

JAERI-Tech
2001-052



JP0150746



核破碎水銀ターゲットループの過渡解析

2001年8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。
入手の問合わせは、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, 2001

編集兼発行 日本原子力研究所

核破碎水銀ターゲットループの過渡解析

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

(2001年7月2日受理)

核破碎水銀ターゲットシステムの設計では、システム異常時における、過渡事象を安全に収束させるための安全保護系の概念構築が急務となっている。水銀ループの FMEA(故障モード影響解析)では、ポンプトリップによる強制流動喪失と、配管破断による水銀(冷却材)流出がターゲットの熱除去性能を著しく損なうことを示している。そこで、RELAP5 を用いて強制流動喪失と冷却材流出時の過渡解析を行った。強制流動喪失時には、流動している水銀の持つ慣性力が大きく、ポンプトリップ時にもターゲットが破損するような温度上昇は起きないことが分かった。配管破断による冷却材流出に伴う圧力低下や温度上昇から、本事象を起因としてさらに事故が拡大するような挙動は見られず、陽子ビームを停止することにより事故は終息することを確認した。今後は今回の解析を基にした安全保護系の設計を行うと共に、水銀システムの合理化を図って行く予定である。

Transient Analyses of Mercury Loop for Spallation Target

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 July 2, 2001)

In designing a spallation target system, one of urgent engineering issues is to establish a concept of a safety protection system for terminating transient behaviors safely even in unexpected operational events. The FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) results suggested that the mercury loop would lose the heat removal capability of the target in the Loss of Forced Convection Accident (LOFA) by one or two pumps trip and the Loss of Coolant Accident (LOCA) by a pipe rupture. According to the FMEA results, transient analyses with the RELAP5 code were carried out in order to clarify transient behavior of these events. Analytical results showed that LOFA would not cause the much temperature rise of mercury since the mercury flow did not stop immediately due to large flow inertia of mercury. Also in the case of LOCA, even though pressure fluctuation and temperature rise occurred, it is confirmed that the LOCA would not lead any other severe events. The accident would come to an end safely by the proton beam stop. Based on these results, the safety protection system will be designed and the mercury flow system will be rationalized.

Keywords : Spallation Target, RELAP5, Mercury Loop, Transient Analysis, Loss of Forced Convection Accident, Loss of Coolant Accident, Safety Protection System

目 次

1. はじめに	1
2. 物質生命科学実験施設と中性子散乱ステーションの概要	2
3. 水銀流動システムの概要と解析方法	3
3. 1 実規模水銀流動システム	3
3. 2 解析方法	4
4. 定格運転時の解析結果	6
5. 異常事象時の過渡解析結果	7
5. 1 ポンプ停止に伴う強制流動喪失(LOFA)	7
5. 2 配管破損による冷却材喪失事故(LOCA)	8
6. まとめ	10
謝 辞	10
参考文献	10
付 録 RELAP5 用 実規模水銀流動システム定格解析用入力データ	20

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of Material Biological Science Experimental Facility	2
3. Outline of Real Scale Mercury Loop	3
3. 1 Mercury Loop	3
3. 2 Analysis Method	4
4. Analytical Result under Rated Condition	6
5. Transient Analysis of Anticipated Accident	7
5. 1 Loss of Forced Convection Accident (LOFA) at Pump Trip	7
5. 2 Loss of Coolant Accident (LOCA) at Piping Rupture	8
6. Concluding Remarks	10
Acknowledgement	10
References	10
Appendix ;	
Input Data on Rated Analysis of Real Scale Mercury Flow System for RELAP5	20

Figures

Fig.2.1	Conceptual drawing of Material and Life Science Experimental Facility	11
Fig.2.2	Conceptual drawing of Mercury Target Station	11
Fig.2.3	Conceptual drawing of Mercury Target Trolley	12
Fig.3.1	Schematic drawing of real scale mercury loop	13
Fig.3.2	Nodalization for RELAP5 analysis of mercury loop	13
Fig.4.1	Pressure and velocity simulation results obtained under an initial condition	14
Fig.4.2	Temperature and velocity simulation results obtained under an initial condition	14
Fig.4.3	Temperature and pressure distributions in mercury loop under steady-state situation	15
Fig.5.1	Pressure and velocity changes in loss of forced convection accident (LOFA) caused by single pump trip. (Moment of pump inertia : $196 \text{ N}\cdot\text{m}^2$)	16
Fig.5.2	Temperature and velocity changes in loss of forced convection accident (LOFA) caused by single pump trip. (Moment of pump inertia : $196 \text{ N}\cdot\text{m}^2$)	16
Fig.5.3	Pressure and velocity changes in loss of forced convection accident (LOFA) caused by double pump trip. (Moment of pump inertia : $196 \text{ N}\cdot\text{m}^2$)	17
Fig.5.4	Temperature and velocity changes in loss of forced convection accident (LOFA) caused by double pump trip. (Moment of pump inertia : $196 \text{ N}\cdot\text{m}^2$)	17
Fig.5.5	Pressure and velocity changes in loss of coolant accident (LOCA). (Valve open area: $6.061 \times 10^{-4} \text{ m}^2$)	18
Fig.5.6	Temperature and velocity changes in loss of coolant accident (LOCA). (Valve open area: $6.061 \times 10^{-4} \text{ m}^2$)	18
Fig.5.7	Amount of effluent mercury and velocity at rupture point (Valve open area: $6.061 \times 10^{-4} \text{ m}^2$)	19
Fig.5.8	Relationship between rupture area and pressure change rate	19

Table

Table 5.1	Interlock Sequences	9
-----------	---------------------	---

This is a blank page.

1. はじめに

大強度陽子加速器計画では、中性子散乱施設用核破碎ターゲットとして、熱除去、実効中性子性能などの優位性を考慮して水銀ターゲットを用いる。ターゲットシステムの設計では、メインループとなる水銀循環系統や付帯するビーム窓冷却用重水循環系統の機器構成及び仕様を定めるとともに、強制流動喪失や冷却材流出等の異常時における流量・圧力・温度等の過渡挙動を把握して、異常状態を早期に検出し収束させることによって安全に対処できる安全保護系を設計して、システム全体の安全性を確保する事が極めて重要である。

水銀流動システムでは、水銀の流量や圧力の低下によって、直接陽子ビームを受けるターゲット部分で過大な温度上昇を生じる可能性がある。水銀ターゲットはステンレス製の容器内を水銀が流動しており、過大な温度上昇が生じた場合にはビーム窓部等が破損し、大量の水銀が施設内に流出してしまう。放射化した水銀が多量に流出してしまうと、長期間施設の使用ができなくなり、その損害多大なものとなる。そこで、安全解析コード“RELAP5”を用いて、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、システムの過渡挙動を明らかにし、安全保護系及び制御系の設計に反映させることを立案した。

水銀を用いたシステムの解析手法を確立するため、水銀ループの小型版（実機流量の約1/60）である水銀流動基礎実験装置をモデル化して、水銀蒸気表及びそれに関連した水銀物性値を計算するサブルーチンの作成を行うことにより RELAP5 コードに水銀物性値を組み込み、水銀システムの予備解析を行った⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。予備解析により、強制流動喪失や冷却材流出等の異常時における圧力変動及び温度変化の挙動を把握し、その結果を参考にして過渡的な実験が行えるよう実験装置の改造に着手した。

本報では、水銀物性値を取り扱えるよう整備した RELAP5 を用いて、中性子散乱施設に設置する実規模水銀流動システムのポンプ停止に伴う強制循環喪失時及び冷却材流出事故（LOCA）時の流量、圧力、温度等の過渡挙動について解析的に検討した結果を示す。

2. 物質生命科学実験施設と中性子散乱ステーションの概要

Fig.2.1 に物質生命科学実験施設の外形と内部構造を示す。施設は中央に陽子ビームラインがあり、陽子ビームライン入射方向から見て前方がミュオン実験施設、その後方が中性子散乱実験施設である。更にその後方に核破碎ターゲット等のメンテナンス室を設けてある。陽子ビームラインの左右は実験ホールで、各種実験装置やミュオンと中性子のビームラインが設置される。施設全体の寸法は長さ 124m、幅 70m、高さは最大で 28m である。内部は地下 1 階、地上 4 階で実験ホール部分は 22m の高さがある。核破碎ターゲット周りの反射体プラグ等の重量物交換作業用に中央には 100t の天井クレーンを設置する。

中性子散乱実験施設の中核となるのは核破碎ターゲットステーションである。Fig.2.2 に核破碎ターゲットステーションの概要を示す。まず中央に陽子ビームが入射する水銀ターゲットがあり、水銀ターゲット内で発生した熱は後方にある水銀冷却系によって除熱する。水銀ターゲットと水銀冷却系はターゲット台車上に設置され、交換時には後方に移動する。ターゲットの上下には核破碎により発生した高エネルギー中性子を減速して実験装置へ供給するためのモデレータがあり、その周りには中性子を効率よくモデレータに集めるための反射体がある。反射体はその上部に設ける反射体交換プラグと一体とし、交換時には上方にクレーンで引き抜き反射体プラグメンテナンス室へと移動する。モデレータから出た中性子は中性子ビームラインを経て実験装置へ導かれる。中性子ビームラインには中性子シャッターを設置し、ビームの On/Off を行う。ターゲット周りには直径約 12.5m の鉄とコンクリートから成る生体遮蔽体を設置する。また、ターゲットのリモートハンドリング交換作業用にパワーマニピュレータ、マスタースレーブマニピュレータ及びインセルクレーンを後部ターゲットメンテナンス室に設置する。地下は使用済ターゲット等の保管設備である。

Fig.2.3 に水銀ターゲット及び水銀冷却系を設置するターゲット台車の概要を示す。前方に水銀ターゲットを設置し、その後方は遮蔽機能を持たせるため鉄のブロックとなっており、その中を水銀配管が貫通している。後部台車上には、サージタンク、水銀ポンプ、熱交換器、電磁流量計を設置し、後端に駆動機構を設ける。安全を確保するため機器の多重化を図り、ポンプ及び熱交換器は 2 台設置している。メンテナンス時等における水銀ドレン用のタンクは台車下部に設置する。

3. 水銀流動システムの概要と解析方法

3.1 実規模水銀流動システム

中性子散乱施設に設置する水銀ターゲット循環系となる水銀流動システム（水銀ループ）を Fig3.1 に示す。ポンプ停止による除熱の喪失等を考慮して、ポンプ及び熱交換器は2台設置してある。水銀流動システムの循環性能は、陽子ビームによる内部発熱の除熱と陽子ビーム窓冷却の観点から、熱流動解析コード STAR-CD による3次元解析結果に基づいて、ターゲット入口部で水銀流速 1.0m/s、流量に換算して 40m³/h を定格値とした。配管は、水銀による腐食とエロージョンを防ぐことから、流速を抑えるために主要配管を 200A-Sch80、ポンプ及び熱交換器前後の並列部配管を 150A-Sch80 とした。このときの配管内流速はそれぞれ 0.40m/s、0.35m/s である。ループは台車上に設置されるため配管及び機器の高低差を抑え、最大でも 1.5m 程度である。サージタンクは、ヘリウムガスで約 0.4MPa に加圧される。熱交換器はプレート式で2次流体は軽水を用いる。

水銀ループの主要な仕様は以下の通りである。

定格流量	: 40 m ³ /h (約 11.1 L/s)
水銀充填量	: 約 1.8m ³ (約 24300kg)
主要材質	: SUS316
最大使用圧力	: 0.8MPa (サージタンク ~0.4MPa)
最大使用温度	: 水銀温度 473.15K (200℃)
ビーム入力	: 1.0MW (水銀内部発熱 550kW、ビーム窓発熱 2.76kW)
	水銀内部発熱は発熱体を内部に置くことで模擬

異常のデータを基にループモデルを作成した。本解析で使用するポンプ等の主要なデータを以下に示す。

定格運転時のループ主要数値

流量	40m ³ /h (主配管 約 0.4m/s ターゲット入口 約 0.6m/s)
温度	353K ターゲット出口~熱交換器 326K 熱交換器~ターゲット入口
圧力	0.4~0.65 MPa (サージタンク気相部 0.4MPa)

機械式ポンプ (2台)

回転数	500 rpm
ポンプ揚程	0.7 m
ポンプトルク	100 N·m
慣性モーメント	20kg·m ²

(ポンプの詳細仕様が確定していないため、本解析ではポンプの特性曲線は RELAP5 に組み込まれたものを使用)

熱交換器 (プレート式熱交換器を仮定、2基)

熱伝達率	8500 W/m ² K
伝熱面積	12.22 m ²
熱交換量	280kW (定格運転時)

3.2 解析方法

RELAP5 用の入力データを Fig.3.1 を基にして作成し、最初に水銀ループの起動から定格運転へ達する挙動を解析した。その後、定格運転状態から LOFA や LOCA の異常が生じた場合の過渡解析を行い、水銀ループの安全性について評価した。

入力データについては、Fig.3.2 に示すとおり、配管要素をノードに分割し、パイプ、ブランチ、ジャンクション等でモデル化した。ターゲットセクションについては、実際には内部流動は流配板等により複雑であるが、等価水力直径等を考慮し、更に細かい分割を用いて、パイプ要素で一方向の単純な流れとしてモデル化した。パイプについては各曲がり部で分割を行い、ポンプや熱交換器については、所定の定格値を満足するようにモデル化した。また、サージタンク上部の気相については、時間依存要素やアキュムレータ要素を組み込み、圧力を一定にするようにし、ポンプは組み込まれたデータを用いた。ノード番号については、図に示すとおり、途中の抜けがあるが、ターゲットセクション入口から順番にナンバリングした。主要要素のノード番号及び各ノードの長さL、流路断面積S、等価水力直径Dhを以下に示す。また、定格運転時についての入力データを付録に示す。

要素ノード番号及び主要寸法

ターゲット—— 104, 105, 108, 112, 116, 120, 122, 123 (112 と 116 が加熱部)

104, 123 L=0.15m, S=1.7854×10⁻²m², Dh=0.15624m

105, 122 L=0.20m, S=1.2854×10⁻²m², Dh=0.15624m

108 (1~5) L=1.05m (0.35, 0.35, 0.15, 0.15, 0.05), S=1.1354×10⁻²m², Dh=0.15317m

112, 116 L=0.06m, S=3.0708×10⁻²m², Dh=0.10m

120 (1~5) L=1.05m (0.05, 0.15, 0.15, 0.35, 0.35), S=1.1354×10⁻²m², Dh=0.15317m

[ターゲットセクションは入口及び出口 (108,120) で流速が約 1.0m/s となるようにモデル化し、加熱部では等価水力直径を現在設計されているターゲットに近いものとした。]

サージタンク — 135, 140(140が定圧部)

135 L=0.35m, S=0.5027m², Dh=0.80m

140 L=0.65m, S=0.5027m², Dh=0.80m

[圧力、温度一定となる時間依存要素]

ポンプ — 150, 151

150, 151 L=0.54m, S=3.4671×10⁻²m²

熱交換器 — 170, 171

170, 171(1~2) L=0.79m(0.395,0.395), S=9.0×10⁻²m², Dh=0.03846m

[幅 0.5m、ギャップ 5mm の矩形流路]

配管 [主要要素以外の部分]

200A-Sch80 — 100, 124, 126(1-7), 128, 130, 144, 146, 163, 164(1-2), 165, 178, 180
S=2.8622×10⁻²m², Dh=0.1909m

150A-Sch80 — 147(1-3), 148(1-4), 161(1-3), 162(1-2), 166, 167(1-2), 168, 169, 172,
173, 176(1-2), 177(1-2)
S=2.8622×10⁻²m², Dh=0.1432m

(詳細は添付資料を参照)

異常時の過渡解析に先立ち、定常状態での圧力温度分布を得るために、ループが完全に停止した状態からポンプを起動し、さらに、ビームを入射した条件で、定常状態の解析を実施した。ループ停止時の条件は以下の通りとした。

流体温度 : 303.15K (30℃)
圧力 : 0.5MPa
流速 : 0.0 m/s
流体の種類 : 水銀

上記の初期条件を与えて定格運転状態における温度、圧力、流速分布等を計算して、その計算結果を初期条件として、LOFA 及び LOCA の過渡解析を行った。

4. 定格運転時の解析結果

Fig. 4.1 及び 4.2 に、定常状態設定時の圧力及び流速変動及び温度変化を時間に対して示す。初期条件より、ポンプを起動して水銀を流動させた後 200 秒経過した時点で陽子ビームが入射し始める設定で解析を行った。解析条件は 2.2 節で述べたように膨張ポットでの圧力を 0.4 MPa とし、流体(水銀)温度は初期状態で 303.15K (30℃) に設定した。解析に用いた入力データは 3.2 節で示したものである。解析開始直後に、やや大きな圧力変動が見られるが、これは、初期条件で流速が 0 で温度及び圧力を一定としているため、ポンプの運転開始時の圧力変動や各セクションでの流速と圧力損失のバランスをとるための圧力変動が原因である。数秒圧力上昇した後にほぼ一定値を保って、200 秒の時点では定常値となった。200 秒で陽子ビームを模擬した加熱が開始すると、ビーム窓部温度及びターゲット出口温度は、それぞれ 140K 及び 30K 程度上昇する。それに伴って、圧力及び流速についても微少な上昇を示すが、約 100 秒で定常値となった。流速が温度上昇にともなって変化するのは、密度や粘性係数等、水銀の物性値が温度変化によって変わるためである。その後 500 秒程で温度は約 50K 上昇し、ほぼ一定値となる。この条件で、1200 秒経過後のループ内圧力及び温度分布を Fig. 4.3 に示す。圧力は配管の摩擦損失及びエルボ等の形状損失などにより下流に向かって低下していくが、途中圧力が上昇するのは、ループの垂直方向の高低差により静圧が変化するためである。静圧等も含めたループ圧力が最も高くなるのは、熱交換器出口部分であり、最も低くなるのは、サージタンク部分である。また、水銀温度はターゲット部分で約 27K 上昇し、熱交換器で除熱されている。この定格運転到達後のデータを初期条件として、異常時の過渡挙動の解析を行った。

5. 異常事象時の過渡解析結果

5.1 ポンプ停止に伴う強制流動喪失(LOFA)

水銀ループにおける異常事象とそのときに想定されるシステムの過渡挙動及び今回設定したインターロックについて Table5.1 に示す。今回想定する異常事象はポンプトリップによる強制流動喪失(LOFA)とパイプ破損による水銀流出(LOCA)とした。

水銀等の液体金属を流動させるポンプとしては電磁ポンプが一般的であるが、ポンプの小型化やコスト低減等の観点からは遠心ポンプ等の機械式ポンプの使用が考えられる。そこで、今回の解析においては、機械式ポンプを用いた場合におけるポンプ停止時の過渡挙動について検討した。ポンプの特性、特にポンプ停止時のコースとダウン特性についてはポンプの慣性モーメント(GD^2)によって決まる。

慣性モーメントは以下の式により計算される。

$$GD^2 = \frac{4tT}{\omega} \quad (5.1)$$

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($974.4 \times$ 軸動力[kW] $\times g$ (重力加速度)[m/s²]/回転数[rpm])、 ω [rad/s]は角速度を表す。

今回の解析では一般的な機械式ポンプについての停止時定数 0.5 秒に相当する慣性モーメント ($20\text{kg}\cdot\text{m}^2$)を入力した。解析は、Table5.1 に示すように、定常状態で 2 台運転しているポンプのうち 1 台が停止し、その後、流速が定格値(流量計部分で 0.4m/s)の 75%(0.3m/s)に達したときに陽子ビーム停止を発信し、その 30 秒後に陽子ビーム入射が停止するという条件で行った。

Fig.5.1 及び 5.2 に圧力、流速及び温度の時間変化を示す。圧力及び流速はポンプ停止とともに低下し、流速は 30 秒程でほぼ一定値となる。ポンプが 2 台あるため、1 台が停止した後は定格値の半分をやや越える流速で流速の低下が止まり一定値(定格値の 55%)となっていることが分かる。圧力については、ポンプ停止後に圧力低下するが、図に示したように最大でも 0.012MPa で、さほど大きなものではなく、さらには流速がほぼ一定値となることで安定し、その後の圧力変動を引き起こす要因は考えられないことから、過大な圧力変動の危険はない。また温度については、加熱はポンプ停止より 40 秒を越えて入力しているが、ビーム窓部で 40K(約 515K)、ターゲット出口部分で 20K(約 375K)の温度上昇であり、水銀の沸点が約 630K であることを考えると、システムとしては安全な状態が確保されていることが分かる。特に、流速の低下が収まるポンプ停止後 30 秒の時点からは、温度も一定値となり動的変化は抑制されている。ビーム停止後は、速やかに温度が低下しており、熱交換器が機能していれば急激な温度上昇等の危険はない。

さらに、ポンプ 2 台が同時に停止した場合についての解析を行った。加熱の停止や、流速低下の検知については前述のポンプが 1 台の場合と同一の条件とした。Fig5.3、5.4 に圧力、流速及び温度についての時間変化を示す。ポンプの停止後、流速は約 4 秒で 75%、10 秒程で 50%となり、40 秒では 25%程となる。ターゲット出入口における圧力は流速の低下とともに低下し、50 から 60 秒

でほぼ一定値となる。温度については、約 35 秒まで加熱が続いているため上昇するが、温度上昇はビーム窓部で約 100K (560K 程度)、出口水銀温度は約 60K (415K 程度) である。温度の上昇もそれほど急激なものではなく、流速の低下同様緩やか変化をしている。以上から、ポンプが本解析で想定したポンプ特性を持つ場合には、2 台のポンプが停止した場合においても、ビーム窓部外壁温度が水銀の沸点に達するまでに、30~40 秒ほどの余裕があることが確認できた。

今後は水銀ループのさらなる最適化を図るが、これらの結果から、ポンプを 1 台にするなど、システムの低コスト化の要求も満足し得る設計の可能性があると考えられる。

5.2 配管破損による冷却材喪失事故(LOCA)

定常運転時に圧力最大となる熱交換機出口部分の配管に、初期の欠陥等に起因して亀裂などの穴があいた場合(配管破損)を想定した冷却材流出事故(LOCA)について、分岐配管に設けたバルブを瞬時に開放することで模擬した入力データを用いて解析を行った。解析は、圧力、速度、流量の最大変化を把握するために事故として最大の影響を及ぼす最大破断面積を仮定して行った。配管での最大破断面積は、高速増殖炉「もんじゅ」や JRR-3 での破断面積想定と同様に、NUREG-0800 の中エネルギー配管における想定を採用することとした。核破砕ターゲットシステムの水銀ループに関しては運転圧力が十分低く(0.6MPa 以下)、配管の破損様相は流速等も低く、腐食による応力腐食割れは考えにくく、疲労損傷であると考えられるため、漏洩先行型破損が確保されるものとして、事故時のパイプ最大破断面積 $S = D_i \cdot t / 4$ とした。ここで、 D_i は管内径、 t は管肉厚である。水銀ループ主配管(熱交換機出口部)は 200A-Sch80 であり、内径は 190.9mm、肉厚 12.7mm である。このため、最大破断面積(開口部を模擬するバルブ面積) S は $6.061 \times 10^{-4} \text{m}^2$ となる。また、破損位置については、定格運転時に一番圧力の高くなる部分(水銀の流量が最大になる部分)とし、本ループにおいては Fig.2.1 に示す熱交換機出口より合流する部分とした。

解析では、Table5.1 に示すように、定常状態からバルブを瞬時に開き、サージタンク圧力が定常値の 80%(0.4MPa)に低下してから、20 秒の遅れ時間をもって陽子ビーム入射及びポンプが停止するよう設定した。ポンプは前節で示した機械式ポンプを用いたシステム構成とした。

解析結果を Fig.5.5~Fig.5.7 に示す。解析が 50 秒程度で停止しているのは、RELAP5 のアキュムレータコンポーネントをサージタンクとして組み込んでいるため、50 秒ほどで空になり解析が終了しているためである。圧力については、破断した後、緩やかに低下し、50 秒程度で大気圧付近まで圧力が低下している。また、ターゲット部分の流速は破断直後に 0.6m/s から 0.4m/s へと約 30% 程流速が低下するが、その後はやや回復している。その後、ポンプが停止すると、流速はマイナスにまで低下する。温度については、流速の低下にともない、ビーム窓部で 30K、ターゲット出口部分で 15K 程度上昇している。しかし、流速がその後 0.4 m/s 程度維持されるため大きな温度変化はなく、破断後 25 秒でポンプ及び陽子ビーム入射が止まると温度は速やかに低下する。破損部での流速は、破断直後に約 9 m/s まで達するが、その後、システムの圧力低下にともなって 50 秒後には約 6.5 m/s に低下している。このときの流出量は、破断後 50 秒で約 250 ㍓となり系全体の約 15% に相当する。

以上、水銀流動システムの LOCA 時の過渡変動についての解析結果より、最大想定破断面積での

管破損時の水銀流出時の流速・圧力及び温度変動は急激な流速・圧力変動や温度変化を起こすことなく、ポンプの停止及びビームの停止により、安全に収束する方向へと向かうことが明らかとなった。

Fig.5.8 に破断面積を変えた場合の圧力低下速度を示す。図には、破損時から 0.2 秒後と 5 秒後の圧力低下を破断面積に対して示してある。ターゲット先端のビーム窓部での最大想定破断面積を $5.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ とした場合、図より、圧力変動は 5 秒で 0.02 MPa 以下となる。その他の部分についても、非常に微少の亀裂 (10 mm^2 以下) が生じた場合には、圧力の低下速度が小さく、変動幅も小さいと考えられる。よって、これらを検知するためには検出機器の高分解能が要求される。とくに、ターゲットビーム窓等に発生することが予想される微少な亀裂については、水銀ターゲット周りのヘリウムガスを水銀より高い圧力とすることにより、水銀中へのヘリウムの流入による圧力変動を検知するなど、水銀の漏洩を早期に検知する手法の開発は非常に重要な課題である。現在、膨張ポットの微少な液位変化を高精度、かつ、高速に検知するレーザー液位検出方式の検討も進めている。

Table 5.1 Interlock Sequences

	異常事象	過渡挙動	検知基準	停止信号発信
LOFA	ポンプトリップ	流量低下	流量 75%以下	30 秒後
LOCA	配管破損	圧力低下 流量低下	圧力 80%以下	20 秒後

6. まとめ

RELAP5により実規模水銀ループのシミュレーション解析を行い、定常状態を設定し、ポンプトリップによる強制流動喪失や配管破損を模擬した冷却材流出事故時の解析を行い、以下の知見を得た。

- (1) ポンプ停止による LOFA 時には、設置したポンプのうち 1 台が停止した場合は、ビーム窓部で約 40K、2 台停止した場合には約 100K の温度上昇があるが、ビーム窓部を破損するような過度な温度上昇が生じることはないことを明らかにした。
- (2) パイプ破損による LOCA 時は、ビーム窓部で約 30K 上昇するが、急激な圧力変化や温度変化は無いことを確認した。

以上のことから、水銀流動システムでは正常に安全保護系が作動すれば、ポンプトリップや配管破損による大きな問題は起こらないと考えられる。しかし、微少亀裂などにおいては、圧力降下や流出も緩やかであると考えられ、それゆえに、検出が非常に難しくなる。今後は、更に多くの事例に対して解析を進めるとともに、システムの最適化を図り、水銀システムの安全保護系の健全性を高めるために各機器の設計を行っていく予定である。

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。また、RELAP5コードへの水銀物性値組み込みに当たっては、(株)IEAJ 前田俊哉氏に多大なご協力をいただきました。さらに、本報告書をまとめるに当たっては、核熱利用研究部の稲垣嘉之氏から貴重なご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 木下秀孝、神永雅紀、日野竜太郎，“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）”，JAERI-Tech 98-061,(1999-1)
- (2) 木下秀孝、神永雅紀、日野竜太郎，“RELAP5コードによる水銀流動基礎実験装置の過渡解析（第2報 水銀物性値の整備と試解析）”，JAERI-Tech 99-017,(1999-3)
- (3) 木下秀孝、神永雅紀、日野竜太郎，“RELAP5コードによる水銀流動基礎実験装置の過渡解析（第3報 水銀物性値を用いた過渡解析）”，JAERI-Tech 2000-007,(2000-2)

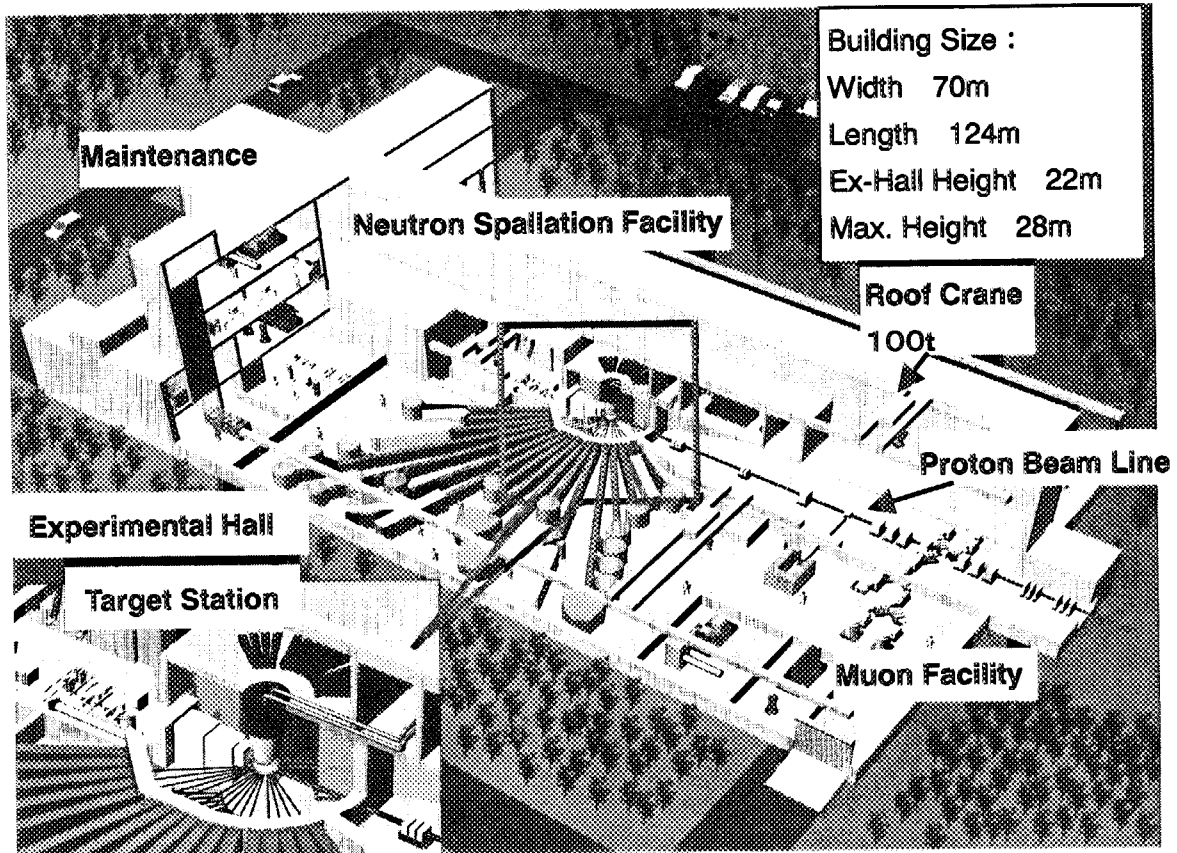


Fig2.1 Conceptual drawing of Material and Life Science Experimental Facility

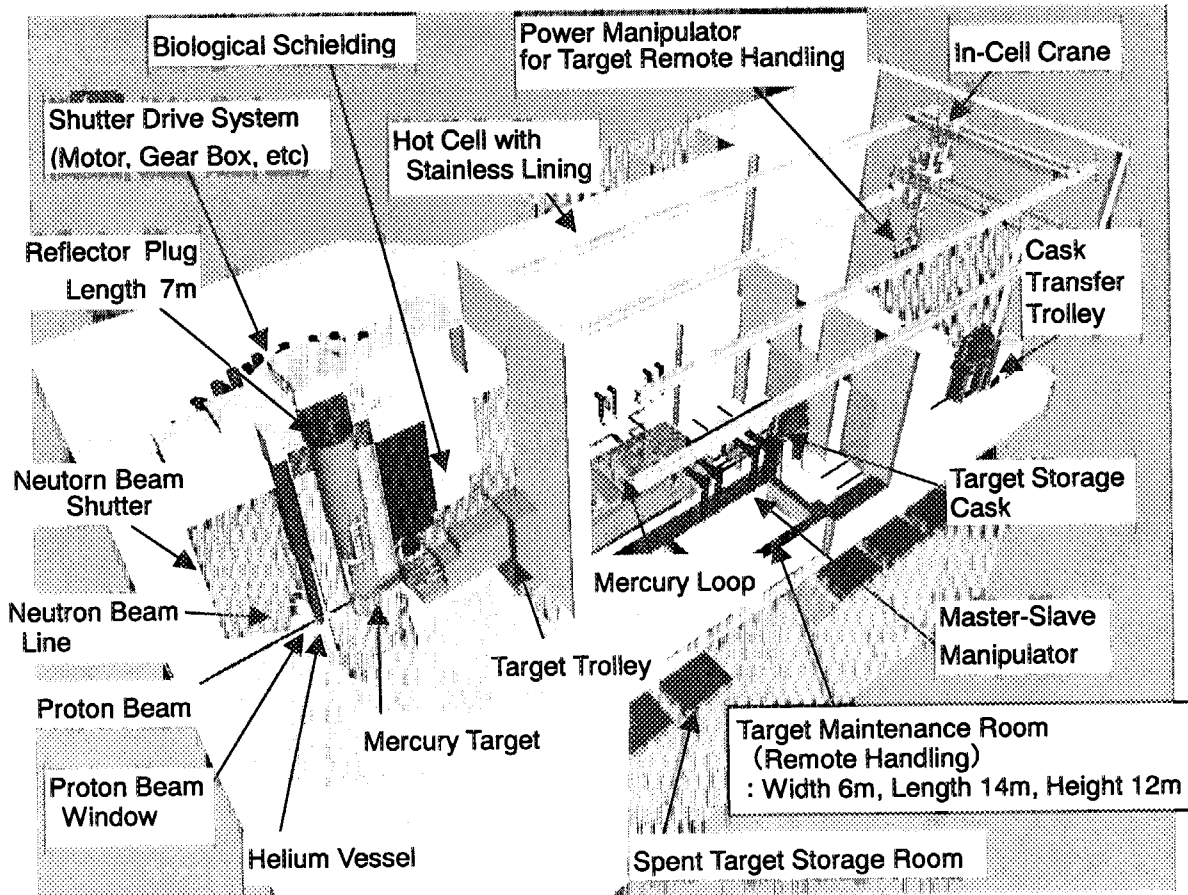


Fig2.2 Conceptual drawing of Mercury Target Station

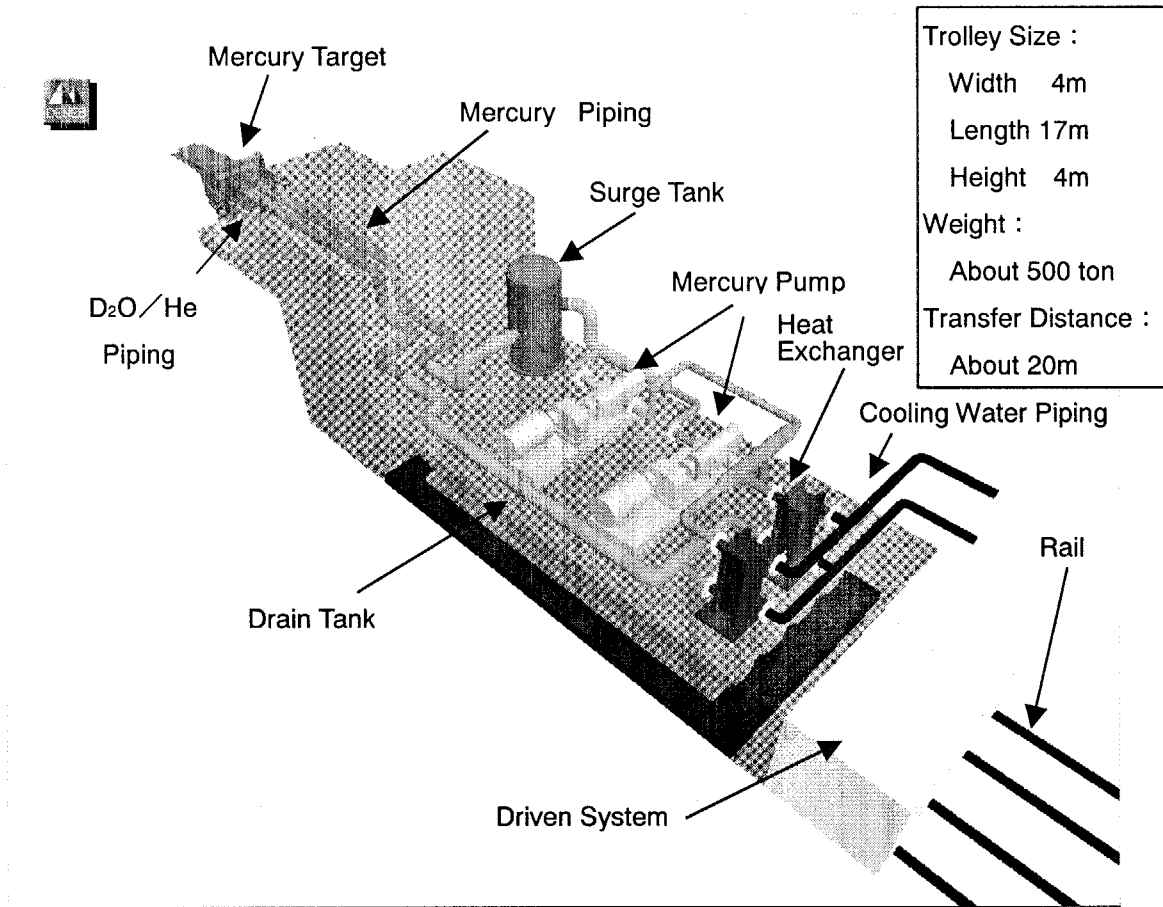


Fig2.3 Conceptual drawing of Mercury Target Trolley

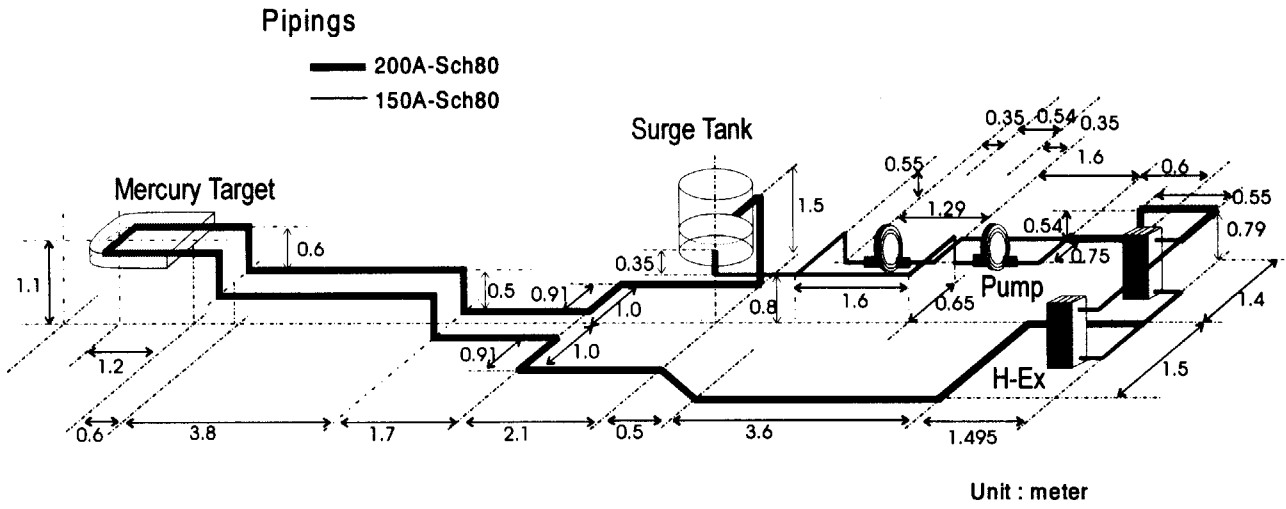


Fig. 3.1 Schematic drawing of real scale mercury loop

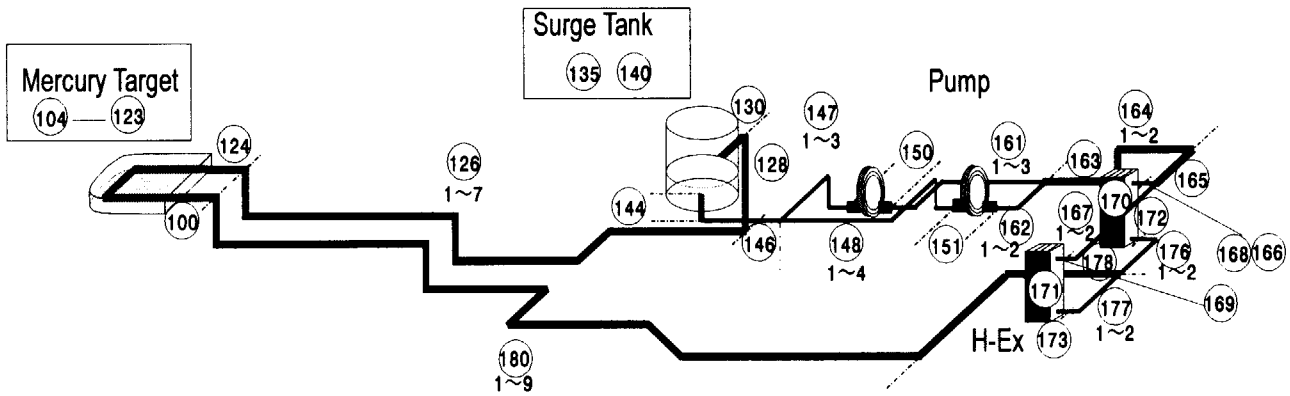


Fig.3.2 Nodalization for RELAP5 analysis of mercury loop

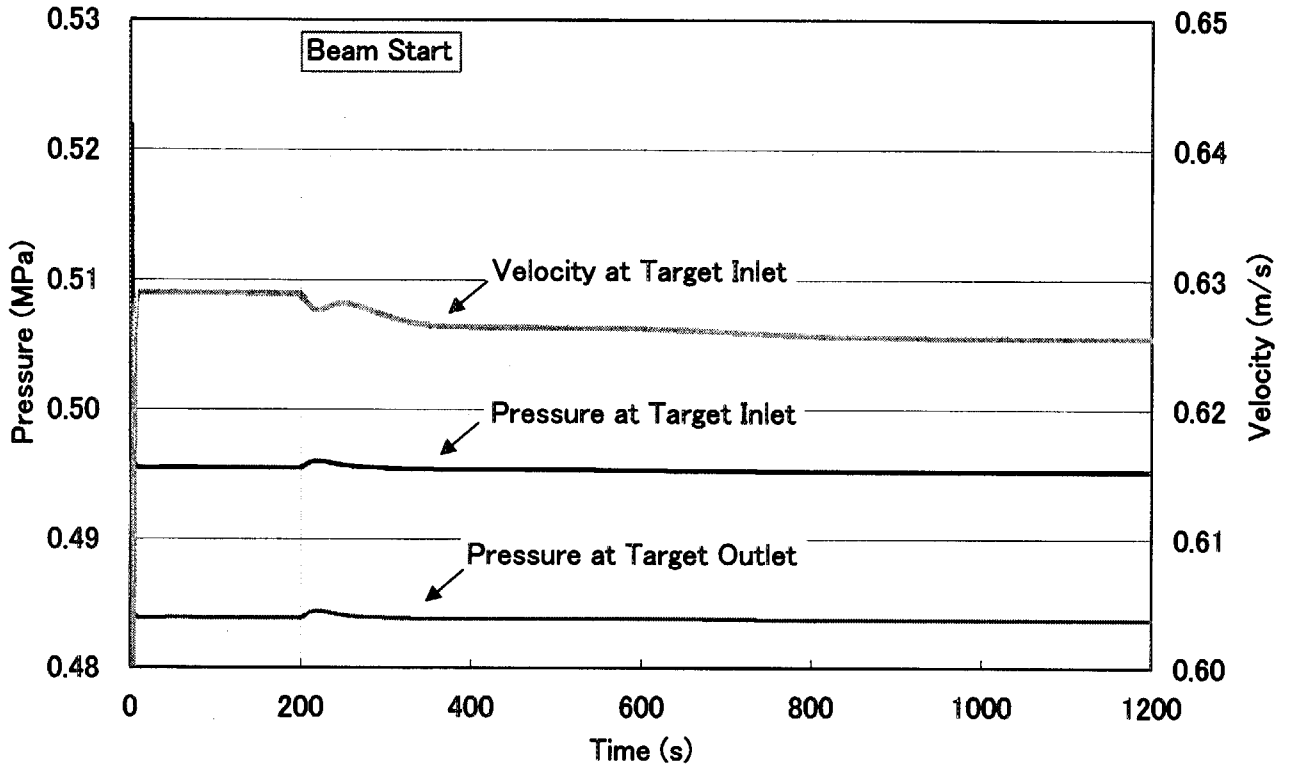


Fig. 4.1 Pressure and velocity simulation results obtained under an initial condition

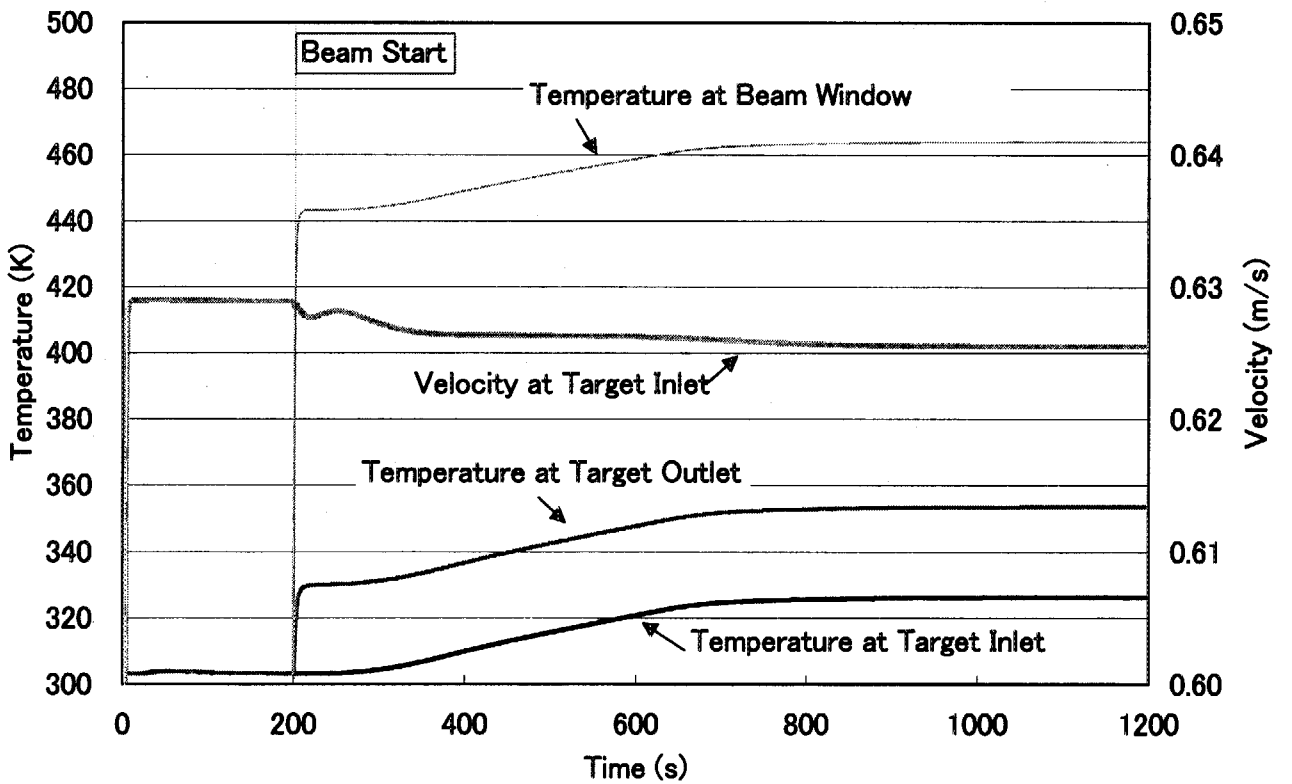


Fig.4.2 Temperature and velocity simulation results obtained under an initial condition

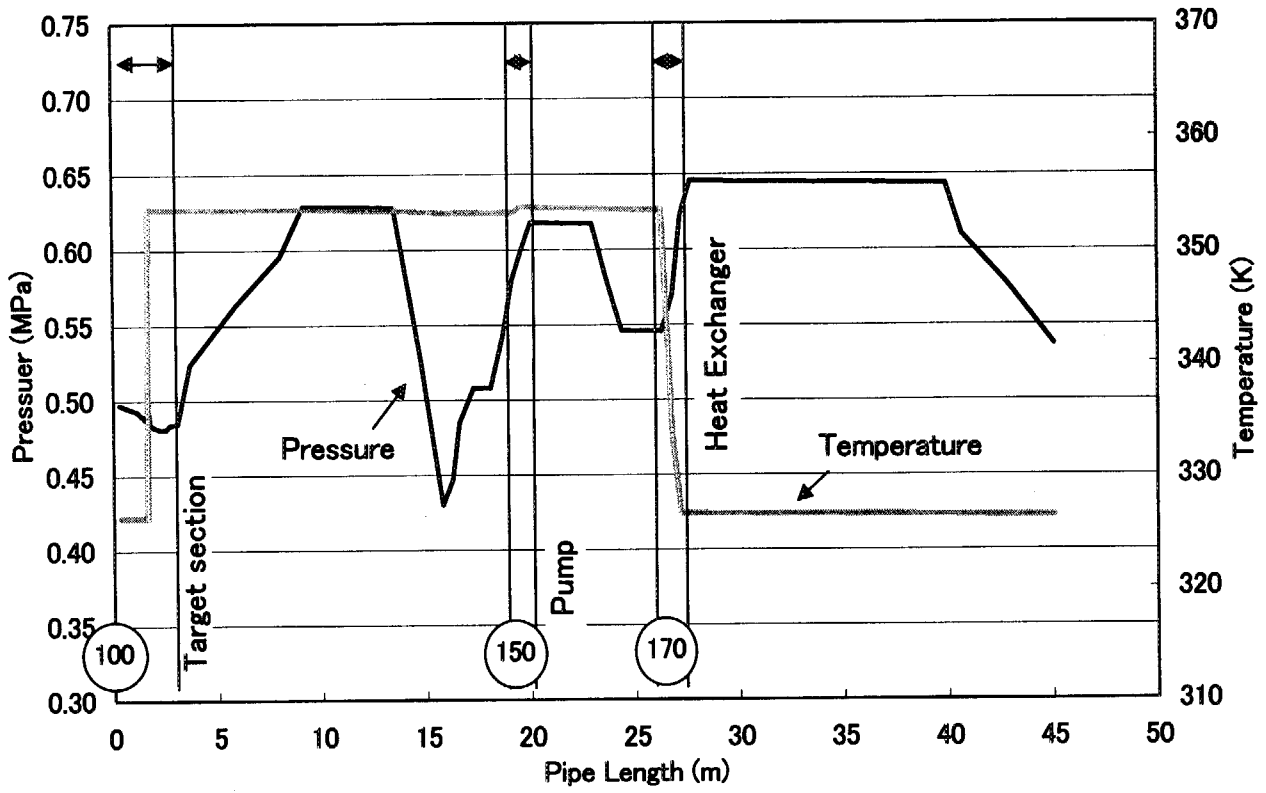


Fig.4.3 Temperature and pressure distributions in mercury loop under steady-state situation

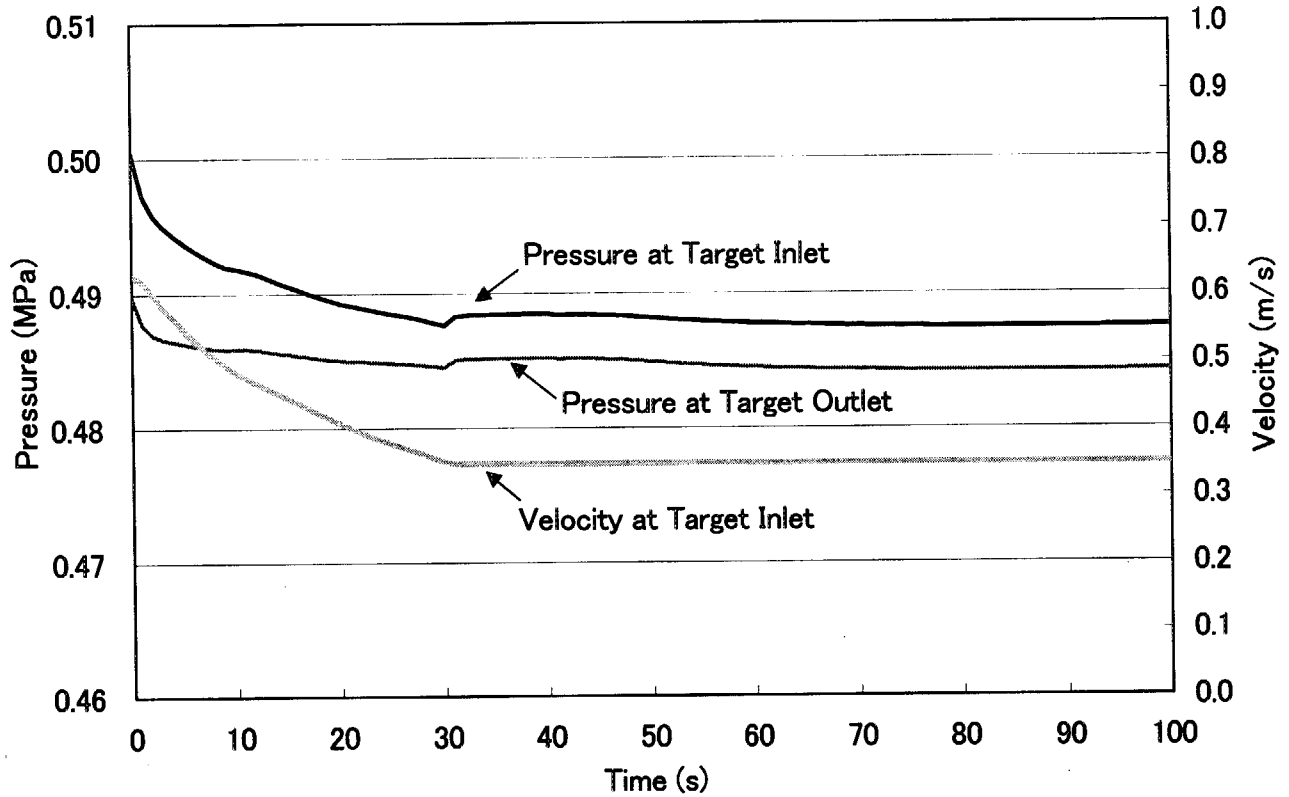


Fig.5.1 Pressure and velocity changes in loss of forced convection accident (LOFA) caused by single pump trip (Moment of pump inertia : $196 \text{ N}\cdot\text{m}^2$)

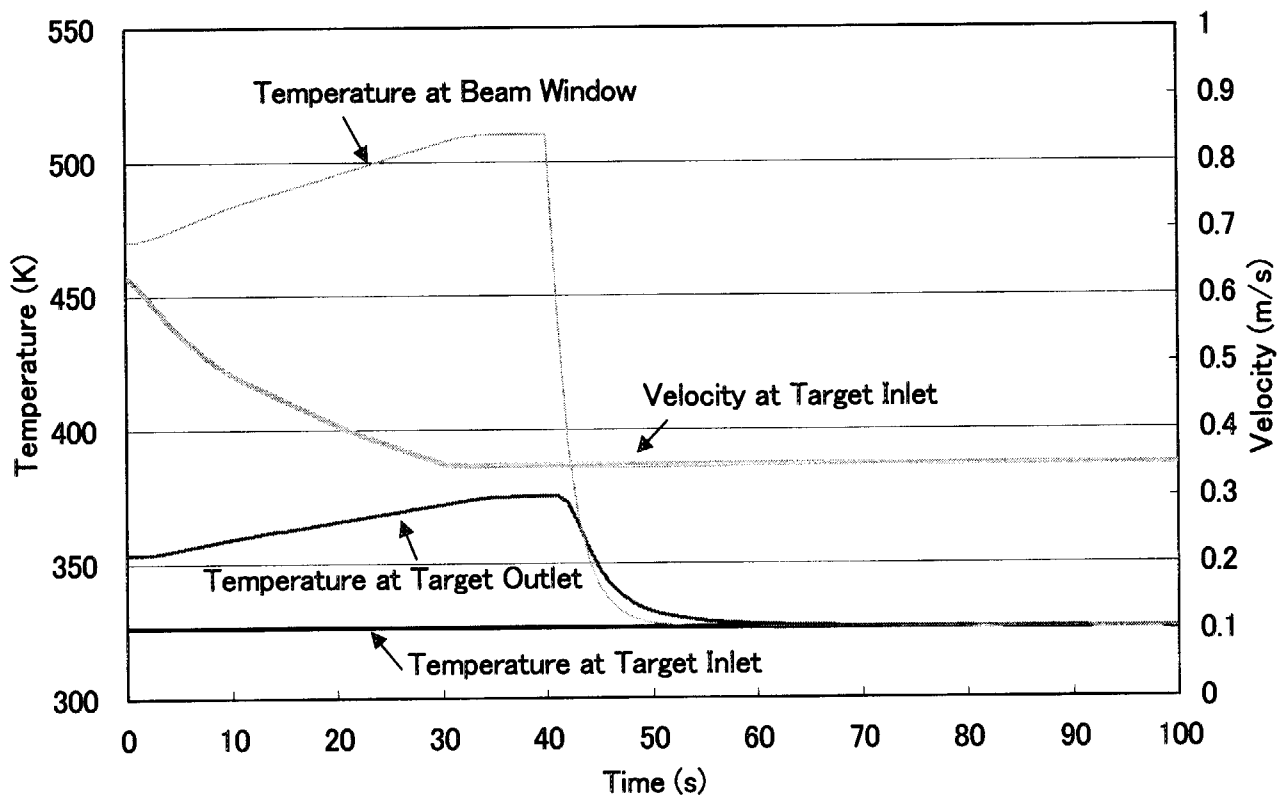


Fig.5.2 Temperature and velocity changes in loss of forced convection accident (LOFA) caused by single pump trip (Moment of pump inertia : $196 \text{ N}\cdot\text{m}^2$)

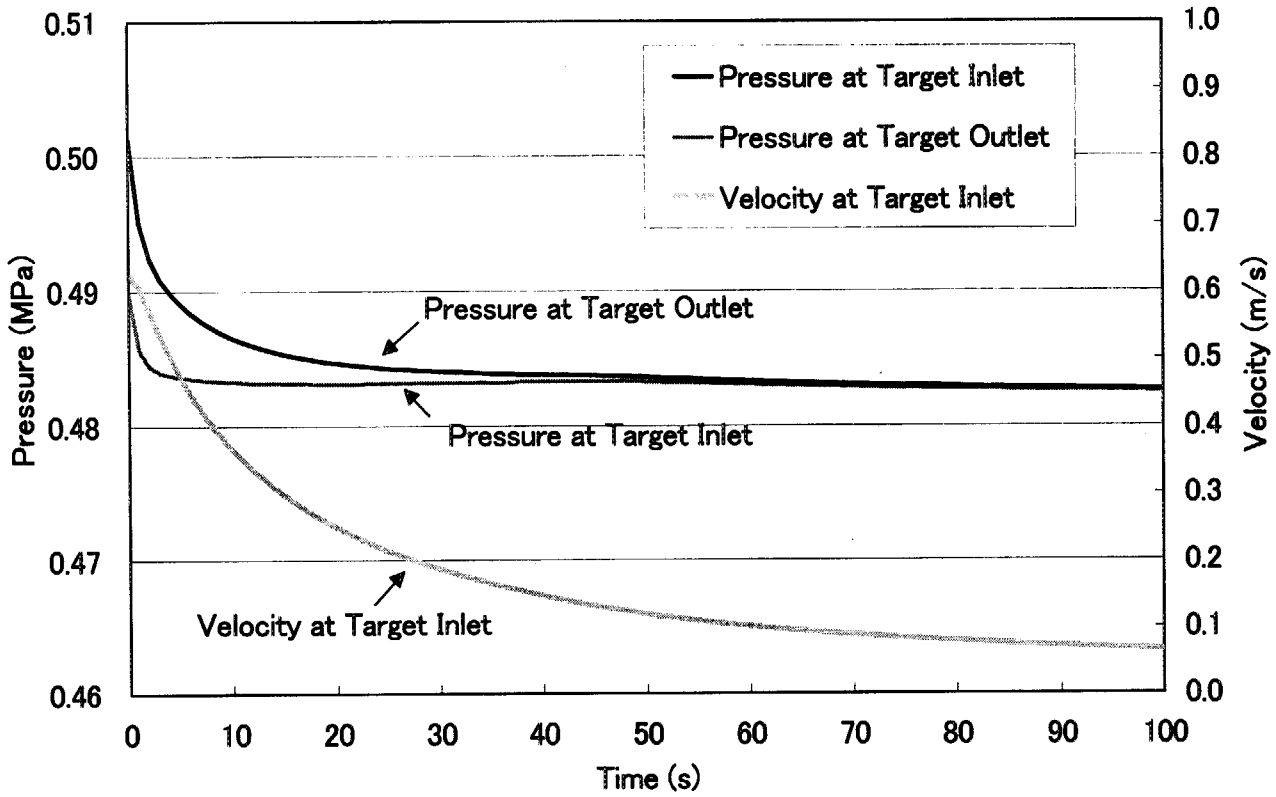


Fig.5.3 Pressure and velocity changes in loss of forced convection accident (LOFA) caused by double pump trip (Moment of pump inertia : $196 \text{ N} \cdot \text{m}^2$)

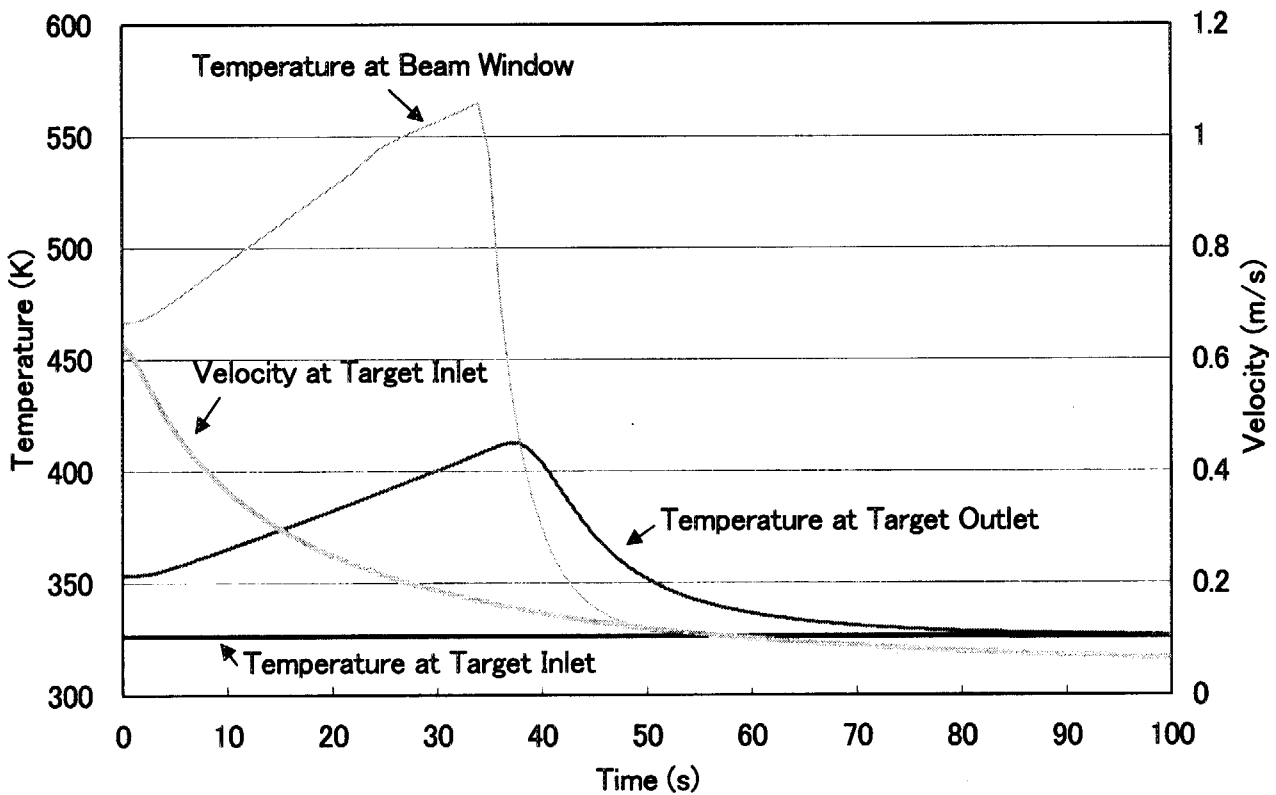


Fig.5.4 Temperature and velocity changes in loss of forced convection accident (LOFA) caused by double pump trip (Moment of pump inertia : $196 \text{ N} \cdot \text{m}^2$)

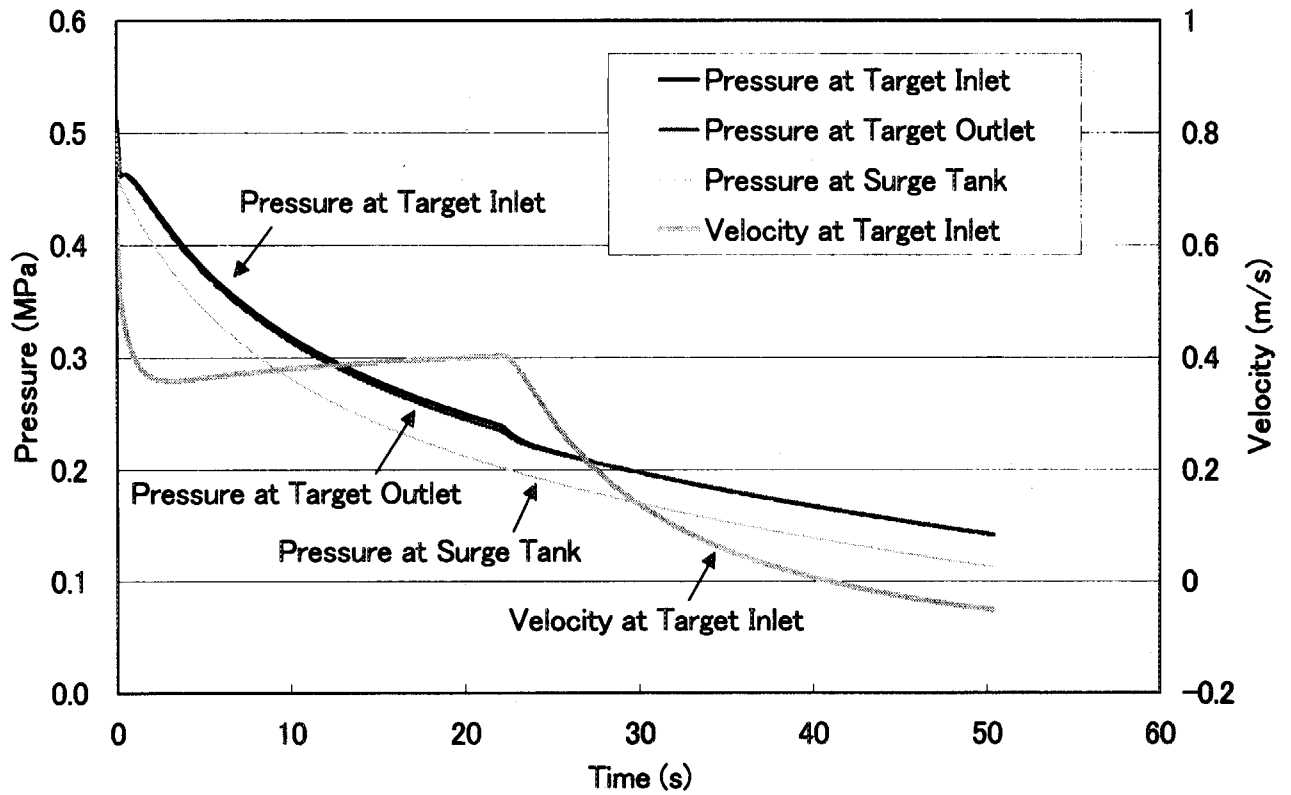


Fig.5.5 Pressure and velocity changes in loss of coolant accident (LOCA)
 (Valve open area: $6.061 \times 10^{-4} \text{ m}^2$)

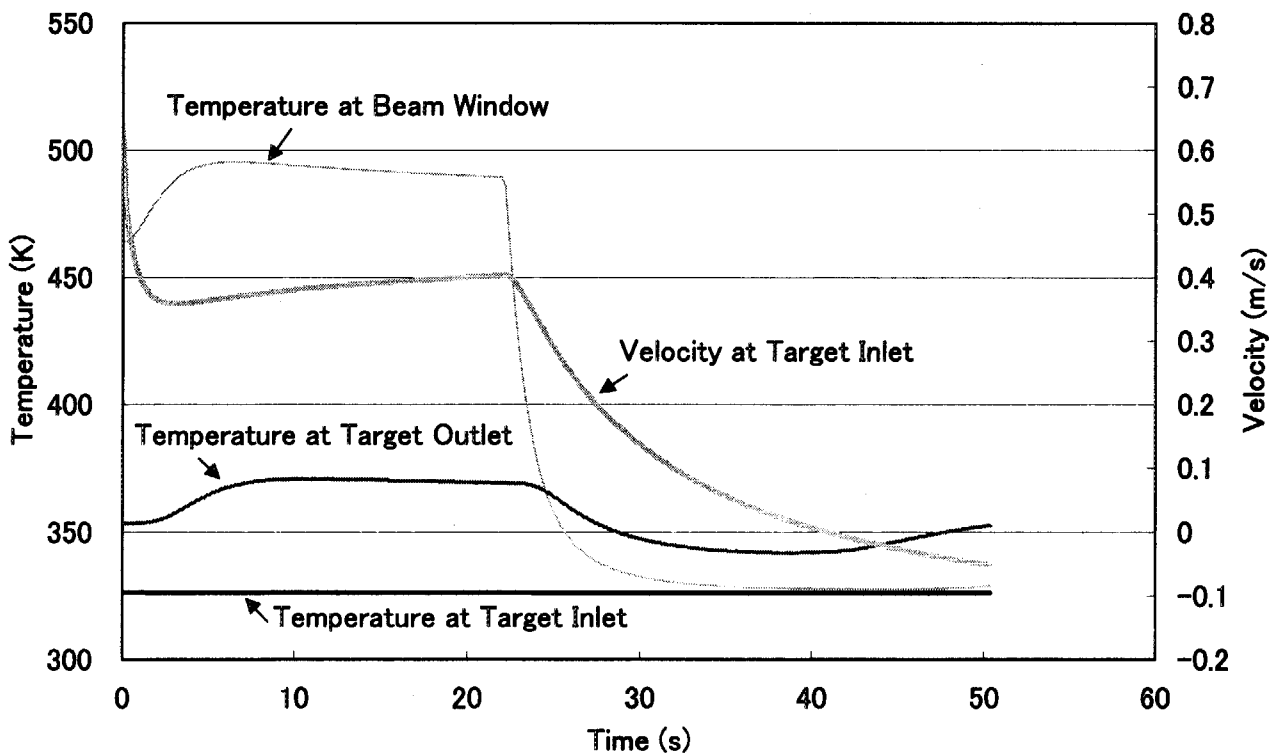


Fig.5.6 Temperature and velocity changes in loss of coolant accident (LOCA)
 (Valve open area : $6.061 \times 10^{-4} \text{ m}^2$)

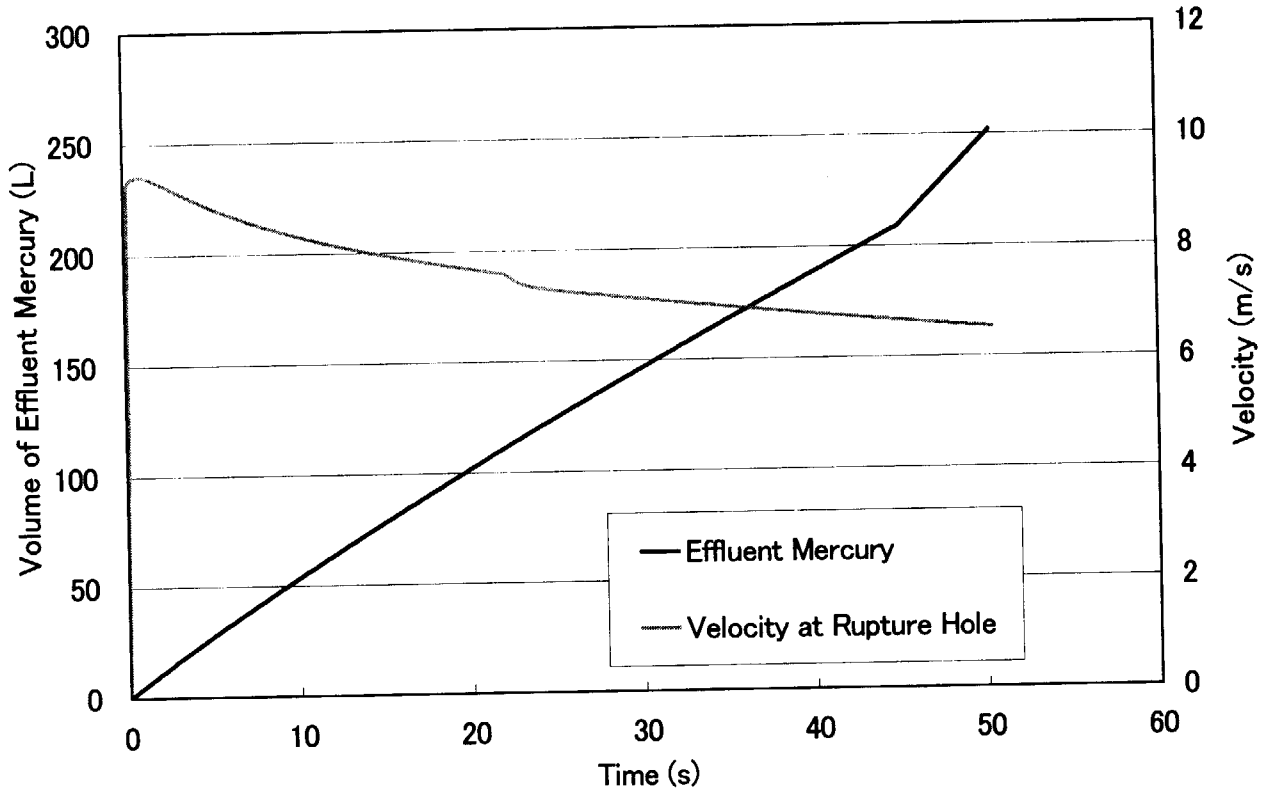


Fig.5.7 Amount of effluent mercury and velocity at rupture point
(Valve open area : $6.061 \times 10^{-4} \text{ m}^2$)

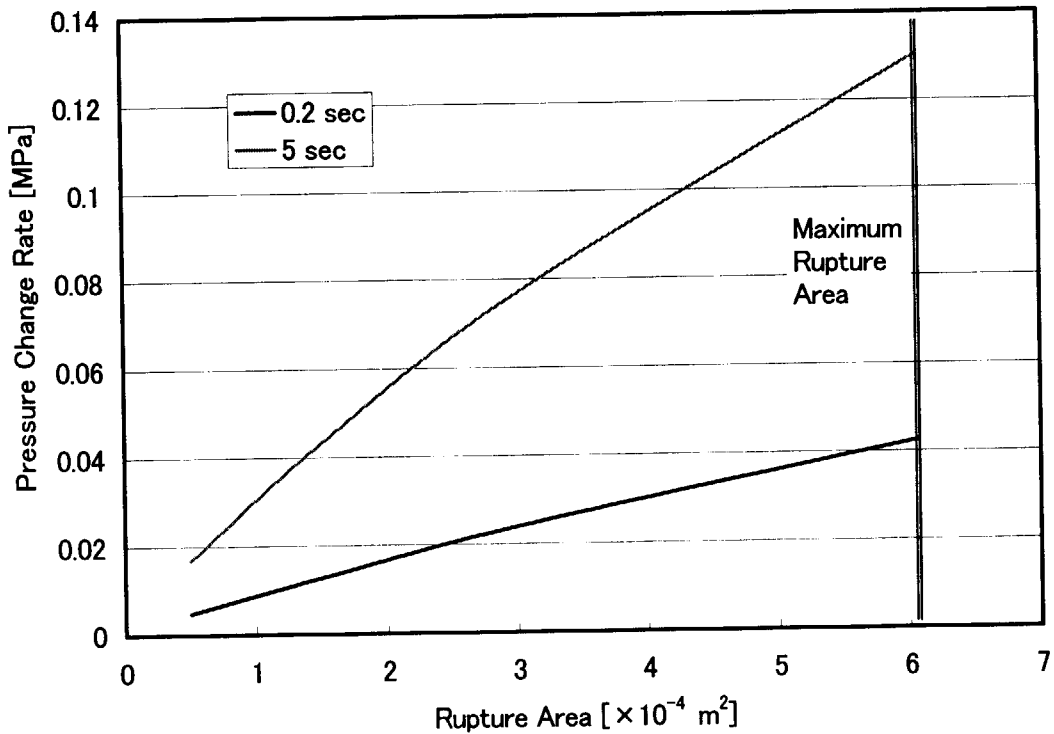


Fig.5.8 Relationship between rupture area and pressure change rate

付録

RELAP5 用 実規模水銀流動システム定格解析用入力データ

= MERCURY-LOOP

```

*****
0000100  NEW      TRANSNT
0000101  RUN
0000102  SI
0000105  5.      10.
0000110  NITROGEN
*****
*  TIME STEP CONTROL
0000201  1200.0  1.0E-8  0.100    2   10  2000  2000
*****
*  MINOR EDIT REQUEST
*
0000301  P      104010000  * PRESSURE OF TEST SECTION INLET
0000302  VELF   104010000  * VELOCITY OF TEST SECTION INLET
0000303  TEMPF  104010000
0000304  P      123010000  * PRESSURE OF TEST SECTION OUTLET
0000305  VELF   123010000  * VELOCITY OF TEST SECTION OUTLET
0000306  TEMPF  123010000
0000307  P      135010000  * PRESSURE OF EXPANSION POD
0000308  TEMPF  116010000
0000309  TEMPF  147010000  * TEMPERATURE OF PUMP INLET
0000310  TEMPF  161010000  * TEMPERATURE OF PUMP OUTLET
0000311  VELF   180020000  * VELOCITY OF FLOW METER
0000312  VELF   147010000  * VELOCITY OF PRE PIPE
0000313  TEMPF  168010000  * TEMPERATURE OF H-E INLET
0000314  TEMPF  172010000  * TEMPERATURE OF H-E OUTLET
0000315  PMPHEAD 150      * PUMP HEAD (PA)
0000316  PMPVEL  150
0000317  PMPTRQ  150
0000318  HTTEMP  101100203 * TEMPERATURE OF PUMP INLET
*****
*  HYDRODYNAMIC COMPONENTS
*****
*  TARGET SECTION
*****
1000000  TESTUP1  BRANCH
1000001  2      0
1000101  2.8622E-2  0.60  0.0  180.0  0.0  0.0  1.5E-6
1000102  0.1909  00
1000200  3 4.90000E+5  303.15
1001101  180010000  100000000  2.8622E-2  0.1466  0.1466  0000
1002101  100010000  104000000  1.7854E-2  0.0  0.0  0100
1001201  0.0  0.0  0.0
1002201  0.0  0.0  0.0
*****
1040000  TESTUP2  BRANCH
1040001  1      0
1040101  1.7854E-2  0.15  0.0  180.0  0.0  0.0  1.5E-6
1040102  0.15624  00
1040200  3 4.90000E+5  303.15
1041101  104010000  105000000  1.2854E-2  0.0  0.0  0000
1041201  0.0000  0.0000  0.0

```

1050000 TESTUP3 BRANCH
 1050001 1 0
 1050101 1.2854E-2 0.20 0.0 180.0 0.0 0.0 1.5E-6
 1050102 0.15624 00
 1050200 3 4.90000E+5 303.15
 1051101 105010000 108000000 1.1354E-2 0.1318 0.1318 0100
 1051201 0.0000 0.0000 0.0

1080000 TESTM1 PIPE
 1080001 5
 1080101 1.1354E-2 5
 1080301 0.35 1
 1080302 0.15 3
 1080303 0.05 5
 1080601 0.0 5
 1080701 0.0 5
 1080801 1.5E-6 0.15317 5
 1080901 0.1318 0.1318 3
 1080902 0.1318 0.1318 4
 1081001 00 5
 1081101 0000 4
 1081201 3 4.90000E+5 303.15 0 0.0 0.0 01
 1081202 3 4.90000E+5 303.15 0 0.0 0.0 02
 1081203 3 4.90000E+5 303.15 0 0.0 0.0 03
 1081204 3 4.90000E+5 303.15 0 0.0 0.0 04
 1081205 3 4.90000E+5 303.15 0 0.0 0.0 05
 1081300 0
 1081301 0.0000 0.0000 0.0 01 *
 1081302 0.0000 0.0000 0.0 02 *
 1081303 0.0000 0.0000 0.0 03 *
 1081304 0.0000 0.0000 0.0 04 *

1120000 TESTM2 BRANCH
 1120001 2 0
 1120101 3.0708E-2 0.06 0.0 90.0 0.0 0.0 1.5E-6
 1120102 0.10000 00
 1120200 3 4.90000E+5 303.15
 1121101 108010000 112000000 1.1354E-2 0.1318 0.1318 0000
 1122101 112010000 116000000 1.1354E-2 0.0 0.0 0000
 1121201 0.0000 0.0000 0.0
 1122201 0.0000 0.0000 0.0

1160000 TESTM3 BRANCH
 1160001 1 0
 1160101 3.0708E-2 0.06 0.0 90.0 0.0 0.0 1.5E-6
 1160102 0.10000 00
 1160200 3 4.90000E+5 303.15
 1161101 116010000 120000000 1.1354E-2 0.1318 0.1318 0000
 1161201 0.0000 0.0000 0.0

1200000 TESTM4 PIPE
 1200001 5
 1200101 1.1354E-2 5
 1200306 0.05 2
 1200307 0.15 4
 1200308 0.35 5

```

1200601  0.0      5
1200701  0.0      5
1200801  1.5E-6  0.15317  5
1200902      0.1318  0.1318  1
1200903      0.1318  0.1318  4
1201001  00      5
1201101  0000    4
1201201  3 4.90000E+5  303.15  0  0.0  0.0  01
1201202  3 4.90000E+5  303.15  0  0.0  0.0  02
1201203  3 4.90000E+5  303.15  0  0.0  0.0  03
1201204  3 4.90000E+5  303.15  0  0.0  0.0  04
1201205  3 4.90000E+5  303.15  0  0.0  0.0  05
1201300  0
1201301  0.00000 0.0000  0.0      04  *
*****
1220000  TDOWN1    BRANCH
1220001  2      0
1220101  1.2854E-2  0.20  0.0  0.0  0.0  0.0  1.5E-6
1220102  0.15624  00
1220200  3 4.90000E+5  303.15
1221101      120010000  122000000  1.1354E-2  0.1318  0.1318  0100
1222101      122010000  123000000  1.2854E-2  0.0  0.0  0000
1221201  0.0000  0.0000  0.0
1222201  0.0000  0.0000  0.0
*****
1230000  TDOWN2    BRANCH
1230001  1      0
1230101  1.7854E-2  0.15  0.0  0.0  0.0  0.0  1.5E-6
1230102  0.15624  00
1230200  3 4.90000E+5  303.15
1231101      123010000  124000000  1.7854E-2  0.0  0.0  0100
1231201  0.0000  0.0000  0.0
*****
1240000  TDOWN3    BRANCH
1240001  1      0
1240101  2.8622E-2  0.60  0.0  0.0  0.0  0.0  1.5E-6
1240102  0.1909  00
1240200  3 4.90000E+5  303.15
1241101      124010000  126000000  2.8622E-2  0.1466  0.1466  0000
1241201  0.0000  0.0000  0.0
*****
*   PIPE FROM TARGET TO SURGE TANK
*****
1260000  PIPE1    PIPE
1260001  7
1260101  2.8622E-2  7
1260301  0.6      1
1260302  3.8      2
1260303  0.5      3
1260304  1.7      4
1260305  0.91     5
1260306  2.1      6
1260307  1.0      7
1260601  -90.0    1
1260602  0.0      2
1260603  -90.0    3
1260604  0.0      7

```

```

1260701 -0.6      1
1260702  0.0      2
1260703 -0.5      3
1260704  0.0      7
1260801 1.5E-6  0.1909  7
1260902  0.1466  0.1466  6
1261001  00      7
1261101 0000     6
1261201 3 5.20000E+5 303.15 0 0.0 0.0 01
1261202 3 5.60000E+5 303.15 0 0.0 0.0 02
1261203 3 5.90000E+5 303.15 0 0.0 0.0 03
1261204 3 6.30000E+5 303.15 0 0.0 0.0 04
1261205 3 6.30000E+5 303.15 0 0.0 0.0 05
1261206 3 6.30000E+5 303.15 0 0.0 0.0 06
1261207 3 6.30000E+5 303.15 0 0.0 0.0 07
1261300  0
1261301 0.0000 0.0000  0.0      06  *
*****
1280000 PREACCM1  BRANCH
1280001  1      0
1280101 2.8622E-2 1.50  0 0.0 90.0 1.50 1.5E-6 0.1909 00
1280200 3 5.30000E+5 303.15
1281101 126010000 128000000 2.8622E-2 0.1466 0.1466 0000
1281201 0.0000 0.0000 0.0
*****
1300000 PREACCM1  BRANCH
1300001  2      0
1300101 2.8622E-2 0.60 0 0.0 0.0 0.00 1.5E-6 0.1909 00
1300200 3 4.30000E+5 303.15
1301101 128010000 130000000 2.8622E-2 0.1466 0.1466 0000
1302101 130010000 135000000 2.8622E-2 5.9584 5.9584 0100
1301201 0.0000 0.0000 0.0
1302201 0.0000 0.0000 0.0
*****
*  SURGE TANK
*****
1350000 ACCUM1  BRANCH
1350001  1      0
1350101 0.5027 0.35  0 0.0 -90.0 -0.35 1.5E-6 0.80 00
1350200 3 4.47000E+5 303.15
1351101 135010000 140000000 0.065 0.0 0.0 0100
1351201 0.0 0.0 0.0
*****
1400000 ACCUMPOD TMDPVOL
1400101 0.5027 0.650 0 0.0 90.0 0.65 1.5E-6 0.80 00
1400200  3
1400201 0.0 4.70E+5 303.15
1400202 200. 4.70E+5 303.15
1400203 600. 4.70E+5 353.15
1400204 1200. 4.70E+5 353.15
*****
1440000 ACCUM01  BRANCH
1440001  2      0
1440101 2.8622E-2 0.35 0 0.0 -90. -0.35 1.5E-6 0.1909 00
1440200 3 4.90000E+5 303.15
1441101 135010000 144000000 2.8622E-2 5.9584 5.9584 0100

```

```

1442101 144010000 146000000 2.8622E-2 0.1466 0.1466 0000
1441201 0.4062 0.4062 0.0
1442201 0.4062 0.4062 0.0
*****
1460000 ACCUMO2 BRANCH
1460001 2 0
1460101 2.8622E-2 1.0 0 0.0 0.0 0.0 1.5E-6 0.1909 00
1460200 3 5.10000E+5 303.15
1461101 146010000 147000000 1.6105E-2 0.1466 0.1466 0000
1462101 146010000 148000000 1.6105E-2 0.0 0.0 0000
1461201 0.000 0.0000 0.0
1462201 0.000 0.000 0.0
*****
1470000 PIPE2 PIPE
1470001 3
1470101 1.6105E-2 3
1470201 1.6105E-2 2
1470301 0.65 1
1470302 0.55 2
1470303 0.35 3
1470401 0.0 3
1470601 0.0 1
1470602 -90.0 2
1470603 0.0 3
1470701 0.0 1
1470702 -0.55 2
1470703 0.0 3
1470801 1.50E-6 0.1432 3
1470901 0.1318 0.1318 2
1471001 00 3
1471101 0000 2
1471201 3 5.10000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 01
1471202 3 5.50000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 02
1471203 3 5.80000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 03
1471300 0
1471301 0.000 0.000 0.0 02 *
*****
1480000 PIPE3 PIPE
1480001 4
1480101 1.6105E-2 4
1480201 1.6105E-2 3
1480301 1.60 1
1480302 0.65 2
1480303 0.55 3
1480304 0.35 4
1480602 0.0 2
1480603 -90.0 3
1480604 0.0 4
1480701 0.0 2
1480702 -0.55 3
1480703 0.0 4
1480801 1.50E-6 0.1432 4
1480901 0.1318 0.1318 3
1481001 00 4
1481101 0000 3
1481201 3 5.10000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 01
1481202 3 5.10000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 02

```



```

1481203 3 5.50000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 03
1481204 3 5.80000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 04
1481300 0
1481301 0.000 0.000 0.0 03 *
```

```

* PUMP
*****
1500000 EMPUMP1 PUMP
1500101 3.4671E-2 0.54 0.0 0.0 0.0 0.0 0
1500108 147010000 1.6105E-2 0.0 0.0 0100
1500109 161000000 1.6105E-2 0.0 0.0 0100
1500200 3 5.80000E+5 303.15
1500201 0 0.0000 0.0000 0.0
1500202 0 0.0000 0.0000 0.0
1500301 -1 -1 -3 -1 -1 0 0
1500302 52.36 1.00 0.4000E-2 0.7 100.00 20.000
1500303 13521.33 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
*****
1510000 EMPUMP2 PUMP
1510101 3.4671E-2 0.54 0.0 0.0 0.0 0.0 0
1510108 148010000 1.6105E-2 0.0 0.0 0100
1510109 162000000 1.6105E-2 0.0 0.0 0100
1510200 3 5.80000E+5 303.15
1510201 0 0.0000 0.0000 0.0
1510202 0 0.0000 0.0000 0.0
1510301 -1 -1 -3 -1 -1 0 0
1510302 52.36 1.0000 0.4000E-2 0.70 100.00 20.000
1510303 13521.33 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
*****
*****
1610000 PIPE4 PIPE
1610001 3
1610101 1.6105E-2 3
1610201 1.6105E-2 2
1610301 0.35 1
1610302 0.75 2
1610303 1.60 3
1610603 0.0 3
1610703 0.0 3
1610801 1.50E-6 0.1432 3
1610901 0.1318 0.1318 2
1611001 00 3
1611101 0000 2
1611201 3 5.80000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 01
1611202 3 5.80000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 02
1611203 3 5.80000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 03
1611300 0
1611301 0.000 0.000 0.0 02 *
```

```

1620000 PIPE5 PIPE
1620001 2
1620101 1.6105E-2 2
1620201 1.6105E-2 1
1620301 0.35 1
1620302 0.75 2
1620602 0.0 2
1620702 0.0 2
```

```

1620801 1.50E-6 0.1432 2
1620901 0.1318 0.1318 1
1621001 00 2
1621101 0000 1
1621201 3 5.80000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 01
1621202 3 5.80000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 02
1621300 0
1621301 0.000 0.000 0.0 01 *
```

```

1630000 PREHC1 BRANCH
1630001 3 0
1630101 2.8622E-2 0.80 0 0.0 0.0 0.0 1.5E-6 0.1909 00
1630200 3 5.80000E+5 303.15
1631101 161010000 163000000 1.6105E-2 0.0 0.0 0100
1632101 162010000 163000000 1.6105E-2 0.1318 0.1318 0100
1633101 163010000 164000000 2.8622E-2 0.0 0.0 0000
1631201 0.000 0.000 0.0
1632201 0.000 0.000 0.0
1633201 0.0002 0.0000 0.0
```

```

1640000 PIPE6 PIPE
1640001 2
1640101 2.8622E-2 2
1640201 2.8622E-2 1
1640301 0.54 1
1640302 0.955 2
1640601 90.0 1
1640602 0.0 2
1640701 0.54 1
1640702 0.0 2
1640801 1.50E-6 0.1909 2
1640901 0.1466 0.1466 1
1641001 00 2
1641101 0000 1
1641201 3 5.80000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 01
1641202 3 5.40000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 02
1641300 0
1641301 0.0000 0.0000 0.0 01 *
```

```

1650000 PREHC2 BRANCH
1650001 3 0
1650101 2.8622E-2 0.664 0 180.0 0.0 0.0 1.5E-6 0.1909 00
1650200 3 5.40000E+5 303.15
1651101 164010000 165000000 2.8622E-2 0.1466 0.1466 0000
1652101 165010000 166000000 1.6105E-2 0.1318 0.1318 0000
1653101 165010000 167000000 1.6105E-2 0.0 0.0 0100
1651201 0.0000 0.0000 0.0
1652201 0.000 0.000 0.0
1653201 0.000 0.000 0.0
```

```

1660000 PIPE7 PIPE
1660001 1
1660101 1.6105E-2 1
1660301 0.40 1
1660401 0.0 1
1660501 0.0 1
1660601 0.0 1
```

```

1660701      0.0      1
1660801    1.50E-6    0.1432 1
1661001      00      1
1661201    3 5.40000E+5  303.15  0.0  0.0  0.0  01
*****
1670000    PIPE8    PIPE
1670001      2
1670101    1.6105E-2    2
1670201    1.6105E-2    1
1670301      1.27    1
1670302      0.40    2
1670602      0.0      2
1670702      0.0      2
1670801    1.50E-6    0.1432 2
1670901    0.2184    0.2184 1
1671001      00      2
1671101    0000      1
1671201    3 5.40000E+5  303.15  0.0  0.0  0.0  01
1671202    3 5.40000E+5  303.15  0.0  0.0  0.0  02
1671300      0
1671301    0.361    0.361    0.0    01    *
*****
1680000    PREHC3    BRANCH
1680001      2      0
1680101    1.6105E-2    0.6  0  0.0  0.0  0.0  1.5E-6  0.1432 00
1680200    3 5.40000E+5  303.15
1681101    166010000  168000000  1.6105E-2  0.0  0.0  0000
1682101    168010000  170000000  1.6105E-2  2.184  2.184  0100
1681201    0.000  0.000  0.0
1682201    0.000  0.000  0.0
*****
1690000    PREHC4    BRANCH
1690001      2      0
1690101    1.6105E-2    0.6  0  0.0  0.0  0.0  1.5E-6  0.1432 00
1690200    3 5.40000E+5  303.15
1691101    167010000  169000000  1.6105E-2  0.0  0.0  0000
1692101    169010000  171000000  1.6105E-2  2.184  2.184  0100
1691201    0.000  0.000  0.0
1692201    0.000  0.000  0.0
*****
*          HEAT EXCHANGER
*****
1700000    HEATEX1    PIPE
1700001      2
1700101    9.00E-2    2
1700201    9.00E-2    1
1700301    0.395    2
1700401      0.0      2
1700601    -90.0      2
1700701    -0.395      2
1700801    1.50E-3    3.846E-2    2
1700901      0.0  0.0  1
1701001      00      2
1701101    0000      1
1701201    3 5.65000E+5  303.15  0.0  0.0  0.0  01
1701202    3 6.20000E+5  303.15  0.0  0.0  0.0  02
1701300      0

```

```

1701301  0.0000  0.0000  0.0    01    *
*****
1710000  HEATEX2  PIPE
1710001  2
1710101  9.00E-2  2
1710201  9.00E-2  1
1710301  0.395    2
1710401  0.0      2
1710601  -90.0    2
1710701  -0.395   2
1710801  1.50E-3  3.846E-2  2
1710901  0.0  0.0  1
1711001  00    2
1711101  0000  1
1711201  3 5.65000E+5  303.15  0.0  0.0  0.0  01
1711202  3 6.20000E+5  303.15  0.0  0.0  0.0  02
1711300  0
1711301  0.0000  0.0000  0.0    01    *
*****
1720000  HCOU1  BRANCH
1720001  2      0
1720101  1.6105E-2  0.6  0  0.0  0.0  0.0  1.5E-6  0.1432  00
1720200  3 6.40000E+5  303.15
1721101  170010000  172000000  1.6105E-2  2.184  2.184  0100
1722101  172010000  176000000  1.6105E-2  0.0  0.0  0000
1721201  0.000  0.000  0.0
1722201  0.000  0.000  0.0
*****
1730000  HCOU2  BRANCH
1730001  2      0
1730101  1.6105E-2  0.6  0  0.0  0.0  0.0  1.5E-6  0.1432  00
1730200  3 6.40000E+5  303.15
1731101  171010000  173000000  1.6105E-2  2.184  2.184  0100
1732101  173010000  177000000  1.6105E-2  0.0  0.0  0000
1731201  0.000  0.000  0.0
1732201  0.000  0.000  0.0
*****
1760000  PIPE9  PIPE
1760001  2
1760101  1.6105E-2  2
1760201  1.6105E-2  1
1760301  0.40      1
1760302  0.721     2
1760401  0.0      2
1760602  0.0      2
1760702  0.0      2
1760801  1.50E-6  0.1432  2
1760901  0.1558   0.1558  1
1761001  00      2
1761101  0000    1
1761201  3 6.40000E+5  303.15  0.0  0.0  0.0  01
1761202  3 6.40000E+5  303.15  0.0  0.0  0.0  02
1761300  0
1761301  0.000  0.000  0.0    01    *
*****
1770000  PIPE10 PIPE
1770001  2

```

```

1770101 1.6105E-2 2
1770201 1.6105E-2 1
1770301 0.40 1
1770302 0.549 2
1770401 0.0 2
1770602 0.0 2
1770702 0.0 2
1770801 1.50E-6 0.1432 2
1770901 0.1558 0.1558 1
1771001 00 2
1771101 0000 1
1771201 3 6.40000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 01
1771202 3 6.40000E+5 303.15 0.0 0.0 0.0 02
1771300 0
1771301 0.000 0.000 0.0 01 *
```

```

1780000 HCOUT BRANCH
1780001 3 0
1780101 2.8622E-2 1.495 0 270.0 0.0 0.0 1.5E-6 0.1909 00
1780200 3 6.40000E+5 303.15
1781101 176010000 178000000 1.6105E-2 0.1318 0.1318 0100
1782101 177010000 178000000 1.6105E-2 0.1318 0.1318 0100
1783101 178010000 180000000 2.8622E-2 0.1318 0.1318 0000
1781201 0.000 0.000 0.0
1782201 0.000 0.000 0.0
1783201 0.0000 0.0000 0.0
```

```

1800000 PIPE11 PIPE
1800001 9
1800101 2.8622E-2 9
1800301 1.500 1
1800302 3.6 2
1800303 0.707108 3
1800304 2.1 4
1800305 0.91 5
1800306 1.0 6
1800307 0.5 7
1800308 3.8 8
1800309 0.6 9
1800601 0.0 6
1800602 90.0 7
1800603 0.0 8
1800604 90.0 9
1800701 0.0 6
1800702 0.5 7
1800703 0.0 8
1800704 0.6 9
1800801 1.5E-6 0.1909 9
1800901 0.1466 0.1466 1
1800902 0.1000 0.1000 3
1800903 0.1466 0.1318 8
1801001 00 9
1801101 0000 8
1801201 3 6.40000E+5 303.15 0 0.0 0.0 01
1801202 3 6.40000E+5 303.15 0 0.0 0.0 02
1801203 3 6.40000E+5 303.15 0 0.0 0.0 03
1801204 3 6.40000E+5 303.15 0 0.0 0.0 04
```

```

1801205 3 6.40000E+5 303.15 0 0.0 0.0 05
1801206 3 6.40000E+5 303.15 0 0.0 0.0 06
1801207 3 6.05000E+5 303.15 0 0.0 0.0 07
1801208 3 5.70000E+5 303.15 0 0.0 0.0 08
1801209 3 5.30000E+5 303.15 0 0.0 0.0 09
1801300 0
1801301 0.0000 0.0000 0.0 08 *
```

* CONTAINMENT VOLUME FOR ENVIRONMENTAL HEAT LOSSES

9000000 ENVSINK SNGLVOL

```

9000101 3000. 100. 0.0 0.0 0.0 0.0 0 0 10
9000200 3 101330.00 303.15
```

9200000 H-EWATER TMDPVOL

```

9200101 3000. 100. 0.0 0.0 0.0 0.0 0 0 10
9200200 3
9200201 0. 101330.0 303.15
9200202 200. 101330.0 303.15
9200203 600. 101330.0 323.15
9200204 1000. 101330.0 323.15
```


* HEAT STRUCTURES

* TEST SECTION HEAT STRUCTURES 1

```

11001000 7 7 2 1 0.07812
11001100 0 1
```

* MESH INTERVAL

```

11001101 6 0.08562
```

* HEAT STRUCTURE COMPOSITION

```

11001201 5 6
```

* HEAT SOURCE DISTRIBUTION

```

11001301 1.0 6
```

* INITIAL TEMPERATURE FLAG

```

11001400 0
11001401 303.15 7
```

* LEFT BOUNDARY CONDITION

```

11001501 104010000 0 1 1 0.15 1
11001502 105010000 0 1 1 0.20 2
11001503 108010000 0 1 1 0.35 3
11001505 108020000 10000 1 1 0.15 5
11001507 108040000 10000 1 1 0.05 7
```

* RIGHT BOUNDARY CONDITION

```

11001601 900010000 0 3900 1 0.15 1
11001602 900010000 0 3900 1 0.20 2
11001603 900010000 0 3900 1 0.35 3
11001605 900010000 0 3900 1 0.15 5
11001607 900010000 0 3900 1 0.05 7
```

* HEAT SOURCE

```

11001701 0 0 0 0 7
```

* ADDITIONAL LEFT BOUNDARY CONDITION

```

11001801 0 0.0 0.0 0.0 7
```

* ADDITIONAL RIGHT BOUNDARY CONDITION

```

11001901 0 0.0 0.0 0.0 7
```

* BEAM WINDOW

```

11011000  2  3  1  1  0.0
11011100  0  1
11011101  2  0.0025
11011201  5  2
11011301  1.0  2
11011400  0
11011401  303.15  3
11011501  112010000      1      1  1  0.0065  1
11011502  116010000      1      1  1  0.0065  2
11011601  900010000      0  3900  1  0.0065  1
11011602  900010000      0  3900  1  0.0065  2
11011701  100  10.  0  0  2
11011801  0  0.0  0.0  0.0  2
11011901  0  0.0  0.0  0.0  2

```

* TEST SECTION HEAT STRUCTURE 2

```

11021000  7  7  2  1  0.07812
11021100  0  1
11021101  6  0.08562
11021201  5  6
11021301  1.0  6
11021400  0
11021401  303.15  7
11021501  120010000  10000      1  1  0.0500  2
11021503  120030000  10000      1  1  0.1500  4
11021505  120050000      0      1  1  0.3500  5
11021506  122010000      0      1  1  0.2000  6
11021507  123010000      0      1  1  0.1500  7
11021601  900010000      0  3900  1  0.0500  2
11021603  900010000      0  3900  1  0.1500  4
11021605  900010000      0  3900  1  0.3500  5
11021606  900010000      0  3900  1  0.2000  6
11021607  900010000      0  3900  1  0.1500  7
11021701  0  0  0  0  7
11021801  0  0.0  0.0  0.0  7
11021901  0  0.0  0.0  0.0  7

```

* HEAT SOURCE STRUCTURE

```

11031000  2  3  2  1  0.0  0
11031100  0  1
11031101  2  0.030
11031201  3  2
11031301  1.0  2
11031400  0
11031401  303.15  3
11031501  0      0      0  1  0.0600  1
11031502  0      0      0  1  0.0600  2
11031601  112010000      0  3950  1  0.0600  1
11031602  116010000      0  3950  1  0.0600  2
11031701  100  40.  0  0  2
11031901  0  0.0  0.0  0.0  2

```

```

11041000  2  3  2  1  0.0  0
11041100  0  1
11041101  2  0.030
11041201  3  2
11041301  1.0  2

```

```

11041400  0
11041401 303.15  3
11041501  0          0      0 1 0.0600  1
11041502  0          0      0 1 0.0600  2
11041601 112010000  0    3950 1 0.0600  1
11041602 116010000  0    3950 1 0.0600  2
11041701 100  40. 0 0  2
11041901  0  0.0 0.0 0.0  2
*****
11051000  2  3  2  1  0.0  0
11051100  0  1
11051101  2  0.030
11051201  3  2
11051301  1.0  2
11051400  0
11051401 303.15  3
11051501  0          0      0 1 0.0600  1
11051502  0          0      0 1 0.0600  2
11051601 112010000  0    3950 1 0.0600  1
11051602 116010000  0    3950 1 0.0600  2
11051701 100  40. 0 0  2
11051901  0  0.0 0.0 0.0  2
*****
11061000  2  3  2  1  0.0  0
11061100  0  1
11061101  2  0.030
11061201  3  2
11061301  1.0  2
11061400  0
11061401 303.15  3
11061501  0          0      0 1 0.0600  1
11061502  0          0      0 1 0.0600  2
11061601 112010000  0    3950 1 0.0600  1
11061602 116010000  0    3950 1 0.0600  2
11061701 100  40. 0 0  2
11061901  0  0.0 0.0 0.0  2
*****
11071000  2  3  2  1  0.0  0
11071100  0  1
11071101  2  0.030
11071201  3  2
11071301  1.0  2
11071400  0
11071401 303.15  3
11071501  0          0      0 1 0.0600  1
11071502  0          0      0 1 0.0600  2
11071601 112010000  0    3950 1 0.0600  1
11071602 116010000  0    3950 1 0.0600  2
11071701 100  40. 0 0  2
11071901  0  0.0 0.0 0.0  2
*****
11081000  2  3  2  1  0.0  0
11081100  0  1
11081101  2  0.030
11081201  3  2
11081301  1.0  2
11081400  0

```


11081401 303.15 3
 11081501 0 0 0 1 0.0600 1
 11081502 0 0 0 1 0.0600 2
 11081601 112010000 0 3950 1 0.060 1
 11081602 116010000 0 3950 1 0.060 2
 11081701 100 40. 0 0 2
 11081901 0 0.0 0.0 0.0 2

11091000 2 3 2 1 0.0 0
 11091100 0 1
 11091101 2 0.030
 11091201 3 2
 11091301 1.0 2
 11091400 0
 11091401 303.15 3
 11091501 0 0 0 1 0.0600 1
 11091502 0 0 0 1 0.0600 2
 11091601 112010000 0 3950 1 0.060 1
 11091602 116010000 0 3950 1 0.060 2
 11091701 100 40. 0 0 2
 11091901 0 0.0 0.0 0.0 2

11101000 2 3 2 1 0.0 0
 11101100 0 1
 11101101 2 0.030
 11101201 3 2
 11101301 1.0 2
 11101400 0
 11101401 303.15 3
 11101501 0 0 0 1 0.0600 1
 11101502 0 0 0 1 0.0600 2
 11101601 112010000 0 3950 1 0.060 1
 11101602 116010000 0 3950 1 0.060 2
 11101701 100 40. 0 0 2
 11101901 0 0.0 0.0 0.0 2

11111000 2 3 2 1 0.0 0
 11111100 0 1
 11111101 2 0.030
 11111201 3 2
 11111301 1.0 2
 11111400 0
 11111401 383.15 3
 11111501 0 0 0 1 0.0600 1
 11111502 0 0 0 1 0.0600 2
 11111601 112010000 0 3950 1 0.060 1
 11111602 116010000 0 3950 1 0.060 2
 11111701 100 40. 0 0 2
 11111901 0 0.0 0.0 0.0 2

11121000 2 3 2 1 0.0 0
 11121100 0 1
 11121101 2 0.030
 11121201 3 2
 11121301 1.0 2
 11121400 0
 11121401 303.15 3

```

11121501  0          0      0 1  0.0600  1
11121502  0          0      0 1  0.0600  2
11121601  112010000    0    3950 1  0.060  1
11121602  116010000    0    3950 1  0.060  2
11121701  100  40. 0  0  2
11121901  0  0.0  0.0  0.0  2

```

```

11131000  2  3  2  1  0.0  0
11131100  0  1
11131101  2  0.030
11131201  3  2
11131301  1.0  2
11131400  0
11131401  303.15  3
11131501  0          0      0 1  0.0600  1
11131502  0          0      0 1  0.0600  2
11131601  112010000    0    3950 1  0.060  1
11131602  116010000    0    3950 1  0.060  2
11131701  100  40. 0  0  2
11131901  0  0.0  0.0  0.0  2

```

* EXIT OF TEST SECTION

```

11251000  10  4  2  1  0.09545
11251100  0  1
11251101  3  0.10815
11251201  5  3
11251301  0.0  3
11251400  0
11251401  303.15  4
11251501  124010000    0  1  1  0.60  1
11251502  126010000    0  1  1  0.60  2
11251503  126020000    0  1  1  3.80  3
11251504  126030000    0  1  1  0.50  4
11251505  126040000    0  1  1  1.70  5
11251506  126050000    0  1  1  0.91  6
11251507  126060000    0  1  1  2.10  7
11251508  126070000    0  1  1  1.00  8
11251509  128010000    0  1  1  1.70  9
11251510  130010000    0  1  1  0.60  10
11251601  900010000    0  3900 1  0.60  1
11251602  900010000    0  3900 1  0.60  2
11251603  900010000    0  3900 1  3.80  3
11251604  900010000    0  3900 1  0.50  4
11251605  900010000    0  3900 1  1.70  5
11251606  900010000    0  3900 1  0.91  6
11251607  900010000    0  3900 1  2.10  7
11251608  900010000    0  3900 1  1.00  8
11251609  900010000    0  3900 1  1.70  9
11251610  900010000    0  3900 1  0.60  10
11251701  0  0  0  0  10
11251801  0  0.0  0.0  0.0  10
11251901  0  0.0  0.0  0.0  10

```

* 140-1: SURGE TANK

```

11401000  1  4  2  1  0.40
11401100  0  1
11401101  3  0.42

```

11401201	5	3						
11401301	0.0	3						
11401400	0							
11401401	303.15		4					
11401501	135010000	0	1	1	0.35	1		
11401601	900010000	0	3900	1	0.35	1		
11401701	0	0	0	0	1			
11401801	0	0.0	0.0	0.0		1		
11401901	0	0.0	0.0	0.0		1		

* EXIT OF ACCUMLATOR

11451000	2	4	2	1	0.09545			
11451100	0	1						
11451101	3	0.10815						
11451201	5	3						
11451301	0.0	3						
11451400	0							
11451401	303.15		4					
11451501	144010000	0	1	1	0.35	1		
11451502	146010000	0	1	1	1.00	2		
11451601	900010000	0	3900	1	0.35	1		
11451602	900010000	0	3900	1	1.00	2		
11451701	0	0	0	0	2			
11451801	0	0.0	0.0	0.0		2		
11451901	0	0.0	0.0	0.0		2		

* PREPUMP1

11471000	3	4	2	1	0.0716			
11471100	0	1						
11471101	3	0.0826						
11471201	5	3						
11471301	0.0	3						
11471400	0							
11471401	303.15		4					
11471501	147010000	0	1	1	0.65	1		
11471502	147020000	0	1	1	0.55	2		
11471503	147030000	0	1	1	0.35	3		
11471601	900010000	0	3900	1	0.65	1		
11471602	900010000	0	3900	1	0.55	2		
11471603	900010000	0	3900	1	0.35	3		
11471701	0	0	0	0	3			
11471801	0	0.0	0.0	0.0		3		
11471901	0	0.0	0.0	0.0		3		

* PREPUMP2

11481000	4	4	2	1	0.0716			
11481100	0	1						
11481101	3	0.0826						
11481201	5	3						
11481301	0.0	3						
11481400	0							
11481401	303.15		4					
11481501	148010000	0	1	1	1.60	1		
11481502	148020000	0	1	1	0.65	2		
11481503	148030000	0	1	1	0.55	3		
11481504	148040000	0	1	1	0.35	4		
11481601	900010000	0	3900	1	1.60	1		

11481602	900010000	0	3900	1	0.65	2
11481603	900010000	0	3900	1	0.55	3
11481604	900010000	0	3900	1	0.35	4
11481701	0	0	0	0	4	
11481801	0	0.0	0.0	0.0		4
11481901	0	0.0	0.0	0.0		4

* PUMP1

11501000	1	4	2	1	0.0750	
11501100	0	1				
11501101	3	0.0900				
11501201	5	3				
11501301	0.0	3				
11501400	0					
11501401	303.15		4			
11501501	150010000	0	1	1	0.54	1
11501601	900010000	0	3900	1	0.54	1
11501701	0	0	0	0	1	
11501801	0	0.0	0.0	0.0		1
11501901	0	0.0	0.0	0.0		1

* PUMP2

11511000	1	4	2	1	0.075	
11511100	0	1				
11511101	3	0.090				
11511201	5	3				
11511301	0.0	3				
11511400	0					
11511401	303.15		4			
11511501	151010000	0	1	1	0.54	1
11511601	900010000	0	3900	1	0.54	1
11511701	0	0	0	0	1	
11511801	0	0.0	0.0	0.0		1
11511901	0	0.0	0.0	0.0		1

* PUMP1 OUT

11611000	3	4	2	1	0.0716	
11611100	0	1				
11611101	3	0.0826				
11611201	5	3				
11611301	0.0	3				
11611400	0					
11611401	303.15		4			
11611501	161010000	0	1	1	0.35	1
11611502	161020000	0	1	1	0.75	2
11611503	161030000	0	1	1	1.60	3
11611601	900010000	0	3900	1	0.35	1
11611602	900010000	0	3900	1	0.75	2
11611603	900010000	0	3900	1	1.60	3
11611701	0	0	0	0	3	
11611801	0	0.0	0.0	0.0		3
11611901	0	0.0	0.0	0.0		3

* PUMP2 OUT

11621000	2	4	2	1	0.0716	
11621100	0	1				
11621101	3	0.0826				

11621201	5	3					
11621301	0.0	3					
11621400	0						
11621401	303.15		4				
11621501	162010000		0	1	1	0.35	1
11621502	162020000		0	1	1	0.75	2
11621601	900010000		0	3900	1	0.35	1
11621602	900010000		0	3900	1	0.75	2
11621701	0	0	0	0	2		
11621801	0	0.0	0.0	0.0			2
11621901	0	0.0	0.0	0.0			2

* PUMP TO H-EX

11651000	4	4	2	1		0.09545	
11651100	0	1					
11651101	3	0.10815					
11651201	5	3					
11651301	0.0	3					
11651400	0						
11651401	303.15		4				
11651501	163010000		0	1	1	0.80	1
11651502	164010000		0	1	1	0.55	2
11651503	164020000		0	1	1	0.955	3
11651504	165010000		0	1	1	0.664	4
11651601	900010000		0	3900	1	0.80	1
11651602	900010000		0	3900	1	0.55	2
11651603	900010000		0	3900	1	0.955	3
11651604	900010000		0	3900	1	0.664	4
11651701	0	0	0	0	4		
11651801	0	0.0	0.0	0.0			4
11651901	0	0.0	0.0	0.0			4

* PRE H-EX1

11681000	2	4	2	1		0.0716	
11681100	0	1					
11681101	3	0.0826					
11681201	5	3					
11681301	0.0	3					
11681400	0						
11681401	303.15		4				
11681501	166010000		0	1	1	0.40	1
11681502	168010000		0	1	1	0.60	2
11681601	900010000		0	3900	1	0.40	1
11681602	900010000		0	3900	1	0.60	2
11681701	0	0	0	0	2		
11681801	0	0.0	0.0	0.0			2
11681901	0	0.0	0.0	0.0			2

* PRE H-EX2

11641000	3	4	2	1		0.0716	
11641100	0	1					
11641101	3	0.0826					
11641201	5	3					
11641301	0.0	3					
11641400	0						
11641401	303.15		4				
11641501	163010000		0	1	1	1.27	1

11641502	164010000	0	1	1	0.40	2
11641503	164020000	0	1	1	0.60	3
11641601	900010000	0	3900	1	1.27	1
11641602	900010000	0	3900	1	0.40	2
11641603	900010000	0	3900	1	0.60	3
11641701	0	0	0	0	3	
11641801	0	0.0	0.0	0.0		3
11641901	0	0.0	0.0	0.0		3

* HEAT EXCHANGER 1

11701000	2	3	1	1	0.0	
11701100	0	1				
11701101	2	0.005				
11701201	5	2				
11701301	0.0	2				
11701400	0					
11701401	303.15		3			
11701501	170010000	10000	1	1	12.220	2
11701601	920010000	0	3920	1	12.220	2
11701701	0	0	0	0	2	
11701801	0	0.0	0.0	0.0		2
11701901	0	0.0	0.0	0.0		2

* HEAT EXCHANGER 2

11711000	2	3	1	1	0.0	
11711100	0	1				
11711101	2	0.005				
11711201	5	2				
11711301	0.0	2				
11711400	0					
11711401	303.15		3			
11711501	171010000	10000	1	1	12.220	2
11711601	920010000	0	3920	1	12.220	2
11711701	0	0	0	0	2	
11711801	0	0.0	0.0	0.0		2
11711901	0	0.0	0.0	0.0		2

* EXIT OF HEAT EXCHANGER

11751000	3	4	2	1	0.0716	
11751100	0	1				
11751101	3	0.0826				
11751201	5	3				
11751301	0.0	3				
11751400	0					
11751401	303.15		4			
11751501	172010000	0	1	1	0.60	1
11751502	176010000	0	1	1	0.40	2
11751503	176020000	0	1	1	0.721	3
11751601	900010000	0	3900	1	0.60	1
11751602	900010000	0	3900	1	0.40	2
11751603	900010000	0	3900	1	0.721	3
11751701	0	0	0	0	3	
11751801	0	0.0	0.0	0.0		3
11751901	0	0.0	0.0	0.0		3

* EXIT OF HEAT EXCHANGER2

11761000	3	4	2	1	0.0716	
----------	---	---	---	---	--------	--

11761100	0	1							
11761101	3	0.0826							
11761201	5	3							
11761301	0.0	3							
11761400	0								
11761401	303.15		4						
11761501	172010000			0	1	1	0.60		1
11761502	176010000			0	1	1	0.40		2
11761503	176020000			0	1	1	0.549		3
11761601	900010000			0	3900	1	0.60		1
11761602	900010000			0	3900	1	0.40		2
11761603	900010000			0	3900	1	0.549		3
11761701	0	0	0	0		3			
11761801	0	0.0	0.0	0.0				3	
11761901	0	0.0	0.0	0.0				3	

* PIPE FROM PUMP TO FLOW METER

11801000	10	4	2	1	0.09545				
11801100	0	1							
11801101	3	0.10815							
11801201	5	3							
11801301	0.0	3							
11801400	0								
11801401	303.15		4						
11801501	178010000			0	1	1	1.495		1
11801502	180010000			0	1	1	1.50		2
11801503	180020000			0	1	1	3.60		3
11801504	180030000			0	1	1	0.70711		4
11801505	180040000			0	1	1	2.10		5
11801506	180050000			0	1	1	0.91		6
11801507	180060000			0	1	1	1.00		7
11801508	180070000			0	1	1	0.50		8
11801509	180080000			0	1	1	3.80		9
11801510	180090000			0	1	1	0.60		10
11801601	900010000			0	3900	1	1.495		1
11801602	900010000			0	3900	1	1.50		2
11801603	900010000			0	3900	1	3.60		3
11801604	900010000			0	3900	1	0.70711		4
11801605	900010000			0	3900	1	2.10		5
11801606	900010000			0	3900	1	0.91		6
11801607	900010000			0	3900	1	1.00		7
11801608	900010000			0	3900	1	0.50		8
11801609	900010000			0	3900	1	3.80		9
11801610	900010000			0	3900	1	0.60		10
11801701	0	0	0	0		10			
11801801	0	0.0	0.0	0.0				10	
11801901	0	0.0	0.0	0.0				10	

* ENTRANCE OF TEST SECTION

11851000	1	4	2	1	0.09545				
11851100	0	1							
11851101	3	0.10815							
11851201	5	3							
11851301	0.0	3							
11851400	0								
11851401	303.15		4						
11851501	100010000			0	1	1	0.60		1

11851601	900010000	0	3900	1	0.60	1
11851701	0 0 0	0	1			
11851801	0 0.0 0.0	0.0	1			
11851901	0 0.0 0.0	0.0	1			

* THERMAL PROPERTIES

20100100	TBL/FCTN	1	1	* MGO
20100200	TBL/FCTN	1	1	* NICR
20100300	TBL/FCTN	1	1	* COPPER
20100400	TBL/FCTN	1	1	* INCONEL
20100500	TBL/FCTN	1	1	* FOR LOW TEMPERAURE
20100600	C-STEEL			* CARBON STEEL
20100700	TBL/FCTN	1	1	* AL2O3
20100900	TBL/FCTN	1	1	* ROCKWOOL INSULATION

* THERMAL CONDUCTIVITY

* MGO

20100101	473.15 3.95	573.15 3.37	673.15 2.96	773.15 2.61
20100102	873.15 2.32	973.15 2.09	1273.15 1.86	1473.15 1.72

* NICR HEATER

20100201	293.15 8.78	573.15 11.3	773.15 13.81	1073.15 18.8
20100202	1273.15 22.18	1473.15 25.52		

* COPPER

20100301	273.15 400.	373.15 379.	473.15 374.	573.15 369.
20100302	673.15 363.	873.15 353.	10000. 500.	

* INCONEL 600

20100401	373.15 15.8	573.15 18.9	873.15 23.8	1173.15 29.3
20100402	1473.15 33.8			

* STAINLESS STEEL

20100501	273.15 12.981	1199.8 25.106	1250.0 30.0	1300.0 70.
20100502	1500. 80.	2000. 450.	10000. 500.	

* ALUMINUM OXIDE

20100701	373.15 20.9	473.15 16.3	673.15 11.7	873.15 9.62
20100702	1073.15 7.53	1273.15 5.86	1473.15 5.86	

* ROCKWOOL INSULATION

20100901	311.15 0.1555	422.15 0.2192	533.15 0.2825	
20100902	811.15 0.4497			

* VOLUMETRIC HEAT CAPACITY

* MGO

20100151	293.15 2.88E6	373.15 3.04E6	473.15 3.15E6	
20100152	573.15 3.20E6	673.15 3.25E6	773.15 3.29E6	
20100153	873.15 3.34E6	973.15 3.44E6	1073.15 3.53E6	
20100154	1173.15 3.63E6	1473.15 3.93E6		

* NICR HEATER

20100251	373.15 3.23E+6	573.15 3.62E+6	773.15 4.10E+6	
20100252	1073.15 4.61E+6	1173.15 4.73E+6	1273.15 4.95E+6	
20100253	1473.15 5.29E+6			

* COPPER

20100351	273.15 3.43E6	10000. 15.0E6		
----------	---------------	---------------	--	--

* INCONEL 600

20100451	373.15 3.94E+6	573.15 4.18E+6	873.15 4.71E+6	
20100452	1173.15 5.17E+6	1473.15 5.63E+6		

* STAINLESS STEEL

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	2000. 9.0E+6	10000. 15.0E+6	

* ALUMINUM OXIDE

20100751	373.15	3.02E+6	473.15	3.49E+6	673.15	3.94E+6
20100752	873.15	4.16E+6	1073.15	4.21E+6	1273.15	4.35E+6
20100753	1473.15	4.48E+6				

* ROCKWOOL

20100951	1.36E+5					
----------	---------	--	--	--	--	--

* HEAT TRANS. COEF. OF ATMOSPHERE

20290000	HTC-T			
20290001	0.0	12.0		
20290002	10000.	12.0		

* HEAT TRANS. COEF. IN HEAT EXCHANGER

20292000	HTC-T			
20292001	0.0	8500.		
20292002	10000.	8500.		

20295000	HTC-T			
20295001	0.0	750000.		
20295002	10000.	750000.		

HEAT SOURCE BY PROTON BEAM

20210000	POWER			
20210001	-1.0	0.		
20210002	0.0	0.0		
20210003	200.0	0.0		
20210004	200.1	625.0		
20210005	10000.	625.0		

20210100	POWER			
20210101	-1.0	0.		
20210102	0.0	0.0		
20210103	200.0	0.0		
20210104	200.1	138.0		
20210105	10000.	138.0		

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 ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
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 ²
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
照射線量	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
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 × 10⁻¹⁹ J

1 u = 1.66054 × 10⁻²⁷ 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	bar
ガ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラ	rad
レ	rem

1 Å = 0.1 nm = 10⁻¹⁰ m

1 b = 100 fm² = 10⁻²⁸ m²

1 bar = 0.1 MPa = 10⁵ Pa

1 Gal = 1 cm/s² = 10⁻² m/s²

1 Ci = 3.7 × 10¹⁰ Bq

1 R = 2.58 × 10⁻⁴ C/kg

1 rad = 1 cGy = 10⁻² Gy

1 rem = 1 cSv = 10⁻² Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	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年推奨値による。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタ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 ⁵ 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/m²) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s = 10⁴ St (ストークス) (cm²/s)

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

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	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 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

