

G : 質量速度 ($kg/(m^2 \cdot s)$)

P : 圧力 (MPa)

T_{sub} : サブクール度 (K)

c, m : P = 6.86 のとき c = 0.626 m = 0.275

P = 9.81 のとき c = 0.540 m = 0.370

P = 13.73 のとき c = 0.445 m = 0.500