(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3658006号
(P3658006)
(45)発行日　平成17年6月8日(2005.6.8)　(24)登録日　平成17年3月18日(2005.3.18)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G06F 17/50　G06F 17/50　612J

請求項の数 16　(全 22 頁)

(21)出願番号　特願平5-328026
(22)出願日　平成5年12月24日(1993.12.24)
(65)公開番号　特開平7-182311
(43)公開日　平成7年7月21日(1995.7.21)
審査請求日　平成12年12月18日(2000.12.18)

(73)特許権者　000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
(74)代理人　100076428
弁理士　大塚　康徳
(74)代理人　100093908
弁理士　松本　研一
(72)発明者　佐々木　豊成
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号　キヤノン株式会社内

審査官　田中　幸雄

(56)参考文献　特開平０４－３３８８７３（ＪＰ，Ａ）

最終頁に続く

(54)【発明の名称】有限要素分割方法及び装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

解析領域を自動的に有限要素に分割する有限要素分割装置であって、

予め第１の要素群へ分割された領域である入力分割領域を含む解析領域を入力する入力手段と、

前記解析領域を複数の格子に分割する第１分割手段と、

前記第１分割手段で得られた格子のうち、前記入力分割領域を含まない格子を用いて第２の要素群への分割を行う第２分割手段と、

前記第１分割手段で得られた格子のうち前記入力分割領域を含む格子を抽出する抽出手段と、

前記抽出手段で抽出された格子を形成する辺のうち抽出された格子どうしで共有されない辺上に要素を形成するための節点を発生する第１発生手段と、

前記入力分割領域内の前記第１の要素群の各要素を形成する辺のうち前記第１の要素群の複数の要素により共有されない辺上に要素を形成するための節点を発生する第２発生手段と、

前記第１及び第２発生手段で発生した節点に基づいて、前記解析領域中の前記入力分割領域及び前記第２分割手段により分割された領域を除く領域を第３の要素群へ分割する第３分割手段とを備えることを特徴とする有限要素分割装置。

【請求項２】

前記解析領域は２次元であり、前記第１、第２、第３の要素群の夫々は２次元要素で構

成されることを特徴とする請求項１に記載の有限要素分割装置。
【請求項３】
前記第１分割手段は、前記解析領域を複数の４角形の格子に分割し、構造物の全てもしくは一部を含む格子を更に細かい４角形の格子に分割することを特徴とする請求項２に記載の有限要素分割装置。
【請求項４】
前記第１分割手段は、前記構造物を含む各格子の辺の長さが当該格子の中に含まれる前記入力分割領域内の要素の最長辺よりも短くなる１つ手前まで当該格子を分割することを特徴とする請求項３に記載の有限要素分割装置。
【請求項５】
前記第１分割手段は、前記構造物を含む各格子の辺の長さが当該格子の中に含まれる前記入力分割領域内の要素の最長辺よりも短くなるまで当該格子を分割することを特徴とする請求項３に記載の有限要素分装置。
【請求項６】
前記解析領域は３次元であり、前記第１、第２、第３の要素群の夫々は３次元要素で構成されることを特徴とする請求項１に記載の有限要素分割装置。
【請求項７】
前記第１分割手段は、前記解析領域を複数の６面体の格子に分割し、構造物の全てもしくは一部を含む格子を更に細かい６面体の格子に分割することを特徴とする請求項６に記載の有限要素分割装置。
【請求項８】
前記第１分割手段は、前記構造物を含む各格子の辺の長さが当該格子の中に含まれる前記入力分割領域内の要素の最長辺よりも短くなる１つ手前まで当該格子を分割することを特徴とする請求項７に記載の有限要素分割装置。
【請求項９】
前記第１分割手段は、前記構造物を含む各格子の辺の長さが当該格子の中に含まれる前記入力分割領域内の要素の最長辺よりも短くなるまで当該格子を分割することを特徴とする請求項７に記載の有限要素分割装置。
【請求項１０】
前記抽出手段は、前記第１分割手段で得られた各格子が前記入力分割領域を含むか含まないかの判定において、前記各格子を実際よりも拡大して判定を行い、拡大された領域内に前記入力分割領域が含まれる格子を抽出することを特徴とする請求項１に記載の有限要素分割装置。
【請求項１１】
前記抽出手段における格子の拡大率は、格子を形成する各辺の１乃至２倍であることを特徴とする請求項１０に記載の有限要素分割装置。
【請求項１２】
解析領域を自動的に有限要素に分割する有限要素分割装置であって、
当該解析領域の有する次元よりも少なくとも１次元低い次元数を有する低次元要素を含めて解析領域の入力を行う入力手段と、
前記解析領域を複数の格子に分割する第１分割手段と、
前記第１分割手段で得られた格子のうち、前記低次元要素を含まない格子を用いて第１の要素群への分割を行う第２分割手段と、
前記入力手段において入力された低次元要素を形成するための節点を要素分割を行うための節点として発生する第１発生手段と、
前記第１分割手段で得られた格子のうち、前記低次元要素を含む格子を抽出する抽出手段と、
前記抽出手段で抽出された格子を形成する辺のうち、複数の前記抽出された格子により共有されない辺上に要素を形成するための節点を発生する第２発生手段と、
前記第１及び第２発生手段で発生した節点に基づいて、前記解析領域中の前記第２分割

手段で分割された領域を除く領域について第２の要素群への分割を行う第２分割手段とを備えることを特徴とする有限要素分割装置。

【請求項１３】

前記解析領域は２次元であり、前記第１および第２の要素群の夫々は２次元要素で構成されることを特徴とする請求項１２に記載の有限要素分割装置。

【請求項１４】

前記第１分割手段は、前記解析領域を複数の４角形の格子に分割し、前記低次元要素の全てもしくは一部を含む格子を更に細かい４角形の格子に分割することを特徴とする請求項１３に記載の有限要素分割装置。

【請求項１５】

前記解析領域は３次元であり、前記第１および第２の要素群の夫々は３次元要素で構成されることを特徴とする請求項１２に記載の有限要素分割装置。

【請求項１６】

前記第１分割手段は、前記解析領域を複数の６面体の格子に分割し、前記低次元要素の全てもしくは一部を含む格子を更に細かい６面体の格子に分割することを特徴とする請求項１５に記載の有限要素分割装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【産業上の利用分野】

本発明は、有限要素法を用いた解析処理のための入力データ作成に関し、具体的には有限要素分割データを計算機にて自動的に作成するための自動有限要素分割方法及び装置に関するものである。

【０００２】

【従来の技術】

近年、コンピュータ性能の向上と共に有限要素法を主体とした数値実験が、設計のための一手段として広く行われ、その重要性は年々増大している。

【０００３】

有限要素を用いた解析では解析モデルを有限要素に分割したデータが必要である。本有限要素データを作成する作業は有限要素法が導入されはじめた１９７０年代においては、主として人間によって行われていた。ところが、１９８０年代にはいり、コンピュータ（特にＥＷＳ）及びその周辺機器の発達と普及によって、計算機と対話的に半自動的に行われるようになった。このとき、主として用いられた方法が領域分割法である。

【０００４】

領域分割法は別名をブロック分割法ともいい、解析モデルをいくつかのブロックに分割し、それぞれのブロックについて各辺の分割数を指定し分割する方法である。本方法はＥＷＳの特徴である、画面を介してのメニュー入力・形状操作などの高度化したインタフェースを活用することにより実用化されたものである。これによってユーザは、要素分割図を各ブロックごとに逐一制御しながら作成し、また作成された要素分割図を逐一視覚的に確認しながら分割作業を進めることができる。本方法はこのような特徴から、現在でも数多くのプリプロセッサに取り入れられている。

【０００５】

しかしながら、上述の領域分割法は、次のような欠点をもつ。すなわち、

（１）解析モデルを１度ブロックに分割する必要があるため、複雑な形状のモデルの場合には、数多くのブロックを作成しなければならず、操作が煩雑になってしまう；

（２）要素数が多いと時間がかかる。領域分割法はＥＷＳの高度化したユーザインタフェースの上に構築されるものであるが、ＥＷＳの性能自体が大型計算機に比べると劣るものであり、要素数が多いモデルの場合にはきわめて膨大な時間を要する；

（３）３次元モデルの作成が困難である。上記（１）にも関連するが、複雑な形状をした３次元形状のモデルについてはＥＷＳの高度化したインタフェースをもってしてもしばしば作成が困難である。特に電場／磁場解析のように構造物のみならず、空間まで要素分割

を要する分野については、モデル作成に膨大な時間を要し、またミスも入りやすい。

【０００６】

そこで、１９８０年代後半から、有限要素分割作業のより多くを計算機内でやらせようという試みが行われるようになった。その代表的な方法が４分木／８分木法とデラウニ法を用いた方法である。４分木／８分木法の詳細は、"INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHOD IN ENGINEERING, VOL.20, pp1965-1990(1984)"に記載されている。本名称は、本文献中のquadtree/octree を訳したものであり、正式なものではなく、異なった名称で呼ばれることもあるが、その処理過程の概要は以下の通りである。

【０００７】

４分木／８分木法はそれぞれ２次元平面／３次元空間モデルの要素分割に対応した名称であり、その基本的な考え方は同じである。すなわち解析領域を格子に分割するという作業を再帰的に実行し、細かな格子に分割する。そして、最終的に構造物表面上に最寄りの点を移動させることにより要素分割図を得る。

【０００８】

ここで２次元平面モデルを例にとり、本方法をもう少し詳しく説明する。

【０００９】

図１２は一般的な４分木法の処理過程を示すフローチャートである。また、図１３、図１４は一般的な４分木法の処理状態の一例を表す図である。

【００１０】

図１３の（ａ）は解析モデルの概形を示す。図中、３１は解析領域であり、３２は構造物（ハッチング部）、３３は空間部である。なお、本解析モデルは実際の解析モデルをこのような正方形領域に写像したものと考えても良い。以下、本モデルを空間部も含めて要素分割するプロセスを説明する。

【００１１】

（１）解析領域３１を構成する辺のうち対向する２辺の中点を結ぶ２つの線分３ｂ１により４つの正方形に分割する。

【００１２】

（２）（１）で得られた４つの正方形領域のうち、構造物３２の輪郭線と交差しているかもしくは内側に輪郭線を含んでいる正方形を線分３ｂ２により更に４つに分割する。この処理を、正方形（格子）の１辺の長さが、指定した値になるまで繰り返す。図１３の（ｂ）では、解析領域の１辺の１／８まで細かくした例を示してある。以上の（１）、（２）の処理がステップＳ１００１にて行われる処理である。

【００１３】

（３）次に、ステップＳ１００２においてクラス差補正処理を行う。クラス差補正処理とは、格子の１辺が３つ以上の格子に分割されている格子を、２つ以下になるように分割する処理である。本処理により図１４の（ａ）に示す如く線分３ｃ１による分割が行われる。

【００１４】

（４）ステップＳ１００３において、輪郭線近傍の格子点を輪郭線上に移動する。例えば、図１４（ａ）において黒丸で示された格子点が輪郭線上に移動され、この結果図１４の（ｂ）が得られる。

【００１５】

（５）ステップＳ１００４では、要素を発生し、これをメモリに格納する。要素の発生方法としては、ステップＳ１００３までに得られた全ての格子を３角形に分割することで行う。例えば、図１４の（ｂ）の如く得られた格子の夫々が図１４の（ｃ）の如く分割される。そして、これら各３角形を要素としてメモリに記憶する。

【００１６】

なお、ここでは、構造物の輪郭線に近い格子点を移動したが、格子の各辺の中点も輪郭線への移動の対象とした修正４分木法も提案されている。すなわち、格子辺の中点が輪郭線に近い場合、その中点を輪郭線上に移動し、全格子を３角形に分割する段階で格子辺の中

点が輪郭線上にある格子には図１５に示すような分割パターンをあてはめる。図１５は一般的な修正４分木法における格子パターンを表す図である。ここで図１５（ａ）は格子の辺の１つの中点に輪郭線がある場合、（ｂ），（ｃ）は２つの辺、（ｄ）は３つの辺、（ｅ）は全辺の中点に輪郭線がある場合の分割パターンである。こうすることにより、図１４の（ｃ）図に示したよりもより細かく、また構造物の輪郭線を忠実に再現した要素分割図を得ることができる。

【００１７】

また、要素分割の粗密づけも、格子を分割するレベルを変化させることにより行うことができる。すなわち、ここでは全解析領域を、格子が解析領域の１辺の１／８の細かさになった時点で細分割処理を打ち切るという条件で分割を行ったが、領域毎に、細かくするレベルを変化させれば、一部の領域のみを細かく分割することも可能である。

【００１８】

また、ここで作成された要素分割図は、近接要素間の要素の大きさの変化がスムーズでない。そこで一般的には、要素分割を終了した後、各要素の重心が均一に分布するように節点を移動するスムージング操作が施される。

【００１９】

なお、構造解析のような構造物のみを分割する分野においては、この分割図から構造物以外の要素を取り除く必要があるが、この操作は簡単である。すなわち分割された３角形を要素としてメモリに記憶する段階で、各要素を構成する節点が構造物の内部／外部に位置することを判定し、１つでも外部にあれば要素として記憶しなければよい。

【００２０】

８分木法は本４分木法を３次元に拡張したものであり、その発想およびアルゴリズムは４分木法とほぼ同じである。すなわち解析モデルに再帰的な３次元の立体格子を仮定し、その格子点を構造物上に移動した後、各立方格子を４面体に分割する。

【００２１】

これら４分木／８分木法によれば、複雑な形状のモデルであっても、確実にしかも比較的扁平でない要素に分割できる。また節点の座標値は基本的に解析領域の半分の半分というふうになっており、解析領域全体の大きさを２ｎ（ｎは整数）としておけば座標値は整数値で表せる。従って、計算機できわめて迅速に処理できる。また、ここでは具体的に述べないが、情報を圧縮させて管理することもできるし、作成した要素分割図の和、差等を容易に実行できるといった特徴も持っている。

【００２２】

次にデラウニ法を用いた自動要素分割法について説明する。本方法では、最初解析領域を粗く要素分割し、デラウニ法によって扁平な要素を減らしながら要素分割を細かくしていく。

【００２３】

ここで２次元平面モデルを例にとり、本方法をもう少し詳しく説明する。

【００２４】

図１６はデラウニ法を用いた自動要素分割のフローチャートであり、図１７は図１３（ａ）の２次元平面モデルを例として、デラウニ法による分割の過程を説明する図である。要素分割は以下のプロセスにより自動的に実行される。

【００２５】

（１）まず、ステップＳ１０１１において、構造物の輪郭線及び解析境界を適当な長さの辺に分割し、その辺の端に節点を発生する（図９（ａ）における黒丸）。そして、これらの節点をメモリＸに記憶する。また、これらの分割された各辺をメモリＹに記憶する。

【００２６】

（２）メモリＹに格納された辺の１つをとりだす。そして、メモリＸに記憶された節点のうち、この辺の両端の節点とともに３角形を構成する。複数の３角形が得られる場合は、各３角形の３つの内角をα，β，γ(radian)として次式

$$\phi = (\pi/3-\alpha)^2 + (\pi/3-\beta)^2 + (\pi/3-\gamma)^2 \quad \cdots [1]$$

を計算し、φが最も小さくなる３角形（即ち最も正３角形に近いもの）を選び、この３角形を要素としてメモリＺに記憶する。

【００２７】

（３）（２）の操作をメモリＹに格納されたすべての辺について繰り返す。なお要素を新たにメモリＺに記憶する段階で、該要素が既に記憶されている要素と重複領域を持たないことを確認し、重複領域を持たない要素のうちでφが最も小さいものを記憶するようにする。

【００２８】

（４）メモリＺに記憶した全要素の辺のうち、複数の要素に共有されていない辺（以後このような辺を自由辺と呼ぶ）を抽出する。ここで抽出した辺をメモリＢの辺に置き変え、上述の（２），（３）の操作を行う。

【００２９】

（５）（４）の操作を新たにメモリＺに記憶される要素がなくなるまで繰り返す。これによって図１７の（ｂ）を得る。以上（２）～（５）の操作は図１６のステップＳ１０１２に相当する。

【００３０】

（６）メモリＺのすべての要素のうち、φが最も大きな要素の重心に新たな節点５ｃ１（図１７（ｃ）を参照）を発生する。そして、メモリＺ内のすべての要素のうち、節点５ｃ１をその外接円の内部に有する要素をメモリＺから削除する。すなわち、図１７の（ｃ）においては、要素５ｃ２，５ｃ３，５ｃ４が削除される。その後、節点５ｃ１を頂点とする要素５ｄ１～５ｄ５を生成し、新たにメモリＺに記憶する（図１７（ｄ）を参照）。

【００３１】

（７）（６）の操作を要素が十分細かくなるまで繰り返す。（以上、図１６のステップＳ１０１３）。

【００３２】

なお、ここでは空間部を含む解析領域全体を要素分割したが、構造解析等の構造物のみの要素分割図も４分木法と同様に簡単に作成できる。すなわち新たに要素をメモリＺに記憶する段階で、要素を構成するすべての節点が構造物の内部または輪郭線上にあるという条件を加えればよい。

【００３３】

以上２次元平面モデルにおけるデラウニ法を用いた要素分割過程を説明したが、本方法は３次元形状のモデルについても容易に拡張できる。すなわち構造物の表面、解析境界面を適当な大きさの３角形に分割し、その３角形を１面にもつ４面体要素に分割する。そして、この４面体要素に外接する球を用いて細分割を実行すれば、解析領域全体を細かく要素分割できる。

【００３４】

本デラウニ法を用いた方法の特徴は、複雑な形状のモデルも確実にしかも扁平でない要素に分割できることにある。

【００３５】

なお、ここでは扁平な要素の重心に新たな節点を設けることにより要素を細分割したが、要素分割を細かくしたい部分にユーザが新たな節点を指定することにより、ユーザが任意に要素分割の粗密づけを行うこともできる。

【００３６】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、以上述べたような、従来の自動分割法では、解析者の要求を正確に反映した要素分割図を得ることはできない。すなわち、すべての領域を自動的に分割してしまうため、解析者の意志が入り込む余地がほとんどなく、解析者としては不本意な要素分割図を使用するしかなかった。

【００３７】

特に作成される要素の形状は、正３角形（３次元では正４面体）に近いものとなるため、

薄板形状のモデルを、扁平な要素を使用することにより、少ない要素数で分割したいような場合は対応できなかった。すなわち、従来の方法では基本的に扁平な要素を発生できないため細かな要素分割図となってしまい、膨大な数の要素数に分割せざるをえなかった。

【００３８】

特に要素分割の粗密づけに関して、一部の領域について要素寸法まで制御して分割図を作成したい場合も多々あるが、従来の方法では要素寸法まで制御することはできなかった。また、任意の点に節点を発生させることも困難であった。

【００３９】

また、一般的な、格子の分割レベルを変化させることによって一部の領域の要素寸法を細かくする方法では、３次元形状をしたモデルの場合、細かくする領域の指定が困難であった。すなわち、一般に細かく分割する領域の指定は、グラフィック端末等を用いて解析者と対話的になされるが、グラフィック端末が２次元平面のため、３次元座標値を指定することが困難であった。

【００４０】

上述の如き課題を克服すべく近年エキスパートシステム等を利用し、できるだけ解析者の考えを取り込んだ要素分割図を得ようとするシステムが考案されている。しかし、ユーザの要求があまりに多岐にわたり、汎用的なものとしてまとめられない、処理に膨大な時間およびメモリを有し、現在の計算機では対応できない等、問題点が多く、まだ実用化には至っていない。

【００４１】

本発明は、以上の課題を鑑みてなされたものであり、解析者の要素分割に対する要望をできるだけ取り込んだ要素分割図を自動的に作成することを可能とする要素分割方法及び装置を提供することを目的とする。

【００４２】

【課題を解決するための手段】

本発明は、解析者の要望を取り込むために、解析領域中に予め要素分割された領域を入力し、予め与えられた要素をそのまま用いることを可能とする要素分割方法及び装置を提供することを目的とする。

【００４３】

上記の目的を達成するための本発明による要素分割装置は以下の構成を備える。すなわち、

解析領域を自動的に有限要素に分割する有限要素分割装置であって、

予め第１の要素群へ分割された領域である入力分割領域を含む解析領域を入力する入力手段と、

前記解析領域を複数の格子に分割する第１分割手段と、

前記第１分割手段で得られた格子のうち、前記入力分割領域を含まない格子を用いて第２の要素群への分割を行う第２分割手段と、

前記第１分割手段で得られた格子のうち前記入力分割領域を含む格子を抽出する抽出手段と、

前記抽出手段で抽出された格子を形成する辺のうち抽出された格子どうしで共有されない辺上に要素を形成するための節点を発生する第１発生手段と、

前記入力分割領域内の前記第１の要素群の各要素を形成する辺のうち前記第１の要素群の複数の要素により共有されない辺上に要素を形成するための節点を発生する第２発生手段と、

前記第１及び第２発生手段で発生した節点に基づいて、前記解析領域中の前記入力分割領域及び前記第２分割手段により分割された領域を除く領域を第３の要素群へ分割する第３分割手段とを備える。

【００４５】

更に、本発明の他の構成は、上記の目的を達成するために、解析領域の有する次元数よりも低い次元数を有する低次元の要素を入力し、この低次元の要素に基づいて要素分割を行

うことが可能な有限要素分割法王及び装置を提供する事を目的とするものである。
【００４６】
上記の目的を達成するための本発明による有限要素分割装置は以下の構成を備える。すなわち、
解析領域を自動的に有限要素に分割する有限要素分割装置であって、
当該解析領域の有する次元よりも少なくとも１次元低い次元数を有する低次元要素を含めて解析領域の入力を行う入力手段と、
前記解析領域を複数の格子に分割する第１分割手段と、
前記第１分割手段で得られた格子のうち、前記低次元要素を含まない格子を用いて第１の要素群への分割を行う第２分割手段と、
前記入力手段において入力された低次元要素を形成するための節点を要素分割を行うための節点として発生する第１発生手段と、
前記第１分割手段で得られた格子のうち、前記低次元要素を含む格子を抽出する抽出手段と、
前記抽出手段で抽出された格子を形成する辺のうち、複数の前記抽出された格子により共有されない辺上に要素を形成するための節点を発生する第２発生手段と、
前記第１及び第２発生手段で発生した節点に基づいて、前記解析領域中の前記第２分割手段で分割された領域を除く領域について第２の要素群への分割を行う第２分割手段とを備える。
【００４８】
【作用】
上述した本発明の構成によれば、解析者が予め作成した要素分割データを有する入力分割領域を入力して入力データとして与える。そして、この入力分割領域以外の解析領域を、入力分割領域で与えられた分割要素と整合するように自動的に要素分割を行う。このようして、解析者の要素分割に対する要求が正確に要素分割に反映される。
【００４９】
上述した本発明の他の構成によれば、分割処理において解析領域の次元数よりも１次元以上低い低次元の要素が入力され、この低次元要素が新たに作成される要素の節点や、辺、面の一部として使用される。このようにして、解析者による粗密づけ等の要求を満たすことができる。
【００５０】
【実施例】
以下に添付の図面参照して、本発明の好適な実施例について説明する。
【００５１】
＜実施例１＞
図１は、本実施例における要素分割装置の概略の制御構成を表すブロック図である。同図において、１はＣＰＵであり、ＲＯＭ２に格納された制御プログラムを実行することにより各種の制御を実行する。２はＲＯＭであり、ＣＰＵ１が実行する制御プログラムを格納する。図２のフローチャートで後述する手順を実現するための制御プログラムも、このＲＯＭ２に格納される。３はＲＡＭであり、ＣＰＵ１が各種の処理を実行する際の作業領域として用いられる。ＲＡＭ３は、後述の要素分割処理の過程において用いられる３つの領域（領域Ａ，領域Ｂ，領域Ｃ）を有する。これらの領域については、後述する。
【００５２】
４は入力部であり、キーボードやポインティングデバイスから構成され、解析領域等の入力を行う。５は表示部であり、要素分割処理の過程や結果の表示を行う。６はシステムバスであり、上述の各構成を接続し、相互にデータのやりとりを可能としている。
【００５３】
図２は、実施例１の分割処理手順を表すフローチャートである。図３及び図４は、実施例１の分割処理における処理の過程を説明する図である。
【００５４】

図３（ａ）は入力データである解析領域３１および要素分割図（図中のハッチング部分出あり、以後入力データ分割図３２’と称する）である。本要素分割図は、あらかじめ解析者が一般的な領域分割法等を用いて作成したものである。ここでは構造物の内部を円弧の径方向に薄く６層に４辺形要素に分割している。この入力データを用いて、以下のプロセスを実行することによって未要素分割部分を自動的に要素分割することができる。

【００５５】

（１）ステップＳ１において、一般的な４分木法と同様に解析領域の格子への分割を再帰的に実行し、細かな格子に分割していく。このとき、各格子について更に細かく分割していくかどうかの判断基準は、「図１２のステップＳ１００１で説明したように、当該格子が構造物の輪郭線の一部もしくは全てを内含しているか」及び「当該格子が入力データとして与えた要素分割図（入力データ分割図３２’）の自由辺の一部もしくは全てを内含しているか」である。すなわち、入力データ分割図３２’の自由辺の一部もしくは全てを内含する格子を更に細かく再分割していく。再分割の細かさとしては、格子の１辺が、格子の１辺の長さが内含する自由辺よりも短くなるかまたは短くなる１つ手前が望ましい。本処理により図３の（ｂ）が得られる。

【００５６】

（２）続いて、ステップＳ２において、上述したクラス差補正処理を行う。この処理により図３（ｃ）を得る。また、図３においては示されていないが、構造物において要素分割されていない部分については、上述の図１２のステップＳ１００３の如く格子点の移動を行う（ステップＳ３）。

【００５７】

（３）作成した格子のうち、入力データ分割図３２’の要素の一部または全てを含まない格子を選択し、該格子から要素を発生させる。この状態を、図３（ｄ）の破線で表す。このようにして発生した要素は、入力データ分割図３２’の要素と共にＲＡＭ３の領域Ｃに格納する（ステップＳ４）。

【００５８】

（４）次に、入力データ分割図３２’の自由辺の一部もしくは全てを内含する格子を抽出し（図３（ｄ）のハッチング部）、これら抽出された各格子の自由辺（格子どうしで共有されない辺を要素の場合と同様自由辺と呼ぶ）上の節点（図４（ａ）において白丸で示す）と入力データ分割図３２’の自由辺上の節点（図４（ａ）において黒丸で示す）をＲＡＭ３の領域Ａに格納する（ステップＳ５）。

【００５９】

（５）更に、入力データ分割図３２’の自由辺を抽出し、これをＲＡＭ３の領域Ｂに格納する（ステップＳ６）。

【００６０】

（６）領域Ｂに格納された個々の辺について、その両端の節点と領域Ａに格納された節点のうちの１つの計３点から構成される３角形のうち、以下の条件を満たし、かつ前述の［１］式におけるφが最小となるものを新たな要素として領域Ｃに追加格納する。ここで、新たな要素が満たすべき条件とは、

・（４）で抽出した格子の内部に含まれる.

・すでに領域Ｃに記憶されている要素と重複領域を持たない.

である。この結果図４（ｂ）においてハッチングで示した要素が領域Ｃに新たに追加される（ステップＳ７）。

【００６１】

（７）領域Ｃに記憶された要素（図４の（ｃ）の斜線部）の自由辺を抽出する。そして、ここで抽出された自由辺でもって領域Ｂを書き換えて、上述の（６）の処理を行う。これにより図４（ｃ）におけるハッチング部分の要素が、新たに領域Ｃに格納される。このような処理を領域Ｃに新たに追加される要素がなくなるまで繰り返す（ステップＳ８とステップＳ６）。

【００６２】

以上の処理により解析領域が要素で満たされ、要素分割図（図４（ｄ））を得る。

【００６３】

なお上記プロセス（３），（４）において、格子が入力データ分割図３２’の要素等の自由辺の一部を含むか否かの判断において、格子の大きさを格子の重心を中心に所定倍率で拡大し、その拡大された格子の中に要素（自由辺）が存在すれば要素（自由辺）を含むというように判断してもよい。このようにすれば、入力データ分割図のまわりに発生する扁平な要素の発生を抑えることができる。このことを図５を用いて説明する。

【００６４】

図５は、格子拡大による自由辺の含有判断による効果を説明する図であり、本実施例の要素分割方法を適用して要素分割を行っている途中の段階を示す。図中、e_0 は１次元要素、K_1 ～K_4 は格子、e_1 ～e_5 及びe_{11}～e_{12}は発生する要素、N_1は格子点の１つを示す。上述の処理過程（３）及び（４）における１次元要素を含むか否かの判定において、図５の（ａ）は格子の大きさを拡大しない場合、同図（ｂ）は格子の辺の大きさを１．５倍に拡大して１次元要素の内含を判定した場合に作成される要素分割図の要素を示している。

【００６５】

（ａ）では、格子K_2 は要素e_0 を含まないと判定したため、上述の処理（３）において、３角形要素に分割される。このため、N_1 は処理（４）において、格子どうしで共有されない辺上の点として、領域Ａに格納される。その結果、一部に偏平な要素（e_5 ）が発生している。

【００６６】

一方、（ｂ）では、格子K_2 をその重心を中心として１．５倍に拡大する（同図において、K_2 ’で示す）ことにより、要素e_0 を含むと判定される。このため、処理（４）において、要素に分割されず、格子のまま残る。従って、N_1 は格子どうしで共有される辺上の点となり、処理（５）において領域Ａに格納される点として抽出されることはない。この結果、１次元要素e_0 に近接する点（N_1 ）がないため、処理（７）で作成した要素には、上述の（ａ）の場合と異なって、偏平な要素はない。

【００６７】

このように、格子が要素の一部を含むか否かを、格子の大きさを格子の重心を中心にして拡大して判定することにより、偏平な要素の発生を抑えることが可能である。そして、このときの拡大の比率は、１～２倍程度が好ましい。

【００６８】

なお、本自動要素分割により得られた要素分割図は近接要素間の要素の大きさの変化がスムーズでない場合が多い。そこで、入力データ分割図以外の要素については、従来法と同様にスムージングの操作を施すことが望ましい。

【００６９】

以上、２次元の場合についての適用例を示したが、本方法は３次元解析モデルの作成にも容易に拡張することができる。すなわち、上記処理において、格子を立方格子、自由辺を自由面（複数の要素に共有されない要素の面を自由面と呼ぶ）、辺を面に置き換え、更に上述の（６）のプロセスを次の（６）’で置き換えることにより解析領域を３次元立体要素で満たすことができる。

【００７０】

（６）’ＲＡＭ３の領域Ｂに格納された面について、その面を構成する３頂点と、領域Ａに格納された節点のうちの１つの計４点からなる４面体のうち、

・（４）で抽出された立方格子の内部に含まれる．

・すでにメモリＣに記憶されている要素と重複領域を持たない．

という条件を満たし、かつ、

$$\phi' = (\pi/4-\alpha)^2 + (\pi/4-\beta)^2 + (\pi/4-\gamma)^2 + (\pi/4-\delta)^2 \quad \cdots [2]$$

（但し、α，β，γ，δは４頂点における立体角（radian））
で表されるφ’が最小となるものを新たに要素として領域Ｃに記憶する。ここで入力データ分割図の自由面はすべて３角形からなっている必要がある。

【００７１】
なお２次元の場合と同様、プロセス（１）は、各格子の含む自由面の最長辺の長さが格子の１辺の長さよりも短くなったときもしくはその１つ手前とすると、入力データ分割図と本操作で作成される要素の大きさが整合してよい。

【００７２】
またプロセス（３），（４）において、格子の大きさを格子の重心を中心として１～２倍程度拡大して、その格子が要素の自由面を含むか含まないかを判断すると、２次元の場合と同様、扁平な要素の発生を抑えることができる。

【００７３】
また本実施例では、解析領域内に要素分割データだけを与えたが、従来の構造物の輪郭線も与えて要素分割を行うことも容易であることは言うまでもなく、上述のステップＳ３の節点移動はこれを考慮したものである。

【００７４】
尚、本実施例では要素分割図を１ブロックだけとした。しかし本方法によれば、いくつかの部品からなる構造物を部品ごとに要素分割しておき、最後に本方法により１つの要素分割図として作成することも容易である。こうすることにより、部品個々の形状変更等に容易に対応できる。

【００７５】
以上説明したように、本実施例１によれば、入力データ分割図による要素がそのまま保存されるので、使用者の意図を反映した要素分割が可能である。また、本実施例１における計算時間，使用メモリの増加は、一般的な４分木／８分木法に比べてほとんど変わらない。

【００７６】
＜実施例２＞
次に実施例２について説明する。本実施例２における要素分割装置の概略の構成は実施例１（図１）と同様であり、ここでは説明を省略する。

【００７７】
図６は、実施例２の要素分割処理の手順を表すフローチャートである。前述の図３の（ａ）と同様の２次元平面モデルについて要素分割を行うプロセスを例に挙げて説明する。

【００７８】
図７及び図８は本実施例２における要素分割の処理過程を説明する図である。図７の（ａ）は入力データである解析領域３１および要素分割図（ハッチング部分）である。本要素分割図は、図３の（ａ）と同様に、あらかじめ解析者が一般的な領域分割法等を用いて作成したものであり、構造物３２の内部を円弧の径方向に薄く６層に４辺形要素に分割している。この入力データを用いて以下のプロセスを実行することによって、要素への未分割部分を自動的に要素分割することができる。

【００７９】
（１）図７の（ａ）の如き解析領域境界を適当な長さの辺に分割し、分割された辺の両端に節点を発生し、これをＲＡＭ３の領域Ａに格納する（ステップＳ１１）。更に、入力データ分割図３２’の自由辺上の節点を領域Ａに格納する（ステップＳ１２）。以上の処理により、図７の（ａ）において黒丸で示される節点が領域Ａに格納される。更に、これらの適当な長さに分割された解析境界の辺（即ち、節点で区切られた解析境界上の辺）と、入力データ分割図３２’の自由辺とをＲＡＭ３の領域Ｂに記憶する（ステップＳ１３）。

【００８０】
（２）領域Ｂに格納された辺の１つをとりだす。そして、領域Ａに格納された節点のうち、この辺の両端の節点とともに３角形を構成する。複数の３角形が得られる場合は、各３角形の３つの内角をα，β，γ(radian)として前述の［１］式で決定されるφが最も小さ

くなる３角形を選び、この３角形を要素としてＲＡＭ３の領域Ｃに格納する。
【００８１】
（３）（２）の操作を領域Ｂに格納されたすべての辺について繰り返す。なお要素を新たにメモリＺに記憶する段階で、該要素が既に記憶されている要素と重複領域を持たないことを確認し、重複領域を持たない要素のうちでφが最も小さいものを記憶するようにする。
【００８２】
（４）領域Ｃに格納された全ての要素の辺のうち、複数の要素に共有されていない辺（即ち、自由辺）を抽出する。ここで抽出された自由辺を領域Ｂに格納し、上述の（２），（３）の操作を行う。
【００８３】
（５）（４）の処理を新たに領域Ｃに記憶される要素がなくなるまで繰り返す。これによって図７の（ｂ）を得る。以上（２）～（５）の処理は図６のステップＳ１４の処理に相当する。
【００８４】
（６）領域Ｃのすべての要素のうち、［１］式φが最も大きな要素の重心に新たな節点５ｃ１（図８（ａ）参照）を発生する。そして、領域Ｃ内のすべての要素のうち、節点５ｃ１をその外接円の内部に有する要素を領域Ｃから削除する。すなわち、図８（ａ）においては、要素５ｃ２，５ｃ３，５ｃ４が削除される。その後、節点５ｃ１を頂点とする要素５ｄ１～５ｄ５を生成し、新たに領域Ｃに格納する（図８（ｂ）を参照）。
【００８５】
（７）（６）の処理を要素が十分細かくなるまで繰り返す。（以上（６）及び（７）の処理は、ステップＳ１５に相当する。ただし、（６），（７）の処理において、入力データ分割図３２’については細分割を行わない。
【００８６】
以上説明したように、実施例２によれば、従来のデラウニ法を用いた自動分割の長所を継承し、かつ、主要部分にユーザの意志を反映させた要素分割図を得ることができる。
【００８７】
尚、本実施例２における処理手順は、３次元要素分割にも容易に拡張できることは明かである。すなわち、構造物の表面を適当に分割していたものを入力データ分割図の自由表面に分割し、デラウニ法において３次元形状モデルに拡張したのと同様の手法を用いる。これによって、入力データ分割図以外の領域も自動的に４面体要素で満たすことができる。
【００８８】
以上説明したように、実施例１及び実施例２によれば、解析者の要求を正確に反映した要素分割図が自動的に得られる。特に、両実施例においては、入力データ分割図が円周に沿った方向に規則的であり、且つ扁平な要素となっている。両実施例では、このような入力データ分割図を用いることで、径方向に多層に分割しているにもかかわらず要素数は少ないというような要素分割図の作成を実現しているが、これは従来の方法では作成できないものであった。
【００８９】
又、上記実施例１，２によれば、薄板状のモデルについても、扁平な要素を使用した分割図を入力データとして与えることにより、少ない要素数で分割することが可能となる。
【００９０】
又、上記実施例１，２により作成される要素分割図の入力データ分割図と新たに作成される分割図の間の要素の大きさの変化はスムーズであり、良好な要素分割図を得ることができる。
【００９１】
しかも、上記実施例１，２では、基本部分で従来の自動分割アルゴリズムを使用することが可能であり、従来の方法に比較し、計算時間，使用メモリはほとんど増加しない。
【００９２】

更に、本実施例１，２によれば、複数の部品からなる構造物を部品ごとに独立に要素分割し、これら複数の要素分割データから、それらをまとめた１つの要素分割図を自動的に作成することも可能となる。

【００９３】

＜実施例３＞

実施例３の要素分割装置は、所望の粗密づけにて要素分割を作成するとともに、任意の位置に節点を発生することを可能とするものである。尚、ここでは、１本の線分からなる要素を１次元要素、全節点が２次元面上にある薄板状の要素を２次元要素、体積を持ち３次元形状をした要素を３次元要素と呼ぶ。

【００９４】

実施例３の要素分割装置の概略構成は実施例１（図１）と同様であり、ここではその説明を省略する。但し、ＲＡＭ３は領域Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄを備える。各領域については以下で説明する。

【００９５】

図９は実施例３の要素分割手順を表すフローチャートである。又、図１０及び図１１は実施例３の分割処理の過程を説明する図である。図１０の（ａ）は入力データを示し、５１は解析領域、５２は入力データとして与えられる１次元要素である。本１次元要素は予め解析者が一般的な周知の方法を用いて作成したものである。ここでは、構造物の外形線を、要素の長さを変化させて分割し、１次元要素で表している。このような入力データに対して以下のプロセスを実行することにより、解析領域を自動的に有限要素に分割することができる。

【００９６】

（１）一般的な４分木法と同様に解析領域を格子に分割する。これを再帰的に行うことで、細かな格子に分割していく。このとき、格子を再分割する判定基準として、構造物の輪郭線の内含に加え、入力データとして与えた１次元要素の内含を考慮する。即ち、１次元要素の一部もしくは全てを内含する格子に対して更に細かく再分割を行う。再分割の細かさとしては、格子の１辺が、格子が交差または内含する１次元要素の長さよりも短くなるところ、もしくはその１つ手前が望ましい。このように再分割することにより、作成される要素分割図において、近接要素間の要素の大きさの変化をスムーズにすることができる。以上の処理は、図９のステップＳ２１に相当するものであり、本処理により、図１０の（ｂ）が得られる。

【００９７】

（２）続くステップＳ２２において、クラス差補正処理を行い、図１０の（ｃ）を得る。

【００９８】

（３）更に、ステップＳ２３では、一般的な４分木法と同様に構造物近傍の格子点を構造物表面に移動する。但し、図１０のモデルでは、構造物の外形線を与えていないので、本処理は実行しない。

【００９９】

（４）ステップＳ２４において、上述の各処理により作成された格子のうち、１次元要素の一部又は全体を含まない格子を抽出し、該格子から要素を発生させる（図１０の（ｄ）参照）。本処理により発生した要素は、ＲＡＭ３の領域Ｃに格納される。

【０１００】

（５）次に、ステップＳ２５において、入力データとして与えた１次元要素の一部または全体を含む格子を抽出し、ＲＡＭ３の領域Ｄに格納する。更に、以下の如き格子点及び節点を抽出し、ＲＡＭ３の領域Ａに格納する。ここで、領域Ａに格納される節点とは、

・領域Ｄに格納された各格子の辺のうち、格子どうしで共有されない辺上の節点（図１０の（ｄ）において白丸で示される点）のうち解析境界上の節点を除いたもの.

・領域Ｄに格納された格子の格子点のうち、１次元要素を構成する節点との最小距離が格子の１辺以上である格子点（図１０の（ｄ）において、白三角で示される点）.

・１次元要素を構成する節点（図１０の（ｄ）において黒丸で示される点）.

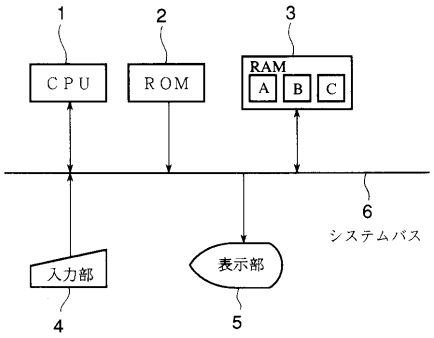
である。
【０１０１】
（６）次に、ステップＳ２６において、１次元要素の辺をＲＡＭ３の領域Ｂに格納する。
【０１０２】
（７）ステップＳ２７では、領域Ｂに格納された個々の辺について、その両端の節点と、領域Ａに格納された節点のうちの１つとの計３点から構成される３角形のうち、以下の条件を満たし、かつ前述の（１）式のφが最小となるものを新たに要素として領域Ｃに追加する。ここで、満たされるべき条件とは、
・領域Ｄに格納されている格子（１次元要素の一部または全体を含む格子）の内部に含まれること.
・すでに領域Ｃに記憶されている要素と重複領域を持たないこと.
であり、この結果、各１次元要素から図１１の（ｂ）の矢印で示した要素が作成され、その結果、ハッチングで示した要素が領域Ｃに新たに追加される.
（８）ステップＳ２８では、先のステップＳ２６及びステップＳ２７の処理により新たな要素が発生したか否かを判定し、発生していなければ本処理を終了する。
【０１０３】
（９）ステップＳ２８において、新たな要素が発生している場合は、ステップＳ２６に戻る。この場合のステップＳ２６及びステップＳ２７においては以下の如き処理が実行される。即ち、、
・領域Ｃに格納された要素の辺のうち、複数の要素によって共有されていない辺を抽出する.
・抽出した辺で領域Ｂの内容を書き換え、上述の（７）の処理を行う.
という処理である。以上の処理を領域Ｃに新たに追加される要素がなくなるまで繰り返す（ステップＳ２６～ステップＳ２８）。これにより、図１１の（ｃ）においてハッチングで示される要素が新たに領域Ｃに格納される。以上のようにして図１１の（ｄ）の如き要素分割図が得られる。
【０１０４】
尚、上記の処理において、領域Ｃ中に、入力データとして与えた１次元要素は含めない。
【０１０５】
尚、上記処理（４）、（５）における、格子が１次元要素の一部または全体を含むか否かの判定において、前述の実施例１と同様に、格子の大きさを格子の重心を中心に拡大し、その中に要素が存在すれば当該格子が要素を含むと判定するようにすれば、１次元要素のまわりに発生する偏平な要素の発生を抑えることができる。これは、図５により実施例１で説明したのでここでは省略する。
【０１０６】
以上説明したように、本実施例３によれば、要素分割図の粗密づけを行うに際して、入力データにより１次元要素を所望の長さに区切って指定することができ、入力された１次元要素に基づいた要素分割が行われる。このため、要素分割において、解析者による所望の粗密づけを行うことができる。
【０１０７】
また、ここでは２次元モデルにおいて１次元要素のみを入力データとして含めた例を示したが、０次元要素（節点）を含めてもよい。このとき上記処理（１）～（４）において、本０次元要素を含む格子については要素分割を実行せず、（５）の処理で領域Ａに格納する格子点及び節点にこの０次元要素を加える。このようにすることで、要素分割に際して所望の位置に節点を発生することが可能となる。従って、更に粗密づけの指定をきめ細かに行うことができる。
【０１０８】
尚、本自動要素分割方法により得られた要素分割図は、近接要素間の要素の大きさの変化がスムーズでない場合が多い。そこで、入力データとして与えた要素分割図の節点以外の節点については、一般的な要素分割手法と同様に節点の移動を行い、スムージング処理を

施すことが望ましい。
【０１０９】
本要素分割法に修正４分木法の如き手法（格子の各辺の中点を輪郭線上に移動の対象とする）を適用することが可能であることは明かである。又、構造解析のような構造物のみを分割する分割モデルについても、本実施例の要素分割方法を適用できることは言うまでもない。
【０１１０】
＜実施例４＞
上記実施例３では、２次元の場合についての要素分割を示したが、本方法は３次元要素分割図の作成に拡張することも可能である。ここでは、その方法について説明する。
【０１１１】
３次元要素分割へ適用するには、上述の実施例３で示した手順において、格子を立方格子、１次元以下の要素を２次元以下の要素に置き換え、以下の処理を行うことにより、解析領域を３次元立体要素（４面体要素）で満たすことが可能である。
【０１１２】
（１）解析領域を再帰的に立方格子に分割する。このとき、構造物の表面の全てもしくは一部を内含する格子に加え、入力データとして与えた２次元以下の要素の一部もしくは全てを内含する格子について、更に細かく再分割していく（図９のステップＳ２１に相当）。
【０１１３】
（２）クラス差補正処理を行う（ステップＳ２２に相当）。
【０１１４】
（３）構造物近傍の格子点を構造物表面の点に移動する（ステップＳ２３に相当）。
【０１１５】
（４）作成した格子のうち、２次元以下の要素の一部または全体を含まない格子を抽出し、該格子から３次元要素を発生させる。こうして発生した３次元要素は領域Ｃに格納される（ステップＳ２４に相当）。
【０１１６】
（５）２次元以下の要素の一部または全体を含む格子を抽出し、領域Ｄに格納する。また、以下の如き格子点及び節点を抽出し、これを領域Ａに格納する。ここで領域Ａに格納される格子点及び節点は、
・領域Ｄに格納された格子の、格子どうしで共有されない面上の節点.
・領域Ｄに格納された格子の格子点のうち、２次元以下の要素を構成する節点との距離が格子の１辺以上である格子点.
・２次元以下の要素を構成する節点.
である（ステップＳ２５に相当）。
【０１１７】
（６）２次元要素の面を領域Ｂに格納する（ステップＳ２６に相当するが、但し、「辺」は「面」に置き換える）。
【０１１８】
（７）領域Ｂの個々の面について、その面を構成する３頂点と、領域Ａに格納された節点のうちの１つの計４点からなる４面体のうち、
・領域Ｄの立方格子の内部に含まれる.
・すでに領域Ｃに格納されている要素と重複領域を持たない.
という条件を満たし、かつ上述の［２］式で計算されるφ’が最小となるものを新たに要素として領域Ｃに格納する（ステップＳ２７に相当する）。
【０１１９】
（８）領域Ｃに格納された要素の面のうち、他の要素と共有された面を抽出する。抽出した面を領域Ｂの内容と置き換え、（７）の処理を行う。本処理を領域Ｃに新たに追加される要素がなくなるまで繰り返す（ステップＳ２８、ステップＳ２６、ステップＳ２７に相

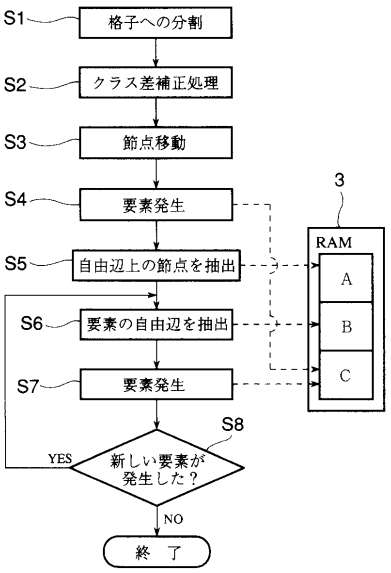
当する）。
【０１２０】
尚、上述の処理において、領域Ｃ中に、入力データとして与えられた２次元以下の要素は含めない。また、ここで入力データとして与えた２次元要素は、全て３角形からなっている必要がある。
【０１２１】
尚、２次元モデルの場合と同様、（１）の処理は、格子の１辺の長さが、該格子が交差／内含する１、２次元要素の最長編の長さよりも短くなる１つ手前、もしくはそれよりも短くなるまで行うと、入力データ分割図と本処理で作成される要素の大きさが整合するので好ましい。
【０１２２】
また、上述の（４）及び（５）の処理において、格子の大きさを、格子の重心を中心として、例えば１～２倍に拡大して、その格子が要素の２次元以下の要素を含むか否かを判定すると、２次元の場合と同様に偏平な要素の発生を押さえることができる。
【０１２３】
さらに、本実施例４において、修正８分木法の如き手法が適用可能であることは２次元モデルの場合と同様である。
【０１２４】
以上説明したように、上述の実施例３および４によれば、
・要素分割図の粗密づけに対して、要素の寸法まで制御できる.
・任意の位置に節点を発生できる.
・作成される要素分割図の要素の大きさの変化はスムーズである.
という効果が得られ、解析者の要求を満たす要素分割図が自動的に得られるようになる。更に、本実施例では、計算時間および使用メモリーは、従来の方法と比較してもさほど変化しない。
【０１２５】
尚、本発明は、複数の機器から構成されるシステムに適用しても、１つの機器から成る装置に適用しても良い。また、本発明はシステム或は装置にプログラムを供給することによって達成される場合にも適用できることは言うまでもない。
【０１２６】
【発明の効果】
以上説明したように、本発明によれば、解析者の要素分割に対する要望をできるだけ取り込んだ要素分割図を自動的に作成することが可能となる。
【図面の簡単な説明】
【図１】本実施例における要素分割装置の概略の制御構成を表すブロック図である。
【図２】実施例１の分割処理手順を表すフローチャートである。
【図３】実施例１の分割処理における処理の過程を説明する図である。
【図４】実施例１の分割処理における処理の過程を説明する図である。
【図５】格子拡大による自由辺の含有判断による効果を説明する図である。
【図６】実施例２の要素分割処理の手順を表すフローチャートである。
【図７】実施例２における要素分割の処理過程を説明する図である。
【図８】実施例２における要素分割の処理過程を説明する図である。
【図９】実施例３の要素分割手順を表すフローチャートである。
【図１０】実施例３の分割処理の過程を説明する図である。
【図１１】実施例３の分割処理の過程を説明する図である。
【図１２】一般的な４分木法の処理過程を示すフローチャートである。
【図１３】一般的な４分木法の処理状態の一例を表す図である。
【図１４】一般的な４分木法の処理状態の一例を表す図である
【図１５】一般的な修正４分木法における格子パターンを表す図である
【図１６】一般的なデラウニ法を用いた自動要素分割のフローチャートである。

【図１７】一般的なデラウニ法による分割の過程を説明する図である。
【符号の説明】
１　ＣＰＵ
２　ＲＯＭ
３　ＲＡＭ
４　入力部
５　表示部
６　システムバス
３１　解析領域
３２　構造物
３３　空間部分

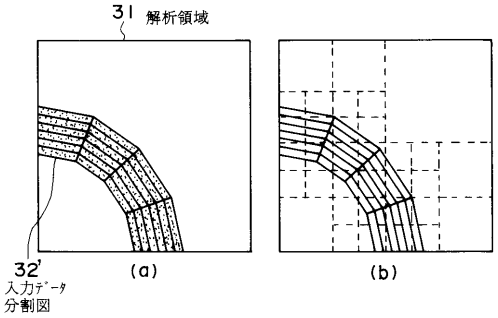
【図１】

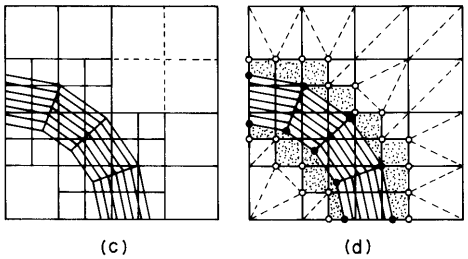


【図２】

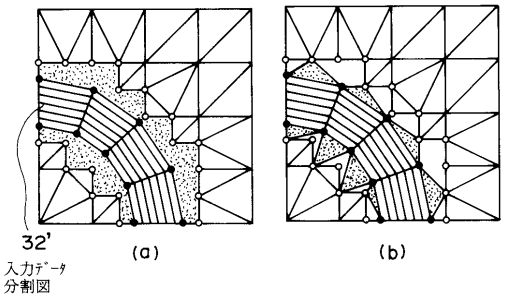


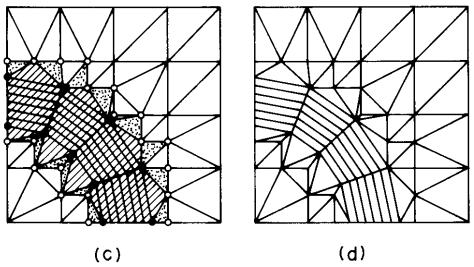
【図３】


31 解析領域
32'
入力ﾃﾞｰﾀ
分割図
(a)
(b)

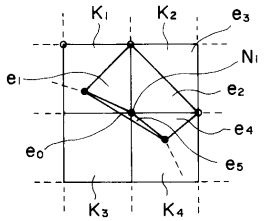

(c)
(d)

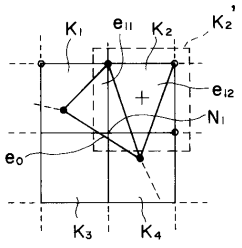
【図４】


32'
入力ﾃﾞｰﾀ
分割図
(a)
(b)

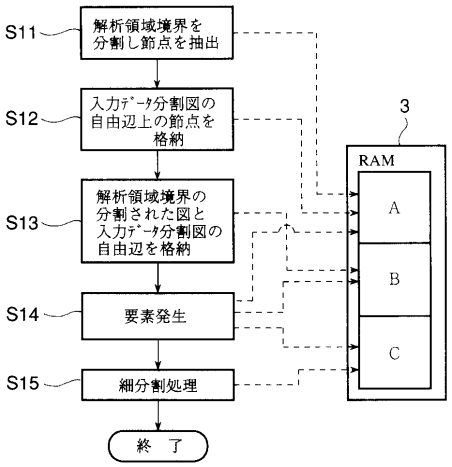

(c)
(d)

【図５】

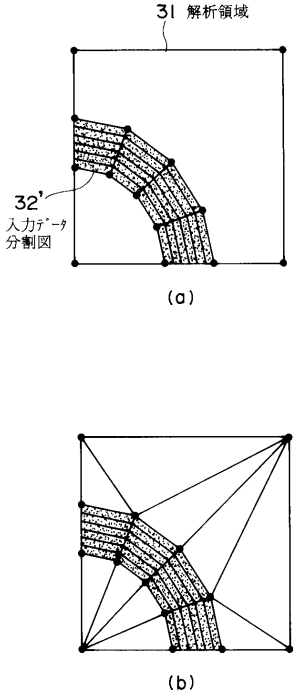

K1
K2
e3
N1
e1
e2
e4
e0
e5
K3
K4
(a)


K1
e11
K2
K2'
e12
N1
e0
K3
K4
(b)

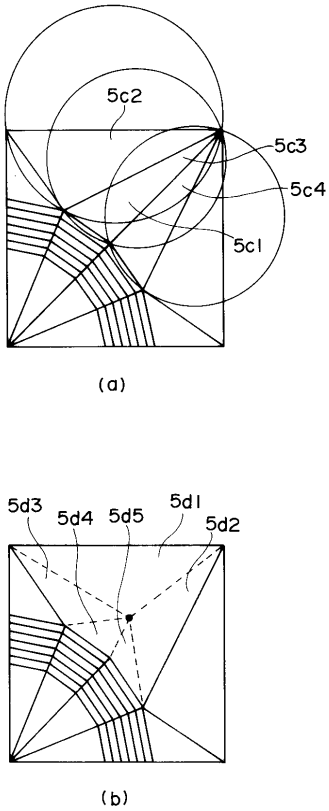
【図６】


S11
解析領域境界を
分割し節点を抽出
S12
入力ﾃﾞｰﾀ分割図の
自由辺上の節点を
格納
S13
解析領域境界の
分割された図と
入力ﾃﾞｰﾀ分割図の
自由辺を格納
S14
要素発生
S15
細分割処理
終 了
3
RAM
A
B
C

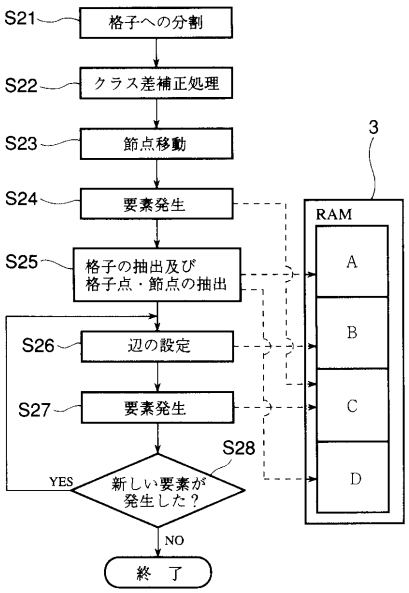
【図７】


31 解析領域
32'
入力データ
分割図
(a)
(b)

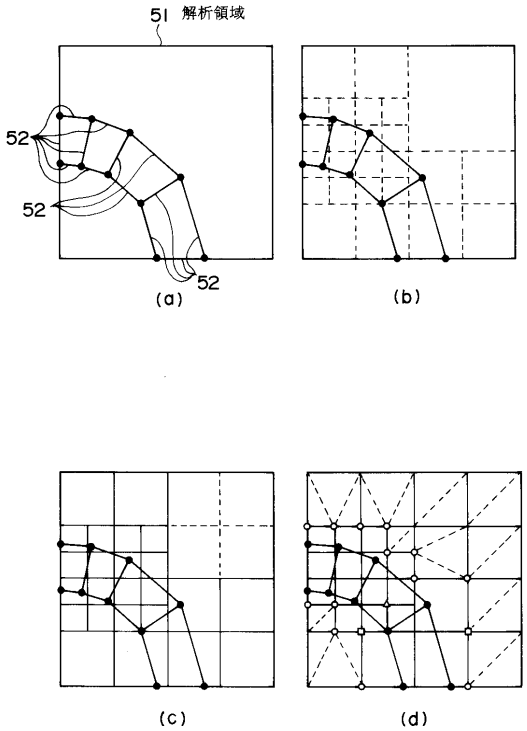
【図８】


5c2
5c3
5c4
5c1
(a)
5d3
5d4
5d5
5d1
5d2
(b)

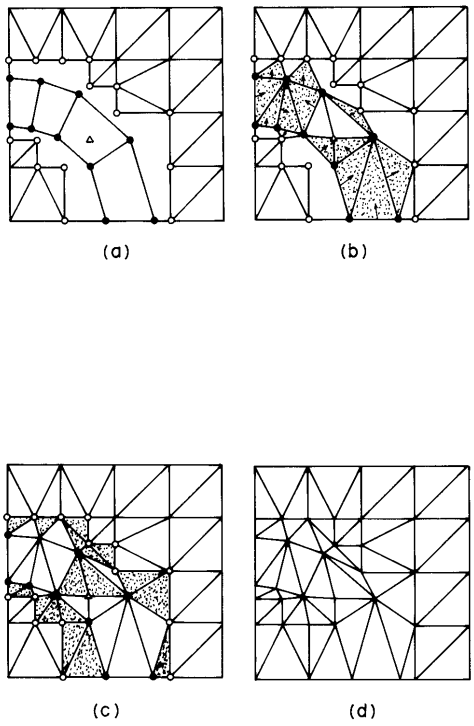
【図９】


S21
格子への分割
S22
クラス差補正処理
S23
節点移動
S24
要素発生
S25
格子の抽出及び
格子点・節点の抽出
S26
辺の設定
S27
要素発生
S28
YES
新しい要素が
発生した？
NO
終 了
3
RAM
A
B
C
D

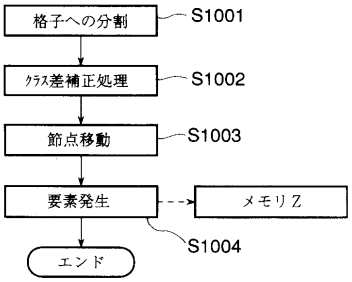
【図１０】


51 解析領域
52
52
52
(a)
(b)
(c)
(d)

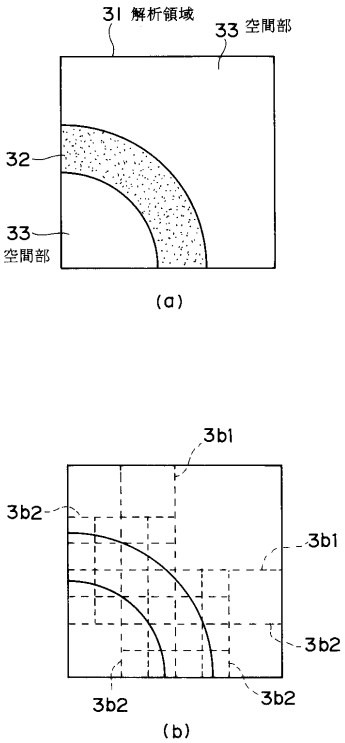
【図１１】



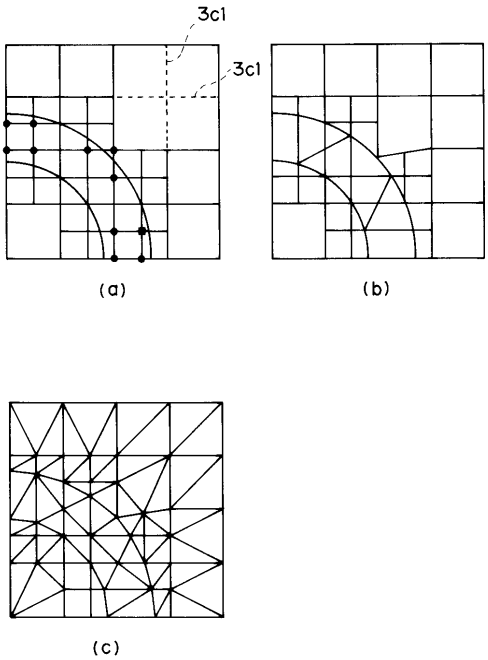
【図１２】



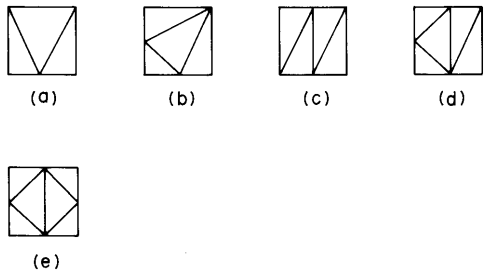
【図１３】



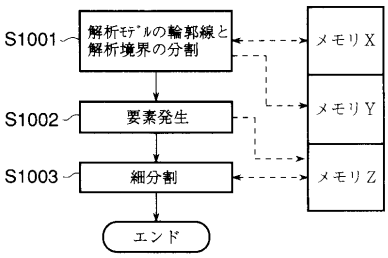
【図１４】



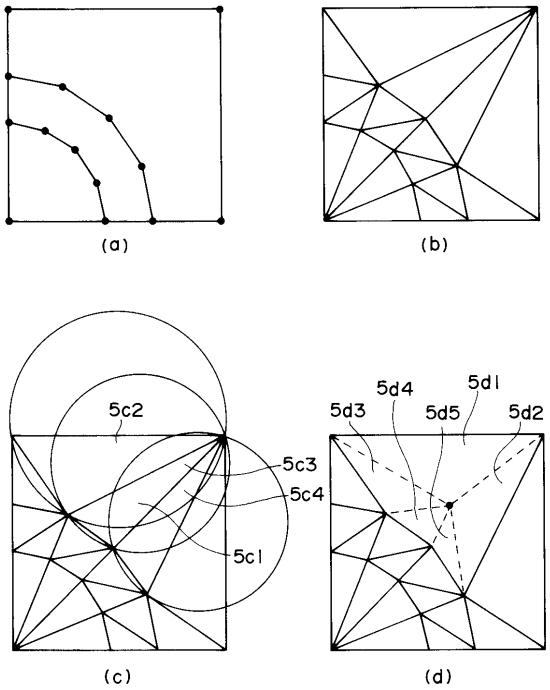
【図１５】


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)

【図１６】


S1001
解析ﾓﾃﾞﾙの輪郭線と解析境界の分割
S1002
要素発生
S1003
細分割
エンド
メモリX
メモリY
メモリZ

【図１７】


(a)
(b)
5c2
5c3
5c4
5c1
(c)
5d4
5d1
5d3
5d5
5d2
(d)

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.[7], ＤＢ名)
G06F 17/50