

JAERI-Data/Code

JP9950519

99-038



多次元二流体モデルコード ACE-3D の改良と
受動的余熱除去系水プール内熱流動解析への適用

1999年8月

大貫 晃・加茂英樹^{*}・秋本 肇

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、お申し越し下さい。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）で複数による実費領布
を行っております。

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.

多次元二流体モデルコード ACE-3D の改良と 受動的余熱除去系水プール内熱流動解析への適用

日本原子力研究所東海研究所エネルギーシステム研究部

大貫 晃・加茂 英樹*・秋本 肇

(1999年7月1日受理)

受動的安全機器設計を行う上で重要な二相自然対流現象を詳細に解析するツールを整備するため、報告者が開発した多次元二流体モデルコード ACE-3D を改良した。改良版では、乱流熱流束モデルと熱構造体との連成解析機能を追加し、相変化を伴う熱的に非平衡な流れの解析及び外部との熱交換を伴う体系の解析を可能とした。蒸気が水プール中へ噴出する蒸気噴流の実験データを取得し、そのデータを用いて改良機能を検証した。日本原子力研究所で設計された受動的安全炉 JPSR の余熱除去系水プール内の熱流動解析へ適用し、同プールの除熱性能を検討した。その結果、以下のことがわかった：

- (1) 蒸気噴流を含む水プール内の二相自然対流の予測には乱流熱流束モデルの導入が不可欠である。改良した ACE-3D コードにより、水プール内の二相自然対流現象を精度よく予測できる。
- (2) JPSR 余熱除去プールの除熱能力は高く、設計で要求されている熱量は十分除去できる。

Improvement of Multi-dimensional Two-Fluid Model Code ACE-3D and Application to Thermal-Hydraulic Analysis of Water Pool for Passive Residual Heat Removal

Akira OHNUKI, Hideki KAMO* and Hajime AKIMOTO

Department of Nuclear Energy System
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 1, 1999)

In order to develop a detailed analytical tool for gas-liquid two-phase natural circulation taking place in passive safety equipment, we improved ACE-3D code which is based on multi-dimensional two-fluid model. The code can evaluate effects of turbulent heat flux and execute coupled analyses with heat conduction structures. The applicability of the improved functions were verified using data from steam jet experiments in water pool which were obtained in this study. And, the improved ACE-3D code was applied to the analysis of water pool for passive residual heat removal of JPSR, which is a passive safety reactor designed in Japan Atomic Energy Research Institute, in order to evaluate the performance of the heat removal. The followings were revealed from this study:

- (1) The introduction of the turbulent heat flux model is indispensable for the prediction of two-phase natural circulation in water pool with steam jet. The improved ACE-3D code has a high predictive accuracy for the phenomena.
- (2) The residual heat removal capability of water pool in JPSR is high and it is possible to remove the amount of heat which is required from a design criterion.

Keywords: Numerical Simulation, Two-phase Flow, Two-fluid Model, Passive Safety, Residual Heat Removal, Phase Change, Constitutive Equation, Steam Jet

* KSD Ltd.

目 次

1. 緒 言	1
2. 受動的安全機器詳細設計のための改良	2
2.1 乱流熱流束モデルの導入及び熱構造体の付加	2
2.2 プログラム構造の変更	4
3. 水プール内蒸気噴流実験による検証	15
3.1 実験装置及び実験条件	15
3.2 実験結果	15
3.3 検証結果	16
4. 受動的余熱除去系水プール内熱流動解析への適用	37
4.1 JPSR 余熱除去系水プールの概要	37
4.2 水プール内熱流動解析への適用	37
5. 結 言	47
謝 辞	47
参考文献	48
付録A. 構成方程式の内容	49
付録B. 入力マニュアル	73
付録C. 蒸気噴流実験解析用入力データ	89
付録D. JPSR 水プール内熱流動解析用入力データ	99

Contents

1. Introduction	1
2. Improvements for Detailed Design of Passive Safety Equipment	2
2.1 Introduction of Turbulent Heat Flux Model and Installation of Heat Conduction Module	2
2.2 Change of Program Structure	4
3. Verification by Experiments of Steam Jet in Water Pool	15
3.1 Experimental Rig and Experimental Conditions	15
3.2 Experimental Results	15
3.3 Verified Results	16
4. Application to Analysis in Water Pool for Passive Residual Heat Removal ..	37
4.1 Outline of Water Pool for Residual Heat Removal in JPSR	37
4.2 Application to Analysis in Water Pool	37
5. Concluding Remarks	47
Acknowledgment	47
References	48
Appendix A. Description of Constitutive Equations	49
Appendix B. Usage Manual of ACE-3D	73
Appendix C. Input List for Steam Jet Experiment	89
Appendix D. Input List for JPSR Water Pool	99

1. 緒 言

近年、重力等の自然の力を積極的に活用した受動的安全設備を有する次世代軽水炉の開発研究が進められてきた。炉型としては米国ウエスティングハウス社の AP600¹⁾、ゼネラルエレクトリック社の SBWR²⁾、ドイツシーメンス社の SWR1000³⁾ 等があげられ、我が国でも PWR 電力 5 社と三菱重工による設計研究、BWR 電力 5 社と原電、BWR メーカによる設計研究、日本原子力研究所（原研）による設計研究などが実施されている^{4) - 6)}。

受動的安全設備では、ポンプなどの能動的機器の代替として、自然循環や自然対流を利用する受動的安全機器の導入が検討されている。原研で設計を進めた受動的安全炉 JPSR(JAERI Passive Safety Reactor)⁶⁾ の重力注水プールを例にとると、事故時の 1 次系内や格納容器内の余熱を自然循環で重力注水プールへ伝え、プール内の自然循環により格納容器外に設置された空冷塔に連結した冷却管に余熱を伝えるシステムとなっている。このような受動的安全機器では、ポンプなどの能動的機器に比べて駆動力が小さいため、その成立性と信頼性を検証するにはシステム各部での圧力損失や温度成層化の程度、気泡の体積割合(ボイド率)等を高精度に評価する必要がある。

構造物の林立する圧力容器内や 1 次系配管内の評価は既存炉に対して予測精度が検証されている REFLA/TRAC⁷⁾ 等のシステム解析コードで対応できるが、重力注水プールの様な大空間内の解析では、熱や運動量の拡散の影響を評価する必要があり、REFLA/TRAC コードでは対応できない。報告者らはまず PHOENICS コードに気泡流のモデルを組み込み、JPSR の重力注水プール内の解析を試みた⁸⁾。本解析では蒸気凝縮が十分行われず蒸気がプール水面まで達し、余熱除去能力に問題のある結果を得たが、拡散項が含まれていなかつたことが大きな影響を与えたと推測された。この結果の妥当性は拡散項の影響も含め実験データで検証する必要があるが、拡散項をモデル化するにはソルバーの変更も必要となり、非公開の PHOENICS コードでは困難であった。そこで報告者は運動量の拡散を評価できる多次元二流体モデルコード ACE-3D を開発し、断熱体系ではあるが大口径垂直管内の気泡流の多次元解析に適用できることを示してきた^{9) - 11)}。この ACE-3D コードを相変化を伴う熱的に非平衡な二相乱流場での解析に拡張するには、熱的な拡散を取り扱うために乱流熱流束のモデルを導入する必要がある。また、重力注水プール等の受動的安全機器では管群の熱交換器が使用されており、熱交換器の伝熱管壁の熱伝導と伝熱管内外の流体とが連成して解けるようにすることで設計解析に対応できるようになる。

本研究では、ACE-3D コードを受動的安全機器の設計ツールとして本格的に活用するため、乱流熱流束の評価や熱構造体との連成解析を可能とする改良を行う。そして、蒸気の噴出する水プール中の多次元データを取得し、改良機能の適用性を検証する。さらに、JPSR の余熱除去系水プール内の多次元熱流動解析へ適用し、同プールの除熱性能を検討する。

第 2 章では、ACE-3D コードの改良点と変更したプログラム構造について述べる。第 3 章では、水プール内へ噴出する蒸気噴流の実験とそのデータを使った改良機能の検証結果を述べる。第 4 章では、改良した ACE-3D コードにより JPSR の余熱除去系水プールの除熱性能を検討した結果を示す。

2. 受動的安全機器詳細設計のための改良

2.1 乱流熱流束モデルの導入及び熱構造体の付加

本コードで扱う基礎方程式は二流体モデルによる3次元の方程式であり、以下に示すものを採用した。なお、座標系としては3次元の直交座標系または円筒座標系を取り扱うことができる。

気相の質量保存式

$$\frac{\partial \alpha_g \rho_g}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_g \rho_g \vec{V}_g) = \Gamma \quad (1)$$

液相の質量保存式

$$\frac{\partial \alpha_\ell \rho_\ell}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_\ell \rho_\ell \vec{V}_\ell) = -\Gamma \quad (2)$$

気相の運動方程式

$$\frac{\partial \vec{V}_g}{\partial t} + \vec{V}_g \cdot \nabla \vec{V}_g = -\frac{1}{\rho_g} \nabla P - \frac{\vec{\tau}_{ig}}{\alpha_g \rho_g} - \frac{\Gamma^+}{\alpha_g \rho_g} (\vec{V}_g - \vec{V}_\ell) + \frac{\nabla \vec{\tau}_g}{\alpha_g \rho_g} + \vec{g} \quad (3)$$

液相の運動方程式

$$\frac{\partial \vec{V}_\ell}{\partial t} + \vec{V}_\ell \cdot \nabla \vec{V}_\ell = -\frac{1}{\rho_\ell} \nabla P - \frac{\vec{\tau}_{i\ell}}{\alpha_\ell \rho_\ell} - \frac{\Gamma^-}{\alpha_\ell \rho_\ell} (\vec{V}_g - \vec{V}_\ell) + \frac{\nabla \vec{\tau}_\ell}{\alpha_\ell \rho_\ell} + \vec{g} \quad (4)$$

気相のエネルギー保存式

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_g \rho_g e_g) + \nabla \cdot (\alpha_g \rho_g e_g \vec{V}_g) = -P \left[\frac{\partial \alpha_g}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_g \vec{V}_g) \right] + q_{wg} + q_{ig} + \Gamma h_{gs} + \nabla \cdot (a_{ig} \rho_g C_{pg} \nabla T_g) \quad (5)$$

液相のエネルギー保存式

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_\ell \rho_\ell e_\ell) + \nabla \cdot (\alpha_\ell \rho_\ell e_\ell \vec{V}_\ell) = -P \left[\frac{\partial \alpha_\ell}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_\ell \vec{V}_\ell) \right] + q_{w\ell} + q_{i\ell} - \Gamma h_{es} + \nabla \cdot (a_{i\ell} \rho_\ell C_{pe} \nabla T_\ell) \quad (6)$$

ここで、添え字 g は気相、 ℓ は液相を示す。 α_k は、注目している相($k = g$ または $k = \ell$)の体積率である。 ρ は密度、 e は内部エネルギーを表わす。 h_{gs} は気相の飽和エンタルピー、 h_{es} は液相の飽和エンタルピーである。 a_{ik} 、 C_{pk} 、 T_k はそれぞれ注目している相の乱流熱拡散率、比熱、温度である。 P は両相の圧力、 \vec{V}_k は各相の速度である。

基礎式において前報⁹⁾から新たに付け加わったものは、 k 相への壁面熱流束 q_{wk} (文献 9 では基礎式の中に含まれているがコーディング上はダミーであった)及び乱流熱流束項 $\nabla \cdot (a_{ik} \rho_k C_{pk} \nabla T_k)$ である。乱流熱流束の評価では乱流プラントル数 Pr_{ik} のモデルを導入した。現状では一定値とし、乱流熱拡散率 a_{ik} と以下の関係がある。

$$\Pr_{ik} = \frac{v_k^t}{a_{ik}} \quad (7)$$

次に、 Γ は相変化量で、ジャンプ条件から

$$\Gamma = -\frac{q_{ig} + q_{il}}{h_{gs} - h_{ls}} \quad (8)$$

ここで、

$$q_{ik} = h_{ik} A_i \frac{T_{sat} - T_k}{Vol} \quad (9)$$

h_{ik} は、界面熱伝達係数であり、 A_i は界面積を表わす。 Vol はメッシュの体積である。 T_{sat} は飽和温度である。 Γ^+ は、正(蒸発の場合)のとき、その値に等しく、負の時 0 とするものである。同様に Γ^- は、負のとき(凝縮の場合)、その値に等しく、正のとき 0 とするものである。

$\vec{\tau}_{ik}$ は界面にはたらくさまざまな応力項であり、

$$\vec{\tau}_{ik} = C_i (\vec{V}_k - \vec{V}_{k'}) |\vec{V}_k - \vec{V}_{k'}| + \vec{\tau}_{ik}^{lift} + \vec{\tau}_{ik}^{td} + \vec{\tau}_{ik}^{wall} + \vec{\tau}_{ik}^{add} \quad (10)$$

と与えられる。 k' は注目している k と異なる相を表す。第 1 項は界面での摩擦項であり、 C_i は界面せん断応力係数である。第 2 項は流れに垂直に働く揚力項である。第 3 項は、液相の乱流の効果により、気泡が拡散する効果を表わす項である。第 4 項は、壁近傍で気泡を壁から離す様に働く力である。最後の項は、気泡の付加質量項である。 C_i を除く各項の具体的な内容は既報⁹⁾ で説明した。 C_i については後述する。

$\vec{\tau}_k$ はせん断応力項であり、直交座標系の場合、

$$\vec{\tau}_k = \alpha_k \rho_k v_k^t \left(\frac{\partial V_{k,i}}{\partial x_j} + \frac{\partial V_{k,j}}{\partial x_i} \right) \quad (11)$$

と与えられる。ここで、添え字 i, j は空間成分を表す。粘性係数 v_k^t は二相乱流モデルから計算される。二相乱流モデルの詳細は既報⁹⁾ にあるが、単相流における $k - \epsilon$ モデルを二相流に拡張したものであり、乱流エネルギーは液相の流速分布から生成されるものと気泡の存在により誘起されるものとの二つの成分よりなるとしている。乱流モデルから計算される粘性係数を適用するのは現状では液相に対してのみであり、気相は非粘性または層流モデルとした。

k 相への壁面熱流束 q_{wk} は、

$$q_{wk} = h_{wk} A_{wk} \frac{T_w - T_k}{Vol} \quad (12)$$

で与えられる。 h_{wk} は、壁面熱伝達率であり、 A_{wk} は伝熱面積を表わす。

ここまで出てきた C_i や h_{ik} 、 A_i 及び h_{wk} は構成方程式と呼ばれ、二流体モデルの予測精度に大きな影響を与える。開発したコードで採用している種々の構成方程式の内容を付録 A にまとめた。基本的な相関式は REFLA/TRAC コード⁷⁾ のものであるが、スラグ気泡の最大径は片岡らの研究^{1,2)} を参考に安定性の条件から制限した。

本コードでは新たに熱構造体を設定できるようにした。この熱構造体は、流体の領域が直交座標系ならば、スラブとして扱われ、流体が円筒座標系ならば、円筒として扱う。熱構造体内の熱伝導は 1 次元で扱う設定と共に、3 次元の熱伝導を扱うこともできるようにした。

非定常熱伝導方程式は円筒座標系の場合に以下の式となる。

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{1}{r} k \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q \quad (13)$$

ここで、 ρ 、 C および k は、それぞれ、密度、比熱および熱伝導率である。 q は発熱密度である。3 次元熱伝導を考える場合の境界条件は、熱伝導体の上面および下面では断熱、内面および外面では、熱伝達率を与えるものとした。流体と接する面での熱伝達率は一定値とすることができるが、付録 A に示した各種相関式によっても計算でき、その場合は沸騰曲線の考慮もできる。

2.2 プログラム構造の変更

サブルーチンツリーを図 2.1 に示す。また、各サブルーチンでの簡単な処理概要を表 2.1 にまとめる。ツリー図でのコロン(:)の前後でサブルーチン名が異なる場合は右側のサブルーチンに左側のものが結合していることを表わしている。本プログラムは処理内容から入力データの読み込みや各種初期設定を行う部分 (rdcard, input 及び init 以下のサブルーチン群)、計算結果をリスト出力や図形出力ファイルに書き出す部分、及び trans 以下で行っている数値計算の部分に別れる。ただし、2 番目の出力関係のサブルーチンはツリー上は 1 番目及び 3 番目のカテゴリーの中に分散している。

今回開発したコードではベースとした ACE-3D コードに以下の機能が加わり、関係するルーチンが加わった(括弧内にサブルーチン名を記す)：

- 解析体系内の任意位置への障害物の設定 (robs)
- 各種境界条件の時系列テーブルによる設定 (rfbtab)
- 热構造体との連成解析 (rhtstr, rhtst1, ihtstr, htcor, htstr3 等)
- リスタート計算機能 (rdumpf, dumpf)

trans 以下の数値計算部分は、

- (1) タイムステップのコントロールを行う timstp 以下のサブルーチン群、
- (2) 各種構成式の計算及び数値計算の初期設定を行う vssl1 以下のサブルーチン群、
- (3) 各保存式を解く vssl2 以下のサブルーチン群、及び
- (4) 各種物性値設定や熱伝導方程式を解く vssl3 以下のサブルーチン群、

の 4 つに大きく別れる。この中で数値計算の核となる部分は(3)の tf3d で始まるサブルーチン群であるがこの内容については既報と同様であり、時間進行は半陰解法で解いていく。新たな数値計算をする熱伝導方程式の解は prepss の段階と postpass の段階の 2 段階に別れる。prepss の段階は(2)のサブルーチン htstr1 で統括され、postpass の段階は(4)のサブルーチン htstr3 によりコントロールされる。サブルーチン htstr1 では、熱伝達率を計算する。流体と接する場所での熱伝達率はサブルーチン htcor により計算される。サブルーチン htstr3 では、熱伝導方程式を 1 ステップ積分する。時間進行は完全陰解法を採用した。

二流体モデルによる計算の予測精度は界面せん断力や熱伝達率といった各種構成方程式の

精度に大きく依存する。前節で述べたように本コードで採用している構成方程式の内容を付録 A にまとめた。また本コードの入力マニュアルを付録 B に示す。

表 2.1 改良した ACE-3D コードの各サブルーチン処理概要

サブルーチン名	処理概要
bacit	圧力の増分に関する全体方程式の解を各セルの圧力に加え、新しい圧力を求める
backup	収束に失敗したときに、古いステップの値を回復する
bglu	バンド行列のソルバー
bitop	8バイト変数の各ビットに関する演算を行なう関数のパッケージ
blkdat	ブロックデータ
ci3d	界面剪断応力係数パッケージのコントロールルーチン
copya	3次元配列のコピー
cputim	計算機のelapsed time、user time及びsystem timeを求める
date_time	解析を行なった日付と時刻を求める
deeq	片岡一石井の式に基づき、液滴のentrainment率を計算する
dumpf	ダンプファイルの生成
dvpcls	water packing時の圧力スケールの変更(現在未使用)
edit	プリンタへの出力(major edit)コントロール
ehtstr	熱伝導計算結果の出力
error	メッセージ出力
evssl	流体計算結果の出力
filbrk	FILL及びBREAKテーブルの内挿ルーチン
fluxes	セル界面を通過する各種フラックスの計算
fprop	流体の輸送物性値の計算
getfname	コマンド行のパラメータからファイル名を取り出す
hi3d	界面熱伝達係数パッケージのコントロールルーチン
htcn3s	3次元熱伝導方程式を解く

表 2.1 改良した ACE-3D コードの各サブルーチン処理概要 (続き)

htcnr0	1次元熱伝導方程式(円筒体系)を解く
htcns0	1次元熱伝導方程式(平板体系)を解く
htcor	壁面熱伝達率パッケージ
htstr1	熱構造体モジュールのprepassルーチン 熱伝達率を計算し熱伝導方程式を解くための準備を行なうとともに、流体計算のために必要な量のセットアップを行なう。
htstr3	熱構造体モジュールのpostpassルーチン 熱伝導計算を行なう
htstrm	熱構造体の物性値を計算する
htstru	熱構造体モジュールの時間依存変数のアップデートを行なう
ihtstr	熱構造体モジュールの初期化ルーチン
ilubcg	ilubcg法で7重対角行列を解く
init	コード全体の初期化フェーズのコントロールルーチン
input	コード全体の入力フェーズのコントロールルーチン
intfri	界面剪断応力係数を求めるパッケージ
intht	界面熱伝達係数を求めるパッケージ
ivssl	流体計算のための初期化ルーチン
kemodl	$k - \epsilon$ モデルに基づき二相乱流を計算する
linit1	1次元テーブルの線形補間を行なう
load	1次元配列のデータを読み込む
main	このコードのmainルーチン
mix3d	$\alpha\rho$ 、 $\alpha\rho e$ 等の安定化ステップの変数セットアップ
mtmetl	金属の物性値計算
phschk	セルが単相かどうかのチェック
plotf	プロットファイルに書き出す

表 2.1 改良した ACE-3D コードの各サブルーチン処理概要（続き）

prnta	1次元、2次元および3次元配列の書き出しルーチン
rbc	境界条件の入力ルーチン
rdcard	入力データの前処理ルーチン
rdumpf	ダンプファイルの読み込みルーチン
rdval	3次元配列の読み込みルーチン
rfbtab	FILLやBREAKのテーブル入力ルーチン
rgeom	解析体系の入力ルーチン
rgrav	重力加速度の入力ルーチン
rhtstr	3次元熱構造体の入力ルーチン
rhtstr1	1次元熱構造体の入力ルーチン
rmat	金属の物性値テーブルの入力ルーチン
robs	障害物の入力ルーチン
rvssl	流体計算のための入力ルーチンのコントロール
setbd	境界条件の設定およびファントムセルへの値の設定
setva	配列の初期化
sfa44	4次の行列を解く
sluast	摩擦速度 u^* を求める
stdir	圧力行列の成分のセットアップ
stress	流体の内部応力の計算
tf3ds	質量およびエネルギー方程式を解く
tf3ds3	ボイド率、温度および速度の値を更新する
tf3dxr	運動方程式の x/r 成分の方程式を解く
tf3dyt	運動方程式の y/θ 成分の方程式を解く
tf3dzz	運動方程式の z 成分の方程式を解く

表 2.1 改良した ACE-3D コードの各サブルーチン処理概要（続き）

thermo	蒸気表ルーチン
timstp	時間ステップ幅の計算
timupd	流体計算に関する変数のアップデート
trans	計算のトランジエントフェーズの制御
trislv	1次元熱構造体のマトリックスソルバー
turb	二相乱流モデルのコントロールルーチン
vssl1	流体計算のprepassステップのコントロールルーチン
vssl2	流体計算のouterステップのコントロールルーチン
vssl3	流体計算のpostpassステップのコントロールルーチン
walfr1	壁面摩擦係数のパッケージ
warray	1次元配列の書き出しルーチン
wf3d	壁面摩擦係数パッケージの制御ルーチン
wrval	3次元配列の書き出しルーチン

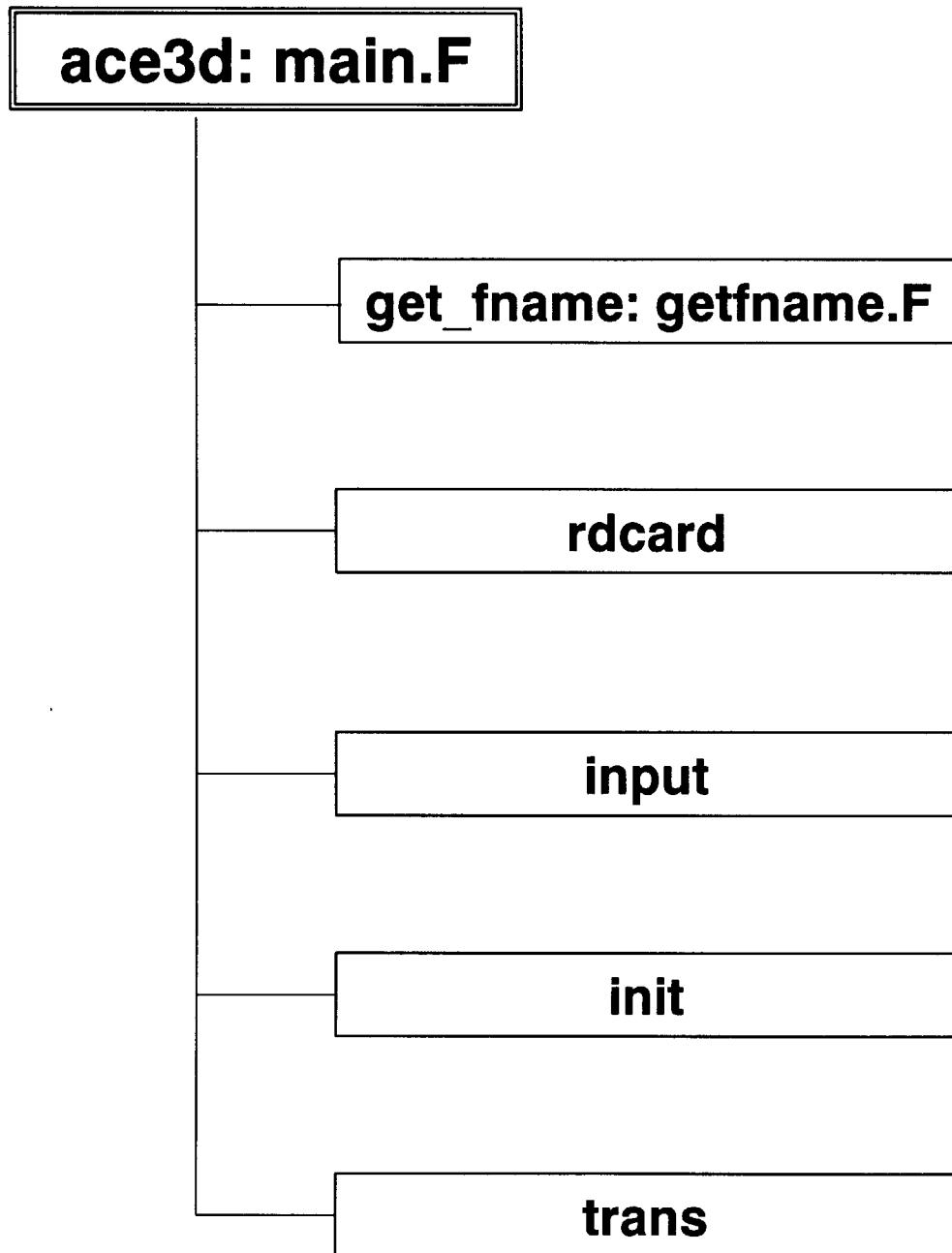


図 2.1(1) 改良した ACE-3D コードのサブルーチンツリー
—メインルーチン—

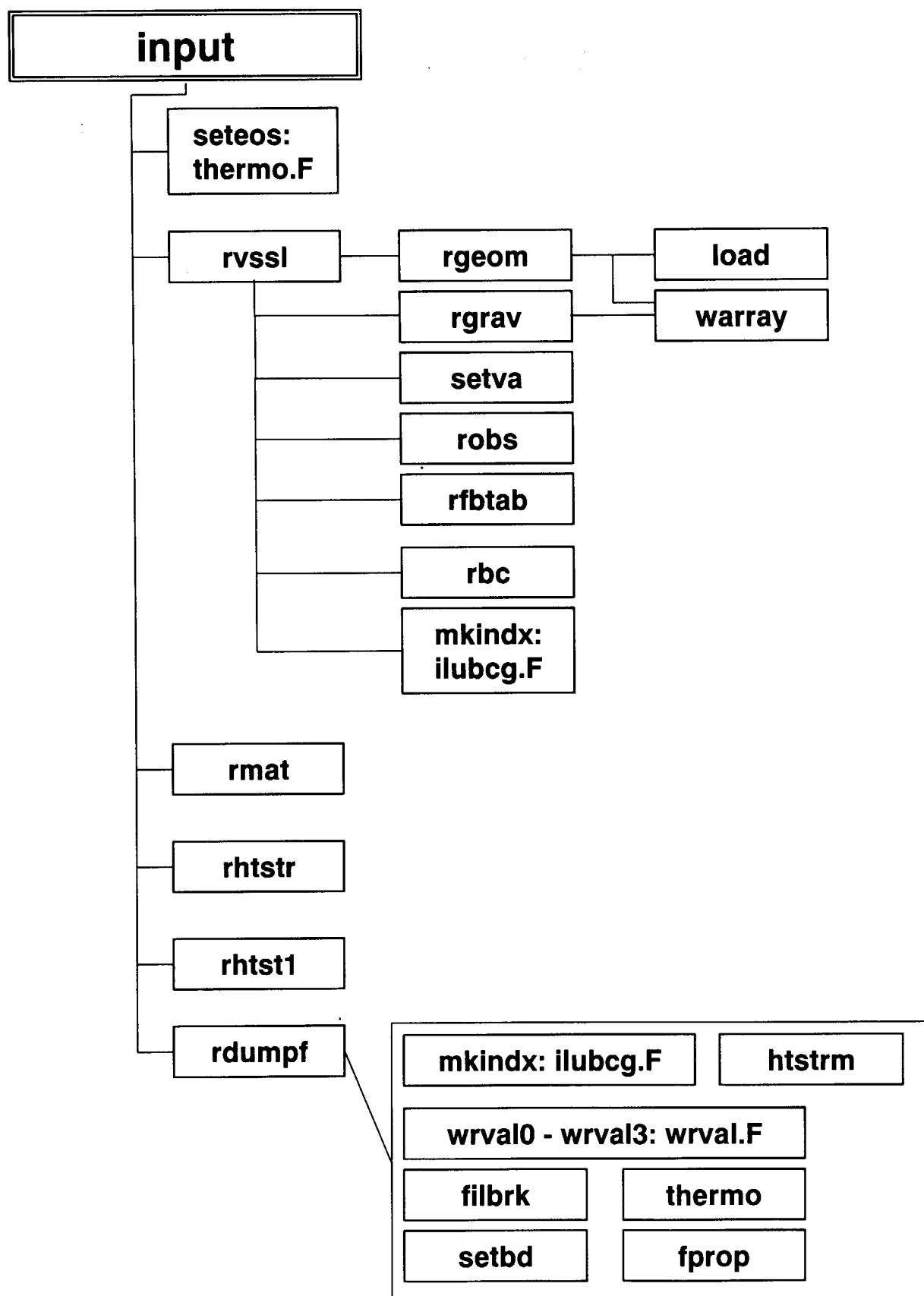


図 2.1(2) 改良した ACE-3D コードのサブルーチンツリー
—input ルーチン—

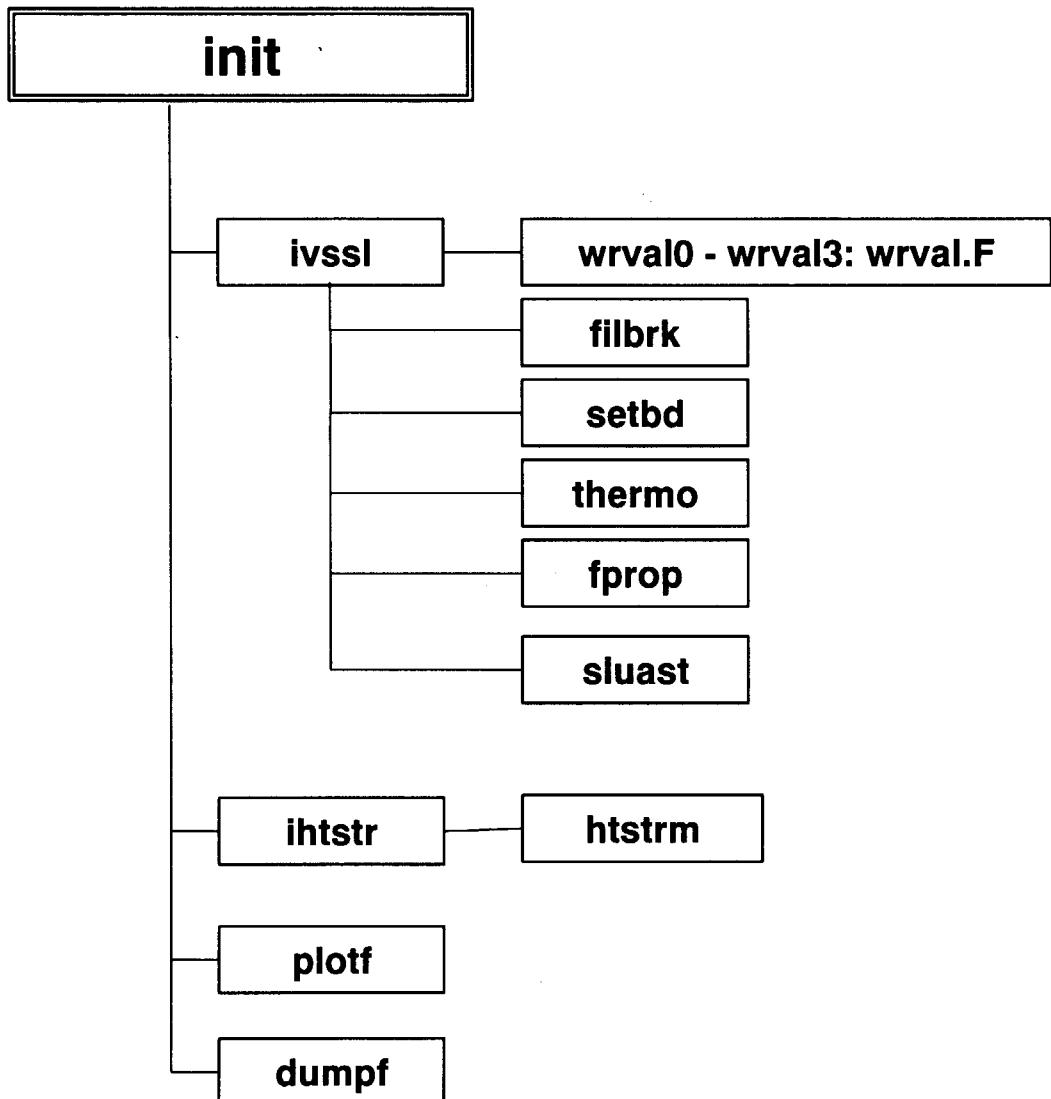


図 2.1(3) 改良した ACE-3D コードのサブルーチンツリー
—init ルーチン—

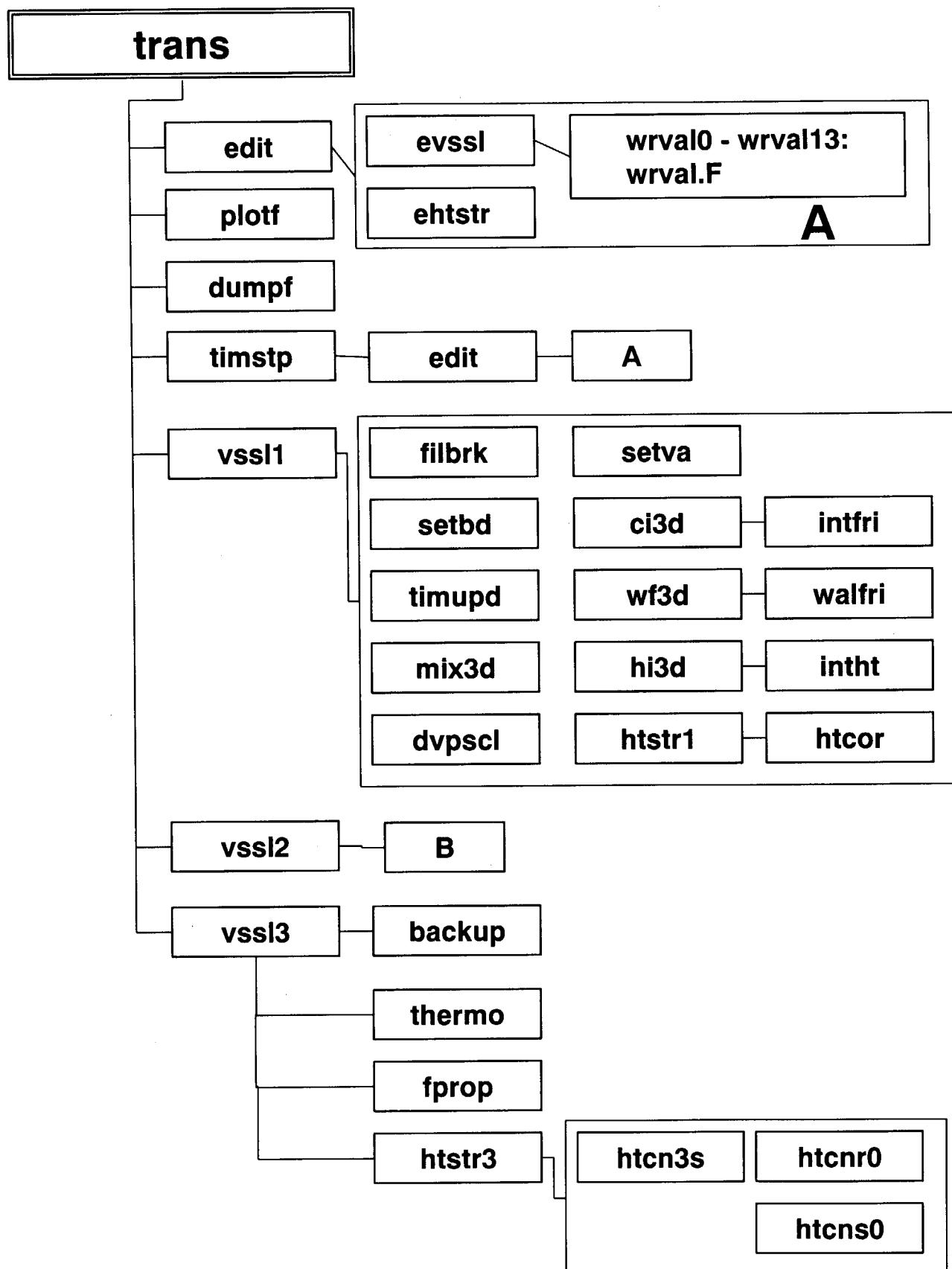


図 2.1(4) 改良した ACE-3D コードのサブルーチンツリー
- `trans` ルーチン(1) -

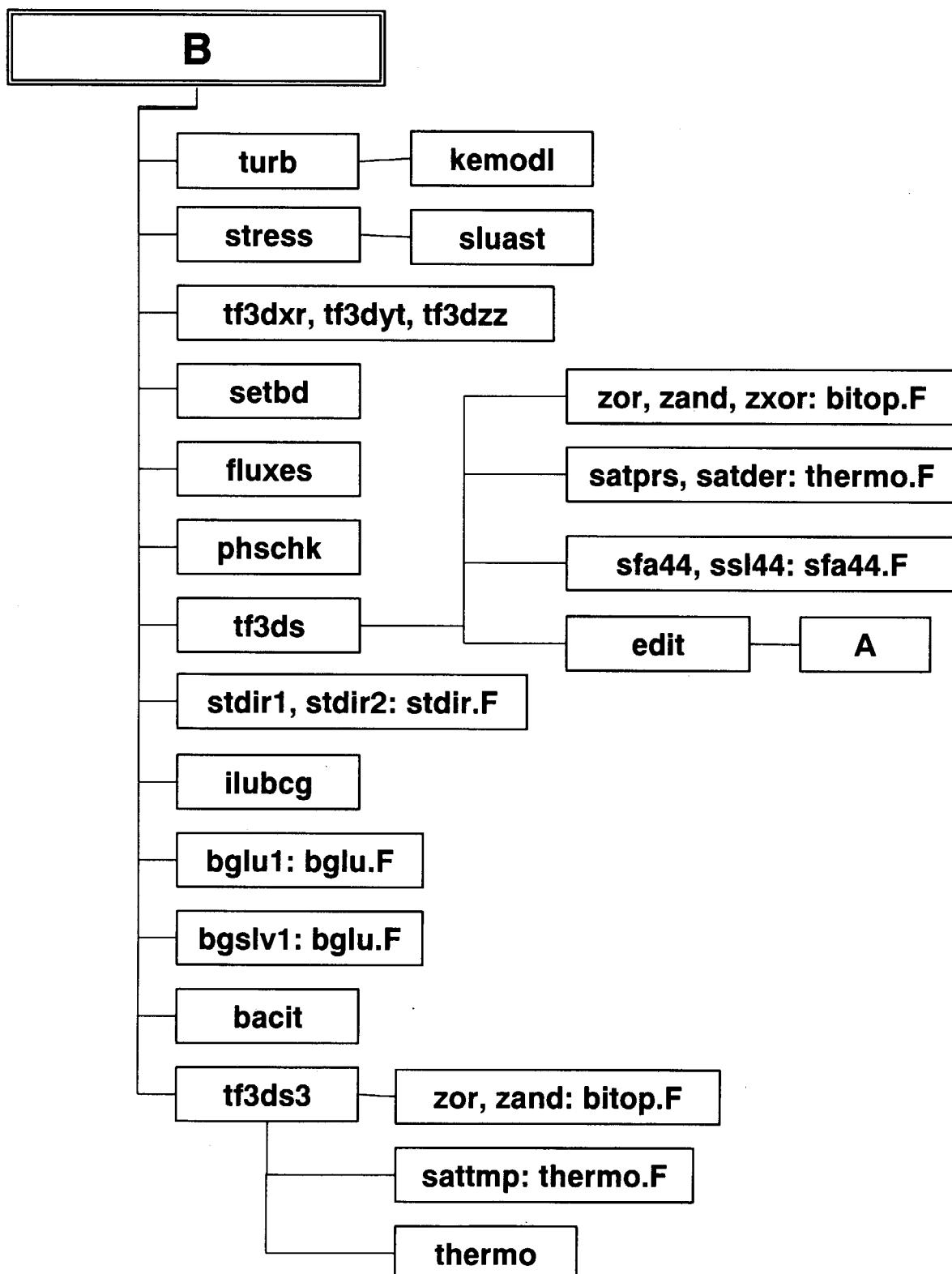


図 2.1(5) 改良した ACE-3D コードのサブルーチンツリー
- trans ルーチン(2) -

3. 水プール内蒸気噴流実験による検証

緒言で述べたように本研究で改良した ACE-3D コードは受動的安全機器の設計ツールとする予定であり、熱的に非平衡な多次元二相流が解析対象となる。そこで、次章で示す JPSR の余熱除去用水プール解析でも重要となる水プール内への蒸気噴流に関する実験を行い、それへの適用性を検証した。本章ではその実験と検証結果を述べる。

3.1 実験装置及び実験条件

蒸気噴流が水プール内に噴出する際のコード検証用データを得るために、小規模な実験を行った。図 3.1 に蒸気噴流実験装置の概要を示す。蒸気は矩形の水プール底面中央より上向きに注入でき、除熱は水プール両サイドにある水冷式熱交換器により行う。プール上部は大気開放であり、プール壁は SUS 製で保温施工した。簡易ボイラ((株)三浦工業 NR-200X)により生成した蒸気は流量を渦流量計またはオリフィスで計測した後、底面と面一の 3mm φ オリフィスから注入した。解析での境界条件を得るために、オリフィス直上流の圧力及び蒸気温度を計測した。熱交換器への水流量は電磁流量計で計測し、熱交換器入口及び出口での水温を計測した。水プール側面にはのぞき窓があり、噴流の形成を観察できる。水プール内の水温分布を得るために、24 個のシーズ式 CA 熱電対(1mm φ)を SUS 棒でくみ上げた平板状の支持網に分散固定し、水プール内に設置した。水温分布測定用支持網の概要を図 3.2 に示す。右端に示した高さは、熱電対が設置されている場所では熱電対先端位置を、それ以外では SUS 棒中心位置を示している。

検証用データは蒸気流量を固定し冷却水流量を変えた 3 種類の条件で取得した。表 3.1 に条件を示す。Case 1 は強制的な冷却の無い条件(冷却管中には水が満たされており、熱交換ループへのもれ熱はある)、Case 2 は注入した冷却水が冷却管内で相変化する条件、Case 3 は水単相で流出する条件である。プール水はヒータを擁する別置きの加圧ループで加熱脱気した後、空気に触れることなく水プールに供給した。プール底面から約 1.2m の水位とした後、プール底面に蒸気を送って蒸気噴流を形成した。冷却条件及び噴流条件を整えた後、プール内の水温がほぼ一定となった状態から流動観察や水温の計測を行った。

3.2 実験結果

のぞき窓から観察した噴流の写真を図 3.3 に示す。熱交換量を増加させるにつれて(Case 1→Case 3)、噴流のサイズが小さくなることがわかる。写真中には熱電対を固定する SUS 棒が見えるが、SUS 棒中心の底面からの高さは下から 12mm、65mm、112mm、158mm である。奥の壁に見える円形のノズルは探針式のボイド計を差し込むためのものであるが、本研究では使用しなかった。噴流外縁は低温水との直接接触凝縮を起こし激しく振動した。図 3.4 に計測された温度分布を示す。中央最下端の熱電対は噴流中心の温度を計測する位置に設置

したが、噴流の噴出圧により位置がややすれ、噴流外縁に近接した位置での水温となっている。水温の値は 10Hz で約 200 秒計測したものの時間平均である。横軸の -0.2m ~ 0.2m より外側は熱交換器の領域である。横方向の分布はほぼ平坦であり、Case 1 から Case 3 になるにつれて全体的に水温が低下している。最下部での水温低下量が他の高さでのものより大きい。

噴流周りの定性的な流速分布を得るために、高速ビデオ((株)フォトロン製 FASTCAM-ultima)による PIV 計測を試みた。Case 3 の条件で、プール水中に微粒子(ポーラスポリマー：平均粒径 0.5mm、比重 1.01)を滞留させ、レーザーライトシートを側部から照射して高速ビデオ画像を取得した。図 3.5 に取得した画像の例を示す。噴流及び対流する粒子がレーザー光を反射して白く見える。下部中央にある噴流の部分が最も明るく白く抜けている。噴流上部は乱れた粒子の軌跡が見える。またその周りは星空のように粒子が分散している。この画像は噴流周りの対流速度を得るために 125 フレーム/秒という比較的低速で収録した画像であり、噴流上部の高速な変動領域はぼやけた画像となっている。噴流周りの粒子像から PIV ソフト(米国 TSI 社の Insight PIV System V.1.32)により流速分布を求めた。図 3.6 にその結果を示す。8ms 間隔(125 フレーム/秒)で取得した 2 画像の相互相関から求めたもので、時刻によりやや変動があるものの、数 cm/s で噴流に向かう流れが形成されていることがわかる。定量化するにはもっと多量のデータ処理が必要であるが、この計測により、噴流上部には高速な上昇流が形成されること、噴流に向かって周囲から低温水が比較的低速で流れ寄せる傾向のあることがわかった。

3.3 検証結果

前節で述べた実験データを使い、改良した ACE-3D コードの水プール内蒸気噴流に対する適用性を検証した。解析体系は対称性を考慮し、図 3.1 の破線で囲んだ領域とした。解析用ノーディングを図 3.7 に示す。熱交換器は平板状 1 次元熱構造体を複数配置することで対応した。熱交換器の冷却管表面積、材質及び肉厚は模擬したが、熱構造体セルでの Y 方向の流路面積は影響が小さいと仮定しそれぞとし。また熱構造体設置セルでの流体率もゼロである。蒸気注入口は円形であるが面積を保存した矩形で模擬した。ここで解析では水プール全体の傾向把握を主目的とし、計算負荷の少ない比較的粗いノーディングを採用した。解析での初期及び境界条件を表 3.2 にまとめた。 Pr_k は乱流プラントル数であり、自由乱流場に対する推奨値とした。冷却水の熱流動計算は行わず、実験で得られた各 Case の最低プール水温を熱構造体内面の温度とし、内面での熱伝達率に高い値を与えた。熱構造体外側はプール内流体と接し、接触面での熱伝達率は付録 A に示した各種構成式により計算される。このような熱交換器の条件設定により、比較的短い過渡計算で解析上の定常状態に到達することができた。Case 2 に対する入力データのリストを付録 C に示す。

図 3.8 に Case 2 に対する結果を示す。各分布図は蒸気注入口を含む Y=11 平面でのものである。蒸気噴流部での上昇水流速は高く、熱交換器側では下降流が計算されている。噴流へ

向かう水流速は 10cm/s 程度であり、図 3.6 の結果と対応する。ボイド率、水温、乱流エネルギー及び圧力とも蒸気噴流近傍が高い値となっている。解析モデルのうち乱流熱流束の導入が解析結果に多大な影響を与えた。図 3.9 に層流モデルとの比較を示す。下半分が層流モデルの場合である。乱流による熱拡散を考慮しないと蒸気がプール水面まで達し、実験と対応しなくなることがわかる。なお、層流計算の噴流上部でみられる極めて高速な水流速(約 190m/s)は蒸気流に随伴する液滴の速度である。緒言で述べた PHOENICS による層流解析でも蒸気が完全に凝縮できずプール水面まで達した⁸⁾。ここでの結果より、プール内の流動状況を正しく解析するためには乱流熱流束を考慮する必要があることが示された。

図 3.10 及び図 3.11 に水温分布に対する解析と実験との比較を示す。今回の解析では下端セルの高さが 10cm と大きいため、実験での最下部(Elv. 0.008m)での計測値との比較はできないが、乱流モデルによる結果を見ると、Elv. 0.06m での水温が噴流付近では上部よりやや高く、熱交換器側ではやや低くなっている、定性的な傾向は実験と一致する。ただし、Case 3 での噴流直上部での差異は大きい。この差異の原因として、解析でのセル高さが大きすぎたことがあげられる。図 3.3 に示した写真でもわかるように Case 3 での噴流サイズは高さが数 cm と小さいのに対し、解析でのセル高さは 10cm であった。実験では噴流直上部に大きな温度勾配が想定でき、Elv. 0.06m では低水温を測定しているのに対し、解析では高温の蒸気噴流と低温水の混合平均温度となっているためと考えられる。温度分布のセルサイズ依存性は今後調べる必要がある。図 3.10 に示した層流モデルの場合も、熱交換器側での高さ方向の水温の違いがやや減少しているものの全体の傾向は同様である。

本章で得られた結果より、乱流熱流束の導入は水温分布に対しては大きな影響はないものの流速分布やボイド率分布には大きく影響することがわかった。層流モデルの場合に蒸気がプール内で凝縮できずプール水面まで達してしまったが、実炉の解析でこのような状況になると格納容器の内圧上昇にもつながる大きな問題となるため、流速分布やボイド率分布の正確な予測は重要である。本研究での改良により、プール内の流動において重要な因子である流速分布の予測精度が著しく向上しており、蒸気が噴出する水プール内の二相自然対流を精度良く予測できる様になったことがわかる。

表 3.1 水プール内蒸気噴流実験の実験条件

Case No.	1	2	3
Steam inj. conditions	Flow rate (Kg/hr)	11	11
	Pressure* (MPa)	0.276	0.273
	Steam temp.* (K)	404	405
Cooling unit conditions	Flow rate (Liter/min)	0	0.5
	Inlet water temp. (K)	-	281
			279

* Just upstream of inj. orifice at bottom of pool

表 3.2 水プール内蒸気噴流実験解析における初期条件及び境界条件

Case No.		1	2	3
Common conditions				
Initial temp. of water pool (K)		373	373	368
Velocity (m/s)		280	280	280
Pressure (MPa)		0.276	0.276	0.273
Steam inj. conditions	Steam temp. (K)	404	405	404
Cooling unit conditions (Heat transfer module)	Initial temp. (K)	373	369	362
	Inside temp. (K)	373	369	362
	Inside HTC (W/m ² K)	1.e5	1.e5	1.e5

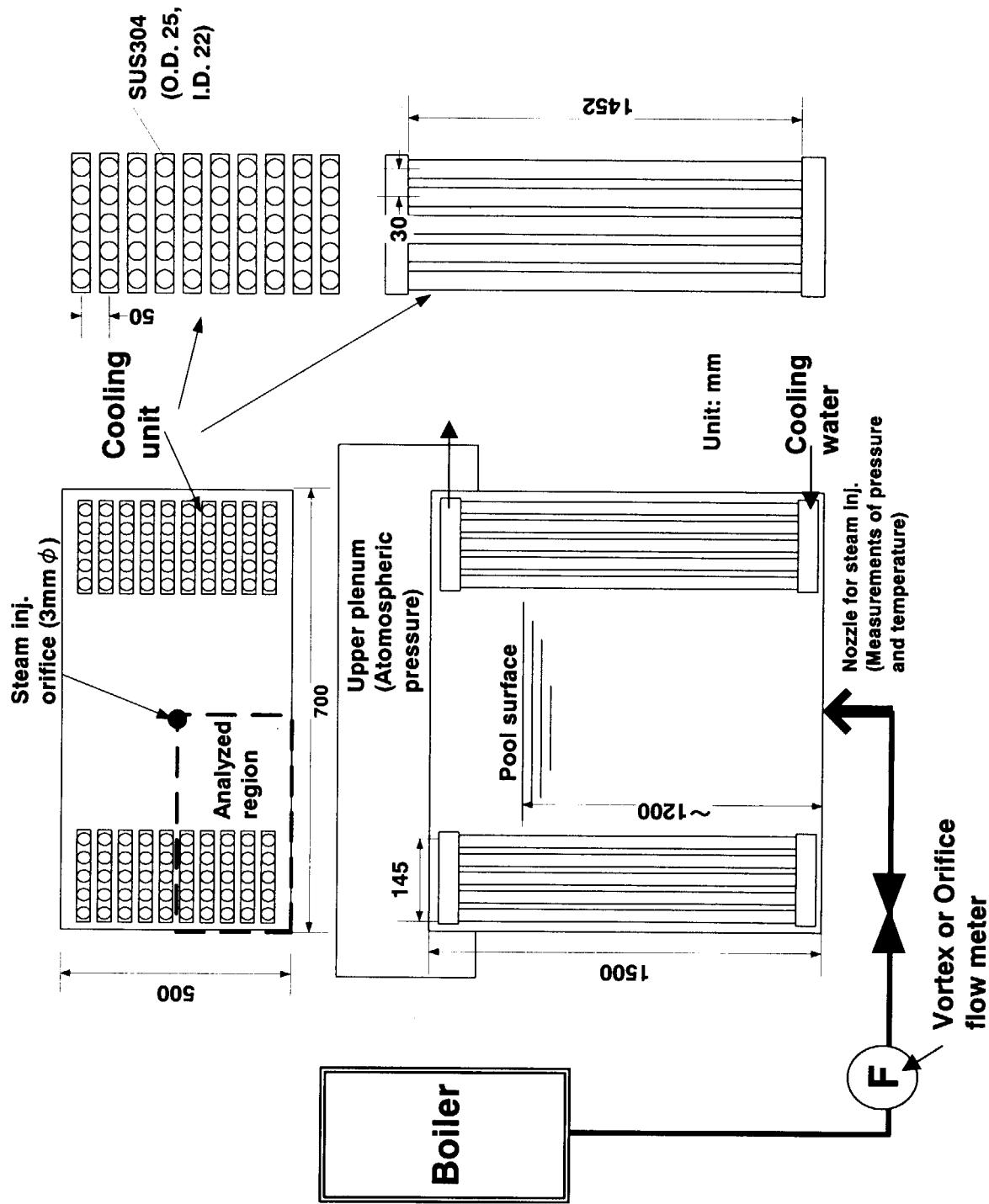


図 3.1 蒸気噴流実験装置の概要

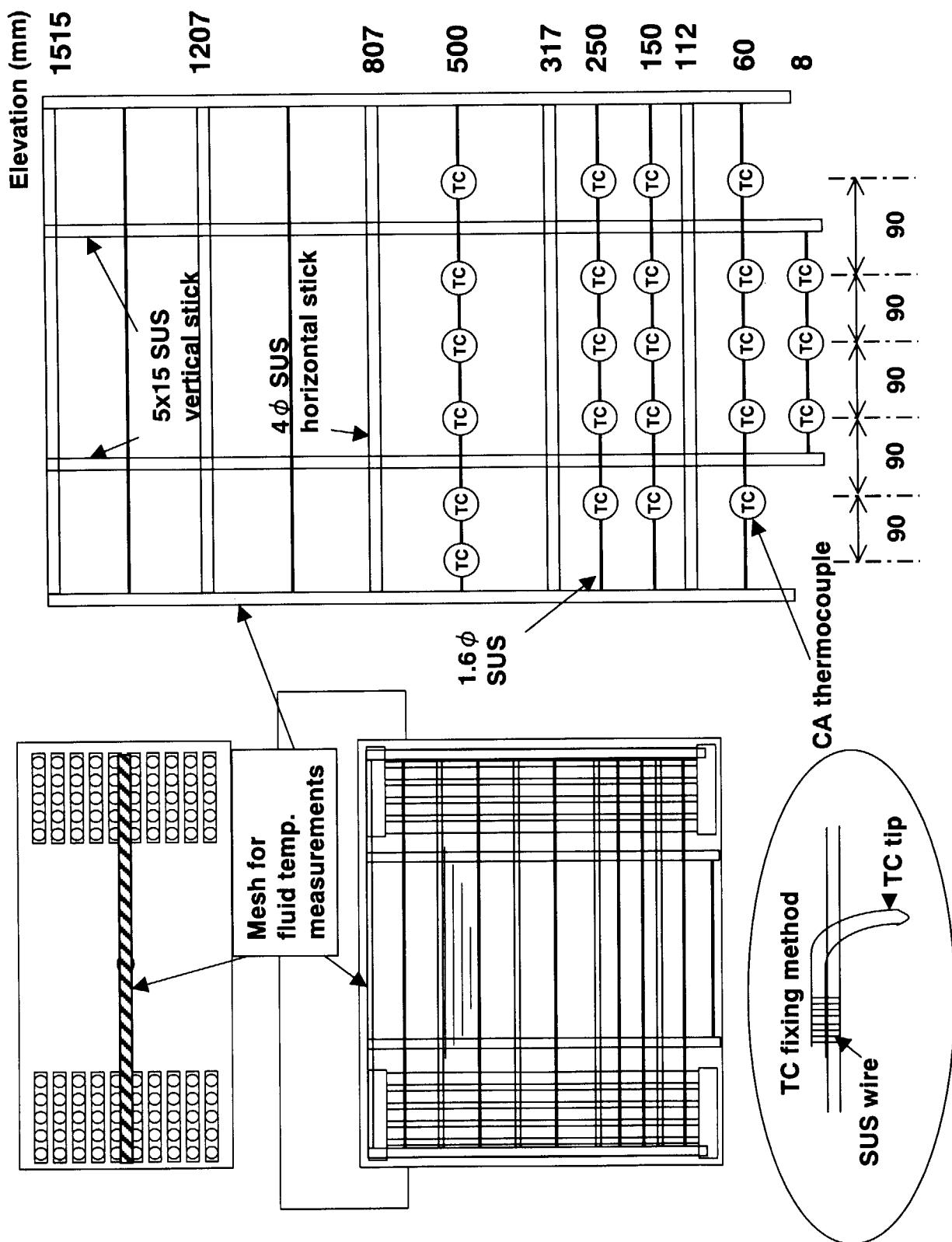


図 3.2 水温分布測定用支持網の概要

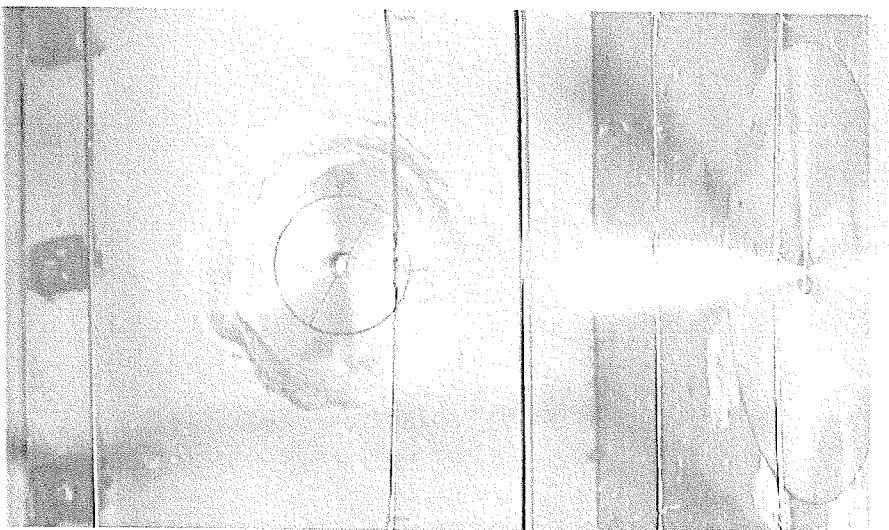
図 3.2

This is a blank page.

Case 1



Case 2



Case 3



図 3.3 蒸気噴流の観察結果

This is a blank page.

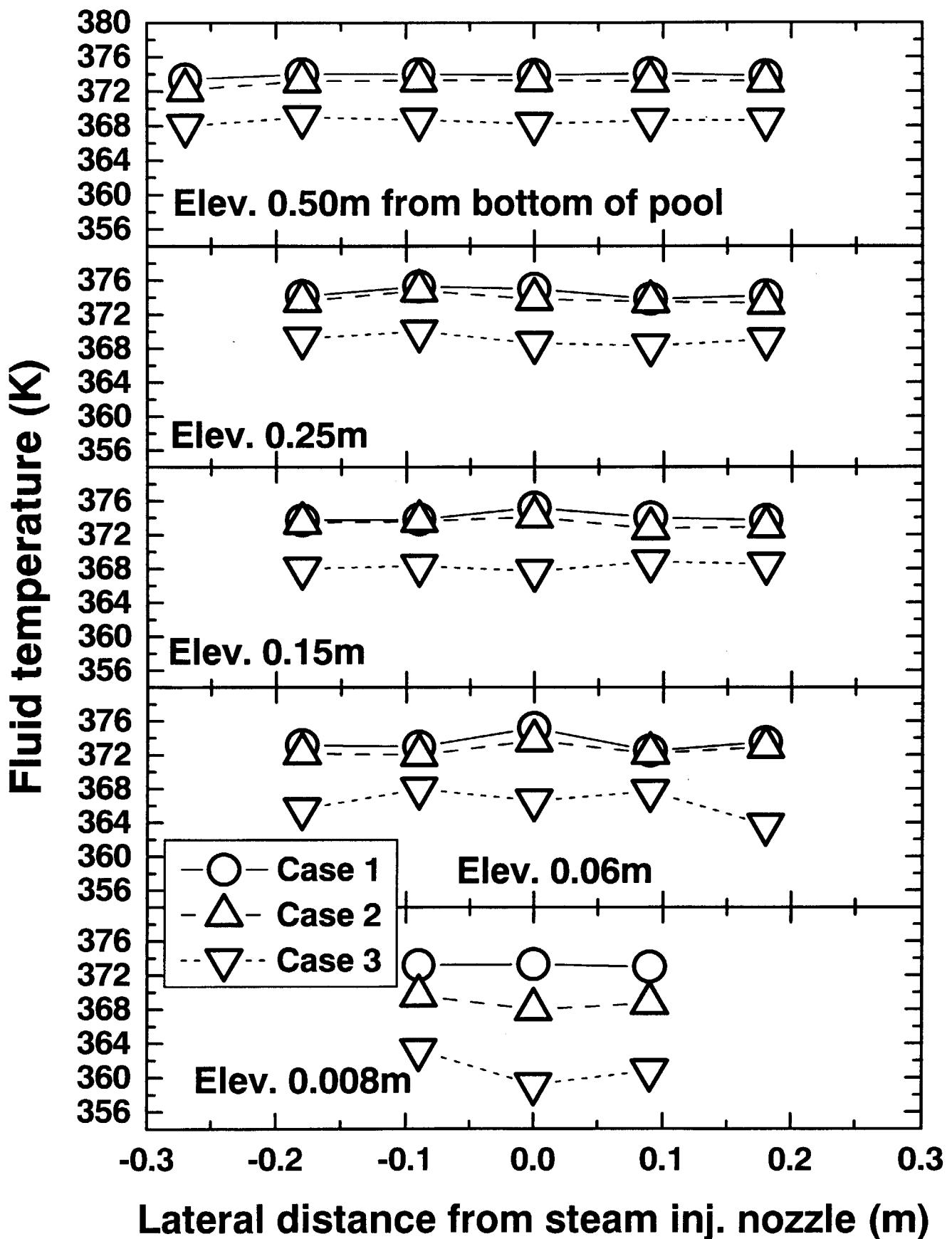


図 3.4 水プール内の水温分布
—測定結果の比較—

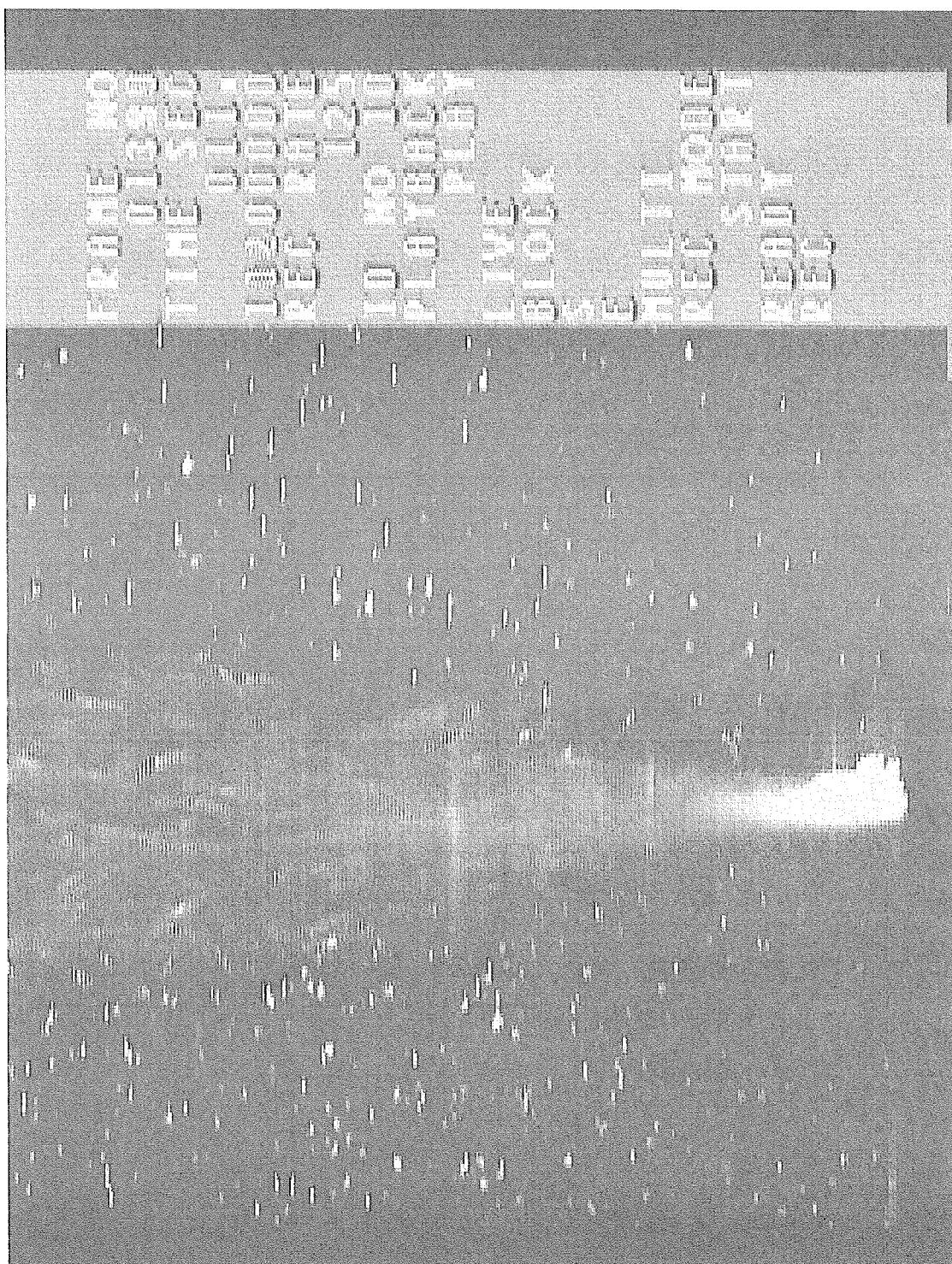


図 3.5 PIV 用高速ビデオの画像例

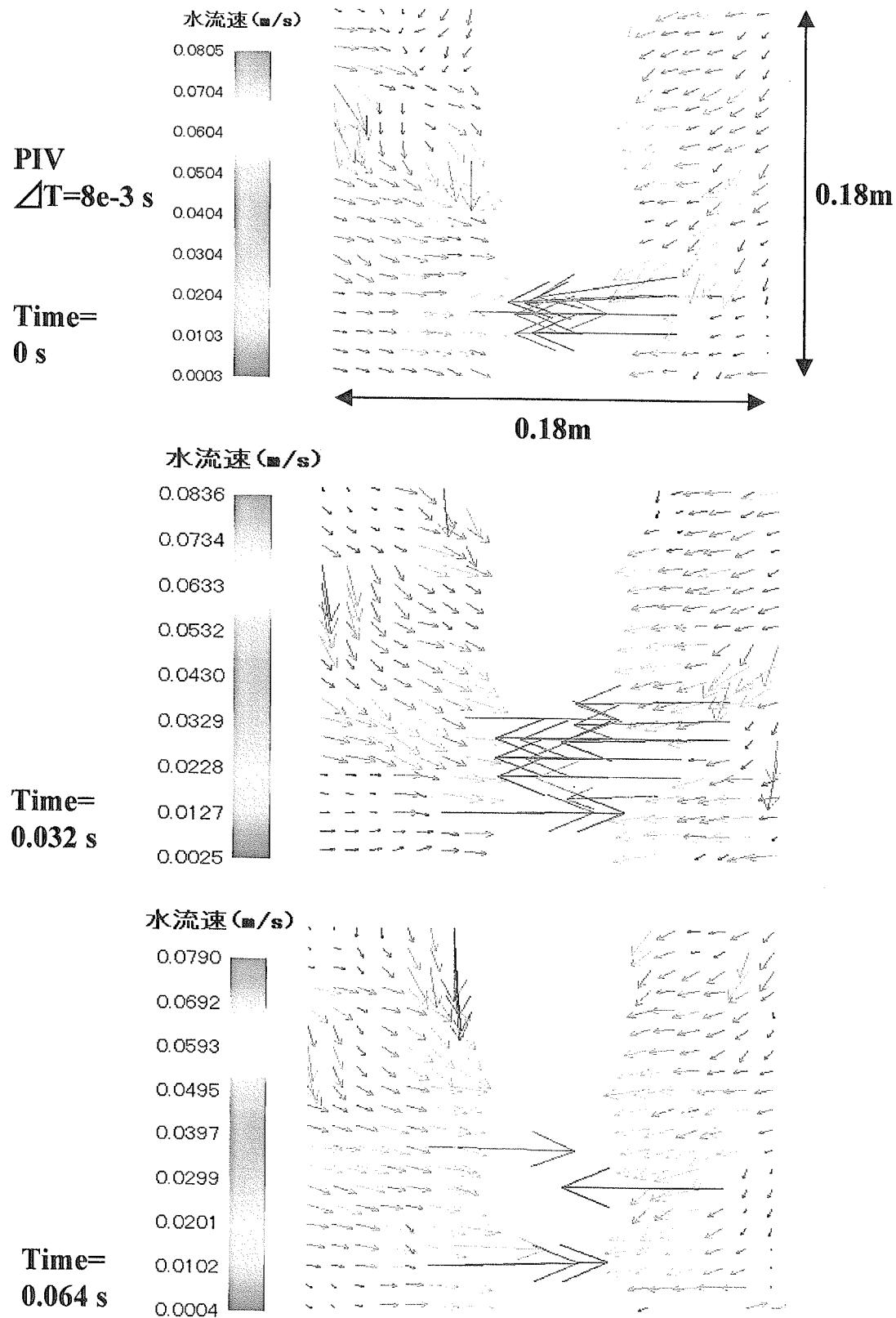


図 3.6 PIV による蒸気噴流近傍の流速分布

This is a blank page.

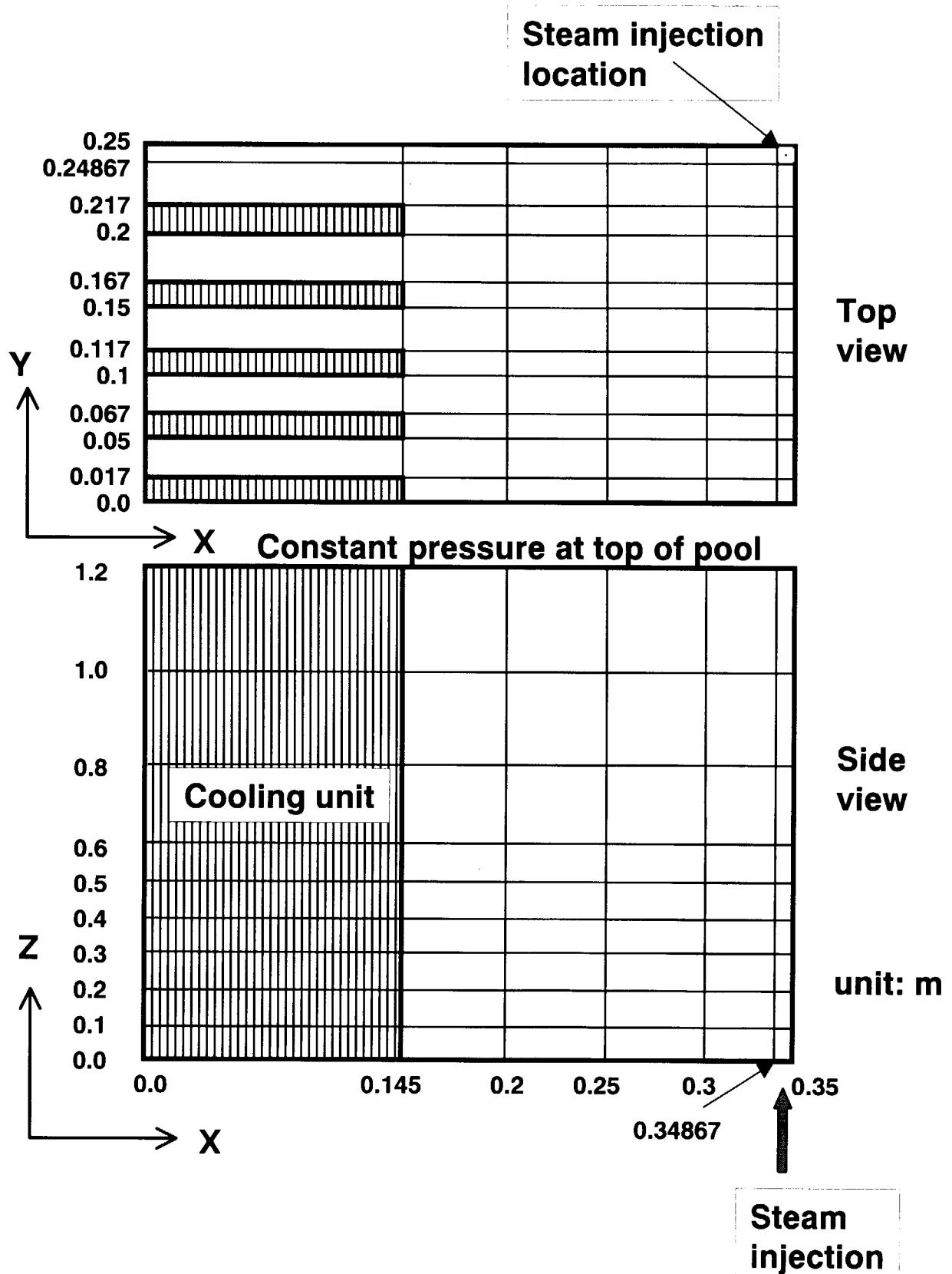


図 3.7 蒸気噴流実験解析用ノーディング

This is a blank page.

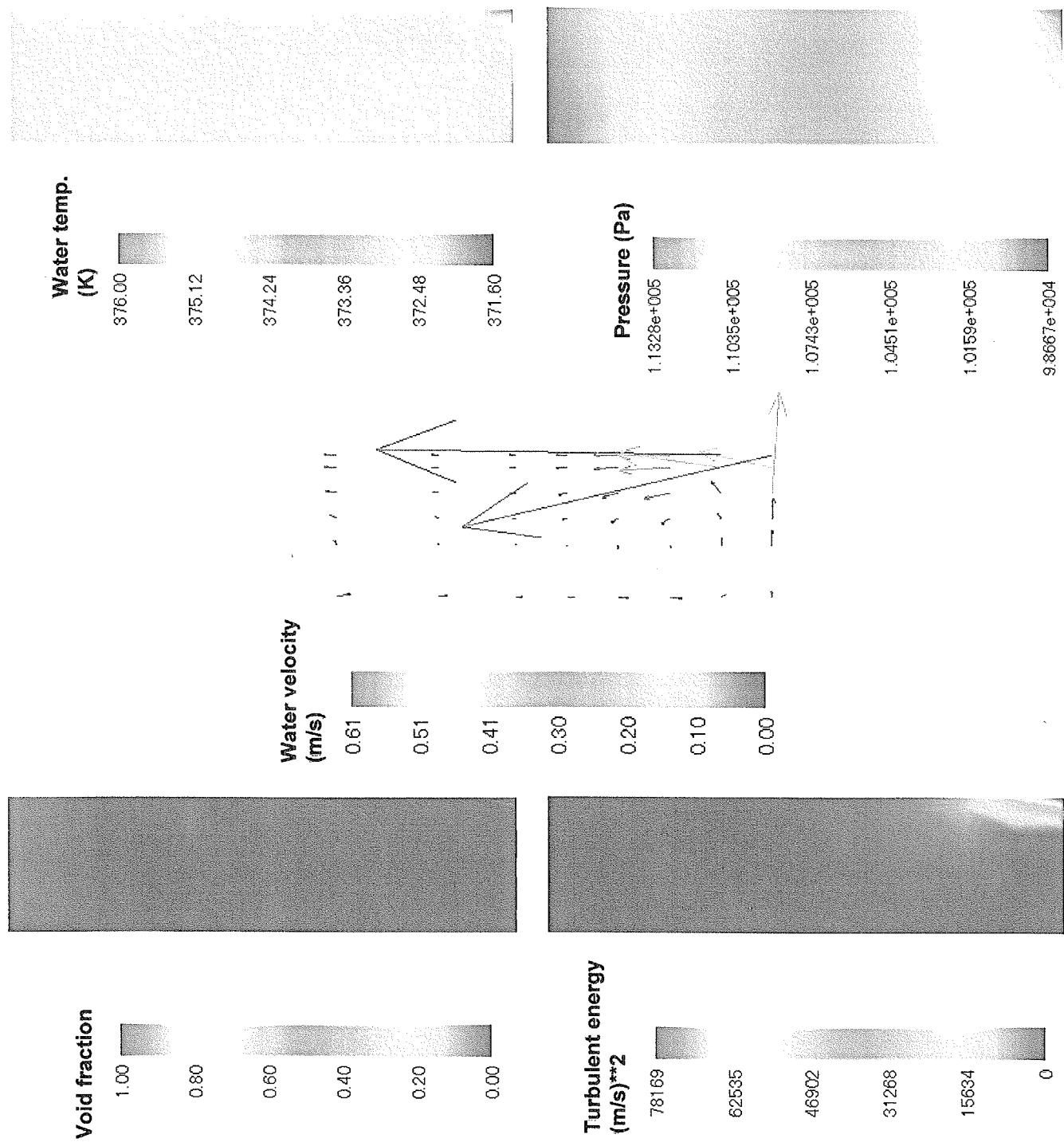


図 3.8 蒸気噴流解析結果
— Case 2 の条件、Y=11 平面 —

This is a blank page.

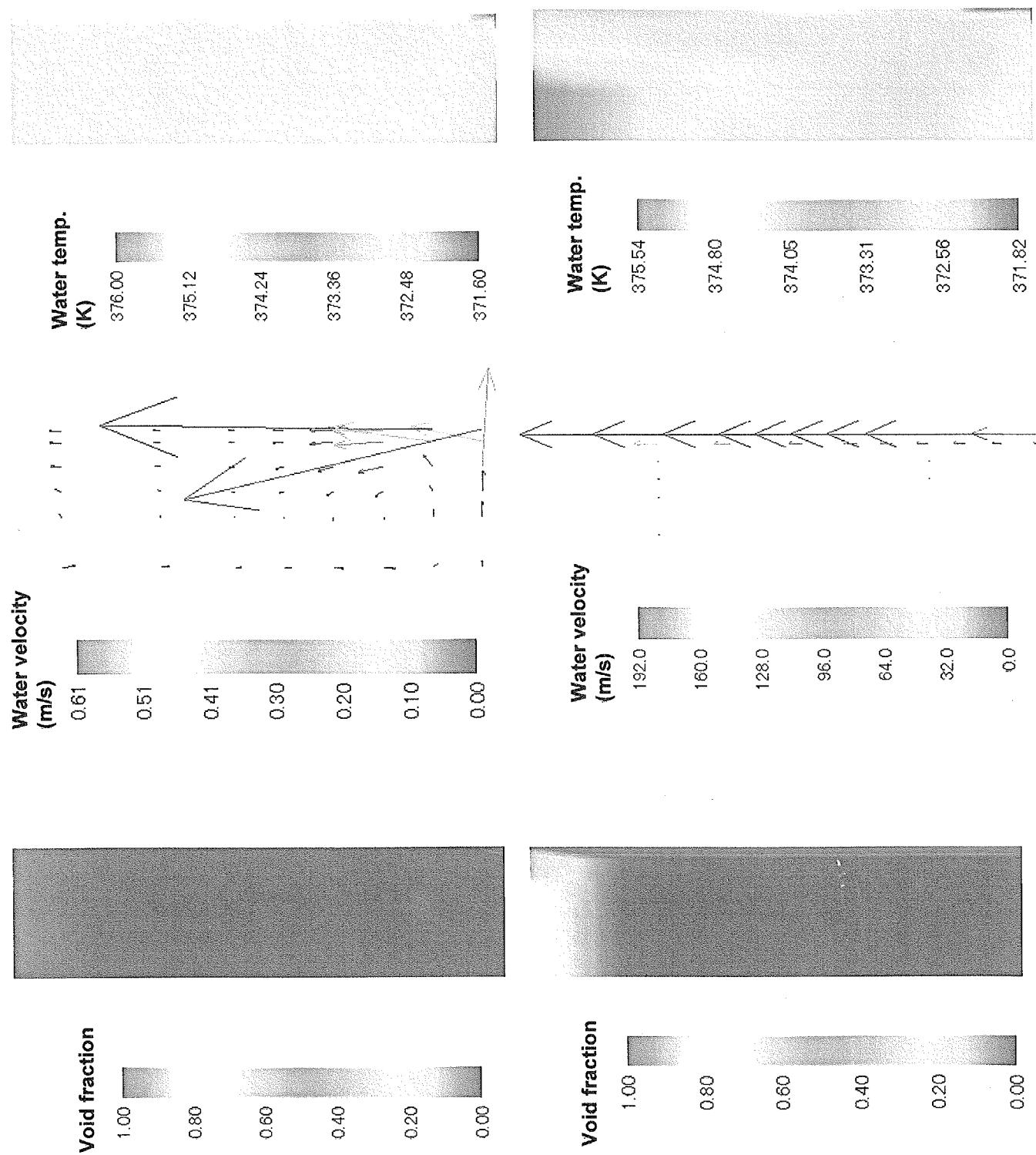


図 3.9 乱流熱流束の影響
—Case 2 の条件、 $Y=11$ 平面—（上 3 図：乱流モデル、下 3 図：層流モデル）

This is a blank page.

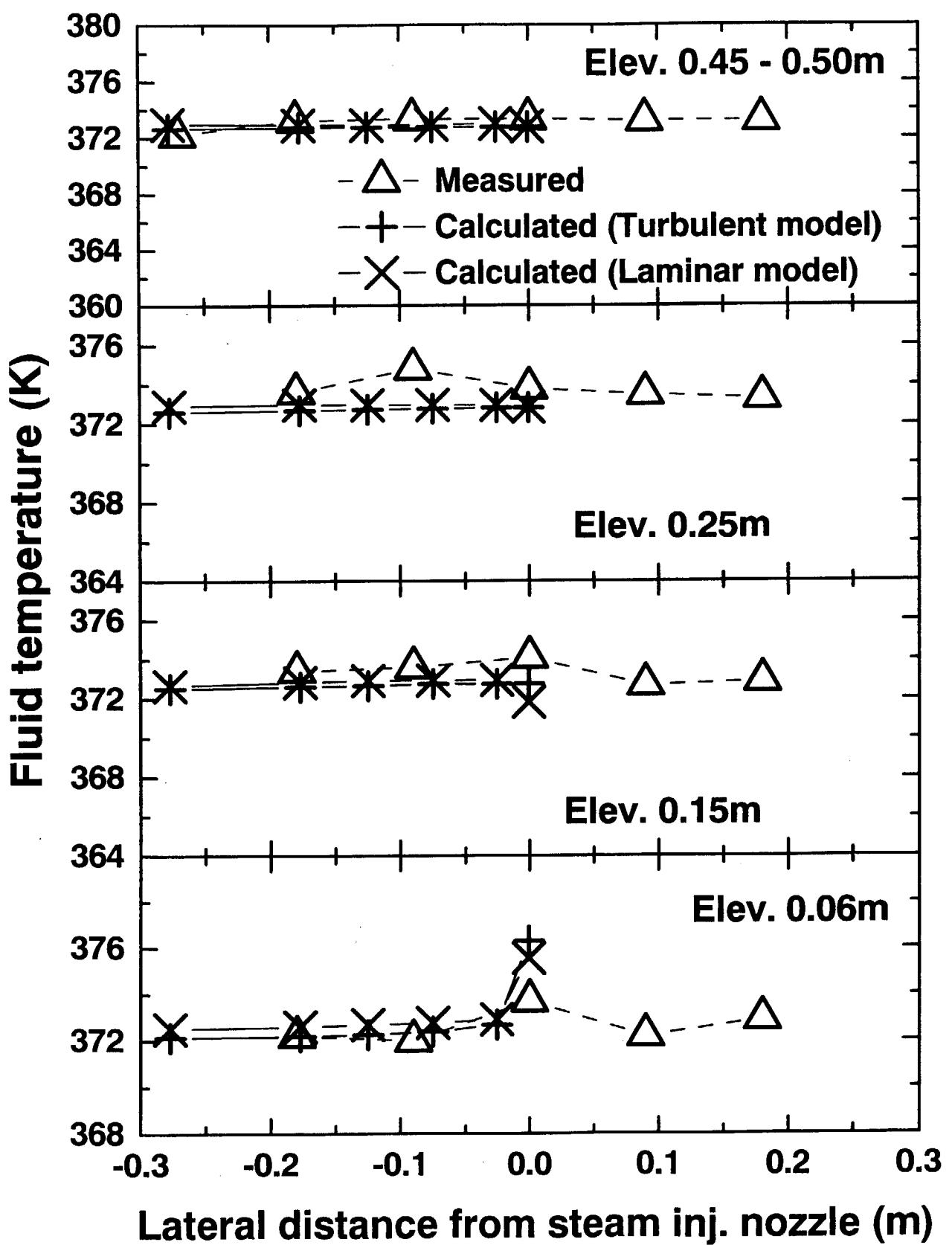
Case 2

図 3.10 水温分布の比較
— Case 2 の条件、Y=11 平面 —

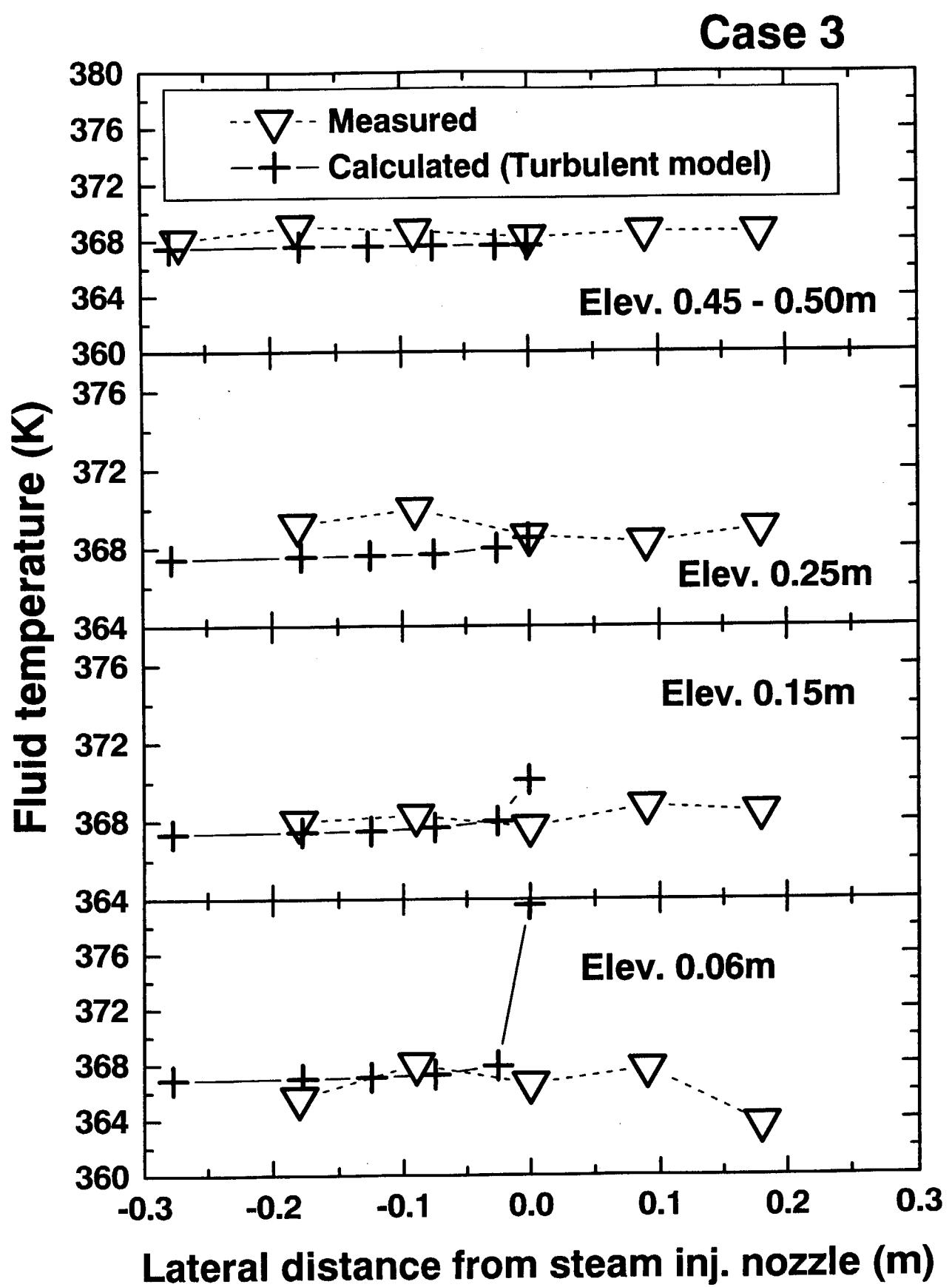


図 3.11 水温分布の比較
— Case 3 の条件、Y=11 平面 —

4. 受動的余熱除去系水プール内熱流動解析への適用

4.1 JPSR 余熱除去系水プールの概要

JPSR は緒言でも述べたように受動的安全性を可能な限り取り入れることにより、安全性の大幅な向上及び運転・保守の人的負担低減の達成を目指した加圧水型軽水炉である⁶⁾。本炉は炉出力 1853MWt の 2 ループ PWR であり、1 次冷却系は格納容器内で 1 次系を囲う 1 次系隔壁内に内包されている。1 次系隔壁内と外はベント管と重力注水プールにより構成される圧力抑制系により連結されている。1 次系隔壁の内には受動的安全系である受動的冷却材注入系（高機能蓄圧注入系）及び受動的余熱除去系（上部及び下部余熱除去系(RHR)）が配置されている。RHR の除熱源として用いられる重力注水プールの冷却は格納容器冷却系によりなされ、格納容器外の大気へ放熱される。図 4.1 に重力注水プールの断面を示す。この水プールは内半径 15m 仰角 230 度の扇型のプールであり、重力注水系の水源及び 1 次系の余熱除去という重要な役割を持つ。余熱除去に関してはベント管や RHR の熱交換器(RHX)と連結したラインから蒸気や二相流の形で余熱が流入する。流入した熱はプール水による凝縮並びに格納容器冷却系(水プール内冷却器及び屋外に設置された空冷式熱交換器からなる)により除去する設計である。格納容器冷却系は 6 系統から構成され、内 4 系統のみで 100%の除熱容量(炉定格出力の 1%)を有する。図 4.2 に水プール内冷却器 1 系統の概要を示す。多管式の構造であり、管内の水は自然循環により駆動するものとしている。

4.2 水プール内熱流動解析への適用

上述した余熱除去系水プール内の熱流動解析を改良した ACE-3D コードにより実施した。解析体系は対称性を考慮し、格納容器冷却系 1 系統の半分(Y 方向)とした。解析用ノーディングを図 4.3 に示す。水プールを矩形で模擬し、多管式冷却器は 3 章での解析と同様に平板状 1 次元熱構造体を複数配置することで対応した。図 4.2 に示した冷却管の 8.6 列を熱構造体 1 体とした。スパージャや対流促進板は流路障害物として設置し、その設置セルでの流体率及び流路面積はゼロである。解析での初期及び境界条件を表 4.1 にまとめる。この解析では RHX からの入熱は蒸気単相で入ってくるものとし、図 4.3 に示したようにプール中に設置された水平スパージャから噴出するものとした。噴出する熱量は格納容器冷却系 1 系統の半分を模擬しているため炉定格出力の 0.25% \times 1/2 とした。従来の研究よりスパージャから噴出する蒸気流速が低いとチャギングが生ずる^{1,3)}。本解析ではチャギングが生じないとされる蒸気流速(文献 14 では蒸気質量速度 M_g で約 25kg/(m²s)以上)になるよう噴出口の流路面積を絞った(幅 5mm のスリット形状、 $M_g = 32\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$)。初期水温や冷却器 2 次側温度は別途行われたシステム解析^{1,4)}に基づいて与えた。冷却器内面での熱伝達率は 2 次側冷却系の自然循環流速より Dittus-Boelter の式を使い求めた。本解析に使用した入力データのリストを付録 D に示す。

図 4.4 に水温及び水流速の時系列上の比較を示す。スパージャの上方で X 方向の代表的な

位置での値を示しているが、蒸気噴出口の上($(x,y,z)=(5,7,7)$)での水温は高く、冷却器側は低い。冷却器側では下降流が、スパージャ側では上昇流が計算されており、密度の違いによる自然循環の形成が伺える。流速の計算結果には細かい変動が見られるが、これは噴出する蒸気の凝縮振動のためであった。ここで与えている M_g では Condensation oscillation の領域となることが文献 13 に示されており、対応した計算となっている。噴出した蒸気はスパージャ出口端で凝縮し、離脱することはなかった。水温は計算開始後 100 秒以降、全体的に低下しており、余熱除去プールの除熱性能の高いことがわかる。図 4.5 に水流速と水温の分布図を示す。断面位置は図 4.4 と同一の $Y=7$ であり、時刻は計算開始後 200 秒である。対流促進板をはさむ自然対流が計算されており、蒸気注入位置や冷却器位置に対応した水温分布となっている。対流促進板下部にも小さな渦が見られ、冷却器の下側での水温が冷却器位置での水温より若干高めとなっている。

前章でも触れたが PHOENICS による層流解析では蒸気が完全に凝縮できずプール水面まで達し、本章での結果と定性的に異なる結果であった。この差異の原因として乱流熱流束の影響が考えられ、前章で示した蒸気噴流解析での結果と対応する。前章での結果より乱流熱流束の導入が有効であることがわかつており、PHOENICS による解析では JPSR 重力注水プールの余熱除去能力に問題があることが示唆されたが、本研究により設計で要求されている熱量は十分除去できることがわかった。

表 4.1 JPSR 余熱除去系水プール内熱流動解析における初期条件及び境界条件

Common conditions	$Pr_{tk}=0.7$, Slip wall
Initial temp. of water pool (K)	341
RHX sparger steam inj. conditions	Flow rate (kg/s) (32 m/s at exit of sparger) Pressure (MPa) 0.18
	Steam temp. (K) 389 Heat transfer area (m ²) 233/unit
Cooling unit conditions (Heat transfer module)	Initial temp. (K) 317 Inside temp. (K) 317 Inside HTC (W/m ² K) 1700

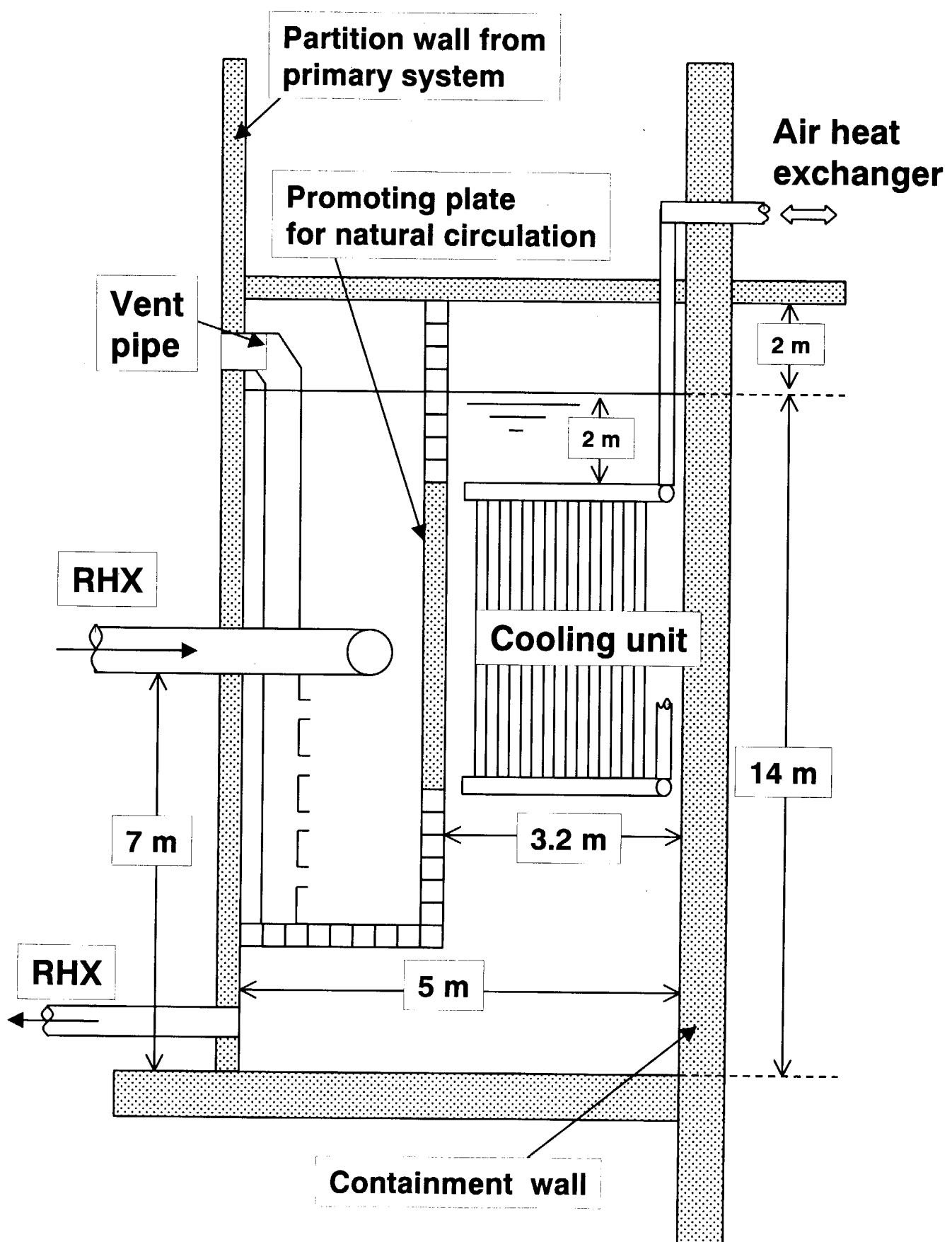


図 4.1 JPSR 余熱除去用水プールの概要

Outline of cooling unit (One of six units)

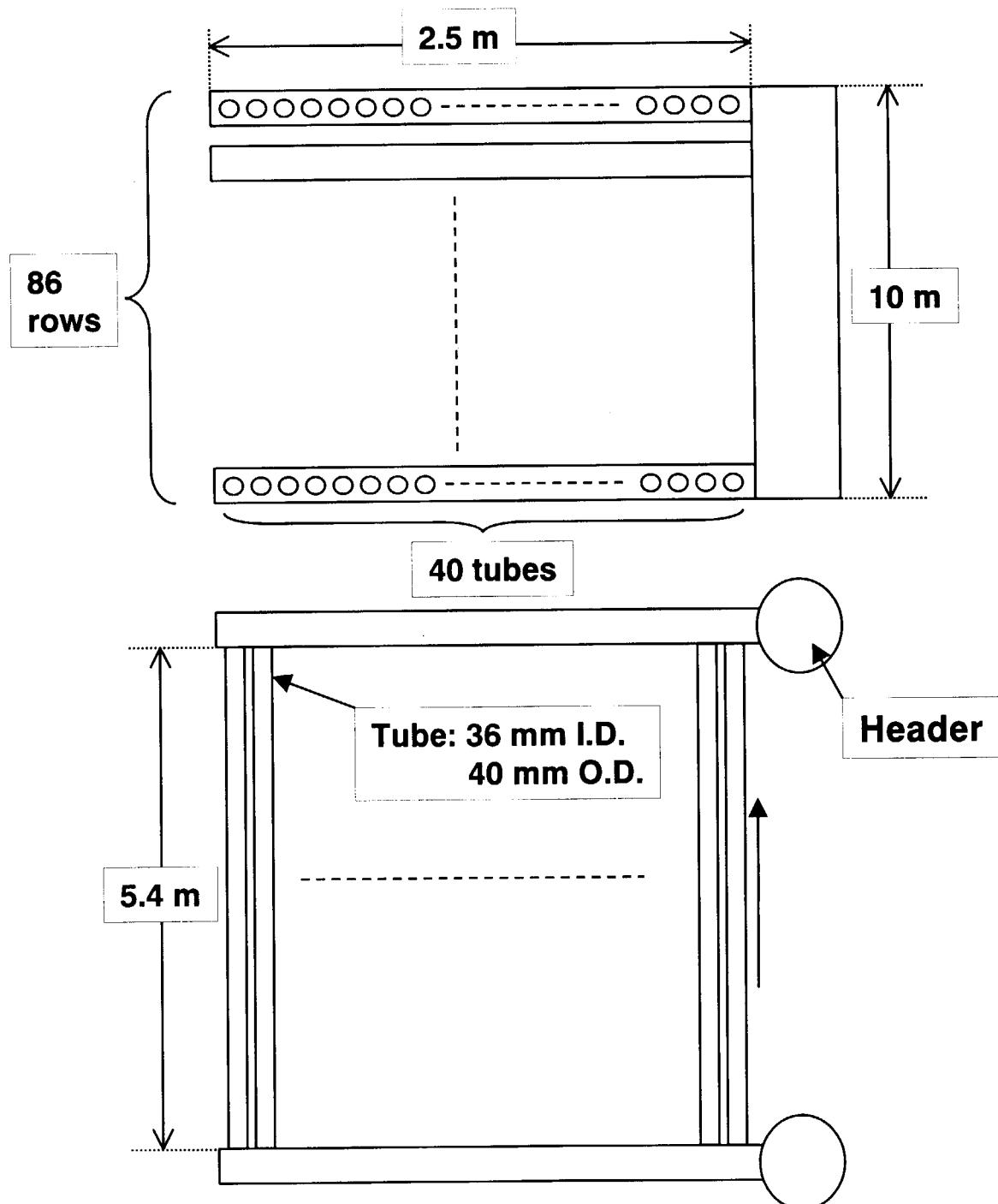


図 4.2 水プール内冷却器 1 系統の概要

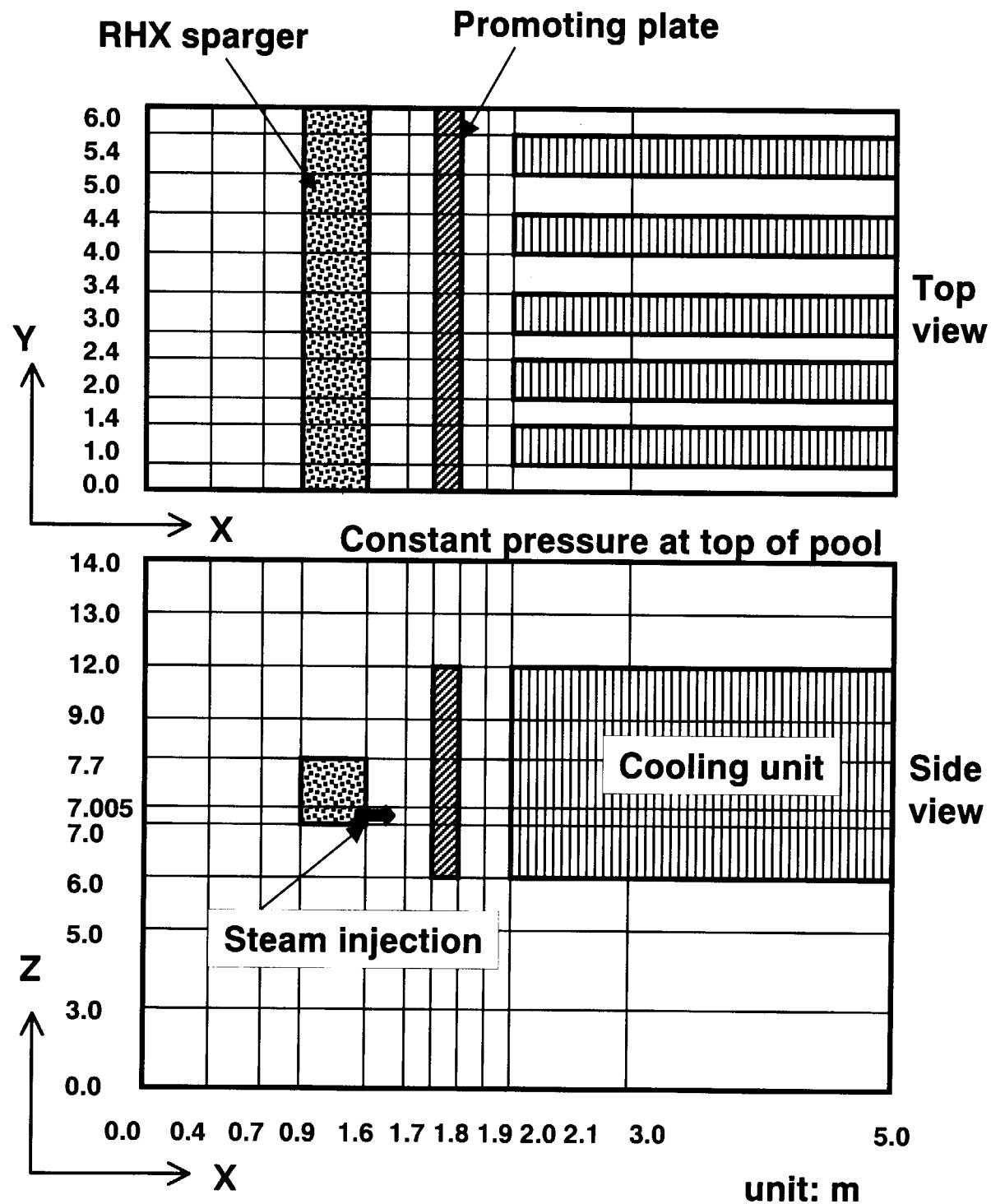


図 4.3 水プール内熱流動解析用ノーディング

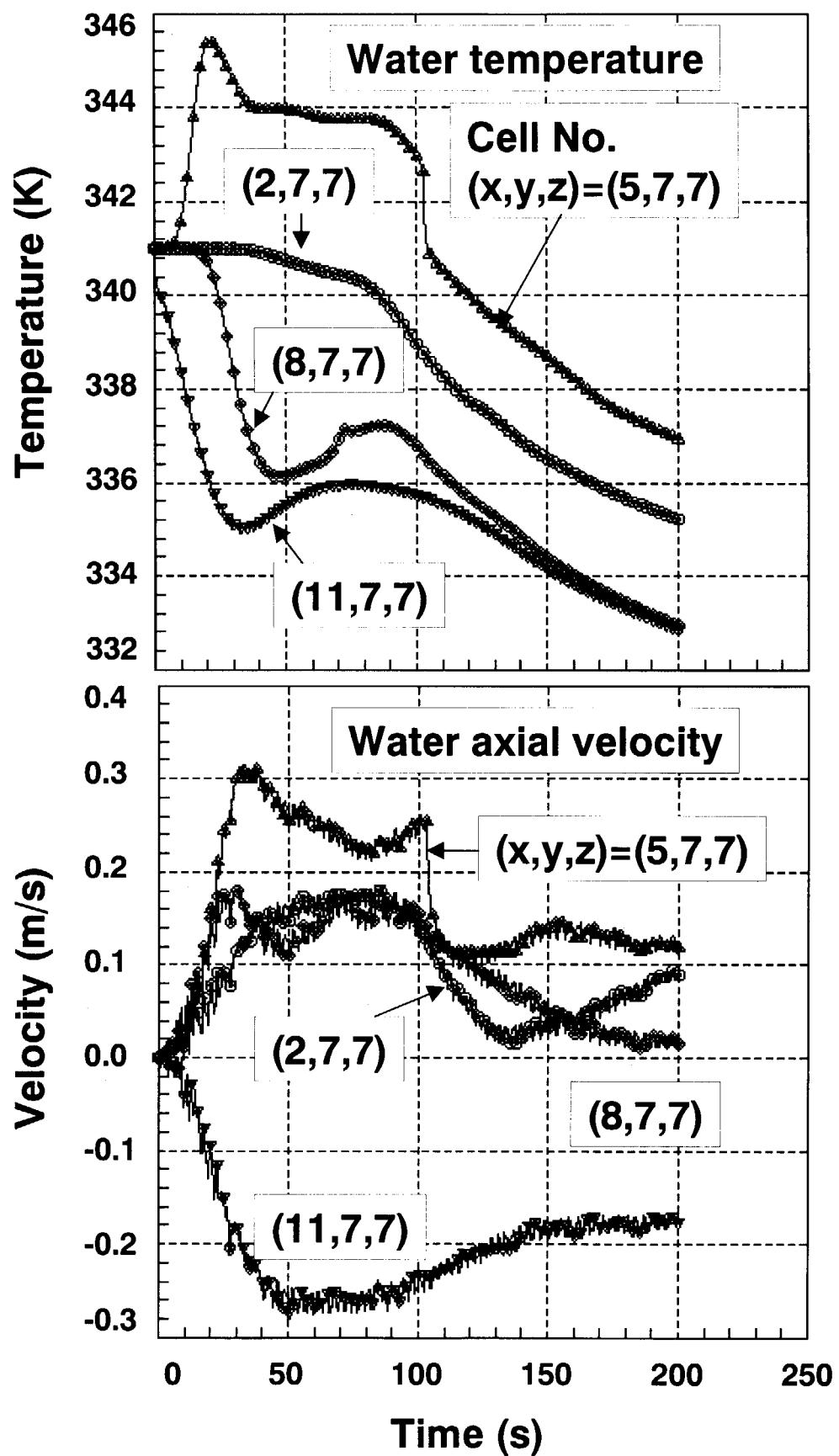


図 4.4 水プール内解析結果
—水温及び Z 方向水流速の時系列比較—

This is a blank page.

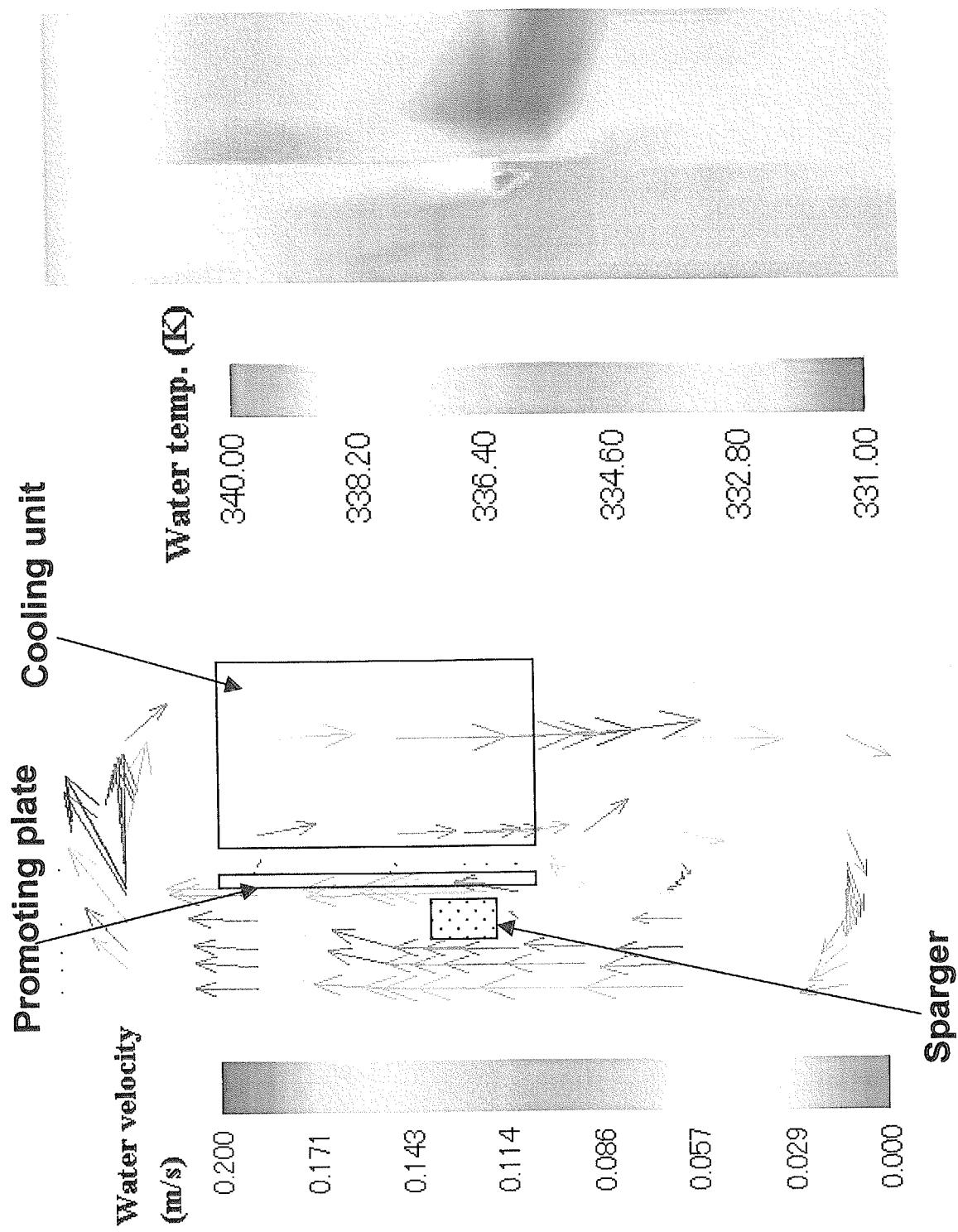


図 4.5 水プール内解析結果
—計算開始後 200 秒、 $Y=7$ 平面—（左：水流速、右：水温）

This is a blank page.

5. 結 言

受動的安全機器設計を行う上で重要な二相自然対流現象を詳細に解析するツールを整備するため、報告者が開発した多次元二流体モデルコード ACE-3D を改良した。改良版では、乱流熱流束モデルと熱構造体との連成解析機能を追加し、相変化を伴う熱的に非平衡な流れの解析及び外部との熱交換を伴う体系の解析を可能とした。熱構造体内の熱伝導は 3 次元または 1 次元で解くことができ、流体と接する表面では沸騰曲線を考慮できる。次に、蒸気の噴出する水プール中の多次元データを取得し、改良機能の適用性を検証すると共に、JPSR の余熱除去系水プール内の熱流動解析へ適用し、同プールの除熱性能を検討した。その結果、以下のことがわかった：

- (1) 蒸気噴流を含む水プール内の二相自然対流の予測には乱流熱流束モデルの導入が不可欠である。改良した ACE-3D コードにより、水プール内の二相自然対流現象を精度よく予測できる。
- (2) JPSR 余熱除去プールの除熱能力は高く、設計で要求されている熱量は十分除去できる。

謝 辞

蒸気噴流実験のデータベース取得に協力していただいた炉工学施設管理室の渡辺博典氏、佐藤 隆氏、根本裕之氏、小松正夫氏に感謝いたします。また、JPSR 余熱除去用水プールの設計諸元を提供していただいた受動的安全炉研究室(平成 9 年度)の新谷文将氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) McIntyre, B. A.: IAEA-TECDOC-861 (1996).
- 2) Glantz, D. M. et al.: "Proc. Int. Topical Mtg. on Advanced Reactor Safety", 2, 618 (1994).
- 3) SIEMENS: Summary Description SWR1000 (1998).
- 4) Nishimoto, M. et al.: "Proc. of Fourth Int. Conference on Nuclear Engineering (ICON-E-4)", 3, 269 (1996).
- 5) 市村他: 原子力学会 1991 年秋の大会 C19-C25 (1991).
- 6) Murao, Y. et al.: J. Nucl. Sci. Technol., 32, 885 (1995).
- 7) Akimoto, H. et al.: ASME FED-Vol. 223, 1 (1995).
- 8) Ohnuki, A. et al.: The PHOENICS Journal, 9, 3, 326 (1996).
- 9) 大貫他: JAERI-Data/Code 96-033, “多次元二流体モデル構成方程式評価用コード ACE-3D の開発” (1996).
- 10) Ohnuki, A. et al.: "Proc. of The Japan-U.S. Seminar on Two-Phase Flow Dynamics, Fukuoka", 75 (1996).
- 11) Ohnuki, A. et al.: "Proc. of Eighth Int. Topical Mtg. on Nucl. Reactor Thermal-Hydraulics (NURETH-8)", 3, 1670 (1997).
- 12) Kataoka, I. and Ishii, M.: Int. J. Heat Mass Transfer, 30, 1927 (1987).
- 13) Aya, I. and Nariai, H.: Nucl. Eng. Des., 131, 17 (1991).
- 14) 原子炉熱流動解析コード高度化専門部会: JAERI-Review 98-006, “受動的安全設備を有する次世代軽水炉熱流動解析の現状と課題”, 42 (1998).

付録A. 構成方程式の内容

This is a blank page.

構成方程式としては、①界面せん断応力係数、②界面熱伝達率、③壁面せん断応力係数、④壁面熱伝達率があり、それらを順次以下に記述する。

A. 1 界面せん断応力係数

界面せん断応力係数 C_i は図A.1に示す流動様式マップに従い、二相流の流動様式を(1)気泡流領域(2)スラグ流領域(3)環状噴霧流領域及び(4)気泡流またはスラグ流と環状流の中間領域に区分して、それぞれの流動様式ごとに定められた評価式を用いて計算する。

A. 1. 1 気泡流領域及びスラグ流領域に対する評価式

気泡流領域とスラグ流領域は、図A.1に示すように、ボイド率 α が0.5以下の場合である。この領域での界面せん断応力係数 C_i は、次式により算定する。

$$C_i = \frac{3C_b \rho_\ell \alpha}{4D_b} \quad (\text{a. 1})$$

(a. 1)式において、 C_b は单一気泡に対する抵抗係数、 D_b は気泡径である。

(a) C_b の評価式

C_b は次式により与える；

$$C_b = \begin{cases} 240 & (Re_b \leq 0.1031) \\ \frac{24}{Re_b} (1 + 0.15 Re_b^{0.687}) & (0.1031 \leq Re_b < 989) \\ 0.44 & (Re_b \geq 989) \end{cases} \quad (\text{a. 2})$$

ここで

$$Re_b = \frac{\rho_\ell V_r D_b}{\mu_\ell}$$

$$V_r = V_g - V_\ell$$

(b) D_b の評価式

気泡流とスラグ流の違いは、 D_b の違いとして評価する。

D_b は次式により評価する；

$$D_b = \frac{\sigma We_b}{\rho_\ell V_r^2} (1 - X_{slug}) + D_B X_{slug} \quad (\text{a. 3})$$

ただし、

$$10^{-4} \leq D_b \leq D_B$$

$$D_B = 30 \left(\frac{\sigma}{g \Delta \rho} \right)^{0.5} \quad (\text{a. 4})$$

$$We_b = 7.5$$

(a. 3)式で、右辺第1項は気泡径を念頭に定めた項であり、右辺第2項はスラグを念頭に定めた項である。この両者が混在すると考え、その存在比率が X_{slug} と $(1 - X_{slug})$ であるとしている。なお、スラグ気泡の最大径は片岡らの研究を参考に D_B を最大径とした。存在比率 X_{slug} は次式により与える；

$$X_{slug} = 3X_s^2 - 2X_s^3 \quad (a.5)$$

ここで

$$X_s = \begin{cases} 4(\alpha - 0.25) & (G \leq 2000) \\ 4(\alpha - 0.25) \exp\left(-\frac{G - 2000}{700}\right) & (G > 2000) \end{cases}$$

ただし

$$0 \leq X_s \leq 1$$

とする。(a.5)式は $X_s = 0$ の時 $X_{slug} = 0$ を、 $X_s = 1$ の時 $X_{slug} = 1$ を与える3次関数である。

$G \leq 2000$ ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$) の範囲についてみると、 $\alpha \leq 0.25$ の範囲で $X_s = 0$ 、 $\alpha \geq 0.50$ の範囲で X_{slug} は 1 となる。 $0.25 < \alpha < 0.50$ の範囲で X_s は 0 と 1 の間にある。したがって、 $\alpha \leq 0.25$ の範囲が（純粋な）気泡流、 $\alpha = 0.5$ で（純粋な）スラグ流、 $0.25 < \alpha < 0.50$ では気泡とスラグ気泡の混在する領域である。

A. 1. 2 環状噴霧流領域に対する評価式

環状噴霧流領域は、図A.1に示すように、ボイド率が 0.75 以上の場合である。この領域での界面せん断応力係数 C_i は、次式により算定する；

$$C_i = C_{an}(1 - E) + EC_d \quad (a.6)$$

ここで、 C_{an} は環状流液膜に対する抵抗係数、 C_d は液滴に対する抵抗係数、 E は液相のなかで液滴の占める割合である。

(a) C_d の評価式

C_d は次式により与える。

$$C_d = \frac{3C_d^* \rho_g (1 - \alpha)}{4D_d} \quad (a.7)$$

ここで

$$C_d^* = \begin{cases} 240 & (Re_d \leq 0.1031) \\ \frac{24}{Re_d} (1 + 0.15 Re_d^{0.687}) & (0.1031 < Re_d < 989) \\ 0.44 & (989 \leq Re_d) \end{cases} \quad (a.8)$$

$$Re_d = \frac{\rho_g |V_r| D_d}{\mu_g}$$

$$D_d = \frac{\sigma We_d}{\rho_g V_r^2} \geq 10^{-5}$$

$$We_d = 4.0$$

$$V_r = \begin{cases} 10.0 & (V_g = V_\ell) \\ 0.1 & (|V_g - V_\ell| < 0.1) \\ |V_g - V_\ell| & (|V_g - V_\ell| \geq 0.1) \end{cases}$$

である。

(b) C_{an} の評価式

C_{an} は次式により与える。

$$C_{an} = \min(C_{d1}, C_{an1}) \quad (a.9)$$

ここで

$$\begin{aligned} C_d &= \frac{3C_d^* \rho_g (1-\alpha)}{4D_d} \\ C_{an1} &= \frac{0.01 \rho_g \{1 + 75(1-\alpha)(1-E)\}(1-\alpha)}{D_h (1-\alpha_{\min})} \\ \alpha_{\min} &= \min \left\{ \alpha, \left(1 - \frac{4 \times 2.55 \times 10^{-4}}{D_h} \right) \right\} \\ \text{ただし } &\left(1 - \frac{4 \times 2.55 \times 10^{-4}}{D_h} \right) \text{ が負の場合はゼロにリセット} \end{aligned} \quad (a.10)$$

(a.10) 式は Wallis による評価式を、液膜の存在割合を考慮して補正している。 D_h は流路の等価直径である。現状では入力データとして与えた等価直径が使われる。

(c) E の評価式

E は片岡一石井の式に基づき次式により算定する。

$$E = \max(A, B) \quad (a.11)$$

ここで、 A は

$$\begin{aligned} A &= 1 - \exp \left(0.5 \frac{V_E - V_g}{V_E} \right) \\ V_E &= 2.33 \left(\frac{(\rho_\ell - \rho_g) \sigma We_d}{\rho_g^2} \right)^{1/4} \end{aligned}$$

B は、

$$\begin{aligned} B &= 7.75 \times 10^{-7} We_e (Re_\ell We_e)^{1/4} \\ We_e &= \frac{\rho_g^{2/3} (\alpha |V_g|)^2 D_h (\rho_\ell - \rho_g)^{1/3}}{\sigma} \\ Re_\ell &= \frac{\rho_\ell (1-\alpha) |V_\ell| D_h}{\mu_\ell} \end{aligned}$$

A. 1. 3 中間領域に対する評価式

中間領域は、図A.1に示す如く、ボイド率 α が 0.5 と 0.75 の間にある場合である。この領域での界面せん断応力は、気泡流またはスラグ流領域の評価式から定めた係数 C_{i1} と環状噴霧流領域の評価式から定めた係数 C_{i2} を用いて、次式により算定する。

$$C_i = (1-w)C_{i1} + wC_{i2} \quad (a.12)$$

ここで

$$w = \begin{cases} 0 & (\alpha \leq 0.5) \\ (4\alpha - 2)^2 (7 - 8\alpha) & (0.5 < \alpha < 0.75) \\ 1 & (0.75 \leq \alpha) \end{cases}$$

である。 w の値は $\alpha = 0.5$ の時 0 となり、 $\alpha = 0.75$ の時 1 となる。すなわち、 C_i は $\alpha = 0.5$ の時

には C_{i1} に、 $\alpha = 0.75$ の時には C_{i2} にそれぞれ一致する。

(a) C_{i1} の評価方法

C_{i1} の値は、ボイド率 α における値を、気泡流領域及びスラグ流領域に対する評価式に、 V_r に関する次式を組合せて算定する。

$$V_r = \begin{cases} f_1 V_{r1} + (1 - f_1)(V_g - V_\ell) & (0.5 < \alpha < 0.55) \\ V_{r1} & (0.55 < \alpha < 0.75) \end{cases}$$

ここで

$$V_{r1} = 2.33 \left(\frac{(\rho_\ell - \rho_g) \alpha W e_b}{\rho_\ell^2} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$f_1 = (20\alpha - 10)^2 (23 - 40\alpha)$$

(b) C_{i2} の評価方法

C_{i2} の値は、環状噴霧流領域に対する評価式に、スラグ流領域での流動条件をそのまま代入して算定する。

A. 2 界面熱伝達率

界面熱伝達率 h_i は図A.1に示す流動様式マップに従い、(1)気泡流領域及びスラグ流領域、(2)環状噴霧流領域、(3)(1)と(2)の中間領域に区分して、それぞれの流動様式ごとに定められた評価式を用いて評価する。以下の記述では h_i と界面積 A_i の積を H_i とし、便宜上これを界面熱伝達係数と呼ぶこととする。

A. 2. 1 気泡流領域及びスラグ流領域に対する評価式

気泡流領域及びスラグ流領域は、図A.1に示すように、ボイド率 α が0.5以下の場合に相当する。この領域での $H_{i\ell}$ は次式により計算する。

$$H_{i\ell} = \begin{cases} h_{i\ell b} A_{ib} & (\alpha \leq 0.3) \\ h_{i\ell b} A_{ib} + h_{i\ell s} A_{is} & (\alpha > 0.3) \end{cases} \quad (a. 13)$$

ここで、

$$h_{i\ell b} = \begin{cases} \max(h_{i\ell 1}, h_{i\ell 2}) & (T_\ell \geq T_s) \\ 0.02 \rho_\ell V_r \left(\frac{\partial e_\ell}{\partial V_\ell} \right) & (T_\ell < T_s) \end{cases}$$

$$h_{i\ell 1} = \frac{k_\ell}{D_b} \left(2 + 0.74 R e_b^{0.5} \right)$$

$$h_{i\ell 2} = 3.81972 (T_\ell - T_s) \left(\frac{k_\ell}{D_b} \right) \frac{\rho_\ell \left(\frac{\partial e_\ell}{\partial V_\ell} \right)}{\rho_g (h_{sg} - h_{se})}$$

$$h_{i\ell s} = 0.02 \rho_\ell V_r \left(\frac{\partial e_\ell}{\partial V_\ell} \right)$$

$$A_{ib} = 6\alpha_b (Vol) \frac{1}{D_b}$$

$$A_{is} = 6\alpha_s (Vol) \frac{1}{D_B}$$

である。上式においてパラメータ Re_b , D_b , α_b , α_s はそれぞれ次式により計算する。

$$Re_b = \frac{\rho_\ell V_r D_b}{\mu_\ell}$$

$$D_b = \frac{\sigma We_b}{\rho_\ell V_r^2}$$

(ただし、 $1 \times 10^{-4} \leq D_b \leq D_B$)

$$We_b = 7.5$$

$$\alpha_b = \begin{cases} 0.05 & (\alpha \leq 0.05) \\ \alpha & (0.05 < \alpha \leq 0.3) \\ \alpha & (\alpha > 0.3 \text{かつ } G \geq 2700) \\ \alpha(1 - X_{slug}) + (0.45 - 0.5\alpha)X_{slug} & (\alpha > 0.3 \text{かつ } 2000 < G < 2700) \\ 0.45 - 0.5\alpha & (\alpha > 0.3 \text{かつ } G \leq 2000) \end{cases}$$

$$\alpha_s = \begin{cases} 0 & (\alpha \leq 0.30) \\ 0 & (\alpha > 0.3 \text{かつ } G \geq 2700) \\ (1.5\alpha - 0.45)X_{slug} & (\alpha > 0.3 \text{かつ } 2000 < G < 2700) \\ 1.5\alpha - 0.45 & (\alpha > 0.3 \text{かつ } G \leq 2000) \end{cases}$$

$$X_{slug} = \frac{2700 - G}{700}$$

(ただし、 $0 \leq X_{slug} \leq 1$)

H_{ig} は次式により算定する。

$$H_{ig} = \begin{cases} 1000A_{ib} & (T_g \geq T_s) \\ 10000A_{ib} & (T_g < T_s) \end{cases}$$

A. 2. 2 環状噴霧流領域に対する評価式

環状噴霧流領域は図A.1に示すように、ボイド率 α が0.75以上の場合に相当する。この領域での H_{il} は、次式により算定する。

$$H_{il} = \begin{cases} \max(h_{ilf} A_{if} + h_{ild} A_{id}, h_{ild} A_{id}^*) & (T_\ell \geq T_s) \\ h_{ilf} A_{if} + h_{ild} A_{id} & (T_\ell < T_s) \end{cases} \quad (a.14)$$

ここで

$$h_{ilf} = 0.02 \rho_\ell V_\ell \left(\frac{\partial e_\ell}{\partial T_\ell} \right)$$

$$h_{ild} = \begin{cases} 15000 \left(\frac{k_\ell}{D_d} \right) & (T_\ell \geq T_s) \\ 0.02 \rho_\ell V_c \left(\frac{\partial e_\ell}{\partial T_\ell} \right) & (T_\ell < T_s) \end{cases}$$

$$A_{if} = (1 - E) \max(\pi D_h \Delta X, W_{area}) \frac{1 - \alpha}{1 - \min\left(\alpha, 1 - \frac{1.02 \times 10^{-3}}{D_h}\right)}$$

$$A_{id} = 6E(1 - \alpha)(Vol) \frac{1}{D_d}$$

$$A_{id} = 6(1 - \alpha)(Vol) \frac{1}{D_d}$$

である。上式のパラメータ D_d, E, V_c はそれぞれ

$$D_d = \frac{\sigma We_d}{\rho_g V_r^2}$$

(ただし、 $We_d = 0.4$ 、 $1 \times 10^{-5} \leq D_d \leq 3 \times 10^{-3}$)

$$V_c = \min\left\{0.5\left(\frac{\mu_g}{\mu_\ell + \mu_g}\right)V_r, 1.4\sqrt{\frac{\sigma}{\rho_\ell D_d}}, 0.5\right\}$$

$$E = \text{式(a.11)}$$

により計算する。

環状噴霧流領域における H_{ig} は次式により算定する。

$$H_{ig} = h_{igf} A_{if} + h_{igd} A_{id} \quad (\text{a.15})$$

ここで、

$$h_{igf} = 0.02 \rho_g V_r \left(\frac{\partial e_g}{\partial T_g} \right)$$

$$h_{igd} = \frac{k_g}{D_d} \left(2 + 0.74 Re_g^{0.5} Pr_g^{0.333} \right)$$

$$h_{i\ell S} = 0.02 \rho_\ell V_r \left(\frac{\partial e_\ell}{\partial V_\ell} \right)$$

$$Re_g = \frac{\rho_g V_r D_d}{\mu_g}$$

$$Pr_g = \frac{\mu_g}{k_g} \left(\frac{\partial e_g}{\partial T_g} \right)$$

である。

A. 2. 3 中間領域に対する評価式

中間領域は、図A.1に示すように、ボイド率が0.5と0.75の間にある場合である。この領域での $H_{i\ell}$ と H_{ig} は気泡流またはスラグ流領域の評価式から定めた $H_{i\ell 1}$ 、 H_{ig1} と環状噴霧流領域の評価式から定めた $H_{i\ell 2}$ 、 H_{ig2} を用いて、次式により算定する。

$$H_{i\ell} = (1 - w)H_{i\ell 1} + wH_{i\ell 2} \quad (\text{a.16})$$

$$H_{ig} = (1 - w)H_{ig1} + wH_{ig2}$$

ここで

$$w = \begin{cases} 0 & (\alpha \leq 0.5) \\ (4\alpha - 2)^2(7 - 8\alpha) & (0.5 < \alpha < 0.75) \\ 1 & (0.75 \leq \alpha) \end{cases}$$

である。 w の値は $\alpha = 0.5$ の時0となり、 $\alpha = 0.75$ の時1となる。すなわち、 H_{il} と H_{ig} は $\alpha = 0.5$ では H_{il1} 、 H_{ig1} に、 $\alpha = 0.75$ では H_{il2} 、 H_{ig2} にそれぞれ一致する。

H_{il1} 、 H_{ig1} の V_r には次式を使う。

$$V_r^* = wV_{r1} + (1-w)V_r$$

ここで

$$V_{r1} = 2.33 \left(\frac{(\rho_\ell - \rho_g) \sigma We_b}{\rho_\ell^2} \right)^{1/4}$$

$$We_b = 7.5$$

A. 3 壁面せん断応力係数

壁面せん断応力係数 C_{fk} ($k = g, \ell$)は、次式で定義する：

$$\begin{aligned} C_{fg} &= \alpha \rho_g \frac{C_{wg}}{D_h} \\ C_{f\ell} &= (1-\alpha) \rho_\ell \frac{C_{w\ell}}{D_h} \end{aligned} \quad (a.17)$$

壁面摩擦項を考慮する場合、基礎方程式（運動方程式）に摩擦圧力損失として以下の式が加わる：

$$\begin{aligned} -\frac{C_{fg}}{\alpha \rho_g} \vec{V}_g |\vec{V}_g| \\ -\frac{C_{f\ell}}{(1-\alpha) \rho_\ell} \vec{V}_\ell |\vec{V}_\ell| \end{aligned}$$

開発したコードACE-3Dでは摩擦損失係数 f を次式で定義し、それを用いてせん断応力係数を計算する。

$$f = \begin{cases} 0.046 Re^{-0.2} & (Re \geq 5000) \\ 0.032 & (Re \leq 500) \\ 0.032 - 5.25 \times 10^{-6} (Re - 500) & (500 < Re < 5000) \end{cases}$$

ここで

$$Re = \frac{\rho_m V_m D_h}{\bar{\mu}}$$

$$\rho_m V_m = \rho_g \alpha V_g + \rho_\ell (1-\alpha) V_\ell$$

$$\frac{1}{\bar{\mu}} = \frac{x}{\mu_g} + \frac{(1-x)}{\mu_\ell}, \quad x = \frac{1}{1 + \frac{1-\alpha}{\alpha} \frac{\rho_\ell}{\rho_g}}$$

壁面せん断応力係数 C_{wk} ($k = g, \ell$)はそれぞれ次式により算定する。

$$C_{w\ell} = 2.0f$$

$$C_{wg} = \begin{cases} 0.0 & (\alpha \leq 0.9) \\ (10\alpha - 9)^2(21 - 20\alpha)C_{w\ell} & (\alpha > 0.9) \end{cases}$$

A. 4 壁面熱伝達率

壁面熱伝達率は、壁温 T_w 、ボイド率 α 、入力データ $ichf$ を参照して、次のいずれかの領域であるかを判定して計算する。ACE-3Dコードでは、

- (1) 液単相流領域
- (2) 核沸騰領域
- (3) 膜沸騰領域
- (4) 遷移沸騰領域
- (5) 蒸気単相強制対流領域
- (6) 二相混合強制対流領域
- (7) 凝縮熱伝達領域

の7領域ぞれぞれに対して定められた評価式に従い壁面熱伝達率を算定する。

A. 4. 1 相関式の選択方法

図A.2に相関式選択のロジックを示す。

凝縮熱伝達領域 (Condensation) は、

- (条件1) $T_w < T_s$ かつ $\alpha > 0.05$ (サブクール壁で、ボイド率0.05以上)
- (条件2) $T_w < T_g$ または $T_w < T_\ell$ (壁温が蒸気温度または水温度よりも低い)

が同時に満足される時に選択する。

蒸気単相強制対流領域 (Single phase vapor) は、

- (条件3) $T_w \geq T_s$ または $(T_w < T_s$ かつ $T_w \geq T_g$ かつ $T_w \geq T_\ell)$
(飽和壁または過熱壁またはサブクール壁温が蒸気温度及び水温度より高い)
- (条件4) $\alpha = 1$ (ボイド率が1)

が同時に満足される時に選択する。

二相混合強制対流領域は、凝縮熱伝達・蒸気単相強制対流の領域に属さないことに加えて、

- (条件5) $ichf = 0$

の時に選択する。入力データ $ichf$ が0の時に、可能な伝熱形態は、凝縮熱伝達・蒸気単相強制対流・二相混合強制対流の3種類に限定される。

液単相流領域は、上述の各領域に含まれないことに加えて、

- (条件6) $T_w \leq T_s$ または $T_w \leq T_\ell$
(サブクール壁または壁温が水温より低い)

が成立する時に選択する。

上述のいずれの条件も満足しない時に沸騰曲線が適用される。コード内で計算されるCHF 温度 T_{CHF} と最小膜沸騰温度 T_{min} と壁温 T_w とを比較し、 $T_w \leq T_{CHF}$ ならば核沸騰領域として、 $T_{CHF} < T_w \leq T_{min}$ ならば遷移沸騰領域として、 $T_w > T_{min}$ ならば膜沸騰領域としてそれぞれ扱う。

A. 4. 1. 1 CHF 温度及び限界熱流束の評価方法

CHF 温度は、核沸騰領域と遷移沸騰領域の境界温度である。境界点での熱流束が限界熱流束 q_{CHF} である。

- (a) 限界熱流束の評価式

限界熱流束は、次式により算定する。

$$q_{CHF} = \begin{cases} \max(q_{CHF0}, q_{CHF1}, 0) & (\alpha < 0.98) \\ h_{force}(T_w - T_\ell) & (\alpha \geq 0.98) \end{cases} \quad (a.18)$$

ここで、

$$q_{CHF0} = \frac{1.883 \times 10^7}{(100D_h)^n (0.1G)^{1/6}} \left(\frac{f_p}{(0.1G)^{1/6}} - x \right)$$

$$q_{CHF1} = \frac{3.78 \times 10^7}{(100D_h)^n (0.1G)^{0.6}} h_p (1-x)$$

である。パラメータ n 、 f_p 、 h_p はそれぞれ、

$$n = \begin{cases} 0.4 & (D_h \geq 0.01) \\ 0.6 & (D_h < 0.01) \end{cases}$$

$$f_p = 0.7249 + 9.9 \times 10^{-2} p_{bar} \exp(-0.032 p_{bar})$$

$$h_p = -1.159 + 0.149 p_{bar} \exp(-0.019 p_{bar}) + \frac{8.99 p_{bar}}{10 + p_{bar}^2}$$

$$p_{bar} = 10^{-5} p$$

により計算する。なお質量速度 G について $200 \text{kg/m}^2\text{s}$ 以下の時には $G = 200 \text{kg/m}^2\text{s}$ とみなして計算する。 h_{force} は、後述する(a.27)式により算定する。

(b) CHF 温度 T_{CHF} の評価方法

CHF 温度 T_{CHF} は、核沸騰領域の熱伝達率相関式において、熱流束 q が q_{CHF} となる壁温を逆算して求めることで定める。(ただし、コード内では最大値は $(T_s + 100)$ 、最小値は $(T_s + 0.5)$ の範囲内に制限している)。すなわち、

$$T_{CHF} = \min\left(\frac{q_{CHF}}{h_c}, 100\right) + T_s \quad (a.19)$$

(a.19)式において、 h_c は核沸騰領域の熱伝達相関式において、壁温 T_w が T_{CHF} であるとした時の熱伝達率である。(a.19)式は両辺に T_{CHF} を含むので、反復法により算出する。

A. 4. 1. 2 最小膜沸騰温度の評価式

最小膜沸騰温度 T_{min} は、膜沸騰領域と遷移沸騰領域の境界温度として利用する。

T_{min} は次式により評価する。

$$T_{min} = T_{nh} + (T_{nh} - T_\ell) R^{0.5} \quad (a.20)$$

ここで

$$R = \frac{k_\ell \rho_\ell C p_\ell}{k_w \rho_w C p_w}$$

$$T_{nh} = 705.44 - 4.722 \times 10^{-2} DP + 2.3907 \times 10^{-5} DP^2 - 5.8193 \times 10^{-9} DP^3$$

$$DP = 3203.6 - p$$

上式での温度単位は F、圧力は p s i である。

A. 4. 2 壁面熱伝達率評価式

A. 4. 2. 1 液单相流領域に対する評価式

液单相流領域での壁面熱伝達率は、自然対流または強制対流の評価式により計算する。自然対流の評価式は次の条件が満足される範囲で使用する。

$$\frac{Gr}{Re^2} > 1.0 \text{ または } Re = 0 \quad (\text{a. 21})$$

ここで、

$$Gr = g \cdot \beta |T_w - T_\ell| \frac{\rho_f^2 D_h^3}{\mu_\ell^2}$$

$$Re = \rho_f V_\ell |D_h| \frac{1}{\mu_\ell}$$

$$\rho_f = \rho_\ell + \left[\frac{\partial \rho_\ell}{\partial T} \right] (T_f - T_\ell)$$

$$T_f = \frac{(T_w + T_\ell)}{2}$$

$$\beta = - \left[\frac{\partial \rho_\ell}{\partial T} \right] \frac{1}{\rho_\ell}$$

である。 (a. 21) 式以外の範囲では、強制対流の評価式により壁面熱伝達率を算定する。

(a) 自然対流の評価式

自然対流の評価式は、次式で与える。

$$h_g = \begin{cases} 0 & (\alpha \leq 0.99) \\ \frac{\alpha - 0.99}{1.0 - 0.99} h_g^* & (\alpha > 0.99) \end{cases} \quad (\text{a. 22})$$

$$h_g^* = \max(h_{\ell 1}, h_{\ell 2}) \quad (\text{a. 23})$$

ここで、

$$h_{\ell 1} = 0.59 (Gr \cdot Pr)^{0.25} \left[\frac{k_\ell}{D_h} \right]$$

$$h_{\ell 2} = 0.10 (Gr \cdot Pr)^{0.3333} \left[\frac{k_\ell}{D_h} \right]$$

$$Pr = \frac{C p_\ell \mu_\ell}{k_\ell}$$

であり、 $h_{\ell 1}$ は層流、 $h_{\ell 2}$ は乱流の場合にそれぞれ対応する。また h_g^* は蒸気単相流の場合の値であり、(a. 41) 式による。

(b) 強制対流の評価式

強制対流の評価式は次式で与える。

$$h_g = \begin{cases} 0 & (\alpha \leq 0.99) \\ \frac{\alpha - 0.99}{1.0 - 0.99} h_g^* & (\alpha > 0.99) \end{cases} \quad (\text{a. 23})$$

$$h_g^* = \max(h_{\ell 3}, h_{\ell 4}) \quad (\text{a. 24})$$

ここで、

$$h_{\ell 3} = 4 \left[\frac{k_\ell}{D_h} \right]$$

$$h_{\ell 4} = 0.023 Re_\ell^{0.8} Pr^{0.4} \left[\frac{k_\ell}{D_h} \right]$$

$$Re_\ell = \frac{\rho_\ell(1-\alpha)|V_\ell|D_h}{\mu_\ell}$$

であり、 h_{ℓ_3} は層流、 h_{ℓ_4} は乱流の場合にそれぞれ対応する。また h_g^* は蒸気単相流の場合の値であり、(a. 41)式による。

A. 4. 2. 2 核沸騰領域に対する評価式

核沸騰領域では液相に対する熱伝達率はChenの相関式に基づき、気相に対する熱伝達率は自然対流またはDougal-Rohsenowの相関式に基づいて評価する。また高ボイド率領域ではボイド率 α に対する線型内挿を行い補正する。

(a) 液相に対する熱伝達率の評価式

液相に対する熱伝達率は次式で評価する。

$$h_\ell = h_{\text{forc}} + w_{n1}h_{\text{nucb}} \quad (\text{a. 26})$$

ここで

$$h_{\text{forc}} = \max(h_{\text{forc1}}, h_{\text{forc2}}) \quad (\text{a. 27})$$

$$h_{\text{forc1}} = 0.023 Re_{TP}^{0.8} Pr_\ell^{0.4} \left[\frac{k_\ell}{D_h} \right]$$

$$h_{\text{forc2}} = 4.0 \left[\frac{k_\ell}{D_h} \right]$$

$$h_{\text{nucb}} = 0.00122 \frac{k_\ell^{0.79} C p_\ell^{0.45} \rho_\ell^{0.49}}{\sigma^{0.5} \mu_\ell^{0.29} h_g^{0.24} \rho_g^{0.24}} (T_w - T_s)^{0.24} (p_w - p)^{0.75} S \cdot w_{n2} \quad (\text{a. 28})$$

$$w_{n1} = \min \left[1, \frac{T_w - T_s}{T_w - T_\ell} \right]$$

である。上式においてパラメータ Re_{TP} 、 Pr_ℓ 、 S はそれぞれ

$$Re_{TP} = \frac{\rho_\ell(1-\alpha)|V_\ell|D_h}{\mu_\ell} \exp(1.25F)$$

$$F = \begin{cases} 0.0 & \left(X_u^{-1} \leq 0.1 \right) \\ 0.8544153 + \ln(X_u^{-1} + 0.213) & \left(X_u^{-1} > 0.1 \right) \end{cases}$$

$$X_u^{-1} = \left(\frac{x}{1-x} \right)^{0.9} \left(\frac{\rho_\ell}{\rho_g} \right)^{0.5} \left(\frac{\mu_g}{\mu_\ell} \right)^{0.1} \quad \left(\text{ただし } X_u^{-1} \leq 100 \right)$$

$$Pr_\ell = \frac{C p_\ell \mu_\ell}{k_\ell}$$

$$S = \begin{cases} 1.0 & (Re_{TPP} \leq 0) \\ (1 + 0.12 Re_{TPP}^{1.14})^{-1} & (0 < Re_{TPP} < 32.5) \\ (1 + 0.42 Re_{TPP}^{0.78})^{-1} & (32.5 \leq Re_{TPP} \leq 70) \\ (1 + 0.42 \times 70^{0.78})^{-1} & (70 < Re_{TPP}) \end{cases}$$

$$Re_{TPP} = Re_{TP} \times 10^{-4}$$

である。(a. 28)式でパラメータ w_{n2} は、

$$w_{n2} = \begin{cases} 1 & (\alpha < 0.7) \\ S/S_1 & (\alpha \geq 0.7) \end{cases}$$

である。 S_1 はボイド率 α として0.7を Re_{TP} 式に代入して S 及び Re_{TPP} 式により求めた S の値 S^* から次式により求める。

$$S_1 = \min(S, S^*) \frac{0.98 - \alpha}{0.98 - 0.70}$$

なお、(a. 28)式の p_w は温度 T_w における水の飽和圧力を示す。

(b) 気相に対する熱伝達率の評価式

核沸騰領域において、壁面からの気相への熱伝達率 h_g は、次式により計算される。

$$h_g = \left(\frac{T_w - T_s}{T_{CHF} - T_s} \right)^2 \max(h_{nc}, h_{DR}) \quad (a. 29)$$

ここで

$$h_{nc} = 0.13k_g \left(\frac{\rho_g^2 g_C |T_w - T_g|}{\mu_g^2 T_g} \right)^{0.333} Pr_g^{0.333}$$

$$h_{DR} = 0.023 Re_{TP}^{0.8} Pr_g^{0.4} \left(\frac{k_g}{D_h} \right)$$

$$Re_{TP} = \frac{|V_g| \alpha + |V_f| (1 - \alpha) \rho_g D_h}{\mu_g}$$

$$Pr_g = \frac{C p_g \mu_g}{k_g}$$

である。

(c) 高ボイド率領域における熱伝達率の補正

ボイド率 α が0.98以上の時、線形内挿により、熱伝達率を補正する。すなわち、

$$h_\ell' = h_\ell + \frac{\alpha - 0.98}{0.9999 - 0.98} (0.0 - h_\ell')$$

$$h_g' = h_g + \frac{\alpha - 0.98}{1.0 - 0.98} (h_{VSAT} - h_g')$$

である。上式において h_ℓ 及び h_g はボイド率を α として、(a. 26)式及び(a. 29)式を用いて算定した液相及び気相に対する熱伝達率である。 h_{VSAT} は蒸気単相流に対する熱伝達率である。 h_ℓ は $\alpha=0.9999$ の時に0.0に、 h_g は $\alpha=1.0$ の時に h_{VSAT} になる。また $\alpha=0.98$ においてそれぞれ h_ℓ' 、 h_g' となる。

A. 4. 2. 3 膜沸騰領域に対する評価式

膜沸騰領域の壁面熱伝達率は、液相と気相とを分離して評価する。液相に対する熱伝達率は、放射による熱伝達・膜沸騰による熱伝達・壁から液滴への熱伝達の3成分の和として求める。膜沸騰成分はBromleyの相関式を、液滴への熱伝達成分は、Forstlund-Rohsenowによる相関式を基礎に、ボイド率 α や液相のなかで液滴の占める割合 E を含む関数で補正して評価する。気相に対する熱伝達率は、自然対流及び強制対流の熱伝達相関式で求めた熱伝達率の

なかの最大値として評価する。

(a) 液相に対する熱伝達率の評価式

液相に対する熱伝達率は次式で与える。

$$h_e = h_r \left(\frac{T_w - T_s}{T_w - T_e} \right) + h_{fb} \left(\frac{T_w - T_s}{T_w - T_e} \right) + h_{df} \quad (\text{a. 30})$$

上式において右辺の第1項は、放射熱伝達項、第2項は膜沸騰熱伝達項、第3項は液滴への熱伝達項を表わし、それぞれ次式により評価する。

$$h_r = (1 - \alpha) \sigma_{SB} \epsilon \left(\frac{T_w^4 - T_s^4}{T_w - T_s} \right) \quad (\text{a. 31})$$

ここで、 σ_{SB} は Stefan-Boltzmann 定数であり、 5.6697×10^{-8} である。また液相の存在率 $(1 - \alpha)$ に比例するものとした。

h_{fb} は、

$$h_{fb} = \begin{cases} h_{fb0} & (\alpha \leq 0.5) \\ h_{fb0}(3 - 2X_1)X_1^2 & (0.5 < \alpha \leq 0.75) \\ 0 & (0.75 < \alpha) \end{cases} \quad (\text{a. 32})$$

で与える。ここで h_{fb0} は Bromley による膜沸騰熱伝達相關式で

$$h_{fb0} = 0.62 \left(\frac{\rho_g k_g^3 (\rho_e - \rho_g) g h_{fg}'}{\mu_g (T_w - T_s) \lambda} \right)^{1/4} \quad (\text{a. 33})$$

$$\lambda = 2\pi \left(\frac{\sigma}{g(\rho_e - \rho_g)} \right)^{1/2}$$

$$h_{fg}' = h_{fg} + 0.5 C p_g (T_g - T_s)$$

で与える。また $X_1 = (0.75 - \alpha)/(0.75 - 0.5)$

液滴への熱伝達項 h_{df} は Forslund-Rohsenow による相關式

$$h_{df0} = 0.2 C_1 ((1 - \alpha) E)^{0.667} BRAC^{0.25} \left(\frac{T_w - T_s}{T_w - T_e} \right) \quad (\text{a. 34})$$

に基づき評価する。上式において、

$$C_1 = 1.276$$

$$BRAC = \frac{g \rho_e \rho_g h_{fg}' k_e^3}{|T_w - T_s| \mu_g d_{drop}} \cdot \frac{We \cdot \sigma}{We \cdot \sigma}$$

$$d_{drop} = \frac{We \cdot \sigma}{\rho_g (V_g - V_e)^2} \quad (\text{ただし、} 1.0 \times 10^{-4} < d_{drop} < 3.0 \times 10^{-3}, We=4.0)$$

パラメータ E は液滴の割合を示すが、次式により与える。

$$E = \max(E_1, E_2)$$

$$E_1 = 1 - \exp \left(0.23 \frac{V_E - V_g}{V_E} \right)$$

$$E_2 = 7.75 \times 10^{-7} We_e (Re \cdot We_e)^{1/4}$$

$$V_E = 2.33 \left(\frac{(\rho_\ell - \rho_g) \sigma We}{\rho_g^2} \right)^{1/4}$$

$$We_e = \frac{\rho_g^{2/3} (\alpha V_g)^2 D_h (\rho_\ell - \rho_g)^{1/3}}{\sigma}$$

液滴に対する熱伝達項 h_{df} は、(a. 33) 及び(a. 34) 式を使い次式により算定する。

$$h_{df} = \begin{cases} 0.0 & (\alpha < 0.5 \text{ または } V_g = V_\ell \text{ または } T_w = T_s) \\ \min(h_{df0}, h_{fbb0}) (3 - 2X_1) X_1^2 & (0.5 \leq \alpha < 0.75) \\ \min(h_{df0}, h_{fbb0}) & (0.75 \leq \alpha) \end{cases} \quad (a. 35)$$

ここでパラメータ X_1 は、

$$X_1 = \frac{(\alpha - 0.50)}{(0.75 - 0.50)}$$

(b) 気相に対する熱伝達率の評価式

気相に対する熱伝達率 h_g は、乱流自然対流についての熱伝達率 h_{nc} 、強制対流についての Dougall-Rohsenow の相関式による h_{DR} を用いて、次式により評価する。

$$h_g = \max(h_{nc}, h_{DR}) \quad (a. 36)$$

ここで、

$$h_{nc} = 0.13 k_g \left(\frac{\rho_g^2 g |T_w - T_g|}{\mu_g^2 T_g} \right)^{0.333} Pr_g^{0.333}$$

$$h_{DR} = 0.023 Re_{TP}^{0.8} Pr_g^{0.4} \left(\frac{k_g}{D_h} \right)$$

$$Re_{TP} = \frac{|V_g| \alpha + |V_\ell| (1 - \alpha) \rho_g D_h}{\mu_g}$$

$$Pr_g = \frac{C p_g \mu_g}{k_g}$$

である。

ボイド率 α が 0.98 以上の場合、次式により補正した値 h_g^* を用いる。すなわち、

$$h_g^* = (h_{VS4V} - h_g) \frac{\alpha - 0.98}{1 - 0.98} + h_g$$

である。ここで h_{VS4V} は蒸気単相流の相関式（後述）により求めた熱伝達率である。

A. 4. 2. 4 遷移沸騰領域に対する評価式

遷移沸騰領域に対する熱流束 q_{trans} は、CHF 温度 T_{CHF} と最小膜沸騰温度 T_{min} における熱流束を、 T_{CHF} と T_{min} の関数として定義される重み γ により内挿することにより算定する。すなわち、

$$q_{trans} = \gamma q_{CHF} + (1 - \gamma) q_{min} \quad (a. 37)$$

ここで、

$$\gamma = \left(\frac{T_w - T_{\min}}{T_{CHF} - T_{\min}} \right)^2$$

である。 q_{CHF} は(a.18)式により求めた熱流束である。また、 q_{\min} は壁温 T_w に T_{\min} を代入して、A. 4. 2. 3節に示した膜沸騰相関式を用いて算出した気相及び液相についての壁面熱伝達率 $h_{g\min}$ 及び $h_{\ell\min}$ を求め、

$$q_{\min} = h_{\ell\min}(T_{\min} - T_{\ell}) + h_{g\min}(T_{\min} - T_g) \quad (\text{a. 38})$$

に代入して算定した熱流束である。

気相に対する熱伝達率 h_g は、壁温 T_w において、膜沸騰領域と同様の式を適用して算定する。すなわち

$$h_g = \max(h_{nc}, h_{DR}) \quad (\text{a. 39})$$

であり、 h_{nc} 及び h_{DR} は、(a.36)式で示した式により算定する。

液相に対する熱伝達率 h_{ℓ} は、 q_{trans} から気相への伝熱量 $h_g(T_w - T_g)$ を除いた熱流束相当量を与える熱伝達率として、次式により計算する。

$$h_{\ell} = \frac{q_{trans} - h_g(T_w - T_g)}{|T_w - T_{\ell}|} \quad (\text{ただし } h_{\ell} \geq 0) \quad (\text{a. 40})$$

A. 4. 2. 5 蒸気単相強制対流領域に対する評価式

蒸気単相強制対流領域に対して、気相に対する熱伝達率 h_g は次式により算定する。

$$h_g = \max(h_{gnc}, h_{gturb}) \quad (\text{a. 41})$$

ここで

$$h_{gnc} = 0.13k_g \left(\frac{\rho_g^2 g C |T_w - T_g|}{\mu_g^2 T_g} \right)^{0.333} \left(\frac{C p_g \mu_g}{k_g} \right)^{0.333}$$

$$h_{gturb} = 0.023 \left(\frac{\rho_g |V_g| D_h}{\mu_g} \right)^{0.8} \left(\frac{C p_g \mu_g}{k_g} \right)^{0.333} \left(\frac{k_g}{D_h} \right)$$

である。また、液相に対しては

$$h_{\ell} = 0 \quad (\text{a. 42})$$

とする。

A. 4. 2. 6 二相混合強制対流領域に対する評価式

二相混合強制対流領域に対する壁面熱伝達率は、ボイド率 α の大きさが0.98の時を境界として、2通りに分ける。

ボイド率 α が0.98以下の場合には、次式により計算する。

$$h_{\ell} = \max(h_{\ell lam}, h_{\ell turb}) \quad (\text{a. 43})$$

ここで

$$h_{\ell lam} = 4 \left[\frac{k_{\ell}}{D_h} \right]$$

$$h_{\ell turb} = 0.023 Re_m^{0.8} Pr_f^{0.4} \left[\frac{k_{\ell}}{D_h} \right]$$

また、気相に対しては

$$h_g = 0 \quad (\text{a. 44})$$

とする。

ポイド率が0.98を越える場合に対しては、

$$h_\ell = h_\ell^* + \frac{\alpha - 0.98}{0.9999 - 0.98} (0.0 - h_\ell^*) \quad (\text{a. 45})$$

$$h_g = h_g^* + \frac{\alpha - 0.98}{1.0 - 0.98} (h_g^* - h_g^{**}) \quad (\text{a. 46})$$

$$h_g^* = \max(h_{gnc}, h_{gurb})$$

により h_ℓ 、 h_g を計算する。 h_ℓ^* は(a. 43)式を用いて計算する。 h_g^{**} は、前述の蒸気単相強制対流領域の(a. 41)式により算定された値である。また、(a. 43)式の各パラメータは次式により算定する。

$$\begin{aligned} Re_m &= \frac{GD_h}{\mu_m} \\ Pr_\ell &= \frac{Cp_\ell \mu_\ell}{k_\ell} \\ \mu_m &= \left(\frac{x_f}{\mu_g} + \frac{1-x_f}{\mu_\ell} \right)^{-1} \\ G &= |\rho_m V_m| \\ x_f &= \frac{\alpha \rho_g R_{slip}}{\alpha \rho_g R_{slip} + (1-\alpha) \rho_\ell} \\ R_{slip} &= \left| \frac{V_g}{V_\ell} \right| \end{aligned}$$

A. 4. 2. 7 凝縮熱伝達領域に対する評価式

凝縮熱伝達領域に対する壁面熱伝達率は、熱平衡クオリティ x_{eq} の値が0.71未満ではChen の相関式を、 x_{eq} が0.71以上ではNusseltの相関式を基礎として評価する。 x_{eq} は下記により計算する。

$$x_{eq} = \frac{\alpha \rho_g}{\alpha \rho_g + (1-\alpha) \rho_\ell}$$

(a) $x_{eq} < 0.71$ の場合

$$h_g = 0 \quad (\text{a. 47})$$

$$h_\ell = \begin{cases} h_{forc} + h_{nucb} & ((\text{a.21})\text{式が成り立たない時}) \\ h_\ell & ((\text{a.21})\text{式が成り立つ時}) \end{cases} \quad (\text{a. 48})$$

ここで

$$h_{forc} = \max(h_{forc1}, h_{forc2})$$

$$h_{forc1} = 0.023 Re_{TP}^{0.8} Pr_\ell^{0.4} \left[\frac{k_\ell}{D_h} \right]$$

$$\begin{aligned}
h_{\text{forc}2} &= 4.0 \left[\frac{k_\ell}{D_h} \right] \\
h_{\text{nucb}} &= 0.0 \\
Re_{TP} &= \frac{\rho_\ell(1-\alpha)|V_\ell|D_h}{\mu_\ell} \exp(1.25F) \\
F &= \begin{cases} 0.0 \\ 0.8544153 + 0.7361 \cdot \ln(X_u^{-1} + 0.213) \end{cases} \quad \begin{cases} (X_u^{-1} \leq 0.1) \\ (X_u^{-1} > 0.1) \end{cases} \\
X_u^{-1} &= \left(\frac{x_{eq}}{1-x_{eq}} \right)^{0.9} \left(\frac{\rho_\ell}{\rho_g} \right)^{0.5} \left(\frac{\mu_g}{\mu_\ell} \right)^{0.1}
\end{aligned}$$

(a. 48)式はChenの相関式において、パラメータ S の値を0とした場合に相当する。

(b) $x_{eq} \geq 0.71$ の場合

$$h_\ell = h_{\ell1} + \frac{h_{\ell2} - h_{\ell1}}{1.0 - 0.71} (x_{eq} - 0.71) \quad (\text{a. 49})$$

ここで $h_{\ell1}$ は、Chenの相関式においてパラメータ S を0とした場合で、(a. 48)式による。

$h_{\ell2}$ は0とする。 h_g は、

$$h_g = h_{g1} + \frac{h_{con3} - h_{g1}}{1.0 - 0.71} (x_{eq} - 0.71) \quad (\text{a. 50})$$

ここで、

$$h_{g1} = 0$$

$$h_{con3} = [(1-w_c)h_{con1} + w_c \cdot \max(h_{con1}, h_{con2})] \times \frac{(T_s - T_w)}{\max(|T_s - T_w|, 0.01)}$$

$$w_c = \frac{L - 0.2}{1.8} \quad (\text{ただし } 0 \leq w_c \leq 1)$$

$$h_{con1} = 0.9428 \left(\frac{k_\ell^3 \rho_\ell^2 g \cos \theta h_{fg}'}{\mu_\ell L (T_s - T_w)} \right)^{1/4}$$

$$h_{con2} = 0.003 \left(\frac{k_\ell^3 \rho_\ell^2 g \cos \theta L (T_s - T_w)}{h_{fg}' \mu_\ell^3} \right)^{1/2}$$

L は代表長さである。

A. 4. 2. 8 セル内にフロスレベルがある時の計算方法

セル内にフロスレベルが存在すると判断された時、壁面熱伝達率 h_ℓ 及び h_g は、次式により計算する。

$$h_\ell = f_X \cdot h_{\ell1} + (1-f_X)h_{\ell2} \quad (\text{a. 51})$$

$$h_g = f_X \cdot h_{g1} + (1-f_X)h_{g2} \quad (\text{a. 52})$$

ここで $h_{\ell1}$ と h_{g1} は、ボイド率として、

$$\alpha_1 = \min(\alpha_{j-1}, \alpha_j, \alpha_{j+1}) \cdot f_y + (1-f_y) \cdot \min(\alpha_j, 0.9999 - 1.0 \times 10^{-8})$$

を与え、A. 4. 2節でここまでに示した式を用いて計算した熱伝達率である。また、 $h_{\ell2}$ と h_{g2} は、

ボイド率として、

$$\alpha_1 = \max(\alpha_{j-1}, \alpha_j, \alpha_{j+1})$$

を用いて求めた熱伝達率である。 f_x 、 f_y は重み係数であり、それぞれ

$$f_x = \frac{\max(\alpha_{j-1}, \alpha_j, \alpha_{j+1}) - \alpha_j}{\max(\alpha_{j-1}, \alpha_j, \alpha_{j+1}) - \min(\alpha_{j-1}, \alpha_j, \alpha_{j+1})}$$

$$f_y = (3 - 2x_1)x_1^2$$

$$x_1 = \frac{\max(\alpha_{j-1}, \alpha_j, \alpha_{j+1}) - 0.97}{(0.98 - 0.97)}$$

で計算する。

フロスレベルの有無は、次の（条件1）～（条件5）のいずれかが満足されない時に、フロスレベルは存在しないものとする。

$$(条件1) \quad \max(\alpha_{j-1}, \alpha_j, \alpha_{j+1}) < 0.97$$

$$(条件2) \quad \min(\alpha_{j-1}, \alpha_j, \alpha_{j+1}) \geq 0.98$$

$$(条件3) \quad \alpha_j \leq \min(\alpha_{j-1}, \alpha_j, \alpha_{j+1})$$

$$(条件4) \quad \alpha_j \geq \max(\alpha_{j-1}, \alpha_j, \alpha_{j+1})$$

$$(条件5) \quad \max(\alpha_{j-1}, \alpha_j, \alpha_{j+1}) - \min(\alpha_{j-1}, \alpha_j, \alpha_{j+1}) < 1.0 \times 10^{-4}$$

A. 4. 2. 9 ボイド率が0.97と0.98の中間にある計算方法

セル内のボイド率が0.97と0.98の中間にある時、壁面熱伝達率 h_ℓ 及び h_g は次式により計算する。

$$h_\ell = h_{\ell 1} + \frac{\alpha - 0.97}{0.98 - 0.97} (h_{\ell 2} - h_{\ell 1}) \quad (a. 53)$$

$$h_g = h_{g 1} + \frac{\alpha - 0.97}{0.98 - 0.97} (h_{g 2} - h_{g 1}) \quad (a. 54)$$

ここで $h_{\ell 1}$ と $h_{g 1}$ はボイド率を0.97として、 $h_{\ell 2}$ と $h_{g 2}$ はボイド率を0.98として、A. 4. 2節でここまで示した式を用いて計算した熱伝達率である。

ここに示した計算方法が適用される条件は、正確には、次の条件のすべてが満足されることである。

$$(条件1) \quad \alpha \leq 0.97$$

$$(条件2) \quad \alpha \geq 0.98$$

$$(条件3) \quad T_w < T_s$$

$$(条件4) \quad T_w < T_\ell$$

A. 4. 2. 10 ボイド率が0.15以下の時の計算方法

ボイド率が0.15以下の場合、またはA. 4. 2. 1節からA. 4. 2. 7節の式を用いて算定された蒸気側の熱伝達率が0以下の場合には、次に示す計算方法により補正する。

$$h_\ell = \frac{q_{\ell 1}}{(T_w - T_\ell)} \quad (a. 55)$$

$$h_g = \frac{q_{g 1}}{(T_w - T_g)} \quad (a. 56)$$

ここで

$$q_{\ell 1} = h_{g 1}(T_w - T_g) + h_{\ell 1}(T_w - T_\ell) - q_{g 1}$$

$$q_{g1}^* = \begin{cases} \frac{\alpha - 0.01}{0.15 - 0.01} h_{g1} (T_w - T_g) & (0.01 < \alpha \leq 0.15) \\ 0 & (\alpha \leq 0.01) \end{cases}$$

$h_{\ell 1}$ と h_{g1} はそれぞれA. 4. 2. 1節からA. 4. 2. 7節の式を用いて算定した熱伝達率である。

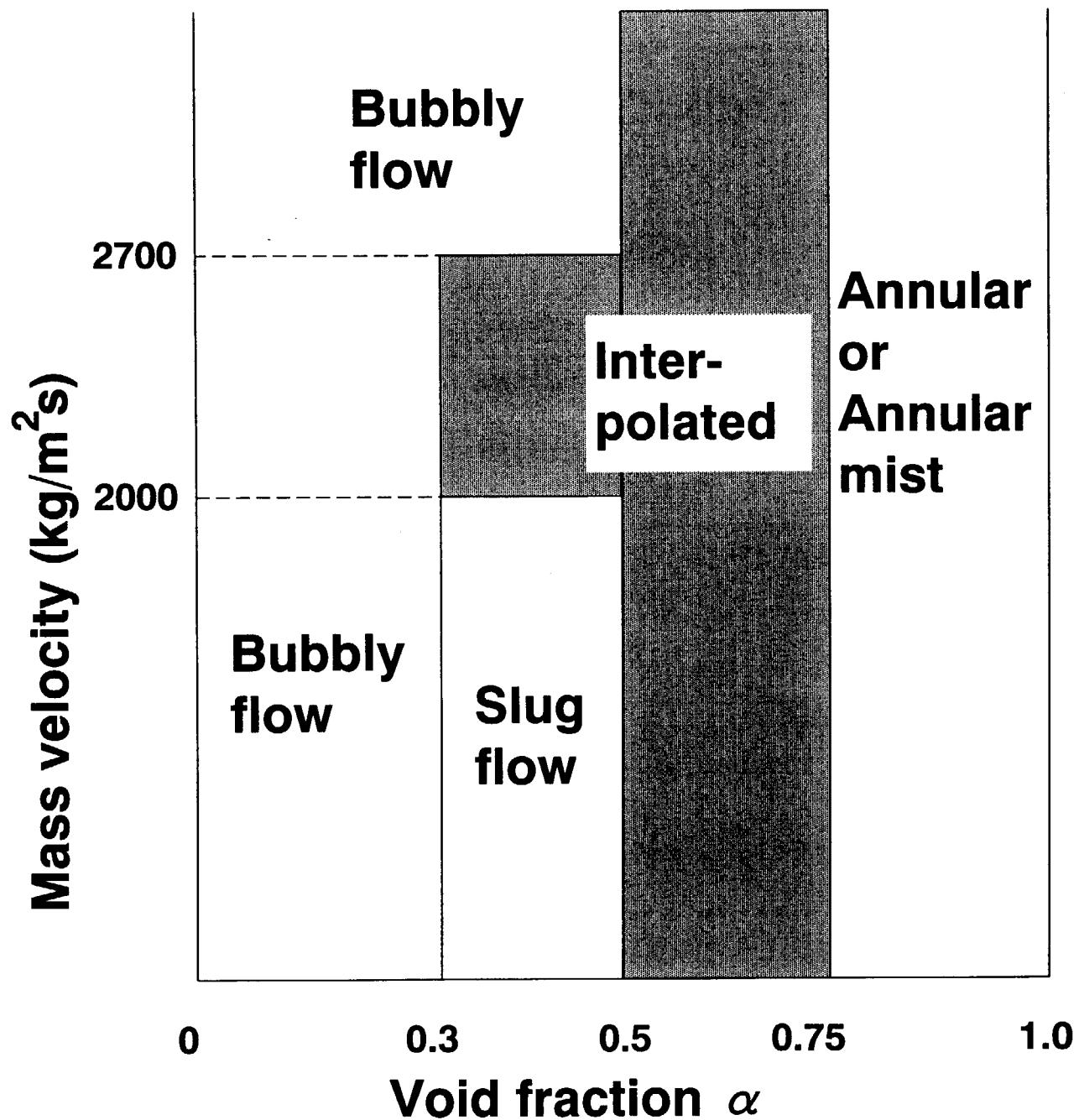


図 A.1 流動様式マップ

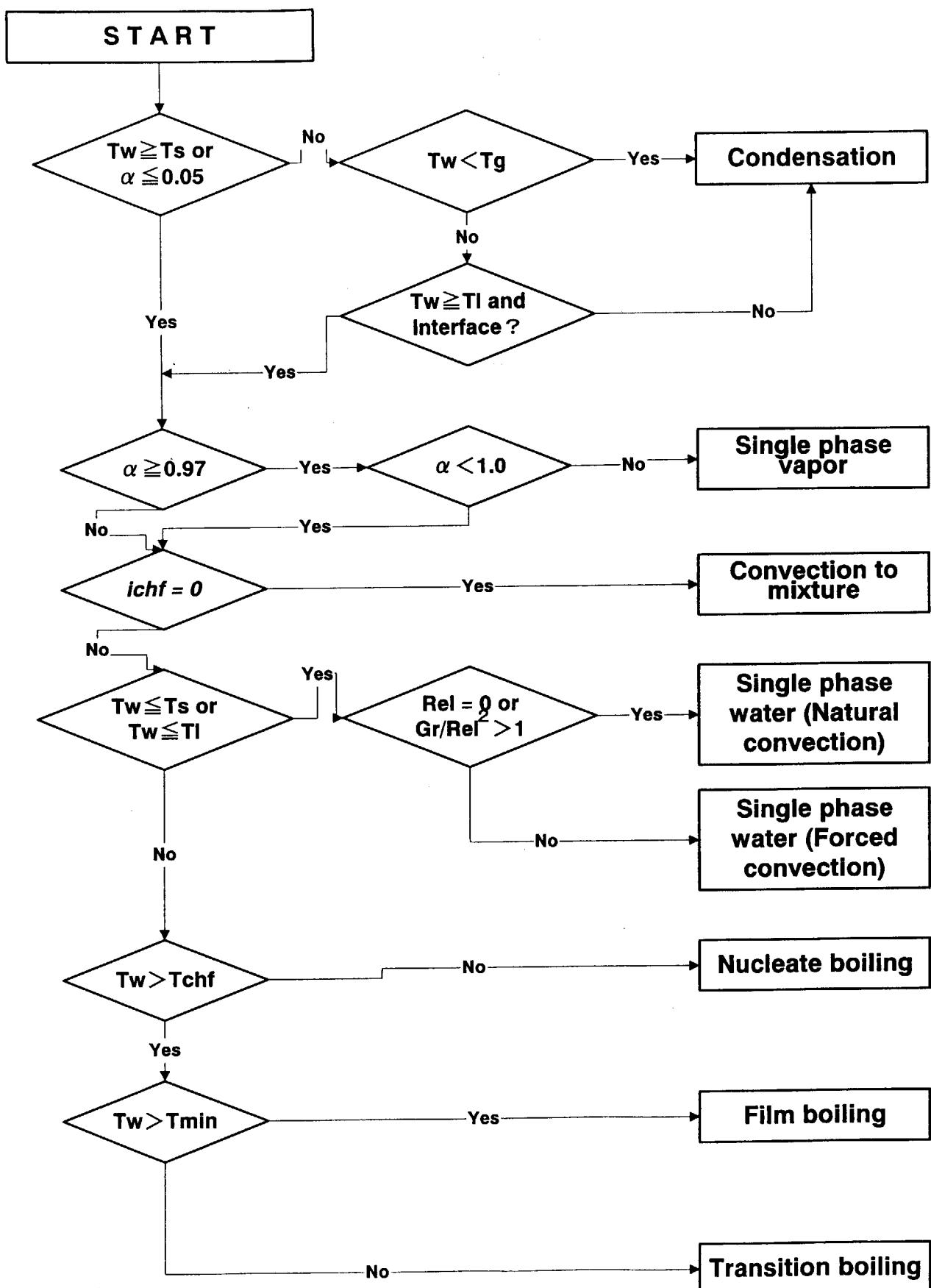


図 A.2 壁面熱伝達率相關式選択のロジック

This is a blank page.

付録B. 入力マニュアル

This is a blank page.

入力は Fortran の自由フォーマットにより読み込まれる。また、入力データ中にコメント等を記述出来る様に、入力データの前処理を行っている。まず、第 1 節でこの前処理について述べる。第 2 節でデータの入力方法を示す。第 3 節では Unix 環境のもとでの ACE-3D コードの実行方法を示す。

B. 1 入力の前処理

コメントやちょっとしたメモをインプットデータ中に残しておきたい場合がよくある。サブルーチン rdcards の目的は、インプットデータ中のコメント等を取り除き、Fortran のインプットデータとして用いられるように、入力データを整形することである。更に、別の入力データのインクルードの様なプリプロセッサの機能も備えている。本説では、これらの機能の使用方法を述べる。コメントの記述方法には 2 通りある。二つのスラッシュ (//) は、その場所から行の最後までがコメントである事を指示する。従って、行の最初にあれば、その行全体がコメントとして取り扱われる。また、行の中にあれば、行の始めからそのスラッシュの直前までは入力データとして扱われ、その場所から、行の終わりまでがコメントとして取り扱われる。例えば、

```
// this card is a comment card.
3   5   12.6 // this is the 1st card.
```

というカードを考える。1枚目のカードでは、// が行の最初にあるため、このカード全体がコメントになる。2枚目のカードでは、// 以降がコメントの扱いを受ける。

もう一つのコメントの記述方法は /* 及び */ でコメントを囲むことである。// によるコメントの記述方法では、行にまたがるコメントを記述出来ないが、この方法では、行にまたがるコメントの記述も可能になる。以下に例を示す。

```
/* node */ 15 /* element */ 6
23.8 /*
    this is a comment.
    */
/* /* this is an example of nesting. */ */
```

1枚目のカードでは、/* node */ 及び /* element */ がコメントである。この機能はコメント中にインプットされる変数の名前等を記述する時に便利である。2枚目のカードに含まれる /* に対応する */ は4枚目のカード内にある。従って、この間の部分がコメントとして扱われる。具体的には、2枚目のカードの /* 以降、3枚目のカード全体及び4枚目のカードの */ までである。2枚目のカードの 23.8 及び4枚目のカードの 56.7 は入力データとして取り扱われる。このコメントのネストは許されない。ネストが発見された場合は、ジョブの実行を中止する。従って、上の例の 5枚目のカードのようなネストが検出された場合は、この時点で、ジョブの実行を中止する。

コメントの部分はブランクで置き換えられる。従って、上の例の 3枚目のカードはブランクカードになる。

前処理ルーチン rdcards に色々な機能の実行を要求するコマンド（ディレクティブと呼ぶ）は1カラム目に # を書き、続けてコマンド名を記述する。そのコマンドにパラメータが必要な場合には、コマンド名とブランクをあけてパラメータを記述する。現在、以下のディレクティブがインストールされている。

- ファイルのインクルード (#include filename)

この位置に別のファイルをインクルードする。インクルードファイルのネスト

は、現在のバージョンでは、許されていない。

- 改ページ (#eject)
サブルーチン rdcard では、入力データがエコーされるが、そのアウトプットの改ページを行うディレクティブである
- 1 ページの行数を設定 (#linecount number)
入力データのエコーを行う際の行数を設定する。デフォルト値は 50 である。このディレクティブが現れたページから行数が再設定される。
- リスト出力の中止 (#listoff)
このディレクティブより次の入力データからエコーを行わない。このディレクティブのエコーは出力される。エコーの再開は次の liston ディレクティブにより行われる。
- リスト出力の再開 (# liston)
リスト出力を再開する。デフォルトはこのモードである。listoff になっていて、このディレクティブが現れた場合、次の入力データからエコーされる。
これらのディレクティブの例は次の通りである。

```
#include data1
```

```
#eject
```

```
#linecount 45
```

```
#listoff
```

```
#liston
```

1 カラム目が#であっても 2 カラム目以降が上のディレクティブに一致しない場合は、通常の入力データとして取り扱われる。例えば、

```
# include data1
```

```
#inclde data1
```

等である。はじめの例は#と include の間にブランクがあり、2 番目の例では include のつづりがまちがっている。

これらのディレクティブは、入力データから消される。即ち、これらのディレクティブの現れた行はブランク行として、データ中には残らない。

入力データは、80 行のカードから読み込まれるものとし、72 カラム以降はカード id フィールドとして無視する。

B. 2 入力マニュアル

カードの入力は以下の順序で行う。

B.2.1 オプションカード

このカードでは、二相流が水-蒸気系か水-空気系かを区別するフラグを入力する。

変 数	タ イ プ	説 明
ieos	整 数	二相流の区別 0 = 水-蒸気系 1 = 水-空気系
iopt	整 数	ネームリストを用いるかどうかのフラグ 0 = ネームリストを用いない 1 = ネームリストを用いる

B.2.2 タイトルカード

このカードはすべて a72 のフォーマットで読み込まれる。

B.2.3 ネームリスト

一枚目のカードの iopt が 1 の場合、ネームリスト option を入力する。ネームリストの入力フォーマットについてはフォートランのマニュアルを参照のこと。ネームリスト option で定義されている変数は以下の通りである。これらのデフォルト値は括弧の中に示されている。

変 数	タ イ プ	説 明
clift	実 数	気相の水平方向の lift force に掛かる係数 (0.0)
ctd	実 数	気相の乱流拡散力に掛かる係数 (0.0)
cvm	実 数	付加質量項の係数 (0.0)
clw	実 数	wall force の係数 (0.0)
ctw	実 数	wall force の係数 (0.0)
wallds	実 数	wall force が働く壁からの距離 (0.0)
amultg	実 数	気相の粘性係数に掛ける係数 (0.0)
amultl	実 数	液相の粘性係数に掛ける係数 (0.0)
tmult	実 数	液相の乱流エネルギーが主流のエネルギーに比例するとしたときの比例係数 (0.01)
sdtim	実 数	crt にメッセージを出す間隔 (0.1)
editop	整 数	エディットの形式 (0) 0 = 基本変数のみ出力する。 1 = 主要変数を出力する。 2 = 全ての変数を出力する。
on_tim	実 数	lift force, 乱流拡散力及び wall force を作動させる時刻(-1.0)
ibub	整 数	界面せん断応力係数を計算するための流動様式 (0) 0 = 全部の流動様式を使用する 1 = 気泡流のみの流動様式を使用する
noslug	整 数	気泡流でスラグ成分を考慮するかどうかのフラッグ (0) 0 = スラグ成分を考慮する 1 = スラグ成分を考慮しない ibub の値が 0 のときは 0 に、ibub の値が 1 のときは 1 にセットされる
idia	整 数	気泡径を Weber 数から計算するかどうかのフラッグ (0) 0 = Weber 数から計算する 1 = 定数で与える ibub の値が 0 のときは 0 にリセットされる
ilift	整 数	lift force のモデル (0) -1 = 一次元 Lahey モデル 0 = 三次元 Lahey モデル 1 = Minato モデル
dbub	実 数	idia の値が 1 のときに使用される気泡径 (0.001)
ichf	整 数	htcor においてボイリングカーブを用いるかどうかのフラッグ (1) 1 = ボイリングカーブを用いる 0 = ボイリングカーブを用いない
prtl	実 数	液相の乱流プラントル数 (1.0e6)
prtv	実 数	気相の乱流プラントル数 (1.0e6)

B.2.4 タイムステップカード

このカードでは、解析開始時刻、解析開始ステップ及び解析終了時刻を入力する。解析開始ステップが 0 でない場合はリストアトジョブとする。開始ステップが 0 の場合は新しいジョブとする。リストアトのためには、後の実行方法で示すように -r でリストアトファイルをアロケートしておかなければならない。

変 数	タ イ プ	説 明
sttime	実 数	解析開始時刻
nstep	整 数	解析開始ステップ；最初 0、dump ステップ数
endtim	実 数	解析終了時刻

次に、最大時間ステップ幅、最小時間ステップ幅及び初期時間ステップ幅を入力する。

変 数	タ イ プ	説 明
deltmx	実 数	最大時間ステップ幅
deltmn	実 数	最小時間ステップ幅
delti0	実 数	初期時間ステップ幅

次のカードでは、出力時間幅（何秒に 1 回プリンター、プロットファイル及びダンプファイルに出力するか）を入力する。

変 数	タ イ プ	説 明
edtim	実 数	プリンタ出力時間ステップ幅
pltim	実 数	プロットファイルへの出力時間ステップ幅
dmtim	実 数	ダンプファイルへの出力時間ステップ幅

B.2.5 収束判定条件カード

このカードでは、最大反復回数及び収束条件値を与える。圧力の反復回数が最大反復回数を超えた場合、そのステップは収束しなかったものとみなされ、時間ステップ幅を 1/2 にして再計算する。圧力の相対誤差が収束条件値より小さくなった場合、そのステップは収束したものとする。

変 数	タ イ プ	説 明
maxitr	整 数	最大反復回数
epscnv	実 数	収束判定値

B.2.6 体系カード

これらのカードでは、解析体系を入力する。1 枚目のカードでは、メッシュ数の入力を。2 枚目のカードでは、fill 及び break の個数及び熱構造体の個数を入力する。熱構造体は、体系の壁面に取り付ける事ができる。3 次元熱構造体の最大値は 1 個である。1 次元熱構造体の最大値はインクルード chtcn1 内の変数で規定される。熱構造体を用いない時は、0 を入力する。3 枚目のカードでは、壁摩擦オプション及び乱流モデルのオプションを入力する。その後のカードでは、直交座標／円筒座標系の区別、y または θ 方向の周期境界条件及び重力の入力方法の指定を行う。以後のカードでは、壁面での速度の slip/nonslip の条件を指定する。

変 数	タ イ プ	説 明

nx	整 数	x または r 方向メッシュ数
ny	整 数	y または θ 方向メッシュ数
nz	整 数	z 方向メッシュ数

変 数	タイプ	説 明
nfill	整 数	fill の個数
nbreak	整 数	break の個数
nhtcnd	整 数	3 次元熱構造体の個数
nht1d	整 数	1 次元熱構造体の個数

次のカードでは、計算のオプションを入力する。

変 数	タイプ	説 明
iwall	整 数	壁摩擦オプション 0 = 壁摩擦相関式を用いる 1 = 壁摩擦相関式を用いない
iturb	整 数	乱流モデルオプション 0 = 乱流モデルを用いない 1 = 乱流拡散係数に SATO のモデルを用いる 乱流エネルギーは主流のエネルギーに比例すると仮定する 2 = 二相乱流モデルを用いる

iturb の値が 1 の時、以下のカードを入力する。

変 数	タイプ	説 明
bubdia	実 数	気泡径
uast	実 数	摩擦速度

iturb の値が 2 の時、以下のカードを入力する。

変 数	タイプ	説 明
bubdia	実数	気泡径

次のカードでは、座標系や重力加速度の入力を行う。

変 数	タイプ	説 明
igeom	整 数	0 = 円筒座標系 1 = 直交座標系
cyclic	整 数	y または θ 方向周期境界条件 0 = 壁面 1 = 周期条件
nvgrav	整 数	重力の入力方法 0 = z 方向のみ $g_z = -9.807 \text{ m/s}^2$ 1 = g_x 、 g_y 及び g_z を入力する

次のカード群は、壁面での速度の境界条件を与えるものである。slip 条件は壁面での速度

が壁に平行な流体速度に等しいという条件である。nonslip 条件は壁面での速度が 0 であるという条件である。

変 数	タ イ プ	説 明
iwbc(1,1)	整 数	x または r 方向内側 slip/nonslip 境界条件 0 = slip 条件 1 = nonslip 条件
iwbc(2,1)	整 数	x または r 方向外側 slip/nonslip 境界条件 0 = slip 条件 1 = nonslip 条件

変 数	タ イ プ	説 明
iwbc(1,2)	整 数	y または θ 方向内側 slip/nonslip 境界条件 0 = slip 条件 1 = nonslip 条件
iwbc(2,2)	整 数	y または θ 方向外側 slip/nonslip 境界条件 0 = slip 条件 1 = nonslip 条件

変 数	タ イ プ	説 明
iwbc(1,3)	整 数	z 方向下側 slip/nonslip 境界条件 0 = slip 条件 1 = nonslip 条件
iwbc(2,3)	整 数	z 方向上側 slip/nonslip 境界条件 0 = slip 条件 1 = nonslip 条件

B.2.7 メッシュデータカード

これらのカードでは、メッシュの座標値を入力する。

変 数	タ イ プ	説 明
z	実 数	z 方向セル境界の座標 $nz + 1$ 個入力する

変 数	タ イ プ	説 明
rad	実 数	x または r 方向セル境界の座標 $nx + 1$ 個入力する

変 数	タ イ プ	説 明
th	実 数	y または θ 方向セル境界の座標 $ny + 1$ 個入力する

B.2.8 重力データ入力カード

$nvgrav = 0$ の場合は、このデータの入力は必要でない。 $nvgrav = 1$ の場合、以下のカードを入力する。

変 数	タ イ プ	説 明

gc	実数	重力加速度の大きさ
gravx	実数	x または r 方向の割合
gravy	実数	y または θ 方向の割合
gravz	実数	z 方向の割合

B.2.9 セルデータカード

入力を簡単にするために、セルの体積やセル界面の断面積には障害物ではなく、幾何形状に等しい値とする。従って、入力する必要はない。また、等価直径、ボイド率、圧力及び温度に負の値を入力した場合、セル毎の初期値を設定することができる。正の値の場合は、その値で一様とされる。セル毎の値を設定する場合は流速初期値の後にセル毎の値を入力する。セル中心の値に対する入力フォーマットは以下である。

```

do 1200 k = 1 , nz
  do 1100 j = 1 , ny
    read(iwkunt, *) ( val(i,j,k) , i = 1 , nx )
1100   continue
1200 continue

```

変 数	タイプ	説 明
hdxr0	実数	x または r 方向の等価直径
hdyt0	実数	y または θ 方向の等価直径
hdz0	実数	z 方向の等価直径

変 数	タイプ	説 明
alpn0	実数	ボイド率初期値
pn0	実数	圧力初期値
tvn0	実数	気相温度初期値
tln0	実数	液相温度初期値

変 数	タイプ	説 明
vvxr0	実数	x または r 方向気相流速初期値
vvyt0	実数	y または θ 方向気相流速初期値
vvz0	実数	z 方向気相流速初期値

変 数	タイプ	説 明
vlxr0	実数	x または r 方向方向液相流速初期値
vlyt0	実数	y または θ 方向液相流速初期値
vlz0	実数	z 方向液相流速初期値

B.2.10 障害物入力カード

この節では、体系中に存在する、流路ではない障害物の位置を指定する。障害物の位置はメッシュ単位で入力する。現バージョンでは、障害物の表面は slip 条件としている。流路中に fill または break を設定する場合は、このカードで障害物として入力しておかねばならない。流路の壁面に fill または break を設定する場合には、障害物として入力する必要はない。

変 数	タイプ	説 明
num	整数	障害物として指定するメッシュ総数

メッシュ位置を指定する以下のカードを num 枚入力する。num の値が 0 の場合、以下のカードを入力する必要はない。

変 数	タ イ プ	説 明
ipos	整 数	x/r 方向のメッシュ番号
jpos	整 数	y/θ 方向のメッシュ番号
kpos	整 数	z 方向のメッシュ番号

B.2.11 境界条件テーブルカード

この節では、境界条件を指定する時間依存のテーブルを入力する。まず、fill のテーブルを入力し、その後、break のテーブルを入力する。体系カードの節で入力した fill の数が 0、即ち、nfill の値が 0 の時は、fill テーブルを入力する必要はない。

まず、テーブルの個数を入力する。

変 数	タ イ プ	説 明
nfildt	整 数	fill テーブルの個数

次に、以下のカード群をテーブルの個数分 (nfildt) 入力する。まず、個々のテーブルの長さを入力し、次に、指定された時刻に対する状態量を入力する。速度は流入する方向が正とする。内挿する時刻がテーブルの範囲を越えた場合は外挿される。また、テーブルの長さが 1 の場合はテーブルで与えられた一定値とする。

変 数	タ イ プ	説 明
nftab	整 数	テーブルの長さ

変 数	タ イ プ	説 明
ftab	実 数	時刻
fvtab(1)	実 数	ボイド率
fvtab(2)	実 数	圧力
fvtab(3)	実 数	液相温度
fvtab(4)	実 数	気相温度
fvtab(5)	実 数	液相温度
fvtab(6)	実 数	気相温度

上のカードをテーブルの長さ分繰り返す。これで 1 つのテーブルの入力が終了する。

fill テーブルと同様に、break テーブルの入力をを行う。体系カードの節で入力した nbreak の値が 0 の場合はテーブルの入力を必要はない。

まず、テーブルの個数を入力する。

変 数	タ イ プ	説 明
nbrkdt	整 数	break テーブルの個数

次に、以下のカード群をテーブルの個数分(nbrkdt) 入力する。まず、個々のテーブルの長さを入力し、次に、指定された時刻に対する状態量を入力する。速度は流入する方向が正とする。内挿する時刻がテーブルの範囲を越えた場合は外挿される。また、テーブルの長さが 1 の場合はテーブルで与えられた一定値とする。

変 数	タイプ	説 明
nbtab	整 数	テーブルの長さ

変 数	タイプ	説 明
bttab	実 数	時刻
bvtab(1)	実 数	ボイド率
bvtab(2)	実 数	圧力
bvtab(3)	実 数	液相温度
bvtab(4)	実 数	気相温度

上のカードをテーブルの長さ分繰り返す。これで1つのテーブルの入力が終了する。

B.2.12 境界条件入力カード

この節では、境界条件を入力する。境界条件は任意のメッシュ（体系の外側に境界ぞいに設定されている仮想セルも含む）に設定できる。流路下面に fill、上面に break を実現するためには、 $k = 0$ のメッシュを fill に指定し、 $k = nz + 1$ のメッシュを break に指定すればよい。同様に、side fill を設定するためには、適当な仮想セルを fill に指定すればよい。但し、一つのメッシュには一つの境界条件しか設定出来ない。即ち、一つのメッシュに二つの fill は設定出来ない。境界条件を設定したメッシュは流体セルとは見なされない。流路中に境界条件を設定する場合には、そのメッシュは障害物として既に入力されていなければならない。仮想セルの場合は、障害物として入力する必要はない。

一つのメッシュ（そのインデックスを (i, j, k) とする）に fill や break の境界条件を設定する場合、どの面に境界条件を設定するかを指定する必要がある。このため、 $i - 1/2$ の面を 1、 $i + 1/2$ の面を 2、 $j - 1/2$ の面を 3、 $j + 1/2$ の面を 4、 $k - 1/2$ の面を 5 及び $k + 1/2$ の面を 6 とし、この面の番号を入力する。例えば、面 1 に fill を設定した場合、 x/r 方向の流速を設定したことになる。fill の流速の向きと x/r 方向の流速の向きは反対になるが、この補正はコードで自動的に行われる。fill テーブルの流速の向きはあくまで fill から流出する方向が正としておいてよい。

一つのメッシュに境界条件を設定するには、どのテーブルをこのメッシュに適用するかを指定しなければならない。このためにテーブル番号を導入する。前節で入力した fill テーブルの順番に 1 から nfillt と番号を付け、これをフィルテーブル番号とする。同様に入力した break テーブルの順に、1 から nbrkdt と番号を付け、これを break テーブル番号とする。

fill 境界条件を設定するために、以下のカードを nfill 枚入力する。nfill の値が 0 の場合は入力する必要はない。

変 数	タイプ	説 明
ipos	整 数	x/r 方向メッシュ番号
jpos	整 数	y/θ 方向のメッシュ番号
kpos	整 数	z 方向のメッシュ番号
face	整 数	fill を設定する面の番号
tabno	整 数	fill テーブル番号

break 境界条件を設定するために、以下のカードを nbrkdt 枚入力する。nbrkdt の値が 0 の場合は入力する必要はない。

変 数	タイプ	説 明

ipos	整 数	x/r 方向メッシュ番号
jpos	整 数	y/θ 方向のメッシュ番号
kpos	整 数	z 方向のメッシュ番号
face	整 数	break を設定する面の番号
tabno	整 数	break テーブル番号

B.2.13 热構造体の入力カード

この項では、热構造体の入力をを行う。体系カードで入力した nhtend の値が 0 の時または nht1d の値が 0 の時、この項の入力を行う必要はない。

まず、热構造体の物性値を与えるためのテーブルを入力する。このためにテーブルで入力する物質の数を入力する。

変 数	タ イ プ	説 明
mtnnum	整 数	テーブルで入力する物質の数

次に物性値テーブルを mtnnum セット入力する。mtnnum の値が 0 ならば、以下のセットを入力する必要はない。物性値をテーブルで入力する場合、まず最初に、物性値番号を入力する。この値は物質を区別するための番号で、21 以上を指定する。次に、テーブルの長さを入力し、実際のデータを入力する。

変 数	タ イ プ	説 明
mtid	整 数	物性値番号

変 数	タ イ プ	説 明
mtndat	整 数	テーブルの長さ

このカード群は、物性値テーブルの内容であり、mtndat 枚入力する。

変 数	タ イ プ	説 明
tmtpro	実 数	温度
vmtpro(1)	実 数	熱伝導率
vmtpro(2)	実 数	比熱
vmtpro(3)	実 数	密度

以下のカード群は 3 次元热構造体についての入力である。3 次元热構造体がない場合は以下のカードを入力する必要はない。この热構造体は流路の x/r 面の内側ないし外側のいずれかに位置し、流路が円管ならば構造材も軸対称な円管であり、流路が矩形の場合は平板とする。 y/θ 方向及び z 方向のメッシュ分割は流路のメッシュと同じとする。構造材の厚さ方向 (x/r) の分割は等分割とする。また、热構造材の材質は一様とし、発熱分布も一様とする。発熱量は時間と共に変化できるものとし、全発熱量に対する割合をテーブルで入力する。物質番号は 6 から 13 まではコード内蔵のものを使用し、21 以上は、上のテーブルで入力した物性値番号である。

必要な入力は以下の通りである。

変 数	タ イ プ	説 明
nxrht	整 数	x/r 方向メッシュ数

変 数	タイプ	説 明
sideht	整 数	構造材の位置 1=内側、2=外側
thick	実 数	構造材の厚さ

変 数	タイプ	説 明
id	整 数	物性値番号 6 = stainless steel type 304 7 = stainless steel type 316 8 = stainless steel type 347 9 = medium carbon steel a508 10 = inconel 718 11 = inconel 600 12 = constantan heater coil 13 = boron nitride 20 > table 入力

変 数	タイプ	説 明
htqtot	実 数	全発熱量 (W)

変 数	タイプ	説 明
nhftab	整 数	発熱割合テーブルのデータ数

次に発熱割合のテーブルを入力する。以下のカードを nhftab 枚繰り返す。

変 数	タイプ	説 明
hfttab	実 数	時刻
hfttab	実 数	発熱割合

変 数	タイプ	説 明
htc0	実 数	構造材外側の熱伝達率 (W/m ² K)
tamb0	実 数	構造材外側の雰囲気温度

変 数	タイプ	説 明
t0	実 数	初期温度

1次元熱構造体の入力は以下の通りである。1次元熱構造体がない場合は以下のカードを入力する必要はない。以下のデータセットを 1次元熱構造体の数だけ入力する。

変 数	タイプ	説 明
n1xrht	整 数	メッシュ数

変 数	タイプ	説 明
xr0	実 数	内側座標
xr1	実 数	外側座標

ight1	整 数	座標系のインデックス 0 = 円筒座標系 1 = 直交座標系
-------	-----	--------------------------------------

変 数	タイプ	説 明
ht1dar(1)	実 数	内側面積
ht1dar(2)	実 数	外側面積

変 数	タイプ	説 明
id	整 数	物性値番号

変 数	タイプ	説 明
htg	実 数	発熱量 (W/m^3)

最後に境界条件を入力する。まず、左側の境界条件を入力する。

変 数	タイプ	説 明
mht1dx	整 数	境界となるセルの x または r 方向のメッシュ番号
mht1dy	整 数	境界となるセルの y または θ 方向のメッシュ番号
mht1dz	整 数	境界となるセルの z 方向のメッシュ番号

このメッシュ番号が負の場合はその面の熱伝達率及び外面の温度を入力する。

変 数	タイプ	説 明
ht1dht	実 数	境界の熱伝達率 (W/m^2K)
ht1dta	実 数	境界の雰囲気温度

次に、右側の境界条件を入力する。

変 数	タイプ	説 明
mht1dx	整 数	境界となるセルの x または r 方向のメッシュ番号
mht1dy	整 数	境界となるセルの y または θ 方向のメッシュ番号
mht1dz	整 数	境界となるセルの z 方向のメッシュ番号

このメッシュ番号が負の場合はその面の熱伝達率及び外面の温度を入力する。

変 数	タイプ	説 明
ht1dht	実 数	境界の熱伝達率 (W/m^2K)
ht1dta	実 数	境界の雰囲気温度

変 数	タイプ	説 明
t0	実 数	初期温度

B.3 リスタート時の入力データ

リスタートの時、必要とされる入力データは、オプションカード、タイトルカード、ネームリスト、タイムステップカード及び収束判定カードである。それ以外の入力データは必要ない。

B.4 実行方法

Unix 環境下での ACE-3D の実行方法は以下の通りである。

```
ace3d -i inputfile -o outputfile -p plotfile -d dumpfile -r restartfile
```

ここで、`inputfile` は入力データのファイル名であり、`outputfile` はプリンター出力のファイル名である。同様に、`plotfile` はプロットファイルのファイル名である。`dumpfile` はダンプファイルのファイル名である。`restartfile` はリスタートファイルのファイル名である。入力データファイル名は省略することが出来ない。プリンター出力ファイル名を省略すれば(−`o` を含めて)、`./work/outlist` という名前でファイルが作成される。また、プロット出力ファイル名を−`p` を含めて省略すれば、`./work/plotfile` という名前でファイルが作成される。同様にダンプファイル名を省略すると、`./work/dumpfile` という名前でダンプファイルが作成される。リスタートジョブの場合、リスタートファイルを省略する事は出来ない。新しいジョブの場合はリスタートファイルは省略できる。このためには、−`r` も含めてリスタートファイルを省略すればよい。

パラメータ−`i`、−`o`、−`p`、−`d` 及び−`r` はその後に来るファイル名とペアになり、そのファイルが入力ファイルであるか出力ファイルであるか、それとも、プロットファイルであるか等を区別する。このように、ファイルの種類のパラメータとファイル名がペアになっている。このペアの関係を崩さなければ、パラメータの出現順序は任意である。

This is a blank page.

付録C. 蒸気噴流実験解析用入力データ

This is a blank page.

May 24 1999 19:54	steamjet_input	Page 1	Page 2
<pre> /*leos/ 0 /*lopt/ 1 Steam Condensation Exp. 3mm in Water Pool option cvm=2.0 prtv=0.7 send // // control cards // attime*/ 0.0 /*nstep*/ 0 /*endtim*/ 200.0 // deltmx*/ 0.1 /*deltim*/ 1.0e-12 /*delti0*/ 1.0e-7 // edtm*/ 5.0 /*spltim*/ 0.2 /*dmtim*/ 10.0 // maximr*/ 20 /*epschn*/ 1.0e-4 // // mesh data // nx*/ 6 /*ny*/ 11 /*nz*/ 9 // nfill*/ 1 /*nbreak*/ 61 /*nhtend*/ 0 /*nhtid*/ 45 // // wall friction and turbulence option // iwail*/ 1 /*iturb*/ 2 // bubbia*/ 0.004 /*uast*/ 0.0 // bubbia*/ 0.004 // // geometry cards // igem*/ 1 /*cyclic*/ 0 /*nvgrav*/ 0 // // boundary condition // iwb(1)* 0 0 // iwb(2)* 0 0 // iwb(3)* 0 0 // // mesh data // z*/ 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.8 1.0 1.2 // x*/ 0.00 0.145 0.20 0.25 0.30 0.34867 0.35 // y*/ 0.017 0.05 0.067 0.10 0.117 0.15 0.167 // // no grav data because of nvgrav = 0 // // hydro-diameters // 0.08 0.08 0.08 // // alp, press, tv, tl // 0.0 1.0e5 373.0 373.0 // // vvr, vvth, vvz // 0.0 0.0 0.0 // vlr, vlth, vlz // 0.0 0.0 0.0 // // obstacle condition // *num*/ 45 // ips jpos kpos // </pre>	<pre> May 24 1999 19:54 steamjet_input Page 1 Page 2 1 1 1 1 1 3 1 1 5 1 1 7 1 1 9 1 1 1 2 1 3 2 1 5 2 1 7 2 1 9 2 1 1 3 1 3 3 1 5 3 1 7 3 1 9 3 1 1 4 1 3 4 1 5 4 1 7 4 1 9 4 1 1 5 1 3 5 1 5 5 1 7 5 1 9 5 1 1 6 1 3 6 1 5 6 1 7 6 1 9 6 1 1 7 1 3 7 1 5 7 1 7 7 1 9 7 1 1 8 1 3 8 1 5 8 1 7 8 1 9 8 1 1 9 1 3 9 1 5 9 1 7 9 1 9 9 // // fill table // *mfield*/ 1 // *nitab*/ 5 // // fttab:time fvtab(1):alp (2):p (3):tl (4):tv (5):vl (6):vv // 0.0 1.0 2.76e5 405. 405. 0. 0. // 10.0 1.0 2.76e5 405. 405. 0. 30. // 20.0 1.0 2.76e5 405. 405. 0. 280.0 // 30.0 1.0 2.76e5 405. 405. 0. 280.0 // 200.0 1.0 2.76e5 405. 405. 0. 280.0 // // break table // </pre>	<pre> 1 </pre>	

May 24 1999 19:54	steamjet_input	Page 1
<pre> /*leos/ 0 /*lopt/ 1 Steam Condensation Exp. 3mm in Water Pool option cvm=2.0 prtv=0.7 send // // control cards // attime*/ 0.0 /*nstep*/ 0 /*endtim*/ 200.0 // deltmx*/ 0.1 /*deltim*/ 1.0e-12 /*delti0*/ 1.0e-7 // edtm*/ 5.0 /*spltim*/ 0.2 /*dmtim*/ 10.0 // maximr*/ 20 /*epschn*/ 1.0e-4 // // mesh data // nx*/ 6 /*ny*/ 11 /*nz*/ 9 // nfill*/ 1 /*nbreak*/ 61 /*nhtend*/ 0 /*nhtid*/ 45 // // wall friction and turbulence option // iwail*/ 1 /*iturb*/ 2 // bubbia*/ 0.004 /*uast*/ 0.0 // bubbia*/ 0.004 // // geometry cards // igem*/ 1 /*cyclic*/ 0 /*nvgrav*/ 0 // // boundary condition // iwb(1)* 0 0 // iwb(2)* 0 0 // iwb(3)* 0 0 // // mesh data // z*/ 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.8 1.0 1.2 // x*/ 0.00 0.145 0.20 0.25 0.30 0.34867 0.35 // y*/ 0.017 0.05 0.067 0.10 0.117 0.15 0.167 // // no grav data because of nvgrav = 0 // // hydro-diameters // 0.08 0.08 0.08 // // alp, press, tv, tl // 0.0 1.0e5 373.0 373.0 // // vvr, vvth, vvz // 0.0 0.0 0.0 // vlr, vlth, vlz // 0.0 0.0 0.0 // // obstacle condition // *num*/ 45 // ips jpos kpos // </pre>	<pre> steamjet_input Page 1 </pre>	

May 24 1999 19:54	steamjet_input	Page 3
0.0 1.0 1.0e5 373. 373.		
//		
// Boundary condition		
// fill location		
// ipos jpos kpos face tabno		
// 6 11 0 6 1		
// break location		
// ipos jpos kpos face tabno		
// ipos jpos kpos face tabno		
// 1 2 10 5 1		
1 4 10 5 1		
1 6 10 5 1		
1 8 10 5 1		
1 10 10 5 1		
1 11 10 5 1		
2 1 10 5 1		
2 2 10 5 1		
2 3 10 5 1		
2 4 10 5 1		
2 5 10 5 1		
2 6 10 5 1		
2 7 10 5 1		
2 8 10 5 1		
2 9 10 5 1		
2 10 10 5 1		
2 11 10 5 1		
3 1 10 5 1		
3 2 10 5 1		
3 3 10 5 1		
3 4 10 5 1		
3 5 10 5 1		
3 6 10 5 1		
3 7 10 5 1		
3 8 10 5 1		
3 9 10 5 1		
3 10 10 5 1		
3 11 10 5 1		
4 1 10 5 1		
4 2 10 5 1		
4 3 10 5 1		
4 4 10 5 1		
4 5 10 5 1		
4 6 10 5 1		
4 7 10 5 1		
4 8 10 5 1		
4 9 10 5 1		
4 10 10 5 1		
4 11 10 5 1		
5 1 10 5 1		
5 2 10 5 1		
5 3 10 5 1		
5 4 10 5 1		
5 5 10 5 1		
5 6 10 5 1		
5 7 10 5 1		
5 8 10 5 1		
5 9 10 5 1		
5 10 10 5 1		
5 11 10 5 1		
6 1 10 5 1		
6 2 10 5 1		

May 24 1999 19:54	steamjet_input	Page 4
6 3 10 5 1		
6 4 10 5 1		
6 5 10 5 1		
6 6 10 5 1		
6 7 10 5 1		
6 8 10 5 1		
6 9 10 5 1		
6 10 10 5 1		
6 11 10 5 1		
// Heat conductor		
// *mtnrnum* / 0		
// Material table		
// *mtid* / 21		
// **mtnddt* / 3		
// tmtpro vmtpro(1) :heat conductivity (2) :heat capacity (3) :density		
// 250. 404. 376. 8950.		
// 300. 398. 386. 8880.		
// 600. 383. 425. 8780.		
// *nixrht* / 2		
// *xc0* / 0.0 /*xrl* / 0.0015 /*ight1* / 1		
// *htdar* / 0.04 0.04		
// *id* / 6		
// *htg* / 0.		
// mhtidx mhtidy mhtidz		
// 1 1 -2 1		
// *htc0* / 1.e5 /*tamb0* / 369.		
// mht2dx mht2dy mht2dz		
// 1 2 1		
// *t0* / 369.		
// *nixrht* / 2		
// *xc0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1		
// *htdar* / 0.04 0.04		
// *id* / 6		
// *htg* / 0.		
// mhtidx mhtidy mhtidz		
// 1 1 -4 1		
// *htc0* / 1.e5 /*tamb0* / 369.		
// mht2dx mht2dy mht2dz		
// 1 4 1		
// *t0* / 369.		
// *nixrht* / 2		
// *xc0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1		
// *htdar* / 0.04 0.04		
// *id* / 6		
// *htg* / 0.		
1 -6 1		

May 24 1999 19:54	steamjet_input
	Page 6
// mht2dx mht2dy mht2dz	
// 1 4 2	
/*t0*/ 369.	
//	
// *nxrht* 2	
// *x0* 0.0 /*xr1* 0.0015 /*ight1* 1	
// *hildar* 0.04 0.04	
// *id* 6	
/*htg* 0.	
//	
// mhtidx mhtidy mhtldz	
//	
// mht2dx mht2dy mht2dz	
//	
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.	
//	
1 -6 2	
/*nxrht* 2	
// *x0* 0.0 /*xr1* 0.0015 /*ight1* 1	
// *hildar* 0.04 0.04	
// *id* 6	
/*htg* 0.	
//	
// mhtidx mhtidy mhtldz	
//	
// mht2dx mht2dy mht2dz	
//	
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.	
//	
1 6 2	
/*t0*/ 369.	
//	
// *nxrht* 2	
// *x0* 0.0 /*xr1* 0.0015 /*ight1* 1	
// *hildar* 0.04 0.04	
// *id* 6	
/*htg* 0.	
//	
// mhtidx mhtidy mhtldz	
//	
// mht2dx mht2dy mht2dz	
//	
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.	
//	
1 -8 2	
/*t0*/ 369.	
//	
// mht2dx mht2dy mht2dz	
//	
/*nxrht* 2	
// *x0* 0.0 /*xr1* 0.0015 /*ight1* 1	
// *hildar* 0.04 0.04	
// *id* 6	
/*htg* 0.	
//	
// mhtidx mhtidy mhtldz	
//	
// mht2dx mht2dy mht2dz	
//	
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.	
//	
1 8 2	
/*t0*/ 369.	
//	
// *nxrht* 2	
// *x0* 0.0 /*xr1* 0.0015 /*ight1* 1	
// *hildar* 0.04 0.04	
// *id* 6	
/*htg* 0.	
//	
// mhtidx mhtidy mhtldz	
//	
// mht2dx mht2dy mht2dz	
//	
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.	
//	
1 10 2	
/*t0*/ 369.	
//	
// *nxrht* 2	
// *x0* 0.0 /*xr1* 0.0015 /*ight1* 1	
// *hildar* 0.04 0.04	
// *id* 6	
/*htg* 0.	
//	
// mhtidx mhtidy mhtldz	
//	
// mht2dx mht2dy mht2dz	
//	
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.	
//	
1 -2 3	
/*t0*/ 369.	
//	
// mhtidx mhtidy mhtldz	
//	
// mht2dx mht2dy mht2dz	

<p>May 24 1999 19:54</p>	<p>steamjet_input</p>	<p>Page 5</p>
---------------------------------	------------------------------	----------------------

```

/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 1 6 1
// **0*/ 369.
// **nxrht* / 2
// *xr0* / 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
// *hldar* / 0.04 0.04
// *id* / 6
// *hrg* / 0.
//
// mht1dx mht1dy mht1dz
//
// 1 -8 1
// *htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
//
// 1 8 1
// **t0*/ 369.
// **nxrht* / 2
// *xr0* / 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
// *hldar* / 0.04 0.04
// *id* / 6
// *hrg* / 0.
//
// mht1dx mht1dy mht1dz
//
// 1 -10 1
// *htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
//
// 1 10 1
// **t0*/ 369.
// **nxrht* / 2
// *xr0* / 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
// *hldar* / 0.04 0.04
// *id* / 6
// *hrg* / 0.
//
// mht1dx mht1dy mht1dz
//
// 1 -2 2
// *htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
//
// 1 2 2
// **t0*/ 369.
// **nxrht* / 2
// *xr0* / 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
// *hldar* / 0.04 0.04
// *id* / 6
// *hrg* / 0.
//
// mht1dx mht1dy mht1dz
//
// 1 -4 2
// *htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.

```

Page 8

steamjet_input

May 24 1999 19:54

steamjet_input

May 24 1999 19:54

Page 7

```

1 2 3
/*t0*/ 369.
// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 4 3
// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 -6 3
// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 6 3
// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 8 3
// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 10 3
// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 10 3
// nixrht* / 2

```

Page 8

steamjet_input

May 24 1999 19:54

Page 7

```

// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 2 4
// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 4 4
// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 4 4
// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 6 4
// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 -8 4
// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 8 4
// nixrht* / 2
/*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*hrg*/ 0.

// mht1idx mht1idy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
/*htco*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
// 1 10 3
// nixrht* / 2

```

```

May 24 1999 19:54          steamjet_input          Page 9

/**xr0*/ 0.0 /**xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htcldar*/ 0.04 0.04
/*htg*/ 0.
//
// mht1idx mht1dy mht1dz
// -10 4
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 1 10 4
/*t0*/ 369.
//
/*nxrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htcldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mht1idx mht1dy mht1dz
// -2 5
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 1 2 5
/*t0*/ 369.
//
/*nxrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htcldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mht1idx mht1dy mht1dz
// -4 5
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 1 4 5
/*t0*/ 369.
//
/*nxrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htcldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mht1idx mht1dy mht1dz
// -6 5
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 1 6 5
/*t0*/ 369.
//
/*nxrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*htcldar*/ 0.04 0.04

```

```

Page 10
May 24 1999 19:54                               steamjet_input

/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mht1idx mht1idy mht1ldz
// 1 -8 5
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 1 8 5
/*t0*/ 369.
//
/*nlxrht*/ 2
/*xco*/ 0.0 /*xrl*/ 0.0015 /*ightl*/ 1
/*hldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mht1idx mht1idy mht1ldz
// 1 -10 5
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 1 10 5
/*t0*/ 369.
//
/*nlxrht*/ 2
/*xco*/ 0.0 /*xrl*/ 0.0015 /*ightl*/ 1
/*hldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mht1idx mht1idy mht1ldz
// 1 -2 6
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 1 2 6
/*t0*/ 369.
//
/*nlxrht*/ 2
/*xco*/ 0.0 /*xrl*/ 0.0015 /*ightl*/ 1
/*hldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mht1idx mht1idy mht1ldz
// 1 -4 6
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 1 4 6
/*t0*/ 369.
//
/*nlxrht*/ 2
/*xco*/ 0.0 /*xrl*/ 0.0015 /*ightl*/ 1
/*hldar*/ 0.04 0.04
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.

```

May 24 1999 19:54	steamjet_input	Page 11
//		//
// mht1dx mht1dy mht1dz		//
// 1 -6 6		/ *htc0* / 1.e5 / *tamb0* / 369.
/*htc0* / 1.e5 / *tamb0* / 369.		// mht2dx mht2dy mht2dz
// mht2dx mht2dy mht2dz		//
// 1 6 6		1 4 7
/*t0* / 369.		/*t0* / 369.
/*nixrht* / 2		//
/*x0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1		/*nixrht* / 2
/*ht1dar* / 0.04 0.04		/*x0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1
/*id* / 6		/*ht1dar* / 0.08 0.08
/*hrg* / 0.		/*id* / 6
//		/*hrg* / 0.
// mht1idx mht1idy mht1dz		//
// 1 -8 6		mht1idx mht1idy mht1dz
/*htc0* / 1.e5 / *tamb0* / 369.		//
// mht2dx mht2dy mht2dz		1 6 7
// 1 8 6		/*t0* / 369.
/*t0* / 369.		//
/*nixrht* / 2		/*nixrht* / 2
/*x0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1		/*x0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1
/*ht1dar* / 0.04 0.04		/*ht1dar* / 0.08 0.08
/*id* / 6		/*id* / 6
/*hrg* / 0.		/*hrg* / 0.
//		//
// mht1dx mht1dy mht1dz		mht1idx mht1idy mht1dz
// 1 -10 6		//
/*htc0* / 1.e5 / *tamb0* / 369.		1 8 7
//		/*t0* / 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz		//
// 1 10 6		/*nixrht* / 2
/*t0* / 369.		/*x0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1
/*nixrht* / 2		/*ht1dar* / 0.08 0.08
/*x0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1		/*id* / 6
/*ht1dar* / 0.08 0.08		/*hrg* / 0.
/*id* / 6		//
/*hrg* / 0.		mht1idx mht1idy mht1dz
//		//
// mht1idx mht1idy mht1dz		1 -10 7
// 1 2 7		/*htc0* / 1.e5 / *tamb0* / 369.
/*t0* / 369.		//
/*nixrht* / 2		/*x0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1
/*htc0* / 1.e5 / *tamb0* / 369.		/*ht1dar* / 0.08 0.08
//		/*id* / 6
// mht2dx mht2dy mht2dz		/*hrg* / 0.
// 1 2 7		//
/*t0* / 369.		mht1idx mht1idy mht1dz
/*nixrht* / 2		1 -2 8
/*x0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1		
/*ht1dar* / 0.08 0.08		
/*id* / 6		
/*hrg* / 0.		
//		
steamjet_input		

May 24 1999 19:54	steamjet_input	Page 12
//		//
// 1 -4 7		/ *htc0* / 1.e5 / *tamb0* / 369.
/*htc0* / 1.e5 / *tamb0* / 369.		// mht2dx mht2dy mht2dz
//		//
1 4 7		1 4 7
/*t0* / 369.		/*t0* / 369.
/*nixrht* / 2		//
/*x0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1		/*nixrht* / 2
/*ht1dar* / 0.08 0.08		/*x0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1
/*id* / 6		/*ht1dar* / 0.08 0.08
/*hrg* / 0.		/*id* / 6
//		/*hrg* / 0.
// mht1idx mht1idy mht1dz		//
// 1 -6 7		/*htc0* / 1.e5 / *tamb0* / 369.
/*htc0* / 1.e5 / *tamb0* / 369.		//
//		/*ht1dar* / 0.08 0.08
1 6 7		/*htc0* / 1.e5 / *tamb0* / 369.
/*t0* / 369.		//
/*nixrht* / 2		/*nixrht* / 2
/*x0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1		/*x0* / 0.0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1
/*ht1dar* / 0.08 0.08		/*ht1dar* / 0.08 0.08
/*id* / 6		/*id* / 6
/*hrg* / 0.		/*hrg* / 0.
//		//
// mht1idx mht1idy mht1dz		1 -2 8

```

May 24 1999 19:54                               steamjet_input

/*
 *htc0* / 1.e5 /*tamb0*/ 369.
//          // mht2dx mht2dy mht1dz
//          // 1   2   8
//          //**0* / 369.
//          //**nxrht* / 2
//          //**xr0* / 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
//          //**tlidar* / 0.08 0.08
//          //**d* / 6
//          //htg* / 0.
//          // mht1dx mht1dy mht1dz
//          // 1   -4   8
//          //**tco0* / 1.e5 /*tamb0*/ 369.
//          // mht2dx mht2dy mht2dz
//          // 1   4   8
//          //**t0* / 369.
//          //**nxrht* / 2
//          //**xr0* / 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
//          //**tlidar* / 0.08 0.08
//          //**id* / 6
//          //htg* / 0.
//          // mht1dx mht1dy mht1dz
//          // 1   -6   8
//          //**tco0* / 1.e5 /*tamb0*/ 369.
//          // mht2dx mht2dy mht2dz
//          // 1   6   8
//          //**t0* / 369.
//          //**nxrht* / 2
//          //**xr0* / 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
//          //**tlidar* / 0.08 0.08
//          //**id* / 6
//          //htg* / 0.
//          // mht1dx mht1dy mht1dz
//          // 1   -8   8
//          //**tco0* / 1.e5 /*tamb0*/ 369.
//          // mht2dx mht2dy mht2dz
//          // 1   8   8
//          //**t0* / 369.
//          //**nxrht* / 2
//          //**xr0* / 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
//          //**tlidar* / 0.08 0.08
//          //**id* / 6
//          //htg* / 0.
//          // mht1dx mht1dy mht1dz
//          // 1   -10   8
//          //**tco0* / 1.e5 /*tamb0*/ 369.
//          //

```

```

May 24 1999 19:54           steamjet_input
Page 14

// mht2dx mht2dy mht2dz
//
// 1 10 8
// *t0* / 369.
//
/*nixrht*/ 2
/*x0* / 0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1
/*htldar* / 0.08 0.08
/*id* / 6
/*hsg* / 0.
//
// mht1dx mht1dy mht1dz
// *htc0* / 1.e5 /*tamb0* / 369.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
//
/*nixrht*/ 2
/*x0* / 0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1
/*htldar* / 0.08 0.08
/*id* / 6
/*hsg* / 0.
//
// mht1dx mht1dy mht1dz
// 1 -4 9
// *htc0* / 1.e5 /*tamb0* / 369.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
//
/*nixrht*/ 2
/*x0* / 0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1
/*htldar* / 0.08 0.08
/*id* / 6
/*hsg* / 0.
//
// mht1dx mht1dy mht1dz
// 1 4 9
// *t0* / 369.
//
/*nixrht*/ 2
/*x0* / 0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1
/*htldar* / 0.08 0.08
/*id* / 6
/*hsg* / 0.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
//
/*nixrht*/ 2
/*x0* / 0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1
/*htldar* / 0.08 0.08
/*id* / 6
/*hsg* / 0.
//
// mht1dx mht1dy mht1dz
// 1 -6 9
// *htc0* / 1.e5 /*tamb0* / 369.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 369.
//
/*nixrht*/ 2
/*x0* / 0 /*xr1* / 0.0015 /*ight1* / 1
/*htldar* / 0.08 0.08
/*id* / 6
/*hsg* / 0.
//
// mht1dx mht1dy mht1dz
// 1 -8 9
// *htc0* / 1.e5 /*tamb0* / 369.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz

```

May 24 1999 19:54

steamjet_input

Page 15

```
1 8 9
/*t0*/ 369.
//  
/*mxrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.0015 /*ight1*/ 1
/*ht1dat*/ 0.08 0.08
/*id*/ 6
/*hreg*/ 0.
// mhtidx mhtidy mhtldz
//  
1 -10 9
/*htc0*/ 1.e5 /*tamb0*/ 369.
// mht2dx mht2dy mht2dz
//  
1 10 9
/*t0*/ 369.
```

steamjet_input

付録D. JPSR 水プール内熱流動解析用入力データ

This is a blank page.

JPSR_input

May 24 1999 19:51

Page 2

```

/*ieas*/ 0 /*lopt*/ 1
JPSR Residual Heat Removal Pool
koption cym=2.0 prtl=0.7 prtv=0.7
end

// control cards
// settime* 0.0 /*nstep*/ 0 /*endtim*/ 200.0
// deltmx* 0.1 /*deltim*/ 1.0e-12 /*deltio*/ 1.0e-7
// edtim* 20.0 /*pltim*/ 0.5 /*dmtim*/ 50.0
// maxitr* 20 /*epschn*/ 1.0e-4

// mesh data
// nx* 11 /*ny*/ 11 /*nz*/ 10
// nfill* 11 /*nbreak*/ 121 /*nhtcl*/ 0 /*nhtld*/ 40
// wall friction and turbulence option
// iwall* 1 /*iturb*/ 2
// bubdia/* 0.004 /*uast*/ 0.0
// bubdia/* 0.004

// geometry cards
// igeom* 1 /*cyclic*/ 0 /*rvgrav*/ 0
// boundary condition
// wbc(1)/* 0 0
// wbc(2)/* 0 0
// wbc(3)/* 0 0

// mesh data
// n* 0 3.0 5.0 6.0 7.0 7.0 7.005 7.7 9.0 12.0 13.0 14.0
// x* 0.0 0.4 0.7 0.9 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0 2.1 3.0 5.0
// r* 0.0 1.0 1.4 2.0 2.4 3.0 3.4 4.0 4.4 5.0 5.4 6.0
// no grav data because of rvgrav = 0

// hydro-diameters
// 0.08 0.08 0.08
// alp, press, tv, t1
// 0.0 1.0e5 341.0 341.0
// vvx, vvth, vvz
// 0.0 0.0 0.0
// vlx, vlth, vlz
// 0.0 0.0 0.0
// obstacle condition
// num / 127
// ipos jpos kpos
4 1 5

```

JPSR_input

May 24 1999 19:51

Page 1

```

/*ieas*/ 0 /*lopt*/ 1
JPSR Residual Heat Removal Pool
koption cym=2.0 prtl=0.7 prtv=0.7
end

// control cards
// settime* 0.0 /*nstep*/ 0 /*endtim*/ 200.0
// deltmx* 0.1 /*deltim*/ 1.0e-12 /*deltio*/ 1.0e-7
// edtim* 20.0 /*pltim*/ 0.5 /*dmtim*/ 50.0
// maxitr* 20 /*epschn*/ 1.0e-4

// mesh data
// nx* 11 /*ny*/ 11 /*nz*/ 10
// nfill* 11 /*nbreak*/ 121 /*nhtcl*/ 0 /*nhtld*/ 40
// wall friction and turbulence option
// iwall* 1 /*iturb*/ 2
// bubdia/* 0.004 /*uast*/ 0.0
// bubdia/* 0.004

// geometry cards
// igeom* 1 /*cyclic*/ 0 /*rvgrav*/ 0
// boundary condition
// wbc(1)/* 0 0
// wbc(2)/* 0 0
// wbc(3)/* 0 0

// mesh data
// n* 0 3.0 5.0 6.0 7.0 7.0 7.005 7.7 9.0 12.0 13.0 14.0
// x* 0.0 0.4 0.7 0.9 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0 2.1 3.0 5.0
// r* 0.0 1.0 1.4 2.0 2.4 3.0 3.4 4.0 4.4 5.0 5.4 6.0
// no grav data because of rvgrav = 0

// hydro-diameters
// 0.08 0.08 0.08
// alp, press, tv, t1
// 0.0 1.0e5 341.0 341.0
// vvx, vvth, vvz
// 0.0 0.0 0.0
// obstacle condition
// num / 127
// ipos jpos kpos
4 1 5

```

May 24 1999 19:51

JPSR_input

Page 3

```
7 2 8
7 3 8
7 4 8
7 5 8
7 6 8
7 7 8
7 8 8
7 9 8
7 10 8
7 11 8
10 2 4
10 4 4
10 6 4
10 8 4
10 10 4
10 2 5
10 4 5
10 6 5
10 8 5
10 10 5
10 2 6
10 4 6
10 6 6
10 8 6
10 10 6
10 2 7
10 4 7
10 6 7
10 8 7
10 10 7
10 2 8
10 4 8
10 6 8
10 8 8
10 10 8
11 2 4
11 4 4
11 6 4
11 8 4
11 10 4
11 2 5
11 4 5
11 6 5
11 8 5
11 10 5
11 2 6
11 4 6
11 6 6
11 8 6
11 10 6
11 2 7
11 4 7
11 6 7
11 8 7
11 10 7
11 2 8
11 4 8
11 6 8
11 8 8
11 10 8
// fill table
/*nfilldt*/ 1
/*nftab*/ 5
//
```

Page 4

May 24 1999 19:51

JPSR_input

Page 4

```
// fttab:time fvtab(1):alp (2):p (3):t1 (4):tv (5):v1 (6):vv
// 0.0 1.0 1.80e5 389. 389. 0. 0.
// 10.0 1.0 1.80e5 389. 389. 0. 32.08
// 20.0 1.0 1.80e5 389. 389. 0. 32.08
// 30.0 1.0 1.80e5 389. 389. 0. 32.08
// 200.0 1.0 1.80e5 389. 389. 0. 32.08
// break table
//**nbrkdt*/ 1
//**nftab*/ 1
// bttab:time bvtab(1):alp (2):p (3):t1 (4):tv
// 0.0 1.0 1.0e5 341. 341.
// Boundary condition
// fill location
// ipos jpos kpos face tabno
// 4 1 5 2 1
// 4 2 5 2 1
// 4 3 5 2 1
// 4 4 5 2 1
// 4 5 5 2 1
// 4 6 5 2 1
// 4 7 5 2 1
// 4 8 5 2 1
// 4 9 5 2 1
// 4 10 5 2 1
// 4 11 5 2 1
// break location
// ipos jpos kpos face tabno
// 1 1 11 5 1
// 1 2 11 5 1
// 1 3 11 5 1
// 1 4 11 5 1
// 1 5 11 5 1
// 1 6 11 5 1
// 1 7 11 5 1
// 1 8 11 5 1
// 1 9 11 5 1
// 1 10 11 5 1
// 1 11 11 5 1
// 2 1 11 5 1
// 2 2 11 5 1
// 2 3 11 5 1
// 2 4 11 5 1
// 2 5 11 5 1
// 2 6 11 5 1
// 2 7 11 5 1
// 2 8 11 5 1
// 2 9 11 5 1
// 2 10 11 5 1
// 11 11 5 1
// 3 1 11 5 1
// 3 2 11 5 1
// 3 3 11 5 1
// 3 4 11 5 1
// 3 5 11 5 1
2
```

May 24 1999 19:51

May 24 1999 19:51

JPSR_input

Page 5

Page 6

```

3 6 11 5 1
3 7 11 5 1
3 8 11 5 1
3 9 11 5 1
3 10 11 5 1
3 11 11 5 1
4 1 11 5 1
4 2 11 5 1
4 3 11 5 1
4 4 11 5 1
4 5 11 5 1
4 6 11 5 1
4 7 11 5 1
4 8 11 5 1
4 9 11 5 1
4 10 11 5 1
4 11 11 5 1
5 1 11 5 1
5 2 11 5 1
5 3 11 5 1
5 4 11 5 1
5 5 11 5 1
5 6 11 5 1
5 7 11 5 1
5 8 11 5 1
5 9 11 5 1
5 10 11 5 1
5 11 11 5 1
6 1 11 5 1
6 2 11 5 1
6 3 11 5 1
6 4 11 5 1
6 5 11 5 1
6 6 11 5 1
6 7 11 5 1
6 8 11 5 1
6 9 11 5 1
6 10 11 5 1
6 11 11 5 1
7 1 11 5 1
7 2 11 5 1
7 3 11 5 1
7 4 11 5 1
7 5 11 5 1
7 6 11 5 1
7 7 11 5 1
7 8 11 5 1
7 9 11 5 1
7 10 11 5 1
7 11 11 5 1
8 1 11 5 1
8 2 11 5 1
8 3 11 5 1
8 4 11 5 1
8 5 11 5 1
8 6 11 5 1
8 7 11 5 1
8 8 11 5 1
8 9 11 5 1
8 10 11 5 1
8 11 11 5 1
9 1 11 5 1
9 2 11 5 1
9 3 11 5 1
9 4 11 5 1
9 5 11 5 1
9 6 11 5 1
9 7 11 5 1
9 8 11 5 1
9 11 5 1
9 10 11 5 1
9 11 11 5 1
10 1 11 5 1
10 2 11 5 1
10 3 11 5 1
10 4 11 5 1
10 5 11 5 1
10 6 11 5 1
10 7 11 5 1
10 8 11 5 1
10 9 11 5 1
10 10 11 5 1
10 11 11 5 1
11 1 11 5 1
11 2 11 5 1
11 3 11 5 1
11 4 11 5 1
11 5 11 5 1
11 6 11 5 1
11 7 11 5 1
11 8 11 5 1
11 9 11 5 1
11 10 11 5 1
11 11 11 5 1
// Heat conductor
/// *mtnum* / 0
// Material table
/// *mtid* / 21
/// *mtndat* / 3
// tmtpro vmtpro(1) :heat conductivity (2) :heat capacity (3) :density
/// tmtpro vmtpro(1) :heat conductivity (2) :heat capacity (3) :density
// 250. 404. 376. 8950.
// 300. 398. 386. 8880.
// 600. 383. 425. 8780.
// 1D heat conductor
/// *nlxrt* / 2
// *xx0* / 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
// *hldar* / 24.0 24.0
// *id* / 6
// *hcg* / 0.
// mht1dx mht1dy mht1dz
// 10 -3 4
// *htc0* / 1700.0 /*tamb0*/ 317.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 10 3 4
// *t0* / 317.
// *nlxrt* / 2
// *xx0* / 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
// *hldar* / 24.0 24.0
// *id* / 6

```

JPSR_input

May 24 1999 19:51

JPSR_input

Page 7

```

/*htg* / 0.
// mhtidx mht1dy mht1dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
10 -5 4
/*htc0* / 1700.0 /*tamb0*/ 317.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 317.
10 5 4
// *nixrht* / 2
/*xrt0* / 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*htldar* / 24.0 24.0
/*id* / 6
/*htg* / 0.
// mhtidx mht1dy mht1dz
// mhtidx mht1dy mht1dz
// *t0* / 317.
10 -7 4
/*htc0* / 1700.0 /*tamb0*/ 317.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 317.
10 7 4
// *nixrht* / 2
/*xrt0* / 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*htldar* / 24.0 24.0
/*id* / 6
/*htg* / 0.
// mhtidx mht1dy mht1dz
// mhtidx mht1dy mht1dz
// *t0* / 317.
10 -9 4
/*htc0* / 1700.0 /*tamb0*/ 317.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 317.
10 9 4
// *nixrht* / 2
/*xrt0* / 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*htldar* / 24.0 24.0
/*id* / 6
/*htg* / 0.
// mhtidx mht1dy mht1dz
// mhtidx mht1dy mht1dz
// *t0* / 317.
10 -11 4
/*htc0* / 1700.0 /*tamb0*/ 317.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// mht2dx mht2dy mht2dz
// *t0* / 317.
10 11 4
// *nixrht* / 2
/*xrt0* / 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*htldar* / 53.7 53.7
/*id* / 6
/*htg* / 0.
// mhtidx mht1dy mht1dz
//
```

Page 8

JPSR_input

May 24 1999 19:51

Page 8

```

// mhtidx mht1dy mht1dz
// 11 -3 4
// /*htc0* / 1700.0 /*tamb0*/ 317.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 11 3 4
// *t0* / 317.
// *nixrht* / 2
/*xrt0* / 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*htldar* / 53.7 53.7
/*id* / 6
/*htg* / 0.
// mhtidx mht1dy mht1dz
// 11 -5 4
// /*htc0* / 1700.0 /*tamb0*/ 317.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 11 5 4
// *t0* / 317.
// *nixrht* / 2
/*xrt0* / 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*htldar* / 53.7 53.7
/*id* / 6
/*htg* / 0.
// mhtidx mht1dy mht1dz
// 11 -7 4
// /*htc0* / 1700.0 /*tamb0*/ 317.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 11 7 4
// *t0* / 317.
// *nixrht* / 2
/*xrt0* / 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*htldar* / 53.7 53.7
/*id* / 6
/*htg* / 0.
// mhtidx mht1dy mht1dz
// 11 -9 4
// /*htc0* / 1700.0 /*tamb0*/ 317.
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 11 9 4
// *t0* / 317.
// *nixrht* / 2
/*xrt0* / 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*htldar* / 53.7 53.7
/*id* / 6
/*htg* / 0.
// mhtidx mht1dy mht1dz
//
```

May 24 1999 19:51	JP SR_input	Page 9
11 -11 4 /*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317. // // mht2dx mht2dy mht2dz //		
11 11 4 /*t0*/ 317. // // nixrht* 2 /*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1 /*hldar*/ 16.8 16.8 /*id*/ 6 /*hsg*/ 0. // // mhtidx mhtidy mhtidz //		
10 -3 6 /*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317. // // mht2dx mht2dy mht2dz //		
10 3 6 /*t0*/ 317. // // nixrht* 2 /*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1 /*hldar*/ 16.8 16.8 /*id*/ 6 /*hsg*/ 0. // // mhtidx mhtidy mhtidz //		
10 -5 6 /*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317. // // mht2dx mht2dy mht2dz //		
10 5 6 /*t0*/ 317. // // nixrht* 2 /*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1 /*hldar*/ 16.8 16.8 /*id*/ 6 /*hsg*/ 0. // // mhtidx mhtidy mhtidz //		
10 -7 6 /*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317. // // mht2dx mht2dy mht2dz //		
10 7 6 /*t0*/ 317. // // nixrht* 2 /*x0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1 /*hldar*/ 16.8 16.8 /*id*/ 6 /*hsg*/ 0. // // mhtidx mhtidy mhtidz //		
10 -9 6 /*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317. //		

May 24 1999 19:51	JPSR_input	Page 11
//		
// 11 7 6		
/*t0*/ 317.		
//		
/*nixrht*/ 2		
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1		
/*htdar*/ 31.4 31.4		
/*id*/ 6		
/*htg*/ 0.		
//		
mht1dx mht1dy mht1dz		
//		
11 -9 6		
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.		
//		
mht2dx mht2dy mht2dz		
//		
11 9 6		
/*t0*/ 317.		
//		
/*nixrht*/ 2		
/*xc0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1		
/*htdar*/ 37.6 37.6		
/*id*/ 6		
/*htg*/ 0.		
//		
mht1dx mht1dy mht1dz		
//		
11 -11 6		
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.		
//		
mht2dx mht2dy mht2dz		
//		
11 11 6		
/*t0*/ 317.		
//		
/*nixrht*/ 2		
/*xc0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1		
/*htdar*/ 31.4 31.4		
/*id*/ 6		
/*htg*/ 0.		
//		
mht1dx mht1dy mht1dz		
//		
10 -3 7		
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.		
//		
mht2dx mht2dy mht2dz		
//		
10 3 7		
/*t0*/ 317.		
//		
/*nixrht*/ 2		
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1		
/*htdar*/ 31.4 31.4		
/*id*/ 6		
/*htg*/ 0.		
//		
mht1dx mht1dy mht1dz		
//		
10 -5 7		
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.		
//		
mht2dx mht2dy mht2dz		
//		
10 3 7		

May 24 1999 19:51	JPSR_input	Page 12
//		
/*t0*/ 317.		
//		
/*nixrht*/ 2		
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1		
/*htdar*/ 31.4 31.4		
/*id*/ 6		
/*htg*/ 0.		
//		
mht1dx mht1dy mht1dz		
//		
10 -7 7		
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.		
//		
mht2dx mht2dy mht2dz		
//		
10 7 7		
/*t0*/ 317.		
//		
/*nixrht*/ 2		
/*xc0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1		
/*htdar*/ 31.4 31.4		
/*id*/ 6		
/*htg*/ 0.		
//		
mht1dx mht1dy mht1dz		
//		
10 -9 7		
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.		
//		
mht2dx mht2dy mht2dz		
//		
10 9 7		
/*t0*/ 317.		
//		
/*nixrht*/ 2		
/*xx0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1		
/*htdar*/ 31.4 31.4		
/*id*/ 6		
/*htg*/ 0.		
//		
mht1dx mht1dy mht1dz		
//		
10 -11 7		
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.		
//		
mht2dx mht2dy mht2dz		
//		
11 -3 7		
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.		
//		
mht2dx mht2dy mht2dz		
//		
11 3 7		
/*t0*/ 317.		
//		

May 24 1999 19:51	JPSR_input
Page 13	Page 13

```

/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xrl*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*hlidar*/ 70.0 70.0
/*id*/ 6
/*hgr*/ 0.
//
// mht1idx mht1dy mht1dz
//
11 -5 7
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
//
11 5 7
/*to*/ 317.
//
// mht1idx mht1dy mht1dz
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xrl*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*hlidar*/ 70.0 70.0
/*id*/ 6
/*hgr*/ 0.
//
// mht1idx mht1dy mht1dz
//
11 -7 7
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
//
11 7
/*to*/ 317.
//
// mht1idx mht1dy mht1dz
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xrl*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*hlidar*/ 70.0 70.0
/*id*/ 6
/*hgr*/ 0.
//
// mht1idx mht1dy mht1dz
//
11 -9 7
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
//
11 9
/*to*/ 317.
//
// mht1idx mht1dy mht1dz
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xrl*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*hlidar*/ 70.0 70.0
/*id*/ 6
/*hgr*/ 0.
//
// mht1idx mht1dy mht1dz
//
11 -11 7
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
//
11 11 7
/*to*/ 317.
//
// mht1idx mht1dy mht1dz
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xrl*/ 0.002 /*ight1*/ 1

```

<p>May 24 1999 19:51</p> <pre>/*htcldar*/ 72.5 72.5 /*id*/ 6 /*htg*/ 0. // mht1dx mht1dy mht1dz // 10 -3 8 /*htc0*/ 1700.0 /*tambo*/ 317. // mht2dx mht2dy mht2dz // 10 3 8 /*t0*/ 317. // /*nixrht*/ 2 /*xcr0*/ 0.0 /*xri*/ 0.002 /*ighti*/ 1 /*htcldar*/ 72.5 72.5 /*id*/ 6 /*htg*/ 0. // mht1dx mht1dy mht1dz // 10 -5 8 /*htc0*/ 1700.0 /*tambo*/ 317. // mht2dx mht2dy mht2dz // 10 5 8 /*t0*/ 317. // /*nixrht*/ 2 /*xcr0*/ 0.0 /*xri*/ 0.002 /*ighti*/ 1 /*htcldar*/ 72.5 72.5 /*id*/ 6 /*htg*/ 0. // mht1dx mht1dy mht1dz // 10 -7 8 /*htc0*/ 1700.0 /*tambo*/ 317. // mht2dx mht2dy mht2dz // 10 7 8 /*t0*/ 317. // /*nixrht*/ 2 /*xcr0*/ 0.0 /*xri*/ 0.002 /*ighti*/ 1 /*htcldar*/ 72.5 72.5 /*id*/ 6 /*htg*/ 0. // mht1dx mht1dy mht1dz // 10 -9 8 /*htc0*/ 1700.0 /*tambo*/ 317. // mht2dx mht2dy mht2dz // 10 9 8 /*t0*/ 317. // /*nixrht*/ 2 /*xcr0*/ 0.0 /*xri*/ 0.002 /*ighti*/ 1 /*htcldar*/ 72.5 72.5 /*id*/ 6</pre>	<p>Page 14</p> <p>JPSR_input</p>
--	----------------------------------

May 24 1999 19:51 JPSR_input Page 16

```

/*htg* / 0.
//
// mhtidx mht1idy mht1idz
// 10 -11 8
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 10 11 8
/*t0*/ 317.
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*ht1dar*/ 161.0 161.0
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mhtidx mht1idy mht1idz
// 11 -3 8
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 11 3 8
/*t0*/ 317.
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*ht1dar*/ 161.0 161.0
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mhtidx mht1idy mht1idz
// 11 -5 8
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 11 5 8
/*t0*/ 317.
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*ht1dar*/ 161.0 161.0
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mhtidx mht1idy mht1idz
// 11 -7 8
/*t0*/ 317.
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*ht1dar*/ 161.0 161.0
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//

```

May 24 1999 19:51 JPSR_input Page 15

```

/*htg* / 0.
//
// mhtidx mht1idy mht1idz
// 11 -9 8
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 11 9 8
/*t0*/ 317.
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*ht1dar*/ 161.0 161.0
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mhtidx mht1idy mht1idz
// 11 -11 8
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 11 11 8
/*t0*/ 317.
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*ht1dar*/ 161.0 161.0
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mhtidx mht1idy mht1idz
// 11 -3 8
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 11 3 8
/*t0*/ 317.
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*ht1dar*/ 161.0 161.0
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mhtidx mht1idy mht1idz
// 11 -5 8
/*htc0*/ 1700.0 /*tamb0*/ 317.
//
// mht2dx mht2dy mht2dz
// 11 5 8
/*t0*/ 317.
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*ht1dar*/ 161.0 161.0
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//
// mhtidx mht1idy mht1idz
// 11 7 8
/*t0*/ 317.
//
/*nixrht*/ 2
/*xr0*/ 0.0 /*xr1*/ 0.002 /*ight1*/ 1
/*ht1dar*/ 161.0 161.0
/*id*/ 6
/*htg*/ 0.
//

```

JPSR_input

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
功率、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	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束密度	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	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	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

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

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、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘク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	

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P(ボアズ)} (\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)} (\text{cm}^2/\text{s})$$

圧力	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 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)
	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	仕事率 1 PS(仏馬力)
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W
	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	

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

