

JAERI-M
83-184

HEATING5-JR :有限差分法による
非線形熱伝導計算プログラム

1983年11月

幾島 毅・中里 力*

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1983

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 山田軽印刷所

HEATING 5-JR : 有限差分法による非線形熱伝導
計算プログラム

日本原子力研究所東海研究所安全解析部

幾島 毅・中里 力*

(1983年10月11日受理)

有限差分法による多次元非線形熱伝導計算プログラム HEATING 5 の改良版 HEATING 5 - JR が作成された。HEATING 5 - JR では、HEATING 5 の入力データおよび計算結果の図形表示のためのプリおよびポストプロセッサが付けられている。本報告には、計算式、計算プログラムの説明およびユーザのための入力出力形式が記述されている。数個の計算例が、計算プログラムの使用を説明するために記述されている。

* 外来研究員 (日本情報サービス株式会社)

HEATING5-JR : A Finite Difference Computer Program for Nonlinear
Heat Conduction Problems

Takeshi IKUSHIMA and Chikara NAKAZATO*
Department of Nuclear Safety Evaluation,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received October 11, 1983)

Computer program HEATING5-JR is a revised version of HEATING5 which is a finite difference computer program used for the solution of multi-dimensional, nonlinear heat conduction problems. Pre- and post-processings for graphical representations of input data and calculation results of HEATING5 are available in HEATING5-JR. The calculation equations, program descriptions and user instructions are presented. Several example problems are described in detail to demonstrate the use of the program.

KEYWORDS : Heat Conduction, Computer Program, Nonlinear Thermal Analysis,
Spent Fuel Cask Thermal Analysis, Shipping Container, Finite
Difference

* On leave from Japan Information Service Ltd., Co.

目 次

1. 緒 言	1
2. 計 算 式	2
3. 計算プログラムの説明	5
3.1 HEATING5-JRの構成	5
3.2 HEATING5の構成	5
3.3 PRE-HEATING5の構成	8
3.4 POST-HEATING5の構成	9
4. HEATING5の入力・出力形式	24
4.1 HEATING5の入力形式	24
4.2 HEATING5の出力形式	38
4.3 HEATING5の入出力例	38
5. PRE-HEATING5の入力・出力形式	60
5.1 PRE-HEATINGの入力形式	60
5.2 PRE-HEATINGの出力形式	60
5.3 PRE-HEATINGの入出力例	61
6. POST-HEATING5の入力・出力形式	80
6.1 POST-HEATING5の入力形式	80
6.2 POST-HEATING5の出力形式	80
6.3 POST-HEATING5の入出力例	81
7. ショブ制御文	98
8. 結 言	101
参 考 文 献	101

Contents

1. Introduction	1
2. Calculation equations	2
3. Description of computer programs	5
3.1 Program structure of HEATING5-JR	5
3.2 Program structure of HEATING5	5
3.3 Program structure of PRE-HEATING5	8
3.4 Program structure of POST-HEATING5	9
4. Input and output format of HEATING5	24
4.1 Input format of HEATING5	24
4.2 Output format of HEATING5	38
4.3 Examples of HEATING5	38
5. Input and output format of PRE-HEATING5	60
5.1 Input format of PRE-HEATING5	60
5.2 Output format of PRE-HEATING5	60
5.3 Examples of PRE-HEATING5	61
6. Input and output format of POST-HEATING5	80
6.1 Input format of POST-HEATING5	80
6.2 Output format of POST-HEATING5	80
6.3 Examples of POST-HEATING5	81
7. Job control	98
8. Conclusion	101
References	101

1. 緒 言

我が国の軽水型原子炉による総発電量は全発電量の約10%の規模になり、これに伴い使用済燃料の輸送の機会が増加している。使用済燃料輸送の安全性確証の一環として、輸送中に想定される事故、すなわち、衝突やその後の火災などに対して、輸送容器が規定の条件を満足していることを試験および解析によって明らかにする必要がある。

火災時に輸送容器が規定の条件を満足していることを確証するための試験が国内外において精力的に実施されているが、より一般的には計算手法の確立と計算プログラムの整備または開発がなされ、計算によって熱解析や応力解析が実施され、健全性と安全性の評価ができれば時間と費用の節約となろう。このような目的の一環として、オークリッジ国立研究所では、標準計算プログラムとしてTRUMP⁽¹⁾およびHEATING5⁽²⁾を整備している。

日本原子力研究所においても、軽水型原子炉施設の安全性研究の一環として、使用済輸送容器の熱解析プログラムの整備が1981年から実施されることになり、1981年にはTRUMP3-JRを整備した。1982年にはHEATING5を改良してHEATING5-JRを整備した。

HEATING5は、温度場における熱の流れを記述する一般の非線形放物型の偏微分方程式を解く計算プログラムである。HEATING5は、1次元、2次元、あるいは3次元について定常、非定常のいずれの計算をもすることができ、直交、円筒、あるいは極の座標系の形状に対して温度分布を求めることができる。初期条件は空間の位置によって変化させることもできる。物性、境界条件、およびその他の問題のパラメータを、空間の位置、時間によって変化させることもできる。入力データは、できるかぎり簡潔になるように効率的に編成されている。

HEATING5-JRは、HEATING5の改良版であり、次の点が追加され、使用が容易になっている。

- (1) 入力データチェックのためのプリプロセッサの追加
- (2) 計算結果の図形表示および応力解析のためのポストプロセッサの追加

本報告は、HEATING5-JRの解析手法、計算プログラムの内容、入力形式と出力形式および例題計算について述べたものである。

2. 計 算 式

輸送容器の火災解析に際し、この熱解析計算コード、HEATING5は、FDM(Finite Different Method)による1次元、2次元および3次元の非定常状態の熱移行問題として火災現象を取扱う。また、定常時の計算は、臨界、遮蔽計算のための原子密度をきめるための温度算定に有効である。⁽³⁾

HEATING5 プログラムは、1次元、2次元、3次元の直交、円筒座標、または1次元球座標で、定常、非定常の計算が可能である。

Fig. 2.1において、節点Oの熱平衡の式は

$$C_o \frac{T_o^{n+1} - T_o^n}{\Delta t} = P_o^n + \sum_{m=1}^6 {}_oK_m (T_m^n - T_o^n) \quad (21)$$

ここで、 T_m^n は時間 t_n における節点Oに隣接した m 番目の節点の温度、 ${}_oK_m$ は節点Oと節点 m 間の熱伝導率、 C_o は節点の物質の熱容量、 P_o^n は時間 t_n における節点Oの物質の発熱量である。

平面は節点を横切り、軸に沿って2つの連続した平面にはさまれた物質は均一であるので、1つの節点は最大8個の物質にまたがっており、熱は最大4個の平行に位置した異なる物質により構成される隣接した節点間で移動する。

3次元問題では、ある時刻 t_n において、それぞれの内存する節点に対し、1つの C 、1つの P 、6つの K が存在する。それらのパラメータは節点Oに対し次のように算出される。

$$C_o = \sum_{\ell=1}^8 C_{p\ell} \rho_{\ell} V_{\ell} \quad (22)$$

$$P_o^n = \sum_{\ell=1}^8 Q_{\ell}^n V_{\ell} \quad (23)$$

$${}_oK_m = \frac{1}{L_m} \sum_{r=1}^4 K_{mr} A_{mr} \quad (24)$$

ここで、

$C_{p\ell}$: 領域 ℓ の比熱

ρ_{ℓ} : 領域 ℓ の密度

V_{ℓ} : 領域 ℓ の体積

Q_{ℓ}^n : 領域 ℓ の時刻 t_n における単位体積当りの発熱量

L_m : 節点Oから隣接する節点 m への距離

K_{mr} : 節点Oと節点 m 間の領域 r の熱伝導率

A_{mr} : 節点Oと節点 m 間の領域 r で熱が通過する垂直断面積

Fig. 2.1 の下図より、 V_{ℓ} と A_{mr} は次のように定義される。

$$V_{\ell} = \frac{(X_{i+1} - X_i)}{2} \cdot \frac{(Y_{j+1} - Y_j)}{2} \cdot \frac{(Z_{k+1} - Z_k)}{2} \quad (2.5)$$

$$A_{mr} = \frac{(Y_{j+1} - Y_j)}{2} \cdot \frac{(Z_{k+1} - Z_k)}{2} \quad (2.6)$$

表面または境界上にある節点，または1次元，2次元問題の節点では隣接する節点が6つも必要ないので， M_i 個の隣接した節点を持つ*i*番目の節点の一般的な熱平衡方程式は次の様に書ける。

$$C_i \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = P_i^n + \sum_{m=1}^{M_i} {}_i K_{\alpha_m} (T_{\alpha_m}^n - T_i^n) \quad (2.7)$$

ここで， α_m は*i*番目の節点の*m*番目の隣接した節点を示す。格子間隔を十分に小さく取ることにより，モデルは適当な微分方程式に置き換えることができる。

境界ではFig. 2.2に示すように，節点1と2，3と4，5と6との間でそれぞれ熱の移動があると考える。

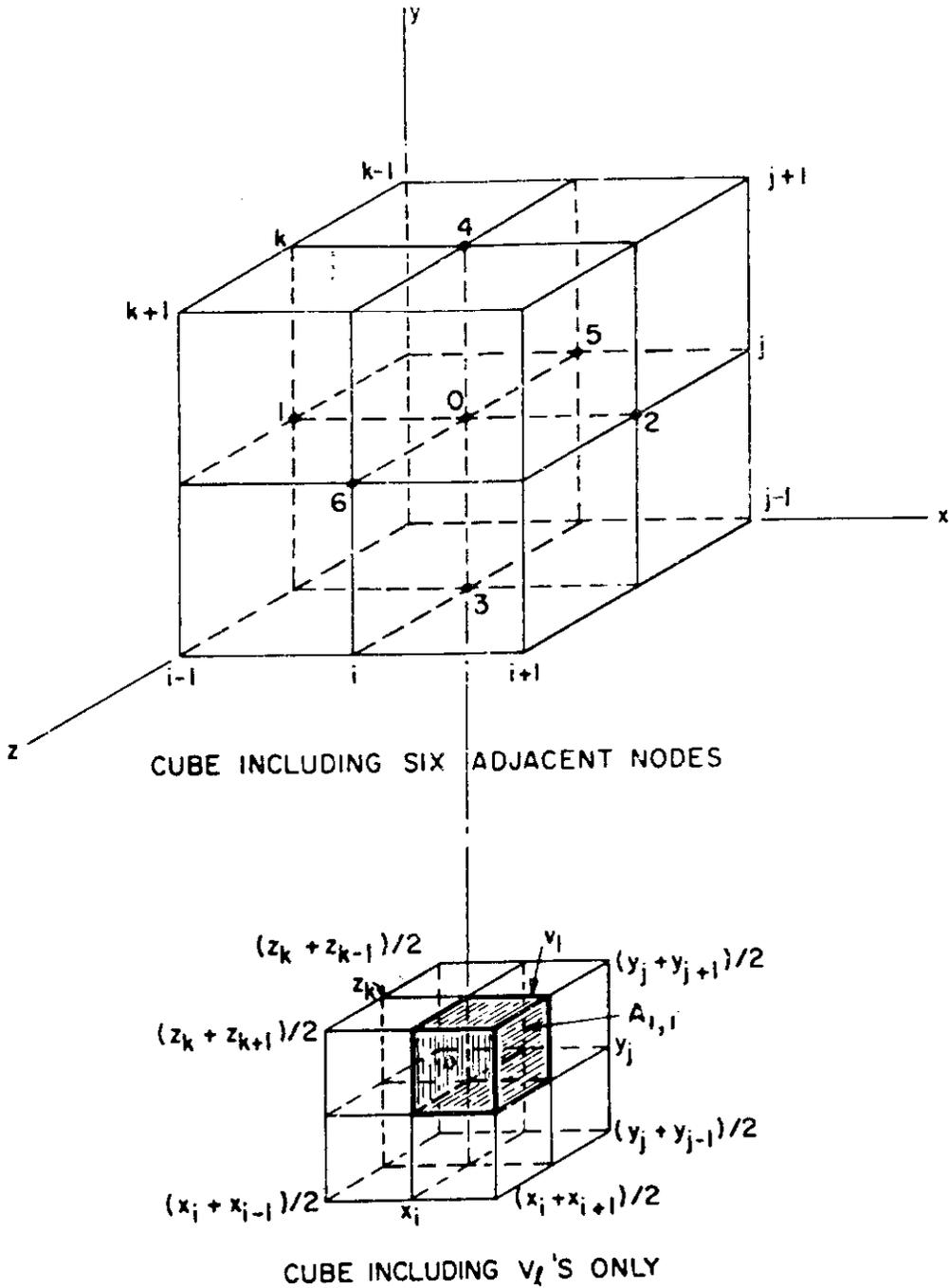


Fig. 2.1 HEATING5 Nodal Description for Three-Dimensional Problem

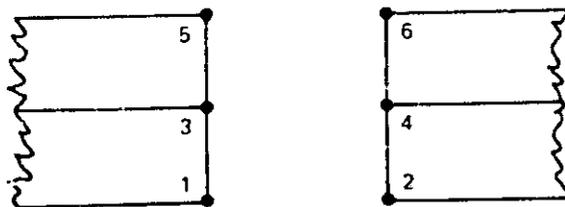


Fig. 2.2 Surface-to-Surface Heat Transfer

3. 計算プログラムの説明

3.1 HEATING 5 - JRの構成

HEATING 5 - JRは Fig. 3.1 に示すように、次の3つの部分から構成されている。

- (1) プリプロセッサ PRE-HEATING 5
- (2) 温度計算 HEATING 5
- (3) ポストプロセッサ POST-HEATING 5

プリプロセッサ PRE-HEATING 5 は、HEATING 5 のデータを図形表示するものであり、ポストプロセッサ POST-HEATING 5 は HEATING 5 の計算結果から、温度履歴図、温度分布図、および応力計算用のデータを編集するものである。プリプロセッサおよびポストプロセッサの主要な機能は次のとおりである。

- (1) プリプロセッサ (入力データ図形表示プログラム)
 - (i) 計算体系の図形表示
 - (ii) 初期条件の図形表示
 - (iii) 境界条件の図形表示
 - (iv) 物性値の図形表示
- (2) ポストプロセッサ (計算結果の図形表示プログラム)
 - (i) 計算体系の図形表示
 - (ii) 温度分布図の作成
 - (iii) 温度履歴図の作成
 - (iv) 応力解析のためのデータ作成

3.2 HEATING 5 の構成

HEATING 5 は Heat Engineering And Transfer In Nine Geometries からとった HEATING シリーズのバージョン 5 の計算プログラムである。HEATING は、オークリッジ国立研究所の Folwer と Voles が作った GHT をもとにして、Liguori と Stephenson が 1961 年に開発したものである。HEATING は ORNL の HEATING 3 を改良したものである。

HEATING 5 は、直交座標系 (X-Y-Z) と円筒座標系 (R- θ -Z) については 3 次元までとれる。球座標系は 1 次元までである。1 つの領域は 1 次元、2 次元、3 次元の形状に対し、それぞれ、座標軸に平行な 2 点、4 本の線、6 面まで囲まれなければならない。さらに領域は 1 つの物質からなり、境界条件は、領域の側面の全長について同一であることが必要である。

HEATING 5 は定常と非定常状態の熱移行を計算できるように設計されており、計算結果は温度分布の形で出力される。

物質の熱伝導率、密度、比熱は温度に依存させることができ、熱伝導率は非等方性でも可能、

また物質の相変化も可能である。発熱については時間と温度と位置によって変化してよい。境界条件は、温度指定または熱流束、強制対流、自然対流、輻射それぞれの組み合わせによって表わせる。境界条件での各熱係数は時間あるいは温度依存が可能である。また、ある入力データまたは係数に対し、ユーザー自身がプログラムを組み込むことができる。この場合、それらのデータまたは係数は時間、温度などに対して変化するものとして取り扱い可能となる。このプログラムの制限条件は100領域、50物質、50境界条件となっている。節点数の上限は調整可能である。このプログラムは2000格子点で768キロバイトの計算機容量を必要とする。

入出力の図形処理プログラムについては次の章以下に示す。

(1) 幾何形状

X-Y-Z, R- θ -Z各座標系については3次元までとれる。解くべき問題の構成、配置を領域に分割し、分割の方法は、形状、物質の構成に応じて行なわれなければならない。

領域の次元数および構成、境界条件については前節に記したとおりである。以下に、3次元直交座標系を例に取り詳しい話を進める。始めに物理的問題を節点という形に置き換えて近似する。すなわち、形状を互いに直交する平面で分割し、その交点を節点とする。ここで、直交する平面は等間隔でなくともよいが、形状の外側まで十分に広がっているものでなければならない。Fig. 2.1は三平面の交点によって定義された典型的な節点である。このような3次元問題では、熱は(表面にある節点に対して)内在する節点からそれぞれ隣り合った6つの節点へと流れる。このような場合、温度分布を記述する方程式はそれぞれの節点間の熱平衡を満すことにより、導き出される。

ただし、円筒体系では中心線上の温度は計算できない。さらに θ 座標が $0 \sim 2\pi$ にわたっている場合 0 と 2π の節点の結合は考えることができない。

(2) 境界条件

HEATING5では、ユーザーの物理的問題をより正確に記述できるようにいくつかの境界条件を備えている。一般に、境界条件は領域の表面で適用され、熱の移動は表面節点と境界接点間、または平行に相対する表面接点間で行なわれる。表面接点は領域の端に位置する、実在する節点である。境界節点とは仮想の節点で、モデルを計算するために付加された節点であり、温度は本プログラム内で算出されることなく入力によって与えられる。境界節点は境界表面間の熱の移動を算出する以外に使用されない。領域の表面で適用されうる境界条件は、このプログラムでは以下のようになっている。

- (i) 領域表面の温度が一定、あるいは時間の関数として表わせる。
- (ii) 領域表面を通過する熱流速が一定、あるいは時間または温度の関数として直接入力される。
- (iii) 領域表面を通過する熱流束が、強制対流、自然対流、輻射により間接的に表現される。境界条件が適用されている表面節点の温度算出法は以下に述べるようになっている。

表面節点温度が入力データとして与えられているものは入力温度がそのまま表面節点温度となる。境界表面を通過する熱流速が入力データとして与えられた場合、この境界条件が適用される節点の熱流速に垂直な表面積がこの熱流束値に乗せられ、その結果が発熱項に加えられる。もし、熱流速が温度依存ならば表面对境界条件では、表面節点温度と境界節点温度の平均値で

熱流速が算出され、表面对表面型境界条件では向い合う表面節点温度の平均値により算出される絶縁境界での熱の移動はない。また、境界条件は次の3タイプに分類される。

タイプ1 表面对境界型

タイプ2 表面上の温度を規定する

タイプ3 表面对表面型

表面对境界型境界条件では、表面接点と境界節点間の移動を定義する。境界節点の温度は入力により与えられ、時間の関数としても表わせる。表面对表面型境界条件では、平行に相対する表面間の熱移動を定義する。この場合、ある表面節点とそれに対し平行に向い合う表面節点との間で熱の移動が行われる。Fig. 2.1に例を示しているように節点1と2、節点3と4、節点5と6の間の熱の移動を表わすのに、表面对表面型境界条件が用いられる。

表面对境界型と表面对表面型の双方とも、熱移動の項は次の様になる。

$${}_i K_{am} (T_{am}^n - T_i^n) = {}_i K_b (T_b^n - T_i^n) \quad (3.1)$$

ここで、 ${}_i K_b$ は表面節点 i と境界節点 B 、または表面節点 i に対して位置する表面節点 B の間の有効熱伝達率である。また、 T_b^n は境界節点 b または上述した表面節点 b の時刻 t_n における温度である。有効熱伝達率は次の様に書ける。

$${}_i K_b = hA \quad (3.2)$$

ここで h は単位面積当りの熱伝達率で、下記のように表わせる。 A は境界条件が適用されている節点 i の熱の流れに垂直な継面積である。 h は次のようになる。

$$h = h_c + h_r ((T_i^n)^2 + (T_b^n)^2)(T_i^n + T_b^n) + h_m |T_i^n - T_b^n|^{h_e} \quad (3.3)$$

ここで、

h_c 強御対流熱伝達係数

h_r 輻射係数 (Stefan-Boltzman 定数と、灰色体としての輻射率より算出された値、Stefan-Boltzman 定数と灰色体輻射率を含む)。

h_m と h_e 自然対流熱伝達又はその他の沸騰伝達のような現象を表わすための係数。これらの係数 h_c 、 h_r 、 h_m はユーザーにより入力として与えられる。またこれらは、時間または温度の関数として表わされ、ユーザー・サブライ・ルーチンを使用すれば位置の関数としても表わせる。なお、ユーザー・サブライ・ルーチンとはユーザー自身が組み込むサブルーチンのことである。

(3) 物性データ

密度、比熱、それぞれ温度依存のテーブルを用意し直線内挿で求める。熱伝達率は、 n -th くり返しまたは時間ステップにおいて2点 a 、 b の前のくり返しでの温度の平均で内挿する。密度、比熱は点 a の前のくり返しまたは時間ステップでの温度で内挿し、発熱量は発熱密度で入力し時間および場所の関数である。

熱伝達率	}	温度依存テーブル
密度		

比 熱	}	
発 熱 量		時間および場所の関数
境界温度		時間および場所の関数
熱伝達率		時間の関数
初期温度		場所の関数

時間依存関数は初期状態からの変化率をテーブルで入力し，場所依存関数は次式を用いる。

$$F(x) = A_1 + A_2 X + A_3 X^2 + A_4 \cos(A_5 X) + A_6 \exp(A_7 X) + A_8 \sin(A_5 X) \quad (3.4)$$

$A_1 \sim A_8$ は入力定数， X は場所

(4) 制限事項

このコードの使用の制限は以下のようになっている。

領域数 ≤ 100

物質数 ≤ 50

境界条件 ≤ 50

1つの軸に沿っての小格子線 ≤ 100

1つの軸に沿っての大格子線 ≤ 50

発熱関数の数 ≤ 20

初期温度関数の数 ≤ 25

解析関数の数 ≤ 25

相変化のある物質の数 ≤ 5

特殊な温度テーブルのある節点数 ≤ 20

テーブル関数当りの点の数 ≤ 25

テーブル関数の数 ≤ 25

プリント出力の時間数 ≤ 100

表面对表面の結合数 ≤ 2000

(5) 計算プログラム

計算プログラムの流れは Fig. 3.2 に示すとおりであり，計算プログラムの構造は Fig. 3.3 に示している。

3.3 PRE-HEATING 5 の構成

PRE-HEATING 5 はオークリッジ国立研究所が開発した HEATING 5 の入力データを図形出力によってチェックするための計算プログラム REGPLOT⁽⁴⁾ を改良したものであり，改良の主要なものは，入力データのうちテーブル関数を表示できるように追加したことである。

計算プログラムの流れは Fig. 3.4 に，計算プログラムの構造は Fig. 3.5 にそれぞれ示す。

3.4 POST-HEATING 5の構成

POST-HEATING 5はHEATING 5の計算結果から温度変化図，温度分布図ならびに応力解析用データを作成するものであり，POST-TRUMP 3⁽⁵⁾と同じものである。

計算プログラムの流れはFig. 3.6に，計算プログラムの構造はFig. 3.7にそれぞれ示す。

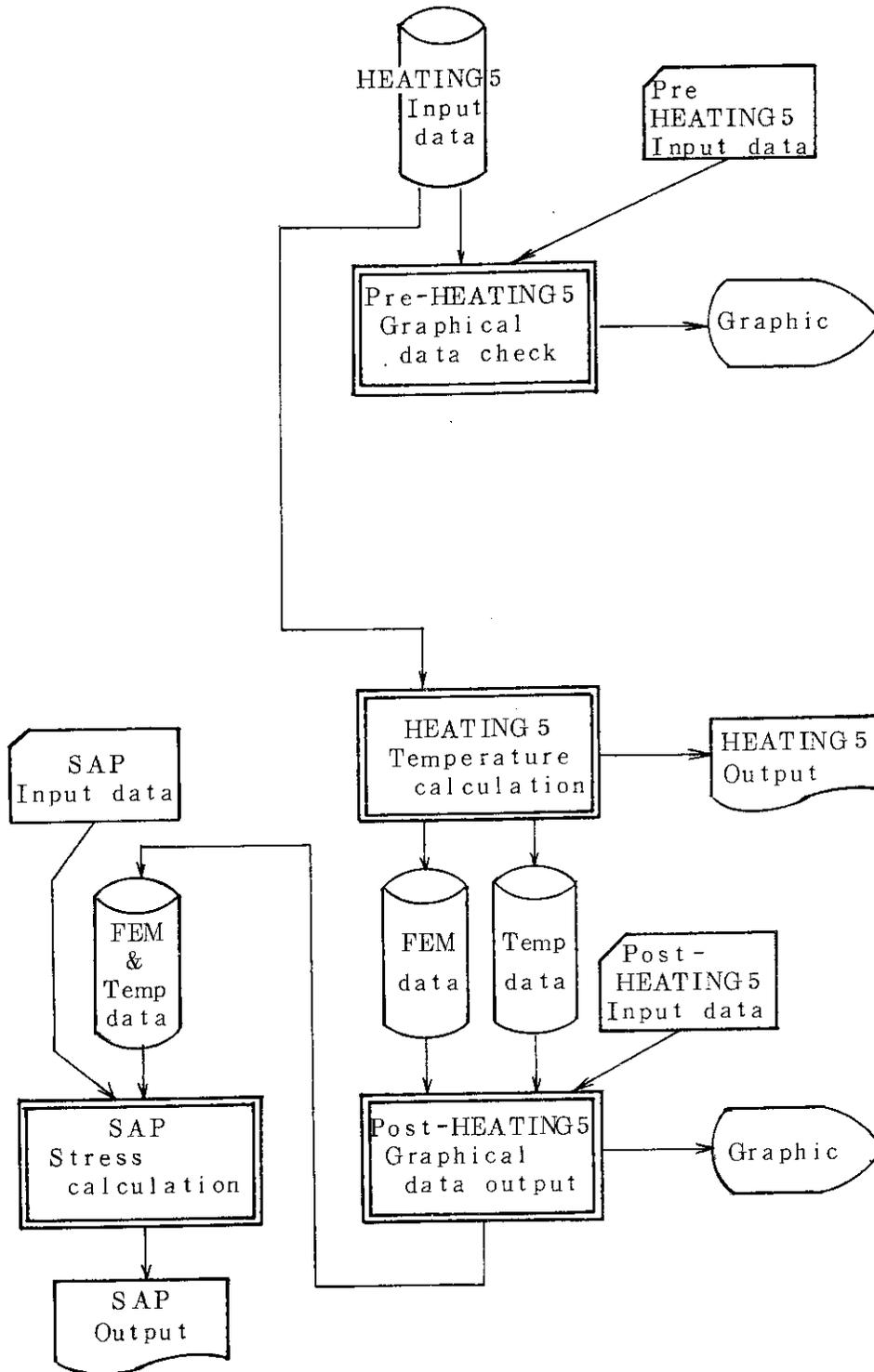


Fig. 3.1 HEATING5-JR flow sheet

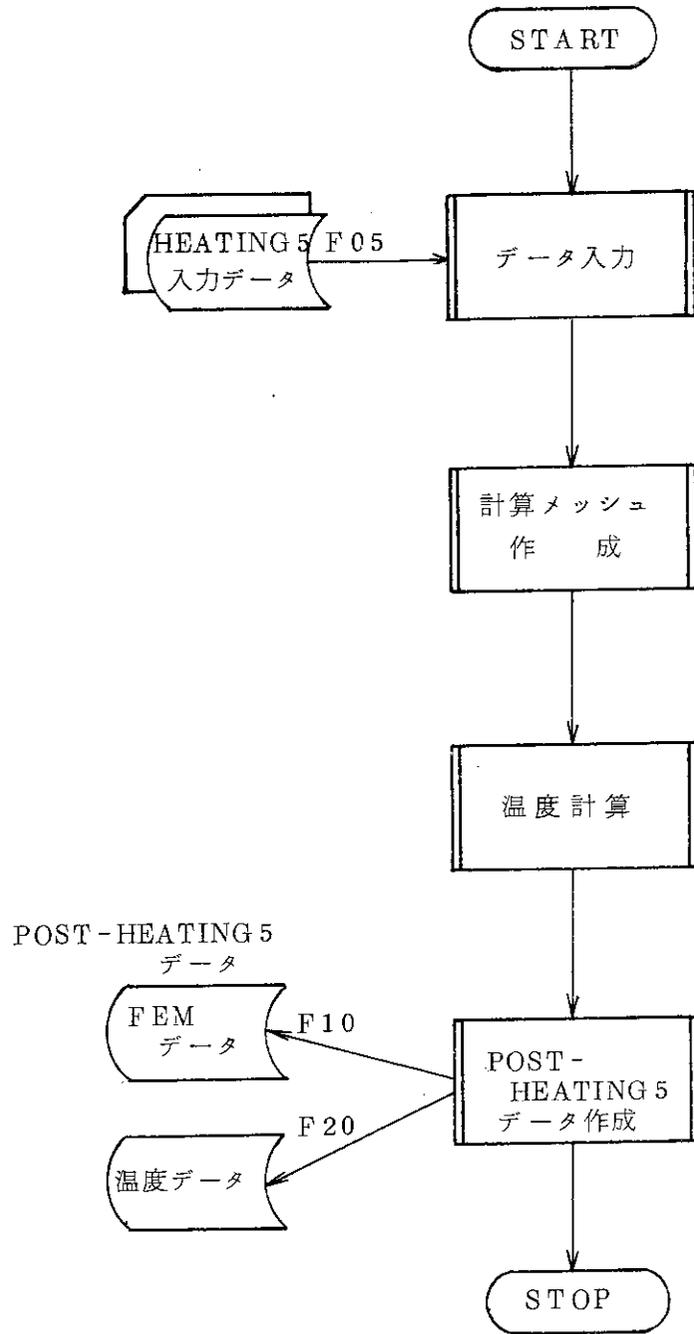


Fig. 3.2 Flow sheet of HEATING5-JR

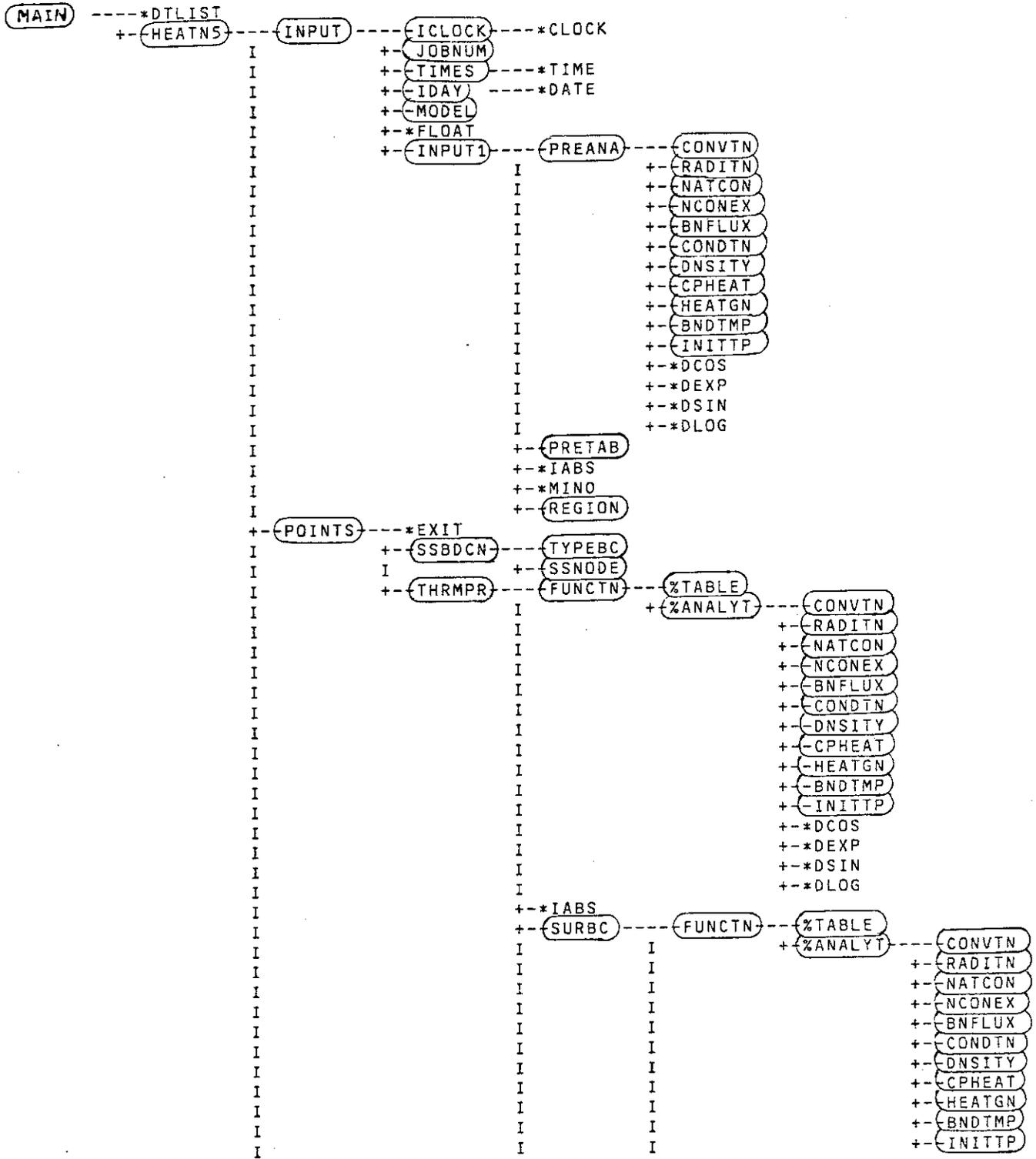


Fig. 3.3 Program structure of HEATING5

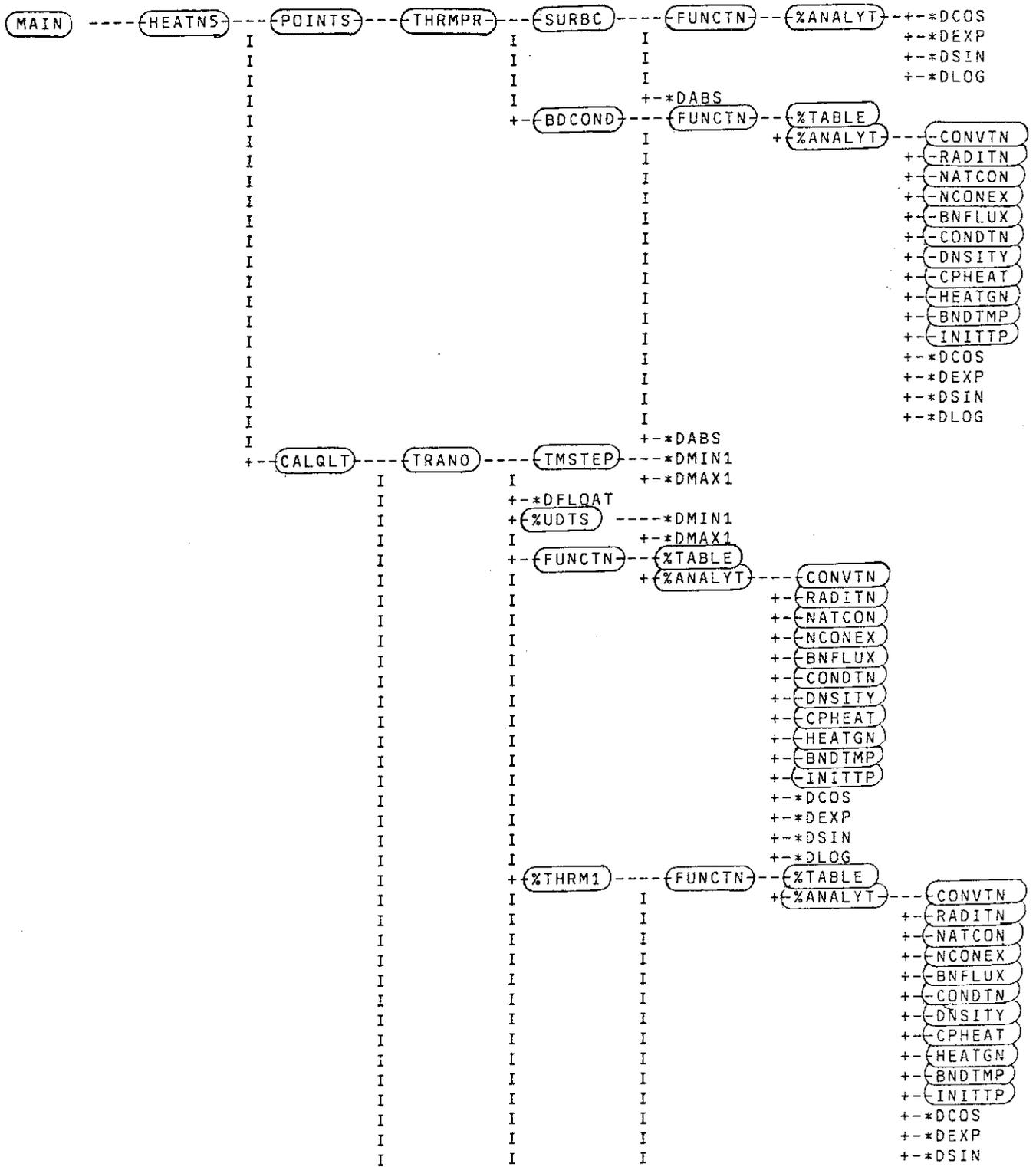


Fig. 3.3 (Continued)

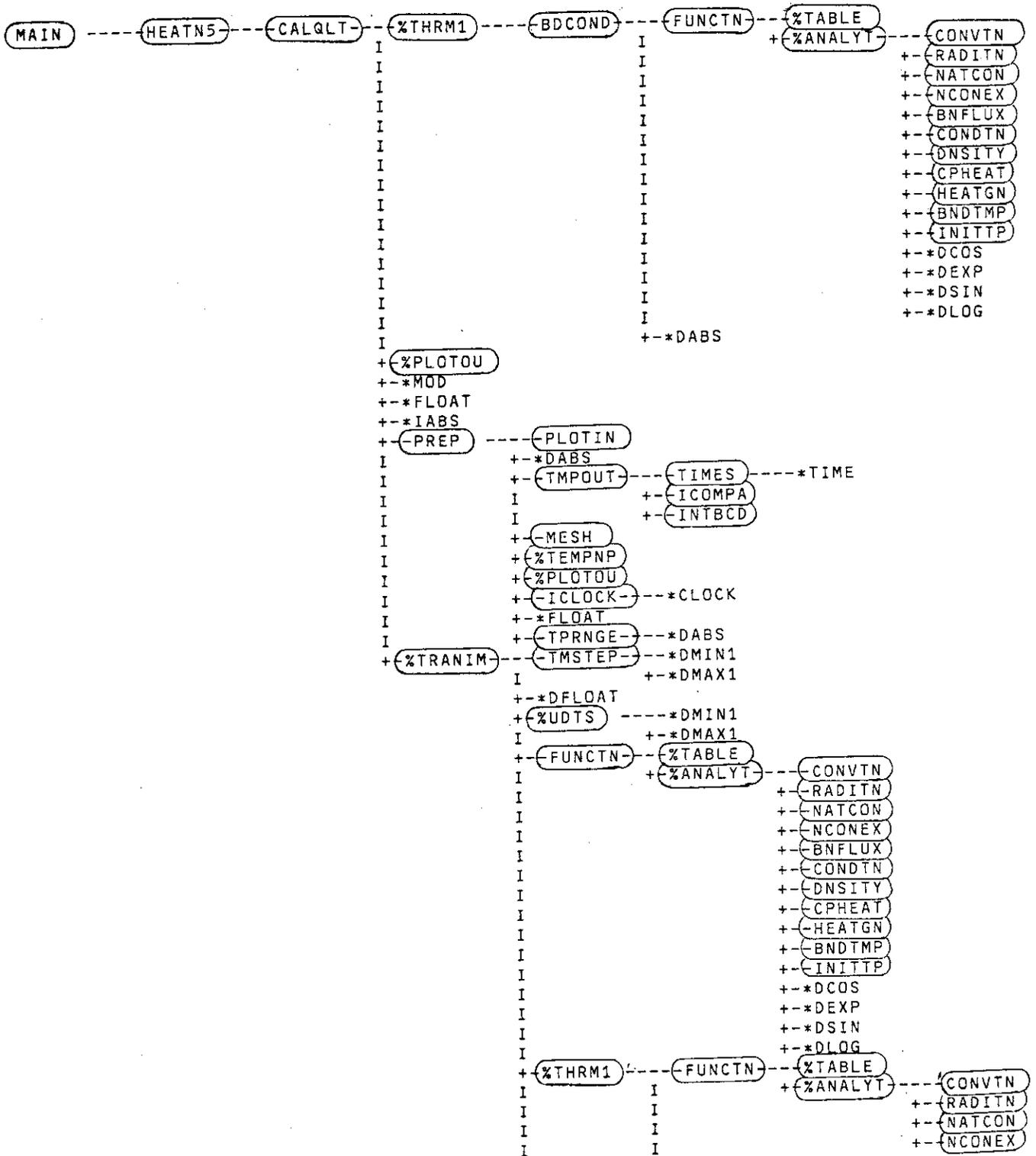


Fig. 3.3 (Continued)

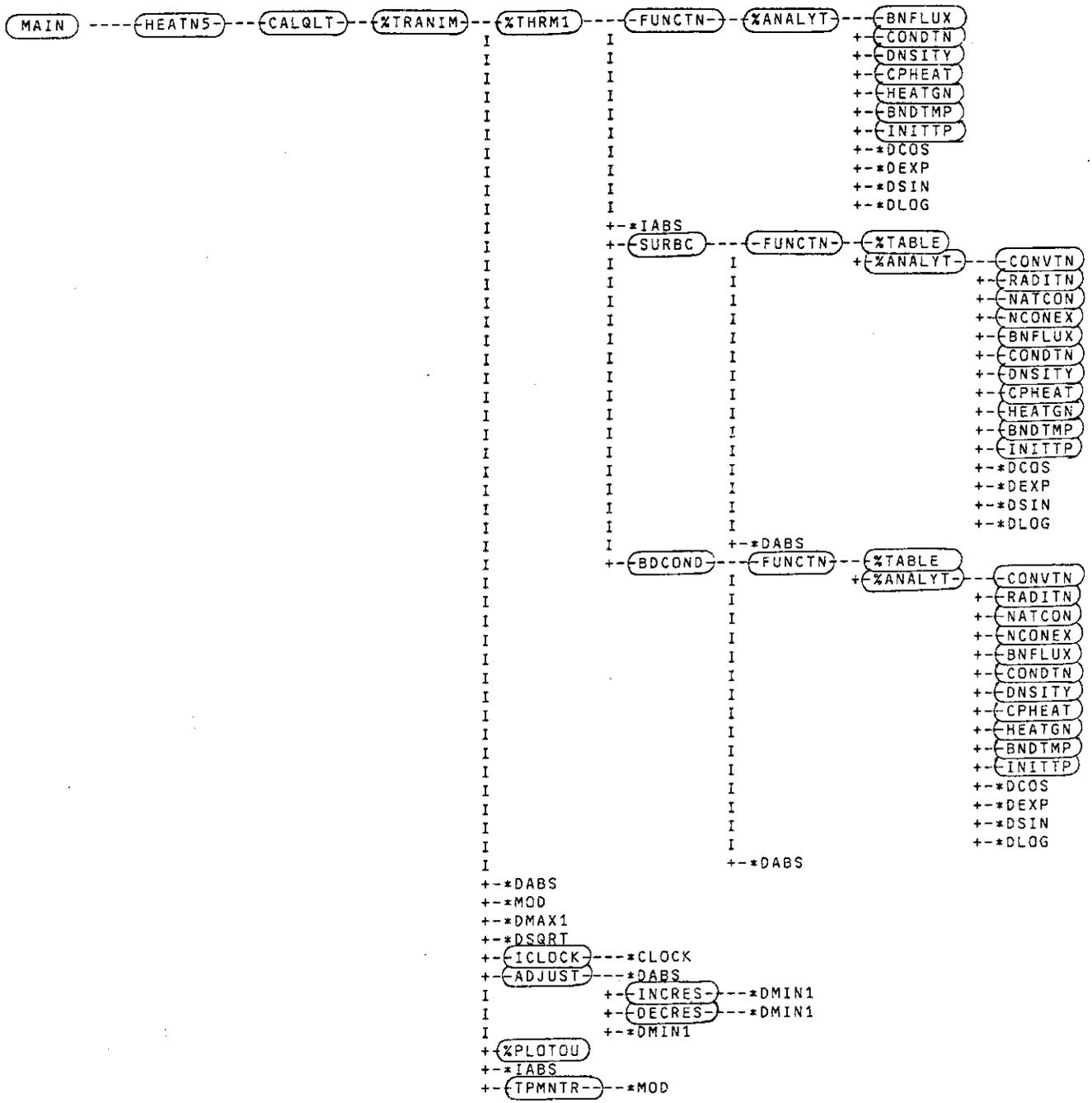


Fig. 3.3 (Continued)

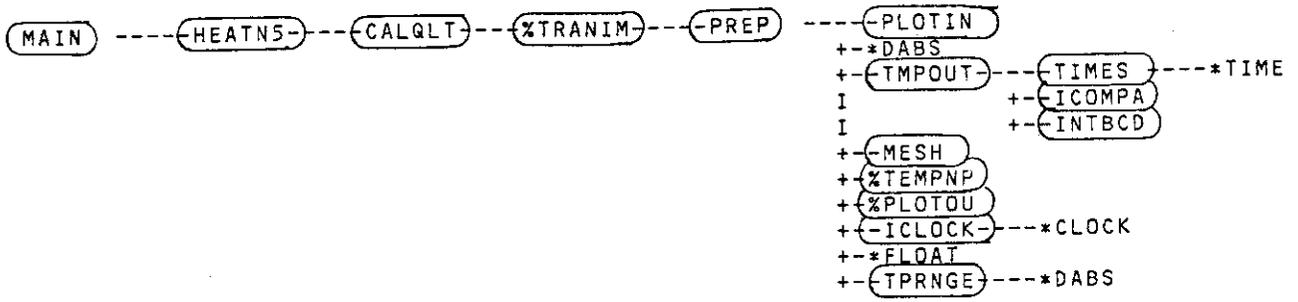


Fig. 3.3 (Continued)

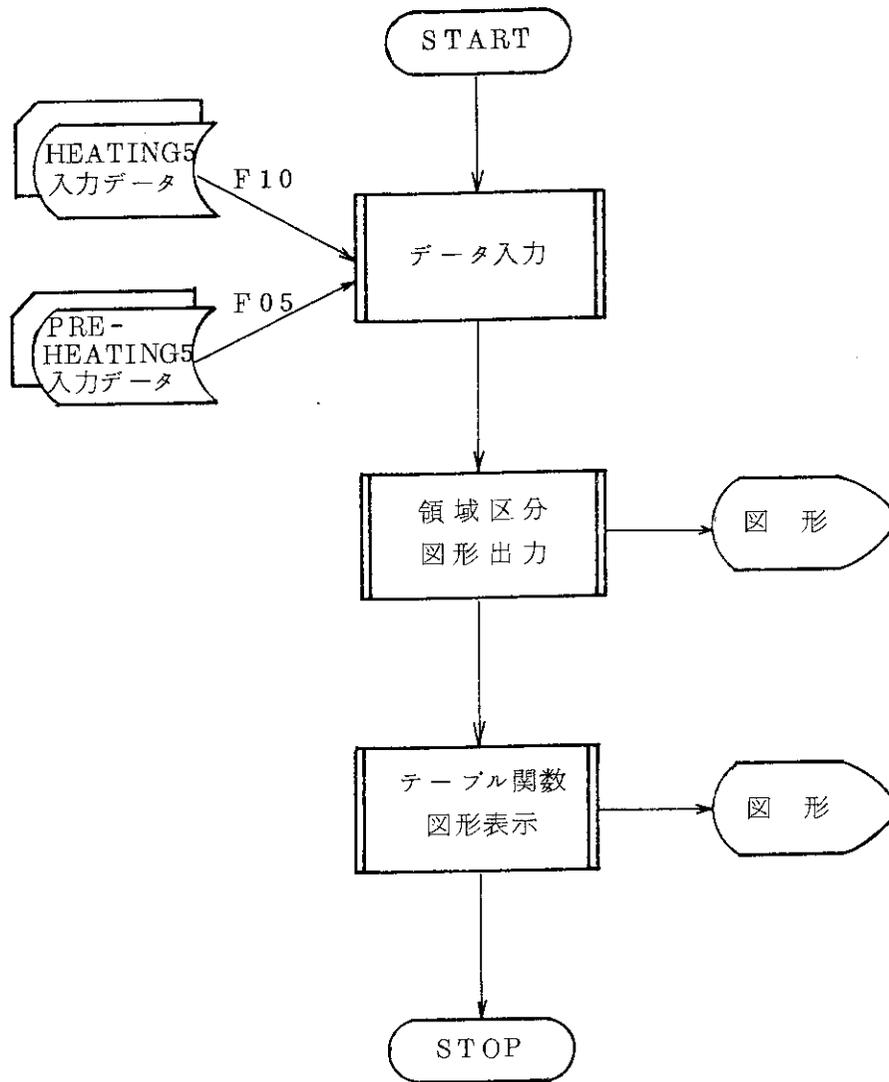


Fig. 3.4 Flow sheet of PRE-HEATING5

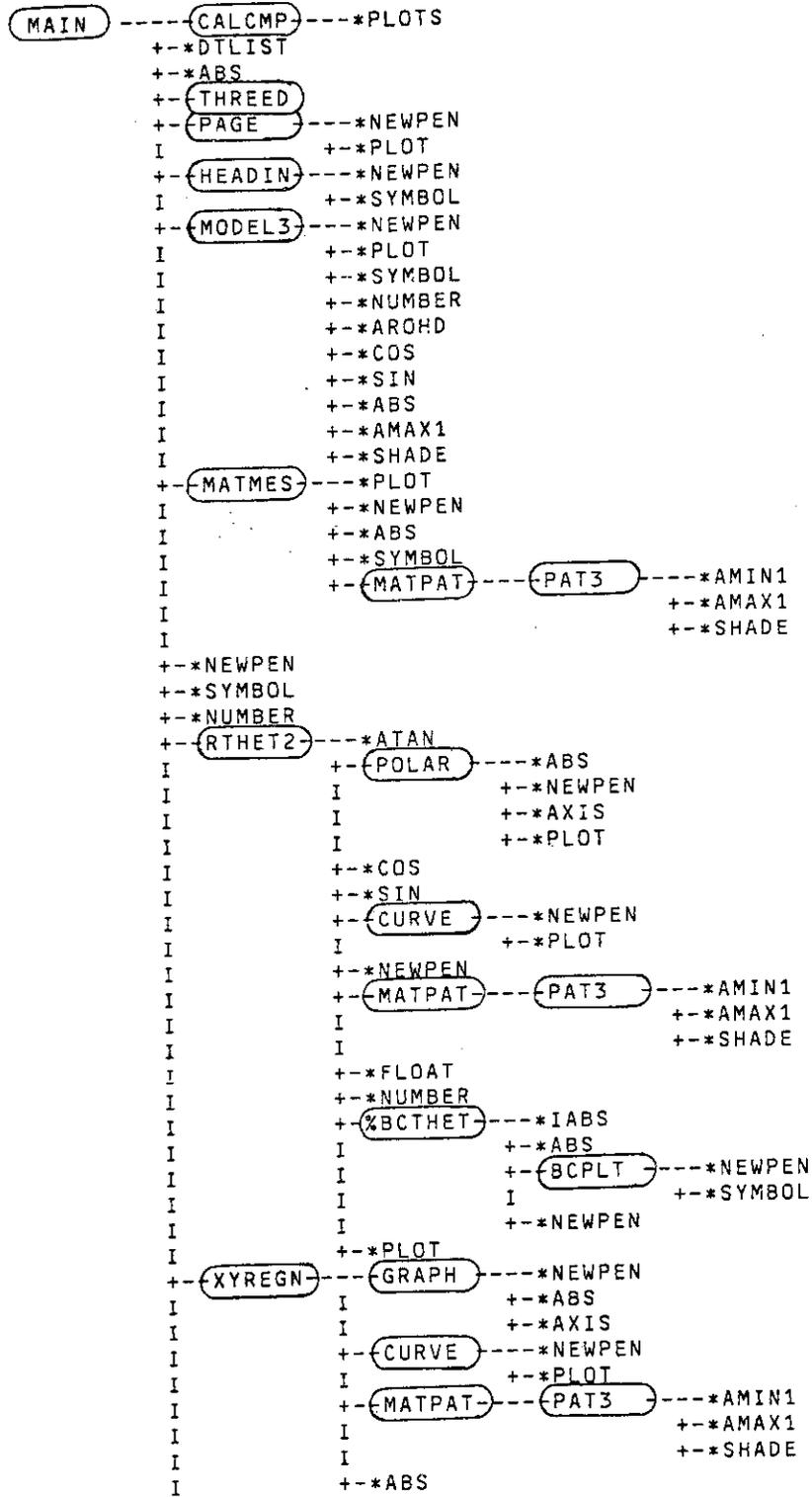


Fig. 3.5 Program structure of PRE-HEATING5

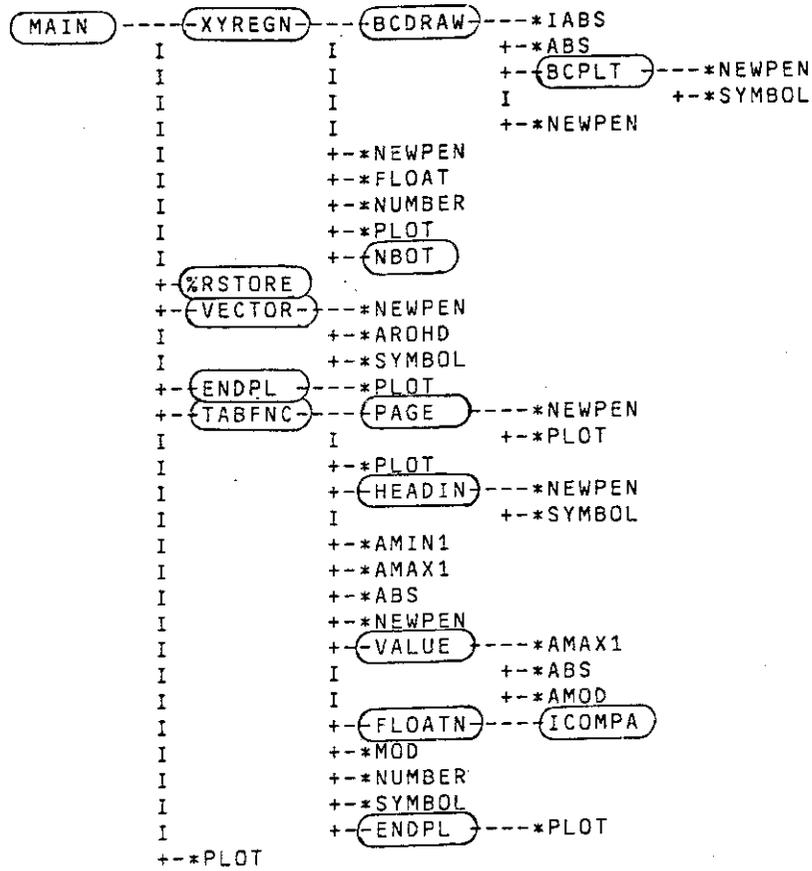


Fig.3.5 (Continued)

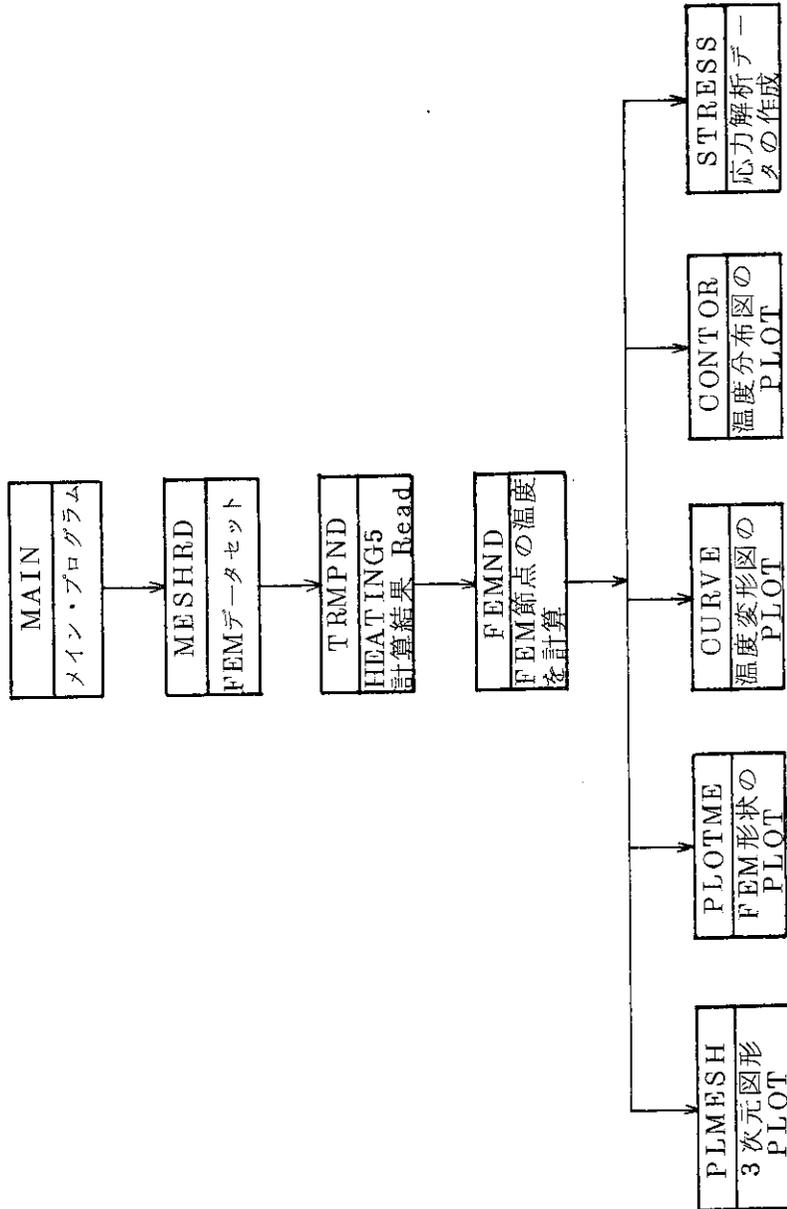


Fig. 3.6 Flow sheet of POST-HEATING5

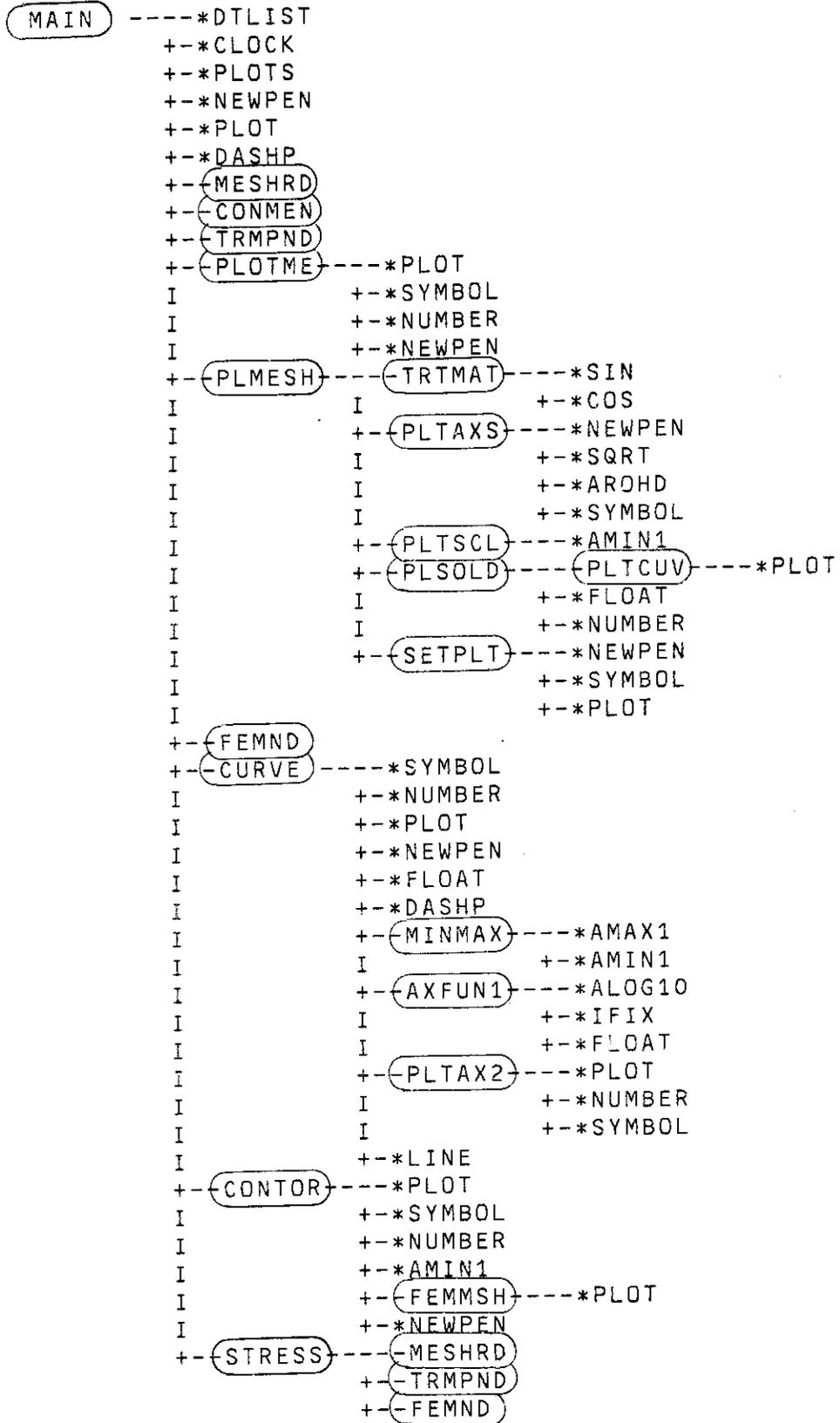


Fig. 3.7 Program structure of POST-HEATING5

4. HEATING 5 の入力・出力形式

4.1 HEATING 5 の入力形式

各入力データはデータセット1とデータセットMを除いて9カラム毎の入力型式となっている。

I コントロールデータ

(1) データセット1 問題のタイトル

(2) データセット2

a. CPU打切時間

b. 座標系の入力

	直交	円筒	球
1	R- θ -Z	6 X-Y-Z	10 R
2	R- θ	7 X-Y	
3	R-Z	8 X-Z	
4	R	9 X	
5	Z		

c. 領域数

d. 物質数

e. 相変化を持つ物質数

f. 発熱関数の数

g. 初期温度の数

h. 境界条件の数

(3) データセット3

a. 格子数の入力

(i) XあるいはR方向の格子数

(ii) Yあるいは θ 方向の格子数

(iii) Z方向の格子数

b. 解析関数の数

c. テーブル関数の数

d. 温度単位

0 or Blank (F)

1 (C)

e. 3次元問題の出力マップフラッグ

0 or Blank XY or R θ Plane

nonzero XZ or RZ Plane

f. 温度依存特性の修正

(4) データセット 4

- a. 非定常問題の出力フラッグ
 0 or Blank 時間ステップ毎に出力
 nonzero 入力された時間について出力
- b. 図形出力フラッグ
- c. 図形出力の時間ステップ数
- d. 初期温度入力ファイル番号
- e. 最終温度出力ファイル番号

(5) データセット 5

- a. 問題の解析タイプ
- | | | | |
|---|-------------------------------|----|---------------------------------|
| 1 | S-S | -1 | trans |
| 2 | S-S, trans, | -2 | trans, S-S |
| 3 | S-S, trans, S-S | -3 | trans, S-S, trans |
| 4 | S-S, trans, S-S, trans | -4 | trans, S-S, trans, S-S |
| . | . | . | . |
| . | . | . | . |
| n | S-S, trans, S-S, trans
S-S | -n | trans, S-S, trans, S-S
trans |
- SS : 定常 trans : 非定常

- b. 許容定常反復数
- c. 定常収束基準
- d. 定常過渡緩和係数
- e. 時間増分
- f. Levyの陽解法フラッグ
- g. 初期時間
- h. 非定常計算の最終時間

II 領域データ

(6) データセット R1

- a. 領域番号
- b. 領域の物質番号
- c. 領域サイズ
- (イ) XあるいはR方向の領域境界の最小座標値
- (ロ) XあるいはR方向の領域境界の最大座標値
- (ハ) Yあるいは θ 方向の領域境界の最小座標値
- (ニ) Yあるいは θ 方向の領域境界の最大座標値
- (ホ) Z方向の領域境界の最小座標値
- (ヘ) Z方向の領域境界の最大座標値

(7) データセット R2

- a. 領域の初期温度番号

b. 領域の発熱番号

c. 境界条件番号

III 物質データ

(8) データセット M

a. 物質番号

b. 物質名

c. 物質の温度特性値 (温度に依存しない場合)

(i) 熱伝導率

(ii) 密度

(iii) 比熱

d. 温度依存の物質の温度特性値を表す関数番号

(9) データセット PC

相変化を伴う物質に関する入力

IV 発熱関数データ

(10) データセット G

発熱が時間依存しない場合は一定発熱率を入力, 時間依存の場合は関数番号を入力

V 初期温度関数データ

(11) データセット I

初期温度が場所依存しない場合は初期温度値を入力, 場所依存の場合は関数番号を入力

VI 境界条件データ

(12) データセット B1

a. 境界条件番号

b. 境界条件のタイプ

(i) 表面对境界型

(ii) 表面上の温度を規定する

(iii) 表面对表面型

(13) データセット B2

a. 強制対流熱伝達係数 h_c

b. 輻係数 h_r

c. 自然対流熱伝達係数 h_n, h_e

d. 境界を通過する熱流速 h_f

e. 時間あるいは温度依存のパラメータフラッグ

入力データ	追加データ
0	なし
1	追加データ B3
2	追加データ B4
3	追加データ B3, B4

(14) データセット B 3

時間依存の解析あるいはテーブル関数を表わすパラメータフラッグ

(15) データセット B 4

温度依存の解析あるいはテーブル関数を表わすパラメータフラッグ

VI 格子表示

(16) データセット L 1

XあるいはR方向の分割座標値

(17) データセット N 1

XあるいはR方向の分割格子数値

(18) データセット L 2

Yあるいは θ 方向の分割座標値

(19) データセット N 2

Yあるいは θ 方向の分割格子数値

(20) データセット L 3

Z方向の分割座標値

(21) データセット N 3

Z方向の分割格子数値

VII 解析関数データ

(22) データセット A 1

解析関数番号および係数の数

(23) データセット A 2

次式の解析関数の各係数A, B, C, Dを入力

$$f(x) = A \sin Bx + C \exp(Dx)$$

IX テーブル関数データ

(24) データセット T 1

テーブル関数番号および数値点の数

(25) データセット T 2

時間あるいは温度などに対する数値を入力

X 出力時間

(26) データセット O

出力する時間を入力

XI 節点温度出力

(27) データセット S

特定の節点について温度を出力

XII 再計算

(28) データセット IT 1

問題のタイトル

(29) データセット IT 2
初期時刻と初期温度の格子点

(30) データセット IT 3
格子点温度

(31) データセット IT 4
相変化をする格子点データ

XIII 非定常陰解法パラメータ

(32) データセット IP

- a. 収束基準値
- b. 第2収束基準値
- c. 温度依存の場合の収束基準値
- d. 非定常問題における陰解法を定義 $0.5 \leq \theta \leq 1.0$,
- e. 過渡緩和反復促進パラメータの初期値
- f. 時間ステップ数
- g. 反復数の変化を示す基準値

(33) データセット TP

- a. 初期時間ステップ
- b. 温度計算後の時間ステップにかかる係数
- c. 時間ステップ最大数
- d. 時間ステップの最大時間
- e. 1時間ステップ, 1節点での許容温度変化
- f. 1節点に関連する許容温度変化率 (%)
- g. 時間ステップの最小値

XIV ブランクデータ

継続して次の問題を計算する場合はブランクカードを挿入する。

HEATING 5 の入力データを Table 4.1 に示す。

Table 4.1 Input data for HEATING 5

(1) データセット1 (18A4)

カラム	変数名	内容
1~72	JOBDES	問題のタイトル

(2) データセット2 (8I9)

カラム	変数名	内容
1~9	MXCPU	CPU打切時間 (sec)
10~18	NGEOM	座標系 $= 1 ; R - \theta - Z$ $= 2 ; R - \theta$ $= 3 ; R - Z$ $= 4 ; R$ $= 5 ; Z$
		} 円柱座標系
		$= 6 ; X - Y - Z$ $= 7 ; X - Y$ $= 8 ; X - Z$ $= 9 ; X$
		} 直交座標系
		$= 10 ; R$ 球座標系
19~27	NOREGT	領域数, 最大100, データセットR1およびR2必要
28~36	MATLT	物質数
37~45	MATSL	相変化を持つ物質数
46~54	NGENFN	発熱関数の数
55~63	NINTFN	初期温度の数
64~72	NBDTPT	境界条件の数

(3) データセット3 (8I9)

カラム	変数名	内容
1~9	IGT	XあるいはR方向の格子数
10~18	JGT	Yあるいは θ 方向の格子数
19~27	KGT	Z方向の格子数
28~36	NOANAT	解析関数の数
37~45	NOTBLT	テーブル関数の数
46~54	IDEGRE	温度単位 0又はblank; (F) 1 ; (C)

Table 4.1 (Continued)

カラム	変数名	内容
55~63	I POLNE	3次元問題の出力マップフラッグ 0またはブランク ; XYあるいはRθ平面 1 ; XZあるいはRZ平面
64~72	MCOUNT	定常問題における反復数

(4) データセット4 (8I9)

カラム	変数名	内容
1~9	NDTA	出力時間ステップ数 0またはブランク ; 各時間ステップ毎に出力
10~18	NPRINT	出力時間
19~27	ITAPE	図形出力のファイル番号
28~36	NOUTPT	図形出力の時間ステップ数
37~45	NTS	節点温度出力間の時間ステップ数あるいは反復数
46~54	JIN	初期温度の入力ファイル番号
55~63	JOUT	最終温度の出力ファイル番号

(5) データセット5 (2I9, 6F9.0)

カラム	変数名	内容
1~9	NTYPE	問題の解析タイプ = 1 定常 = 2 定常, 非定常 = 3 定常, 非定常, 定常 : = n 定常, 非定常, 定常, 非定常.....非定常 =-1 非定常 =-2 非定常, 定常 =-3 非定常, 定常, 非定常 : =-n 非定常, 定常, 非定常.....定常
10~18	NOITX	定常計算の許容反復数
19~27	EPI	定常計算の収束基準
28~36	BETA	定常計算の過渡緩和係数
37~45	DELTA	非定常計算の時間増分
46~54	KTMFCT	Levyの陽解法フラッグ
55~63	TIM	初期時間
64~72	FTIME	非定常計算の最終時間

Table 4.1 (Continued)

(6) データセット R1 (2I9, 6F9.0)

カラム	変数名	内 容
1~9	NOREG	領域番号
10~18	MATL	領域の物質番号
19~27	RRIN	XあるいはR方向の領域境界の最小座標値
28~36	RROT	XあるいはR方向の領域境界の最大座標値
37~45	THLT	Yあるいは θ 方向の領域境界の最小座標値
46~54	THRT	Yあるいは θ 方向の領域境界の最大座標値
55~63	ZZBK	Z方向の領域境界の最小座標値
64~72	ZZFR	Z方向の領域境界の最大座標値

(7) データセット R2 (8I9)

カラム	変数名	内 容
1~9	INTEM	領域の初期温度の関数番号
10~18	NGEN	領域の発熱関数番号
19~27	NBDIN	XまたはR方向の領域境界番号(座標小)
28~36	NBDOT	XまたはR方向の領域境界番号(座標大)
37~45	NBDLT	Yまたは θ 方向の領域境界番号(座標小)
46~54	NBDRT	Yまたは θ 方向の領域境界番号(座標大)
55~63	NBDBK	Z方向の領域境界番号(座標小)
64~72	NBDFR	Z方向の領域境界番号(座標大)

(8) データセット M (I9, 1X, A8, 3F9.0, 3I9)

カラム	変数名	内 容
1~9	MAT	物質番号
10		ブランク
11~18	MATNAM	物質名
19~27	COUNDC	温度に依存しない物質の熱伝導率
28~36	DENSTY	温度に依存しない物質の密度
37~45	SPHEAT	温度に依存しない物質の比熱
46~54	NCONT P	温度依存の物質の熱伝導率の関数番号
55~63	NDENT P	温度依存の物質の密度の関数番号
64~72	NSPHT P	温度依存の物質の比熱の関数番号

Table 4.1 (Continued)

(9) データセットPC (2D9.0)

カラム	変数名	内 容
1~9	SLTM	相変化あるいは変化温度
10~18	SLHM	潜 熱

(10) データセットG (I9, F9.0, 5I9)

カラム	変数名	内 容
1~9	NGN	発熱関数番号
10~18	GENO	時間に依存しない一定発熱率
19~27	NGNTM	時間依存の場合の関数番号
28~36	NGNTP	温度依存の場合の関数番号
37~45	NGNR	XまたはR方向に依存する場合の関数番号
46~54	NGNTH	Yまたは θ 方向に依存する場合の関数番号
55~63	NGNZ	Z方向に依存する場合の関数番号

(11) データセットI (5I9)

カラム	変数名	内 容
1~9	INTM	初期温度関数番号
10~18	IEMPIN	時間に依存しない場合の初期温度
19~27	ITMR	XまたはR方向に依存する場合の関数番号
28~36	ITMTH	Yまたは θ 方向に依存する場合の関数番号
37~45	ITMZ	Z方向に依存する場合の関数番号

(12) データセットB1 (2I9, F9.0, I9)

カラム	変数名	内 容
1~9	NBDTP	境界条件番号
10~18	NBYTYP	境界条件タイプ = 1 表面对境界 = 2 表面上の温度を規定 = 3 表面对表面
19~27	BYTEMP	境界温度 T_0
28~36	NBYTFN	境界温度が時間に依存する場合の関数番号

Table 4.1 (Continued)

(13) データセット B 2 (5F9.0, I9)

カラム	変数名	内 容
1~9	BHCONV	強制対流熱伝達係数 h_c
10~18	BHRAD	輻射係数 h_r
19~27	BHNAT	自然対流熱伝達係数 h_n
28~36	BHEXP	自然対流熱伝達係数 h_e
37~45	BHFLUX	境界を通過する熱流束 h_f
46~54	IBHFL	= 0 データセット B 3, B 4 必要 = 1 データセット B 3 のみ必要 = 2 データセット B 4 のみ必要 = 3 データセット B 3, B 4 必要

(14) データセット B 3 (4I9)

カラム	変数名	内 容
1~9	NBHCTM	時間依存の場合の強制熱伝達の関数番号
10~18	NBHRTM	時間依存の場合の輻射の関数番号
19~27	NBHNTM	時間依存の場合の自然対流の関数番号
28~36	NBHFTM	境界を通過する熱流束が時間依存の場合の関数番号 < 0 ; 解析関数 > 0 ; テーブル関数

(15) データセット B 4 (4I9)

カラム	変数名	内 容
1~9	NBHCTP	温度依存の場合の強制熱伝達の関数番号
10~18	NBH RTP	温度依存の場合の輻射の関数番号
19~27	NBH NTP	温度依存の場合の自然対流の関数番号
28~36	NBHFTP	境界を通過する熱流束が温度依存の場合の関数番号 < 0 ; 解析関数 > 0 ; テーブル関数

(16) データセット L 1 (8F9.0)

カラム	変数名	内 容
1~72	RG (I)	X または R 方向の格子座標値

Table 4.1 (Continued)

(17) データセットN1 (8I9)

カラム	変数名	内 容
1~72	NDRG(I)	XまたはR方向の領域分割格子数

(18) データセットL2 (8F9.0)

カラム	変数名	内 容
1~72	THG(I)	Yまたはθ方向の格子座標値

(19) データセットN2 (8I9)

カラム	変数名	内 容
1~72	NDTHG(I)	Yまたはθ方向の領域分割格子数

(20) データセットL3 (8F9.0)

カラム	変数名	内 容
1~72	ZG(I)	Z方向の格子座標値

(21) データセットN3 (8I9)

カラム	変数名	内 容
1~72	NDZG(I)	Z方向の領域分割格子数

(22) データセットA1 (2I9)

カラム	変数名	内 容
1~9	NANAL	解析関数番号
10~18	NPAR	データセットA2の係数の数, 解析関数は次のようになる。 $F_m(V) = A_{m,1} + A_{m,2} + A_{m,3} V^2$ $+ A_{m,4} \cos(A_{m,5} V) + A_{m,6} \exp(A_{m,7} V)$ $+ A_{m,8} \sin(A_{m,9} V) + A_{m,10} \ln(A_{m,11} V)$

(23) データセットA2 (4(I9, F9.0))

カラム	変数名	内 容
1~9	NOPRAM	係数示表 i
10~18	A(NOPRAM)	係数値 $A_{m,i}$
∴	∴	
55~63	NOPRAM	係数示表 n
64~72	A(NOPRAM)	係数値 $A_{m,n} \quad (1 \leq n \leq 11)$

Table 4.1 (Continued)

(24) データセット T1 (2I9)

カラム	変数名	内 容
1~9	NTABL	テーブル関数番号
10~18	NTBPRS	テーブルの組数
		テーブル関数はプログラム内部で線形補間され用いられる。

(25) データセット T2 (8F9.0)

カラム	変数名	内 容
1~9	ARG (1)	独立変数値 (時間, 温度, etc)
10~18	VAL (1)	対応値 (熱伝導率, 密度, 比熱, etc)
⋮	⋮	
	ARG (n)	独立変数値
	VAL (n)	対応値

(26) データセット 0 (8F9.0)

カラム	変数名	内 容
1~72 (AND NEXT)	PTIME (I)	出力時間の入力, 最大100出力ステップ

(27) データセット S (8I9)

カラム	変数名	内 容
1~9	NSN	節点温度を出力する節点数
10~72 (AND NEXT)	NDS (I)	節点温度を出力する節点番号, 最大20

以下のデータセット, IT1, IT2, IT3, IT4は前の計算スラップからの再計算のための入力データセットでプログラム内部で作られるがデータセット4のENTRY6で定義されなければこれらのデータセットは作られない。

(28) データセット IT1 (18A4)

カラム	変数名	内 容
1~72	JOBDES	問題のタイトル

Table 4.1 (Continued)

(29) データセット I T 2 (3 I 9)

カラム	変数名	内容
1~10	TIM	初期時刻
11~15	IMITEM	初期温度が明記される格子点の数
16~20	IMITXI	溶解制限が明記される格子点の数

(30) データセット I T 3 (5 (I 5, F 10.0))

カラム	変数名	内容
1~5	N	格子点番号
6~15	T1 (N)	格子点Nにおける初期温度 (データセット I T 2 の IMITEM 組必要)

(31) データセット I T 4 (2 I 5, F 10.0)

カラム	変数名	内容
1~5	N	格子点番号
6~15	MELMAT (N)	相変化を持つ格子点Nが含まれる物質番号
16~25	X1 (N)	格子点Nにおける溶解率 (データセット I T 2 の IMITX1 組必要)

以下のデータセット I P, T P は非定常計算において陰解法を持って計算を行なう場合 (データセット 5 の ENTRY 1 = 1 のとき) に必要とされるデータセットである。

(32) データセット I P (5 F 9.0, 3 I 9)

カラム	変数名	内容
1~9	RESDUL	第1収束基準値, 省略時 10^{-5} で(1)式の ϵ_1 に相当する。 $\left(\frac{R_i^{(n)}}{H_i} \right)_{\max} \leq \epsilon_1 \dots\dots\dots(1)$
10~18	REDUCR	第2収束基準値, (2)式の ϵ_2 に相当する。 $\left(\frac{R_i^{(n)}}{H_i} \right)_{\max} / \left(\frac{R_i^{(n)}}{H_i} \right)_{\max} \leq \epsilon_2 \dots\dots\dots(2)$
19~27	ABSDIF	温度依存の場合の収束基準値, (3)式の ϵ_3 に相当する。 $\ \Delta T^{n,m} \ _1 \leq \epsilon_3$

Table 4.1 (Continued)

カラム	変数名	内容
28~36	THETA	(3)式の θ に相当する値で省略時 0.5 ($0.5 \leq \theta \leq 1.0$) $T_i^{(n+1)} = (1 - \omega) T_i^{(n)} + \omega \left\{ \frac{\theta \left[\left(\sum_{m=1}^{L_i} i K_{\alpha_m}^{n+\theta} T_{\alpha_m}^{(n+1)} \right) + \left(\sum_{m=L_i+1}^{M_i} i K_{\alpha_m}^{n+\theta} T_{\alpha_m}^{(n)} \right) \right] + H_i}{D_i} \right\}$ <p style="text-align: right;">.....(3)</p>
37~45	BETAT	過渡緩和反復促進パラメータの初期値で(3)式の ω に相当する。 < 0 ; 促進パラメータは一定に保たれ計算される。 $= 0$; 促進パラメータは時間の関数として最適化され計算される。 > 0 ; 促進パラメータはCarreの方法を用いて計算される。 ($0.0 \leq \omega \leq 2.0$)
46~54	NUPBTA	促進パラメータを最適化する際の時間ステップ数, 省略時 1
55~63	ITLRCO	BETAT = 0 の場合, 初めの促進パラメータ補正する反復数の基準値, 省略時 5 BETAT < 0 の場合, SOR促進パラメータ補正する反復数の基準値, 省略時 1 2
64~72	ITLRCI	促進パラメータ補正を終了させる反復数の基準値, 省略時 2

(33) データセット TP (7F9.0)

カラム	変数名	内容
1~9	DELTAT	初期時間ステップ
10~18	TSEFACT	温度計算が行なわれた後の時間ステップ乗算因子
19~27	TSMAX	時間ステップの最大値
28~36	TSCHGE	時間ステップの最大時間
37~45	TPCMX	1 ステップ, 1 節点での許容温度変化
46~54	PTPCGM	1 節点に関連する許容温度変化率 (%)
55~62	TSMIM	時間ステップの最小値

(34) ブランクデータ

カラム	変数名	内容
1~72		継続して次の問題を計算する場合は, ブランクカードを挿入し, データセット(1)から再び入力をする。

4.2 HEATING5 の出力形式

計算結果として出力されるデータは次のとおりである。

(1) 入力データ

コントロールデータ, 領域データ, 物質データ, 境界条件データ

(2) 温度分布表示

初期形状マップ, 初期温度マップ, 温度分布マップ

(3) 節点温度表示

各節点毎に温度出力

4.3 HEATING5 の入出力例

HEATING5 の計算例は Fig. 4.1 に示す輸送容器の耐火計算であり, 入力データを Table 4.2 に, 出力例を Table 4.3 に示す。

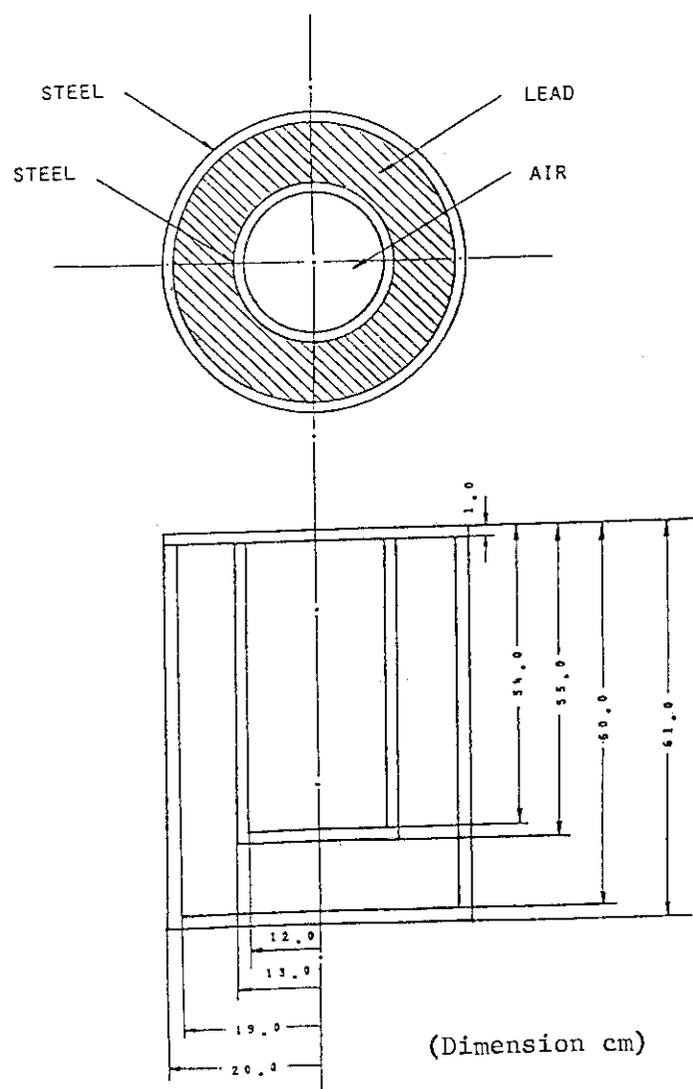


Fig. 4.1 Sample problem

Table 4.2 INPUT DATA OF HEATINGS

```

*****
* INPUT DATA LIST *
*****
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
1  CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5) 1
2  50 3 26 3 0 0 1 2 2
3  10 0 20 0 7 1
4  14
5  -1 0. 780.
6  1 1 0.01 19. 0. 1.
7  1 1 19. 20. 1. 55.95
8  2 1 19. 20. 2 55.95 60.
9  1 1 19. 20. 2
10 3 1 19. 20. 2
11 1 4 2 0.01 17. 1. 3.
12 4 2 17. 19. 1. 3.
13 1 2 17. 19. 3. 55.95
14 5 2 17. 19. 55.95 60.
15 1 2 17. 19. 5. 55.95
16 6 2 17. 19. 5. 7.
17 1 2 13. 15. 5. 7.
18 7 2 13. 15. 7. 55.95
19 1 2 13. 15. 55.95 60.
20 8 2 0.01 17. 7. 7.3
21 1 2 13. 15. 7.3 55.95
22 9 2 15. 17. 7.3 11.35
23 1 2 0.01 13. 7.3 11.35
24 10 2 15. 17. 11.35 55.95
25 1 2 13. 15. 55.95 60.
26 11 2 0.01 13. 7. 7.3
27 1 2 13. 15. 7.3 55.95
28 12 2 13. 15. 55.95 60.
29 1 2 13. 15. 7.3 11.35
30 13 2 13. 15. 11.35 55.95
31 1 1 0.01 13. 55.95 60.
32 14 2 13. 15. 7. 7.3
33 1 1 12.7 13. 7.3 55.95
34 15 1 0.01 13. 7.3 11.35
35 1 1 12.7 13. 11.35 55.95
36 16 1 12.7 13. 55.95 60.
37 1 3 0.01 9.525 7.3 11.35
38 17 1 12.7 13. 7.3 11.35
39 1 3 9.525 12.7 11.35 55.95
40 18 3 0.01 9.525 55.95 60.
41 1 3 9.525 12.7 55.95 60.
42 19 3 9.525 12.7 11.35 55.95
43 1 3 9.525 12.7 55.95 60.
44 20 3 9.525 12.7 11.35 55.95
45 1 3 0.01 9.525 55.95 60.
46 21 3 0.01 9.525 11.35 55.95
47 1 3 0.01 9.525 55.95 60.
48 22 3 0.01 9.525 11.35 55.95
49 1 3 0.01 9.525 55.95 60.
50 23 3 0.01 9.525 55.95 60.
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8

```

*** CONTINUE ***

Table 4.2 (Continued)

 * INPUT DATA LIST *

	1	2	3	4	5	6	7	8
51	1							
52	24	1 0.01	20.			60.	61.	
53	1			2				1
54	25	1 12.7	13.			7.	7.3	
55	1							
56	26	1 19.	20.			0.	1.	
57	1			2			1	
58	1 STEEL	1.	7.86	1.		-1		-2
59	2 LEAD	1.	11.35	1.		-3		-4
60	3 AIR	1.	1.29E-03	1.		-5		-6
61	1 20.							
62	1	1		-7				
63	2.284-03							
64	2	1		-7				
65	2.284-03							
66	0.01	3.175	6.35	9.525	12.7	13.	15.	17.
67	19.	20.						
68	1	1	1	1	1	1	1	1
69	1							
70	0.	1.	3.	5.	7.	7.3	11.35	15.41
71	19.46	23.52	27.57	31.62	35.68	39.73	43.79	47.84
72	51.89	55.95	60.	61.				
73	1	1	1	1	1	1	1	1
74	1	1	1	1	1	1	1	1
75	1	1	1					
76	1	4						
77	-73.	0.195	25.	0.17	800.	0.07	1300.	0.075
78	2	10						
79	0.	0.105	75.	0.12	200.	0.135	400.	0.15
80	600.	0.17	700.	0.20	763.	0.2	768.	1.648
81	773.	0.168	950.	0.16				
82	3	10						
83	20.	0.0826	98.3	0.0809	204.5	0.0757	259.4	0.070
84	305.	0.060	332.2	0.050	380.6	0.040	426.6	0.0373
85	526.7	0.036	691.1	0.0358				
86	4	6						
87	0.	0.0305	100.	0.0315	327.5	0.0338	327.6	0.034
88	1000.	0.0328	1744.	0.0303				
89	5	7						
90	-194.35	1.65E-05	-100.	3.76E-05	0.	5.77E-05	100.	7.60E-05
91	200.	9.25E-05	300.	10.72E-05	400.	12.10E-05		
92	6	2						
93	-150.	0.240	100.	0.237				
94	7	10						
95	0.	20.	60.	750.	120.	770.	180.	780.
96	510.	780.	540.	415.	600.	215.	660.	135.
97	720.	95.	780.	65.				
98	0.	60.	120.	180.	240.	300.	360.	420.
99	480.	540.	600.	660.	720.	780.		
100								
101	0.2	1.2	60.	10.				

*** INPUT DATA END ***

THE PROGRAM NEEDS MAXIMUM CORE SIZE (16700) * 8 BYTE

Table 4.3 OUTPUT LIST OF HEATINGS

HEATINGS, A MULTI-DIMENSIONAL HEAT CONDUCTION CODE WITH TEMPERATURE-DEPENDENT THERMAL PROPERTIES, NON-LINEAR AND SURFACE-TO-SURFACE BOUNDARY CONDITIONS AND CHANGE-OF-PHASE CAPABILITIES. THIS VERSION OF THE CODE IS DESCRIBED IN ORNL/TM/CSD-15. THE TRANSIENT SOLUTION CAN BE CALCULATED BY AN IMPLICIT TECHNIQUE (CRANK-NICOLSON OR BACKWARDS EULER) FOR PROBLEMS WITH MATERIALS WHICH ARE NOT ALLOWED TO UNDERGO A PHASE CHANGE. THE ONE-DIMENSIONAL R SPHERICAL MODEL WAS ADDED NOV. 75. THIS MODEL MAY BE ACCESSED BY SPECIFYING NGEOM = 10 IN THE INPUT DATA. HEATINGS WAS WRITTEN BY

W.D. TURNER
 D.C. ELROD
 I.I. SIMAN-TOV
 COMPUTER SCIENCES DIVISION
 UNION CARBIDE CORPORATION, NUCLEAR DIVISION
 OAK RIDGE, TENNESSEE 37830

THIS VERSION OF HEATING CAN HANDLE A MAXIMUM OF 400 LATTICE POINTS.

INPUT RETURN

DATE 83-01-06
 TIME 14: 7:56

JOB DESCRIPTION-- CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5)
 THE PROBLEM WILL BE TERMINATED AFTER 50 SECONDS
 GEOMETRY TYPE NUMBER 3 (OR RZ)
 NUMBER OF REGIONS 26
 NUMBER OF MATERIALS 3
 NUMBER OF HEAT GENERATION FUNCTIONS 0
 NUMBER OF INITIAL TEMPERATURE FUNCTIONS 1
 NUMBER OF DIFFERENT KINDS OF BOUNDARIES 2
 THIS PROBLEM INVOLVES TEMPERATURE-DEPENDENT PROPERTIES.
 NUMBER OF POINTS IN GROSS X OR R LATTICE 10
 NUMBER OF POINTS IN GROSS Y OR THETA LATTICE 0
 NUMBER OF POINTS IN GROSS Z LATTICE 20
 NUMBER OF ANALYTIC FUNCTIONS 0
 NUMBER OF TABULAR FUNCTIONS 7
 NUMBER OF TRANSIENT PRINTOUTS SPECIFIED 14
 PROBLEM TYPE NUMBER -1
 TIME INCREMENT 0.0
 INITIAL TIME 0.0
 FINAL TIME 7.8000000D+02

Table 4.3 (Continued)

***** SUMMARY OF MATERIAL DATA *****

MATERIAL NUMBER	MATERIAL NAME	CONDUCTIVITY	DENSITY	SPECIFIC HEAT	TEMPERATURE-DEPENDENT FUNCTION NUMBERS	TEMPERATURE-DEPENDENT FUNCTION NUMBERS	TEMPERATURE-DEPENDENT FUNCTION NUMBERS
1	STEEL	1.000000D+00	7.860000D+00	1.000000D+00	-1	0	-2
2	LEAD	1.000000D+00	1.135000D+01	1.000000D+00	-3	0	-4
3	AIR	1.000000D+00	1.290000D-03	1.000000D+00	-5	0	-6

***** SUMMARY OF INITIAL TEMPERATURE DATA *****

NUMBER	INITIAL TEMPERATURE	POSITION-DEPENDENT FUNCTION NUMBERS
1	2.000000D+01	X OR R Y OR TH Z 0 0 0 0

Table 4.3 (Continued)

***** SUMMARY OF BOUNDARY DATA *****

-----GENERAL-----

NO.	TYPE	FCT FLAG	TEMPERATURE & TIME FCT	ASSOC. FCTS	FORCED CONV.	RADIATION	NATURAL CONV	EXONENT	FLUX
1	1	0	0.0 -7		2.28400D-03	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1	0	0.0 -7		2.28400D-03	0.0	0.0	0.0	0.0

-----HEAT TRANSFER COEFFICIENTS-----

-----RELATED FUNCTION NUMBERS-----

GROSS LATTICES AND NUMBERS OF INCREMENTS

R OR X	Z	0.0	19.460000	51.890000	1.000000	23.520000	55.950000	3.000000	27.570000	60.000000	5.000000	7.000000	31.620000	61.000000	9.525000	12.700000	13.000000	15.000000	17.000000	11.350000	39.730000	7.300000	35.680000	43.790000	15.410000	47.840000	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Table 4.3 (Continued)

LISTING OF TABULAR FUNCTIONS

TABLE NUMBER	1	NUMBER OF PAIRS -	4
ARGUMENT		VALUE	
-7.30000000D+01		1.95000000D-01	
2.50000000D+01		1.70000000D-01	
8.00000000D+02		7.00000000D-02	
1.30000000D+03		7.50000000D-02	
TABLE NUMBER	2	NUMBER OF PAIRS -	10
ARGUMENT		VALUE	
0.0		1.05000000D-01	
7.50000000D+01		1.20000000D-01	
2.00000000D+02		1.35000000D-01	
4.00000000D+02		1.50000000D-01	
6.00000000D+02		1.70000000D-01	
7.00000000D+02		2.00000000D-01	
7.63000000D+02		2.00000000D-01	
7.68000000D+02		1.64800000D+00	
7.73000000D+02		1.68000000D-01	
9.50000000D+02		1.60000000D-01	
TABLE NUMBER	3	NUMBER OF PAIRS -	10
ARGUMENT		VALUE	
2.00000000D+01		8.26000000D-02	
9.83000000D+01		8.09000000D-02	
2.04500000D+02		7.57000000D-02	
2.59400000D+02		7.00000000D-02	
3.05000000D+02		6.00000000D-02	
3.32200000D+02		5.00000000D-02	
3.80600000D+02		4.00000000D-02	
4.26600000D+02		3.73000000D-02	
5.26700000D+02		3.60000000D-02	
6.91100000D+02		3.58000000D-02	
TABLE NUMBER	4	NUMBER OF PAIRS -	6
ARGUMENT		VALUE	
0.0		3.05000000D-02	
1.00000000D+02		3.15000000D-02	
3.27500000D+02		3.38000000D-02	
3.27600000D+02		3.40000000D-02	
1.00000000D+03		3.28000000D-02	
1.74400000D+03		3.03000000D-02	
TABLE NUMBER	5	NUMBER OF PAIRS -	7
ARGUMENT		VALUE	
-1.94350000D+02		1.65000000D-05	
-1.00000000D+02		3.76000000D-05	
0.0		5.77000000D-05	
1.00000000D+02		7.60000000D-05	
2.00000000D+02		9.25000000D-05	
3.00000000D+02		1.07200000D-04	
4.00000000D+02		1.21000000D-04	
TABLE NUMBER	6	NUMBER OF PAIRS -	2
ARGUMENT		VALUE	

Table 4.3 (Continued)

TABLE NUMBER	7	NUMBER OF PAIRS -	10
	-1.50000000D+02	2.40000000D-01	
	1.00000000D+02	2.37000000D-01	
	ARGUMENT	VALUE	
	0.0	2.00000000D+01	
	6.00000000D+01	7.50000000D+02	
	1.20000000D+02	7.70000000D+02	
	1.80000000D+02	7.80000000D+02	
	5.10000000D+02	7.80000000D+02	
	5.40000000D+02	4.15000000D+02	
	6.00000000D+02	2.15000000D+02	
	6.60000000D+02	1.35000000D+02	
	7.20000000D+02	9.50000000D+01	
	7.80000000D+02	6.50000000D+01	

TABLE OUTPUT NO.	OF OUTPUT TIME	OUTPUT NO.	OUTPUT TIME	OUTPUT NO.	OUTPUT TIME
1	0.0				
2	6.00000D+01				
3	1.20000D+02				
4	1.80000D+02				
5	2.40000D+02				
6	3.00000D+02				
7	3.60000D+02				
8	4.20000D+02				
9	4.80000D+02				
10	5.40000D+02				
11	6.00000D+02				
12	6.60000D+02				
13	7.20000D+02				
14	7.80000D+02				

Table 4.3 (Continued)

FINE LATTICE, X OR R, Y OR THETA, AND Z									
1	0.010000	2	3.175000	3	6.350000	4	9.525000	5	12.700000
6	13.000000	7	15.000000	8	17.000000	9	19.000000	10	20.000000
1	0.0	2	1.000000	3	3.000000	4	5.000000	5	7.000000
6	7.300000	7	11.350000	8	15.410000	9	19.460000	10	23.520000
11	27.570000	12	31.620000	13	35.680000	14	39.730000	15	43.790000
16	47.840000	17	51.890000	18	55.950000	19	60.000000	20	61.000000

THIS PROBLEM CONTAINS 200 NODES.

***** TABLE 3 MUST BE EVALUATED FOR 2.00000000D+01
 THE VALUE OF THE FUNCTION WILL BE 8.26000000D-02 FOR ALL ARGUMENTS LESS THAN 2.00000000D+01

THE INITIAL TIME STEP = 2.000000D-01

AFTER EACH TIME STEP THE TIME STEP SIZE WILL BE MULTIPLIED BY A FACTOR
 OF 1.200000D+00 SUBJECT TO ANY CONDITIONS WHICH MAY FOLLOW.

THE MAXIMUM TIME STEP ALLOWED IS 6.000000D+01

IF THE MAXIMUM TEMPERATURE CHANGE AT A NODE EXCEEDS 1.000000D+01 DEGREES OVER A
 TIME STEP, THEN THE TIME STEP SIZE WILL BE DECREASED ACCORDINGLY.

THE MINIMUM TIME STEP ALLOWED IS 2.000000D-02

Table 4.3 (Continued)

STABILITY CRITERION FOR EACH NODE										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	2.0660D+00	2.2476D+00	2.2481D+00	2.2481D+00	1.1763D+00	9.5197D-01	2.0660D+00	3.1584D+00	1.1763D+00	9.5197D-01
7	1.9797D+00	1.9797D+00	1.6454D+00	1.2417D+00	2.7809D+00	3.1574D+00	1.9797D+00	1.6454D+00	1.2417D+00	2.7809D+00
13	3.1584D+00	3.1584D+00	1.3733D+00	1.0281D+00	2.6182D+00	2.6182D+00	3.1584D+00	1.3733D+00	1.0281D+00	2.6182D+00
19	2.0682D+00	1.6664D+00	4.7038D+00	6.0361D+00	6.0402D+00	6.0402D+00	2.0682D+00	1.6664D+00	4.7038D+00	6.0402D+00
25	1.5477D+00	1.1316D+00	4.2185D+00	4.2185D+00	2.5905D+00	1.9995D+00	1.5477D+00	1.1316D+00	4.2185D+00	2.5905D+00
31	4.7038D+00	6.0361D+00	6.0402D+00	6.0402D+00	1.5477D+00	1.5477D+00	4.7038D+00	6.0361D+00	6.0402D+00	1.5477D+00
37	4.2185D+00	4.2185D+00	1.9995D+00	1.9995D+00	7.2797D-01	7.2797D-01	4.2185D+00	4.2185D+00	1.9995D+00	7.2797D-01
43	7.5265D-01	7.5265D-01	5.5899D-01	5.8842D-01	1.1005D+00	1.1005D+00	7.5265D-01	7.5265D-01	5.5899D-01	1.1005D+00
49	1.0014D+00	9.3760D-01	2.2219D-01	2.2416D-01	2.2417D-01	2.2417D-01	1.0014D+00	9.3760D-01	2.2219D-01	2.2417D-01
55	2.1460D-01	6.1816D-01	1.9656D+00	1.9656D+00	1.5777D+00	1.5777D+00	2.1460D-01	6.1816D-01	1.9656D+00	1.5777D+00
61	9.6494D+00	1.5609D+01	1.5632D+01	1.5632D+01	2.2335D-01	2.2335D-01	9.6494D+00	1.5609D+01	1.5632D+01	2.2335D-01
67	6.7861D+00	6.7861D+00	3.2871D+00	2.3558D+00	9.6494D+00	9.6494D+00	6.7861D+00	6.7861D+00	3.2871D+00	2.3558D+00
73	1.5632D+01	1.5632D+01	2.2335D-01	2.2335D-01	7.8672D-01	7.8672D-01	1.5632D+01	1.5632D+01	2.2335D-01	2.2335D-01
79	3.2871D+00	2.3558D+00	9.6494D+00	9.6494D+00	1.5609D+01	1.5609D+01	3.2871D+00	2.3558D+00	9.6494D+00	1.5609D+01
85	2.2335D-01	7.8672D-01	6.7861D+00	6.7861D+00	3.2871D+00	3.2871D+00	2.2335D-01	7.8672D-01	6.7861D+00	6.7861D+00
91	9.6494D+00	1.5609D+01	1.5632D+01	1.5632D+01	2.2335D-01	2.2335D-01	9.6494D+00	1.5609D+01	1.5632D+01	2.2335D-01
97	6.7861D+00	6.7861D+00	3.2871D+00	2.3558D+00	9.6494D+00	9.6494D+00	6.7861D+00	6.7861D+00	3.2871D+00	2.3558D+00
103	1.5617D+01	1.5617D+01	3.2871D+00	2.3558D+00	9.6494D+00	9.6494D+00	1.5617D+01	1.5617D+01	3.2871D+00	2.3558D+00
109	3.2864D+00	2.3555D+00	1.119.6494D+00	1.5609D+01	6.7861D+00	6.7861D+00	3.2864D+00	2.3555D+00	1.119.6494D+00	1.5609D+01
115	2.2335D-01	7.8672D-01	6.7861D+00	6.7861D+00	3.2871D+00	3.2871D+00	2.2335D-01	7.8672D-01	6.7861D+00	6.7861D+00
121	9.6494D+00	1.5609D+01	1.5632D+01	1.5632D+01	2.2335D-01	2.2335D-01	9.6494D+00	1.5609D+01	1.5632D+01	2.2335D-01
127	6.7861D+00	6.7861D+00	3.2871D+00	2.3558D+00	9.6494D+00	9.6494D+00	6.7861D+00	6.7861D+00	3.2871D+00	2.3558D+00
133	1.5632D+01	1.5632D+01	2.2335D-01	2.2335D-01	7.8672D-01	7.8672D-01	1.5632D+01	1.5632D+01	2.2335D-01	2.2335D-01
139	3.2871D+00	2.3558D+00	9.6494D+00	9.6494D+00	1.5609D+01	1.5609D+01	3.2871D+00	2.3558D+00	9.6494D+00	1.5609D+01
145	2.2335D-01	7.8672D-01	6.7861D+00	6.7861D+00	3.2871D+00	3.2871D+00	2.2335D-01	7.8672D-01	6.7861D+00	6.7861D+00
151	9.6438D+00	1.5594D+01	1.5617D+01	1.5617D+01	2.2334D-01	2.2334D-01	9.6438D+00	1.5594D+01	1.5617D+01	1.5617D+01
157	6.7828D+00	6.7828D+00	3.2864D+00	2.3555D+00	9.6494D+00	9.6494D+00	6.7828D+00	6.7828D+00	3.2864D+00	2.3555D+00
163	1.5632D+01	1.5632D+01	2.2335D-01	2.2335D-01	7.8672D-01	7.8672D-01	1.5632D+01	1.5632D+01	2.2335D-01	2.2335D-01
169	3.2871D+00	2.3558D+00	9.6494D+00	9.6494D+00	1.5609D+01	1.5609D+01	3.2871D+00	2.3558D+00	9.6494D+00	1.5609D+01
175	2.2335D-01	7.8672D-01	6.7861D+00	6.7861D+00	3.2871D+00	3.2871D+00	2.2335D-01	7.8672D-01	6.7861D+00	6.7861D+00
181	2.0894D+00	2.2777D+00	2.2777D+00	2.2777D+00	5.4531D-01	5.4531D-01	2.0894D+00	2.2777D+00	2.2777D+00	2.2777D+00
187	3.5646D+00	3.5646D+00	2.5627D+00	2.5627D+00	2.0644D+00	2.0644D+00	3.5646D+00	3.5646D+00	2.5627D+00	2.0644D+00
193	2.2481D+00	2.2481D+00	1.1763D+00	1.1763D+00	9.5197D-01	9.5197D-01	2.2481D+00	2.2481D+00	1.1763D+00	1.1763D+00
199	1.6454D+00	1.2417D+00	2.2481D+00	2.2481D+00	1.1763D+00	1.1763D+00	1.6454D+00	1.2417D+00	2.2481D+00	2.2481D+00

Table 4.3 (Continued)

HEATING5			CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5)									
			MAP OF THE NODE NUMBERS									
GROSS GRID			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	FINE GRID	DISTANCE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			0.01	3.18	6.35	9.52	12.70	13.00	15.00	17.00	19.00	20.00
1	1	0.0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2	1.00	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	3	3.00	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
3	4	5.00	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
4	5	7.00	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
5	6	7.30	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
6	7	11.35	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
7	8	15.41	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
8	9	19.46	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
9	10	23.52	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
10	11	27.57	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
11	12	31.62	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
12	13	35.68	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
13	14	39.73	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
14	15	43.79	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
15	16	47.84	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
16	17	51.89	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
17	18	55.95	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
18	19	60.00	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
19	20	61.00	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
20												

Table 4.3 (Continued)

1	20.000	2	20.000	3	20.000	4	20.000	5	20.000
6	20.000	7	20.000	8	20.000	9	20.000	10	20.000
11	20.000	12	20.000	13	20.000	14	20.000	15	20.000
16	20.000	17	20.000	18	20.000	19	20.000	20	20.000
21	20.000	22	20.000	23	20.000	24	20.000	25	20.000
26	20.000	27	20.000	28	20.000	29	20.000	30	20.000
31	20.000	32	20.000	33	20.000	34	20.000	35	20.000
36	20.000	37	20.000	38	20.000	39	20.000	40	20.000
41	20.000	42	20.000	43	20.000	44	20.000	45	20.000
46	20.000	47	20.000	48	20.000	49	20.000	50	20.000
51	20.000	52	20.000	53	20.000	54	20.000	55	20.000
56	20.000	57	20.000	58	20.000	59	20.000	60	20.000
61	20.000	62	20.000	63	20.000	64	20.000	65	20.000
66	20.000	67	20.000	68	20.000	69	20.000	70	20.000
71	20.000	72	20.000	73	20.000	74	20.000	75	20.000
76	20.000	77	20.000	78	20.000	79	20.000	80	20.000
81	20.000	82	20.000	83	20.000	84	20.000	85	20.000
86	20.000	87	20.000	88	20.000	89	20.000	90	20.000
91	20.000	92	20.000	93	20.000	94	20.000	95	20.000
96	20.000	97	20.000	98	20.000	99	20.000	100	20.000
101	20.000	102	20.000	103	20.000	104	20.000	105	20.000
106	20.000	107	20.000	108	20.000	109	20.000	110	20.000
111	20.000	112	20.000	113	20.000	114	20.000	115	20.000
116	20.000	117	20.000	118	20.000	119	20.000	120	20.000
121	20.000	122	20.000	123	20.000	124	20.000	125	20.000
126	20.000	127	20.000	128	20.000	129	20.000	130	20.000
131	20.000	132	20.000	133	20.000	134	20.000	135	20.000
136	20.000	137	20.000	138	20.000	139	20.000	140	20.000
141	20.000	142	20.000	143	20.000	144	20.000	145	20.000
146	20.000	147	20.000	148	20.000	149	20.000	150	20.000
151	20.000	152	20.000	153	20.000	154	20.000	155	20.000
156	20.000	157	20.000	158	20.000	159	20.000	160	20.000
161	20.000	162	20.000	163	20.000	164	20.000	165	20.000
166	20.000	167	20.000	168	20.000	169	20.000	170	20.000
171	20.000	172	20.000	173	20.000	174	20.000	175	20.000
176	20.000	177	20.000	178	20.000	179	20.000	180	20.000
181	20.000	182	20.000	183	20.000	184	20.000	185	20.000
186	20.000	187	20.000	188	20.000	189	20.000	190	20.000
191	20.000	192	20.000	193	20.000	194	20.000	195	20.000
196	20.000	197	20.000	198	20.000	199	20.000	200	20.000

TEMPERATURES ON NUMBERED BOUNDARIES

BOUNDARY NUMBER	TEMPERATURE
1	20.000000
2	20.000000

THE CURRENT TIME STEP (DELTAT) = 2.00000000D-01

ELAPSED CPU TIME IS 0.01 SECONDS

THE MAXIMUM TEMPERATURE IS - 2.00000D+01 (+-0.1 PERCENT)

MAX. TEMP. APPEARS AT NODES	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25
	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35
	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50

THE MINIMUM TEMPERATURE IS - 2.00000D+01 (+-0.1 PERCENT)

MIN. TEMP. APPEARS AT NODES	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25
	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35
	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50

Table 4.3 (Continued)

THE IMPLICIT PROCEDURE WILL BE USED TO CALCULATE THE TRANSIENT TEMPERATURE DISTRIBUTION.
 MAXIMUM NORMALIZED HEAT RESIDUAL CONVERGENCE CRITERION = 1.00000D-05
 (CORRESPONDS TO EPSILON SUB 1, DEFAULT=1.0D-5)
 NUMBER-OF-ITERATIONS BETWEEN TESTS FOR CONVERGENCE, LINEAR LOOP (DEFAULT = 1) = 1
 AVERAGE L1 NORM OF RELATIVE TEMPERATURE DIFFERENCE CONVERGENCE CRITERION
 FOR TEMPERATURE DEPENDENT PROPERTIES = 1.00000D-05
 (CORRESPONDS TO EPSILON SUB 3, DEFAULT=1.0D-5)
 THETA (0.5 FOR CRANK-NICOLSON, 1.0 FOR CLASSICAL IMPLICIT) = 5.00000D-01

THE SOR ACCELERATION PARAMETER (BETA) WILL BE OPTIMIZED EMPIRICALLY.

BETA = 1.0000D+00
 A BETA UPDATE WILL BE ATTEMPTED EVERY 1 TIME STEPS (DEFAULT=1).
 NUMBER-OF-ITERATIONS TOLERANCE FOR BETA UPDATE CALCULATIONS, OUTER LOOP (DEFAULT=5) = 5
 NUMBER-OF-ITERATIONS TOLERANCE FOR BETA UPDATE CALCULATIONS, INNER LOOP (DEFAULT=2) = 2
 PER CENT CHANGE IN BETA UPDATE CALCULATIONS (DEFAULT=10) = 10

THE FOLLOWING TABLE IS PRINTED OUT FOR INFORMATION PURPOSES DURING THE IMPLICIT TRANSIENT CALCULATIONS.
 A LINE IS PRINTED EACH TIME THE INNER LOOP CONVERGES. A LINE IS ALSO PRINTED AFTER THE VERY FIRST ITERATION FOR
 EACH TIME STEP. THUS, ONE CAN DETERMINE HOW MUCH THE MAXIMUM NORMALIZED HEAT RESIDUAL DECREASES DURING THE
 ITERATIVE PROCESS. ENTRIES IN EACH COLUMN ARE DESCRIBED BELOW:

```

NO TIME          -- NUMBER OF TIME STEPS.
TIME            -- TIME AT WHICH TEMPERATURE DISTRIBUTION IS BEING CALCULATED.
NO ITER        -- NUMBER OF ITERATIONS REQUIRED FOR INNER (LINEAR) LOOP TO CONVERGE.
MAX HEAT RESIDUAL -- THE MAXIMUM NORMALIZED HEAT RESIDUAL AFTER THE NUMBER OF ITERATIONS
                    INDICATED IN THE PREVIOUS COLUMN (COMPARES TO EPSILON SUB 1).
BETA           -- CURRENT VALUE OF THE SOR ACCELERATION PARAMETER.
L1 NORM OF TEMP DIFF -- THE L1 NORM OF THE TEMPERATURE DIFFERENCE OVER THE CURRENT ITERATION FOR INNER
                    (LINEAR) LOOP. THIS COLUMN AND THE NEXT TWO ARE USED ONLY WHEN THE OPTIMUM
                    ACCELERATION PARAMETER IS BEING ESTIMATED USING CARRE'S TECHNIQUE.
RHO(ITERATION) -- SPECTRAL RADIUS FOR THE SOR ITERATION MATRIX.
RHO(JACOBI)    -- SQUARE OF SPECTRAL RADIUS FOR THE JACOBI ITERATION MATRIX.
NO ITER        -- NUMBER OF ITERATIONS COMPLETED FOR OUTER (NON-LINEAR) LOOP.
L1 NORM OF TEMP DIFF -- THE AVERAGE L1 NORM OF THE RELATIVE TEMPERATURE DIFFERENCE OVER THE CURRENT
                    ITERATION FOR OUTER (NON-LINEAR) LOOP. NON-ZERO FOR NON-LINEAR PROBLEMS ONLY.
                    (COMPARES TO EPSILON SUB 3)
NODE           -- NODE NUMBER.
MAX TEMP CHANGE -- MAXIMUM TEMPERATURE CHANGE AT A NODE OVER THE CURRENT TIME STEP. THIS CHANGE
                    OCCURRED AT THE NODE SHOWN IN THE PREVIOUS COLUMN.
NODE           -- NODE NUMBER.
MAX PERCENT TEMP CHANGE -- MAXIMUM PERCENTAGE OF RELATIVE CHANGE IN TEMPERATURE AT A NODE OVER THE CURRENT
                    TIME STEP. THIS CHANGE OCCURRED AT THE NODE SHOWN IN THE PREVIOUS COLUMN.
    
```

FACOM M200-0
14: 8: 7 83-01-06

HEATINGS CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5) Table 4.3 (Continued)

GROSS GRID	TRANSIENT TEMPERATURE DISTRIBUTION AFTER 24 TIME STEPS, TIME = 6.000000E+01									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.01	3.18	6.35	9.52	12.70	13.00	15.00	17.00	19.00	20.00
2	52.80	52.81	52.85	53.06	53.97	54.19	56.31	60.82	69.64	76.98
3	45.70	45.70	45.75	45.97	46.91	47.14	49.34	53.99	63.04	69.74
4	31.75	31.76	31.82	32.09	33.24	33.53	36.28	42.24	54.55	61.43
5	25.25	25.27	25.33	25.62	26.85	27.16	30.20	36.87	50.40	57.42
6	22.89	22.90	22.96	23.23	24.31	24.55	27.57	34.52	48.54	55.62
7	22.85	22.86	22.92	23.19	24.27	24.34	27.31	34.28	48.34	55.43
8	20.38	20.40	20.51	21.05	23.61	23.65	26.40	33.41	47.64	54.75
9	20.05	20.07	20.19	20.79	23.50	23.54	26.28	33.29	47.54	54.66
10	20.02	20.04	20.16	20.76	23.49	23.53	26.26	33.28	47.53	54.65
11	20.01	20.03	20.16	20.76	23.48	23.53	26.26	33.27	47.53	54.65
12	20.01	20.03	20.16	20.76	23.48	23.53	26.26	33.27	47.53	54.65
13	20.01	20.03	20.16	20.76	23.48	23.53	26.26	33.27	47.53	54.65
14	20.02	20.04	20.16	20.76	23.49	23.53	26.26	33.28	47.53	54.65
15	20.03	20.05	20.17	20.78	23.50	23.54	26.27	33.29	47.54	54.66
16	20.19	20.21	20.32	20.91	23.59	23.64	26.36	33.36	47.60	54.71
17	21.42	21.43	21.49	21.92	24.27	24.32	27.00	33.90	48.01	55.11
18	29.50	29.45	29.26	28.76	28.46	28.50	30.77	37.07	50.42	57.43
19	70.26	70.10	69.23	65.61	51.30	50.60	49.10	52.56	61.69	68.34
20	74.84	74.68	73.82	70.27	58.10	57.52	56.21	59.54	68.35	75.67

Table 4.3 (Continued)

1	52.799	2	52.807	3	52.851	4	53.061	5	53.967
6	54.189	7	56.314	8	60.815	9	69.640	10	76.976
11	45.696	12	45.704	13	45.750	14	45.968	15	46.907
16	47.137	17	49.337	18	53.995	19	63.040	20	69.736
21	31.751	22	31.761	23	31.819	24	32.090	25	33.245
26	33.531	27	36.276	28	42.239	29	54.550	30	61.430
31	25.255	32	25.266	33	25.329	34	25.618	35	26.850
36	27.163	37	30.204	38	36.868	39	50.402	40	57.421
41	22.888	42	22.899	43	22.959	44	23.230	45	24.314
46	24.551	47	27.575	48	34.519	49	48.537	50	55.619
51	22.852	52	22.862	53	22.922	54	23.192	55	24.273
56	24.344	57	27.308	58	34.277	59	48.344	60	55.433
61	20.379	62	20.397	63	20.505	64	21.053	65	23.610
66	23.655	67	26.401	68	33.410	69	47.640	70	54.753
71	20.055	72	20.074	73	20.194	74	20.792	75	23.500
76	23.545	77	26.275	78	33.290	79	47.543	80	54.660
81	20.019	82	20.039	83	20.160	84	20.764	85	23.486
86	23.531	87	26.260	88	33.276	89	47.532	90	54.649
91	20.015	92	20.035	93	20.157	94	20.761	95	23.485
96	23.529	97	26.258	98	33.274	99	47.531	100	54.648
101	20.015	102	20.035	103	20.157	104	20.761	105	23.485
106	23.529	107	26.258	108	33.274	109	47.531	110	54.648
111	20.015	112	20.035	113	20.157	114	20.761	115	23.485
116	23.529	117	26.258	118	33.274	119	47.531	120	54.648
121	20.015	122	20.035	123	20.157	124	20.761	125	23.485
126	23.529	127	26.258	128	33.274	129	47.531	130	54.648
131	20.017	132	20.037	133	20.158	134	20.763	135	23.486
136	23.530	137	26.260	138	33.275	139	47.532	140	54.649
141	20.034	142	20.054	143	20.175	144	20.777	145	23.498
146	23.542	147	26.271	148	33.285	149	47.539	150	54.655
151	20.191	152	20.209	153	20.323	154	20.907	155	23.594
156	23.638	157	26.362	158	33.363	159	47.598	160	54.712
161	21.418	162	21.425	163	21.490	164	21.921	165	24.273
166	24.318	167	26.998	168	33.900	169	48.009	170	55.106
171	29.496	172	29.452	173	29.258	174	28.758	175	28.459
176	28.500	177	30.773	178	37.070	179	50.424	180	57.430
181	70.258	182	70.096	183	69.232	184	65.614	185	51.303
186	50.596	187	49.101	188	52.564	189	61.690	190	68.342
191	74.838	192	74.677	193	73.818	194	70.272	195	58.102
196	57.524	197	56.209	198	59.544	199	68.346	200	75.668

TEMPERATURES ON NUMBERED BOUNDARIES

BOUNDARY NUMBER	TEMPERATURE
1	750.000000
2	750.000000

THE CURRENT TIME STEP (DELTA T) = 4.15524124D+00

ELAPSED CPU TIME IS 0.09 SECONDS

THE MAXIMUM TEMPERATURE IS - 7.69765D+01 (+-0.1 PERCENT)

MAX. TEMP. APPEARS AT NODES - 10

THE MINIMUM TEMPERATURE IS - 7.69765D+01 (+-0.1 PERCENT)

MIN. TEMP. APPEARS AT NODES - 10

Table 4.3 (Continued)

NO TIME	TIME	NO ITER	MAX RESIDUAL	BETA	L1 NORM OF TEMP DIFF	RHO (ITERATION)	RHO (JACOBI)	NO ITER	L1 NORM OF TEMP DIFF	NO NODE	MAX TEMP CHANGE	NO NODE	MAX TEMP CHANGE	MAX PERCENT TEMP CHANGE
25	6.41552D+01	1	2.49984D-02	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	1	3.05052D-03					
25	6.41552D+01	8	5.99423D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	2	2.66313D-06	191	6.76950D+00	181	9.44867D+00	
25	6.41552D+01	3	3.87510D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0							
26	6.83105D+01	1	2.31838D-02	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	1	3.22669D-03					
26	6.83105D+01	8	4.97045D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	2	3.54832D-06	181	6.60921D+00	181	8.59498D+00	
26	6.83105D+01	3	2.22178D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0							
27	7.32968D+01	1	2.91966D-02	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	1	3.39357D-03					
27	7.32968D+01	9	5.14732D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	2	3.79154D-06	181	7.77331D+00	181	9.30876D+00	
27	7.32968D+01	3	5.66333D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0							
28	7.92803D+01	1	4.04328D-02	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	1	4.05504D-03					
28	7.92803D+01	11	6.01823D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	2	5.46042D-06	181	9.13141D+00	171	1.00099D+01	
28	7.92803D+01	4	4.61951D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0							

***** TABLE 6 MUST BE EVALUATED FOR 1.05160094D+02

THE VALUE OF THE FUNCTION WILL BE 2.37000000D-01 FOR ALL ARGUMENTS GREATER THAN 1.00000000D+02

29	8.55054D+01	1	4.07964D-02	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	1	3.90226D-03					
29	8.55054D+01	11	8.56346D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	2	5.43157D-06	181	9.27301D+00	171	1.02338D+01	
29	8.55054D+01	4	5.65177D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0							
30	9.18829D+01	1	3.54395D-02	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	1	3.44027D-03					
30	9.18829D+01	11	9.15893D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	2	4.90434D-06	181	9.26710D+00	171	1.01419D+01	
30	9.18829D+01	4	5.54698D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0							
31	9.84206D+01	1	2.93893D-02	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	1	3.05553D-03					
31	9.84206D+01	11	9.33123D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	2	4.59934D-06	181	9.26168D+00	171	9.94947D+00	
31	9.84206D+01	4	5.15488D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0							
32	1.05127D+02	1	2.38231D-02	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	1	2.73943D-03					
32	1.05127D+02	11	9.23531D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	2	4.33482D-06	181	9.25706D+00	171	9.69064D+00	
32	1.05127D+02	4	4.56100D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0							
33	1.12009D+02	1	1.91906D-02	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	1	2.48124D-03					
33	1.12009D+02	3	9.39648D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	2	4.05035D-06	181	9.25274D+00	171	9.38576D+00	
33	1.12009D+02	1	5.88397D-03	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0							
34	1.16004D+02	7	4.19279D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	1	1.04354D-03					
34	1.16004D+02	1	7.11834D-06	1.27100D+00	0.0	0.0	0.0	2	1.27788D-06	181	5.26083D+00	171	5.08956D+00	
34	1.16004D+02	1	3.70271D-03	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0							
35	1.20000D+02	6	8.13561D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	1	6.98083D-04					
35	1.20000D+02	1	3.34967D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	2	1.07427D-06	181	5.18134D+00	171	4.90548D+00	

FACOM M200-0
14: 8:11 83-01-06

Table 4.3 (Continued)

HEATINGS		CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5)																				
GROSS GRID	FINE GRID	TRANSIENT TEMPERATURE DISTRIBUTION					35 TIME STEPS, TIME = 1.20000D+02															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10											
1	0-01	90.61	90.80	91.58	93.74	99.08	99.92	106.95	117.27	131.07	139.13	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
2	1-00	82.57	82.77	83.56	85.77	91.20	92.06	99.22	109.77	123.87	131.18	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
3	3-00	61.02	61.25	62.15	64.62	70.66	71.62	79.79	92.31	110.58	118.14	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
4	5-00	47.67	47.91	48.86	51.42	57.60	58.60	67.25	80.98	101.11	108.87	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
5	7-00	41.65	41.89	42.82	45.30	50.90	51.62	59.81	73.99	95.00	102.88	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
6	7-30	41.55	41.79	42.73	45.20	50.81	51.02	58.97	73.19	94.29	102.19	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
7	11-35	26.16	26.61	28.44	33.73	47.06	47.18	54.12	68.27	89.82	97.79	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
8	15-41	22.08	22.61	24.77	30.91	45.83	45.95	52.79	66.97	88.65	96.64	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
9	19-46	21.19	21.74	23.99	30.32	45.53	45.64	52.48	66.67	88.39	96.38	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
10	23-52	21.02	21.58	23.85	30.21	45.46	45.58	52.42	66.61	88.33	96.33	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
11	27-57	21.00	21.55	23.82	30.19	45.45	45.57	52.40	66.60	88.33	96.32	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
12	31-62	20.99	21.55	23.82	30.19	45.45	45.57	52.40	66.60	88.33	96.32	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
13	35-68	21.01	21.57	23.83	30.20	45.46	45.58	52.41	66.61	88.33	96.33	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
14	39-73	21.10	21.65	23.92	30.27	45.51	45.63	52.46	66.65	88.37	96.36	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
15	43-79	21.60	22.15	24.37	30.63	45.76	45.87	52.70	66.86	88.54	96.53	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
16	47-84	24.10	24.58	26.58	32.41	46.85	46.96	53.74	67.79	89.32	97.29	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
17	51-89	34.66	34.89	36.01	39.88	51.06	51.17	57.73	71.31	92.29	100.19	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
18	55-95	70.53	70.10	68.70	66.36	65.25	65.35	70.73	82.57	101.69	109.36	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
19	60-00	157.16	155.98	151.29	138.70	108.56	107.51	105.46	111.74	124.61	131.74	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
20	61-00	161.72	160.54	155.87	143.41	116.31	115.22	113.21	119.29	131.78	139.67	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

Table 4.3 (Continued)

1	90.610	2	90.802	3	91.578	4	93.741	5	99.082
6	99.919	7	106.949	8	117.266	9	131.072	10	139.127
11	82.568	12	82.766	13	83.360	14	85.766	15	91.204
16	92.056	17	99.222	18	109.767	19	123.867	20	131.177
21	61.020	22	61.247	23	62.148	24	64.615	25	70.656
26	71.620	27	79.789	28	92.308	29	110.580	30	118.142
31	47.674	32	47.914	33	48.862	34	51.420	35	57.595
36	58.597	37	67.251	38	80.984	39	101.110	40	108.874
41	41.646	42	41.885	43	42.823	44	45.301	45	50.903
46	51.618	47	59.805	48	73.991	49	94.999	50	102.878
51	41.549	52	41.788	53	42.725	54	45.200	55	50.808
56	51.021	57	58.972	58	73.191	59	94.593	60	102.185
61	26.160	62	26.606	63	28.443	64	33.727	65	47.062
66	47.180	67	54.118	68	68.273	69	89.822	70	97.790
71	22.076	72	22.606	73	24.775	74	30.915	75	45.833
76	45.949	77	52.794	78	66.969	79	88.649	80	96.639
81	21.190	82	21.742	83	23.993	84	30.319	85	45.529
86	45.644	87	52.481	88	66.670	89	88.387	90	96.383
91	21.024	92	21.580	93	23.847	94	30.207	95	45.464
96	45.580	97	52.416	98	66.609	99	88.335	100	96.333
101	20.996	102	21.553	103	23.823	104	30.189	105	45.453
106	45.568	107	52.404	108	66.598	109	88.326	110	96.324
111	20.994	112	21.551	113	23.822	114	30.187	115	45.452
116	45.567	117	52.403	118	66.598	119	88.326	120	96.324
121	21.008	122	21.565	123	23.835	124	30.198	125	45.461
126	45.576	127	52.412	128	66.605	129	88.332	130	96.330
131	21.099	132	21.653	133	23.916	134	30.267	135	45.510
136	45.625	137	52.460	138	66.648	139	88.366	140	96.363
141	21.604	142	22.146	143	24.366	144	30.635	145	45.757
146	45.872	147	52.698	148	66.860	149	88.541	150	96.533
151	24.099	152	24.578	153	26.583	154	32.408	155	46.845
156	46.961	157	53.744	158	67.789	159	89.320	160	97.291
161	34.661	162	34.893	163	36.012	164	39.885	165	51.036
166	51.171	167	57.731	168	71.312	169	92.290	170	100.189
171	70.531	172	70.101	173	68.700	174	66.355	175	65.246
176	65.351	177	70.732	178	82.570	179	101.686	180	109.364
181	157.164	182	155.981	183	151.290	184	136.701	185	108.563
186	107.512	187	105.456	188	111.743	189	124.611	190	131.744
191	161.718	192	160.540	193	155.870	194	143.408	195	116.307
196	115.216	197	113.213	198	119.295	199	131.781	200	139.672

TEMPERATURES ON NUMBERED BOUNDARIES

BOUNDARY NUMBER	TEMPERATURE
1	770.00000
2	770.00000

THE CURRENT TIME STEP (DELTA T) = 3.9957429D+00

ELAPSED CPU TIME IS 0.14 SECONDS

THE MAXIMUM TEMPERATURE IS - 1.61718D+02 (+-0.1 PERCENT)

MAX. TEMP. APPEARS AT NODES - 191

THE MINIMUM TEMPERATURE IS - 1.61718D+02 (+-0.1 PERCENT)

MIN. TEMP. APPEARS AT NODES - 191

Table 4.3 (Continued)

NO TIME	TIME	NO ITER	MAX RESIDUAL	BETA	L1 TEMP DIFF	RHO (ITERATION)	RHO (JACOBI)	NO ITER	L1 TEMP DIFF	MAX CHANGE	NODE	MAX CHANGE	NODE	MAX CHANGE	PERCENT TEMP CHANGE
36	1.247950+02	1	4.38189D-03	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	1	8.62923D-04						
36	1.247950+02	7	4.77115D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	2	1.38787D-06	181	6.11264D+00	164	5.76270D+00		
36	1.247950+02	1	3.61466D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0								
37	1.305490+02	1	5.47792D-03	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	1	1.14904D-03						
37	1.305490+02	8	2.77538D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	2	2.05118D-06	181	7.18277D+00	164	6.83921D+00		
37	1.305490+02	1	8.64245D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0								
38	1.374530+02	1	6.54498D-03	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	1	1.49133D-03						
38	1.374530+02	8	7.44055D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	2	2.82924D-06	181	8.40511D+00	164	8.04763D+00		
38	1.374530+02	2	7.59005D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0								
39	1.452580+02	1	6.68814D-03	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	1	1.75022D-03						
39	1.452580+02	9	3.91594D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	2	3.76717D-06	181	9.23080D+00	163	8.84445D+00		
40	1.532890+02	1	5.37606D-03	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	1	1.73104D-03						
40	1.532890+02	9	4.43760D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	2	3.92351D-06	181	9.21582D+00	163	8.86603D+00		
40	1.532890+02	2	7.97879D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0								
41	1.615690+02	1	3.97374D-03	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	1	1.63856D-03						
41	1.615690+02	9	4.64294D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	2	3.86940D-06	181	9.22292D+00	163	8.83463D+00		
41	1.615690+02	2	9.65106D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0								
42	1.700970+02	1	2.79053D-03	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	1	1.55070D-03						
42	1.700970+02	9	4.63549D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	2	3.85459D-06	181	9.23966D+00	162	8.76113D+00		
42	1.700970+02	3	5.77888D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0								
43	1.750480+02	1	9.63314D-04	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	1	6.71813D-04						
43	1.750480+02	7	1.85211D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	2	1.29685D-06	181	5.24623D+00	162	4.85014D+00		
43	1.750480+02	1	2.54112D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0								
44	1.800000+02	1	6.95417D-04	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	1	4.59590D-04						
44	1.800000+02	6	7.44095D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0	2	8.52897D-07	181	5.16298D+00	153	4.76391D+00		
44	1.800000+02	1	1.64222D-06	1.34390D+00	0.0	0.0	0.0								

FACOM M200-0
14: 9:22 83-01-06

Table 4.3 (Continued)
CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5)

GROSS GRID	FINE GRID DISTANCE	TRANSIENT TEMPERATURE DISTRIBUTION AFTER 94 TIME STEPS, TIME = 7.800000E+02												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	0.0	255.56	256.20	257.87	259.79	260.66	260.60	259.60	257.20	253.27	250.72	255.53	253.19	I
2	1.00	258.14	258.78	260.46	262.37	263.20	263.13	262.06	259.56	255.53	253.19	I	I	I
3	3.00	264.95	265.57	267.18	268.88	269.22	269.09	267.51	264.26	258.92	256.51	I	I	I
4	5.00	269.15	269.76	271.30	272.78	272.56	272.37	270.31	266.48	260.47	257.99	I	I	I
5	7.00	271.03	271.64	273.17	274.50	273.66	273.47	271.02	266.80	260.42	257.90	I	I	I
6	7.30	271.06	271.67	273.20	274.54	273.61	273.49	270.99	266.72	260.31	257.78	I	I	I
7	11.35	269.52	269.82	270.49	270.72	269.42	269.37	267.18	262.85	256.33	253.82	I	I	I
8	15.41	265.45	265.65	266.01	265.82	264.03	263.99	261.89	257.66	251.23	248.79	I	I	I
9	19.46	261.24	261.41	261.70	261.38	259.41	259.37	257.35	253.23	246.94	244.55	I	I	I
10	23.52	258.16	258.33	258.61	258.29	256.31	256.27	254.29	250.25	244.08	241.73	I	I	I
11	27.57	256.90	257.05	257.29	256.91	254.88	254.84	252.88	248.87	242.76	240.43	I	I	I
12	31.62	257.83	257.93	258.01	257.42	255.13	255.09	253.13	249.11	242.98	240.65	I	I	I
13	35.68	261.30	261.29	261.07	260.03	257.22	257.18	255.19	251.11	244.87	242.51	I	I	I
14	39.73	267.59	267.42	266.75	265.04	261.45	261.41	259.35	255.13	248.71	246.29	I	I	I
15	43.79	276.80	276.43	275.19	272.69	268.24	268.20	266.00	261.55	254.84	252.32	I	I	I
16	47.84	288.26	287.66	285.84	282.61	277.59	277.55	275.15	270.38	263.25	260.61	I	I	I
17	51.89	300.10	299.26	296.83	293.11	288.29	288.24	285.59	280.46	272.88	270.11	I	I	I
18	55.95	308.79	307.54	304.18	299.88	296.11	296.06	293.20	287.92	280.24	277.40	I	I	I
19	60.00	309.19	307.02	301.32	294.83	292.01	292.02	289.50	284.99	278.93	276.15	I	I	I
20	61.00	307.11	304.96	299.33	292.90	289.67	289.42	286.82	282.40	276.57	273.50	I	I	I

Table 4.3 (Continued)

1	255.562	2	256.197	3	257.873	4	259.794	5	260.664
6	260.604	7	259.598	8	257.197	9	253.271	10	250.719
11	258.143	12	258.782	13	260.462	14	262.375	15	263.198
16	263.130	17	262.060	18	259.562	19	255.525	20	253.190
21	264.948	22	265.571	23	267.182	24	268.881	25	269.220
26	269.088	27	267.511	28	264.263	29	258.922	30	256.509
31	269.150	32	269.760	33	271.302	34	272.777	35	272.560
36	272.367	37	270.314	38	266.483	39	260.475	40	257.987
41	271.035	42	271.644	43	273.167	44	274.504	45	273.657
46	273.465	47	271.022	48	266.796	49	260.419	50	257.895
51	271.065	52	271.675	53	273.198	54	274.535	55	273.606
56	273.492	57	270.990	58	266.722	59	260.308	60	257.781
61	269.521	62	269.824	63	270.489	64	270.724	65	269.415
66	269.374	67	267.177	68	262.855	69	256.328	70	253.822
71	265.455	72	265.649	73	266.010	74	265.819	75	264.031
76	263.992	77	261.889	78	257.663	79	251.233	80	248.787
81	261.243	82	261.411	83	261.695	84	261.381	85	259.411
86	259.375	87	257.348	88	253.227	89	246.939	90	244.553
91	258.162	92	258.329	93	258.609	94	258.287	95	256.308
96	256.272	97	254.289	98	250.247	99	244.076	100	241.732
101	256.898	102	257.050	103	257.288	104	256.909	105	254.875
106	254.840	107	252.877	108	248.873	109	242.758	110	240.434
111	257.829	112	257.927	113	258.014	114	257.415	115	255.130
116	255.095	117	253.128	118	249.113	119	242.981	120	240.652
121	261.299	122	261.290	123	261.074	124	260.028	125	257.220
126	257.184	127	255.187	128	251.105	129	244.873	130	242.513
131	267.590	132	267.421	133	266.749	134	265.037	135	261.449
136	261.413	137	259.346	138	255.133	139	248.708	140	246.287
141	276.799	142	276.426	143	275.190	144	272.687	145	268.236
146	268.197	147	265.997	148	261.548	149	254.839	150	252.323
151	288.258	152	287.662	153	285.837	154	282.615	155	277.591
156	277.548	157	275.154	158	270.384	159	263.248	160	260.610
161	300.102	162	299.258	163	296.831	164	293.113	165	288.291
166	288.242	167	285.593	168	280.463	169	272.882	170	270.114
171	308.786	172	307.540	173	304.180	174	299.881	175	296.111
176	296.056	177	293.199	178	287.915	179	280.237	180	277.396
181	309.190	182	307.016	183	301.322	184	294.835	185	292.006
186	292.018	187	289.498	188	284.992	189	278.928	190	276.149
191	307.114	192	304.963	193	299.327	194	292.896	195	289.671
196	289.419	197	286.824	198	282.403	199	276.565	200	273.502

TEMPERATURES ON NUMBERED BOUNDARIES

BOUNDARY NUMBER	TEMPERATURE
1	65.000000
2	65.000000

THE CURRENT TIME STEP (DELTAT) = 1.18218042D+01

ELAPSED CPU TIME IS 0.39 SECONDS

THE MAXIMUM TEMPERATURE IS - 3.09190D+02 (+-0.1 PERCENT)

MAX. TEMP. APPEARS AT NODES - 181

THE MINIMUM TEMPERATURE IS - 3.09190D+02 (+-0.1 PERCENT)

MIN. TEMP. APPEARS AT NODES - 181

THE TRANSIENT CALCULATIONS HAVE BEEN COMPLETED.

FINAL TIME IS 7.80000D+02

NUMBER OF TIME STEPS COMPLETED = 94

5. PRE-HEATING5 の入力・出力形式

5.1 PRE-HEATING5 の入力形式

PRE-HEATING5 には次の機能がある。

- (1) 領域区分の図形の作成
- (2) 物質区分の図形の作成
- (3) 発熱区分の図形の作成
- (4) 初期温度区分の図形の作成
- (5) 境界温度区分の図形の作成
- (6) 各種入力データ表の図形の作成

入力データのコントロールデータは次のものから構成されている。

- (i) PLANE データ
平面を指定
- (ii) REGION データ
領域区分の図形の作成
- (iii) MATERIAL データ
物質区分の図形の作成
- (iv) HEAT-GEN データ
発熱量区分の図形の作成
- (v) INITIAL データ
初期区分の図形の作成
- (vi) BOUNDARY データ
境界温度区分の図形の作成
- (vii) TABLE データ
各種入力データ表の図形の作成
- (viii) END データ
データの終了

PRE-HEATING5 の入力形式を Table 5.1 に示す。コントロールデータは何回でも繰り返し使用できる。

5.2 PRE-HEATING5 の出力形式

PRE-HEATING5 の出力は、出力を制御する入力データ、図形出力から構成されている。

- (1) 印刷出力
出力制御のための入力データ

(2) 図形表示

- (i) 領域区分図
- (ii) 物質区分図
- (iii) 発熱区分図
- (iv) 初期温度区分図
- (v) 境界温度区分図
- (vi) 各種入力データ表の図

5.3 PRE-HEATING5の入出力例

PRE-HEATING5の入力データ例をTable 5.2に，出力例をTable 5.3に示す。
 Fig. 5.1～5.4は図形出力例である。Fig. 5.1は4章で述べたHEATING5の計算入力データを図形表示したものであり，Fig. 5.2，5.3は輸送容器の断面の1次元計算体系⁽³⁾の図形表示でありFig. 5.3は，円柱構造体系の入力データを図形表示したものであり，Fig. 5.4は3次元構造体系の入力データを図形表示したものである。

Table 5.1 Input data for PRE-HEATING5

I. HEATING5のデータセット

HEATING5の入力データをファイル10から読み込む。

II. PRE-HEATING5のデータセット

(1) データセット1 (A6, A4, F10.0)

カラム	変数名	内 容
1～6	KEYP	PRLANEと指定
7～10	PLANE	3次元問題を平面図形出力の選択 XY, RT, XZ, RZ, YZ, TZ
11～20	AXVAL	出力平面の法線座標軸上の値

(2) データセット2 (A8, 2X, 6F10.0)

カラム	変数名	内 容
1～8	KEYG	図形表示の種類 REGION : 領域区分図形出力 MATERIAL : 物質区分図形出力 HEAT-GEN : 発熱関数区分図形出力 INITIAL : 初期温度区分図形出力 BOUNDARY : 境界条件区分図形出力
11～20	XSCALE	水平軸の縮尺度

Table 5.1 (Continued)

カラム	変数名	内 容
21~30	YSCALE	垂直軸の縮尺度
31~40	XREG1	水平軸の最小値 (mm)
41~50	XREG2	水平軸の最大値 (mm)
51~60	XREG1	垂直軸の最小値 (mm)
61~70	YREG2	垂直軸の最大値 (mm)

データセット 1, 2 を繰り返し定義することによって図形出力が継続される。

(3) データセット 3 (A5)

カラム	変数名	内 容
1~80	KEYB	BLANK と指示することによって、データセット 1, 2 の入力 が終了し、テーブル関数の図化出力のデータセットが読み込まれる。

(4) データセット 4 (A5, 5X, 15A4)

カラム	変数名	内 容
1~5	KEYT	TABLE と指示
6~10	ITAB	テーブル関数番号
11~70	TABTIL	出力するテーブル関数に対するタイトル

(5) データセット 5 (2F10.0, I10, 10A4)

カラム	変数名	内 容
1~10	PAMIN	テーブル関数の独立変数の最小値
11~20	PAMAX	テーブル関数の独立変数の最大値
21~30	LENGX	水平軸のスケーリング係数
31~70	TABX	水平軸のタイトル・ラベル

(6) データセット 6 (2F10.0, I10, 10A4)

カラム	変数名	内 容
1~10	VAMIN	テーブル関数の対応値の最小値
11~20	VAMAX	テーブル関数の対応値の最大値
21~30	LENGY	垂直軸のスケーリング係数
31~70	TABY	垂直軸のタイトル・ラベル

データセット 3, 4, 5, 6 を繰り返し定義することによってテーブル関数の図形出力が継続される。

Table 5.1 (Continued)

(7) データセット7 (A3)

カラム	変数名	内容
1~5	KEYE	ENDと指示することによって、終了する。

Table 5.2 Input data of PRE-HEATING5

```

*****
* INPUT DATA LIST *
*
*****
1.....*.....2.....*.....3.....*.....4.....*.....5.....*.....6.....*.....7.....*.....8
REGION 0.25 0.5 0.0 100.0 0.0 180.0
MATERIAL 0.25 0.5 0.0 100.0 0.0 180.0
INITIAL 0.25 0.5 0.0 100.0 0.0 180.0
BOUNDARY 0.25 0.5 0.0 100.0 0.0 180.0
BLANK
TABLE 1 FIG. . TEMPERATURE-DEPEND THERMAL CONDUCTIVITY ON STEEL
-100.0 1900.0 20 TEMPERATURE ( C )
0.0 0.2 20 CONDUCTIVITY ( CAL/CM-SEC-C )
TABLE 2 FIG. . TEMPERATURE-DEPEND SPECIFIC HEAT ON STEEL
0.0 1000.0 20 TEMPERATURE ( C )
0.0 2.0 20 SPECIFIC HEAT ( CAL/G-C )
TABLE 3 FIG. . TEMPERATURE-DEPEND THERMAL CONDUCTIVITY ON LEAD
0.0 800.0 16 TEMPERATURE ( C )
0.0 0.10 20 CONDUCTIVITY (CAL/CM-SEC-C )
TABLE 4 FIG. . TEMPERATURE-DEPEND SPECIFIC HEAT ON LEAD
0.0 2000.0 20 TEMPERATURE ( C )
0.0 0.04 20 SPECIFIC HEAT ( CAL/G-C )
TABLE 5 FIG. . TEMPERATURE-DEPEND THERMAL CONDUCTIVITY ON AIR
-200.0 600.0 16 TEMPERATURE ( C )
0.0 1.6E-4 16 CONDUCTIVITY ( CAL/CM-SEC-C )
TABLE 7 FIG. . TIME-DEPEND SPECIFIED HEAT AT BOUNDARY NO.1
0.0 1000.0 20 TIME ( SEC )
0.0 1000.0 20 TEMPERATURE ( C )
.....*.....1.....*.....2.....*.....3.....*.....4.....*.....5.....*.....6.....*.....7.....*.....8
*** INPUT DATA END ***

```

Table 5.3 Output list of PRE-HEATING5

JOB DESCRIPTION - CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5)

SUMMARY OF REGION DATA

***** DIMENSION *****

REGION NUMBER	LEFT-X OR INNER-R	RIGHT-X OR OUTER-R	LOWER-Y OR LEFT-THETA	UPPER-Y OR RIGHT-THETA	REAR-Z	FRONT-Z
1	0.0100	19.0000	0.0	0.0	0.0	1.0000
2	19.0000	20.0000	0.0	0.0	1.0000	55.9500
3	19.0000	20.0000	0.0	0.0	55.9500	60.0000
4	0.0100	17.0000	0.0	0.0	1.0000	3.0000
5	17.0000	19.0000	0.0	0.0	1.0000	3.0000
6	17.0000	19.0000	0.0	0.0	3.0000	55.9500
7	17.0000	19.0000	0.0	0.0	55.9500	60.0000
8	0.0100	17.0000	0.0	0.0	3.0000	5.0000
9	15.0000	17.0000	0.0	0.0	5.0000	55.9500
10	15.0000	17.0000	0.0	0.0	55.9500	60.0000
11	0.0100	13.0000	0.0	0.0	5.0000	7.0000
12	13.0000	15.0000	0.0	0.0	5.0000	7.0000
13	13.0000	15.0000	0.0	0.0	7.0000	55.9500
14	13.0000	15.0000	0.0	0.0	55.9500	60.0000
15	0.0100	13.0000	0.0	0.0	7.0000	7.3000
16	12.7000	13.0000	0.0	0.0	7.3000	55.9500
17	12.7000	13.0000	0.0	0.0	55.9500	60.0000
18	0.0100	9.5250	0.0	0.0	7.3000	11.3500
19	9.5250	12.7000	0.0	0.0	7.3000	11.3500
20	9.5250	12.7000	0.0	0.0	11.3500	55.9500
21	9.5250	12.7000	0.0	0.0	55.9500	60.0000
22	0.0100	9.5250	0.0	0.0	11.3500	55.9500
23	0.0100	9.5250	0.0	0.0	55.9500	60.0000
24	0.0100	20.0000	0.0	0.0	60.0000	61.0000
25	12.7000	13.0000	0.0	0.0	7.0000	7.3000
26	19.0000	20.0000	0.0	0.0	0.0	1.0000

REGION NUMBER	MATERIAL NAME	INITIAL TEMP	HEAT GENERATION	-----BOUNDARY NUMBERS-----					
				LF-X IN-R	RT-X OT-R	LO-Y LF-T	UP-Y RT-T	RR-Z	FT-Z
1	STEEL	1	0	0	0	0	0	1	0
2	STEEL	1	0	0	2	0	0	0	0
3	STEEL	1	0	0	2	0	0	0	0
4	LEAD	1	0	0	0	0	0	0	0
5	LEAD	1	0	0	0	0	0	0	0
6	LEAD	1	0	0	0	0	0	0	0
7	LEAD	1	0	0	0	0	0	0	0
8	LEAD	1	0	0	0	0	0	0	0
9	LEAD	1	0	0	0	0	0	0	0
10	LEAD	1	0	0	0	0	0	0	0
11	LEAD	1	0	0	0	0	0	0	0
12	LEAD	1	0	0	0	0	0	0	0
13	LEAD	1	0	0	0	0	0	0	0
14	LEAD	1	0	0	0	0	0	0	0
15	STEEL	1	0	0	0	0	0	0	0
16	STEEL	1	0	0	0	0	0	0	0
17	STEEL	1	0	0	0	0	0	0	0
18	AIR	1	0	0	0	0	0	0	0
19	AIR	1	0	0	0	0	0	0	0
20	AIR	1	0	0	0	0	0	0	0
21	AIR	1	0	0	0	0	0	0	0
22	AIR	1	0	0	0	0	0	0	0
23	AIR	1	0	0	0	0	0	0	0
24	STEEL	1	0	0	2	0	0	0	1
25	STEEL	1	0	0	0	0	0	0	0
26	STEEL	1	0	0	2	0	0	1	0

Table 5.3 (Continued)

PLOT 1 WILL BE DRAWN OF THE REGION .
 THE VERTICAL SCALE VALUE IS 2.50000E-01
 THE HORIZONTAL SCALE VALUE IS 5.00000E-01
 *** NOTE - SCALE VALUES WHICH ARE ZERO WILL BE COMPUTED BY THE PROGRAM. 1.00000E+02, RESPECTIVELY.
 THE MINIMUM AND THE MAXIMUM VALUES ON THE HORIZONTAL AXIS ARE 0.0 1.80000E+02, RESPECTIVELY.
 THE MINIMUM AND THE MAXIMUM VALUES ON THE VERTICAL AXIS ARE 0.0 1.80000E+02, RESPECTIVELY.
 *** NOTE - IF THE AXIAL MINIMUM OR MAXIMUM IS ZERO,
 THE MINIMUM AND/OR THE MAXIMUM OF THE MODEL WILL BE USED.

BOUNDARY CONDITION

- 1.SURFACE-TO-BOUNDARY
- ▲-▲-▲ 2.SURFACE-TO-BOUNDARY

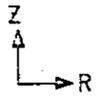
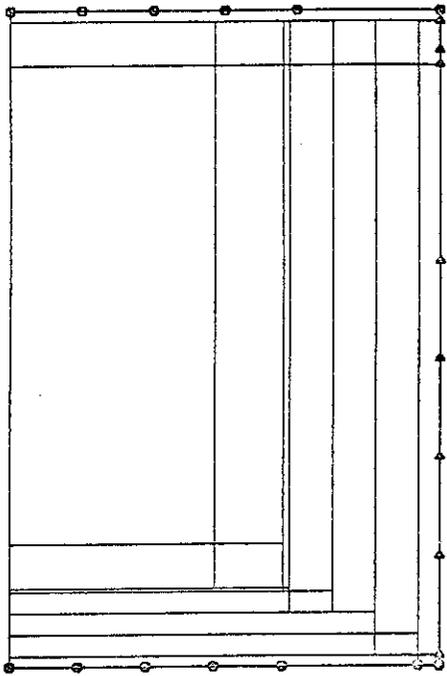


Fig. 5.1 (a) Cask thermal analysis (HEATING5)
map of the boundary condition

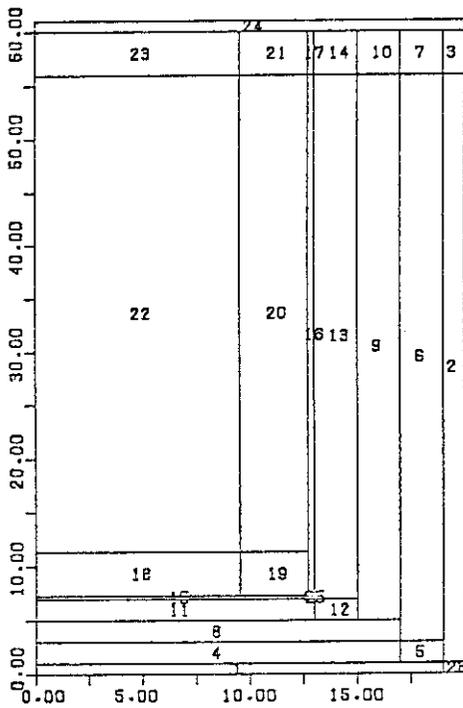


Fig. 5.1 (b) Cask thermal analysis (HEATING5)
map of the regions

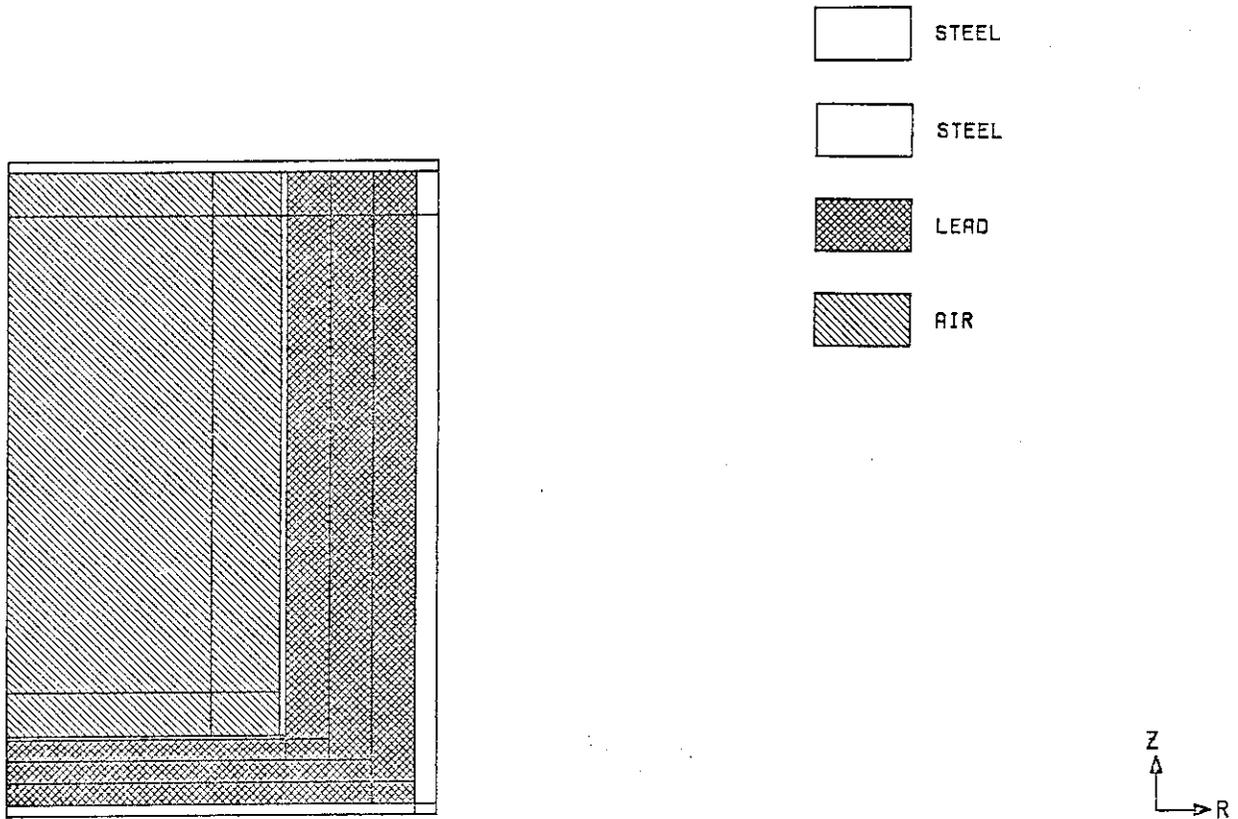


Fig. 5.1 (c) Cask thermal analysis (HEATING5) map of the materials

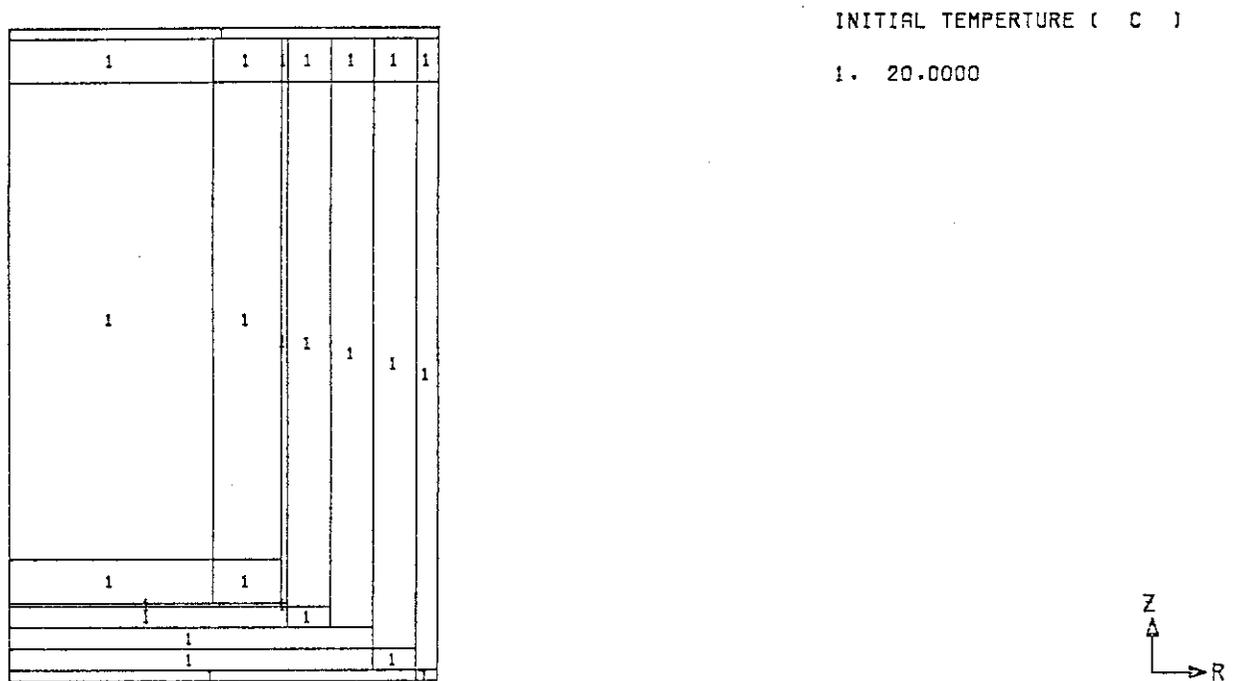


Fig. 5.1 (d) Cask thermal analysis (HEATING5) map of the initial temperatures

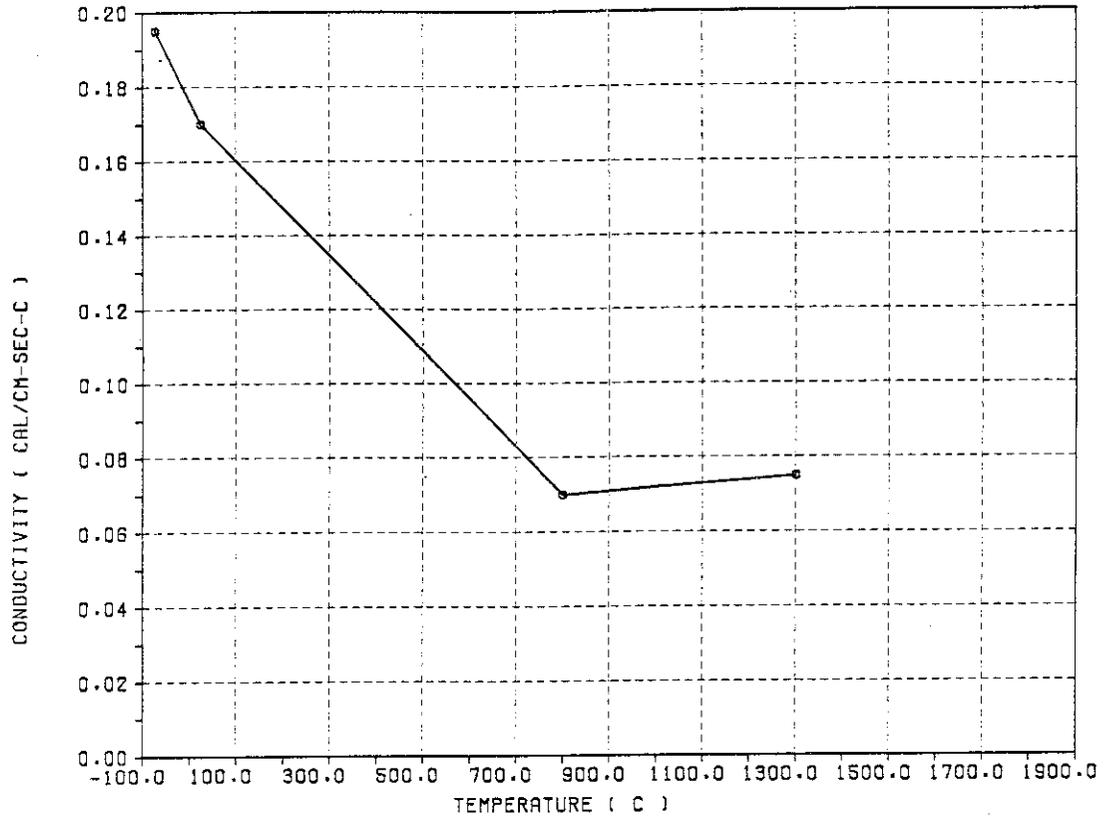


Fig. 5.1 (e) Temperature-dependent thermal conductivity on steel

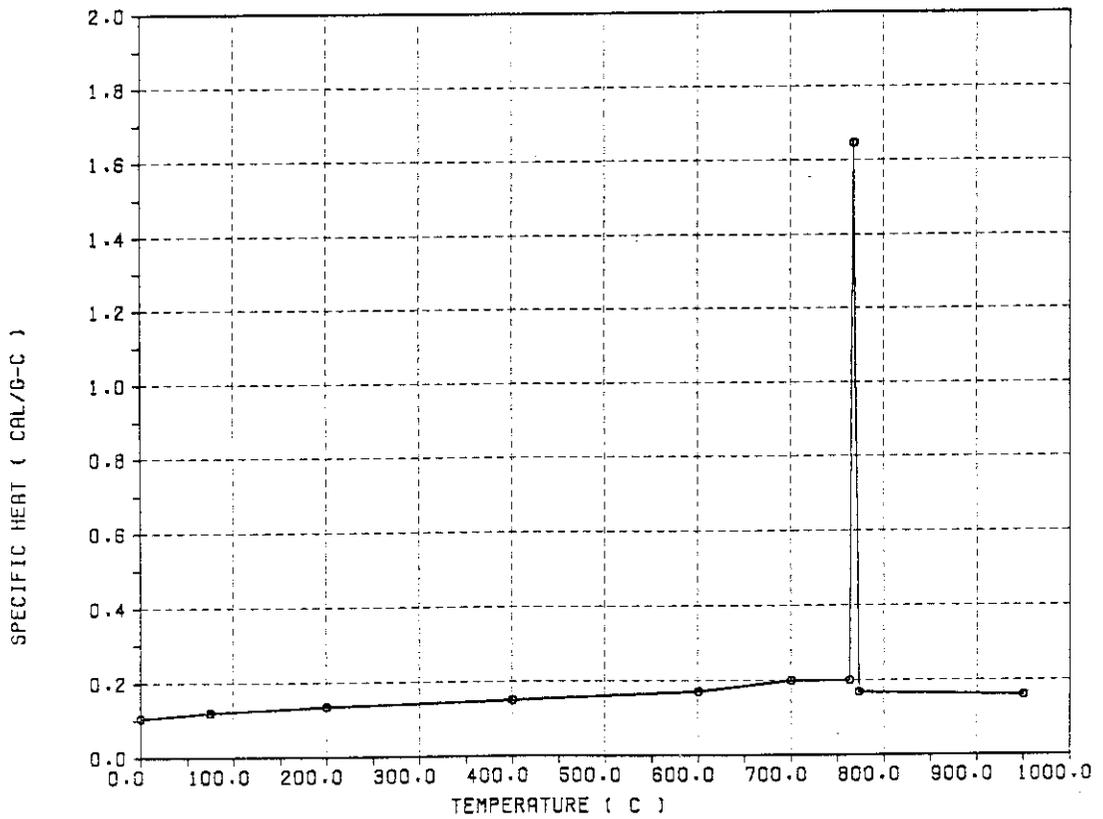


Fig. 5.1 (f) Temperature-dependent specific heat on steel

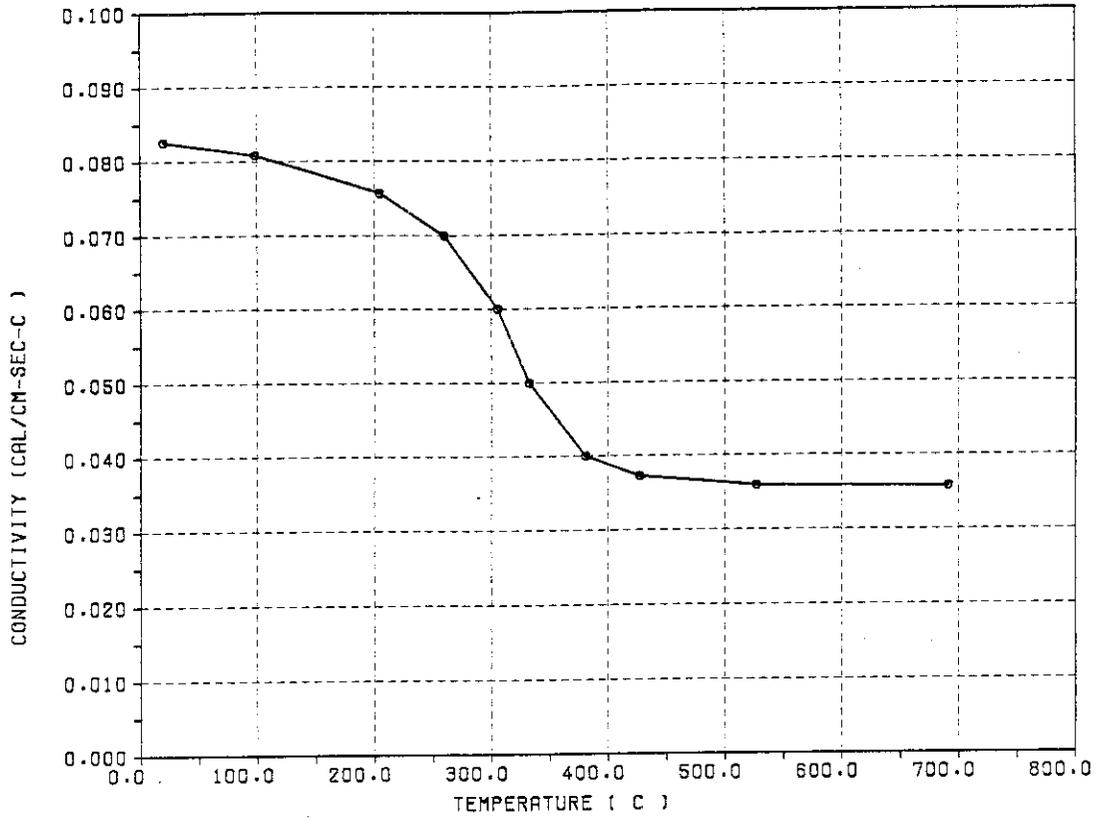


Fig. 5.1(g) Temperature-dependent thermal conductivity on lead

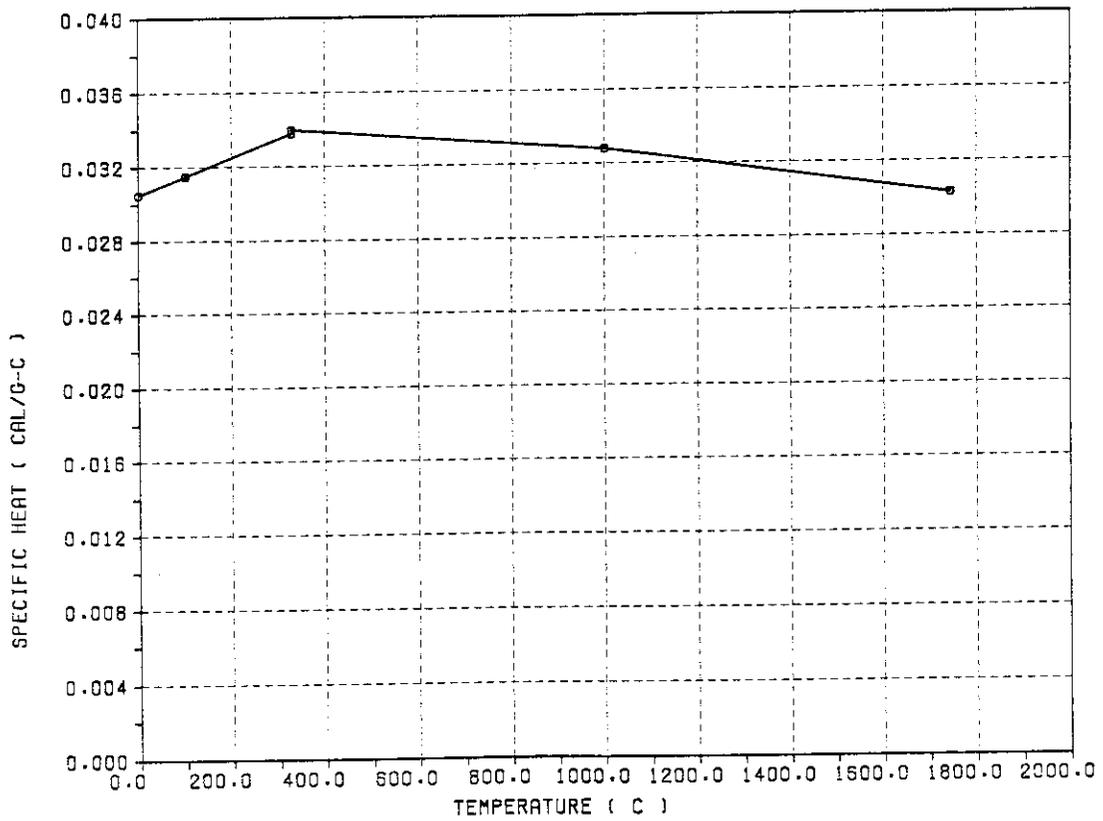


Fig. 5.1(h) Temperature-dependent specific heat on lead

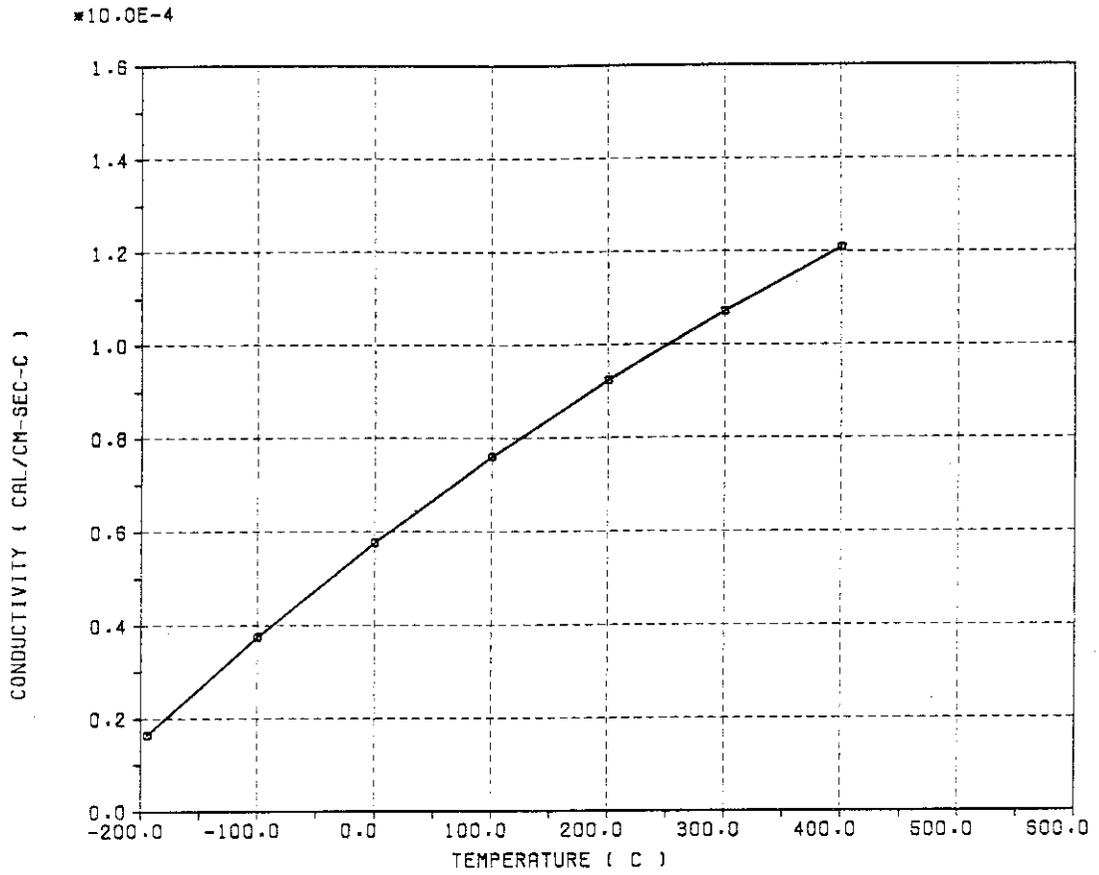


Fig. 5.1 (i) Temperature-dependent thermal conductivity on air

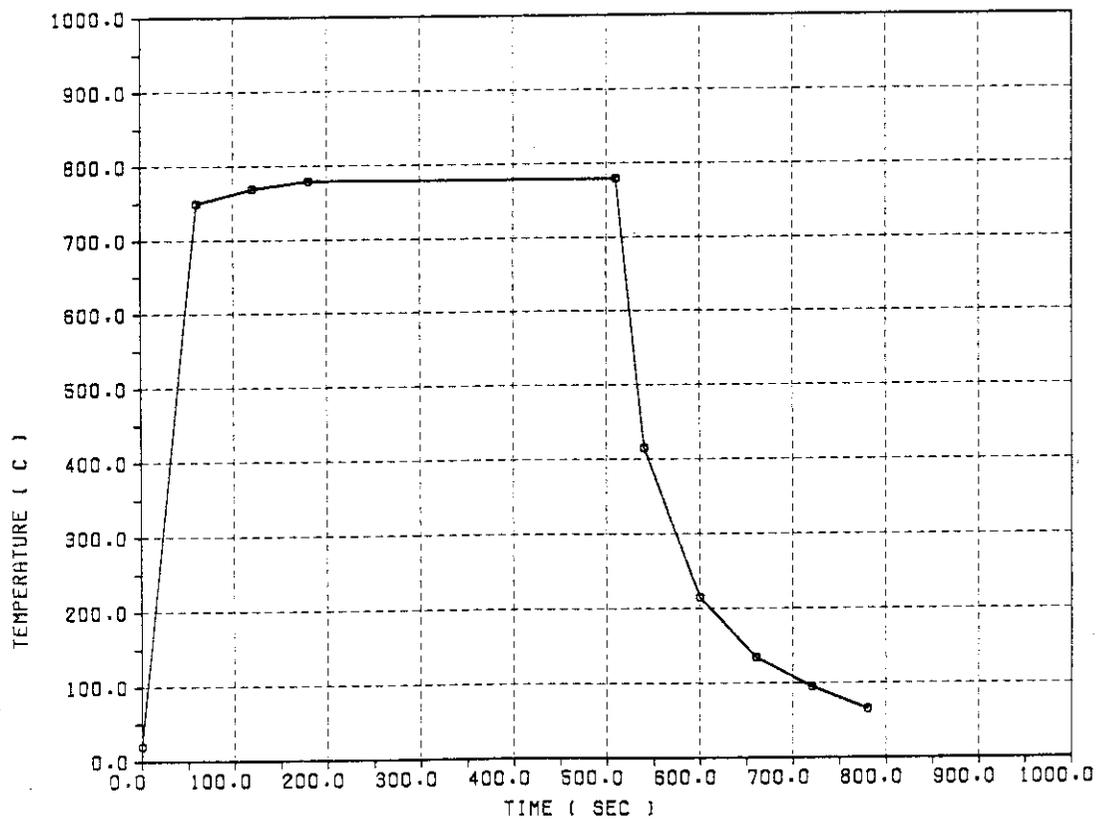


Fig. 5.1(j) Time-dependent specified heat at boundary condition 1

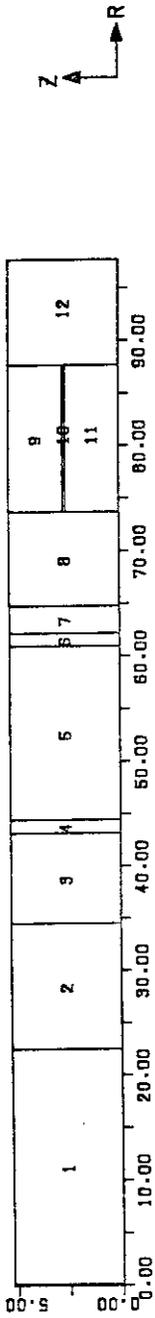


Fig. 5.2 (a) HEATING5 test run (cask model No. 1)
map of the regions

BOUNDARY CONDITION
 ○○○ 1. PRESCRIBED SURFACE TEMPERATURE

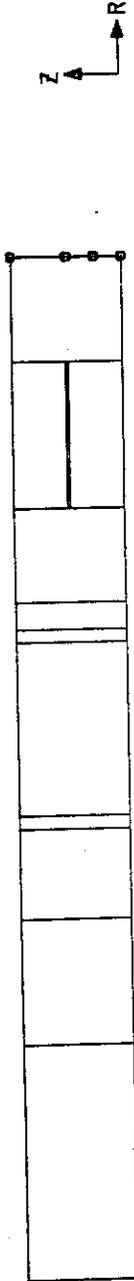


Fig. 5.2 (b) HEATING5 test run (cask model No. 1)
map of the boundary conditions

INITIAL TEMPERATURE (C)
 1. 38.0000

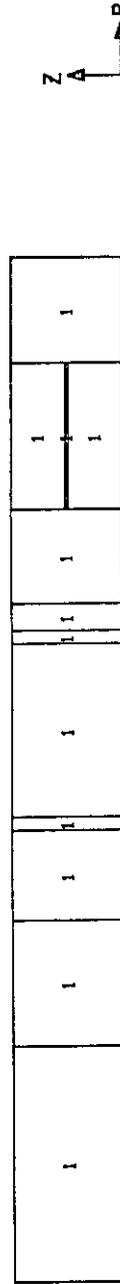


Fig. 5.2 (c) HEATING5 test run (cask model No. 1)
map of the initial temperatures

HEAT GENERATION (CAL/CM³.SEC)

1. 0.00134



Fig. 5.2 (d) HEATING5 test run (cask model No. 1)
map of the regions with heat generation

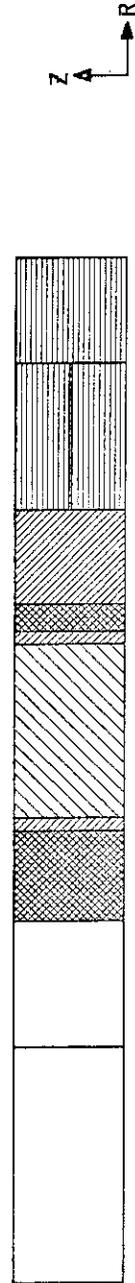
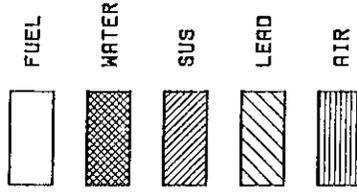


Fig. 5.2 (e) HEATING5 test run (cask model No. 1)
map of the materials

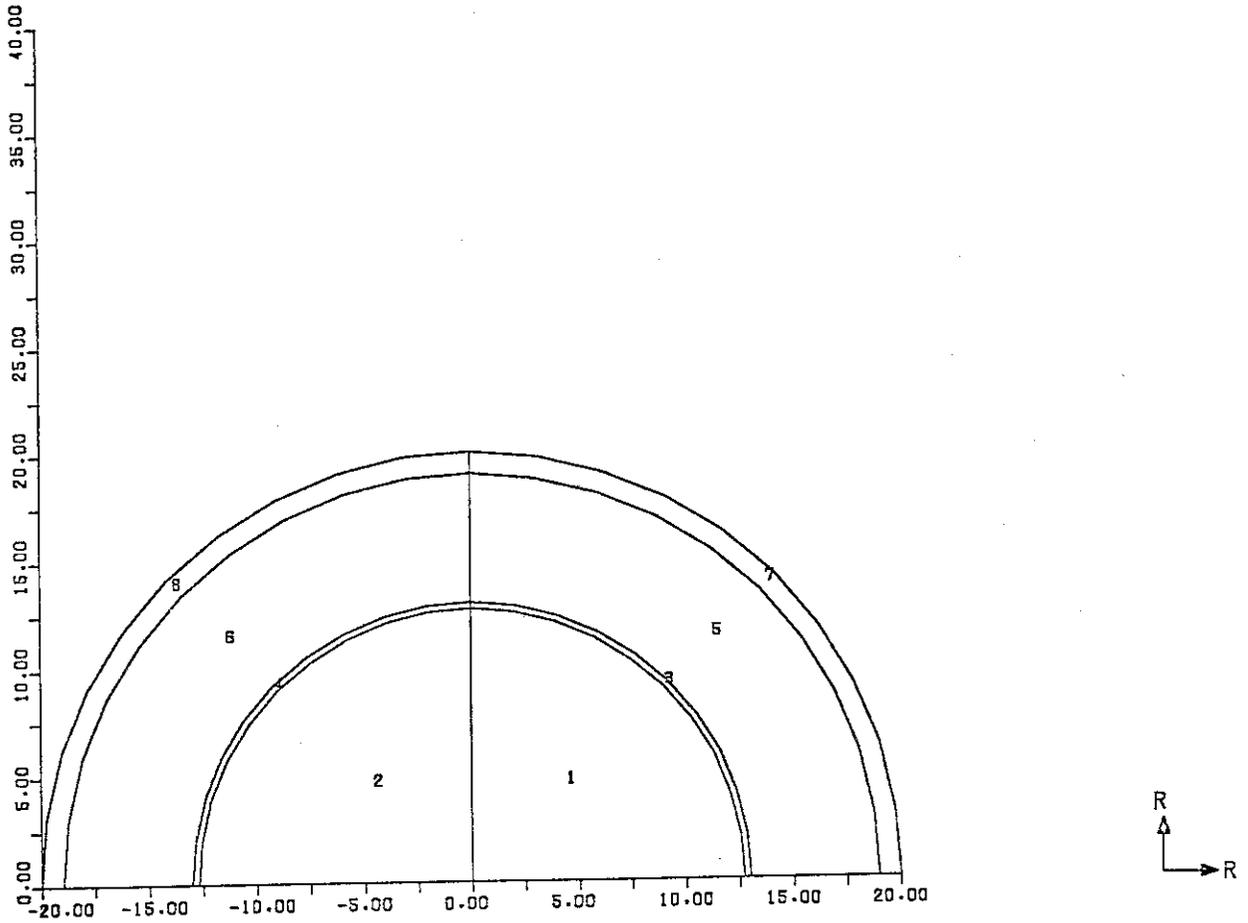


Fig. 5.3 (a) Cask thermal analysis (HEATING5)
map of the regions

INITIAL TEMPERATURE (C)

1. 20.0000

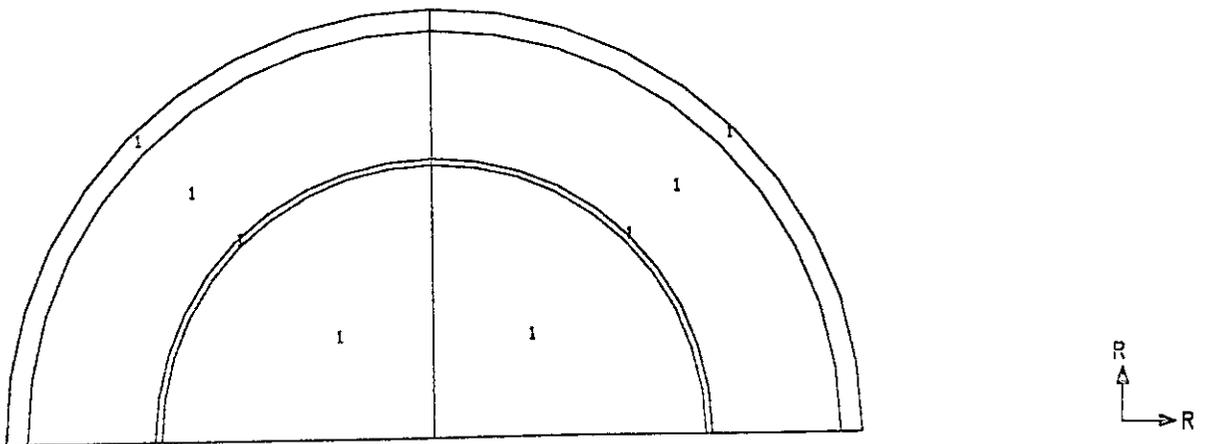


Fig. 5.3 (b) Cask thermal analysis (HEATING5)
map of the initial temperatures

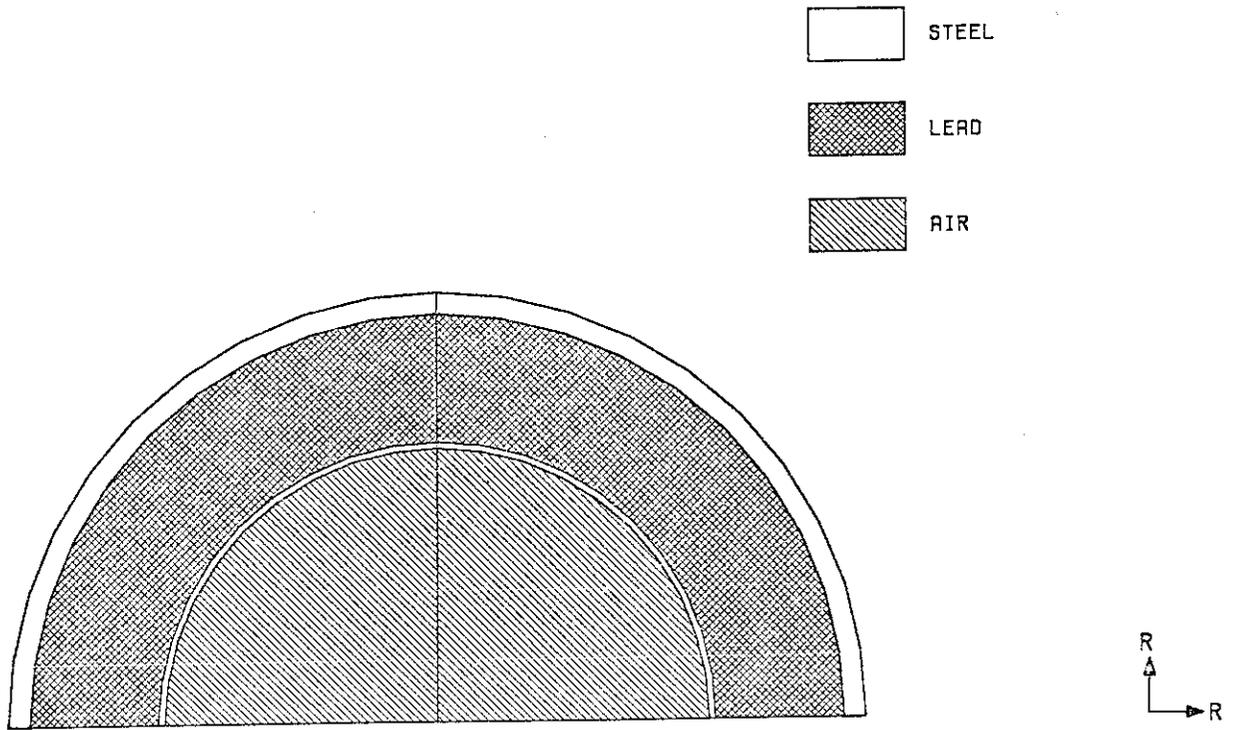


Fig. 5.3 (c) Cask thermal analysis (HEATING5)
map of the materials

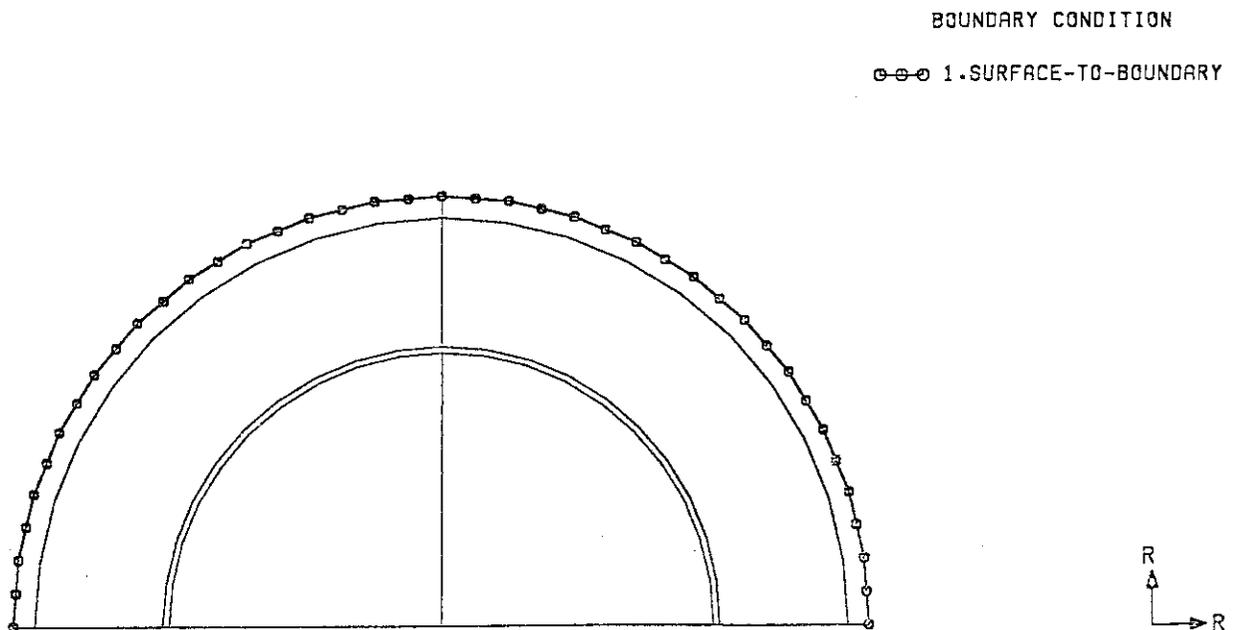


Fig. 5.3 (d) Cask thermal analysis (HEATING5)
map of the boundary conditions

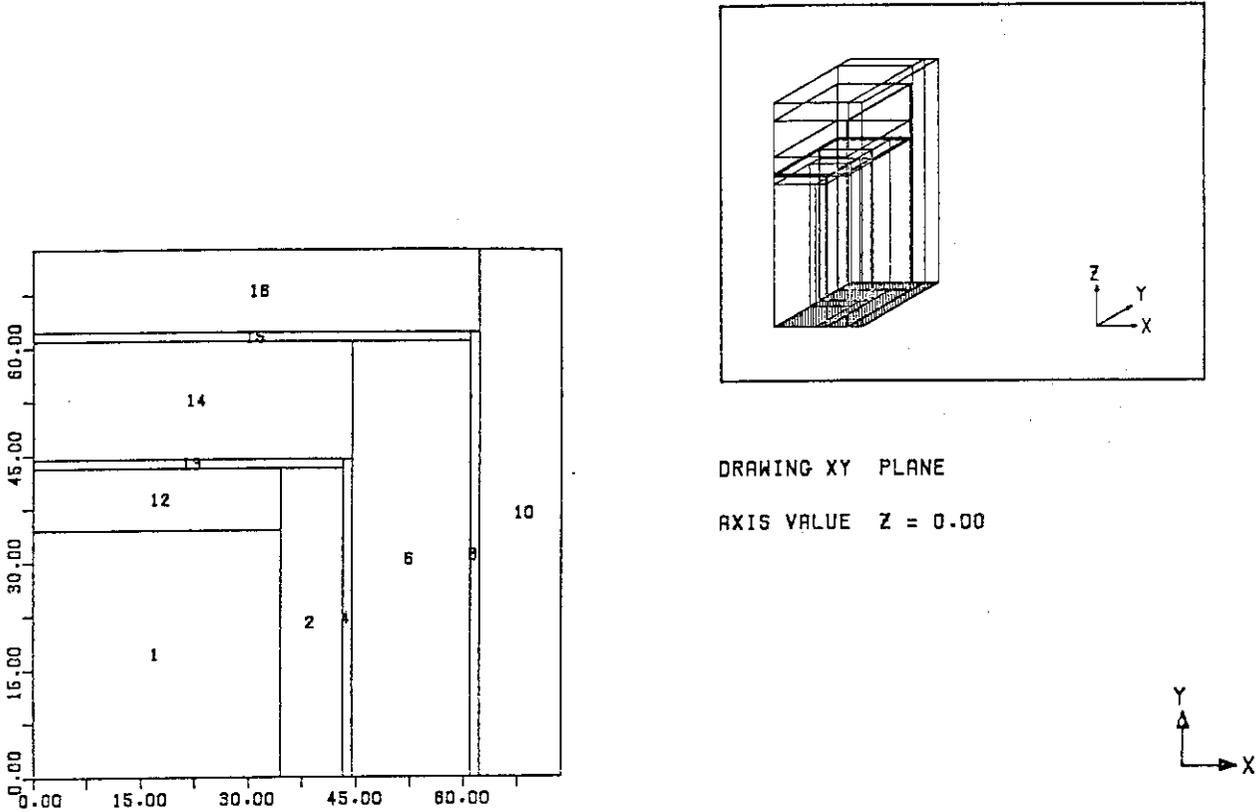


Fig. 5.4 (a) HEATING5 test run (3-dimension)
map of the regions

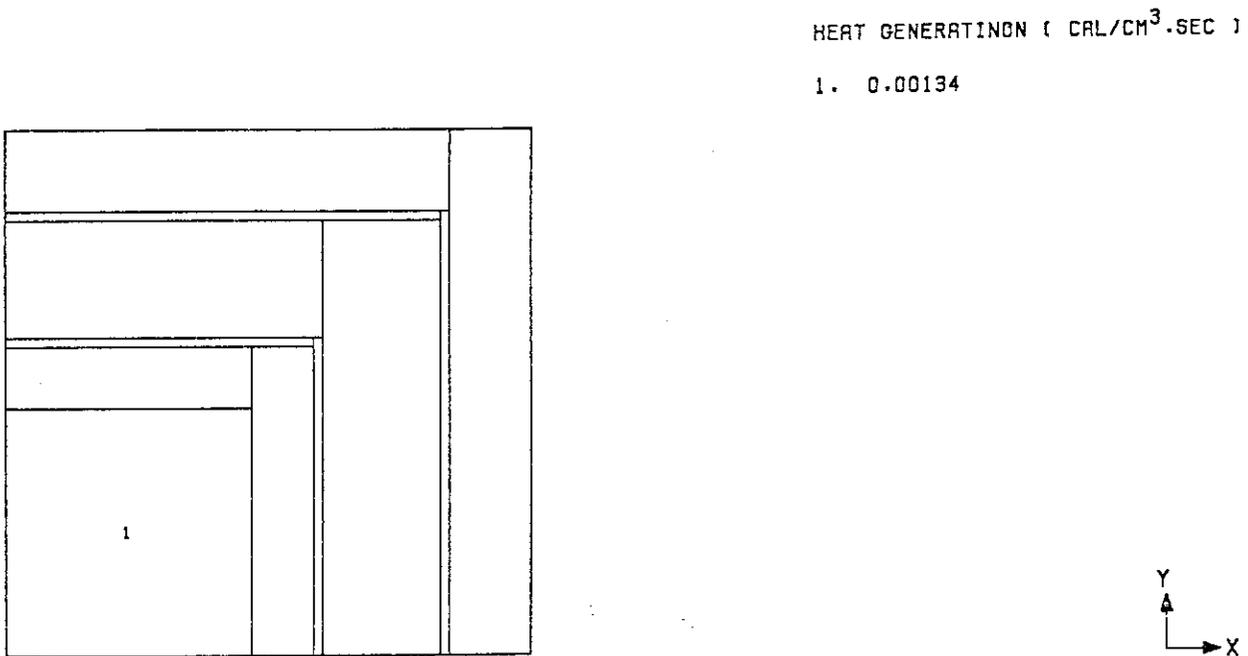


Fig. 5.4 (b) HEATING5 test run (3-dimension)
map of the materials

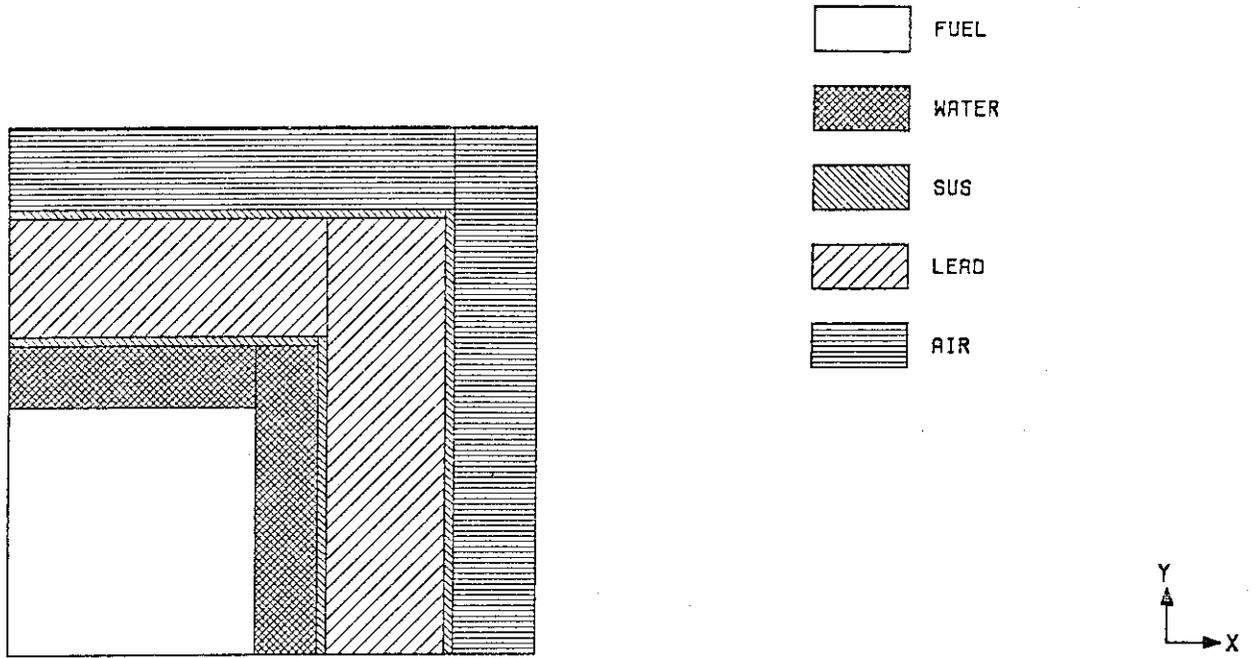


Fig. 5.4 (c) HEATING5 test run (3-dimension)
map of the regions with heat generation

INITIAL TEMPERATURE (C)

1. 38.0000

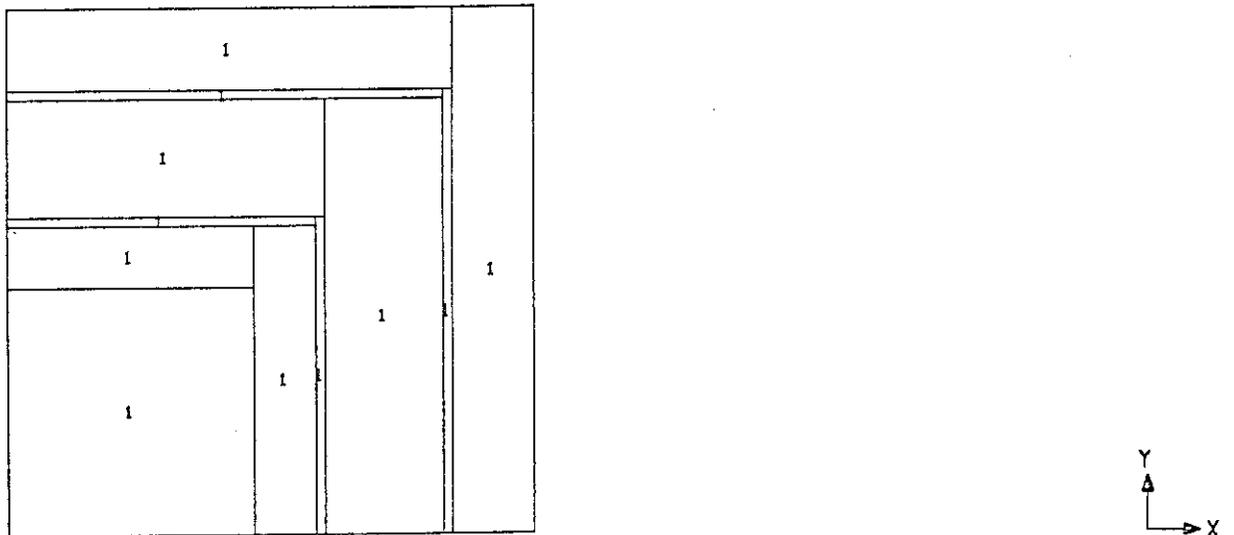


Fig. 5.4 (d) HEATING5 test run (3-dimension)
map of the initial temperatures

BOUNDARY CONDITION

⊙-⊙-⊙ 1. PRESCRIBED SURFACE TEMPERATURE

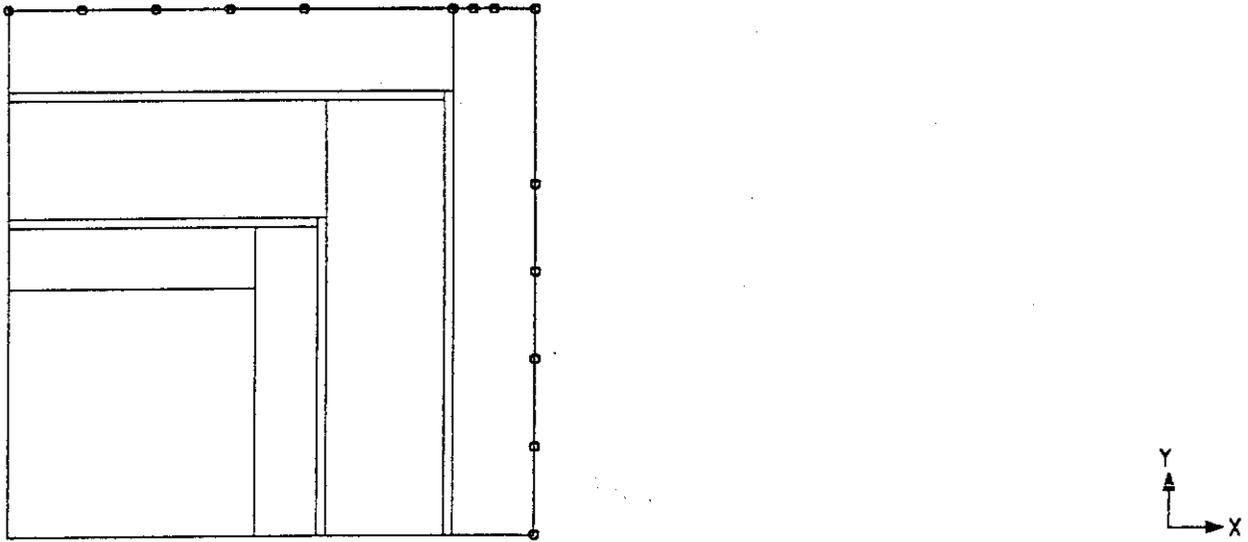
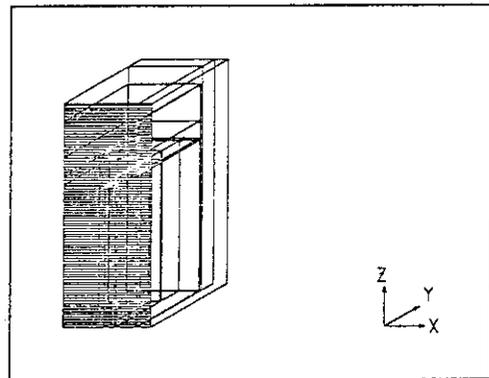
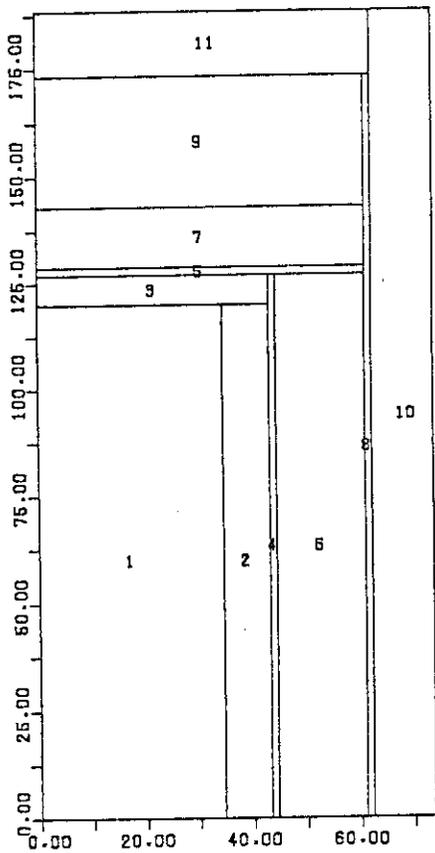
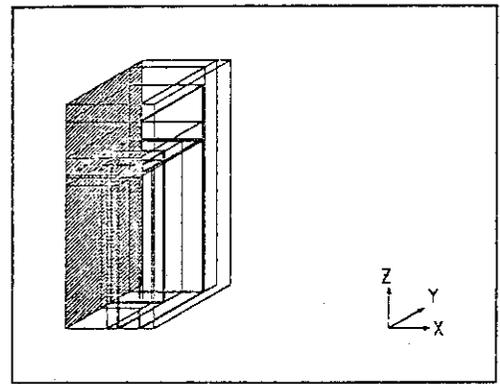
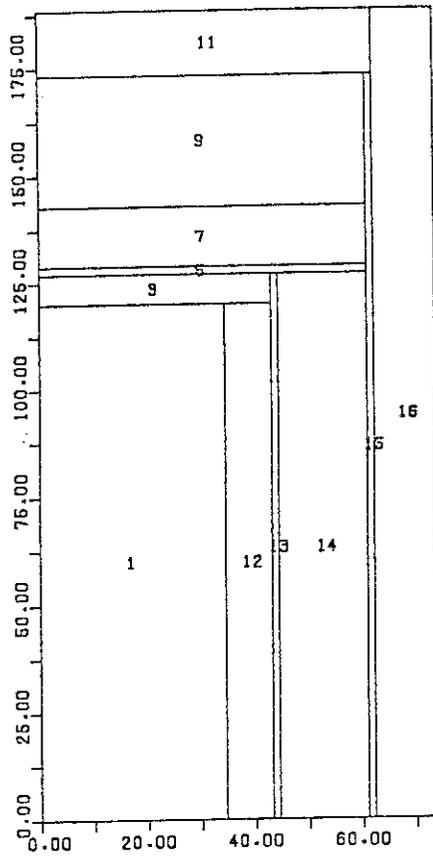


Fig. 5.4 (e) HEATING5 test run (3-dimension)
map of the boundary conditions



DRAWING XZ PLANE
AXIS VALUE Y = 0.00

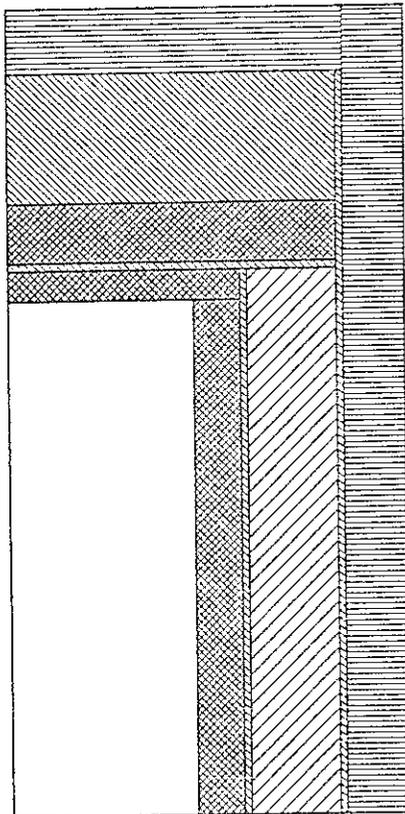
Fig. 5.4 (f) HEATING5 test run (3-dimension)
map of the regions



DRAWING YZ PLANE
 AXIS VALUE X = 0.00



Fig. 5.4 (g) HEATING5 test run (3-dimension)
 map of the regions



-  FUEL
-  WATER
-  SUS
-  LEAD
-  AIR

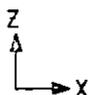


Fig. 5.4 (h) HEATING5 test run (3-dimension)
 map of the materials

6. POST-HEATING5 入力・出力形式

6.1 POST-HEATING5 の入力形式

POST-HEATING5 には次の機能がある。

- (1) 有限要素の入力図の作成
- (2) 有限要素の節点図の作成
- (3) 有限要素の要素図の作成
- (4) 有限要素の要素-節点図の作成
- (5) HEATING5 計算結果の温度変化図の作成
- (6) HEATING5 計算結果の温度分布図の作成
- (7) 応力用解析データの作成

入力データのコントロールデータは次のものから構成されている。

- (i) TITL データ
タイトルの指定
- (ii) MPLOT データ
有限要素形状図の作成
- (iii) TPLOT データ
温度変化図の作成
- (iv) CONTOUR データ
温度分布図の作成
- (v) STRESS データ
応力解析用データの作成
- (vi) END データ
データの終了

POST-HEATING5 の入力形式を Table 6.1 に示す。

コントロールデータは何回でも繰り返し使用できる。

6.2 POST-HEATING5 の出力形式

POST-HEATING5 の出力は出力を制御する入力データと形状データ、温度計算結果のデータならびに計算結果の図形表示および応力計算用のデータから構成される。

- (1) 印刷出力
 - (i) 出力制御のための入力データ
 - (ii) 形状データ (節点データ, 要素データ)
 - (iii) 温度データ

- (2) 図形表示
- (i) 要素節点図
 - (ii) 節点図
 - (iii) 要素図
 - (iv) 形状図
 - (v) 温度変化図
 - (vi) 温度分布図
- (3) 応力計算用データ
- (i) 形状データ (節点データ, 要素データ)
 - (ii) 温度データ

6.3 POST-HEATING5 の計算例

POST-HEATING5 の入力データ例を Table 6.2 に, 出力例を Table 6.3 に示す。
Fig. 6.1 ~ 6.4 は図形出力例である。Fig. 6.1 は 4 章で述べた HEATING5 の計算結果を図形表示したものであり, Fig. 6.2 は 3 次元構造体系の計算結果を図形表示したものである。

Table 6.1 Input data for POST-HEATING5

- (1) TITLE データ (A4, A2, 16A4, I2)

カラム	変数名	内 容
1~4	KEYT	TITL 指定
5~6	KEYH	HT 指定
7~70	ATITLE	問題のタイトル
71~72	IPLFIG	ダミー

- (2) MESH3D データ

- (2A) データセット 2A (A4)

カラム	変数名	内 容
1~4	KEY3D	MH3D 指定

- (2B) データセット 2B (2I5, 2F10.0)

カラム	変数名	内 容
1~5	ISW	要素節点番号フラッグ ISW = 0 : 番号表示なし ISW = 1 : 要素番号表示 ISW = 2 : 節点番号表示 ISW = 3 : 要素節点番号表示

Table 6.1 (Continued)

カラム	変数名	内容
6~10	JCOD	座標軸 JCOD = 1 : Z軸 JCOD = 2 : Y軸 JCOD = 3 : X軸
11~20	ALPHA	回転角 α
21~30	BETA	回転角 β

(2C) データセット2C(A4)

カラム	変数名	内容
1~4	KEYG	ELEG指定

(2C-1) データセット2C-1(3I5)

カラム	変数名	内容
1~5	FST	始要素番号
6~10	LST	終要素番号
11~15	INC	増分

(2D) データセット2D(A4)

カラム	変数名	内容
1~4	KEYL	ELEM指示

Table 6.1 (Continued)

(2D-1) データセット 2D-1 (I5)

カラム	変数名	内 容
1~5	N	選択する要素数

(2D-2)

カラム	変数名	内 容
1~80	IPN(I) I=1, N	要素番号

(2E)

カラム	変数名	内 容
1~4	KEYD	ENDE 指示

* データセット MESH3D は 3次元形状の場合だけ使用。

(3) MPLOT データ

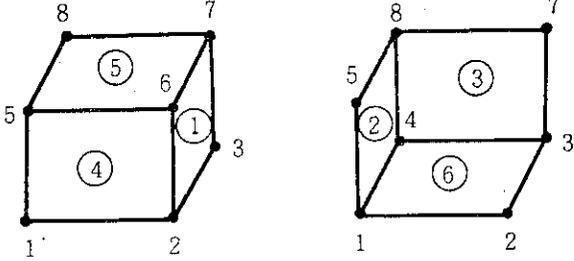
(3A) データセット 2A (A5)

カラム	変数名	内 容
1~5	KEYM	MPLOT を指定

(3B) データセット 3B (6I5)

カラム	変数名	内 容
1~5	IMPND	節点番号の PLOT の有無 0 = PLOT する 1 = PLOT しない
6~10	IMPEL	要素番号の PLOT の有無 0 = PLOT する 1 = PLOT しない
11~15	IMP3D	2次元 / 3次元の指定 0 = 2次元 1 = 3次元を2次元 (XY図) 2 = 同 上 (XZ図) 3 = 同 上 (XZ図)
16~20	IMPMEN	ダミー
21~25	ICOMEN	3次元の場合の指定要素のデータ読み込み数

Table 6.1 (Continued)

カラム	変数名	内容																																			
26~30	ICCMEN	<p>3次元の場合の面番号 8節点ブリック要素</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>面番号</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>J</td> <td>6</td> <td>5</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>8</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>6</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	面番号	1	2	3	4	5	6	I	7	8	7	6	7	3	J	6	5	8	5	8	4	K	2	1	4	1	5	1	L	3	4	3	2	6	2
面番号	1	2	3	4	5	6																															
I	7	8	7	6	7	3																															
J	6	5	8	5	8	4																															
K	2	1	4	1	5	1																															
L	3	4	3	2	6	2																															

(3C) データセット 3C(16I5)

カラム	変数名	内容
1~5	IIFLAG	3次元の場合の要素番号の読み込みフラッグ
6~10	NUMERO	IIFLAG = 0 : 要素1~NUMEROまで表示 IIFLAG ≠ 0 : ダミー
11~80	IIDATA	要素番号 IIFLAG = 0 : 要素番号 (IIDATA(K), K = 1, NUMERO) IIFLAG ≠ 0 IIDATA(1) : 初めの要素番号 IIDATA(2) : 終りの要素番号 IIDATA(3) : スキップ数

* データセット 3C は ICOMEN だけくり返す。

Table 6.1 (Continued)

(4) TPLOT データ

(4A) データセット 4A(A5)

カラム	変数名	内容
1~5	KEYT	TPLOT 指定

(4B) データセット 4B(12I5)

カラム	変数名	内容
1~5	ITPID	要素/節点の指数 0 = 節点 1 = 要素
6~10	ITPN	1 図に PLOT する要素/節点の数 (MAX. 10 個) } PLOT する要素/節点の番号を指定
11~15	ITPND	
16~20		
21~25		
⋮		
56~60		

(4C) データセット 4C(6F10.0)

カラム	変数名	内容
1~10	TPTS	PLOT の開始時刻 } 両者共 0.0 の時は, 計算時間全てを PLOT PLOT の終了時刻 } する
11~20	TPTE	
21~30	TPXMN	時間軸の開始値 } 両者共 0.0 の時プログラム内でラウンドし 時間軸の終了値 } て決める
31~40	TPXMX	
41~50	TPYMN	温度軸の最小値 } 両者共 0.0 の時プログラム内で決定する 温度軸の最大値 }
51~60	TPYMN	

(5) CONTOUR データ

(5A) データセット 5A(A4)

カラム	変数名	内容
1~5	KEYC	CONTOUR 指定

Table 6.1 (Continued)

(5B) データセット5B(F10.0, 4I5)

カラム	変数名	内容
1~10	COTIME	温度分布図の時刻を指定 計算時刻と一致しない時は、指定時刻より大きい最小の計算時刻が選択される。
11~15	ICOL	温度分布図の等温度の差 無指定の時 10本
16~20	ICO3D	2次元 / 3次元の区別 0 = 2次元 1 = 3次元 (XY) 2 = " (YZ) 3 = " (XZ)
21~25	ICOMEN	3次元の場合の指定要素のデータ読み込み数
26~30	ICCMEN	3次元の場合の面番号 8節点ブリック要素

面番号	1	2	3	4	5	6
I	7	8	7	6	7	3
J	6	5	8	5	8	4
K	2	1	4	1	5	1
L	3	4	3	2	6	2

(5C) データセット5C(16I5)

カラム	変数名	内容
1~5	IIFLAG	3次元の場合の要素番号の読み込みフラッグ
6~10	NUMERO	IIFLAG = 0 : 要素1 ~ NUMEROまで表示 IIFLAG ≠ 0 : ダミー

Table 6.1 (Continued)

カラム	変数名	内 容
11~80	IIDATA	要素番号 IIFLAG = 0 : 要素番号 (IIDATA (K), K = 1, NUMERO) IIFLAG ≠ 0 IIDATA (1) : 初めの要素番号 IIDATA (2) : 終りの要素番号 IIDATA (3) : スキップ数

* データセット5CはICOMENだけくり返す。

(6) STRESSデータ(A6)

カラム	変数名	内 容
1~6	KEYS	STRESS 指定

(7) ENDデータ(A3)

カラム	変数名	内 容
1~3	KEYE	END

Table 6.2 Input data of POST-HEATING5

```

*****
* INPUT DATA LIST *
*
*****
.....1.....*.....2.....*.....3.....*.....4.....*.....5.....*.....6.....*.....7.....*.....8
1 TITLHT CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5)
2 MPLOT 0
3 MPLOT 1
4 MPLOT 0
5 MPLOT 1
6 MPLOT 1
7 MPLOT 1
8 MPLOT 1
9 MPLOT 1
10 TPLLOT 2 185 192
11 0.0
12 780.0
13 CONTOUR
14 540.0 10
15 STRESS
16 END
.....*.....1.....*.....2.....*.....3.....*.....4.....*.....5.....*.....6.....*.....7.....*.....8

*** INPUT DATA END ***

```

Table 6.3 Output list of POST-HEATING5

```

===== INPUT DATA CHECK LIST =====

TITLE = CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5)

ELAPSED TIME = 0 (SEC)

MPLOT (MESH PLOT) DATA
IMPND = 0
IMPFL = 0
IMP3D = 0
IMPME = 0
ICOMEN = 0
ICCMEN = 0

```

Table 6.3 (Continued)

===== INPUT DATA CHECK LIST =====

TITLE = CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5)

ELAPSED TIME = 6 (SEC)

TPLOT (TEMP. VS TIME) DATA

ITPID = 0
 ITPN = 2
 ITPND = 185 192

PLOT RANGE DATA

TPTS = 0.0
 TPTE = 780.0000
 TPXMN = 0.0
 TPXMX = 0.0
 TPYMN = 0.0
 TPYMX = 0.0

===== PLOT DATA CHECK LIST =====

NODE NO. = 185

SEQ	XDATA	YDATA
1	0.0	20.0000
2	60.0000	51.3033
3	120.0000	108.5629
4	180.0000	158.6642
5	240.0000	202.3214
6	300.0000	240.8433
7	360.0000	275.4634
8	420.0000	306.9429
9	480.0000	336.0100
10	540.0000	356.9053
11	600.0000	349.9531
12	660.0000	333.0200
13	720.0000	312.7607
14	780.0000	292.0054

NODE NO. = 192

SEQ	XDATA	YDATA
1	0.0	20.0000
2	60.0000	74.6769
3	120.0000	160.5398
4	180.0000	228.1409
5	240.0000	283.1079
6	300.0000	328.7310
7	360.0000	367.4143
8	420.0000	400.7881
9	480.0000	429.9451
10	540.0000	443.3782
11	600.0000	416.8542
12	660.0000	379.2146
13	720.0000	340.8635
14	780.0000	304.9626

Table 6.3 (Continued)

===== INPUT DATA CHECK LIST =====

TITLE = CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5)

ELAPSED TIME = 8 (SEC)

CONTOUR DATA

COTIME = 540.0000
 ICOL = 10
 ICO3D = 0
 ICOMEN = 0
 ICCMEN = 0

===== PLOT DATA CHECK LIST =====

NUM. OF LEVEL = 11

SEQ	TEMPERATURE
1	204.5048
2	228.5642
3	252.6236
4	276.6829
5	300.7422
6	324.8015
7	348.8608
8	372.9202
9	396.9795
10	421.0388
11	445.0981

===== INPUT DATA CHECK LIST =====

TITLE = CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5)

ELAPSED TIME = 10 (SEC)

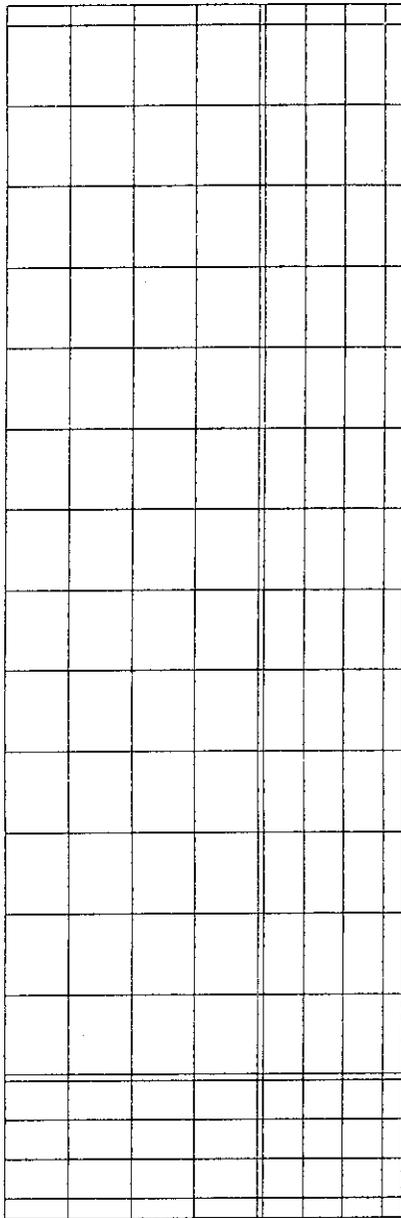
STRESS DATA

===== INPUT DATA CHECK LIST =====

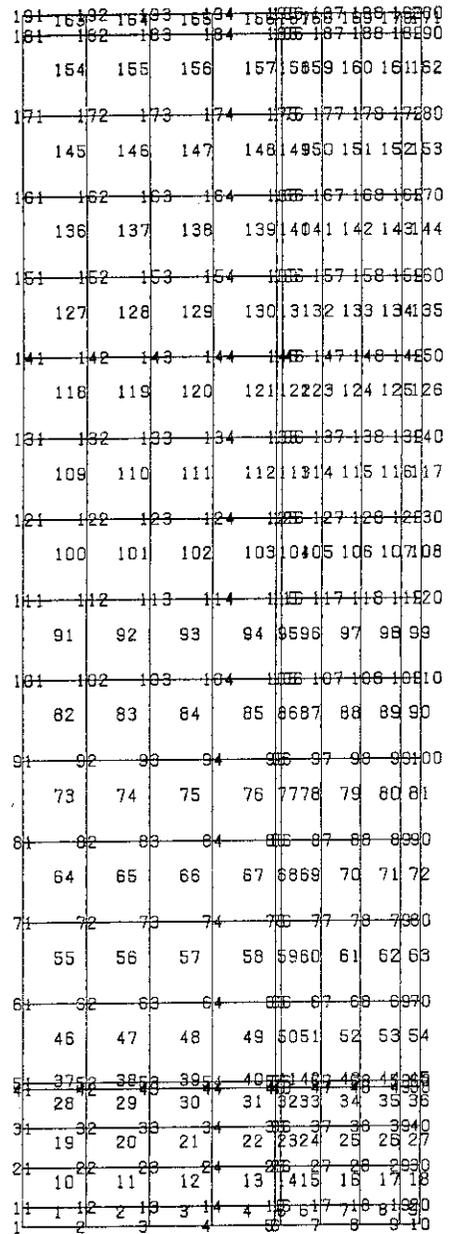
TITLE = CASK THERMAL ANALYSIS (HEATING-5)

ELAPSED TIME = 11 (SEC)

END DATA



GEOMETRY — = 3.013



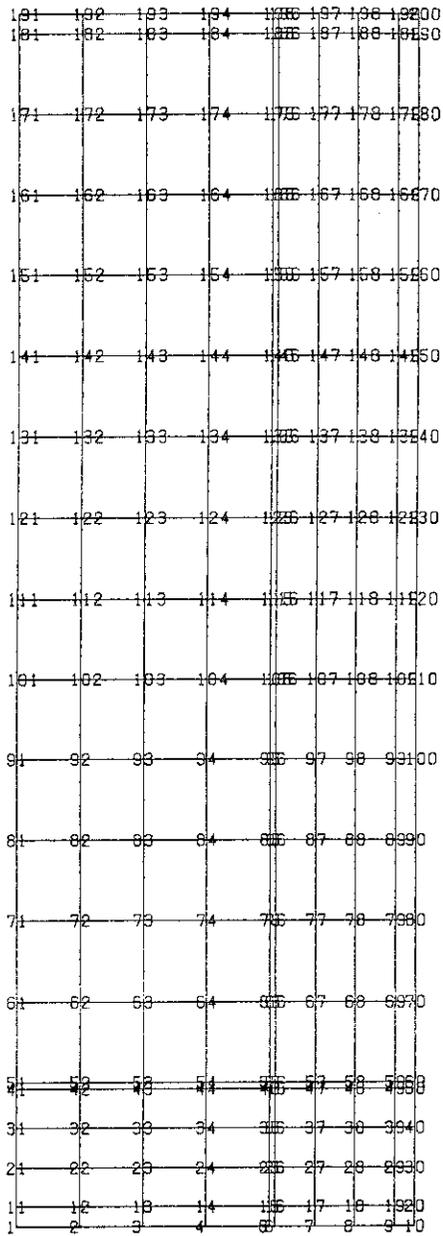
GEOMETRY — = 3.013

Fig. 6.1 (a)

Fig. 6.1 (b)

Cask thermal analysis (HEATING5)
geometry

cask thermal analysis (HEATING5)
element - node



GEOMETRY — = 3.813

153	164	165	166	157	168	169	170	171
154	155	156	157	158	159	160	161	162
145	146	147	148	149	150	151	152	153
136	137	138	139	140	141	142	143	144
127	128	129	130	131	132	133	134	135
118	119	120	121	122	123	124	125	126
109	110	111	112	113	114	115	116	117
100	101	102	103	104	105	106	107	108
91	92	93	94	95	96	97	98	99
82	83	84	85	86	87	88	89	90
73	74	75	76	77	78	79	80	81
64	65	66	67	68	69	70	71	72
55	56	57	58	59	60	61	62	63
46	47	48	49	50	51	52	53	54
37	38	39	40	41	42	43	44	45
28	29	30	31	32	33	34	35	36
19	20	21	22	23	24	25	26	27
10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	2	3	4	5	6	7	8	9

GEOMETRY — = 3.813

Fig. 6.1 (c)

Cask thermal analysis (HEATING5)
node

Fig. 6.1 (d)

Cask thermal analysis (HEATING5)
element

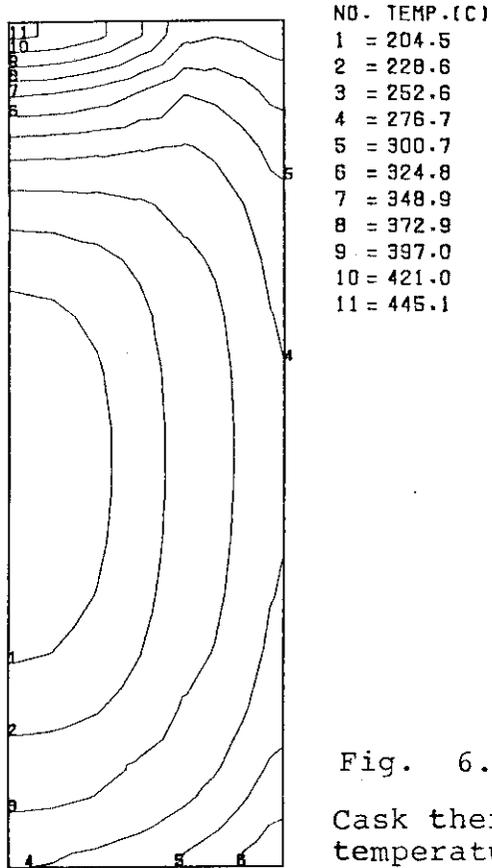


Fig. 6.1 (e)

Cask thermal analysis (HEATING5)
 temperature contour at time 540.00 (sec)

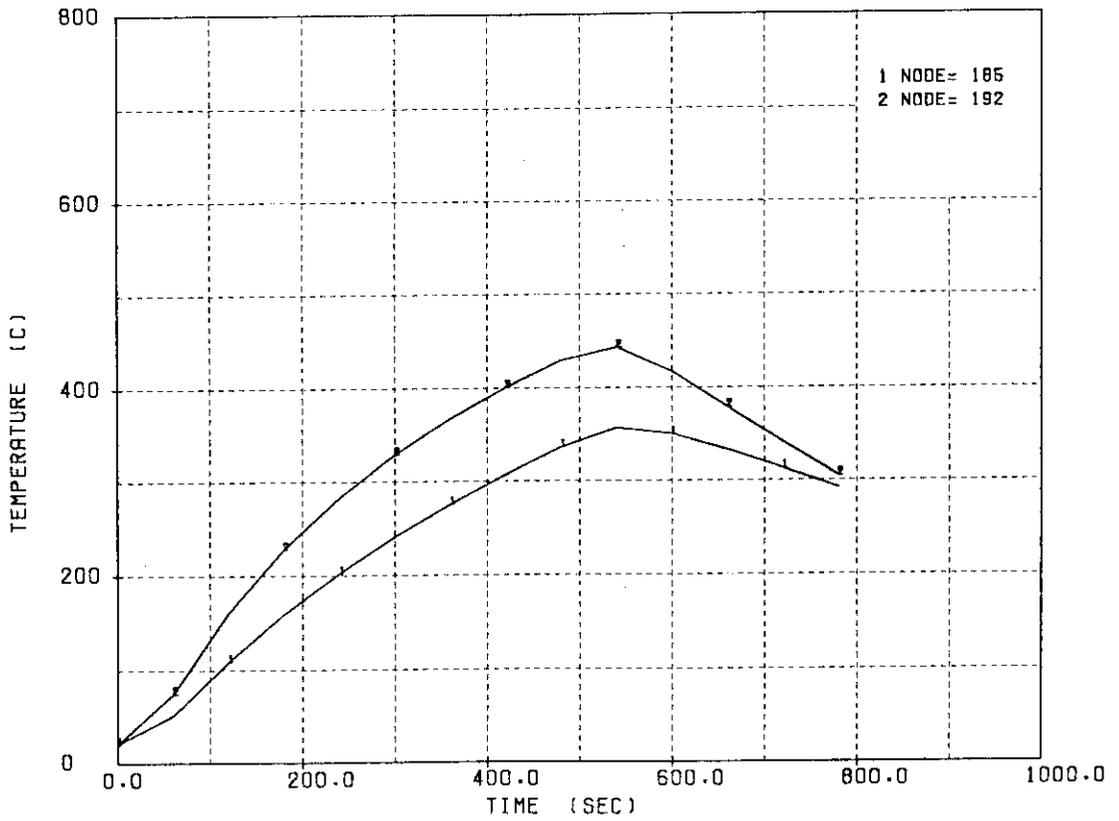


Fig. 6.1 (f) Cask thermal analysis (HEATING5)
 temperature vs. time

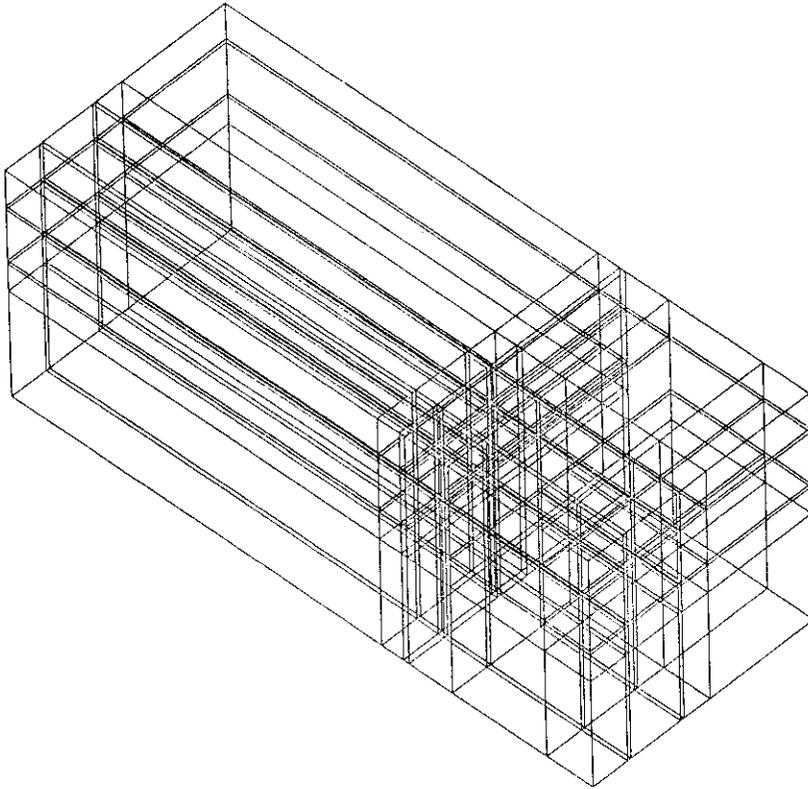
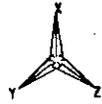


Fig. 6.2 (a) Cask thermal analysis
(HEATING5-JR sample Problem)
geometry (3-dimension)

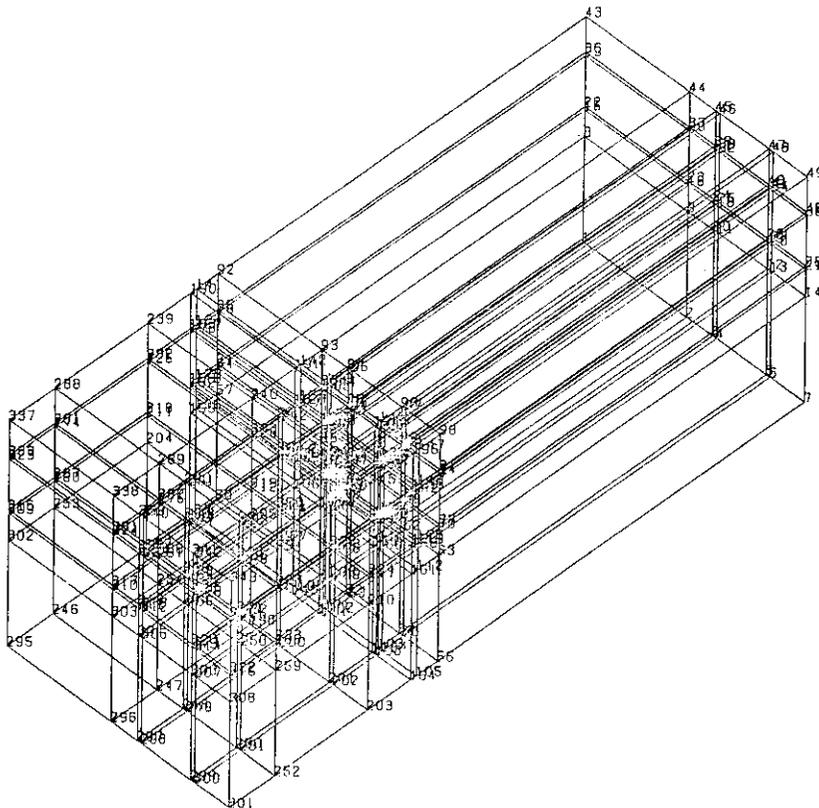
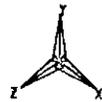


Fig. 6.2 (b) Cask thermal analysis
(HEATING5-JR sample problem)
geometry (3-dimension)

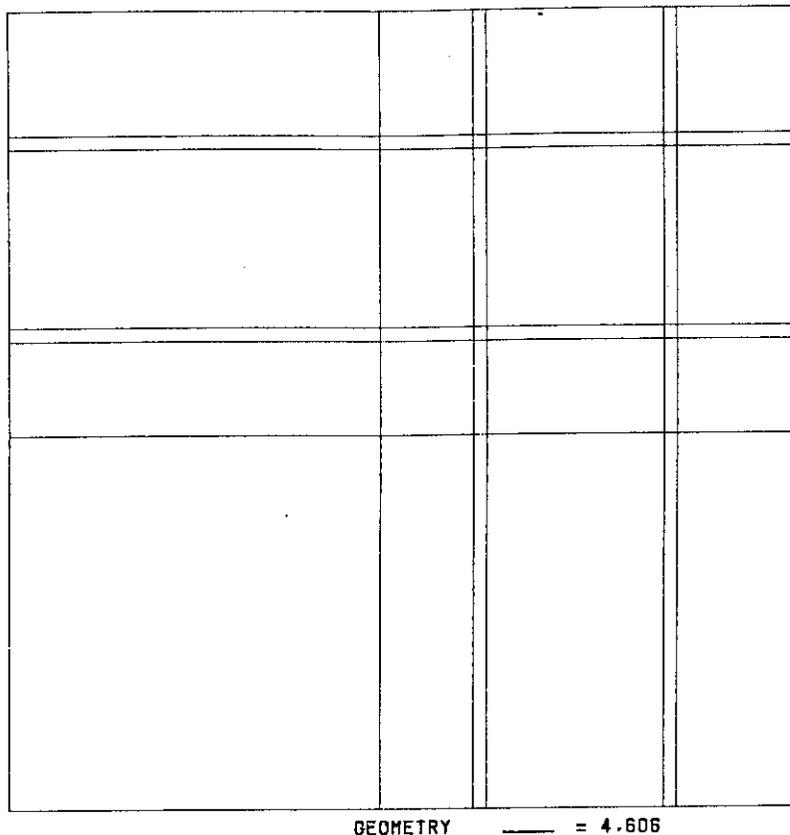


Fig. 6.2 (c) Cask thermal analysis
 (HEATING5-JR sample problem)
 geometry (X - Y)

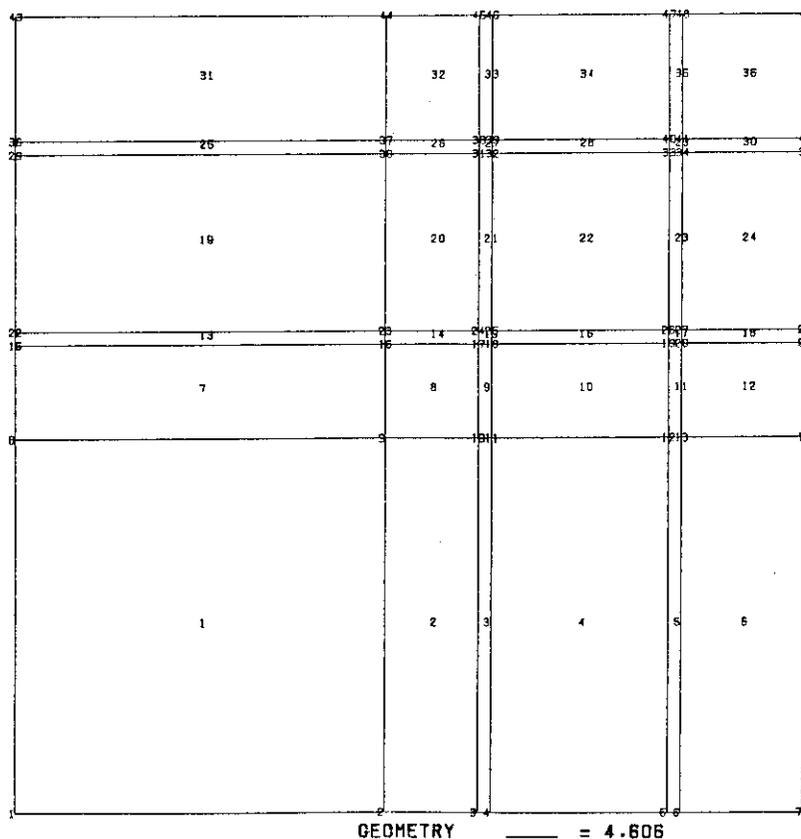


Fig. 6.2 (d) Cask thermal analysis
 (HEATING5-JR sample problem)
 element - node (X - Y)

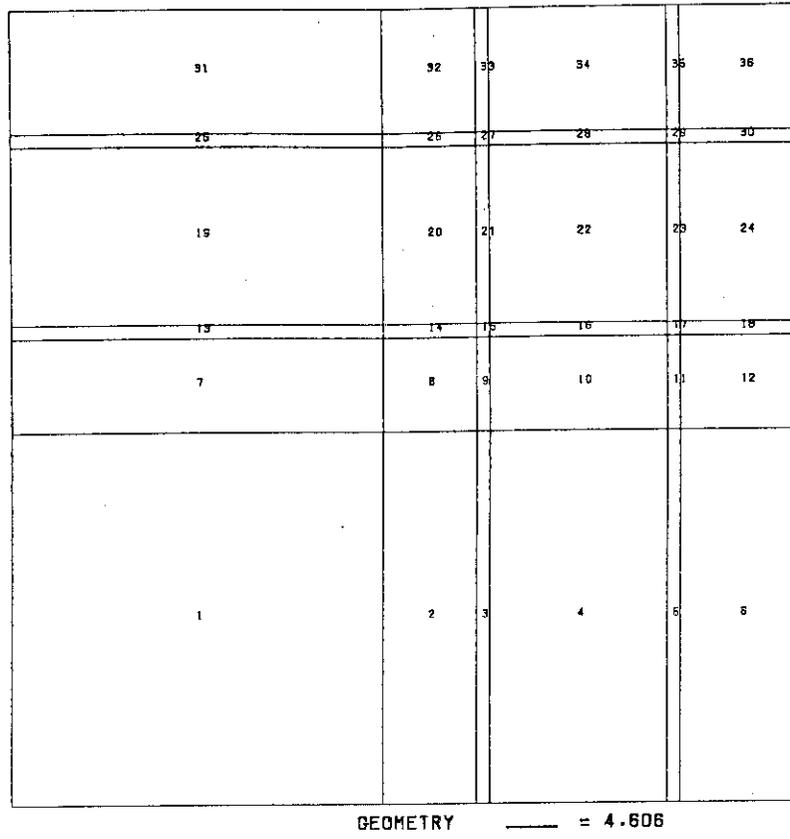


Fig. 6.2 (e) Cask thermal analysis
(HEATING5-JR sample problem)
element (X - Y)

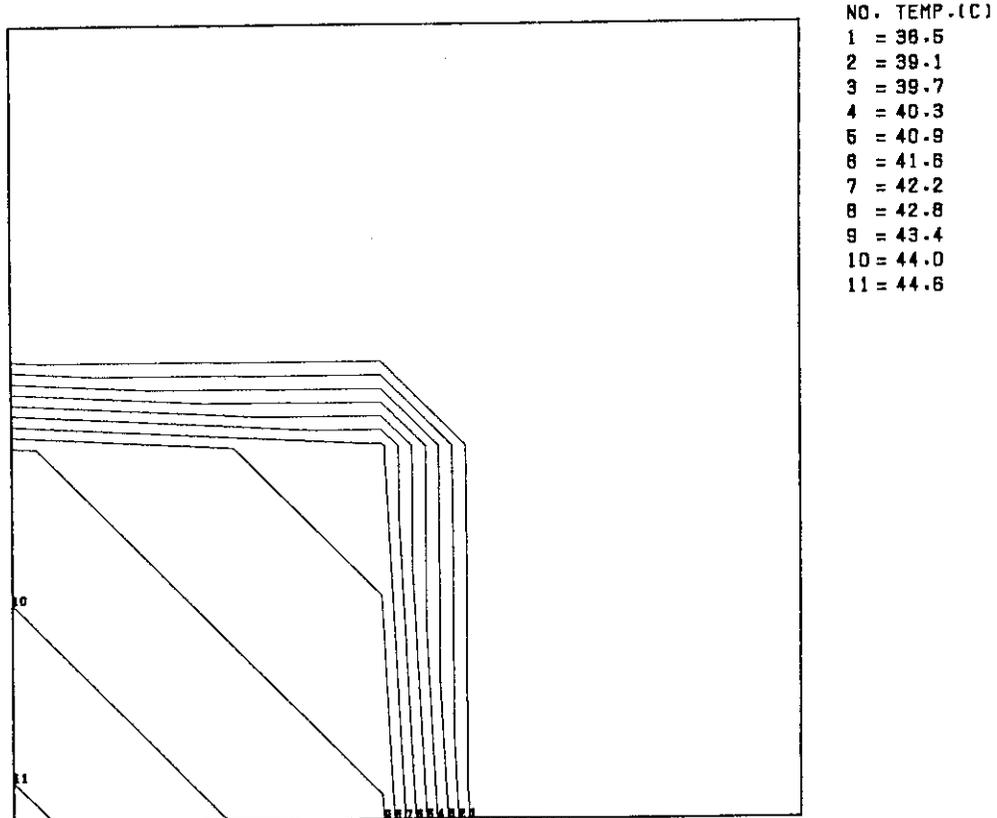


Fig. 6.2 (f) Cask thermal analysis
(HEATING5-JR sample Problem)
temperature contour (X - Y) at time 3500.00 (sec)

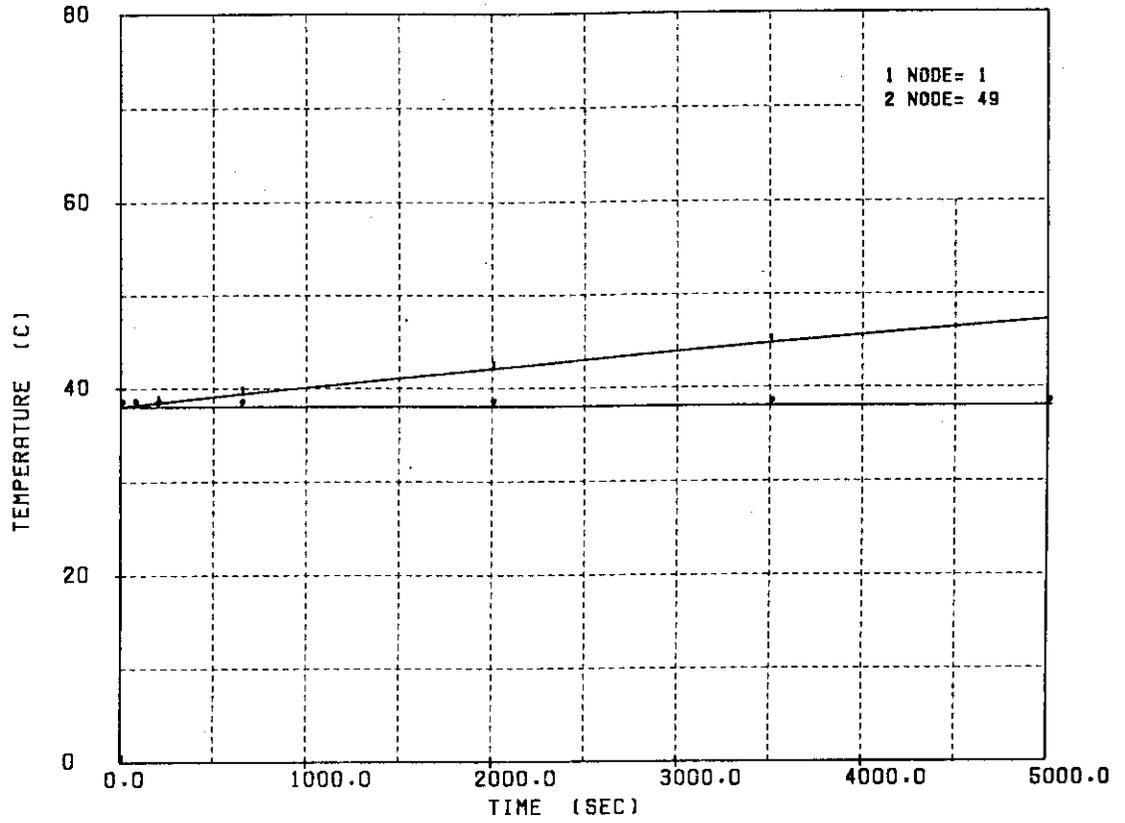


Fig. 6.2 (g) Cask thermal analysis
 (HEATING5-JR sample problem)
 temperature vs. time

7. ジョブ制御文

ジョブ制御文はTable 7.1～7.3に示す。計算プログラムの実行時に使用するファイルの番号および用途をTable 7.4～7.6に示す。

Table 7.1 Job control data for HEATING5

```
// EXEC PGM=HEATING5
//STEPLIB DD DSN=J2322.LMHEAT5J.LOAD,DISP=SHR
//FT05F001 DD *
//FT06F001 DD SYSOUT=*
//FT10F001 DD DSN=J2322.DTHEATG5.DATA(FEMTEST1),DISP=SHR
//FT20F001 DD DSN=J2322.DTHEATG5.DATA(TMPTEST1),DISP=SHR
```

Table 7.2 Job control data for PRE-HEATING5

```
// EXEC PGM=PREHEAT5
//STEPLIB DD DSN=J2322.LMHEAT5J.LOAD,DISP=SHR
//FT05F001 DD *
//FT06F001 DD SYSOUT=*
//FT10F001 DD DSN=J2322.DTHEATG5.DATA(HEATING5),DISP=SHR
```

Table 7.3 Job control data for POST-HEATING5

```
// EXEC PGM=POSTHEAT5
//STEPLIB DD DSN=J2322.LMHEAT5J.LOAD,DISP=SHR
//FT05F001 DD *
//FT06F001 DD SYSOUT=*
//FT10F001 DD DSN=J2322.DTHEATG5.DATA(FEMTEST1),DISP=SHR
//FT20F001 DD DSN=J2322.DTHEATG5.DATA(TMPTEST1),DISP=SHR
//FT31F001 DD DSN=J2322.DTHEATG5.DATA(SAPTEST1),DISP=SHR
```

Table 7.4 File for HEATING5

ファイル№	入出力	内 容
FT05F001	入 力	入力データ
FT06F001	出 力	出力プリント
FT10F001	出 力	POST-HEATING5 用出力 (形状データ)
FT20F001	出 力	POST-HEATING5 用出力 (温度データ)

Table 7.5 File for PRE-HEATING5

ファイル№	入出力	内 容
FT05F001	入 力	入力データ
FT06F001	出 力	出力プリント
FT10F001	入 力	HEATING5 データ

Table 7.6 File for POST-HEATING5

ファイル№	入出力	内 容
FT05F001	入 力	入力データ
FT06F001	出 力	出力プリント
FT10F001	入 力	HEATING5 の出力 (形状データ)
FT20F001	入 力	HEATING5 の出力 (温度データ)
FT31F001	出 力	応力解析用データ出力ファイル

8. 結 言

オークリッジ国立研究所で開発された非線形熱伝導計算プログラム HEATING5 に、入力データの図形表示のためのプリプロセッサおよび計算結果の図形表示のためのポストプロセッサを追加して、HEATING5-JR を作成した。HEATING5 の改良版 HEATING5-JR によって、核燃料輸送容器などの非線形熱計算の際、入力データのチェックおよび計算結果の整理が容易になるものと考えられる。今後、熱応力計算のために、HEATING5-JR のポストプロセッサに応力計算のための入力データ作成ルーチンを追加する予定である。

参 考 文 献

- (1) Edwards, A.L., "TRUMP: A Computer Program for Transient and Steady-State Temperature Distributions in Multidimension Systems", UCRL-14754, Rev. 3 (1972).
- (2) Turner, W.D., Elrod, D.C. and Siman-Toy, I.I., "HEATING 5 - An IBM 360 Heat Conduction Program", ORNL/CSD/TM-15 (1977).
- (3) 永田 浩, "私信", (1982年5月31日)。
- (4) Elrod, D.C., "REGPLOT: A Plotting Program to Graphically Check HEATING5 Input data", ORNL K/CSD/TM-12, (1977).

8. 結 言

オークリッジ国立研究所で開発された非線形熱伝導計算プログラム HEATING5 に、入力データの図形表示のためのプリプロセッサおよび計算結果の図形表示のためのポストプロセッサを追加して、HEATING5-JR を作成した。HEATING5 の改良版 HEATING5-JR によって、核燃料輸送容器などの非線形熱計算の際、入力データのチェックおよび計算結果の整理が容易になるものと考えられる。今後、熱応力計算のために、HEATING5-JR のポストプロセッサに応力計算のための入力データ作成ルーチンを追加する予定である。

参 考 文 献

- (1) Edwards, A.L., "TRUMP: A Computer Program for Transient and Steady-State Temperature Distributions in Multidimension Systems", UCRL-14754, Rev. 3 (1972).
- (2) Turner, W.D., Elrod, D.C. and Siman-Toy, I.I., "HEATING 5 - An IBM 360 Heat Conduction Program", ORNL/CSD/TM-15 (1977).
- (3) 永田 浩, "私信", (1982年5月31日)。
- (4) Elrod, D.C., "REGPLOT: A Plotting Program to Graphically Check HEATING5 Input data", ORNL K/CSD/TM-12, (1977).