

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7407108号  
(P7407108)

(45)発行日 令和5年12月28日(2023.12.28)

(24)登録日 令和5年12月20日(2023.12.20)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 N 29/04 (2006.01)

G 0 1 N 29/04

G 0 1 N 3/30 (2006.01)

G 0 1 N 3/30

G 0 1 N 29/11 (2006.01)

G 0 1 N 29/11

G 0 1 N 29/12 (2006.01)

G 0 1 N 29/12

請求項の数 17 (全13頁)

(21)出願番号	特願2020-526687(P2020-526687)	(73)特許権者	520030800
(86)(22)出願日	平成30年7月27日(2018.7.27)		グラインドソニック・ベスローテン・フ
(65)公表番号	特表2020-537155(P2020-537155		エンノートシャップ
	A)		GRINDOSONIC BV
(43)公表日	令和2年12月17日(2020.12.17)		ベルギー、3 0 0 1 ルーベン、エスペ
(86)国際出願番号	PCT/EP2018/070518		ラントラーン、4
(87)国際公開番号	WO2019/020825	(74)代理人	110001195
(87)国際公開日	平成31年1月31日(2019.1.31)		弁理士法人深見特許事務所
審査請求日	令和3年7月26日(2021.7.26)	(72)発明者	ファン・デン・ボッシュェ、アレックス
(31)優先権主張番号	17183649.7		ベルギー、3 0 4 0 ネーレイセ、ヤン
(32)優先日	平成29年7月27日(2017.7.27)		・フランクストラート、7
(33)優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁(EP)	審査官	田中 洋介
前置審査			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 衝撃励起手法を実行するための装置および方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

固体材料サンプル（99）の機械的振動応答を分析するための装置（100）であって、  
励起される振動モードの波節において前記固体材料サンプルを支持するように構成され  
た線形の支持体（199）と、

前記固体材料サンプル（99）の表面上のそれぞれの定義された点に対して衝撃を与  
えるように線上に配置されたインパクタ（110）のアレイと、前記線に対して実質的に垂  
直な方向への前記固体材料サンプルと前記インパクタのアレイとの相対的移動を生じさ  
せるための手段とを備え、またはグリッド内に配置されたインパクタのアレイを備え、前記  
装置（100）はさらに、

前記インパクタ（110）のアレイの各衝撃に続いて、前記機械的振動応答を時間変化  
信号として取り込むように構成されたセンサ（120）と、

前記時間変化信号を分析して、前記時間変化信号を構成しているシノソイドの周波数お  
よび減衰定数を求めるように構成された処理手段（130）とを備え、

前記装置（100）は、前記サンプルに対して相対的に前記線を移動させる前に前記線  
に沿って連続的に、または前記グリッドに沿って連続的に、前記インパクタ（110）の  
うちの全てのインパクタ（110）または選択されたインパクタ（110）を作動させる  
ように構成され、

前記センサ（120）は、前記センサによって前記固体材料サンプルに加えられる力を測  
定するための手段を備えたプローブ内に含まれた圧電センサである、装置（100）。

## 【請求項 2】

前記処理手段(130)は、前記求められた周波数および減衰定数に基づいて前記固体材料サンプル(99)における材料欠陥を検出するようにさらに構成される、請求項1に記載の装置(100)。

## 【請求項 3】

前記固体材料サンプルと前記インパクタのアレイとの2つの軸に沿った相対的移動を生じさせるようにさらに構成される、請求項1または2に記載の装置(100)。

## 【請求項 4】

温度センサ、前記固体材料サンプルの形状特性を求めるための手段、およびはかりのうちの1つ以上をさらに備える、請求項1～3のいずれか1項に記載の装置(100)。

10

## 【請求項 5】

前記センサ(120)は、前記センサ(120)によって前記機械的振動応答が取り込まれるスポットを照射するための手段を備える、請求項1～4のいずれか1項に記載の装置(100)。

## 【請求項 6】

前記処理手段(130)は、一般的なフィルタ対角化法を適用することによって高調波逆問題を解くように構成される、請求項1～5のいずれか1項に記載の装置(100)。

## 【請求項 7】

固体材料サンプルを特徴付ける方法であって、  
励起される振動モードの波節と一致する線形の支持体の上に前記固体材料サンプルを設置するステップと、

20

線上に配置されたインパクタ(110)のアレイを使用して前記固体材料サンプルの表面上の複数の定義された点に対して衝撃を与え、前記線に対して実質的に垂直な方向へ前記インパクタのアレイに対して相対的に前記固体材料サンプルを移動させるステップ、またはグリッド内に配置されたインパクタ(110)のアレイを使用して前記固体材料サンプルの表面上の複数の良定義された点に対して衝撃を与えるステップ(1010)と、

このような与えられる衝撃の各々を前記与えるステップに続いて、センサ(120)によって機械的振動応答を時間変化信号として取り込むステップ(1020)であって、前記センサ(120)は、前記センサによって前記固体材料サンプルに加えられる力を測定するための手段を備えたプローブ内に含まれた圧電センサである、機械的振動応答を時間変化信号として取り込むステップと、

30

前記時間変化信号を分析して、前記時間変化信号を構成しているシノソイドの周波数および減衰定数を求めるステップ(1030)とを備え、

前記インパクタ(110)のうちの全てのインパクタ(110)または選択されたインパクタ(110)は、前記サンプルに対して相対的に前記線を移動させる前に前記線に沿って連続的に作動され、または前記グリッドに沿って連続的に作動される、方法。

## 【請求項 8】

前記求められた周波数および減衰定数に基づいて前記固体材料サンプル(99)における材料欠陥を検出するステップをさらに備える、請求項7に記載の方法。

## 【請求項 9】

40

前記インパクタのアレイに対して相対的に前記固体材料サンプルを2つの軸に沿って移動させるステップをさらに備える、請求項7または8に記載の方法。

## 【請求項 10】

さまざまな衝撃位置について得られた前記周波数および減衰定数に基づいて欠陥の位置を推定するステップをさらに備える、請求項7～9のいずれか1項に記載の方法。

## 【請求項 11】

前記分析するステップは、前記周波数から動的ヤング率(E)を求めるステップをさらに備える、請求項7～10のいずれか1項に記載の方法。

## 【請求項 12】

前記分析するステップは、前記周波数からせん断弾性率(G)を求めるステップをさら

50

に備える、請求項 7 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 13】

前記分析するステップは、前記減衰定数と基準値とを比較するステップをさらに備える、請求項 7 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 14】

製造品の品質を管理する方法であって、  
前記製造品の少なくとも一部を前記固体材料サンプルとしてみなして、請求項 13 に記載の方法を使用するステップ (1010 ~ 1030) と、

前記減衰定数が前記基準値の予め定められたマージンの範囲内であれば、「合格」条件を送信するステップ (1040 / YES) と、

前記減衰定数が前記基準値の前記予め定められたマージンの範囲外であれば、「不合格」条件を宣言するステップ (1040 / NO) とを備える、方法。

【請求項 15】

前記分析するステップは、一般的なフィルタ対角化法を適用することによって高調波逆問題を解くステップを備える、請求項 7 ~ 14 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 16】

プロセッサに請求項 7 ~ 15 のいずれか 1 項に記載の方法の計算ステップを実行させるように構成されたコード手段を備える、コンピュータプログラム製品。

【請求項 17】

前記コード手段は、Harminv プログラムを備える、請求項 16 に記載のコンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

発明の分野

本発明は、衝撃励起手法の分野に関し、特に対象材料の弾性特性および内部摩擦を求めることに関する。

【背景技術】

【0002】

背景

インパルス励起手法は、専用のツールまたは発射物を用いて対象材料のサンプルに衝撃を与え、結果として生じる振動を、圧電センサ、マイクロフォン、レーザ振動計または加速度計などのセンサを用いて、取得時に分析することによって、サンプルの特定の物理的特性を求めるために使用されている。振動信号は、フーリエ変換によって周波数領域に変換されて共振周波数を特定し、これにより、サンプルの形状とともに材料の弾性特性を計算することができる。この手法は、一般に非破壊的であり、室温または異なる選択された（典型的には、高い）試験温度で適用され得る。

【0003】

インパルス励起手法に従って材料分析を行うためのさまざまな方法および装置が知られている。たとえば、トリエステ大学の名の下で「さまざまな材料の物体、サンプルまたは半加工製品の弾性率を検出するための実験方法 (Experimental method to detect the elastic modulus of objects, samples or semi-worked products of various materials)」と題される欧州特許出願公開番号 EP 3 141 305 A は、物体、サンプルまたは半加工製品の弾性率 (E) を検出するための実験方法であって、慣性体に対して打ち付け要素によって生成された衝撃を用いてサンプル物体に機械的応力を与えるステップと、予め定められた伸長値を有する接触面と対応してサンプル物体と接触するよう励起体が配設されるように、予め定められた質量 (m) の励起体を打ち付け要素とサンプル物体との間に導入するステップと、打ち付け要素を励起体上に衝突させることによってサンプル物体上に機械的応力を与えるステップと、サンプル物体の伸び変化 (X) に対応する応答信号を取得するステップと、少なくとも接触面の伸長値 (S) およびサンプル物体の

10

20

30

40

50

伸び変化（ $X$ ）の値の関数としてサンプル物体の弾性率（ $E$ ）の値を処理するステップとを備える、実験方法を開示している。

【0004】

公知の方法および装置の不利な点は、検出される共振周波数が、それ自体では、さまざまな材料からなる工業的に生産された物体、サンプルまたは半加工製品で起こり得るさまざまなタイプの欠陥（亀裂またはひびなど）を信号化し、特徴付けることに適していないことである。

【0005】

本発明の実施形態の目的は、先行技術の不利な点を少なくとも部分的に克服することである。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0006】

概要

本発明の一面から従って、固体材料サンプルの機械的振動応答を分析するための装置が提供され、上記装置は、上記固体材料サンプルの表面上のそれぞれの良定義された（well-defined）点に対して衝撃を与えるように線上に配置されたインパクタのアレイと、上記線に対して実質的に垂直な方向への上記固体材料サンプルと上記インパクタのアレイとの相対的移動を生じさせるための手段とを備え、またはグリッド内に配置されたインパクタのアレイを備え、上記装置はさらに、上記インパクタのアレイの各衝撃に続いて、上記機械的振動応答を時間変化信号として取り込むように構成されたセンサと、上記時間変化信号を分析して、上記時間変化信号を構成している正弦波の周波数および減衰定数を求めるように構成された処理手段とを備える。

【0007】

本発明は、とりわけ、衝撃励起に対する被試験固体サンプルの応答が、指数関数的に減衰する正弦波の和に物理的に類似しているという発明者の発明見識に基づいている。励起応答のこの特定の数学形式を現象の基礎となる物理学に基づいて仮定することによって、単に（高速）フーリエ変換においてピークを抽出するよりも優れた精度を得ることができる。さらに、本発明は、欠陥の存在下では、単なる被試験サンプルの共振周波数の特定よりも、減衰定数が手がかりとなるという見識に基づいている。さらに、本発明は、減衰定数の特定が、既知の数学的方法によって解くことができる高調波逆（ハーモニックインバージョン）問題を構成しているという見識に基づいている。

【0008】

本発明の利点は、この装置を走査モードで使用して、線をサンプルに対して相対的に移動させ手順を繰り返す前にインパクタ（全てまたは選択されたもの）を線に沿って連続的に作動させることによって、より大きなサンプルにおける局所材料特性を試験することにより、グリッド点でサンプルを効果的に分析できる、ということである。各々の個々の衝撃について応答が取り込まれて分析され得、衝撃点のすぐ近くの材料特性についての情報が得られる。

【0009】

この装置は、固定位置にインパクタが配置されるハウジング内に実装されてもよく、インパクタがサンプルの表面上の全ての対象点に到達することができるように、固定して配置されたインパクタの下方でサンプルを直線的に移動させるための手段を備えてもよい。

【0010】

代替的に、この装置は、固定位置でサンプルを受容するハウジング内に実装されてもよく、インパクタがサンプルの表面上の全ての対象点に到達することができるように、固定して配置されたサンプルの上方でインパクタを直線的に移動させるための手段を備えてもよい。

【0011】

インパクタのアレイがグリッド内に配置される場合には、この装置は、インパクタ（全

10

20

30

40

50

てまたは選択されたもの)をグリッドに沿って連続的に作動させることによって、サンプルと装置との相対的移動を必要とすることなく、より大きなサンプルにおける局所材料特性を試験することに使用できる。各々の個々の衝撃について応答が取り込まれて分析されてもよく、衝撃点のすぐ近くの材料特性についての情報が得られる。

【0012】

なお、グリッドベースの配置の場合、単一のサンプル位置から動作するとき可能であるよりも大きなおよび/または高密度のグリッド点でサンプルを分析するために、サンプルとインパクタのアレイとの間の相対的移動を適用することも可能である。

【0013】

本発明に係る装置の実施形態において、上記処理手段は、上記求められた周波数および減衰定数に基づいて上記固体材料サンプルにおける材料欠陥を検出するようにさらに構成される。

【0014】

本発明の装置は、サンプルの表面に沿ったさまざまな点におけるサンプルの励起応答情報を提供するので、異常応答を引き起こす材料欠陥の存在を検出することが可能になる。

【0015】

実施形態において、本発明に係る装置は、上記固体材料サンプルと上記インパクタのアレイとの2つの軸に沿った相対的移動を生じさせるようにさらに構成される。

【0016】

本実施形態の利点は、主要走査方向によって規定される線の間にある点で測定を行うことができ、欠陥の空間定位の精度を向上させることにつながる、ということである。

【0017】

実施形態において、本発明に係る装置は、励起される振動モードの波節において上記固体材料サンプルを支持するように構成された支持体をさらに備える。

【0018】

発明者らの発明見識は、励起される振動モードの波節(ゼロ)と一致する支持体の上に被試験サンプルを設置することによって、より正確な応答信号を取得できるということである。インパクタのアレイに対してサンプルを移動させるための手段は、移動にかかわらずサンプルが選択された波節において支持されたままになることを確実にするように配置される。

【0019】

実施形態において、本発明に係る装置は、温度センサ、上記固体材料サンプルの形状特性を求めるための手段、およびはかりのうちの1つ以上をさらに備える。

【0020】

温度センサを含むことの利点は、温度が時間変化信号と同時に測定されることによって、さまざまな熱的条件下で対象の物理的特性をより容易に分析できることであり、これは、熱誘起材料遷移の特定を含み得る。温度センサおよび機械的振動センサは、同一のプローブに組み込まれてもよい。形状特性を求めるための手段および/またははかりを含むことの利点は、サンプルのサイズおよび密度を正確に検出できることであり、上記変数は、得られた共振特性をヤング率(E)またはせん断弾性率(G)などの物理的材料特性に変換するのに必要である。

【0021】

本発明に係る装置の実施形態において、上記センサは、上記機械的振動応答が取り込まれるスポットを照射するための手段を備える。

【0022】

本実施形態の利点は、応答を取り込むための所望の位置を正確に位置決めする際にユーザが補助されることができ、行われる測定の再現性が向上する、ということである。

【0023】

本発明に係る装置の実施形態において、上記センサは、上記センサによって上記固体材料サンプルに加えられる力を測定するための手段を備えた接触ベースのセンサである。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 4 】

本実施形態の利点は、圧電センサなどの接触ベースのセンサを使用するときに、応答の取り込み中に所望の量の力を正確に加える際にユーザが補助されることができる、ということである。

## 【 0 0 2 5 】

本発明に係る装置の実施形態において、上記処理手段は、一般的なフィルタ対角化法を適用することによって高調波逆問題を解くように構成される。

## 【 0 0 2 6 】

本発明の一局面に従って、固体材料サンプルを特徴付ける方法が提供され、上記方法は、線上に配置されたインパクタのアレイを使用して上記固体材料サンプルの表面上の複数の良定義された点に対して衝撃を与え、上記線に対して実質的に垂直な方向へ上記インパクタのアレイに対して相対的に上記固体材料サンプルを移動させるステップ、またはグリッド上に配置されたインパクタのアレイを使用して上記固体材料サンプルの表面上の複数の良定義された点に対して衝撃を与えるステップと、このような与えられる衝撃の各々を上記与えるステップに続いて、機械的振動応答を時間変化信号として取り込むステップと、上記時間変化信号を分析して、上記時間変化信号を構成しているシノソイドの周波数および減衰定数を求めるステップとを備える。

## 【 0 0 2 7 】

本発明の利点は、この装置を走査モードで使用して、線をサンプルに対して相対的に移動させ手順を繰り返す前にインパクタ（全てまたは選択されたもの）を線に沿って連続的に作動させることによって、または、インパクタ（全てまたは選択されたもの）をグリッドに沿って連続的に作動させることによって、より大きなサンプルにおける局所材料特性を試験することにより、グリッド点でサンプルを効果的に分析できる、ということである。各々の個々の衝撃について応答が取り込まれて分析されてもよく、衝撃点のすぐ近くの材料特性についての情報が得られる。

## 【 0 0 2 8 】

この方法は、固定位置にインパクタが配置されたハウジング内に配設された装置を使用して実現されてもよく、装置は、インパクタがサンプルの表面上の全ての対象点に到達することができるように、固定して配置されたインパクタの下方でサンプルを直線的に移動させるための手段を備えてもよい。

## 【 0 0 2 9 】

代替的に、この方法は、固定位置でサンプルを受容するハウジング内に配設された装置を使用して実現されてもよく、装置は、インパクタがサンプルの表面上の全ての対象点に到達することができるように、固定して配置されたサンプルの上方でインパクタを直線的に移動させるための手段を備えてもよい。

## 【 0 0 3 0 】

代替的に、この方法は、固体材料サンプルに対して移動されてもされなくてもよい、グリッド内に配置されたインパクタのアレイを有する装置を使用して実現されてもよい。

## 【 0 0 3 1 】

実施形態において、上記方法は、上記求められた周波数および減衰定数に基づいて上記固体材料サンプル（ 9 9 ）における材料欠陥を検出するステップをさらに備える。

## 【 0 0 3 2 】

実施形態において、本発明に係る方法は、励起される振動モードの波節と一致する支持体の上に上記固体材料サンプルを設置するステップをさらに備える。

## 【 0 0 3 3 】

実施形態において、本発明に係る方法は、さまざまな衝撃位置について得られた上記周波数および減衰定数に基づいて欠陥の位置を推定するステップをさらに備える。

## 【 0 0 3 4 】

本発明の利点は、間隔が密な多数のグリッド点における材料特性についての情報を提供することである。したがって、それらのグリッド点のうちのいくつかでは検出されるが

10

20

30

40

50

他のグリッド点では検出されない異常が、亀裂またはひびなどの材料欠陥の推定位置についての手がかりとなる。

【 0 0 3 5 】

本発明に係る方法の実施形態において、上記分析するステップは、上記周波数から動的ヤング率 ( E ) を求めるステップをさらに備える。

【 0 0 3 6 】

本発明に係る方法の実施形態において、上記分析するステップは、上記周波数からせん断弾性率 ( G ) を求めるステップをさらに備える。

【 0 0 3 7 】

本発明に係る方法の実施形態において、上記分析するステップは、上記減衰定数と基準値とを比較するステップをさらに備える。

10

【 0 0 3 8 】

本発明に係る方法の実施形態において、上記分析するステップは、一般的なフィルタ対角化法を適用することによって高調波逆問題を解くステップを備える。

【 0 0 3 9 】

本発明の一面から従って、製造品の品質を管理する方法が提供され、上記方法は、上記の方法を使用して、上記製造品の少なくとも一部を上記固体材料サンプルとして特徴付けるステップと、上記減衰定数が上記基準値の予め定められたマージンの範囲内であれば、「合格」条件を送信するステップと、上記減衰定数が上記基準値の上記予め定められたマージンの範囲外であれば、「不合格」条件を宣言するステップとを備える。

20

【 0 0 4 0 】

本発明の一面から従って、プロセッサに上記の方法の計算ステップを実行させるように構成されたコード手段を備える、コンピュータプログラム製品が提供される。

【 0 0 4 1 】

本発明に係るコンピュータプログラム製品の実施形態において、上記コード手段は、 H a r m i n v プログラムを備える。

【 0 0 4 2 】

本発明に係る方法およびコンピュータプログラム製品の実施形態の技術的效果および利点は、必要な変更を加えれば、本発明に係る装置の対応する実施形態の技術的效果および利点に相当する。

30

【 0 0 4 3 】

ここで、本発明の実施形態のこれらのおよび他の特徴および利点について、添付の図面を参照してより詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 4 】

【図 1】たわみモードでの励起時に梁型サンプル内に引き起こされる振動を概略的に示す。

【図 2】ねじりモードでの励起時に梁型サンプル内に引き起こされる振動を概略的に示す。

【図 3】本発明に係る装置の実施形態を概略的に示す。

【図 4】本発明に係る方法の実施形態のフローチャートを示す。

【発明を実施するための形態】

40

【 0 0 4 5 】

実施形態の説明

既知の衝撃励起手法 ( I E T ) 手順では、被試験サンプルは、衝撃を与えられたときに実質的に妨げられずに振動することができるよう位置決めされる。これは、サンプルを軽量発泡体の上に設置するか、または励起される振動モードがゼロである ( 波節 ) 状態で適切に設置される線形支持体 ( たとえば、ワイヤまたは細い棒 ) の上にサンプルを載せることによって達成される。励起は、波腹、すなわち引き起こされる動きの局所振幅が対象のモードで最大である点、においてサンプルに衝撃を与えることによって行われる。

【 0 0 4 6 】

図 1 は、たわみ ( 特に、面外振動 ) モードでの励起時に被試験梁型サンプル内に引き起

50

こされる振動を概略的に示す。この振動モードの固有周波数  $f_f$  は、サンプルの動的ヤング率  $E$  を示す。質量  $m$ 、長さ  $L$ 、幅  $b$  および厚み  $t$  を有する示されている梁では、以下の式が使用され得る。

【 0 0 4 7 】

【数 1】

$$E = 0.9465 \left( \frac{mf_f^2}{b} \right) \left( \frac{L^3}{t^3} \right) T$$

【 0 0 4 8 】

ここで、補正率  $T$  は以下のように定義される。

【 0 0 4 9 】

【数 2】

$$T = 1 + 6.585 \left( \frac{t}{L} \right)^2 \quad (L/t \geq 20)$$

【 0 0 5 0 】

図 2 は、ねじりモードでの励起時に被試験梁型サンプル内に引き起こされる振動を概略的に示す。この振動モードの固有周波数  $f_t$  は、サンプルのせん断弾性率を示す。質量  $m$ 、長さ  $L$ 、幅  $b$  および厚み  $t$  を有する示されている梁では、以下の式が使用され得る。

【 0 0 5 1 】

【数 3】

$$G = \frac{4Lmf_t^2}{bt} R$$

【 0 0 5 2 】

ここで、補正率  $R$  は以下のように定義される。

【 0 0 5 3 】

【数 4】

$$R = \left[ \frac{1 + \left( \frac{b}{t} \right)^2}{4 - 2.521 \frac{t}{b} \left( 1 - \frac{1.991}{e^{\pi \frac{b}{t}} + 1} \right)} \right] \left[ 1 + \frac{0.00851b^2}{L^2} \right] - 0.060 \left( \frac{b}{L} \right)^{\frac{3}{2}} \left( \frac{b}{t} - 1 \right)^2$$

【 0 0 5 4 】

$E$  および  $G$  を求めるためのこれらの既知の方法は、サンプルの応答のスペクトルにおけるピーク周波数にのみ依拠する。期待値に対する  $E$  および  $G$  のずれがサンプルにおける欠陥を示し得るが、発明者は、特定の周波数成分の異常に速い減衰がこのような欠陥の信頼できる予測因子であることを発見した。

【 0 0 5 5 】

本発明は、固体材料サンプルの機械的振動応答を分析するための装置を提供し、この実施形態は、図 3 に概略的に示されている。装置 100 は、固体材料サンプル 99 の表面上のそれぞれの良定義された点に対して衝撃を与えるように線上にまたはグリッド上に配置されたインパクタ 110 のアレイを備える。

【 0 0 5 6 】

10

20

30

40

50



一般性を失うことなく、３つのインパクト１１０が線上に配置された装置１００が示されている。装置１００は、インパクト１１０の衝撃に続いて、サンプル９９の機械的振動応答を時間変化信号として取り込むように構成されたセンサ１２０をさらに備える。衝撃時にサンプル９９が自由に振動することができるように、たとえば線形支持体を備える好適なサンプルホルダ１９９が設けられている。装置１００は、時間変化信号を分析して、時間変化信号を構成しているシナソイドの周波数および減衰定数を求めるように構成された処理手段１３０をさらに備える。

#### 【００５７】

インパクト１１０は、好ましくは装置の残りの部分に取り付けられて自動運転される１つ以上のハンマ（すなわち、駆動される、任意にばね仕掛けのアームに装着された重り）または他の発射物を備えてもよい。センサ１２０は、圧電センサなどの接触ベースのセンサ、マイクロフォンもしくはレーザ振動計などの非接触ベースのセンサ、または加速度計を備えてもよい。

10

#### 【００５８】

発明者は、マイクロフォンよりも環境外乱（特に、工業環境内）の影響を受けにくい圧電センサなどの接触ベースのセンサを用いることにより優れた結果を得ることができることを発見した。圧電センサは、プローブ内に配置されてもよく、このプローブは、信号増幅器、機械的振動応答が取り込まれるスポットを照射するための手段（たとえば、プローブがサンプルの表面の方に運ばれて行ったときに予想される接点を光のスポットを用いて照射するように配置された小さなレーザ源）、および／または、温度センサをさらに含んでもよい。プローブは、好ましくは、センサによってサンプルに加えられる力を測定するための手段を備える。

20

#### 【００５９】

この装置は、駆動されるアームまたはより複雑なロボット支持体などの、プローブをサンプルと自動的に接触させるための手段を含んでもよい。この場合、力測定手段は、センサとサンプルとの間の優れた接触を確実にするのに必要なフィードバックを提供する。プローブがユーザによって手動で操縦される場合、この装置は、ユーザが接触力を予め定められた目標範囲内に維持することを補助するための視覚および／または聴覚フィードバックを提供するように構成されてもよい（たとえば、ＬＥＤが、加えられた力が大きすぎる場合にはある色で点灯し、加えられた力が小さすぎる場合には別の色で点灯するようにされてもよく、断続的なピープ音が、加えられた力が大きすぎるか小さすぎるかに応じて異なる音程または時間間隔を有してもよい、などである）。

30

#### 【００６０】

インパクトは、線形のアレイとして、または矩形のグリッドとして配置されてもよい。線形の場合、この装置は、サンプルのさまざまな部分に対する連続的な試験のためにインパクトの線の下方でサンプルを移動させる、または、サンプルのさまざまな部分に対する連続的な試験のためにサンプルの幅方向にインパクトの線を移動させるスキャナの機能を果たしてもよい。この装置は、好ましくは、サンプルおよびインパクトの必要な相対的移動を提供するために正確に制御可能なモータを備える。インパクトがグリッドとして配置される場合、このような相対的移動は、グリッドの範囲がサンプルの対象領域全体をカバーしない場合、またはより高い点密度が望まれる場合にのみ必要であろう。

40

#### 【００６１】

本発明に係る装置は、上記固体材料サンプルと上記インパクトのアレイとの２つの軸に沿った相対的移動を生じさせることができるように構成されてもよい。これにより、この装置は、主要走査移動に加えて、サンプルの表面上の点にアクセスする横方向移動を提供することができる。これは、欠陥の空間定位の精度を向上させることにつながる。

#### 【００６２】

この装置は、好ましくは、３Ｄスキャナ、カメラ（任意に、ステレオカメラ）などの、固体材料サンプルの形状特性を求めるための手段（図示せず）を備える。上記の式から明らかのように、サンプルの形状の正確な知識は、検出された周波数ピークからヤング率お

50

よびせん断弾性率の正確な値を導き出すのに重要である。サンプルの重量、したがって質量を求めるためにはかり（図示せず）がこの装置に組み込まれてもよい。上記の式から明らかのように、サンプルの質量の正確な知識も、検出された周波数ピークからヤング率およびせん断弾性率の正確な値を導き出すのに重要である。

【 0 0 6 3 】

装置 1 0 0 は、画面 1 4 0（好ましくは、タッチスクリーン）、ボタンまたはダイヤル 1 5 0、キーパッド（図示せず）などを含んでもよい従来のユーザインターフェイスを備えてもよい。

【 0 0 6 4 】

処理手段は、時間変化信号を分析して、時間変化信号を構成している正弦波の周波数および減衰定数を求めるように構成され、すなわち、それは高調波逆問題を解く。この高調波逆問題は、より一般的には所与の帯域幅における有限数の正弦波の和からなる、離散時間有限長信号を構成しているこのような正弦波の周波数、減衰定数、振幅および位相を求めることで構成され、文献において良く知られているが、これまで I E T とは関連付けられてこなかった。ウラジミール・A・マンデリシュタムおよびハワード・S・テイラーは、ウォールおよびノイハウザーの一般的なフィルタ対角化法を使用して、高調波逆問題を、彼らの独創的論文「時間信号のハーモニックインバージョンおよびその用途（Harmonic inversion of time signals and its applications）」（ジャーナル・オブ・ケミカル・フィジックス 1 0 7、6 7 5 6（1 9 9 7））における小行列対角化のうちの 1 つとして計算し直すことによって、この問題を解くことを記載している。マサチューセッツ工科大学のステイブン・G・ジョンソンによる「H a r m i n v」プログラムを含むこの手法のコンピュータベースの実現例は、当該技術分野において知られている。分析の結果は、画面 1 4 0 または他の好適なインターフェイスに出力され、記憶されるかまたは他の装置によってさらに処理されてもよい。

【 0 0 6 5 】

処理手段は、1 つ以上の専用のハードウェアコンポーネント（たとえば、A S I C）、適切に構成されたコンフィギュラブルハードウェアコンポーネント（たとえば、F P G A）、好適なソフトウェアを備えるマイクロプロセッサ、または上記の組み合わせで構成されてもよい。同一のコンポーネントは、他の機能も実行してもよい。

【 0 0 6 6 】

また、本発明は、固体材料サンプルを特徴付ける方法を提供し、この方法は、  
上記固体材料サンプルの表面上の複数の良定義された点に対して衝撃を与えるステップ 1 0 1 0 と、

このような与えられる衝撃の各々を上記与えるステップに続いて、機械的振動応答を時間変化信号として取り込むステップ 1 0 2 0 と、

上記時間変化信号を分析して、上記時間変化信号を構成している正弦波の周波数および減衰定数を求めるステップ 1 0 3 0 とを備える。

【 0 0 6 7 】

衝撃は、線上に配置されたインパクト（1 1 0）のアレイを使用して与えられる（1 0 1 0）。線が完了されると（すなわち、アレイのインパクトのうちの全てまたは選択されたものが作動されると）、サンプルは、その線に対して実質的に垂直な方向へインパクトのアレイに対して相対的に移動され、アレイが再び作動される。このプロセスは、対象の表面全体が走査されるまで反復的に繰り返される。このように進めることによって、いかなる異常（サンプルにおける亀裂、ひびまたは他の材料欠陥など）も非常に正確に定位することができる。

【 0 0 6 8 】

衝撃を与えるステップ 1 0 1 0 および取り込むステップ 1 0 2 0 は、（示されているように、たとえば装置が複数のインパクトを連続的に動作させる場合には）信号を分析するステップ 1 0 3 0 の前に繰り返し行われてもよく、または代替的には、各々の取り込まれた信号は、別々に分析されてもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 9 】

選択される励起モードによっては、分析するステップ 1 0 3 0 は、特にピーク周波数を特定して上記の式などの式を適用することによって、応答のスペクトルにおける周波数から動的ヤング率 ( E ) またはせん断弾性率 ( G ) を求めるステップをさらに備えてもよい。

## 【 0 0 7 0 】

本発明に係る装置に関する上記のさらなる詳細および選択肢は、本発明に係る方法にも当てはまる。

## 【 0 0 7 1 】

好ましくは、分析するステップは、減衰定数と基準値とを比較するステップ 1 0 4 0 をさらに備える。このステップにより、本発明に係る方法を品質管理の目的で 사용할 10  
ことができる。実際、製造品の品質を管理する方法は、上記の方法を使用して製造品の少なくとも一部を上記固体材料サンプルとして特徴付けるステップと、減衰定数が上記基準値の予め定められたマージンの範囲内であれば「合格」条件を送信するステップ 1 0 4 0 / Y E S と、減衰定数が上記基準値の上記予め定められたマージンの範囲外であれば「不合格」条件を宣言するステップ 1 0 4 0 / N O とを備える。

## 【 0 0 7 2 】

また、本発明は、プロセッサに上記方法の計算ステップを実行させるように構成されたコード化手段を備えるコンピュータプログラム製品に関する。

## 【 0 0 7 3 】

具体的な実施形態を参照して本発明について上述してきたが、これは本発明を明確にする 20  
ためになされており、本発明を限定するためになされているわけではない。本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲を参照することによって決定される。

30

40

50

【図面】

【図 1】

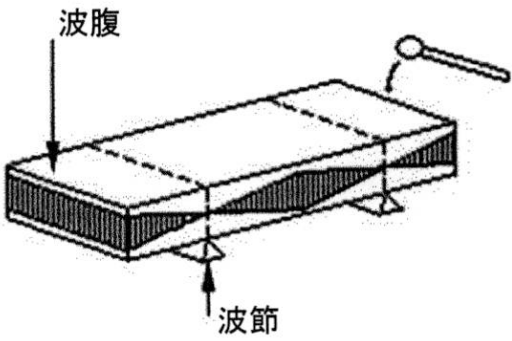


Figure 1

【図 2】

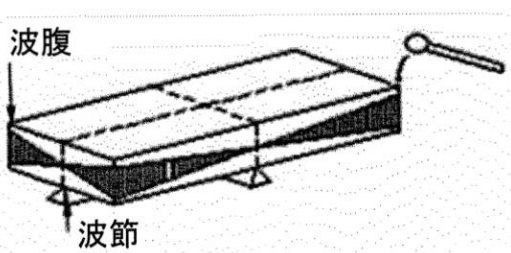


Figure 2

【図 3】

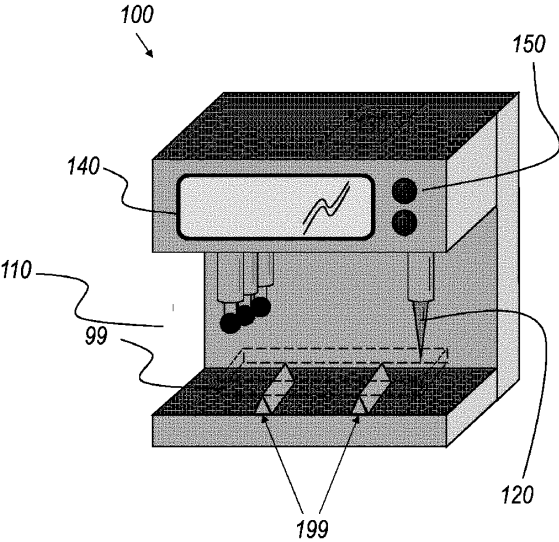


Figure 3

【図 4】

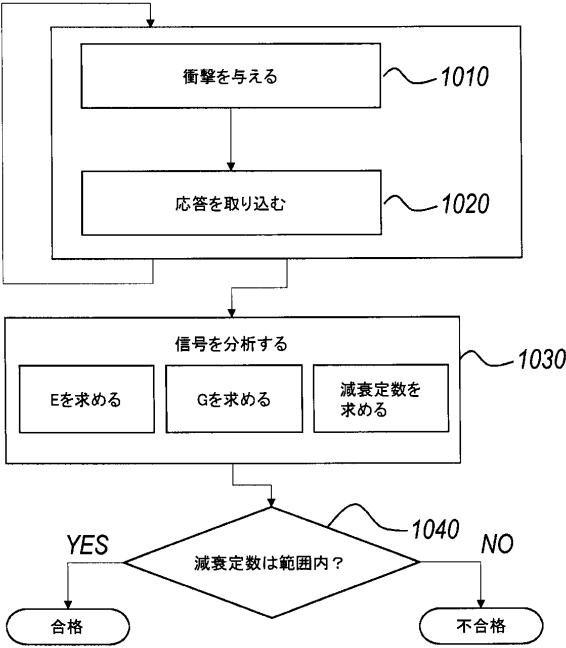


Figure 4

---

フロントページの続き

- (56)参考文献      特開平 1 0 - 1 7 0 4 8 2 ( J P , A )  
                    特公平 0 7 - 0 8 5 0 4 7 ( J P , B 2 )  
                    米国特許第 0 5 5 3 3 3 9 9 ( U S , A )  
                    特開 2 0 0 1 - 2 0 1 4 8 8 ( J P , A )  
                    特公平 0 4 - 0 0 7 8 3 0 ( J P , B 2 )  
                    特開 2 0 0 6 - 2 7 5 5 5 7 ( J P , A )  
                    特許第 2 7 4 5 6 4 8 ( J P , B 2 )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
                    G 0 1 N 2 9 / 0 0 - 2 9 / 5 2