

JAERI-Tech  
98-061



JP9950005



RELAP5コードによる  
水銀流動基礎実験装置の過渡解析  
(第1報 モデル化と予備解析)

1999年1月

木下秀孝・神永雅紀・日野竜太郎

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.  
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1999

---

編集兼発行 日本原子力研究所

RELAP5コードによる水銀流動基礎実験装置の過渡解析  
(第1報 モデル化と予備解析)

日本原子力研究所東海研究所中性子科学研究センター  
木下 秀孝・神永 雅紀・日野竜太郎

(1998年12月10日受理)

原研の中性子科学研究計画を推進するために、5 MW核破砕ターゲットシステムの設計を実用的な中性子性能と安全性の確保の観点から進めている。安全性に関しては、ターゲットシステムの異常事象時の過渡挙動を把握することが重要である。第一段階として、水銀ターゲットシステムの解析手法を確立するため、既存の水銀流動基礎実験装置（流量15 l/min）をモデル化し、ポンプトリップや配管破断時における過渡挙動の予備解析を、RELAP5に組み込まれている水物性値を用いて行った。その結果、ポンプトリップ時には、加熱部での急激な温度と圧力の上昇を防止するうえで、電磁ポンプのように慣性力の無いポンプではなく、遠心型等の慣性力の大きいポンプの方が有効であること、また、ポンプ出口配管破断時には、破断孔径が配管径に対して相対的に小さい場合には圧力の降下及び流体の流出も緩やかであるが、完全に破断する場合には大きな圧力変動を伴って数秒の内に流体が流出することが示された。これらの解析結果を基にして、検証実験のために既存の水銀流動基礎実験装置の改造とともに、RELAP5に水銀物性値を組み込む作業に着手した。

Transient Analysis of Mercury Experimental Loop using RELAP5 Code  
(1st Report, Modeling and Preliminary Analysis)

Hidetaka KINOSHITA, Masanori KAMINAGA and Ryutaro HINO

Center for Neutron Science  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 10, 1998)

To promote the Neutron Science Project of the Japan Atomic Energy Research Institute, the design of a 5MW-spallation target system is in progress from the view point of a practical neutron performance while keeping the highest level of safety. To determine the safety of the target system, it is important to understand transient behaviors during anticipated operational events of the system. As for the first step, to develop the analytical method of the mercury target system, transient behaviors during a pump trip and a pipe rupture of an existing mercury experimental loop which has a maximum flow rate of 15 l/min, were analyzed preliminary by RELAP5 code using its own water properties. From this preliminary analysis, to prevent rapid temperature and pressure rises in a heating section at the pump trip, it was found that a pump with a large moment of inertia such as a centrifugal type was more effective than an electromagnetic pump without moment of inertia. Moreover, in the case of a pipe rupture at the pump exit, it was shown that a large pressure fluctuation occurred just after the pipe rupture under a large breakage area while the coolant flowed out gradually and a small descent of pressure was observed under a small breakage area. Based on these results, we started modification of the existing mercury experimental loop for carrying out the verification tests as well as development of mercury properties table for RELAP5.

Keywords : Spallation Target, RELAP5, Mercury Loop, Modeling, Safety Analysis,  
Pump Trip, Loss of Coolant Accident

## 目 次

1. はじめに	1
2. 水銀流動基礎実験装置の概要	1
3. 各要素のモデル化	2
3.1 テストセクション及び各流体要素のモデル化	2
3.2 ジャンクションにおける圧力損失	7
3.3 ヒートストラクチャー	8
3.4 解析条件	8
4. 解析結果	8
4.1 非加熱時の定常解析	8
4.2 ポンプトリップによる強制循環喪失時の過渡解析	9
4.3 テストセクション加熱時の定常解析	10
4.4 加熱時における強制循環喪失時の過渡解析	10
4.5 冷却材流出事故（LOCA）解析	11
5. 今後の予定	12
6. まとめ	12
謝辞	13
参考文献	13
記号	14
付録 1 水銀流動基礎実験装置の解析モデル	33
付録 2 ヒートストラクチャーの詳細	39
付録 3 冷却材流出事故（LOCA）解析時のRELAP5入力データ	42

## Contents

1. Introduction.....	1
2. Outline of Mercury Experimental Loop.....	1
3. Modeling for each component.....	2
3.1 Test Section and other Hydrodynamic Component.....	2
3.2 Pressure Loss at Junction.....	7
3.3 Heat Structure.....	8
3.4 Analysis Condition.....	8
4. Analysis Results.....	8
4.1 Steady-state Analysis under Normal Operation without Heating.....	8
4.2 Transient Analysis during Loss of Forced Convection Caused by Pump Trip without Heating.....	9
4.3 Steady-state Analysis with Test Section Heating.....	10
4.4 Transient Analysis during Loss of Forced Convection Caused by Pump trip with Test Section Heating.....	10
4.5 Loss of Coolant Accident (LOCA) Analysis.....	11
5. Future Plan.....	12
6. Concluding Remarks.....	12
Acknowledgment.....	13
Reference.....	13
Nomenclature.....	14
Appendix 1 Model of Mercury Experimental Loop.....	33
Appendix 2 Detailed Information of Heat Structure.....	39
Appendix 3 Input Data of RELAP5 for LOCA Analysis.....	42

## Figures and Photos

Photo.2.1 Mercury loop. ....	15
Fig.2.1 Schematic flow diagram of mercury experimental loop instrumentation. ....	15
Fig.2.2(a) Schematic of Mercury experimental loop. ....	16
Fig.2.2(b) Detailed drawing of mercury experimental loop D-A section. ....	17
Fig.2.2(c) Detailed drawing of mercury experimental loop B-C section. ....	18
Fig.2.2(d) Detailed drawing of mercury experimental loop A-B and C-D section. ....	19
Fig.3.1 Nodalization of mercury experimental loop. ....	20
Fig.3.2 Modeling of test section. ....	20
Fig.4.1(a) RELAP5 simulation results obtained with an initial condition of constant pressure. ....	21
Fig.4.2 Temperature and pressure distributions in mercury experimental loop under steady-state situation. ....	21
Fig.4.3(a) Pressure, pump head and velocity changes at loss of forced convection caused by pump trip. (Moment of pump inertia : 0.1348) ....	22
Fig.4.3(b) Pressure, pump head and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip. (Moment of pump inertia : 6.4778) ....	22
Fig.4.3(c) Pressure, pump head and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip. (Moment of pump inertia : 12.9458) ....	23
Fig.4.3(d) Pressure, pump head and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip. (Moment of pump inertia : 51.5284) ....	23
Fig.4.4(a) Pressure and velocity changes at test section under constant heating condition. ....	24
Fig.4.4(b) Temperature and velocity changes at test section under constant heating condition. ....	24
Fig.4.4(c) Temperature and pressure distributions in mercury experimental loop with test section heating. ....	25
Fig.4.5(a) Pressure and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip under constant heating condition of test section. (Moment of pump inertia : 12.9458) ....	26

Fig.4.5(b) Temperature and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip under constant heating condition of test section. (Moment of pump inertia : 12.9458).....	26
Fig.4.5(c) Pressure and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip under constant heating condition of test section. (Moment of pump inertia : 0.1348).....	27
Fig.4.5(d) Temperature and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip under constant heating condition of test section. (Moment of pump inertia : 0.1348).....	27
Fig.4.6(a) Pressure and velocity during loss of coolant accident (LOCA). (Valve area diameter : 1.0mm) .....	28
Fig.4.6(b) Temperature and velocity during loss of coolant accident (LOCA). (Valve area diameter : 1.0mm) .....	28
Fig.4.7(a) Pressure and velocity during loss of coolant accident (LOCA). (Valve area diameter : 5.0mm) .....	29
Fig.4.7(b) Temperature and velocity during loss of coolant accident (LOCA). (Valve area diameter : 5.0mm) .....	29
Fig.4.8(a) Pressure and velocity during loss of coolant accident (LOCA). (Valve area diameter : 10.0mm) .....	30
Fig.4.8(b) Temperature and velocity during loss of coolant accident (LOCA). (Valve area diameter : 10.0mm) .....	30
Fig.4.9(a) Pressure and velocity during loss of coolant accident(LOCA). (Valve area diameter : 25.0mm) .....	31
Fig.4.9(b) Temperature and velocity during loss of coolant accident (LOCA). (Valve area diameter : 25.0mm) .....	31
Fig.5.1 Modification plan of mercury experimental loop. ....	32



## 1. はじめに

中性子科学研究計画では、5MW 規模の中性子散乱施設用核破碎ターゲットとして、熱除去などの優位性から水銀ターゲットを用いる予定である。また、そのバックアップとしてタングステンを用いた重水冷却の固体ターゲットを準備することになっている。このため、ターゲットシステムの設計では水銀及び重水循環システムの機器構成を明らかにするとともに、強制流動喪失事故や流量、圧力の過渡変化等の異常時におけるシステムの挙動を把握して安全性を確保する事が極めて重要である。

このような異常時には、水銀ターゲット及び重水冷却固体ターゲットにおいて沸騰を生じる可能性がある。そこで、二相流を取り扱える安全解析コード"RELAP5"に注目し、まず、メインターゲットである水銀ターゲット及びその循環系(水銀ループ)の安全解析を行い、機器の挙動を明らかにして、安全保護系や制御系の設計にこれらの成果を反映させることを立案した。

RELAP5 は加圧水型軽水炉の過渡現象を精度よく解析するために開発された計算コードで、コードに組み込まれたコントロールシステムによって強制循環喪失や冷却材流出事故(LOCA)等の異常時における、流量、圧力等の過渡変化をシミュレーションすることができる。

本報では、水銀を用いたシステムの解析手法を確立するために、水銀ループの小型版である水銀流動基礎実験装置をモデル化し、水銀ターゲットシステムにおいて発生する可能性が高いポンプ停止に伴う強制循環喪失時及び発生する可能性は低い但其の影響は大きい LOCA 時の流量、圧力等の挙動について、RELAP5 を用いて解析的に検討した。現状では、RELAP5 で水銀を取り扱うことはできないため、解析モデルの確率と予備的な検討を目的として、コードに組み込まれている水物性値を用いた。水銀と水では密度の違いから圧力変動の絶対値としては大きく異なるものの、現象の傾向は把握できるものと考えた。以下に、水銀流動基礎実験装置を構成する各機器を RELAP5 用にモデル化した入力データ、コードに組み込まれている水物性値を用いた予備解析結果及び今後の試験予定について記す。

## 2. 水銀流動基礎実験装置の概要

ターゲット開発室では実機の水銀ループにおける水銀の流動特性や運転のデータ蓄積のため、小型の水銀ループである水銀流動基礎実験装置を設置した。本実験装置により圧力損失特性や壁面のエロージョンについての知見を得られるよう、テストセクションにおける水銀流速が実機の水銀ループでの最大設計流速である 1.0m/s 程度となるよう設計した。

水銀流動基礎実験装置は、同心2重円管テストセクション、アルゴンガスによって流体を加圧して一定圧に保つ膨張ポット、高効率なプレート式熱交換器、水銀循環用の電磁ポンプ及び水銀流量測定用の電磁流量計で構成され、各機器を SUS316 製の 25A 管(外径 34mm、内径 25mm)で接続した閉ループ構成である。装置全体の概観を Photo.2.1 に示す。水銀の流出を防ぐため、ループの周囲をアクリル板で囲み、内部の空気は水銀蒸気を吸着させるためチャコールフィルターを通してファンで吸引排気する。また、圧力、温度、流量等の測定箇所を Fig.2.1 に示す。圧力はテストセクション入口とポンプ入口で測定し、膨張ポットでの加圧は圧力ゲージの指示から

読み取る。Fig.2.2 (a)～(d)に外観図及び流体要素をモデル化する際に用いた各要素長さ及び高さ変化等の仕様を示す。図に見られるように、全体にわたってドレンタンク方向に傾斜しており、確実に水銀をドレンできる構造となっている。

装置の主要な仕様は以下の通りである。

定格流量	: ~15 l/min( $2.50 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ )
水銀充填量	: 最高 400kg(約 30 リットル)、現在は約 270kg(20 リットル)充填
主要材質	: SUS316
使用圧力	: ~0.5MPa(水銀注入時、加圧充填)、~0.4MPa(試験運転中)
使用温度	: 最高 80℃

### 3. 各要素のモデル化

全要素の区分及び番号を Fig. 3.1 に示す。流体(水)温度は初期条件で 30℃に設定した。また、壁面粗さ  $\varepsilon$  については滑らかな引き抜き管のものを扱い、 $0.0015\text{mm}^{(1)}$ とした。この壁面粗さをを用いて等価相対粗さ  $\varepsilon/D_h$  を求め、管摩擦係数  $\lambda$  を次の Colebrook-White の式で計算する。

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[ \frac{\varepsilon/D_h}{3.71} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right] \quad (1)$$

ここで、Re はレイノルズ数を表す。

計算された管摩擦係数より、各流体要素内の圧力損失は以下で表される。

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{D_h} \frac{\rho V^2}{2g} \quad (2)$$

各要素のモデル化に当たっての要点を以下に記す。

#### 3.1 テストセクション及び各流体要素のモデル化

本節では水銀流動基礎実験装置の主要な機器であるテストセクション、電磁ポンプ、電磁流量計、膨張ポッド及び熱交換器のモデル化した主要入力データを記す。また、これら以外の管路については付録 1 に示す。

##### (1) テストセクション

テストセクションは入口及び出口部に 30mm の誘導区間を持つ長さ 1000mm の 2 重円管で、外管内径が 25mm、内管外径が 20mm、流路ギャップが 2.5mm である。また、傾きは+2.94°である。

解析モデルでは、テストセクション上流部と下流部の誘導区間を No.100, 101 及び No.103, 104 とし、2 重円管部を No.102 とした。Fig.3.2 にテストセクション各部の模式図を示す。また、以下にテストセクションを構成する各要素の主要な入力データを示す。

No.100 ブランチ

外径 34mm、内径 25mm の円管の中央に厚さ 6mm の内管位置決め板が挿入されている。ジャンクションは出入口の 2 つである。また、No.100 出口から No.101 入口のジャンクションについては面積急変化モデルを用いずに滑らかな接続とし、テストセクションを模擬した。

流路面積 = 円管内面積 - 板部の面積

$$\text{中心角 } \theta = \sin^{-1}(3/12.5) = 0.2424 \text{ [rad]}$$

$$S = \pi r^2 - (6 \times r \times \cos \theta + 4 \times r^2 \theta) / 2 \\ = 3.423\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

流路長さ  $L = 13\text{mm}$

等価水力直径 =  $4 \times \text{流路面積} / \text{濡れぶち長さ}$

$$D_h = 4 \times S / (4 \times \cos \theta + 2 \pi r - 4 \times r \times \theta) \\ = 0.011908 \text{ [m]}$$

ジャンクション位置、曲がり角度及び面積

No.182 出口から No.100 入口、曲がり角度  $0^\circ$ 、面積  $3.423\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$

No.100 出口から No.101 入口、曲がり角度  $0^\circ$ 、面積  $1.767\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$

No.101 ブランチ

外径 34mm、内径 25mm の円内に外径 20mm の内管が挿入されており、流路高さ 2.5mm の環状流路となっている。ジャンクションは出口側に 1 つ設けた。

流路面積 = 外管内面積 - 内管断面積

$$S = \pi r_{\text{out}}^2 - \pi r_{\text{in}}^2 \\ = 1.767\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

流路長さ  $L = 17\text{mm}$

等価水力直径 =  $4 \times \text{流路面積} / \text{濡れぶち長さ}$

$$D_h = 4 \times S / (2 \pi r_{\text{out}} + 2 \pi r_{\text{in}}) \\ = 0.005 \text{ [m]}$$

ジャンクション位置、曲がり角度及び面積

No.101 出口から No.102 入口、曲がり角度  $0^\circ$ 、面積  $1.767\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$

No.102 パイプ (加熱及び測定部)

No.101,103 と同様の二重円管を軸方向に 10 分割した。図に示すように各部長さは上流より

100, 100, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 100, 100mm

とした。2 番目と 9 番目の要素の中央が実際の圧力測定位置に相当する。

流路面積 = 外管内面積 - 内管断面積

$$S = \pi r_{\text{out}}^2 - \pi r_{\text{in}}^2 \\ = 1.767\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

流路長さ  $L = 940\text{mm}$

等価水力直径 =  $4 \times \text{流路面積} / \text{濡れぶち長さ}$

$$D_h = 4 \times S / (2 \pi r_{out} + 2 \pi r_{in})$$

$$= 0.005 \text{ [m]}$$

No.103 ブランチ

No.101 と同様に、外径 34mm、内径 25mm の円管内に外径 20mm のパイプが挿入されており、流路高さ 2.5mm の環状流路となっている。ジャンクションは出入口の2つである。

流路面積 = 外管内面積 - 内管断面積

$$S = \pi r_{out}^2 - \pi r_{in}^2$$

$$= 1.767E-4 \text{ [m}^2\text{]}$$

流路長さ  $L = 17\text{mm}$

等価水力直径 =  $4 \times \text{流路面積} / \text{濡れぶち長さ}$

$$D_h = 4 \times S / (2 \pi r_{out} + 2 \pi r_{in})$$

$$= 0.005 \text{ [m]}$$

ジャンクション位置、曲がり角度及び面積

No.102 出口から No.103 入口、曲がり角度  $0^\circ$ 、面積  $1.176E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

No.103 出口から No.104 入口、曲がり角度  $0^\circ$ 、面積  $1.767E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

No.104 ブランチ

No.100 と同様に、外径 34mm、内径 25mm の円管の中央に厚さ 6mm の内管位置決め板が挿入されている。ジャンクションは出口側に1つ設けた。

流路面積 = 円管内面積 - 板部の面積

$$\text{中心角 } \theta = \sin^{-1}(3/12.5) = 0.2424 \text{ [rad]}$$

$$S = \pi r^2 - (6 \times r \times \cos \theta + 4 \times r^2 \theta) / 2$$

$$= 3.423E-4 \text{ [m}^2\text{]}$$

流路長さ  $L = 13\text{mm}$

等価水力直径 =  $4 \times \text{流路面積} / \text{濡れぶち長さ}$

$$D_h = 4 \times S / (4 \times \cos \theta + 2 \pi r - 4 \times r \times \theta)$$

$$= 0.01191 \text{ [m]}$$

ジャンクション位置、曲がり角度及び面積

No.104 出口から No.105 入口、曲がり角度  $0^\circ$ 、面積  $3.423E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

**(2) 膨張ポッド**

直径 0.2033m、高さ 0.075m のシングルボリューム(No.108)要素と直径 0.02033m、高さ 0.325m のアキュムレータ(No.110)要素を組み合わせ、膨張ポッドを模擬した。両コンポーネントとも垂直上向きである。

No.108 シングルボリューム

流路面積  $S = 0.3246 \text{ [m}^2\text{]}$

流路長さ  $L = 0.075 \text{ [m]}$

等価水力直径  $D_h = 0.2033$  [m]

No.110 アキュムレータ (SUS316 製)

流路面積  $S = \pi r^2$   
 $= 0.3264$  [m<sup>2</sup>]

容器長さ  $L = 0.324$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.2033$  [m]

内部液高さ  $h_{in} = 0.124$  [m]

サージライン長さ及び直径

$L_{surge} = 0.001$  [m]       $D_{surge} = 0.2033$  [m]

(3) 熱交換器

9層構造のプレート式熱交換器は、流路高さ(ギャップ) 2mm、流路幅 50mm の矩形流路が9つ並列に設置されており、各々の流路長さは 250mm である。流路は流れ方向に5等分した。

No.124 パイプ

流路面積  $S = 50 \times 2 \times 9$   
 $= 9.000E-4$  [m<sup>2</sup>]

流路長さ  $L = 0.250$  [m]

等価水力直径 (4×流路面積/濡れぶち長さ)

$D_h = 4 \times 0.0009 \div 0.00936$   
 $= 3.846E-3$  [m]

(4) 電磁ポンプ (No.144,150,152)

ポンプ本体部と出入口部分の誘導部から成り、ポンプ本体部の流路は長さ 0.8m、内径 0.028m のステンレス管で、外部コイルより磁場をかけて流体を駆動する。誘導部は長さ 0.2m、内径 0.028m のステンレス管である。

No.144 ブランチ

内径 28mm の円管で、傾きは +3.09° である。ポンプ入口部分にストレートに接続している。ジャンクションは出口側に1つ設けた。

流路面積  $S = 6.158E-4$  [m<sup>2</sup>]

流路長さ  $L = 0.200$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.028$  [m]

ジャンクション位置、曲がり角度及び面積

No.144 出口から No.150 入口、曲がり角度 0°、面積 6.1575E-4 [m<sup>2</sup>]

No.150 ポンプ

内径 28mm の円管で、傾きは +3.09° である。RELAP5 では電磁ポンプをモデル化できないため、定格揚程は電磁ポンプの値を用い、ポンプ効率等を仮定して遠心ポンプに置き換えた。定格回転数 900rpm、定格揚程 0.61m で、流量 1.767E-4 m<sup>3</sup>/s、定格トルク 62.2722 N·m、慣

性モーメント  $12.9458\text{N}\cdot\text{m}^2$  に設定した。定格トルクは、流体として水を用いた場合の値であり、慣性モーメントは後述するように、電磁ポンプが回転機器でなく、そのような概念が考えられないため十分小さい値に設定した。ポンプ初期出力率は 0.815 とし、テストセクションでの流速が約  $1.0\text{m/s}$  となるようにした。

$$\text{流路面積} \quad S = 6.158\text{E-4} \quad [\text{m}^2]$$

$$\text{流路長さ} \quad L = 0.800 \quad [\text{m}]$$

$$\text{等価水力直径} \quad D_h = 0.028 \quad [\text{m}]$$

#### No.152 ブランチ

内径 28mm の円管、傾きは  $+3.09^\circ$  である。ポンプ出口部分にストレートに接続されている。ジャンクションは出口側に 1 つ設けた。

$$\text{流路面積} \quad S = 6.158\text{E-4} \quad [\text{m}^2]$$

$$\text{流路長さ} \quad L = 0.200 \quad [\text{m}]$$

$$\text{等価水力直径} \quad D_h = 0.028 \quad [\text{m}]$$

ジャンクション位置、曲がり角度及び面積

$$\text{No.150 出口から No.152 入口、曲がり角度 } 0^\circ \text{、面積 } 6.1575\text{E-4} \quad [\text{m}^2]$$

#### (5) 電磁流量計 (No.166, 170, 172)

電磁流量計は本体と前後の誘導部から成る。本体は内径 28mm、長さ 240mm のステンレス管であり、外部磁場によって流量を測定する。誘導部は内径 28mm、長さ 200mm のステンレス管である。

#### No.166 ブランチ (流量計入口)

内径 28mm の円管で、傾きは  $-3.30^\circ$  である。流量計手前に接続されている。ジャンクションは出口側に 1 つ設けた。

$$\text{流路面積} \quad S = 6.158\text{E-4} \quad [\text{m}^2]$$

$$\text{流路長さ} \quad L = 0.200 \quad [\text{m}]$$

$$\text{等価水力直径} \quad D_h = 0.028 \quad [\text{m}]$$

ジャンクション位置、曲がり角度及び面積

$$\text{No.166 出口から No.170 入口、曲がり角度 } 0^\circ \text{、面積 } 6.1575\text{E-4} \quad [\text{m}^2]$$

#### No.170 パイプ (流量計)

内径 28mm の円管で、傾きは  $-3.30^\circ$  である。長さ 240mm の本体を均等に 3 分割 (1 ノード 80mm) した。

$$\text{流路面積} \quad S = 6.158\text{E-4} \quad [\text{m}^2]$$

$$\text{流路長さ} \quad L = 0.240 \quad [\text{m}]$$

$$\text{等価水力直径} \quad D_h = 0.028 \quad [\text{m}]$$

#### No.172 ブランチ (流量計出口)

内径 28mm の円管で、傾きは  $-3.30^\circ$  である。ジャンクションは出入口の 2 つである。

$$\text{流路面積} \quad S = 6.1575\text{E-4} \quad [\text{m}^2]$$

$$\text{流路長さ} \quad L = 0.200 \quad [\text{m}]$$

等価水力直径  $D_h = 0.028$  [m]

ジャンクション位置、曲がり角度及び面積

No.170 出口から No.172 入口、曲がり角度  $0^\circ$ 、面積  $6.158E-4$  [m<sup>2</sup>]

No.172 出口から No.174 入口、曲がり角度  $0^\circ$ 、面積  $4.909E-4$  [m<sup>2</sup>]

### 3.2 ジャンクションにおける圧力損失

各コンポーネントの接続部、すなわちジャンクションにおける圧力損失を計算するにあたり、圧力損失係数を以下のように設定した。ジャンクションの圧力損失は損失係数 $\zeta$ （以後、全損失係数と呼ぶ）を用いて次のように求められる。

$$\Delta P = \zeta \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

対象とする水銀基礎流動実験装置においては、ジャンクションが真直ぐに繋がる場合、 $90^\circ$  曲がる場合及び  $45^\circ$  曲がる場合がある。真直ぐに接続する場合には、圧力損失係数 $\zeta$ は0とした。 $90^\circ$  及び  $45^\circ$  曲がる場合については、円形断面のなめらかなバンドにおける全損失係数を表す実験式<sup>(1)</sup>より求めた。各曲がり角度の場合についての計算結果を以下に記す。

テストセクションでの流速を 1.0m/s と設定した場合、内径 25mm の円管内での流速は 0.36m/s となる。この値を用いて、レイノルズ数  $Re$  を計算すると

$$\begin{aligned} Re &= VD/\nu = 0.36 \times 0.025 / (0.816 \times 10^{-6}) \\ &= 11029.4 \end{aligned}$$

ここで  $V$  は流速、 $D$  は管直径、 $\nu$  は動粘性係数で水温  $30^\circ\text{C}$  の場合の値を用いた。文献[1]より、バンド中心線の曲率半径  $R$  は 37.5 mm、管の半径  $a$  は 12.5 mm であるから、

$$\begin{aligned} Re(a/R)^2 &= 11029.4/9 \\ &= 1225.5 > 91 \end{aligned}$$

となり、全損失係数  $\zeta$  は以下の式で表される。

$$\zeta = 0.00241\alpha\theta Re^{-0.17} \left(\frac{R}{a}\right)^{0.84} \quad (4)$$

ここで、 $\alpha$  は曲がり角度によって変わる係数、 $\theta$  は曲がり角度を表す。

#### 曲がり角度 $90^\circ$ の場合

$(a/R) = 3 < 19.7$  なので、係数  $\alpha$  は次式で計算される。

$$\begin{aligned} \alpha &= 0.95 + 17.2(R/a)^{-1.96} \\ &= 2.947 \end{aligned} \quad (5)$$

よって全損失係数は(1)式より

$$\zeta = 0.3304$$

#### 曲がり角度 $45^\circ$ の場合

この場合の係数  $\alpha$  は、文献[1]より、以下で与えられる。

$$\begin{aligned}\alpha &= 1+14.2(R/a)^{-1.47} \\ &= 3.824\end{aligned}\tag{6}$$

よって全損失係数は(1)式より

$$\zeta = 0.2144$$

### 3.3 ヒートストラクチャー

管、ポンプ、流量計、膨張ポッド、熱交換器等における発熱あるいは放熱を模擬するために、ヒートストラクチャーを流体要素の周りを囲むように配置した。ヒートストラクチャーは SUS316 製で、熱伝導率及び容積比熱をテーブル形式で与えた。また、初期温度は 30℃ に設定した。詳細については付録 2 に示す。

### 3.4 解析条件

本解析での初期条件として、水銀流動基礎実験装置の通常運転条件である以下の条件を与えた。温度及び圧力は熱交換器を除いて一定とした。

流体温度	:	熱交換器以外の部分	303.15K (30℃)
		熱交換器	298.15K (25℃)
圧力	:	0.35MPa	
流体の種類	:	水 (軽水)	

上記の初期条件を与えて定常状態における圧力分布等を計算し、4章で述べるポンプ停止による強制循環喪失事故時等の過渡変化解析は定常状態を出発点として行った。加熱時のテストセクションにおける発熱量は過渡変化時に有為な温度変化を観察できるように定常時においてテストセクション出入口温度差が約 5℃ となるように以下で与えた。

加熱長さ	:	940mm
発熱量	:	5000W/m

また、熱伝達率  $h$  は RELAP5 に組み込まれている熱伝達相関式により計算され、強制対流乱流の場合、次に示す Dittus-Boelter の式により与えられる。

$$h = 0.023 \frac{\kappa}{D_h} \text{Pr}^{0.4} \text{Re}^{0.8}\tag{7}$$

ここで、 $\kappa$  は流体の熱伝導度 [W/m·K] を表す。

## 4. 解析結果

### 4.1 非加熱時の定常解析

解析は、まず、圧力及び温度がループ全体で一定、テストセクションの水銀流速を 1.0m/s とした初期設定条件を用いて、外乱を与えない状態で約 600 秒間の過渡解析(ヌルトランジェント



解析)を行った。その時のテストセクションにおける速度及び圧力の時間変化を Fig.4.1 に示す。初期状態 (圧力 0.35MPa, 温度 30℃) から約 10 秒で圧力が 0.1MPa 程度上昇し、その後約 40 秒ほどで圧力が低下している。圧力の上昇はポンプの始動に伴う各部への圧力及び温度勾配の付加にともなう動圧の変化によるものと思われる。解析結果から、600 秒で圧力、流速ともに定常状態に達しており、以後の過渡解析では、ここで得られた定常状態から強制循環喪失等の過渡解析を行った。

定常流動時における実験装置内の圧力分布を、その時の温度分布とともに Fig.4.2 に示す。水はポンプで昇圧され、ループ配管及び機器の位置変化に伴って静圧は変化するものの、ポンプから下流に行くに従って流動圧力損失により圧力が低下している。図中で圧力が上下して、ポンプ下流でポンプ出口よりも圧力が高くなっていることについては、次に示すベルヌーイの定理により理解できる。

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + z = \text{const.} \quad (8)$$

ここで、 $v$  は流速[m/s]、 $P$  は圧力[Pa]、 $z$  は基準面からの高さ[m]、 $\rho$  は密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $g$  は重力加速度[m/s<sup>2</sup>]を表す。

ポンプ出口において圧力  $P_1$ 、流速  $v_1$ 、高さ  $z_1$  とし、その下流のある位置において圧力を  $P_2$ 、流速を  $v_2$ 、高さ  $z_2$  とする。ここで、 $z_1 > z_2$ 、2 点間の圧力損失を  $\Delta h$ [m]として  $P_1$  と  $P_2$  の関係を式(8)を用いて表すと式(9)となる。なお、配管口径に変化がないため  $v_1 = v_2$  であり式(9)は式(10)のように変形できる。

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \Delta h \quad (9)$$

$$P_2 = [(z_1 - z_2) - \Delta h] \cdot \rho g + P_1 \quad (10)$$

ここで、 $(z_1 - z_2)$ よりも  $\Delta h$ が小さいと、 $P_2$ はポンプ出口圧力  $P_1$ よりも高くなる。

温度に関してはポンプからの入熱により上昇するが、熱交換器で除熱して定常状態を保っている。

#### 4.2 ポンプトリップによる強制循環喪失時の過渡解析

定常状態からポンプがトリップした場合におけるテストセクションでの圧力及び速度の変化について、ポンプのコストダウン特性、すなわち慣性モーメント( [N・m<sup>2</sup>]・ポンプのフライホイール効果)が及ぼす影響を調べるために、慣性モーメントをパラメータとして計算した結果を Fig.4.3 に示す。慣性モーメントは以下の式より与えられる。

$$GD^2 = \frac{4tT}{\omega} \quad (11)$$

$t$  [s]は慣性時定数 (軸動力を切ってからポンプ回転数が半分になるまでの時間)、 $T$ [N・m]は定格トルク(974.4×軸動力[kW] ×g(重力加速度)[m/s<sup>2</sup>]/回転数[rpm])、 $\omega$  [rad/s]は角速度を表す。

電磁ポンプの場合、慣性モーメントは回転機器でないため 0 であるが、回転時定数が異なった場合にどのような影響が現れるかを調べるため、時定数  $t$  が 0.5 秒程度の遠心ポンプを基本として、その倍と半分、そして、100 分の 1 となるよう、時定数が 0.005、0.25、0.5、2.0 [sec] の 4 種類の場合について、すなわち慣性モーメント 0.1348、6.4778、12.9458 及び 51.5284 の場合について解析した。

解析では定常状態を 100 秒間継続した後にポンプが電源喪失によりトリップする状況を模擬し、上述した 4 種類の慣性モーメントについての解析結果をそれぞれ(a)~(d)に示す。Fig.4.3(a)に示す最も慣性モーメントの小さな場合(時定数 0.005)には、1 秒程でポンプが完全に停止し、それに伴い急激に圧力が降下して、速度も 20 秒程度で 0 になる。この急激な圧力及び速度の低下によりその後圧力の上昇が起きている。これは動圧の急速な低下が全体圧力の増加を引き起こしているものと考えられる。慣性モーメントが 6.4778(時定数 0.25)になるとポンプヘッドはなだらかに低下し、圧力及び速度も緩やかに低下している。この傾向は慣性モーメントが大きくなるほど、すなわち時定数が大きくなるほど顕著になっている。このことから、循環ポンプには電磁ポンプよりも時定数の大きい遠心型ポンプの方が有利であるといえる。

#### 4.3 テストセクション加熱時の定常解析

非加熱時の定常状態を基にして、テストセクションを加熱した場合についての温度上昇及び速度、圧力の変化について計算を行い定常状態を設定した。その時の圧力及び温度の時間経過を Fig.4.4(a)及び(b)に、流れ方向の圧力及び温度分布を Fig.4.4(c)に示す。加熱を始めた時点でテストセクションの圧力は上昇し、それに伴って速度もやや上昇している。圧力は 30 秒ほどで最大 1.05MPa に達しその後 100 秒間で定常に達する。温度も同様に 30 秒ほどで最大値となるが、圧力に比べると定常に達するのに時間がかかり 300 秒ほどで定常となっている。

圧力分布については、Fig.4.2 に示した非加熱時の圧力分布と同じであるが、温度についてはテストセクション及びポンプでの入熱量は熱交換器で効果的に除熱されている様子が見える。

#### 4.4 加熱時における強制循環喪失時の過渡解析

テストセクション加熱時においても非加熱時と同様に 100 秒間定常状態を維持した後にポンプがトリップする強制流動喪失時の過渡解析を行った。ポンプの慣性モーメントが 12.9458(時定数 0.5)の場合の解析結果を Fig.4.5(a)及び(b)に示す。この時、電磁流量計の流量が 85%まで低下した時点で加熱を停止するように設定した。これらの図に示すように、温度はポンプトリップ後、わずかな上昇はあるものの、加熱停止後速やかに室温まで低下している。また、流量の低下に伴い系の圧力は一定となるが、非加熱条件で得られた Fig.4.3(c)とほぼ同じ傾向を示している。

ポンプの慣性モーメントが 0.1348(時定数 0.005)の場合の解析結果を Fig.4.5(c), (d)に示す。非加熱時の結果( Fig.4.3(a) )と同様に、ポンプの慣性が小さいため、テストセクションでの流速は 10 秒ほどで 0 になり、温度は流量の低下とともに上昇してゆくが、流量がほぼ 0 になった時点から外部への放熱により徐々に低下している。一方、急激な流体の停止によりその運動量が静圧の上昇となって現れている。この圧力上昇をより緩和するために、アキュムレータの容積を 3

倍にして解析したが、圧力上昇はほとんど緩和されなかった。このことから、圧力が 20 秒程度で上昇するような早い圧力変動に対してはその下流にあるアキュムレータによる圧力維持能力がほとんどない事が分かる。本解析での圧力上昇は  $150\text{g/cm}^2$  程度であるが、実規模の大容量ループでは圧力上昇の幅がさらに大きくなると考えられる。このため、実規模ループにおいてはこの圧力上昇を低減するようなアキュムレータの設置位置を工夫するとともに、このような圧力上昇を緩和できるような構造のアキュムレータを開発していくことが重要と考えられる。

#### 4.5 冷却材流出事故(LOCA)解析

定常運転時にポンプ出口の配管に穴があった場合（配管破断）を想定した冷却材流出事故(LOCA)について、ドレンタンクへのバルブを瞬時に開放することで LOCA を模擬した解析を行った。解析では、穴の大きさによる圧力、速度、流量挙動の変化を把握するために、小口径から大口径の破断を 1.0、5.0、10.0 及び 25.0mm の 4 種類のバルブ開口部直径（開口径）で模擬した。開口径が 25mm の場合はギロチン破断に相当する。また、ドレンタンクは、大気圧でボイド率が 1 である時間依存ボリュームとし、膨張ポットは実機と同じくサージタンクとしての機能を持たせた。解析のスキームは、30 秒間の定常状態を維持した後にバルブを瞬時に開き、テストセクション入口での圧力が 0.15MPa まで低下したときに加熱及びポンプトリップ信号を発信して、30 秒後に加熱及びポンプが完全に止まるよう設定した。解析結果を Fig.4.6～Fig.4.9 に示す。このときの入力データを付録 3 に示す。

開口径が 1.0mm の場合、テストセクション内の流速は一旦 0.95m/s まで低下するが、その後は 0.97m/s 程度を維持している。圧力は緩やかに低下しているが、100 秒後でも 0.3MPa 以上の圧力を維持している。この結果から、1mm の開口径のように微小な破断は圧力変化で検知できる事が分かる。しかし、開口系が 5mm になると、圧力は約 80 秒で大気圧となり、それに伴いテストセクション内の流速は急激減少した後に増加し、再び減少して逆流を生じている。特にバルブ解放直後の流速の変動は約 1 秒で 0 となる程大きなものである。更に 10mm の場合には、圧力は約 30 秒で大気圧となり、テストセクションでの流速は約 0.8 秒の間に  $-2.6\text{m/s}$ （逆流）に至っている。テストセクションの温度は流速にも左右されるが、出口部で 375K（約  $40^\circ\text{C}$  上昇）まで上昇している。これは圧力低下後の加熱停止信号の発信から停止までの時間が 30 秒とやや長いために起こるもので、加熱停止までの時間遅れを短縮化、すなわち実機では陽子ビームの入射停止をできるだけ速やかに行う必要がある。このためには、応答の早い流量計の設置と高速警報発信動作システムが不可欠である。開口径が 25mm になると、圧力はほぼ 10 秒で大気圧まで降下し、テストセクションの流速は約 0.5 秒で  $-9\text{m/s}$  と極めて大きな逆流を生じ、開口部からの流出流速も  $6\text{m/s}$  に達している。このときの動圧の変化は非常に大きなものとなるが、密度の大きな水銀では更に大きくなると考えられ、ギロチン破断が生じた場合には各構成機器に大きな損傷を与えることが推測される。

実際の水銀ループでは、水銀の最高使用温度は約  $200^\circ\text{C}$ 、圧力も 0.5MPa を想定している。このため、万一配管に破損が生じたとしても、軽水炉(PWR、BWR)の 1 次冷却系の配管に比べ低温低圧で使用されるため配管応力は小さく、付加変動の少ない運転を実施するものと仮定すれば、疲労によるき裂の成長速度は小さいと考えられる。更に水銀は沸点よりはるかに低い温度で使用

されるために、き裂の発生による減圧沸騰での圧力上昇は考えられず、き裂の急速な伝播は生じない。このため、水銀ループ配管については漏えい先行型破損(Leak Before Break ; LBB)が確保でき、ギロチン破断に至る可能性は小さいものと考えられる。しかし、万一のギロチン破断に備えて、前述した応答の早い流量計及び高速警報発信動作システムを開発するとともに、LBBが生じた場合の水銀の漏えいを早期に探知する手法を開発しておく必要がある。

## 5. 今後の予定

今後は水銀流動基礎実験装置を改造して、今回行ったシミュレーションに近い模擬実験を行えるように整備する。さらに、水銀物性値を RELAP5 に組み込んで実験を模擬した解析を行い、コードの検証を行う予定である。

Fig.5.1 に水銀流動基礎実験装置の改造案を示す。ポンプ出口付近での管破断を模擬するために、Fig.5.1 の斜線で囲まれた部分を増設する。今回の解析条件での実験を行うために、流出面積を調節する W702 と、ガス圧によって瞬時に開放する W701(ピストンバルブ)の2つのバルブを、主流路からドレンタンクへのパイプ間に設置する。W701 にはアルゴンガスボンベからガスを供給するように配管を改造する。以上の改造の他、図には示していないが、配管の破損位置の違いによる影響を調べるため、膨張ポット出口側及びポンプ入口側の2カ所についても同様の改造を行うことを計画し、改造に着手した。RELAP5 については、蒸気表の構成等を調べプログラム修正の必要箇所を抽出するとともに、蒸気表を作成するために必要となる水銀物性値の文献調査を終えて、水銀蒸気表及びプログラムの修正作業に着手した。

## 6. まとめ

RELAP5 により水銀ループのシミュレーションを行うため、水流道基礎実験装置の解析モデルを作成し定常状態を設定した。さらに、ポンプトリップによる強制流動喪失や管破断を模擬した解析が可能ないように入力データを整備した。現時点では水銀の物性値が使用できないため水物性でのシミュレーションではあるが、ポンプトリップ時には圧力上昇や温度上昇の観点から、慣性力の大きな遠心ポンプが有利であること、配管破断を模擬した流出事故時には 1mm 程度の小さな孔であれば、圧力降下や流出も緩やかであるが、完全破断の場合にはテストセクションにおいて流速が最大で 9m/s にまで至り、圧力変化は 0.25MPa/10s となる機器に損傷を起こしかねないような事象に至ることが確認された。このような過渡変化が実際に生ずるか、また生じた場合にループの構造物にどのような影響を及ぼすかについては、RELAP5 に水銀の物性値を組み込んで解析的に検討するとともに、水銀流動基礎実験装置の改造後に実験により測定する計画である。

## 謝 辞

RELAP5 による解析を行うに当たり、原子炉安全工学部熱水力安全研究室の浅香英明氏に貴重な助言とともに多大な支援をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

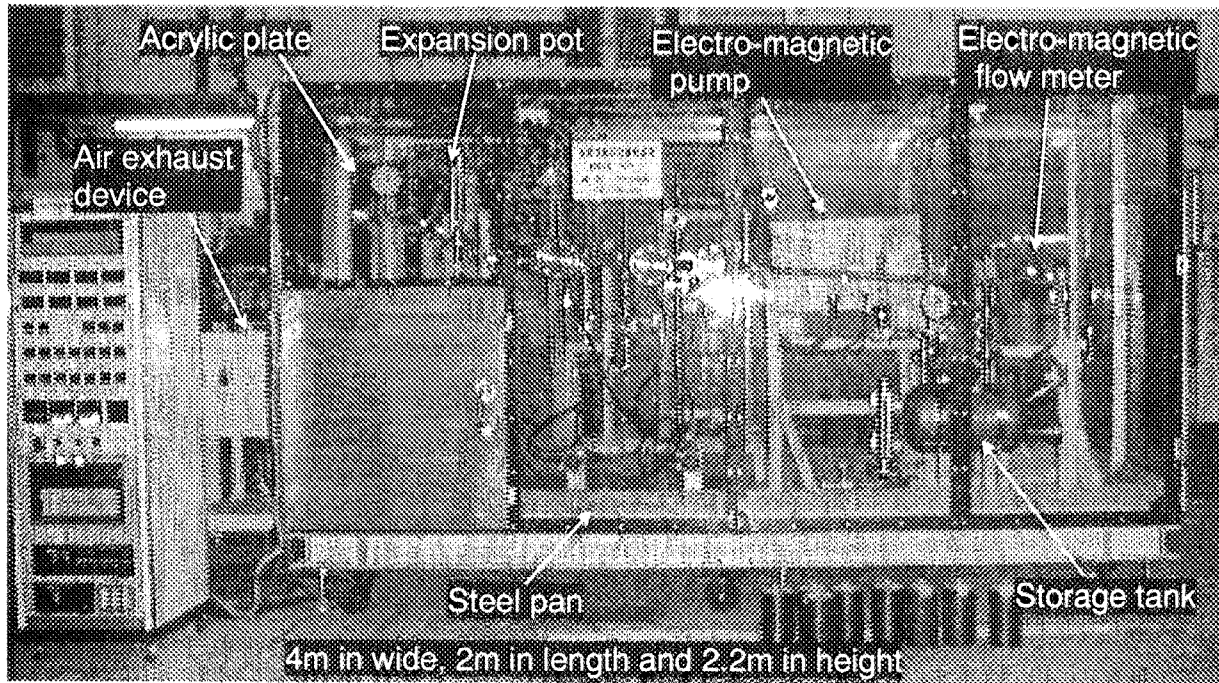
- (1) 管路ダクトの流体抵抗, P31, P73, 管路ダクトの流体抵抗出版分科会編, 日本機会学会(1980)

## 記号

a	: 管半径	m
D	: 管直径	m
D <sub>h</sub>	: 水力等価直径	m
g	: 重力加速度	m/s <sup>2</sup>
h	: 熱伝達率	W/m <sup>2</sup> ·K
h <sub>in</sub>	: アキュムレータ内液高さ	m
Δh	: 損失ヘッド	m
GD <sup>2</sup>	: 慣性モーメント	N·m <sup>2</sup>
L	: 流路長さ	m
P	: 圧力	Pa
ΔP	: 圧力損失	Pa
Pr	: プラントル数	
R	: ベンド中心の曲率半径	m
Re	: レイノルズ数	
r	: 管半径	m
S	: 流路面積	m <sup>2</sup>
T	: 定格トルク	N·m
t	: 慣性時定数	s
V	: 流体速度	m/s
v	: 流体速度	m/s
z	: 基準面からの高さ	m

## Greek Symbol

α	: 曲がり角により定まる係数	
ε	: 壁面粗さ	m
ζ	: 全損失係数	
θ	: 中心角, 管曲がり角度	rad
κ	: 熱伝導度	W/m·K
λ	: 管摩擦係数	
ρ	: 流体密度	kg/m <sup>3</sup>
ω	: 角速度	rad/s



Outer view of mercury experimental loop

Flow rate of mercury : 15 l/min( $2.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ), Inventory of mercury : 400kg (maximum)

Photo2. 1 Mercury experimental loop

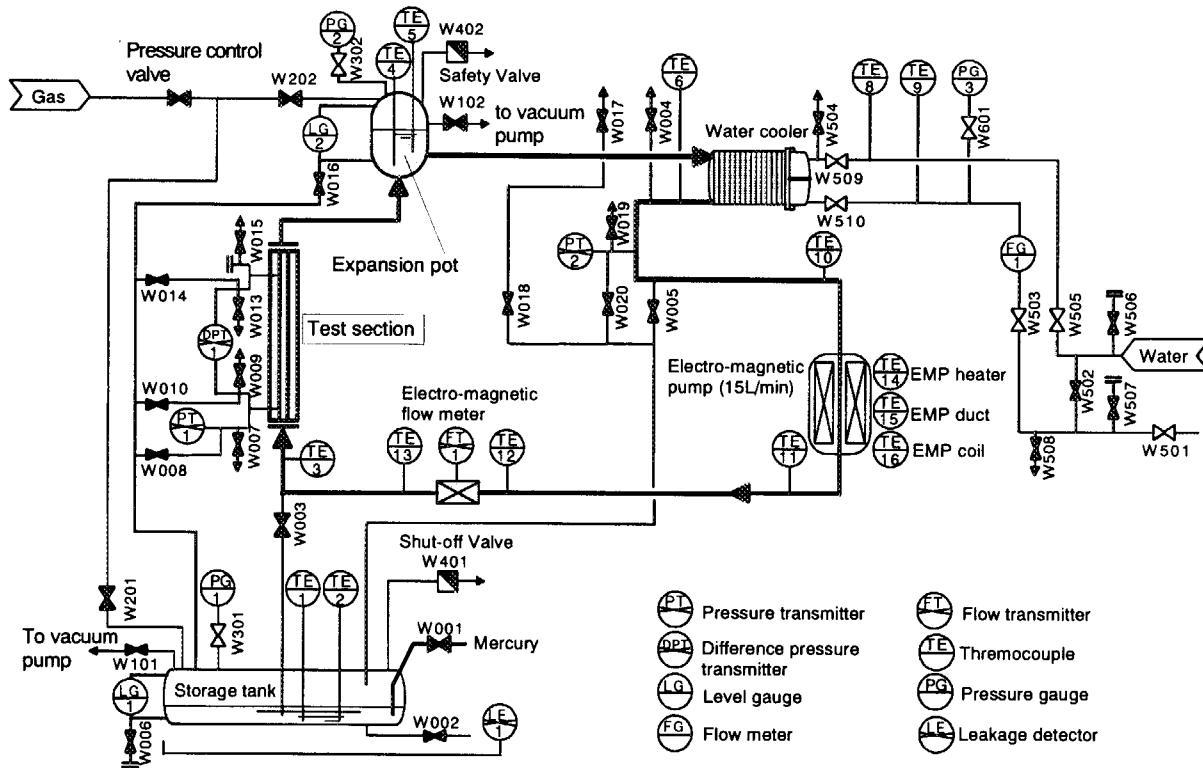


Fig. 2.1 Schematic flow diagram of mercury experimental loop instrumentation

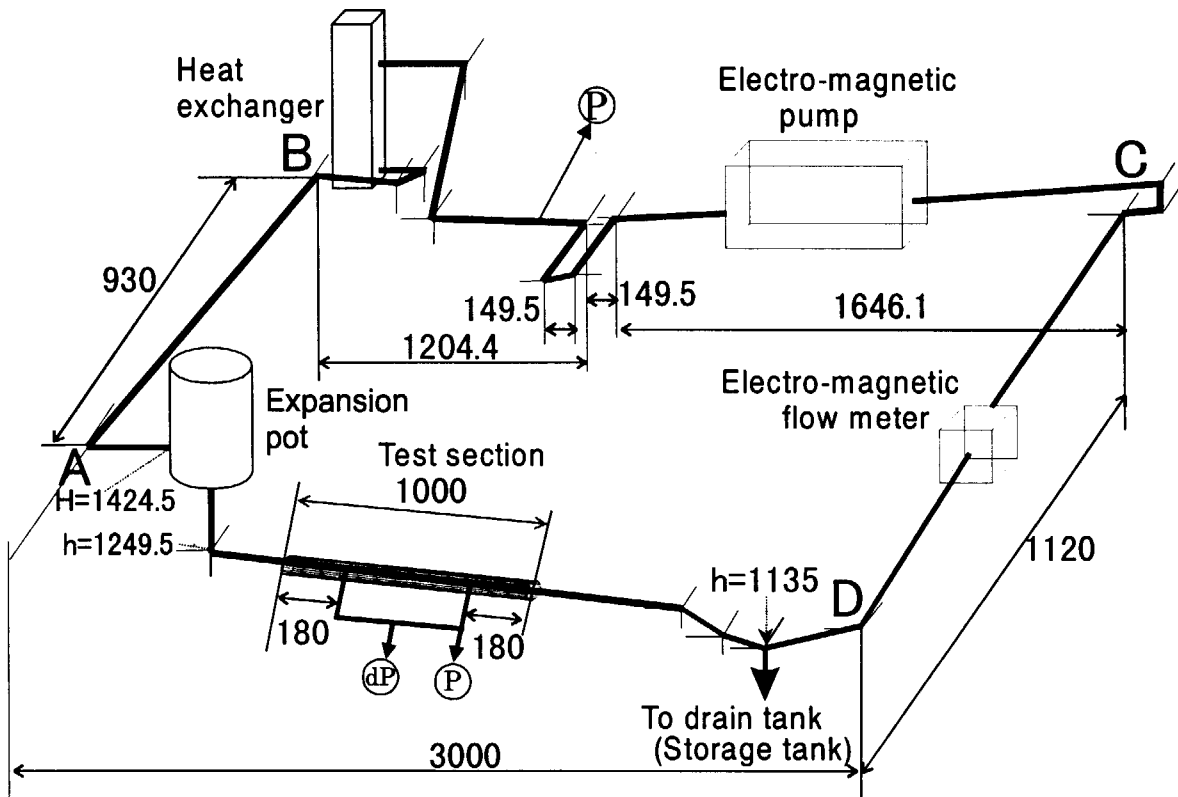


Fig.2.2(a) Schematic flow diagram of mercury experimental loop



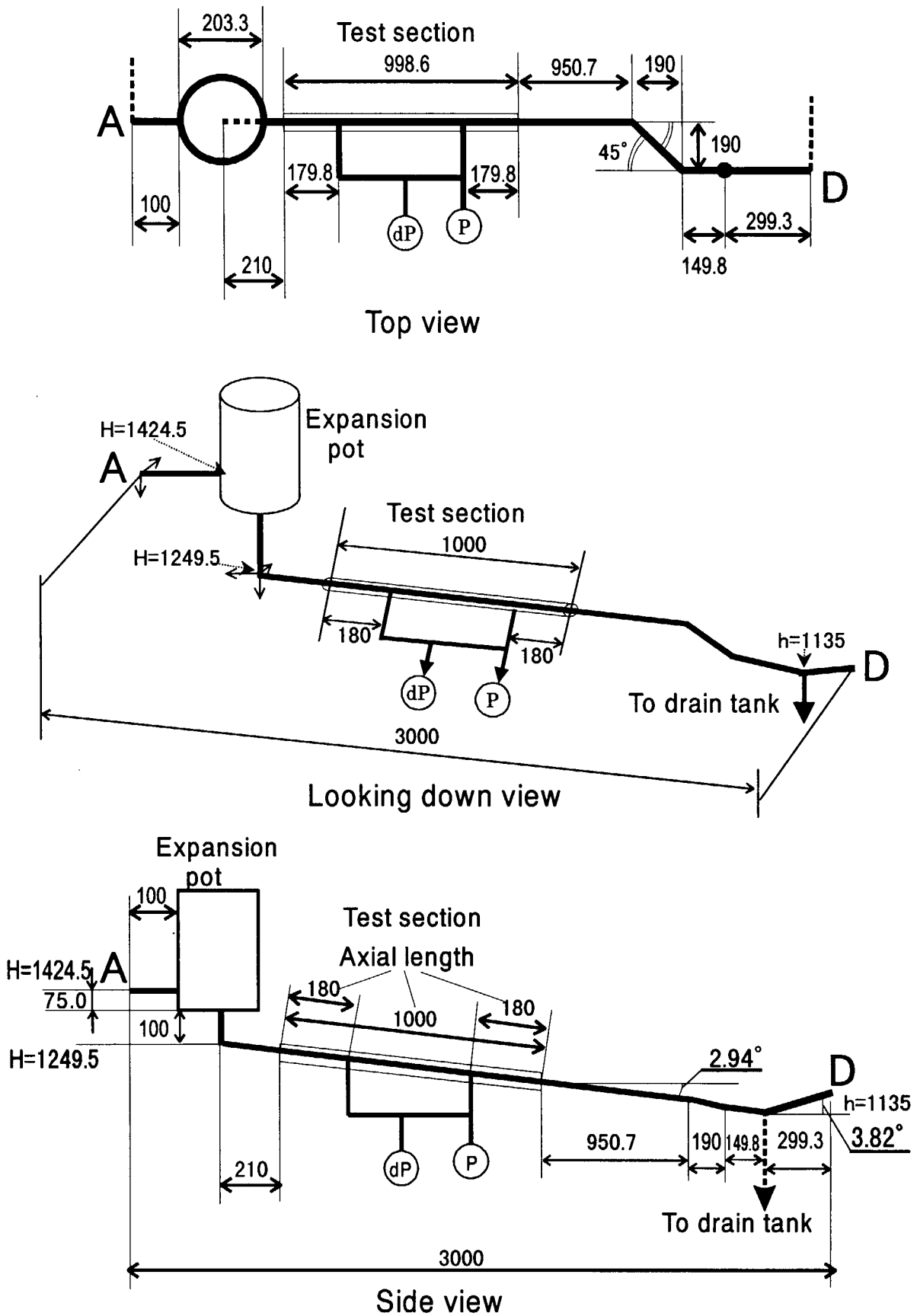


Fig.2.2 (b) Detailed drawing of mercury experimental loop D-A section

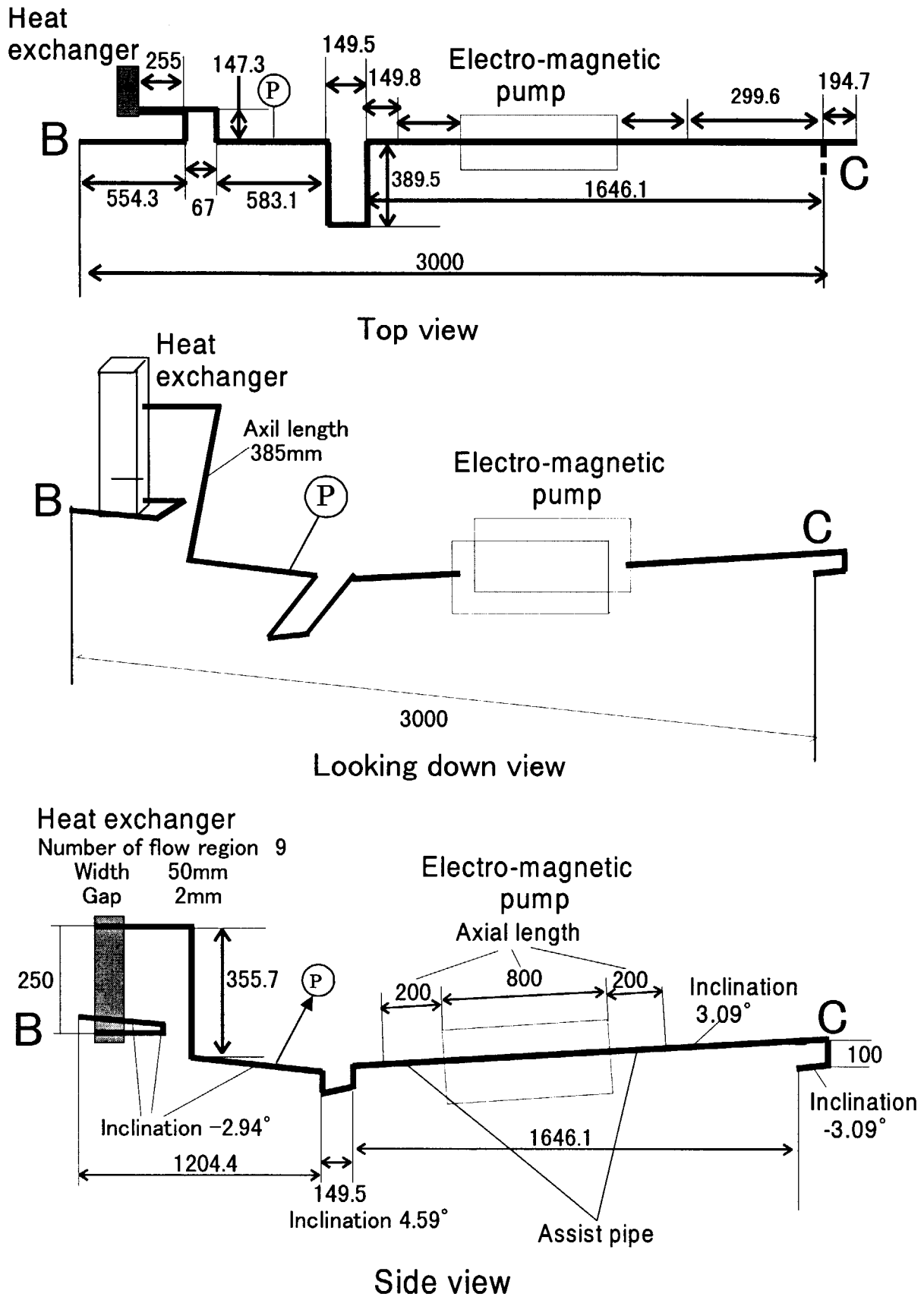
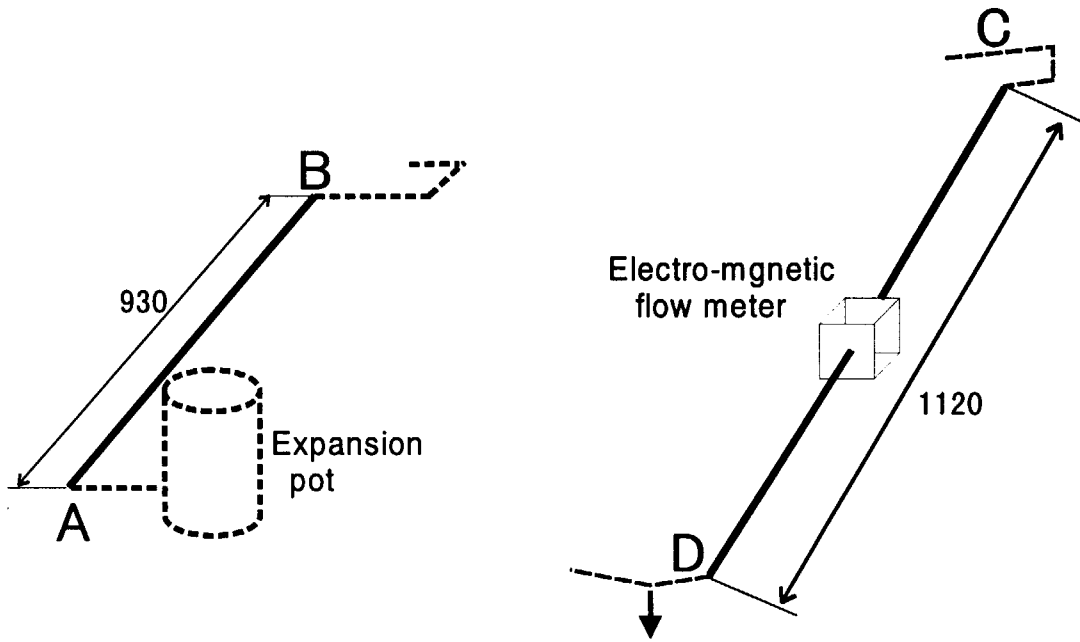
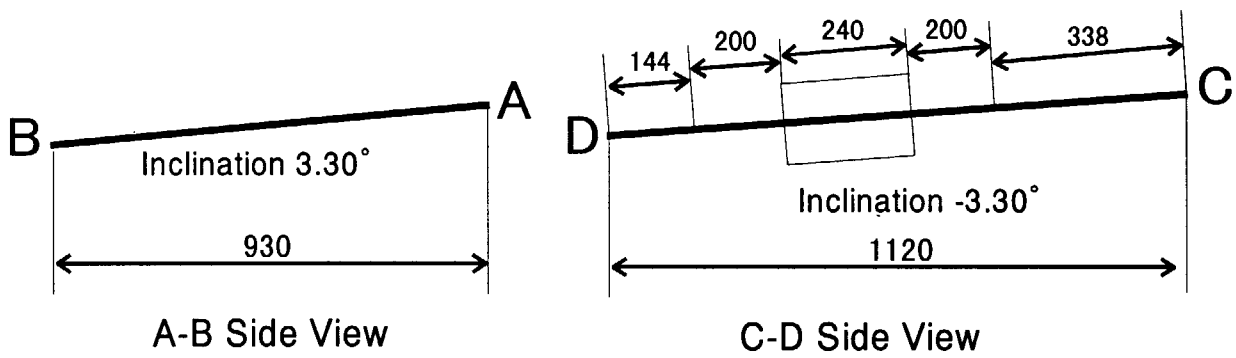


Fig.2.2 (c) Detailed drawing of mercury experimental loop B-C section



A-B Looking down view

C-D Looking down view



A-B Side View

C-D Side View

Fig.2.2 (d) Detailed drawing of mercury experimental loop A-B and C-D sections

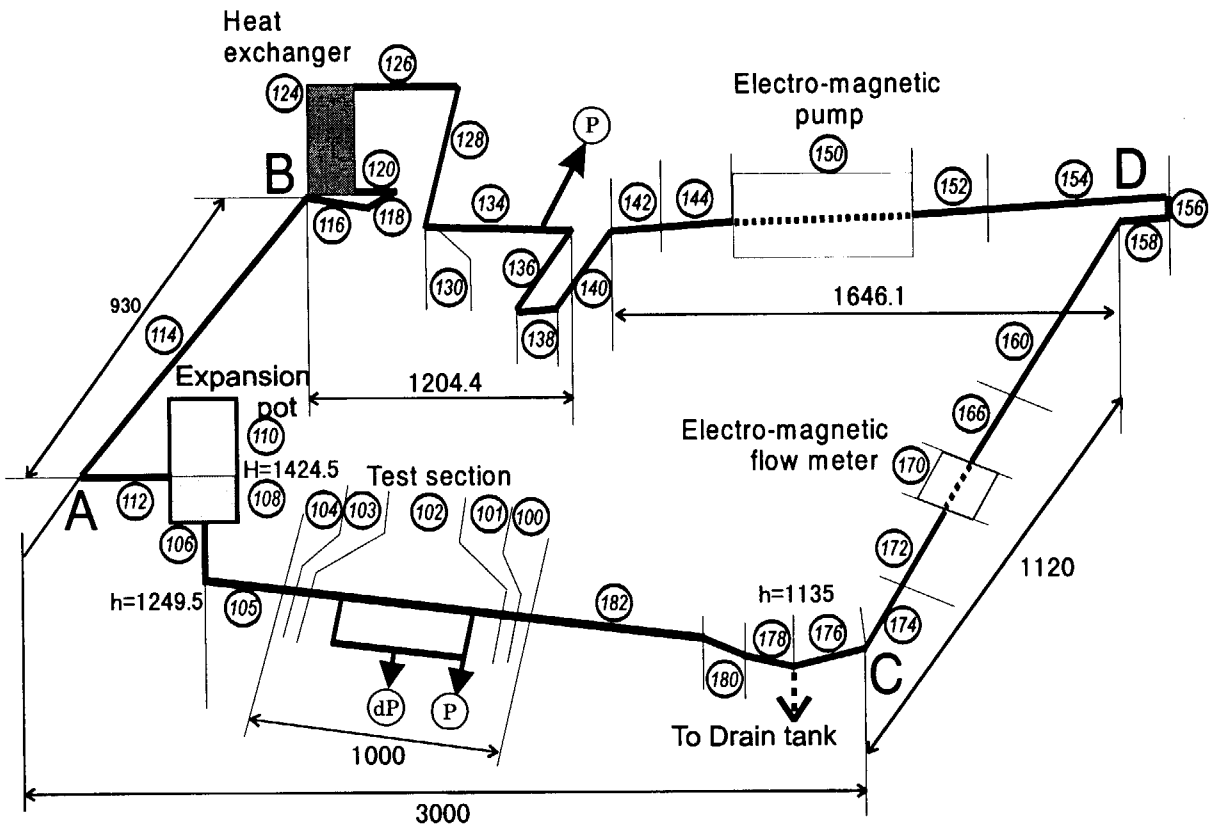
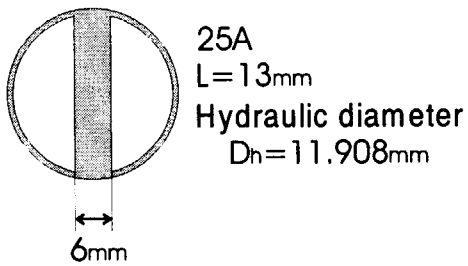


Fig.3.1 Nodalization of mercury experimental loop

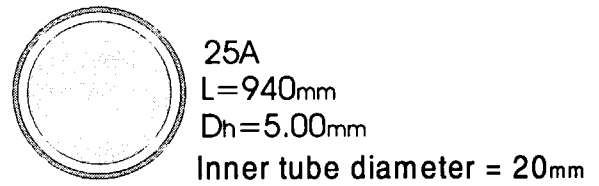
No. 100, 104

Cross section



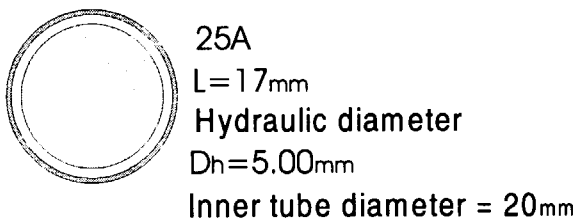
No. 102

Cross section



No. 101, 103

Cross section



10 nodes along axis direction

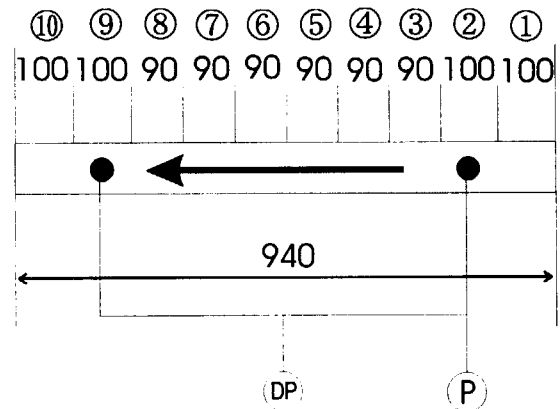


Fig.3.2 Modeling of test section

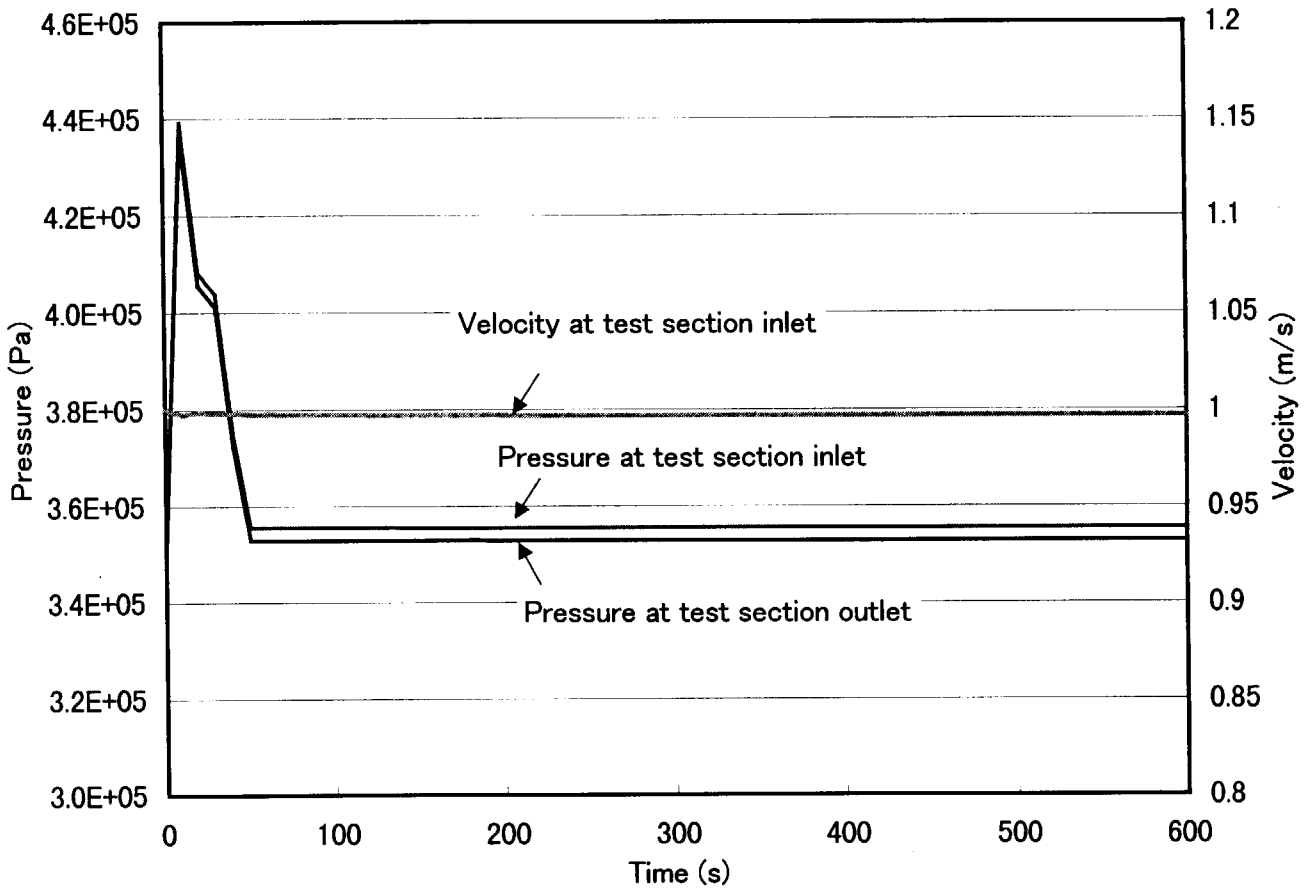


Fig. 4.1 RELAP5 simulation results obtained with an initial condition of constant pressure

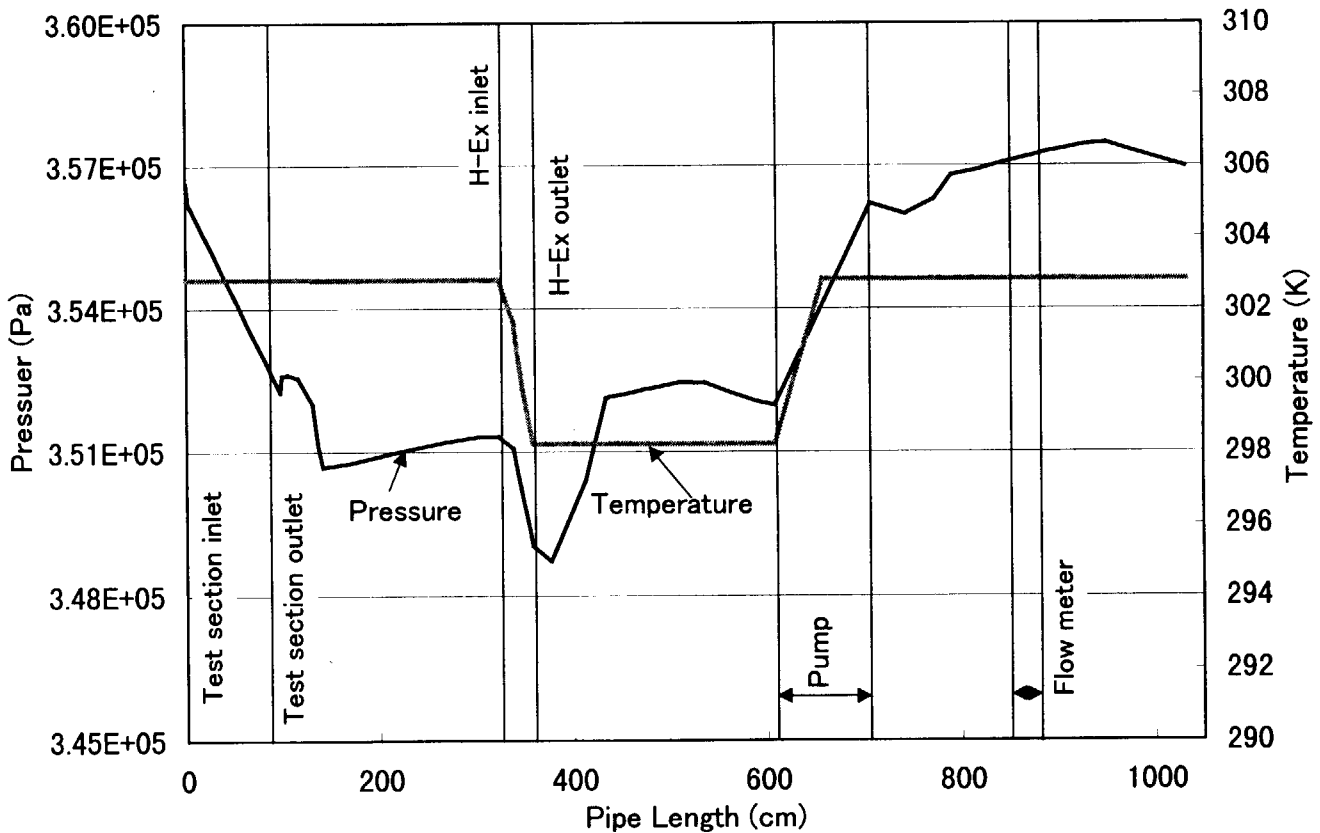


Fig.4.2 Temperature and pressure distributions in mercury experimental loop under steady-state situation

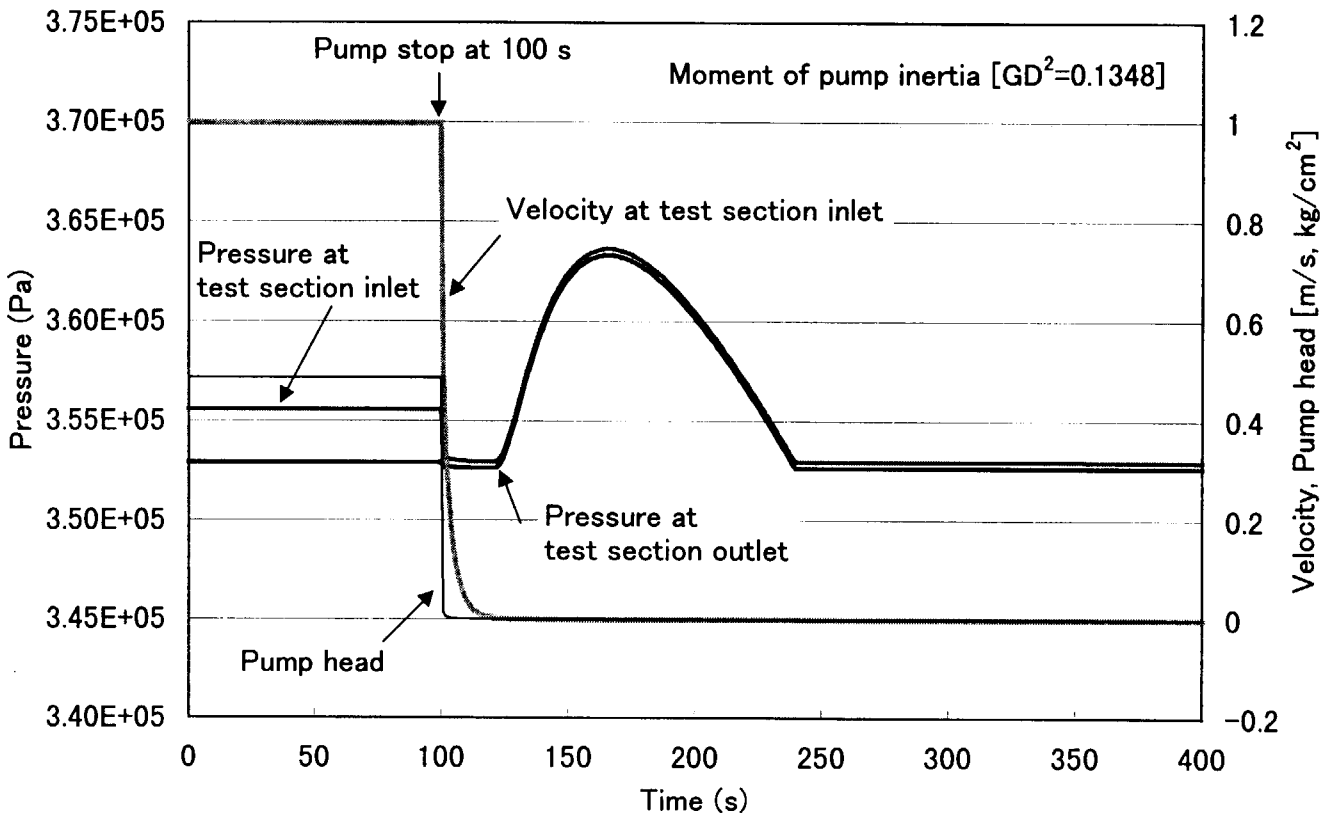


Fig.4.3(a) Pressure, pump head and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip (Moment of pump inertia : 0.1348)

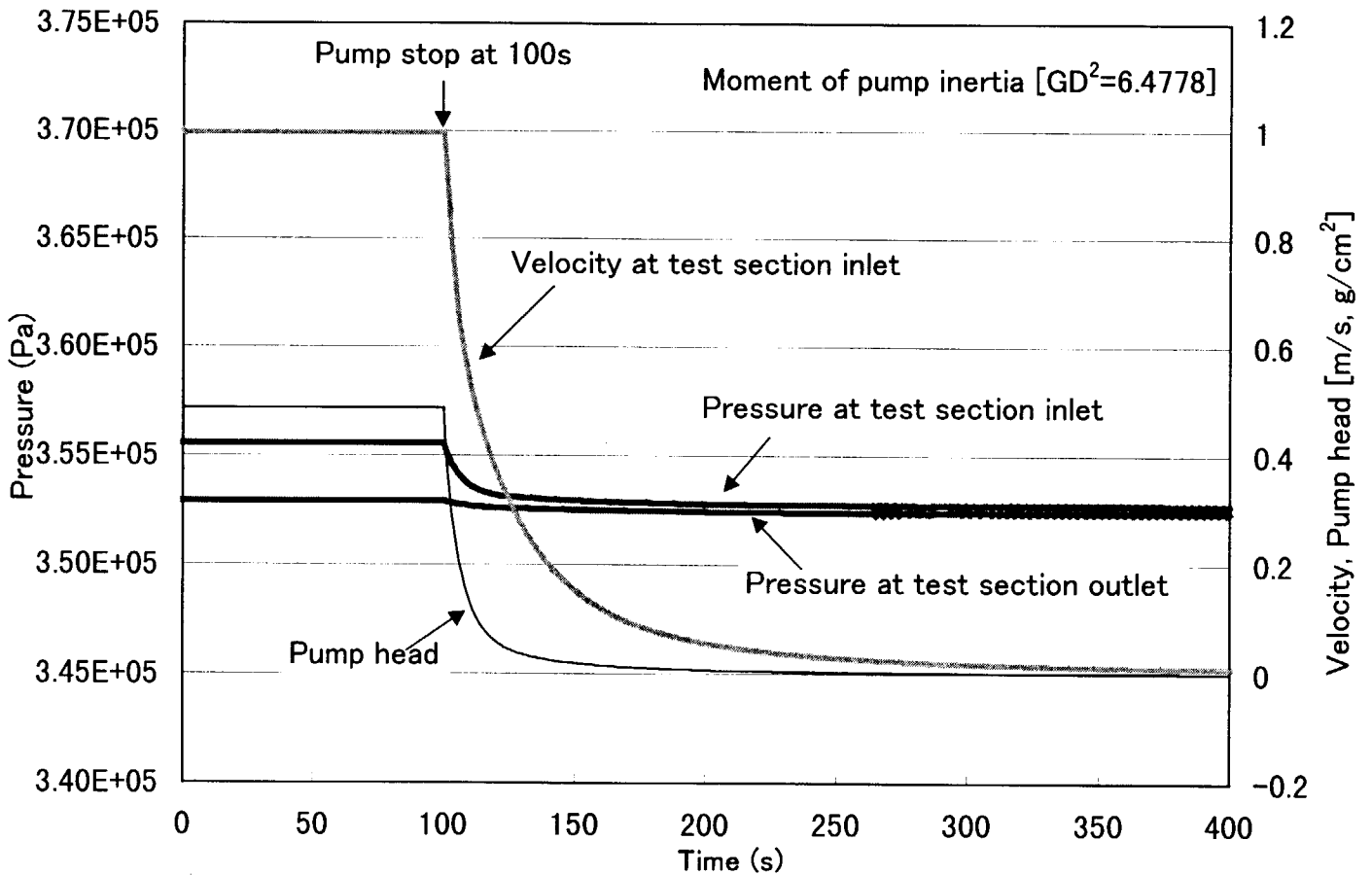


Fig.4.3(b) Pressure, pump head and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip (Moment of pump inertia : 6.4778)

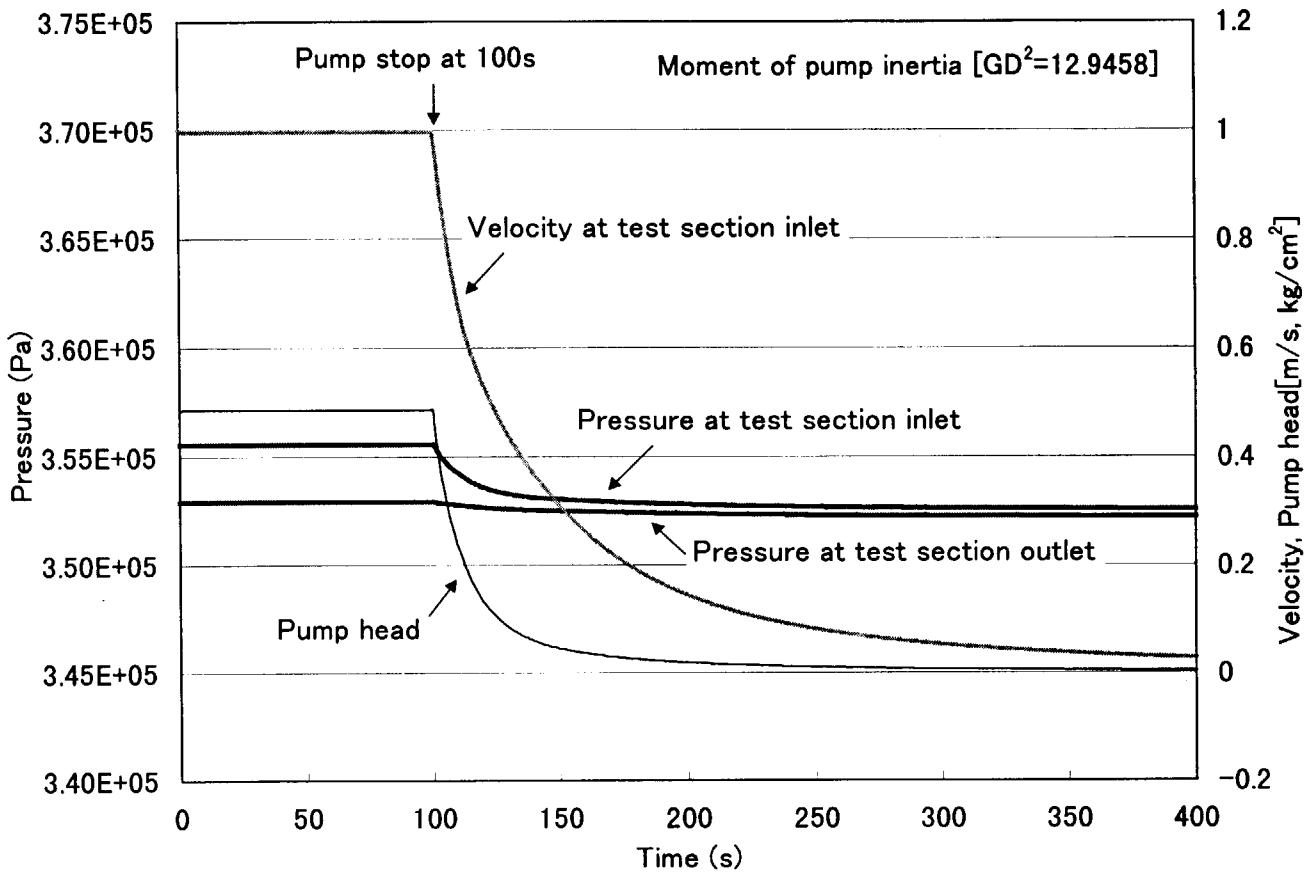


Fig.4.3(c) Pressure, pump head and velocity changes during loss of forced connection caused by pump trip (Moment of pump inertia : 12.9458)

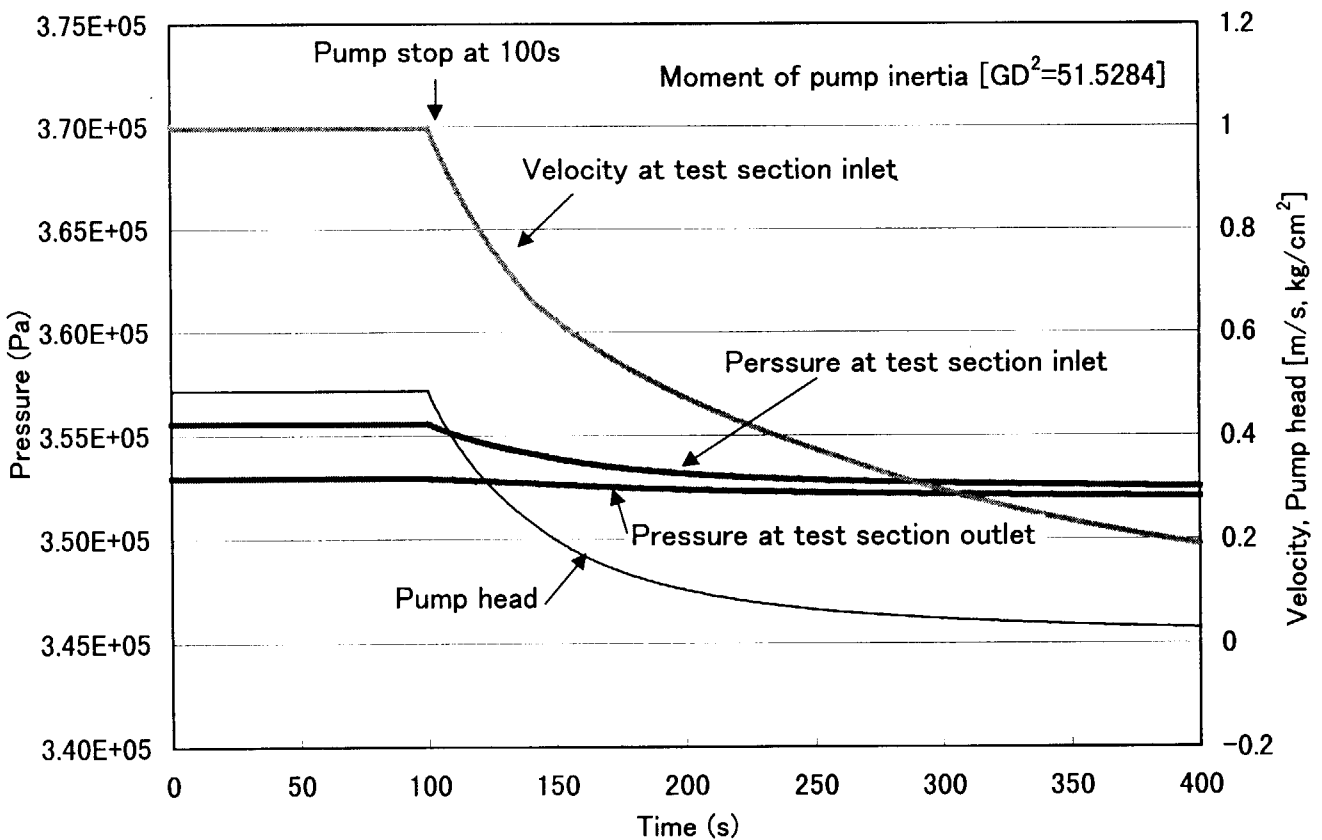


Fig.4.3(d) Pressure, pump head and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip (Moment of pump inertia : 51.5284)

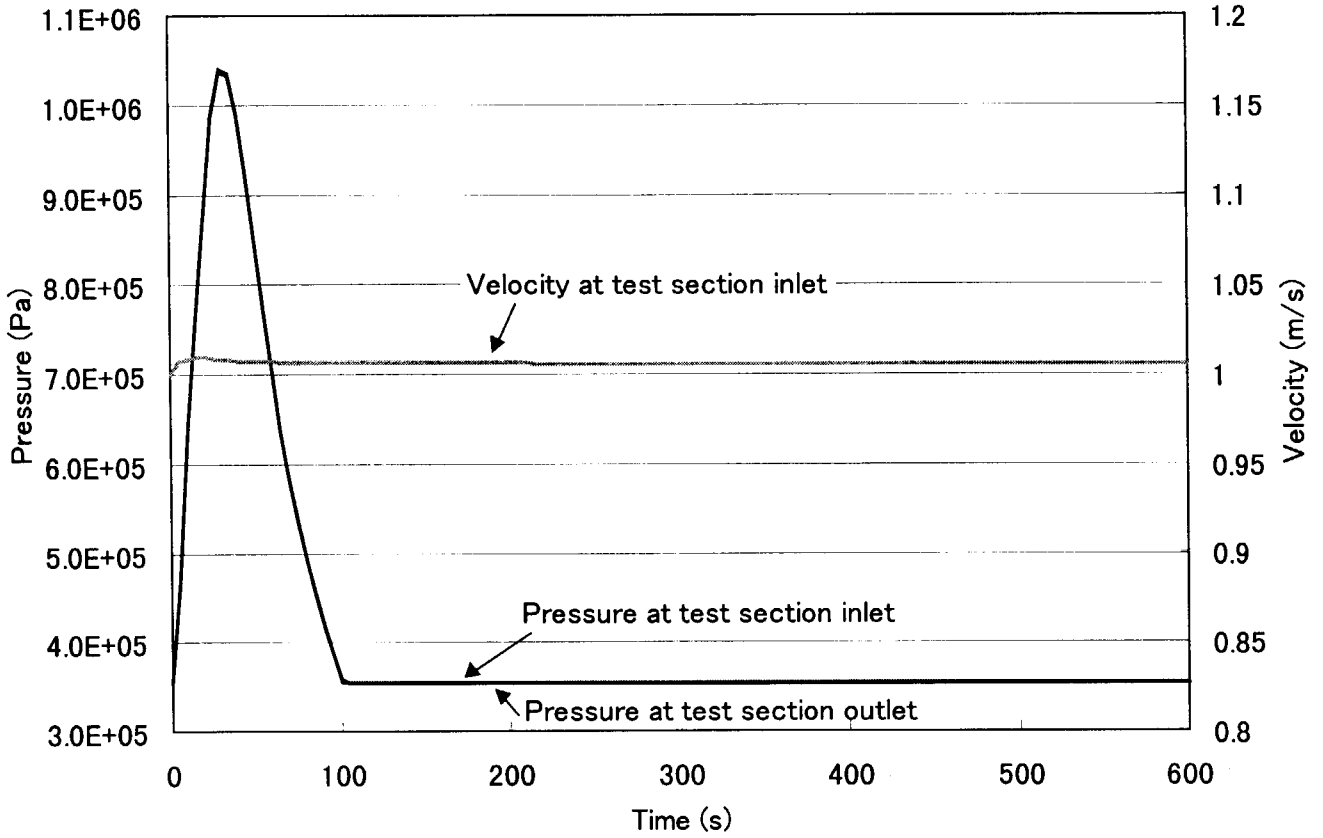


Fig.4.4(a) Pressure and velocity changes at test section under constant heating condition

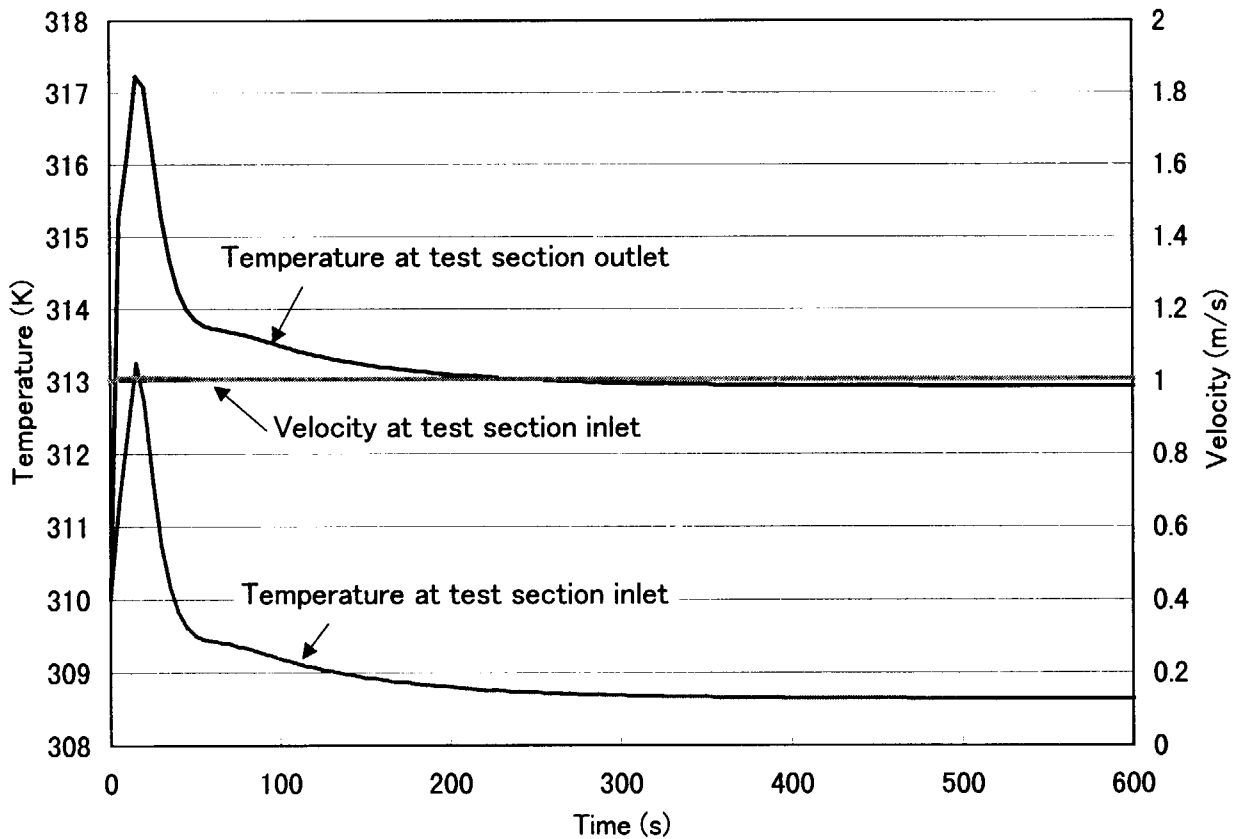


Fig.4.4(b) Temperature and velocity changes at test section under constant heating condition



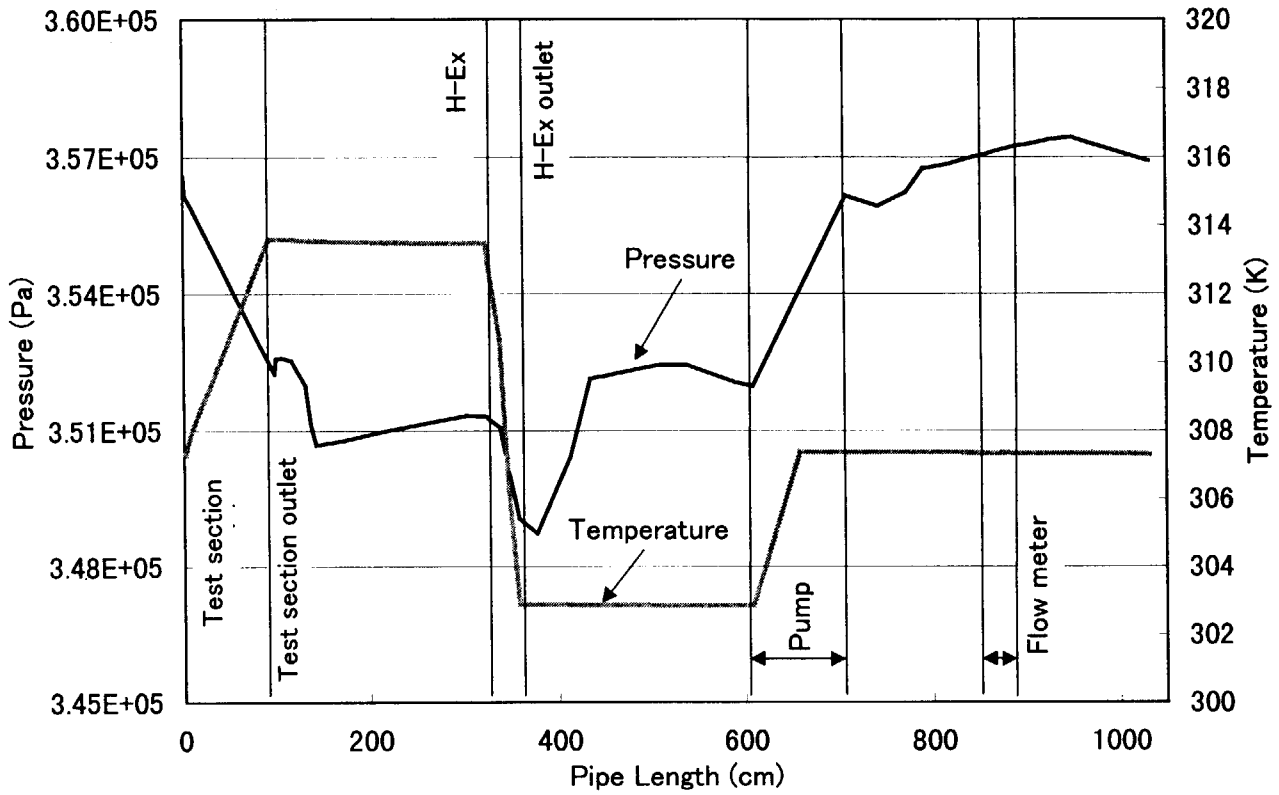


Fig.4.4(c) Temperature and pressure distributions in mercury experimental loop with test section heating

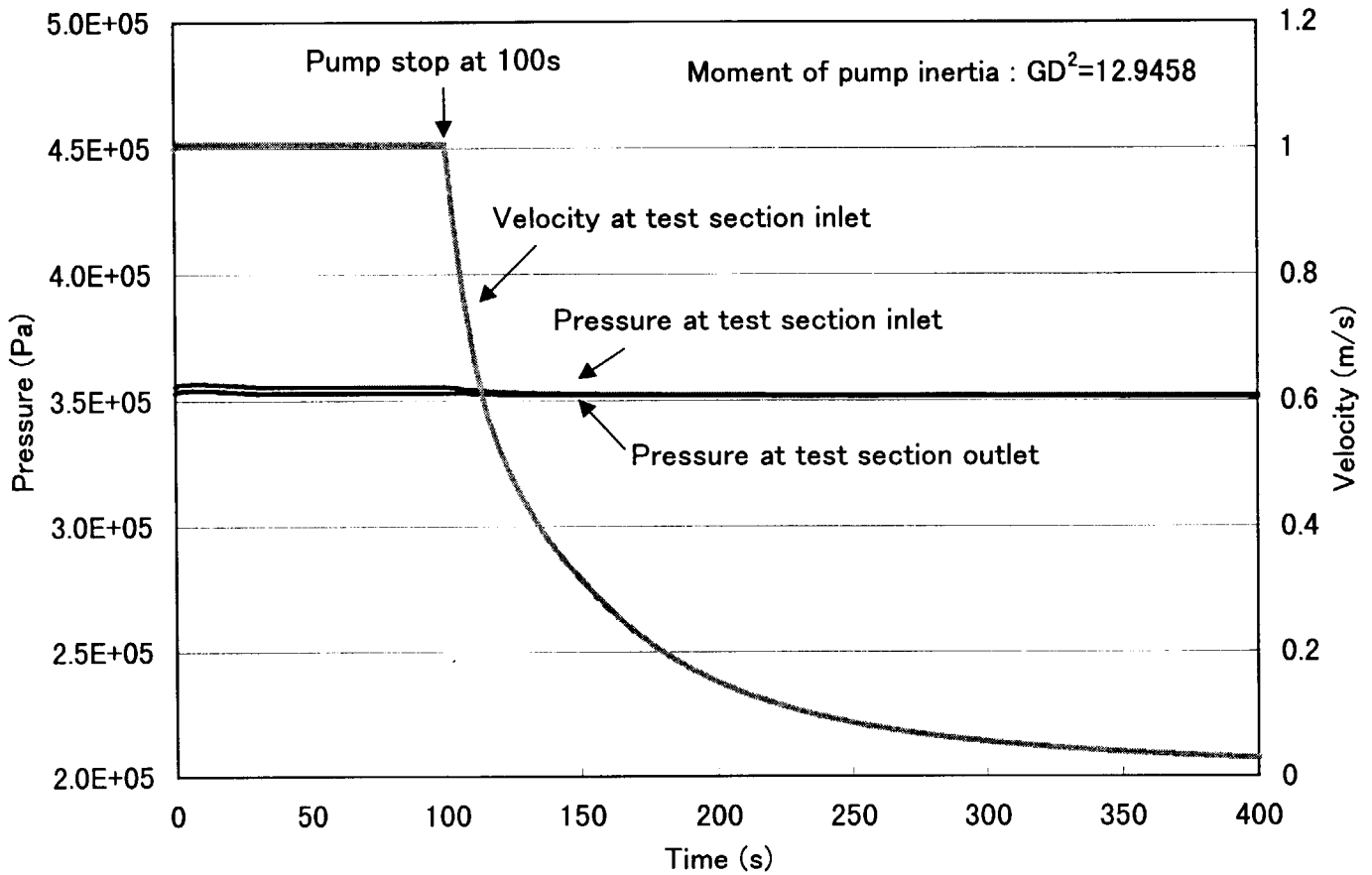


Fig.4.5(a) Pressure and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip under constant heating condition of test section (Moment of pump inertia : 12.9458)

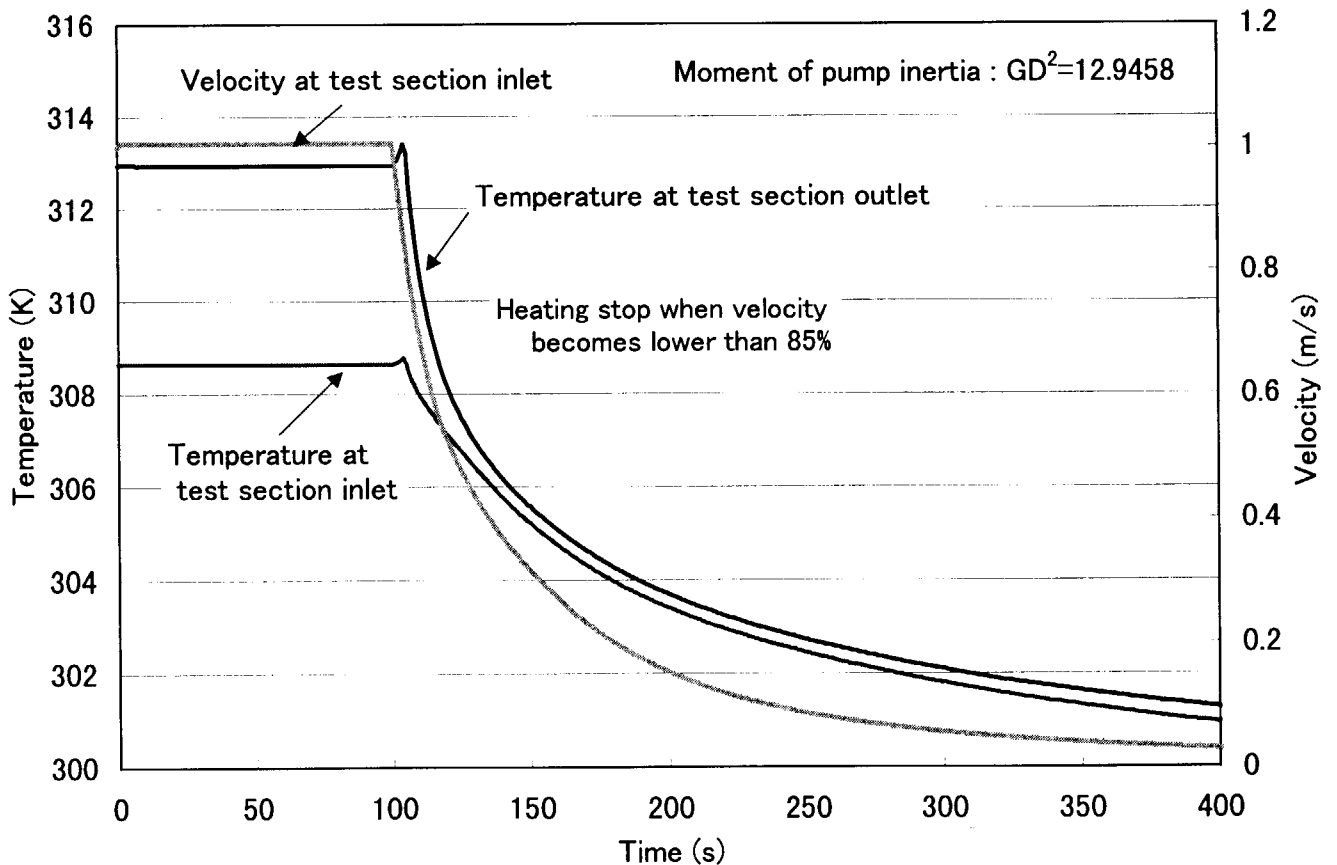


Fig.4.5(b) Temperature and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip under constant heating condition of test section (Moment of pump inertia : 12.9458)

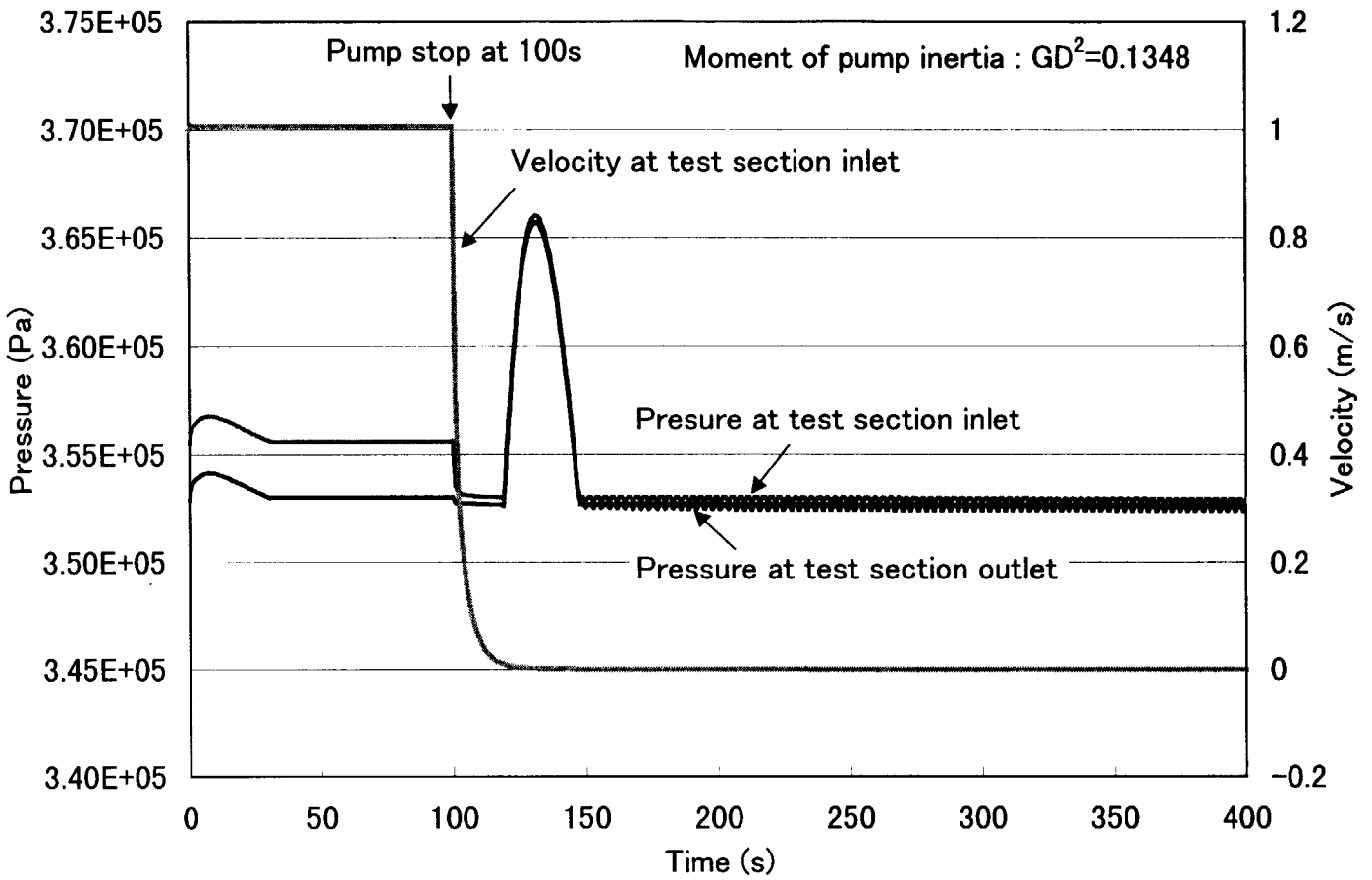


Fig.4.5(c) Pressure and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip under constant heating condition of test section (Moment of pump inertia : 0.1348)

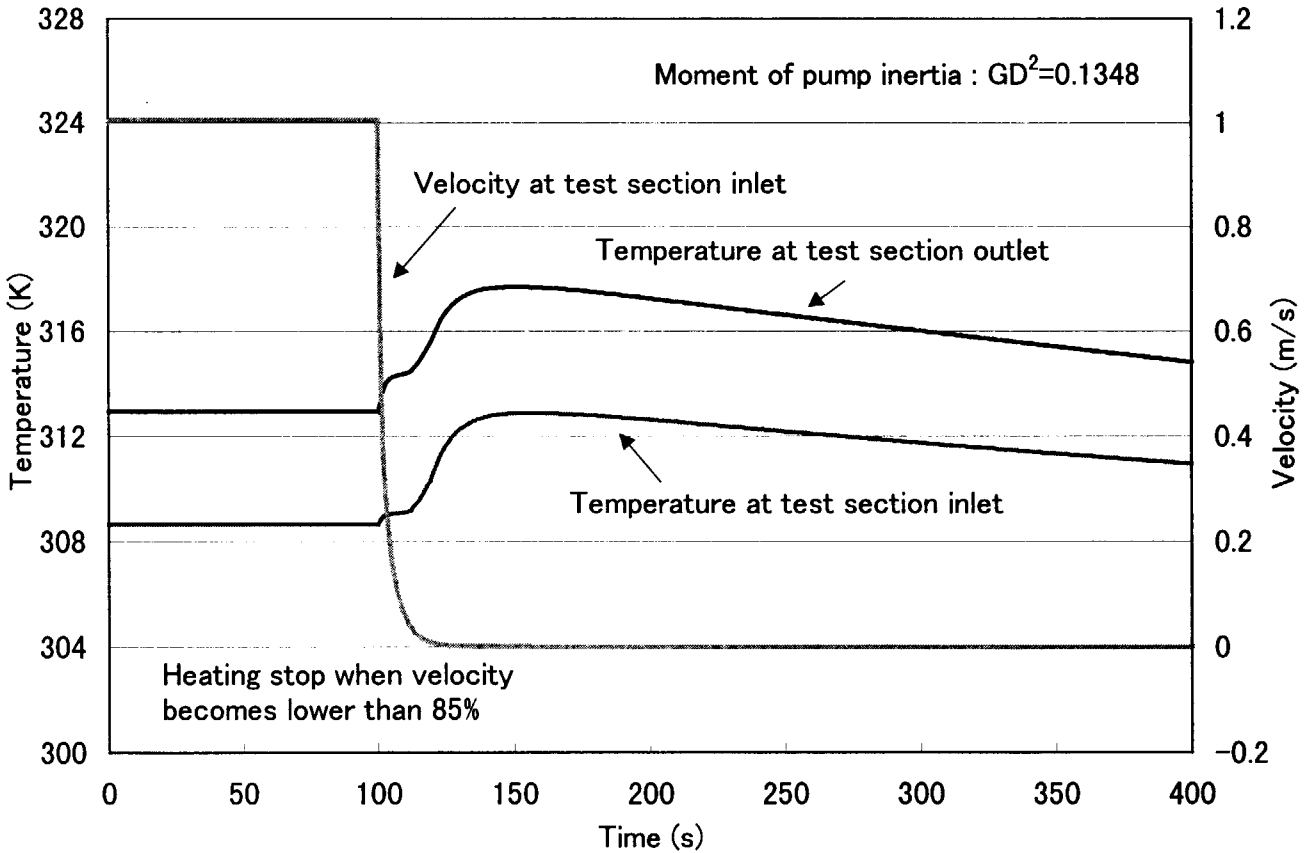


Fig.4.5(d) Temperature and velocity changes during loss of forced convection caused by pump trip under constant heating condition of test section (Moment of pump inertia : 0.1348)

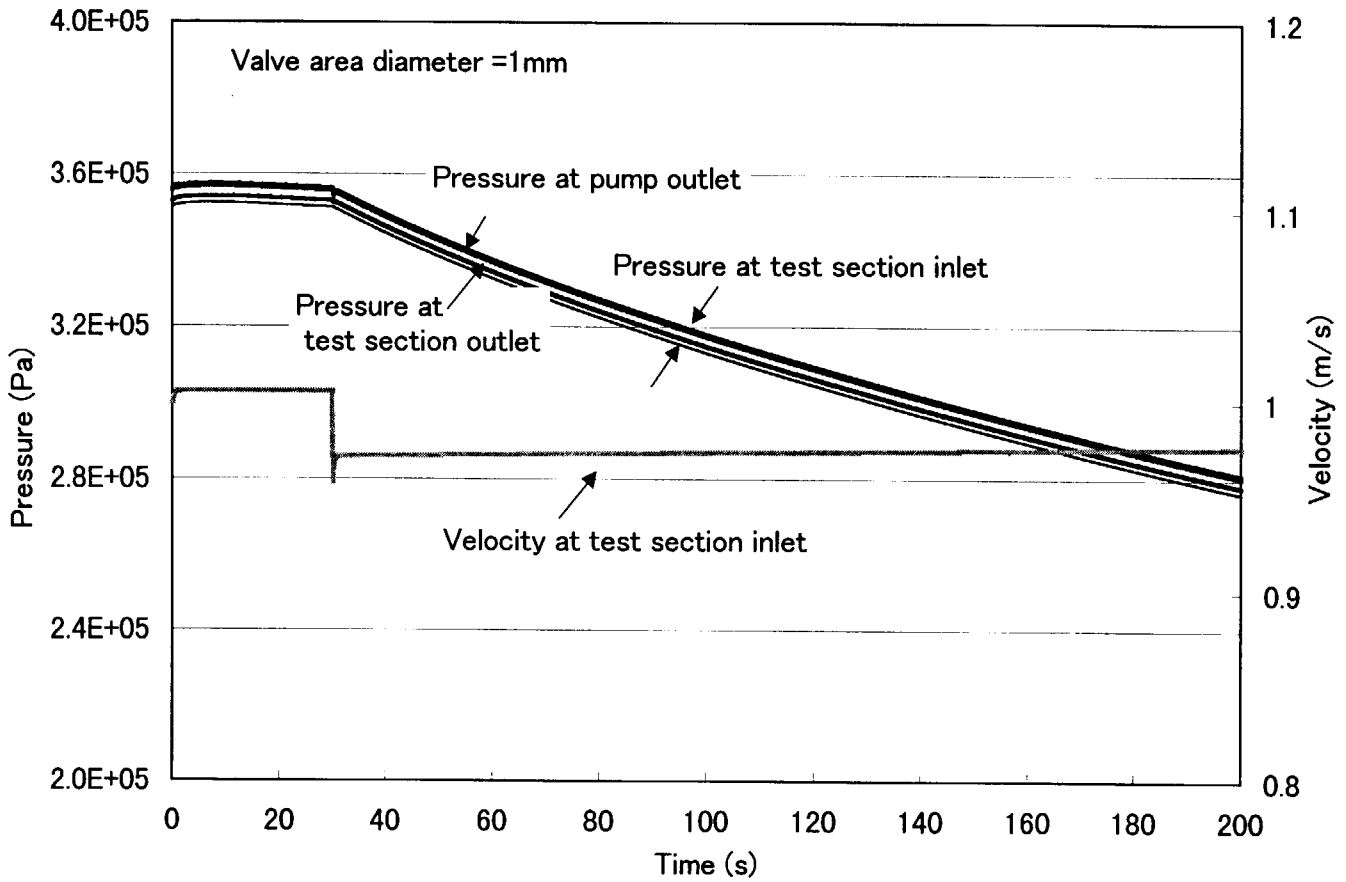


Fig.4.6(a) Pressure and velocity during loss of coolant accident (LOCA)  
(Valve area diameter : 1.0mm)

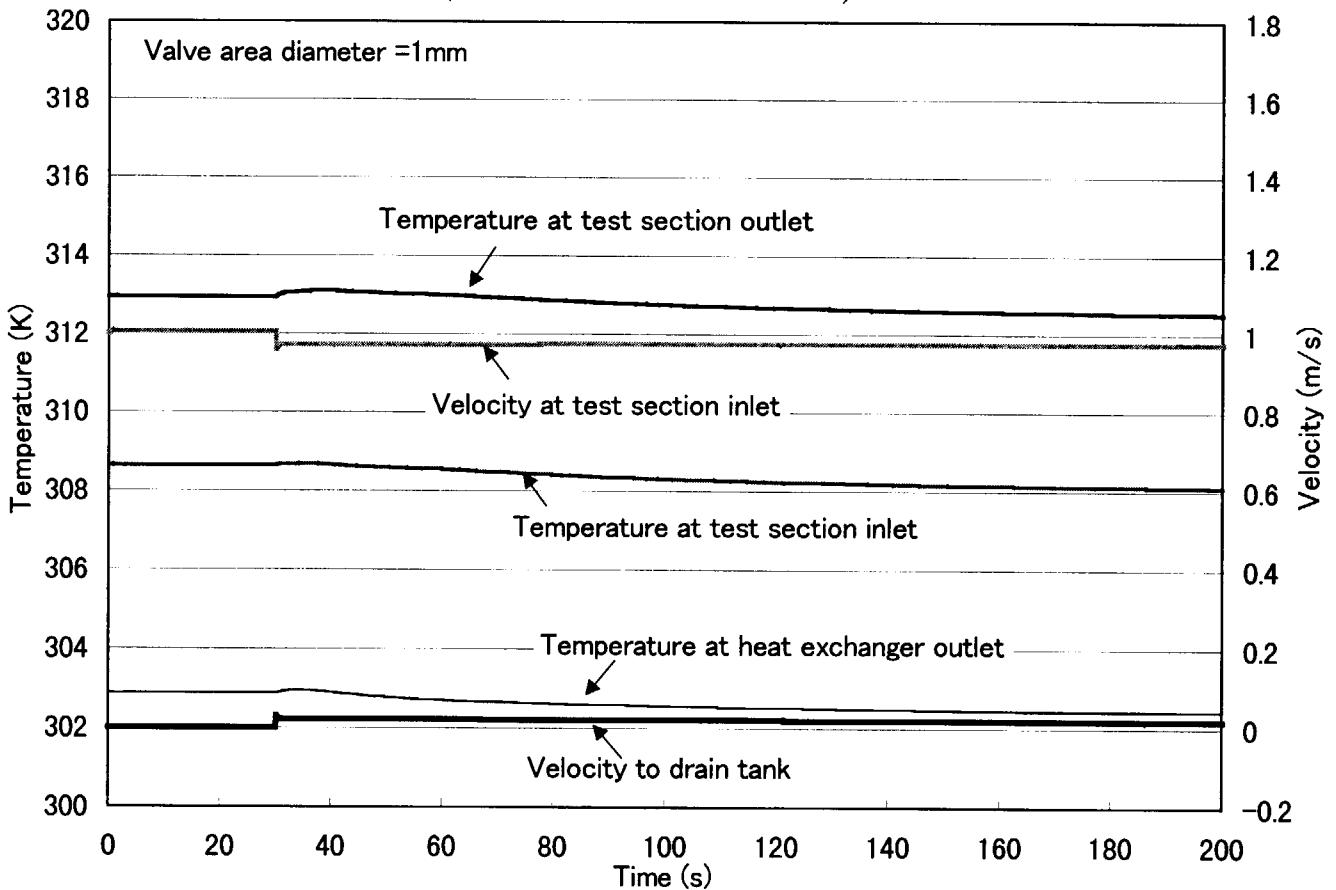


Fig.4.6(b) Temperature and velocity during loss of coolant accident (LOCA)  
(Valve area diameter : 1.0mm)

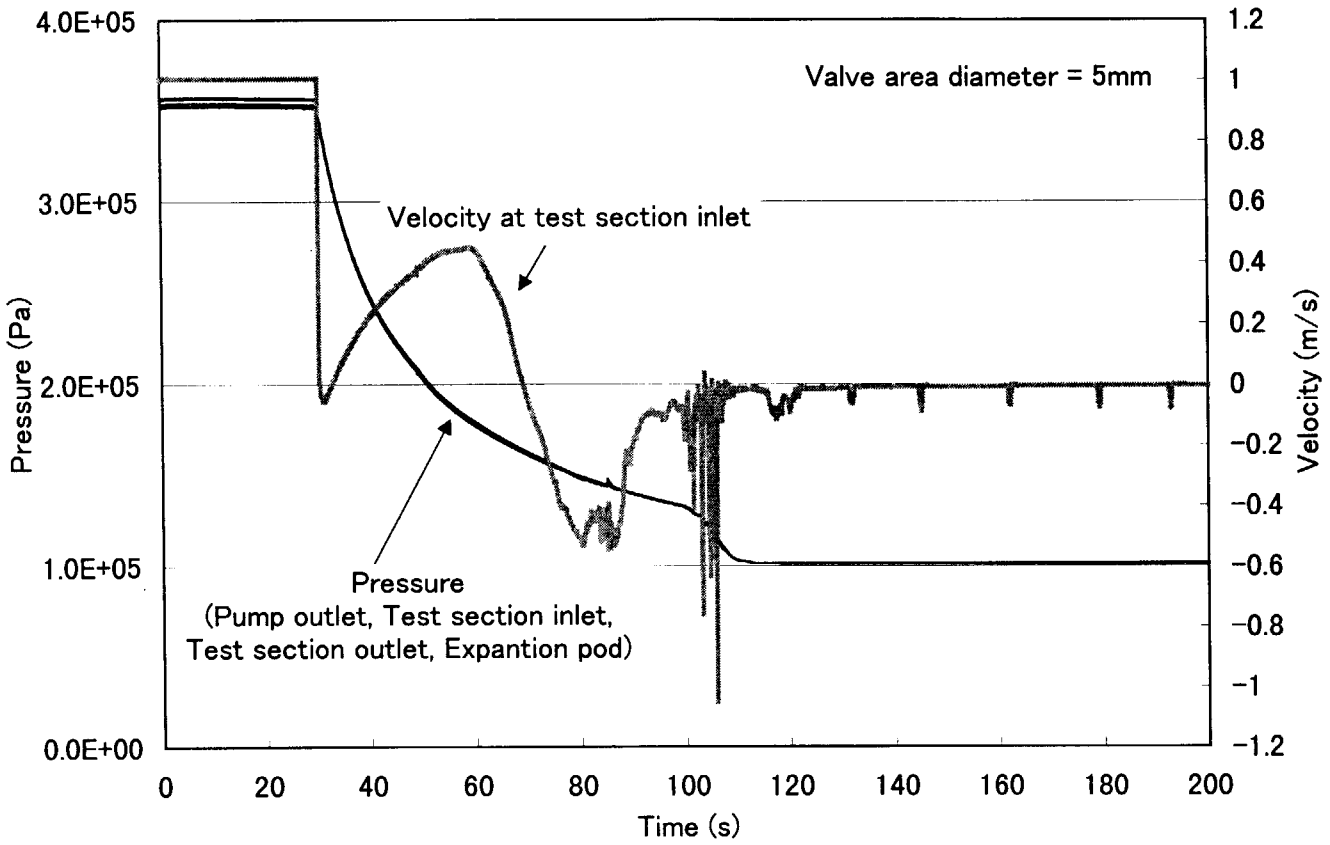


Fig.4.7(a) Pressure and velocity during loss of coolant accident (LOCA)  
(Valve area diameter : 5.0mm)

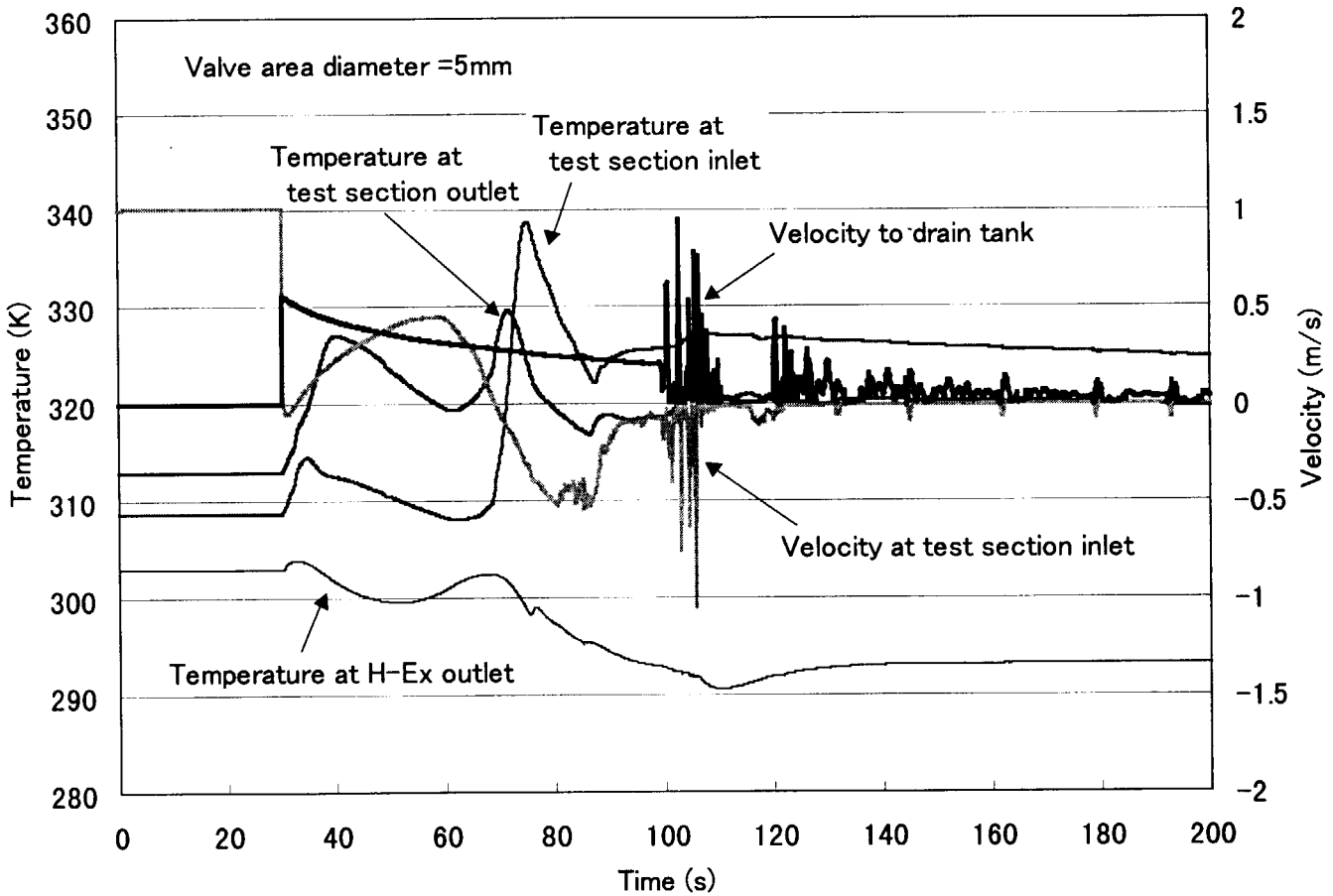


Fig.4.7(b) Temperature and velocity during loss of coolant accident (LOCA)  
(Valve area diameter : 5.0mm)

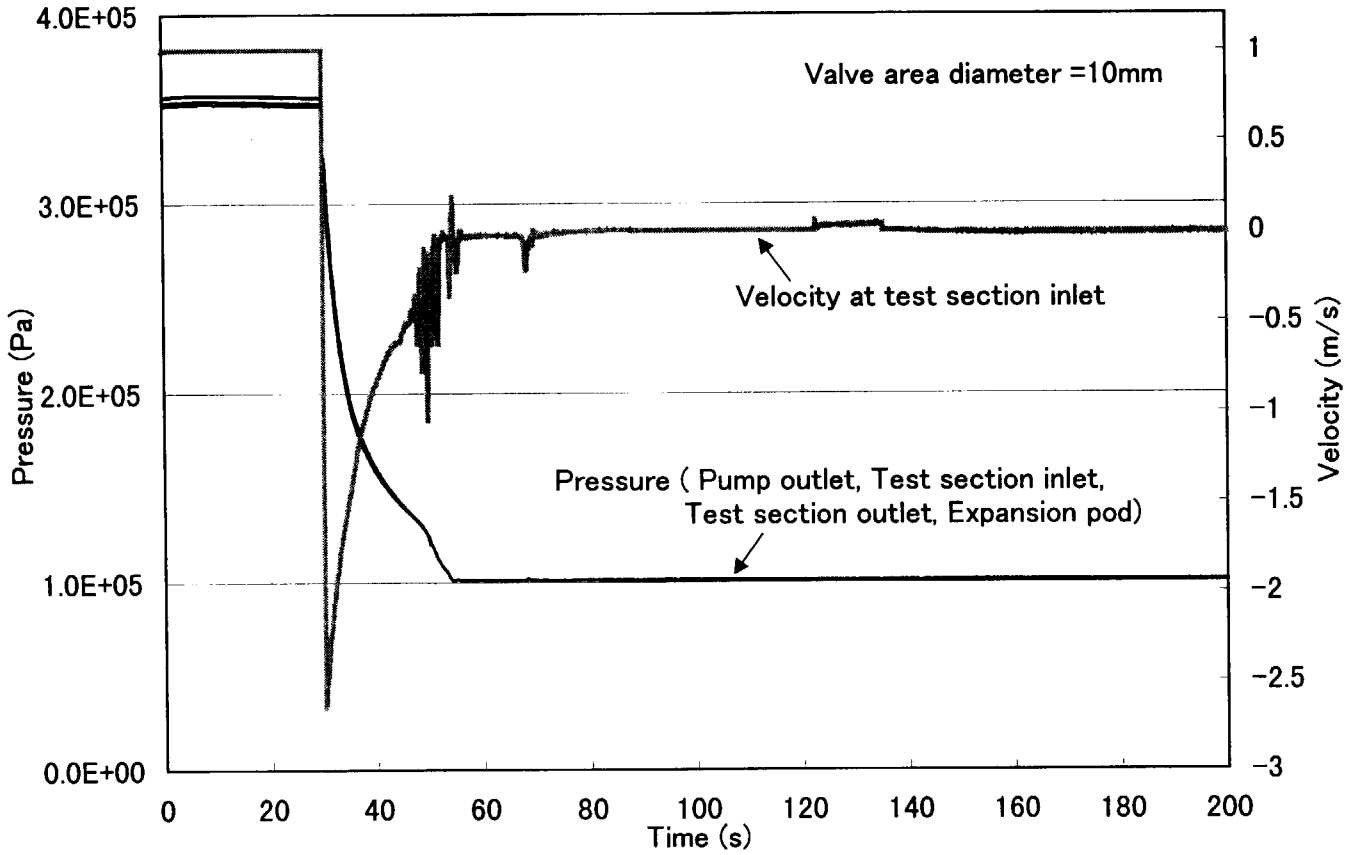


Fig.4.8(a) Temperature and velocity during loss of coolant accident (LOCA)  
(Valve area diameter : 10.0mm)

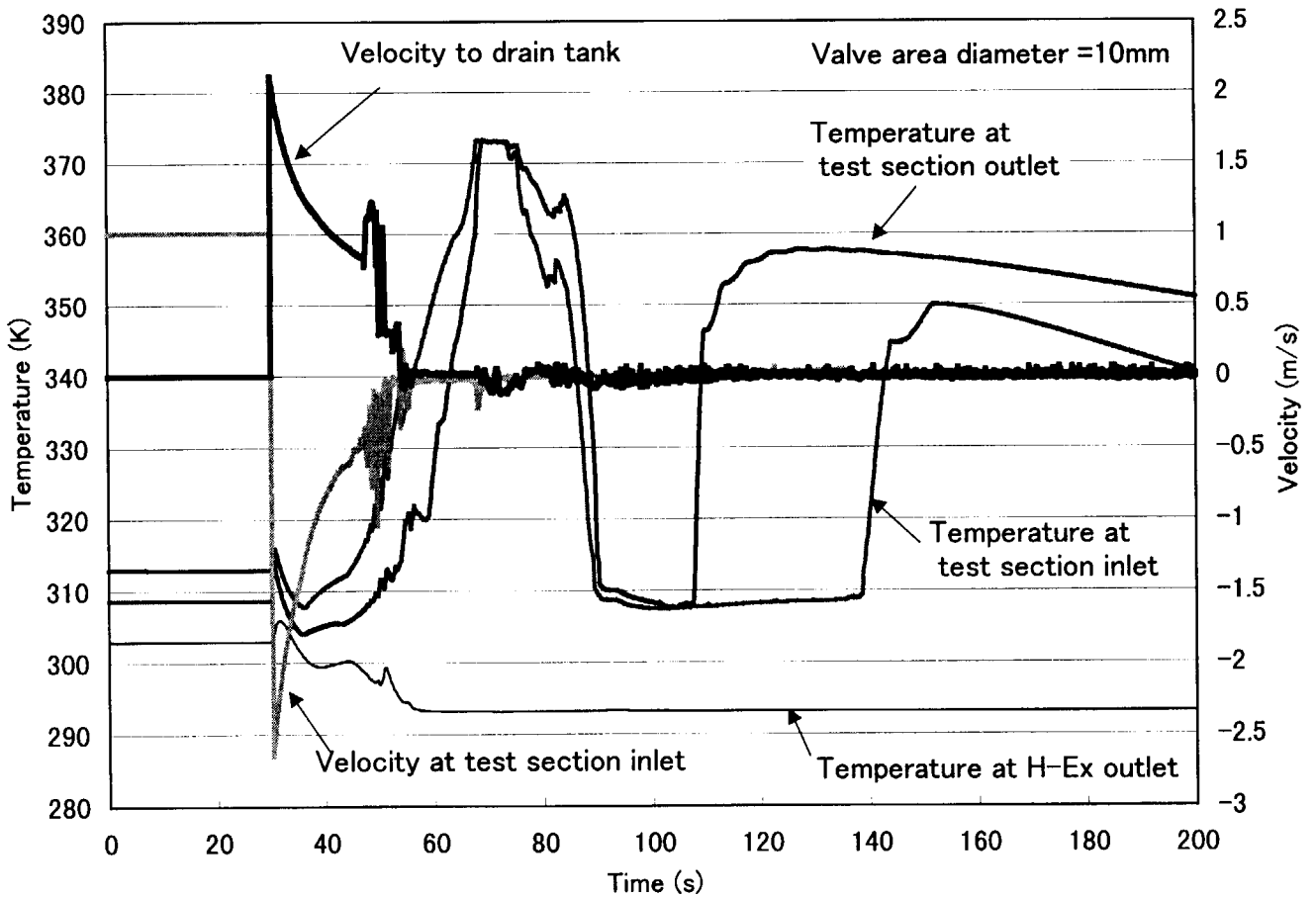


Fig.4.8(b) Temperature and velocity during loss of coolant accident (LOCA)  
(Valve area diameter : 10.0mm)

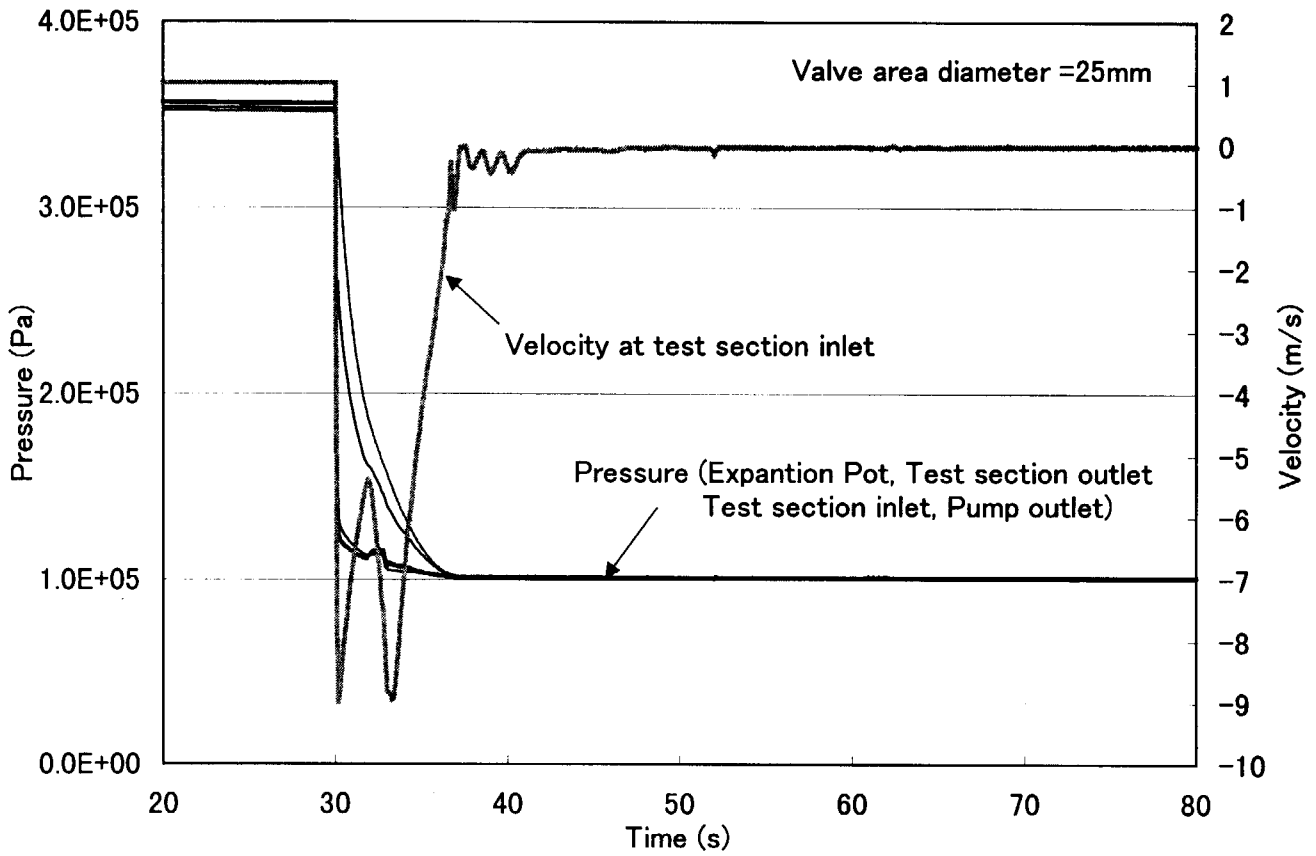


Fig.4.9(a) Temperature and velocity during loss of coolant accident (LOCA)  
(Valve area diameter : 25.0mm)

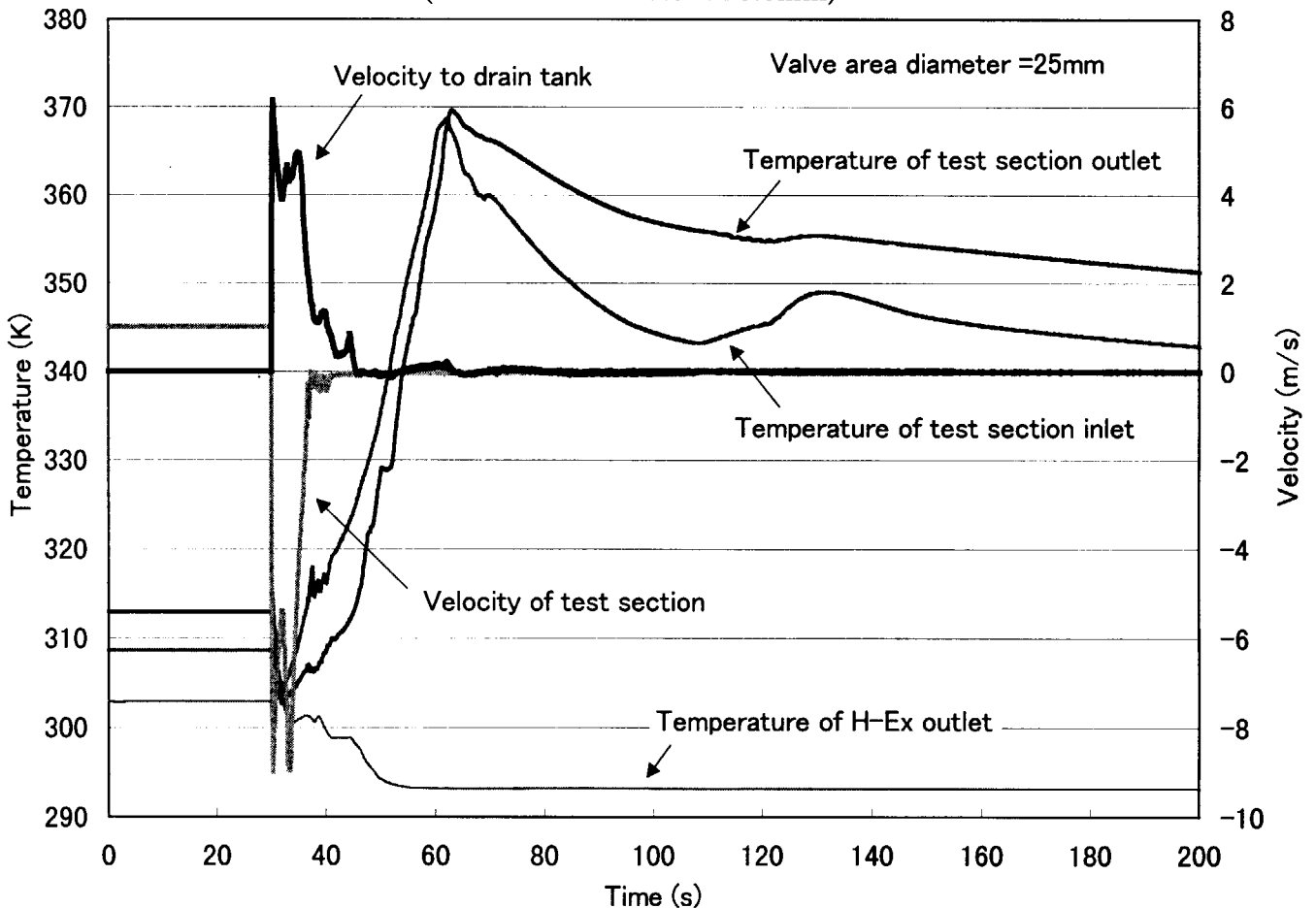


Fig.4.9(b) Temperature and velocity during loss of coolant accident (LOCA)  
(Valve area diameter : 25.0mm)

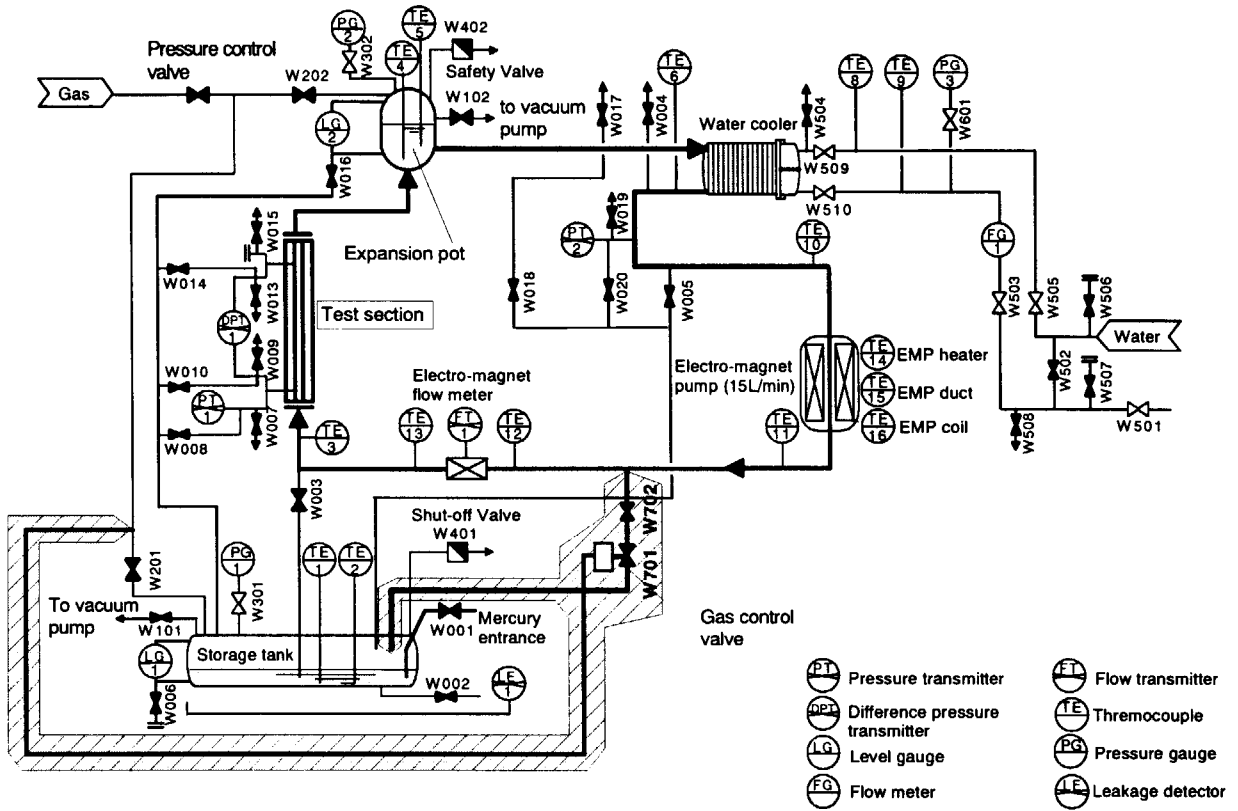


Fig.5.1 Modification plan of mercury experimental loop



## 付録1 水銀流動基礎実験装置の解析モデル (テストセクション以外の部分)

テストセクションから膨張ポッドまでのパイプ

### No.105 パイプ

内径 25mm の円管で、傾きは  $+2.94^\circ$  である。テストセクション下流にストレートに接続されている。また、ノード数は2で、均等に二分割した。

$$\begin{aligned} \text{流路面積} \quad S &= \pi r^2 \\ &= 4.909\text{E-}4 \quad [\text{m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{流路長さ} \quad L &= 0.21 / \cos(2.94^\circ) \\ &= 0.21024 \quad [\text{m}] \end{aligned}$$

$$\text{等価水力直径} \quad D_h = 0.025 \quad [\text{m}]$$

### No.106 ブランチ

内径 25mm の円管、垂直上向きで傾きは  $90^\circ$  である。膨張ポッド下部に接続している。ジャンクションは出入口の2つで No.106~108 間には面積急拡大モデルを適用した。

$$\text{流路面積} \quad S = 4.909\text{E-}4 \quad [\text{m}^2]$$

$$\text{流路長さ} \quad L = 100 \quad [\text{m}]$$

$$\text{等価水力直径} \quad D_h = 0.025 \quad [\text{m}]$$

ジャンクション

$$\text{No.105 出口から No.106 入口} \quad \text{曲がり角度} \quad 90^\circ \quad \text{面積} \quad 4.909\text{E-}4 \quad [\text{m}^2]$$

$$\text{No.106 出口から No.108 入口} \quad \text{曲がり角度} \quad 0^\circ \quad \text{面積} \quad 4.909\text{E-}4 \quad [\text{m}^2]$$

膨張ポッドから熱交換器までのパイプ

### No.112 ブランチ

内径 25mm の円管、水平で傾きは  $0^\circ$  である。膨張ポッド側面に接続している。ジャンクションは出入口の2つで No.108~112 間のジャンクションには面積急縮小モデルを適用した。

$$\text{流路面積} \quad S = 4.909\text{E-}4 \quad [\text{m}^2]$$

$$\text{流路長さ} \quad L = 100 \quad [\text{m}]$$

$$\text{等価水力直径} \quad D_h = 0.025 \quad [\text{m}]$$

ジャンクション

$$\text{No.108 出口から No.112 入口} \quad \text{曲がり角度} \quad 0^\circ \quad \text{面積} \quad 4.909\text{E-}4 \quad [\text{m}^2]$$

$$\text{No.112 出口から No.114 入口} \quad \text{曲がり角度} \quad 90^\circ \quad \text{面積} \quad 4.909\text{E-}4 \quad [\text{m}^2]$$

### No.114 パイプ

内径 25mm の円管で、傾きは  $-3.30^\circ$  である。また、ノード数は2で、均等に二分割した。

$$\text{流路面積} \quad S = 4.909\text{E-}4 \quad [\text{m}^2]$$

$$\begin{aligned} \text{流路長さ} \quad L &= 0.93 / \cos(3.30^\circ) \\ &= 0.9314 \quad [\text{m}] \end{aligned}$$

$$\text{等価水力直径} \quad D_h = 0.025 \quad [\text{m}]$$

No.116 ブランチ

内径 25mm の円管、水平で傾きは  $-2.94^\circ$  である。熱交換器入口部への誘導部である。

流路面積  $S = 4.909E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

流路長さ  $L = 0.555 \text{ [m]}$

等価水力直径  $D_h = 0.025 \text{ [m]}$

ジャンクション

No.114 出口から No.116 入口 曲がり角度  $90^\circ$  面積  $4.909E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

No.116 出口から No.118 入口 曲がり角度  $90^\circ$  面積  $4.909E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

No.118 ブランチ

内径 25mm の円管、水平で傾きは  $-2.40^\circ$  である。この傾きによってループ全体の高低差を調節をした。熱交換器入口部への誘導部である。ジャンクションは出口側に1つ設けた。

流路面積  $S = 4.909E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

流路長さ  $L = 0.1475 \text{ [m]}$

等価水力直径  $D_h = 0.025 \text{ [m]}$

ジャンクション

No.118 出口から No.120 入口 曲がり角度  $90^\circ$  面積  $4.909E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

No.120 ブランチ

内径 25mm の円管、水平で傾きは  $0^\circ$  である。熱交換器入口部分に接続している。

流路面積  $S = 4.909E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

流路長さ  $L = 0.255 \text{ [m]}$

等価水力直径  $D_h = 0.025 \text{ [m]}$

ジャンクション

No.120 出口から No.124 入口 曲がり角度  $90^\circ$  面積  $4.909E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

**熱交換器からポンプまでのパイプ**No.126 ブランチ

内径 25mm の円管、水平で傾きは  $0^\circ$  である。熱交換器出口部分に接続している。ジャンクションは出入口の2つである。

流路面積  $S = 4.909E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

流路長さ  $L = 0.322 \text{ [m]}$

等価水力直径  $D_h = 0.025 \text{ [m]}$

ジャンクション

No.124 出口から No.126 入口 曲がり角度  $90^\circ$  面積  $4.909E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

No.126 出口から No.128 入口 曲がり角度  $90^\circ$  面積  $4.909E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

No.128 ブランチ

内径 25mm の円管、下向きで傾きは  $-67.5^\circ$  である。ジャンクションは出口側に1つ設けた。

流路面積  $S = 4.909E-4 \text{ [m}^2\text{]}$

流路長さ  $L = 0.385$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.025$  [m]

ジャンクション

No.128 出口から No.130 入口 曲がり角度  $90^\circ$  面積  $4.909E-4$  [m<sup>2</sup>]

#### No.130 ブランチ

内径 25mm の円管、傾きは  $-2.94^\circ$  である。ジャンクションは出口側に 1 つ設けた。

流路面積  $S = 4.909E-4$  [m<sup>2</sup>]

流路長さ  $L = 0.0381$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.025$  [m]

ジャンクション

No.130 出口から No.134 入口 曲がり角度  $0^\circ$  面積  $4.909E-4$  [m<sup>2</sup>]

#### No.134 パイプ

内径 25mm の円管、傾きは  $-2.94^\circ$  である。ポンプ入口圧力及び温度の計測部に相当する。そのため、5 ノードに分割し、各部分長さは上流より 7.6, 13.8, 13.8, 3.6, 15.7mm に設定した。

流路面積  $S = 4.909E-4$  [m<sup>2</sup>]

流路長さ  $L = 0.545$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.025$  [m]

#### No.136 ブランチ

内径 25mm の円管、傾きは  $-2.94^\circ$  である。ジャンクションは出入口の 2 つである。

流路面積  $S = 4.909E-4$  [m<sup>2</sup>]

流路長さ  $L = 0.390$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.025$  [m]

ジャンクション

No.134 出口から No.136 入口 曲がり角度  $0^\circ$  面積  $4.909E-4$  [m<sup>2</sup>]

No.136 出口から No.138 入口 曲がり角度  $90^\circ$  面積  $4.909E-4$  [m<sup>2</sup>]

#### No.138 ブランチ

内径 25mm の円管、傾きは  $+4.59^\circ$  である。ジャンクションは出口側に 1 つである。

流路面積  $S = 4.909E-4$  [m<sup>2</sup>]

流路長さ  $L = 0.150$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.025$  [m]

ジャンクション

No.138 出口から No.140 入口 曲がり角度  $90^\circ$  面積  $4.909E-4$  [m<sup>2</sup>]

#### No.140 ブランチ

内径 25mm の円管、傾きは  $+2.94^\circ$  である。ジャンクションは出口側に 1 つ設けた。

流路面積  $S = 4.909E-4$  [m<sup>2</sup>]

流路長さ  $L = 0.390$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.025$  [m]

ジャンクション

No.140 出口から No.142 入口 曲がり角度  $90^\circ$  面積  $4.909E-4$  [ $m^2$ ]

No.142 ブランチ

内径 25mm の円管、下向きで傾きは  $+3.09^\circ$  である。ポンプ手前にストレートに接続している。ジャンクションは出口側に1つ設けた。

流路面積  $S = 4.909E-4$  [ $m^2$ ]

流路長さ  $L = 0.150$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.025$  [m]

ジャンクション

No.142 出口から No.144 入口 曲がり角度  $0^\circ$  面積  $4.909E-4$  [ $m^2$ ]

ポンプから流量計へのパイプ

No.154 ブランチ

内径 25mm の円管、傾きは  $+3.09^\circ$  である。ポンプ下流部にストレートに接続されている。ジャンクションは出入口の2つである。

流路面積  $S = 4.909E-4$  [ $m^2$ ]

流路長さ  $L = 0.495$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.025$  [m]

ジャンクション

No.152 出口から No.154 入口 曲がり角度  $0^\circ$  面積  $4.909E-4$  [ $m^2$ ]

No.154 出口から No.156 入口 曲がり角度  $90^\circ$  面積  $4.909E-4$  [ $m^2$ ]

No.156 ブランチ

内径 28mm の円管、垂直下向きで傾きは  $-90^\circ$  である。ジャンクションは出口側に1つ設けた。

流路面積  $S = 4.909E-4$  [ $m^2$ ]

流路長さ  $L = 0.100$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.025$  [m]

ジャンクション

No.156 出口から No.158 入口 曲がり角度  $90^\circ$  面積  $4.909E-4$  [ $m^2$ ]

No.158 ブランチ

内径 25mm の円管、傾きは  $-3.09^\circ$  である。ジャンクションは出口側に1つ設けた。

流路面積  $S = 4.909E-4$  [ $m^2$ ]

流路長さ  $L = 0.195$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.025$  [m]

ジャンクション

No.158 出口から No.160 入口 曲がり角度  $0^\circ$  面積  $4.909E-4$  [ $m^2$ ]

No.160 ブランチ

内径 25mm の円管、傾きは  $-3.30^\circ$  である。流量計上流部にストレートに接続されている。

ジャンクションは出口側に1つ設けた。

$$\text{流路面積 } S = 4.909\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{流路長さ } L = 0.338 \text{ [m]}$$

$$\text{等価水力直径 } D_h = 0.025 \text{ [m]}$$

ジャンクション

$$\text{No.160 出口から No.166 入口 曲がり角度 } 0^\circ \text{ 面積 } 4.909\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

流量計からテストセクションへのパイプ

#### No.174 ブランチ

内径 25mm の円管、傾きは  $-3.30^\circ$  である。流量計下流部にストレートに接続されている。

ジャンクションは出口側に1つ設けた。

$$\text{流路面積 } S = 4.909\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{流路長さ } L = 0.144 \text{ [m]}$$

$$\text{等価水力直径 } D_h = 0.025 \text{ [m]}$$

ジャンクション

$$\text{No.174 出口から No.176 入口 曲がり角度 } 90^\circ \text{ 面積 } 4.909\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

#### No.176 ブランチ

内径 25mm の円管、傾きは  $-3.82^\circ$  である。ジャンクションは出口側に1つ設けた。

$$\text{流路面積 } S = 4.909\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{流路長さ } L = 0.300 \text{ [m]}$$

$$\text{等価水力直径 } D_h = 0.025 \text{ [m]}$$

ジャンクション

$$\text{No.176 出口から No.178 入口 曲がり角度 } 0^\circ \text{ 面積 } 4.909\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

#### No.178 ブランチ

内径 25mm の円管、傾きは  $+2.94^\circ$  である。ジャンクションは出口側に1つ設けた。

$$\text{流路面積 } S = 4.909\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{流路長さ } L = 0.150 \text{ [m]}$$

$$\text{等価水力直径 } D_h = 0.025 \text{ [m]}$$

ジャンクション

$$\text{No.178 出口から No.180 入口 曲がり角度 } 45^\circ \text{ 面積 } 4.909\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

#### No.180 ブランチ

内径 25mm の円管、傾きは  $+2.94^\circ$  である。出入口とも  $45^\circ$  の方向変化で接続されている。

ジャンクションは出口側に1つ設けた。

$$\text{流路面積 } S = 4.909\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{流路長さ } L = 0.26905 \text{ [m]}$$

$$\text{等価水力直径 } D_h = 0.025 \text{ [m]}$$

ジャンクション

$$\text{No.180 出口から No.182 入口 曲がり角度 } 45^\circ \text{ 面積 } 4.909\text{E-}4 \text{ [m}^2\text{]}$$

No.182 パイプ

内径 25mm の円管、傾きは +2.94° である。

流路面積  $S = 4.909E-4$  [m<sup>2</sup>]

流路長さ  $L = 0.952$  [m]

等価水力直径  $D_h = 0.025$  [m]

## 周囲の環境

No.900 シングルボリューム

窒素ガスで面積 2000m<sup>2</sup>、長さ 100m で、圧力は大気圧( $1.0133 \times 10^5$  Pa)、温度 25℃とし、周囲の環境を模擬した。本要素は配管や各機器からの放熱先となる。管外壁から空気への熱伝達率はテストセクション非加熱時には 5.0、加熱時には 15.0W/m<sup>2</sup>K と設定して、ループ内の温度を定常状態に保つようにした。

## 熱交換器の冷却水

No.920 シングルボリューム

大気圧( $1.0133 \times 10^5$  Pa)、温度 25℃の水で、面積 2000m<sup>2</sup>、長さ 100m とした。水銀ループで発生する熱の最終的な放熱先である。冷却水側での熱伝達率はテストセクション非加熱時には 3700W/m<sup>2</sup>K、加熱時には 5500W/m<sup>2</sup>K とし、ポンプ及びテストセクションでの温度上昇を低下させた。

## 付録2 ヒートストラクチャの詳細

### No.100-1 (テストセクション外壁)

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向に 14 分割、半径方向に 3 分割(1.5mm×3)した。

各要素長さは上流より

13, 17, 100, 100, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 100, 100, 17, 13 mm である。

内部の流体要素は各々上流より、No. 100, 101, 102-1~10, 103, 104 である。

外部は No.900 に接している。

### No.105-1

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向に 2 分割、半径方向に 3 分割(1.5mm×3)した。

各要素長さは 105.12mm である。

内部の流体要素は No.105 である。

外部は No.900 に接している。

### No.106-1

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向の分割無し、半径方向に 3 分割(1.5mm×3)した。

要素長さは 100mm である。

内部の流体要素は No.106 である。

外部は No.900 に接している。

### No.110-1 (膨張ポッド)

外径 216.3mm、内径 203.3mm の円管で、軸方向に 2、半径方向に 3 分割(2.17mm×3)した。

各要素長さは 75、325mm である。

内部の流体要素は No.108、110 である。

外部は No.900 に接している。

### No.112-1

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向分割無し、半径方向に 3 分割(1.5mm×3)した。

長さは 100mm である。

内部の流体要素は No.112 である。

外部は No.900 に接している。

### No.114-1

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向に 2 分割、半径方向に 3 分割(1.5mm×3)した。

長さは 465.7mm である。

内部の流体要素は No.114-1,2 である。

外部は No.900 に接している。

### No.118-1

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向に 3 分割、半径方向に 3 分割(1.5mm×3)した。

各要素長さは上流から 555, 147.5, 255 mm である。

内部の流体要素は No.116, 118, 120 である。

外部は No.900 に接している。

No.124-1 (熱交換器)

厚さ 0.4mm、幅 50mm のステンレス板で、軸方向に 5 分割、半径方向分割無し。

各要素長さは 50mm (×5) である。

内部の流体要素は No.124-1~5 である。

外部は No.920 である。

No.130-1

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向に 3 分割、半径方向に 3 分割(1.5mm×3)した。

各要素長さは 322, 385, 38.1 mm である。

内部の流体要素は No.126, 128, 130 である。

外部は No.900 に接している。

No.134-1

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向に 5 分割、半径方向に 3 分割(1.5mm×3)した。

各要素長さは 76, 138, 138, 36, 157 mm である。

内部の流体要素は No.134-1~5 である。

外部は No.900 に接している。

No.140-1

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向に 4 分割、半径方向に 3 分割(1.5mm×3)した。

各要素長さは 390, 150, 190, 150 mm である。

内部の流体要素は No.136, 138, 140, 142 である。

外部は No.900 に接している。

No.144-1

外径 34mm、内径 28mm の円管で、軸方向分割無し、半径方向に 3 分割(1.0mm×3)した。

長さは 200 mm である。

内部の流体要素は No.144 である。

外部は No.900 に接している。

No.150-1 (E-M ポンプ)

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向分割無し、半径方向に 3 分割(1.0mm×3)した。

長さは 800 mm である。

内部の流体要素は No.150 である。

外部は No.900 に接している。

定常発熱 5000W (General Table 150)

No.152-1

外径 34mm、内径 28mm の円管で、軸方向分割無し、半径方向に 3 分割(1.0mm×3)した。

長さは 200 mm である。

内部の流体要素は No.152 である。

外部は No.900 に接している。



No.160-1

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向に 4 分割、半径方向に 3 分割(1.5mm×3)した。  
各要素長さは 495, 100, 195, 338 mm である。  
内部の流体要素は No.154, 156, 158, 160 である。  
外部は No.900 に接している。

No.166-1

外径 34mm、内径 28mm の円管で、軸方向分割無し、半径方向に 3 分割(1.0mm×3)した。  
長さは 200 mm である。  
内部の流体要素は No.166 である。  
外部は No.900 に接している。

No.170-1 (E-M Flow Meter)

外径 34mm、内径 28mm の円管で、軸方向に 3 分割、半径方向に 3 分割(1.0mm×3)した。  
長さは 80 mm である。  
内部の流体要素は No.170-1, 2 である。  
外部は No.900 に接している。

No.172-1

外径 34mm、内径 28mm の円管で、軸方向分割無し、半径方向に 3 分割(1.0mm×3)した。  
長さは 200 mm である。  
内部の流体要素は No.172 である。  
外部は No.900 に接している。

No.176-1

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向に 4 分割、半径方向に 3 分割(1.5mm×3)した。  
各要素長さは 144, 300, 150, 269.05 mm である。  
内部の流体要素は No.174, 176, 178, 180 である。  
外部は No.900 に接している。

No.182-1

外径 34mm、内径 25mm の円管で、軸方向分割無し、半径方向に 3 分割(1.5mm×3)した。  
長さは 952 mm である。  
内部の流体要素は No.182 である。  
外部は No.900 に接している。

付録3 冷却材流出事故(LOCA)解析時の RELAP5 入力データ

```

= MERCURY-LOOP TEST SECTION HEATING BREAK TRIP OCCURENCE
*****
0000100    NEW      TRANSNT
0000101    RUN
0000102    SI
0000105    5.       10.
0000110    NITROGEN
*****
* TIME STEP CONTROL
0000201    200.0  1.0E-12  0.01   2   10  4000  4000
*****
* MINOR EDIT REQUEST
0000301    P        102020000    * PRESSURE OF TEST SECTION INLET
0000302    VELF     102020000    * VELOCITY OF TEST SECTION INLET
0000303    TEMPF    102020000    * TEMPERATURE OF INLET
0000304    P        102090000    * PRESSURE OF TEST SECTION OUTLET
0000305    VELF     102090000    * VELOCITY OF TEST SECTION OUTLET
0000306    TEMPF    102090000    * TEMPERATURE OF OUTLET
0000307    P        134040000    * PRESSURE OF PUMP INLET
0000308    TEMPF    134020000    * TEMPERATURE OF PUMP INLET
0000309    P        108010000    * PRESSURE OF EXPANSIONN POD
0000310    VELF     170020000    * VELOCIRY OF FLOW METER
0000311    VELF     182010000    * VELOCITY OF PRE PIPE
0000312    TEMPF    120010000    * TEMPERARURE OF H-E INLET
0000313    TEMPF    126010000    * TEMPERATURE OF H-E OUTLET
0000314    PMPHEAD  150          * PUMP HEAD (PA)
0000317    TEMPF    144010000    * TEMPERATURE OF PUMP INLET
0000318    TEMPF    152010000    * TEMPERATURE OF PUMP OUTLET
0000325    VELFJ    177000000    * VELOCITY OF BREAK VALVE
0000326    P        152010000    * PRESSURE OF PUMP OUTLET
*****
0000401    TIME     0      GE NULL  0    30.    L
0000402    P        102020000 LT NULL  0    1.500E+5 L
0000403    TIME     0      GE TIMEOF 402 30.0 L
*****
* INPUT MODEL FOR RELAP5/MOD2 FOR THE MERCURY TEST LOOP
* HYDRODYNAMIC COMPONENTS
*****
* TEST SECTION
1000000    TESTUP1   BRANCH
1000001    2        0
1000101    3.423E-4  0.013  0 180.0  2.94  0.667E-3  1.5E-6  0.011908  00
1000200    3        3.566E+5  307.30
1001101    182010000  100000000  3.423E-4  0.0  0.0  0000
1002101    100010000  101000000  1.767E-4  0.0  0.0  0000
1001201    0.516  0.516  0.0
1002201    1.0    1.0    0.0
*****
1010000    TESTUP2   BRANCH
1010001    1        0
1010101    1.767E-4  0.017  0.0 180.0  2.94  0.872E-3  1.5E-6  0.005  00
1010200    3        3.562E+5  307.30
1011101    101010000  102000000  1.767E-4  0.0  0.0  0000
1011201    1.0    1.0    0.0
*****
1020000    TESTMAIN  PIPE
1020001    10
1020101    1.767E-4  10
1020301    0.1      2
1020302    0.09     8
1020303    0.1      10

```

```

1020601 2.94 10
1020701 5.129E-3 2
1020702 4.616E-3 8
1020703 5.129E-3 10
1020801 1.5E-6 0.005 10
1021001 00 10
1021101 0000 9
1021201 0 3.559E+5 145760.0 2548600.0 0.0 0.0 01
1021202 0 3.555E+5 148560.0 2548600.0 0.0 0.0 02
1021203 0 3.551E+5 151080.0 2556400.0 0.0 0.0 03
1021204 0 3.547E+5 153600.0 2556400.0 0.0 0.0 04
1021205 0 3.544E+5 156120.0 2556400.0 0.0 0.0 05
1021206 0 3.540E+5 158640.0 2556400.0 0.0 0.0 06
1021207 0 3.536E+5 161160.0 2556400.0 0.0 0.0 07
1021208 0 3.533E+5 163680.0 2556400.0 0.0 0.0 08
1021209 0 3.529E+5 166480.0 2556400.0 0.0 0.0 09
1021210 0 3.525E+5 169280.0 2556400.0 0.0 0.0 10
1021300 0
1021301 1.0 1.0 0.0 01 *
1021302 1.0 1.0 0.0 02 *
1021303 1.0 1.0 0.0 03 *
1021304 1.0 1.0 0.0 04 *
1021305 1.0 1.0 0.0 05 *
1021306 1.0 1.0 0.0 06 *
1021307 1.0 1.0 0.0 07 *
1021308 1.0 1.0 0.0 08 *
1021309 1.0 1.0 0.0 09 *
*****
1030000 TDOWN1 BRANCH
1030001 2 0
1030101 1.767E-4 0.017 0.0 180.0 2.94 0.872E-3 1.5E-6 0.005 00
1030200 3 3.522E+5 313.60
1031101 102010000 103000000 1.767E-4 0.0 0.0 0000
1032101 103010000 104000000 1.767E-4 0.0 0.0 0000
1031201 1.00 1.00 0.0
1032201 1.00 1.00 0.0
*****
1040000 TDOWN2 BRANCH
1040001 1 0
1040101 3.423E-4 0.013 0.0 180.0 2.94 0.667E-3 1.5E-6 0.011908 00
1040200 3 3.525E+5 313.60
1041101 104010000 105000000 3.423E-4 0.0 0.0 0000
1041201 0.516 0.516 0.0
*****
* PIPE TO ACCUMULATOR
1050000 PIPE1 PIPE
1050001 2
1050101 4.909E-4 2
1050301 0.10512 2
1050601 2.94 2
1050701 5.393E-3 2
1050801 1.5E-6 0.025 2
1051001 00 2
1051101 0000 1
1051201 0 3.526E+5 169260.0 2556400.0 0.0 0.0 01
1051202 0 3.525E+5 169250.0 2556400.0 0.0 0.0 02
1051300 0
1051301 0.3600 0.3600 0.0 01
*****
1060000 PREACCM BRANCH
1060001 2 0
1060101 4.909E-4 0.100 0 0.0 90.0 0.100 1.5E-6 0.025 00
1060200 0 3.520E+5 169120.0 2556400.0 0.0

```

```

1061101    105010000  106000000  4.909E-4  0.3304 0.3304 0000
1062101    106010000  108000000  4.909E-4  0.0    0.0    0100
1061201    0.36  0.36  0.0
1062201    0.36  0.36  0.0
*****
*   EXPANSION POD
1080000    ACCUM1  BRANCH
1080001    0 0
1080101    0.03246  0.075  0 0.0  90.0  0.075  1.5E-6  0.2033  00
1080200    3 3.511E+5  313.55
*****
1100000    ACCUMPOD  ACCUM
1100101    0.03246  0.3250  0.0  0.0  90.0  0.325  1.5E-6  0.2033  00
1100200    3.500E+5  298.15
1101101    108010000  0.03246  0.0  0.0  0
1102200    0.0  0.1250  0.001  0.001  6.5E-3  0  7920.  499.00
*****
1120000    ACCUMOUT  BRANCH
1120001    2 0
1120101    4.909E-4  0.1  0 180.0  0.0  0.0  1.5E-6  0.025  00
1120200    0 3.506E+5  169050.0  2556400.0  0.0
1121101    108010000  112000000  4.909E-4  0.0  0.0  0100
1122101    112010000  114000000  4.909E-4  0.3304 0.3304 0000
1121201    0.36  0.36  0.0
1122201    0.36  0.36  0.0
*****
1140000    PIPE2  PIPE
1140001    2
1140101    4.909E-4  2
1140201    4.909E-4  1
1140301    0.4657  2
1140401    0.0  2
1140501    90.0  2
1140601    -3.30  2
1140701    -0.026812  2
1140801    1.50E-6  0.025  2
1140901    0.0  0.0  1
1141001    00  2
1141101    0000  1
1141201    0 3.507E+5  168980.0  2556400.0  0.0  0.0  01
1141202    0 3.509E+5  168920.0  2556400.0  0.0  0.0  02
1141300    0
1141301    0.36  0.36  0.0  01
*****
1160000    PREHC1  BRANCH
1160001    2 0
1160101    4.909E-4  0.555  0 0.0  -2.94  -0.028466  1.5E-6  0.025  00
1160200    0 3.512E+5  168840.0  2556400.0  0.0
1161101    114010000  116000000  4.909E-4  0.3304 0.3304 0000
1162101    116010000  118000000  4.909E-4  0.3304 0.3304 0000
1161201    0.36  0.36  0.0
1162201    0.36  0.36  0.0
*****
1180000    PREHC2  BRANCH
1180001    1 0
1180101    4.909E-4  0.1475  0 90.0  -2.40  -6.176E-3  1.5E-6  0.025  00
1180200    0 3.513E+5  168820.0  2556400.0  0.0
1181101    118010000  120000000  4.909E-4  0.3304 0.3304 0000
1181201    0.36  0.36  0.0
*****
1200000    PREHC3  BRANCH
1200001    1 0
1200101    4.909E-4  0.255  0 180.0  0.0  0.0  1.5E-6  0.025  00

```

```

1200200 3 3.51E+5 313.48
1201101 120010000 124000000 4.909E-4 0.3304 0.3304 0000
1201201 0.36 0.36 0.0
*****
* HEAT EXCHANGER
1240000 HEATEXCH PIPE
1240001 5
1240101 9.00E-4 5
1240201 9.00E-4 4
1240301 0.050 5
1240401 0.0 5
1240601 90.0 5
1240701 0.05 5
1240801 4.50E-6 3.846E-3 5
1240901 0.0 0.0 4
1241001 00 5
1241101 0000 4
1241201 4 3.510E+5 310.62 0.0 0.0 0.0 01
1241202 4 3.505E+5 308.20 0.0 0.0 0.0 02
1241203 4 3.500E+5 306.14 0.0 0.0 0.0 03
1241204 4 3.495E+5 304.39 0.0 0.0 0.0 04
1241205 4 3.490E+5 302.88 0.0 0.0 0.0 05
1241300 0
1241301 0.1964 0.1964 0.0 01
1241302 0.1964 0.1964 0.0 02
1241303 0.1964 0.1964 0.0 03
1241304 0.1964 0.1964 0.0 04
*****
1260000 HCOU1 BRANCH
1260001 2 0
1260101 4.909E-4 0.322 0 0.0 0.0 0.0 1.5E-6 0.025 00
1260200 3 3.487E+5 302.88
1261101 124010000 126000000 4.909E-4 0.0 0.0 0000
1262101 126010000 128000000 4.909E-4 0.3304 0.3304 0000
1261201 0.36 0.36 0.0
1262201 0.36 0.36 0.0
*****
1280000 HCOU2 BRANCH
1280001 1 0
1280101 4.909E-4 0.385 0 270.0 -67.5 -0.355694 1.5E-6 0.025 00
1280200 0 3.504E+5 124470.0 2556400.0 0.0
1281101 128010000 130000000 4.909E-4 0.3304 0.3304 0000
1281201 0.36 0.36 0.0
*****
1300000 HCOU3 BRANCH
1300001 1 0
1300101 4.909E-4 0.0381 0 0.0 -2.94 -1.954E-3 1.5E-6 0.025 00
1300200 0 3.521E+5 124470.0 2556400.0 0.0
1301101 130010000 134000000 4.909E-4 0.0 0.0 0000
1301201 0.36 0.36 0.0
*****
1340000 PIPE3 PIPE
1340001 5
1340101 4.909E-4 5
1340201 4.909E-4 4
1340301 0.076 1
1340302 0.138 3
1340303 0.036 4
1340304 0.157 5
1340401 0.0 5
1340601 -2.98 5
1340701 -3.989E-3 1
1340702 -7.078E-3 3

```

```

1340703 -1.846E-3 4
1340704 -8.052E-3 5
1340801 1.50E-6 0.025 5
1340901 0.0 0.0 4
1341001 00 5
1341101 0000 4
1341201 0 3.521E+5 124460.0 2556400.0 0.0 0.0 01
1341202 0 3.521E+5 124460.0 2556400.0 0.0 0.0 02
1341203 0 3.522E+5 124450.0 2556400.0 0.0 0.0 03
1341204 0 3.522E+5 124450.0 2556400.0 0.0 0.0 04
1341205 0 3.523E+5 124440.0 2556400.0 0.0 0.0 05
1341300 0
1341301 0.36 0.36 0.0 01
1341302 0.36 0.36 0.0 02
1341303 0.36 0.36 0.0 03
1341304 0.36 0.36 0.0 04
*****
1360000 PREPUMP1 BRANCH
1360001 2
1360101 4.909E-4 0.39 0 0.0 -2.94 -0.02003 1.5E-6 0.025 00
1360200 0 3.524E+5 124430.0 2556400.0 0.0
1361101 134010000 136000000 4.909E-4 0.0 0.0 0000
1362101 136010000 138000000 4.909E-4 0.3304 0.3304 0000
1361201 0.36 0.36 0.0
1362201 0.36 0.36 0.0
*****
1380000 PREPUMP2 BRANCH
1380001 1 0
1380101 4.909E-4 0.15 0 0.0 4.59 0.012 1.5E-6 0.025 00
1380200 0 3.522E+5 124420.0 2556400.0 0.0
1381101 138010000 140000000 4.909E-4 0.3304 0.3304 0000
1381201 0.36 0.36 0.0
*****
1400000 PREPUMP3 BRANCH
1400001 1
1400101 4.909E-4 0.39 0 0.0 2.94 0.02003 1.5E-6 0.025 00
1400200 0 3.522E+5 124410.0 2556400.0 0.0
1401101 140010000 142000000 4.909E-4 0.3304 0.3304 0000
1401201 0.36 0.36 0.0
*****
1420000 PREPUMP4 BRANCH
1420001 1
1420101 4.909E-4 0.15 0 0.0 3.09 8.086E-3 1.5E-6 0.025 00
1420200 0 3.520E+5 124400.0 2556400.0 0.0
1421101 142010000 144000000 4.909E-4 0.0 0.0 0000
1421201 0.36 0.36 0.0
*****
1440000 PREPUMP5 SINGLVOL
1440101 6.1575E-4 0.20 0 0.0 3.09 0.010781 1.5E-6 0.028 00
1440200 0 3.519E+5 124390.0 2556400.0 0.0
*****
* ELECTRICAL MAGNETIC PUMP
1500000 EMPUMP PUMP
1500101 6.1575E-4 0.800 0.0 0.0 3.09 0.043124 0
1500108 144010000 6.1575E-4 0.0 0.0 0000
1500109 152000000 6.1575E-4 0.0 0.0 0000
1500200 3 3.540E+5 307.37
1500201 0 0.287 0.287 0.0
1500202 0 0.287 0.287 0.0
1500301 0 -1 -3 -1 -1 403 1
1500302 94.25 0.80 2.50E-4 0.61 62.27 12.945
1500303 997.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
*

```

\* SINGLE PHASE HEAD AND TORQUE DATA FROM LSTF SYS. DESCRIPTION

1501100	1 1	0.000	2.485	0.143	2.319	0.286	2.169	0.429	1.988
1501101		0.500	1.880	0.571	1.777	0.714	1.554	0.857	1.295
1501102		0.929	1.157	1.000	1.000				
1501200	1 2	0.000	-1.000	0.778	0.237	0.857	0.553	1.000	1.000
1501300	1 3	-1.000	2.485	0.000	2.485				
1501400	1 4	-1.00	0.000	0.000	0.000				
1501500	1 5	0.00	0.00	1.00	0.00				
1501600	1 6	0.00	0.00	1.00	0.00				
1501700	1 7	-1.00	0.00	0.00	0.00				
1501800	1 8	-1.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	-1.00		

\*

\* TORQUE DATA

1501900	2 1	0.000	1.054	0.143	1.054	0.286	1.095	0.429	1.129
1501901		0.500	1.141	0.571	1.153	0.714	1.177	0.857	1.139
1501902		0.929	1.088	1.000	1.000				
1502000	2 2	0.00	-1.000	0.778	0.295	0.875	0.621	1.000	1.000
1502100	2 3	-1.000	1.054	0.000	1.054				
1502200	2 4	-1.000	0.000	0.000	0.000				
1502300	2 5	0.00	0.00	1.00	0.00				
1502400	2 6	0.00	0.00	1.00	0.00				
1502500	2 7	-1.00	0.00	0.00	0.00				
1502600	2 8	-1.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	-1.00		

\*\*\*\*\*

1520000	PUMPOUT1	SNGLVOL							
1520101	6.1575E-4	0.20	0.0	0.0	3.09	0.010781	1.5E-6	0.028	0.0
1520200	0	3.562E+5	143250.0	2556400.0	0.0				

\*\*\*\*\*

1540000	PUMPOUT2	BRANCH							
1540001	2	0							
1540101	4.909E-4	0.495	0.0	0.0	3.09	0.026683	1.5E-6	0.025	0.0
1540200	0	3.559E+5	143210.0	2556400.0	0.0				
1541101	152010000	154000000	4.909E-4	0.0	0.0	0.000			
1542101	154010000	156000000	4.909E-4	0.3304	0.3304	0.000			
1541201	0.36	0.36	0.0						
1542201	0.36	0.36	0.0						

\*\*\*\*\*

1560000	PUMPOUT3	BRANCH							
1560001	1	0							
1560101	4.909E-4	0.10	0.0	0.0	-90.0	-0.1	1.5E-6	0.025	0.0
1560200	0	3.562E+5	143200.0	2556400.0	0.0				
1561101	156010000	158000000	4.909E-4	0.3304	0.3304	0.000			
1561201	0.36	0.36	0.0						

\*\*\*\*\*

1580000	PUMPOUT4	BRANCH							
1580001	1	0							
1580101	4.909E-4	0.195	0.0	180.0	-3.09	-10.511E-3	1.5E-6	0.025	0.0
1580200	0	3.567E+5	143180.0	2556400.0	0.0				
1581101	158010000	160000000	4.909E-4	0.3304	0.3304	0.000			
1581201	0.36	0.36	0.0						

\*\*\*\*\*

1600000	PUMPOUT5	BRANCH							
1600001	1	0							
1600101	4.909E-4	0.338	0.0	270.0	-3.30	-0.019457	1.5E-6	0.025	0.0
1600200	0	3.568E+5	143160.0	2556400.0	0.0				
1601101	160010000	166000000	4.909E-4	0.0	0.0	0.000			
1601201	0.36	0.36	0.0						

\*\*\*\*\*

1660000	PREFLOW	BRANCH							
1660001	1								
1660101	6.1575E-4	0.20	0.0	270.0	-3.30	-0.011513	1.5E-6	0.028	0.0
1660200	0	3.570E+5	143140.0	2556400.0	0.0				
1661101	166010000	170000000	6.1575E-4	0.0	0.0	0.000			

```

1661201  0.287  0.287  0.0
*****
*      FLOWMETER
1700000  EMFMETER      PIPE
1700001      3
1700101  6.1575E-4      3
1700301  0.08           3
1700501  270.0         3
1700601  -3.30         3
1700701  -4.605E-3     3
1700801  1.50E-6  0.028  3
1701001  00           3
1701101  0000         2
1701201  3  3.571E+5  307.34  0.0  0.0  0.0  01
1701202  3  3.571E+5  307.34  0.0  0.0  0.0  02
1701203  3  3.572E+5  307.34  0.0  0.0  0.0  03
1701300  0
1701301  0.287  0.287  0.0  01
1701302  0.287  0.287  0.0  02
*****
1720000  FWMOUT1  BRANCH
1720001      2
1720101  6.1575E-4  0.20  0  270.0  -3.30  -0.011513  1.5E-6  0.028  00
1720200  0  3.572E+5  143100.0  2556400.0  0.0
1721101  170010000  172000000  6.1575E-4  0.0  0.0  0000
1722101  172010000  174000000  4.909E-4  0.0  0.0  0000
1721201  0.287  0.287  0.0
1722201  0.287  0.287  0.0
*****
1740000  FWMOUT2  BRANCH
1740001      1  0
1740101  4.909E-4  0.144  0.0  270.0  -3.30  -8.289E-3  1.5E-6  0.025  00
1740200  0  3.573E+5  143090.0  2556400.0  0.0
1741101  174010000  176000000  4.909E-4  0.3304  0.3304  0000
1741201  0.36  0.36  0.0
*****
1760000  FWMOUT3  BRANCH
1760001      1  0
1760101  4.909E-4  0.30  0.0  180.0  -3.82  -0.0200  1.5E-6  0.025  00
1760200  0  3.574E+5  143070.0  2556400.0  0.0
1761101  176010000  178000000  4.909E-4  0.0  0.0  0000
1761201  0.36  0.36  0.0
*****
1770000  BREAKVAL  VALVE
1770101  176010000  200000000  4.909E-4  0.0  0.0  20100
1770201  0  0.0  0.0
1770300  TRPVLV
1770301  401
*****
1780000  PRETEST1  BRANCH
1780001      1  0
1780101  4.909E-4  0.150  0.0  180.0  2.94  7.694E-3  1.5E-6  0.025  00
1780200  0  3.574E+5  143050.0  2556400.0  0.0
1781101  178010000  180000000  4.909E-4  0.2144  0.2144  0000
1781201  0.36  0.36  0.0
*****
1800000  PRETEST2  BRANCH
1800001      1  0
1800101  4.909E-4  0.26905  0.0  135.0  2.94  0.014002  1.5E-6  0.025  00
1800200  0  3.573E+5  143030.0  2556400.0  0.0
1801101  180010000  182000000  4.909E-4  0.2144  0.2144  0000
1801201  0.36  0.36  0.0
*****

```



```

1820000  PREPIPE  PIPE
1820001      1
1820101  4.909E-4  1
1820301  0.952    1
1820501  180.0    1
1820601  2.94     1
1820701  0.048828 1
1820801  1.50E-6   0.025  1
1821001  00        1
1821201  0 3.569E+5 142960.0 2556400.0 0.0 0.0 01
*****
2000000  DRAINTNK  TMDPVOL
2000101  7.069E-2 1.150 0.0 180.0 0.0 0.0 1.5E-6 0.300 00
2000200  3 0 TIME 0
2000201  -1.0 1.013E+5 298.15
2000202  0.0 1.013E+5 298.15
2000203  10000. 1.013E+5 298.15
*****
* CONTAINMENT VOLUME FOR ENVIRONMENTAL HEAT LOSSES
9000000  ENVSINK  SNGLVOL
9000101  2000. 100. 0.0 0.0 0.0 0.0 0 10
9000200  4 101330.00 298.15 1.0000
*****
9200000  H-EWATER  SNGLVOL
9200101  2000. 100. 0.0 0.0 0.0 0.0 0 10
9200200  4 101330.0 293.15 0.0
*****
* HEAT STRUCTURES
* 100-1; TEST SECTION OUTER WALL
11001000  14 4 2 1 0.0125
11001100  0 1
* MESH INTERVAL
11001101  3 0.017
* HEAT STRUCTURE COMPOSITION
11001201  5 3
* HEAT SOURCE DISTRIBUTION
11001301  1.0 3
* INITIAL TEMPERATURE FLAG
11001400  0
11001401  303.15 4
* LEFT BOUNDARY CONDITION
11001501  100010000 0 1 1 0.013 1
11001502  101010000 0 1 1 0.017 2
11001503  102010000 10000 1 1 0.10 4
11001505  102030000 10000 1 1 0.09 10
11001511  102090000 10000 1 1 0.10 12
11001513  103010000 0 1 1 0.017 13
11001514  104010000 0 1 1 0.013 14
* RIGHT BOUNDARY CONDITION
11001601  900010000 0 3900 1 0.013 1
11001602  900010000 0 3900 1 0.017 2
11001603  900010000 0 3900 1 0.10 4
11001605  900010000 0 3900 1 0.09 10
11001611  900010000 0 3900 1 0.10 12
11001613  900010000 0 3900 1 0.017 13
11001614  900010000 0 3900 1 0.013 14
* HEAT SOURCE
11001701  0 0 0 0 2
11001703  101 5. 0 0 4
11001705  102 5. 0 0 10
11001711  101 5. 0 0 12
11001713  0 0 0 0 14
* ADDITIONAL LEFT BOUNDARY CONDITION

```

```

11001801    0  0.0  0.0  0.0    14
*  ADDITIONAL RIGHT BOUNDARY CONDITION
11001901    0  0.0  0.0  0.0    14
*****
* 105-1; EXIT OF TEST SECTION
11051000    2  4    2    1    0.0125
11051100    0  1
11051101    3  0.017
11051201    5  3
11051301    0.0  3
11051400    0
11051401    303.15    4
11051501    105010000  10000  1    1    0.10512  2
11051601    900010000    0  3900  1    0.10512  2
11051701    0    0    0    0    2
11051801    0  0.0  0.0  0.0    2
11051901    0  0.0  0.0  0.0    2
*****
* 106-1: ENTRANCE OF ACCUMLATOR
11061000    1  4    1    1    0.0125
11061100    0  1
11061101    3  0.017
11061201    5  3
11061301    0.0  3
11061400    0
11061401    303.15    4
11061501    106010000  0    1    1    0.100    1
11061601    900010000  0  3900  1    0.100    1
11061701    0    0    0    0    1
11061801    0  0.0  0.0  0.0    1
11061901    0  0.0  0.0  0.0    1
*****
* 110-1: ACCUMLATOR
11101000    1  4    2    1    0.10165
11101100    0  1
11101101    3  0.10815
11101201    5  3
11101301    0.0  3
11101400    0
11101401    303.15    4
11101501    108010000  0    1    1    0.075    1
11101601    900010000  0  3900  1    0.075    1
11101701    0    0    0    0    1
11101801    0  0.0  0.0  0.0    1
11101901    0  0.0  0.0  0.0    1
*****
* 112-1: EXIT OF ACCUMLATOR
11121000    1  4    2    1    0.0125
11121100    0  1
11121101    3  0.017
11121201    5  3
11121301    0.0  3
11121400    0
11121401    303.15    4
11121501    112010000  0    1    1    0.10    1
11121601    900010000  0  3900  1    0.10    1
11121701    0    0    0    0    1
11121801    0  0.0  0.0  0.0    1
11121901    0  0.0  0.0  0.0    1
*****
* 114-1: PIPE FROM ACCUMLATOR TO HEAT EXCHANGER
11141000    2  4    2    1    0.0125
11141100    0  1

```

```

11141101 3 0.017
11141201 5 3
11141301 0.0 3
11141400 0
11141401 303.15 4
11141501 114010000 10000 1 1 0.4657 2
11141601 900010000 0 3900 1 0.4657 2
11141701 0 0 0 0 2
11141801 0 0.0 0.0 0.0 2
11141901 0 0.0 0.0 0.0 2
*****
* 118-1: PIPE FROM ACCUMLATOR TO HEAT EXCHANGER
11181000 3 4 2 1 0.0125
11181100 0 1
11181101 3 0.017
11181201 5 3
11181301 0.0 3
11181400 0
11181401 303.15 4
11181501 116010000 0 1 1 0.555 1
11181502 118010000 0 1 1 0.1475 2
11181503 120010000 0 1 1 0.255 3
11181601 900010000 0 3900 1 0.555 1
11181602 900010000 0 3900 1 0.1475 2
11181603 900010000 0 3900 1 0.255 3
11181701 0 0 0 0 3
11181801 0 0.0 0.0 0.0 3
11181901 0 0.0 0.0 0.0 3
*****
* 124-1: HEAT EXCHANGER
11241000 5 3 1 1 0.0
11241100 0 1
11241101 2 0.0004
11241201 5 2
11241301 0.0 2
11241400 0
11241401 293.15 3
11241501 124010000 10000 1 1 90.0E-3 5
11241601 920010000 0 3920 1 90.0E-3 5
11241701 0 0 0 0 5
11241801 0 0.0 0.0 0.0 5
11241901 0 0.0 0.0 0.0 5
*****
* 130-1: EXIT OF HEAT EXCHANGER
11301000 3 4 2 1 0.0125
11301100 0 1
11301101 3 0.017
11301201 5 3
11301301 0.0 3
11301400 0
11301401 303.15 4
11301501 126010000 0 1 1 0.322 1
11301502 128010000 0 1 1 0.385 2
11301503 130010000 0 1 1 0.0381 3
11301601 900010000 0 3900 1 0.322 1
11301602 900010000 0 3900 1 0.385 2
11301603 900010000 0 3900 1 0.0381 3
11301701 0 0 0 0 3
11301801 0 0.0 0.0 0.0 3
11301901 0 0.0 0.0 0.0 3
*****
* 134-1: PIPE FROM HEATEXCHANGER TO PUMP
11341000 5 4 2 1 0.0125

```

```

11341100 0 1
11341101 3 0.017
11341201 5 3
11341301 0.0 3
11341400 0
11341401 303.15 4
11341501 134010000 0 1 1 0.076 1
11341502 134020000 10000 1 1 0.138 3
11341504 134040000 0 1 1 0.036 4
11341505 134050000 0 1 1 0.157 5
11341601 900010000 0 3900 1 0.076 1
11341602 900010000 0 3900 1 0.138 3
11341604 900010000 0 3900 1 0.036 4
11341605 900010000 0 3900 1 0.157 5
11341701 0 0 0 0 5
11341801 0 0.0 0.0 0.0 5
11341901 0 0.0 0.0 0.0 5
*****
* 140-1: ENTRANCE OF PUMP
11401000 4 4 2 1 0.0125
11401100 0 1
11401101 3 0.017
11401201 5 3
11401301 0.0 3
11401400 0
11401401 303.15 4
11401501 136010000 0 1 1 0.390 1
11401502 138010000 0 1 1 0.150 2
11401503 140010000 0 1 1 0.390 3
11401504 142010000 0 1 1 0.150 4
11401601 900010000 0 3900 1 0.390 1
11401602 900010000 0 3900 1 0.150 2
11401603 900010000 0 3900 1 0.390 3
11401604 900010000 0 3900 1 0.150 4
11401701 0 0 0 0 4
11401801 0 0.0 0.0 0.0 4
11401901 0 0.0 0.0 0.0 4
*****
* 144-1: PREPUMP
11441000 1 4 2 1 0.014
11441100 0 1
11441101 3 0.017
11441201 5 3
11441301 0.0 3
11441400 0
11441401 303.15 4
11441501 144010000 0 1 1 0.20 1
11441601 900010000 0 3900 1 0.20 1
11441701 0 0 0 0 1
11441801 0 0.0 0.0 0.0 1
11441901 0 0.0 0.0 0.0 1
*****
* 150-1: PUMP
11501000 1 4 2 1 0.0140
11501100 0 1
11501101 3 0.017
11501201 5 3
11501301 0.0 3
11501400 0
11501401 303.15 4
11501501 150010000 0 1 1 0.80 1
11501601 900010000 0 3900 1 0.80 1
11501701 0 0.0 0 0 1

```

```

11501801    0  0.0  0.0  0.0      1
11501901    0  0.0  0.0  0.0      1
*****
* NO. 152-1  EXIT OF PUMP
11521000    1    4    2    1    0.014    0
11521100    0    1
11521101    3    0.017
11521201    5    3
11521301    0.0    3
11521400    0
11521401    303.15    4
11521501    152010000    0    1    1    0.2    1
11521601    900010000    0    3900    1    0.2    1
11521701    0    0    0    0    1
11521801    0    0.0    0    0    1
11521901    0    0.0    0    0    1
*****
* 160-1: PIPE FROM PUMP TO FLOW METER
11601000    4    4    2    1    0.0125
11601100    0    1
11601101    3    0.017
11601201    5    3
11601301    0.0    3
11601400    0
11601401    303.15    4
11601501    154010000    0    1    1    0.495    1
11601502    156010000    0    1    1    0.100    2
11601503    158010000    0    1    1    0.195    3
11601504    160010000    0    1    1    0.338    4
11601601    900010000    0    3900    1    0.495    1
11601602    900010000    0    3900    1    0.100    2
11601603    900010000    0    3900    1    0.195    3
11601604    900010000    0    3900    1    0.338    4
11601701    0    0    0    0    4
11601801    0    0.0    0.0    0.0    4
11601901    0    0.0    0.0    0.0    4
*****
* 166-1: ENTRANCE OF E-M FLOW METER
11661000    1    4    2    1    0.014
11661100    0    1
11661101    3    0.017
11661201    5    3
11661301    0.0    3
11661400    0
11661401    303.15    4
11661501    166010000    0    1    1    0.200    1
11661601    900010000    0    3900    1    0.200    1
11661701    0    0    0    0    1
11661801    0    0.0    0.0    0.0    1
11661901    0    0.0    0.0    0.0    1
*****
* 170-1: FLOW METER( ELECTRO-MAGNETIC )
11701000    3    4    2    1    0.014
11701100    0    1
11701101    3    0.017
11701201    5    3
11701301    0.0    3
11701400    0
11701401    303.15    4
11701501    170010000    10000    1    1    0.080    3
11701601    900010000    0    3900    1    0.080    3
11701701    0    0    0    0    3
11701801    0    0.0    0.0    0.0    3

```

```

11701901    0  0.0  0.0  0.0          3
*****
* 172-1: EXIT OF E-M FLOW METER
11721000    1   4   2   1   0.014
11721100    0   1
11721101    3   0.017
11721201    5   3
11721301    0.0  3
11721400    0
11721401    303.15      4
11721501    172010000      0  1   1   0.200  1
11721601    900010000      0 3900 1   0.200  1
11721701    0   0   0   0   1
11721801    0  0.0  0.0  0.0          1
11721901    0  0.0  0.0  0.0          1
*****
* 176-1: PIPE FROM FLOW METER TO TEST SECTION
11761000    4   4   2   1   0.0125
11761100    0   1
11761101    3   0.017
11761201    5   3
11761301    0.0  3
11761400    0
11761401    303.15      4
11761501    174010000      0  1   1   0.144  1
11761502    176010000      0  1   1   0.300  2
11761503    178010000      0  1   1   0.150  3
11761504    180010000      0  1   1   0.26905 4
11761601    900010000      0 3900 1   0.144  1
11761602    900010000      0 3900 1   0.300  2
11761603    900010000      0 3900 1   0.150  3
11761604    900010000      0 3900 1   0.26905 4
11761701    0   0   0   0   4
11761801    0  0.0  0.0  0.0          4
11761901    0  0.0  0.0  0.0          4
*****
* 182-1: PIPE OF PRE TEST SECTION
11821000    1   4   2   1   0.0125
11821100    0   1
11821101    3   0.017
11821201    5   3
11821301    0.0  3
11821400    0
11821401    303.15      4
11821501    182010000      0  1   1   0.952  1
11821601    900010000      0 3900 1   0.952  1
11821701    0   0   0   0   1
11821801    0  0.0  0.0  0.0          1
11821901    0  0.0  0.0  0.0          1
*****
* THERMAL PROPERTIES
20100500    TBL/FCTN    1  1  * STAINLES STEEL FOR LOW TEMPERAURE
* THERMAL CONDUCTIVITY
20100501    273.15  12.981  1199.8  25.106
* VOLUMETRIC HEAT CAPACITY
20100551    273.15  3.6000E+6  366.48  3.8304E+6  422.04  3.9648E+6
20100552    477.59  4.0992E+6  533.15  4.2336E+6  588.71  4.3344E+6
20100553    644.26  4.4351E+6  699.82  4.5024E+6  810.93  4.6368E+6
20100554    1366.50  5.3760E+6
*****
* HEAT TRANSFER COEFFICIENT OF ATOMOSPHER
20290000    HTC-T
20290001    0.0    15.0

```

```
20290002      10000.    15. 0
*****
* TEMP OF WATER IN HEAT EXCHANGER
20292000      HTC-T
20292001         0. 0      5500.
20292002      10000.    5500.
*****
* HEATING OF E-M PUMP
20215000      POWER      403
20215001         -1. 0     100.
20215002         0. 0       0.
20215003         1. 000.     0.
*****
* HEAT OF TESTSECTION
20210100      POWER      403
20210101         -1. 0     100.
20210102         0. 0       0.
20210103      10000.     0.
*****
20210200      POWER      403
20210201         -1. 0     90.
20210202         0. 0       0.
20210203      10000.     0.
*****
*                END OF MAIN DATA SET
*****
```

This is a blank page.



# 国際単位系 (SI) と換算表

表 1 SI 基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表 3 固有の名称をもつ SI 組立単位

量	名称	記号	他の SI 単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	m·kg/s <sup>2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光強度	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表 2 SI と併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10<sup>-19</sup> J  
1 u = 1.66054 × 10<sup>-27</sup> kg

表 4 SI と共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バ	b
バール	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10<sup>-10</sup> m  
1 b = 100 fm<sup>2</sup> = 10<sup>-28</sup> m<sup>2</sup>  
1 bar = 0.1 MPa = 10<sup>5</sup> Pa  
1 Gal = 1 cm/s<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> m/s<sup>2</sup>  
1 Ci = 3.7 × 10<sup>10</sup> Bq  
1 R = 2.58 × 10<sup>-4</sup> C/kg  
1 rad = 1 cGy = 10<sup>-2</sup> Gy  
1 rem = 1 cSv = 10<sup>-2</sup> Sv

表 5 SI 接頭語

倍数	接頭語	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ	E
10 <sup>15</sup>	ペタ	P
10 <sup>12</sup>	テラ	T
10 <sup>9</sup>	ギガ	G
10 <sup>6</sup>	メガ	M
10 <sup>3</sup>	キロ	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h
10 <sup>1</sup>	デカ	da
10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>-18</sup>	アト	a

(注)

- 表 1-5 は「国際単位系」第 5 版, 国際度量衡局 1985 年刊行による。ただし, 1 eV および 1 u の値は CODATA の 1986 年推奨値によった。
- 表 4 には海里, ノット, アール, ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- bar は, JIS では流体の圧力を表わす場合に限り表 2 のカテゴリーに分類されている。
- EC 閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHg を表 2 のカテゴリーに入れている。

## 換算表

力	N (=10 <sup>5</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s (N·s/m<sup>2</sup>) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))

動粘度 1 m<sup>2</sup>/s = 10<sup>4</sup> St (ストークス) (cm<sup>2</sup>/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg (Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 <sup>3</sup>	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 <sup>-4</sup>	1.35951 × 10 <sup>-3</sup>	1.31579 × 10 <sup>-3</sup>	1	1.93368 × 10 <sup>-2</sup>
	6.89476 × 10 <sup>-3</sup>	7.03070 × 10 <sup>-2</sup>	6.80460 × 10 <sup>-2</sup>	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 <sup>-7</sup>	0.238889	9.47813 × 10 <sup>-4</sup>	0.737562	6.24150 × 10 <sup>18</sup>
	9.80665	1	2.72407 × 10 <sup>-6</sup>	2.34270	9.29487 × 10 <sup>-3</sup>	7.23301	6.12082 × 10 <sup>19</sup>
	3.6 × 10 <sup>6</sup>	3.67098 × 10 <sup>5</sup>	1	8.59999 × 10 <sup>5</sup>	3412.13	2.65522 × 10 <sup>6</sup>	2.24694 × 10 <sup>25</sup>
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 <sup>-6</sup>	1	3.96759 × 10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272 × 10 <sup>19</sup>
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 <sup>21</sup>
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506 × 10 <sup>-3</sup>	1	8.46233 × 10 <sup>18</sup>
	1.60218 × 10 <sup>-19</sup>	1.63377 × 10 <sup>-20</sup>	4.45050 × 10 <sup>-26</sup>	3.82743 × 10 <sup>-20</sup>	1.51857 × 10 <sup>-22</sup>	1.18171 × 10 <sup>-19</sup>	1

1 cal = 4.18605 J (計量法)  
= 4.184 J (熱化学)  
= 4.1855 J (15 °C)  
= 4.1868 J (国際蒸気表)  
仕事率 1 PS (仏馬力)  
= 75 kgf·m/s  
= 735.499 W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 <sup>-11</sup>
	3.7 × 10 <sup>10</sup>	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 <sup>-4</sup>	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

