

JAERI - M
86-084

核熱結合計算コードシステムの開発

1986年6月

山田 光文*・湊 章男**・関 泰
川崎 弘光*・前田 正隆*

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 Division, Department
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1986

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 山田軽印刷所

核熱結合計算コードシステムの開発

日本原子力研究所那珂研究所臨界プラズマ研究部

山田 光文^{*}・湊 章男^{**}・関 泰
川崎 弘光^{*}・前田 正隆^{*}

(1986年5月20日受理)

核融合炉等の設計において核発熱などによる炉コンポーネント中の温度分布を精度良く計算するために、核熱結合計算コードシステムを開発した。今回開発した計算システムは2次元体系を対象としており、核発熱が時間的に一定な定常問題のみならず崩壊熱のような非定常問題も取り扱うことができる。また結果の図形表示機能を充実させた。本計算システムを用いることにより2次元体系を対象とする核発熱による温度分布を高い精度で効率良く求めることが可能となった。

JAERI-M 86-084

Development of Coupled Nuclear -Thermal
Calculation Code System

Koubun YAMADA* , Akio MINATO** , Yasushi SEKI ,
Hiromitsu KAWASAKI* and Masataka MAEDA*

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

(Received May 20 , 1986)

In order to obtain accurate temperature distributions caused by nuclear heating in components of fusion reactors, a coupled nuclear-thermal calculation code system was developed. This code system can treat not only steady state nuclear heating problems but also non-steady problems such as decay heat problems in two-dimensional geometry. The calculated results are given in graphical forms.

With use of this code system, the accurate and efficient evaluation of two-dimensional temperature distribution caused by nuclear heating has become possible.

Keywords: Coupled Nuclear-Thermal Calculation, Fusion Reactor, Code System,
Nuclear Heating, Decay Heat, Temperature Distribution,
Two-Dimensional Model

* Century Research Center Corporation Ltd.

** Kawasaki Heavy Industries Ltd.

目 次

1. 序言	1
2. 核熱結合計算コードシステム	2
2.1 核計算コード	2
2.2 インターフェイスプログラム	2
2.3 伝熱計算コード	3
2.4 図形処理コード	3
3. 既存プログラムの改良点	6
3.1 核計算	6
3.2 伝熱計算	6
4. 入出力様式の変更点	9
4.1 核計算	9
4.2 伝熱計算	10
5. 図形処理コードTEMPLOT	11
5.1 概要	11
5.2 プログラム内容	11
5.3 入力様式	11
6. 計算コードシステムの応用計算	13
6.1 トリチウム増殖ブランケットの温度計算	13
6.2 可動遮蔽体の温度計算	14
7. 結言	24
謝辞	24
参考文献	25
付録	
入出力リスト	26

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Coupled Nuclear-Thermal Calculation Code System	2
2.1 Nuclear Calculation Code	2
2.2 Interface Program	2
2.3 Heat Transfer Calculation Code	3
3. Improvement of Existing Programs	6
3.1 Nuclear Calculation	6
3.2 Heat Transfer Calculation	6
4. Modification of Input/Output Format	9
4.1 Nuclear Calculation	9
4.2 Heat Transfer Calculation	10
5. Graphical Code TEMPLOT	11
5.1 Code Abstract	11
5.2 Contents of Programs	11
5.3 Input Format	11
6. Applications of Calculation Code System	13
6.1 Temperature Calculation of Tritium Breeding Blanket	13
6.2 Temperature Calculation of Removable Shield	14
7. Concluding Remarks	24
Acknowledgement	24
Reference	25
Appendix	
List of JCL, Input and Output	26

1. 序 言

核融合炉等の設計において核発熱などによる炉コンポーネント中の温度分布の計算は通常以下の様な手順で行われる。

- (1) まず核計算を行い中性子束、ガンマ線束の分布を計算する。
- (2) 次に核発熱定数を用いて中性子束とガンマ線束の分布を核発熱分布に変換する。
- (3) 以上の核計算で求められた核発熱分布を伝熱計算コードに入力できる形に変換する。
- (4) 核発熱分布などの入力データを用いて伝熱計算を行い温度分布を計算する。

多くの場合(1)、(2)の核計算と(4)の伝熱計算を行う人は異なっているため(3)の核発熱分布データの変換と受け渡しは、必ずしも厳密に行われていない。従来は核計算で求めた核発熱分布をグラフなどの形で表わし、それを伝熱計算を行う人が読み取って入力データを作成していた。このような方法は多大な労力を要するのみならず誤差を生じやすいという難点があり、この傾向は2次元計算では特に著しい。

このような難点を解決するために上記の(1)~(4)の段階を自動的に連続して行う核熱結合計算コードシステムを開発した。今回開発した計算システムは2次元体系を対象としており、核発熱が時間的に一定な定常問題のみならず崩壊熱のような非定常問題も取り扱うことができる。また結果の図形表示機能を充実させた。本計算システムを用いることにより2次元体系を対象とする核発熱による温度分布を高い精度で効率良く求めることが可能となった。

本報告書では開発した核熱結合計算コードシステムの内容の説明、利用方法及び計算例を紹介する。内容については、核計算、伝熱計算自体については既存の計算コードを用いているので簡単に述べ、今回開発した両コード間を結合するインターフェイスプログラム及び結果の図形表示プログラムに重点を置いて説明する。

なお、この計算コードシステムの利用の際に役立つ入出力リストを付録につけた。

2. 核熱結合計算コードシステム

核熱結合計算コードシステムとは、核及び伝熱計算コードのシステム化を意味し核発熱分布の計算機による受け渡しを中心として伝熱計算の計算精度の向上、入力データの簡素化などを目的として開発されたシステムである。本システムは核計算（核発熱計算）と伝熱計算（温度分布、温度変化計算）にわかれており、ともに2次元体系で定常及び非定常問題がとりあつかえる。Fig. 2.1に定常計算の場合の計算の流れを、Fig. 2.2に非定常計算の場合の計算の流れを示す。

2.1 核計算コード

核計算において核発熱（崩壊熱）を計算する場合いくつかの計算ステップを踏まなければならない。それぞれのステップで使用される計算コードは、核融合炉の核設計を目的とした各種ライブラリー（GICX40⁽¹⁾、THIDA Library⁽²⁾）とともにひとつおき整備されており、以下のようなコードが用意されている。詳細はそれぞれの文献を参照されたい。

(a) 二次元SnコードDOT 3.5⁽³⁾

運転中の中性子束計算、ガンマ線束計算を行う二次元輸送計算コード

(b) ACT 4 (THIDA-2)⁽⁴⁾

核融合炉の誘導放射能計算コード

(c) APPLE-2⁽⁵⁾

中性子束とガンマ線による各種の反応率、例えば核発熱率、線量率等の空間分布をプロットするコード

2.2 インターフェイスプログラム

今回開発したシステムの中で最も重要な部分は伝熱計算への核発熱の転送である。従来2次元計算のDOT/DETECTコードで核融合炉などの伝熱計算を行う場合、核発熱は内部発生熱としてカード入力していた。この時の核発熱は1次元核計算のものを内外挿して使っていたので、精度の良い結果は得られなかった。そこで核計算も伝熱計算と同様に2次元体系で行い核発熱データの転送を自動的に行えるようにした。

核計算、伝熱計算ともに2次元平面及び軸対称形状を計算モデルとしている点では一致しているが、数値解法では核計算は差分法、伝熱計算は有限要素法と異なるため、通常、形状入力データなどは異なる場合がある。伝熱計算において核発熱は要素ごとに入力する必要があるため、核計算でメッシュごとに求まる核発熱をそのまま伝熱計算に入力することはできない。但し、メッシュと要素とがまったく形状的に一致していれば問題はない。その場合両計算の形状入力データを全く同じに作成するという制限がつくが、核計算と伝熱計算を行う上では通常計算時間などの制限により形状入力データを同一にすることは良い方法とは言えない。メッシュと要素が一致しな

い場合（大部分のケースはこれにあてはまる）は要素の中心に一番近い核発熱を選択するようにした。一般的に、核計算のメッシュ数が伝熱計算の要素数より数倍～数十倍細かいことから、この方法は精度的にも問題はない。このように核発熱をファイルより転送し、自動的に内挿するインターフェイスプログラムを作成しDOT/DETECTコードに組み込んだ。今回は伝熱計算にはDOT/DETECTコードを用いたが、出力フォーマットさえ変えれば他の伝熱計算コードとの結合も可能である。

2.3 伝熱計算コード

伝熱計算コードには有限要素法による線形、非線形伝熱導問題の解析を行うDOT/DETECT⁽⁶⁾を用いた。このコードは2次元平面及び軸対称体系を対象とし、可変の4～8節点アイソパラメトリック要素を用いており、要素群はタイプ（平面、軸対称、対流、輻射あるいは冷却パイプ）に応じてブロック化して処理される。また、伝熱計算結果の節点温度をファイル出力する機能があり、このファイルは熱応力解析を行う場合や図形処理する場合の入力データに使用される。詳細は文献(6)を参照されたい。

2.4 図形処理コード

今回新たにDOT/DETECT用図形処理コードTEMPLOT（第5章参照）を作成した。このコードは計算形状の要素分割図、温度分布、温度変化等をプロットすることができる。

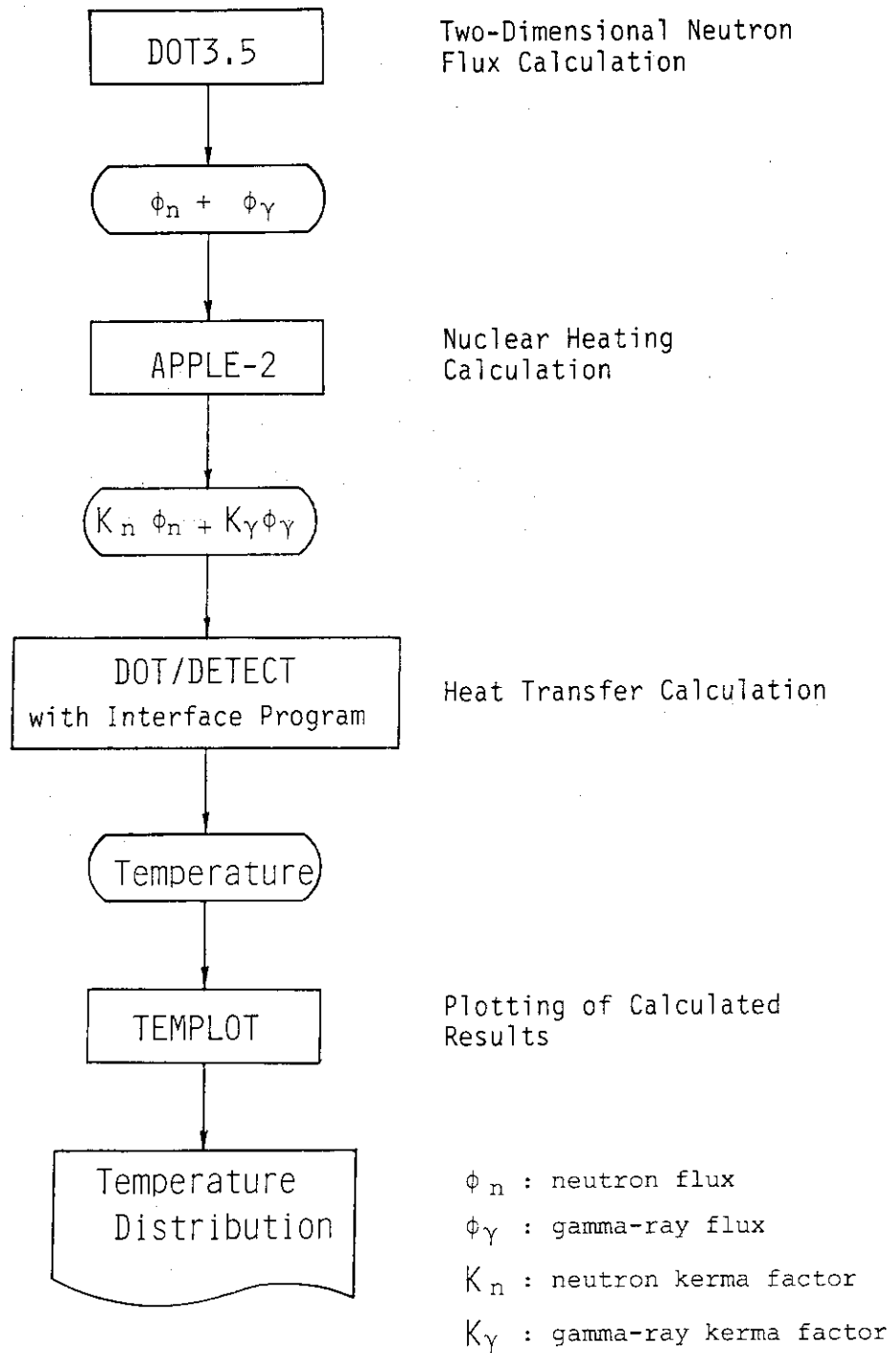


Fig.2.1 Calculation Flow for Steady State

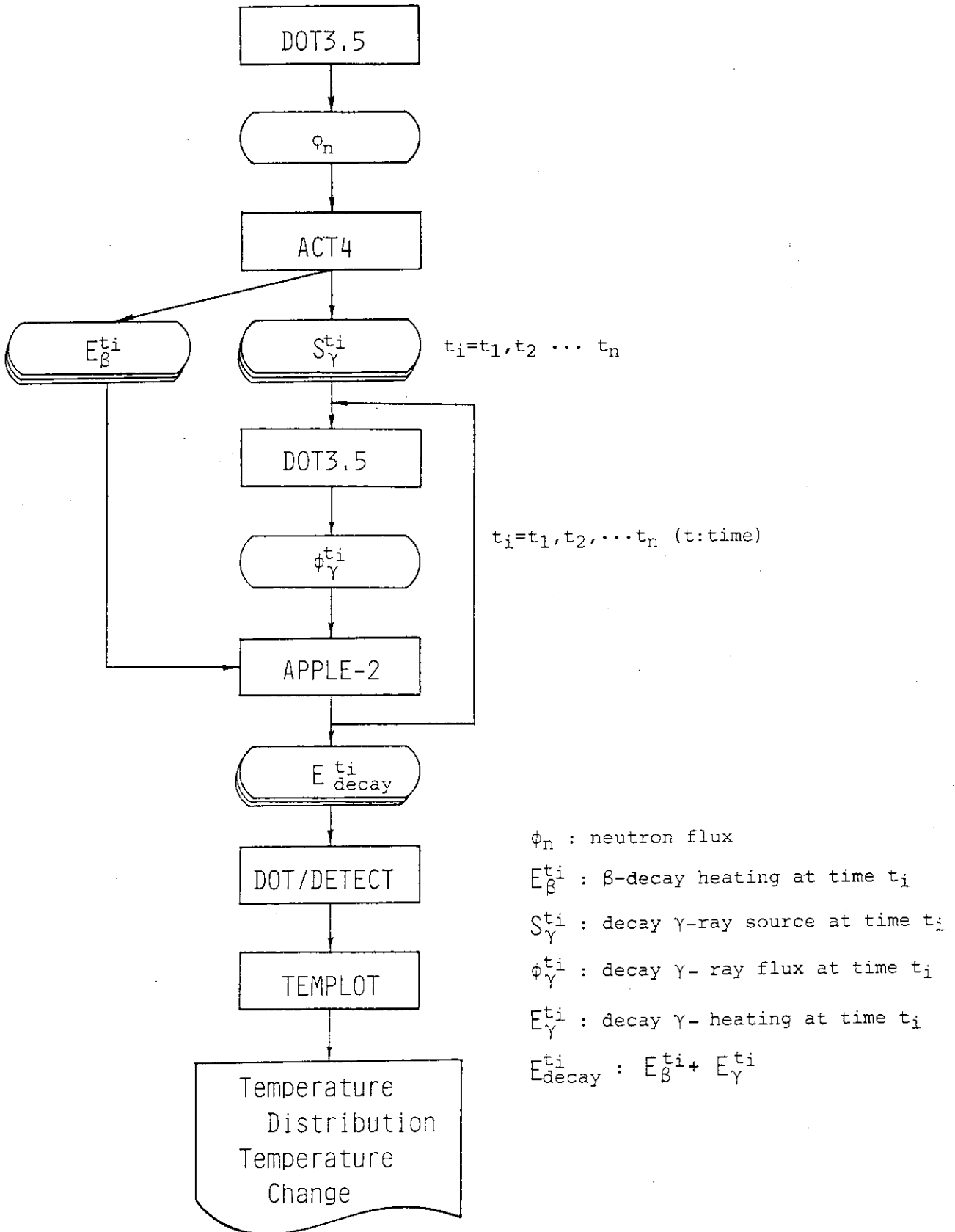


Fig.2.2 Calculation Flow of Transient State (such as Decay Heat Calculation)

3. 既存プログラムの改良点

3.1 核計算

今回の作業にともなう核計算コードの改良はAPPLE-2を除いて非定常問題に関するものである。以下に計算コードとその修正内容について記す。

(a) ACT 4

伝熱計算で非定常問題の核発熱分布をファイル入力するため、その崩壊熱及びガンマ線源分布を時間毎に出力するように改良した。これにより、従来必要時間数だけ行っていた計算作業が一回の計算ですむようになった。また、この改良により核計算において時間毎にガンマ線量などを求める場合にも便利になった。また、転送ファイルにガンマ線源分布を出力する時間を書込みAPPLE-2でチェックすることを可能とした。

(b) DOT 3.5

非定常問題において、入力するガンマ線源ソースファイルの中の時間をガンマ線束ファイルに書込み、APPLE-2に転送するようにした。

(c) APPLE-2

伝熱計算へ転送する核発熱ファイルを新たに作成するようにした。また、崩壊熱ファイルを読み込み炉停止後における時間毎の総発熱量を求め、転送ファイルを作成する機能（非定常運転時）を追加した。この時、時間をチェックしてファイルへ書込み伝熱計算へ転送する。

3.2 伝熱計算 (DOT/DETECT)

伝熱計算コードの修正は核発熱の入力及びセットを中心に大きく分けて5つある。修正内容を以下に記す。また、Fig. 3.1に修正、追加したサブルーチンのプログラムツリー構造を示す。

(1) 核発熱の入力と初期設定値

核発熱の入力は内部熱発生オプションにより行われ、プログラム中で時間関数 $(f(t), t)$ を掛けることにより計算される。つまり $H = (f(t), t) \times Q$ の形式で核発熱は時間関数として内挿される。そこで非定常問題も考慮し $(f(t), t)$ には時間 t における核発熱（崩壊熱）を入力し Q には 1.0 を無次元量として入力するように修正をした。この時、核発熱のない物質（要素）では Q を 0.0 とする。また、定常計算において核発熱を時間関数として与えるためには、最低2つの時刻点の核発熱を入力しなければならないため、2つの時刻点 t_0 、 t_1 は各々 0.0 及び 10.0 時間と設定してそれぞれに同じ核発熱をセットするようにした。

(2) 時間関数 (核発熱) のファイル出力オプション

核発熱はバイナリファイルより入力されるため修正やチェックが困難である。そこでオプションによりカード入力と同様のフォーマットでファイル出力（カードイメージ）を可能にした。故に修正、チェックなども容易にでき、次の計算での核発熱のカード入力も可能となった。

(3) 核発熱以外の時間関数の入力オプション

核発熱を内部発生熱としてファイルより入力し時間関数として内挿した場合、その他の節点境界条件などは時間関数とすることができない。そこで、核発熱以外の時間関数も必要に応じてカードから入力可能にした。

(4) 入力する核発熱（崩壊熱）ファイルの時刻点の変更

非定常問題の場合、何点かの時刻の核発熱をファイルより入力して時間関数とする。この時、任意時刻の関数値は関数表より線形的に内挿して求められる。炉停止1日後から解析を始めるような場合、核発熱ファイルより入力する時刻点は86,400秒（1日）であり、伝熱計算での時刻点は開始時刻であるから0秒となる。このような時、プログラム上では時間関数（核発熱）の最初の時刻点と解析開始時刻を一致させる必要があるので、核発熱を時間関数として内挿できない。そこで、カード入力により核発熱の時刻点を必要に応じて変更できるようにした。

(5) プリント出力オプション

実行モードにおいてあまり必要と思われない入力データの出力についてオプションにより抑制できるようにした。また、各データのコントロール情報については簡潔な出力形式とすることを可能とした。

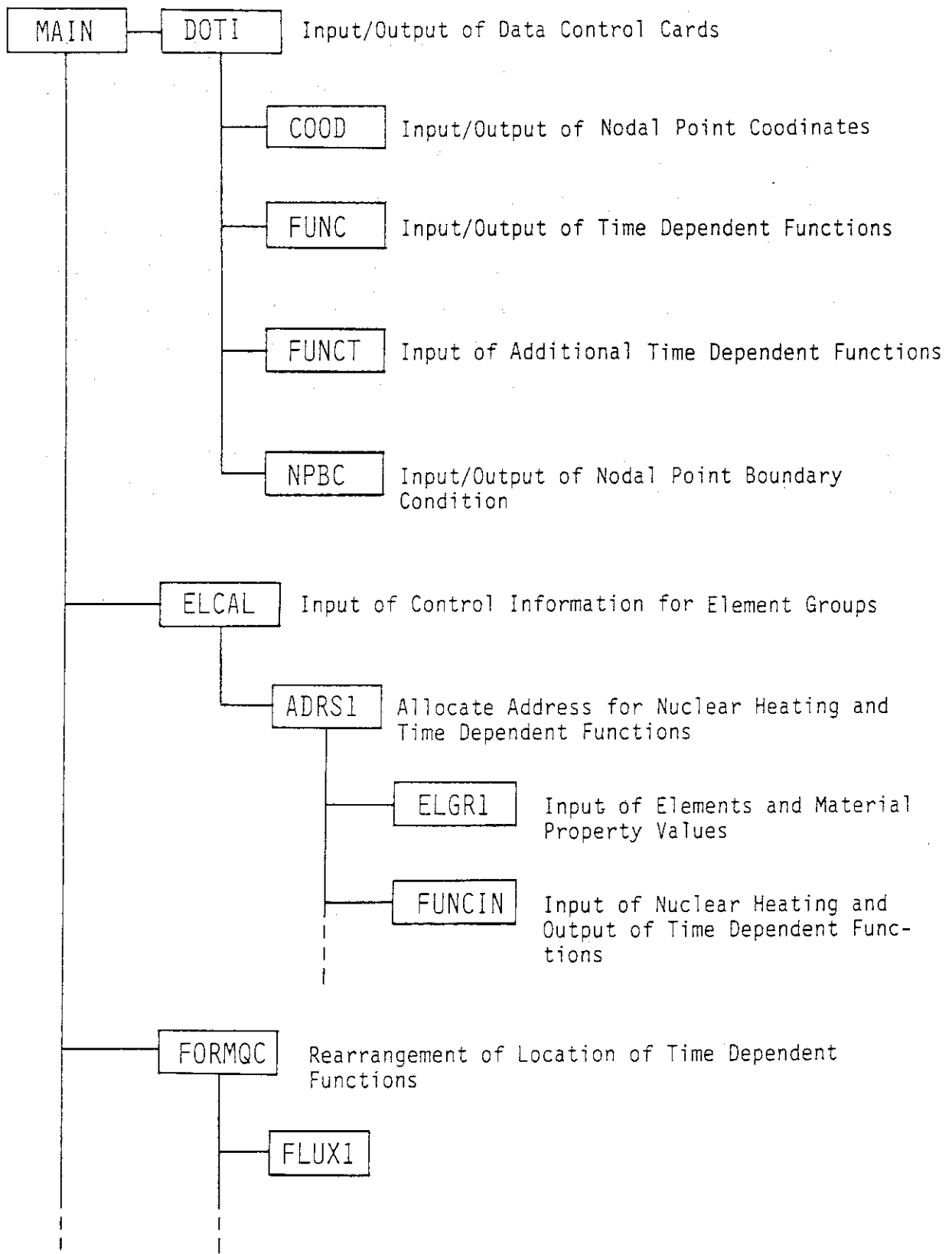


Fig.3.1 Revised Portion of Program Tree Structure of DOT/DETECT

4. 入出力様式の変更点

ここでは、入出力様式の変更点のみを記す。従来の使用方法については、THIDA-2⁽⁴⁾、APPLE-2⁽⁵⁾、DOT/DETECT⁽⁶⁾などの文献を参照されたい。

4.1 核計算

(1) ACT 4

従来の入出力様式は文献4)を参照のこと。

《入力データの追加, 変更》

CARD 14-1 (4I6)

- | | | |
|-----------|---|---------------------------|
| 1. ISDRW | : | 従来どおり |
| 2. ISTRW | : | " (但し, 時間毎に出力する際は1をセット) |
| 3. IESW | : | " |
| 4. ISTRDF | : | <u>炉停止後の出力する時間の数 (追加)</u> |

《ファイル出力機番 (ISTRDF個)》

ガンマソース : FT 17, FT 27, FT 37, ……………, FT 87, FT 97
崩壊熱 (ベータ) : FT 18, FT 28, FT 38, ……………, FT 88, FT 98

* ファイル出力の時間単位は sec (秒) とする。

(2) DOT 3.5

出力ファイルにガンマソースの時間を書込むように修正した以外の入出力データは従来どおり。

(3) APPLE-2

従来の入出力様式は文献5)を参照のこと。

《入力データオプションの追加》

" RCAL" (4I3, E 12.0, 3I3)

- | | | |
|-----------|---|------------------------------|
| 1. NFX | : | 従来どおり |
| 2. NGE | : | " |
| 3. ID3 | : | " |
| 4. MOPT | : | " |
| 5. CF | : | " |
| 6. IGMAXK | : | " |
| 7. NDX | : | " |
| 8. IDSL | : | <u>核発熱ファイル作成出力オプション (追加)</u> |

= 0 : 通常 (ファイル作成は行わない)

> 0 : 反応率の ID 番号, この時 FT 26 にファイルを作成する。

4.2 伝熱計算 (DOT/DETECT)

従来の入出力様式は文献(6)を参照のこと。

《入力データの変更点》

CARD-Ⅲ 主コントロールカード (5I5)

- | | | |
|-----------|---|------------------|
| 1. NUMNP | : | 総節点数 |
| 2. NEG | : | 要素タイプ数 |
| 3. NUMEST | : | 最大記憶容量 |
| 4. MODEX | : | 実行モード |
| 5. NPROP | : | プリント出力オプション (追加) |

0あるいはブランクのとき従来どおりの出力, 1のとき節点座標, 境界節点条件, 要素データ, 物性値情報を出力しない。

CARD-V 境界条件関数

A. 1 コントロール情報 (8I5)

- | | | |
|---------|---|--|
| 1. NBCF | : | 境界条件の関数の数 (要素数 (NEL 1) と物性値数 (NUMAT) は1対1の対応) |
| 2. NPTM | : | 関数を定義する定義点の最大数 (入力する核発熱ファイル, 時刻点の数 > 2) |
| 3. NNBC | : | 熱流節点あるいは温度境界節点の数 |
| 4. NHIN | : | 核発熱ファイル入力機番 (定常計算のとき 4, 非定常計算のとき 8, = 0の場合カード入力) |
| 5. NHOU | : | 時間関数ファイル出力オプション (= 1のとき, 機番 90のファイルにカードイメージで出力) |
| 6. NTF | : | カード入力する追加時間関数の数 |
| 7. NTP | : | 追加時間関数の定義点の最大数 |
| 8. NTC | : | 核発熱ファイルの時刻点の変更 (= 1のとき変更) |

A. 2 核発熱ファイルの時刻点の変更カード (NTC = 2のときNPTM枚必要)
(I5, F10.0)

- | | | |
|----------|---|----------------------|
| 1. JJ1 | : | 1からNPTMまでシーケンス番号の入力 |
| 2. CTIME | : | JJ1番目の時刻点の入力 (単位: 秒) |

B. 時間関数データカード (NTF組必要)

従来どおりの入力 (但し, 関数番号はNBCF + 1から)

5. 図形処理コードTEMPLOT

5.1 概 要

温度分布や温度変化などをプロットするためにスケーリングなど考慮したDOT/DETECT用プロットプログラムを、今回新たに作成した。

5.2 プログラム内容

プログラムは大きく分けて4つのプロットルーチンより構成され、それぞれ入力オプションにより温度分布や温度の時間的変化をプロットする。以下にその内容を記す。

(1) プロット1

節点座標、要素などをチェックするため、入力データ形状をプロットする。

(2) プロット2

温度分布を必要時間毎にプロットする。このとき、等温線に温度値をプロットするようにした。

(3) プロット3

節点温度の時間的変化をプロットする。縦軸の温度及び横軸の時間は自動スケーリングとし、さらに時間の出力単位をオプションにより選択できるようにした。(秒, 時, 又は日)

(4) プロット4

板厚方向の温度勾配をプロットする。縦軸の温度及び横軸の板厚は自動スケーリングとした。これらのプロットは、DSCAN用オプションによりカラーリングしわかりやすい出力を得ることができる。また、通常出力(NLP出力)はそのままレポート等に利用できる形式とした。

5.3 入力様式

以下に入力カードの内容を記す。

A. 主コントロールカード(7I5)

CARD 1

- | | | |
|-----------|---|----------------------------------|
| 1. ICPL | : | プロット1, 要素・節点座標チェック (= 1のときプロット) |
| 2. ITDPL | : | プロット2, 温度分布プロット (= 1のときプロット) |
| 3. ISPL | : | プロット3, 節点温度の時間的変化 (= 1のときプロット) |
| 4. IIPL | : | プロット4, 板厚方向の温度勾配 (= 1のときプロット) |
| 5. ITS | : | 時間ステップ数 |
| 6. IDSCAN | : | DSCANオプション (0/1 : PLOTTER/DSCAN) |
| 7. IUNIT | : | 時間の出力単位 (0/1/2 : 秒/時/日) |

B. 温度分布プロットカード (ITDPL = 1 のとき必要)

CARD 1

1. コントロールカード (2I5)

- a) NNPL : 温度点の数
- b) NNTS : プロットする時間ステップ数

CARD 2

2. プロットする温度 (7 F 10.0)

- PTEM : NNPL 個入力

CARD 3

3. プロットする時間ステップ (12I5)

- NTIME : NNTS 個入力

C. 節点の温度変化プロットカード (ISPL = 1 のとき必要)

CARD 1 (12I5)

- 1. MSN : プロットする節点の数
- 2. MSET : 節点番号 (MSN 個)

D. 板厚方向の節点温度のプロットカード (IIPL = 1 のとき必要)

CARD 1

1. コントロールカード (12I5)

- a) JNTS : 時間ステップ数
- b) JNSE : 節点数

CARD 2

2. プロットする時間ステップ (12I5)

- JTS : JNTS 個入力

CARD 3

3. プロットする節点 (12I5)

- JSE : JNSE 個入力

6. 計算コードシステムの応用計算

今回開発した計算コードシステムの応用として核融合実験炉 (FER)⁽⁷⁾ のトリチウム増殖ブランケットと可動遮蔽体について核発熱及び伝熱計算を行った。

6.1 トリチウム増殖ブランケットの温度計算

(a) 計算モデル

Fig. 6.1 にブランケット容器のポロイダル断面を示す。図においてブランケット容器は上下対称になっているので、今回の計算モデルは上半分のみを対象とした。

(b) 核発熱

Fig. 6.2, 6.3 に DOT 3.5 で計算された核発熱分布及び DOT/DETECT へ入力された核発熱分布を示す。図より、核発熱は DOT 3.5 及び DOT/DETECT でほぼ一致していることがわかる。これにより、今回のコードシステムの中心課題であった核発熱の転送はほぼ満足されていることがわかる。

(c) ブランケット増殖領域の温度分布

Fig. 6.4 にブランケット増殖領域の計算モデルを示す。ブランケット容器の外側及び冷却材まわりは He ギャップ (Li_2O の使用温度を 400°C 以上⁽⁷⁾ に保つため熱抵抗層に相当する) を設け、 Li_2O 層内には外側に He ギャップを設けた冷却配管が配列されている。(図では H_2O と示す)。Fig. 6.5 に He ギャップ幅を一定とした場合の定常運転時の Li_2O 層内の温度分布を示す。図では、 Li_2O の最高温度が $1,000^\circ\text{C}$ 以上になっている所が存在する。現在のブランケット設計では Li_2O 使用最高温度を 700°C と設定している。そこで、最高温度が 700°C 以下になるように主に高温部近辺の冷却材まわりのギャップ幅を調整した。ギャップ幅の調整により、最高温度が約 700°C となった時の計算結果を Fig. 6.6 に示す。しかし、このときの調整は手作業で 6 回ほど繰り返して行なったが、与えられた熱負荷でギャップ幅の調整等により所定の温度範囲が自動的に得られるようにすると便利であろう。

(d) ブランケットの時間的溫度変化

ブランケットのギャップ幅を調整した計算モデルを使い Li_2O 層内の温度の時間的変化を計算した。冷却条件としては、通常運転時と冷却材が停止した場合 (冷却材喪失事故を想定) とを考慮した。ここでは、最高温度を示す節点の温度の時間変化を示した。まず、立上げ時の温度の時間的変化を Fig. 6.7 に示す。通常、冷却材がある場合は 100 分後に約 700°C で定常状態になることがわかる。また、 Li_2O 層内の冷却を考えない場合 (事故などで冷却が止った場合) には約 20 分後に $1,000^\circ\text{C}$ となり、温度はさらに上昇し続ける。次に定常運転時に冷却が止った場合の時間的溫度変化を Fig. 6.8 に示す。図からわかるように運転中冷却が停止した場合、8 分後に $1,000^\circ\text{C}$ となり 30 分後には $1,900^\circ\text{C}$ まで上昇する。

最後に炉停止後の温度変化を Fig. 6.9 に示す。冷却がある場合には約 60 分後に 100°C で定常

状態になることがわかる。しかし、冷却を停止した場合には、温度はさがるものの90分後に約600°Cで定常状態となる。

6.2 可動遮蔽体の温度計算

(a) 計算モデル

Fig. 6.10に炉構造概念図を示す。ここでは図に示した可動遮蔽体とダイバータを計算対象とする。また、図の外側の斜線の部分は運転中に空冷を仮定した表面を示す。Fig. 6.11に伝熱計算における可動遮蔽体（第一壁、ダイバータ板を含む）の計算モデルを示し、Fig. 6.12のA-F点は温度の時間的変化を示した位置を表わす。

(b) 可動遮蔽体の温度変化

Fig. 6.13にB, E, F点の炉停止後の核発熱率（崩壊熱）の時間変化を示す。図より、炉停止直後に崩壊熱は急激に減少し、1日経過した後から徐々に減少する。可動遮蔽体を炉本体から引き抜き、すべての冷却系を停止し空冷のみを考えた場合の温度変化を計算した。このときの境界条件は、内・外側ともに空気の自然対流冷却とし、空気の温度を50°Cとした。Fig. 6.14に炉停止後1日、3.5日、7日経過した後に引き抜いたときのA点（第一壁）の温度変化を示す。可動遮蔽体が炉室を移動するとき、その表面の温度をトリチウム放出の抑制を考慮して150°C以下とするためには、引き抜きは7日後以降にする必要があると言える。Fig. 6.15に炉停止後7日目に引き抜き、その後3.5日経過したときの温度分布を示す。第一壁近辺（内側）は、100～150°Cとなっているが、その他の部分は50°C以下になることがわかる。次にFig. 6.16に炉停止後7日目に引き抜いたときのその後のA, B, C, D各点の時間的溫度変化を示す。ダイバータ板表面（D点）では、温度はまったく上昇せず空冷により下がることがわかる。ここでは、一般的な空気の自然対流熱伝達率を用いて除熱させるものとした。しかし、この熱伝達率は、空気の温度及び冷却面の構造等に依存するのでその影響を調べた。Fig. 6.16は空気の熱伝達率を変えた場合のA点の温度を示している。基本となる値 1.163×10^{-3} (W/cm²・°C)は空気の標準的な自然対流時の熱伝達率である。図に示した結果から、炉停止後空冷のみで可動遮蔽体の冷却を行う場合、空気の自然対流熱伝達率の評価が非常に重要であることがわかる。

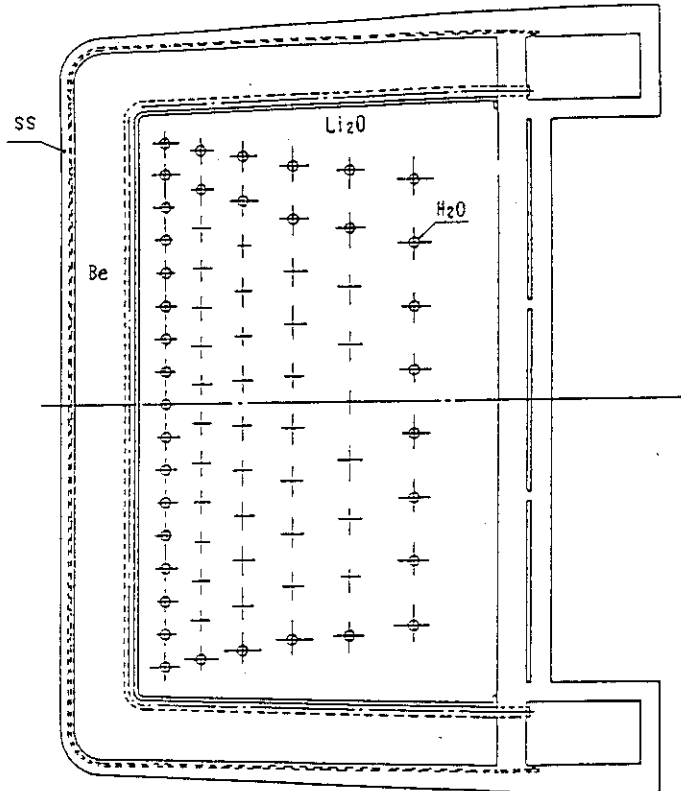


Fig.6.1 Poloidal Cross Section of Tritium Breeding Blanket

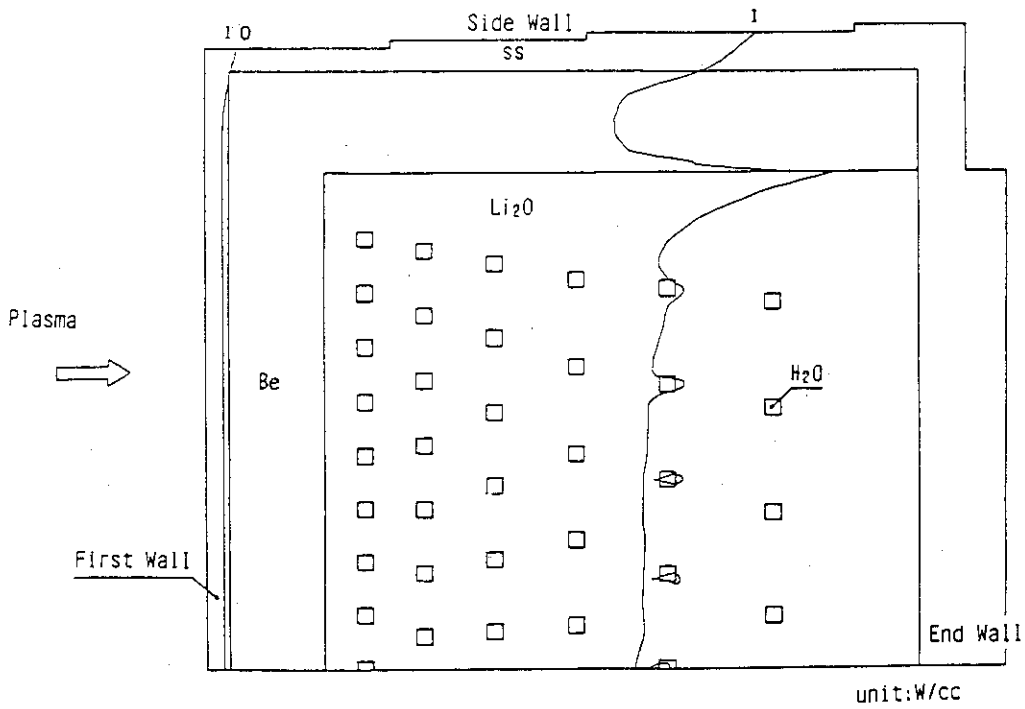


Fig.6.2 Nuclear Heating Rate Calculated with DOT3.5

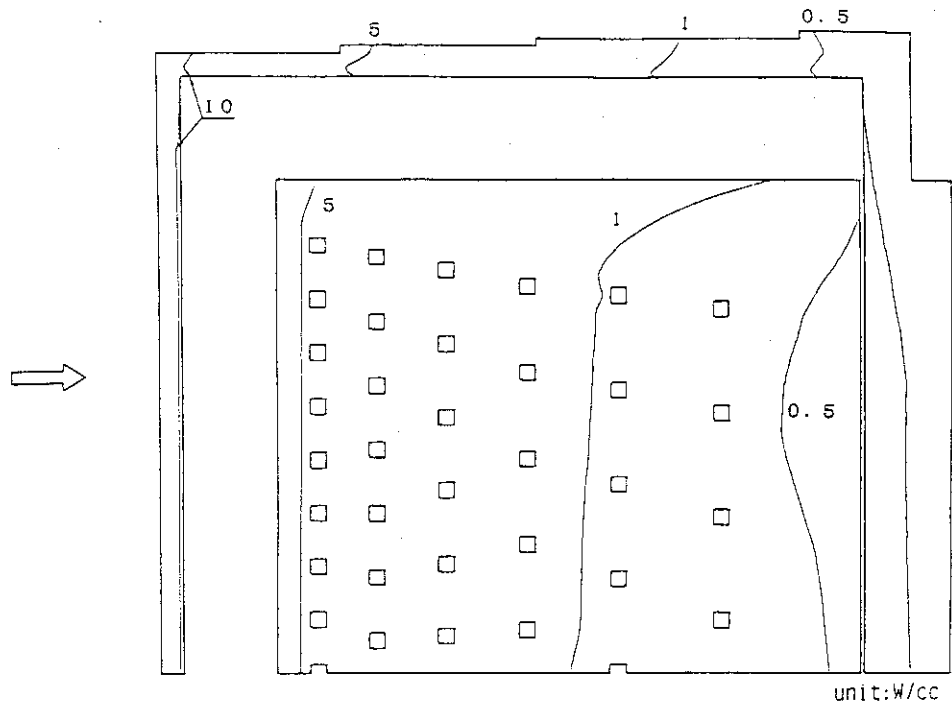


Fig.6.3 Nuclear Heating Rate Input for DOT/DETECT

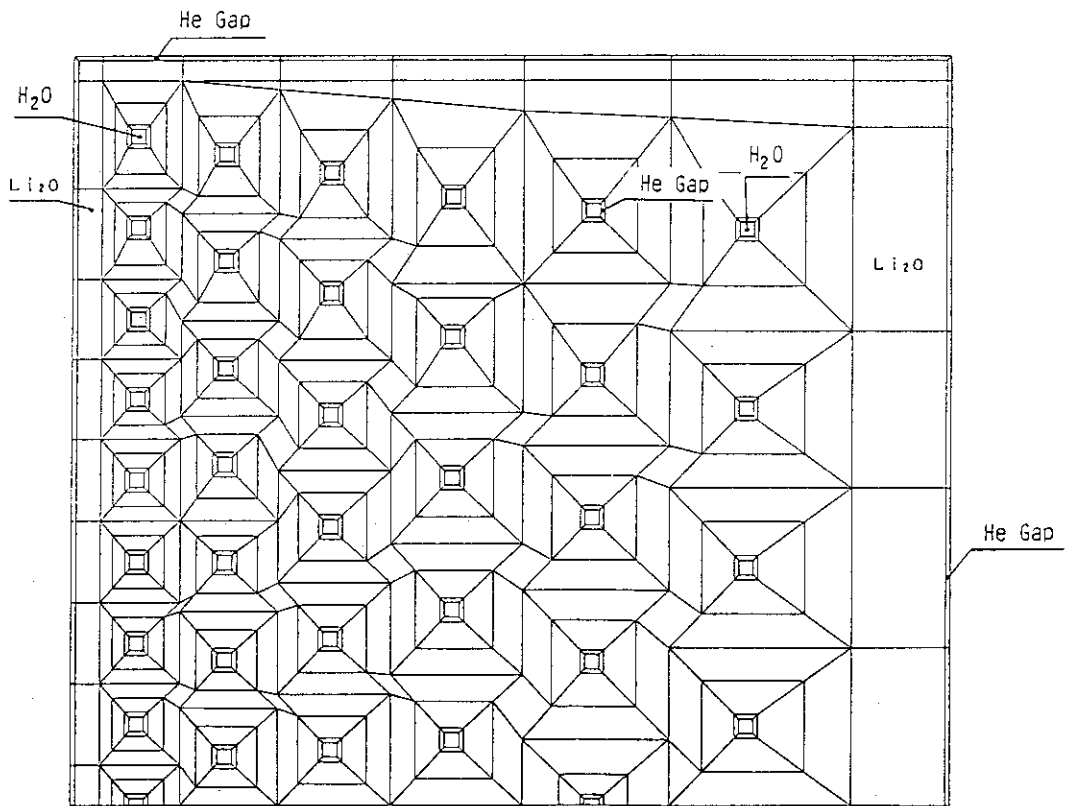


Fig.6.4 Temperature Calculational Model of Breeding Zone

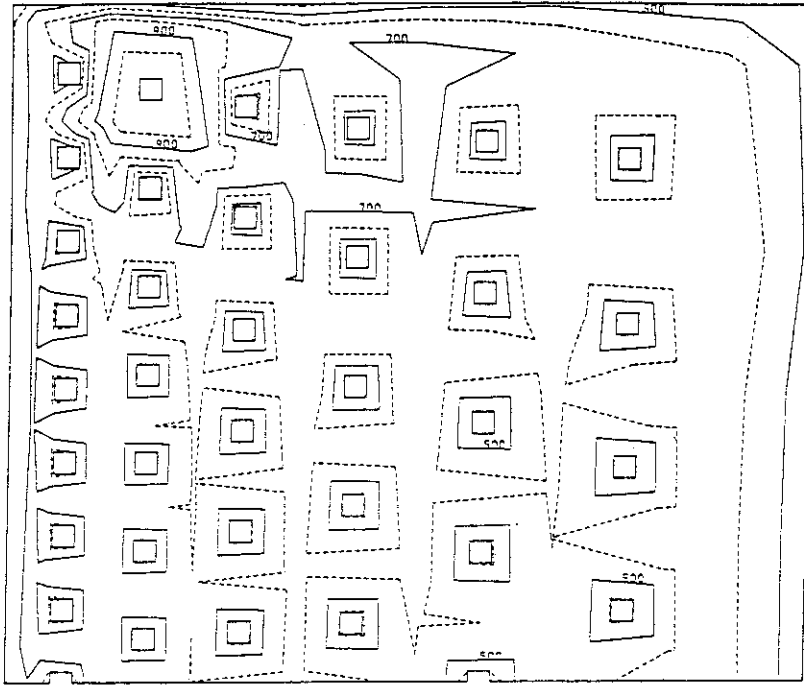


Fig.6.5 Temperature Distribution at Steady State Operation
(with Constant Helium Gap Width)

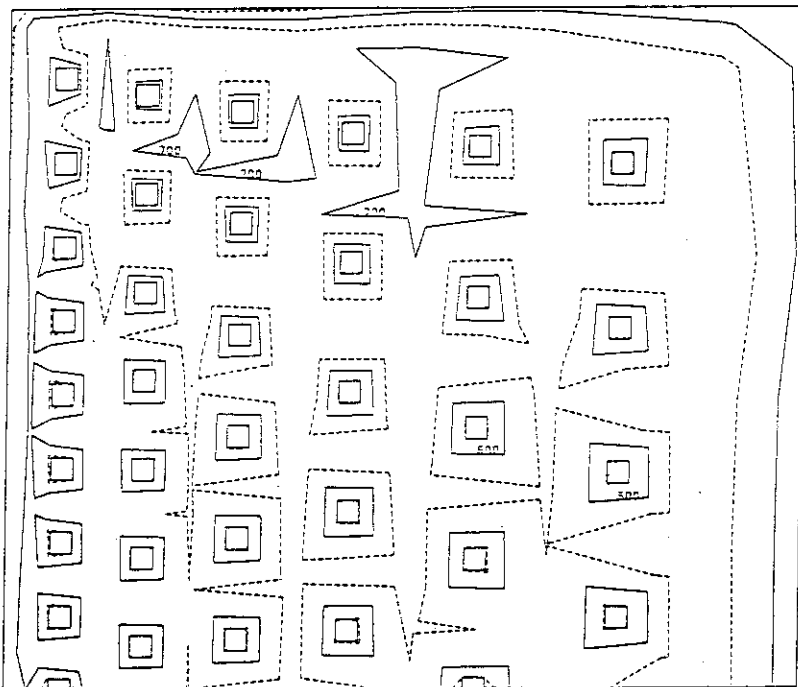


Fig.6.6 Temperature Distribution at Steady State Operation
(with Adjusted Helium Gap Width)

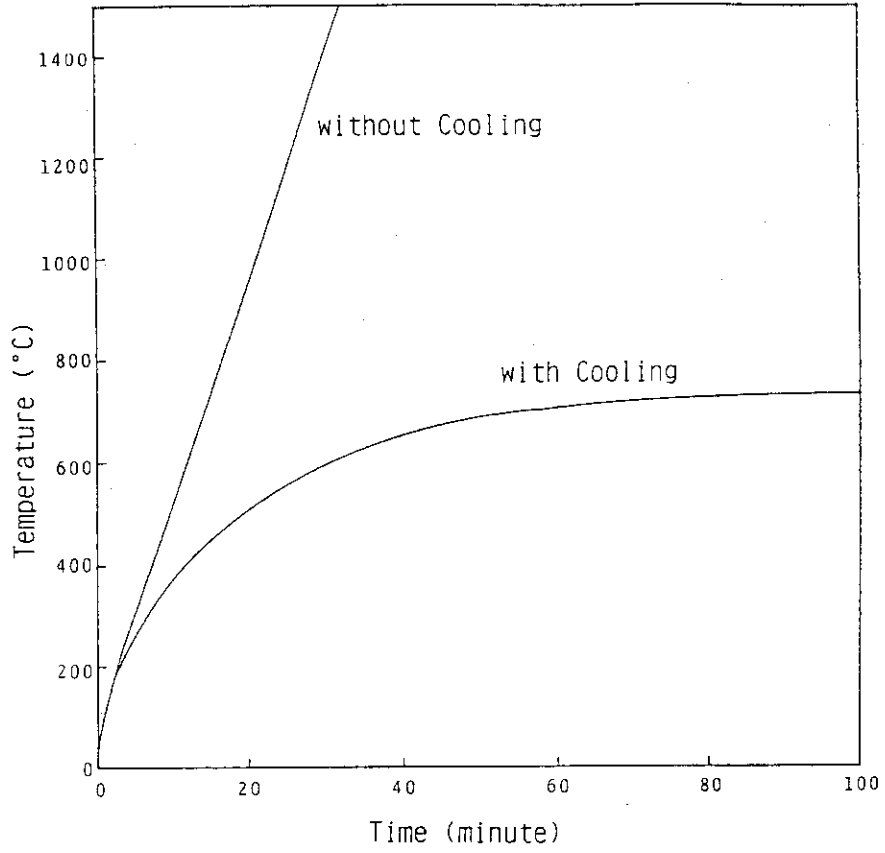


Fig.6.7 Time Variation of Temperature at Maximum Temperature Point at Start of Operation

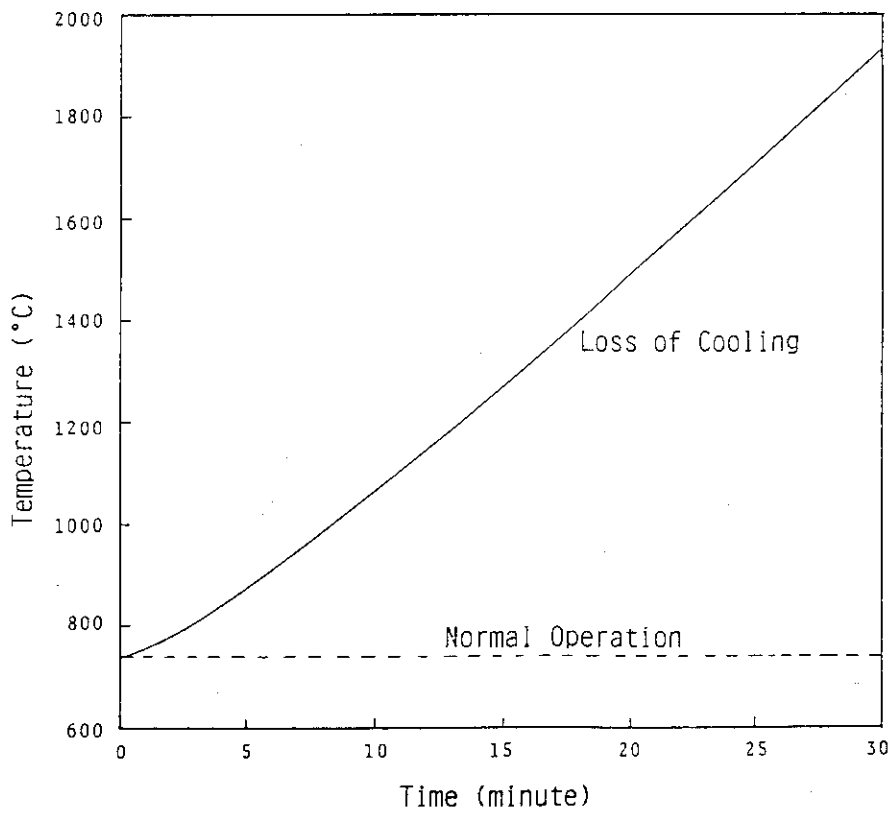


Fig.6.8 Time Variation of Temperature at Maximum Temperature Point after Loss of Cooling

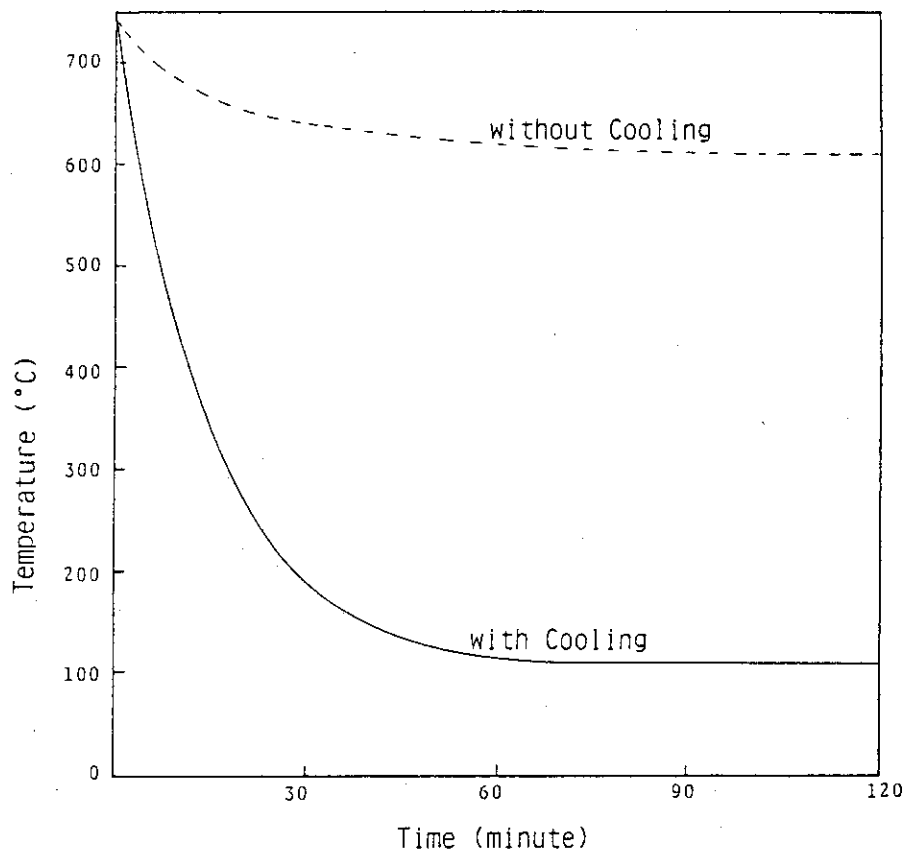


Fig.6.9 Time Variation of Temperature at Maximum Temperature Point after Shutdown

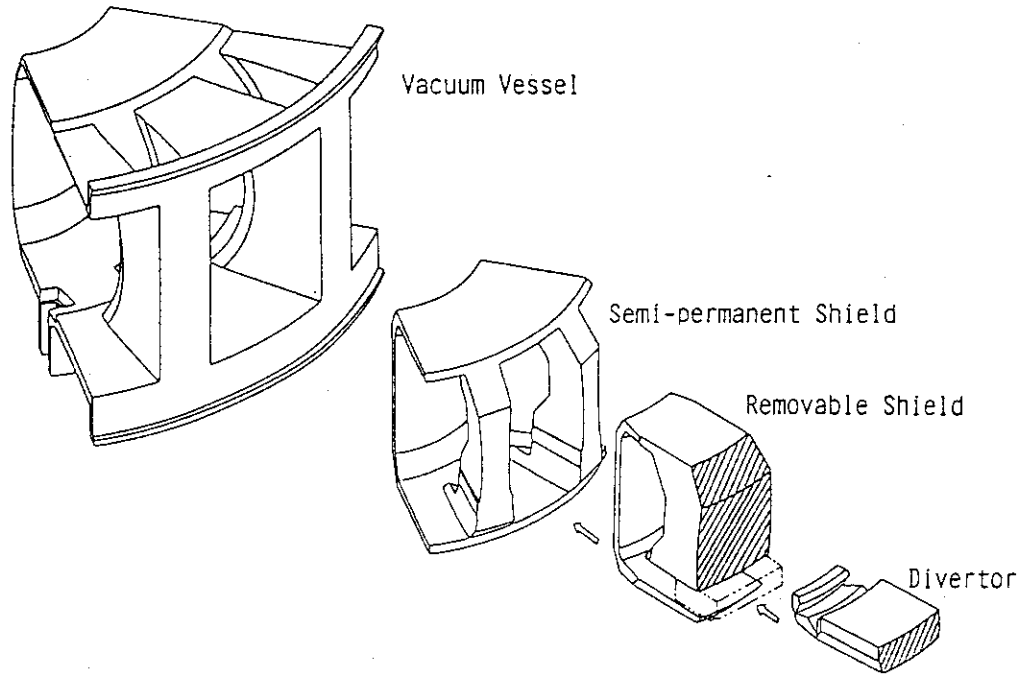


Fig.6.10 Configuration of FER Reactor Structure

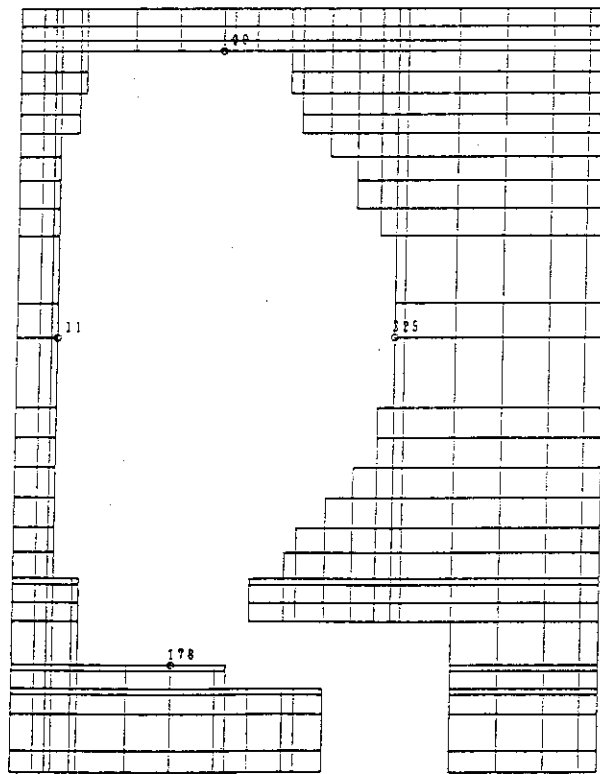


Fig.6.11 Calculational Model of Removable Shield

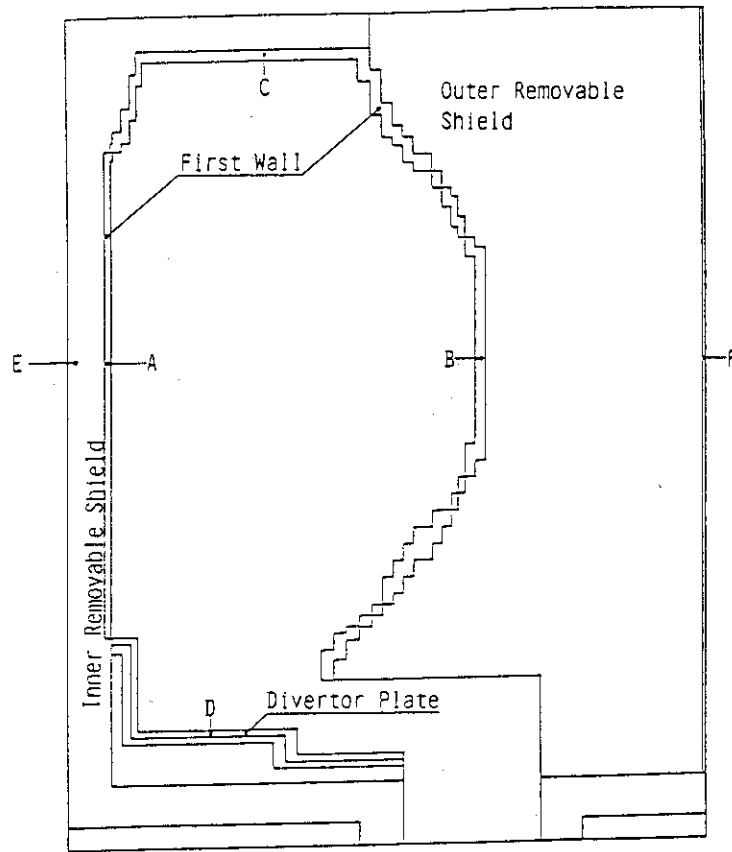


Fig.6.12 Position for Temperature Variation Plotting

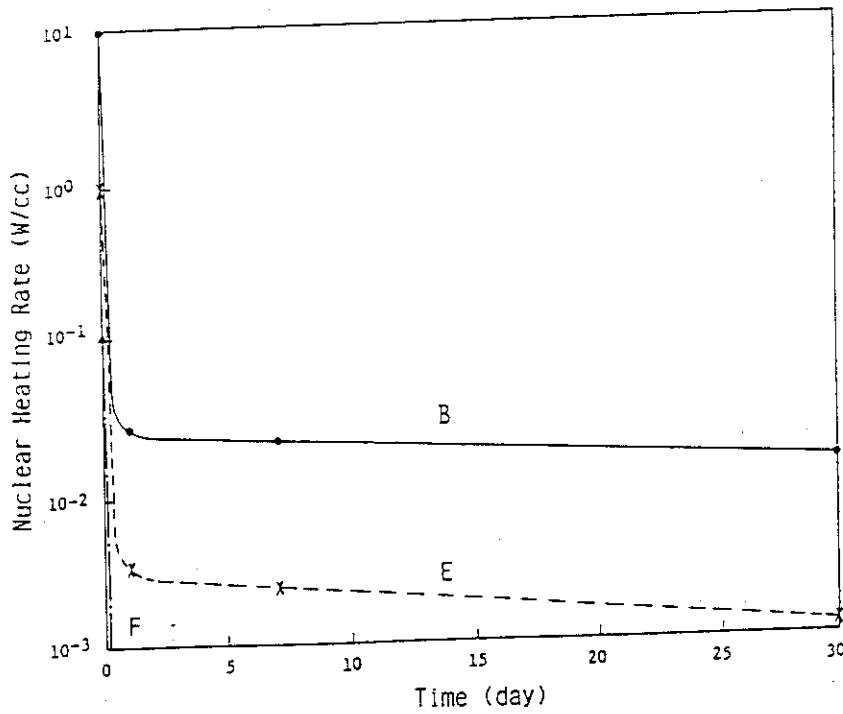


Fig.6.13 Time Variation of Nuclear Heating Rate after Shutdown at Points B,E and F

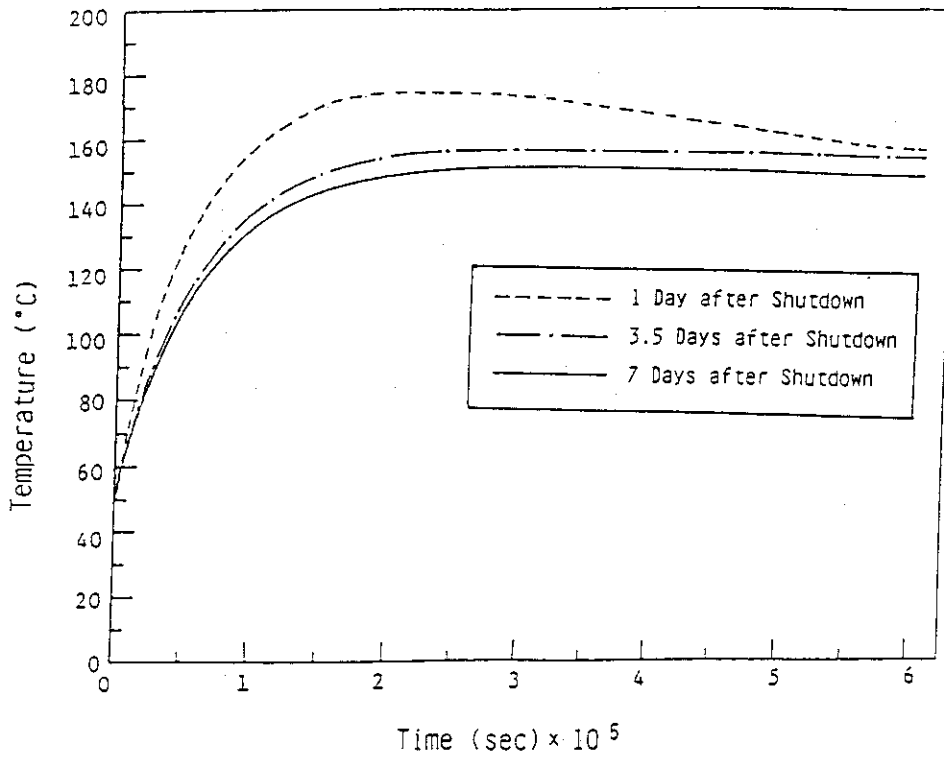


Fig.6.14 Time Variation of Temperature at Point A after Withdrawal

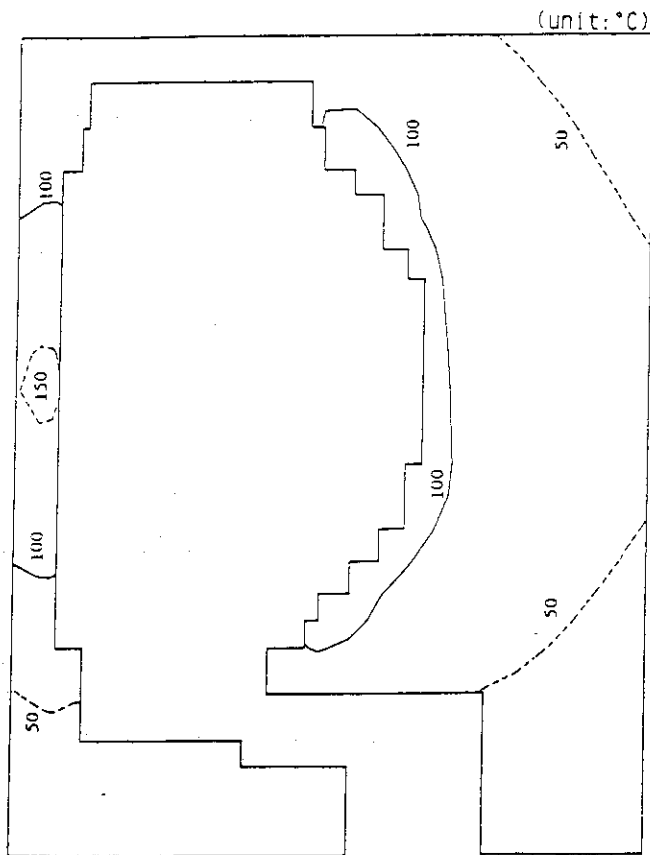


Fig.6.15 Temperature Distribution just after the Withdrawal at 3.5 Days after Shutdown

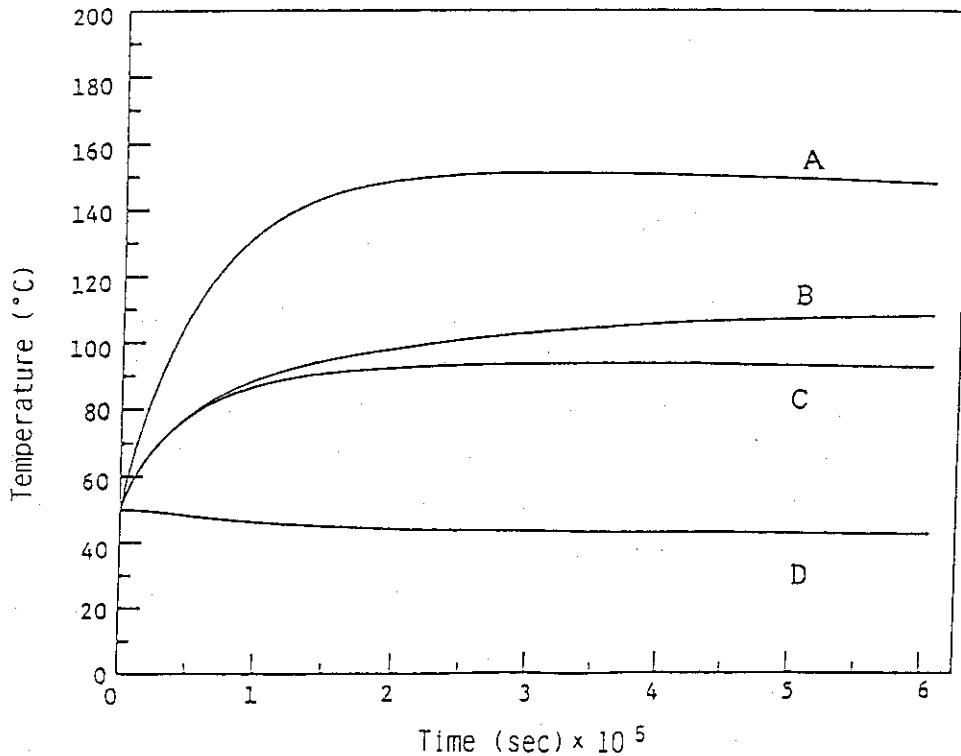


Fig.6.16 Time Variation of Temperature at Points A-D after the Withdrawal at 7 Days after Shutdown

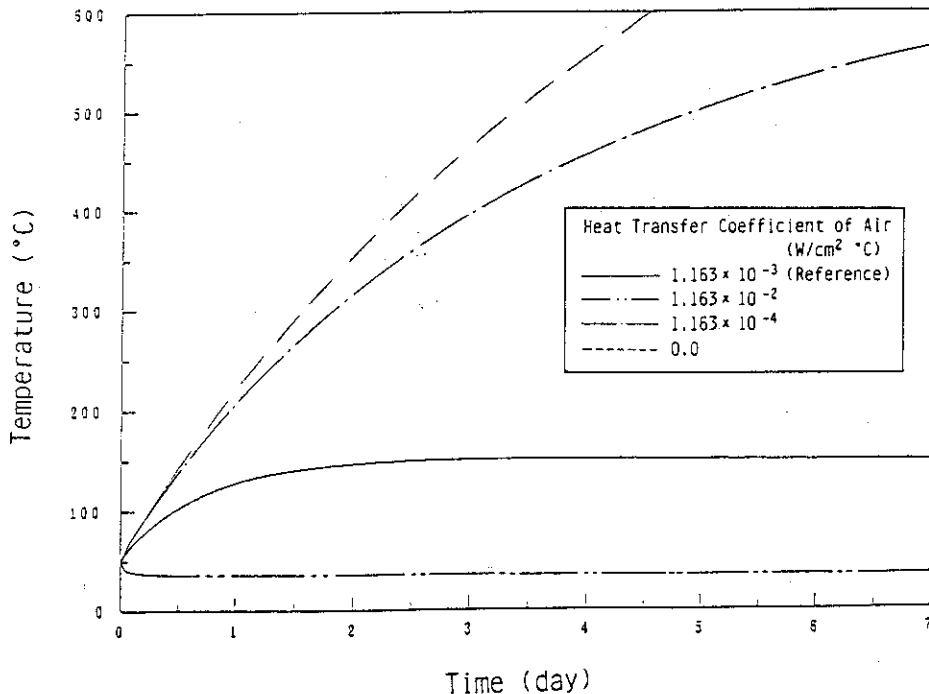


Fig.6.17 Time Variation of Temperature at Point A for Various Values of Heat Transfer Coefficient of Air

7. 結 言

核熱結合計算コードシステムの開発により、2次元体系での核発熱による温度分布を従来の計算法よりも高い精度で効率良く求めることが可能となった。

この計算コードシステムの応用計算例として核融合実験炉のトリチウム増殖ブランケットと可動遮蔽体について計算を行った。トリチウム増殖ブランケットの計算では冷却配管の位置とギャップ幅を調整することにより、増殖材である Li_2O の温度を許容範囲内に収めることができることを示した。また、可動遮蔽体の計算では、炉停止後に引き抜いたときの空気冷却時の温度条件など従来の計算では精度良く求めることが困難であった結果を容易に得ることができた。

今後の課題としては以下の項目が挙げられる。

- (I) トリチウム増殖ブランケットの計算例では設計基準を満たすために繰り返し計算を行ったが、結果を求めるまでにはかなりの時間と労力を必要とした。そこで計算結果のフィードバックを考慮して伝熱計算の最適化を行えるようプログラムを改良すること。
- (II) 核熱計算をさらに構造解析計算と結合させ熱応力も計算できるようにすること。
- (III) 核計算も有限要素法で行い、計算モデルを全て共通のものとする。
- (IV) 有限要素法の計算モデルのメッシュ発生を自動的に行えるようにすること。

謝 辞

本コードシステムの開発にあたり、苫米地顕那珂研究所所長、吉川允二臨界プラズマ研究部部長、飯島勉JT-60試験部部長、田村早苗臨界プラズマ研究部次長、東稔達三主任研究員から御理解と御支援をいただいたことを感謝いたします。

7. 結 言

核熱結合計算コードシステムの開発により、2次元体系での核発熱による温度分布を従来の計算法よりも高い精度で効率良く求めることが可能となった。

この計算コードシステムの応用計算例として核融合実験炉のトリチウム増殖ブランケットと可動遮蔽体について計算を行った。トリチウム増殖ブランケットの計算では冷却配管の位置とギャップ幅を調整することにより、増殖材である Li_2O の温度を許容範囲内に収めることができることを示した。また、可動遮蔽体の計算では、炉停止後に引き抜いたときの空気冷却時の温度条件など従来の計算では精度良く求めることが困難であった結果を容易に得ることができた。

今後の課題としては以下の項目が挙げられる。

- (I) トリチウム増殖ブランケットの計算例では設計基準を満たすために繰り返し計算を行ったが、結果を求めるまでにはかなりの時間と労力を必要とした。そこで計算結果のフィードバックを考慮して伝熱計算の最適化を行えるようプログラムを改良すること。
- (II) 核熱計算をさらに構造解析計算と結合させ熱応力も計算できるようにすること。
- (III) 核計算も有限要素法で行い、計算モデルを全て共通のものとする。
- (IV) 有限要素法の計算モデルのメッシュ発生を自動的に行えるようにすること。

謝 辞

本コードシステムの開発にあたり、苫米地顕那珂研究所所長、吉川允二臨界プラズマ研究部部長、飯島勉JT-60試験部部長、田村早苗臨界プラズマ研究部次長、東稔達三主任研究員から御理解と御支援をいただいたことを感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) Y. SEKI and H. IIDA, "Coupled 42-Group Neutron and 21-Group Gamma Ray Cross Section Sets for Fusion Reactor Calculations," JAERI-M 8818 (1980)
- (2) Y. SEKI, H. IIDA and H. KAWASAKI, "Graphical Representation of Transmutation and Decay Chain Data, Transmutation Cross Section and Delayed Gamma Ray Emission Data," JAERI-Report 1280 (1982)
- (3) W. A. RHOADES and F. R. MYNATT, "The DOT-III Two Dimensional Discrete Ordinates Transport Code," ORNL-TM-4280 (1973)
- (4) Y. SEKI, H. IIDA, H. KAWASAKI and K. YAMADA, "THIDA-2; An Advanced Code System for Calculation of Transmutation, Activation, Decay Heat and Dose Rate," JAERI-Report 1301 (1986)
- (5) H. KAWASAKI and Y. SEKI, "APPLE-2; An Improved Version of APPLE Code for Plotting Neutron and Gamma Ray Spectra and Reaction Rate," JAERI-M 82-091 (1982)
- (6) R. M. POLIVKA and E. L. WILSON, "DOT/DETECT; Determination of Temperature and Determination of Temperature in Construction," Version 1, University of California, Berkeley (1976)
- (7) 炉設計研究室, 「核融合実験炉 (FER) の概念設計」(昭和 58 年度報告書) JAERI-M84-212 (1984)

付 録 入 出 力 リ ス ト

- a) APPLE-2 JCLリスト例
- b) DOT/DETECT JCLリスト例
- c) TEMPLLOT JCLリスト例
- d) DOT/DETECT出力リスト例
- e) TEMPLLOTカード入力データリスト例

```

//JCLG JOB                                00000010
// EXEC JCLG                               00000020
//SYSIN DD DATA,DLM='++'                 00000030
// JUSER XXXX2372,YA.SEKI,0017.01         00000040
// T.2W.0C.3I.4 GRP                       00000050
// OPTP PASSWORD=XXXXXX,MSGCLASS=C        00000060
//*****/ 00000070
//* APPLE: REACTION RATE OR ENERGY SPECTRA PLOTTING. */ 00000080
//* < SUBROUTINE> APPLE2.FORT */ 00000090
//* IRATE,HRATE,ARATE,MPL0T1 ; DECAY HEAT CALC. */ 00000100
//* IRATE,HRATE,ARATE,MPL0T2 ; DECAY HEAT + NUCLEAR HEATING CALC.*/ 00000110
//* FTMAIN ; LOCATION SIZE. */ 00000120
//* CONTUR ; WRITE OF NUMBER FOR CONTUR. <PERSPC.FORT> */ 00000130
//* < FILE > */ 00000140
//* FT10 ; READ OF FLUX. */ 00000150
//* FT01 ; READ OF REACTION RATE CROSS SECTION. */ 00000160
//* FT03 ; READ OF KERMA FACTOR. */ 00000170
//* FT04 ; READ OF DECAY HEAT FILE. */ 00000180
//* FT26 ; WRITE OF NUCLEAR HEATING RATE FOR DOT/DETECT */ 00000190
//* J2372.SHIELD.DATA (DAPPLE) */ 00000200
//*****/ 00000210
//FORT EXEC FORT77,SO='J2372.DAPPLE2',Q='.FORT77',
// A='ELM(*)' 00000220
// FORT EXEC FORT77,SO='J2372.PERSPC',Q='.FORT',
// A='ELM(*)',DISP=MOD 00000230
// FORT EXEC FORT77,SO='J2372.SYMBOL',Q='.FORT77',
// A='ELM(SYMBOL)',DISP=MOD 00000240
//EDIT EXEC LKED77,GRLIB=PNL,A='LREP(JMF,JMP)' 00000250
//RUN EXEC GO 00000260
//FT06F001 DD DCB=(BLKSIZE=137) 00000270
// EXPAND TPDISK,DDN=FT21F001,DSN=FT21,SPC='400,200', 00000280
// RECFM=VBS,RSIZE=19064,BSIZE=19068 00000290
// EXPAND DISK,DDN=FT23F001 00000300
// EXPAND DISK,DDN=FT24F001 00000310
// EXPAND TPDISK,DDN=FT27F001,DSN=FT27,SPC='400,200', 00000320
// RECFM=VBS,RSIZE=19064,BSIZE=19068 00000330
//*****FOR DOT/DETECT** 00000340
//FT26F001 DD DISP=(,CATLG,DELETE),DSN=J2372.ASHDH1W.DATA, 00000350
// DCB=(RECFM=VBS,LRECL=19064,BLKSIZE=19068),UNIT=D0010D, 00000360
// SPACE=(TRK,(5,1),RLSE) 00000370
//***** 00000380
// EXPAND GRNLP,SYSOUT=E 00000390
// EXPAND DISKTO,DDN=FT10F001,DSN='J2372.ashdf1w' 00000400
// EXPAND DISKTO,DDN=FT03F001,DSN='J2372.ashkrmg' 00000410
// EXPAND DISKTO,DDN=FT04F001,DSN='J2372.ASHBH1W' 00000420
// EXPAND DISKTO,DDN=SYSIN,DSN='J2372.SHIELD',Q='.DATA(BAPLHBG)' 00000430
// 00000440
// 00000450
// 00000460
// 00000470
// 00000480

```

a) List of Job Control Cards for APPLE-2

```

//JCLG JOB                                00010036
// EXEC JCLG                               00020036
//SYSIN DD DATA,DLM='+++'                00030036
// JUSER XXXX2372,YA.SEKI,0017.01         00040036
// T.3 W.O C.2 I.4 SRP                    00050025
// OPTP PASSWORD=XXXXXX,MSGCLASS=X        00060036
//***** DOT/DETECT FORT-LINK-GO *****  00070036
// EXEC FORT77,SO='J2372.DETECT86',Q=''.FORT77', 00080036
// A='ELM(*)',NOSOURCE,LC(60)'           00090036
// EXEC LKED77,GRLIB=PNL,A='LREP(JMF,JMP)' 00100036
//RUN EXEC GO                             00110036
/*FT06F001 DD DCB=(BLKSIZE=137)           00120056
//FT06F001 DD DISP=(NEW,CATLG,CATLG),DSN=J2372.9OUT.0DATA,UNIT=TSSWK, 00130044
// DCB=(RECFM=FBA,LRECL=137,BLKSIZE=13700),SPACE=(TRK,(30,15),RLSE) 00140004
//FT01F001 DD DISP=(,DELETE),DSN=9&FT01,UNIT=WK10, 00150054
// DCB=(RECFM=VBS,LRECL=19064,BLKSIZE=19068),SPACE=(TRK,(50,50)) 00160036
//FT02F001 DD DISP=(,DELETE),DSN=9&FT02,UNIT=WK10, 00170036
// DCB=(RECFM=VBS,LRECL=19064,BLKSIZE=19068),SPACE=(TRK,(50,50)) 00180036
//FT03F001 DD DISP=(NEW,CATLG,CATLG),DSN=J2372.9PLOT.0DATA,UNIT=TSSWK, 00190044
// DCB=(RECFM=FB,LRECL=80,BLKSIZE=3200),SPACE=(TRK,(9,5),RLSE) 00200023
//FT90F001 DD DISP=(NEW,CATLG,CATLG),DSN=J2372.9NUCL.0DATA,UNIT=TSSWK, 00210044
// DCB=(RECFM=FB,LRECL=80,BLKSIZE=3200),SPACE=(TRK,(20,9),RLSE) 00220036
//FT08F001 DD DSN=J2372.ASHDH1D.0DATA,DISP=SHR 00270045
//FT09F001 DD DSN=J2372.ASHDH1W.0DATA,DISP=SHR 00280044
//FT10F001 DD DSN=J2372.ASHDH1G.0DATA,DISP=SHR 00280144
//SYSIN DD DSN=J2372.SHDETE1.0DATA,DISP=SHR 00290042
++                                         00300036
//                                         00310036

```

b) List of Job Control Cards for DOT/DETECT

```

//JCLG JOB                                00000100
// EXEC JCLG                               00000200
//SYSIN DD DATA,DLM='+++'                00000300
// JUSER XXXX2372,YA.SEKI,0017.01         00000400
// T.2W.OC.2I.4 GRP                       00000500
// OPTP PASSWORD=XXXXXX,MSGCLASS=C        00000600
//***** JCL FOR TEMPLOT *****          00000700
//* JCL FOR TEMPLOT.                       */ 00000800
//***** JCL FOR TEMPLOT *****          00000900
// EXEC FORT77,SO='J2372.TEMPLOT',A='ELM(*)',S,LC(60)' 00001000
// EXEC FORT77,SO='J2372.SYMBOL',A='ELM(*)',DISP=MOD 00001100
// EXEC LKED77,GRLIB=PNL                   00001200
// EXEC GO                                  00001300
//FT05F001 DD DSN=J2372.TPLOT.0DATA,DISP=SHR 00001310
//FT06F001 DD DCB=(BLKSIZE=137)            00001400
//FT01F001 DD DSN=J2372.9PLOT.0DATA,DISP=SHR 00001600
//***** FT02 WORK FILE *****           00001610
//FT02F001 DD DSN=J2372.91.0DATA,DISP=SHR 00001700
// EXPAND GRNLP,SYSDOUT=E                  00002000
++                                         00002100
//                                         00002200

```

c) List of Job Control Cards for TEMPLOT

TEMPERATURE OF REMOVABLE SHIELD AFTER 1 WEEK. 86/3/13

DOT 1976

CONTROL INFORMATION

NUMBER OF NODAL POINTS = 517
 NUMBER OF ELEMENT GROUPS ... = 2
 MAX. ELEMENT GROUP STORAGE . =90000

 SOLUTION MODE = 1
 EQ. 0, DATA CHECK
 EQ. 1, EXECUTION

 PRINT OPTION.(NPROP)..... = 1
 IF NPROP=1 NOT PRINT
 1. NODAL POINT COORDINATE DATA
 2. NODAL POINT BOUNDARY CONDITION
 3. TIME DEPENDENT FUNCTION
 4. MATERIAL PROPERTIES TABLE
 5. ELEMENT INFORMATION

TEMPERATURE OF REMOVABLE SHIELD AFTER 1 WEEK. 86/3/13

DOT 1976

SOLUTION TIME AND TEMPERATURE CONTROL INFORMATION

CODE FOR STEADY STATE, TRANSIENT ANALYSIS = 0
 EQ. -1, STEADY STATE ANALYSIS
 EQ. 0, TRANSIENT ANALYSIS

 NUMBER OF SOLUTION TIME STEPS = 168
 SOLUTION TIME STEP INCREMENT = 3600.0000

 TIME AT SOLUTION START = 0.0
 AMBIENT TEMPERATURE = 50.0000
 OUTPUT PRINT INTERVAL = 10
 EQUATION REFORMATION INTERVAL = 1
 OUTPUT PUNCH INTERVAL = 1

TIME DEPENDENT FUNCTIONS

NUMBER OF TIME DEPENDENT FUNCTIONS =

TEMPERATURE OF REMOVABLE SHIELD AFTER 1 WEEK. 86/3/13

DOT 1976

NODAL POINT BOUNDARY CONDITIONS

NUMBER OF NODES WITH SPECIFIED
TEMPERATURES AND/OR FLUXES = 0

INITIAL CONDITIONS

INITIAL CONDITION CODE (ICDN) = 0
 EQ. 0, ALL NODES SET TO AMBIENT TEMPERATURE
 EQ. 1, INITIAL CONDITIONS ARE READ FROM CARDS

ALL NODES AT UNIFORM INITIAL TEMPERATURE = 50.000

5

d) Output List of DOT/DETECT

TEMPERATURE OF REMOVABLE SHIELD AFTER 1 WEEK. 86/3/13

DOT 1976

ELEMENT DATA, GROUP 1

ELEMENT GROUP INDICATOR = 1 (TWO DIMENSIONAL AXISYMMETRIC ELEMENTS)

NUMBER OF ELEMENTS = 421
NO. OF FIRST ELEMENT IN GROUP .. = 1
MAX. NO. OF NODES PER ELEMENT .. = 4
NUMERICAL INTEGRATION ORDER = 2
NUMBER OF DIFFERENT MATERIALS .. = 421
MAX. NO. OF TEMPERATURE POINTS .. = 4
INTERNAL HEAT GENERATION FLAG .. = 1
EQ. 0, NO HEAT GENERATION
EQ. 1, HEAT GENERATION EXISTS

LENGTH OF ELEMENT INFORMATION .. =15298

TIME POINTS OF DECAY HEAT

TIME POINT 1 604800.0 *****> 0.0
TIME POINT 2 2629800.0 *****> 1987200.0

TEMPERATURE OF REMOVABLE SHIELD AFTER 1 WEEK. 86/3/13

DOT 1976

ELEMENT DATA, GROUP 2

ELEMENT GROUP INDICATOR = 2 (AXISYMMETRIC SOLID CONVECTION BOUNDARY ELEMENTS)

NUMBER OF ELEMENTS = 189
NO. OF FIRST ELEMENT IN GROUP .. = 1
NUMBER OF DIFFERENT MATERIALS .. = 1

LENGTH OF ELEMENT INFORMATION .. = 1143

MATERIAL PROPERTIES TABLE, GROUP 2

STEFAN-BOLTZMANN CONSTANT = 0.0
ABSOLUTE TEMPERATURE SHIFT = 0.0

MATL. NO.	CONVECTION FUNCTION	T-EXTERNAL FUNCTION	CONVECTION AMPLITUDE	T-EXTERNAL AMPLITUDE	VIEW FACTOR	EXTERNAL EMISSIVITY	SURFACE EMISSIVITY
1	0	0	0.001	20.000	0.0	0.0	0.0

TEMPERATURE OF REMOVABLE SHIELD AFTER 1 WEEK. 86/3/13

DOT 1976

ELEMENT INFORMATION, GROUP 2

ELT. NO.	I-NODE	J-NODE	MATL. NO.
1	2	1	1
* 2	3	2	1
* 3	4	3	1
* 4	5	4	1
* 5	6	5	1
* 6	7	6	1
* 7	8	7	1
* 8	9	8	1
* 9	10	9	1
* 10	11	10	1
* 11	12	11	1

5

TEMPERATURES AT TIME STEP = 10 (TIME = 3.6000E+04)

1	3.821741E+01	12	4.087112E+01	3	4.290059E+01	4	4.199611E+01	5	4.212961E+01	6	4.337000E+01
7	4.442860E+01	8	4.816328E+01	9	4.872998E+01	10	5.043446E+01	11	5.202408E+01	12	5.945921E+01
13	6.546689E+01	14	7.180815E+01	15	7.708994E+01	16	8.174597E+01	17	8.793687E+01	18	9.105928E+01
19	8.968823E+01	20	8.343494E+01	21	7.639189E+01	22	7.047684E+01	23	6.521535E+01	24	5.989108E+01
25	5.610568E+01	26	5.269644E+01	27	4.953267E+01	28	4.589706E+01	29	4.423822E+01	30	4.314644E+01
31	4.128668E+01	32	4.037573E+01	33	4.278317E+01	34	4.533966E+01	35	4.622952E+01	36	4.648439E+01
37	4.741640E+01	38	4.774190E+01	39	5.045848E+01	40	5.217780E+01	41	5.517320E+01	42	5.681738E+01
43	6.416521E+01	44	7.084081E+01	45	7.749333E+01	46	8.349471E+01	47	8.874530E+01	48	9.358548E+01
49	9.688330E+01	50	9.539955E+01	51	8.884967E+01	52	8.295235E+01	53	7.659735E+01	54	7.105186E+01
55	6.529388E+01	56	6.118808E+01	57	5.722968E+01	58	5.373651E+01	59	5.073575E+01	60	4.934352E+01
61	4.740707E+01	62	4.479033E+01	63	4.119377E+01	64	4.372533E+01	65	4.666946E+01	66	4.777057E+01
67	4.808287E+01	68	4.885689E+01	69	4.916147E+01	70	5.139246E+01	71	5.295464E+01	72	5.468942E+01
73	5.616362E+01	74	6.566031E+01	75	7.234229E+01	76	7.908015E+01	77	8.534695E+01	78	9.059871E+01
79	9.532062E+01	80	9.857605E+01	81	9.703821E+01	82	9.053609E+01	83	8.469209E+01	84	7.836430E+01
85	7.270343E+01	86	6.675398E+01	87	6.347224E+01	88	5.957579E+01	89	5.612434E+01	90	5.342711E+01
91	5.203891E+01	92	5.007410E+01	93	4.720749E+01	94	4.155830E+01	95	4.416183E+01	96	4.724098E+01
97	4.836650E+01	98	4.866310E+01	99	4.935202E+01	100	4.961317E+01	101	5.151477E+01	102	5.300668E+01
103	5.314520E+01	104	5.315720E+01	105	6.529420E+01	106	7.123851E+01	107	7.795641E+01	108	8.407970E+01
109	8.921762E+01	110	9.381502E+01	111	9.698862E+01	112	9.548442E+01	113	8.914439E+01	114	8.344604E+01
115	7.726714E+01	116	7.174184E+01	117	6.585503E+01	118	6.441917E+01	119	6.045749E+01	120	5.720999E+01
121	5.481418E+01	122	5.346730E+01	123	5.150995E+01	124	4.851352E+01	125	4.250597E+01	126	4.528352E+01
127	4.863608E+01	128	4.969757E+01	129	4.989656E+01	130	5.007079E+01	131	5.008636E+01	132	5.093814E+01
133	5.154529E+01	134	5.222711E+01	135	5.225581E+01	136	6.185326E+01	137	6.291134E+01	138	5.988068E+01
139	5.903017E+01	140	5.879665E+01	141	5.841879E+01	142	5.639211E+01	143	5.268546E+01	144	4.276035E+01
145	4.561635E+01	146	4.904124E+01	147	5.009055E+01	148	5.027455E+01	149	5.007874E+01	150	5.007380E+01
151	5.090613E+01	152	5.152492E+01	153	5.212003E+01	154	5.215007E+01	155	5.871861E+01	156	5.811835E+01
157	5.971512E+01	158	6.080995E+01	159	5.830890E+01	160	5.411935E+01	161	4.385190E+01	162	4.678836E+01
163	5.037766E+01	164	5.104276E+01	165	5.104276E+01	166	4.977487E+01	167	4.973700E+01	168	7.108691E+01
169	7.158690E+01	170	6.783655E+01	171	6.231644E+01	172	4.369742E+01	173	4.658217E+01	174	4.979144E+01
175	5.055200E+01	176	5.045323E+01	177	4.885178E+01	178	4.880396E+01	179	7.394589E+01	180	7.470613E+01
181	7.089931E+01	182	6.510544E+01	183	4.300470E+01	184	4.565785E+01	185	4.780264E+01	186	4.692393E+01
187	4.688852E+01	188	4.711697E+01	189	4.711697E+01	190	7.336531E+01	191	7.406509E+01	192	7.038103E+01
193	4.778845E+01	194	4.267000E+01	195	4.532280E+01	196	4.726997E+01	197	4.664075E+01	198	4.567767E+01
199	4.698384E+01	200	4.696867E+01	201	7.273912E+01	202	7.344864E+01	203	6.983701E+01	204	6.427380E+01
205	4.195163E+01	206	4.451842E+01	207	4.633932E+01	208	4.559386E+01	209	4.555084E+01	210	6.126613E+01
211	6.698827E+01	212	7.039447E+01	213	6.887895E+01	214	7.097322E+01	215	7.194185E+01	216	6.829901E+01
217	6.273328E+01	218	4.035477E+01	219	4.272765E+01	220	4.461838E+01	221	4.411758E+01	222	4.409726E+01
223	6.302682E+01	224	6.886613E+01	225	7.481151E+01	226	7.570103E+01	227	7.980331E+01	228	6.887387E+01
229	7.076279E+01	230	6.856589E+01	231	6.791283E+01	232	6.372279E+01	233	5.856326E+01	234	3.954398E+01
235	4.182950E+01	236	4.387531E+01	237	4.369290E+01	238	4.366522E+01	239	6.127995E+01	240	6.660443E+01
241	7.326872E+01	242	7.638326E+01	243	8.331342E+01	244	8.357768E+01	245	8.578181E+01	246	8.736041E+01
247	7.671390E+01	248	7.224658E+01	249	6.839122E+01	250	6.520595E+01	251	6.122556E+01	252	5.655667E+01
253	3.698247E+01	254	3.892111E+01	255	4.106673E+01	256	4.298592E+01	257	4.299174E+01	258	5.614110E+01
259	6.064738E+01	260	6.629642E+01	261	6.867519E+01	262	7.877348E+01	263	8.013651E+01	264	7.180141E+01
265	8.078351E+01	266	8.561395E+01	267	8.518552E+01	268	7.793250E+01	269	6.891403E+01	270	6.193245E+01
271	5.902322E+01	272	5.554088E+01	273	5.171507E+01	274	5.158133E+01	275	5.522765E+01	276	5.911116E+01
277	6.567078E+01	278	6.422684E+01	279	7.112566E+01	280	7.455110E+01	281	7.621184E+01	282	6.052094E+01
283	7.120007E+01	284	7.962334E+01	285	7.900500E+01	286	7.290428E+01	287	6.710382E+01	288	6.146924E+01
289	5.642783E+01	290	5.414095E+01	291	5.139207E+01	292	4.811879E+01	293	4.839305E+01	294	5.147545E+01
295	5.436771E+01	296	5.543153E+01	297	5.954349E+01	298	6.369968E+01	299	7.290388E+01	300	7.707922E+01
301	8.077550E+01	302	7.889085E+01	303	7.517569E+01	304	7.138458E+01	305	7.262915E+01	306	7.297931E+01
307	6.811420E+01	308	6.435182E+01	309	6.009584E+01	310	5.626180E+01	311	5.270113E+01	312	5.095692E+01
313	4.871028E+01	314	4.583052E+01	315	4.675662E+01	316	4.960381E+01	317	5.209653E+01	318	5.299603E+01
319	5.633087E+01	320	6.025047E+01	321	6.673283E+01	322	7.410815E+01	323	8.067162E+01	324	7.776257E+01
325	7.384256E+01	326	7.368156E+01	327	7.452274E+01	328	7.379967E+01	329	6.851485E+01	330	6.602132E+01
331	6.260753E+01	332	5.969330E+01	333	5.658269E+01	334	5.364793E+01	335	5.079570E+01	336	4.932085E+01
337	4.733273E+01	338	4.464279E+01	339	4.595175E+01	340	4.873904E+01	341	5.104103E+01	342	5.184969E+01
343	5.483170E+01	344	5.825739E+01	345	6.365872E+01	346	7.009898E+01	347	7.507445E+01	348	7.996220E+01
349	7.418471E+01	350	7.386749E+01	351	7.313586E+01	352	7.004808E+01	353	6.565463E+01	354	6.268126E+01
355	5.978615E+01	356	5.743419E+01	357	5.485767E+01	358	5.237646E+01	359	4.986446E+01	360	4.851746E+01
361	4.665602E+01	362	4.402435E+01	363	3.709489E+01	364	3.916725E+01	365	4.148146E+01	366	4.224280E+01
367	4.243643E+01	368	4.287430E+01	369	4.302232E+01	370	4.544318E+01	371	4.759427E+01	372	4.904132E+01
373	4.949706E+01	374	5.098894E+01	375	5.238174E+01	376	5.413242E+01	377	5.592012E+01	378	5.752226E+01
379	5.902599E+01	380	5.990569E+01	381	5.968079E+01	382	5.819455E+01	383	5.659795E+01	384	5.499033E+01
385	5.366794E+01	386	5.249350E+01	387	5.160417E+01	388	5.051407E+01	389	4.921974E+01	390	4.757388E+01
391	4.656111E+01	392	4.502469E+01	393	4.266501E+01	394	4.041077E+01	395	4.278552E+01	396	4.537051E+01
397	4.620615E+01	398	4.642258E+01	399	4.692622E+01	400	4.709969E+01	401	4.799577E+01	402	4.833340E+01
403	4.878383E+01	404	4.895111E+01	405	4.951782E+01	406	5.002016E+01	407	5.057904E+01	408	5.112318E+01
409	5.165305E+01	410	5.206551E+01	411	5.243143E+01	412	5.235895E+01	413	5.182487E+01	414	5.137970E+01
415	5.084535E+01	416	5.038756E+01	417	4.989056E+01	418	4.942598E+01	419	4.875246E+01	420	4.779930E+01
421	4.641769E+01	422	4.551433E+01	423	4.409431E+01	424	4.183662E+01	425	4.043053E+01	426	4.275484E+01
427	4.512427E+01	428	4.585304E+01	429	4.604497E+01	430	4.644109E+01	431	4.656444E+01	432	4.704820E+01
433	4.725412E+01	434	4.741359E+01	435	4.748018E+01	436	4.773972E+01	437	4.804251E+01	438	4.838405E+01
439	4.869244E+01	440	4.899385E+01	441	4.927341E+01	442	4.953552E+01	443	4.949612E+01	444	4.911676E+01
445	4.877733E+01	446	4.839120E+01	447	4.804964E+01	448	4.767314E+01	449	4.729262E+01	450	4.669270E+01
451	4.581429E+01	452	4.453508E+01	453	4.369113E+01	454	4.237093E+01	455	4.027309E+01	456	3.870296E+01
457	4.084247E+01	458	4.256375E+01	459	4.281487E+01	460	4.289380E+01	461	4.335742E+01	462	4.353407E+01
463	4.437160E+01	464	4.421002E+01	465	4.414999E+01	466	4.419882E+01	467	4.477884E+01	468	4.537578E+01
469	4.584232E+01	470	4.617096E+01	471	4.660146E+01	472	4.723457E+01	473	4.768895E+01	474	4.763499E+01
475	4.699103E+01	476	4.625557E+01	477	4.558908E+01	478	4.509540E+				

	-----1-----	*-----2-----*	*-----3-----*	*-----4-----*	*-----5-----*	*-----6-----*	*-----7-----*
1	1	1	1	1	168	0	0
2	3	1					
3	50.0	100.0	150.0				
4	84						
5	4	111	190	325	178		
6	3	7					
7	1	84	168				
8	325	349	380	411	442	473	504

e) Input Data List for TEMPLOT