

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-55517

(P2010-55517A)

(43) 公開日 平成22年3月11日(2010.3.11)

(51) Int.Cl.
G06F 17/50 (2006.01)F I
G O 6 F 17/50 6 1 2 Hテーマコード (参考)
5 B 0 4 6

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2008-222027 (P2008-222027)
(22) 出願日 平成20年8月29日 (2008. 8. 29)(71) 出願人 000002107
住友重機械工業株式会社
東京都品川区大崎二丁目1番1号
(74) 代理人 100091340
弁理士 高橋 敬四郎
(74) 代理人 100105887
弁理士 来山 幹雄
(74) 代理人 100141302
弁理士 鶴飼 伸一
(72) 発明者 森田 洋
神奈川県横須賀市夏島町19番地 住友重
機械工業株式会社横須賀製造所内
Fターム(参考) 5B046 JA08

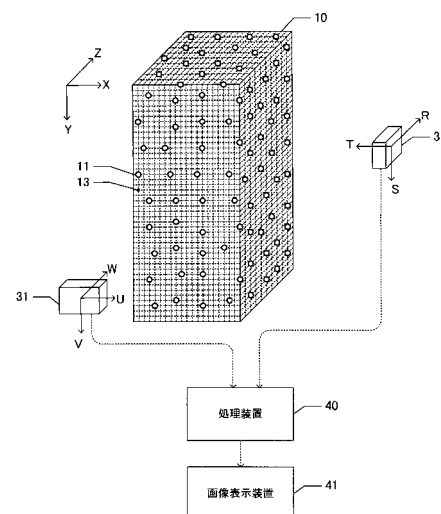
(54) 【発明の名称】 構造解析装置及び構造解析方法

(57) 【要約】

【課題】 実験結果との整合性を容易に高めることが可能な構造解析装置を提供する。

【解決手段】 観測対象物に固定された観測対象マークの位置を観測する観測装置と、観測装置の観測結果が入力される処理装置とを有する。処理装置は、観測対象物を、仮想的に複数の要素に分割し、該要素上に複数の節点を設定する工程と、観測対象マークの位置に一致する節点、または観測対象マークの位置を含む要素上の一つの節点を、特定節点として選択する工程と、観測装置から取得した観測結果に基づいて、観測対象マークの変位を計測する工程と、観測対象マークの計測された変位に基づいて、当該観測対象マークに対応する特定節点の変位を決定する工程と、決定された特定節点の変位を拘束条件として、観測対象物の構造解析を行う工程とを実行する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

観測対象物に固定された観測対象マークの位置を観測する観測装置と、
前記観測装置の観測結果が入力される処理装置と
を有し、
前記処理装置は、
前記観測対象物を、仮想的に複数の要素に分割し、該要素上に複数の節点を設定する工程と、
前記観測対象マークの位置に一致する節点、または前記観測対象マークの位置を含む要素上の一つの節点を、特定節点として選択する工程と、
前記観測装置から取得した観測結果に基づいて、観測対象マークの変位を計測する工程と、
前記観測対象マークの計測された変位に基づいて、当該観測対象マークに対応する前記特定節点の変位を決定する工程と、
決定された前記特定節点の変位を拘束条件として、前記観測対象物の構造解析を行う工程と
を実行する構造解析装置。

10

【請求項 2】

観測対象物に、観測対象マークを固定する工程と、
前記観測対象物を、仮想的に複数の要素に分割し、該要素上に複数の節点を設定する工程と、
前記観測対象マークの位置に一致する節点、または前記観測対象マークの位置を含む要素上の一つの節点を、特定節点として選択する工程と、
前記観測対象マークの変位を計測する工程と、
前記観測対象マークの計測された変位に基づいて、当該観測対象マークに対応する前記特定節点の変位を決定する工程と、
決定された前記特定節点の変位を拘束条件として、前記観測対象物の構造解析を行う工程と
を有する構造解析方法。

20

【請求項 3】

観測対象物に固定された観測対象マークの位置を観測する観測装置と、
前記観測装置の観測結果が入力される処理装置と
を有し、
前記処理装置は、
前記観測対象物を、仮想的に複数の要素に分割し、該要素上に複数の節点を設定する工程と、
前記観測対象マークの位置に一致する節点、または前記観測対象マークの位置を含む要素上の一つの節点を、特定節点として選択する工程と、
前記特定節点の各々に対応して強制変位点を定義する工程と、
前記強制変位点と前記特定節点との間に、該強制変位点の変位と該特定節点の変位とに依存した相互作用を定義する工程と、
前記観測装置から取得した観測結果に基づいて、前記観測対象マークの変位を計測する工程と、
前記観測対象マークの計測された変位に基づいて、当該観測対象マークに対応する前記特定節点に対応付けられた前記強制変位点の変位を決定する工程と、
決定された前記強制変位点の変位を拘束条件として、前記観測対象物の構造解析を行う工程と
を実行する構造解析装置。

30

40

【請求項 4】

前記強制変位点が前記特定節点に及ぼす相互作用は、該強制変位点と該特定節点との間

50

隔を初期状態に戻す復元力である請求項 3 に記載の構造解析装置。

【請求項 5】

観測対象物に、観測対象マークを固定する工程と、

前記観測対象物を、仮想的に複数の要素に分割し、該要素上に複数の節点を設定する工程と、

前記観測対象マークの位置に一致する節点、または前記観測対象マークの位置を含む要素上の一つの節点を、特定節点として選択する工程と、

前記特定節点の各々に対応して強制変位点を定義する工程と、

前記強制変位点と前記特定節点との間に、該強制変位点の変位と該特定節点の変位とに依存した相互作用を定義する工程と、

前記観測装置から取得した観測結果に基づいて、前記観測対象マークの変位を計測する工程と、

前記観測対象マークの計測された変位に基づいて、当該観測対象マークに対応する前記特定節点に対応付けられた前記強制変位点の変位を決定する工程と、

決定された前記強制変位点の変位を拘束条件として、前記観測対象物の構造解析を行う工程と

を有する構造解析方法。

【請求項 6】

前記強制変位点が前記特定節点に及ぼす相互作用は、該強制変位点と該特定節点との間隔を初期状態に戻す復元力である請求項 5 に記載の構造解析方法。

【請求項 7】

観測対象物の表面に離散的に固定され、基準面からの傾斜角を測定する角度測定器と、

前記角度測定器の測定結果が入力される処理装置と

を有し、

前記処理装置は、

前記観測対象物を、仮想的に複数の要素に分割する工程と、

前記角度測定器で、当該角度測定器が取り付けられた位置の前記観測対象物の表面の、基準面からの傾斜角を測定する工程と、

前記複数の要素のうち、前記角度測定器が取り付けられた位置に対応する要素に、測定された傾斜角に基づいて、強制的に姿勢変化を設定する工程と、

決定された前記強制的な姿勢変化を拘束条件として、前記観測対象物の構造解析を行う工程と

を実行する構造解析装置。

【請求項 8】

観測対象物の表面に、基準面からの傾斜角を測定する複数の角度測定器を離散的に固定する工程と、

前記観測対象物を、仮想的に複数の要素に分割する工程と、

前記観測対象物に形状の変化を生じさせて、前記角度測定器で、当該角度測定器が取り付けられた位置の前記観測対象物の表面の、基準面からの傾斜角を測定する工程と、

前記複数の要素のうち、前記角度測定器が取り付けられた位置に対応する要素に、測定された傾斜角に基づいて、強制的に姿勢変化を設定する工程と、

決定された前記強制的な姿勢変化を拘束条件として、前記観測対象物の構造解析を行う工程と

を有する構造解析方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、観測対象物を仮想的に複数の要素に分割し、要素上に画定された節点の変位を数値計算によって求める構造解析装置及び構造解析方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の構造解析では、まず解析対象物のモデルを作製し、仮想的に有限要素に分割する。予想される外力と拘束条件とを付与して、構造解析を行う。解析結果の検証は、解析者の経験、または実験結果との比較に基づいて行われる。解析結果が不適格であると認定された場合には、有限要素分割、予想される外力、及び拘束条件を見直して、再度構造解析を行う。この見直し作業量が膨大になると共に、この見直し作業には、解析者の経験に依存する部分が多い。

【0003】

構造部品の結合部分のパラメータを、近似モデルの解析結果と機械実験結果とが整合するように修正することにより、結合部分の適切なパラメータを提供することができる（特許文献1）。構造物の特定の節点間の歪を、歪ゲージで測定し、測定結果を拘束条件として構造解析を行うことにより、解析結果の精度を高めることができる（特許文献2）。

10

【0004】

【特許文献1】特開平10-68669号公報

【特許文献2】特開平11-258073号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明の目的は、実験結果との整合性を容易に高めることが可能な構造解析装置及び構造解析方法を提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一観点によると、
観測対象物に固定された観測対象マークの位置を観測する観測装置と、
前記観測装置の観測結果が入力される処理装置と
を有し、
前記処理装置は、
前記観測対象物を、仮想的に複数の要素に分割し、該要素上に複数の節点を設定する工程と、
前記観測対象マークの位置に一致する節点、または前記観測対象マークの位置を含む要素上の一つの節点を、特定節点として選択する工程と、
前記観測装置から取得した観測結果に基づいて、観測対象マークの変位を計測する工程と、
前記観測対象マークの計測された変位に基づいて、当該観測対象マークに対応する前記特定節点の変位を決定する工程と、
決定された前記特定節点の変位を拘束条件として、前記観測対象物の構造解析を行う工程と
を実行する構造解析装置が提供される。

30

【0007】

本発明の他の観点によると、
観測対象物に固定された観測対象マークの位置を観測する観測装置と、
前記観測装置の観測結果が入力される処理装置と
を有し、
前記処理装置は、
前記観測対象物を、仮想的に複数の要素に分割し、該要素上に複数の節点を設定する工程と、
前記観測対象マークの位置に一致する節点、または前記観測対象マークの位置を含む要素上の一つの節点を、特定節点として選択する工程と、
前記特定節点の各々に対応して強制変位点を定義する工程と、
前記強制変位点と前記特定節点との間に、該強制変位点の変位と該特定節点の変位とに

40

50

依存した相互作用を定義する工程と、

前記観測装置から取得した観測結果に基づいて、前記観測対象マークの変位を計測する工程と、

前記観測対象マークの計測された変位に基づいて、当該観測対象マークに対応する前記特定節点に対応付けられた前記強制変位点の変位を決定する工程と、

決定された前記強制変位点の変位を拘束条件として、前記観測対象物の構造解析を行う工程と

を実行する構造解析装置が提供される。

【0008】

本発明の他の観点によると、

観測対象物に、観測対象マークを固定する工程と、

前記観測対象物を、仮想的に複数の要素に分割し、該要素上に複数の節点を設定する工程と、

前記観測対象マークの位置に一致する節点、または前記観測対象マークの位置を含む要素上の一つの節点を、特定節点として選択する工程と、

前記特定節点の各々に対応して強制変位点を定義する工程と、

前記強制変位点と前記特定節点との間に、該強制変位点の変位と該特定節点の変位とに依存した相互作用を定義する工程と、

前記観測装置から取得した観測結果に基づいて、前記観測対象マークの変位を計測する工程と、

前記観測対象マークの計測された変位に基づいて、当該観測対象マークに対応する前記特定節点に対応付けられた前記強制変位点の変位を決定する工程と、

決定された前記強制変位点の変位を拘束条件として、前記観測対象物の構造解析を行う工程と

を有する構造解析方法が提供される。

【0009】

本発明の他の観点によると、上記構造解析装置で実行される構造解析方法が提供される。

【発明の効果】

【0010】

特定節点に対応する観測対象マークの変位の観測結果を、構造解析に反映させることにより、実験結果を解析結果との整合性を、容易に高めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、図1～図4を参照して実施例1について説明し、図5～図10-2を参照して実施例2について説明し、図11を参照して実施例3について説明し、図12を参照して、実施例1～3を適用した実施例4について説明する。

【実施例1】

【0012】

図1に、実施例1による構造解析装置の概略図を示す。XYZグローバル座標系が定義された空間内に、観測対象物10が配置される。観測対象物10の表面に複数の観測対象マーク11が固定されている。観測対象マーク11は、観測対象物10の表面に直接描画して形成してもよいし、マークが付された部材を観測対象物10に貼り付けてもよい。

【0013】

観測対象物10は、外力が加えられることにより変形する。観測対象物10が変形すると、観測対象マーク11が変位する。

【0014】

第1の観測装置31が複数の観測対象マーク11を観測し、第2の観測装置32が他の複数の観測対象マーク11を観測する。第1の観測装置31及び第2の観測装置32には、例えば、デジタルカメラが用いられる。なお、一部の観測対象マーク11を、第1の

10

20

30

40

50

観測装置 3 1 と第 2 の観測装置 3 2 の両方で観測されるようにしてもよい。

【0015】

第 1 の観測装置 3 1 及び第 2 の観測装置 3 2 の各々は、レンズと受像面とを含む。第 1 の観測装置 3 1 に固定された第 1 のローカル座標系が定義され、第 2 の観測装置 3 2 に固定された第 2 のローカル座標系が定義される。第 1 のローカル座標系は、第 1 の観測装置 3 1 のレンズの光軸に一致する W 軸、W 軸に垂直で、かつ相互に直交する U 軸及び V 軸で定義され、その原点は、レンズの主点に一致する。受像面は、U V 面に平行である。第 2 のローカル座標系は、第 2 の観測装置 3 2 のレンズの光軸に一致する T 軸、T 軸に垂直で、かつ相互に直交する R 軸及び S 軸で定義され、その原点は、レンズの主点に一致する。受像面は、R S 面に平行である。

10

【0016】

第 1 の観測装置 3 1 及び第 2 の観測装置 3 2 で撮像された画像データが、処理装置 4 0 に入力される。処理装置 4 0 は、入力された画像データを処理し、観測対象物 1 0 の形状変化の時刻暦を求める。形状変化の時刻暦は、画像表示装置 4 1 に画像として表示される。

【0017】

図 2 に、実施例 1 による構造解析方法のフローチャートを示す。まず、ステップ S A 1 において、観測対象物 1 0 に観測対象マーク 1 1 を固定する。ステップ S A 2 において、C A D を用いて観測対象物 1 0 の形状（解析モデル）を定義する。観測対象物 1 0 の形状は、C A D 座標系内に定義される。ステップ S A 3 において、C A D 座標系と関連付けたグローバル座標系を定義する。通常は、C A D 座標系をグローバル座標系として採用すればよい。

20

【0018】

ステップ S A 4 において、C A D で定義された観測対象物（解析モデル）を、仮想的に複数の有限要素に分割する。また、各有限要素に、測定対象物を構成する材料の剛性に基づいて、剛性を定義する。観測対象マーク 1 1 の位置に一致する節点、または観測対象マーク 1 1 の位置を含む有限要素上の一つの節点を、「特別節点」として選択する。、特定節点以外の節点を「一般節点」と呼ぶこととする。図 1 に、観測対象物 1 0 が立方体の多数の要素に分割された例を示している。各要素の頂点に節点 1 3 が画定される。各要素を、多角形の表面を持つ任意の立体形状としてもよい。この場合、多角形の表面の頂点が節点 1 3 となる。処理装置 4 0 は、グローバル座標系における各節点 1 3 B の位置を記憶する。

30

【0019】

ステップ S A 5 において、グローバル座標系が定義された空間内に、第 1 の観測装置 3 1 及び第 2 の観測装置 3 2 を配置し、固定する。処理装置 4 0 に、第 1 の観測装置 3 1 及び第 2 の観測装置 3 2 の、グローバル座標系内における位置と姿勢を記憶させる。第 1 の観測装置 3 1 の位置は、そのレンズの主点のグローバル座標で特定される。第 1 の観測装置 3 1 の姿勢は、そのレンズの光軸、即ち W 軸の方向と、U 軸の方向とで特定される。同様に、第 2 の観測装置 3 2 の位置は、そのレンズの主点のグローバル座標で特定され、姿勢は、T 軸及び R 軸の方向で特定される。

40

【0020】

実施例 1 では、第 1 の観測装置 3 1 に固定された第 1 のローカル座標系の W 軸が、グローバル座標系の Z 軸に平行になり、第 2 の観測装置 3 2 に固定された第 2 のローカル座標系の T 軸が、グローバル座標系の X 軸に平行になるように、第 1 及び第 2 の観測装置 2 0、3 0 を配置した。この配置の場合、第 1 の観測装置 3 1 は、W 軸に直交する方向、すなわち X Y 面内方向の変位を観測し、第 2 の観測装置 3 2 は、T 軸に直交する方向、すなわち Y Z 面内方向の変位を観測することができる。

【0021】

観測対象物 1 0 に予想される変形に応じて、第 1 及び第 2 の観測装置 3 1、3 2 を配置することが好ましい。例えば、外力の向きが X Y 面に平行であり、その大きさが Z 方向に

50

関してほぼ一定であれば、観測対象物 10 の変形は、ほぼ X Y 面に平行な方向に生じると予測される。この変形は、主として第 1 の観測装置 31 によって観測することができる。

【0022】

以下の説明では、観測対象物 10 が、主として X Y 面内に平行な方向に変形すると予測される場合について説明する。

【0023】

ステップ S A 6 において、観測対象物 10 に外力を加えながら、観測対象マーク 11 を、第 1 の観測装置 31 及び第 2 の観測装置 32 で撮像する。撮像された画像データは、処理装置 40 に入力される。処理装置 40 は、画像解析を行うことにより、受像面内における観測対象マーク 11 の像の位置を計測する。以下の工程では、第 1 の観測装置 31 で取得された画像データの処理について説明する。第 2 の観測装置 32 で取得された画像データの処理も、同様に行われる。

【0024】

第 1 の観測装置 31 の受像面は、第 1 のローカル座標系の U V 面に平行である。このため、受像面内の位置は、U 座標及び V 座標で特定される。観測時刻 t_0 、 t_1 、 $t_2 \cdots$ における画像データを解析することにより、これらの観測時刻における観測対象マーク 11 の受像面内の位置、すなわち (U, V) 座標を検出する。以下、観測対象マーク 11 の位置の検出方法の一例について説明する。

【0025】

まず、画像データから、観測対象マーク 11 を含む長方形の領域を切り取る。切り取られた領域の (U, V) 座標、例えば長方形の 1 つの頂点の (U, V) 座標を記憶する。切り取られた画像データに、ノイズ除去を目的として、低域通過フィルタ、または収縮膨張操作等の処理を行う。ノイズが除去された画像データを用い、切り取られた領域内における観測対象マーク 11 の位置を検出する。

【0026】

マーク位置の検出には、重心演算かピーク値検出法を用いることが好ましい。マークの像がぼやけている場合があるため、エッジ検出法やパターンマッチング法による位置検出は適さない。光強度にしきい値を設定し、しきい値以上の画素についてのみ重心演算を行うことにより、背景の光強度の強弱の影響を受けにくくすることができる。

【0027】

切り取られた領域の位置、及び切り取られた領域内における観測対象マーク 11 の位置により、受像面内における観測対象マーク 11 の (U, V) 座標を算出することができる。同様の方法で、他の観測対象マーク 11 の (U, V) 座標を求める。

【0028】

ステップ S A 7 において、観測対象マーク 11 の各々の観測時刻ごとの (U, V) 座標から、ある観測時刻から次の観測時刻までの受像面内の変位量 (ΔU , ΔV) を算出する。グローバル座標系と第 1 のローカル座標系との相対位置関係、及び観測対象マーク 11 の (X, Y) 座標が既知であるから、グローバル座標系における観測対象マーク 11 の変位量 (ΔX , ΔY) を求めることができる。観測対象マーク 11 の変位量 (ΔX , ΔY) を、当該観測対象マーク 11 に対応する特定節点の変位量として設定する。

【0029】

図 3 に、観測対象マーク 11 の変位量 (ΔX , ΔY) の一例を示す。第 1 の観測装置 31 で観測された観測対象マーク 11 の各々に、X Y 面に平行な変位ベクトル 15 が対応付けられる。同様に、第 2 の観測装置 32 で観測された観測対象マーク 11 の変位量 (ΔY , ΔZ) が算出され、観測対象マーク 11 の各々に、Y Z 面に平行な変位ベクトル 16 が対応付けられる。

【0030】

ステップ S A 8 において、観測対象マーク 11 に対応付けられている特定節点の変位量を拘束条件として、他の外力及び拘束条件を付与して、観測時刻ごとに構造静解析を行う。このとき、第 1 の観測装置 31 の観測の対象となる特定節点の Z 方向の変位量 ΔZ 、及

10

20

30

40

50

び第2の観測装置32の嘆息の対象となる特定節点のX方向の変位量 ΔX は、拘束しない。構造静解析には、一般的な有限要素法等を用いることができる。これにより、一般節点の変位量が算出される。

【0031】

ステップSA9において、特定節点及び一般節点の変位量に基づいて、観測対象物10の形状の変化の様子を、画像表示装置41に動画として表示する。

【0032】

図4に、画像表示装置41の概略図を示す。表示画面内に対象物表示領域42が確保されており、その外側に、操作部43、経過時間表示バー44、及び表示指令部45が表示されている。対象物表示領域42内に、対象物が3次元的に表示される。操作部43を通して、表示開始、表示停止、表示一時停止等の操作を行う。経過時間表示バー44には、現在表示されている時刻までの経過時間が棒状に表示される。また、経過時間表示バーを介して観測開始からの経過時間を指定して、指定された時刻からの形状の変化を表示させることができる。

【0033】

表示指令部45を通して、対象物表示領域42内に表示されている画像の拡大、縮小、回転等の指示を行う。このため、種々の視点から観測対象物10の変形を確認することができる。なお、各節点の変位量を拡大して表示することができる。観測対象物の形状の変化が僅かである場合には、変位量を拡大して表示することにより、形状の変化を視認しやすくなる。

【0034】

観測対象物の形状を、時間の経過と共に連続的に表示することにより、観測対象物10の形状の変化を、視覚的に容易に把握することができる。各部の変形量を容易に把握できるようにするために、等変位量線を表示したり、変位量に応じて表示色を変えるコンター表示を行ってもよい。

【0035】

実施例1では、節点のうち一部の特定節点の変位量を、実際の観測結果に基づいて拘束条件として設定するため、構造解析の精度を高めることができる。

【実施例2】

【0036】

図5に、実施例2による構造解析装置の概略図を示す。観測対象物10、第1の観測装置31、第2の観測装置32、及び画像表示装置41の構成は、実施例1のものと同一であり、処理装置40で行われる処理が、実施例1の処理と異なる。

【0037】

図6に、実施例2による構造解析方法のフローチャートを示す。ステップSB1～SB5は、実施例1のステップSA1～SA5と同一である。

【0038】

ステップSB6において、特定節点の各々に対応して、少なくとも1つの強制変位点を定義する。

【0039】

図7に、強制変位点の一例を示す。第1の観測装置31で観測される観測対象マークに対応する特定節点13sに対して、2つの強制変位点17及び18が定義される。第1の観測装置31で観測可能な変位の方向は、UV面に平行であるため、強制変位点17、18は、特定節点13sをUV面に平行な方向に移動させた位置に定義される。図7では、特定節点13sをU軸に平行な方向に移動させた位置に1つの強制変位点17を定義し、V軸に平行な方向に移動させた位置に他の強制変位点18を定義している。

【0040】

特定節点13sと強制変位点17とは、仮想的なばね19で連結され、特定節点13sと他の強制変位点18とは、仮想的なばね20で連結されている。特定節点13sと強制変位点17、及び特定節点13sと強制変位点18とは、それぞれ、ばね19及びばね2

10

20

30

40

50

0を介して力学的相互作用を及ぼし合う。初期状態では、ばね19、20は中立状態である。すなわち、特定節点13sは、ばね19、20を介して強制変位点17、18から力を受けない。

【0041】

特定節点13sと強制変位点17との間隔が中立位置からずれると、特定節点13sに、ばね19の復元力による力が作用する。同様に、特定節点13sと他の強制変位点18との間隔が中立位置からずれると、特定節点13sに、ばね20の復元力による力が作用する。特定節点13sと強制変位点17との間隔は、特定節点13sに、想定される最大の変位が生じたとしても、変位の前後でばね19の復元力のU軸方向の向きが反転しないように設定する。特定節点13sと強制変位点18との間隔は、特定節点13sに、想定される最大の変位が生じたとしても、変位の前後でばね20の復元力のV軸方向の向きが反転しないように設定する。好適なばね定数の設定方法については、後述する。

10

【0042】

ステップSB7及びSB8は、実施例1のステップSA6及びSA7と同一である。

【0043】

ステップSB9において、特定節点の変位量に基づいて、当該特定節点に対応する強制変位点の変位量を算出する。

【0044】

図8Aに示すように、特定節点13sが、観測時刻 $t = t_i$ から $t = t_{i+1}$ の間に変位先13Saまで変位する。特定節点13sから変位先13Saまでの変位は、変位ベクトル50で表される。図8Bに示すように、特定節点13sに対応する強制変位点17、18に、変位ベクトル50と同一の変位ベクトル25、26で表される変位を強制的に設定し、変位先17a、18aまで変位させる。このとき、ばね19、20が伸縮するため、その復元力によって特定節点13sに力が作用する。

20

【0045】

ステップSB10において、強制変位点に強制的に設定した変位量を拘束条件として、観測対象物10の構造解析を行い、特定節点及び一般節点の変位を算出する。

【0046】

図8Cに示すように、例えば、特定節点13sは、強制変位点17、18に与えられた強制変位により、ばね19、20の復元力、及び他の節点から受ける力により、変位先13Sbまで変位する。変位先13Sbは、図8Aに示した特定節点13sの観測された変位先13Saに一致するとは限らない。

30

【0047】

ステップSB11は、実施例1のステップSA9と同一である。

【0048】

図9を参照して、実施例2の効果について説明する。説明の簡単化のために、1次元モデルについて説明する。

【0049】

図9Aに示すように、複数の節点が直線上に定義されている。特定節点60A～60Fの間に、一般節点70が配置されている。実施例1では、図9Bに示すように、特定節点60A～60Fに、それぞれ強制変位61A～61Fが設定される。このため、観測対象マーク11の位置の測定のばらつきが、特定節点の変位に直接影響してしまう。1つの観測対象マーク11の位置の測定に、近傍の観測対象マーク11に比べて比較的大きな測定誤差が生じた場合、構造解析の結果、現実には生じ得ないような変形が発生する場合がある。

40

【0050】

例えば、図9Bにおいて、特定節点60Bに、他の特定節点に比べて比較的大きな測定誤差が含まれる場合、特定節点60Bと、その両側の特定節点60A、60Cとの間の一般節点に、通常では生じないような大きな歪が生じてしまう場合がある。

【0051】

50

図 9 C に、実施例 2 による強制変位点 6 5 A ～ 6 5 F を導入した例を示す。特定節点 6 0 A と強制変位点 6 5 A とが、ばね 6 6 A で連結されている。同様に、他の特定節点 6 0 B ～ 6 0 F と強制変位点 6 5 B ～ 6 5 F も、それぞれ、ばね 6 6 B ～ 6 6 F で連結されている。

【 0 0 5 2 】

図 9 D に示すように、強制変位点 6 5 A ～ 6 5 F に、それぞれ強制変位 6 1 A ～ 6 1 F を設定する。これにより、特定節点 6 0 A ～ 6 0 F に、ばね 6 6 A ～ 6 6 F の復元力による力が作用する。強制変位点 6 5 A ～ 6 5 F の変位を拘束条件として構造解析を行う。

【 0 0 5 3 】

図 9 E に示すように、特定節点 6 0 A ～ 6 0 F が変位する。強制変位点 6 5 A ～ 6 5 F の変位量が、ばね 6 6 A ～ 6 6 F を介して特定節点 6 0 A ～ 6 0 F に作用を及ぼす。この作用が釣り合うように、特定節点 6 0 A ～ 6 0 F の位置が解析される。このため、観測対象マーク 1 1 の位置の測定結果に含まれる誤差が平滑化される。例えば、1 つの特定節点 6 0 B に対応する観測対象マーク 1 1 の位置に比較的大きな測定誤差が含まれたとしても、近傍の特定節点 6 0 A、6 0 C 等に対応する観測対象マーク 1 1 の位置の測定結果に含まれる誤差が小さければ、1 つの観測対象マーク 1 1 の位置の測定誤差が、解析結果へ与える影響は小さくなる。

【 0 0 5 4 】

第 1 及び第 2 の観測装置 3 1、3 2 による測定が高精度であり、測定誤差がほとんど生じない場合には、仮想的なばね 6 6 A ～ 6 6 F のばね定数を大きくすればよい。これにより、測定された観測対象マーク 1 1 の変位量が特定節点の変位量に及ぼす影響度が大きくなる。一例として、ばね定数を無限大にして構造解析を行うと、実施例 1 による方法で構造解析を行った場合と同じ結果が得られる。

【 0 0 5 5 】

逆に、第 1 及び第 2 の観測装置 3 1、3 2 による測定に誤差が生じやすい場合には、仮想的なばね 6 6 A ～ 6 6 F のばね定数を、測定対象物を構成する材料の剛性に比べて小さくすればよい。これにより、特定節点の変位量は、強制変位点からの影響よりも、測定対象物の構造に依存する影響の方が大きくなる。その結果、測定のばらつきを平準化することができる。

【 0 0 5 6 】

上記実施例 2 では、1 つの観測対象マーク 1 1 を 1 つの観測装置で観測する場合を説明した。次に、1 つの観測対象マーク 1 1 を第 1 及び第 2 の観測装置 3 1、3 2 の両方で観測する場合の処理について説明する。

【 0 0 5 7 】

図 1 0 A に示すように、特定節点 7 0 に対応する観測対象マークを、第 1 の観測装置 3 1 及び第 2 の観測装置 3 2 の両方で観測する。第 1 の観測装置 3 1 の姿勢と第 2 の観測装置 3 2 の姿勢とは、任意である。ただし、第 1 の観測装置 3 1 の W 軸と第 2 の観測装置 3 2 の T 軸とは平行ではない。

【 0 0 5 8 】

特定節点 7 0 を U 軸に平行な方向に移動させた位置に強制変位点 7 1 が定義され、特定節点 7 0 を R 軸に平行な方向に移動させた位置に強制変位点 7 2 が定義されている。実際には、特定節点 7 0 を V 軸に平行な方向、及び S 軸に平行な方向に移動させた位置にも、強制変位点が定義されるが、ここでは、説明の簡単化のために、2 つの強制変位点 7 1、7 2 のみが定義されていると仮定する。

【 0 0 5 9 】

特定節点 7 0 と強制変位点 7 1 とが、仮想的なばね 7 3 で連結され、特定節点 7 0 と強制変位点 7 2 とが、仮想的なばね 7 4 で連結されている。第 1 の観測装置 3 1 による観測結果により、特定節点 7 0 の変位先 7 0 a が算出され、第 2 の観測装置 3 2 による観測結果により、特定節点 7 0 の変位先 7 0 b が算出される。特定節点 7 0 から変位先 7 0 a までの変位ベクトルは、U V 面に平行であり、特定節点 7 0 から変位先 7 0 b までの変位ベ

10

20

30

40

50

クトルは、R S面に平行である。一方の強制変位点71が、U V面に平行な向きの変位を担い、他方の強制変位点72が、R S面に平行な向きの変位を担う。

【0060】

図10Bに示すように、一方の強制変位点71を変位先71aまで強制的に変位させ、他方の強制変位点72を変位先72aまで強制的に変位させる。強制変位点71から、その変位先71aまでの変位ベクトルは、特定節点70から変位先70aまでの変位ベクトルと等しい。強制変位点72から、その変位先72aまでの変位ベクトルは、特定節点70から変位先70bまでの変位ベクトルと等しい。この拘束条件の下で構造解析を行う。仮想的なばね73、74の復元力により、特定節点70に力が印加される。

【0061】

図10Cに示すように、特定節点70が、ばね73、74の復元力、及び他の節点からの影響を受け、変位先70cまで変位する。

【0062】

上述のように、1つの特定節点70に対応して、第1の観測装置31による観測結果を反映させるための強制変位点71、及び第2の観測装置32による観測結果を反映させるための強制変位点72を定義する。これにより、特定節点70の変位に、第1の観測装置31及び第2の観測装置32の両方の観測結果を反映させることができる。

【0063】

上記実施例2では、特定節点と強制変位点とを、仮想的なばねで連結したが、特定節点と強制変位点との間で力学的相互作用を及ぼす他のモデルを採用してもよい。例えば、強制変位点の周囲の空間に、中立位置でポテンシャルが極小になるようなポテンシャル場を定義してもよい。

【実施例3】

【0064】

図11Aに、実施例3の構造解析方法のモデルを示す。観測対象物10を表すモデルが複数の有限要素80に分割されている。観測対象物10の、一部の有限要素に対応する位置に、角度センサ81が取り付けられている。角度センサとして、たとえ二軸加速度センサを用いることができる。二軸加速度センサで重力加速度を測定することにより、センサ自体の水平方向からの傾斜角を算出することができる。

【0065】

図11Bに、角度センサ81により求められた水平方向からの傾斜角を示す。角度センサによって求められた傾斜角を、当該角度センサ81に対応する有限要素の姿勢に反映させる。反映された姿勢を拘束条件として、構造静解析を行う。

【0066】

図11Dに示すように、観測対象物を表すモデルの形状の変化が算出される。

【0067】

実施例3においても、実験結果が、構造静解析の拘束条件として反映されているため、容易に、実験結果と解析結果との整合性を高めることができる。

【実施例4】

【0068】

図12に、上記実施例による構造解析装置を搭載することができる射出成型機の正面図を示す。射出成型機340が、射出装置350及び型締装置370を含んで構成される。

【0069】

射出装置350は、加熱シリンダ351を備え、加熱シリンダ351に、樹脂を供給するホッパ352が配設される。また、加熱シリンダ351内に、スクリュウ353が進退自在かつ回転自在に配設される。スクリュウ353の後端は、支持部材354によって回転自在に支持される。支持部材354に、サーボモータ等の計量モータ355が駆動部として取り付けられている。計量モータ355の回転が、計量モータ355の出力軸361に取り付けられたタイミングベルト356を介して、被駆動部のスクリュウ353に伝達される。計量モータ355の出力軸361の後端に、検出器362が直結している。検出

10

20

30

40

50

器 3 6 2 は、計量モータ 3 5 5 の回転数または回転量を検出する。検出器 3 6 2 により検出された回転数または回転量に基づいて、スクリュー 3 5 3 の回転速度が求められる。

【0070】

射出装置 3 5 0 はさらに、スクリュー 3 5 3 と平行なねじ軸 3 5 7 を回転自在に備える。ねじ軸 3 5 7 の後端は、サーボモータ等の射出モータ 3 5 9 の出力軸 3 6 3 に取り付けられたタイミングベルト 3 5 8 を介して、射出モータ 3 5 9 に連結されている。従って、射出モータ 3 5 9 によってねじ軸 3 5 7 を回転させることができる。ねじ軸 3 5 7 の前端は支持部材 3 5 4 に固定されたナット 3 6 0 と螺合させられる。駆動部である射出モータ 3 5 9 を駆動し、タイミングベルト 3 5 8 を介して駆動伝達部であるねじ軸 3 5 7 を回転させると、支持部材 3 5 4 が前後進する。

10

【0071】

支持部材 3 5 4 に、荷重の検出器であるロードセル 3 6 5 が取り付けられている。支持部材 3 5 4 の前後進運動が、ロードセル 3 6 5 を介してスクリュー 3 5 3 に伝えられることにより、スクリュー 3 5 3 が前後進する。ロードセル 3 6 5 により検出された力に対応するデータが、処理装置 3 1 0 に送出される。射出モータ 3 5 9 の出力軸 3 6 3 の後端に、検出器 3 6 4 が直結している。検出器 3 6 4 は、射出モータ 3 5 9 の回転数または回転量を検出する。検出器 3 6 4 により検出された回転数及び回転量に基づいて、スクリュー 3 5 3 の前後進方向の移動速度または前後進方向の位置が求められる。

【0072】

型締装置 3 7 0 は、可動側の金型 3 7 1 が取り付けられた可動プラテン 3 7 2 と、固定側の金型 3 7 3 が取り付けられた固定プラテン 3 7 4 とを含む。可動プラテン 3 7 2 と固定プラテン 3 7 4 とは、タイバー 3 7 5 によって連結される。可動プラテン 3 7 2 はタイバー 3 7 5 に沿って摺動可能である。また、型締装置 3 7 0 は、トグル機構 3 7 7 を含む。トグル機構 3 7 7 は、一端が可動プラテン 3 7 2 と連結し、他端がトグルサポート 3 7 6 と連結する。トグルサポート 3 7 6 の中央において、ボールねじ軸 3 7 9 が回転自在に支持されている。トグル機構 3 7 7 に設けられたクロスヘッド 3 8 0 に固定されたナット 3 8 1 が、ボールねじ軸 3 7 9 に螺合させられている。また、ボールねじ軸 3 7 9 の後端にプーリ 3 8 2 が配設され、サーボモータ等の型締モータ 3 7 8 の出力軸 3 8 3 とプーリ 3 8 2 との間に、タイミングベルト 3 8 4 が架け渡されている。

20

【0073】

型締装置 3 7 0 において、駆動部である型締モータ 3 7 8 を駆動すると、型締モータ 3 7 8 の回転が、タイミングベルト 3 8 4 を介して、駆動伝達部であるボールねじ軸 3 7 9 に伝達される。そして、ボールねじ軸 3 7 9 及びナット 3 8 1 によって、運動方向が回転運動から直線運動に変換され、トグル機構 3 7 7 が作動させられる。トグル機構 3 7 7 の作動により、可動プラテン 3 7 2 がタイバー 3 7 5 に沿って摺動し、型閉じ、型締め及び型開きが行われる。

30

【0074】

型締モータ 3 7 8 の出力軸 3 8 3 の後端に、検出器 3 8 5 が直結している。検出器 3 8 5 は、型締モータ 3 7 8 の回転数または回転量を検出する。検出器 3 8 5 により検出された回転数または回転量に基づいて、ボールねじ軸 3 7 9 の回転に伴って進退するクロスヘッド 3 8 0 の位置、または、トグル機構 3 7 7 によってクロスヘッド 3 8 0 に連結された被駆動部である可動プラテン 3 7 2 の位置が求められる。処理装置 3 1 0 が、計量モータ 3 5 5、射出モータ 3 5 9、型締モータ 3 7 8 を制御する。

40

【0075】

可動側の金型 3 7 1 と固定側の金型 3 7 3 との間に、キャビティ c a v が形成される。キャビティ c a v と加熱シリンダ 3 5 1 の内部とが連通している。

【0076】

型締めを行うと、可動側の金型 3 7 1 及び固定側の金型 3 7 3 に応力が印加され、これらの金型がわずかに変形する。射出成形品の形状の精密度を高めるために、金型のわずかな変形を観測することが望まれる。

50

【0077】

可動側の金型371と固定側の金型373の側面に複数の観測対象マークが固定される。これらの観測対象マークを、上記実施例による構造解析装置を用いて観測することにより、金型の変形の様子を画像により確認することができる。

【0078】

上記実施例では、観測対象マーク11の変位量を検出するための観測装置20及び30にデジタルカメラを用いたが、他の方法で変位量を検出してもよい。例えば、レーザ変位計を用いて観測対象マークの変位量を検出することも可能である。

【0079】

以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者に自明であろう。

【図面の簡単な説明】

【0080】

【図1】実施例1による構造解析装置の概略図である。

【図2】実施例1による構造解析方法のフローチャートである。

【図3】実施例1による構造解析方法で特定節点に与えられる変位の例をしめす線図である。

【図4】実施例1による構造解析層の画像表示装置の概略図である。

【図5】実施例2による構造解析装置の概略図である。

【図6】実施例2による構造解析方法のフローチャートである。

【図7】特定節点と強制変位点との関係を示す線図である。

【図8-1】(8A)は、特定節点に対応する観測対象マークの観測結果から得られた変位を示す線図であり、(8B)は、強制変位点に設定する強制変位を示す線図である。

【図8-2】(8C)は、構造解析による特定節点の変位を示す線図である。

【図9】(9A)は、構造解析モデルを示す線図であり、(9B)は、実施例1の方法で構造解析を行った結果の一例を示す線図であり、(9C)は、構造解析モデルに強制変位点を定義した状態の線図であり、(9D)は、強制変位点に強制変位を設定した後の構造解析モデルの線図であり、(9E)は、構造解析後の構造解析モデルの線図である。

【図10-1】(10A)は、2つの観測装置で観測される観測対象マークに対応する特定節点と強制変位点を示す線図であり、(10B)は、強制変位点に強制変位を設定した状態の線図である。

【図10-2】(10C)は、構造解析後の特定節点の位置を示す線図である。

【図11】実施例3の構造解析モデルを示す線図である。

【図12】実施例による構造解析装置が適用される射出成型機の正面図である。

【符号の説明】

【0081】

10 観測対象物

11 観測対象マーク

13 節点

13S 特定節点

15、16 変位

17、18 強制変位点

19、20 仮想的なばね

25、26 変位ベクトル

31 第1の観測装置

32 第2の観測装置

40 処理装置

41 画像表示装置

42 対象物表示領域

43 操作部

10

20

30

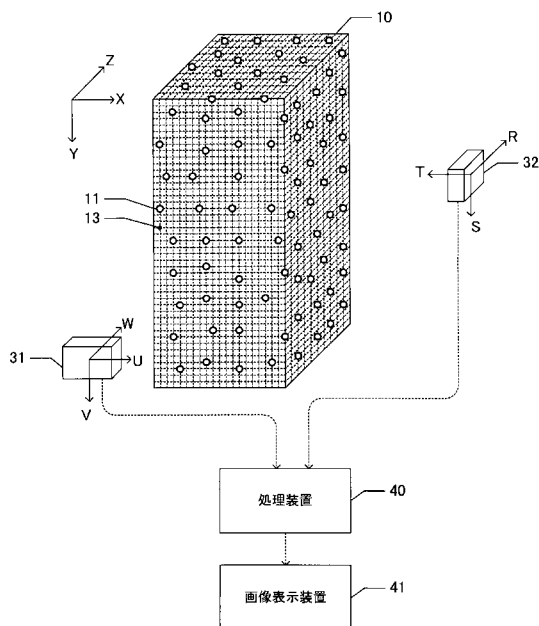
40

50

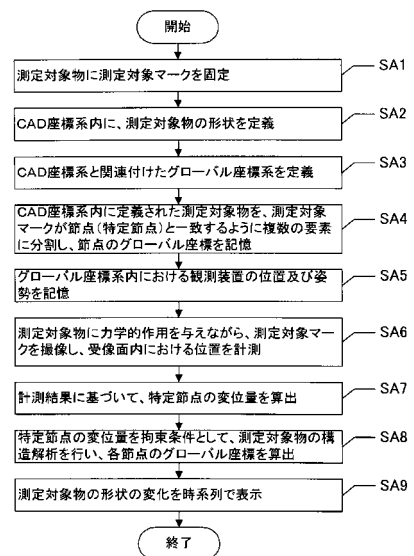
- 4 4 経過時間表示バー
- 4 5 表示指令部
- 5 0 変位ベクトル
- 6 0 A～6 0 F 特定節点
- 6 1 A～6 1 F 変位ベクトル
- 6 5 A～6 5 F 強制変位点
- 6 6 A～6 6 F 仮想的なばね
- 7 0 特定節点
- 7 1、7 2 強制変位点
- 7 3、7 4 仮想的なばね
- 8 0 有限要素
- 8 1 角度センサ

10

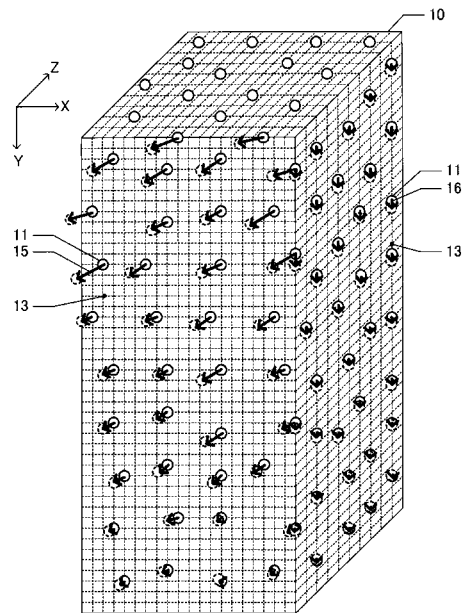
【図 1】



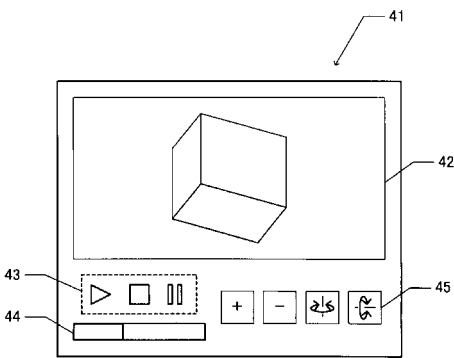
【図 2】



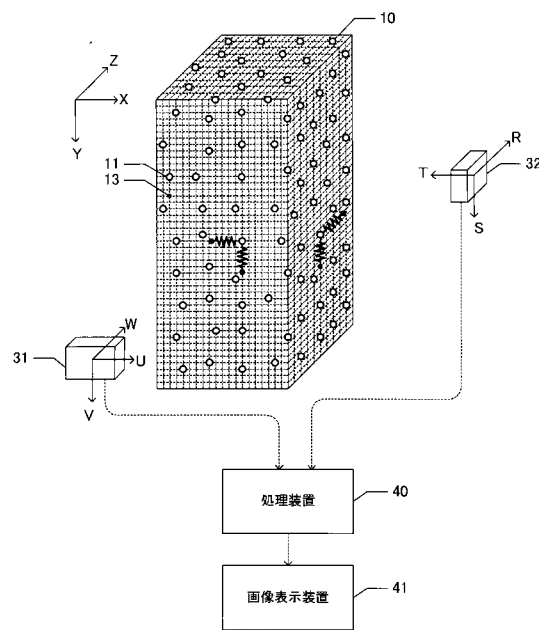
【図 3】



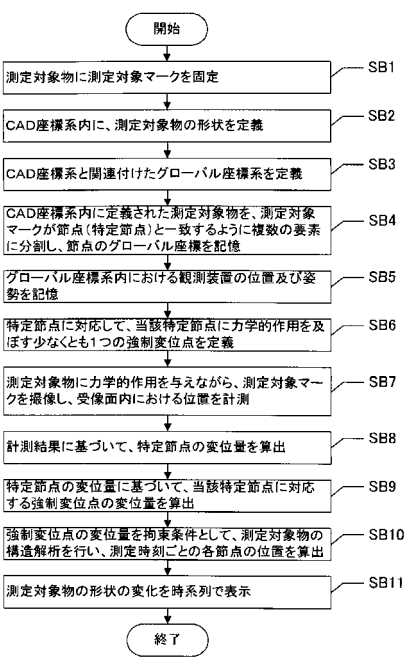
【図 4】



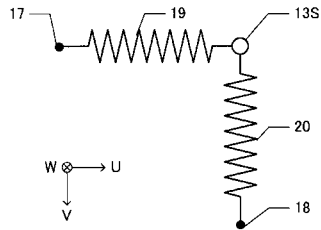
【図 5】



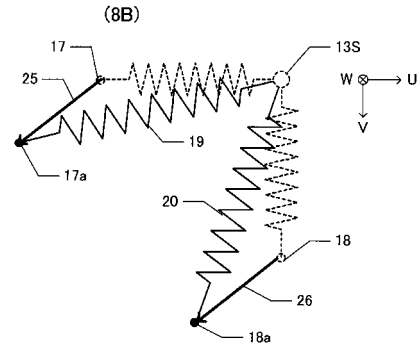
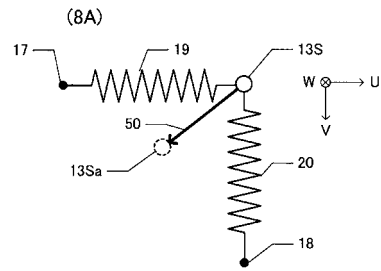
【図 6】



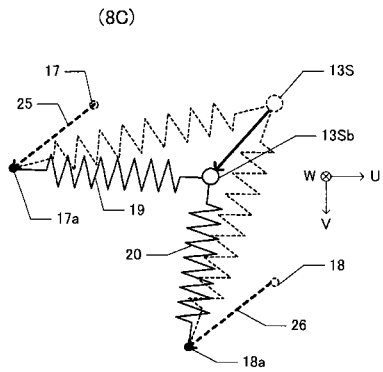
【図 7】



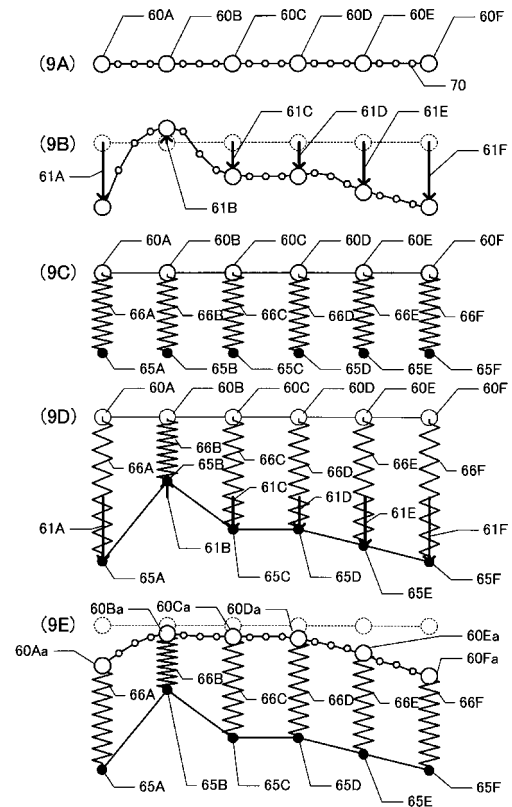
【図 8 - 1】



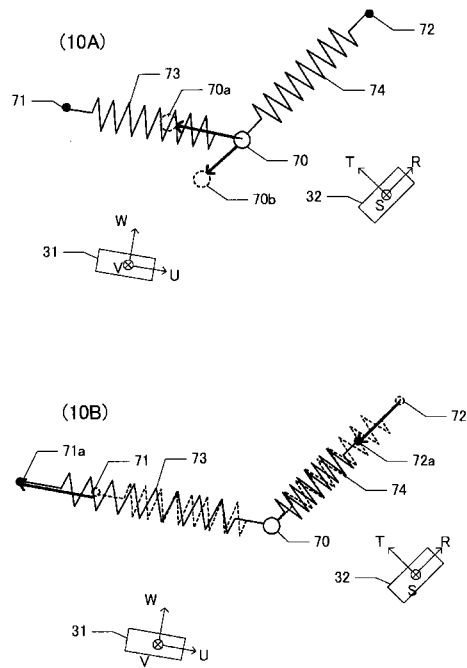
【図 8 - 2】



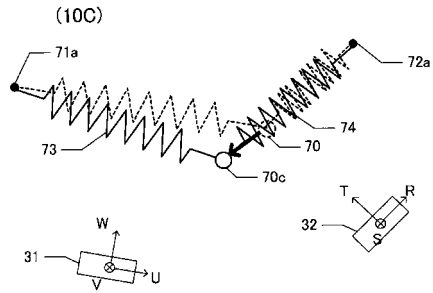
【図 9】



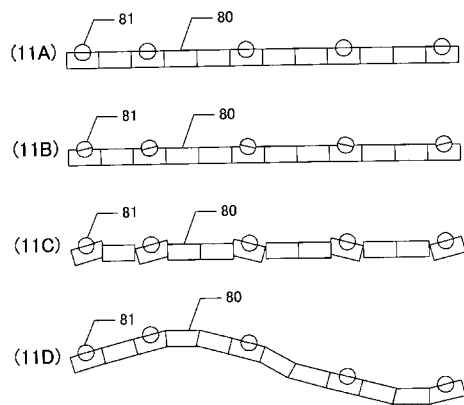
【図 10-1】



【図 10-2】



【図 11】



【図 12】

