

JAERI-Tech  
2003-042



JP0350109



照射キャプセル設計支援のための  
3次元温度計算用サブプログラムの開発

2003年3月

飛田 正浩・松井 義典

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.  
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 2003

編集兼発行 日本原子力研究所

## 照射キャップセル設計支援のための 3次元温度計算用サブプログラムの開発

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部

飛田 正浩\*・松井 義典

(2003年2月3日受理)

炉内照射試験における照射温度の予測は、照射キャップセル設計において重要な項目の一つである。近年の照射試験では、種々の試験条件の要求に対応するため、複雑な構造のキャップセルが多く、照射温度の精度良い評価には、3次元計算を必要とするケースが増えている。しかし、3次元温度計算では一般に入力の作成等に複雑な作業を必要とし、多くのパラメータ計算を行う設計作業では大変な時間と労力を要する。このため、3次元有限要素法コード NISA<sup>1)</sup> (Numerically Integrated elements for System Analysis) の導入とともに、キャップセル設計者の入力作成作業を支援するサブプログラムを開発した。この結果、3次元温度計算がより容易に実施可能になるとともに、ガンマ発熱率の自己遮へいによる構造物内部での減衰等の効果、炉内照射に特有の効果も取り扱えるようになった。

## Development of Capsule Design Support Subprograms for 3-dimensional Temperature Calculation using FEM Code NISA

Masahiro TOBITA<sup>\*</sup>and Yoshinori MATSUI

Department of JMTR  
Oarai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received February 3,2003)

Prediction of irradiation temperature is one of the important issues in the design of the capsule for irradiation test. Many kinds of capsules with complex structure have been designed for recent irradiation requests, and three-dimensional (3D) temperature calculation becomes inevitable for the evaluation of irradiation temperature. For such 3D calculation, however, many works are usually needed for input data preparation, and a lot of time and resources are necessary for parametric studies in the design.

To improve such situation, JAERI introduced 3D-FEM (finite element method) code NISA (Numerically Integrated elements for System Analysis) and developed several subprograms, which enabled to support input preparation works in the capsule design. The 3D temperature calculation of the capsule are able to carried out in much easier way by the help of the subprograms, and specific features in the irradiation tests such as non-uniform gamma heating in the capsule, becomes to be considered.

**Keywords :** NISA Code, JMTR, Three-dimensional Finite Element Method,  
Temperature Calculation Code, Temperature Distribution, Temperature Evaluation  
Irradiation Capsule

---

<sup>\*</sup>On leave from Nuclear Engineering Co.

## 目 次

1.	はじめに .....	1
2.	3次元有限要素法 NISA コードの概要及び構成.....	1
2.1	NISA コードの概要 .....	1
2.2	NISA コードの構成 .....	2
3.	サブプログラムの概要及び構成.....	3
3.1	キャプセル温度評価サブプログラム (CAPPRE、CAPSULE) .....	4
3.2	試験片温度評価サブプログラム (TIPMENU) .....	5
3.3	ガンマ発熱率減衰補正サブプログラム (GRS) .....	6
3.4	熱膨張計算サブプログラム (GAPCON) .....	7
4.	計算例 .....	9
4.1	キャプセル温度評価サブプログラム (CAPPRE、CAPSULE) .....	9
4.2	試験片温度評価サブプログラム (TIPMENU) .....	11
4.3	ガンマ発熱率減衰補正サブプログラム (GRS) .....	12
4.4	熱膨張計算サブプログラム (GAPCON) .....	13
5.	今後の課題.....	15
6.	まとめ .....	16
	謝 辞.....	16
	参考文献 .....	17
	付 錄	
	NISA コードによる有限要素法解析のためのサブプログラム使用手引 .....	53

## Contents

1 . Introduction .....	1
2 . Outline of NISA Code and it's Structure .....	1
2.1 Outline of NISA .....	1
2.2 Structure of NISA .....	2
3 . Summary of Subprogram and it's Structure .....	3
3.1 Capsule Temperature Evaluation Sub Program (CAPPRE、CAPSULE) .....	4
3.2 Specimen Temperature Evaluation Sub Program (TIPMENU) .....	5
3.3 Spatial Gradient of Gamma Heating Sub Program (GRS) .....	6
3.4 Thermal Expansion Calculation Sub Program (GAPCON) .....	7
4 . Sample of Calculations .....	9
4.1 Capsule Temperature Evaluation Sub Program (CAPPRE、CAPSULE) .....	9
4.2 Specimen Temperature Evaluation Sub Program (TIPMENU) .....	11
4.3 Spatial Gradient of Gamma Heating Sub Program (GRS) .....	12
4.4 Thermal Expansion Calculation Sub Program (GAPCON) .....	13
5 . Future Improvement .....	15
6 . Conclusions .....	16
Acknowledgements .....	16
References .....	17

## Appendix

User's Manual of Subprograms for the Analysis FEM using NISA Code .....	53
---	----

## 1. はじめに

原子炉用燃料、材料の炉内照射試験において試料温度（照射温度）は極めて重要な因子である。

JMTRにおける照射試験では、外径30、40、60、65mmのいずれかで本体部分の長さ約800mmのキャプセルを用いる。キャプセルは反射体要素の照射孔に挿入され、照射時にキャプセルの構成部品及び照射試料が炉内のガンマ線に照射されて発熱する。この熱は、原子炉の1次冷却水によりキャプセル外筒表面から除去される。1次冷却水はキャプセルと反射体要素間のギャップ（約 $\phi 1\text{mm}$ ）を流速約5m/sで流れる。したがって、キャプセル外面から中心軸への半径方向の温度勾配が生じ、また軸方向には炉心内での出力分布に比例して発熱分布と温度勾配が生じる。これらの温度分布を考慮することがキャプセルの熱設計上の重要なポイントとなる。また、最近では、照射依頼者から照射試料毎の温度評価結果の提供が求められている。

これらに対応するため、キャプセルの詳細な温度計算に3次元有限要素法による解析が可能なNISA<sup>1)</sup>コードを用いることにした。3次元有限要素法NISAコードは、米国のEMRC社により開発されたコードで、広範囲の工学分野対象について解析可能な汎用有限要素法コードである。NISAコードの性能については、汎用の構造解析コードABAQUS<sup>2)</sup>と種々のモデルについて比較検証で同等の結果が得られている。NISAコードは、PC版からワークステーション、スーパーコンピュータ版まで、すべて同一に動作する。また、低価格、広範な適用コンピュータとCAD/CAMシステム、プリ・ポストプロセッサと完全に統合されており、グラフィック表示も容易である。しかしながら、キャプセル設計者が実際にNISAコードを使用して、キャプセル構造のモデル作成及び解析条件等の設定を行うには、キャプセル内の複雑な構造や形状をモデル化する際にかなりの時間を要し、また、適切な解析条件を設定することが難しい。このため、キャプセル設計者がNISAコードによる熱伝導解析を容易に実行できるように、温度評価のためのサブプログラム群を開発した。また、このNISAコードは、構造解析の機能も有しているので、キャプセルの構造解析を行うためのサブプログラムを開発した。

## 2. 3次元有限要素法NISAコードの概要及び構成

### 2.1 NISAコードの概要

NISAコードは、有限要素法による汎用構造解析コードである。このコードは線形・

非線形解析、静的・動的構造解析、熱伝導などの解析モジュール及び専用プリ・ポストプロセッサを有し、また、2次元及び3次元の板、薄肉シェル、厚肉シェル、ソリッドなどの高次要素の大規模ライブラリが備えられている。NISA コードは、大型機、スーパーミニ、ミニコン、マイコン、パソコンの多くの機種で使用できる商業ベースのコードである。

## 2.2 NISA コードの構成

NISA コードには、以下の解析モジュールがある。

DISPLAYⅢ	対話型プリ・ポストプロセッサ
HEAT II	熱伝導解析
NISA II	線形・非線形解析、静的・動的解析、複合材解析
NISA/3D-FLUID	圧縮・非圧縮流れ解析
NISAOPT	形状、構造、梁の最適構造設計
ENDURE	疲労・破壊解析
FEAP	PCB の解析、電子システム
NISA/EMAG	電磁場解析
DYMES	機械系の運動学的解析
CAD インタフェース	直接または IGES

この解析モジュールの中で、キャプセルの温度評価には、DISPLAYⅢ、HEAT II、NISA II を用いる。以下にこれらの解析モジュールの説明を示す。

### 2.2.1 DISPLAYⅢ（プリ・ポストプロセッサ）

DISPLAYⅢは、対話型のプリ・ポストプロセッサであり、複雑な有限要素モデリングや解析結果の容易なグラフィック表示が可能である。

以下に主な特徴を示す。

- 自動メッシュ及びシェル、ソリッドを使った 2 次元、3 次元形状のメッシュ生成機能
- CAD インタフェース
- 3 次元立方体（ソリッド）モデリング機能
- 広範なマクロ機能によるモデリング及びデータベース問い合わせ
- ポスト処理機能（分布図、変形図、アニメーション、履歴データ、グラフ）
- 広範なモデルチェック機能（ゆがみチェック、境界チェック、正規方向チェック、要素二重定義チェック）

### 2.2.2 HEAT II (熱伝導解析)

熱伝導解析では、対流や輻射の境界条件による伝達を伴う伝導による熱移動を解析する。解析の種類は、時間依存の有無による定常及び非定常解析、温度依存の有無による線形及び非線形解析がある。

キャプセル温度評価では、線形の定常熱伝導解析を用いる。キャプセル温度評価に必要な解析条件を以下に示す。

- 材料物性値  
質量密度、熱伝導率を与える。
- 荷重条件（熱荷重）  
節点または要素における内部発熱率（体積発熱率）を与える。
- 境界条件（対流）  
熱伝達率、周囲温度（流体の温度）を与える。

### 2.2.3 NISA II (静解析)

静解析には、線形及び非線形の解析モジュールがある。要素ライブラリには、平面、軸対称、シェル、ソリッド、エルボーがある。線形静解析モジュールは、構造材部材にかかる力の伝達と、それによる変形量が、線形関係にある場合の応力や歪みの計算に使用される。非線形静解析モジュールは、材料の剛性や荷重状態が荷重量依存、温度依存、または、時間依存することによる非線形応答の解析に使用される。

キャプセル温度評価では、線形静解析モジュールの中の熱応力解析の機能を用いる。熱応力解析は、熱伝導解析を行って構造物の温度分布を表す節点温度を求め、そのデータをもとに静解析を行う。キャプセル温度評価に必要な解析条件を以下に示す。

- 材料物性値  
ヤング率、ポアソン比、線膨張係数を与える。
- 荷重条件  
熱荷重（温度分布は熱伝導解析結果を用いる）を与える。
- 境界条件  
多点拘束、結合変位を与える。

## 3. サブプログラムの概要及び構成

サブプログラムには、通常のキャプセルのためのキャプセル温度評価サブプログラムと試験片温度評価サブプログラムを開発した。また、キャプセル等のモデルからガ

ンマ発熱率減衰補正サブプログラムと熱膨張計算サブプログラムを開発した。以下にこれらのサブプログラムについて説明する。

### 3.1 キャプセル温度評価サブプログラム (CAPPRE、CAPSULE)

#### 3.1.1 概要

キャプセル温度評価サブプログラムは、キャプセル構造の熱伝導計算を自動化するための統合環境プログラムである。

キャプセルの温度は、ガンマ線による材料の発熱と原子炉 1 次冷却水によるキャプセル外筒表面の冷却とのバランスから決定される。この時の温度分布をもとにキャプセルの熱設計を行う。キャプセルの主な構造物は、外筒、内筒、試料ホルダ、試料である。これらをサブプログラムによりモデル化する。モデル化できる内筒の数には制限はない。また、内筒の内側には、ヒーター部を設けることが可能で、ヒーターによる発熱が計算できる。試料を装荷する試料ホルダは、試料の配置が一定でないため、要素は NISA コードの自動メッシュ機能でモデル化する。試料ホルダの外側にもヒーター部を設けることができる。また、キャプセル内軸方向の温度分布を均一にするために、テーパー（上端部と下端部が異なった直径）にすることも可能である。試料形状としては円筒及び矩形が選択でき、試料の中心位置、形状寸法及び試料ホルダの試料穴寸法を入力する。試料穴内での試料位置を偏心させることが可能である。矩形試料は試料中心を軸に角度を自由に変えられる。円筒型試料は、無垢と 2 重管構造のいずれかを選択できる。

開発したキャプセル温度評価サブプログラムでは、キャプセルの構造データ（寸法、材質等）及び熱的条件（発熱率、熱伝達率等）を対話形式で入力し、そのデータから解析用の形状定義ファイルを生成する。このファイルから自動的に解析モデルを作成して解析用計算ファイルを出力することにより熱伝導解析を行う。

#### 3.1.2 構成

このサブプログラムは、以下の 4 つのプログラムと 2 つのデータファイルから構成される。Fig.1 に構成図を示す。

##### (1) CAPPRE

このプログラムは、キャプセル温度評価のメインプログラムであり、以下の 3 つのプログラムを統合する。キャプセル構造の形状（寸法、形）とそれにおける熱的な条件（発熱、熱伝達等）を対話形式により定義する。

##### (2) CAPSULE

CAPPRE で定義されたキャプセル構造の形状と熱的条件を数値モデル化するために、モデル作成コードを出力する。

## (3) DISPLAYⅢ (NISA コードのモジュール)

CAPSULE で出力したモデル作成コードを実行し、3 次元の数値解析モデルを作成する。また、サブプログラム対象以外の構造の修正・追加も行える。さらに、熱伝導解析で求められた温度結果などのポスト処理も行える。

## (4) HEATⅡ (NISA コードのモジュール)

DISPLAYⅢで作成した 3 次元の数値解析モデルを熱伝導計算するプログラムである。

## (5) 材料特性データファイルとガンマ発熱率データファイル

材料特性データファイル (material.dat) は、解析に用いる材料特性（質量密度、熱伝導率など）をあらかじめ登録しておくファイルである。現在使用している材料特性データファイルを Table1 に示す。

ガンマ発熱率データファイル (gwave.dat) は、JMTR 炉心の軸方向でのガンマ発熱率分布を近似曲線で表したデータファイルである。ガンマ発熱率データファイルを Fig.2 に示す。

## 3.2 試験片温度評価サブプログラム (TIPMENU)

## 3.2.1 概要

試験片温度評価サブプログラムは、高温高圧水中で照射される試験片（飽和温度キャップセルに装荷されている）に対して温度評価を行うためのサブプログラムである。このサブプログラムは、IASCC (Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking) 研究のために、BWR (Boiling Water Reactor) 条件を模擬して高温高圧水中で照射を行うような照射試験を考慮したものである。試験片はキャップセル内の軸方向に多段に装荷され、試験片表面に高温高圧水が下から上に流れる。通常、流れが層流である場合、表面流速、温度から熱伝達率は一定として関係式より求められる。しかし、計算式の誤差、キャップセル内 γ 発熱等の特殊な環境から熱伝達率が異なる可能性がある。このため試験片表面の熱伝達率をパラメータにして試験片内の温度評価をする必要があることから開発したサブプログラムである。現在は、CT 試験片（破壊靱性試験片）及び SSRT 試験片（低歪速度引張試験片）のような平板状の 2 つの試験片形状を対象に温度評価ができるようにプログラムされている。このサブプログラムでは試験片内部の温度分布計算に対する 2 つの条件設定がある。ひとつは、規定条件と呼び、試験片周りの水温が飽和温度になった時に試験片表面に均一の温度を設定し、試験片材料の熱伝導率により内部の温度分布を求める方法であり、もうひとつは、対流温度条件と呼び、飽和温度状態に達する前の周囲の冷却水温度と表面熱伝達率及び試験片材料の熱伝導率により内部の温度分布を求める方法である。

### 3.2.2 構成

このサブプログラムは、以下の3つのプログラムから構成される。プログラムの構成図をFig.3に示す。

#### (1) TIPMENU

このプログラムは、試験片温度評価の統合プログラムであり、対話型のメニューにより試験片を選択し、寸法・解析条件等を入力し、解析用のモデルを作成する。

#### (2) DISPLAYIII (NISA コードのモジュール)

3.1.2(3)と同様

#### (3) HEATII (NISA コードのモジュール)

3.1.2(4)と同様

## 3.3 ガンマ発熱率減衰補正サブプログラム (GRS)

### 3.3.1 概要

キャップセル内の構造材、試料のガンマ発熱率は、燃料領域の外側の照射孔（反射体領域）では、炉心方向側が一般に高くなる。これはキャップセル構造材自体でガンマ線が遮へいされ減衰するためである。従来の熱計算では、このガンマ発熱率をキャップセル断面内で均一としていたが、より正確にキャップセル内でのガンマ発熱率の分布を考慮するために本サブプログラムを開発した。本サブプログラムでは、キャップセル内のガンマ発熱率の減衰を計算する。

### 3.3.2 構成

本サブプログラムは、3.1 キャップセル温度評価サブプログラムで生成したモデル体系に、ガンマ発熱率の減衰率、炉心中心の方向（角度）及び距離、ビルドアップ係数、補正係数をパラメータとして計算を行う。ただし、このガンマ発熱率減衰補正サブプログラムでは、ビルドアップ係数は考慮しないものとした。構成図をFig.4に示す。

$\gamma$  発熱率の減衰補正計算は、以下の式より求める。

$$I = I_0 \cdot A \cdot B \cdot e^{-\rho \mu d}$$

I : 減衰した  $\gamma$  線強度 (W/g)

$I_0$  : 減衰前の  $\gamma$  線強度 (W/g)

$\rho$  : 照射材料の密度 (g/mm<sup>3</sup>)

$\mu$  : 質量減衰係数 (mm<sup>2</sup>/g)

d : 吸収体の厚さ(mm)

A : 補正係数

B : ビルドアップ係数 (今回の計算例では無視する)

①  $I_0$  : 減衰前の $\gamma$ 線強度

キャップセル温度評価サブプログラムによって求めた $\gamma$ 線強度。

②  $\rho$  : 照射材料の密度

キャップセル内は一様の材質であると仮定する。したがって複数の材料がある場合は、その割合などによって平均質量密度を割り当てる。

## ③ 質量減衰係数

$\gamma$ の質量減衰係数は材質及び $\gamma$ 線エネルギーで異なる。 $\gamma$ 線エネルギーを2MeVと仮定した場合、材質アルミ及び鉄の質量減衰係数（出典：アイソトープ手帳）は、4.316と4.25と大差ないこと（その他についても炭素:4.435、銅:4.188、タンクスチール:4.373）から4.3を使用する。（単位はすべて mm<sup>2</sup>/g）

## ④ 吸収体の厚さ

このサブプログラムでは、キャップセル外筒の一端を炉心中心軸として $\gamma$ 減衰させるため、吸収体の厚さは、外筒半径（キャップセルの中心の座標が原点(0,0)）の距離を入力する。

## ⑤ 補正係数

$I_0$ で計算したトータル発熱量と減衰したIのトータル発熱量と同じにするために補正係数を乗じる。計算の結果から1.35倍を入力する。この値は、以下の計算式によって求めたものである。

$$A = I_0 \cdot d / \sum (I_0 \cdot \exp^{-\rho \mu d})$$

A : 補正係数

## ⑥ ビルドアップ係数

この計算例では、ビルドアップ係数は考慮していない。

## 3.4 熱膨張計算サブプログラム (GAPCON)

## 3.4.1 概要

キャップセル温度評価サブプログラムで行う熱伝導解析では、キャップセルの初期形状に基づいて温度分布を求める。この際に熱膨張は考慮されていない。しかし実際には熱膨張によりキャップセル構造物間のギャップ間隔は変化し、その結果ギャップ部の熱伝達と温度分布が変化する。NISAコードを導入した当初は、既存の1次元設計計算コードGENGTC<sup>3)</sup>により熱膨張によるギャップ間隔の変化を計算し、その計算結果をキャップセル温度評価サブプログラムに入力して計算を行って温度評価をしてきた。しかし、2つの計算コードを使うには効率が悪く、また1次元計算コードでは応力分布及び試験片の配置が考慮されないことから、3次元有限要素NISAコードを用いて、熱伝導計算と熱膨張計算（熱応力解析）を繰り返し行って収束できるように自動化して、

熱膨張計算サブプログラムとして整備したものである。

### 3.4.2 構成

熱膨張計算サブプログラムは、熱負荷による熱応力解析の変位結果を熱伝導解析のギャップ間隔の変化に反映させ、熱伝導計算と熱膨張計算を繰り返し行い、一定値に収束させるものである。熱伝導計算による温度分布を熱応力解析の熱荷重データとし、熱膨張（変位）を求める。この変位を使ってギャップ部の熱伝達率を再評価し、改めて熱伝導計算を行う。これを繰り返すことによって、収束した結果を熱膨張を考慮した温度分布とする。熱膨張計算サブプログラムの構成を Fig.5 に示す。

変位によるギャップ部の熱伝達率の算出方法及び収束判定方法を以下に示す。

#### (1) 热伝達リンク要素

热伝達要素は、ギャップ部の2点間を結ぶ要素である。GAPCON サブプログラムでは、静解析の変位結果からギャップ部を評価し、構造材料表面の热伝達率  $h_f$  を算定する。

热伝達率は、以下の式から算定する。

$$h_f = K / \text{gap}$$

$h_f$  : 热伝達率

K : 热伝導率

gap : ギャップ幅

#### (2) 収束判定（温度・変位の許容誤差）

収束判定は反復中の温度変化と変位変化の両方を調べ、両方が基準値以下になつたら収束と判断する。反復回数を i とすれば、

$$\| T_i - T_{i-1} \| \leq tol_t$$

$$\| u_i - u_{i-1} \| \leq tol_d$$

で判定する。ただし、T、u は温度、変位ベクトルで  $\| x \|$  はベクトル x のノルムを表す。ノルムはベクトルの各成分の最大値とする。また  $tol_t$  (温度の許容誤差)、 $tol_d$  (変位の許容誤差) は収束基準値である。

すなわち、温度、変位両方において、前回の繰り返し計算で求めた値と最も変化した節点自由度の値が基準値に収まれば収束と判断する。

#### (3) 収束緩和係数

計算する体系が本質的に、収束が難しく振動・発散する場合がある。キャプセルは中心ほど温度が高く、熱膨張することによってギャップが狭くなる（あるいは接触）。この時、熱が解放され温度が下がりギャップが広がる。このため、今度は熱が逃げにくくなり、ギャップが狭くなる。こういう体系で安定的に収束させる方法として、収束緩和係数を導入した。

あるイタレーションで発生する修正項を、その次の反復にそのまま 100%反映させるのではなく、加減して反映させるためのパラメータである。具体的にはギャップ幅の評価を加減する。緩和係数  $f$  を使って、新規ギャップ幅  $\delta'_i$  は

$$\delta_i = f \delta'_i + (1-f) \delta_{i-1}$$

とする。ここで  $\delta'_i$  は変位をそのまま評価した、暫定的な新規ギャップ幅である。 $f$  は  $0 < f$  である、 $f=1$  なら緩和しないということである。

緩和係数によって、収束状況がどうなるか調べてみた。Fig6 に示すように、縦軸に  $f=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$  のパラメータを振って、各反復時の最大温度、横軸は反復回数である。 $f=0.3, 0.5, 0.7$  はすみやかに収束し、 $f=0.1$  も緩やかながら収束している。しかしながら  $f=0.9$  は振動をしていることがわかる。

この結果から、 $f=0.5$  前後が適当であることが言える。しかし、体系によっては振動する可能性もあるので、その際にはさらに  $f$  を小さくすることで対処する。緩和係数は小さくなるほど保守的な収束計算を行う。

## 4. 計算例

### 4.1 キャプセル温度評価サブプログラム (CAPPRE、CAPSULE)

#### 4.1.1 計算条件

キャプセル構造物の形状寸法 :	Fig.7 に示すモデル体系
材料物性値 :	Table1 で対応する材料の ID を選択する
$\gamma$ 発熱率 :	1.0W/g
軸方向長さ :	50mm
炉心中心からの軸方向距離 :	-100mm (キャプセル底面軸方向位置)
外筒表面の熱伝達率 :	0.0233W/mm <sup>2</sup> ·K
周囲温度 :	50°C (1 次冷却水温度)
円筒試験片の偏心 :	X 方向+0.05mm Y 方向+0.05mm
矩形試験片の角度 :	45°

#### 4.1.2 計算方法

CAPPRE サブプログラムにより上記の計算条件を対話形式で入力する。対話形式により入力したデータを Table2 に示す。このデータファイルを CAPSULE サブプログラムにより、形状定義ファイル (NISA コードで読み込み可能なファイル形式) に変換する。この形状定義ファイルのデータから DISPLAYIII によりモデルを作成し、熱伝導計算ファイルを出力する。この計算ファイルにより HEAT II で熱伝導解析を行う。

以下に CAPPRE に入力するデータ項目の説明を示す。

(1) 外筒

外筒の寸法、材質の指定を行う。個数の制限は、1 個。

(2) 内筒

内筒の寸法、材質の指定を行う。個数の制限はない。内筒内側にヒータを設けることが可能である。その場合、ヒータの厚み及び発熱量を指定する。

(3) 試料ホルダ

試料ホルダで寸法、材質の指定を行う。個数制限は 1 個。試料ホルダ外側にヒーターを設けることが可能である。その場合、ヒーターの厚み及びヒーターの総発熱量を指定する。

(4) 試料ホルダのテーパー量

試料ホルダのテーパー量の指定を行う。試料ホルダ上端部と下端部の直径を異なった値にすることができる。これは、キャプセルの設計上、上端部と下端部の温度分布を均一にするために使用する。

(5) 矩形試験室

矩形の試験片の座標位置、矩形試験片寸法、試験片の穴（ギャップ寸法）、材質の指定を行う。個数制限はなく、試料ホルダ内のそれぞれの試験片が交差しないまで配置可能である。試験片穴内の試験片の偏心も模擬可能である。また、試験片の角度は変化可能で、 $0^\circ \sim 360^\circ$  の間で指定する。

(6) 円形試験室

円形試験片の座標位置、寸法、試験片の穴（ギャップ寸法）、材質の指定を行う。個数制限はなく、試料ホルダ内のそれぞれの試験片が交差しないまで配置可能である。試験片穴内の試験片の偏心も模擬可能である。また、円形試験片は、二重管構造のモデルリングが可能で、内側を試験片、外側をスペーサとして異なった材質での設定もできる。

(7) モデルの高さ

キャプセル（モデル）の高さの指定を行う。また、軸方向の要素分割数の指定を行う。要素分割数は、キャプセルの高さによって精度と計算時間の損得を考慮して、適切な分割数（5～20）を指定する。

(8) メッシュの生成

要素の精度を設定する。これは、試料ホルダ内に装荷される試験片の個数がキャプセルによって異なるため、試料ホルダ内の要素は、試験位置によって異なるため、自動分割で要素の生成する。その要素生成の精度（デフォルトは 1.5）を設定する。また、節点の接続精度を設定する。これは、ギャップ間の節点を接続す

るための要素生成精度であり、解析するモデルの最小ギャップ値より小さい値を設定する。例えば、最小ギャップが 0.01mm の場合、0.005 と設定する。

#### (9) 热伝達率・周囲温度

キャプセルの炉内照射では、除熱のためにキャプセル外筒と反射体の間のギャップを 1 次冷却水が流れる。この時のキャプセル表面での热伝達率及び冷却水水温を設定する。

#### (10) $\gamma$ 発熱率

標準の  $\gamma$  発熱率分布を 4 次式に補間したものを Fig.2 に示す。X 軸の  $\gamma$  発熱増幅率は、キャプセルを装荷する照射孔に対する標準  $\gamma$  発熱率（軸方向ピーク値）の値を入力する。キャプセルの軸方向位置は、キャプセルモデルの底面位置 (Fig.2 のシフト位置) を入力することにより、キャプセル位置で  $\gamma$  発熱率が計算される。

### 4.1.3 計算結果

計算結果の温度分布図を Fig.8, 9 に示す。

1 次元計算で不可能な試験片内及び試験片周辺の温度分布の詳細評価が可能になり、有効なキャプセル熱設計が可能となった。また、試験片温度の再評価にも有効になる。偏心による温度分布については、照射孔によって異なるが、試料中心温度はあまり影響を受けないが、試料内部に若干の温度分布が生じたことを確認できた。

## 4.2 試験片温度評価サブプログラム (TIPMENU)

### 4.2.1 計算条件

#### (1) CT 試験片

試験片の形状寸法 : Fig.10 に示すモデル体系

材料物性値 : Table1 で対応する材料の ID を選択する

$\gamma$  発熱率 : 6w/g

[規定温度条件を選択した場合]

試験片表面温度 : 200°C

[対流境界条件を選択した場合]

熱伝達率 : 1.5E-03 W/mm<sup>2</sup> · K

周囲温度 : 158°C

#### (2) 平板型試験片

試験片の形状寸法 : Fig.11 に示すモデル体系

材料物性値 : Table1 で対応する材料の ID を選択する

$\gamma$  発熱率 : 6w/g

## [規定温度条件を選択した場合]

試験片表面温度 : 200°C

## [対流境界条件を選択した場合]

熱伝達率 : 2.0E-03 W/mm<sup>2</sup>・K

周囲温度 : 200°C

## 4.2.2 計算方法

TIPMENU への入力により試験片の形状を選択し、各寸法及び解析条件を入力することにより自動で形状定義ファイルを出力する。このファイルを DISPLAYIII で読み込みモデル作成後、熱伝導計算ファイルを出力する。この計算ファイルにより HEAT II で熱伝導解析を行う。

## 4.2.3 計算結果

CT 試験片（規定温度条件）の温度分布図を Fig.12 に示す。

CT 試験片（対流温度条件）の温度分布図を Fig.13 に示す。

平板型試験片（規定温度条件）の温度分布図を Fig.14 に示す。

平板型試験片（対流温度条件）の温度分布図を Fig.15 に示す。

## 4.3 ガンマ発熱率減衰補正サブプログラム (GRS)

今回の計算例でモデルにしたキャプセルは、実際に照射し T/C の測定を行ったものである。

## 4.3.1 計算条件

キャプセル構造物の形状寸法 : Fig.16 に示すモデル体系

材料物性値 : Table1 で対応する材料の ID を選択する

γ 発熱率 : 4.0W/g

キャプセル軸方向長さ : 100mm

炉心中心からの軸方向距離 : -125mm (キャプセル底面軸方向位置)

外筒表面の熱伝達率 : 0.0233W/mm<sup>2</sup>・K

周囲温度 : 50°C (1 次冷却水温度)

## [γ 発熱率減衰補正用データ]

炉心中心方向 : X 軸から 90° 方向

炉心中心までの距離 : 19.95mm

(外筒の一端が炉心中心軸に接している)

補正係数 : 1.35

質量減衰係数 : 4.3mm<sup>2</sup>/g

#### 4.3.2 計算方法

キャプセル温度評価サブプログラムにより解析モデルを作成し、解析用計算ファイルを出力する。この出力した計算ファイルを GRS ( $\gamma$  発熱率減衰補正サブプログラム) により  $\gamma$  発熱率減衰補正用データを入力し、 $\gamma$  発熱の減衰率を計算して、計算ファイルを減衰補正した値に書き換える。この書き換えた計算ファイルを HEAT II で熱伝導解析をする。

#### 4.3.3 計算結果

計算結果の温度分布図を Fig.17 に、比較表を Table3 に示す。

この温度分布でもわかるように、 $\gamma$  減衰をしない場合、温度分布はキャプセルを中心とする分布となる。 $\gamma$  減衰を考慮した場合、キャプセル中心から若干温度分布中心が減衰方向にシフトした分布となる。この温度分布のシフトは、実際の照射キャプセルで測定した T/C から比較しても十分許容できる範囲であることがわかった。

Table3 では  $\gamma$  発熱率による温度比較するために、補正前の  $\gamma$  発熱率が 4W/g の他に 2W/g、8W/g での評価を行った。2W/g での温度差は約 17°C に対して、8W/g では約 46°C だった。燃料領域に近づくほど、 $\gamma$  減衰による温度の変化が大きくなることを確認できた。

### 4.4 热膨張計算サブプログラム (GAPCON)

今回の計算例のキャプセルは、実際に照射し T/C の測定を行ったものであり、実測値と 1 次元計算、3 次元計算との比較をするために計算モデルとした。

#### 4.4.1 計算条件

キャプセル構造物の寸法 :	Fig.18 に示すモデル体系
材料物性値 :	Table1 に対応する材料の ID を選択する
$\gamma$ 発熱率	7.97W/g (外筒 : SUS316) 8.40 W/g (試料ホルダ : Fe) 8.40 W/g (スペーサ : SUS316) 8.40 W/g (試料 : Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
キャプセル高さ :	30mm
炉心中心からの軸方向距離 :	-75mm (キャプセル底面軸方向位置)
外筒表面の熱伝達率 :	0.0233W/mm <sup>2</sup> ·K
周囲温度 :	56.46°C (1 次冷却水温度)
[熱応力解析用データ]	
拘束条件 :	Fig.19 の図のように拘束点を設定する。

結合変位 :	モデル全体が軸方向に一様な変形をするという条件で、上面の全節点の UZ 変位をカップルする。1 点独立節点を与え、その他は従属節点とする。
荷重条件 :	熱荷重 (熱伝導解析で得られた温度分布データ)

#### 4.4.2 計算方法

CAPPRE 及び CAPSULE サブプログラムにより、熱伝導解析用ファイルを作成する。このファイルから GAPCON サブプログラムにより、熱応力解析用ファイルに変換する。この変換では、熱伝導解析用の熱的条件はすべて削除し、拘束条件及び結合変位を設定し、要素タイプを熱伝導から静解析用に変更する。熱伝導解析から温度分布結果ファイルを熱荷重として読み込むように設定して、熱応力解析用計算ファイルを出力する。

熱伝導解析用ファイルと熱応力解析用ファイルを GAPCON サブプログラムより収束判定を満足するまで、繰り返し計算を行う。収束判定を満足した時が熱膨張を考慮した温度分布の最終結果となる。

以下に GAPCON 実行時のオプションパラメータを示す。

パラメータ	意味	デフォルト値
-v	GAPCON のバージョンを出力	
-l	熱伝達リンク方式 (デフォルト)	
-u	座標更新方式	
-i	最大反復回数	20
-t	温度の許容誤差	2.0
-d	変位の許容誤差	0.05
-f	収束緩和係数	0.5

#### 4.4.3 計算結果

計算結果の温度分布図を Fig.20 に示す。

計算結果の応力分布図を Fig.21 に示す。

実測値と 1 次元、3 次元の比較である熱膨張計算結果を Table.4 に示す。

Fig.20 の温度分布図からわかるように、熱膨張を考慮した 3 次元の温度分布は、考慮しない場合より 140°C 以上温度が下がり、実測値の温度と比べて +1.9°C (Table4 参照) となった。また、照射孔による (2W/g, 5W/g, 8W/g) 実測値と 1 次元コード GENGTC の計算結果及び 3 次元コード GAPCON の計算結果から比較検証を行った。検証にあたり、寸法、材質、熱的条件はすべて同じ条件で計算を行った。Table 4 の表からわかるように、温度については、1 次元計算と 3 次元計算で若干温度差が見られるが、実測値と比較して許容範囲内であることを確認

した。変位量については、外筒の変位量が若干違うが、これは、1次元では線膨張係数のみの計算であり、3次元では線膨張係数の他にヤング率、ポアソン比のデータを加えた計算結果であるため、このような計算結果が出たと予想される。その他の変位の計算結果については、ほぼ同等の値が得られため、GAPCONの計算が妥当であると判断した。

このことから、熱膨張を考慮した3次元計算は十分許容できる温度分布結果が得られ、今後、複雑な構造のキャプセルについても信頼性の高い分布が得られる期待される。この熱膨張の結果、キャプセル内の応力分布も求めることが可能になり、キャプセル強度計算に反映されるものと期待される。

## 5. 今後の課題

今回、開発したサブプログラム群により、キャプセル内の3次元温度計算が容易に行えるようになったが、機能の点で以下のような課題がある。

### (1) キャプセル温度評価サブプログラム

キャプセルに装荷する試験片形状としては、円柱及び矩形のみに制限されている。円柱については、二重管のものまで解析可能であるが、矩形に関しては四角形単体のみである。実際のキャプセルの場合、四角形の細棒を3列×3列、4列×4列などに配列して設計することがある。このような場合、ギャップ幅を変える必要が生じ各試験片の温度が変わってくる。現段階では、このようなモデルは無垢な試験片としてモデル化する必要があり、今後の課題として配列された試験片に対して、試験片同士の間隔も考慮して温度分布を求められるように改良を検討中である。

### (2) 今後の課題

温度評価が可能な試験片のモデルとして、現状ではCT試験片及び平板型試験片のみであるので、今後、試験片の種類を追加する予定である。また、飽和温度未満の状態の温度評価（対流温度条件）では、試験片の各面に対して個別に熱伝達率を与える場合には、手動でしか設定できないので、これを自動化することを検討中である。

### (3) 今後の課題

複数の材質がある場合、現状では質量密度に材質の体積割合で平均した質量密度を割り当てている。今後は、材料毎の質量密度で減衰を計算できるように改良を検討中である。

#### (4) 今後の課題

熱膨張計算サブプログラムでは、熱伝導計算と熱応力計算を交互に繰り返す必要があり、単体の熱伝導計算に比べ格段の計算時間を要する。さらに計算の収束性もモデルに大きく依存するため、収束せずに再計算を余儀なくされる場合もある。これらの対策として、従来の3次元モデルに加え、X-Y（径方向断面）2次元モデルを生成するサブプログラム開発を検討中である。これにより、計算時間の短縮、収束性チェック、材料データ及び境界条件のチェックが容易に行えるようになると考へる。

## 6. まとめ

汎用の3次元有限要素法NISAコードをキャップセル内の3次元温度計算に適用するにあたって、温度評価用のサブプログラム群を開発することによって、誰でも容易に計算を行えるようになった。このサブプログラム群によりキャップセル設計における熱挙動を精密に効率よく温度評価することが可能になったこと、照射中に測定された熱電対温度から試験片毎の照射温度を求め、照射依頼者により精度の高い照射温度評価結果を示すことが可能になったこと、キャップセル内の応力計算も可能となったことから、これらの情報が今後のキャップセル設計に反映されるものと考える。

しかしながら、キャップセル形状の複雑なモデル、あるいは材料定数等物性値が複雑な場合には、現状のサブプログラム群のみでは難しいところがあるので、NISAの有する機能を十分に活用できるよう今後サブプログラムの改良を行うことで、より高度な温度評価等を検討していきたいと考える。

## 謝 辞

今回、本報告書をまとめるにあたっては、材料試験炉部伊藤治彦部長、材料試験炉部藤木和男次長、同部照射第1課長小森芳廣氏に、御指導いただきました。また、材料試験炉部照射第1課長代理板橋行夫氏、同課長代理斎藤隆氏には、ご協力頂きました。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) NISA II™ User's Manual, Numerically Integrated Elements for System Analysis  
Version 93.0, EMRC, Troy, Michigan 48083 USA (1994)
- 2) ABAQUS User's manual Ver.5.7, Hibbit, Karlson & Sorensen, INC (1999),
- 3) 染谷博之、他4名, GENGTC-JB ; 照射用キャップセル内温度評価プログラム、  
JEARI-M87-148 (1987)

Table 1 材料データファイルの内容

ID	材料名	密度 (g/mm <sup>3</sup> )	熱伝導率 (W/mm°C)			※1 C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	線膨張係数 (1/K) *10 <sup>-6</sup>	※2 A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>
1	Nb-1%Zr	8.66E-03	4.53E-02	1.56E-05	-	-	-	-	-	7.39E+00	6.87E-04
2	Hastelloy-X	8.23E-03	9.67E-03	1.82E-05	-	-	-	-	-	1.24E+01	4.31E-03
3	He	0	1.43E-04	3.25E-07	-7.68E-11	-	-	-	-	-	-
4	Nak-44	8.00E-04	2.47E-02	1.07E-05	-8.56E-09	2.52E-12	-	-	-	-	-
5	Ne	0	4.63E-05	1.01E-07	-2.67E-11	7.83E-15	-9.74E-19	-	-	-	-
6	SUS316	7.80E-03	1.41E-02	1.37E-05	-	-	-	-	-	1.56E+01	2.70E-03
7	SUS304	7.80E-03	1.49E-02	1.28E-05	-	-	-	-	-	1.70E+01	2.72E-03
8	T-111	1.67E-02	4.13E-02	2.27E-05	-	-	-	-	-	6.01E+00	1.09E-03
9	UN	1.43E-02	1.00E-02	2.00E-05	-7.74E-09	9.48E-13	-	-	-	7.42E+00	1.94E-03
10	U02	1.10E-02	1.02E-02	-2.08E-05	2.79E-08	-1.98E-11	5.45E-15	9.61E+00	1.57E-03	-	-
11	W-26%Re	1.97E-02	1.37E-01	-9.14E-05	7.65E-08	-2.66E-11	3.25E-15	5.10E+00	2.30E-04	-	-
12	Zr-2	6.47E-03	1.10E-02	1.54E-05	-5.09E-08	1.56E-10	-1.21E-13	6.58E+00	7.81E-04	-	-
13	Ar	0	1.49E-05	5.92E-08	-2.17E-11	-2.65E-14	2.34E-17	-	-	-	-
14	Graphite	1.80E-03	1.40E-01	-1.30E-04	5.18E-08	-2.69E-12	-2.49E-15	-	-	-	-
15	Li	4.73E-04	3.26E-02	-5.80E-06	1.17E-07	-1.66E-10	5.54E-14	-	-	-	-
16	Mo	1.02E-02	1.29E-01	-6.14E-05	4.91E-08	-2.39E-11	5.05E-15	5.14E+00	7.52E-04	-	-
17	W	1.93E-02	1.61E-01	-9.12E-05	6.30E-08	-2.15E-11	3.56E-15	4.42E+00	7.52E-04	-	-
18	Sol-gel	9.27E-03	2.00E-03	-	-	-	-	-	-	-	-
19	SiC	3.21E-03	6.02E-02	-5.31E-05	1.41E-08	3.58E-13	-3.98E-16	3.33E+01	1.16E-02	-	-
20	Al	2.70E-03	2.03E-01	1.36E-05	1.33E-07	7.44E-10	-1.08E-12	2.28E+01	9.78E-03	-	-
21	N2	0	2.48E-05	7.39E-08	2.30E-11	-	-	-	-	-	-
22	Ti	4.41E-03	7.45E-03	1.05E-05	-3.44E-08	1.18E-10	8.21E-14	6.58E+00	7.81E-04	-	-
23	2/5He	0.00E+00	5.72E-05	1.30E-07	-3.07E-11	-	-	-	-	-	-
24	Ta	1.66E-02	5.34E-02	1.25E-05	-	-	-	5.44E+00	2.07E-03	-	-
25	Be	1.82E-03	1.48E-01	-7.85E-05	-	-	-	1.07E+01	7.48E-03	-	-
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
200	Fe	7.80E-03	8.34E-02	-1.19E-04	1.17E-07	-6.85E-11	0.00E+00	1.22E+01	6.82E-03	-	-

※1 : 热伝導率 = C<sub>0</sub>\*C<sub>1</sub>\*T + C<sub>2</sub>\*T<sup>2</sup> + C<sub>3</sub>\*T<sup>3</sup> + C<sub>4</sub>\*T<sup>4</sup> (T=温度)※2 : 線膨張係数 = A<sub>0</sub>+A<sub>1</sub>\*T (T=温度)

Table 2 キャップセル温度評価プログラム入力データ

※ \*内は、グループ ID カード

**\*外筒**

半径 20.0 厚み 1.0 材料 ID 6 ギャップ部材料 ID 3 物質依存係数 1

**\*内筒**

数量 1

半径 18.9 厚み 1 ヒータ部の厚み 0.3 発熱量 1000 内筒の材料 ID 6

ヒータの材料 ID 6 ギャップ部材料 ID 3 内筒の物質依存係数 1

ヒータ部の物質依存係数 1

**\*ヒートホルダ**

半径 17.8 厚み 0.5 発熱量 0 ヒートホルダの材料 7 ヒータの材料 7

ヒートホルダの物質依存係数 1 ヒータの物質依存係数 1

**\*矩形試験室**

数量：1

矩形 1

中心座標 6,6 配置角度 -45 長さ 8 幅 5 ギャップ幅 0.1 偏心量 0.05,0.05

ガイドラインの始点：3 終点：1 材料 ID 20 ギャップ部材料 ID 3

物質依存係数 0.8

**\*円形試験室**

数量 1

円形 1

中心座標 -6,-6 試験室の半径 4 試験片の半径 2.5 外壁の隙間 0.1

スペーサ間の隙間 0.1 偏心量 0.05,0.05 ガイドラインの始点：6 終点：6

試験片の材料 ID 7 スペーサの材料 ID 20 外壁のギャップ部材料 ID 3

スペーサ間のギャップ部材料 ID 3 試験室の物質依存係数 1

スペーサの物質依存係数 0.8

**\*モデルの高さ**

高さ 50 分割数 5

**\*メッシュの生成**

メッシュ精度 1.5 接点の接続精度 0.005

**\*温度入力**

外筒表面の熱伝達率 0.023 周囲温度 50

**\*ガンマ発熱**

補間次数 5

ガンマ発熱の増幅率 1 位置の補正 -100

**テーパー量**

ヒートホルダのテーパー量 0

**データ終端**

Table 3  $\gamma$  発熱率毎の減衰補正前後の温度比較

$\gamma$ 発 熱 率	測定点	計算値			T/C測定値		測定値-計算値		図 番
		補正前	補正後	温度差	最小	最大	最小	最大	
4W/g	熱媒体中心	530.2	525.0	-5.2	-	-	-	-	①
	T/C1位置	493.3	492.3	-1.0	490.0	491.0	2.3	1.3	②
	T/C1の試料中心	514.4	520.6	6.2	-	-	-	-	③
	T/C2位置	473.3	444.9	-28.4	429.0	436.0	15.9	8.9	④
	T/C2の試料中心	514.3	485.4	-28.9	-	-	-	-	⑤
2W/g	熱媒体中心	318.3	315.2	-3.1	-	-	-	-	①
	T/C1位置	297.4	296.9	-0.5	-	-	-	-	②
	T/C1の試料中心	310.2	313.9	3.7	-	-	-	-	③
	T/C2位置	286.1	269.3	-16.8	-	-	-	-	④
	T/C2の試料中心	310.2	293.0	-17.2	-	-	-	-	⑤
8W/g	熱媒体中心	875.7	867.4	-8.3	-	-	-	-	①
	T/C1位置	814.1	812.6	-1.5	-	-	-	-	②
	T/C1の試料中心	847.8	857.9	10.1	-	-	-	-	③
	T/C2位置	780.7	734.3	-46.4	-	-	-	-	④
	T/C2の試料中心	847.7	800.9	-46.8	-	-	-	-	⑤

※測定点は、Fig. 16を参照

※T/Cの測定値は、 $\gamma$  発熱率4W/g時に測定したもの※図番は、Fig. 17  $\gamma$  発熱率減衰プログラム計算結果の数字を参照

Table 4  $\gamma$  発熱率毎の熱膨張計算結果 $\gamma$  発熱率毎の温度結果

単位 : °C

node	材質	$\gamma = 8\text{W/g}$		$\gamma = 5\text{W/g}$		$\gamma = 2\text{W/g}$		←実測値	
		中心温度=370°C		中心温度=246°C		中心温度=160°C			
		3次元計算	1次元計算	3次元計算	1次元計算	3次元計算	1次元計算		
0	(中心)	371.9	370.2	241.7	251.0	156.8	162.2	←計算値	
1	Al203	371.8	370.1	241.7	251.0	156.9	162.2		
2	He	371.0	369.5	241.4	250.6	156.8	161.8		
3	SUS316	370.9	369.3	241.3	250.5	156.7	161.8		
4	He	365.0	365.9	239.2	248.2	155.5	160.3		
5	Fe	267.4	267.7	191.4	199.9	133.7	138.3		
6	He	144.1	144.5	96.4	96.6	66.2	68.8		
7	SUS316	84.1	84.4	62.3	62.5	50.1	51.3		

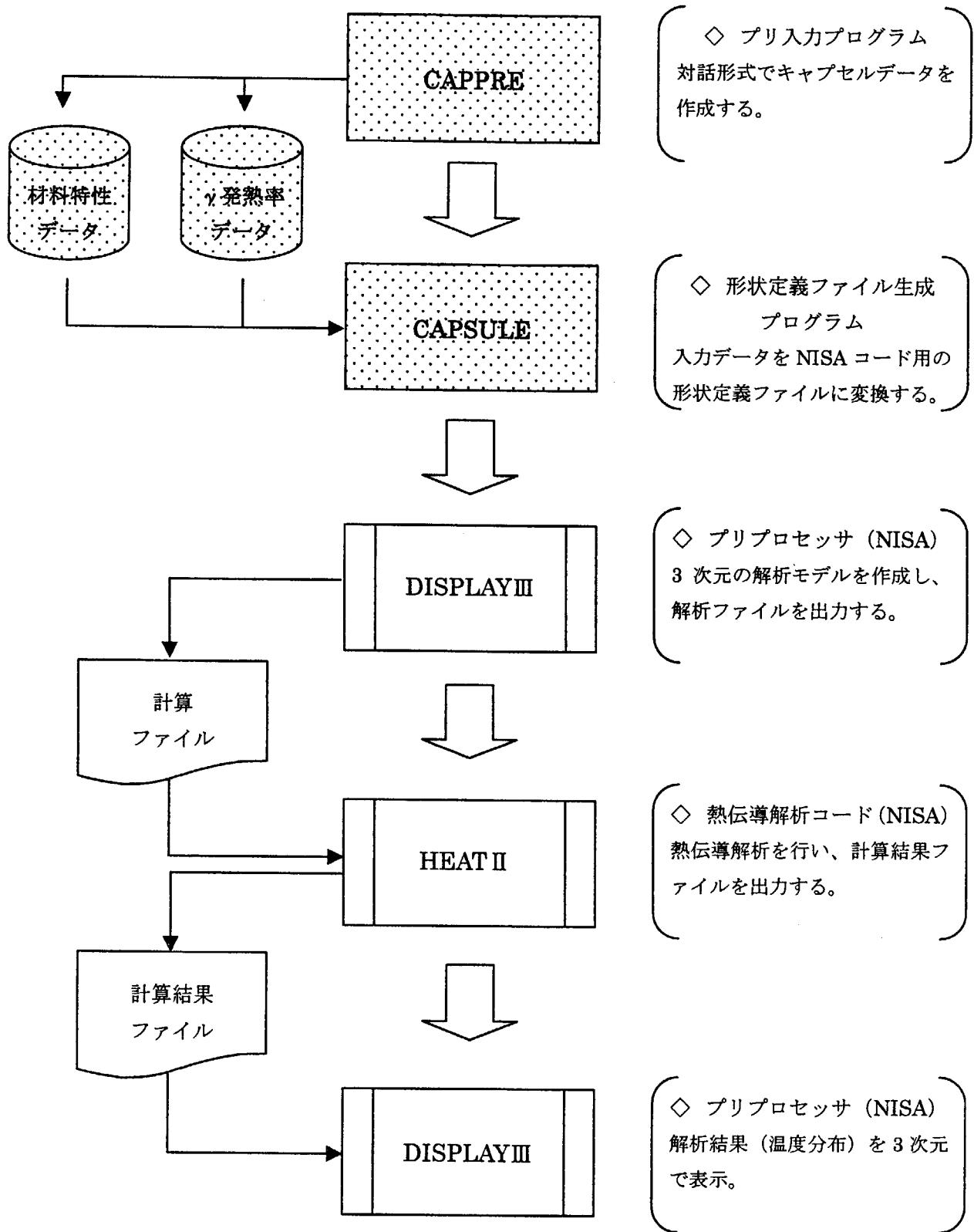
 $\gamma$  発熱率毎の変位結果

単位 : mm

node	材質	設計寸法	$\gamma = 8\text{W/g}$		$\gamma = 5\text{W/g}$		$\gamma = 2\text{W/g}$	
			3次元計算	1次元計算	3次元計算	1次元計算	3次元計算	1次元計算
0	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Al203	0.600	0.602	0.602	0.601	0.601	0.601	0.601
2	He	0.610	0.614	0.613	0.613	0.612	0.612	0.611
3	SUS316	0.800	0.805	0.805	0.803	0.803	0.802	0.802
4	He	0.850	0.854	0.854	0.853	0.852	0.852	0.851
5	Fe	18.340	18.426	18.419	18.396	18.392	18.376	18.371
6	He	18.435	18.455	18.462	18.450	18.452	18.447	18.446
7	SUS316	19.955	19.977	19.984	19.971	19.973	19.968	19.967

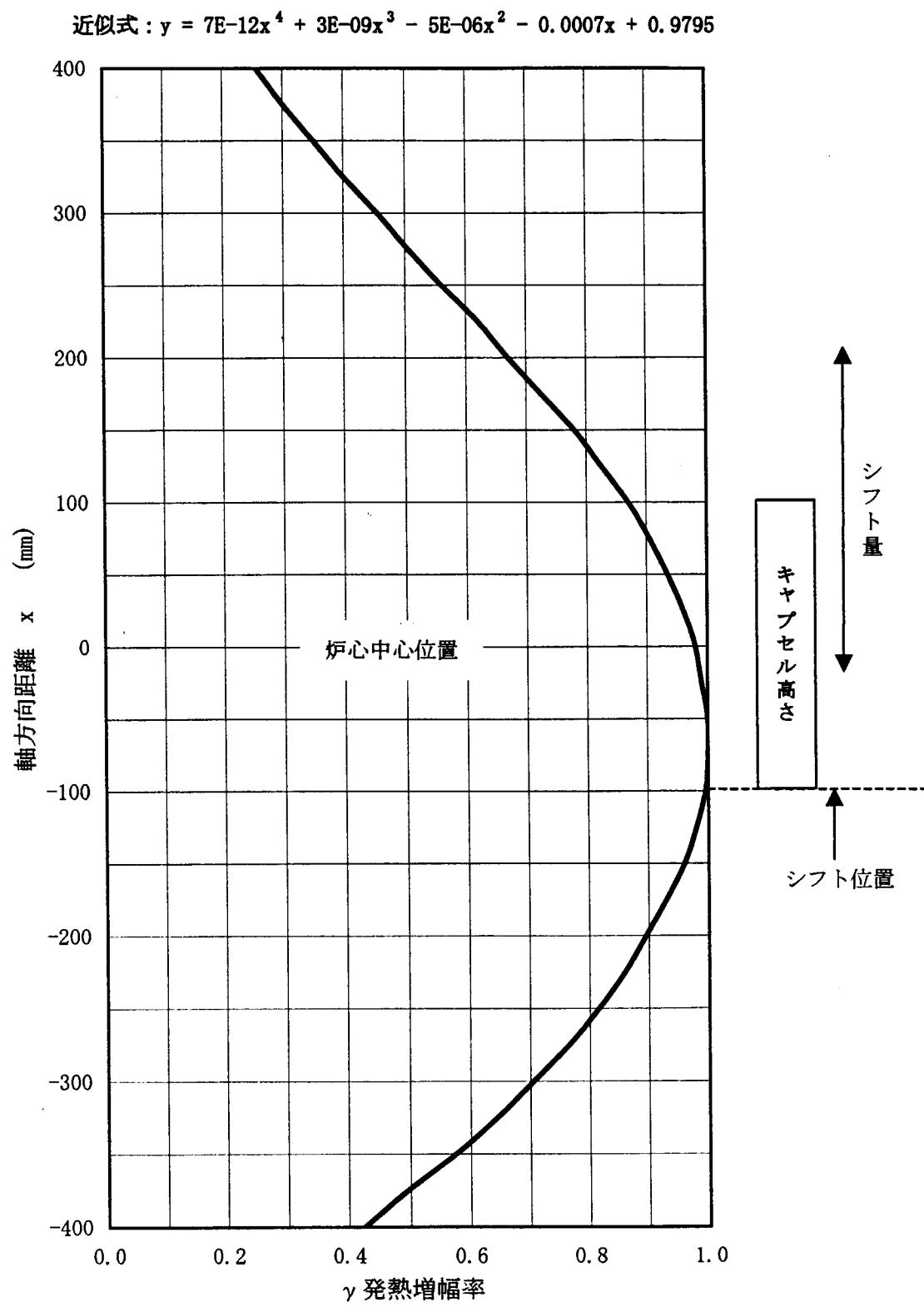
3次元計算 : GAPCONプログラムによる

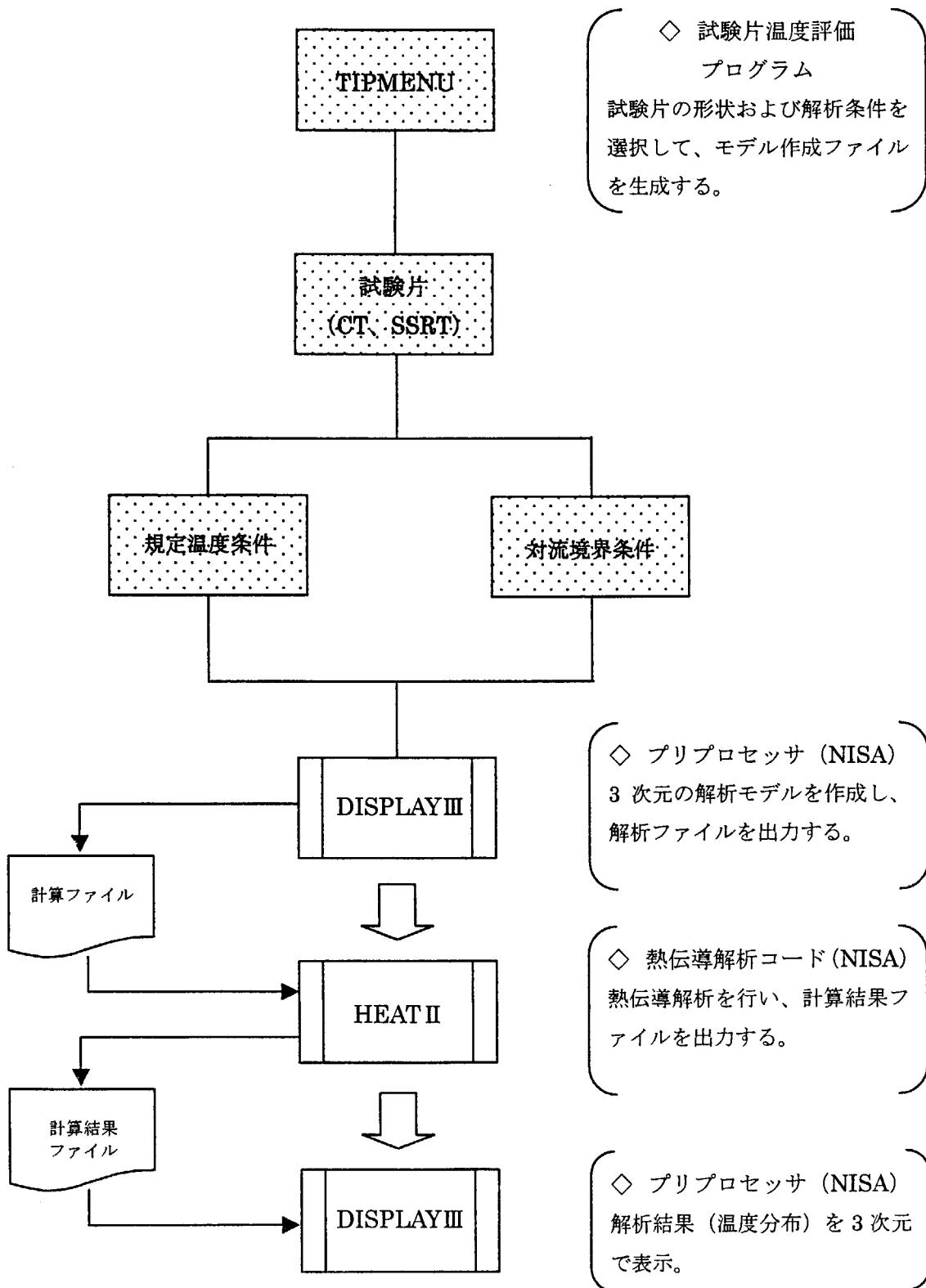
1次元計算 : GENGTCコードによる



※ハッシュ部分が開発したキャプセル温度評価プログラム

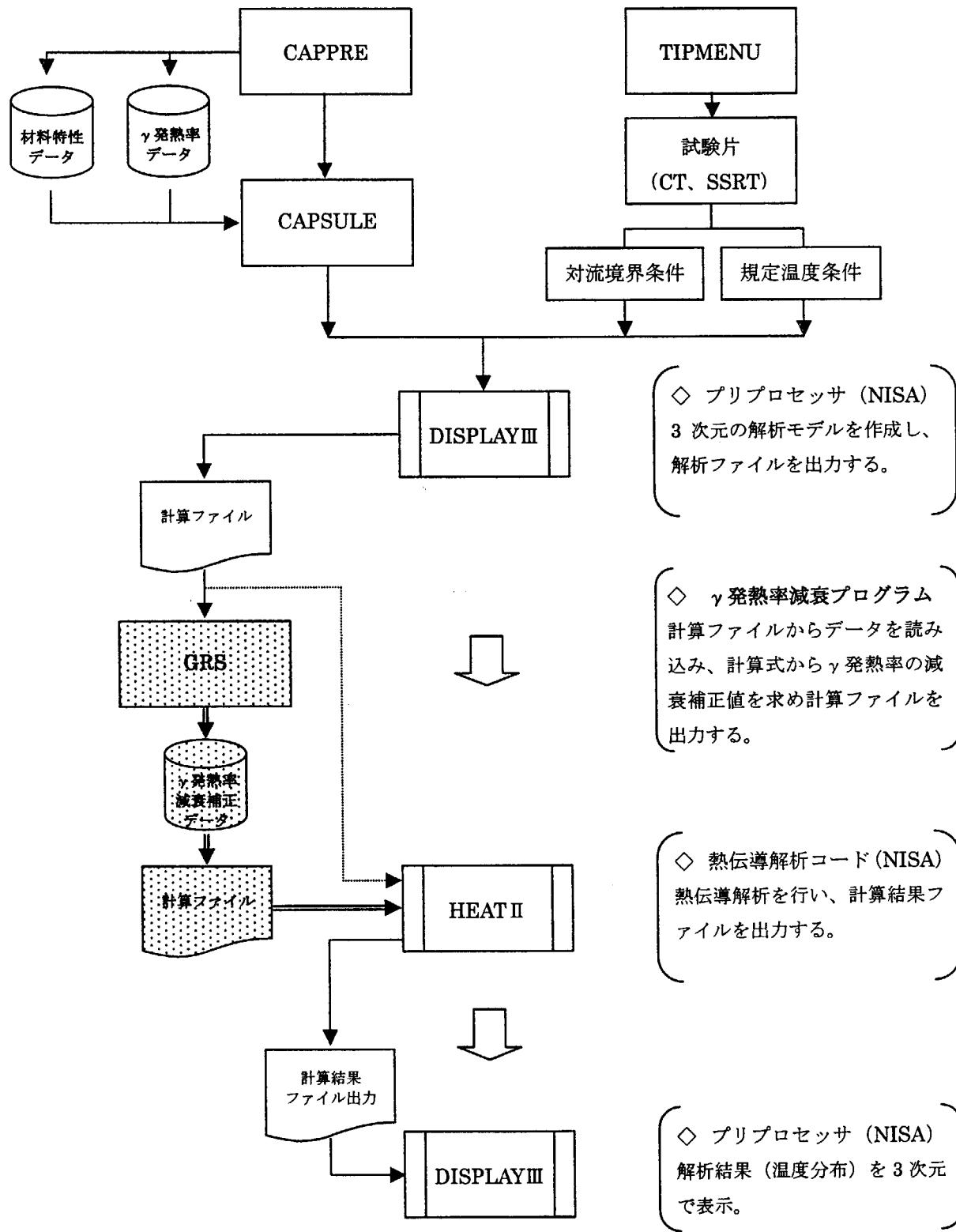
Fig.1 キャプセル温度評価プログラム (CAPPRE、CAPSULE) 構成図

Fig. 2  $\gamma$  発熱率標準分布



※ハッシュ部分が開発した試験片温度評価プログラム

Fig.3 試験片温度評価プログラム (TIPMENU) 構成図

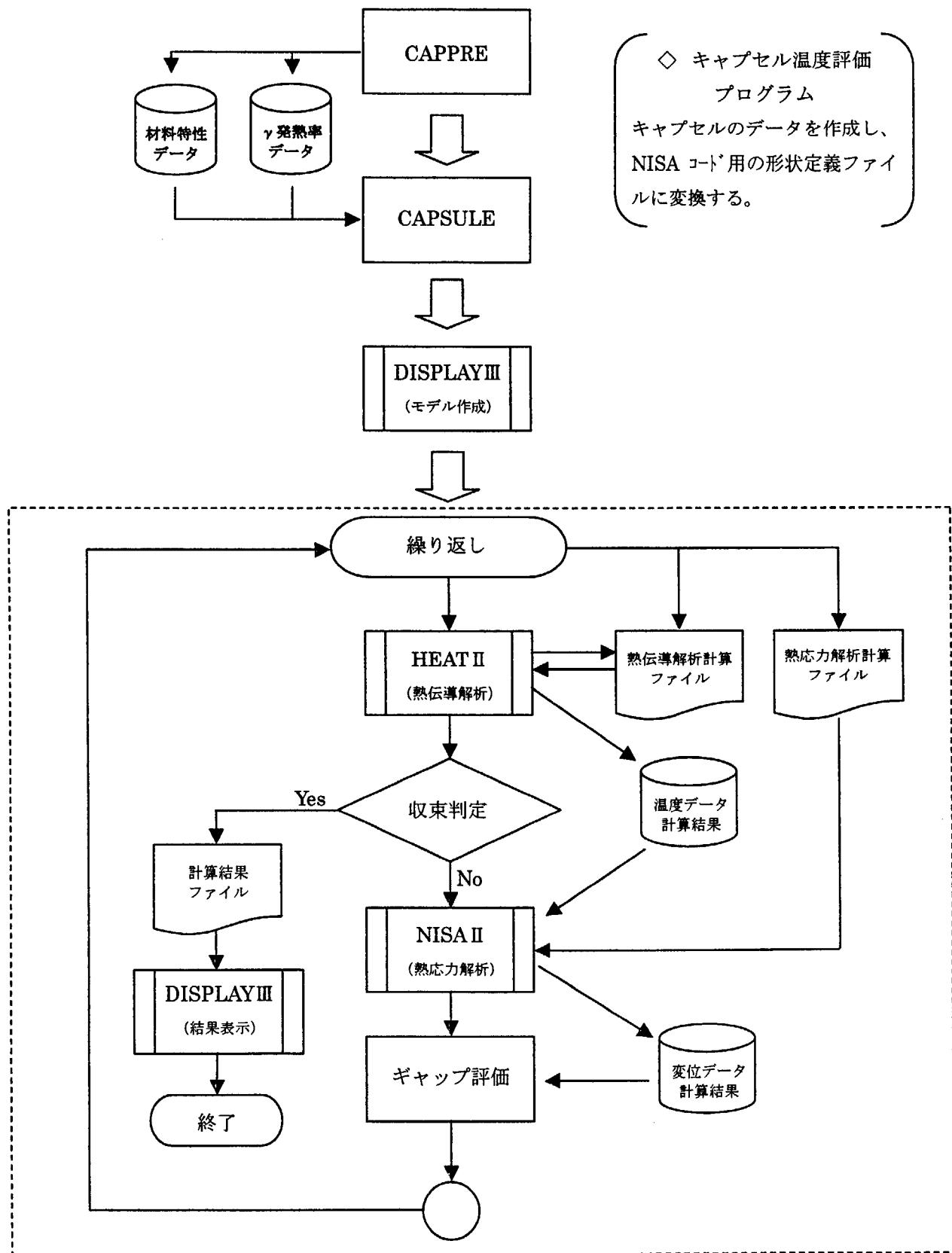


※ ハッチ部分が開発した  $\gamma$  発熱率減衰補正プログラム

——  $\gamma$  発熱率減衰補正しない時の流れ

=====  $\gamma$  発熱率減衰補正した時の流れ

Fig.4  $\gamma$  発熱率減衰補正プログラム (GRS) 構成図



※ 点線で囲んだ部分が開発した熱膨張自動計算プログラム

Fig.5 热膨張自动计算プログラム (GAPCON) 構成図

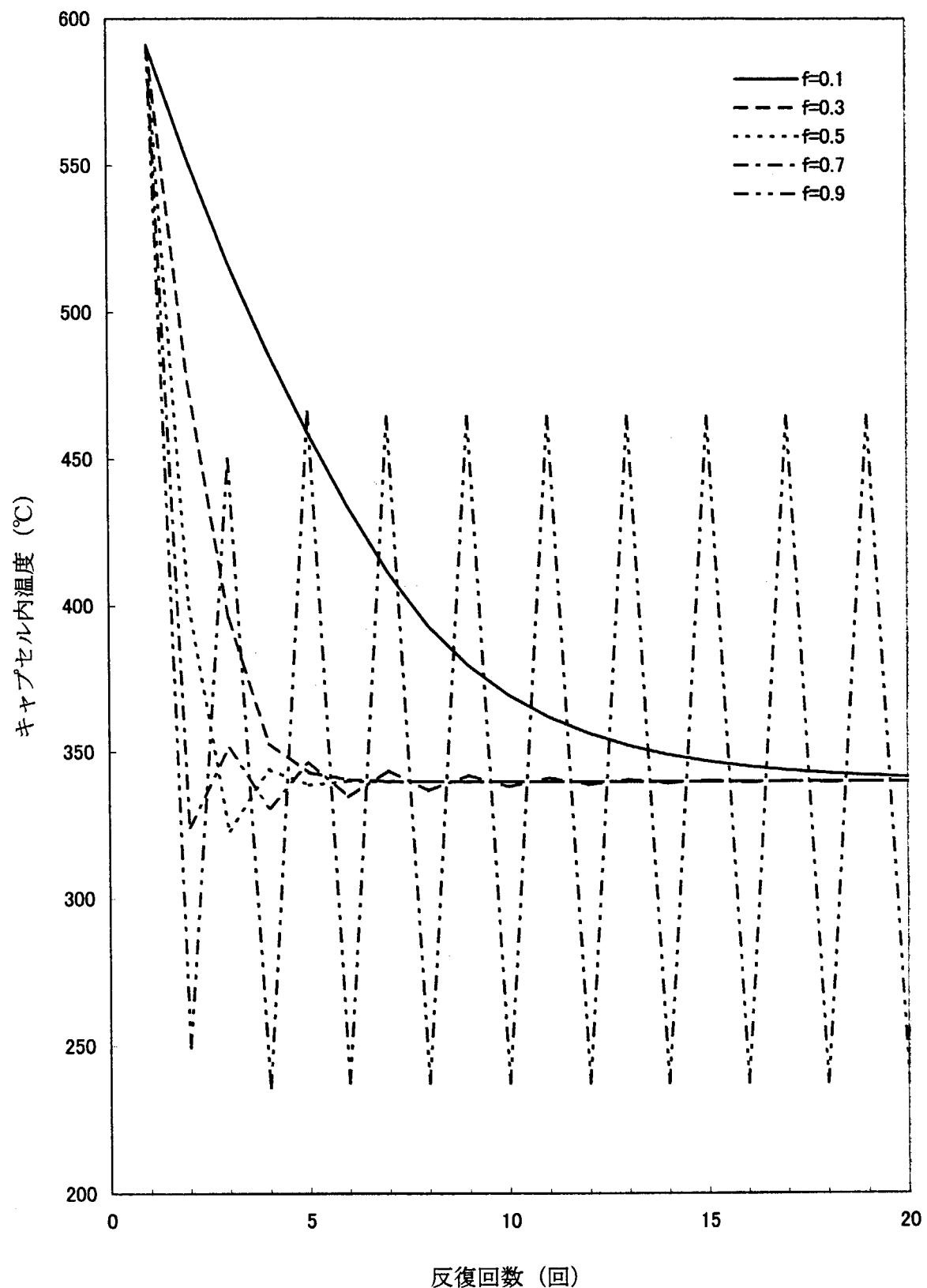
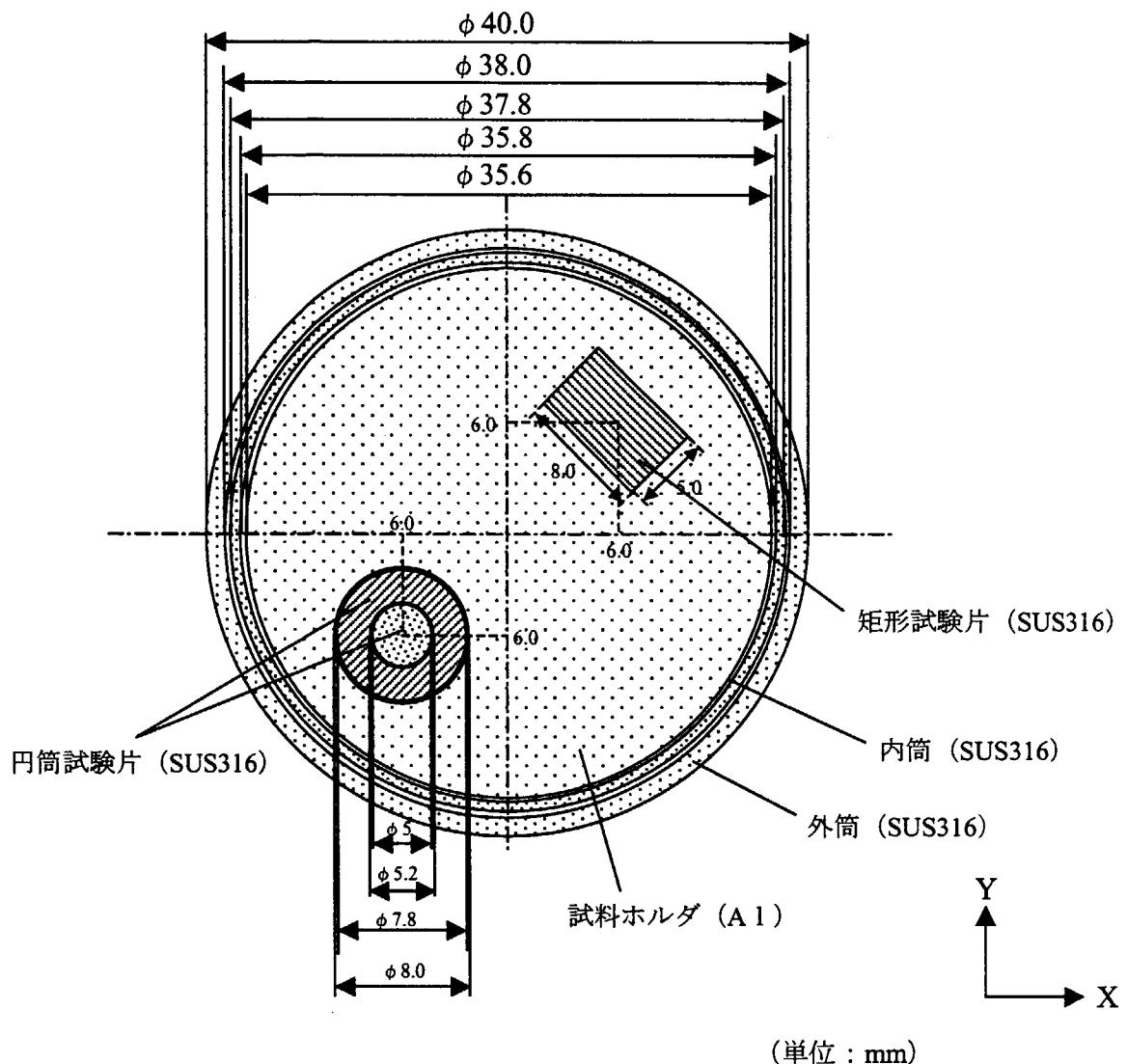


Fig. 6 緩和係数による収束状況

解析モデル図解析条件

$\gamma$  発熱率 = 1.0 W/g

炉心中心からの軸方向距離 = -100 mm (キャップセル底面軸方向位置)

キャップセル高さ = 50 mm

熱伝達係数 = 0.0233 W/mm<sup>2</sup>·K

外筒周囲温度 = 50 °C

**円形試験片**

偏心 : X 方向 +0.05 mm Y 方向 +0.05 mm

**矩形試験片**

角度 : 45°

Fig. 7 キャップセル解析モデル図

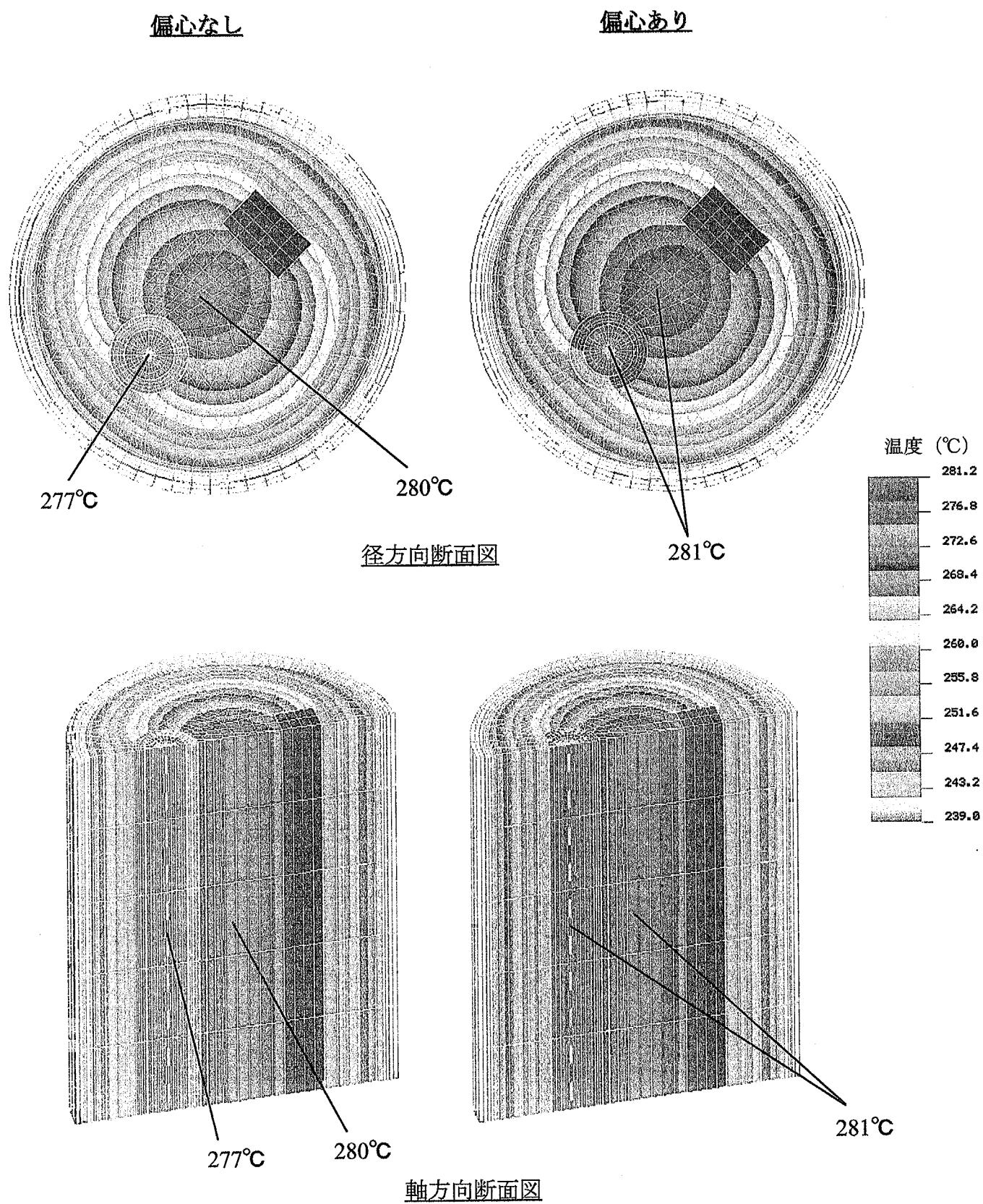


Fig. 8 キャプセル温度評価プログラム計算結果

This is a blank page.

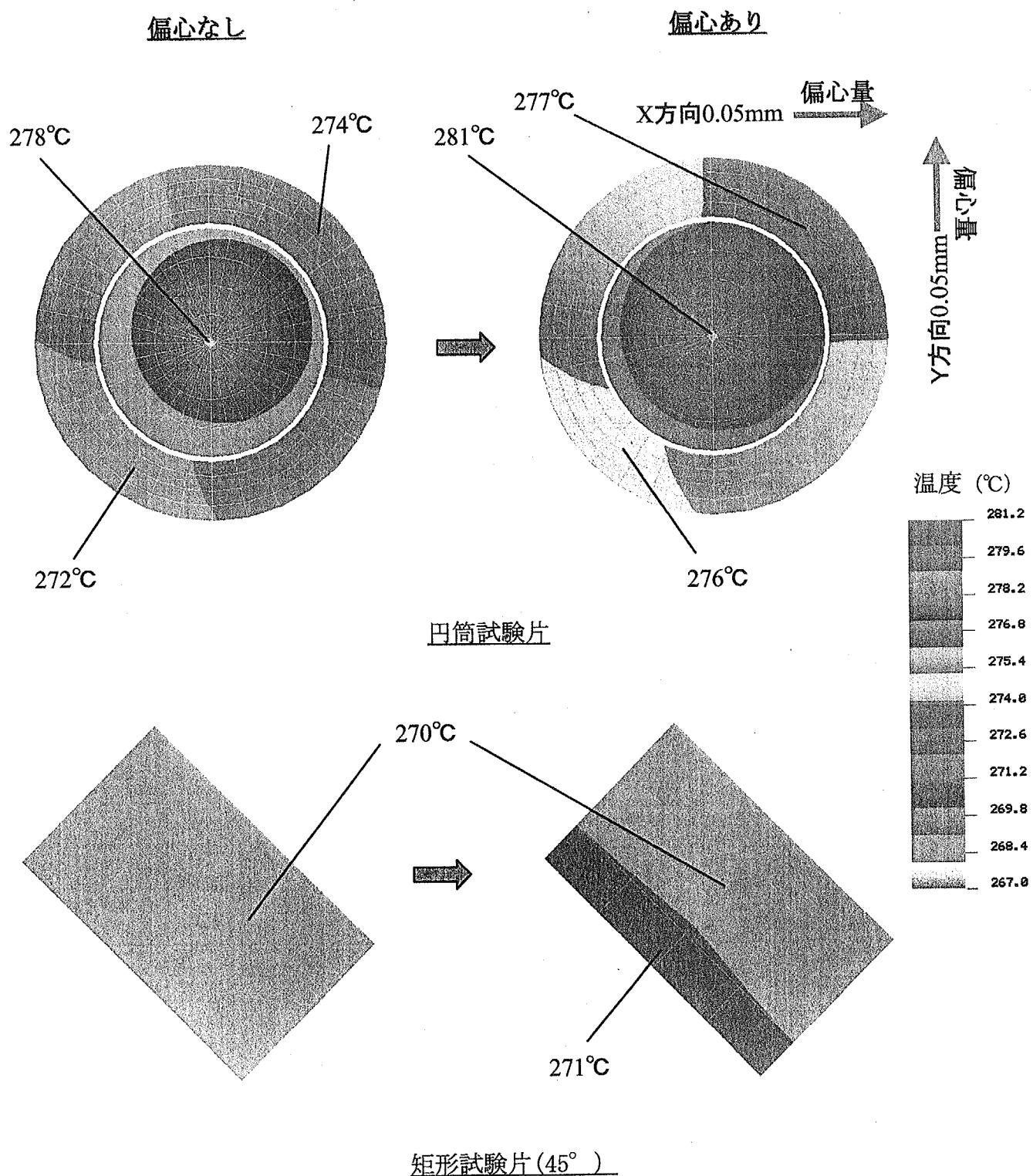
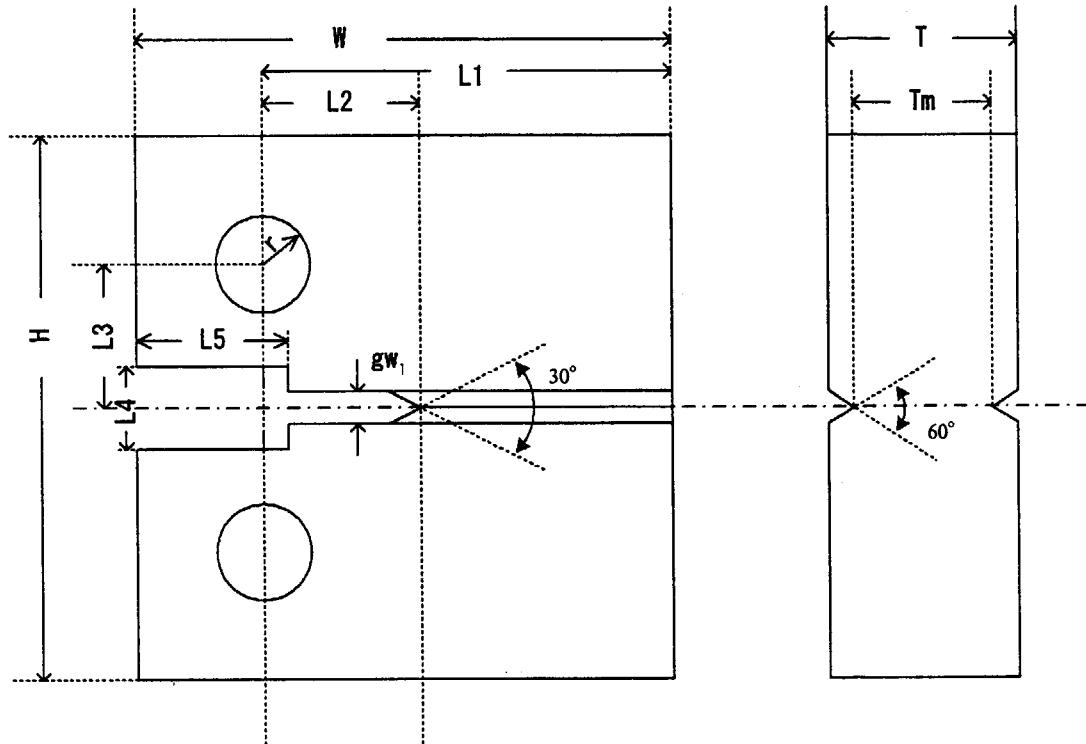


Fig. 9 キャプセル温度評価サブプログラムによる試験片温度分布

This is a blank page.

解析モデル図寸法データ (単位 mm)

$$W=31.8 \quad L1=25.4$$

$$H=30.5 \quad L2=9.95$$

$$T=12.7 \quad L3=9.0$$

$$Tm=11.4 \quad L4=6.6$$

$$gw1=1.6 \quad L5=9.1$$

$$r=3.18$$

解析条件

$$\gamma \text{ 発熱率} = 6.0 \text{ W/g}$$

材質=SUS316

**対流境界条件を選択した場合**

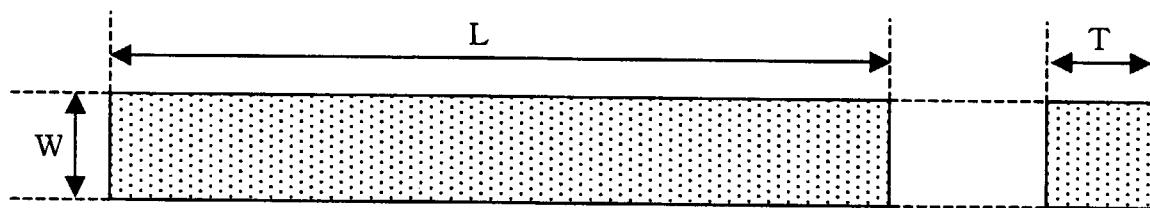
$$\text{熱伝達率係数} = 1.5E-03 \text{ W/mm}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{周囲温度} = 158 \text{ }^\circ\text{C}$$

**規定温度条件を選択した場合**

$$\text{周囲温度} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

Fig. 10 C T 試験片解析モデル図

解析モデル図寸法データ (単位 mm) $W=2.0$  $L=44.0$  $T=2.0$ 解析条件 $\gamma$  発熱率 = 6.0 W/g

材質 = SUS316

**対流境界条件を選択した場合**熱伝達率係数 = 2.0E-03 W/mm<sup>2</sup> · K

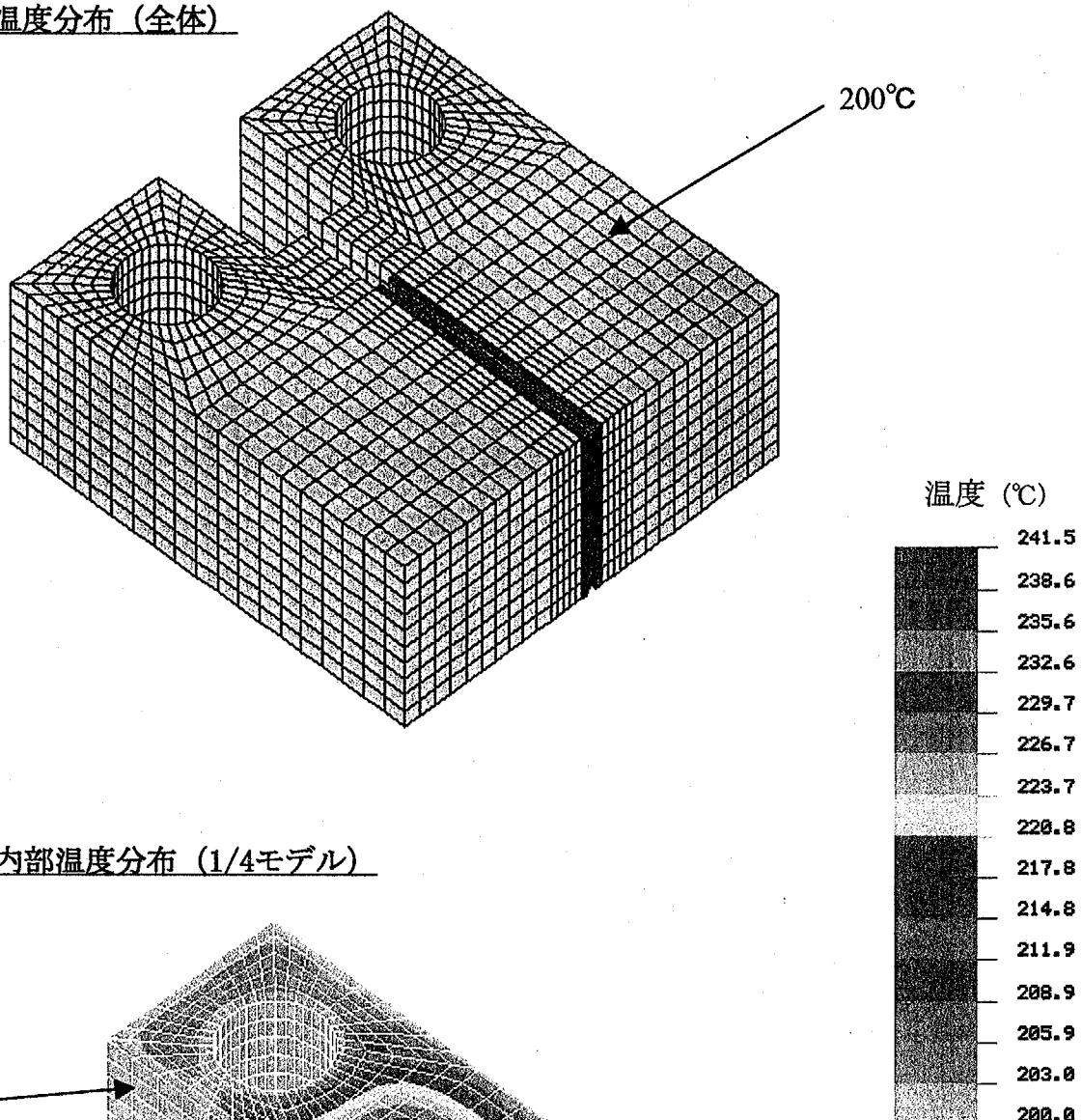
周囲温度 = 200 °C

**規定温度条件を選択した場合**

周囲温度 = 200 °C

Fig. 11 平板型試験片解析モデル図

CT試験片温度分布（全体）



CT試験片内部温度分布（1/4モデル）

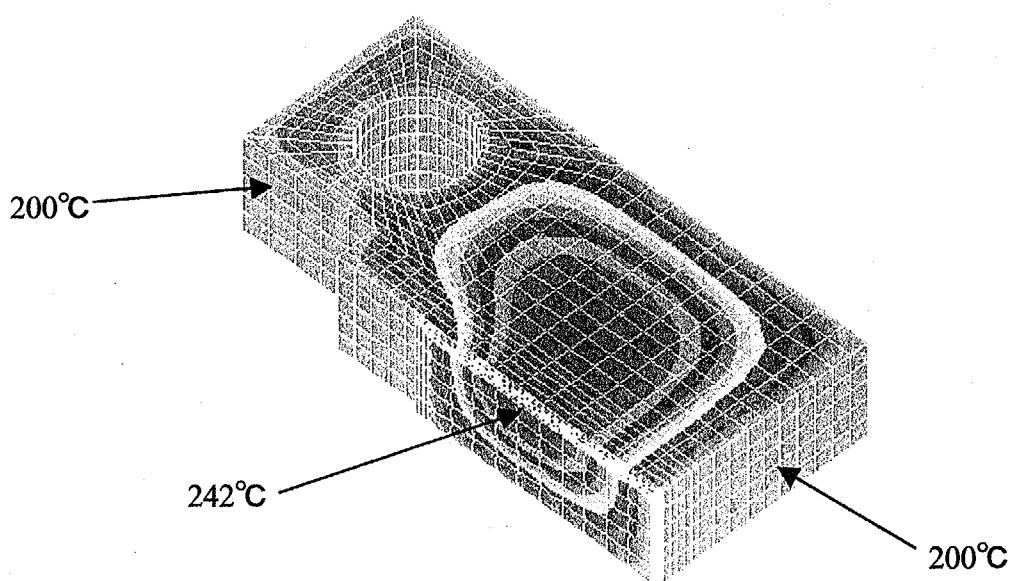
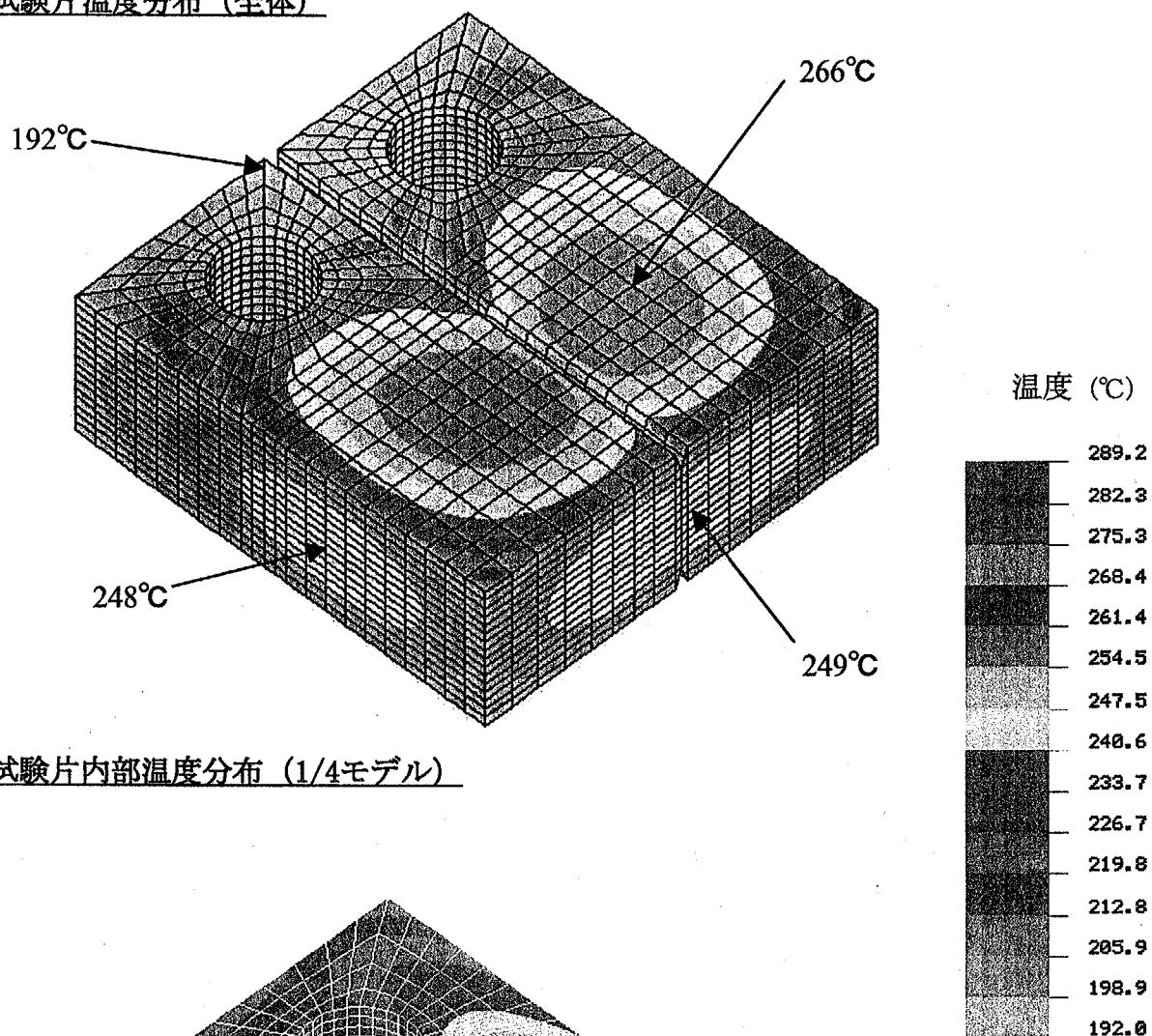


Fig. 12 試験片温度評価プログラム計算結果(1)  
(CT試験片：規定温度条件)

This is a blank page.

CT試験片温度分布（全体）



CT試験片内部温度分布（1/4モデル）

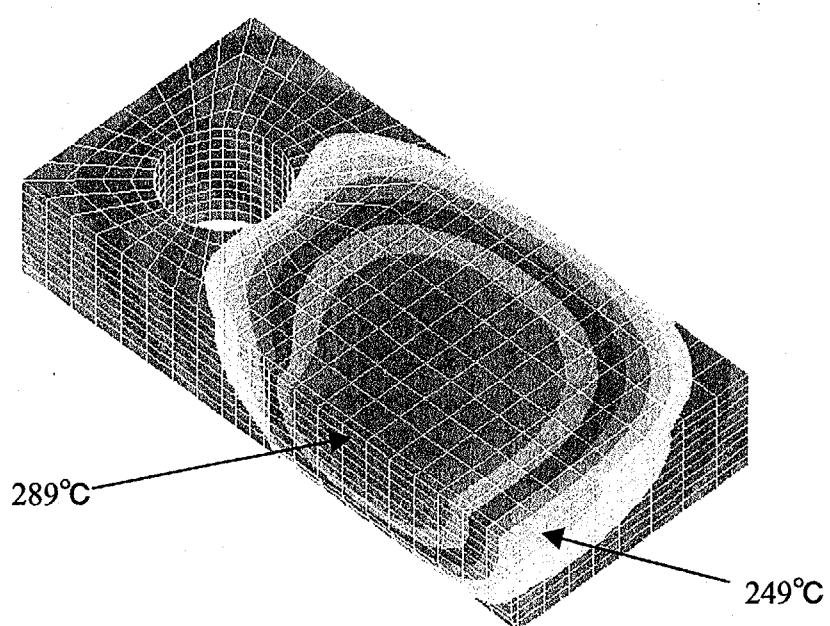
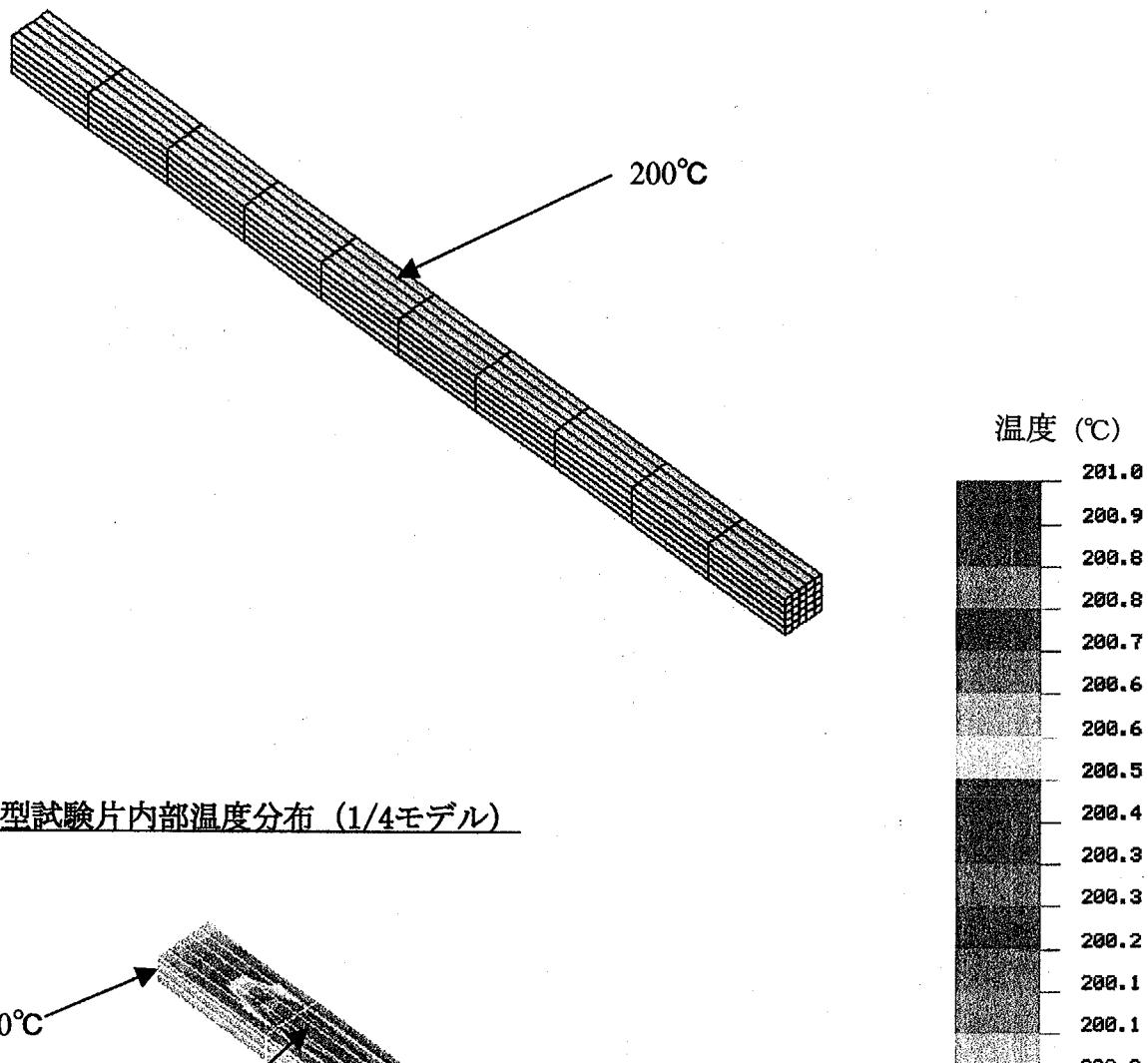


Fig. 13 試験片温度評価プログラム計算結果(2)  
(CT試験片：対流境界条件)

This is a blank page.

平板型試験片温度分布（全体）



平板型試験片内部温度分布（1/4モデル）

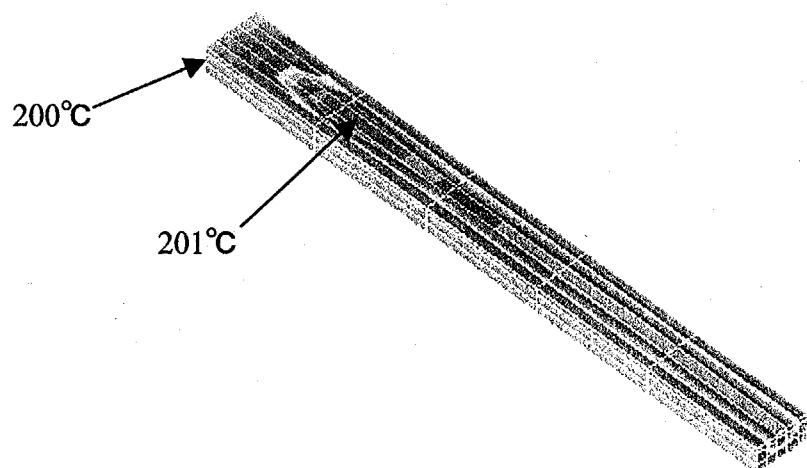
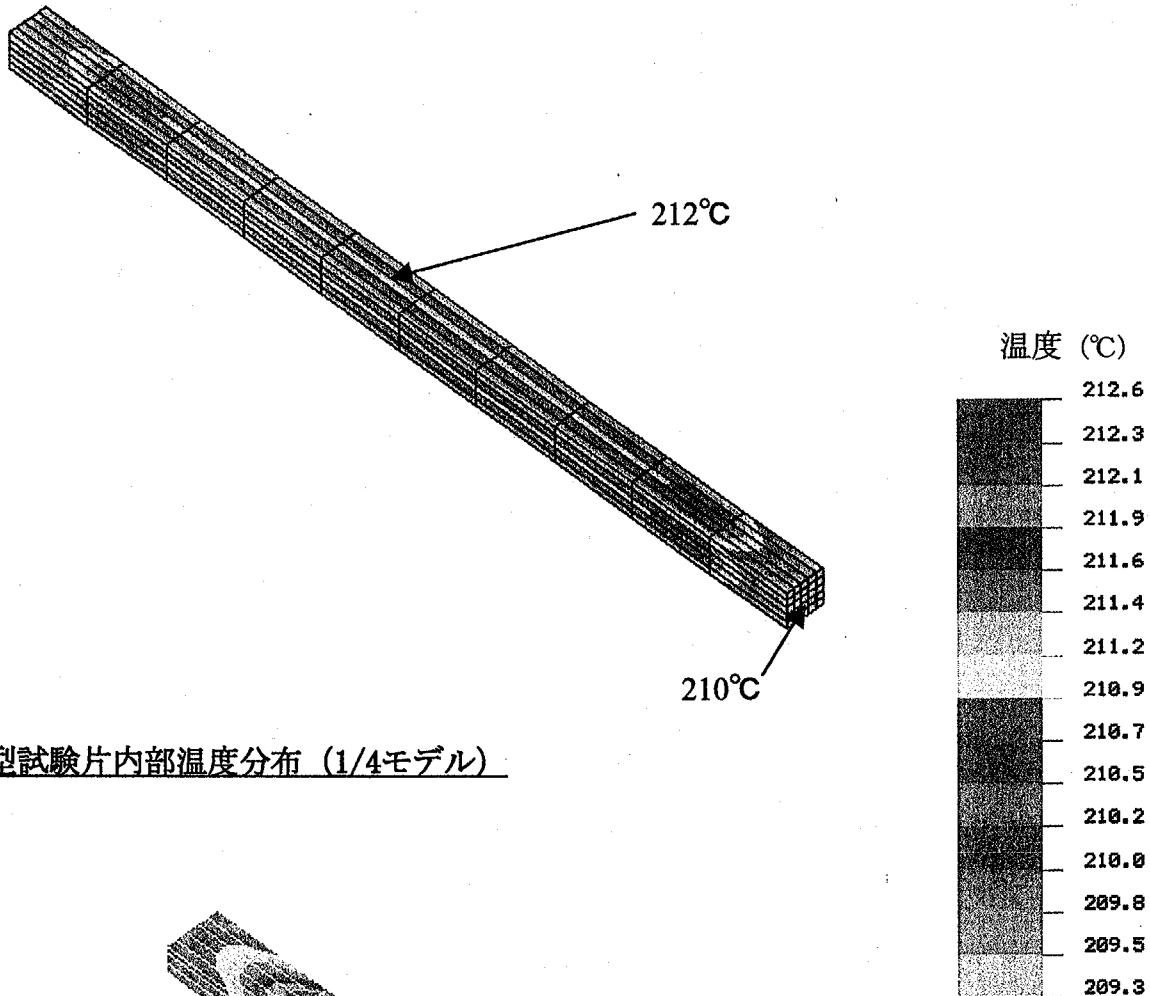


Fig. 14 試験片温度評価プログラム計算結果(3)  
(平板型試験片：規定温度条件)

This is a blank page.

平板型試験片温度分布（全体）



平板型試験片内部温度分布（1/4モデル）

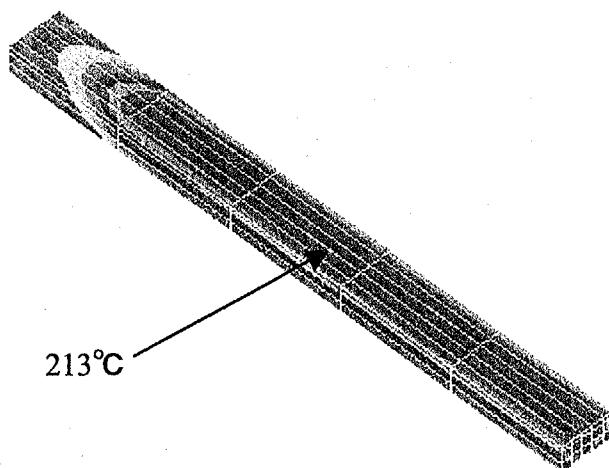
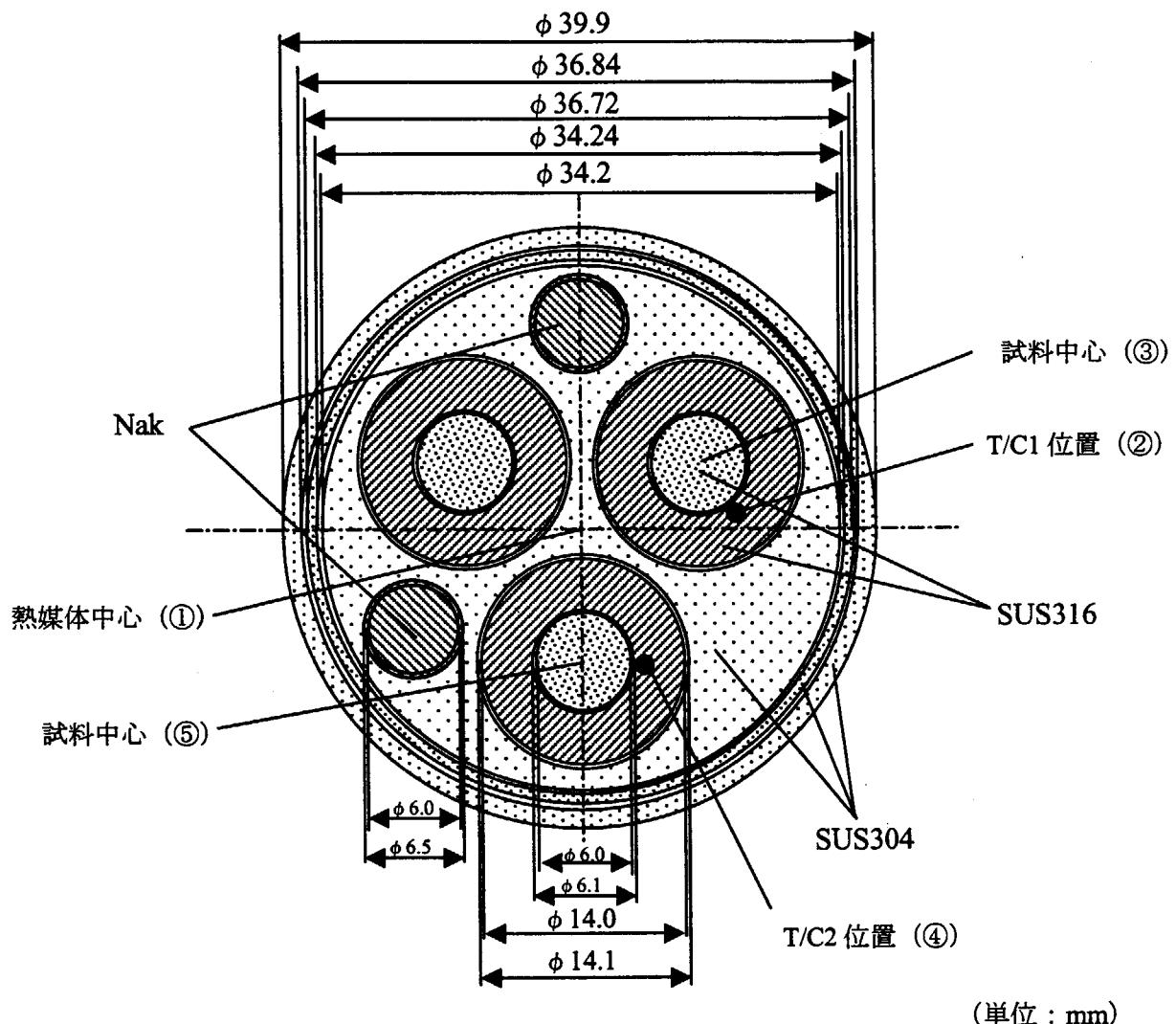


Fig. 15 試験片温度評価プログラム計算結果(4)  
(平板型試験片：対流境界条件)

This is a blank page.

解析モデル図解析条件

$$\gamma \text{ 発熱率} = 4.0 \text{ W/g}$$

炉心中心からの軸方向距離 = -125 mm (キャップセル底面軸方向位置)

キャップセル高さ = 100 mm

 $\gamma$  発熱減衰補正用入力データ

炉心方向 = X 方向 90°

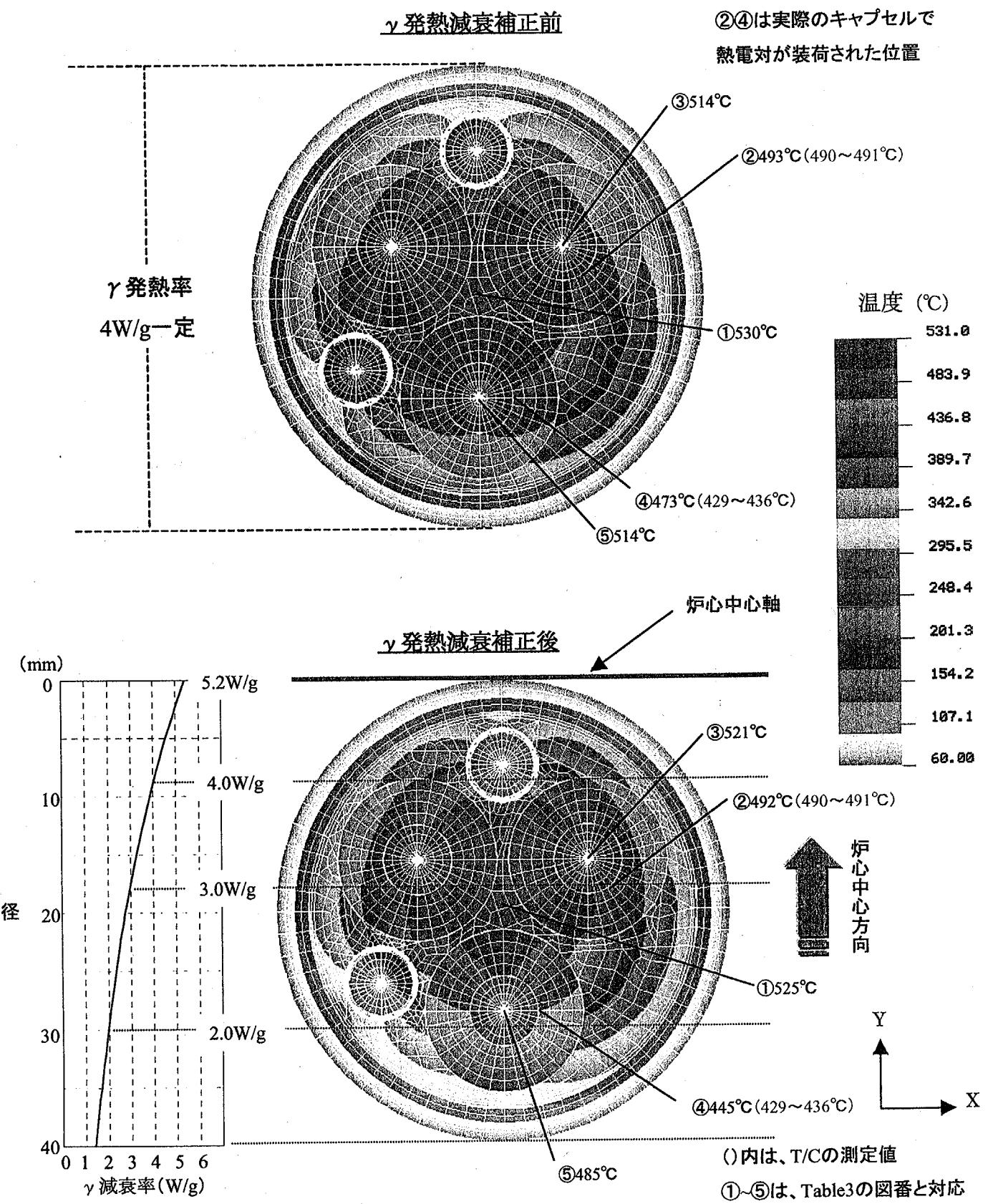
炉心中心までの距離 = 19.95 mm (外筒半径)

補正係数 = 1.35

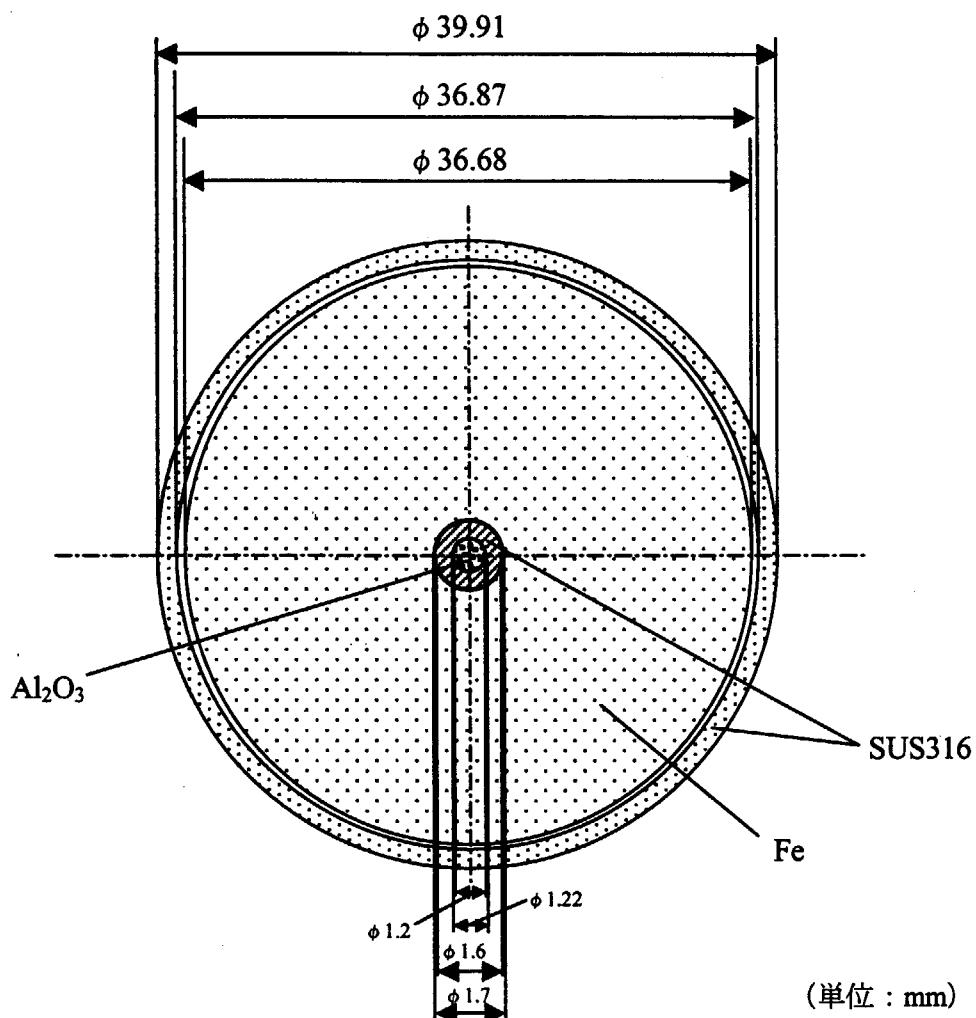
質量減衰係数 = 4.3 mm<sup>2</sup>/g

Fig. 16  $\gamma$  発熱率減衰用解析モデル図

**This is a blank page.**

Fig. 17  $\gamma$  発熱率減衰プログラム計算結果

This is a blank page.

解析モデル図解析条件

$\gamma$  発熱率 7.97 W/g (外筒 : SUS316)

8.40 W/g (ヒートホルダ : Fe)

8.40 W/g (スペーサ : SUS316)

8.40 W/g (試料 :  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

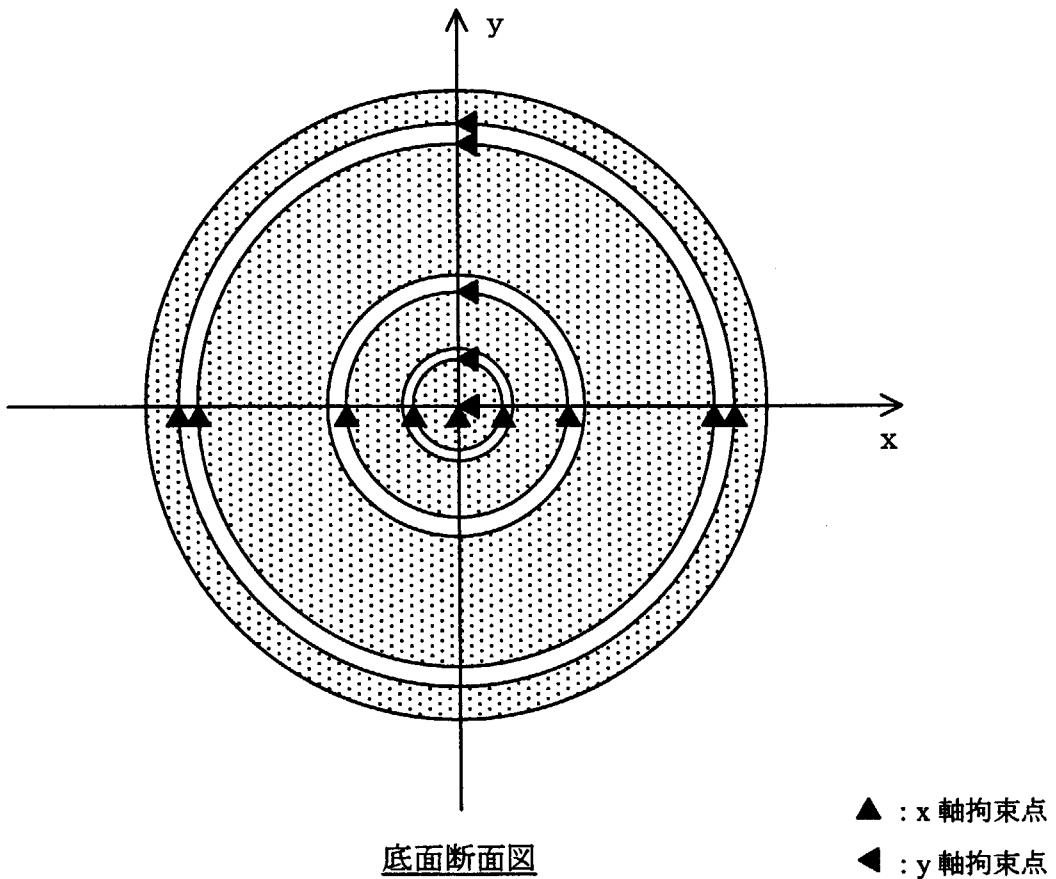
炉心中心からの軸方向距離 = -75 mm (キャップセル底面軸方向位置)

キャップセル高さ = 30 mm

熱伝達係数 = 0.0233 W/mm<sup>2</sup>·K

外筒周囲温度 = 56.46 °C

Fig. 18 热膨胀解析モデル図



※底面断面図は、拘束点が分かり易いように、Fig.18 の解析モデル図より中心部を拡大したもの

### 拘束条件

#### ・底面の拘束

自由膨張を許すために、上図のように拘束点を設定する。

$$X\text{軸上} : UY = 0$$

$$Y\text{軸上} : UX = 0$$

$$\text{中 心} : UX = 0, UY = 0$$

#### ・上面の拘束

上面の拘束条件は、必須ではないが解を安定させるために中心点のみ固定する。

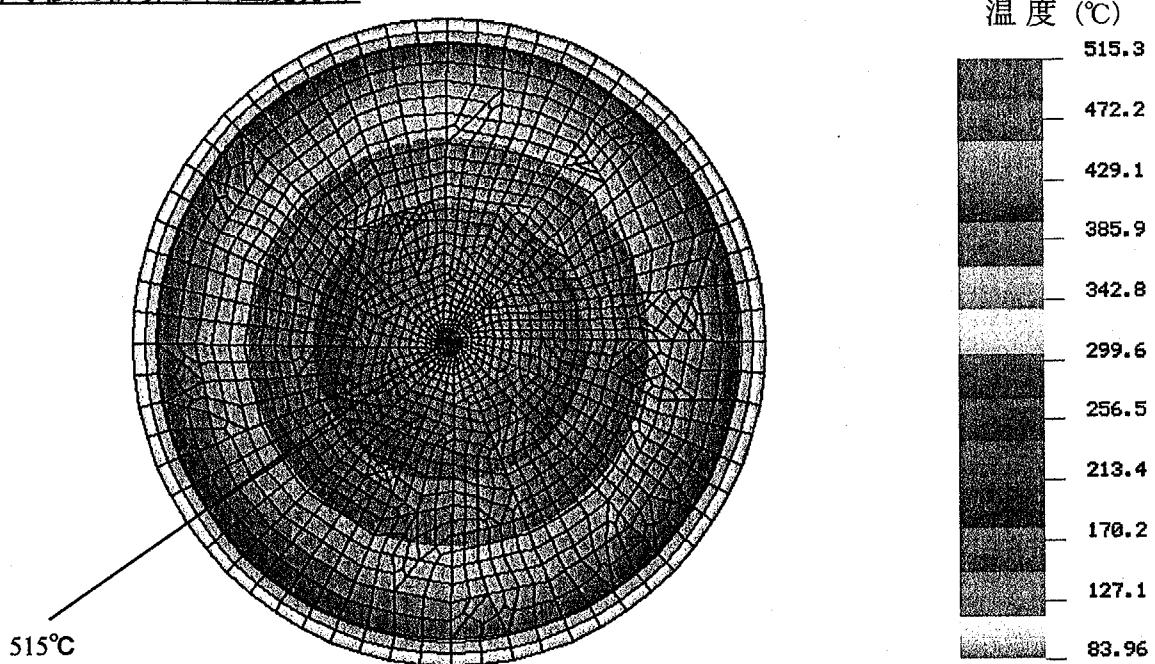
$$\text{中 心} : UX = 0, UY = 0$$

#### ・軸方向の拘束

軸方向に一様に変化するという条件で、上面の1点に独立節点を与え、その他の節点は従属節点とする。

Fig. 19 熱膨張静解析拘束条件モデル図

設計寸法で計算した温度分布



熱膨張を考慮して計算した温度分布

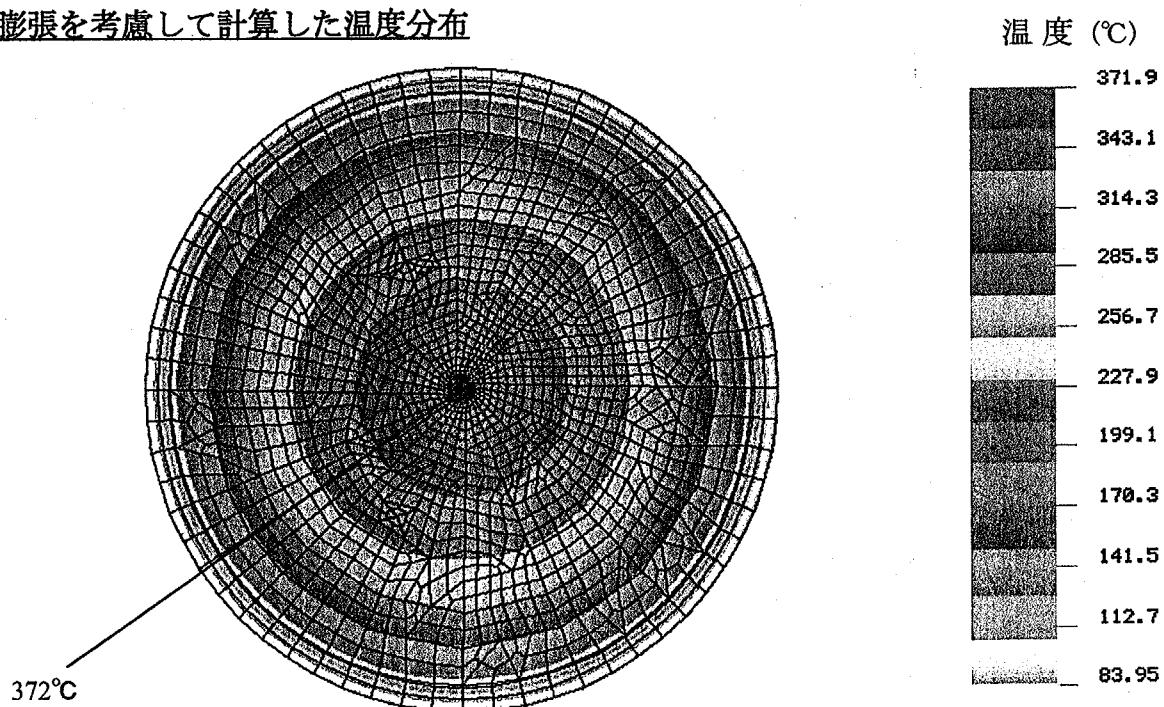
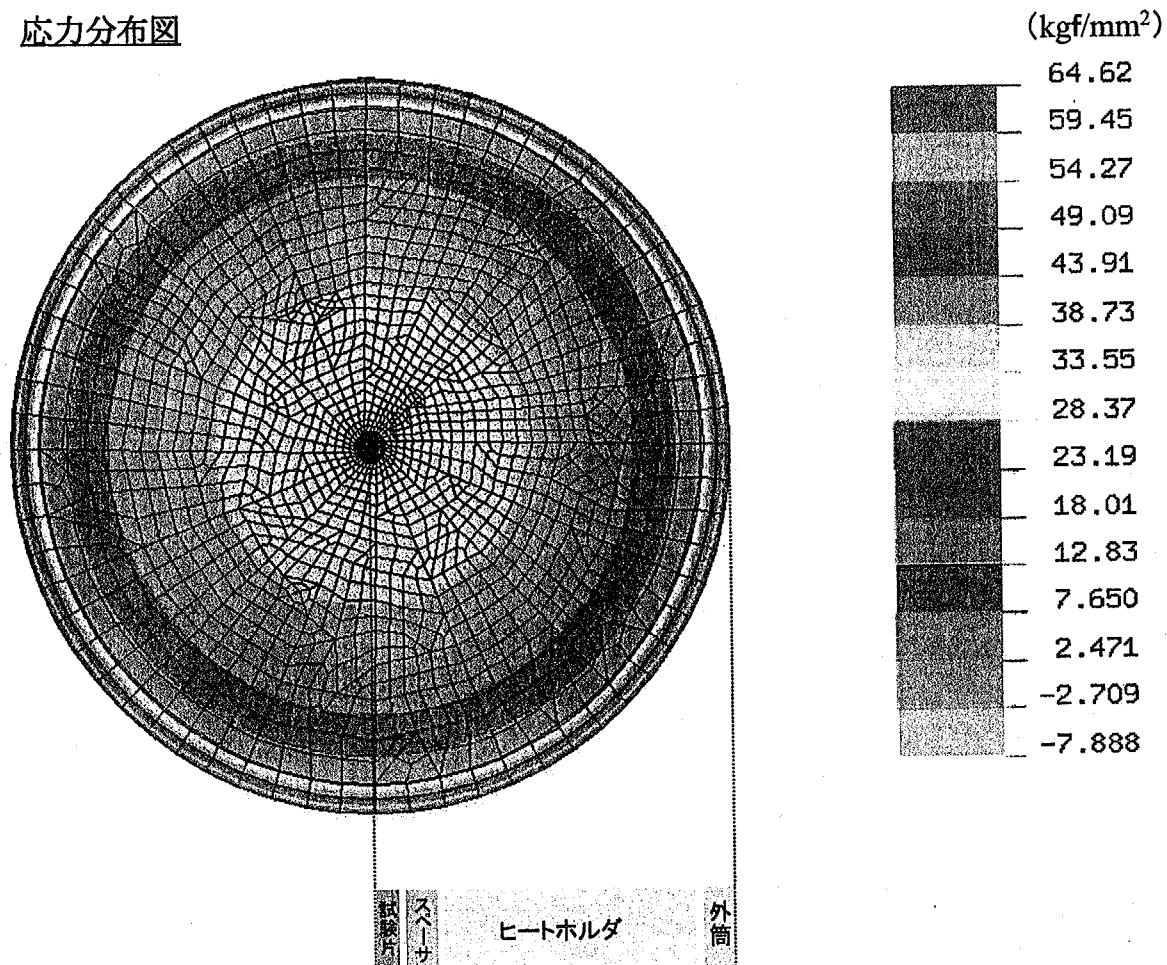


Fig. 20 热膨胀自動計算プログラム系計算結果（温度分布）

**This is a blank page.**

応力分布図



変位データ

node	名称	材質	設計寸法	変位量	変位後の寸法
			mm	mm	mm
0		-	-	-	-
1	試験片	Al203	0.600	+0.002	0.602
2	gap	He	0.610	+0.004	0.614
3	スペーサ	SUS316	0.800	+0.005	0.805
4	gap	He	0.850	+0.004	0.854
5	ヒートホルダ	Fe	18.340	+0.086	18.426
6	gap	He	18.435	+0.020	18.455
7	外筒	SUS316	19.955	+0.022	19.977

Fig. 21 熱膨張自動計算プログラム系計算結果（応力分布）

**This is a blank page.**

## 付 錄

NISA コードによる有限要素法解析のためのサブプログラム使用手引

- A. パソコンから UNIX 計算機への接続方法
- B. キャプセル温度評価サブプログラム操作マニュアル
- C. 試験片温度評価サブプログラム操作マニュアル
- D.  $\gamma$  発熱率減衰補正サブプログラム操作マニュアル
- E. 熱膨張計算サブプログラム操作マニュアル

This is a blank page.

## 付録A

### パソコンから UNIX 計算機への接続方法

**This is a blank page.**

## はじめに

マルチユーザで使用するために各パソコンから同時にアクセスして解析可能にするために、UNIX版NISAコードを導入した。このため、NISAコード及びサブプログラムは、UNIX計算機（HP製J282）に格納されている。

このマニュアルは、各パソコンからUNIX計算機への接続方法及びログイン方法の操作手順を示したものである。

This is a blank page.

## 1. パソコン（X 端末）から UNIX 計算機への接続

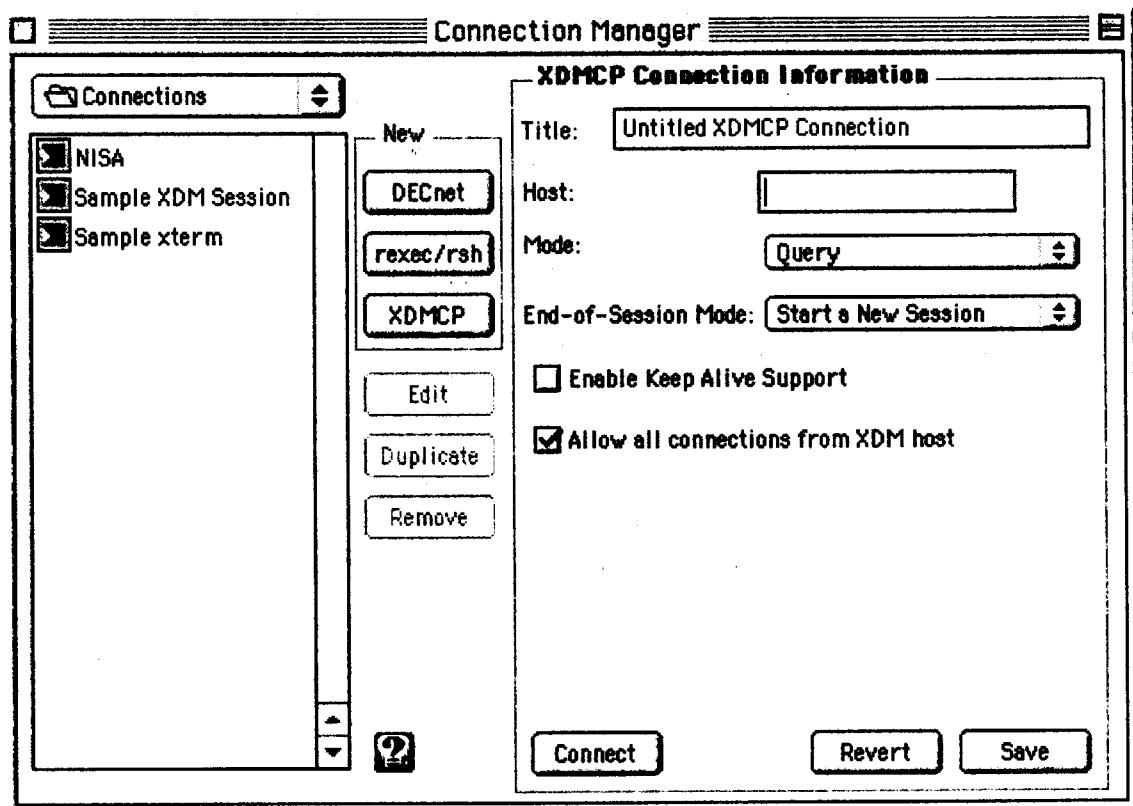
汎用のアプリケーション eXodus を用いてパソコン（Macintosh）を X 端末として UNIX 機に接続する。

### (1) eXodus の起動

パソコンから eXodus を起動する。

### (2) UNIX 機と接続

eXodus メニューバー→Connections→Connections Manager を選択すると下記のダイアログが表示される。



- ① 中央の **XDMCP** クリックすると、右枠 XDMCP Connection Information が表示される。
  - ② 右枠内に必要項目を入力または選択
    - Host : ????.???.???.???
    - Mode : Query (上記で指定したホストに接続される)
    - End-of-Session Mode : Start a New Session
  - ③ **Connect** をクリックすると UNIX 機に接続される。
- ※ 入力は、IP アドレスのみ。他はメニューから選択。

## 2. UNIX 計算機へのログイン方法

### 2.1 ログイン

CDE (Common Desktop Environment 共通ディスクトップ環境) のログイン画面が表示されたら、登録してあるログイン ID 及びパスワードの入力する。

#### ④ ログイン

ユーザ名を入力してください: **xxxx** (自分のユーザ ID) を入力

#### ⑤ パスワード

パスワードを入力してください: **\*\*\*\*** (ユーザ ID のパスワード)

#### ⑥ 日本語入力システムの選択

“日本語入力なし”を選択して **OK**

①～③の操作で CDE が起動する。

### 2.2 端末エミュレータ起動

NISA コード及び開発プログラムを起動するために、端末エミュレータを起動する。

**操作方法**：画面下の個人アプリケーションの中から端末エミュレータを選択する。

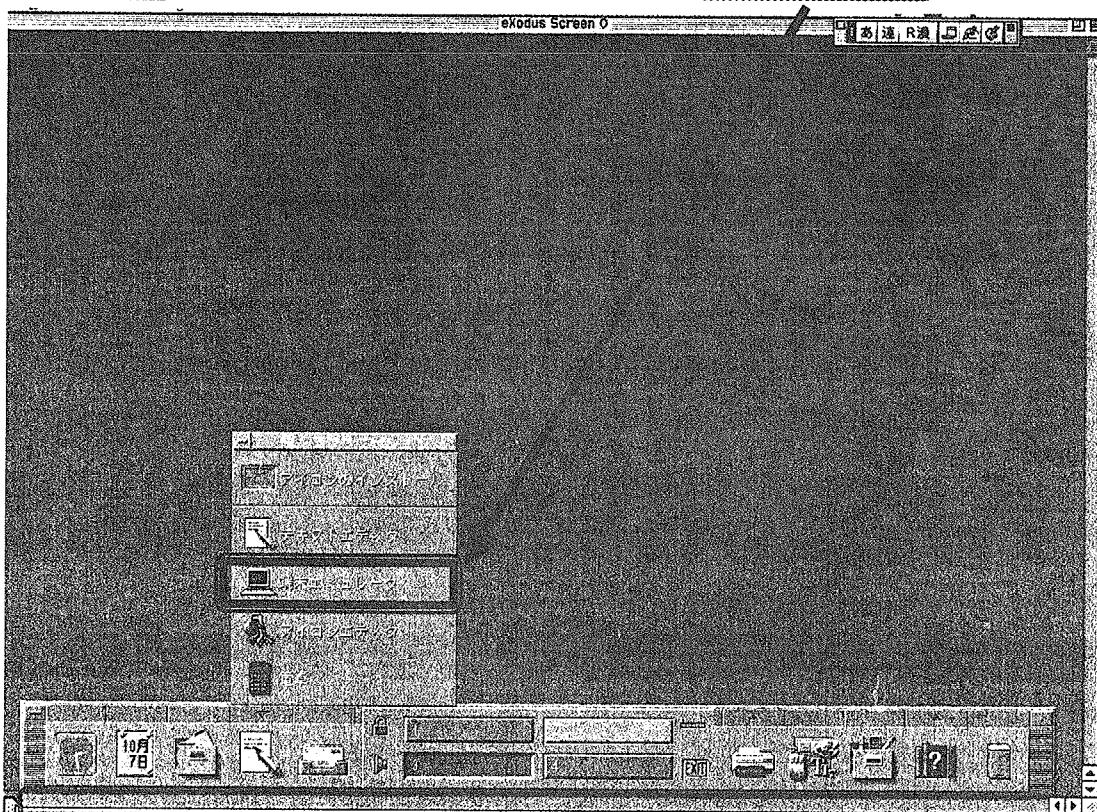


図 1 CDE 起動画面

※端末エミュレータから NISA コード及び各サブプログラムの実行コマンドを入力することにより実行される。操作方法は、付録B～E のマニュアルを参照。

### 3. 終了方法

#### 3.1 ログアウト

- ① 図1のCDE起動画面下 EXITボタンをクリック
- ② ログイン画面が表示されればログアウト完了

#### 3.2 eXodusの終了

- ① 3.1のログアウト操作後、eXodusメニューbaruの**Connections**を選択
- ② **Shutdown**を選択
- ③ 画面に何も表示されないのを確認し、メニューbaruの**終了**を選択

This is a blank page.

## 付録B

### キャップセル温度評価サブプログラム操作マニュアル

This is a blank page.

## はじめに

キャプセルは、X Y平面上に断面を持ち原点（0，0）を中心に作成されます。したがって、厚さ方向はZ方向になりZ=0の上に積み上げるようにして、作成されます。キャプセルの実際の位置はモデルの座標を移動させるのではなく、ガンマ曲線をシフトさせて、仮想的に変化させることで同様の効果を表現しています。

### ○プログラム及びファイルの説明

#### プログラムの種類

CAPPRE：キャプセルのプリ入力プログラム

CAPSULE：形状定義ファイル生成プログラム

DASIPLAYIII：汎用 NISA コードファミリーのプリプロセッサ

HEATII：汎用 NISA コードファミリーの熱伝導解析プログラム

#### ファイルの種類

テーブルファイル (xxxx.tbl) :

キャプセルデータを格納するファイル

(CAPPRE プログラムを使用して生成する)

セッションファイル (xxxx.ses) :

形状定義ファイル (CAPSULE プログラムを使用して生成する)

NISA ファイル (xxxx.nis) :

解析用ファイル

OUT ファイル (xxxx.out) :

解析結果ファイル (解析結果を数値で出力したファイル)

FILE26 (xxxx26.dat) :

解析結果ファイル (モデルデータを含んだバイナリーファイル)

FILE39 (xxxx39.dat) :

解析結果ファイル (節点の温度結果データが出力される)

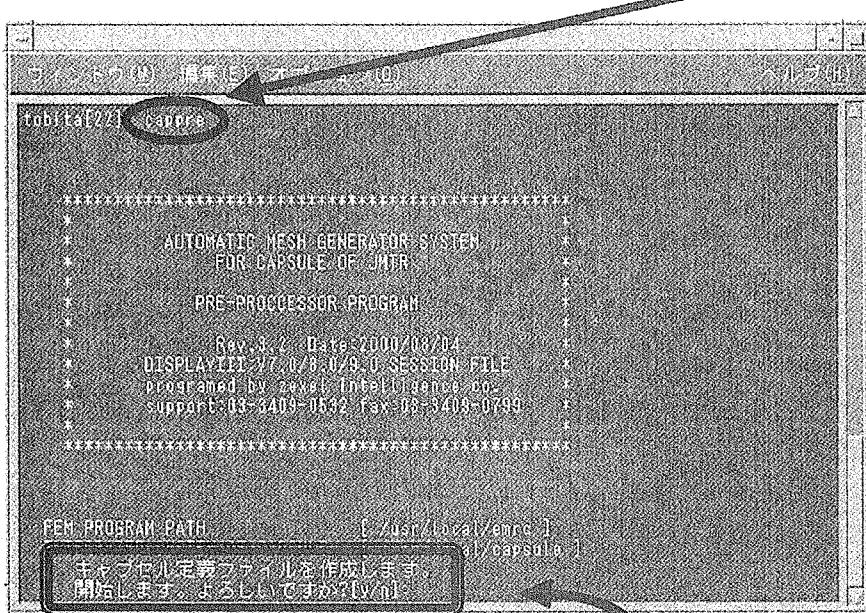
※静解析で熱応力を求める時に、このファイルが温度データになる

This is a blank page.

## 1. キャプセル温度評価サブプログラムの起動

### 1.1 CAPPRE（入力支援プログラム）の起動

- ① 端末エミュレータを起動し、コマンドラインから “cappre” と入力

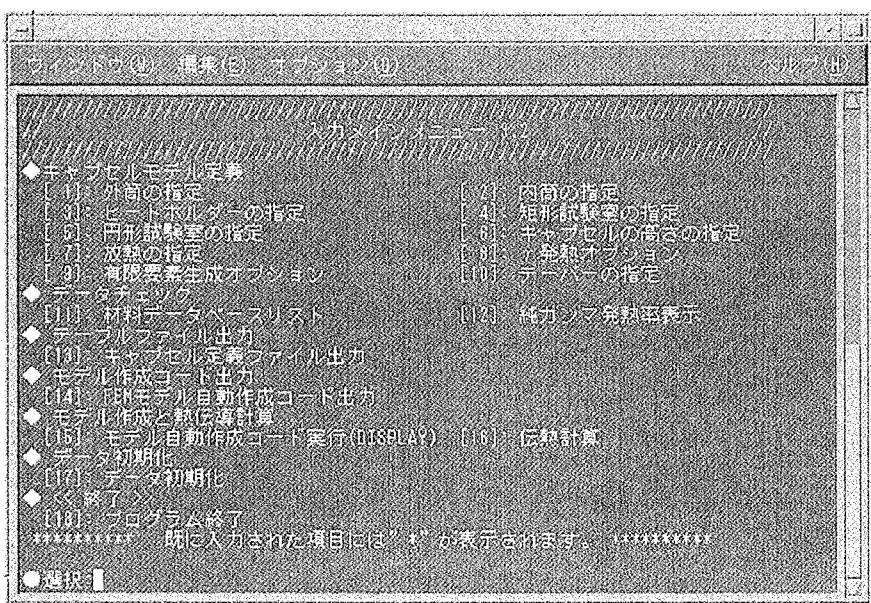


- ② キャプセル定義ファイルを作成します。

開始します。よろしいですか? [y/n] : y と入力する。

- ③ 入力メインメニュー

下図に示す入力emainメニューが表示される。



- ④ 必要項目を選択し、対話形式により、データを入力する。

2 項で各項目の定義方法を説明する。

## 2. キャプセルモデル定義

### 【データ入力時の注意】

- ・入力データは省略できない。
- ・入力データが2つ以上ある場合は、入力フィールド間を空白で区切る。
- ・リターンキーを押しても次の項目に進まない場合、入力すべきデータが入力されていない可能性があるので、前の入力を確認して入力する。
- ・入力に失敗した場合は、最初から入力をやり直す。

※ \*印はデータグループ名

### 2.1 外筒の指定（入力メインメニュー [1]）

#### \*OUTOR\_CLYNDER データグループ

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	cylr	外筒の半径	実数値	(注意 1 参照)
2	cylt	外筒の厚み	実数値	(注意 2 参照)
3	MATNAME	材料番号	整数値	(注意 3 参照)
4	GAPNAME	材料番号	整数値	(注意 4 参照)
5	GAMMA_P	物質依存係数	実数値	(注意 5 参照)

#### 注意

1. 外筒の半径は実数値の入力になります。
2. 外筒の厚みは実数値の入力になります。
3. 外筒の材質を定義します。材料番号は本文 Table 1 の材料データを参照ください。
4. 外筒内側のギャップの材質（特性）を定義します。材料番号は本文 Table 1 の材料データを参照ください。
5. 外筒の材質のガンマ発熱率物質依存係数を入力します。

### 2.2 内筒の指定（入力メインメニュー [2]）

#### \*INNER\_SPACER データグループ

##### セット 1

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	spnum	内筒の総数量	整数値	(注意 1 参照)

## セット 2

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	cylr	内筒の半径	実数値	(注意 2 参照)
2	cylt	内筒の厚み (ヒーター含む)	実数値	(注意 3 参照)
3	hw	ヒーター部の厚み	実数値	(注意 4 参照)
4	hg	ヒーターの総発熱量 (W)	実数値	(注意 5 参照)
5	MATNAME1	内筒の材料番号	整数値	(注意 6 参照)
6	MATNAME2	ヒーターの材料番号	整数値	(注意 7 参照)
7	GAPNAME	内筒内側のギャップ 材質	整数値	(注意 8 参照)
8	GAMMA_P	内筒の物質依存係数	実数値	(注意 9 参照)
9	GAMMA_HP	ヒーター材物質依存係数	実数値	(注意 10 参照)

注意

1. 実行文 (\*INNER\_SPARCE) を入力した場合は、必ず第 1 行目の内筒の総数量 (関数名 : spnum) を入力しなければならない。
2. 内筒の半径は実数値で入力します。  
なお、入力は必ず、半径の大きいものから順に入力してください。
3. 内筒の厚みは実数値で入力します。
4. 内筒内側のヒーター部の厚みは実数値で入力します。  
ヒーターがない場合でも仮想の厚みを定義してください。
5. ヒーターの総発熱量は実数値で入力します。  
ヒーターの無い場合は、0 を定義します。
6. 内筒の材料番号は整数で入力します。  
材料番号は付表 1 の材料データ一覧を参照ください。
7. ヒーターの材料番号は整数で入力します。  
材料番号は本文 Table 1 の材料データを参照ください。  
ヒーターのない場合は内筒と同じ材質を定義します。
8. 内筒内側のギャップの材質は整数で入力します。  
材料番号は本文 Table 1 の材料データを参照ください。
9. 内筒のガム発熱物質依存係数は実数で入力します。
10. ヒーター材のガム発熱物質依存係数は実数で入力します。  
ヒーターがない場合は内筒と同じ材質のガム発熱物質依存係数を入力します。

**2.3 ヒートホルダーの指定（入力メインメニュー [3]）****\*HEATHOLDER データグループ**

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	holder	ヒートホルダーの半径 (ヒーター含む)	実数値	(注意 1 参照)
2	holdert	ヒーターの厚み	実数値	(注意 2 参照)
3	holder_hg	ヒーターの総発熱量 (w)	実数値	(注意 3 参照)
4	MATNAME1	ヒートホルダーの材料	実数値	(注意 4 参照)
5	MATNAME2	ヒーターの材料	実数値	(注意 4 参照)
6	GAMMA_P	ヒートホルダー物質依存 係数	実数値	(注意 5 参照)
7	GAMMA_P	ヒーター物質依存係数	実数値	(注意 6 参照)

**注意**

1. ヒートホルダーの半径は実数値で入力します。
2. ヒーターの厚みは実数値で入力します。  
ヒーターのない場合は仮想の厚みを入力します。(0 でない厚み)
3. ヒーターの総発熱量は実数値で入力します。  
ヒーターのない場合は0に設定します。
4. 材料番号は本文 Table 1 の材料データを参照ください。
5. ヒートホルダーのガンマ発熱物質依存係数は実数値で入力します。
6. ヒーターのガンマ発熱物質依存係数は実数値で入力します。  
ヒーターのない場合はヒートホルダーと同じ材料を定義します。

## 2.4 矩形試験室の指定（入力メインメニュー [4]）

## \*CHIP\_RECTANGLE データグループ

## セット 1

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	tprecnum	矩形試験室の総数量	整数値	(注意 1 参照)

## セット 2

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	cx	矩形の中心座標 (X 座標)	実数値	(注意 2 参照)
2	cy	矩形の中心座標 (Y 座標)	実数値	(注意 3 参照)
3	angle	矩形の配置角度の設定	実数値	(注意 4 参照, 図参照)
4	l	矩形の長さ	実数値	(注意 5 参照, 図参照)
5	w	矩形の幅	実数値	(注意 6 参照, 図参照)
6	gap	ギャップ幅	実数値	(注意 7 参照, 図参照)
7	mvx	x 方向の偏心量	実数値	(注意 8 参照, 図参照)
8	mvy	y 方向の偏心量	実数値	(注意 9 参照, 図参照)
9	p1	ガイドラインの始点 <矩形外周>	実数値	(注意 10 参照, 図参照)
10	p2	ガイドラインの終点 <ヒードホルダ外周>	実数値	(注意 11 参照, 図参照)
11	MATNAME	矩形の材料番号	整数値	(注意 12 参照)
12	MATNAME	ギャップ部の材料番号	整数値	(注意 12 参照)
13	GAMMA_P	矩形の物質依存係数	整数値	(注意 13 参照)

注意

- 必ず第 1 行目の矩形試験室の総数量を入力しなければならない。（無い場合は”0”）
- 矩形の中心の座標 (X 座標) は実数値で入力します。
- 矩形の中心の座標 (Y 座標) は実数値で入力します。
- 矩形の配置角度は実数値で入力します。
- 矩形の長さは実数値で入力します。
- 矩形の幅は実数値で入力します。

7. ギャップ幅は実数値で入力します。
8. x 方向の偏心量は実数値で入力します。
9. y 方向の偏心量は実数値で入力します。
10. ガイドラインの始点は整数値（1～4）で入力します。

このパラメータは DISPLAY III の 2 次元自動メッシュ機能に従っています。

この指定によってヒートホルダー内の試験室を空とみなします。

詳しくは、DISPLAY III ユーザマニュアルの 11,3 節にある 2 次元の  
ライン幾何形状における制約を参照してください。

11. ガイドラインの終点は整数値（1～8）入力します。

このパラメータは DISPLAY III の 2 次元自動メッシュ機能に従っています。

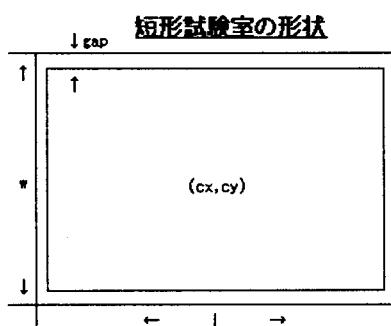
この指定によってヒートホルダー内の試験室を空とみなします。

詳しくは、DISPLAY III ユーザマニュアルの 11,3 節にある 2 次元の  
ライン幾何形状における制約を参照してください。

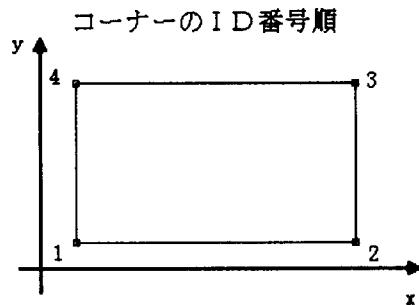
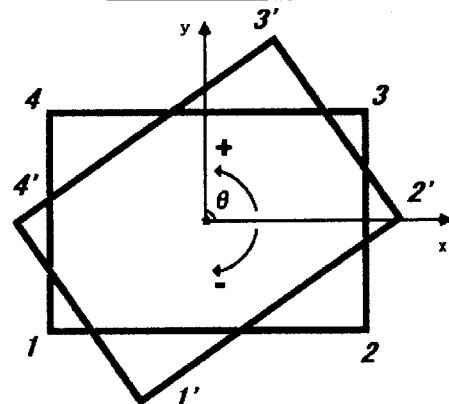
12. 材料番号は本文の TABLE 1 の材料データ一覧を参照ください。

13. 矩形のガンマ発熱物質依存係数は実数値で入力します。
- 

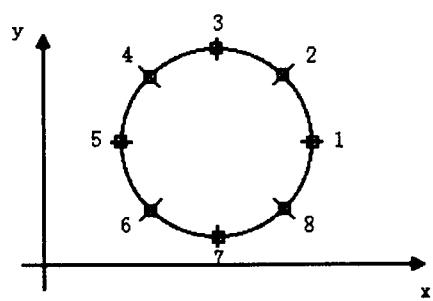
## 図



配置角度の設定



コーナーID番号(ホルダー→外周)



## 2.5 円形試験室の指定（入力メインメニュー [5]）

## \*CHIP\_CYLINDER データグループ

## セット 1

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	tpclnum	円形試験室の総数量	整数値	(注意 1 参照)

## セット 2

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	cx	円形試験室中心 (X 座標)	実数値	(注意 2 参照, 図参照)
2	cy	円形試験室中心 (Y 座標)	実数値	(注意 3 参照, 図参照)
3	r	円形試験室の半径	実数値	(注意 4 参照, 図参照)
4	cr	円形試験片の半径	実数値	(注意 5 参照, 図参照)
5	gap	円形試験室外壁のギャップの幅	実数値	(注意 6 参照, 図参照)
6	spgap	試験片とスペーサ間のギャップ幅	実数値	(注意 7 参照, 図参照)
7	mvx	x 方向の偏心量	実数値	(注意 8 参照, 図参照)
8	mvy	y 方向の偏心量	実数値	(注意 9 参照, 図参照)
9	p1	ガイドラインの始点 <円形外周>	実数値	(注意 10 参照, 図参照)
10	p2	ガイドラインの終点 <ヒートホルダ外周>	実数値	(注意 11 参照, 図参照)
11	MATNAME1	円形試験片の材料番号	整数値	(注意 12 参照)
12	MATNAME2	スペーサの材料番号	整数値	(注意 12 参照)
13	GAPNAME1	円形試験室外壁のギャップ材料番号	整数値	(注意 12 参照)
14	GAPNAME2	円形試験片とスペーサ間のギャップの料番号	整数値	(注意 12 参照)
15	GAMMA_P	円形試験室物質依存係数	整数値	(注意 12 参照)
16	GAMMA_SP	スペーサ物質依存係数	整数値	(注意 12 参照)

注意

1. 実行文 (\*CHIPCYLINDER) を入力した場合は、必ず第1行目の矩形試験室の総数  
量（関数名 : tpclnum）を入力しなければならない。
2. 円形試験室の中心の座標（x 座標）は実数値で入力します。
3. 円形試験室の中心の座標（y 座標）は実数値で入力します。
4. 円形試験室の半径は実数値で入力します。
5. 円形試験片の半径は実数値で入力します。
6. 円形試験室外壁のギャップの幅は実数値で入力します。
7. 円形試験片とスペーサのギャップは実数値で入力します。
8. 円形試験片の中心の偏心量（x 方向）は実数値で入力します。
9. 円形試験片の中心の偏心量（y 方向）は実数値で入力します。
10. ガイドラインの始点は整数値（1～8）で入力します。

このパラメータは DISPLAYIII の 2 次元自動メッシュ機能に従っています。

この指定によってヒートホルダー内の試験室を空とみなします。

詳しくは、DISPLAYIII ユーザマニュアルの 11,3 節にある 2 次元の  
ライン幾何形状における制約を参照してください。

11. ガイドラインの終点は整数値で（1～8）入力します。

このパラメータは DISPLAYIII の 2 次元自動メッシュ機能に従っています。

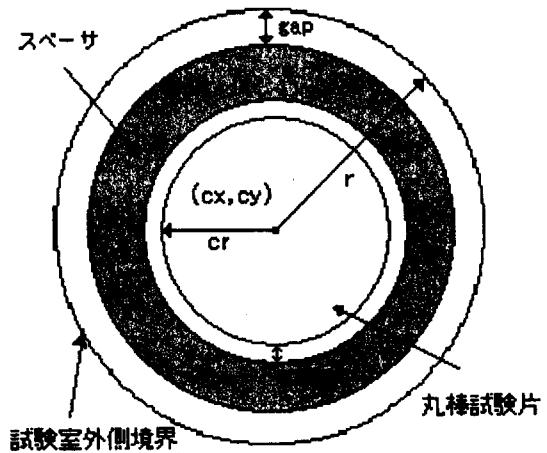
この指定によってヒートホルダー内の試験室を空とみなします。

詳しくは、DISPLAYIII ユーザマニュアルの 11,3 節にある 2 次元の  
ライン幾何形状における制約を参照してください。

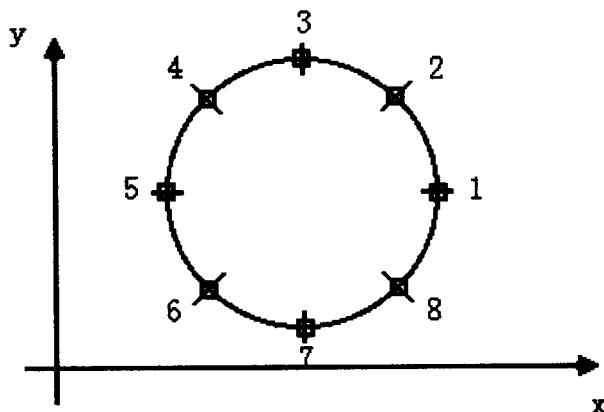
12. 材料番号は本文の TABLE1 の材料データ一覧を参照ください。

図

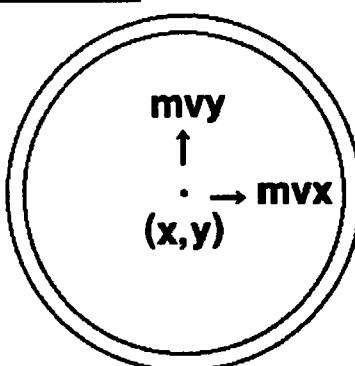
### 円形試験室の形状



コーナーID番号(ホルダーも同様)



### 重心量の設定



**2.6 キャプセルの高さの指定 (入力メインメニュー [6])****\*CAPSULE\_HIGHT データグループ**

このデータグループはモデルの高さと高さ方向のメッシュ分割を定義します。

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	height	モデルの高さ	実数値	(注意 1 参照)
2	nh	高さ方向メッシュ分割数	整数値	(注意 2 参照)

注意

1. モデルの高さは実数値で入力します。
2. 高さ方向のメッシュ分割数は整数値で入力します。

**2.7 放熱の指定 (入力メインメニュー [7])****\*CONVECTION データグループ**

このデータグループは温度入力を定義します。

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	flim	外筒表面の熱伝達率	実数値	(注意 1 参照)
2	ambi	周囲の温度	実数値	(注意 2 参照)

注意

1. 外筒表面の熱伝達率は実数値で入力します。
2. 周囲の温度はモデルの外側の温度設定になります。

入力は実数値です。

2.8  $\gamma$  発熱オプション (入力メインメニュー [8])**\*GAMMMA\_GENERATE** データグループ

このデータグループはガンマ発熱を表します。

セット1:

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	NP	補間次数	整数値	(注意 1 参照)

セット2:

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	scl	ガンマ発熱の増幅率	実数値	(注意 2 参照, 図参照)
2	shift	位置の補正	実数値	(注意 3 参照, 図参照)

注意

1. この補間次数は整数値で入力します。

ガンマ曲線が (NP-1) 次の線形多項式で補間されます

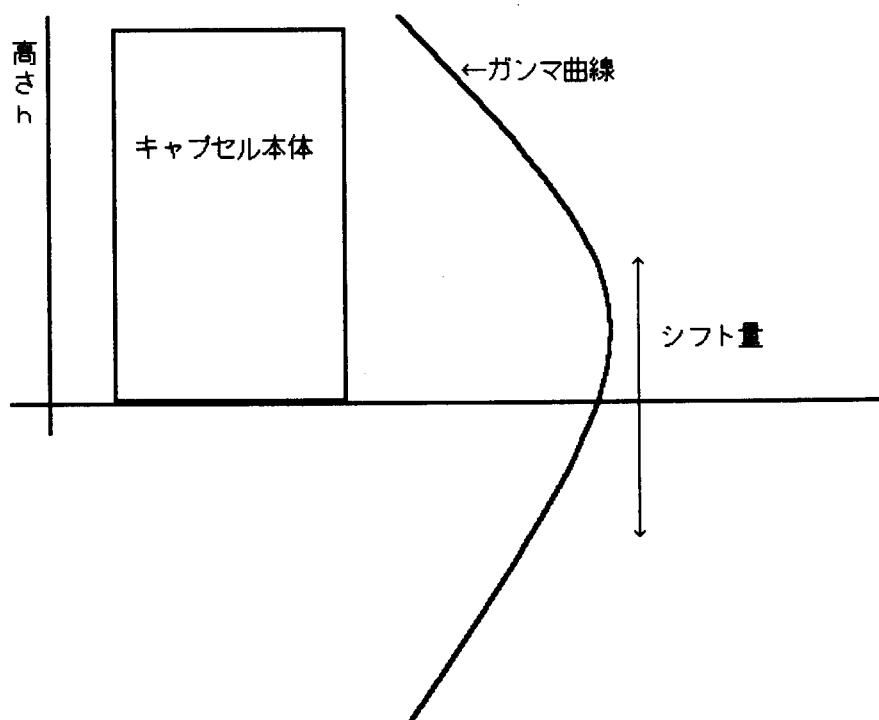
2. このガンマ発熱は実数値で入力します。

ガンマ発熱の振幅値が係数倍されます

3. この位置の補正是実数値で入力します。

キャップセルのモデル作成位置に対するガンマ曲線の補正 (移動量)

図



## 2.9 有限要素生成オプション（入力メインメニュー [9]）

### \*MESH\_PARAMETER データグループ

このデータグループは節点の接続精度を定義します。

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	grade	自動メッシュのグレードファクター	実数値	(注意 1 参照)
2	tol	節点の接続精度	実数値	(注意 2 参照)

#### 注意

1. グレードファクターは実数値で入力します（初期値：1.5）

この値が小さいほど、より多くのメッシュが生成される

値が 1.5 より大きい場合は、生成される要素の数が少なくなりますが、要素の精度は保証されません。

2. 節点の接続精度は実数値で入力します（初期値：0.001）

モデルの生成時における節点の合体トレランスで規定値は（1E-03）です。

少なくともギャップ幅より小さな値に設定する必要があります。

さらに、極度に小さな値では、正しくモデリングされません。

ギャップの設定に 0.001 よりも小さい値を入力した場合は、この値は 0.001 よりも 1 衔ないし 2 衔小さいあたりに設定しなければなりません。

さらに、Display III の起動時には、セッションファイルを読みこむ前に

#### SET => DIST TOLERANCE

を選択し、0.001 よりも 1 衔ないし 2 衔小さい値に設定する必要があります。

## 2.10 テーパー指定（入力メインメニュー [10]）

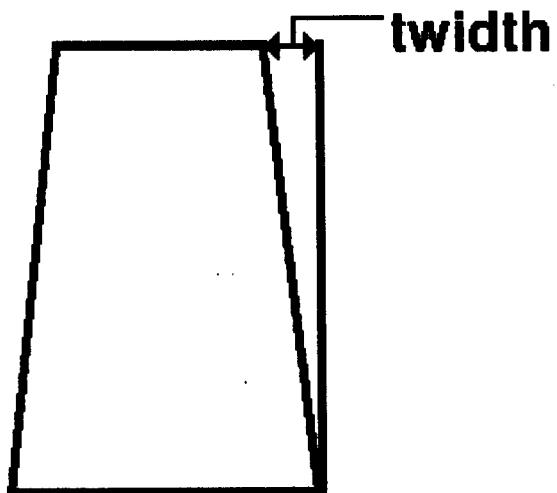
### \*TAPER\_WIDTH データグループ

このデータグループはヒートホルダーのテーパーを定義します。

入力順番	変数名	内 容	入力規則	備考
1	twidth	試料ホルダのテーパー量	実数値	(注意 1 参照, 図参照)

#### 注意

1. テーパー量はホルダー上端部の径が下端部の径に対して小さくなる方向が+です。



## 2.11 データの終端

### \*ENDDATA データグループ

データの終端を表します。パラメータ（値）はありません。（注意参照）

#### 注意

1. このデータグループを必ずデータの末尾（終端）に表記してください。

**重要:** 入力メインメニューの [1] ~ [10] の項目は、モデルによって必要な項目であつても必ず入力してください。（必要な場合は、“n”または“0”を入力する。）もし、入力していない項目があれば、テーブルファイルを出力する時にエラーが出ます。

### 3. データチェック

#### 3.1 材料データベースリスト（入力メインメニュー [11]）

キャプセルモデル定義で指定する材料データベースのリストで、最大 200 件の材料データを登録できる。本文の Table1 の材料データーを参照。尚、材料データベースに記載されていない材料や物性値の異なる材料については、管理者に依頼し登録して下さい。

#### 3.2 ガンマ発熱率表示（入力メインメニュー [12]）

軸方向の要素に与えられたガンマ発熱率の値を確認するためのものです。ガンマの発熱率は、2.8 で指定した増幅率及び位置の補正量（shift 量）によって異なります。また、ガンマ発熱率の表示は、体積あたりの発熱率（W/mm<sup>3</sup>）で表示されます。

### 4. テーブルファイル出力

#### 4.1 キャプセル定義ファイル出力（入力メインメニュー [13]）

2 項のキャプセルモデル定義の [1] ~ [10] 項目に入力したデータをテーブルファイルとして出力する。キャプセル定義ファイル（テーブルファイル）を出力するには、以下の操作をしてください。

- ① 入力メインメニュー [13] を選択
- ② 以下のメッセージが表示されますので、ファイル名を入力してください。

キャプセル定義ファイル名を入力してください

CAPSULE DIFINITION FILE NAME =xxxx.tbl

※波線の部分は、任意のファイル名を入力

※拡張子は、他のファイルと区別するために、.tbl にしてください。

### 5. モデル作成コード出力（CAPSULE）

#### 5.1 FEM モデル自動作成コード出力（入力メインメニュー [14]）

4.1 で出力したキャプセル定義ファイルを DISPLAYIII で読み込み可能なモデル作成コードに変換する。モデル作成コードへの変換は、以下の操作をしてください。

① 入力メインメニュー [14] を選択

② ファイル形式の選択

以下のメッセージが表示されます。

セッションファイルの形式を選択してください。

1 : V7.0 形式 2 : V8.0/9.0 形式 [選択] : 2

※UNIX 機のバージョンが V8.0 なので、“2”を選択してください。

③ テーブルファイルの入力

以下のメッセージが表示されます。

テーブルファイル名を入力してください。

**INPUT TABLE FILE = xxxx.tbl**

※波線の部分は 4.1 で定義したファイル名を入力する

注) 同じ DIR 内にテーブルファイルが存在しないと同じメッセージが繰り返し表示されますので、テーブルファイルがある DIR に移動して実行して下さい。

④ モデル作成ファイルの出力

以下のメッセージが表示されます。

DISPLAYIII セッションファイル名を入力してください。

**DISPLAY SESSION FILE = xxxx.ses**

※波線の部分は任意のファイル名を入力する。ファイル管理を分かり易くするためにには、③で入力したファイル名と同じにすること。

**重要**：拡張子は、必ず **.ses** と入力すること。

**参考**：FEM モデル自動作成コード出力は、入力メインメニューを使用しなくても直接実行できる方法あります。それは、コマンドラインから “capsule” と入力すると、FEM モデル自動作成コード出力プログラムが起動する。操作は上記と同様。

## 6. モデル作成と熱伝導計算

### 6.1 モデル自動作成コード実行【DISPLAYIII】(入力emainメニュー [15])

5.で作成したモデル数値データを DISPLAYIII で読み込みモデリングします。各設定を行った後、熱伝導解析用ファイルを出力します。以下のとおり操作を行ってください。

(1) DISPLAYIII 起動

入力emainメニューの [15] を選択すると、以下のメッセージが表示されます。

Please choose Graphics or Alphanumeric Terminal :

Graphics (X-window).....1

Alphanumeric terminals...2

Enter the type of device used (1-2) > 1

Choose the window size for graphics

Full screen.....1

75%.....2

50%.....3

90%.....4

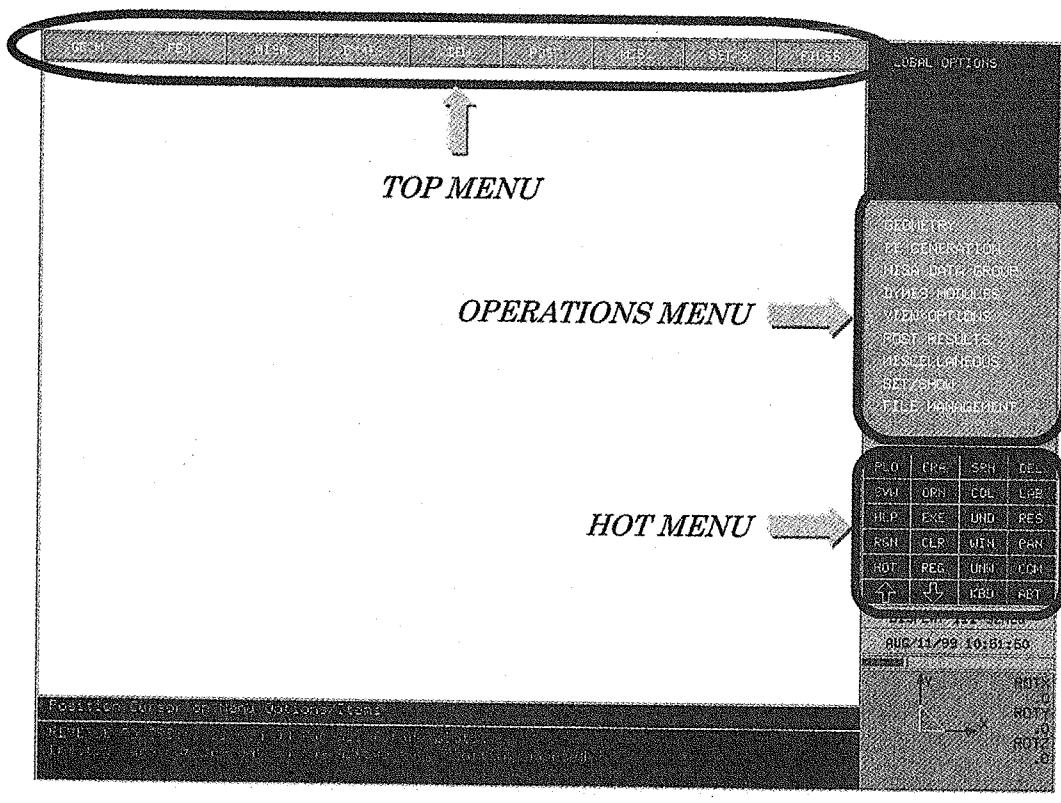
Enter screen size (1-4) > 1 (スクリーンサイズなので何番でも可)

※ 太数字の部分を入力します。

上記操作で下図の DISPLAYIII 起動画面が表示される。

(2) モデル作成ファイルの読み込み

下図を参照にして以下の操作を行ってください

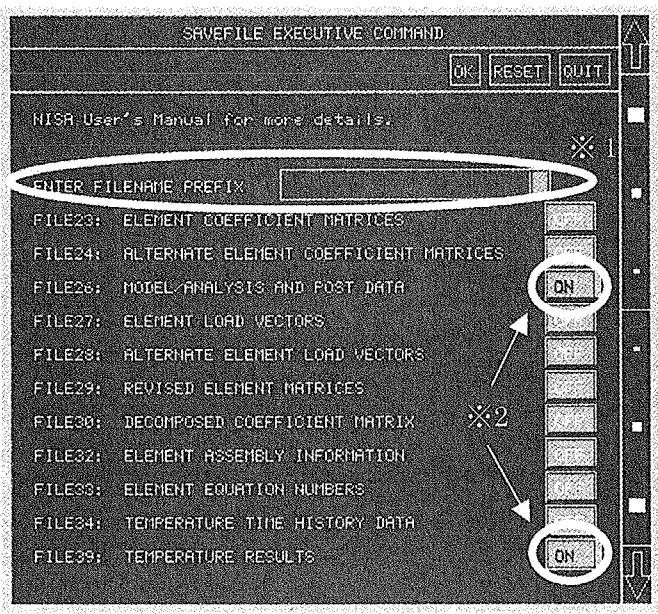


DISPLAY III 起動画面

- ① **TOP MENU – FILES** をクリック
- ② **OPERATIONS MENU – READ – SESSION FILE** を選択
- ③ ファイル選択ウインドウが表示され、5 項のモデル作成で出力したファイル

(xxxx.ses) を選択し **OK** ボタンをクリックします。

- ④ 自動でモデリングを開始します。(モデルによって作成する時間が異なります。約3分~5分)
- ⑤ モデリングが作成されたら、TOP MENU—NISA をクリック
- ⑥ OPERATIONS MENU—NISA DATA GROUP—NISA FORMS を選択すると NISA DATA GROUP のダイアログが表示されます。
- ⑦ ダイアログから **EXECUTIVE COMMANDS** をクリックすると ANALYSIS TYPE のリストが表示されます。
- ⑧ リストの中から **SHEAT** を選択すると STEDY HEAT のダイアログが表示されます。
- ⑨ STEDY HEAT ダイアログの1行目に  
SAVE/ACCESS NISA BINARY FILES? **OK**  
この **OK** ボタンをクリックします。
- ⑩ 下図の SAVEFILE EXECUTIVE COMMAND ダイアログが表示され、



SAVEFILE EXECUTIVE COMMAND

重要	ENTER FILENAME PREFIX xxxx      ※ 1
	FILE26 : MODEL/ANALYSIS AND POST DATA <b>ON</b> ※ 2
	FILE39 : TEMPERATURE RESULTS <b>ON</b> ※ 2

操作が完了したら **OK**—**OK**

Ok to replace EXECUTIVE data ? (y/n) > **y** と入力

**QUIT**ボタンを押して NISA DATA GROUP のダイアログに戻る。

※1 波線の部分に任意のファイル名を入力する。これは、計算結果のファイル名なので、原則として 5 項のモデル作成コードで入力したファイル名と同じにする。拡張子は自動的に “.dat” 付加される。

※2 上記の 2 項目を **ON** にする。これは、計算結果の出力ファイルを指定するため。熱伝導解析では、FILE26・FILE39 を指定する。

⑪ NISA DATA GROUP のダイアログから **STEADY HEAT** を選択する。

**STEADY HEAT** のダイアログには下記の項目があります。

- TITLE : メモ等 (条件等やファイル名等) を入力する。[必須ではない]
- MATERIAL : 材料データが構造物毎に表示されるので物性値を確認する。
- HEAT CONTROL : ヒートコントロールの設定  
**HEAT CONTROL** - **ADD** をクリック  
 MAX NUMBER OF ITERATIONS IN EACH TIME STEP 1→100 **OK**  
**QUIT** で戻る

※ 上記以外の項目については、設定は不要。

⑫ 解析ファイルに保存

**TOP MENU - FILES** をクリック

**OPERATIONS MENU - WRITE - NISA FILE** を選択

NISA filename > **xxxx** (.nis の拡張子は自動で付加される)

※波線の部分は、任意のファイル名。原則として 5 項のモデル作成コードで入力したファイル名と同じにする。(ファイル名は拡張子によって区別されるため同ファイル名でも問題ない)

## 6.2 伝熱計算【HEAT II】(入力メインメニュー [16])

① 热伝導解析を行うファイルを指定する。

Type in NISA input file name : **xxxx.nis**

波線の部分は、6.1②で出力したファイル名を入力する。

② 热伝導解析結果ファイルを指定する。

Type in output file name(default = xxxx.out) : **xxxx.out**

波線の部分は上記の①で指定したファイル名に “.out” を付加して入力する。

※ 入力をしないで、リターンキーを押しても可

### 6.3 計算結果の表示方法

#### ① DISPLAYⅢを起動

6.1 (1) と同操作を行い、DISPLAYⅢを起動する

#### ② 計算結果ファイルの読み込み

*TOP MENU - FILES - READ - POST FILES - “ポストファイル選択” [F]*

- **OK** - **OK**

※ ポストファイルの選択は、ファイルのダイアログが表示され、6.2 で  
指定したファイルの計算結果 (xxxx26.dat) を選択する。

#### ③ ポストファイルの表示

*TOP MENU - POST - CONTOURS - PICK RESULTS - HOTMENU [RGN]*

※ RGN は、6.1(2)の DISPLAYⅢ起動画面図の中の HOTMENU ボタン

## 7. データの初期化及びプログラム終了

### 7.1 データの初期化（入力メインメニュー [17]）

対話形式により入力メインメニュー[1]～[10]項目に入力したデータすべて初期化します。ただし、4.テーブルファイルの出力を実行すれば、入力したデータはファイルに保存されています。

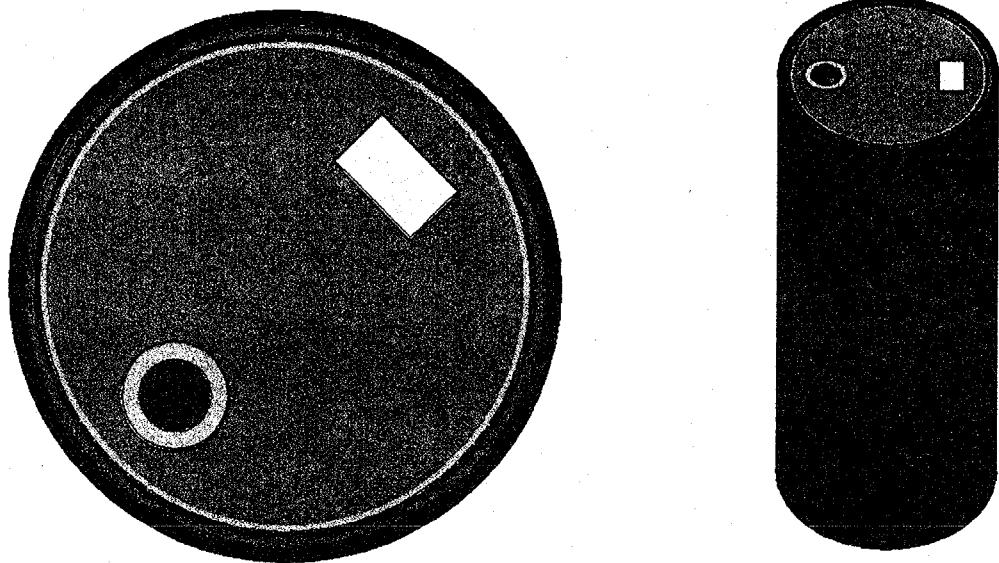
### 7.2 プログラム終了（入力emainメニュー [18]）

入力emainメニューを終了します。

## 8. 練習問題

### <例題>

以下のような形状を作成します。



#### 【入力データ】

##### 外筒の入力データ

半径 20 厚み 1 材料番号 6 内側の空間の材料番号 3

物質依存係数 1

##### 内筒の入力データ

数量 : 1

半径 18.9 厚み 1 ヒータ部の厚み 0.3 発熱量 1000

内筒の材料番号 6 ヒータの材料番号 6 ギャップの材料番号 3

内筒の物質依存係数 1 ヒータ部の物質依存係数 1

##### ヒートホルダの入力データ

半径 17.8 厚み 0.5 発熱量 0 ヒートホルダの材料 7

ヒータの材料 7 ヒートホルダの物質依存係数 1 ヒータの物質依存係数 1

##### 矩形試験室の入力データ

数量 : 1

矩形 1

中心座標 8,8 配置角度 -45 長さ 8 幅 5 ギャップ幅 0.1

偏心量 0.05, 0.05 ガイドラインの始点 : 3 終点 : 1

材料番号 20 ギャップの材料番号 3 物質依存係数 0.85

円形試験室の入力データ

数量 : 1

円形 1

中心座標 -8, -8 試験室の半径 4 試験片の半径 2.5

外壁のギャップ 0.1 スペーサ間のギャップ 0.1 偏心量 0.05, 0.05

ガイドラインの始点 : 6 終点 : 6 試験片の材料番号 7

スペーサの材料番号 20 外壁のギャップ材料 3

スペーサ間のギャップ材料 3 試験室の物質依存係数 1

スペーサの物質依存係数 0.95

モデルの高さの入力データ

高さ 100 分割数 20

メッシュの生成の入力データ

メッシュ精度 1 接点の接続精度 0.005

温度入力の入力データ

外筒表面の熱伝達率 0.0233 周囲温度 50

ガンマ発熱の入力データ

補間次数 5

ガンマ発熱の増幅率 1 位置の補正 10

テープ量の入力データ

ヒートホルダのテープ量 0

### 8.1 対話形式によるデータ入力例

#### 【入力時の注意】

- ・入力データは省略できません。
- ・入力データが2つ以上ある場合はデータの間にスペースキーもしくはリターンキーを押して下さい。
- ・リターンキーを押しても次の項目に進まない場合、入力すべきデータが入力されていない可能性があります。前の入力を確認して、入力して下さい。
- ・入力に失敗した場合はお手数ですが、最初から入力をやり直して下さい。

#### 【対話型の入力の流れは以下のように成ります】

```
*****
*          AUTOMATIC MESH GENERATOR SYSTEM      *
*          FOR CAPSULE OF JMTR                 *
*
*          PRE·PROCESSOR PROGRAM                *
*
*          Rev.3.2 Date:2000/08/04              *
*          DISPLAYIII:V7.0/8.0/9.0 SESSION FILE   *
*          programed by zexel intelligence co.    *
*          support:03-3409-0532 fax:03-3409-0799  *
*
*****
```

キャプセル定義ファイルを作成します。

開始します。よろしいですか?[y/n]:>"y" (プログラムが開始)。

注意:このプログラムはエラー処理が完全ではありません。

内部構造が外部構造より大きくならないように定義してください。

//////////  
//            入力メインメニュー 3.2            //  
//////////

#### □ キャプセルモデル定義

- |                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| [ 1]: 外筒の指定       | [ 2]: 内筒の指定            |
| [ 3]: ヒートホルダーの指定  | [ 4]: 矩形試験室の指定         |
| [ 5]: 円形試験室の指定    | [ 6]: キャプセルの高さの指定      |
| [ 7]: 放熱の指定       | [ 8]: $\gamma$ 発熱オプション |
| [ 9]: 有限要素生成オプション | [10]: テーパーの指定          |

#### □ データチェック

[11]: 材料データベースリスト

□ テーブルファイル出力

[13]: キャプセル定義ファイル出力

□ モデル作成コード出力

[14]: FEM モデル自動作成コード出力

□ モデル作成と熱伝導計算

[15]: モデル自動作成コード実行(DISPLAY) [16]: 伝熱計算

□ データ初期化

[17]: データ初期化

□ &lt;&lt; 終了 &gt;&gt;

[18]: プログラム終了

\*\*\*\*\* 既に入力された項目には"\*\*"が表示されます。 \*\*\*\*\*

## ●選択:

---

メインメニューです。1～10までのデータを定義していきます。

**メインメニュー[1]**

外筒の外半径、厚みを入力してください。

[radius thickness]:20 1

外筒の材料番号、物質依存係数、ギャップの材料番号を入力してください。

[matID dpfactor matgapID]:6 1 3

外筒の外半径                   …&gt; 20.000000

外筒の厚み                   …&gt; 1.000000

外筒の材料                   …&gt; SUS316

外筒の物質依存係数                   …&gt; 1.000000

外筒内側のギャップ材料                   …&gt; He

この値でよろしいですか? [y/n]:y

---

**メインメニュー[2]**

内筒(スペーサ)の数を入力してください。

[n]:1

内筒(スペーサ)の数 …> 1

この値でよろしいですか? [y/n]:y

内筒 1 の外半径、厚みを入力してください。

[radius thickness]:18.9 1

内筒 1 の材料番号、物質依存係数、ギャップの材料番号を入力してください。

[matID dpfactor mtgapID]:6 1 3

内筒 1 のヒーターの厚み、ヒーターの総発熱量(W)を入力してください。

[width heat]:0.3 1000

内筒 1 のヒーターの材料、ヒーターの物質依存係数を入力してください。

[HMid Hparam]:6 1

内筒 1 の外半径 …> 18.900000

内筒 1 の厚み …> 1.000000

内筒 1 の材料 …> SUS316

内筒 1 の物質依存係数 …> 1.000000

内筒 1 の内側のギャップの材料 …> He

内筒 1 のヒーターの厚み …> 0.300000

内筒 1 のヒーターの総発熱量 …> 1000.000000 (W)

内筒 1 のヒーターの材料 …> SUS316

内筒 1 のヒーターの物質依存係数…> 1.000000

この値でよろしいですか? [y/n]:y

---

### メインメニュー[3]

ヒートホルダーの外半径、ヒーターの厚み、ヒーターの総発熱量(W)を入力してください。

[radius thickness heat]:17.8 0.5 0

ヒートホルダーの物質依存係数、ヒーターの物質依存係数を入力してください。

[holderfact heaterfact]:1 1

ヒートホルダーの外半径 ...> 17.800000  
ヒーターの厚み ...> 0.500000  
ヒーターの総発熱量(W) ...> 0.000000(W)  
ヒートホルダーの物質依存係数 ...> 1.000000  
ヒータの物質依存係数 ...> 1.000000  
この値でよろしいですか? [y/n]:y

ホルダーとヒーターの材料番号を入力してください。

[Holder\_ID Heater\_ID]:7 7

ヒートホルダーの材料 ...> SUS304  
ヒーターの材料 ...> SUS304  
この値でよろしいですか? [y/n]:y

---

#### メインメニュー[4]

矩形試験片室の数を入力してください。

[num. of RCT]:1

矩形試験室の数 ...> 1  
この値でよろしいですか? [y/n]:y

矩形試験室 1 の中心位置の座標(X,Y)と配置角を入力してください。

[CX CY ROTATE]: 8 8 -45

矩形試験室 1 の X 座標 ...> 8.000000  
矩形試験室 1 の Y 座標 ...> 8.000000  
矩形試験室 1 の配置角 ...> -45.000000°  
この値でよろしいですか? [y/n]:y

矩形試験室 1 は偏心しますか? [y/n]:y

矩形試験室 1 の移動量(DX,DY)を入力してください。

[DX DY]:0.05 0.05

矩形試験室 1 の X 方向の移動量 ...> 0.050000

矩形試験室 1 の Y 方向の移動量 ...> 0.050000  
この値でよろしいですか? [y/n]:y

矩形試験室 1 の長さ、幅、ギャップ幅を入力してください。  
[length width gapwidth]:8 5 0.1

矩形試験室 1 の長さ ...> 8.000000  
矩形試験室 1 の幅 ...> 5.000000  
矩形試験室 1 のギャップ幅 ...> 0.100000  
この値でよろしいですか? [y/n]:y

矩形試験室 1 の接続線の始点、終点を入力してください。  
[startID endID]:3 1

矩形試験室 1 の接続線の始点 ...> 3  
矩形試験室 1 の接続線の終点 ...> 1  
この値でよろしいですか? [y/n]:y

矩形試験室 1 の材料番号と物質依存係数とギャップの材料番号を入力してください。  
[matID dpfactor gapmatID]:20 0.85 3

矩形試験室 1 の材料 ...> Al  
矩形試験室 1 の物質依存係数 ...> 0.850000  
矩形試験室 1 のギャップ材料 ...> He  
この値でよろしいですか? [y/n]:y

---

メインメニュー[5]  
円形試験片室の数を入力してください。  
[num. of RCT]:1

円形試験室の数 ...> 1  
この値でよろしいですか? [y/n]:y

円形試験室 1 の中心位置の座標(X,Y)を入力してください。

X Y(center coordinate)]:-8 -8

円形試験室 1 の中心の X 座標 ……> -8.000000

円形試験室 1 の中心の Y 座標 ……> -8.000000

この値でよろしいですか? [y/n]:y

円形試験室 1 は偏心しますか? [y/n]:y

円形試験室 1 の移動量(DX,DY)を入力してください。

DX DY]:0.05 0.05

円形試験室 1 の X 方向の偏心量 ……> 0.050000

円形試験室 1 の Y 方向の偏心量 ……> 0.050000

この値でよろしいですか? [y/n]:y

円形試験室 1 の半径、ギャップの幅を入力してください。

radius gapwidth]:4 0.1

円形試験室 1 の半径 ……> 4.000000

円形試験室 1 のギャップ幅 ……> 0.100000

この値でよろしいですか? [y/n]:y

この試験室内の円形試験片 1 の半径、スペーサとのギャップの幅を入力してください。

[ctrad spgapwidth]:2.5 0.1

円形試験片 1 の半径 ……> 2.500000

円形試験片 1 のギャップ幅 ……> 0.100000

この値でよろしいですか? [y/n]:y

円形試験室 1 の接続線の始点、終点を入力してください。

[startID endID]:6 6

円形試験室 1 の接続線の始点 ……> 6

円形試験室 1 の接続線の終点 ……> 6

この値でよろしいですか? [y/n]:y

試験片 1 とスペーサ 1 の材料番号を入力してください。

[CTmatID,SPmatID]:7 20

円形試験片 1 の材料 ……> SUS304

円形試験室 1 のスペーサの材料 ……> Al

この値でよろしいですか? [y/n]:y

円形試験室 1 内のギャップの材料番号を定義します。

試験室外壁のギャップ材料番号と試験片とスペーサ間のギャップの材料番号を入力してください。

[gMATID spgMATID]:3 3

円形試験室 1 の外壁のギャップ材料 ……> He

この試験室内の試験片 1 とスペーサ間のギャップ材料 ……> He

この値でよろしいですか? [y/n]:y

円形試験室 1 内の試験片とスペーサの物質依存係数を入力してください。

[CTgfactor SPgfactor]:1 0.95

円形試験室 1 内の試験片の物質依存係数 ……> 1.000000

円形試験室 1 内のスペーサの物質依存係数 ……> 0.950000

この値でよろしいですか? [y/n]:y

---

## メインメニュー[6]

モデルの高さとその方向に生成する要素の分割数を入力してください。

height num.ofELEM.]:100 20

キャプセルの高さ ……> 100.000000

高さ方向の要素分割数 ……> 20

この値でよろしいですか? [y/n]:y

---

## メインメニュー[7]

外部境界の熱伝達率とその時の周囲温度を入力してください。

[film-cof amb-temp]:0.0233 50

外部境界の熱伝達率 …> 0.0233000

外部境界の周囲温度 …> 50.000000

この値でよろしいですか? [y/n]:y

---

メインメニュー[8]

ガンマ発熱を増幅する場合の倍率を設定します。

既定値に設定しますか(gamma-scale=1.0)?[Y/N]:y

既定値(1.0)に設定されました。

ガンマ発熱の多項式補間次数:(NFIT-1)次を設定してください。

[NFIT]:5

補間多項式の次数 …> 5

この値でよろしいですか? [y/n]:y

ガンマ発熱に対するキャプセル位置(シフト量)を入力してください。

[SHIFT]:10

キャプセルの位置のシフト量 …> 10.000000

この値でよろしいですか? [y/n]:y

---

メインメニュー[9]

メッシュグレードを設定します。既定値(1.5)に設定しますか?

[Y/N]:n

新しいグレードファクターを 1.0~2.0 の間で指定してください。

[Grade Factor(1.0~2.0)]:1

メッシュグレード …> 1.000000

この値でよろしいですか? [y/n]:y

モデルの合体のための節点マージ許容値を設定します。

既定値に設定しますか(tol=0.001)?[Y/N]:n

新しい節点マージ許容値を設定してください。

[tol]:0.005

節点のマージ許容値 …> 0.005000

この値でよろしいですか? [y/n]:y

---

メインメニュー[10]

テーパーを設定します。 テーパーをつけますか?[Y/N]:n

---

メインメニュー[13]

キャプセル定義ファイル名を入力してください。

CAPSULE DIFINITON FILE NAME =xxxx.tbl

これで、入力データファイルが保存されます。 このあとは、5 項～6 項の操作を行ってください。

## 8.2 あらかじめ入力ファイルを作成する場合

あらかじめデータを用意する場合はテキストエディタ等で作成します。各データの説明は2項のキャプセル定義を参照して下さい。

データファイルは以下のようになります。

※ \*印はデータグループ ID

### 【データ】

#### \*OUTOR\_CYLINDER

20 1 6 3 1

#### \*INNER\_SPACER

1

18.9 1 0.3 1000 6 6 3 1 1

#### \*HEATHOLDER

17.8 0.5 0 7 7 1 1

#### \*CHIP\_RECTANGLE

1

8 8 -45 8 5 0.1 0.05 0.05 3 1 20 3 0.85

#### \*CHIP\_CYLINDER

1

-8 -8 4 2.5 0.1 0.1 0.05 0.05 6 6 7 20 3 3 0.95 1

#### \*CAPSULE\_HIGHT

100 20

#### \*MESH\_PARAMETER

1 0.005

#### \*CONVECTION

0.023 50

#### \*GAMMA\_GENERATE

5

1 10

#### \*TAPER\_WIDTH

0

#### \*ENDDATA

This is a blank page.

## 付録C

### 試験片温度評価サブプログラム操作マニュアル

This is a blank page.

## はじめに

### ○プログラム及びファイルの説明

#### プログラムの種類

TIPMENU : 試験片入力プログラム

DASIPLAYIII : 汎用 NISA コードファミリーのプリプロセッサ

HEATII : 汎用 NISA コードファミリーの熱伝導解析プログラム

#### ファイルの種類

セッションファイル (**xxxx.ses**) :

形状定義ファイル (CAPSULE プログラムを使用して生成する)

NISA ファイル (**xxxx.nis**) :

解析用ファイル

OUT ファイル (**xxxx.out**) :

解析結果ファイル (解析結果を数値で出力したファイル)

FILE26 (**xxxx26.dat**) :

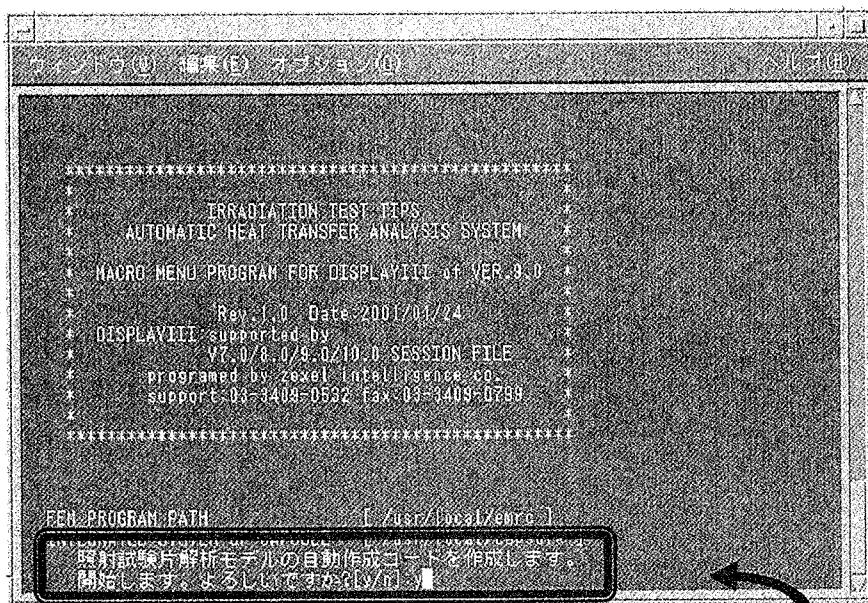
解析結果ファイル (モデルデータを含んだバイナリーファイル)

This is a blank page.

## 1. 試験片温度評価サブプログラムの起動

### 1.1 TIPMENU (入力支援プログラム) の起動

- ① 端末エミュレータを起動し、コマンドラインから “tipmenu” と入力

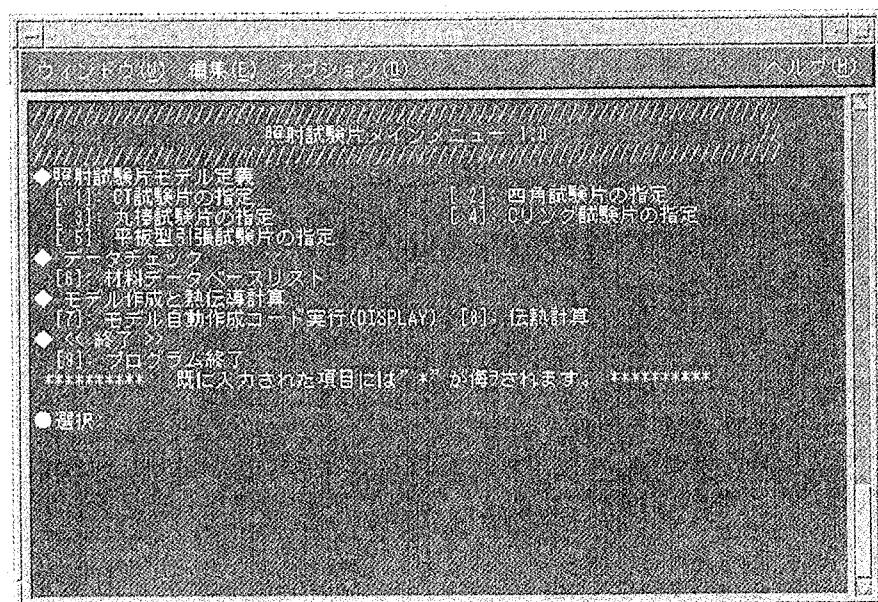


- ② 照射試験片解析モデルの自動作成コードを作成します。

開始します。よろしいですか? [y/n] : y と入力する。

- ③ 照射試験片メインメニュー

下図に示す入力メインメニューが表示される。



- ④ 必要項目を選択し、対話形式により、データを入力する。

2 項で各項目の定義方法を説明する。

## 2. 試験片モデル定義

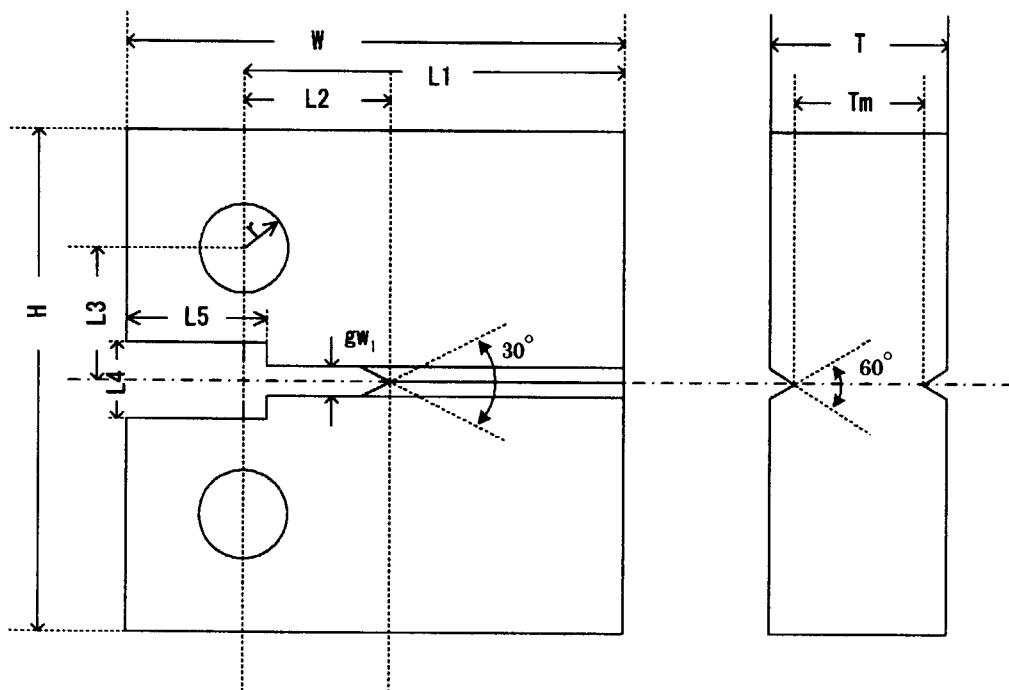
1 項③のメインメニューの中から、現在、使用可能なモデルは、CT試験片及び平板型試験片の2種類です。メインメニューから試験片モデルを選択し、対話形式により形状及び解析データを入力します。

### 2.1 CT試験片の指定（メインメニュー [1]）

#### (1) 試験片寸法

下図のCT試験片モデル図に示す試験片の寸法を対話形式の順番通りに寸法を入力します。各寸法データとデータの間は、スペースを入れて入力します。

寸法のパラメータは、W/H/T/MAT\_IDTm/L1/L2/L3/L4/L5/r/gw1



CT試験片モデル図

注意：このプログラムは以下の環境でも動作します。

- $L4 = gw1$
- $T = Tm$
- $L4 = gw1, T = Tm$
- $L4 \neq gw1, T \neq Tm$

※  $L5$  の値は、下記の式が成り立たないとモデルリングできませんので、 $L5$  の値を調整してください。

$$L1 - L2 - (gw1 \cdot (1/2) / \tan 15^\circ) > L5$$

## (2) 解析条件

解析条件のパラメータは、以下のとおりです。

N1	→ 要素の分割数
HEATGEN	→ 発熱率
CONV	→ 対流境界条件の熱伝達率
TEMP	→ 節点規定温度、または周囲温度
ITEMP	→ 境界条件の選択キー (1か2しかありません。) ITEMP=1 (対流境界条件) ITEMP=2 (規定温度条件)

## ① 要素分割数 (N1)

分割数を多くすると精度は良くなりますが、計算時間がかかります。分割数を少なくすると精度は悪くなりますが、計算時間は早くなりますので、適当な分割数 (5~10) を与えてください。

## ② 発熱率 (HEATGEN)

$\gamma$  の発熱率を入力する。ここで入力する  $\gamma$  発熱率は、体積あたりの発熱率を与えるので、発熱率 (W/g) × 材料の質量密度 (g/mm<sup>3</sup>) で求めた結果を入力する。

## ③ 対流境界条件 (CONV, TEMP) ITEMp=1

ITEMP キーで 1 を選択する。熱伝達係数および周囲温度を入力する。

熱伝達係数の単位 : W/mm<sup>2</sup>·K

周囲温度の単位 : °C

## ④ 規定温度条件 (TEMP) ITEMp=2

ITEMP キーで 1 を選択する。節点規定温度を入力する。これは試験片の周囲の温度を一定として計算を行う。

節点規定温度の単位 : °C

## (3) 入力データファイルの保存

上記の(1)(2)のデータを入力したら、下記のメッセージが表示されて保存するファイル名を入力する。

“照射試験片自動作成セッションファイル名を入力してください。”

**CAPSULE DIFINITION FILE NAME = xxxx.ses**

※波線の部分に任意のファイル名を入力する。

**重要**：必ず拡張子は “.ses” と付加すること。

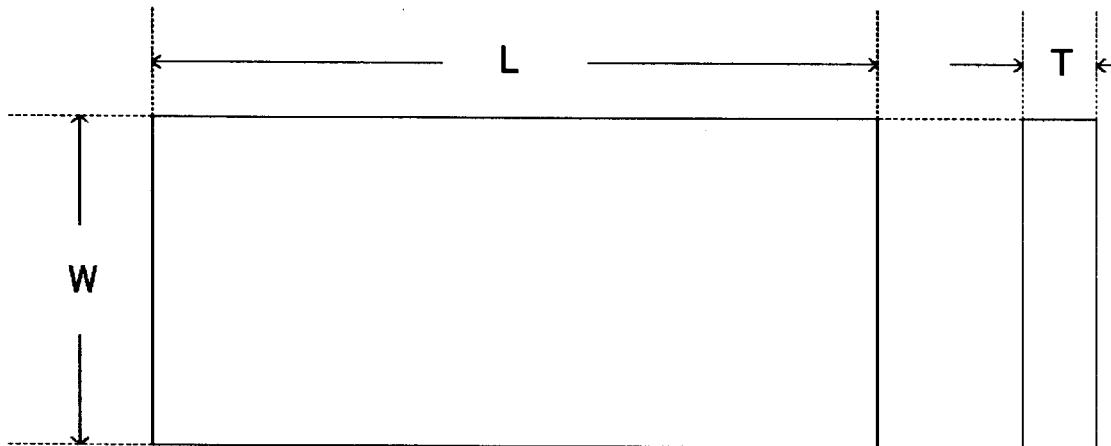
(1)～(3)の操作を行ったら、3. モデル作成と熱伝導計算の操作を行ってください。

## 2.2 平板型試験片の指定（メインメニュー [2]）

### (1) 試験片寸法

下図の平板型試験片モデル図に示す試験片の寸法を対話形式の順番通りに寸法を入力します。各寸法データとデータの間は、スペースを入れて入力します。

寸法のパラメータは、**W/H/T/MAT\_ID**



平板型試験片モデル図

### (2) 解析条件

解析条件のパラメータは、以下のとおりです。

N1	→ X 方向（図 1 の L 方向）の要素分割数
N2	→ Y 方向（図 1 の W 方向）の要素分割数
N3	→ Z 方向（図 1 の T 方向）の要素分割数
HEATGEN	→ 発熱率
CONV	→ 対流境界条件の熱伝達率
TEMP	→ 節点規定温度、または周囲温度
ITEMP	→ 境界条件の選択キー（1 か 2 しかありません。） ITEMP=1 (対流境界条件) ITEMP=2 (規定温度条件)

#### ① 要素分割数 (N1)

分割数を多くすると精度は良くなりますが、計算時間かかります。分割数を少なくすると精度は悪くなりますが、計算時間は早くなりますので、適当な分割数 (5~10) を与えてください。

② 発熱率 (HEATGEN)

$\gamma$  の発熱率を入力する。ここで入力する  $\gamma$  発熱率は、体積あたりの発熱率を与えるので、発熱率 (W/g) × 材料の質量密度 (g/mm<sup>3</sup>) で求めた結果を入力する。

③ 対流境界条件 (CONV, TEMP) ITEMP=1

ITEMP キーで 1 を選択する。熱伝達係数および周囲温度を入力する。

熱伝達係数の単位 : W/mm<sup>2</sup>·k

周囲温度の単位 : °C

④ 規定温度条件 (TEMP) ITEMP=2

ITEMP キーで 1 を選択する。節点規定温度を入力する。これは試験片の周囲の温度を一定として計算を行う

節点規定温度の単位 : °C

(3) 入力データファイルの保存

上記の(1)(2)のデータを入力したら、下記のメッセージが表示されて保存するファイル名を入力する。

“照射試験片自動作成セッションファイル名を入力してください。”

CAPSULE DIFINITION FILE NAME = xxxx.ses

※波線の部分に任意のファイル名を入力する。

**重要**：必ず拡張子は “.ses” と付加すること。

(1)～(3)の操作を行ったら、3. モデル作成と熱伝導計算の操作を行ってください。

### 3. モデル作成と熱伝導計算

#### 3.1 モデル自動作成コード実行【DISPLAYIII】(メインメニュー [7])

2.1(3)、2.2(3)で作成したモデル数値データを DISPLAYIII で読み込みモデリングします。各設定を行った後、熱伝導解析用ファイルを出力します。以下のとおり操作を行ってください。

(1) DISPLAYIII起動

入力メインメニューの [7] を選択すると、以下のメッセージが表示されます。

Please choose Graphics or Alphanumeric Terminal :

Graphics (X-window).....1

Alphanumeric terminals...2

Enter the type of device used (1-2) > 1

Choose the window size for graphics

Full screen.....1

75%.....2

50%.....3

90%.....4

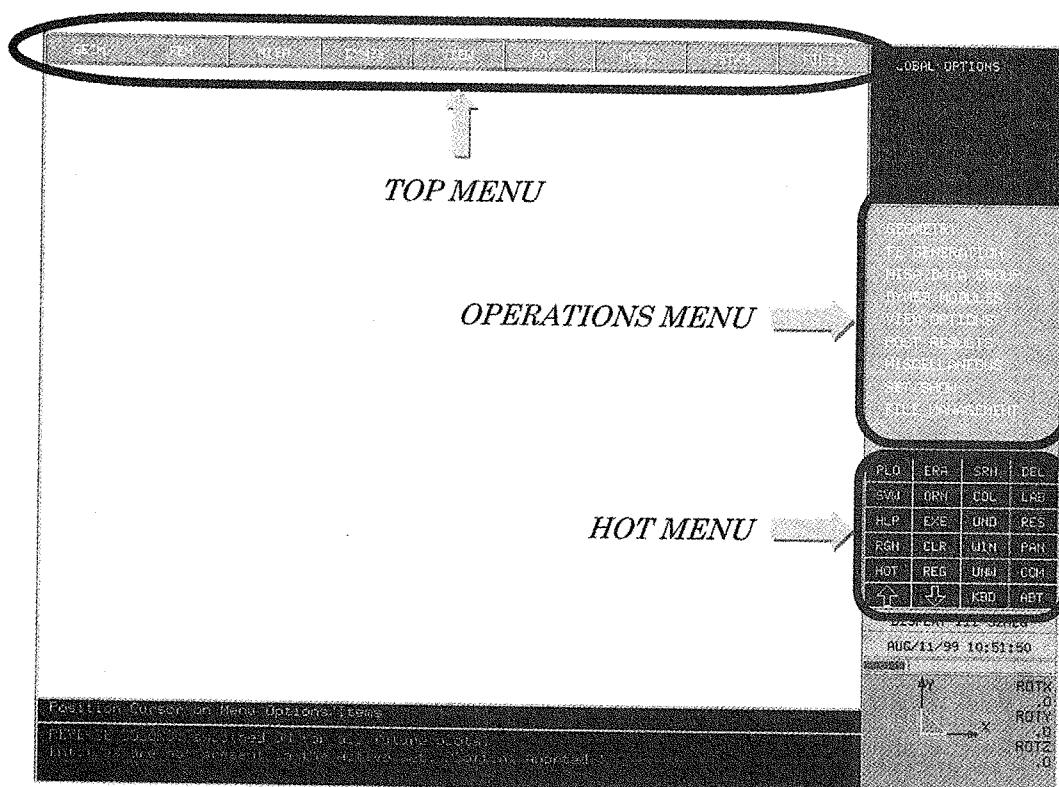
Enter screen size (1-4) > 1 (何番でも可)

※ 太数字の部分を入力します。

上記操作で下図の DISPLAY III 起動画面が表示される。

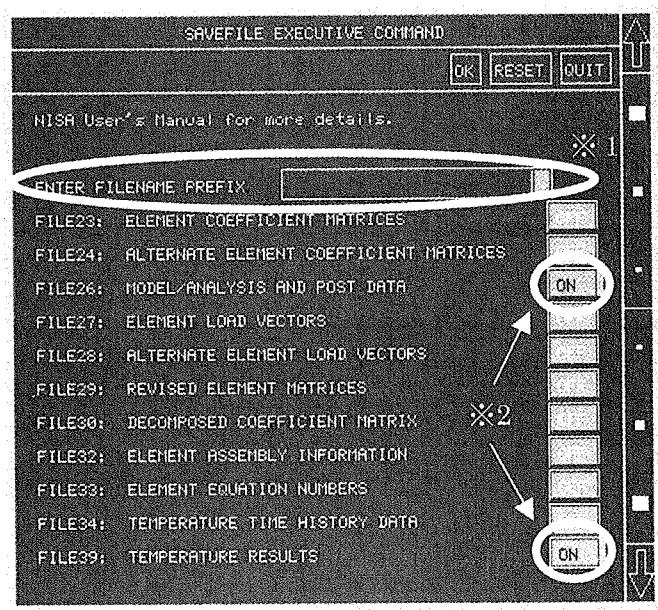
(2) モデル作成ファイルの読み込み

下図を参照にして以下の操作を行ってください



DISPLAY III 起動画面

- ① *TOP MENU*—FILES をクリック
- ② *OPERATIONS MENU*—READ—SESSION FILE を選択
- ③ ファイル選択ウィンドウが表示され、5 項のモデル作成で出力したファイル (xxxx.ses) を選択し **OK** ボタンをクリックします。
- ④ 自動でモデリングを開始します。(モデルによって異なりますが、多少時間がかかります。約 3 分～5 分)
- ⑤ モデリングが作成されたら、*TOP MENU*—NISA をクリック
- ⑥ *OPERATIONS MENU*—NISA DATA GROUP—NISA FORMS を選択すると NISA DATA GROUP のダイアログが表示されます。
- ⑦ ダイアログから **EXECUTIVE COMMANDS** をクリックすると ANALYSIS TYPE のリストが表示されます。
- ⑧ リストの中から **SHEAT** を選択すると STEDY HEAT のダイアログが表示されます。
- ⑨ STEDY HEAT ダイアログの 8 行目  
 BLANK COMMON LIMIT FOR INPUT PHASE **50000** → **500000**  
 上記のように値を 1 行上げて設定してください。
- ⑩ STEDY HEAT ダイアログの 1 行目に  
 SAVE/ACCESS NISA BINARY FILES? **OK**  
 この **OK** ボタンをクリックします。
- ⑪ 下図の SAVEFILE EXECUTIVE COMMAND ダイアログが表示され、



SAVEFILE EXECUTIVE COMMAND ダイアログ

<b>重要</b>	ENTER FILENAME PREFIX <u>xxxx</u>	※ 1
	FILE26 : MODEL/ANALYSIS AND POST DATA <input checked="" type="checkbox"/> ON	※ 2
	FILE39 : TEMPERATURE RESULTS <input checked="" type="checkbox"/> ON	※ 2

操作が完了したら **OK**—**OK**

OK to replace EXECUTIVE data ? (y/n) > **y** と入力

**QUIT**ボタンを押して NISA DATA GROUP のダイアログに戻る。

- ※1 波線の部分に任意のファイル名を入力する。これは、計算結果のファイル名なので、原則として 2.1(3)、2.2(3)項のモデル作成コードで入力したファイル名と同じにする。拡張子は不要。拡張子は自動的に “.dat” 付加される。
- ※2 上記の 2 項目を **ON** にする。これは、計算結果の出力ファイルを指定するため。熱伝導解析では、FILE26・FILE39 を指定する。

- ⑫ NISA DATA GROUP のダイアログから **STEADY HEAT** を選択する。

**STEADY HEAT** のダイアログには下記の項目があります。

- TITLE : 条件等やファイル名等を入力する。[必須ではない]
- MATERIAL : 材料データが表示されるので物性値を確認する。
- HEAT CONTROL : ヒートコントロールの設定

**HEAT CONTROL**—**ADD** をクリック

MAX.NUMBER OF ITERATIONS IN EACH TIME STEP 1→100 **OK**

**QUIT** で戻る

※ 上記以外の項目については、設定は不要。

- ⑬ 解析ファイルに保存

**TOP MENU**—**FILES** をクリック

**OPERATIONS MENU**—**WRITE**—**NISA FILE** を選択

NISA filename > xxxx (.nis の拡張子は自動で付加される)

※ 波線の部分は、任意のファイル名。原則として 2.1(3)、2.2(3)項のモデル作成コードで入力したファイル名と同じにする。拡張子は不要。

### 3.2 伝熱計算【HEAT II】(入力メインメニュー [8])

- ① 热伝導解析を行うファイルを指定する。

Type in NISA input file name : **xxxx.nis**

波線の部分は、3.1⑬で出力したファイル名を入力する。

- ② 热伝導解析結果ファイルを指定する。

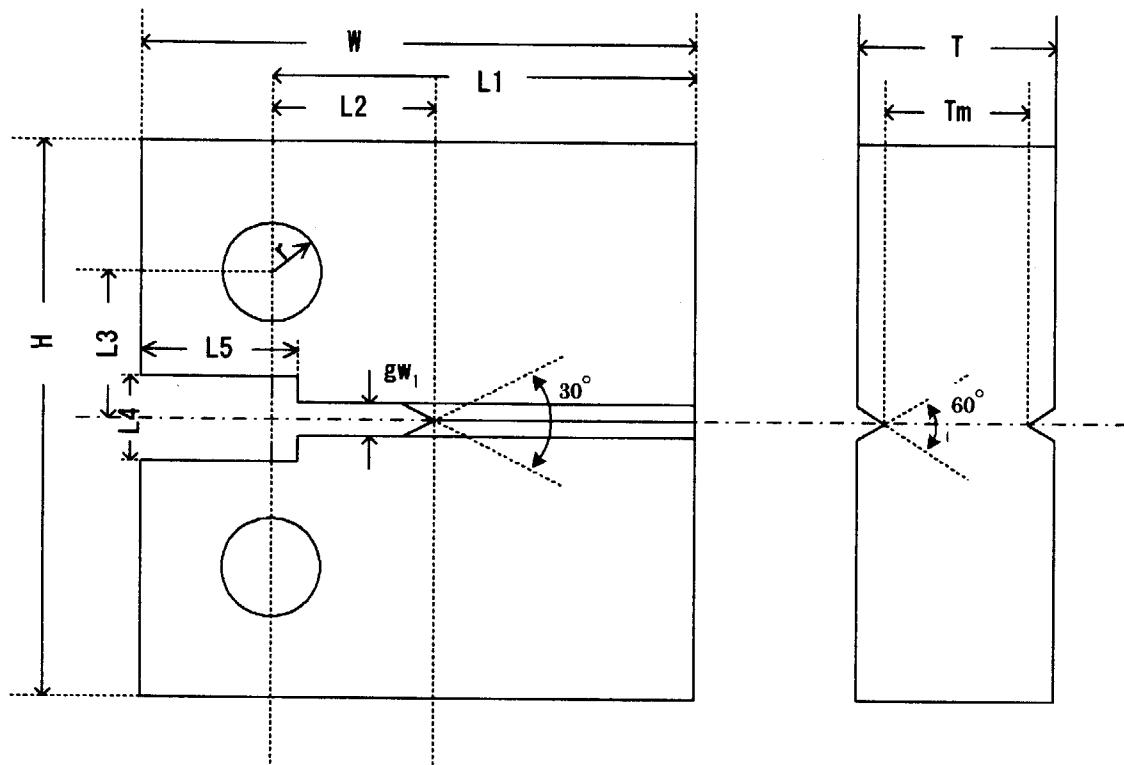
Type in output file name(default = xxxx.out) : **xxxx.out**

波線の部分は上記の①で指定したファイル名に“.out”を付加して入力する。

※入力をしないで、リターンキーを押しても可

#### 4. 練習問題

**<例題>** 以下の形状の試験片を作成します。



入力データは以下のとおりです。

##### 寸法データ (単位 mm)

$$W=31.8 \quad L1=25.4$$

$$H=30.5 \quad L1=9.95$$

$$T=12.7 \quad L1=9.0$$

$$Tm=11.4 \quad L1=6.6$$

$$gw1=1.6 \quad L1=9.1$$

$$r=3.18$$

##### 解析条件

$$\gamma \text{ 発熱率} = 6 \text{ W/g}$$

材 質=SUS316

##### 対流境界条件を選択した場合

$$\text{熱伝達率係数} = 1.5E-03 \text{ W/mm}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{周囲温度} = 158 \text{ }^\circ\text{C}$$

##### 規定温度条件を選択した場合

$$\text{周囲温度} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### 4.1 対話形式によるデータ入力例

##### 【入力時の注意】

- ・入力データは省略できません。
- ・入力データが2つ以上ある場合はデータの間にスペースキーもしくはリターンキーを押して下さい。
- ・リターンキーを押しても次の項目に進まない場合、入力すべきデータが入力されていない可能性があります。前の入力を確認して、入力して下さい。
- ・入力に失敗した場合は、最初から入力をやり直して下さい。

##### 【対話型の入力の流れは以下のように成ります】

```
*****
*          IRRADITION TEST TIPS
*AUTOMATIC HEAT TRANSFER ANALYSIS SYSTEM
*
*      MACRO MENU PROGAM FOR DISPLAYIII of VER.9.0
*
*
*          Rev.1.0 Date:2001/01/24
*          DISPLAYIII:supported by
*          V7.0/8.0/9.0 SESSION FILE
*          programed by zexel intelligence co.
*          support:03-3409-0532 fax:03-3409-0799
*
*****
```

照射試験片解析モデルの自動作成コードを作成します。

開始します。よろしいですか?[y/n]:>"y" (プログラムが開始)。

注意：このプログラムはエラー処理が完全ではありません。

内部構造が外部構造より大きくならないように定義してください。

```
//////////////////////////////  
//          照射試験片メインメニュー 1.0          //  
/////////////////////////////  
□照射試験片モデル定義  
  [ 1]: CT 試験片の指定          [ 2]: 平板型試験片の指定  
  [ 3]: 丸棒試験片の指定          [ 4]: C リング試験片の指定  
  [ 5]: 平板型引張試験片の指定  
□データチェック  
  [ 6]: 材料データベースリスト  
□モデル作成と熱伝導計算  
  [ 7]: モデル自動作成コード実行(DISPLAY)  [ 8]: 伝熱計算  
□<< 終了 >>  
  [ 9]: プログラム終了  
***** 既に入力された項目には"**"が表示されます. *****  
●選択:
```

照射試験片モデル定義から[1]を選択

CT 試験片の全長、全幅、全厚みを入力してください。

[LENGTH WIDE THICKNESS]:**31.8 30.5 12.7**

CT 試験片の切欠部最小厚み、切欠幅を入力してください。

[Tm GW]:**11.4 1.6**

CT 試験片の寸法パラメータ (L1~L5) を入力してください。

[L1 L2 L3 L4 L5]:**25.4 9.95 9.0 6.6 9.1**

CT 試験片のホール半径を入力してください。

[r]:**3.18**

CT 試験片の材料番号、物質依存係数を入力してください。

[matID dpfactor]:**6 1.0**

CT 試験片の要素分割数を入力してください。

[division]:**5**

CT 試験片の $\gamma$ 発熱率を入力してください。

[gamma]:**46.8E-3 (6W/g × 7.8E-03g/mm<sup>3</sup>)**

放熱条件は、1=対流境界条件 2=規定温度条件から選択してください。

[condition-flag]:**1**

CT 試験片の熱伝達率と周囲温度を入力してください。

[conv ambi]:**1.5E-03 158 (1.5E-03W/mm<sup>2</sup> · K 158°C)**

※ 放熱条件で2=規定温度条件を選択した場合は周囲温度のみ入力する。

CT 試験片の全長、全幅、全厚み	…> 31.8 30.5 12.7
CT 試験片の切欠部最小厚み	…> 11.4
CT 試験片の切欠幅	…> 1.6
CT 試験片の寸法パラメータ	…> 25.4 9.95 9.0 6.6 9.1
CT 試験片のホール半径	…> 3.18
CT 試験片の材料	…> SUS316
CT 試験片の物質依存係数	…> 1.0
CT 試験片の要素分割数	…> 5
CT 試験片の $\gamma$ 発熱率	…> 0.0468
CT 試験片の熱伝達率と周囲温度	…> 0.0015 158.0

この値でよろしいですか? [y/n]:**y**

“照射試験片自動作成セッションファイル名を入力してください。”

**CAPSULE DIFINITION FILE NAME = xxxx.ses**

※ 波線の部分に任意のファイル名を入力する。拡張子は “.ses” と付加する。

対話形式によるデータ入力はこれで終了。入力データをセッションファイルに格納したら、3.モデル作成と熱伝導計算の手順に従って、モデルを作成し熱伝導計算を行う。

尚、平板型試験片もパラメータ数が異なるだけで上記の入力方法と同等であるので、対話形式通りに進めてください。

**This is a blank page.**

## 付録D

### $\gamma$ 発熱率減衰補正サブプログラム操作マニュアル

This is a blank page.

## はじめに

$\gamma$  発熱率減衰補正プログラムは、まずキャプセル温度評価サブプログラムで $\gamma$  発熱率減衰前のキャプセルモデルを作成します。そのモデルから炉心方向、 $\gamma$  発熱の減衰率等のデータを入力して、熱伝導解析を行います。

---

### ○プログラム及びファイルの説明

#### プログラムの種類

GRS :  $\gamma$  発熱率減衰補正サブプログラム

DASIPLAYIII : 汎用 NISA コードファミリーのプリプロセッサ

HEATII : 汎用 NISA コードファミリーの熱伝導解析プログラム

#### ファイルの種類

セッションファイル (**xxxx.ses**) :

形状定義ファイル (CAPSULE プログラムを使用して生成する)

NISA ファイル [ $\gamma$  発熱率減衰補正前] (**xxxx.nis**) :

解析用ファイル

NISA ファイル [ $\gamma$  発熱率減衰補正後] (**xxxx\_r.nis**)

解析用ファイル

OUT ファイル (**xxxx.out**) :

解析結果ファイル (解析結果を数値で出力したファイル)

FILE26 (**xxxx26.dat**) :

解析結果ファイル (モデルデータを含んだバイナリーファイル)

This is a blank page.

## 1. $\gamma$ 発熱率減衰補正サブプログラムの起動

$\gamma$  発熱率減衰補正プログラムは、キャプセルを装荷する照射孔位置に対して、炉中からの  $\gamma$  発熱量が減衰するため、円周方向の温度分布が均一ではない。そのため、 $\gamma$  発熱率を考慮した温度分布を求めるためのプログラムです。 $\gamma$  発熱率減衰補正の計算式は以下のとおりです。

$$I = I_0 \cdot A \cdot B \cdot e^{-\rho \mu d}$$

I : 減衰した  $\gamma$  強度 (W/g)

$I_0$  : 減衰前の  $\gamma$  線強度 (W/g)

$\rho$  : 照射材料の密度 (g/mm<sup>3</sup>)

$\mu$  : 質量減衰係数 (mm<sup>2</sup>/g)

d : 吸収体の厚さ(mm)

A : 補正係数

B : ビルドアップ係数 (今回の計算例では無視する)

### 1.1 GRS ( $\gamma$ 発熱率減衰補正サブプログラム) の起動

- ① 端末エミュレータを起動し、コマンドラインから “grs” と入力すると、 $\gamma$  発熱率減衰補正サブプログラムが実行されます。
- ② 減衰前の NISA ファイルを指定する。

**What is the Name of NISA Input File Name:xxxx.nis**

キャプセル温度評価サブプログラムで作成した NISA ファイルを指定します。波線の部分を入力する。ファイル名は任意で指定する。

- ③ 減衰補正した NISA ファイル名を指定する

**What is the Name of NISA Output File Name(default=xxxx.out):xxxx\_r.nis**

減衰補正したファイルの出力を設定します。デフォルトは、②で指定したファイルの拡張子に “.out” として出力します。変更する場合は、波線の部分にファイル名を入力します。

- ④ 距離基準面の入力

Define the plane location in cylindrical coordinate system with two values, r and theta (in degrees). Please note that the plane shoulud be parallel to z axis and r and theta should be defined with respect to global x axis on xy-plane.

Now define radius and theta(in degree) values seperated by space

半径と角度を指定します。

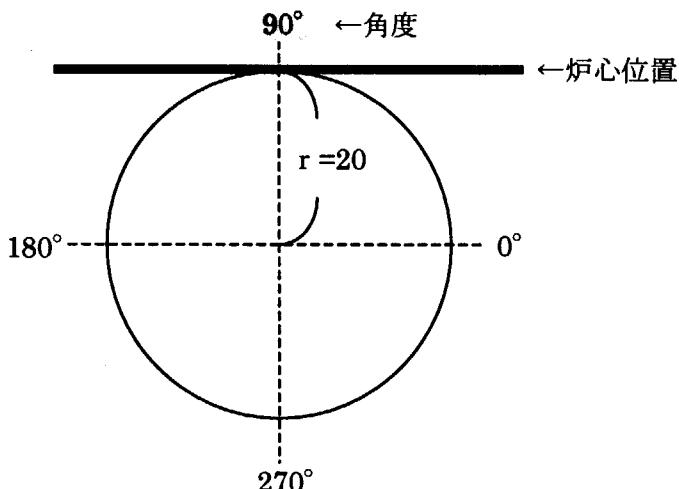
半径は中心から外筒までの距離 (単位 : mm)、角度は X 軸から測定される

反時計回りの角度（単位：度(°)  
入力時半径と角度の間にはスペースが必要です。

&lt;例&gt;

中心からの距離が 20 方向が 90°の場合  
20 90

《参考》



##### ⑤ 質量減衰係数とビルドアップ係数の入力

Please enter meu and B values each seperated by space

質量減衰係数（単位： $\text{mm}^2/\text{g}$ ）とビルドアップ係数を入力します。  
質量減衰係数とビルドアップ係数の間にはスペースが必要です。

※ プログラムでは、ビルドアップ係数となっておりますが、実際にはビル  
ドアップは考慮していないので、この係数は、補正係数として用います。

&lt;例&gt;

4.3 1.76

##### 質量減衰係数

$\gamma$  の質量減衰係数は材質及び  $\gamma$  線エネルギーで異なる。 $\gamma$  発熱に起因する  $\gamma$  線エネルギーを 2MeV と仮定した場合、材質アルミ及び鉄の質量減衰係数（出典：アイソトープ手帳）は、4.316 と 4.25 と大差ないこと（その他についても炭素：4.435、銅：4.188、タンクステン：4.373）から 4.3 を使用する。（単位はすべて  $\text{mm}^2/\text{g}$ ）

##### 補正係数

補正前のトータル発熱量と補正後のトータル発熱量と同じにするために補正係数を求めてプログラムに入力する。

補正係数は、以下の計算式から求めます。

$$A = I_0 \cdot d / \sum (I_0 \cdot \exp^{-\mu d})$$

A : 補正係数

⑥ 処理の実行

\*\*\* End-of-file reached \*\*\*

と表示され、減衰補正したγ発熱率に変更する処理を実行します。

処理が終了すると、NISA ファイルを出力します。

⑦ 補正処理を終えた NISA の編集

ファイルマネージャーから補正した NISA ファイル（③で出力したファイル名）を選択して、ダブルクリックします。以下にファイルの変更箇所を示します。

```
**EXECUTIVE data deck  
ANALYSIS = SHEAT  
BLANK COMMON = 62538  
SOLV = FRON  
FILE = xxxx ←ここのファイル名を③で定義したファイル名に変更  
SAVE = 26  
UFIJ = 0,0,1,1,0
```

この計算ファイルを保存します。

## 1.2 热伝導解析モジュールの起動

① 端末エミュレータを起動して、コマンドラインから “heat2” と入力する。

② 热伝導解析を行うファイルを指定する。

Type in NISA input file name : xxxx.r.nis

波線の部分は、1.1③で指定したファイル名を入力する。

③ 热伝導解析結果ファイルを指定する。

Type in output file name(default = xxxx.out) : xxxx.out

波線の部分は上記の②で指定したファイル名に“.out”を付加して入力する。

※入力をしないで、リターンキーを押しても可

\*\*\*\*\* 热伝導解析開始 \*\*\*\*\*

### 1.3 計算結果の表示方法

#### ① DISPLAYⅢを起動

端末エミュレータを起動して、コマンドラインから “DISPLAYⅢ” と入力。

以下のメッセージが表示されます。

Please choose Graphics or Alphanumeric Terminal :

Graphics (X-window).....1

Alphanumeric terminals...2

Enter the type of device used (1-2) > 1

Choose the window size for graphics

Full screen.....1

75%.....2

50%.....3

90%.....4

Enter screen size (1-4) > 1 (何番でも可)

※太数字の部分を入力します。

#### ② 計算結果ファイルの読み込み

TOP MENU - FILES - READ - POST FILES - “ポストファイル選択” **F**

- **OK** - **OK**

※ ポストファイルの選択は、ファイルのダイアログが表示され、1.1②で指定したファイルの計算結果 (xxxx26.dat) を選択する。

#### ③ ポストファイルの表示

TOP MENU - POST - CONTOURS - PICK RESULTS - HOT MENU **RGN**

## 付録E

### 熱膨張計算サブプログラム操作マニュアル

This is a blank page.

## はじめに

熱膨張計算サブプログラムは、熱負荷による熱応力解析の変位結果を熱伝導解析のギャップ間隔の変化に反映させ、熱伝導計算と熱膨張計算を繰り返し行い、一定値に収束させるものである。熱伝導計算による温度分布を静解析の入力データとし、熱膨張（変位）を求める。この変位を使ってギャップ部の熱伝達係数を再評価し、改めて熱伝導計算を行う。これを繰り返すことによって、ある平衡状態に収束する。それを熱膨張を考慮した温度分布の最終結果とする。

---

### ○プログラム及びファイルの説明

#### プログラムの種類

GAPCON : 热膨張計算サブプログラム

GENST : 热応力計算用の条件等を自動で設定するサブプログラム

DASIPLAYIII : 汎用 NISA コードファミリーのプリプロセッサ

HEATII : 汎用 NISA コードファミリーの熱伝導解析プログラム

NISAII : 汎用 NISA コードファミリーの静解析プログラム

#### ファイルの種類

セッションファイル (xxxx.ses) :

形状定義ファイル (CAPSULE プログラムを使用して生成する)

NISA ファイル (xxxx.nis) :

解析用計算ファイル

OUT ファイル (xxxx.out) :

解析結果ファイル (解析結果を数値で出力したファイル)

FILE26 (xxxx26.dat) :

解析結果ファイル (モデルデータを含んだバイナリーファイル)

FILE39 (xxxx39.dat) :

熱伝導解析温度結果ファイル (静解析の温度データとして使用)

This is a blank page.

## 1. 热膨張計算サブプログラムの起動

热膨張計算サブプログラム (GAPCON) は、热伝導解析と热応力解析（静解析）を繰り返し計算します。あらかじめキャプセル温度評価プログラムを用いて、設計寸法 (cold gap) を入力して、热伝導解析用ファイル (NISA ファイル) を出力します。この NISA ファイルから GENST サブプログラムを使って、热応力用解析ファイルに変換します。热伝導解析用ファイルと热応力解析用ファイルを GAPCON にかけて繰り返し計算をします。

### 1.1 GAPCON (热膨張計算サブプログラム) の起動前準備

#### ① 使用ファイルとファイル名規則

gapcon サブプログラムでは、それ自身の制御のために入力ファイルを持たない。基本概念として「プロジェクト名」を導入する。原則としてすべてのファイルはこのプロジェクト名で管理される。プロジェクト名を xxxx とすると、gapcon が使用するファイルは以下の通りである。

ファイルの種類	ファイル名	備 考
热伝導解析ファイル	xxxx_heat.nis	ユーザが準備
热応力解析ファイル	xxxx_stat.nis	同上
热伝導出力ファイル	xxxx_heat.out	热伝導解析の出力 (最終結果のみ)
热応力出力ファイル	xxxx_stat.out	热応力解析の出力 (最終結果のみ)
热伝導ポストファイル	xxxx_heat26.dat	この名前になるように DISPLAY IIIで設定する
热伝導結果ファイル	xxxx_heat39.dat	同上
热応力ポストファイル	xxxx_heat26/27.dat	この名前になるように DISPLAY IIIで設定する
热伝導一時入力ファイル	xxxx_heat_temp.nis	gapcon が自動生成
ログファイル	xxxx_log	gapcon の処理を記録する ファイル
热伝導ログファイル	heat2.log	heat2 の画面出力のバック アップ
热応力ログファイル	nisa2.log	nisa2 の画面出力のバック アップ

② 热伝導解析用ファイルの準備

キャプセル温度評価サブプログラムを使って、設計寸法 (cold gap) の热伝導解析用ファイルを出力する。(操作は、キャプセル温度評価サブプログラムを参照)

**必須** : ファイル名は、プロジェクト名の後に “\_heat” を付加する。

例) xxxx\_heat.nis (\_heat=热伝導解析用ファイル)

③ 热応力解析用ファイルの準備

上の①で出力したファイルを “genst” (热応力解析用変換サブプログラム) を使って热応力解析用ファイルを生成する。

端末エミュレータから、

**genst xxxx\_heat.nis**

と実行すると、xxxx\_stat.nis (热応力解析用ファイルという意味で\_stat は、自動的に付加される) というファイルを生成する。

④ 解析用ファイルの確認

xxxx\_heat.nis (热伝導解析用ファイル)

xxxx\_stat.nis (热応力解析用ファイル)

この 2 つの解析ファイルを繰り返し計算させる。

## 1.2 GAPCON (热膨張計算サブプログラム) の起動とオプションパラメータ

① オプションパラメータ

パラメータ	意味	デフォルト値
-v	gapcon のバージョン出力	
-l	热伝達リンク方式使用 (デフォルト)	
-u	座標更新方式を使用	
-i maxiter	最大反復回数	20
-t tol_temp	温度の許容誤差	2.0
-d tol_disp	変位の許容誤差	0.05
-f factor	収束緩和係数	0.5

② 端末エミュレータを起動し、コマンドラインから “gapcon” と入力し、その後に、プロジェクト名を入力する。(1.1 の①・②で生成したファイル名から “\_heat,\_stat” を除いて指定する)

**gapcon [オプション] プロジェクト名**

例) **gapcon xxxx** (オプションを設定しない場合は省略する)

↑プロジェクト名

※ 通常はオプションは、デフォルト値を使用して問題ない。

\*\*\*\*\* 热膨胀計算開始 \*\*\*\*\*

gapcon を実行すると、下記のように計算中の出力内容が表示される。

[計算中の出力内容]

```
*****
*      Thermal Expansion of Capsule
*      Version 0.3
*      MicroCosmos Corp.
*****
Heat2 Input file:      xxxx_heat.nis
Heat2 Output file:     xxxx_heat.out
Nisa2 Input file:      xxxx_stat.nis
Nisa2 Output file:    xxxx_stat.out
Maximum Iterations:   20
Temperature Tolerance: 2.000000
Displacement Tolerance: 0.050000
Update coordinates:   No
Use convention links: Yes
Relaxation Factor:    0.500000

++++ max node no. = 82  no. of nodes = 80  no. of gaps  = 6
/// heat2 iteration 1 ///
+++ min/max temp =    73.82      553.34
++++ convergence norm = 5.5334E+02
/// nisa2 iteration 1 ///
/// heat2 iteration 2 ///
+++ min/max temp =    73.82      376.52
++++ convergence norm = 1.7682E+02  1.3950E-01
/// nisa2 iteration 2 ///
/// heat2 iteration 3 ///
+++ min/max temp =    73.82      318.14
++++ convergence norm = 5.8380E+01  5.6419E-02
/// nisa2 iteration 3 ///
/// heat2 iteration 4 ///
+++ min/max temp =    73.82      330.56
++++ convergence norm = 1.2420E+01  1.7130E-02
/// nisa2 iteration 4 ///
/// heat2 iteration 5 ///
+++ min/max temp =    73.82      328.08
++++ convergence norm = 2.4900E+00  3.5817E-03
/// nisa2 iteration 5 ///
*****
*      Successfully Converged.
*****
```

この表示が出れば、計算が収束したことになります。

### 1.3 解析結果表示

#### 1.3.1 热伝導解析結果表示

キャプセル温度評価サブプログラム操作マニュアル 6.3 項の計算結果の表示方法と操作は、同じです。

#### 1.3.2 热応力解析結果表示

##### ① DISPLAYⅢを起動

キャプセル温度評価サブプログラム操作マニュアル 6.1(1)と同操作を行い、DISPLAYⅢを起動する

##### ② 計算結果ファイルの読み込み

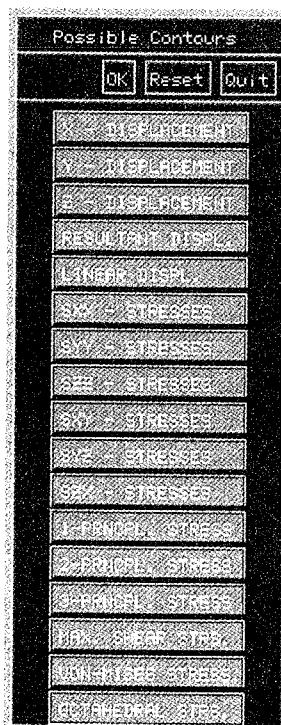
*TOP MENU - FILES - READ - POST FILES - “ポストファイル選択” F  
-OK-OK*

※ ポストファイルの選択は、ファイルのダイアログが表示され、上記で指定したファイルの計算結果 (xxxx\_stat26.dat) を選択する。

##### ③ ポストファイルの表示

*TOP MENU - POST - CONTOURS - PICK RESULTS*

と選択すると、下記の応力選択画面が表示される。



この中から表示したい応力分布を選択して、OKボタンをクリックし、HOTMENU の RGN をクリックすると表示される。

## 国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	m·kg/s <sup>2</sup>
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV=1.60218×10<sup>-19</sup> J

1 u=1.66054×10<sup>-27</sup> kg

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ	E
10 <sup>15</sup>	ペタ	P
10 <sup>12</sup>	テラ	T
10 <sup>9</sup>	ギガ	G
10 <sup>6</sup>	メガ	M
10 <sup>3</sup>	キロ	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h
10 <sup>1</sup>	デカ	da
10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>-18</sup>	アト	a

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å=0.1 nm=10<sup>-10</sup> m

1 b=100 fm<sup>2</sup>=10<sup>-28</sup> m<sup>2</sup>

1 bar=0.1 MPa=10<sup>5</sup> Pa

1 Gal=1 cm/s<sup>2</sup>=10<sup>-2</sup> m/s<sup>2</sup>

1 Ci=3.7×10<sup>10</sup> Bq

1 R=2.58×10<sup>-4</sup> C/kg

1 rad=1 cGy=10<sup>-2</sup> Gy

1 rem=1 cSv=10<sup>-2</sup> Sv

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局 1985年刊行による。ただし、1 eV および 1 u の値は CODATA の 1986 年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令では bar、barn および「血圧の単位」mmHg を表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N(=10 <sup>5</sup> dyn)	kgf	lbf
1	0.101972	0.224809	
9.80665	1	2.20462	
4.44822	0.453592	1	

粘度 1 Pa·s(N·s/m<sup>2</sup>)=10 P(ポアズ)(g/(cm·s))

動粘度 1 m<sup>2</sup>/s=10<sup>4</sup> St(ストークス)(cm<sup>2</sup>/s)

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

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV
1	0.101972	2.77778×10 <sup>-7</sup>	0.238889	9.47813×10 <sup>-4</sup>	0.737562	6.24150×10 <sup>18</sup>	1 cal=4.18605 J(計量法)
9.80665	1	2.72407×10 <sup>-6</sup>	2.34270	9.29487×10 <sup>-3</sup>	7.23301	6.12082×10 <sup>19</sup>	=4.184 J(熱化学)
3.6×10 <sup>6</sup>	3.67098×10 <sup>5</sup>	1	8.59999×10 <sup>5</sup>	3412.13	2.65522×10 <sup>6</sup>	2.24694×10 <sup>25</sup>	=4.1855 J(15 °C)
4.18605	0.426858	1.16279×10 <sup>-6</sup>	1	3.96759×10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272×10 <sup>19</sup>	=4.1868 J(国際蒸気表)
1055.06	107.586	2.93072×10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515×10 <sup>21</sup>	仕事率 1 PS(仏馬力)
1.35582	0.138255	3.76616×10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506×10 <sup>-3</sup>	1	8.46233×10 <sup>18</sup>	=75 kgf·m/s
1.60218×10 <sup>-19</sup>	1.63377×10 <sup>-20</sup>	4.45050×10 <sup>-26</sup>	3.82743×10 <sup>-20</sup>	1.51857×10 <sup>-22</sup>	1.18171×10 <sup>-19</sup>	1	=735.499 W

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad	照射線量	C/kg	R
1	2.70270×10 <sup>-11</sup>	1	1	100	1	1	3876	
3.7×10 <sup>10</sup>	1		0.01	1		2.58×10 <sup>-4</sup>	1	

線量当量	Sv	rem
1	100	
0.01	1	

照射キャプセル設計支援のための3次元温度計算用サブプログラムの開発

R100

古紙配合率100%  
白色度70%再生紙を使用しています。