

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3662682号

(P3662682)

(45) 発行日 平成17年6月22日(2005.6.22)

(24) 登録日 平成17年4月1日(2005.4.1)

(51) Int.Cl.⁷

F I

GO 1 L 1/22

GO 1 L 1/22

Z

GO 1 M 5/00

GO 1 M 5/00

GO 1 M 19/00

GO 1 M 19/00

Z

請求項の数 1 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平8-249838

(22) 出願日 平成8年9月20日(1996.9.20)

(65) 公開番号 特開平10-90087

(43) 公開日 平成10年4月10日(1998.4.10)

審査請求日 平成14年11月26日(2002.11.26)

(73) 特許権者 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(74) 代理人 100067356

弁理士 下田 容一郎

(72) 発明者 本山 恵一

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会

社本田技術研究所内

審査官 白石 光男

(56) 参考文献 特開平05-332082(JP, A)

特開平05-223661(JP, A)

特開平03-103511(JP, A)

特開平01-162124(JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 航空機主翼に作用する荷重の推定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

航空機主翼上のn個の点に各々作用する荷重を推定する方法を次に述べる第1段階と第2段階で実施するものであり、

第1段階は、n個の箇所 to 各々歪測定手段又はたわみ測定手段を設ける工程と、前記n個の箇所のうちの1箇所に基準荷重を集中的に掛け、そのときに1番からn番までに発生する歪又はたわみを測定し、得られた測定値をその時の基準荷重で割って単位荷重当りの歪又はたわみにする工程と、この工程を順次繰り返して下記の実用式を作成する工程とからなり、

【数 1】

$$\begin{cases} \kappa_{11}A_1 + \kappa_{12}A_2 + \cdots + \kappa_{1n}A_n = \varepsilon_1 \\ \kappa_{21}A_1 + \kappa_{22}A_2 + \cdots + \kappa_{2n}A_n = \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \kappa_{n1}A_1 + \kappa_{n2}A_2 + \cdots + \kappa_{nn}A_n = \varepsilon_n \end{cases}$$

10

$(\kappa_{11}) \cdots \kappa_{nn}$: 単位荷重当りの歪又はたわみ

$A_1 \cdots A_n$: 推定荷重(未知数)

$\varepsilon_1 \cdots \varepsilon_n$: 歪又はたわみ生データ
(第2段階での計測値)

第2段階は、前記航空機主翼を実使用状態に保持して歪測定手段又はたわみ測定手段により n 個の歪又はたわみ生データを集録する工程と、これらの歪又はたわみ生データを前記実用式に代入して推定荷重を計算することにより航空機主翼上の n 個の点に各々作用する荷重を推定する工程とからなることを特徴とした航空機主翼に作用する荷重の推定方法。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は歪又はたわみを計測して、この測定値から航空機主翼に作用する荷重を推定する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

歪測定手段(例えば、歪ゲージ)を構造物に貼りつけ、その点における歪を直接計測し、この歪データから応力を求め、これらから作用荷重を推定する方法がある。

30

例えば、単純形状である棒に軸力を作用させたときに次の式が成立する。

$$E = \sigma / \varepsilon = (P / A) / (\lambda / l)$$

ただし、 E は縦弾性係数、 σ は単純な垂直応力、 ε は縦歪、 P は軸荷重、 A は横断面積、 λ は部材の伸び又は縮み、 l は部材の原長である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、実際の構造物は、断面が一様でなく、荷重の作用方向が複雑であり且つ作用点が複数であることから、歪は実測できるが、この歪から作用荷重を換算することは不可能に近い。

40

そこで、歪を測ることを断念して、コンピュータ・シミュレーションを用いると構造物のモデル化の仕方によって計算結果が著しく異なったり、荷重条件の仮定が難しいなどの理由から、作用荷重を計算により推定することは信頼性が乏しい。そして、コンピュータ・シミュレーションは設計段階で荷重を推定する手法であって、構造物を現実を使用しているときの作用荷重を求めるには限界がある。

【0004】

例えば、航空機の主翼の各部に、実際の飛行状態において、いくらの荷重が作用しているかを知ることができれば、安全管理上有益であるが、この技術は極めて難しい。

すなわち、主翼の各部に歪ゲージを多数貼り付けたとしても、それらの点における歪が分かるだけで、これらの歪が許容値以内にあるか否かが分かるだけであって、機体の特定部

50

位にいくらの荷重が作用しているのかを知ることは困難である。

【0005】

【課題を解決するための手段】

しかし、本発明者は、研究を進めた結果、複数の歪ゲージ又はたわみゲージを巧みに利用して作用荷重を精度よく求めることのできる技術を開発することに成功した。

即ち、請求項1は、航空機主翼上のn個の点に各々作用する荷重を推定する方法を次に述べる第1段階と第2段階で実施するものであり、

第1段階は、n個の箇所₁に各々歪測定手段又はたわみ測定手段を設ける工程と、前記n個の箇所₁のうちの1箇所₁に基準荷重を集中的に掛け、そのときに1番からn番までに発生する歪又はたわみを測定し、得られた測定値をその時の基準荷重で割って単位荷重当りの歪又はたわみにする工程と、この工程を順次繰り返して下記の実用式を作成する工程とからなり、

【0006】

【数2】

$$\begin{cases} \kappa_{11}A_1 + \kappa_{12}A_2 + \cdots + \kappa_{1n}A_n = \varepsilon_1 \\ \kappa_{21}A_1 + \kappa_{22}A_2 + \cdots + \kappa_{2n}A_n = \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \kappa_{n1}A_1 + \kappa_{n2}A_2 + \cdots + \kappa_{nn}A_n = \varepsilon_n \end{cases}$$

$(\kappa_{11}) \cdots \kappa_{nn}$: 単位荷重当りの歪又はたわみ

$A_1 \cdots A_n$: 推定荷重(未知数)

$\varepsilon_1 \cdots \varepsilon_n$: 歪又はたわみ生データ
(第2段階での計測値)

【0007】

第2段階は、航空機主翼を実使用状態に保持して歪測定手段又はたわみ測定手段によりn個の歪又はたわみ生データを集録する工程と、これらの歪又はたわみ生データを前記実用式に代入して推定荷重を計算する。

【0008】

例えば、第1段階を実験場で実施し、第2段階は航空機主翼を使用状態に維持して実施する。

第2段階では歪又はたわみ生データを集録し、簡単な計算のみで各点に作用する荷重が直接推定できる。

従来は高速な電子計算機にて膨大な量の繰り返し計算を行なっても、比較的精度の低い推定値しか得られなかった。これに対して、本発明によれば多元連立方程式を解くだけで精度の高い推定値が得られ、高速な電子計算機は不必要となった。

【0009】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態を添付図に基づいて以下に説明する。

図1(a)～(c)は本発明方法を導くためのサンプルモデル図であり、梁状の構造物1に、基準荷重F1～F3を適当な間隔で、個別に作用させたときに発生する各部における歪を考える。前記基準荷重F1～F3は集中荷重である。

(a)は、1個の基準荷重F1のみを掛けたときの状態を示し、このときに各部に発生する歪を順に、 ε_{11} 、 ε_{12} 及び ε_{13} とする。

(b)は、1個の基準荷重F2のみを掛けたときの状態を示し、このときに各部に発生す

10

20

30

40

50

る歪を順に、 ε_{21} 、 ε_{22} 及び ε_{23} とする。

(c)は、1個の基準荷重F3のみを掛けたときの状態を示し、このときに各部に発生する歪を順に、 ε_{31} 、 ε_{32} 及び ε_{33} とする。

【0010】

前記歪は例えば次に示す要領で計測する。

図2は本発明方法の第1段階に係る装置の原理図であり、構造物1の荷重作用点に歪測定手段としての歪ゲージ2a、2b、2cを貼り付け、ケーブル3・・・(・・・は複数本を示す。)でアンプ4に結合し、このアンプ4をA/D変換機構を備えた記録計5に繋ぎ、更に記録計5を計算機6に繋ぐ。

上記構造物1は、例えば航空機の主要部材(主翼、胴体、尾翼など)や車両の主要部材(車体フレーム)である。 10

実験では10mm×10mmの正方形断面のアルミニウム梁を用い、左の支持点から1/4スパン(200mm)毎に荷重点を設定した。

【0011】

歪ゲージ2a、2b、2cは、周知のホイストンブリッジや圧電素子などであり、歪量に応じた電気信号を発するものである。

実験場において、構造物1に、既知の1個の荷重F1を掛けて歪 ε_{11} 、 ε_{12} 及び ε_{13} を実測し、同様に1個の荷重F2を掛けて歪 ε_{21} 、 ε_{22} 及び ε_{23} を、1個の荷重F3を掛けて歪 ε_{31} 、 ε_{32} 及び ε_{33} を実測する。

【0012】

表1は基準荷重F1を掛けたときの歪 ε_{11} 、 ε_{12} 及び ε_{13} を実測したものである。F1は800g、1600g、2100gの3種類とした。 20

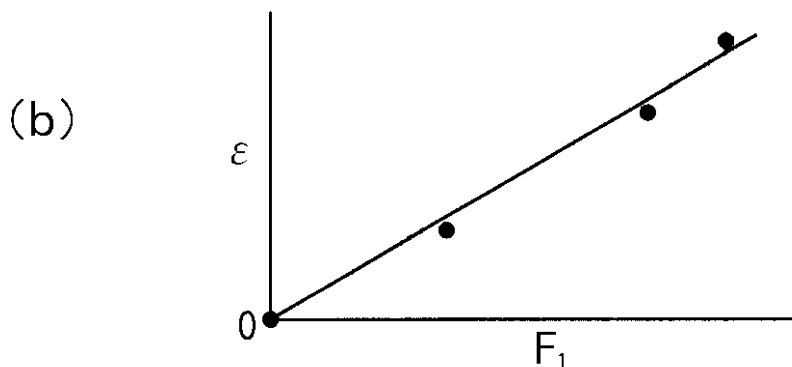
【0013】

【表1】

(a)

F_1	ε_{11}	ε_{12}	ε_{13}
800g	112×10^{-6}	77×10^{-6}	37×10^{-6}
1600g	226×10^{-6}	153×10^{-6}	73×10^{-6}
2100g	304×10^{-6}	204×10^{-6}	97×10^{-6}

↓ 単位荷重化



↓

(c)

f_1	κ_{11}	κ_{12}	κ_{13}
1	0.1432	0.0966	0.0460

$\kappa_{11}, \kappa_{12}, \kappa_{13}$ は($10^{-6}/g$)

【0014】

(a) に示す通り、 ε_{11} については 112×10^{-6} 、 226×10^{-6} 、 304×10^{-6} の3個の測定値を得た。

(b) 横軸を F_1 、縦軸を ε としたグラフに次の要領で測定値をプロットする。(800, 112×10^{-6})、(1600, 226×10^{-6})、(2100, 304×10^{-6}) の3点をプロットする。これらの3点と原点(0, 0)との4点で最小二乗法にて近似式 $\varepsilon = 0.1432 \times 10^{-6} \cdot F_1$ を得た。近似式の傾きは単位荷重当りの歪に相当する。

(c) 前記近似式の傾き、即ち単位荷重当りの歪を κ_{11} とする。同様に (a) の ε_{12} の3個の測定値から、(b) のグラフを経て単位荷重当りの歪 κ_{12} を求め、更に、(a) の ε_{13} の3個の測定値から、(b) のグラフを経て単位荷重当りの歪 κ_{13} を求め、(c) にまとめる。

【0015】

同様に F_2 、 ε_{21} 、 ε_{22} 及び ε_{23} について処理したものを表2、 F_3 、 ε_{31} 、 ε_{32} 及び ε_{33} について処理したものを表3に示す。

【0016】

【表 2】

F_2	ε_{21}	ε_{22}	ε_{23}
800g	77×10^{-6}	155×10^{-6}	77×10^{-6}
1600g	151×10^{-6}	306×10^{-6}	155×10^{-6}
2100g	206×10^{-6}	412×10^{-6}	205×10^{-6}

10

↓ 単位荷重化

f_2	κ_{21}	κ_{22}	κ_{23}
1	0.0967	0.1943	0.0973

$\kappa_{21}, \kappa_{22}, \kappa_{23}$ は($10^{-6}/g$)

20

【0017】

【表 3】

F_3	ε_{31}	ε_{32}	ε_{33}
800g	35×10^{-6}	75×10^{-6}	114×10^{-6}
1600g	73×10^{-6}	153×10^{-6}	228×10^{-6}
2100g	98×10^{-6}	202×10^{-6}	305×10^{-6}

30

↓ 単位荷重化

f_3	κ_{31}	κ_{32}	κ_{33}
1	0.0461	0.0958	0.1441

$\kappa_{31}, \kappa_{32}, \kappa_{33}$ は($10^{-6}/g$)

40

【0018】

次に示す数 3 は本発明の連立方程式を 3 元式にしたものである。

【0019】

【数 3】

$$\begin{cases} \kappa_{11}A_1 + \kappa_{12}A_2 + \kappa_{13}A_3 = \varepsilon_1 & \text{①} \\ \kappa_{21}A_1 + \kappa_{22}A_2 + \kappa_{23}A_3 = \varepsilon_2 & \text{②} \\ \kappa_{31}A_1 + \kappa_{32}A_2 + \kappa_{33}A_3 = \varepsilon_3 & \text{③} \end{cases}$$

$\kappa_{11} \dots \kappa_{33}$: 単位荷重当りの歪
 A_1, A_2, A_3 : 推定荷重(未知数)
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$: 歪生データ

10

【0020】

この連立方程式の▲1▼式に表1(c)に示した $\kappa_{11}, \kappa_{12}, \kappa_{13}$ の値を代入し、▲2▼式に表2に示した κ_{21}, κ_{22} 及び κ_{23} の値を代入し、▲3▼式に表3に示した $\kappa_{31}, \kappa_{32}, \kappa_{33}$ の値を代入する。ただし、両辺に 10^6 を乗じて $\kappa_{11} \sim \kappa_{33}$ における 10^{-6} は消去する。

この結果が次の数4である。

【0021】

【数4】

$$\text{実用式の例} \begin{cases} 0.1432 A_1 + 0.0966 A_2 + 0.0460 A_3 = \varepsilon_1 \\ 0.0967 A_1 + 0.1943 A_2 + 0.0973 A_3 = \varepsilon_2 \\ 0.0461 A_1 + 0.0958 A_2 + 0.1441 A_3 = \varepsilon_3 \end{cases}$$

20

【0022】

この連立方程式が、このときの本発明における「実用式」である。

この実用式の使用方法を次に説明する。

図3は本発明方法の第2段階に係る装置の原理図であり、この原理図の構成は前記図2と同じである。

30

歪ゲージ2a～2cの箇所に実際に作用荷重 $A_1 = 800 \text{ g}$ 、 $A_2 = 2100 \text{ g}$ 、 $A_3 = 1500 \text{ g}$ を加える。

このときの各作用点における歪を計測したところ以下の通りであった。歪ゲージ2aで 386×10^{-6} 、歪ゲージ2bで 627×10^{-6} 、歪ゲージ2cで 456×10^{-6} の歪を計測した。これらは歪生データ $\varepsilon_1 \sim \varepsilon_3$ である。これらを前記数4の右辺に代入したものが次の数5である。

【0023】

【数5】

$$\begin{cases} 0.1432 A_1 + 0.0966 A_2 + 0.0460 A_3 = 386 \\ 0.0967 A_1 + 0.1943 A_2 + 0.0973 A_3 = 627 \\ 0.0461 A_1 + 0.0958 A_2 + 0.1441 A_3 = 456 \end{cases}$$

40

【0024】

この連立方程式を解くと、 A_1 は 819 g 、 A_2 は 2047 g そして A_3 は 1541 g である。

即ち、構造物1に発生した歪 $\varepsilon_1 \sim \varepsilon_3$ を実測することにより、各点に作用する荷重 $A_1 \sim A_3$ が推定できたわけである。

50

【0025】

この推定値の精度を検討する。

推定値と実際に作用した荷重 ($A1=800\text{ g}$ 、 $A2=2100\text{ g}$ 、 $A3=2100\text{ g}$) とを比較して、推定精度を計算すると、 $A1$ は2.4%、 $A2$ は2.4%、 $A3$ は2.7%であり、荷重の推定精度は良好であることが確認できた。

【0026】

本発明の実施例を整理すると次の通りである。

図4は第1段階における計算フロー図であり、 $ST \times \times$ はステップ番号を示す。なお、第1段階は設備の整った実験場で実施すると良い。

$ST01$ ；構造物に n 個の歪ゲージを取付ける。

10

$ST02$ ；まず、1番歪ゲージの箇所に基準荷重（例えば 800 g ）を集中的に掛ける。

$ST03$ ；1番～ n 番までの各点に発生した歪を測定し、これらの歪を前記基準荷重で割って、単位荷重当りの歪とする。

$ST04$ ；次に、2番歪ゲージの箇所に基準荷重（例えば 800 g ）を集中的に掛ける。

$ST05$ ；1番～ n 番までの各点に発生した歪を測定し、これらの歪を前記基準荷重で割って、単位荷重当りの歪とする。

【0027】

$ST06$ ；以上を繰り返すことにより、 n 番歪ゲージの箇所に基準荷重（例えば 800 g ）を集中的に掛ける。

$ST07$ ；1番～ n 番までの各点に発生した歪を測定し、これらの歪を前記基準荷重で割って、単位荷重当りの歪とする。

20

$ST08$ ；実用式（ n 元連立方程式）を記憶する。

【0028】

図5は第2段階における計算フロー図であり、 $ST \times \times$ はステップ番号を示す。なお、第2段階は飛行中若しくは走行中に実施する。

$ST10$ ；構造物に取付けた n 個の歪ゲージで n 個の歪データを集録する。

$ST11$ ；歪データを実用式（ n 元連立方程式）に代入して、 $A1$ 、 $A2$ 、 $\dots$ 、 AN を算出する。これら $A1$ 、 $A2$ 、 $\dots$ 、 AN が1番～ n 番に作用したと推定できる推定荷重である。

【0029】

30

以上は歪で説明したが、歪をたわみに置き換えることで同様に荷重を推定することができる。たわみ測定手段としては、ダイヤルゲージなどの接触型ゲージや、空気マイクロメータ、オプチメータなどの非接触型ゲージが適当である。

【0030】

また、「得られた測定値をその時の基準荷重で割って単位荷重当りの歪又はたわみにする」処理は、上記説明では最小二乗法で実施したが、これに準ずる手法であれば処理法は任意である。

【0031】

尚、本実施の形態では、簡単な両端単純支持はりを例に説明したが、本発明方法は多点動的荷重の計測が可能であり、具体的には、航空機の飛行試験時の翼荷重の計測、海洋構造物、船体等に作用する流体力の計測が可能であり、このことから、本発明方法は、静的荷重、振動、衝撃等の動的荷重の計測に応用でき、センサや演算器を搭載することで、リアルタイムに荷重を推定して、過負荷信号を発信させることもできる。従って、本発明の適用分野は多岐にわたる。

40

【0032】

【発明の効果】

本発明は上記構成により次の効果を発揮する。

請求項1は、航空機主翼上の n 個の点に各々作用する荷重を推定する方法を次に述べる第1段階と第2段階で実施するものであり、

第1段階は、 n 個の箇所に各々歪測定手段又はたわみ測定手段を設ける工程と、前記 n

50

個の箇所の中の1箇所に基準荷重を集中的に掛け、そのときに1番からn番までに発生する歪又はたわみを測定し、得られた測定値をその時の基準荷重で割って単位荷重当りの歪又はたわみにする工程と、この工程を順次繰り返して下記の実用式を作成する工程とからなり、

【0033】

【数6】

$$\left\{ \begin{array}{l} \kappa_{11}A_1 + \kappa_{12}A_2 + \cdots + \kappa_{1n}A_n = \varepsilon_1 \\ \kappa_{21}A_1 + \kappa_{22}A_2 + \cdots + \kappa_{2n}A_n = \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \kappa_{n1}A_1 + \kappa_{n2}A_2 + \cdots + \kappa_{nn}A_n = \varepsilon_n \end{array} \right. \quad 10$$

$(\kappa_{11}) \cdots \kappa_{nn}$: 単位荷重当りの歪又はたわみ

$A_1 \cdots A_n$: 推定荷重(未知数)

$\varepsilon_1 \cdots \varepsilon_n$: 歪又はたわみ生データ
(第2段階での計測値)

20

【0034】

第2段階は、航空機主翼を実使用状態に保持して歪測定手段又はたわみ測定手段によりn個の歪又はたわみ生データを集録する工程と、これらの歪又はたわみ生データを前記実用式に代入して推定荷重を計算する。

【0035】

例えば、第1段階を実験場で実施し、第2段階は航空機主翼を使用状態に維持して実施する。

第2段階では歪又はたわみ生データを集録し、簡単な計算のみで各点に作用する荷重が直接推定できる。 30

従来は高速な電子計算機にて膨大な量の繰り返し計算を行なっても、比較的精度の低い推定値しか得られなかった。これに対して、本発明によれば多元連立方程式を解くだけで精度の高い推定値が得られ、高速な電子計算機は不必要となった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明方法を導くためのサンプルモデル図

【図2】本発明方法の第1段階に係る装置の原理図

【図3】本発明方法の第2段階に係る装置の原理図

【図4】第1段階における計算フロー図

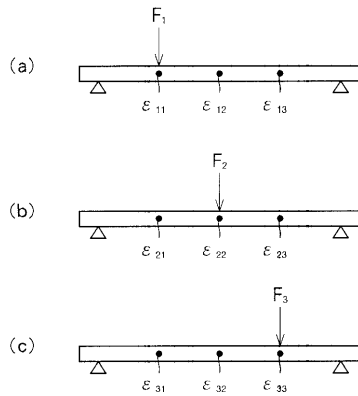
【図5】第2段階における計算フロー図

40

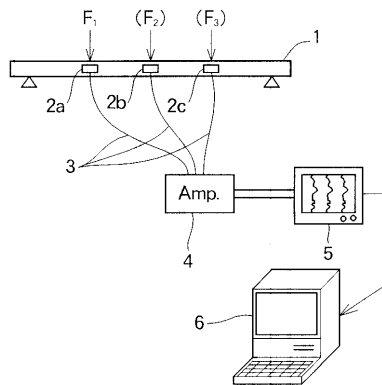
【符号の説明】

1…構造物、2a～2d…歪測定手段(歪ゲージ)、5…記録計、6…計算機。

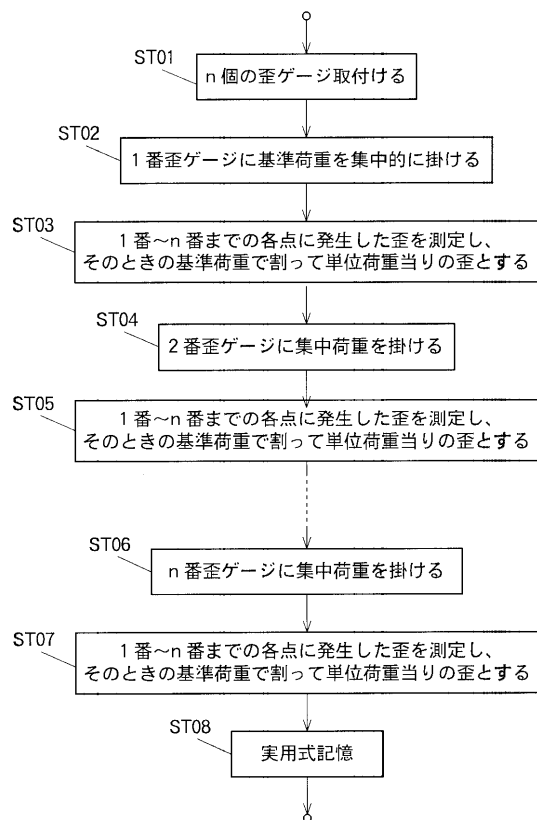
【図 1】



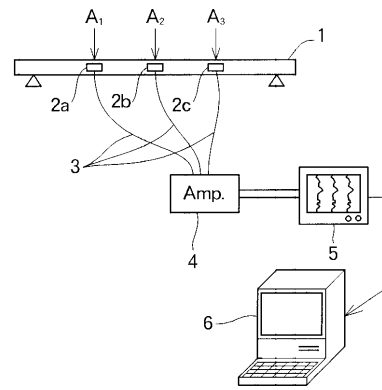
【図 2】



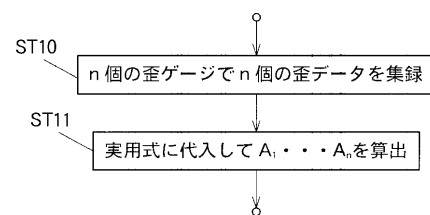
【図 4】



【図 3】



【図 5】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G01L 1/22

G01L 5/16

G01L 15/00

G01L 25/00

G01M 5/00

G01M 19/00