

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第2部門第2区分

【発行日】平成21年8月6日(2009.8.6)

【公表番号】特表2002-530197(P2002-530197A)

【公表日】平成14年9月17日(2002.9.17)

【出願番号】特願2000-582863(P2000-582863)

【国際特許分類】

B 2 1 D	22/00	(2006.01)
B 2 1 D	22/02	(2006.01)
B 2 1 D	37/20	(2006.01)
G 0 6 F	17/13	(2006.01)
G 0 6 F	17/50	(2006.01)

【F I】

B 2 1 D	22/00	
B 2 1 D	22/02	E
B 2 1 D	37/20	Z
G 0 6 F	17/13	
G 0 6 F	17/50	6 1 2 H
G 0 6 F	17/50	6 8 0 C

【誤訳訂正書】

【提出日】平成21年6月17日(2009.6.17)

【誤訳訂正1】

【訂正対象書類名】明細書

【訂正対象項目名】発明の詳細な説明

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【発明の詳細な説明】

【0001】

(発明の属する技術分野)

本発明は、一般に変形可能な材料の成形法に関する。更に詳しくは、本発明は、金属板を有用な物品に成形する方法に関し、この成形法では、有限要素解析(FEA)法に依存する数学的モデルを用いて、成形用具を設計し、これにより、成形操作、成形用具の設計および成形済み物品の製品性能を最適化することができる。

【0002】

(従来の技術)

一般に多くの物品の製造は、素材を、スタンピングしたり、プレスしたり、ポンチングして、有用な形態と機能を有する製品に変形することによってなされる。本発明は、素材の流動／変形のメカニズムを数学的にモデル化する方法に関する。特に本発明は、アルミニウム板などの金属板を、成形用具やダイによって変形して、飲料用容器や自動車用部材などの種々の製品を製造する方法に関する。

【0003】

飲料用容器などの製品の形態を設計する際、板材のブランクに対し変形過程が及ぼす影響を理解することが、重要である。有限要素解析コードは、種々の会社から入手でき、これらのコードを用いて、塑性や流動性や変形特性を解析し、これにより、成形操作や成形用具の設計や製品の性能などを最適化することができる。このようなモデル化によって、製品の品質改善やコスト低下を達成可能な成形用具が得られる。かかる有限要素解析モデルによる予測可能性は、その材料挙動の記述方法に大きく依存する。

【0004】

変形過程をモデル化する際、その複雑性を評価するには、降伏応力や加工硬化や歪経路などの概念を含め、力学的冶金学についての基本的概念を理解することが、評価の助けることとなる。

【 0 0 0 5 】

金属は、引張試験用装置のような、ある種の外力負荷装置によって変形すると、金属の初期変形は、弾性的であって、応力と歪とは、直線の関係を示す。金属の変形は、金属の微結晶構造に依存するが、所定の応力値において、塑性変形が始まって、弾性変形に加えて、塑性変形から構成され、非直線的となる。本明細書に用いられる「降伏応力」なる用語は、塑性変形の開始状態における金属の強度を意味する。

【 0 0 0 6 】

降伏応力を超えた変形は、加工硬化によって特徴付けられ、この加工硬化によって、応力は、継続的に減少する速度で、破壊メカニズムが開始して試料が破壊するまで、増加する。すなわち、降伏応力値と加工硬化曲線とは、金属の塑性変形を定義する、2つの基本的要件である。

【 0 0 0 7 】

金属を成形して、容器や自動車用部材のような、工業製品や消費財を製造する際、この成形は、多軸方向の歪条件下に実施され、上記引張試験のような単純な一軸性の経路条件下になされるものではない。このような場合、変形曲線は、歪経路によって描写される。この歪経路は、塑性歪テンソルによって定義される。

【 0 0 0 8 】

テンソルは、種々の物理的特性を記述するのに有用な数学的要素である。大半の物理的特性は、スカラー、ベクトルまたはテンソルのいずれかによって表現することができる。

【 0 0 0 9 】

スカラー量は、温度や質量のように、単一の数値で特定しうる量である一方、ベクトル量は、速度や力のように、2つの値、例えば大きさと方向とを必要とする量である。

【 0 0 1 0 】

テンソル量は、単一の大きさおよび方向を含め、2を超える値を必要とする高次元の数学的要素である。例えば、応力テンソルは、 3×3 の配列であって、これらの各項は、所定の面において、所定の方向に作用する応力によって定義される。変換に関し、2つの方向余弦が必要であるため、応力テンソルは、二次元テンソルである。

【 0 0 1 1 】

塑性歪（または歪速度）テンソルは、 3×3 のマトリックスとして示しうる二次元テンソルであって、主軸において、以下の式を有することができる。

$$\begin{matrix} a & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & c \end{matrix}$$

【 0 0 1 2 】

塑性歪テンソルに関し、共通の歪経路およびそれに関連する数値は、次のとおりである。

歪経路	a	b	c
一軸性テンソル	-0.5	1	-0.5
一軸性圧縮	0.5	-1	0.5
二軸性テンソル	0.5	0.5	-1
平面歪テンソル	0	1	-1
平面歪圧縮	0	-1	1

【 0 0 1 3 】

一軸性応力-歪曲線の概念は、有効応力および有効歪（ ϵ_{eff} および ϵ_{eff} ）の定義によって、多軸塑性まで拡大することができる。これら有効応力および有効歪は、応力および

塑性歪テンソルの各成分の関数である。次に、降伏応力および加工硬化の概念も、一軸性応力-歪曲線の σ_{eff} および ϵ_{eff} に代えて、 σ_{eff} および ϵ_{eff} を使用することによって、多軸条件まで拡大することができる。

【 0 0 1 4 】

具体的には、有効応力は、応力テンソルの二次不变数によって得られ、塑性は、 J_2 またはフォンマイセス (von Mises) と呼ばれている。

【 0 0 1 5 】

異方的金属板に関し、その塑性特性は、方向または歪経路に依存せずに、一軸性応力-歪曲線が、異方的金属板の製品への成形を特徴付けるのに必要なものの全てである。ただし、アルミニウム板は、圧延すると、ある種の力学的特性が全ての方向で同一ではない点で、異方性を示す。

【 0 0 1 6 】

圧延済みの金属板は、異方性を示すため、その降伏応力および加工硬化は、アルミニウム板の方向および歪経路の両者に依存する。例えば、アルミニウム容器ボディ素材定尺サンプルの応力-歪曲線に関し、引張り軸に沿った圧延方向の曲線は、横断方向の曲線よりも下方に存在する。多軸応力条件下では、降伏点の概念に代えて、降伏面の概念を用いる必要がある。この降伏面は、多次元応力空間において、弾性応答と塑性応答との間の境界を定義する。

【 0 0 1 7 】

加工硬化は、それ自体、応力起点から降伏面地点までの距離の増加として現れる。また、加工硬化速度が歪経路に依存しうることが可能にする必要がある。したがって、加工硬化は、降伏面の寸法だけでなく、その形態も変化させる。

【 0 0 1 8 】

アルミニウム板の異方性は、結晶学的組織、すなわち、アルミニウム板を構成する結晶の配向によって決定される。単結晶の特性は、異方性が非常に高いため、アルミニウム板の異方性は、この異方性を含んでなる結晶の配向分布に依存する。このため、結晶の配向分布機能 (ODF) は、アルミニウム板の基本的な特性である。結晶学的組織を使用する解析プログラムには、種々のタイプが存在する。

【 0 0 1 9 】

アルミニウム板に関し、棒状形態の結晶学的組織は、X線回折または中性子回折を用い、実験的に得ることができる。配向分布機能および重みテーブル (weight table) は、棒状形態のデータから計算することができる。後者は、特に、特定の配向を有する結晶の容積分率を定義するため、重要である。一般に、回折実験データの解析によって、少なくとも600の異なる配向についての重みを得ることができ、これらの重みは、結晶塑性計算にとって、重要な入力データである。

【 0 0 2 0 】

結晶学的組織を使用する、1つの解析法として、材料ポイントシミュレーター (material point simulator, MPS) が例示され、この解析法によれば、結晶塑性 (柔粘性) 理論を用い、特定の歪経路での少量の材料の応答を計算することができる。集合体としての応答は、そこに含まれる結晶の各々に対する、重み付き応答から計算することができる。単一の結晶降伏応力および加工硬化パラメーターは、反復法に従い、シミュレーションからの予測を、測定した応力-歪曲線 (ほぼ一軸性張力および圧縮力) に整合させることによって、決定することができる。

【 0 0 2 1 】

いざれか所望の歪経路の応力歪挙動は、単結晶の特性を決定すれば、計算することができる。この計算には、通常の加工硬化に加え、歪経路に沿った変形の間に生じる組織の変化が包含される。事実、変形後に、測定した組織と予測した組織とを比較すると、材料ポイントシミュレーターの検証の主要手段が得られる。

【 0 0 2 2 】

アルミニウム板から製品への成形法および製品性能をモデル化するのに使用される、別

の解析法は、有限要素解析（FEA）である。有限要素解析によれば、アルミニウム板を、多数の要素、一般に、単一の解析について数百の要素から、複雑な部材および成形過程について100,000またはそれ以上の要素に分割する。

【 0 0 2 3 】

また、部材成形に使用する成形用具も、メッシュ化し、そして、プラントにおいて真の成形用具により部材を製造するものとして、モデルにおいてシミュレーションした成形用具の動作によってアルミニウム板を変形し、仮想の部材を製造しうるよう、成形用具とアルミニウム板との接触を可能にさせることができる。したがって、予め、成形操作の間に各要素によって継続される歪経路を知ることも、不要であって、それは、単に、成形用具の動作に対する応答である。

【 0 0 2 4 】

素材板から製品への成形法に関し、有限要素解析を採用した事例は、次の文献に見られる：US 5,128,877, 5,379,227, 5,390,127, 5,402,366。これらの特許のうち、初めの3つは、金属板の成形用具を補助するための方法を開示しているにすぎず、この方法によれば、複数の節点および関連する要素を含め、金属板をメッシュとして表示している。コンピューターによって、塑性の増分変形理論を基準に、サンプリングポイントの応力状態を決定している（開示の「置換法」は、有限要素解析である）。第4の米国特許は、有限要素解析を用い、成形操作および粒子流動モデルをシミュレーションする方法を開示する。以上的方法は、金属板における異方的特性と、等方的特性との相違について、言及していない。

【 0 0 2 5 】

各要素の塑性特性（または、より正確には要素内の各積分地点における当該特性）は、降伏面および加工硬化原理の定義によって定義され、これらは、当該解析に必要である本質的な材料の定義を含んでなる。

【 0 0 2 6 】

大多数の有限要素解析では、前者については異方的フォンマイセス塑性を用い、後者については単一の一軸性応力-歪曲線を使用している。

【 0 0 2 7 】

成形操作の歪が金属板の実験室的キャラクタリゼーションにおいて達成されるものを（いくつかの場合では10またはそれ以上の因子で）超過し得ることに、しばしば困難がある。このような場合、有限要素解析では、成形操作の間に成形用具によって課されるものよりも過剰な歪に対する実験データを外挿することによってコードを得ることが必要である。この要件は、ささいな工程ではない。なぜなら、加工硬化は、成形操作の間、組織変化（evolution）を生じるため、歪および歪経路の両者に依存するからである。

【 0 0 2 8 】

多くの場合、特にアルミニウム合金板の場合、異方性を有限要素解析に包含させるべきである。このように行うには、2つの基本的オプションが存在する。これまで、50年の期間にわたり、異方的フォンマイセスの解析関数に代えて、種々の解析関数が提案されている。重要なものは、次のような著者によって開示されている：Hill, 1948, 1979, 1990: Krajewski & Boyce, 1993: Barlat, 1989, 1991, 1997。この解析関数法は、2の問題点を包含する。

【 0 0 2 9 】

第1に、上記解析関数は、比較的単純で閉じた形態の代数式であるため、六次元応力空間における実際の降伏面の形状に対し、その近似値しか得られない。事実多くの場合、解析降伏関数のための許容可能な応力空間は、平面応力変形に適したものに低下する。

【 0 0 3 0 】

第2に、このような関数の定数は、金属板に関し、降伏応力異方性の実測値および/または種々の歪経路および方向のr-値の実測値（=引張試験における、幅歪/厚み歪の比率）から、実験によって決定する必要がある。一般に、解析降伏関数の定数を評価するには、5またはそれ以上の測定が必要である。

【0031】

2番目のオプションは、結晶塑性を用いて、各要素の特性を定義することである。本質的には、これは、次のようなことを意味する：有限要素解析の各反復工程において、各要素の各積分地点について材料ポイントシミュレーター計算を実施する。解析関数を使用すると、フォンマイセス計算に比し、約2または3倍のコンピューター演算処理（CPU）時間が増加する一方、フルカップリング（fully-coupled）結晶塑性を用いると、CPU時間が最大のオーダーで増加し、現時点ではごく小さいモデルにしか適してはおらず、真の成形操作のシミュレーションについて、実際的ではない。

【0032】

（発明が解決しようとする課題）

したがって、1つの解析において各反復処理ごとに（または10番目または100番目の反復処理ごとに）完全な結晶塑性計算を必要とする莫大なコストを支払うことなく、異方性を考慮した有限要素解析を含んでなる方法を開発することが、望まれており、これが、本発明が解決しようとする課題である。さらに、この方法は、有限要素解析によってシミュレーションした六次元応力空間において定義される硬化（hardening）および降伏面のキャラクタリゼーションを含めることが、有利である。

【0033】

（発明の開示）

かくして、本発明の1つの目的は、金属板を種々の物品に成形する、改善された方法を提供することである。

【0034】

本発明の別の目的は、数学的モデル（コンピューター処理モデル）を用いて、成形用具の設計および成形操作を最適化し、これにより、所望の特性を有する成形品を製造しうるような、上記方法を提供することである。

【0035】

さらに、本発明の別の目的は、有限要素解析によって決定される数学的モデルであって、金属板の異方的特性が考慮される一方過剰なコンピューター処理時間が不要となるような数学的モデルを提供することである。

【0036】

本発明の主目的は、異方性を有限要素解析に対して組み込んだ方法を、有限要素計算から異方性計算をデカップリングする（decoupling）ことによって、そのように組み込んだ方法において通常要するコンピューター処理時間の欠点を伴うことなく、提供することである。

【0037】

以上の本発明の目的は、成形操作の解析において、以下の4つの工程を実施することによって達成することができる。

（1）一軸性張力曲線（または圧縮曲線）および結晶学的組織データを、金属板から実験的に得、これらのデータを用い、適切な結晶塑性材料ポイントシミュレーターの定数を較正する。次いで、材料ポイントシミュレーターを用い、種々の可能な歪経路用の有効応力-有効歪曲線を作成することができる。これらの曲線は、上限曲線および下限曲線を有する1組を形成する。

【0038】

（2）有限要素解析は、好適には、成形操作の間に金属板の剛い物体の動きを追跡する、局部座標系を用いて実施する。このようにして、塑性歪（または歪速度）テンソルは、常に、圧延方向に平行な方向と圧延方向に垂直な方向と金属板の厚み方向とを含む座標系によって、定義される。工程1および工程2は、有限要素解析に必要な異方性を定義する。

【0039】

（3）歪経路は、全ての収束工程（または解析における所定の間隔）において、各有限要素について決定する必要がある。これは、やや複雑となるが、次のようにして、達成することができる。

成形用具および成形操作（例えば、圧延処理またはアイアニング成形）についての形状を調査するか、または

等方的解析を、成形操作についての単一の応力-歪曲線（いわゆる一軸性張力）を用いて行い、必要な歪経路を、各要素についての後処理法によって抽出するか、または

解析の各収束工程において、各要素について特定状態の歪テンソルに依存するパラメーターを計算する。

【 0 0 4 0 】

(4) 次いで、各要素について、適切な応力-歪曲線を、前記(1)に記載の曲線群から選択する。最も単純な場合、全ての要素について、それらの実際の経路には依存せずに、下限曲線を選択する。これにより、金属板および成形用具荷重による応力の下限値を有する下限解析が得られる。次に、精密なレベルとして、同様な歪経路を有する要素群（例えば、ふくらみのドーム形態（the dome of bulge）を含んでなる1組）を定義し、前記(1)に記載の1組から1つの応力-歪曲線を、各要素に対し割当てる。

【 0 0 4 1 】

本発明の方法は、温度に代えて歪経路を定義するパラメーターを用いれば、温度依存応力-歪曲線を、有限要素モデルによって定義する方法に類似しているものと、理解される。

【 0 0 4 2 】

その結果、実験上のデータと密接に一致した有限要素モデルであって、従来法に比し、必要なCPU時間がより短い有限要素モデルが得られる。

【 0 0 4 3 】

以上の本発明の目的および他の目的、特徴および利点は、以下に詳細に説明する。

【 0 0 4 4 】

（図面の説明）

本発明の新規な特徴を請求の範囲に示す。しかしながら、本発明それ自体並びにその好適な使用法、目的および利点を、添付の図面を参照しながら、図示した具体例についての以下の説明によって、詳しく説明する。

図1は、本発明の方法に従い実施される圧延法であって、異方的特性を有する金属板を形成するのに使用される圧延法を示す斜視図である。この異方的特性は、成形用具の解析に含まれる。

図2は、アルミニウム合金板の容器底部への成形に適した成形用具を示す断面図である。この図2では、本発明に従い、プランクの異方的材料特性を記述する新規方法を用い、有限要素解析を行って、成形用具および成形操作を最適化することができる。

図3は、金属板の異方的特性が解析からデカップリングされるように、本発明の成形モデルについての有限要素解析を実施するための論理流れ図である。

図4は、本発明の有限要素解析の実施に適したコンピューターシステムのプロック図である。

図5は、本発明の塑性モデルを用い、最適な特性の部材を製造するのに必要な成形用具および成形操作を示す論理流れ図である。

【 0 0 4 5 】

（本発明を実施するための最適な態様）

次に、添付の図面、特に図1は、通常の圧延法を用いる、金属板10の製造法を示す。以下に記載のように、金属板10から、種々の物品を製造することができる。かかる製品の成形操作および特性を、本発明の方法によって最適化することができる。金属板10は、例えば圧延アルミニウム合金から形成することができる。金属板10の力学的特性（変形特性）は、当該金属板10を構成する結晶の配向の結果として、異方性を示す。したがって、力学的特性は、図1の矢印によって示すように、金属板10における方向に従い変化する。

【 0 0 4 6 】

図2に示すように、金属板10から切断したプランク12は、成形用具14を用いて物品に成形される。成形用具の設計および成形操作並びに製造される製品特性は、本発明に従い、

有限要素解析によって最適化することができる。図示した具体例は、容器底部の製造用に使用される成形用具の代表例であって、成形用具14は、一般にポンチ18、ダイ（またはドーマープラグ）16およびリテナーリング（保持装置）20から構成されている。成形用具14は、ラムまたはピストン（図示せず）のような他の通常の部材を備えている。ラムまたはピストンは、ポンチ18に接続されており、これにより、ポンチ18を、ダイ16内に押し込んで、ブランク12を所望の形態に成形することができる。

【 0 0 4 7 】

成形用具14の部材は、通常の材料、特に、鉄または炭化タングステンを用い、製造することができる。この具体例では、成形用具14は、ブランク12を飲料用容器の底部を形成するように、設計されている。しかしながら、本発明は、この具体例に制限されるものではなく、当業者ならば、この具体例に基づき、種々の寸法および形態を有する最終製品および構成部材用の種々の成形用具を設計することができる。

【 0 0 4 8 】

本発明は、材料、特に、ブランク12のような金属板ブランクの変形および流動特性をシミュレーションするための新規コンピューターモデルを提供する。このモデルは、その後、成形用具の最適な設計および材料の詳細（ブランクの厚みなど）の選択のために、使用することができる。

【 0 0 4 9 】

前記したように、従来法による解析技術は、有限要素解析を用いて、塑性および成形性をモデル化している。これに対し、本発明は、ブランクの異方的特性を有限要素解析モデルに組込むことによって、従来法を改善したのである。新規コンピューターモデルは、以下に記載のように、この作用を、有限要素解析から異方性計算をデカップリングすることによって、達成することができる。その結果、新規コンピューターモデルは、実験データと緊密に一致するだけでなく、異方的金属板の成形をシミュレーションする従来技術のモデルに比し、必要なコンピューター処理時間がより短く、このため、実施のためのコストがより小さい。

【 0 0 5 0 】

図示した本発明の具体例によれば、材料ポイントシミュレーター計算は、有限要素解析からデカップリングされ、これにより、等方的有限要素解析塑性モデルは、異方的特性を獲得することができる。前記したように、有限要素解析の目的は、製品の外部負荷条件に対する応答を予測することであり、この外部負荷条件は、しばしば力学的不安定性およびスナップスルー（抜け）またはバックリング（腰折れ）につながる。検証された性能予測が必要な場合、性能モデルに先立ち、成形モデルについて、実行する必要があり、これにより、金属の薄膜化、加工硬化のレベルおよび残留応力を、性能試験負荷を課す前に、計算する必要がある。

【 0 0 5 1 】

成形モデルおよび性能モデルの両者は、共に有限要素解析を構成しているが、これら両モデルに関し、材料挙動の適切な記述（description）は、有限要素解析の予測可能性にとって、重要である。図示した本発明の具体例によれば、材料ポイントシミュレーター計算は、有限要素解析からデカップリングされ、これにより、等方的（フォンマイセス）塑性モデルは、材料異方性を獲得することができる。

【 0 0 5 2 】

材料ポイントシミュレーター計算には、材料ポイントシミュレーター計算には、結晶学的組織の実測値および少なくとも1つの応力-歪曲線が、材料ポイントシミュレーターにおける硬化法則の校正に使用するため、必要である。このように校正された材料ポイントシミュレーターは、成形操作で通常見られるような種々の歪経路についての1組の応力-歪曲線を計算する。この1組の曲線は、上限および下限を適切に定義することができる。

【 0 0 5 3 】

したがって、任意に特定した歪経路について適切な曲線は、適切に定義した上下限の間に存在する。有限要素解析計算には、次のような条件が必要である：成形用具の幾何学的

形態および経路の定義（一般に、適切なCADパッケージを用いて達成される）、成形用具およびプランク（例えば、部材に成形される金属板）のメッシュ化（meshing）、成形用具とプランクとの間の境界条件の定義、および特に重要なこととして、材料応力-歪曲線の各要素への割当。

【 0 0 5 4 】

本発明によれば、後者の工程は、2通りのやり方、すなわち有限要素解析の実施前またはそれ自体の解析の間に行われる。前者については、1つの要素または要素群についての適切な応力-歪曲線は、成形用具とプランクとの相互作用の一般的特性についての調査（inspection）および解釈（understanding）によって割当てることができるか、または、所望の有限要素解析の前に等方的解析の実施により要素の群の中の各要素について歪経路を決定することによって割当てることができ、これにより、適切な応力-歪経路を各々に割当てることができる。

【 0 0 5 5 】

別法として、適切な応力-歪曲線の割当（assignment）は、各収束工程または収束工程の定期的間隔において、各要素についての最新の塑性歪みテンソルを前に定義した1組の応力-歪曲線の中の1つの応力-歪み曲線に関連付けることによって、更新することができる。材料異方性を有限要素解析からデカップリングする前記方法は、図3にまとめた。

【 0 0 5 6 】

本発明の新規コンピューターモデルは、図4の代表的なコンピューターシステム30によって実施することができる。このシステム30は、1またはそれ以上の中央演算装置（CPU）を備えると共に、適切な容量のランダムアクセスメモリー（RAM）および記憶容量、例えば、ハードディスクまたはテープ、ディスプレイおよびプリンターのような周辺機器接続用のI/Oデバイスを備える。

【 0 0 5 7 】

システム30は、例えば、単一のワークステーションまたはパーソナルコンピューターとして、単独で立ち上げができるか、または1つまたは1組のネットワークCPU32からなることもでき、この1つまたは1組は、サーバー34（一般に多数のCPUを有する）および多数の独立したワークステーションまたはパーソナルコンピューター（Ethernetまたは光ファイバーネットワークに接続）を含む。材料ポイントシミュレーター計算および有限要素解析計算は、ネットワークのCPUにインストールしたソフトウェアによって、汎用コンピューターコード（次のものに制限されないが、例えばHKS Inc. AbaqusまたはLSTC LS-Dyna）または家庭用に開発され書き込まれた特定のコードを用い、実施することができる。

【 0 0 5 8 】

前記したように、本明細書に開示の新規コンピューターモデルを用いて、成形操作、成形用具の設計および製品の性能を最適化することができる。本発明の方法の全般を、図5に示す。まず、特定物品の特定の成形用具設計を提示する（50）。図3に図示した手順を、図4に図示したコンピューターシステムで実施して、初期設計に適用する（52）。シミュレーションして製造した「仮想」物品を、次いで、製品性能について解析する（54）。製品が規格に適合しない場合（56）、成形用具および成形法または成形操作は、再設計する必要がある（58）。

【 0 0 5 9 】

例えば、図2の成形用具14に関し、成形シミュレーションによって製造しあつ性能解析によって決定した「仮想」容器底部のドーム逆圧力が、あまりにも小さい場合、ドーマー・プラグの幾何学的形態および/またはポンチの動作を変更して、完全（complete）有限要素解析を反復することができる。工程58を介する工程50は、満足のゆく設計が見られるまで、必要に応じて反復する。当該手順の本質部分は、プロトタイプ部品の1つの設計（通常は初期設計）に対するモデル予測（prediction）の検証である。

【 0 0 6 0 】

この検証の実行によって、モデルが、成形および性能操作の両者を正確かつ実際にシミ

ュレーションしうるという、信頼性を得ることができる。次いで、成形用具および成形操作に対する改良も、合理的な信頼度をもって、進行させることができる。図5に記載の最適化手順が、完全であれば、製造用成形用具を作製することができる(60)。

【0061】

以上、本発明の具体例について説明したが、本発明は、これらの具体例に制限されるものではない。これら具体例の種々の変形例並びに改良例も、本明細書の記載を参照すれば、当業者には明白である。

【0062】

例えば、前記した説明では、金属板に関するものではあるが、本発明は、非金属材料の変形および成形性を予測するのに使用することができる。したがって、このような変形例も、本発明の精神を逸脱することなくなすことができ、本発明の請求の範囲の技術的範囲内に包含される。

【0063】

(産業上の利用分野)

本発明を具体化した方法は、材料加工産業において適用することができる。

【誤訳訂正2】

【訂正対象書類名】図面

【訂正対象項目名】図3

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【図3】

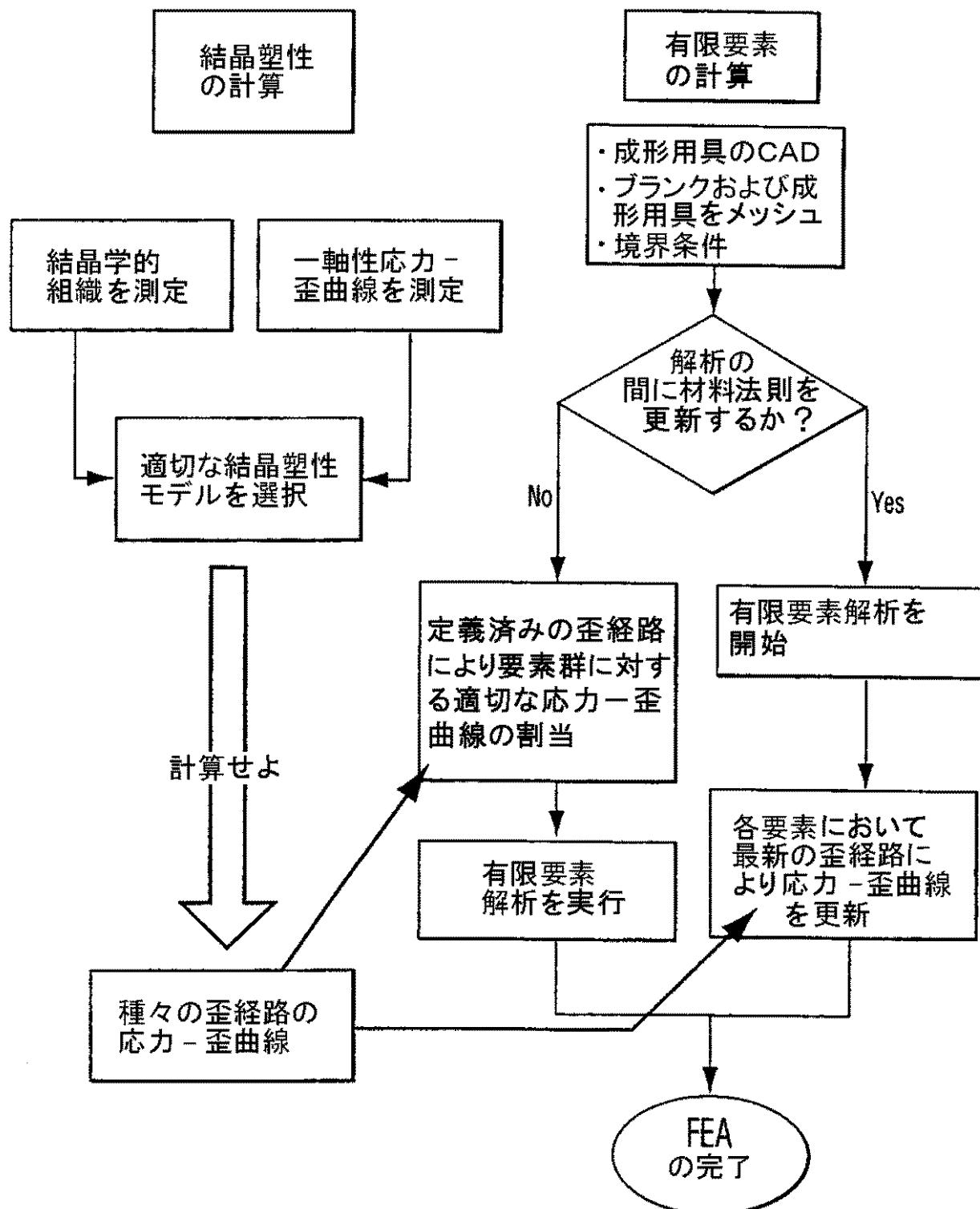


FIG. 3