

JAERI-Data/Code

97-034



真空容器内冷却材侵入事象解析用  
TRAC-BF1コードの改良

1997年8月

安島俊夫・栗原良一・関 泰  
笠原文雄\*・山内通則\*

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。

入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-11 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（〒319-11 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 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1997

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 ㈱原子力資料サービス

真空容器内冷却材侵入事象解析用 TRAC-BF1 コードの改良

日本原子力研究所那珂研究所核融合工学部  
安島 俊夫・栗原 良一・関 泰  
笠原 文雄\*・山内 通則\*

(1997年7月8日受理)

国際熱核融合実験炉 (ITER: International Thermonuclear Experimental Reactor) 工学 R&D として実施してきた真空容器内冷却材侵入事象 (ICE: Ingress of Coolant Event) の予備実験に関連し、ICE 解析用コードとして原子炉過渡解析コード (TRAC: Transient Reactor Analysis Code) の改良および整備を行った。

ICE 予備実験解析を行うにあたっては、米国アイダホ国立工学研究所 (INEL: Idaho National Engineering Laboratory) で軽水炉の安全解析用に開発された TRAC-BF1 コードをベースに、VESSEL 平面部構造材モデルの追加及び、構造材計算メッシュの個別指定等の改良を行った。さらに、TRAC-BF1 コードの計算結果を作図するためのグラフィックファイル形式変換プログラムと時系列プロットプログラムのワークステーションへの導入を計った。

本報では、これら改良 TRAC-BF1 コードの概要、改良点を検証するために行った計算結果、及び ICE 実験データを用いた評価結果についてまとめる。

Improvement of TRAC-BF1 Code to Analyze the Ingress  
of Coolant Event(ICE)

Toshio AJIMA, Ryoichi KURIHARA, Yasushi SEKI  
Fumio KASAHARA\* and Michinori YAMAUCHI\*

Department of Fusion Engineering Research  
Naka Fusion Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 8, 1997)

JAERI is performing the Ingress of Coolant Event (ICE) preliminary experiment as one of the technology R&D tasks for the International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER). The Transient Reactor Analysis Code (TRAC) was improved and arranged as the ICE experimental analysis code.

The TRAC-BF1 code was originally developed for the thermal hydraulics safety analysis of the boiling water reactor (BWR) at the Idaho National Engineering Laboratory (INEL) in USA. We partially modified the code to be applicable for the ICE analysis such as adding the heat transfer model in the VESSEL element plane surface, individual appointment of thermal transfer calculation mesh in VESSEL element. Moreover, the IPLOT program and the GCONV program was introduced to the engineering workstation (EWS) for plotting calculation outputs of TRAC-BF1 code.

This paper describes a summary of the improved TRAC-BF1 code, and verification results of the modification of the TRAC-BF1 code, and ICE experimental analyzed result.

Keywords: Vacuum Vessel, Cooling Pipe Failure, ICE, TRAC-BF1, ITER, Fusion Reactor, Safety Analysis

---

\* Toshiba Corporation

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. TRAC-BF1 コードの改良 .....	3
2.1 VESSEL 平面部構造材モデルの追加 .....	3
2.2 構造材伝熱計算メッシュの個別指定 .....	7
2.3 重力方向の可変指定 .....	8
3. プロット関連プログラムの EWS への導入 .....	16
3.1 グラフィックファイル形式変換プログラム (GCONV) .....	16
3.2 時系列プロットプログラム (IPLOT) .....	17
3.3 グラフィックファイル出力変数の追加 .....	18
4. 真空容器内冷却材侵入事象の解析評価 .....	22
4.1 検証用データを用いた解析評価 .....	22
4.2 ICE 実験データを用いた解析評価 .....	41
5. ま と め .....	59
謝 辞 .....	59
参考文献 .....	60
付録 1 : IBM の EWS での操作方法 .....	61
付録 2 : 改良 TRAC-BF1 コードの追加入力変数と入力方法 .....	70
付録 3 : オリジナルの TRAC-BF1 から変更したサブルーチン .....	72

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Improvement of TRAC-BF1 Code .....	3
2.1 Adding the Heat Transfer Model in the VESSEL Element Plane Surface .....	3
2.2 Individual Appointment of Thermal Transfer Calculation Mesh in VESSEL Element .....	7
2.3 Optional Appointment of Gravity Direction .....	8
3. Introduction of Plotting Programs to EWS .....	16
3.1 Graphic File Change System (GCONV) .....	16
3.2 Time Edit Section Plot System (IPLLOT) .....	17
3.3 Adding the Graphic File Plot Variable .....	18
4. Assessment of ICE Experimental Analysis .....	22
4.1 Assessment with Verification Data .....	22
4.2 Assessment with ICE Experimental Data .....	41
5. Conclusion .....	59
Acknowledgment .....	59
References .....	60
Appendix 1 : Sample of Execution .....	61
Appendix 2 : Additional Input of Modified TRAC-BF1 Code and Input Manual .....	70
Appendix 3 : Change of Subroutines to Original TRAC-BF1 .....	72

## 1. はじめに

国際熱核融合実験炉 (ITER:International Thermonuclear Experimental Reactor) の工学 R&Dとして実施してきた真空容器内冷却材侵入事象 (ICE:Ingress of Coolant Event) の予備実験に関連し、ICE解析用コードとして原子炉過渡解析コード (TRAC:Transient Reactor Analysis Code) の改良および整備を行った。

ICE予備実験では、核融合炉のプラズマ対向機器内を流れる冷却水が真空容器内に噴出した場合を想定して、容器内の圧力と温度の変化を図1.1の実験装置を使って定量的に調べる。

本装置は核融合炉の真空容器とプラズマ対向壁を簡単モデル化した真空容器とそれに付随する加圧水系、水注入系、真空排気系、空気バージ系等からなる。

実験では、まずボイラー内の水を実験条件の温度、圧力に設定する。次に、真空容器内の温度を実験条件の値に昇温すると同時に真空引きを行っている。その後、系統内が安定した後、高温高圧水を水注入器から真空容器内に一定時間噴出させる。注入した水は高温のターゲット壁に衝突して沸騰・蒸発する。その際のターゲット壁の温度変化、真空容器内の圧力変化を測定している。

ICE予備実験解析を行うにあたっては、米国アイダホ国立工学研究所 (INEL:Idaho National Engineering Laboratory) で軽水炉の安全解析用に開発されたTRAC-BF1コード<sup>(1)</sup><sup>(2)</sup>をベースに、ICE解析用に以下の項目について改良を行った。

- ・ ベッセル平面部構造材モデルの追加
- ・ 構造材伝熱計算メッシュの個別指定
- ・ 重力方向の可変指定

さらに、TRAC-BF1コードの計算結果を作図するためのグラフィックファイル形式変換プログラム (GCONV) と時系列プロットプログラム (IPLOT) をワークステーションへ導入した。

本報では、これら改良TRAC-BF1コードの概要、改良点を検証するために行った計算結果、及びICE実験データを用いた評価結果についてまとめる。真空容器内冷却材侵入事象の解析は、検証用データを用いた解析として5ケース、ICE実験データを用いた解析として4ケースについて述べる。

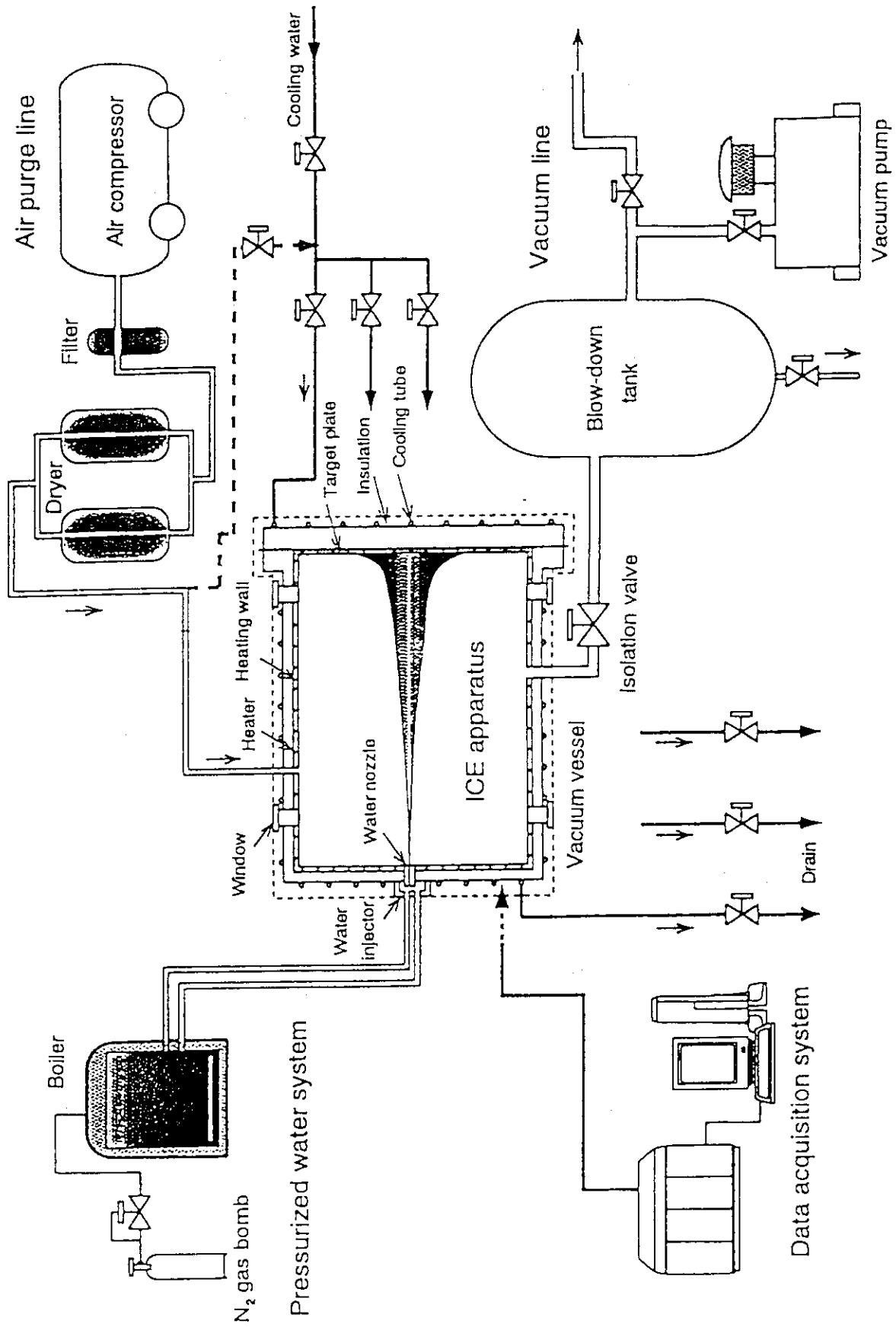


図1.1 ICE予備実験装置



## 2. TRAC-BF1コードの改良

## 2.1 VESSEL平面部構造材モデルの追加

TRAC-BF1コードは沸騰水型軽水炉用に開発されたため、圧力容器を模擬するVESSELコンポーネントにセルの流体とセル両側面部の構造材との熱伝達を解析するモデル (Double-sided Heat Slab Model) が組み込まれているが、セル上面・底面部の構造材に対する熱伝達モデルはない。そこで、真空容器内冷却材侵入事象の解析を行うために、上面部と底面部の構造材を入力可能とし、構造材温度を解析する熱伝達モデルを追加した。ここで、セル上面部と底面部の構造材とセル内部の流体間の熱伝達率は、TRAC-BF1コードに内蔵している壁面熱伝達率相関式を用いるものとし、また、上面部と底面部の構造材には、TRAC-BF1コードに組み込んである物性値を指定できるようにした。

以下にTRAC-BF1コードのVESSELコンポーネントのセルの上面部と底面部に追加した構造材熱伝達モデルの計算式と熱伝達モデルのTRAC-BF1コードへの組み込みについて示す。

## (1) 構造材熱伝達モデルの計算式

VESSELの流体セルの底面部分の構造材 (スラブ) の一次元直交座標系熱伝導方程式は次式で表される。

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q''' \quad (2.1)$$

ここで

T	: スラブ温度	(K)
$\rho$	: スラブ密度	(kg/m <sup>3</sup> )
C <sub>p</sub>	: スラブ比熱	(J/kg·K)
k	: スラブ熱伝導率	(W/m·K)
t	: 時刻	(sec)
z	: 軸方向位置	(m)
q'''	: スラブ内部の発熱量	(W/m <sup>3</sup> )

次に (2.1) 式の差分化について示す。

TRAC-BF1コードでは、図2.1に示すように、熱流動計算と構造材温度 (スラブ温度) をカップリングするアルゴリズムとして半陰解法を用いている。アルゴリズムは次のとおりである。Prepassステップにおいて、新タイムステップ毎に、旧タイムステップの流体条件

(ボイド率、圧力、流速、温度等)と旧タイムステップの構造材の表面温度を用いて構造材表面での熱伝達率を計算する。この構造材表面の熱伝達率と、旧タイムステップの構造材表面温度、及び新タイムステップの流体温度を用いてOuter Iterationステップで熱流動計算の方程式が解かれ、新タイムステップのボイド率、圧力、流速、温度等が求められる。この際に、構造材表面とセル中の流体間の伝熱量がエネルギー方程式に考慮される。熱流動計算が終了した後、Prepassにおいて、新タイムステップでのボイド率、圧力、流速、温度等を用いて構造材温度が計算される。ただし、構造材の物性値(比熱、密度、熱伝導率)は旧タイムステップの構造材温度により評価される。

微分方程式(2.1)式を差分化する一般的な方法としては、図2.2に示される熱伝導ノードに対して、高次の項を省略したテーラ級数を用いる方法、あるいは、熱伝導体積(コントロール・ボリューム)にわたって、時刻tからt+Δtまで積分する方法があるが、得られる差分近似式は同じである。すなわち、熱伝導ノード数をNとすると、図2.2の熱伝導ノードiに対する差分方程式は、N>1かつ、1<i<Nのとき(2.2)式で与えられる。

$$\frac{k_{i-1/2}}{\Delta z_{i-1}} T_{i-1}^{n+1} - \left\{ \frac{k_{i-1/2}}{\Delta z_{i-1}} + \frac{k_{i+1/2}}{\Delta z_i} + \left[ \frac{\Delta z_{i-1}}{2} \cdot \frac{(\rho c_p)_{i-1/2}}{\Delta t} + \frac{\Delta z_i}{2} \cdot \frac{(\rho c_p)_{i+1/2}}{\Delta t} \right] \right\} T_i^{n+1} + \frac{k_{i+1/2}}{\Delta z_i} T_{i+1}^{n+1} \\ = - \left\{ \frac{\Delta z_{i-1}}{2} \left[ \frac{(\rho c_p)_{i-1/2}}{\Delta t} T_i^n + q''' \right] + \frac{\Delta z_i}{2} \left[ \frac{(\rho c_p)_{i+1/2}}{\Delta t} T_i^n + q''' \right] \right\} \quad (2.2)$$

ただし

$$T_i^n = T(t^n, z_i) \quad (2.3)$$

であり、時刻Tの肩付添字nは時刻レベルを表す。すなわち、T<sup>n</sup>が旧タイムステップでのスラブ温度、T<sup>n+1</sup>が新タイムステップでのスラブ温度を意味する。スラブの物性値ρ、c<sub>p</sub>、kは、熱伝導ノード格子の境界で定義され、ノードiとi+1の格子の境界での量を添字i+1/2で、ノードi-1とiの格子の境界での量を添字i-1/2で表す。前述したように、スラブの物性値ρ、c<sub>p</sub>、kは、旧タイムステップでのスラブ温度T<sup>n</sup>で評価する。

スラブの内側表面(i=1)と外側表面(i=N)には、以下の境界条件が適用される。

$$-k \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{i=1,N} = h_l(T_i - T_l) + h_v(T_v - T_i) - q_{ri} \quad (2.4)$$

ここで

$h_l$	:	液相側壁面熱伝達率	(W/m <sup>2</sup> ·K)
$h_v$	:	気相側壁面熱伝達率	(W/m <sup>2</sup> ·K)
$T_l$	:	流体セル液相温度	(K)
$T_v$	:	流体セル気相温度	(K)
$T_i$	:	スラブ温度	(K)
$q_{ri}$	:	放射による熱流束	(W/m <sup>2</sup> )

(2.4) 式を内側表面  $i = 1$  のときの差分式に適用すると次式となる。

$$\begin{aligned} & - \left[ \frac{k_{3p}}{\Delta z_1} + \frac{\Delta z_1}{2} \cdot \frac{(\rho c_p)_{3p}}{\Delta t} + f_{ss}(h_l + h_v) \right] T_1^{n+1} + \frac{k_{3p}}{\Delta z_1} T_2^{n+1} \\ & = - \frac{\Delta z_1}{2} \left[ \frac{(\rho c_p)_{3p}}{\Delta t} T_1^n + q''' \right] + h_l(f_{ts} T_1^n - T_u^{n+1}) + h_v(f_{ts} T_1^n - T_w^{n+1}) + q_{r1} \end{aligned} \quad (2.5)$$

上式中の  $f_{ss}$  と  $f_{ts}$  は陰解法の程度を表すパラメータであり、 $f_{ss} = 1$ 、 $f_{ts} = 0$  のとき完全陰解法となる。 $f_{ss} = 0$ 、 $f_{ts} = 1$  のときは、表面熱流束を計算する際のスラブ表面温度として旧タイムステップの値を用いるので半陰解法となる。図 2.1 に示したように、流体計算において、流体からスラブ表面に流出入する熱流束は旧タイムステップのスラブ表面温度を用いて計算されるので、過渡計算では半陰解法が適用される。完全陰解法は定常状態設定計算(STDYST=1)のときに用いられる。外側表面  $i = N$  についても同様な式が適用される。

スラブのノード数が 1 のとき ( $N=1$ ) のとき、新タイムステップのスラブ温度は次式で計算される。

$$T^{n+1} = \frac{\Delta z \left( \frac{\rho c_p}{\Delta t} T^n + q'' \right) + h_u (T_u^{n+1} - f_{15} T^n) + h_w (T_w^{n+1} - f_{15} T^n) + h_o (T_o^{n+1} - f_{15} T^n) + h_{w0} (T_{w0}^{n+1} - f_{15} T^n)}{\frac{\rho c_p}{\Delta t} \Delta z + f_{15} (h_u + h_w + h_o + h_{w0})} \quad (2.6)$$

(2.2) 式において、左辺の  $T_{i-1}^{n+1}$  の係数を  $A(i,1)$ 、 $T_i^{n+1}$  の係数を  $A(i,2)$ 、 $T_{i+1}^{n+1}$  の係数を  $A(i,3)$  とおき、右辺を  $B(i)$  とすると、熱伝達ノード  $1 \leq i \leq N$  で次の形式にまとめられる。

$$A(i,1) \cdot T_{i-1}^{n+1} + A(i,2) \cdot T_i^{n+1} + A(i,3) \cdot T_{i+1}^{n+1} = B(i) \quad (2.7)$$

ただし、内側表面  $i = 1$  と外側表面  $i = N$  の場合次の係数はゼロとなる。

$$A(1,1) = 0$$

$$A(N,3) = 0 \quad (2.8)$$

ノード  $1 \sim N$  について (2.7) 式を記述すると、解くべき方程式は、係数行列  $A$  が三重対角行列である  $N \times N$  のマトリクスとなる。

## (2) 熱伝達モデルのTRAC-BF1コードへの組み込み

底面部の構造材温度計算を行うサブルーチンSBZHTを図2.3に示す位置に組み込んだ。TRAC-BF1コードではVESSELコンポーネントのPostpass計算を行うサブルーチンVSL3からサブルーチンSLB3DでCALLされ、その下でセル側面部の構造材温度を計算するための径方向一次元熱伝導方程式が解かれる。今回のセル底面部の構造材の熱伝達モデルの追加に伴い、サブルーチンVSL3からサブルーチンSLB3DをCALLした後で、軸方向一次元熱伝導方程式を解くためのドライバルーチンSLB3DZ（新規作成）をCALLするように変更した。サブルーチンSLB3DZからは、最初に構造材の物性値を求めるサブルーチンMPROPがCALLされ、ついで、軸方向一次元熱伝導方程式を解くためのサブルーチンSBZHT（新規作成）がCALLされる。

また、構造材表面の熱伝達率はPrepass計算で求められる。今回のセル底面部の構造材の熱伝達モデルの追加に伴い、底面部の構造材表面の熱伝達率を計算する部分を図2.4に示す位置に組み込んだ。VESSELコンポーネントのPrepass計算を行うサブルーチンVSL1からサブルーチンSLB1DがCALLされ、そこからCALLされるサブルーチンHTCOR2でセル側面部の構造材表面熱伝達率が求められる。今回のセル底面部の構造材の熱伝達モデルの追加に

に伴い、サブルーチンVSL1からサブルーチンSLB1DZをCALLするように変更した。底面部の構造材表面熱伝達率はサブルーチンSLB1DZからCALLされるサブルーチンHTCOR2で求められる。

さらに、セル上面部と底面部の構造材表面からセル流体に流出入する伝熱量をエネルギー方程式に加えるようにサブルーチンTF3Iを修正した。サブルーチンTF3IはVESSELコンポーネントのOuter Iteration計算を行うサブルーチンVSL2からCALLされる。

## 2.2 構造材伝熱計算メッシュの個別指定

VESSELコンポーネントにおいて、その表面からの熱のやりとりが可能なダブルスラブ内を複数のメッシュに分割した場合に、そのメッシュ毎に構造材の材質をそれぞれ指定可能とする。このとき、現行のTRAC-BF1コードに組み込まれている物性値（密度、比熱、熱伝導率等）を核融合炉特有の構造材料（マグネット材、グラファイト材及びベリリウム材）に置き換えることにより構造材種類の追加が可能となるようにした。また、メッシュの幅も可変指定可能とした。

以下にTRAC-BF1コードのVESSELコンポーネントのダブルスラブモデルへの組み込みについて示す。従来TRAC-BF1コードのダブルスラブでは、入力上はメッシュ毎に構造材の材質を指定することはできなかったが、コード上はメッシュ毎に入力できるように配列が用意されていたため、その配列を利用した。また同様に入力上はメッシュ幅を入力できるように配列が用意されていたため、その配列を利用してメッシュ幅の可変指定も可能とした。具体的には、付録3のツリー図に示すサブルーチンSLB1D,SLB3Dを修正し、構造材材質の指定変数として新たにNEWMATを、また、構造材メッシュ幅の個別指定用変数として新たにDTHNEWを設けた。入力データ数は、以下に示した数が指定可能となり、レベル1のセル1からレベルNASXのセル(NRSX \*NTSX)まで、セル毎に(NODESD-1)個のデータを通し番号で入力する。詳細を付録2の改良TRAC-BF1コードの追加入力変数と入力方法に示す。

$NASX * NRSX * NTSX * (NODESD - 1)$

ここで、

NASX ; 軸方向ノード数

NRSX ; 径方向ノード数

NTSX ; 周方向ノード数

### 2.3 重力方向の可変指定

TRAC-BF1コードでは、図2.5に示すように円筒状の構造を模擬できるVESSELコンポーネントにおいて、重力方向を円筒の上下面を垂直に貫く軸（Z軸）に固定されていた。これをICE予備試験体系に沿うように円筒形を横置きでモデル化するために、固定されていたZ軸を鉛直軸に任意（90度）に傾けた場合の解析を可能とした。

すなわち、Z軸の鉛直軸と重力軸との傾きを $\phi$ 、 $(r-\theta)$ 面で鉛直方向と座標位置までの角度を $\theta$ とする。外力項の一つである重力は現状、Z方向のみに有効となっている。これを以下のように見直す。

$$Z \text{ 方向} : g \rightarrow g \cdot \cos \phi \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

$$r \text{ 方向} : 0 \rightarrow -g \cdot \sin \phi \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots (1-2)$$

$$\theta \text{ 方向} : 0 \rightarrow g \cdot \sin \phi \cdot \sin \theta \quad \dots\dots\dots (1-3)$$

以下にTRAC-BF1コードのVESSELコンポーネントにおける重力方向の組み込みについて示す。ベッセルの重力項が付録3のツリー図に示すサブルーチンTF3Eで計算されており、式(1-1),(1-2),(1-3)に基づいて、次式(2-1),(2-2),(2-3)のように見直した。通常の重力項は変数GCで設定されているが、ベッセルの向きを考慮して入力変数VSLGRVを用いて、軸方向（GCZ）、半径方向（GCR）及び周方向（GCT）の重力項を次式に置き換える。このとき、半径方向及び周方向の運動量、重力加速度等のベクトル成分は各座標軸方向のセル境界で定義される。

$$GCZ=GC \cdot \cos(VSLGRV) \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

$$GCR=-GC \cdot \sin(VSLGRV) \cdot \cos((IT-1) \cdot 2\pi / NTSX) \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

$$GCT=GC \cdot \sin(VSLGRV) \cdot \sin(IT \cdot 2\pi / NTSX - \pi / NTSX) \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

ここで、GCR及びGCTの計算においてIT=1,NTSXとなる。

具体的に上式から得られる各方向の重力項（GC）にかかる係数を表2.1に示す。横置き体系の場合、VSLGRV= $\pi/2$ を指定することによりGCZは0.0（ $\cos 90^\circ$ ）になる。また、周方向が4分割（NTSX=4）であることからGCRの計算ではIT=2のときGCに0.0（ $\sin 90^\circ \cdot \cos 90^\circ$ ）、IT=4のときGCに0.0（ $\sin 90^\circ \cdot \cos 270^\circ$ ）が掛かる。同様に、IT=1のときGCに-1.0（ $\sin 90^\circ \cdot \cos 0^\circ$ ）が掛かり、GCが負であることから鉛直方向に対して下向きの力が働き、IT=3のときGCに1.0（ $\sin 90^\circ \cdot \cos 180^\circ$ ）が掛かり、GCが正であることから鉛直方向に対して上向きの力が働く。GCTの計算ではIT=1のときGCに0.7071（ $\sin 90^\circ \cdot$

$\sin 45^\circ$  )、IT=2のときGCに $0.7071 (\sin 90^\circ \cdot \sin 135^\circ)$  が掛かり、GCが正であることから鉛直方向に対して上向きの力が働く。同様に、IT=3のときGCに $-0.7071 (\sin 90^\circ \cdot \sin 225^\circ)$  が掛かり、IT=4のときGCに $-0.7071 (\sin 90^\circ \cdot \sin 315^\circ)$  が掛かり、GCが負であることから鉛直方向に対して下向きの力が働く。

これを、図2.6の概略図に示すと、各座標軸方向のセル境界において径方向 (GCR) 及び周方向 (GCT) の重力方向がそれぞれ矢印で示される。ここで、径方向 (GCR) では周方向ノード1で補正項が-1.0のときに鉛直方向下向きとなり、周方向ノード3で重力の補正項が1.0のときに鉛直方向上向きとなる。また、周方向 (GCT) では各セルの重力の補正項はそれぞれ45度ずれることになり、周方向ノード1, 2で補正項が1.0のときに鉛直方向上向きとなり、周方向ノード3, 4で補正項が-1.0のときに鉛直方向下向きとなる。

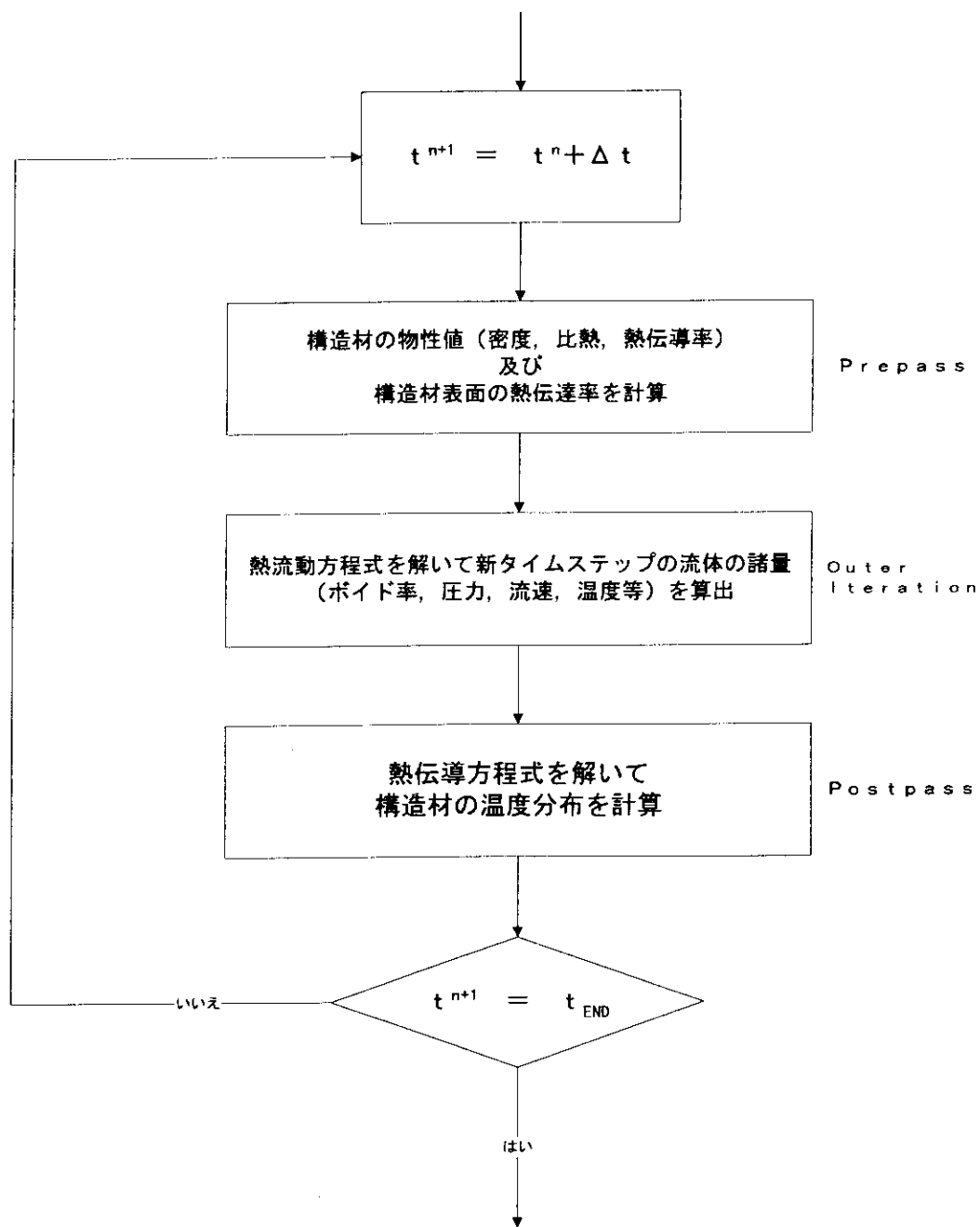


図 2.1 熱流動計算と構造物温度計算のカップリング



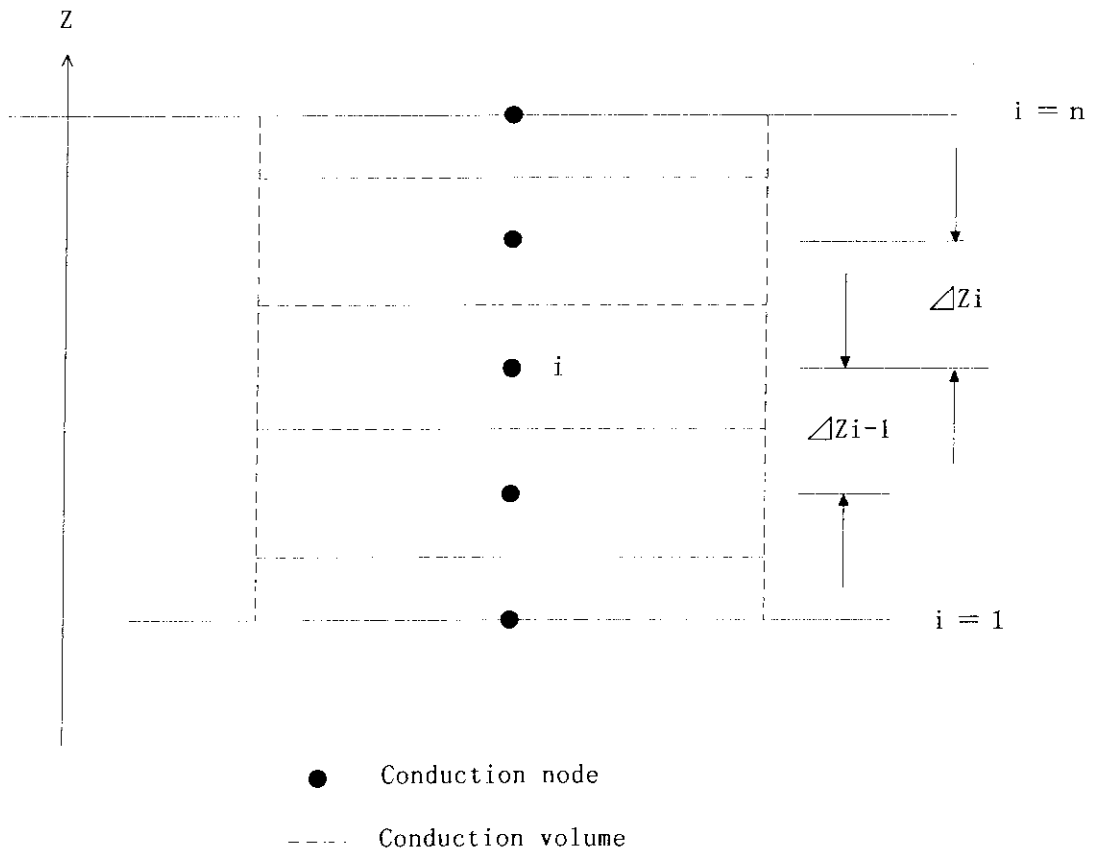
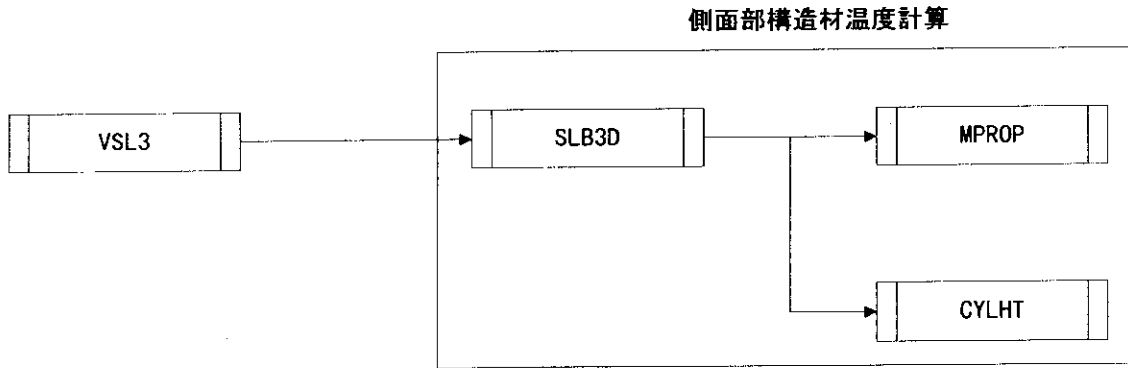


図 2.2 一次元熱伝導計算モデル

従来



改良後

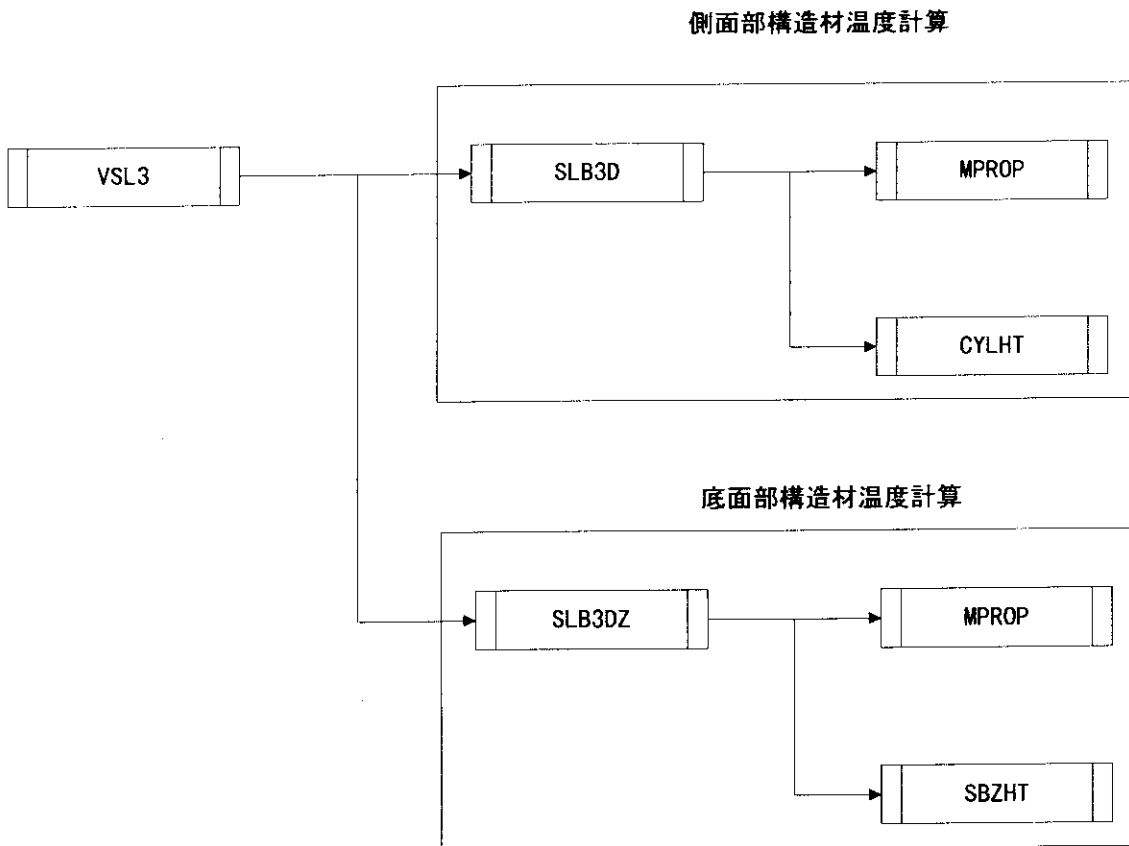
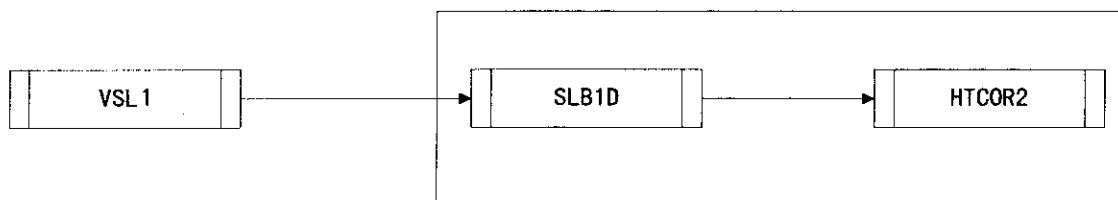


図 2.3 底面部熱伝達モデル関連サブルーチン組み込み位置

従来

側面部構造材表面熱伝達率計算



改良後

側面部構造材表面熱伝達率計算

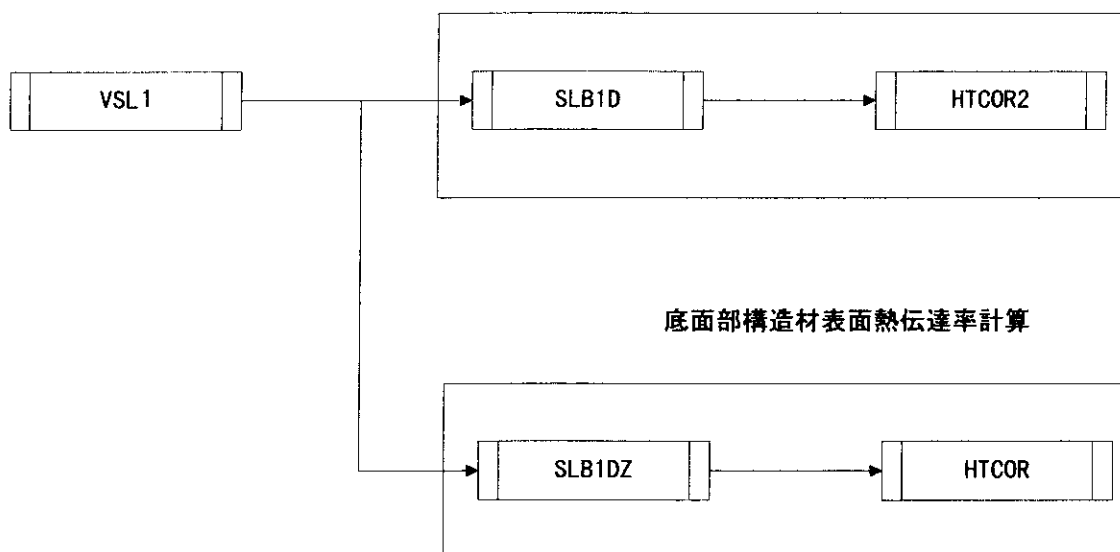


図 2.4 底部構造材表面熱伝達率計算サブルーチン組み込み位置

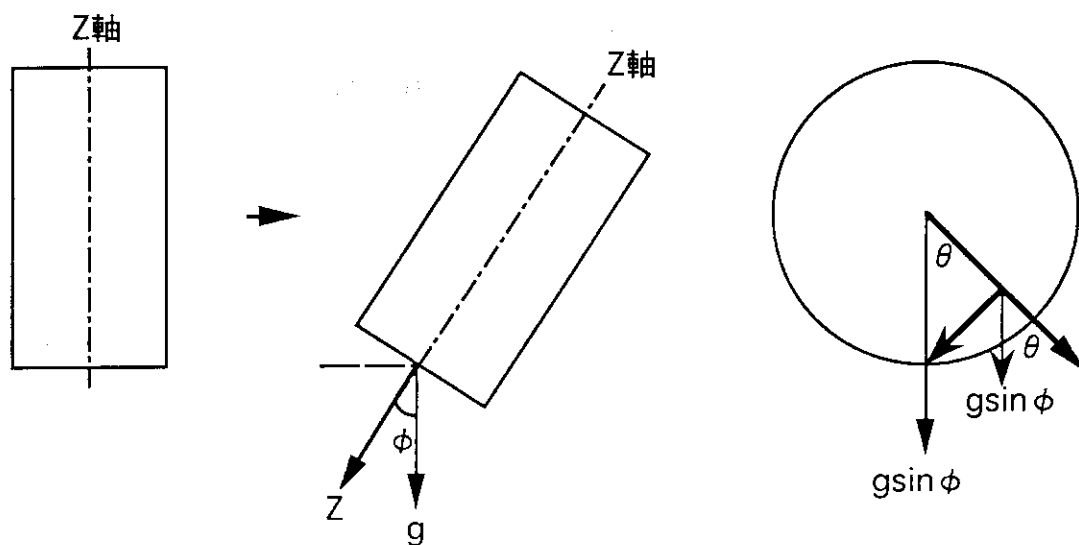


図2.5 VESSELコンポーネントにおける重力方向

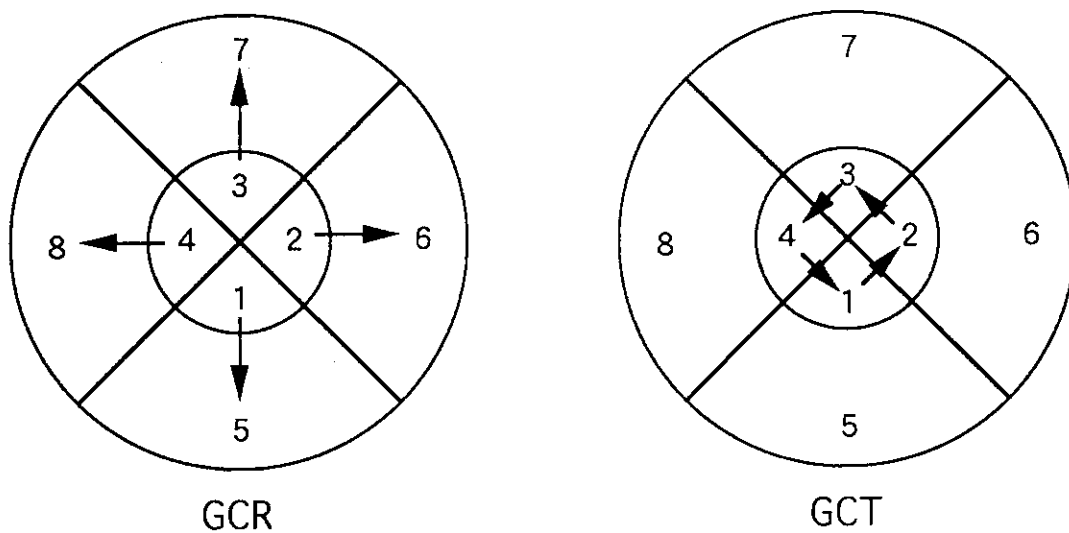


図2.6 横置き体系におけるGCR及びGCTの重力方向

表2.1 横置き体系におけるGCにかかる係数

	GCZ	GCR	GCT
IT=1	0.0	-1.0	0.7071
IT=2	0.0	0.0	0.7071
IT=3	0.0	1.0	-0.7071
IT=4	0.0	0.0	-0.7071

$$GCZ=GC*\cos(VSLGRV)$$

$$GCR=GC*\sin(VSLGRV)*\cos((IT-1)*2\pi/NTSX)$$

$$GCT=GC*\sin(VSLGRV)*\sin(IT*2\pi/NTSX-\pi/NTSX)$$

ここで、GCR及びGCTの計算においてIT=1,NTSXとなる。

VSLGRV= $\pi/2$ を指定、NTSX=4とする。

### 3. プロット関連プログラムのEWSへの導入

図3.1にグラフィックファイル形式変換プログラム (GCONV) と時系列プロットプログラム (IPLOT) の処理フローを示す。

TRAC-BF1コードを用いて計算を行うと、プロット図作成のデータは、グラフィックファイルに出力される。グラフィックファイルには、ディスク容量を削減するため1ワード中に複数のプロット用データを格納する特別なパック形式でデータが記憶されている。このグラフィックファイルのデータは変換プログラム (GCONV) により、通常のバイナリデータに変換され、所定のフォーマットでIPLOT形式のプロットファイルに出力される。ただし、2種類のIPLOT用ファイルのうち、IPLOT用順編成ファイルは順次アクセス形式のバイナリファイルであり、出力される全変数が含まれる。一方、IPLOT用直接編成ファイルは直接アクセス形式のバイナリファイルであり、燃料棒温度等に関する量のみが含まれる。

プロットプログラム (IPLOT) は、このIPLOT形式のプロットファイルと作図形式を指定するためのカードイメージの簡易プロットプログラムコントロールデータを入力とする。出力としては、TSS画面上にプロット図が、装置参照番号のファイルに実行時のメッセージがそれぞれ得られる。

#### 3.1 グラフィックファイル形式変換プログラム (GCONV)

グラフィックファイル形式変換プログラム (GCONV) は、TRAC-BF1コードから出力されるグラフィックファイルを時系列プログラム (IPLOT) 用のファイルに変換するプログラムである。

本プログラムは、東海研伝熱流動研究室におけるPWR事故最適評価コード (J-TRAC) の整備<sup>(5)</sup>の一貫として、大型計算機 (FACOM版) で開発されていたものをIBM社製ワークステーションへ移植したものである。

移植するにあたっては、以下の項目を変更した。

##### (1) 特殊文字の変更

EWSの文字表示がASCIIコードであるため、EBCDECの¥は\$に変換される。GCONVには、FACOMで¥、したがってEWSでは\$から始まるサブルーチン、コモン、変数が存在する。この記述はIBM社製EWSのFORTRANでは問題ないが、他社のEWSのFORTRAN77では許されない例もあるので、移植性を考慮して\$から始まるサブルーチン名、コモン

名、変数名について先頭の\$をZに変更した。

#### (2) 16進表記の変更

FACOMとEWSでは、16進表記法が異なるため、16進数を与えているデータ文を変更した。

#### (3) ファイルの入出力に対するオープン文の追加と修正

ファイルのオープンと装置参照番号の割り当ては全て、新たに追加したサブルーチンOPENFによって行うこととした。FACOMでは直接編成ファイルをサブルーチンDIRECTでオープンしているが、サブルーチンOPENFの適用によりこのOPEN文を削除した。

#### (4) データ変換の修正

タイムエディットデータのうち、パック（特殊な圧縮）されていないデータは1ワードに8バイトの変数が格納されている。このデータをサブルーチンBFINで8バイトで読み込み、その上のルーチンで、8バイトの最初の4バイトを4バイト変数で受け取り4バイト変数で使用していた。しかし、EWSでは8バイト変数の初め4バイトを抜き出しても、内部表現の相違により4バイト変数とはならないので不都合が生じる。そこで、タイムエディットデータを読み込む際のデータ変換に関して次のような修正を加えた。

サブルーチンRDATA,RDLANL,RDPASS, TMNEXTにおいて、サブルーチンBFINをCALLすることにより受け取った8バイト変数の先頭4バイトを変数TIMETとして使用していたが、これを8バイト変数の最初の4バイトと後続の4バイトを新たに追加した4バイト局所変数2個に代入し、この4バイト局所変数とEQUIVALENCEをとった8バイト局所変数を4バイト変数TIMETに代入するように変更した。また、サブルーチンUNPKITにおいて、パックされていない変数についても同様の修正を行った。

### 3.2 時系列プロットプログラム (IPLLOT)

時系列プロットプログラム (IPLLOT) は、TRAC-BF1コードの計算結果をGCONVでファイル形式に変換した後、図形出力するプログラムである。GCONVを用いてTRAC-BF1コードのグラフィックファイル形式をIPLLOT用に変換した後は、TRAC-BF1コードとREFLA/TRACコードでIPLLOT用ファイルの形式は同一であるので、REFLA/TRACコード用のIPLLOTコードをそのままTRAC-BF1コードのIPLLOTファイルに適用することができる。

本プログラムは、伝熱流動研究室においてSun Microsystems社製のEWSへ移植されている<sup>(3)</sup>ので、このIPLLOTコードをIBM社製のEWSに移植した。

移植するにあたっては、以下の項目を変更した。

#### (1) ENCODE文DECODE文の書き換え

I PLOTのソースプログラム中には、ENCODE文とDECODE文が多く用いられているが、IBMフォートランではENCODE文とDECODE文の仕様が無いため、これらの文は全てエラーとなる。そこで、ENCODE文とDECODE文を内部入出力文に書き換えた。また、文字型変数の扱いに対するエラーを修正した。

#### (2) プロットライブラリの変更

移植の対象とした伝熱流動研究室のI PLOTコードは、プロットライブラリとしてCRC社製のカルコンプ互換ライブラリを用いていた。今回の移植にあたっては、このCRC社製のカルコンプ互換ライブラリをXウィンドウシステムを利用したカルコンプ互換ライブラリPIFLIB<sup>(4)</sup>を用いるように変更した。また、PIFLIBに含まれるカルコンプ互換のインターフェイスルーチンは基本ルーチンのみであるため、よく使用されるプロットルーチンをGGSLIBライブラリとリンクすることで補った。

### 3.3 グラフィックファイル出力変数の追加

セル側面スラブのノード毎の構造材温度と構造材表面熱伝達率並びに、前項2.4で追加した底面スラブと軸方向境界スラブのノード毎の構造材表面温度、構造材表面熱伝達率をTRAC-BF1コードのグラフィックファイルに追加した。表3.1に追加出力変数のプロットファイル(I PLOTファイル)におけるTag-idを示す。

#### (1) 構造材表面熱伝達率のTag-idの命名方法

I PLOTファイルのTag-idは8文字で構成される。グラフィックファイルに出力される変数がVESSELコンポーネント変数の場合、Tag-id命名の基本ルールでは、Tag-idを”AAXXYYZZ”するとき、AA,XX,YY及びZZはそれぞれ次のものを意味する。

AA：物理量を表す英数字

XX：コンポーネント番号

YY：レベル番号

ZZ：レベル中の平面セル番号

今回、グラフィックファイルに追加出力した変数のなかで、構造材表面熱伝達率に関するTag-idは上記のルールに従って命名される。



## (2) 側面スラブ及び底面スラブ構造材温度のTag-idの命名方法

側面スラブ及び底面スラブの構造材温度については、構造材の厚さ方向にノード分割しているためノード位置の情報が必要となる。そこで、構造材温度のTag-idに関しては、物理量を表す文字を2文字から1文字に減らして、8文字目にノード位置の情報を付加するものとした。すなわち、構造材温度のTag-idを" AXXYYZZN" するとき、A,XX,YY,ZZ及びNはそれぞれ次のものを意味する。

A : 物理量を表す英数字

XX : コンポーネント番号

YY : レベル番号

ZZ : レベル中の平面セル番号

N : ノード番号

ノード番号にはノード分割数に従い1～NODESDの値が入る。

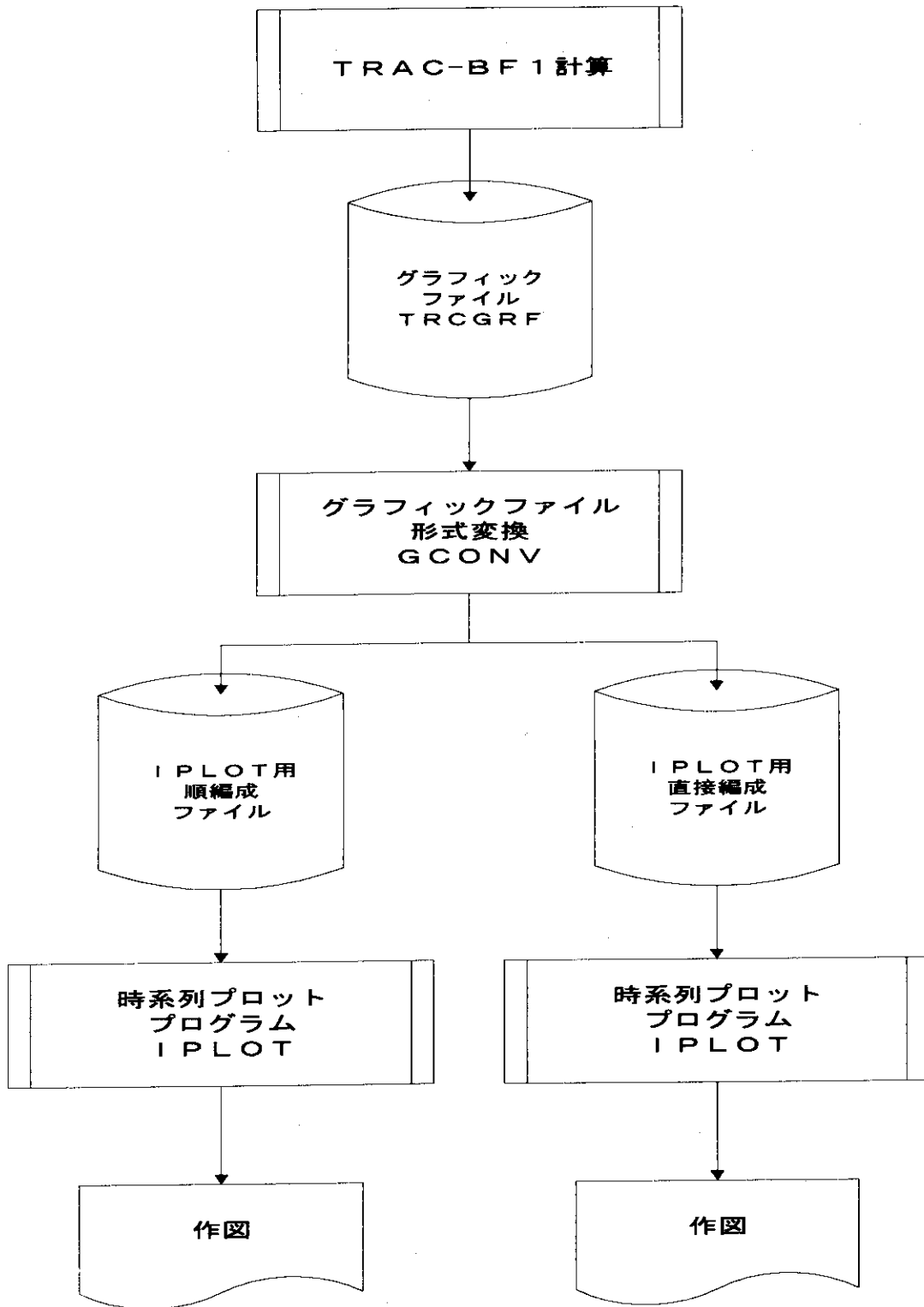


図3.1 GCONVとIPLOTの処理フロ

表3.1 グラフィックファイル出力追加変数のTag-id

物理量		物理量を 表す 先頭文字	Tag-id例
側面スラブ表面熱伝達率	内側表面	液相熱伝達率	LD
		気相熱伝達率	VD
	外側表面	液相熱伝達率	MD
		気相熱伝達率	WD
底面スラブ表面熱伝達率	下側表面	液相熱伝達率	LB
		気相熱伝達率	VB
	上側表面	液相熱伝達率	MB
		気相熱伝達率	WB
軸方向境界スラブ表面熱伝達率	下側表面	液相熱伝達率	LA
		気相熱伝達率	VA
	上側表面	液相熱伝達率	MA
		気相熱伝達率	WA
側面スラブ構造材温度		D	D x x y y z z n  ここで x x, y y, z z は 上と同じ  n ノード番号
底面スラブ構造材温度		B	
軸方向境界スラブ構造材温度		A	

## 4. 真空容器内冷却材侵入事象の解析評価

### 4.1 検証用データを用いた解析評価

#### 4.1.1 解析条件

コードの改良点を検証するために、ICE実験のICEベンチマーク解析として実施したケースに相当する解析を行った。

表4.1.1に検証用データの解析条件まとめ表を示す。

BENCH01, BENCH01bを用いて、縦置き、横置き体系による重力方向の可変モデルを検証した。

BENCH02, BENCH02aを用いて、底面部構造材の有無の影響を検証した。

BENCH04を用いて、構造材伝熱計算メッシュの個別指定を考慮した解析を検証した。

図4.1.1にICE実験装置のモデル概念を示す。

コンポーネントの構成は、加圧水系のボイラーに相当するものをFILL又はBREAKコンポーネント、水注入系の配管に相当するものをPIPEコンポーネント、真空容器に相当するものをVESSELコンポーネントで模擬した。また、真空排気系はブローダウンタンクをPIPEコンポーネントで模擬した。

注水部は圧力及び温度一定の境界条件とし、注入ノズル系の変更はパイプ径を変えることでモデル化した。注水量は高温・高圧タンク内の水注入が終了する時間を予め計算しておき、時間により注水を停止することで制御した。この真空容器への注水の制御はVALVEモデルで模擬した。

また、真空容器の壁は一定温度条件と断熱条件の両者を考慮した。一定温度条件は、壁の初期条件及び壁外部の温度条件を同一とするために、壁/外部間の熱伝達係数に大きな値 ( $1000\text{W/m}^2\text{K}$ ) を用いることで模擬した。断熱条件は、その熱伝達係数を零とした。

真空排気系はブローダウンタンクの容量、タンク壁の熱容量でモデル化し、ブローダウンタンクへ蒸気を導く隔離弁はVALVEモデルにより設定圧に達すると瞬時に開放させた。なお、ICEベンチマーク解析では真空排気系を考慮していない。

#### 4.1.2 解析結果

##### (1) BENCH01及びBENCH01b

図4.1.2, 図4.1.3に解析体系を示す。BENCH01及びBENCH01bは、真空容器の構造材を全く無視した条件で仮想的な断熱の空間を設定した。このうち、BENCH01は真空容器を縦置

き体系とした場合で、BENCH01bは真空容器を横置き体系とした場合である。

図4.1.4に真空容器内中央部の圧力変化を比較して示す。BENCH01及びBENCH01bとも、基本的に真空容器を仮想的な断熱の空間で、侵入水量、速度、温度が同一で、容器体積も同一であり、外部からの熱の授受もない。したがって、真空容器内の圧力は平衡状態に達すると一定値に落ち着く傾向になると考えられる。しかし、圧力はわずかつ上昇しており、この理由は数値誤差の蓄積によるものと考えられ、図4.1.4に示すようにその上昇傾向はBENCH01よりBENCH01bの結果の方が大きくなっている。

図4.1.5～図4.1.7に真空容器中央部の各軸方向上部（レベル6）、中央部（レベル4）、下部（レベル1）のボイド率変化を比較して示す。その結果、横置き体系ではボイド率が各軸方向ノードではほぼ0.6～0.8の間で推移しており、注入された水が各軸方向上部（レベル6）、中央部（レベル4）、下部（レベル1）に均一に分布している。これに対して、縦置き体系ではボイド率が軸方向ノード6、4で1.0一定であり、軸方向ノード1で0.2以下と小さくなっており、注入された水が真空容器の底部に溜まる傾向が分かる。

## (2) BENCH02及びBENCH02a

図4.1.8,図4.1.9に解析体系を示す。BENCH02及びBENCH02aは、真空容器の側面部構造材を考慮した条件で壁/外部間を一定温度条件で設定した。このうち、BENCH02は底面部構造材を考慮しない場合でBENCH02aは底面部構造材を考慮した場合である。伝熱壁は側面部、底面部とも厚さ方向に3メッシュに分割しており、温度は各メッシュ境界点で評価している。側面部は軸方向セル5内の外周位置で考慮することから、温度評価点は真空容器内側からa-1,a-2,a-3,a-4で表示され、底面部は水平方向の上端位置で考慮することから軸方向セル1の下に仮定したセルの構造材として真空容器内側からb-4,b-3,b-2,b-1で表示される。

図4.1.10に真空容器内中央部の圧力変化を比較して示す。圧力挙動は、高温高圧注入水（200℃、2MPa）が真空容器内に注入され、減圧沸騰により発生した蒸気が容器内で充満することにより、真空容器内の圧力が上昇する。その後、真空容器は壁/外部間の熱伝達係数（1000W/m<sup>2</sup>K）により壁温（100℃）一定となり、注入水による熱が壁に伝わり容器外へ放出されることにより圧力が低下している。このうち、底面部構造材を考慮したBENCH02aは底面部構造材から外部への放熱がある分、底面部構造材を考慮しないBENCH02に比べて圧力低下が早くなる。

図4.1.11～図4.1.13に真空容器の軸方向上部（レベル6）、中央部（レベル4）、下部

(レベル1)における壁面温度変化を比較して示す。壁は厚さ方向に3メッシュに分割しており、表示しているのは最も内側部分の温度である。上部は蒸気雰囲気のため真空容器壁との熱伝達係数が小さいため、温度の上昇は小さい。中央部は高温高压注入水が注入される位置であることから注入水からの熱が壁に伝わるため、一時的に温度が上昇するものの、180秒で注入が停止すると外部温度(100℃)近くまで低下する。一方、下部では注入された高温高压注入水が溜まり真空容器壁面の温度が上昇する。その後、注入水の停止とともに徐々に壁温が低下していくが底面部構造材を考慮したBENCH02aの方が構造材から外部への放熱がある分、BENCH02に比べて壁温の低下が早くなっている。

図4.1.14,図4.1.15に底面部構造材を考慮したBENCH02aの側面部及び底面部壁面温度変化を示す。側面部構造材温度は各メッシュ境界点で内側(a-1)から外側(a-4)に向かってそれぞれの温度が徐々に低下することから、真空容器内注入水(200℃)の熱が外部環境(100℃)へ伝わっていくことがわかる。また、底面部構造材温度も側面部構造材温度変化と同様に注入水による熱が壁に伝わり容器外へ放出されていくことがわかる。

### (3) BENCH04

図4.1.16,図4.1.17に解析体系を示す。BENCH04は、真空容器の側面部構造材(壁厚40mmステンレス)を考慮した条件で壁/外部間を一定温度条件で設定した。また、内側セルの3層内部構造材(壁厚5mm;ベリリウム、壁厚20mm;銅、壁厚500mm;ステンレス)に初期温度をそれぞれ350℃(ベリリウム)、350℃(銅)、200℃(ステンレス)として設定した。伝熱壁は厚さ方向にそれぞれ10メッシュに分割しており、内部構造材についてはメッシュ毎にその物質の種類及び厚さを入力により指定できることから、内側のメッシュからベリリウム、銅を1メッシュづつ考慮し、残り8メッシュをステンレスに割当てることとした。なお、温度は各メッシュ境界点で評価している。

図4.1.18に真空容器内中央部の圧力変化を示す。圧力挙動は、内部構造材の無いBENCH02のケースに比べて、3層内部構造材の初期エンタルピーによる注入水への伝熱効果がある分、到達圧力が高くなっている。その後、真空容器の壁/外部間の熱伝達係数(1000W/m<sup>2</sup>K)により外周壁温(100℃)一定となり、注入水による熱が壁に伝わり容器外へ放出されることにより圧力が低下していくと考えられる。

図4.1.19~図4.1.21に真空容器の軸方向上部(レベル13)、中央部(レベル8)、下部(レベル3)における内部構造材及び外周壁の表面温度変化を示す。内部構造材の初期温

度は、ベリリウム、銅が350℃、ステンレスが200℃である。レベル13、8の雰囲気状態では、注入水への伝熱によりベリリウム、銅の温度がほぼ同じように徐々に低下しており、注入された水が溜まっているレベル3ではさらに温度の低下が早くなり隣接するステンレス構造材温度とほぼ同じとなる。一方、外周壁ステンレスは注入された高温高圧水により、レベル8の注入位置で一時的に壁温が上昇し、レベル3はさらに熱伝達がよくなるために壁温が高いまま維持されている。以上の結果で表示している温度は、ベリリウムがノード4メッシュ1の内側、銅がノード4メッシュ2の外側、ステンレスがノード4メッシュ10の外側である。また、外周壁の表面温度はノード5メッシュ1の内側である。前述のレベル13の内部構造材の温度変化をメッシュ毎に見ていくと、壁厚500mmステンレスは、銅に隣接するメッシュ側で銅からステンレスへ熱が伝わっていくことによって温度上昇が大きいものの、さらに外周壁のメッシュになるにしたがって温度が低下している。最終的にベリリウム、銅の温度は、ステンレスとの熱伝導によりレベル3と同様にステンレス構造材温度まで低下することになる。これは、壁厚500mmステンレスの熱容量が大きく温度変化の影響が小さいためである。

#### 4.1.3 解析結果のまとめ

検証用データを用いた解析により、改良TRAC-BF1コードの機能を確認することができた。

ベッセル平面部構造材モデルについては、BENCH02と同じ条件で底面部構造材を追加したBENCH02aの解析結果と比較することで、平面部構造材から外部への放熱も考慮されることによって圧力の低下が早くなることを確認した。

構造材伝熱計算メッシュの個別指定については、コード改良にあたり追加した変数により新たな入力データ（NAMELIST形式）で読み込ませることが可能となり、改良前の入力形式で指定したBENCH02の壁面構造材を改良後のNAMELIST形式で取り扱っても同じ結果となることを確認した。さらに、BENCH04ではメッシュ毎にその物質の種類及び厚さを入力により指定できることから多層の構造材を考慮した解析が行えることを確認した。

重力方向の可変指定のモデル化については、BENCH01とBENCH01bとの解析結果の比較により、冷却水の真空容器内での挙動がボイド率の変化から縦置きで軸方向レベル1に水が溜まっていたのが、横置きではそれぞれ軸方向レベル1からレベル6まで均等に水が溜まることを確認した。

したがって、改良したTRAC-BF1コードでICE実験解析を実施できる見通しが得られた。

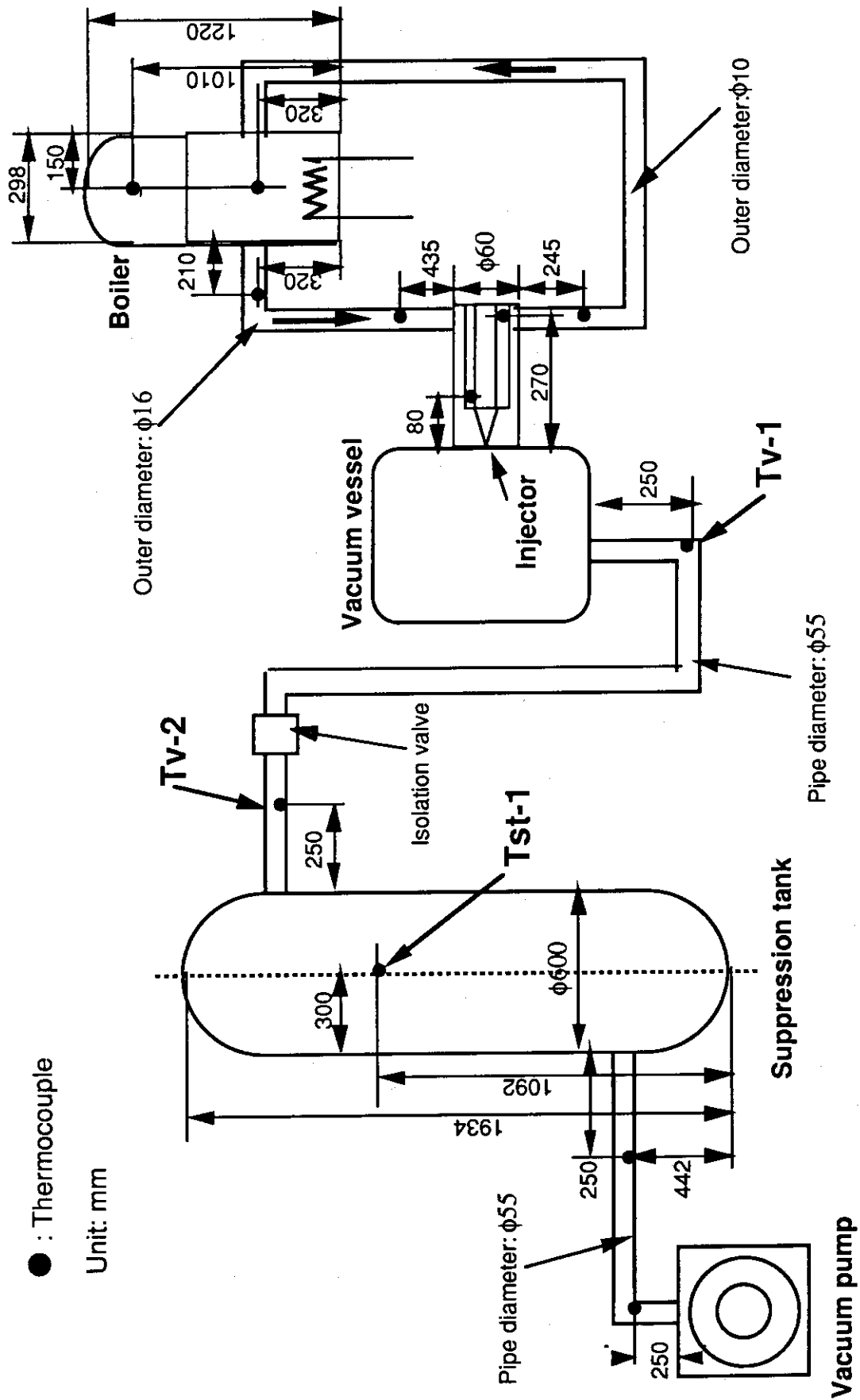


図4.1.1 ICE実験装置のモデル概念図



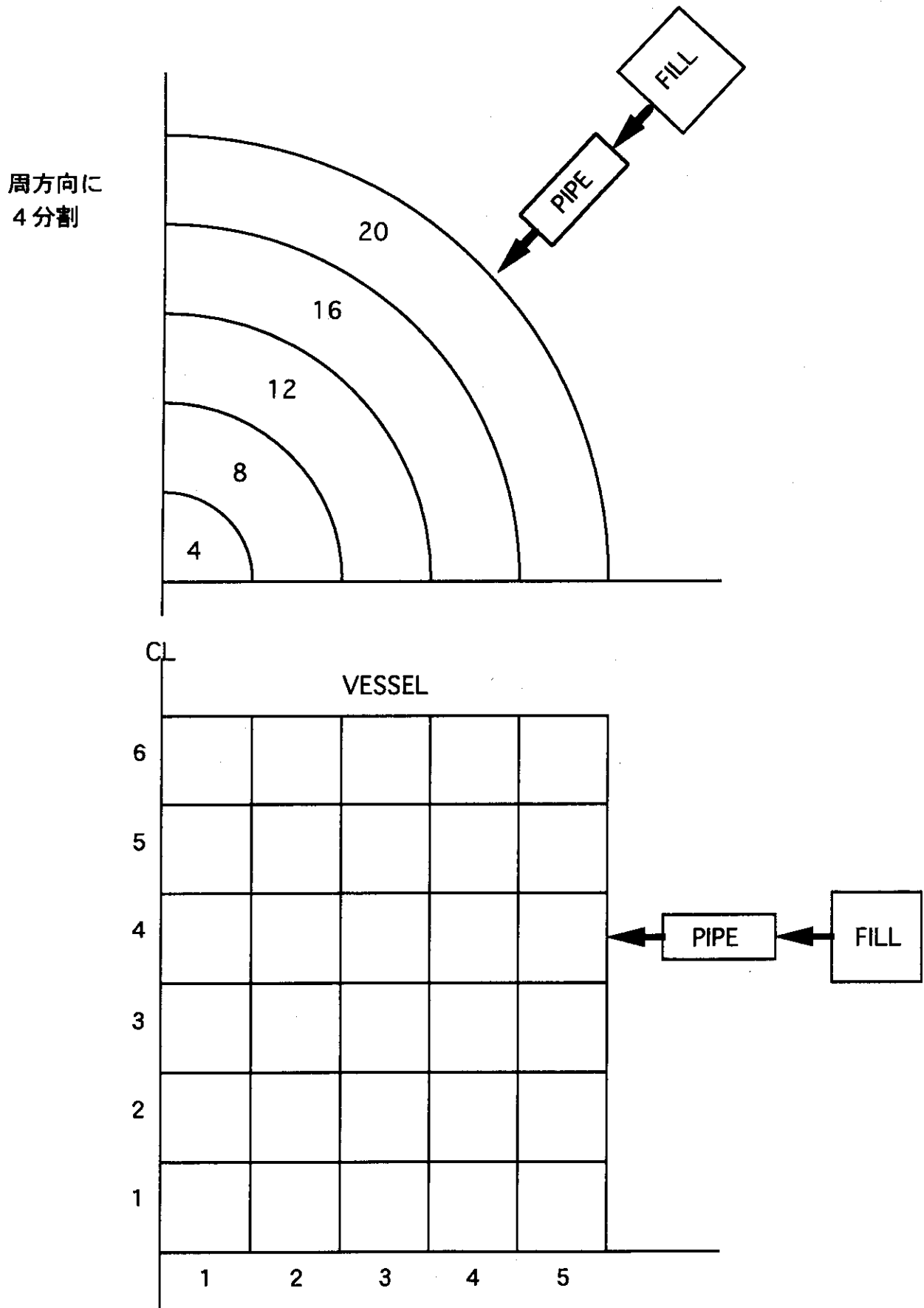


図4.1.2 BENCH01の解析体系

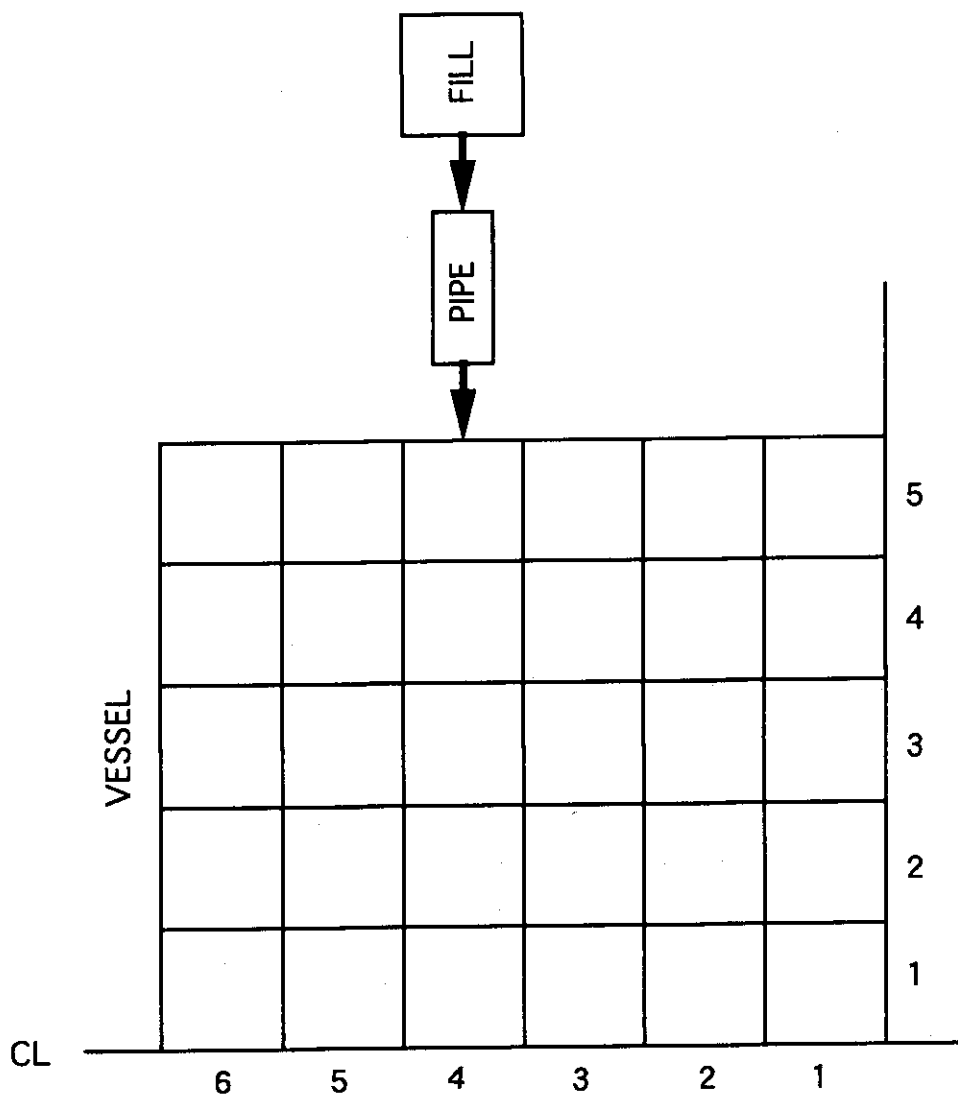


図4.1.3 BENCH01bの解析体系

BENCH01B - BENCH01

○—(TIME (1) - PV010401(1)) △—(TIME (1) - PV010401(1))

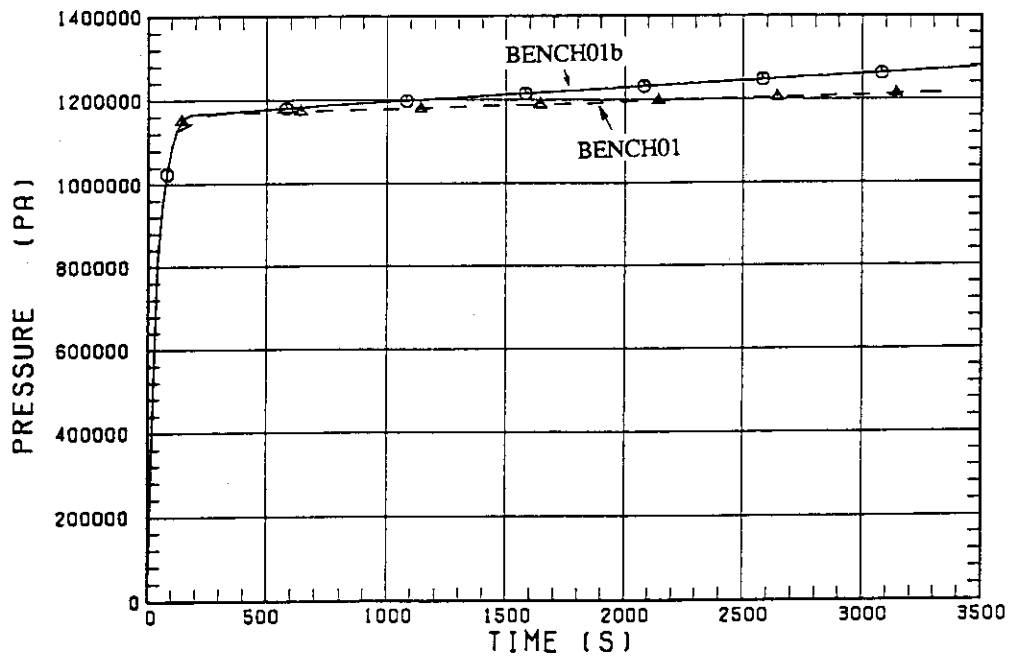


図4.1.4 真空容器内中央部の圧力変化 (BENCH01 vs. BENCH01b)

BENCH01B - BENCH01

○—(TIME (1) - AL010601(1)) △—(TIME (1) - AL010601(1))

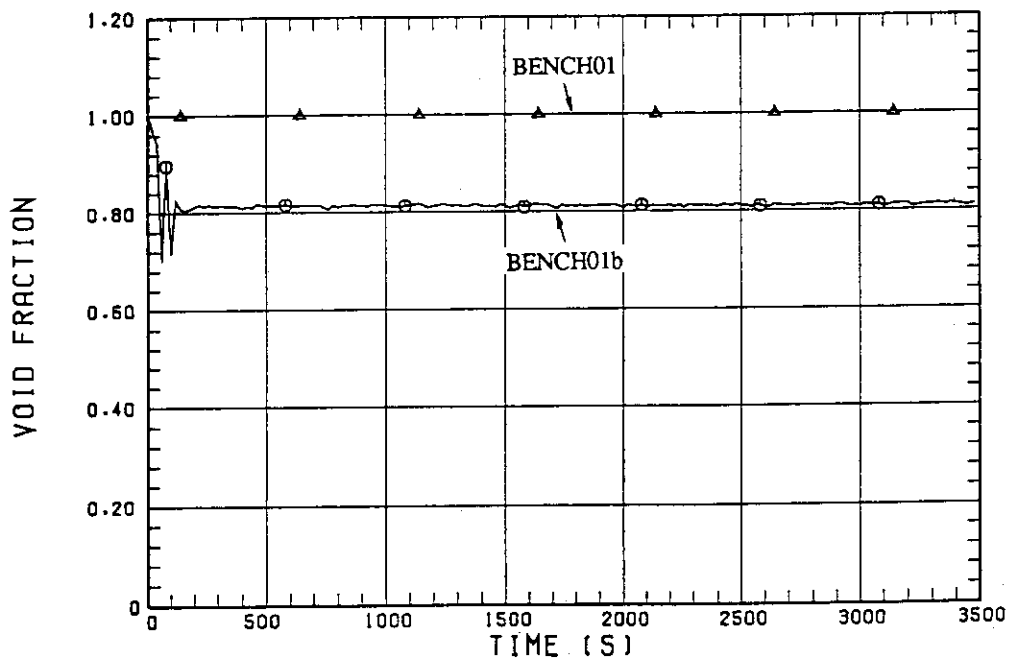


図4.1.5 真空容器内中央部の軸方向上部のボイド率変化 (レベル6)

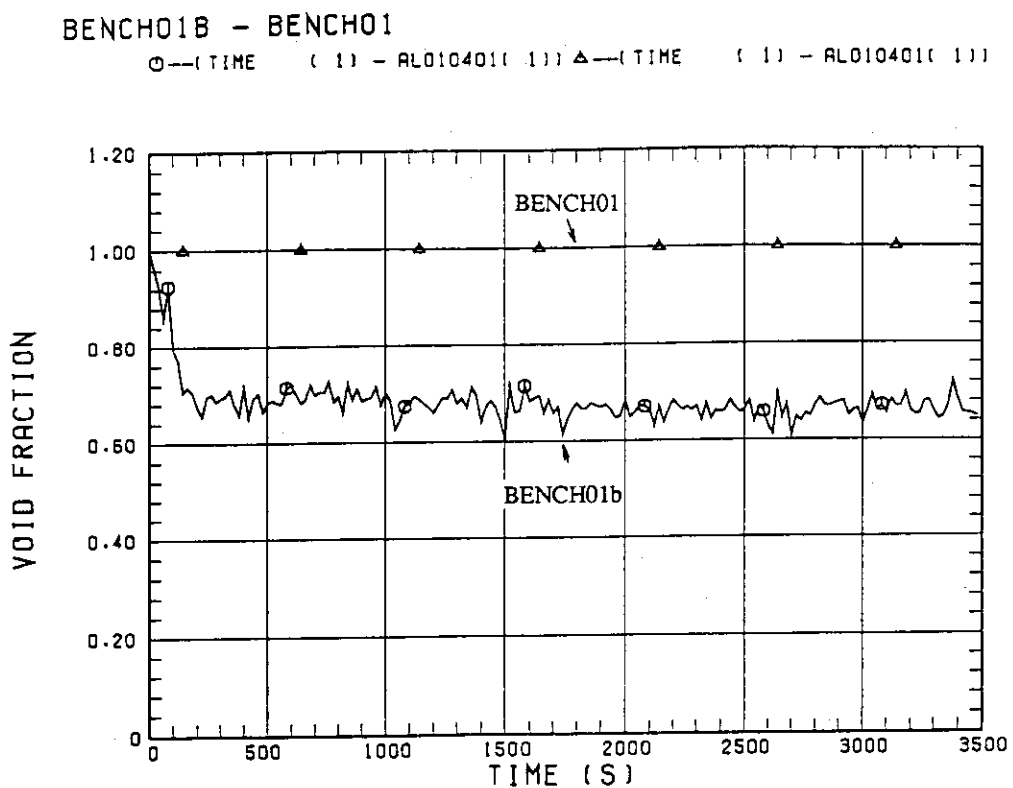


図4.1.6 真空容器内中央部の軸方向中央部のボイド率変化 (レベル4)

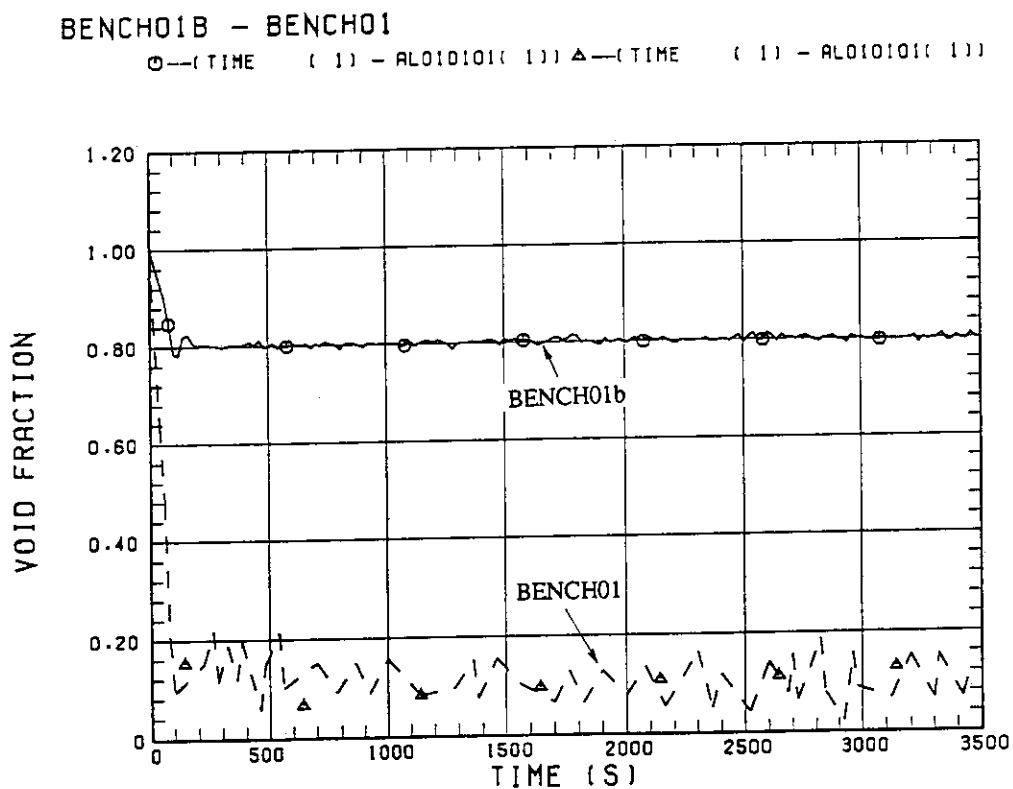


図4.1.7 真空容器内中央部の軸方向下部のボイド率変化 (レベル1)

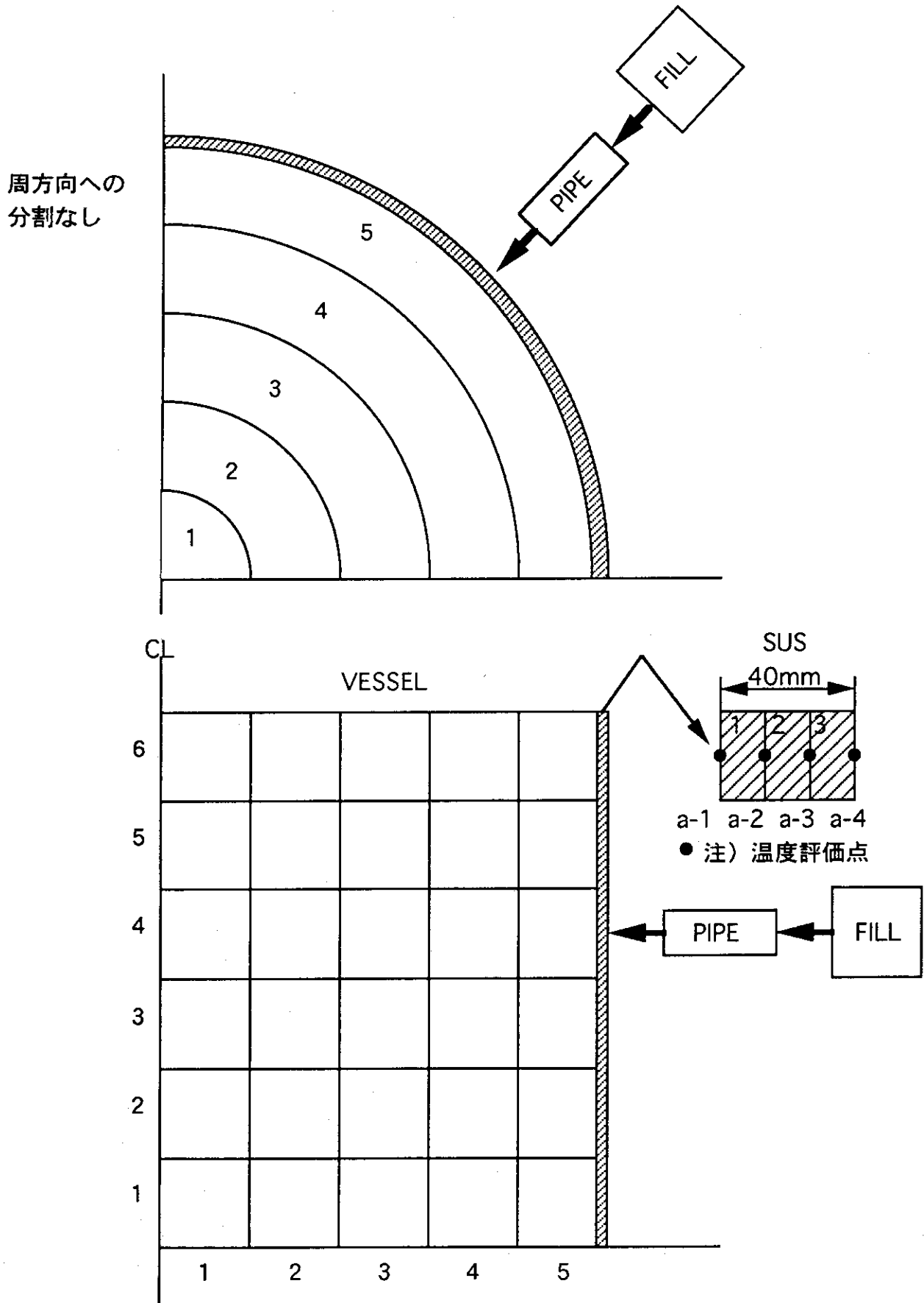


図4.1.8 BENCH02の解析体系

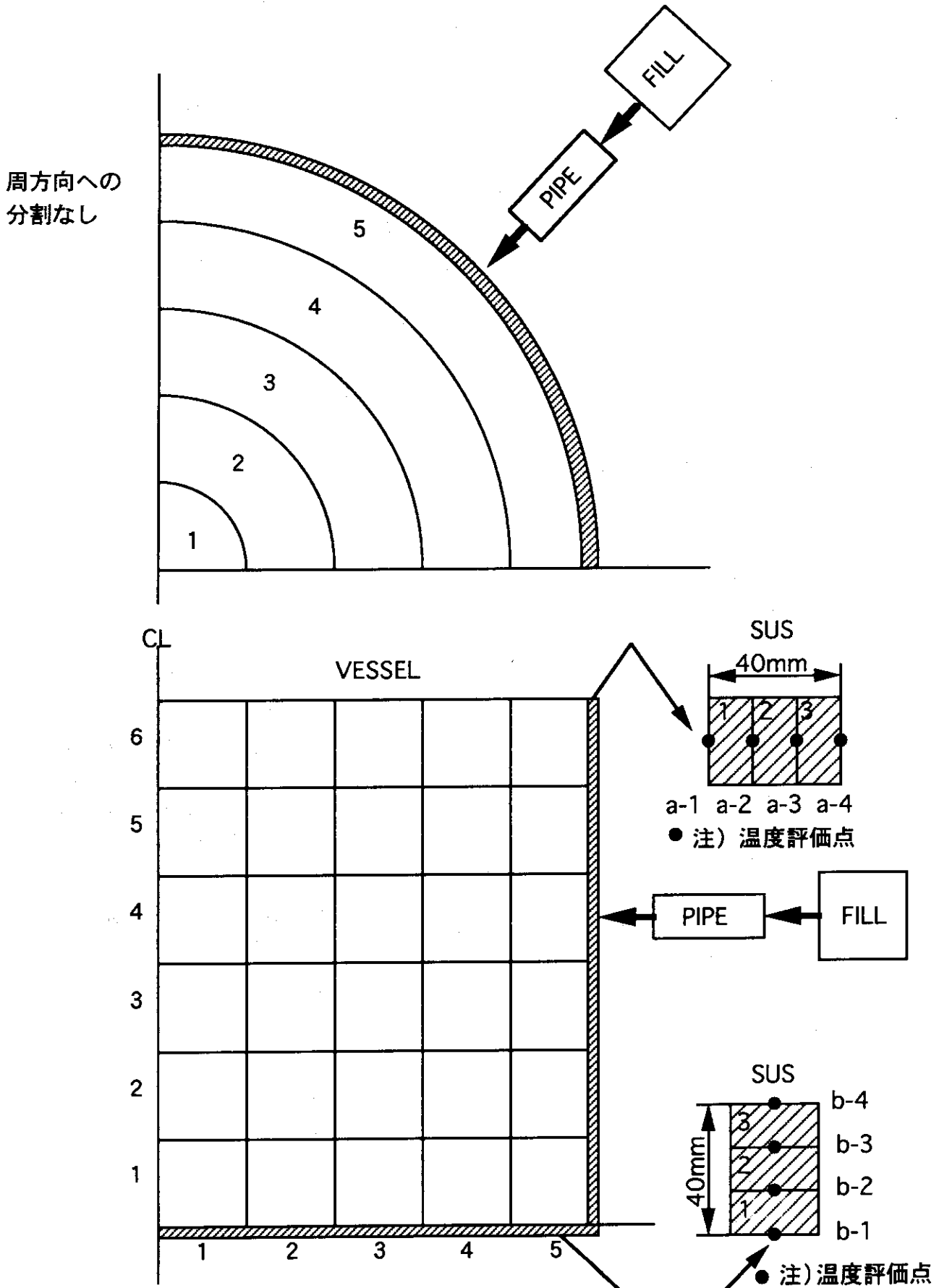


図4.1.9 BENCH02aの解析体系

○— 底面部構造材有り(BENCH02a)    △— 底面部構造材無し(BENCH02)

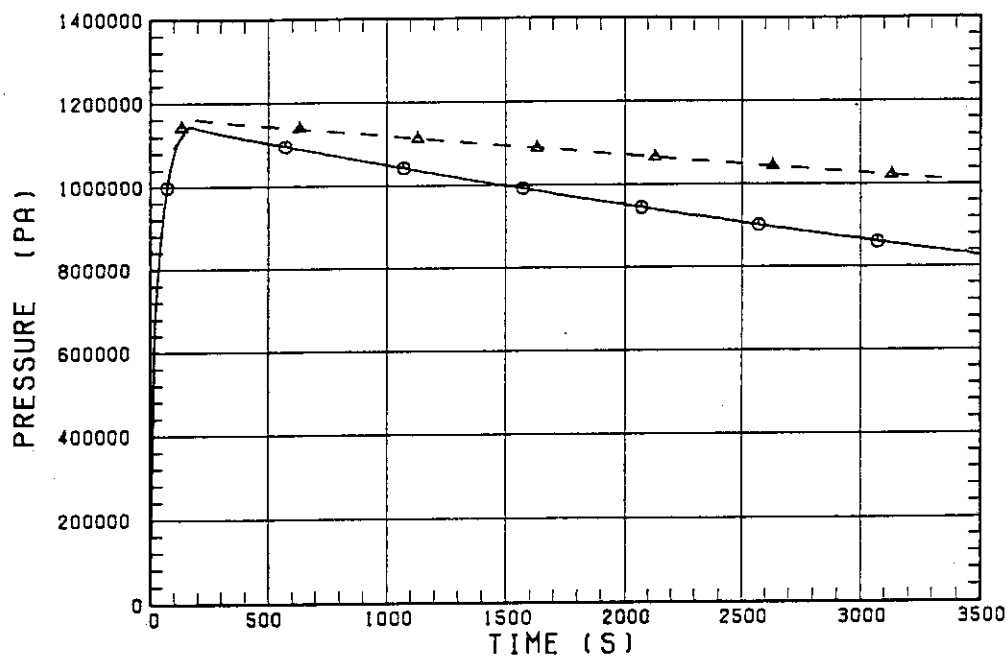


図4.1.10 真空容器内中央部の圧力変化 (BENCH02 vs. BENCH02a)

○— 底面部構造材有り(BENCH02a)    △— 底面部構造材無し(BENCH02)

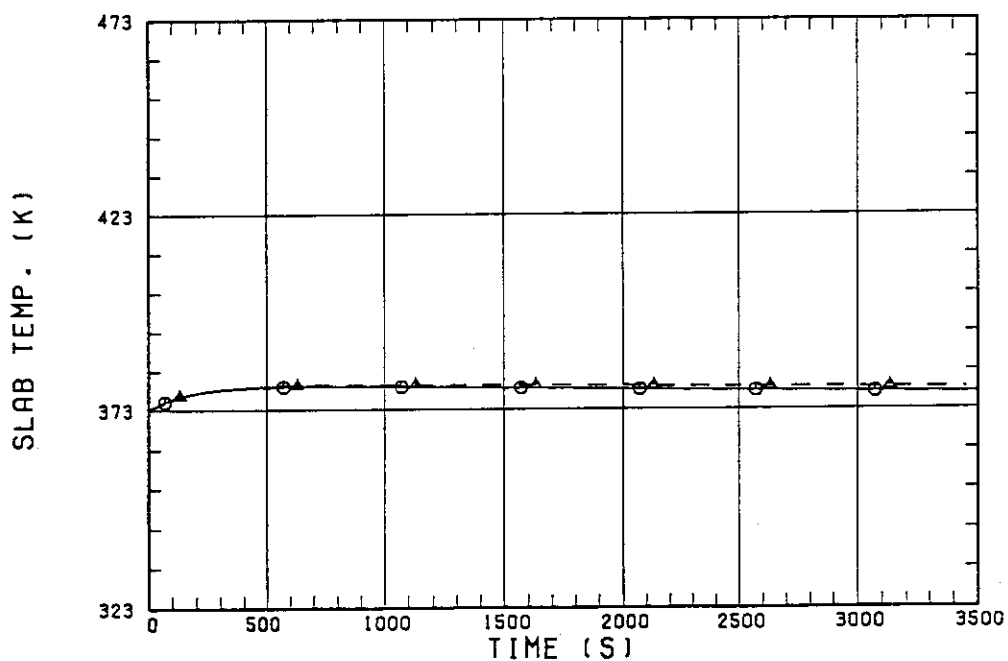


図4.1.11 真空容器内中央部の軸方向上部の壁面温度変化 (レベル6)

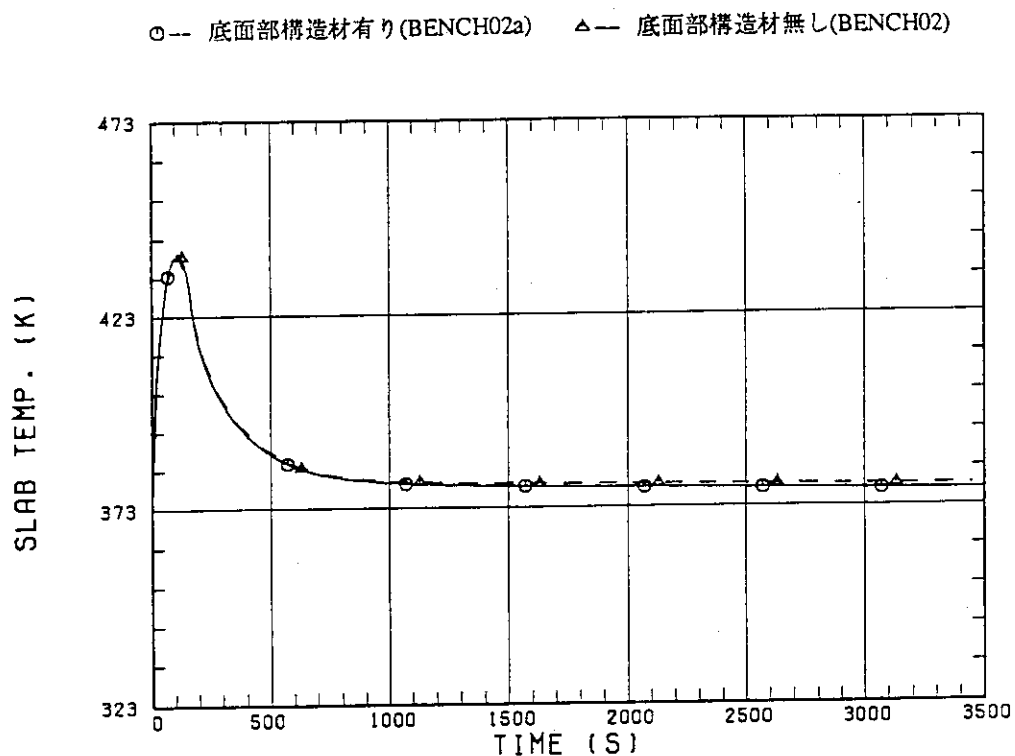


図4.1.12 真空容器内中央部の軸方向中央部の壁面温度変化 (レベル4)

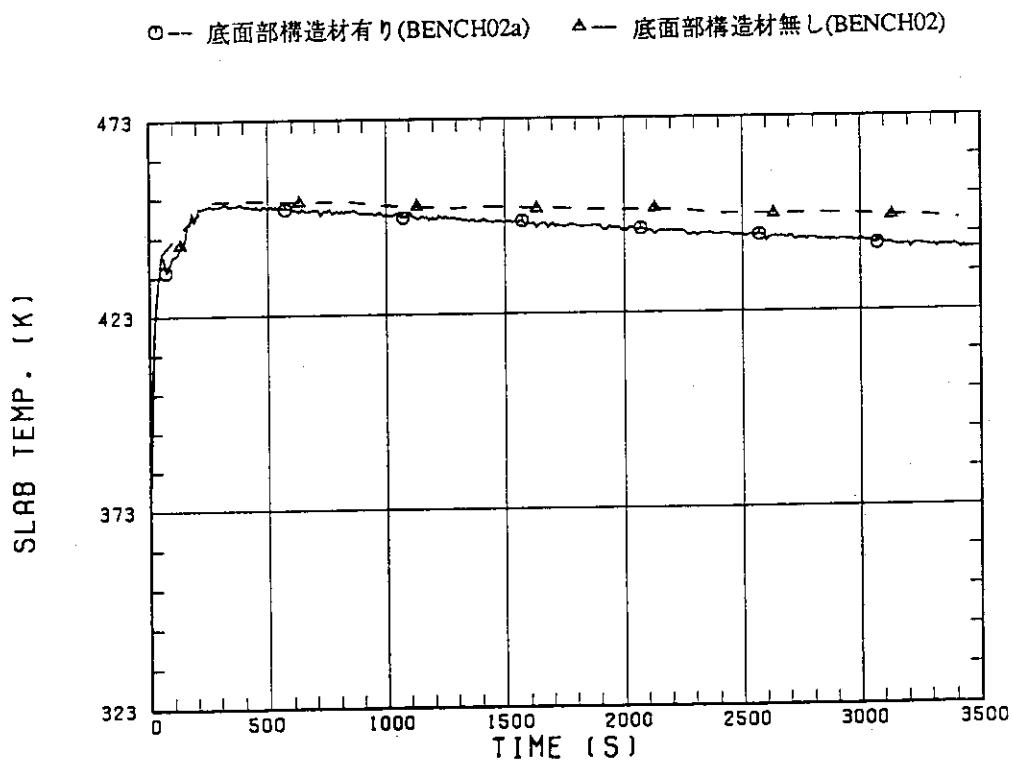


図4.1.13 真空容器内中央部の軸方向下部の壁面温度変化 (レベル1)



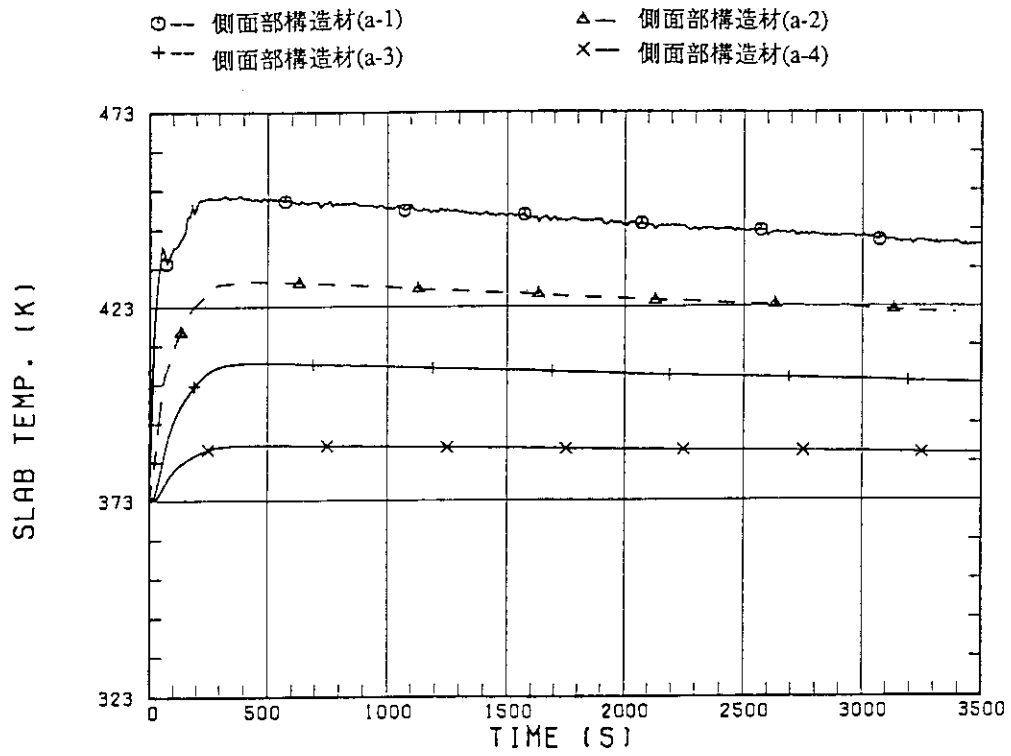


図4.1.14 BENCH02aにおける側面部壁面温度変化 (レベル1)

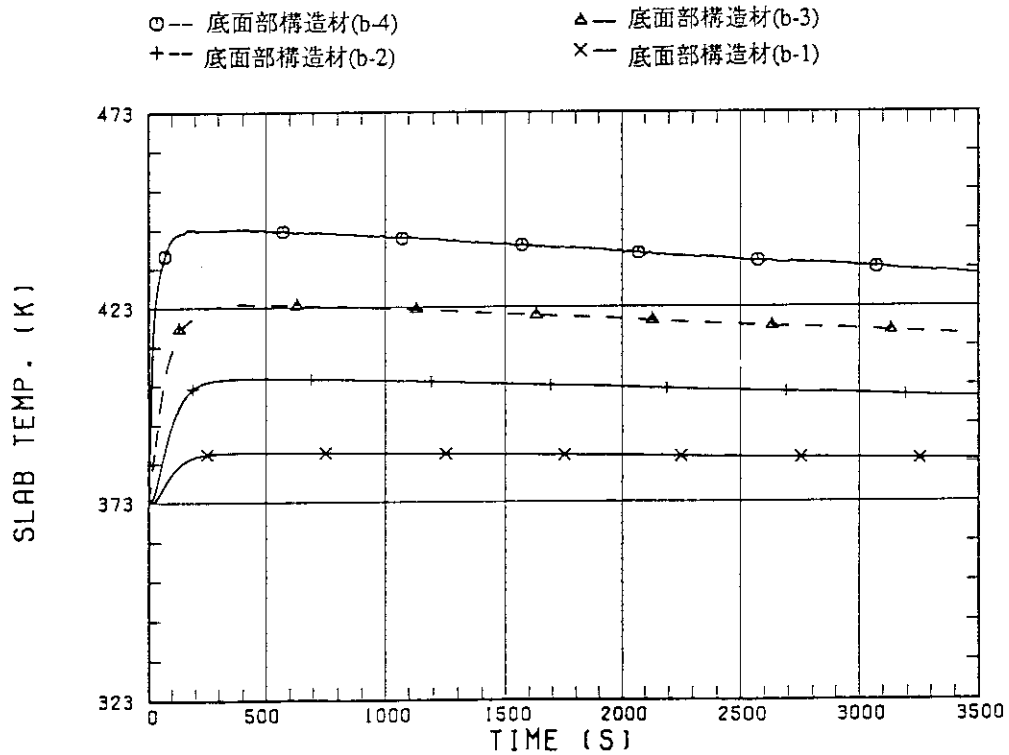


図4.1.15 BENCH02aにおける底面部壁面温度変化

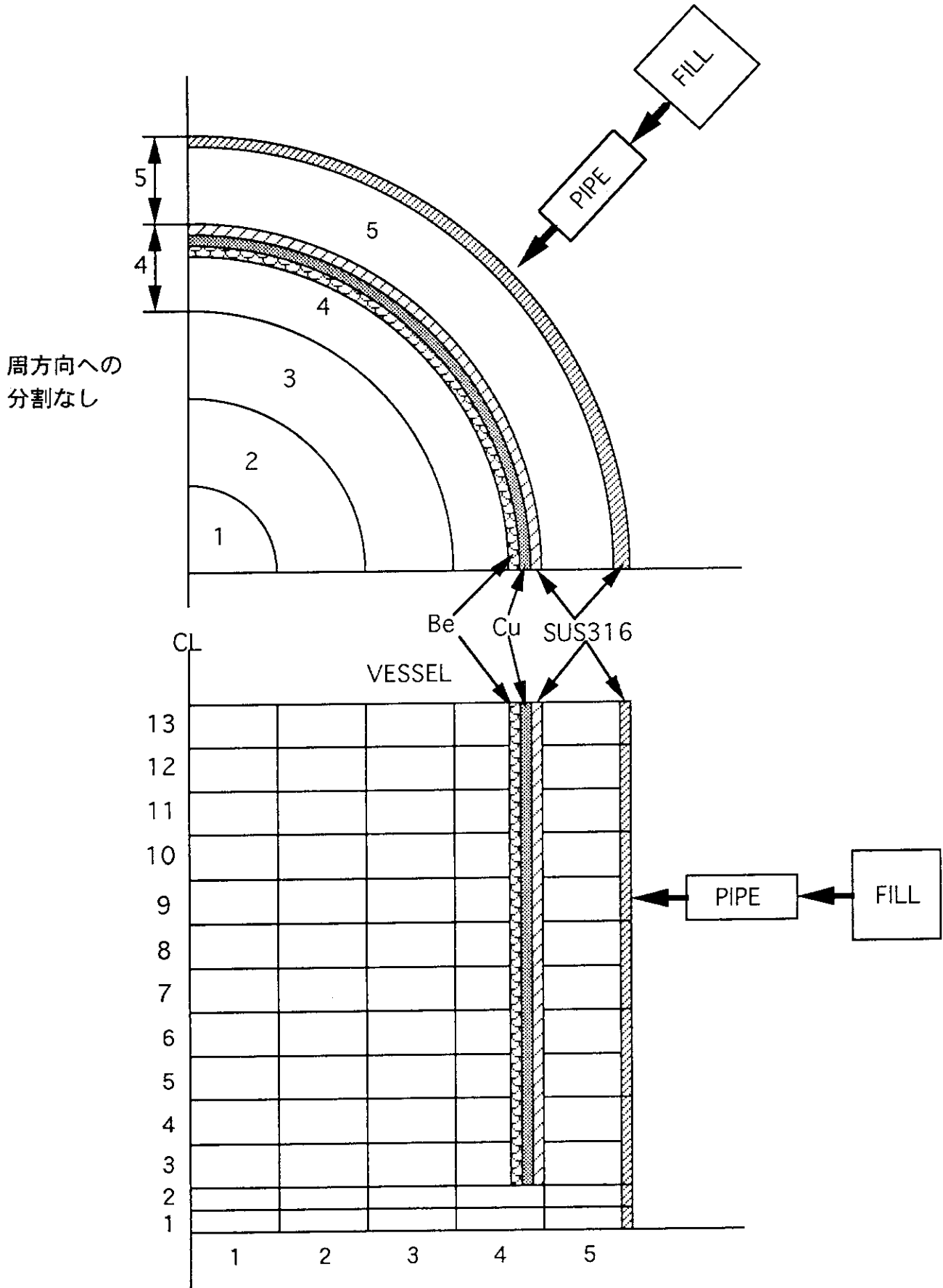


図4.1.16 BENCH04の解析体系

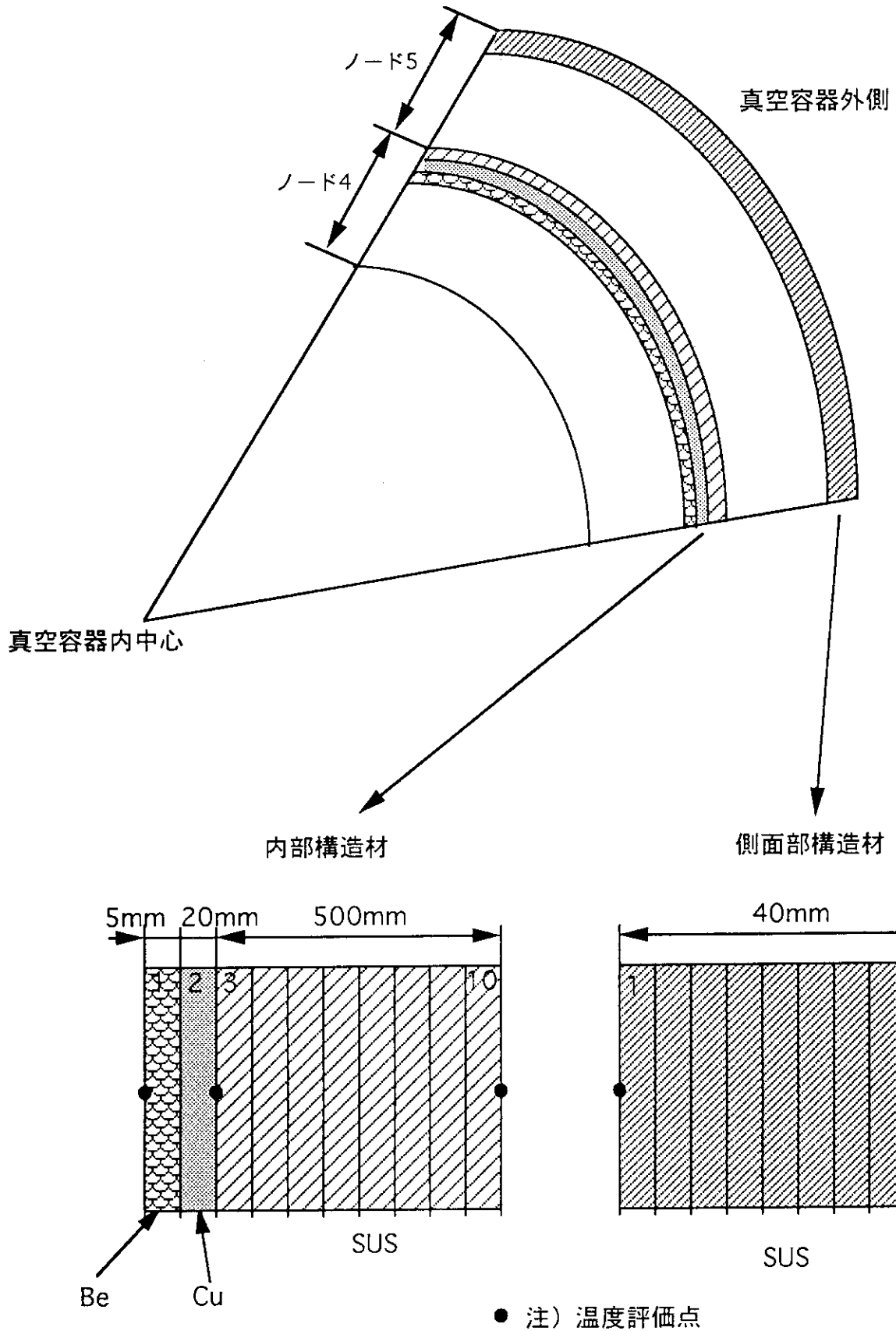


図4.1.17 内部構造材と側面部構造材の解析メッシュ体系

BENCH04

○--(TIME (1) - PY010901(1))

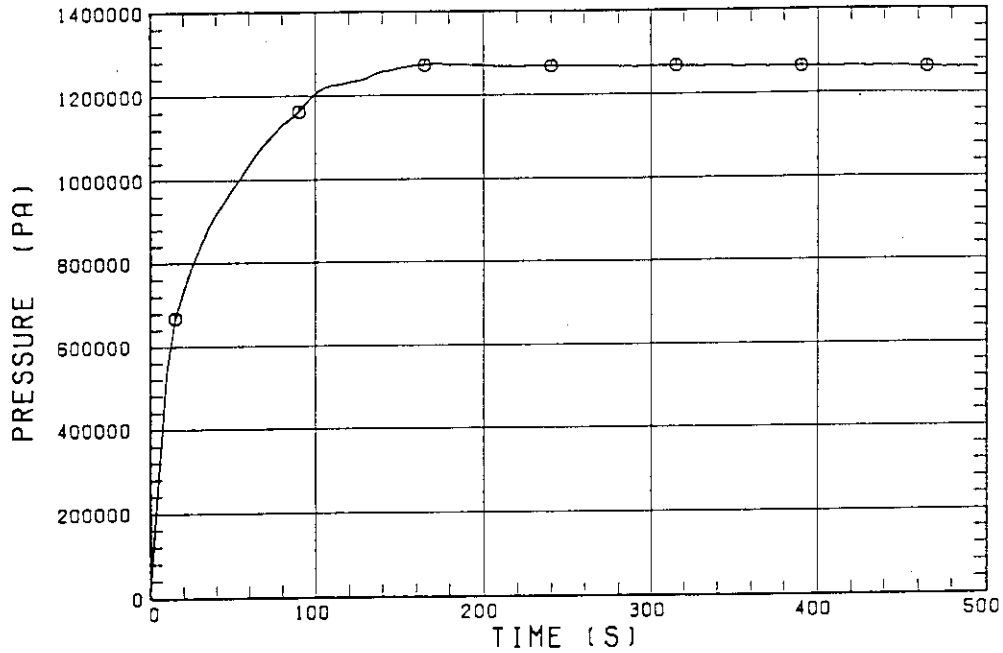


図4.1.18 真空容器内中央部の圧力変化 (BENCH04)

BENCH04

○-- 内部構造材(ベリリウム)

△-- 内部構造材(銅)

+-- 内部構造材(ステンレス)

×-- 側面部構造材(ステンレス)

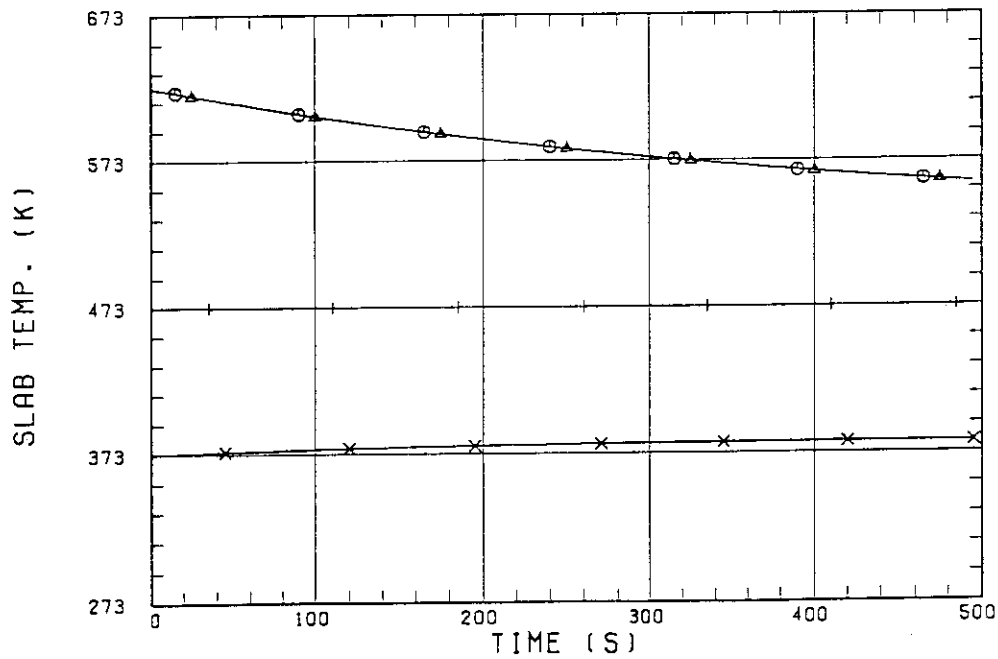


図4.1.19 真空容器内中央部の軸方向上部の壁面温度変化 (レベル1 3)

BENCH04

- 内部構造材(ベリリウム)      ▲-- 内部構造材(銅)
- +-- 内部構造材(ステンレス)      ×-- 側面部構造材(ステンレス)

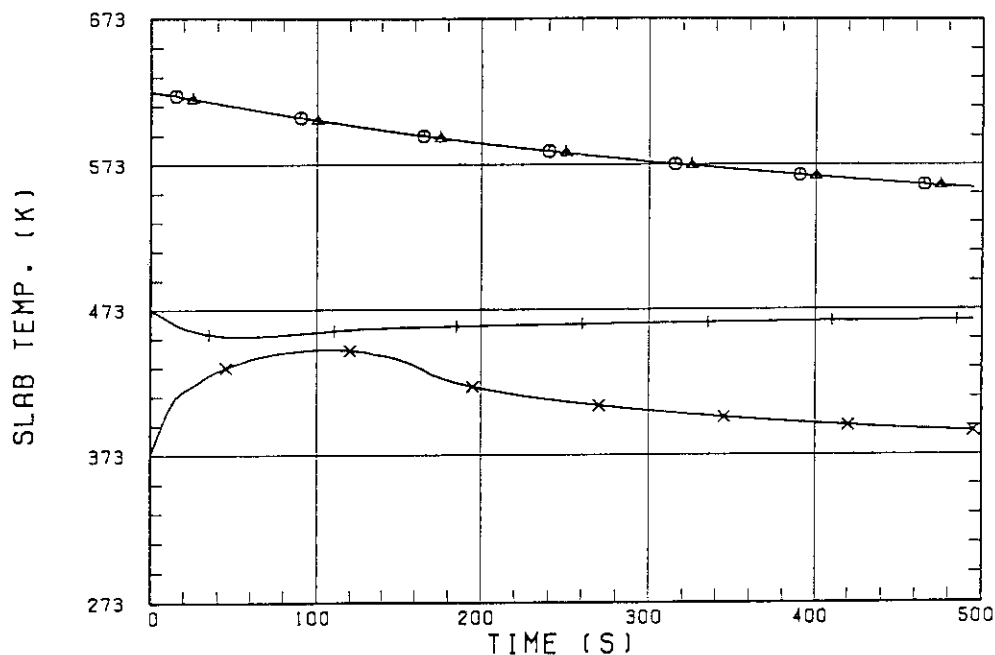


図4.1.20 真空容器内中央部の軸方向中央部の壁面温度変化 (レベル8)

BENCH04

- 内部構造材(ベリリウム)      ▲-- 内部構造材(銅)
- +-- 内部構造材(ステンレス)      ×-- 側面部構造材(ステンレス)

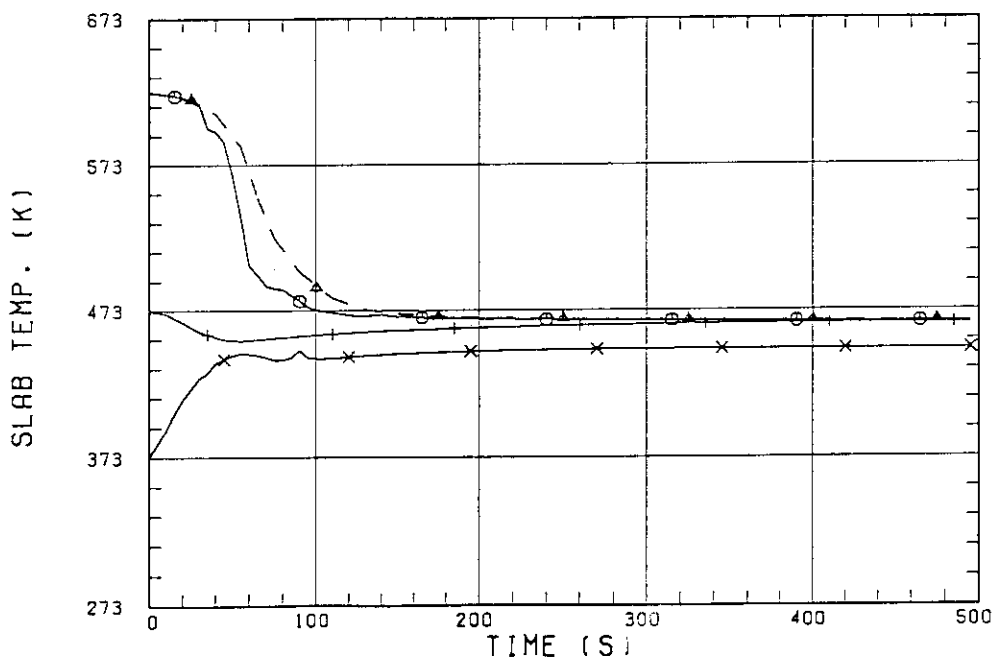


図4.1.21 真空容器内中央部の軸方向下部の壁面温度変化 (レベル3)

表4.1.1 検証用データを用いた解析ケース

	真空容器の縦置き/横置き による解析		底面部構造材有無 による解析		構造材伝熱計算メッシュの 個別指定を考慮した解析
	BENCH01	BENCH01b	BENCH02	BENCH02a	
初期圧力 (MPa)	0.01	同左	0.01	同左	0.01
噴出水温度 (°C)	200	同左	200	同左	200
壁面温度 (°C)	150	同左	100	同左	Bc、Cu、SUS、SUS 350、350、200、100 (内部構造材) (側面構造材)
ラプチャードイスク閉	無し	同左	同左	同左	同左
真空容器	縦置き	横置き	縦置き	同左	同左
側面部構造材	無し	同左	有り	同左	有り (二層構造)
底面部構造材	無し	同左	無し	有り	無し
備考					

## 4.2 ICE実験データを用いた解析評価

### 4.2.1 解析条件

ICE実験解析として、表4.2.1に示すように4ケースの解析条件を設定した。

4Tw20Tv25Nは、冷却水温度、真空容器の構造材温度等が1Tw20Tv25Vと同じ条件で、隔離弁を閉じた状態とした。なお、2Tw20Tv10V、3Tw12Tv5Vについては真空容器内圧力が0.2MPaに到達しないため、隔離弁を閉じた状態と同じ条件となった。

解析体系は、図4.2.1に示すように9つのコンポーネントで構成される。

真空容器に相当するものをVESSELコンポーネントで模擬し、真空容器の構造材はステンレス鋼とその内側に銅を配置した2層構造とした。ただし、本解析コードでは、真空容器の上面部、底面部の構造材は1層しか設定できないというコード上の制約があるため銅のみを設定した。

図1.1に示したICE実験装置のうち、加圧水系のボイラーに相当するものをFILLコンポーネント、水注入系配管、排気管及びブローダウタンクに相当するものをPIPEコンポーネント、注入ノズル及び隔離弁に相当するものをVALVEコンポーネントで模擬した。真空容器内への注入水流量は、実験で測定した体積流量が分かっていることからFILLコンポーネントでこれを時間と流速のテーブルに置き換えて入力した。

真空容器、水注入系配管、排気管並びに、隔離弁等の構造材の外側境界との熱伝達係数は $10^{10}\text{W/m}^2\text{K}$ とすることで壁温度を一定に保てるような等温条件を仮定した。

真空排気系は、真空容器と隔離弁との間に排気管を設け、ブローダウタンクを模擬したPIPEコンポーネントは、構造材温度、外部温度を $20^\circ\text{C}$ とし、壁/外部間の熱伝達係数に大きな値( $10^{10}\text{W/m}^2\text{K}$ )を用いることでPIPEコンポーネントから外部への放熱を考慮できるようにした。

### 4.2.2 解析結果

#### (1) 1Tw20Tv25V

図4.2.2に実験値と解析結果との真空容器内中央部の圧力変化を示す。高温高压水( $200^\circ\text{C}$ 、 $3.5\text{MPa}$ )が真空容器内に注入され、減圧沸騰により発生した蒸気が容器内で充満することにより、真空容器内の圧力が上昇する。その後、真空容器が等温条件として維持されるため、圧力が上昇しつづける。しかし、真空容器内の圧力は、隔離弁が $0.2\text{MPa}$ で開放する条件が設定してあるため、ブローダウタンクへの放熱により急激に低下する。解析結果は、

実験値に比べて冷却水注入が終了する10秒までの圧力上昇が遅いため、隔離弁設定圧（0.2MPa）に到達する時刻も遅くなっている。

図4.2.3に実験値と解析結果との真空容器内への注入流量変化を示す。解析結果は実験値と比べてほぼ同じ流量を示している。

図4.2.4に実験値と解析結果との真空容器内底面部ターゲット板壁面温度変化を示す。ターゲット板の壁面温度は、200℃程度までしか低下せず、実験値が100℃程度まで低下するのに比べて、注入水がターゲット壁面に到達しにくいことを示している。

図4.2.5に実験値と解析結果との真空容器内中央部側面の壁面温度変化を示す。中央部側面の壁面温度は、冷却水が下方へ落下しにくいことから初期温度よりほとんど低下せず、実験値よりわずかに高い傾向を示している。

図4.2.6に実験値と解析結果との真空容器内中央部の雰囲気温度変化を示す。真空容器内の雰囲気温度は、冷却水の注入により急激に低下する。その後、隔離弁開放により蒸気がブローダウンタンクへ流出するため再び低下するものの開放のタイミングが遅くなっている分、雰囲気温度の低下も遅くなっている。

## (2) 2Tw20Tv10V

図4.2.7に実験値と解析結果との真空容器内中央部の圧力変化を示す。冷却水の注入後、減圧沸騰により発生した蒸気で真空容器内の圧力が上昇する。その後、真空容器が等温条件として維持されるものの、冷却水の温度より容器の壁温が低く蒸気が凝縮することにより圧力上昇が緩和されるため、隔離弁（設定圧0.2MPa）が開かなかった。解析結果は、実験値に比べて冷却水注入が終了する10秒までの圧力上昇が遅い傾向を示している。

図4.2.8に実験値と解析結果との真空容器内への注入流量変化を示す。解析結果は実験値と比べてほぼ同じ流量を示している。

図4.2.9に実験値と解析結果との真空容器内底面部ターゲット板の壁面温度変化を示す。ターゲット板の壁面温度は、冷却水が到達することにより一時的に低下するもののその後徐々に回復している。解析結果は、実験値に比べてほとんど低下していない。

図4.2.10に実験値と解析結果との真空容器内中央部側面の壁面温度変化を示す。中央部側面の壁面温度は、冷却水が下方へ落下しにくいことから初期温度よりほとんど低下していないが、実験値は初期温度より約10℃低下している。

図4.2.11に実験値と解析結果との真空容器内中央部の雰囲気温度変化を示す。真空容器内



の雰囲気温度は、冷却水の注入により一時的に低下するもののその後徐々に回復している。解析結果は、実験値に比べて0~10秒間でかなりの振動が見られた。

### (3) 3Tw12Tv5V

図4.2.12に実験値と解析結果との真空容器内中央部の圧力変化を示す。冷却水の注入後、減圧沸騰により発生した蒸気で真空容器内の圧力が上昇する。その後、真空容器が等温条件として維持されるものの、冷却水の温度より容器の壁温が低く蒸気が凝縮することにより圧力上昇が緩和されるため、隔離弁（設定圧0.2MPa）が開かなかった。解析結果は、実験値に比べて冷却水注入が終了する10秒までの圧力が高くなる傾向を示している。

図4.2.13に実験値と解析結果との真空容器内への注入流量変化を示す。解析結果は実験値と比べてほぼ同じ流量を示している。

図4.2.14に実験値と解析結果との真空容器内底面部ターゲット板の壁面温度変化を示す。ターゲット板の壁面温度は、冷却水が到達するターゲット板中央位置で初期温度より一時的に低下し、その後上昇するものの再びゆるやかに低下し約53℃で一定となる。実験値は、初期温度から一時的低下するもののその後、約57℃で一定となっている。

図4.2.15に実験値と解析結果との真空容器内中央部側面の壁面温度変化を示す。中央部側面の壁面温度は、冷却水が下方へ落下しにくいことから初期温度一定のままであり、実験値は初期温度よりわずかに高い温度で推移している。

図4.2.16に実験値と解析結果との真空容器内中央部の雰囲気温度変化を示す。真空容器内の雰囲気温度は、一時的に上昇するもののその後徐々に低下している。実験値はほとんど変化しない。

### (4) 4Tw20Tv25N

図4.2.17に実験値と解析結果との真空容器内中央部の圧力変化を示す。高温高圧水（200℃、3.5MPa）が真空容器内に注入され、減圧沸騰により発生した蒸気が容器内で充満することにより、真空容器内の圧力が上昇する。その後、真空容器が等温条件として維持されるため、圧力が上昇しつづける。解析結果は、実験値に比べて冷却水注入が終了する10秒までの圧力上昇が遅い傾向を示している。

図4.2.18に実験値と解析結果との真空容器内への注入流量変化を示す。解析結果は実験値と比べてほぼ同じ流量を示している。

図4.2.19に実験値と解析結果との真空容器内底面部ターゲット板の壁面温度変化を示す。ターゲット板の壁面温度は、200℃程度までしか低下せず、実験値が120℃程度まで低下するのに比べて、注入水がターゲット壁面に到達しにくいことを示している。

図4.2.20に実験値と解析結果との真空容器内中央部側面の壁面温度変化を示す。中央部側面の壁面温度は、冷却水が下方へ落下しにくいことから初期温度よりほとんど低下せず、実験値より高い傾向を示している。

図4.2.21に実験値と解析結果との真空容器内中央部の雰囲気温度変化を示す。真空容器内の雰囲気温度は、冷却水の注入により急激に低下するもののその後徐々に回復している。解析結果は、実験値に比べて低くなるもののほぼ同じ傾向を示している。

#### 4.2.3 解析結果のまとめ

ICE実験解析の結果、実験値に比べ高温高圧水注入後の圧力上昇がどのケースにおいても遅くなっている。これは、圧力上昇が注入水の蒸発速度に依存するので、解析で設定している熱伝達モデルでは壁から伝わる熱が実験に比べて小さいためと考えられる。また、本解析コードでは初期圧力を実験値と同じ10Paに設定できないため10000 Paとして解析しており、初期条件の違いにより減圧沸騰による発生蒸気に差が生じ、圧力上昇の違いがあると考えられる。特に3Tw12Tv5Vのケースでは、冷却水温度120℃、真空容器外壁温度50℃の実験値で圧力上昇がほとんどないにもかかわらず、解析では初期圧力を実験値の最大値に等しい条件で与えざるを得ないため、その後の圧力挙動に差が生じていると考えられる。

一方、1Tw20Tv25Vのケースではブローダウンタンクを模擬したPIPEコンポーネントの構造材温度、外部温度を20℃とし、壁/外部間の熱伝達係数に大きな値 ( $10^{10} \text{W/m}^2\text{K}$ ) を用いることで、隔離弁開放後の圧力挙動が実験値を模擬できることを確認した。

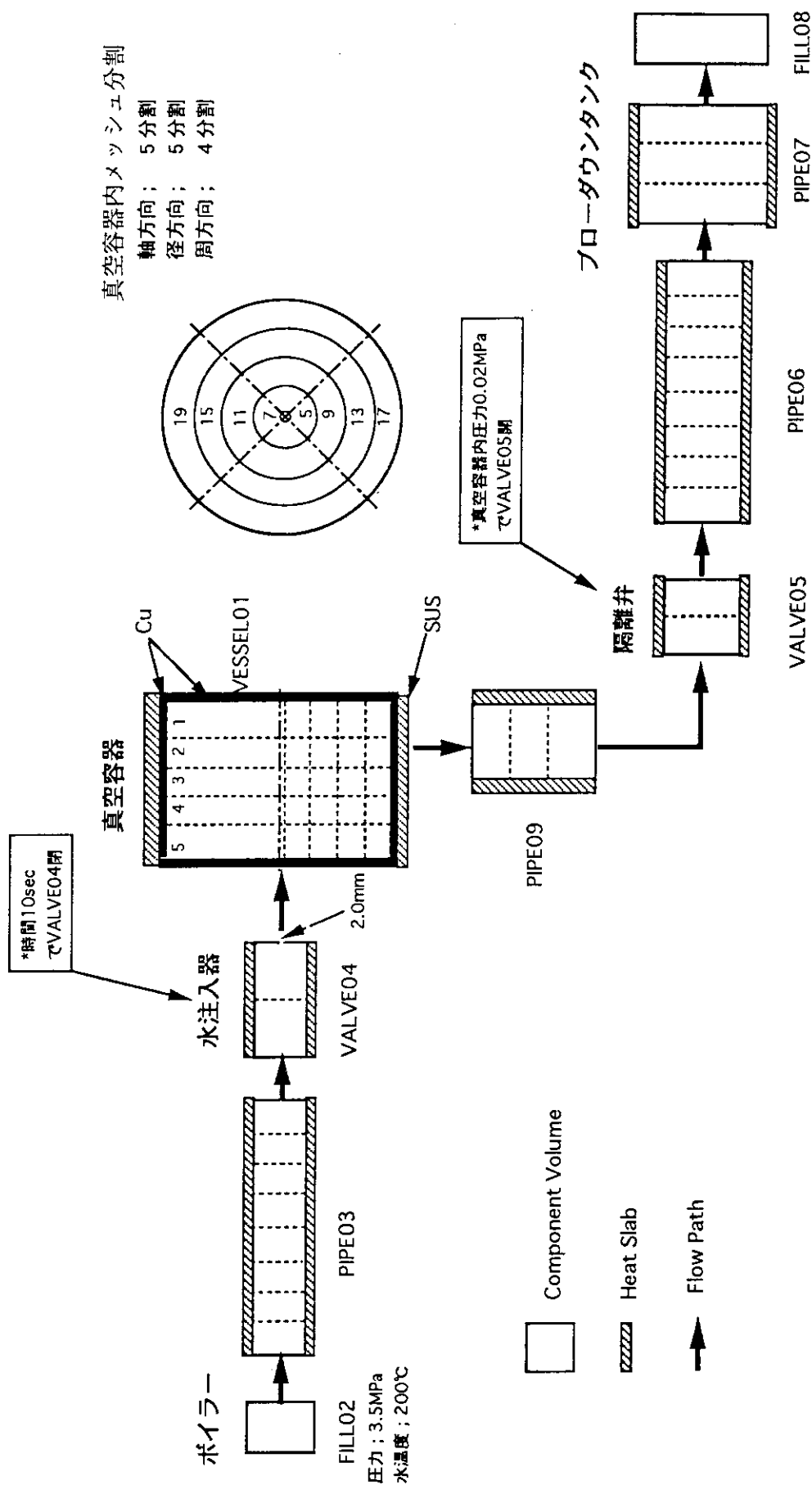


図4.2.1 ICE予備実験の解析体系

1Tw20Tv25V (初期壁温250℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa、0.2MPa valve open)  
真空容器内圧力

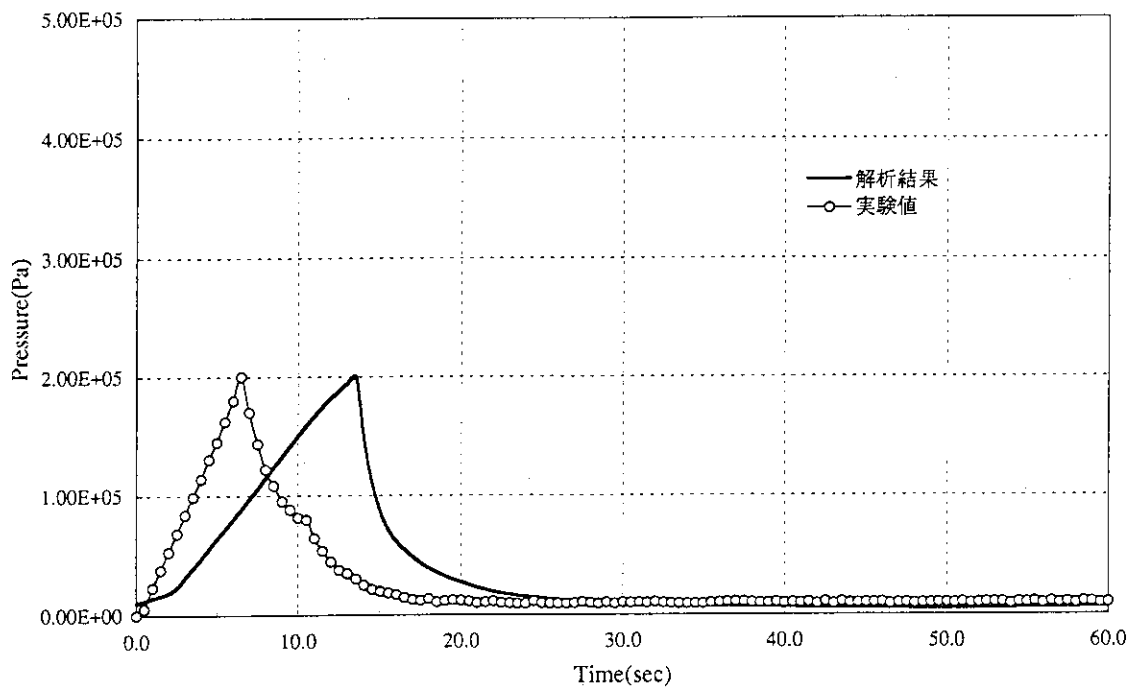


図4.2.2 真空容器内中央部の圧力変化 (1Tw20Tv25V)

1Tw20Tv25V (初期壁温250℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa、0.2MPa valve open)  
真空容器内への注水流量

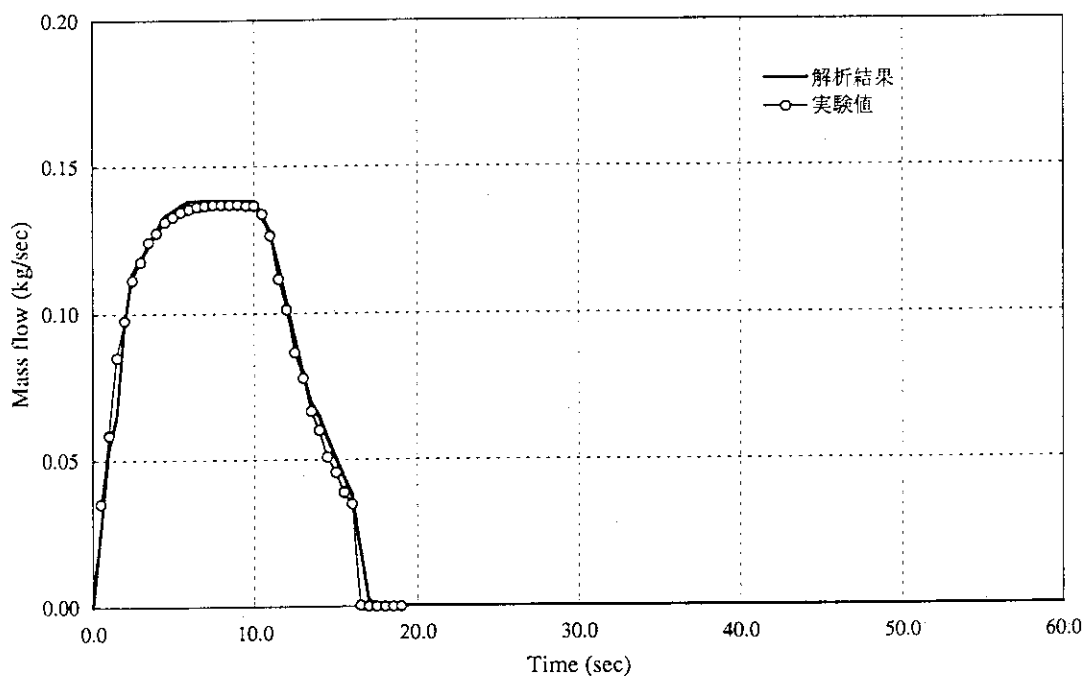


図4.2.3 真空容器内への注入流量変化 (1Tw20Tv25V)

1Tw20Tv25V (初期壁温250℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa、0.2MPa valve open)  
真空容器内ターゲット板中央部の壁面温度

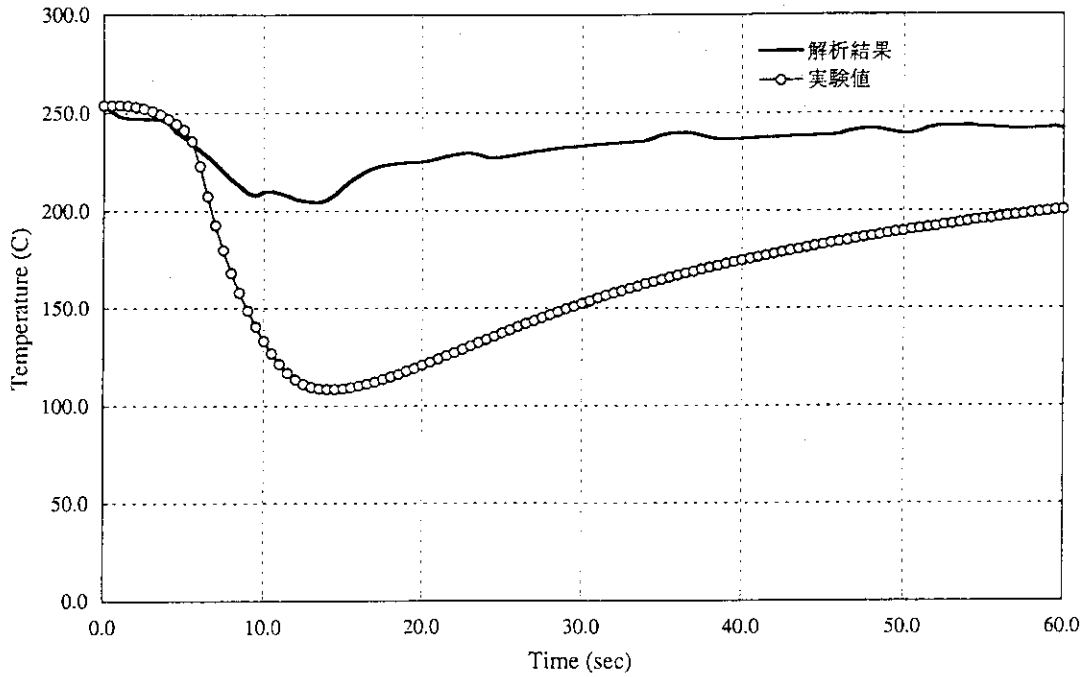


図4.2.4 真空容器内ターゲット板壁面温度変化 (1Tw20Tv25V)

1Tw20Tv25V (初期壁温250℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa、0.2MPa valve open)  
真空容器内中央部側面の壁面温度

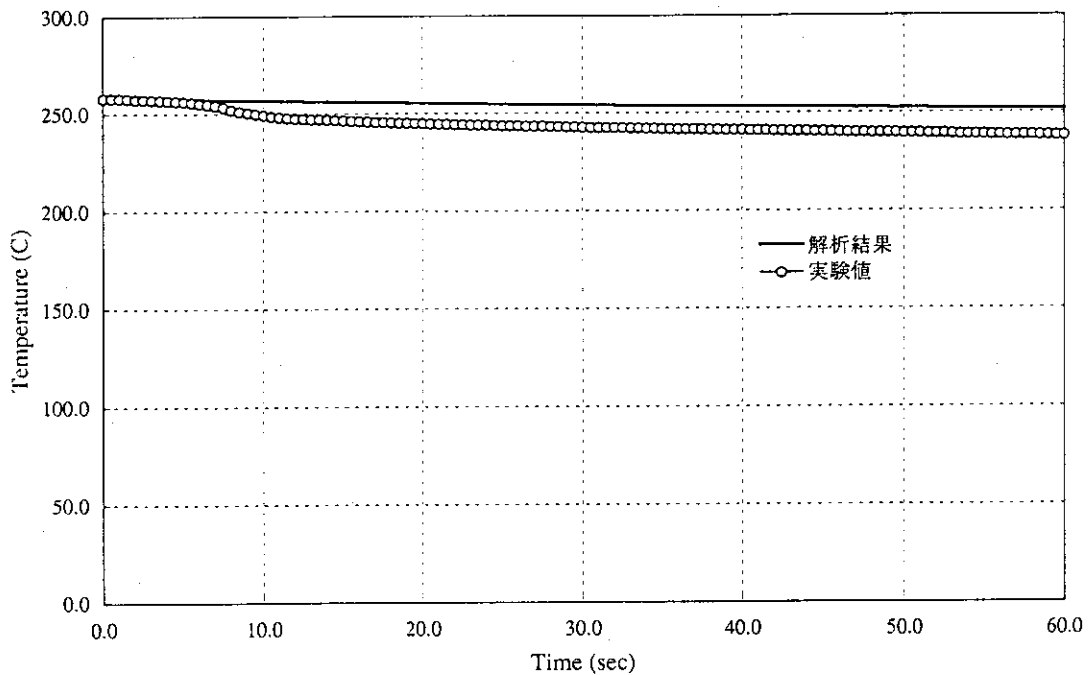


図4.2.5 真空容器内中央部側面の壁面温度変化 (1Tw20Tv25V)

1Tw20Tv25V (初期壁温250℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa、0.2MPa valve open)  
真空容器内雰囲気温度

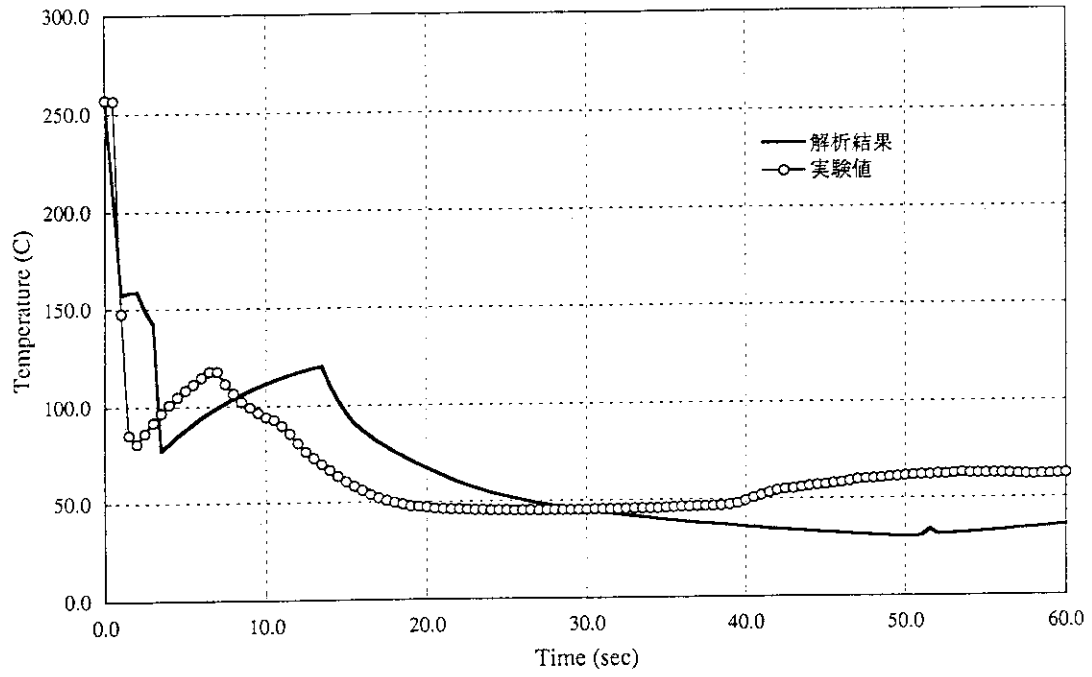


図4.2.6 真空容器内中央部の雰囲気温度変化 (1Tw20Tv25V)

2Tw20Tv10V (初期壁温100℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内圧力

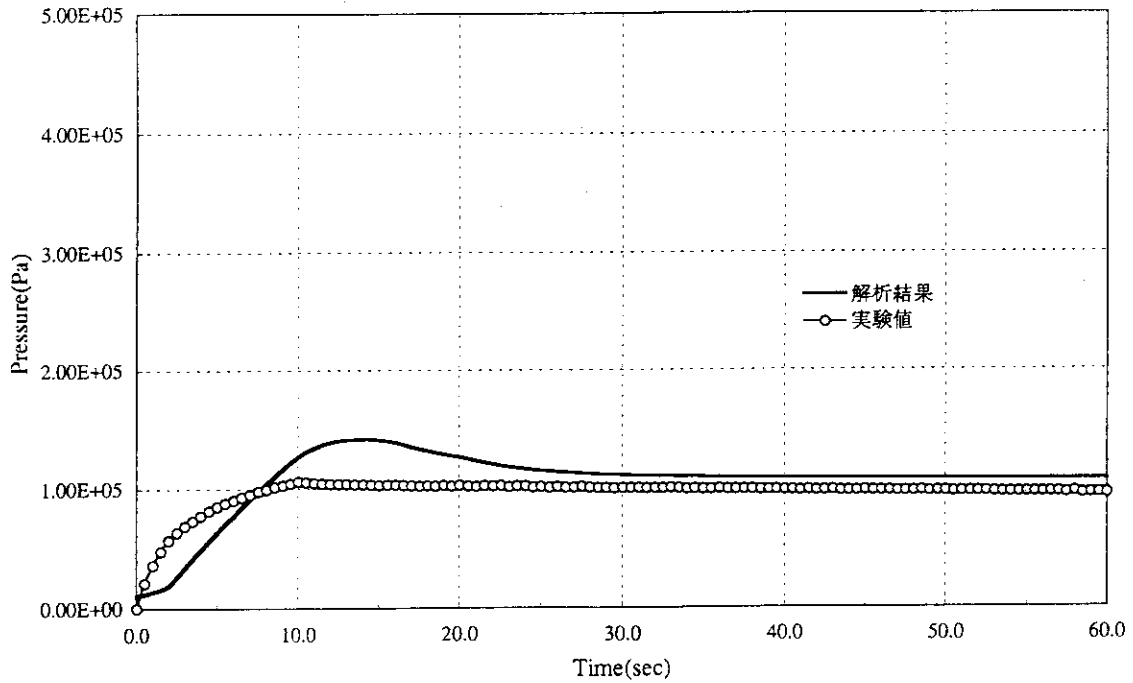


図4.2.7 真空容器内中央部の圧力変化 (2Tw20Tv10V)

2Tw20Tv10V (初期壁温100℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内への注水流量

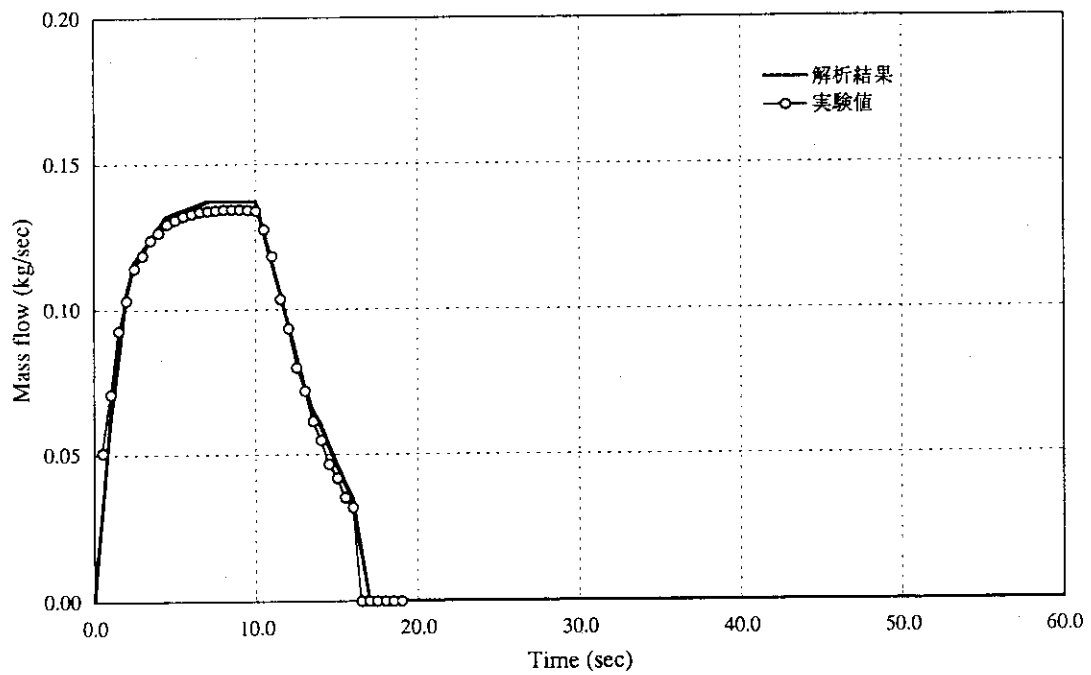


図4.2.8 真空容器内への注入流量変化 (2Tw20Tv10V)

2Tw20Tv10V (初期壁温100℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内ターゲット板中央部の壁面温度

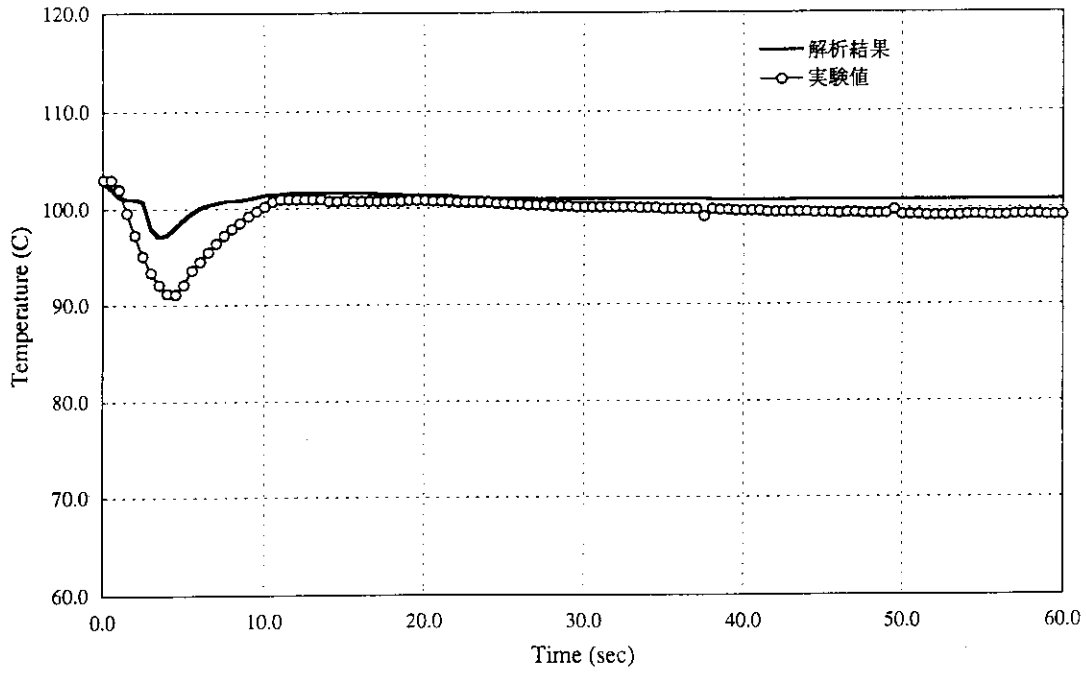


図4.2.9 真空容器内ターゲット板壁面温度変化 (2Tw20Tv10V)

2Tw20Tv10V (初期壁温100℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内中央部側面の壁面温度

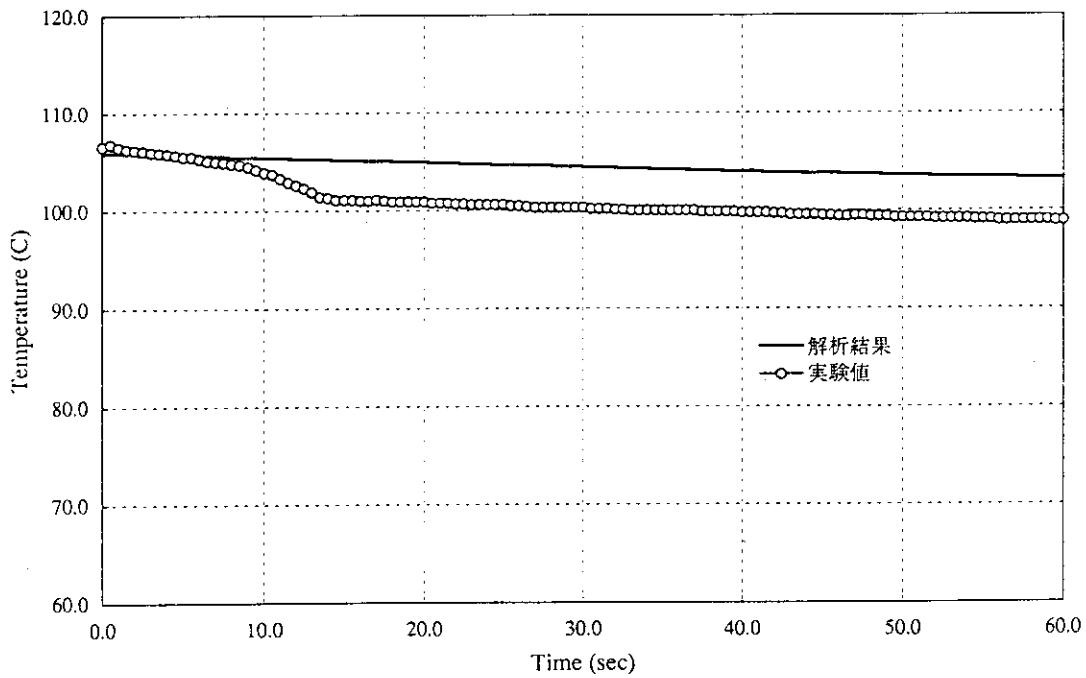


図4.2.10 真空容器内中央部側面の壁面温度変化 (2Tw20Tv10V)



2Tw20Tv10V (初期壁温100℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内雰囲気温度

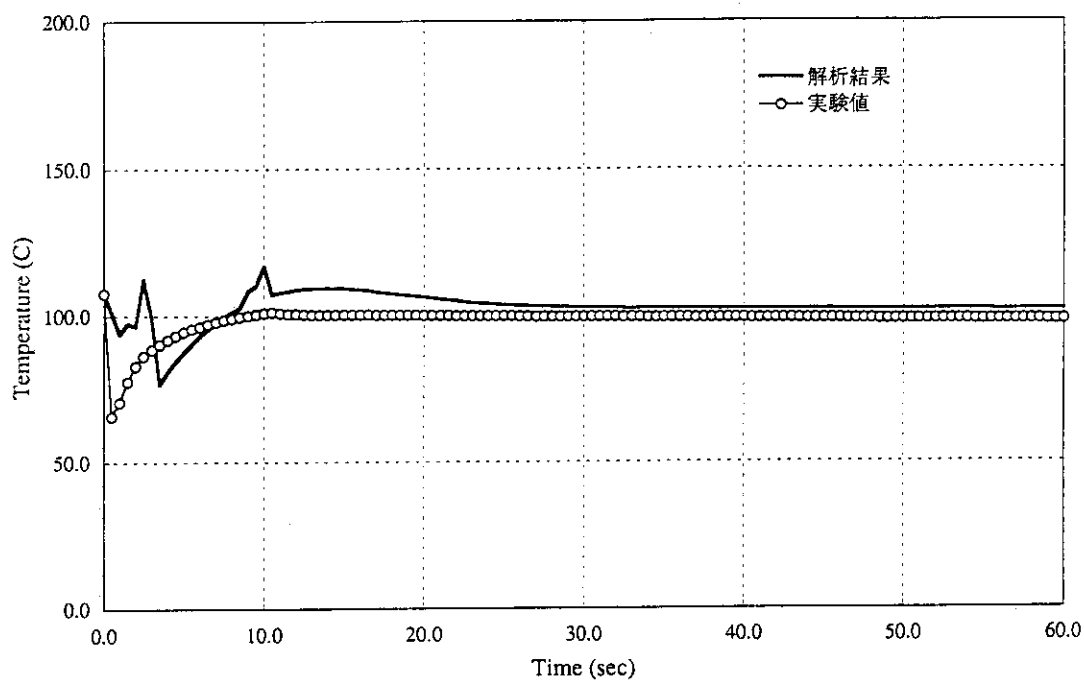


図4.2.11 真空容器内中央部の雰囲気温度変化 (2Tw20Tv10V)

3Tw12Tv5V (初期壁温50℃、初期水温120℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内圧力

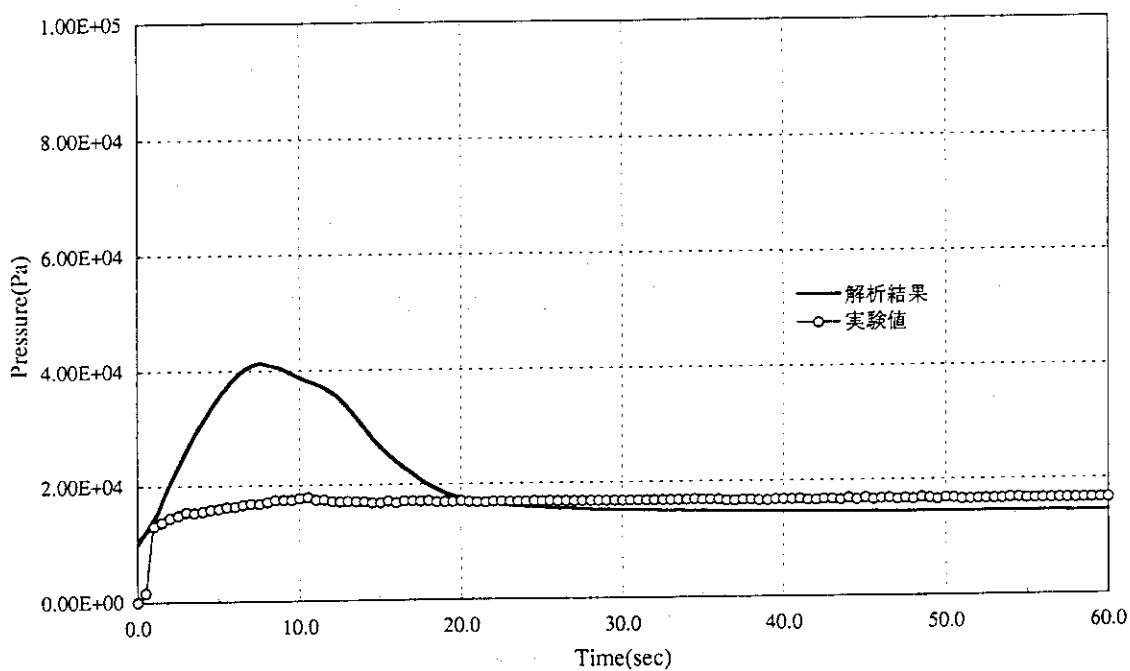


図4.2.12 真空容器内中央部の圧力変化 (3Tw12Tv5V)

3Tw12Tv5V (初期壁温50℃、初期水温120℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内への注水流量

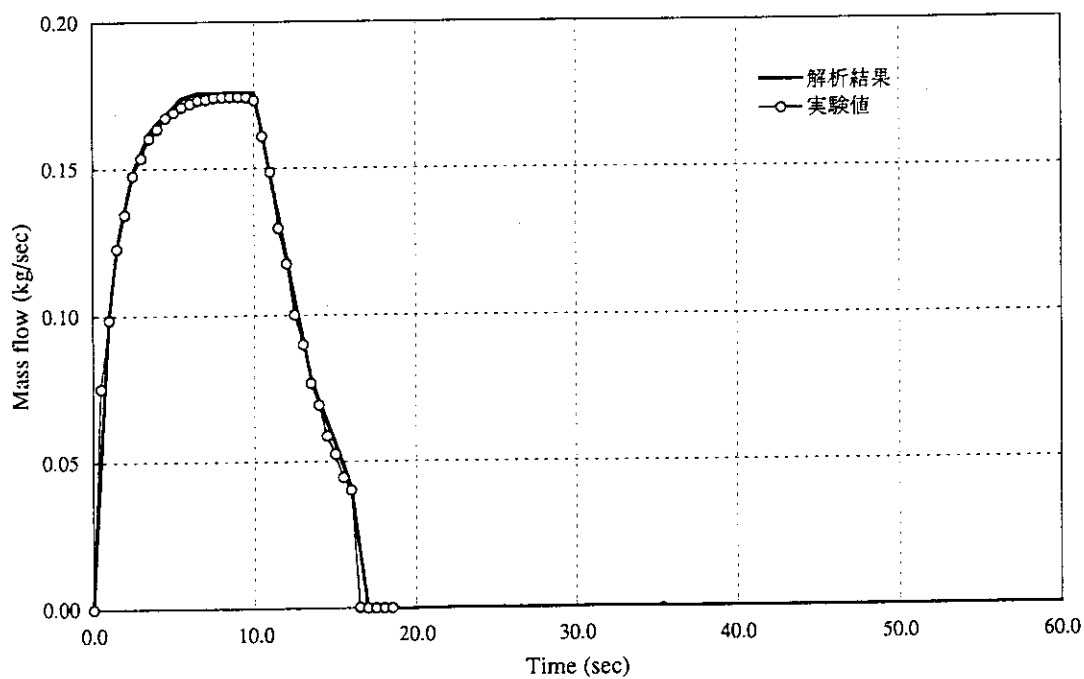


図4.2.13 真空容器内への注入流量変化 (3Tw12Tv5V)

3Tw12Tv5V (初期壁温50℃、初期水温120℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内ターゲット板中央部の壁面温度

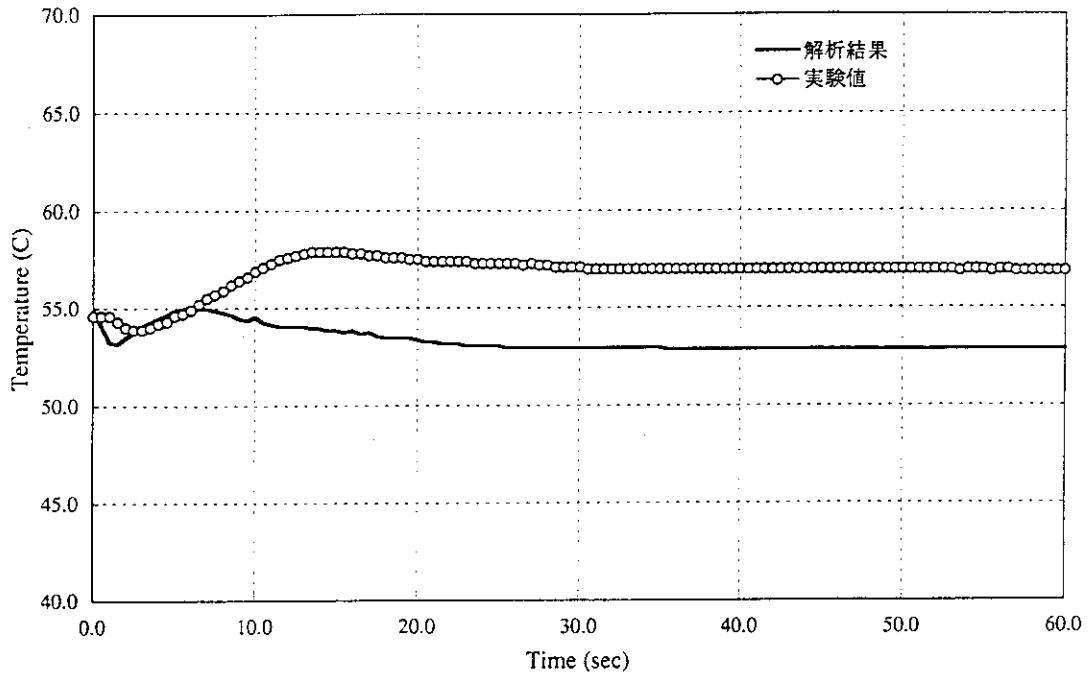


図4.2.14 真空容器内ターゲット板壁面温度変化 (3Tw12Tv5V)

3Tw12Tv5V (初期壁温50℃、初期水温120℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内中央部側面の壁面温度

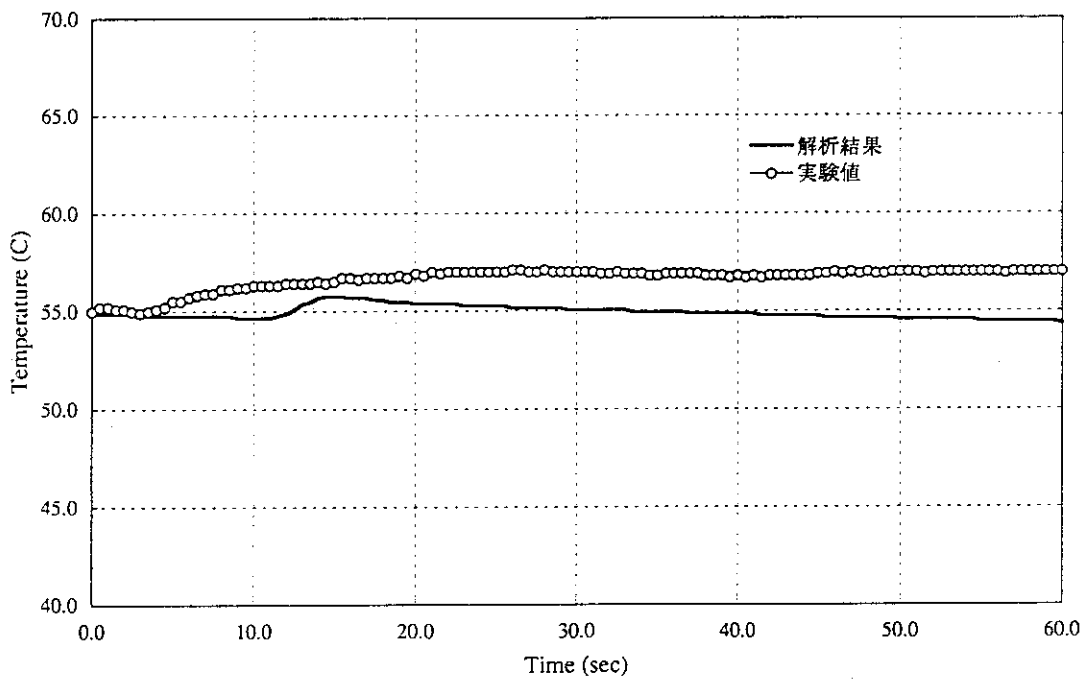


図4.2.15 真空容器内中央部側面の壁面温度変化 (3Tw12Tv5V)

3Tw12Tv5V (初期壁温50℃、初期水温120℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内雰囲気温度

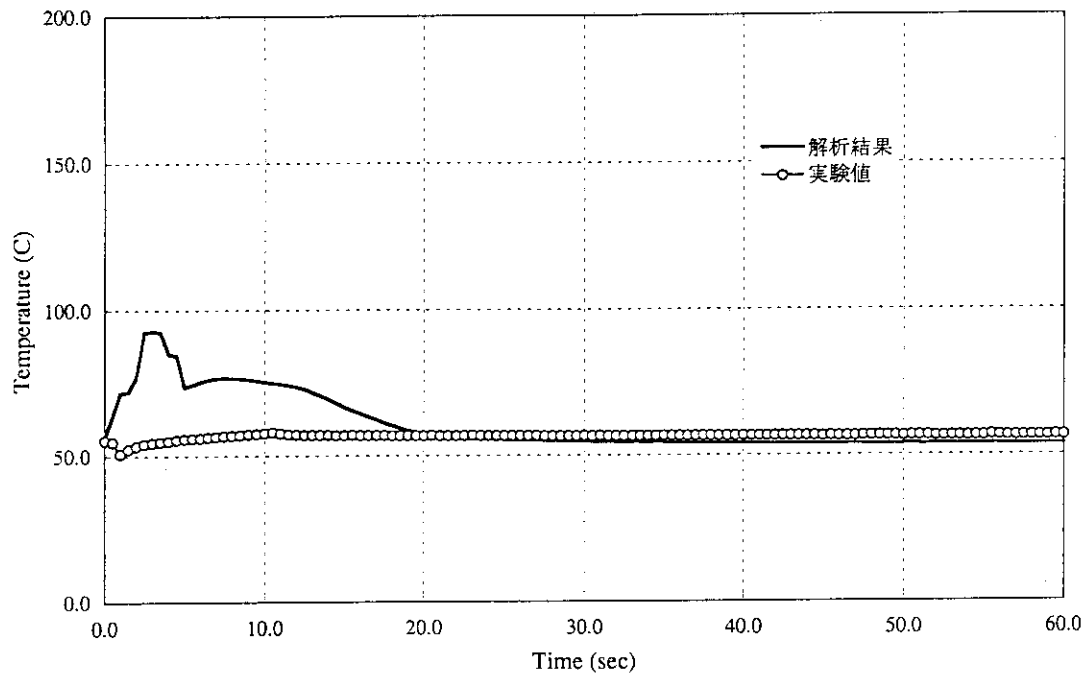


図4.2.16 真空容器内中央部の雰囲気温度変化 (3Tw12Tv5V)

4Tw20Tv25N (初期壁温250℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内圧力

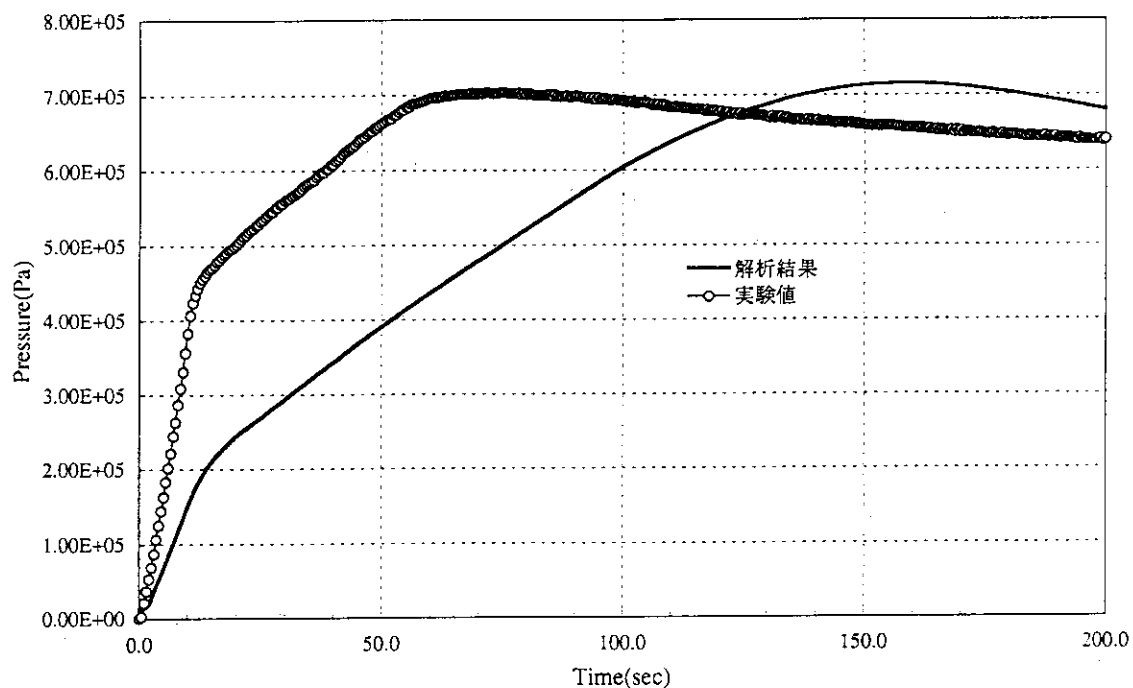


図4.2.17 真空容器内中央部の圧力変化 (4Tw20Tv25N)

4Tw20Tv25N (初期壁温250℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内への注水流量

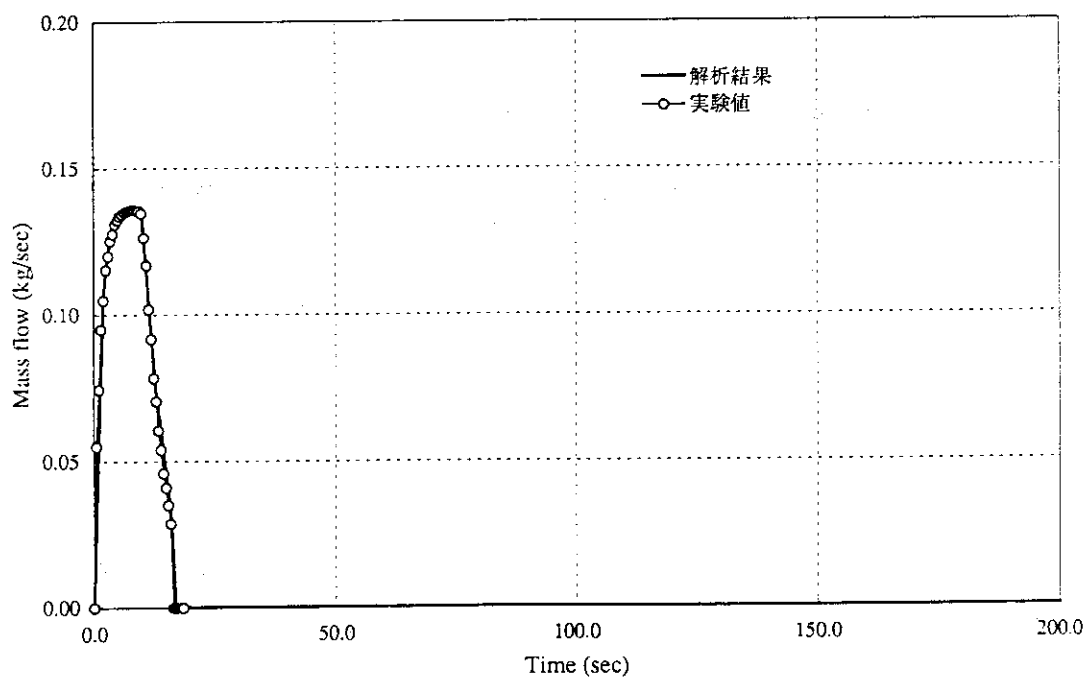


図4.2.18 真空容器内への注入流量変化 (4Tw20Tv25N)

4Tw20Tv25N (初期壁温250℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内ターゲット板中央部の壁面温度

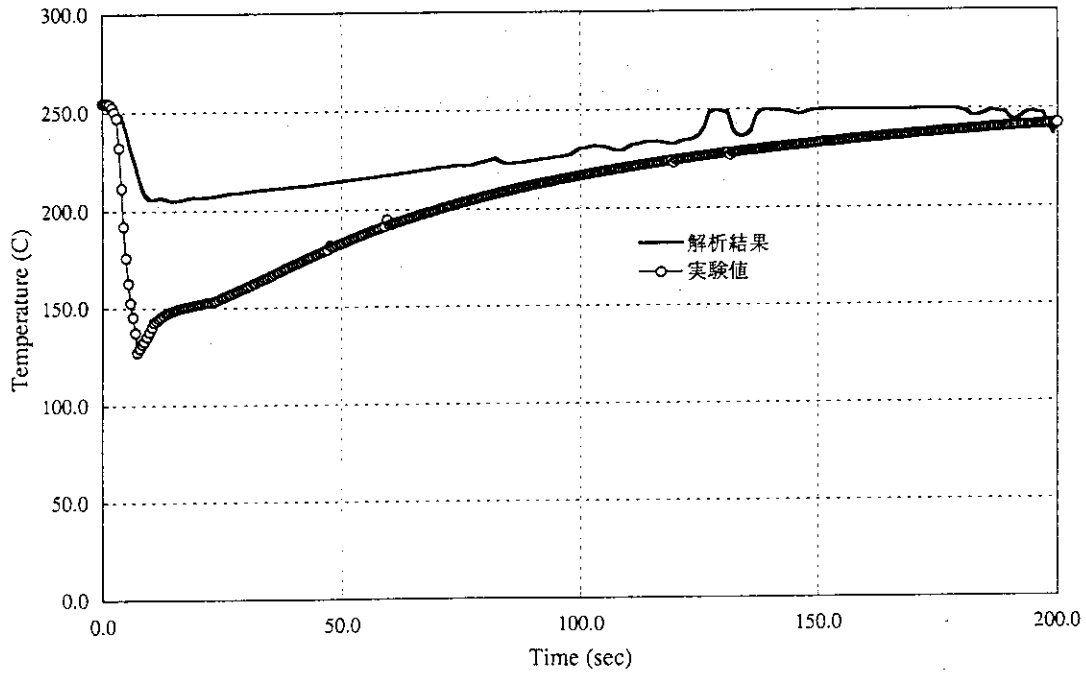


図4.2.19 真空容器内ターゲット板壁面温度変化 (4Tw20Tv25N)

4Tw20Tv25N (初期壁温250℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内中央部側面の壁面温度

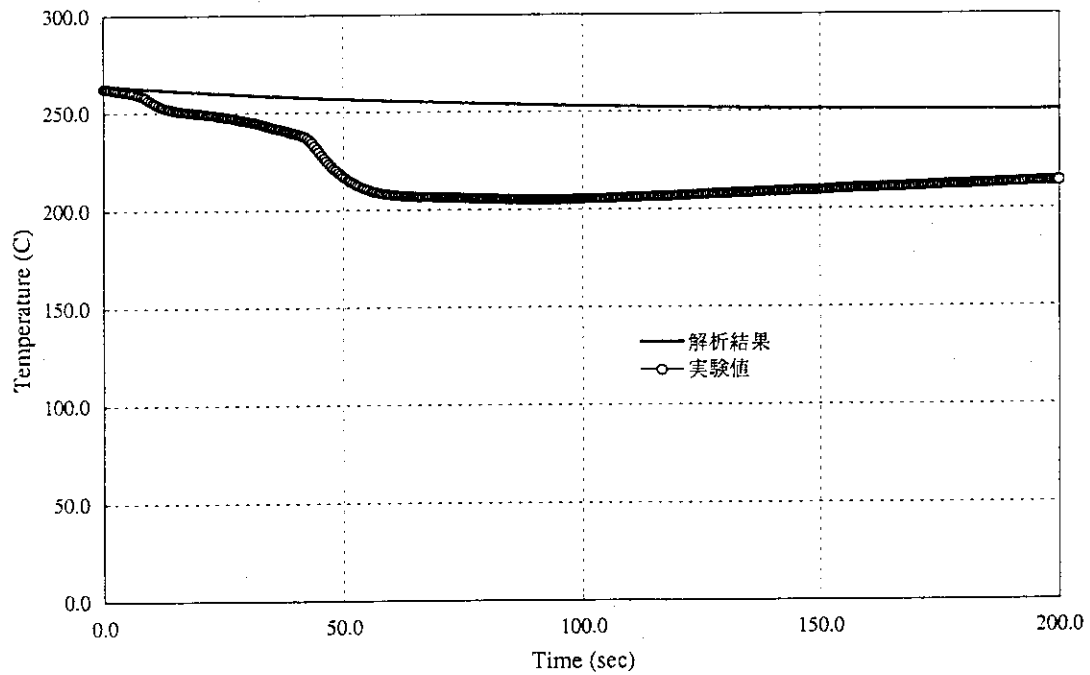


図4.2.20 真空容器内中央部側面の壁面温度変化 (4Tw20Tv25N)

4Tw20Tv25N (初期壁温250℃、初期水温200℃、初期圧力0.01MPa)  
真空容器内雰囲気温度

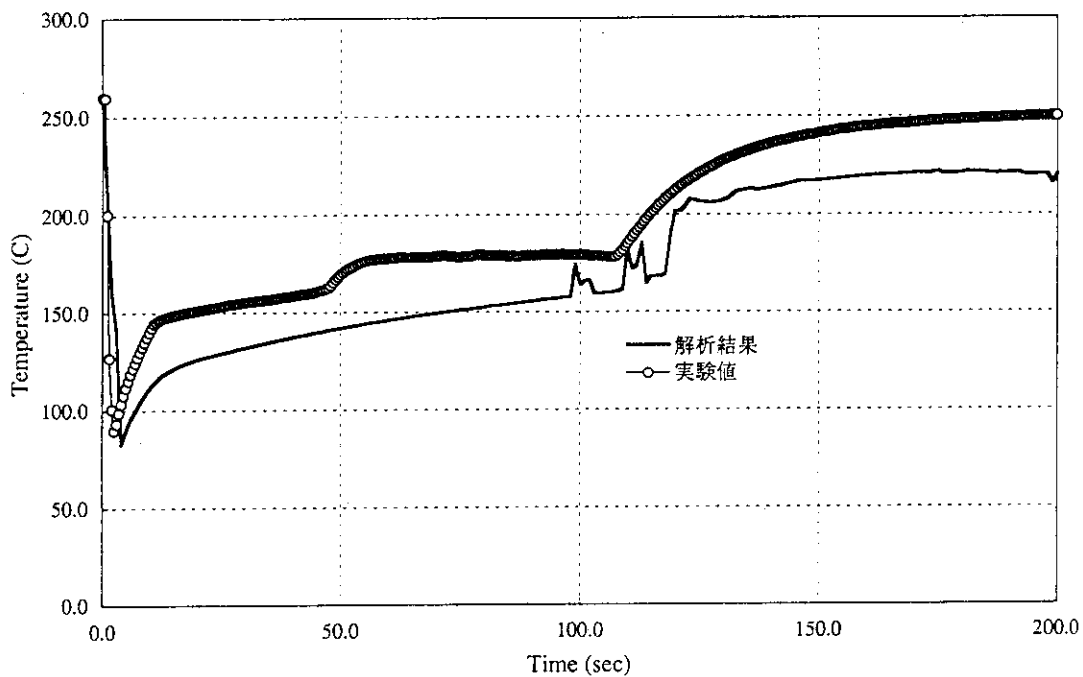


図4.2.21 真空容器内中央部の雰囲気温度変化 (4Tw20Tv25N)

表4.2.1 ICE実験データを用いたブラインド解析ケース

	1Tw20Tv25V	2Tw20Tv10V (5Tw20Tv10N)	3Tw12Tv5V (6Tw12Tv5N)	4Tw20Tv25N
初期圧力 (MPa)	0.01	0.01	0.01	0.01
噴出水温度 (°C)	200	200	120	200
壁面温度 (°C)	250	100	50	250
ラプチャードディスク 開閉	0.2MPaで開	同左	同左	無し
備考		但し、 真空容器内圧力、 0.2MPaに到達せず	同左	



## 5.まとめ

検証用データを用いた解析評価により、以下のコード改良項目の機能を確認し、また、ICE実験データを用いた改良TRAC-BF1コードによる評価結果をまとめた。

- (1) VESSELコンポーネントのセル上面部、底面部のダブルスラブを考慮した解析が可能となった。
- (2) VESSELコンポーネントのセル側面部のダブルスラブ内を複数にメッシュ分割し、メッシュ毎の材質の指定による解析が可能となった。
- (3) 重力方向の可変指定のモデル化により、ICE予備試験体系に沿うようにVESSELコンポーネントを横置きにした場合の解析が可能となった。
- (4) 実験解析では、実験値に比べ高温高压水注入後の圧力上昇が全体的にどのケースにおいても遅くなっている。
- (5) ICE実験装置のプロードダウンタンクを模擬したPIPEコンポーネントの構造材温度、外部温度を20℃とし、構造材と外側境界との熱伝達係数を大きくすることで、隔離弁開放後の圧力挙動が実験値を模擬できることを確認した。
- (6) ICE実験解析を行なっていく上で、初期圧力を実験値と同じ10Paに設定できるようにすること、加熱壁面から容器内への熱伝達モデル等を改良する必要があることが分かった。

## 謝 辞

ICE解析用コードとしてのTRAC-BF1コードを改良するにあたり、東海研の伝熱流動研究室室長の秋本肇氏からはTRAC-BF1コード、GCONVコード並びに、IPLLOTコードのソースルーチンの提供をいただき、また同室の功刀資彰氏、高瀬和之氏からはICE予備実験結果の提供をいただき、貴重な助言を賜りました。ここに謝意を表します。また、(株)東芝、重電技術研究所の大森順次氏、細貝いずみ氏からはTRAC-BF1コードによるICE予備実験解析に関して、多大なる助力を賜りました。ここに謝意を表します。また、TRAC-BF1コードの改良、GCONVコード及び、IPLLOTコードのワークステーションへの導入にあたり、アイ・ティ・ジェイ(株)の榎本雅巳氏をはじめとする皆さまに多大なる助力を賜りました。ここに謝意を表します。最後に、核融合炉システム研究室の室員各位には貴重な助言を賜りました。ここに謝意を表します。

## 5.まとめ

検証用データを用いた解析評価により、以下のコード改良項目の機能を確認し、また、ICE実験データを用いた改良TRAC-BF1コードによる評価結果をまとめた。

- (1) VESSELコンポーネントのセル上面部、底面部のダブルスラブを考慮した解析が可能となった。
- (2) VESSELコンポーネントのセル側面部のダブルスラブ内を複数にメッシュ分割し、メッシュ毎の材質の指定による解析が可能となった。
- (3) 重力方向の可変指定のモデル化により、ICE予備試験体系に沿うようにVESSELコンポーネントを横置きにした場合の解析が可能となった。
- (4) 実験解析では、実験値に比べ高温高压水注入後の圧力上昇が全体的にどのケースにおいても遅くなっている。
- (5) ICE実験装置のプロードダウンタンクを模擬したPIPEコンポーネントの構造材温度、外部温度を20℃とし、構造材と外側境界との熱伝達係数を大きくすることで、隔離弁開放後の圧力挙動が実験値を模擬できることを確認した。
- (6) ICE実験解析を行なっていく上で、初期圧力を実験値と同じ10Paに設定できるようにすること、加熱壁面から容器内への熱伝達モデル等を改良する必要があることが分かった。

## 謝 辞

ICE解析用コードとしてのTRAC-BF1コードを改良するにあたり、東海研の伝熱流動研究室室長の秋本肇氏からはTRAC-BF1コード、GCONVコード並びに、IPLLOTコードのソースルーチンの提供をいただき、また同室の功刀資彰氏、高瀬和之氏からはICE予備実験結果の提供をいただき、貴重な助言を賜りました。ここに謝意を表します。また、(株)東芝、重電技術研究所の大森順次氏、細貝いずみ氏からはTRAC-BF1コードによるICE予備実験解析に関して、多大なる助力を賜りました。ここに謝意を表します。また、TRAC-BF1コードの改良、GCONVコード及び、IPLLOTコードのワークステーションへの導入にあたり、アイ・ティ・ジェイ(株)の榎本雅巳氏をはじめとする皆さまに多大なる助力を賜りました。ここに謝意を表します。最後に、核融合炉システム研究室の室員各位には貴重な助言を賜りました。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) R.W.Shumway et al., TRAC-BF1/MOD1: An Advanced Best Estimate Computer Program for Boiling Water Reactor Transient Analysis, Volume 2: Users Guide, NUREG/CR-4356,EGG-2626, June 1992.
- (2) D.D.Taylor et al., TRAC-BF1/MOD1: An Advanced Best Estimate Computer Program for Boiling Water Reactor Transient Analysis, Volume 1: Model Description, NUREG/CR-4356,EGG-2626, August 1992.
- (3) 大貫 晃 他2名:”ワークステーション版REFLA/TRACコードの開発”、JAERI-M 94-026 (1994) .
- (4) 田辺 豪信 他2名:”Xウィンドウシステム上のCalcompインターフェースライブラリ piflibの開発”、JAERI-M 93-110 (1993) .
- (5) 秋本 肇 他3名:”私信 ”

## 付録1：IBMのEWSでの操作方法（ディレクトリ構造とプログラムの実行方法）

## 1.1 移植プログラムの格納ディレクトリ

今回の作業で移植したプログラムを核融合炉システム研究室のIBM社製EWS (trac) の以下のディレクトリに格納した。

## (1) TRAC-BF1コード関連

/home/kuri/itj/TRAC\_BF1

/input/	bench01.in	: BENCH01入力データ
	bench01.new	: 同上 (ネームリスト)
/output/	bench01.06	: BENCH01計算結果
	bench01.grf	: BENCH01グラフィック
/src/	*.f	: ソースプログラム (サブルーチン毎)
	*	: インクルード
/bin/	tracbf1.exe	: TRAC-BF1実行形式ファイル
/jcl/	TRAC.sh	: TRAC-BF1実行シェルスクリプト

## (2) IPLOT関連

/home/kuri/itj/iplot

/input/	bench01.pl	: BENCH01プロット入力データ
/output/	bench01.ps	: BENCH01プロット出力 ポストスクリプトファイル
/src/	*.f	: ソースプログラム (FORTRAN)
	*.c	: 同上 (C)
	iplot.h	: インクルード
	Makefile	: IPLOT実行形式ファイル作成用メークファイル
/bin/	iplx11_95v4.exe	: IPLOT実行形式ファイル
/jcl/	IPLOT.sh	: IPLOT実行シェルスクリプト

## (3) GCONV関連

/home/kuri/itj/gconv

/input/	ICEE200.dat	: GCONV入力データ
/output/	bench01.IPLOT	: BENCH01 IPLOTファイル
	bench01.lst	: BENCH01 Tag-idリスト
/src/	*.f	: ソースプログラム (サブルーチン毎)
/bin/	gconv.exe	: GCONV実行形式ファイル
/jcl/	GCONV.sh	: GCONV実行シェルスクリプト

## (4) カルコンプ互換ライブラリ関連

/home/kuri/itj/PIFLIB

/lib/	libpiflib.a	: piflibライブラリ
	libggs.a	: ggsライブラリ
/pif-v2.60/	*.c	: piflibソース (C)
	*.h	: piflibインクルード
	Makefile	: piflib作成メークファイル
/ggsx-1.1/	*.f	: ggsソース (FORTRAN)
/bin/	xpif	: xpif <sup>*1</sup> 実行形式ファイル

\*1 xpif: 大型計算機で作成された図形中間ファイルをEWS上で処理するためのユーティリティプログラム

## 1.2 プログラムの実行方法

核融合炉システム研究室のIBMワークステーションTRACでTRAC-BF1コード、GCONV及びIPLOTを実行する方法を以下にまとめる。

## 1.2.1 TRAC-BF1コードの実行方法

TRAC-BF1コードの実行形式ファイルは以下のディレクトリに格納されている。

/home/kuri/itj/TRAC\_BF1/bin/tracbf1.exe

プログラムの実行はTRAC-BF1コード実行用のシェルスクリプトにより行う。TRAC-BF1コード実行用シェルスクリプトは以下のディレクトリに格納されている。

```
/home/kuri/itj/TRAC_BF1/jcl/TRAC.sh
```

従って、/home/kuri/itj/TRAC\_BF1/jclに移動し、次のようにキーボードから入力する。

```
TRAC.sh
```

これによりTRAC-BF1コードが実行される。

但し、実行する前にUNIX標準のviエディタにより、付図1.1に示すTRAC-BF1コード実行用のシェルスクリプトで実行するファイル名を指定しておく必要がある。

もし、これを間違えて以前実行したファイルと同じものを指定してしまうと、前のファイルに上書きされてしまうので注意する必要がある。

付図1.1のTRAC-BF1コード実行用のシェルスクリプトによりINAMEにファイル名（ここでは例として**bench01**）が設定され、これに基づいて入出力ファイルが設定される。

```
setenv INAME bench01
```

付図1.1の例では、以下のようにファイルのアサインが行われプログラムが実行される。

#### (1) 入力ファイル

```
/home/kuri/itj/TRAC_BF1/input/ bench01.in
```

```
bench01.new
```

```
/output/bench01.d13 *1
```

\*<sup>1</sup> リスタートファイル（リスタート計算のとき必要）

## (2) 出力ファイル

```
/home/kuri/itj/TRAC_BF1/output/bench01.06
```

```
bench01.07
```

```
bench01.grf
```

```
bench01.dmp
```

```
bench01.d5
```

```
bench01.d6
```

```
bench01.d7
```

```
bench01.d9
```

```
bench01.d99
```

```
bench01.09
```

```
bench01.59
```

## (3) 実行ファイル

```
/home/kuri/itj/TRAC_BF1/bin/tracbfl.exe
```

従って、実行の際にはシェルスクリプト中の

```
setenv INAME bench01
```

のbench01を計算しようとする入力データの名前に置き換えればよい。このシェルスクリプトはTRAC.shが存在するディレクトリ

```
/home/kuri/itj/TRAC_BF1/jcl
```

を基準に記述しているので、入出力ファイル及び実行形式ファイルのディレクトリを変更する場合は、それに応じてシェルスクリプトを書き換える必要がある。

## 1.2.2 GCONVの実行

TRAC-BF1コードと同様に、GCONV実行用のシェルスクリプトにより実行する。

GCONV実行用のシェルスクリプトは、以下のディレクトリに格納されている。

```
/home/kuri/itj/gconv/jcl/GCONV.sh
```

従って、/home/kuri/itj/gconv/jclに移動し、次のようにキーボードから入力する。

## GCONV.sh

これによりGCONVが実行される。GCONV実行用のシェルスクリプトを付図1.2に示す。ファイルのアサイン方法はTRAC-BF1コードのシェルスクリプトと同様である。

### 1.2.3 IPLOTの実行

TRAC-BF1コード及びGCONVと同様に、IPLOT実行用のシェルスクリプトにより実行する。IPLOT実行用のシェルスクリプトは、以下のディレクトリに格納されている。

```
/home/kuri/itj/iplot/jcl/IPLOT.sh
```

従って、/home/kuri/itj/iplot/jclに移動し、次のようにキーボードから入力する。

```
IPLOT.sh
```

これによりIPLOTが実行される。IPLOT実行用のシェルスクリプトを付図1.3に示す。ファイルのアサイン方法はTRAC-BF1コード及びGCONVのシェルスクリプトと同様である。

IPLOTコードを実行すると、最初に以下のメッセージが画面に表示される。

```
*** Plot Interface Library Version 2.60 ***
```

```
Enter one of the following numbers
```

- 1 : to X-Window
- 2 : to PostScript File
- 3 : to EPS File for TeX
- 4 : to Graphic Data File

```
Select [ 1 - 4 ] :
```

ここで、1～4のいずれかを選択する。メニューの意味は次のとおりである。

- (1) ウィンドウへの図形出力
- (2) PostScriptファイルへの出力
- (3) EPSファイル (Encapsulated PostScript File) への出力
- (4) 大型計算機で処理可能な図形中間ファイル



(2)、(3)または(4)を選択した場合、出力するファイル名を聞いてくるのでそのまま空白を入力する。この場合、デフォルトにより出力ファイル‘pifout.ps’が作成されるが、付図1.3のシェルスクリプトによりファイル名が‘入力名.ps’に変更される。ここで、(1)を選択するとEWSの画面上にプロット画面が出力される。これを直接プリンタ出力することはできないので、(1)の処理はプロット出力を確認することに利用するのがよいと思われる。プリンタに出力する場合には、IPLOTを再実行し、(2)を選択してプロットをPostScriptファイルへ出力した後、lprコマンドを用いてPostScriptファイルをプリンタに出力すればよい。piflibライブラリを用いたプログラムの詳細説明及び利用方法については参考文献(2)を参照のこと。

```
#!/usr/bin/csh
#
setenv INAME bench01
echo " "
echo "#####"
echo "### Executing " $INAME "###"
echo "#####"
echo " "
#cat /dev/null > ../output/$INAME.06
#tail -f ../output/$INAME.06 &
../bin/tracbf1.exe << eof! > ../output/$INAME.06
1
../input/$INAME.in
../output/$INAME.07
../output/$INAME.grf
../output/$INAME.dmp
../output/$INAME.d5
../output/$INAME.d6
../output/$INAME.d7
../input/$INAME.new
../output/$INAME.d9
../output/$INAME.d99
../output/$INAME.09
../output/$INAME.59
../output/$INAME.d13
```

『ファイル名を指定する』

付図1.1 TRAC-BF1コード実行用シェルスクリプト

```
#!/bin/csh
setenv GCNHOME /home/kuri/itj/gconv
setenv BF1HOME /home/kuri/itj/TRAC_BF1/output
#
setenv INAME bench01                               『ファイル名を指定する』
#
#ln -s $GCNHOME/input/$INAME.dat                    fort.55
ln -s $GCNHOME/input/ICEE200.dat                    fort.55
ln -s $BF1HOME/$INAME.grf                            fort.11
#
../bin/gconv.exe
#
mv -i fort.66 $GCNHOME/output/$INAME.lst
mv -i fort.2 $GCNHOME/output/$INAME.IPLOT
Yrm fort.*
```

付図 1.2 GCONV 実行用シェルスクリプト

```
#!/bin/csh
setenv IPLHOME /home/kuri/itj/iplot
setenv INAME bench01
#
ln -s $IPLHOME/output/$INAME.66      fort.66
ln -s $IPLHOME/output/$INAME.9       fort.9
ln -s $IPLHOME/input/$INAME.p1      fort.50
#
../bin/iplx11_95v4.exe
mv pifout.ps $INAME.ps
#
Yrm fort.66
Yrm fort.9
Yrm fort.50
```

『ファイル名を指定する』

付図1.3 I P L O T 実行用シェルスクリプト

## 付録2：改良TRAC-BF1コードの追加入力変数と入力方法

## 2.1 追加入力変数

コード改良にあたり追加した変数の変数名と定義を下表に示す。

変 数 名	定 義
VSLGRV	ベッセルの重力方向
NEWMAT	ベッセルの構造材の材質指定
DTHNEW	ベッセルの構造材のメッシュ幅指定

## 2.2 入力方法

追加した変数の入力方法は、NAMELISTを利用して以下のようにして行う。

**VSLGRV** ベッセルの重力方向を入力する。

(例) 傾けない場合は0.0、90度傾ける場合は1.57080。

**NEWMAT** ベッセルの構造材の材質をメッシュ毎に入力する。必要な入力データ数は  $NASX * NRSX * NTSX * (NODESD - 1)$ 。レベル1のセル1からレベルNASXのセルNRSX\*NTSXまで、セル毎に(NODESD-1)個のデータを通し番号で入力する。

(例)  $NASX=5, NRSX=5, NTSX=4, NODESD=4$ の体系において全てのレベルのセル16に磁石を、セル20にベリリウムを指定する場合は以下のようになる。

$NEWMAT(46)=3*7,$

NEWMAT(58)=3\*9,  
 NEWMAT(106)=3\*7,  
 NEWMAT(118)=3\*9,  
 NEWMAT(166)=3\*7,  
 NEWMAT(178)=3\*9,  
 NEWMAT(226)=3\*7,  
 NEWMAT(238)=3\*9,  
 NEWMAT(286)=3\*7,  
 NEWMAT(298)=3\*9,

DTHNEW ベッセルの構造材の材質をメッシュ毎に入力する。必要な入力データ数は  
 $NASX * NRSX * NTSX * (NODESD - 1)$ 。レベル1のセル1からレベルNASXの  
 セルNRSX\*NTSXまで、セル毎に(NODESD-1)個のデータを通し番号で入力  
 する。

(例)  $NASX=5, NRSX=5, NTSX=4, NODESD=4$ の体系において全てのレベル  
 のセル16に幅1.5mの構造材を、セル20に幅0.6mの構造材を等分割で指定  
 する場合は以下のようなになる。

DTHNEW(46)=3\*5.000D-01,  
 DTHNEW(58)=3\*2.000D-01,  
 DTHNEW(106)=3\*5.000D-01,  
 DTHNEW(118)=3\*2.000D-01,  
 DTHNEW(166)=3\*5.000D-01,  
 DTHNEW(178)=3\*2.000D-01,  
 DTHNEW(226)=3\*5.000D-01,  
 DTHNEW(238)=3\*2.000D-01,  
 DTHNEW(286)=3\*5.000D-01,  
 DTHNEW(298)=3\*2.000D-01,

### 付録3：オリジナルのTRAC-BF1から変更したサブルーチン

#### 3.1 TRAC-BF1コードの修正サブルーチン

今回の作業で、修正したTRAC-BF1コードのサブルーチン名、及びインクルード名とその内容を付表3.1に示す。また、付図3.1に主要なサブルーチンのツリーを示す。

改良TRAC-BF1コードにおける主要な修正及び追加ルーチンを以下に示す。

- ◎ベッセル平面部構造材モデルの追加 (Sub.SLB3DZ-Sub.SBZHT, Sub.SLB1DZ)
- ◎構造材伝熱計算メッシュの個別指定 (Sub.SLB1D, Sub.SLB3D)
- ◎重力方向の可変指定 (Sub.TF3E)

TRAC	INPUT	ALPHTN FDCOMP	SETEOS FBRK FFIL FVLV FTEE FPIP FPMP FCHN FVSL CTFC							(177-178-1の読み込み)
		FREST FPOV FCONT		MSTRCT						
	INT	ICOMP	CICHN CIPIP CITEE CIPMP IFIL IBRK CIVLV CIVSL	ICHN IPIP ITEE IPMP FPROP FPROP IVLV IVSL	CVMM FPROP CVMM FPROP CVMM FPROP CPVV1 VSCV CPVV1 VSCV CVMM FPROP FPROP	MSTRCT CPVV1 VSCV MSTRCT CPVV1 VSCV MSTRCT CPVV1 VSCV MSTRCT CPVV1 VSCV MSTRCT CPVV1 VSCV				(204-205-1の初期値設定)
	CTIN	FPROP	CPVV1 VSCV							(格納容器の初期値設定)
	EXTR									(931-1771kからの書き出し)
	INGRAF									(9377作成用ファイルへの結果出力)
	DMPIT									(931-1用ファイルへの結果出力)
	TCAL	TRANS	PREP PIP1 PMP1 TEE1 VLV1 BRK1 FIL1 PRP3D CNTL OUTER POST PIP3 PMP3 TEE3 VLV3 BRK3 FIL3 PST3D RHZCAL	CHN1 PIP1 PMP1 TEE1 VLV1 BRK1 FIL1 PRP3D CNSYS OUT3D CHN3 PIP3 PMP3 TEE3 VLV3 BRK3 FIL3 PST3D VSL3	PRP1D PRP1D PRP1D PRP1D PRP1D BRKX FILX VSL1 THPUT VSL2 PST1D PST1D PST1D PST1D PST1D VSL3	MPROP MPROP MPROP MPROP MPROP FPROP FPROP SLB1D SLB1DZ BRKOC FILOC TF3E FPROP FPROP FPROP FPROP FPROP FPROP FPROP SLB3D SLB3DZ	MSTRCT MSTRCT MSTRCT MSTRCT MSTRCT CPVV1 VSCV CPVV1 VSCV MPROP HTCOR2 MPROP HTCOR FPROP CPVV1 VSCV CPVV1 VSCV CPVV1 VSCV CPVV1 VSCV CPVV1 VSCV MPROP HEATRE CYLHT2 MPROP HEATRE SBZHT			(9377計算)

新規作成 ; Sub.CYLHT2, Sub.SLB1DZ, Sub.SLB3DZ, Sub.SBZHT, Sub.C8MOVE

付図 3.1 TRAC-BF1コードの主要サブルーチンのツリー



付表3.1 TRAC-BF1コード修正ルーチン

修正ルーチン名	修正内容	備考
QDYN	ブランクコモン領域Aの最大値を変更	インクルード
QPVSL	VESSELの追加変数をPTABに追加	インクルード
ZCTI	VESSELの入力変数PAのエントリに伴う変更	インクルード
ZLCM	ブランクコモン領域ALCMの最大値を変更	インクルード
ANTN	VESSELの入力変数PAのエントリに伴う変更	
C8MOVE	PACKIT全面変更に伴う追加	新規作成
CLEAN	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
CTFC	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
CTIG	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
DMPIT	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
EDIT	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
EXTR	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
FBRK	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
FCHN	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
FCOMP	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
FCONT	フォーマット文エラーの訂正	
FDCRVS	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
FFIL	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
FJPC	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
FP1W	フォーマット文エラーの訂正	
FPMP	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
FSDC	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
FTRB	フォーマット文エラーの訂正	

付表3.1 TRAC-BF1コード修正ルーチン(続き)

修正ルーチン	修正内容	備考
FVLV	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
FVSL	PA読み込み部分の訂正。実引数の長さを仮引数の長さに合わせる。	
GRAF	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
HTCOR2	ICHF=0オプションに関する修正	
IGBRAK	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
IGCHAN	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
IGCOMP	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
IGFILL	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
IGPUMP	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
IGRAF	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
IGTEE	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
IGVLVE	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
IGVSSL	出力変数追加。実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
INGRAF	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
INIT	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
INPUT	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
ITEE	フォーマット文エラーの訂正	
MSTRCT	物性値の割り当てに関する修正	
OUTER	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
PACKIT	REFLA/TRACで整備されたルーチンに変更	全面交換
PMPX	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
POST	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
PREP	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	

付表3.1 TRAC-BF1コード修正ルーチン(続き)

修正ルーチン	修正内容	備考
REBRK	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
RECHN	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
RECON	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
REFIL	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
REPMP	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
RETEE	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
REVLV	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
REVSL	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
S3DPTR	VESSELの追加変数のポインタを設定	
SBZHT	軸方向スラブの温度計算を行う	新規作成
SLB1D	構造材伝熱計算メッシュの個別指定に伴う変更 及び仮引数の順序の誤りを訂正	
SLB1DZ	軸方向スラブの表面熱伝達率を求める	新規作成
SLB3D	構造材伝熱計算メッシュの個別指定に伴う変更 及び配列DSEMSのディメンションの誤りを訂正	
SLB3DZ	軸方向スラブの温度計算を行う	新規作成
TF3I	エネルギー方程式に軸方向スラブからの熱量を考慮する	
TF3E	重力方向可変してに伴う変更	
TRAC	ファイルオープン文のステータスのUNKNOWNに変更	
VSL1	SLB1DZをCALLするように変更	
VSL3	SLB3DZをCALLするように変更	
WARRAY	8バイト変数ARRIDを文字型10バイトに変更	
WECHN	フォーマット文エラーの訂正	

付表3.1 TRAC-BF1コード修正ルーチン(続き)

修正ルーチン	修正内容	備考
WEHEX	フォーマット文エラーの訂正	
WIARR	8バイト変数ARRIDを文字型10バイトに変更	
WRCOMP	実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	
WVSL	出力変数追加。実引数の長さを仮引数の長さに合わせる	