

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-323467

(P2003-323467A)

(43) 公開日 平成15年11月14日 (2003. 11. 14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターム* (参考)
G 0 6 F 17/50	6 8 0	G 0 6 F 17/50	6 8 0 C 4 F 2 0 6
	6 1 2		6 1 2 J 5 B 0 4 6
B 2 9 C 45/78		B 2 9 C 45/78	5 B 0 5 6
G 0 6 F 17/13		G 0 6 F 17/13	

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2002-131270 (P2002-131270)

(22) 出願日 平成14年5月7日 (2002. 5. 7)

(71) 出願人 000003159

東レ株式会社

東京都中央区日本橋室町2丁目2番1号

(72) 発明者 大井 秀人

滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社滋賀事業場内

(72) 発明者 坂場 克哉

滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社滋賀事業場内

Fターム (参考) 4F206 AM23 JA07 JL09 JP30 JQ81

5B046 AA05 CA04 JA08 JA09

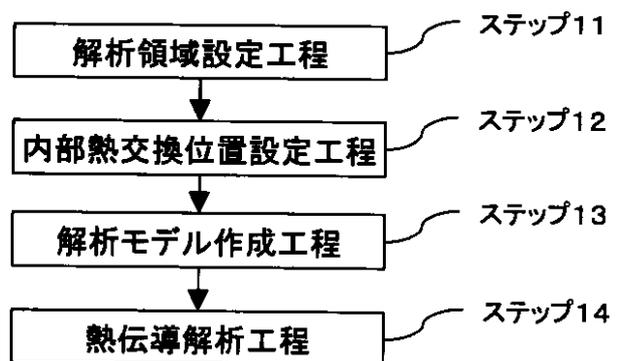
5B056 BB03 BB36 BB42 HH07

(54) 【発明の名称】 解析モデルの作成方法、熱伝導解析方法および装置

(57) 【要約】

【課題】 内部に冷却管やヒータなどの熱交換装置や溶融樹脂などの発熱体が存在するような領域の熱伝導解析において、モデル作成に多大な労力を必要とせず、かつ、高速計算が可能な解析モデル作成方法、熱伝導解析方法、熱伝導解析装置、およびソフトウェアを提供すること。

【解決手段】 解析モデルを構成する微小な多面体あるいは微小な多面体を構成する節点の一部を、内部熱交換位置設定工程で設定された位置に配置し、内部熱交換位置と内部熱交換位置の近傍との熱移動を、内部熱交換位置に配置された節点の熱流束、温度、あるいは熱伝達として定義することにより熱伝導解析を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項1】内部に熱交換部分を持つ領域の熱伝導解析を行なうに際して、解析の対象となる解析領域として複数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを作成する方法であって、少なくとも、(1)解析領域を設定する解析領域設定工程と、(2)解析領域内部において熱交換部分の位置を設定する内部熱交換位置設定工程と

(3)設定された解析領域について微小な多面体からなる解析モデルを作成する解析モデル作成工程と、を含み、前記微小な多面体を構成する節点の一部を、内部熱交換位置設定工程で設定された位置に配置することを特徴とする解析モデルの作成方法。

【請求項2】内部に熱交換部分を持つ領域の熱伝導解析を行なう方法であって、少なくとも、(1)解析領域を設定する解析領域設定工程と、(2)解析領域内部の熱交換部分の位置を設定する内部熱交換位置設定工程と、(3)設定された解析領域について微小な多面体からなる解析モデルを作成する解析モデル作成工程と、(4)熱伝導解析を行なう熱伝導解析工程、を含み、かつ、解析モデル作成工程において、前記微小な多面体を構成する節点の一部を、内部熱交換位置設定工程で設定された内部熱交換部分の位置に配置し、前記熱伝導解析工程において、内部熱交換部分と内部熱交換部分の近傍との間の熱移動を、内部熱交換部分の位置に配置された節点における熱移動として計算することを特徴とする、熱伝導解析方法。

【請求項3】熱伝導解析工程において、内部熱交換部分と内部熱交換部分の近傍との熱移動を、内部熱交換部分の位置に配置された節点における熱流束、温度、熱伝達あるいは熱輻射として計算する請求項2に記載の熱伝導解析方法。

【請求項4】前記内部熱交換位置設定工程で設定された内部熱交換部分の少なくとも一部の領域について微小な多面体からなる解析モデルを作成して別途熱伝導解析を行い、該解析結果に基づいて内部熱交換部分と内部熱交換部分の近傍との熱移動に関する境界条件を設定し、前記熱伝導解析工程を実行する請求項2または3に記載の熱伝導解析方法。

【請求項5】前記解析領域は射出成形金型である請求項2～4のいずれかに記載の熱伝導解析方法。

【請求項6】前記内部熱交換部分は射出成形金型における冷却管である請求項5に記載の熱伝導解析方法。

【請求項7】前記内部熱交換部分は射出成形金型におけるランナーである請求項5に記載の熱伝導解析方法。

【請求項8】前記熱伝導解析工程に有限要素法、有限体積法および差分法から選ばれた方法を用いる請求項2～7のいずれかに記載の熱伝導解析方法。

【請求項9】内部に熱交換部分を持つ領域の熱伝導解析を行なうに際して、解析の対象となる解析領域として複数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを作成する

装置であって、少なくとも、(1)解析領域を設定する解析領域設定手段と、(2)解析領域内部において熱交換部分の位置を設定する内部熱交換位置設定手段と、

(3)設定された解析領域について微小な多面体からなる解析モデルを作成する解析モデル作成手段と、を含み、前記微小な多面体を構成する節点の一部を、内部熱交換位置設定手段で設定された位置に配置するように構成されたことを特徴とする解析モデルの作成装置。

【請求項10】内部に熱交換部分を持つ領域の熱伝導解析を行なう装置であって、少なくとも、(1)解析領域を設定する解析領域設定手段と、(2)解析領域内部の熱交換部分の位置を設定する内部熱交換位置設定手段と、(3)設定された解析領域について微小な多面体からなる解析モデルを作成する解析モデル作成手段と、

(4)熱伝導解析を行なう熱伝導解析手段と、を含み、前記解析モデル作成手段は、前記微小な多面体を構成する節点の一部を、内部熱交換位置設定手段で設定された内部熱交換部分の位置に配置するように構成され、前記熱伝導解析手段は、内部熱交換部分と内部熱交換部分の近傍との間の熱移動を、内部熱交換部分の位置に配置された節点における熱移動として計算するように構成されたことを特徴とする熱伝導解析装置。

【請求項11】熱伝導解析手段は、内部熱交換部分と内部熱交換部分の近傍との熱移動を、内部熱交換部分の位置に配置された節点における熱流束、温度、熱伝達あるいは熱輻射として計算するように構成された請求項10に記載の熱伝導解析装置。

【請求項12】前記内部熱交換位置設定手段により設定された内部熱交換部分の少なくとも一部の領域について微小な多面体からなる解析モデルを作成して別途熱伝導解析を行う手段と、該解析結果に基づいて内部熱交換部分と内部熱交換部分の近傍との熱移動に関する境界条件を設定する手段をさらに有する請求項10または11に記載の熱伝導解析装置。

【請求項13】前記解析領域は射出成形金型である請求項10～12のいずれかに記載の熱伝導解析装置

【請求項14】前記内部熱交換部分は射出成形金型における冷却管である請求項13に記載の熱伝導解析装置。

【請求項15】前記内部熱交換部分は射出成形金型におけるランナーである請求項13に記載の熱伝導解析装置。

【請求項16】前記熱伝導解析手段は、有限要素法、有限体積法および差分法から選ばれた方法を用いて計算するものである請求項10～15のいずれかに記載の熱伝導解析装置。

【請求項17】請求項2～8のいずれかに記載の方法によって解析された結果を使って製造された金型。

【請求項18】請求項17に記載の金型を使って成形品を製造する成形品の製造方法。

【請求項19】請求項1に記載の解析モデルの作成方法

をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項20】請求項2～8のいずれかに記載の熱伝導解析方法をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項21】請求項19あるいは20記載のプログラムを記録したコンピュータ読みとり可能な記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は内部に熱交換部分を持つ領域の解析モデル作成方法および熱伝導解析方法に関する。さらに詳しくは、例えば金型のように内部に冷却管やヒータなどの熱交換装置や熔融樹脂などの発熱体が存在するような装置の解析モデル作成方法や熱伝導解析方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来から内部に熱交換部分を持つ領域を数値的に熱伝導解析する手法としては有限要素法、有限体積法、差分法や境界要素法といった方法がある。

【0003】このうち、有限要素法、有限体積法、差分法を用いて熱伝導解析する場合、まず解析領域を複数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを作成する。このとき、内部の熱交換部分においても、その形状にしたがった微小な多面体（以下、微小要素とも呼ぶ）の集合を作成する。そして、領域の外部や内部の熱交換部分に対して適切な境界条件、例えば温度、熱流束、熱伝達、熱輻射などを定義して熱伝導解析を行う。

【0004】ここで内部熱交換部分とは、解析領域の内部に存在し、解析領域と熱の交換を行なう部分である。例えば、射出成形金型などの装置の場合、内部の熱交換部分としては樹脂成形品のキャビティ部、樹脂を注入するランナー、温調機器として冷却管、ヒータなどが配置されている。熱伝導解析を行う場合、金型の形状に対して解析モデルを作成するが、ランナーや冷却管などについてもその形状にしたがった微小要素を作成することが必要である。そして、冷却管やランナー、キャビティの部分に対して適切な境界条件を与えて熱伝導解析を行う。例えば、冷却管の場合なら冷媒の温度を定義したり、冷媒温度を雰囲気温度にした熱伝達境界を与える。また、ランナーやキャビティの場合なら、樹脂の温度や樹脂から発生する熱流束境界を与える。

【0005】有限要素法や有限体積法、差分法による熱伝導解析計算では、高速な求解方法が知られているため、熱伝導解析工程には解析時間がかからない。しかしながら、その前の解析モデル作成工程で、解析領域の内部に対して複数の微小要素からなる解析モデルを作成しなければならない。一般に解析領域が複雑形状の場合には、内部に分割線あるいは分割面を定義するなどして複数の部分領域に分ける必要がある。この作業は人手により対話的に行う必要があり、多大な時間と労力を要する。特に内部に熱交換位置を持つ解析領域で、熱交換部

分の形状が複雑な場合、この作業の工数は大きくなる。例えば、射出成形金型などの装置の場合、温調機器として冷却管が配置されている場合が多いが、図1に示されるように、配管は複数ある上に形状が曲がっている部分が多く非常に複雑である。これらパイプ部分の表面を設定し、さらにパイプの配置を考慮しつつ解析領域内部に分割線や分割面を人手で設定することは困難きわまりない。

【0006】複雑な形状の領域に対して解析モデルを作成する場合、解析に影響の少ない部分に関しては形状を省略または簡略化することが多い。しかしながら熱交換部分については、熱伝導解析計算の結果に重要な影響を与える部分であり、この部分のモデル化を省略または簡略化することは困難である。

【0007】一方、境界要素法を用いて熱伝導解析する場合、境界面のみ微小要素を作成すればよい。この境界面の微小要素のことを境界要素法では境界要素と呼ぶ。例えば、射出成形金型の場合、金型の外壁、冷却管、キャビティ、ランナーの形状を定義する。これらの部分がそのまま熱伝導解析の境界部分になるため、解析モデルとして金型外壁、冷却管、キャビティ、ランナーの微小要素のみを準備すればよい。そして、これら境界要素に対して、前記の境界条件を与え熱伝導解析の計算を実行する。このため、前記の有限要素法などの場合のように解析対象となる領域全体に複数の微小要素を作成する必要はなく、解析モデル作成は簡便となる。そのため、特に金型の熱伝導解析では市販のCAEソフトウェアを中心に境界要素法による解析手法が採用されており、このような技術の例としては例えば文献「射出成形の金型冷却解析（合成樹脂第37巻第6号、1991年発行）」に記載の技術が挙げられる。

【0008】境界要素法による熱伝導計算では、前記のとおり解析モデル作成の段階で、領域内部に微小要素を作成しなくてもよいという利点があるが、高速な求解方法が知られていないため、高速な計算ができない。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上記問題点を鑑み、本発明の目的は、内部に熱交換部分を持つ領域の熱伝導解析において、モデル作成に多大な労力を必要とせず、かつ、高速計算が可能な解析モデルの作成方法、熱伝導解析方法、熱伝導解析装置およびソフトウェアを提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、内部に熱交換部分を持つ領域の熱伝導解析を行なうに際して、解析の対象となる解析領域として複数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを作成する方法であって、少なくとも、（1）解析領域を設定する解析領域設定工程と、（2）解析領域内部において熱交換部分の位置を設定する内部熱交換位置設定工程と（3）設定された解析領域

について微小な多面体からなる解析モデルを作成する解析モデル作成工程と、を含み、前記微小な多面体を構成する節点の一部を、内部熱交換位置設定工程で設定された位置に配置することを特徴とする解析モデルの作成方法である。

【0011】また、本発明は、内部に熱交換部分を持つ領域の熱伝導解析を行なう方法であって、少なくとも、(1)解析領域を設定する解析領域設定工程と、(2)解析領域内部の熱交換部分の位置を設定する内部熱交換位置設定工程と、(3)設定された解析領域について微小な多面体からなる解析モデルを作成する解析モデル作成工程と、(4)熱伝導解析を行なう熱伝導解析工程、を含み、かつ、解析モデル作成工程において、前記微小な多面体を構成する節点の一部を、内部熱交換位置設定工程で設定された内部熱交換部分の位置に配置し、前記熱伝導解析工程において、内部熱交換部分と内部熱交換部分の近傍との間の熱移動を、内部熱交換部分の位置に配置された節点における熱移動として計算することを特徴とする、熱伝導解析方法である。

【0012】また、本発明は、内部に熱交換部分を持つ領域の熱伝導解析を行なうに際して、解析の対象となる解析領域として複数の微小な多面体の要素からなる解析モデルを作成する装置であって、少なくとも、(1)解析領域を設定する解析領域設定手段と、(2)解析領域内部において熱交換部分の位置を設定する内部熱交換位置設定手段と、(3)設定された解析領域について微小な多面体からなる解析モデルを作成する解析モデル作成手段と、を含み、前記微小な多面体を構成する節点の一部を、内部熱交換位置設定手段で設定された位置に配置するように構成されたことを特徴とする解析モデルの作成装置である。

【0013】また、本発明は、内部に熱交換部分を持つ領域の熱伝導解析を行なう装置であって、少なくとも、(1)解析領域を設定する解析領域設定手段と、(2)解析領域内部の熱交換部分の位置を設定する内部熱交換位置設定手段と、(3)設定された解析領域について微小な多面体からなる解析モデルを作成する解析モデル作成手段と、(4)熱伝導解析を行なう熱伝導解析手段と、を含み、前記解析モデル作成手段は、前記微小な多面体を構成する節点の一部を、内部熱交換位置設定手段で設定された内部熱交換部分の位置に配置するように構成され、前記熱伝導解析手段は、内部熱交換部分と内部熱交換部分の近傍との間の熱移動を、内部熱交換部分の位置に配置された節点における熱移動として計算するように構成されたことを特徴とする熱伝導解析装置である。

【0014】また、本発明は、上記の解析モデルの作成方法をコンピュータに実行させるためのプログラム、上記の熱伝導解析方法をコンピュータに実行させるためのプログラムおよびそれらのプログラムを記録したコンピ

ュータ読みとり可能な記憶媒体を含む。

【0015】また、本発明は、上記の方法によって解析された結果を使って製造された金型および該金型を使って成形された成形品の製造方法を含む。

【0016】

【発明の実施の形態】本発明者の好適な実施の形態を添付図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下に述べる実施の形態は、本発明の好適な実施の形態であるから技術的に好ましい種々の限定が付されているが、本発明の範囲は、以下の説明において特に本発明を限定する旨の記載がない限り、これらの形態に限られるものではない。

【0017】図2は本実施形態の各手順の例を示したフローチャートである。まず、ステップ11で解析領域を設定する。解析領域とは、例えば射出成形金型の場合、金型全体の外形形状から冷却管やランナー、成形品、ピンなどの部品などの部分をくり抜いた形状になる。

【0018】この解析領域の設定の方法としては、解析領域の境界を定義しさらに各境界に対して解析領域が境界の内側か外側かのいずれかの向きになるかを示すベクトル定義する方法や、解析領域を複数の図形のブーリアン演算の集合として表現する方法などがある。

【0019】例えば、前者の方法であれば、3次元CADデータの表面データを抽出する方法があり、この方法は、"I-DEAS"(SDRC社製)、“CATIA”(Dassault社製)、“Unigraphics”(UGS社製)といった多くのCADソフトウェアに搭載されている既存の機能を用いることができる。また、2次元の図面より人手による対話的な作業により解析領域を設定する方法もある。この対話的な作業には、汎用の計算用モデル作成ソフト(例えば、MSC社の"PATRAN")を用いることができる。また、解析領域が3次元である場合、2次元のシェル要素を利用して、解析領域の境界を設定しても構わない。図3に四角形の解析領域Dを境界A1~A4とベクトルV1~V4で定義した例を示す。

【0020】また、後者の方法であれば、3次元CADデータのソリッドモデルを抽出する方法があり、この方法も、“I-DEAS”(SDRC社製)、“CATIA”(Dassault社製)、“Unigraphics”(UGS社製)といった多くのCADソフトウェアに搭載されている既存の機能を用いることができる。また、2次元の図面より人手による対話的な作業により解析領域を設定する方法もある。この対話的な作業には、汎用の計算用モデル作成ソフト(例えば、MSC社の"PATRAN")を用いることができる。このような複数の図形の集合として表現した例を図4に示す。この例では+を和集合を表す演算子、-を差集合を表す演算子とした場合、解析領域Dを $D = (S1 + S2) - E1 - E3$ のように表現している。

【0021】ステップ12では、内部熱交換位置を設定する。ここで内部熱交換位置とは、解析領域の内部で熱量の授受が行われる熱交換部分の位置のことを示す。例えば、ヒータや冷却管といった温調用の熱交換装置や、モーターやエンジン、半導体のような発熱を伴う構造体、金型内の溶融材料のような大きな熱量を持った物質などが挙げられる。内部熱交換位置の設定は実際の形状を再現するように設定することが望ましいが、簡略化のために、図4の四角形S3や図6のようにパイプ状の形状のような細長い部品の場合は、図5や図7のように直線や曲線などを利用して1次元的に設定したのでも構わないし、図8のような半導体などの薄い板状の形状であれば、図9のように4角形などの多角形や曲面などを利用して2次元的に設定したのでも構わない。

【0022】ステップ13で、解析モデルを作成する。解析モデル作成工程では、ステップ11で設定された解析領域に対して、微小要素からなる解析モデルを作成する。この工程の詳しい処理内容は後で詳しく説明する。

【0023】ステップ14で、熱伝導解析をする。熱伝導解析では有限要素法、有限体積法および差分法から選ばれた方法を利用して行うことが好ましい。この工程の処理は公知の手法や熱伝導解析システムを利用してよい。例えば、有限要素法の場合の処理については文献「流れと熱伝導の有限要素法入門(1983年、培風館)」に記載の手法を用いればよいし、市販の例えば"ABAQUS"(HKS社製)、"NASTRAN"(MSC社製)、"MSC-MARC"(MSC社製)により実現されているものを利用してよい。この工程の詳しい処理内容も後で詳しく説明する。

【0024】本発明の特徴は、解析モデル作成ステップ13において、前記微小な多面体を構成する節点の一部を、内部熱交換位置設定ステップ12で設定された内部熱交換部分の位置に配置し、熱伝導解析ステップ14において、内部熱交換部分と内部熱交換部分の近傍との間の熱移動を、内部熱交換部分の位置に配置された節点における熱移動として計算することにある。なお、節点における熱移動は、節点における熱流束、温度、あるいは熱伝達として計算することが好ましい。これにより、有限要素法、有限体積法および差分法から選ばれた方法で高速計算が可能な解析モデルを、比較的簡便に作成し、計算することができる。

【0025】ここでステップ13において、前記微小な多面体あるいは前記微小な多面体を構成する節点の一部を、前記内部熱交換位置設定工程で設定された位置に配置する方法について、さらに詳しく説明する。なお、ここでは解析モデル作成方法として2次元のデローニー分割法を採用した場合について説明するが、本発明の方法は解析モデル作成のアルゴリズムによらないものであり、例えば、アドバンスングフロント法やボクセル分割法などの別の方法を採用しても構わない。

【0026】デローニー分割法を使用した場合のステップ13の解析モデル作成工程のアルゴリズムを図10に示す。

【0027】まずステップ21の節点発生工程で、解析領域を含む凸領域(全体領域と呼ぶ)を定義して、この全体領域に対して節点を作成する。図11に図4の解析領域に対して全体領域を設定して、節点を作成した例を示す。

【0028】ステップ22の内部熱交換位置節点発生工程では、図12や図13に示すようにステップ12の内部熱交換位置設定工程で設定された位置に対して節点を作成する。図12は図5のようにパイプ状の形状の内部熱交換位置を1次元的に設定したときの節点作成の例である。また、図4は図11の解析領域に対して、内部熱交換位置S3に節点を作成した例である。この節点は、ステップ12で設定された位置に対して厳密に一致している必要はなく、あらかじめ定められた閾値以内の近傍であってもかまわない。

【0029】また、この工程は入力された内部熱交換位置の上にランダムに自動的に配置されてもかまわないし、作業者が会話的に入力して設定してもかまわない。また、ステップ21と22はどちらを先に処理しても構わないし、同時並行的に処理してもかまわない。

【0030】次にステップ23の全体要素作成工程では、領域全体を囲む要素を作成する。

【0031】ステップ24の節点選択工程では、ステップ21で作成した節点群のうち任意の1節点を選択する。

【0032】ステップ25の要素選択工程では、全ての要素の中で、要素の外接円の中にステップ24で選択した節点を含むものを選択する。

【0033】ステップ26要素生成工程では、ステップ25で選択された要素をまとめて1つの多角形にし、この多角形をステップ24で選択された節点を中心に、複数の三角形要素に分割する。

【0034】ステップ27で全ての節点についてステップ24から26の作業が終了したか判断する。終了していればステップ28へすすみ、そうでなければステップ24に戻り、ステップ24から26の作業を繰り返す。

【0035】ステップ28の不要要素削除工程で解析領域に含まれていない要素を削除する。

【0036】これら一連の作業により図14に示すように内部熱交換位置に節点がある解析モデルが作成される。図14では内部熱交換位置と微小要素となる多角形の辺が一致しているが、ステップ14で熱伝導解析をする場合、節点に対して境界条件を与える場合などは、図15に示すように内部熱交換位置と節点が一致しているだけでもかまわない。

【0037】ここでは2次元のデローニー分割の例を示したが、3次元の場合は、多角形を多面体、3角形を4

面体、外接円を外接球に置き換えればよいし、デローニー分割法を例に示したが、アドバンシングフロント法やボクセル分割法などの別の解析モデル作成手法においても、節点作成アルゴリズムに前記の考え方を取り入れて、節点を配置すればよい。

【0038】例えばアドバンシングフロント法の場合、文献「格子形成法とコンピュータグラフィックス（東京大学出版会、1995年発行）」にあるように、境界要素から順次微小要素を作成し解析モデルを作成する。この方法を採用する場合、まずあらかじめ内部熱交換位置に節点を作成する。次に境界要素から順次微小要素を作成する過程で、必ず内部熱交換位置の節点を選択すればよい。

【0039】また、ボクセル分割法では、特開平10-255077号公報にあるように、3次元空間の3軸それぞれの方向に対してグリッドを設定し、グリッドにしたがって直方体形状の複数の微小要素を作成する。この方法を採用する場合、グリッド分割位置を内部熱交換位置に合わせるようグリッド分割すればよい。以上の手法はあらかじめ内部熱交換位置に節点を作成し、その節点を利用して要素を作成して解析モデルを作成する方法であるが、逆にあらかじめ内部熱交換位置に関わらず、解析領域をデローニー分割法、ボクセル分割法、アドバンシングフロント法などの方法で解析モデルを作成してから、内部熱交換位置に節点を移動することで解析モデルを作成しても構わない。

【0040】例えば、図16のアルゴリズムに示すように、まず、ステップ31の解析モデル作成工程で解析領域に対して解析モデルを作成し、ステップ32の近傍節点選択工程で、内部熱交換位置に近接する節点を選択する。ステップ33の節点移動工程でステップ32で選択された節点を内部熱交換位置に移動する。

【0041】あるいは、あらかじめ、内部熱交換位置に節点を作成し、その節点に対して、最も近接する節点を選ぶ。選ばれた節点を内部熱交換位置側の節点に一致させる、といった方法もある。

【0042】次にステップ14において、熱伝導解析をする方法について、さらに詳しく説明する。

【0043】熱伝導解析では有限要素法、有限体積法、差分法などを利用して行うが、この工程の処理は公知の手法や熱伝導解析システムを利用してよい。例えば、有限要素法の場合の処理については文献「流れと熱伝導の有限要素法入門（1983年、培風館）」に記載の手法を用いればよいし、市販の例えばABAQUS（HKS社製）、NASTRAN（MSC社製）、MSC-MARC（MSC社製）により実現されているものを利用してよい。

【0044】この工程の入力としては非定常解析の場合、少なくとも解析領域の外部との境界条件、内部熱交換位置との境界条件、解析対象の熱伝導率、熱伝達率、

比熱、密度といった物性値が必要である。ただし定常解析の場合、物性値は熱伝導率のみでよい。

【0045】また、解析領域外部との境界条件は、境界となる節点、もしくは要素に対して設定する。実際の現象に応じて断熱、温度、熱流束、熱伝達および熱輻射の中から適切なものを選択する。断熱の場合は特に新たに設定する項目はないが、温度拘束の場合は節点あるいは要素に対して少なくとも温度を、熱流束の場合は節点あるいは要素に対して少なくとも熱流束を、熱伝達の場合は節点あるいは要素に対して少なくとも熱伝達率と雰囲気温度を、熱輻射の場合は要素に対して少なくとも熱輻射率と雰囲気温度を設定しなければならない。

【0046】さらに、精度の良い解析結果を得るために、境界条件として、別の解析結果で得られた結果を解析領域の境界条件として設定してもかまわない。すなわち、例えば内部熱交換位置設定工程で設定された内部熱交換部分の領域について微小な多面体からなる解析モデルを作成し、該内部熱交換部分解析モデルについて、別途熱伝導解析を行い、その解析結果に基づいて解析領域の境界条件を設定することにより、境界条件を精度よく求めることができる。図17はこの場合の処理の流れを詳しく示したフローチャートである。

【0047】まずステップ41の領域外部・内部熱交換位置解析領域設定工程で、別に解析を行う領域として、領域外解析領域および/または内部熱交換部分領域を設定する。

【0048】例えば、図18に示すような射出成形金型の場合、解析領域としては金型51、領域外部解析領域として樹脂成形品52、内部熱交換部分解析領域として冷却管61～64、ランナー65を設定する。

【0049】次にステップ42の領域外部・内部熱交換位置解析モデル作成工程で、ステップ41で設定した領域外部および/または内部熱交換位置解析領域に対して、詳細な解析モデルを別に作成する。この解析モデルは公知の解析モデル作成ソフトウェアを使用して作成したのでよい。例えば、図18に示すような射出成形金型の場合、樹脂成形品に対しては図19のように、また冷却管とランナーに対しては図20のように解析モデルを作成する。なお、このステップ41、42はステップ44の熱伝導解析工程の前であれば、いつ実施してもかまわない。

【0050】次に、ステップ14-1で領域外部・内部熱交換部分熱伝導解析工程で、内部熱交換部分および/または領域外部の詳細な温度分布や熱流束分布を求める。

【0051】さらに、ステップ14-2の境界条件設定工程で、解析領域外部および/または内部熱交換部分との境界条件を境界となる節点、もしくは要素に対して設定する。このときステップ14-1で得られた温度分布や熱流束分布を境界条件の全部または一部として与え

る。また、境界条件としては、熱伝達あるいは熱輻射を設定することもできる。全ての境界条件は、境界となる節点に対して設定するようにすると、プログラムが単純化できるが、一部の境界条件については、微小要素に設定するようにしても良い。例えば、射出成形金型の熱伝導解析をする場合において、冷却管やランナーについての境界条件設定は節点に対して行い、成形品部や金型外部との境界条件設定は微小要素に設定するようにしても良い。

【0052】ステップ14-3の解析領域熱伝導解析工程で、解析領域の熱伝導解析を行う。この一連の処理で、解析対象の温度分布、熱流分布束が求まるが、さらに正確な計算結果を求めるためには、ステップ14-3で得られた解析結果を境界条件としてステップ14-1の解析を実施し、再びステップ14-2でステップ14-1で得られた解析結果を境界条件として設定し、ステップ14-3の解析を繰り返すというように、ステップ14-1~3の処理を複数回繰り返すことが望ましい。

【0053】この場合ステップ14-3の処理の後、ステップ14-4の解析終了判断工程で、再び解析するか、終了するか判断する。この判断の基準としては、例えば、直前に実施したステップ14-3の解析の計算結果とその1回前に実施してステップ14-3の解析の計算結果とを比較して、その差があらかじめ設定した閾値未満になった場合に解析を終了するといった基準や、あらかじめ繰り返し計算回数を設定しておくといった基準や、またこの両者を併用してどちらかの条件を満たした場合に終了するといった基準などが挙げられる。

【0054】ステップ14-4で解析を継続すると判断された場合は、ステップ15の領域外部・内部熱交換部分境界条件設定工程で、領域外部および/または内熱交換部分の境界条件を設定する。このときステップ14-3で得られた温度分布や熱流束分布を境界条件の一部または全部として与える。そしてステップ14-1~4の処理を繰り返す。

【0055】熱伝導解析工程の出力としては、解析領域全体の温度分布と熱流束分布とが得られる。この場合、解析結果をそのまま出力装置に出力してもよいが、さらに必要に応じて、オペレータが境界条件、初期条件を変更して再び解析ができる。また、解析結果の出力は別途用意したプリンタ装置に対して行ってもよく、データ記憶装置200に格納してもよい。この場合は別の解析装置の入力データとしてこの出力を利用することもできるし、別の解析結果処理用の可視化ソフトウェア(例えばMSC社の"PATRAN"、)の入力データとしてこの出力を利用することもできる。

【0056】次に、本発明のシミュレーション方法を実行するための装置について図21を用いて説明する。

【0057】コンピューター101に補助記憶装置102、入力装置103、出力装置104が接続されてい

る。コンピューター101の主記憶装置上には解析領域設定手段105、内部熱交換位置設定手段106、解析モデル作成手段107、熱伝導解析手段108、が記憶されている。

【0058】解析領域設定手段105は図1のステップ11を実行する手段である。

【0059】内部熱交換位置設定手段106は図1のステップ12を実行する手段である。

【0060】解析モデル作成手段107は、ステップ13を実行する手段で、ステップ11から12で実施した解析領域データと、内部熱交換位置設定データをもとに解析モデルを作成する手段である。

【0061】熱伝導解析手段108は図1のステップ14を実行する手段である。この手段としては公知の手法や熱伝導解析システムを利用してもよい。例えば、有限要素法の場合の処理については文献「流れと熱伝導の有限要素法入門(1983年、培風館)」に記載の手法を用いればよいし、市販の例えば"ABAQUS"(HKS社製)、"NASTRAN"(MSC社製)、"MSC-C-MARC"(MSC社製)により実現されているものを利用してもよい。

【0062】例えば、解析する成形品の解析領域と内部熱交換位置データと境界条件、材料物性条件は入力装置103により入力が受け付けられ、補助記憶装置102に格納される。そしてこれをオペレータの指示によりコンピューター101内の演算処理装置が内部の主記憶装置に読み込み、解析領域設定し、内部熱交換位置設定し、解析モデル作成し、熱伝導解析を実行する。

【0063】さらに必要に応じて、オペレータが境界条件を変更して再び解析ができる。また、解析結果の出力は別途用意したプリンタ装置に対して行ってもよく、データ記憶装置200に格納してもよい。この場合は別の解析装置の入力データとしてこの出力を利用することもできる。

【0064】以上の通り、本実施形態の解析モデルの作成方法および熱伝導解析方法および装置は、コンピューターのメモリ上のプログラムおよびデータならびに中央演算装置の動作によって実現されている。かかるコンピュータプログラムは、フレキシブルディスク、CD-ROMといったコンピュータ読み取り可能な有形記憶媒体または無線もしくは有線のネットワーク等の伝送媒体を通じて流通される。

【0065】

【実施例】以下に、上記実施形態を用いて本発明の解析モデルの作成方法および熱伝導解析方法および装置を射出成型用金型を例にとり、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0066】[実施例1]ここでは図18に示す箱形の樹脂成形品を射出成形する射出成型用金型について計算機でシミュレーションする場合の実施例について説明す

る。

【0067】この金型51のサイズは300mm×300mm、高さ250mmである。また、樹脂成形品52のサイズは幅100mm×100mm、高さ52mm、厚み2mmである。金型の内部には直径10mmの冷却管61～64の4本と樹脂を成形品部に注入するためのランナー65と呼ばれる直径5mmの管が配置されている。内部熱交換位置としては冷却管とランナーを考える。

【0068】まず、ステップ11で解析領域設定工程で金型の形状を設定する。金型の形状として外形と成形品の部分を設定した。図22に設定された領域を示す。

【0069】次にステップ12では、内部熱交換位置設定を設定する。この実施例の場合、冷却管、ランナーともに細長いパイプ状の形状であるため、1次元的に設定した。図23に設定された状態を示す。

【0070】次にステップ13で、解析モデルを作成する。解析モデル作成手法としてはデローニー分割法を採用した。ステップ13での作業をさらに詳しく説明する。

【0071】まずステップ21の節点発生工程で、解析領域を含む凸形状の領域(全体領域)を定義して、この全体領域に対して節点を作成する。図24に設定された節点を示す。ステップ22の内部熱交換位置節点発生工程で、図25に示すようにステップ12の内部熱交換位置設定工程で設定された位置に対して節点を作成した。次にステップ23の全体要素作成工程では、領域全体を囲む要素を作成した。さらにステップ24の節点選択工程では、ステップ21で作成した節点群のうち任意の1節点を選択した。ステップ25の要素選択工程では、全ての要素の中で、要素の外接円の中にステップ23で選択した節点を含むものを選択した。ステップ26要素生成工程では、ステップ25で選択された要素をまとめて1つの多面体にし、この多角形をステップ24で選択された節点を中心に、複数の四面体要素に分割した。ステップ24から26を全ての節点について繰り返した。最後にステップ28の不要要素削除工程で解析領域外部に作成された要素を削除した。

【0072】以上でステップ13の解析モデル作成作業が終わり図26～28に示すような解析モデルが作成された。図26は解析モデルの外気側表面を示し、図19は解析モデルの成形品側の表面を示したものである。図27は解析モデルを分割し解析モデル内部の微小要素の集合を示している。また、図28は冷却管64付近の微小要素の集合の一部を取り出したもので、内部熱交換位置に冷却管上節点71～74が微小要素の頂点に配置されている様子を示している。

【0073】次にステップ14で、熱伝導解析を行った。冷却管の温度を30度、ランナーからの熱流束を25Wに設定した。また、金型外部の境界条件は、成形品

側については熱流束境界とし、熱流束として25Wを、外気側には熱伝達境界とし熱伝達係数として8.0W/(m²・)、雰囲気温度として23を設定した。また、金型の熱伝導率は52W/(m・)である。

【0074】ここで冷却管温度の境界条件は、ステップ22で作成された内部熱交換位置の節点のうち、冷却管の部分に相当する節点に対して温度80を与えた。

【0075】また、ランナー熱流束の境界条件はステップ22で作成された内部熱交換位置の節点のうち、ランナーの部分に相当する節点に対して熱流束25Wを与えた。

【0076】以上の設定の元に、熱伝導解析を実施した結果、金型内部の温度分布と熱流束分布が得られた。図29に解析で得られた金型の温度分布を示す。図29は金型の5カ所の断面について温度分布を示した等高線図である。

【0077】[実施例2]ここでは図18に示す箱形の樹脂成形品を射出成形する射出成型用金型について計算機でシミュレーションする場合、ステップ14において、樹脂成形品の温度変化や冷却管の熱移動を考慮して解析する場合の実施例について説明する。

【0078】まず、ステップ11で解析領域設定工程で金型の形状を設定する。金型の形状として外形の部分を設定した。図30に設定された領域を示す。

【0079】次にステップ12では、内部熱交換位置設定を設定する。この実施例の場合、冷却管、ランナーともに細長いパイプ状の形状であるため、1次元的に設定した。また、本実施例では樹脂成形品についても内部熱交換位置とし、薄肉の板であるので2次元的に設定した。図31に設定された状態を示す。

【0080】次にステップ41で樹脂成形品とランナー、冷却管に対して解析領域を設定した。

【0081】次にステップ42で、図32に示すように樹脂成形品とランナーの温度変化を計算するために樹脂成形品とランナーの解析モデルを作成した。この解析モデルの作成は、市販の解析モデル作成システム(例えばMSC社の"PATRAN"や東レの"TIMON(登録商標)-Pre/Post")を使用すればよく、この例ではMSC社の"PATRAN"を使用して作成した。

【0082】さらに、図33に示すように冷却管の温度を計算するために、冷却管の解析モデルを作成した。このモデルでは冷却管61と62、冷却管62と64は連結されているため、接続部81と82を付加している。この解析モデルの作成は、市販の解析モデル作成システム(例えばMSC社の"PATRAN"や東レの"TIMON(登録商標)-Pre/Post")を使用すればよく、この例では東レの"TIMON(登録商標)-Pre/Post"を使用して作成した。

【0083】次にステップ13で、解析モデルを作成す

る。解析モデル作成手法としてはデローニー分割法を採用し、実施例 1 と同様の手法で解析モデルを作成する。その結果、図 3 4 に示すような解析モデルが作成された。図 3 4 は解析モデルを分割し解析モデル内部の微小要素の集合を示している。

【0084】次にステップ 1 4 において熱伝導解析を実施した。まずステップ 1 4 - 1 で樹脂成形品と冷却管の熱伝導解析を実施した。

【0085】樹脂の成形品とランナーの解析では、成形品から発生する射出成形の 1 サイクルの平均の熱流束を求め、非定常の熱伝導解析を実施した。1 サイクル時間は 4 0 秒、初期温度は 2 8 0 である。また、樹脂の物性値としては熱伝導率 $0.25 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{)}$ 、密度 $1,200 \text{ kg} / \text{m}^3$ 、比熱 $2100 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$ を与えた。境界条件としては、樹脂成形品の表面に温度境界条件の温度 8 0 を与えた。その結果、1 サイクルあたりの熱流束が求まり、さらに熱流束をサイクル時間で割ることにより平均の熱流束が得られた。

【0086】冷却管の解析では、冷却管の壁面の温度を求めるために、熱流体解析を行った。流体の流入条件として、流量 $6 \text{ l} / \text{分}$ 、温度 8 0 を節点 8 3、8 4 に与えた。流出条件としては自由流出条件を節点 8 5、8 6 に与えた。また、壁面には熱伝達境界を与え、境界条件として、熱伝達係数 $9,600 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{)}$ 、雰囲気温度 8 0 を与えた。その結果、冷却管からの熱流束が得られた。

【0087】次にステップ 1 4 - 2 で、金型の熱伝導解析を実施した。ここでは金型外部の境界条件として、外気側には熱伝達境界とし熱伝達係数として $8.0 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{)}$ 、雰囲気温度として 2 3 を設定した。また、金型の熱伝導率は $52 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{)}$ である。

【0088】また、樹脂成形品およびランナーの境界条件として、ステップ 2 2 で作成された内部熱交換位置の節点のうち、ランナーの部分に相当する節点に対して、ステップ 1 4 - 1 で求めた熱流束を与えた。

【0089】また冷却管の境界条件として、ステップ 2 2 で作成された内部熱交換位置の節点のうち、冷却管の部分に相当する節点に対して、ステップ 1 4 - 1 で求めた熱流束を与えた。

【0090】以上の設定の元に、熱伝導解析を実施した結果、金型内部の温度分布と熱流束分布が得られた。

【0091】以上で、金型の温度分布の解析の一連の作業は終了したが、さらに正確な解析をするためには、ステップ 1 4 - 2 で得られた解析結果を境界条件としてステップ 1 4 - 1 の解析を実施し、再びステップ 1 4 - 1 で得られた解析結果を境界条件としてステップ 1 4 - 2 の解析を繰り返すというように、ステップ 1 4 - 1 とステップ 1 4 - 2 の解析を複数回繰り返すことが望ましい。

【0092】そこでステップ 1 4 - 2 で得られた温度結

果のうち、樹脂成形品とランナー部分にあたる内部熱交換位置の節点の温度を前記ステップ 1 4 - 1 の樹脂の成形品とランナーの非定常熱伝導解析の境界条件として与え、非定常熱伝導解析を実施した。他の解析の条件は前記と同じである。

【0093】また、ステップ 1 4 - 2 で得られた温度結果のうち、冷却管の部分にあたる内部熱交換位置の節点の温度を前記ステップ 1 4 - 1 の冷却管の熱流体解析の境界条件として与え、非定常熱伝導解析を実施した。他の解析の条件は前記と同じである。

【0094】次にステップ 1 4 - 2 で、金型の熱伝導解析を実施した。ここでは金型外部の境界条件として、外気側には熱伝達境界とし熱伝達係数として $80 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{)}$ 、雰囲気温度として 2 3 を設定した。また、金型の熱伝導率は $52 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{)}$ である。

【0095】次にステップ 1 4 - 2 で、金型の熱伝導解析を実施する。ここでは、樹脂成形品およびランナーの境界条件として、ステップ 2 2 で作成された内部熱交換位置の節点のうち、ランナーの部分に相当する節点に対して、ステップ 1 4 - 1 で求めた熱流束を与える。

【0096】また、冷却管の境界条件として、ステップ 2 2 で作成された内部熱交換位置の節点のうち、冷却管の部分に相当する節点に対して、ステップ 1 4 - 1 で求めた熱流束を与える。他の条件は前記ステップ 1 4 - 2 と同じにする。

【0097】以上の設定の元に、熱伝導解析を実施した結果、金型内部の温度分布と熱流束分布が得られた。このステップ 1 4 - 1 とステップ 1 4 - 2 の繰り返し計算を 9 回繰り返し、図 3 5 に示すような金型の温度分布が得られた。図 3 5 は金型の 5 カ所の断面について温度分布を示した等高線図である。

【0098】

【発明の効果】本発明の解析モデルの作成方法と、熱伝導解析方法、熱伝導解析装置およびソフトウェアによれば、内部に熱交換部分を持つ熱伝導解析において、モデル作成に多大な労力を必要とせず、かつ、高速に解析計算を実行できる。

【0099】また、本発明の方法、装置およびソフトウェアを用いて金型を設計することにより、熱設計が十分に行なわれた金型を製造することができ、そのような金型を用いて成形品を製造することにより、品質に優れた成形品を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】射出成形金型の例を示す図である。

【図 2】本発明の解析モデルの作成方法および熱伝導解析方法の手順の例を示すフローチャートである。

【図 3】解析領域の設定の例を示した図である。

【図 4】解析領域の設定の例を示した図である。

【図 5】内部熱交換位置の設定の例を示した図である。

【図 6】内部熱交換部分の例を示した図である。

10

20

30

40

50

【図 7】内部熱交換位置の設定の例を示した図である。
 【図 8】内部熱交換部分の例を示した図である
 【図 9】内部熱交換位置の設定の例を示した図である。
 【図 10】本発明の解析モデル作成工程の手順の例を示すフローチャートである。
 【図 11】図 4 の解析領域に対して全体領域を設定して節点を作成した例を示した図である。
 【図 12】内部熱交換位置に節点を配置した例を示した図である。
 【図 13】内部熱交換位置に節点を配置した例を示した図である。
 【図 14】本発明の解析モデル作成方法で作成された解析モデルの例を示した図である。
 【図 15】内部熱交換位置に節点を配置した例を示した図である。
 【図 16】本発明の解析モデル作成工程の手順の例を示すフローチャートである。
 【図 17】本発明の解析モデルの作成方法および熱伝導解析方法の手順の例を示すフローチャートである。
 【図 18】本発明の実施例において用いた射出成形金型の例を示す図である。
 【図 19】領域外部解析領域の解析モデルの例である。
 【図 20】内部熱交換部分解析領域の解析モデルの例である。
 【図 21】本発明の解析モデルの作成方法および熱伝導解析方法の解析装置のハードウェア構成例を示す図である。
 【図 22】本発明の実施例において解析領域の設定の例を示した図である。
 【図 23】本発明の実施例において内部熱交換位置の設定の例を示した図である。
 【図 24】本発明の実施例において解析領域に対して全体領域を設定して節点を作成した例を示した図である。
 【図 25】本発明の実施例において内部熱交換位置に節点を配置した例を示した図である。
 【図 26】本発明の実施例において解析モデル作成方法で作成された解析モデルの例を示した図である。
 【図 27】本発明の実施例において解析モデル作成方法で作成された解析モデルの例を示した図である。
 【図 28】本発明の実施例において解析モデル作成方法で作成された解析モデルの例を示した図である。
 【図 29】本発明の実施例において熱伝導解析によって得られた温度分布の例を示した図である。
 【図 30】本発明の実施例において解析領域の設定の例を示した図である。
 【図 31】本発明の実施例において内部熱交換位置の設定の例を示した図である。
 【図 32】本発明の実施例において内部熱交換部分解析領域の解析モデルの例である。
 【図 33】本発明の実施例において内部熱交換部分解析

領域の解析モデルの例である。

【図 34】本発明の実施例において解析モデル作成方法で作成された解析モデルの例を示した図である。

【図 35】本発明の実施例において熱伝導解析によって得られた温度分布の例を示した図である。

【符号の説明】

D : 解析領域

A 1 : 解析領域の境界

A 2 : 解析領域の境界

A 3 : 解析領域の境界

A 4 : 解析領域の境界

V 1 : 解析領域の境界において領域のある側を示すベクトル

V 2 : 解析領域の境界において領域のある側を示すベクトル

V 3 : 解析領域の境界において領域のある側を示すベクトル

V 4 : 解析領域の境界において領域のある側を示すベクトル

S 1 : 解析領域を表現するための四角形

S 2 : 解析領域を表現するための四角形

S 3 : 解析領域を表現するための四角形

E 1 : 解析領域を表現するための円

5 1 : 金型

5 2 : 樹脂成形品

6 1 : 冷却管

6 2 : 冷却管

6 3 : 冷却管

6 4 : 冷却管

6 5 : ランナー

7 1 : 冷却管上節点

7 2 : 冷却管上節点

7 3 : 冷却管上節点

7 4 : 冷却管上節点

7 5 : 冷却管上節点

8 1 : 冷却管の接続部

8 2 : 冷却管の接続部

8 3 : 節点

8 4 : 節点

8 5 : 節点

8 6 : 節点

10 1 : コンピュータ

10 2 : 補助記憶装置

10 3 : 入力装置

10 4 : 出力装置

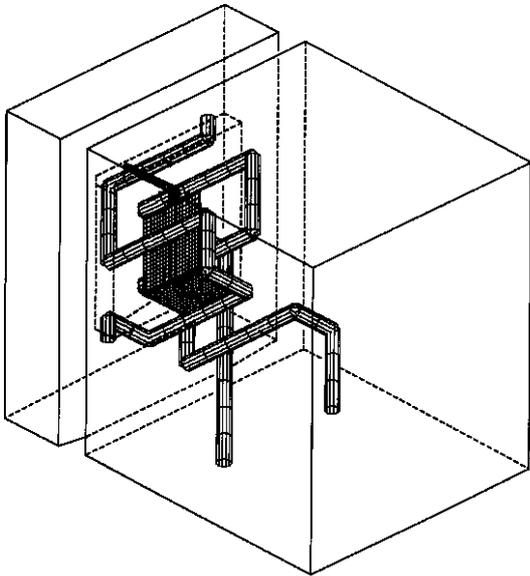
10 5 : 解析領域設定手段

10 6 : 内部熱交換位置設定手段

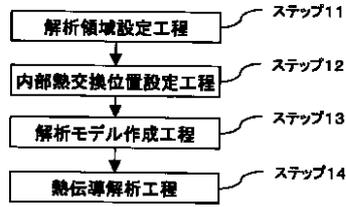
10 7 : 解析モデル作成手段

10 8 : 熱伝導解析手段

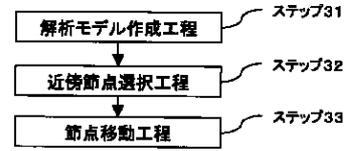
【図1】



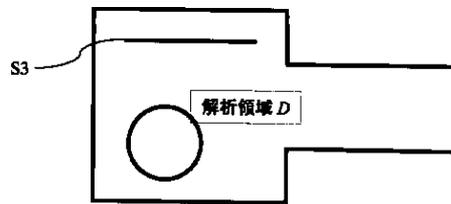
【図2】



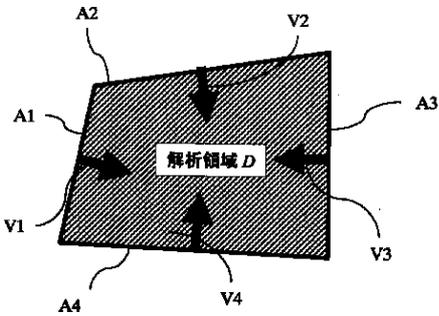
【図16】



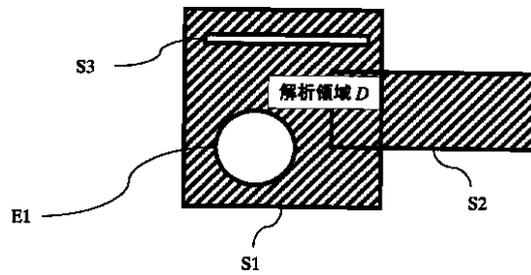
【図5】



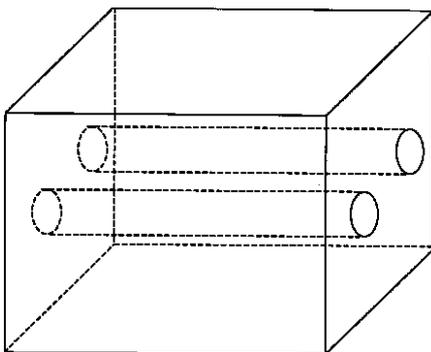
【図3】



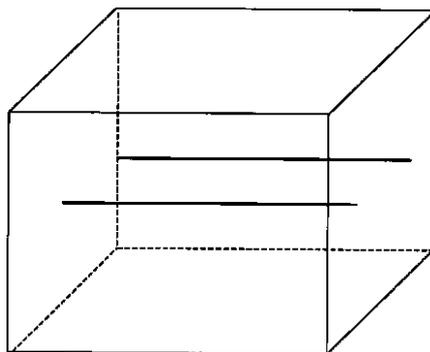
【図4】



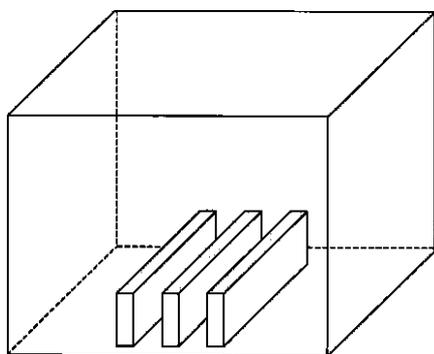
【図6】



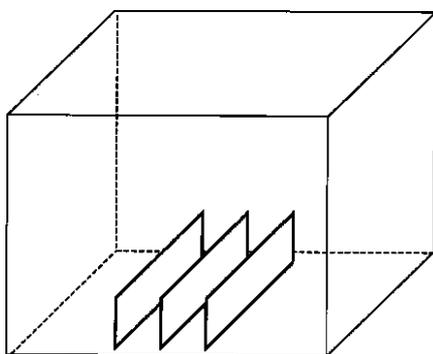
【図7】



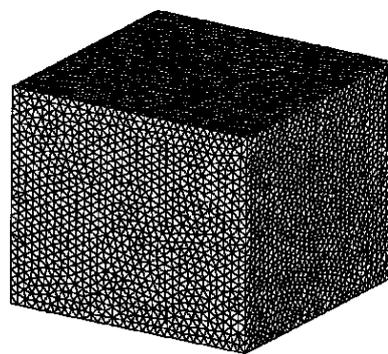
【図8】



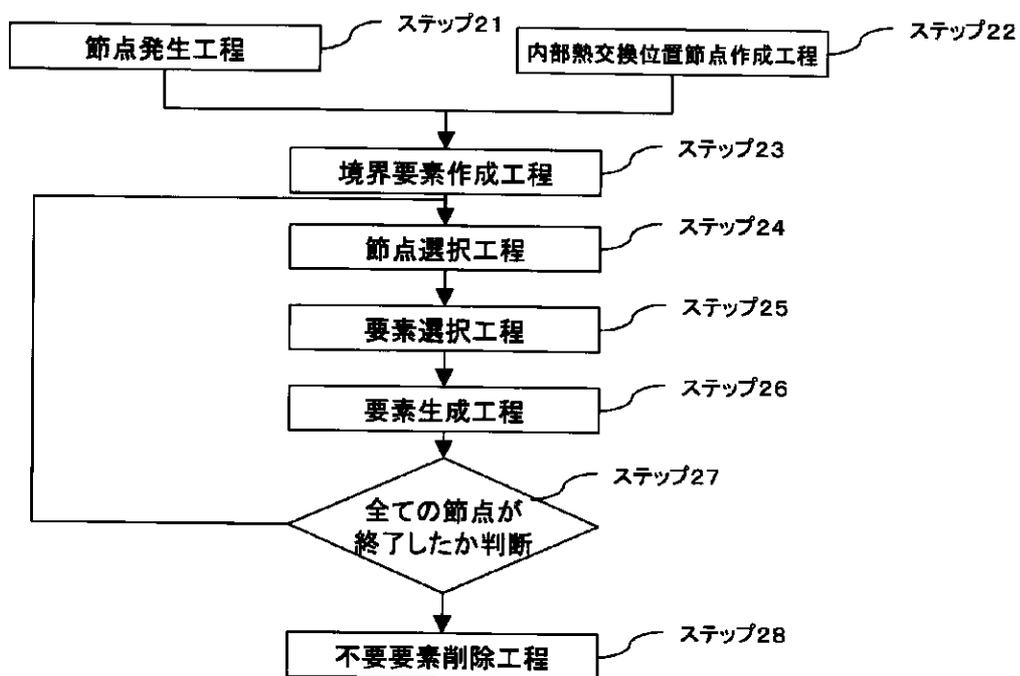
【図9】



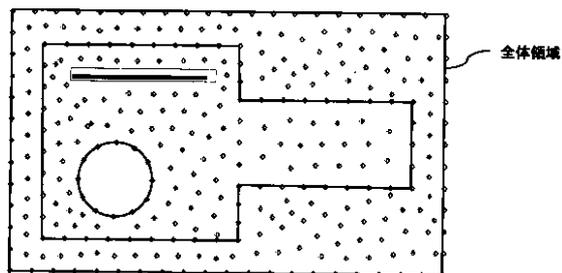
【図26】



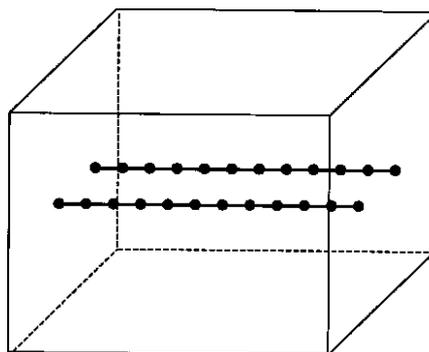
【図10】



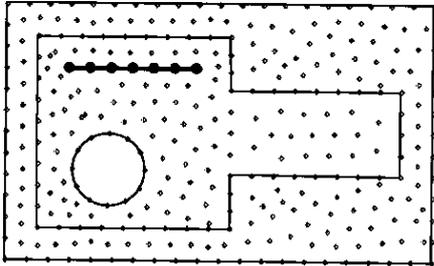
【図11】



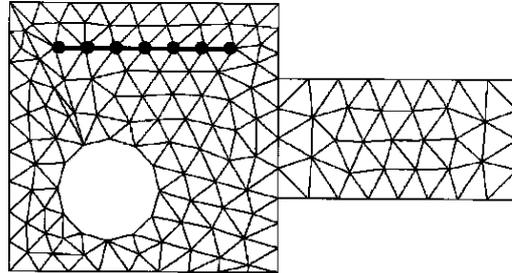
【図12】



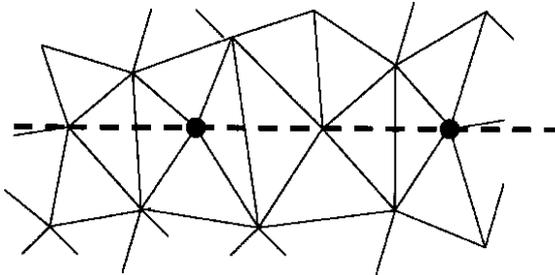
【図13】



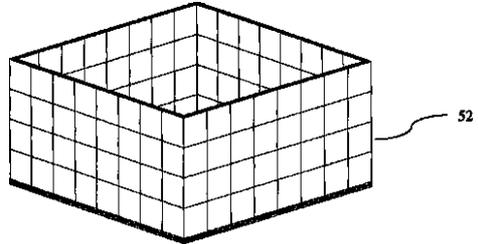
【図14】



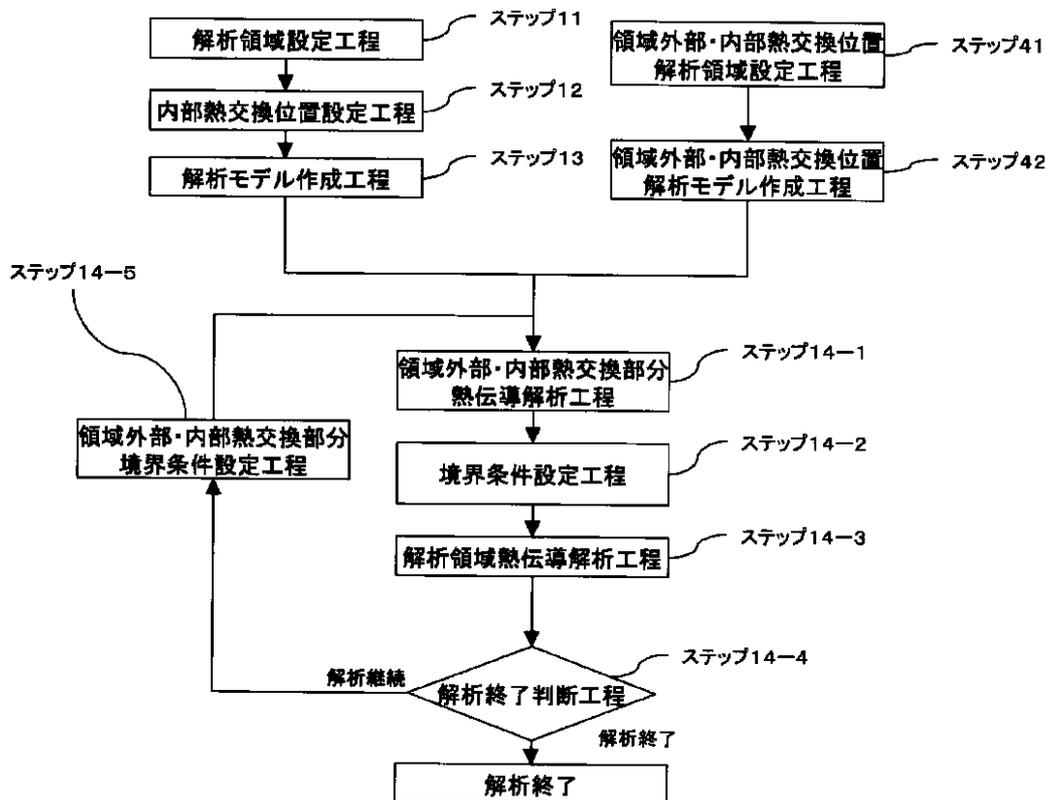
【図15】



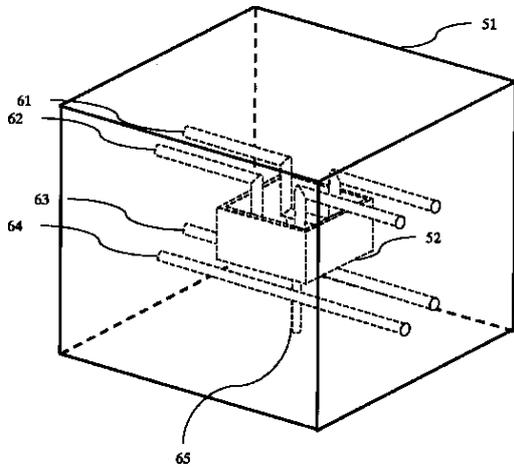
【図19】



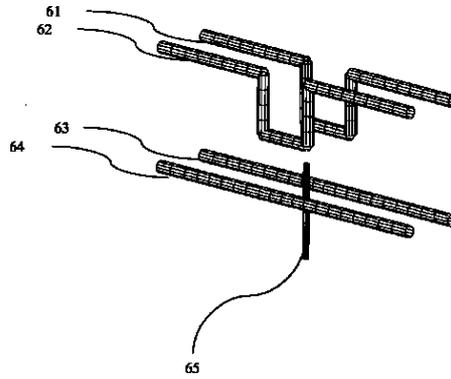
【図17】



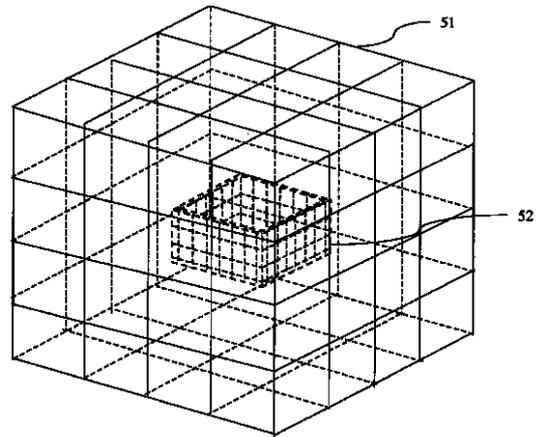
【図18】



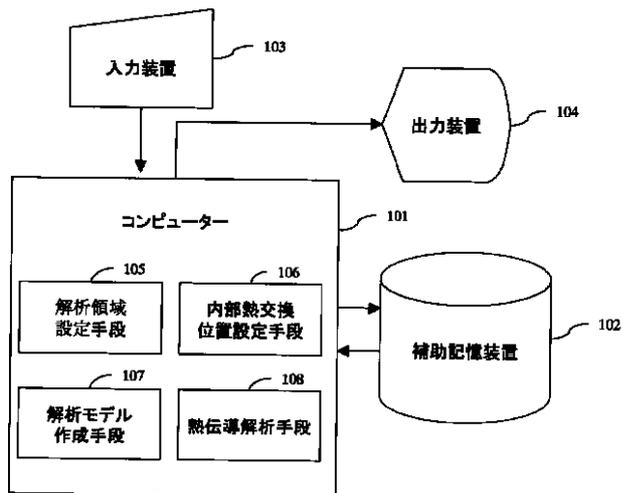
【図20】



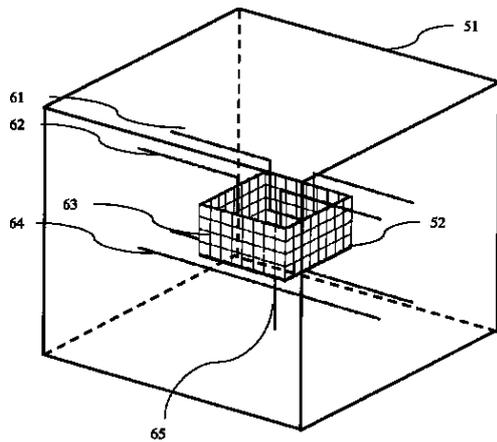
【図22】



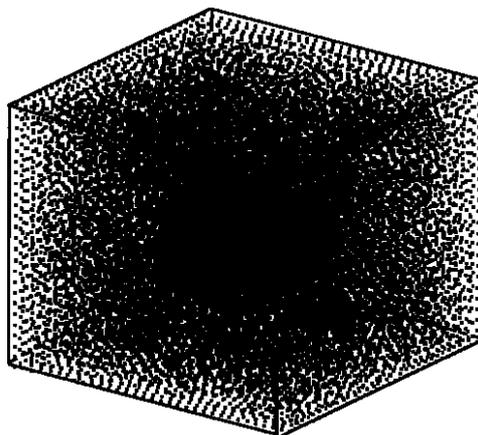
【図21】



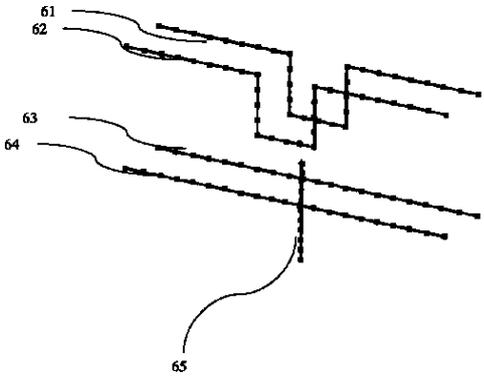
【図23】



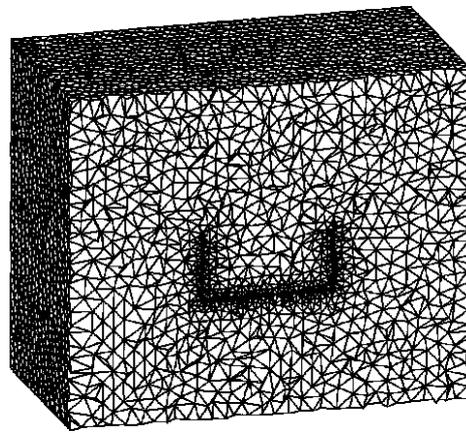
【図24】



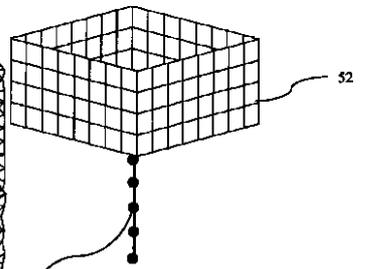
【図25】



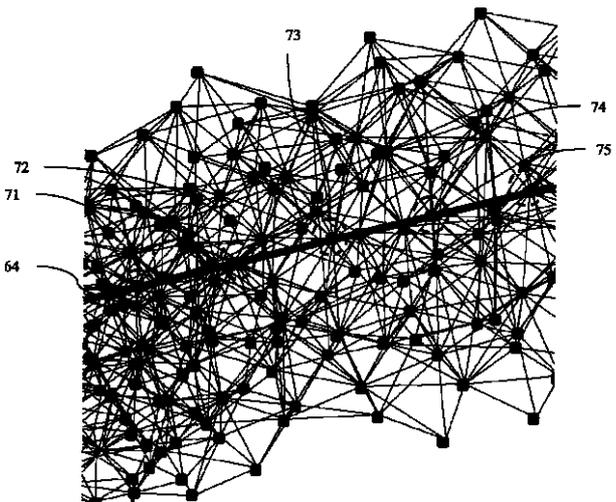
【図27】



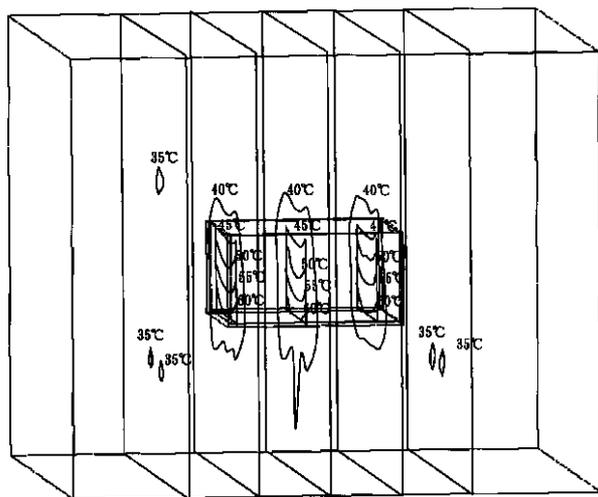
【図32】



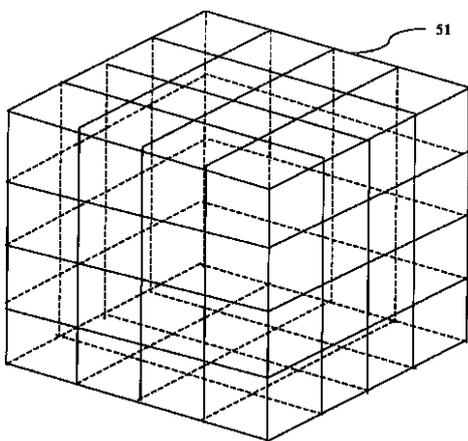
【図28】



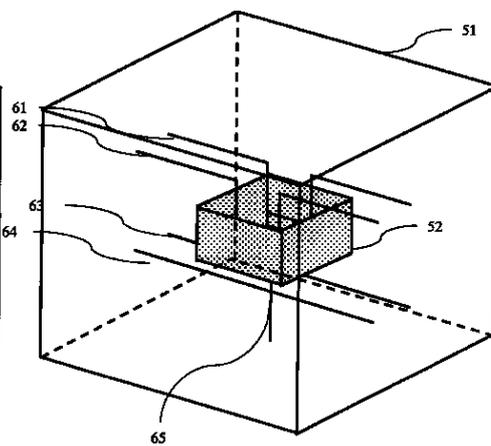
【図29】



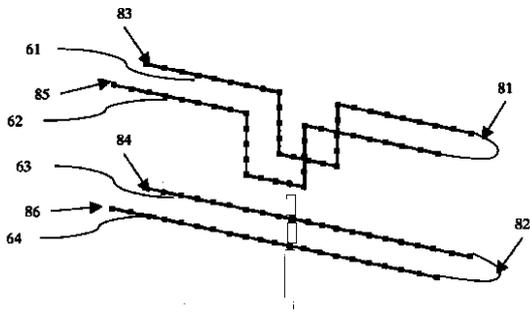
【図30】



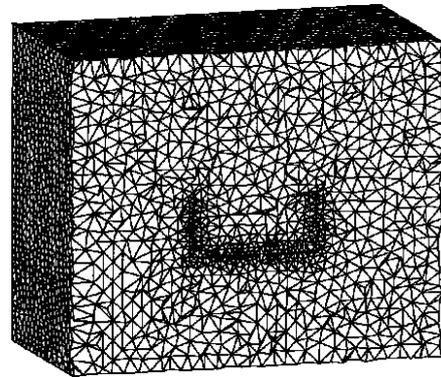
【図31】



【図33】



【図34】



【図35】

