

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年7月5日(05.07.2018)



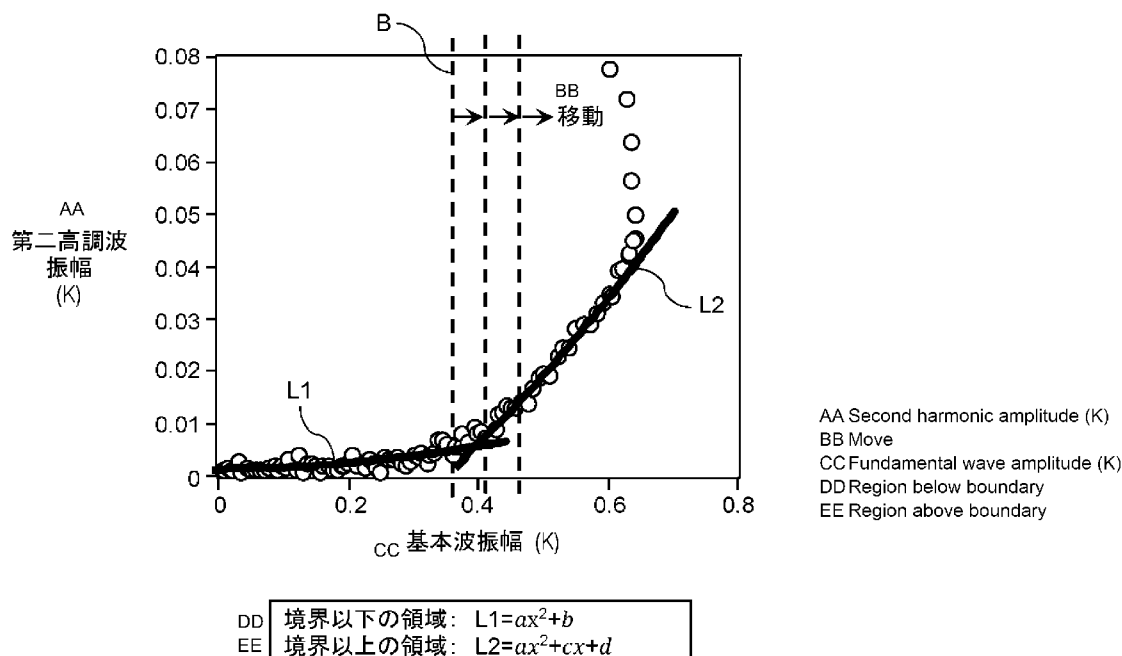
(10) 国際公開番号

WO 2018/123129 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 3/34 (2006.01) *G01N 3/06* (2006.01) 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号 Osaka (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/029846 (72) 発明者: 入江 庸介 (IRIE Yousuke). 井上 裕嗣 (INOUE Hirotsugu). 河合 亮悟 (KAWAI Ryougo).
- (22) 国際出願日: 2017年8月22日(22.08.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-251885 2016年12月26日(26.12.2016) JP
- (71) 出願人: パナソニックIPマネジメント株式会社(PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5406207
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) Title: FATIGUE LIMIT STRESS SPECIFICATION SYSTEM, FATIGUE LIMIT STRESS SPECIFICATION DEVICE, AND FATIGUE LIMIT STRESS SPECIFICATION METHOD

(54) 発明の名称: 疲労限度応力特定システム、疲労限度応力特定装置及び疲労限度応力特定方法



(57) Abstract: This fatigue limit stress specification system is provided with: a vibrator which repeatedly applies load to a to-be-measured object; a temperature sensor which measures the temperature variation of the to-be-measured object; and an information processing device which measures the fatigue limit stress of the to-be-measured object on the basis of the temperature variation of the to-be-measured object measured by the temperature sensor. The information processing de-

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

vice analyzes the temperature variation measured by the temperature sensor, determines the relationship of the temperature amplitude of a second harmonic component with respect to the temperature amplitude of a fundamental frequency component of the applied vibration, fits the relationship to a first approximation line (L1) which is a quadratic curve and a second approximation line (L2) which is a quadratic curve, and calculates the fatigue limit stress of the to-be-measured object on the basis of the intersection point between the first approximation line (L1) and the second approximation line (L2).

(57) 要約: 疲労限度応力特定システムは、測定対象物に対して荷重を繰り返し加える加振機と、測定対象物の温度変動を測定する温度センサと、温度センサにより測定した測定対象物の温度変動に基づき測定対象物の疲労限度応力を測定する情報処理装置と、を備える。情報処理装置は、温度センサが測定した温度変動を解析して、加振の基本周波数成分の温度振幅に対する第二高調波成分の温度振幅の関係を求め、その関係を二次曲線である第一の近似線 (L 1) と二次曲線である第二の近似線 (L 2) によりフィッティングし、第一の近似線 (L 1) と第二の近似線 (L 2) の交点に基づき測定対象物の疲労限度応力を算出する。

明 細 書

発明の名称：

疲労限度応力特定システム、疲労限度応力特定装置及び疲労限度応力特定方法

技術分野

[0001] 本開示は、測定対象物の疲労限度応力を測定する疲労限度応力特定システム、疲労限度応力特定装置及び疲労限度応力特定方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1 は、繰り返し応力振幅を測定対象物に加えて、材料内部のエネルギー散逸によって生じる平均温度上昇量の一定領域内における分布を赤外線カメラによって測定する散逸エネルギー測定手段を用いた疲労限度応力特定システムを開示する。

[0003] 特許文献 1 の疲労限度応力特定システムは、加振機と、赤外線カメラと、情報処理装置を備える。加振機は、測定対象物に対して荷重を繰り返し加える。赤外線カメラは、測定対象物の温度画像を得る。情報処理装置は、赤外線カメラから得た測定対象物の温度画像を処理するフーリエ変換手段を有する。情報処理装置は、散逸エネルギーを測定する散逸エネルギー測定工程と、散逸エネルギー測定工程から得られた測定結果から疲労限度応力を特定する疲労限度応力特定工程とを実施する。

[0004] 散逸エネルギー測定工程は、赤外線カメラが撮影した温度画像より、加振の基本周波数成分および第二高調波成分の温度振幅画像を取得する。そして、第二高調波成分の温度振幅が最大を示す領域内において、基本周波数成分の温度振幅に対する荷重特性の傾きが最大であるピクセル領域の散逸エネルギーを抽出する。

[0005] 疲労限度応力特定工程では、自由度調整済み決定係数および Gauss-Newton 法によって求められる 2 本の近似線の交点から疲労限度応力を特定している。2 本の近似線として、 $y = a \times x^n + b$ ($n=2$) で表される多項式と直線とが

使用されている。

- [0006] 特許文献1の疲労限度応力特定装置システムによれば、応力集中を有する材料や部品の疲労限度応力を、主観的な判断に頼ることなく、客観的かつ正確に求めることができる。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献1：特開2016-24056号公報

発明の概要

- [0008] 本開示は、測定対象物の疲労限度応力を精度よく測定できる疲労限度応力特定システムを提供する。

- [0009] 本開示の第一の態様において、荷重を段階的に増加させながら測定対象物を加振したときに発生する測定対象物の温度変動に基づいて、測定対象物の疲労限度応力を測定する疲労限度応力特定システムを提供する。疲労限度応力特定システムは、加振機と、温度センサと、情報処理装置と、を備える。加振機は、測定対象物に対して各荷重を所定の周波数で繰り返して加える。温度センサは、荷重が加えられている測定対象物の温度変動を示す温度変動を得る。情報処理装置は、温度センサから得た温度画像に基づき測定対象物の疲労限度応力を求める。情報処理装置は、温度センサから得た温度変動から、測定対象物に関する、加振の基本周波数成分の温度振幅に対する第二高調波成分の温度振幅の関係を求める。その関係を二次曲線である第一の近似線と二次曲線である第二の近似線によりフィッティングし、第一の近似線と第二の近似線の交点に基づき測定対象物の疲労限度応力を求める。

- [0010] 本開示の第二の態様において、荷重を段階的に増加させながら測定対象物を加振したときに発生する測定対象物の温度変動に基づいて、測定対象物の疲労限度応力を測定する疲労限度応力特定装置を提供する。疲労限度応力特定装置は、取得部と、演算部とを備える。取得部は、測定対象物の温度変動を取得する。演算部は、温度変動を解析して測定対象物の疲労限度応力を測定する。演算部は、温度変動から、加振の基本周波数成分の温度振幅に対す

る第二高調波成分の温度振幅の関係を求め、その関係を二次曲線である第一の近似線と二次曲線である第二の近似線によりフィッティングし、第一の近似線と第二の近似線の交点に基づき測定対象物の疲労限度応力を求める。

[0011] 本開示の第三の態様において、荷重を段階的に増加させながら測定対象物を加振したときに発生する測定対象物の温度変動に基づいて前記測定対象物の疲労限度応力を測定する疲労限度応力特定方法を提供する。疲労限度応力特定方法は、荷重を段階的に増加させながら所定の周波数で繰り返し測定対象物に加える。荷重が加えられている測定対象物の温度変動をし、温度変動から、加振の基本周波数成分の温度振幅に対する第二高調波成分の温度振幅の関係を求める。その関係を二次曲線である第一の近似線と二次曲線である第二の近似線によりフィッティングし、第一の近似線と第二の近似線の交点に基づき前記測定対象物の疲労限度応力を求める。

[0012] 本開示によれば、基本周波数成分の温度振幅に対する第二高調波成分の温度振幅の関係を2つの二次曲線でフィッティングし、その2つの二次曲線の交点に基づき測定対象物の疲労限度応力を求める。これにより、精度良く測定対象物の疲労限度応力を求めることができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1A]図1 Aは、本開示の実施の形態1における疲労限度応力特定システムの構成を示す図である。

[図1B]図1 Bは、試験片を加振機に固定した状態を示す図である。

[図2]図2は、実施の形態1における情報処理装置の構成を示すブロック図である。

[図3]図3は、本開示の実施の形態1における曲率半径 r_{h0} を有する測定対象物である試験片 1 b の形状及び寸法を示す図である。

[図4]図4は、疲労限度応力の特定処理を示すフローチャートである。

[図5A]図5 Aは、第二高調波成分についての温度振幅画像分布を示す図である。

[図5B]図5 Bは、図4 Aの領域 R 1 の部分の拡大図である。

[図6A]図 6 A は、加振時の試験片の温度変動を示す図である。

[図6B]図 6 B は、図 6 A における破線領域を拡大した図である。

[図7A]図 7 A は、温度変動の周波数スペクトルを示す図である。

[図7B]図 7 B は、図 7 A における破線領域を拡大した図である。

[図8A]図 8 A は、荷重振幅と基本波振幅の関係を示す図である。

[図8B]図 8 B は、荷重振幅と第二高調波振幅の関係を示す図である。

[図8C]図 8 C は、基本波振幅と第二高調波振幅の関係を示す図である。

[図9]図 9 は、第一の近似線及び第二の近似線の求め方を説明するための図である。

[図10]図 1 0 は、第一の近似線及び第二の近似線の算出処理を示すフローチャートである。

[図11A]図 1 1 A は、基本波振幅と第二高調波振幅の関係を示す図である。

[図11B]図 1 1 B は、境界番号毎に求めた残差二乗和を示す図である。

[図12A]図 1 2 A は、荷重振幅が大きい場合に測定される不適切なデータを説明した図である。

[図12B]図 1 2 B は、荷重振幅が大きい場合に測定される不適切なデータを説明した図である。

[図12C]図 1 2 C は、自由度調整済み決定係数の算出式を示す図である。

[図13A]図 1 3 A は、N 個のデータ範囲に対するフィッティング結果を説明した図である。

[図13B]図 1 3 B は、N - 1 個のデータ範囲に対するフィッティング結果を説明した図である。

[図13C]図 1 3 C は、N - 2 個のデータ範囲に対するフィッティング結果を説明した図である。

[図13D]図 1 3 D は、N - 3 個のデータ範囲に対するフィッティング結果を説明した図である。

[図13E]図 1 3 E は、N - 4 個のデータ範囲に対するフィッティング結果を説明した図である。

[図13F]図13Fは、 $N-5$ 個のデータ範囲に対するフィッティング結果を説明した図である。

[図13G]図13Gは、 $N-6$ 個のデータ範囲に対するフィッティング結果を説明した図である。

[図13H]図13Hは、 $N-7$ 個のデータ範囲に対するフィッティング結果を説明した図である。

[図14A]図14Aは、基本波振幅と第二高調波振幅の関係を示す図である。

[図14B]図14Bは、図14Aに示すデータに基づいて疲労限度を算出する方法を説明するための図である。

[図15]図15は、実施の形態1の方法により求めた疲労限度応力と、従来の方法により求めた疲労限度応力との比較を示す図（試験片の切欠き半径：5.0mm）である。

[図16]図16は、実施の形態1の方法により求めた疲労限度応力と、従来の方法により求めた疲労限度応力との比較を示す図（試験片の切欠き半径：2.0mm）である。

[図17]図17は、実施の形態1の方法により求めた疲労限度応力と、従来の方法により求めた疲労限度応力との比較を示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、適宜図面を参照しながら、実施の形態を詳細に説明する。但し、必要以上に詳細な説明は省略する場合がある。例えば、既によく知られた事項の詳細説明や実質的に同一の構成に対する重複説明を省略する場合がある。これは、以下の説明が不必要に冗長になるのを避け、当業者の理解を容易にするためである。

[0015] なお、発明者らは、当業者が本開示を十分に理解するために添付図面および以下の説明を提供するのであって、これらによって請求の範囲に記載の主題を限定することを意図するものではない。

[0016] （実施の形態1）

[1-1. 構成]

以下、添付の図面を参照して本開示に係る疲労限度応力特定システムの実施の形態を説明する。以下の実施形態で説明する疲労限度応力特定システムは、試験片の疲労限度応力を算出するシステムである。

[0017] 図1Aは、本開示の実施の形態における疲労限度応力特定システムを示した図である。疲労限度応力特定システム100は、加振機10と、赤外線カメラ30（本開示に係る温度センサの一例）と、情報処理装置50（本開示に係る疲労限度応力特定装置の一例）と、モニタ60とを備える。加振機10は、測定対象物である試験片1を加振する。赤外線カメラ30は、試験片1の温度画像（赤外画像）を撮影する。情報処理装置50は、温度画像を解析し、試験片1の疲労限度を算出する。具体的には、情報処理装置50は、散逸エネルギー測定工程21と、疲労限度応力特定工程22とを実施する（詳細は[1-2. 動作]で後述する）。モニタ60は、所定の情報を表示する。

[0018] 図1Bは、試験片1を加振機10に固定した状態を示した図である。加振機10は、試験片1に対して所定の力を所定の周波数で加える装置である。

[0019] なお、以下の説明で参照する測定データは、加振機10として、油圧サーボ疲労試験機（株式会社島津製作所製、サーボパルス、最大試験能力：10kN）を利用して測定したデータである。加振機10の荷重制御により、試験片1に対する引張荷重を0kN～8.5kNまで0.1kNずつ増加させながら、赤外線カメラ30により試験片1の温度画像の測定を行った。加振による基本周波数（1f）は25Hzとした。赤外線カメラ30としてCedip Infrared Systems社のSilver480Mを利用した。赤外線カメラ30のフレームレートは249Hzである。

[0020] 赤外線カメラ30で測定した温度画像は、フーリエ変換機能を有する情報処理装置50でデータ処理される。情報処理装置50は、赤外線カメラ30により撮影された温度画像（赤外画像）を解析して試験片1の疲労限度応力を特定する。情報処理装置50にはモニタ60が接続されている。モニタ60は液晶ディスプレイ装置または有機ELディスプレイ装置である。

- [0021] 図2は、情報処理装置50の内部構成を説明したブロック図である。情報処理装置50は例えばパーソナルコンピュータである。情報処理装置50は、その全体動作を制御するコントローラ51と、ユーザが操作を行う操作部55と、データやプログラムを記憶するRAM56と、データ格納部57とを備える。
- [0022] 情報処理装置50はさらに、赤外線カメラ30（図1A）やモニタ60（図1A）等の外部機器に接続するための機器インタフェース58（本開示に係る取得部の一例）と、ネットワークに接続するためのネットワークインタフェース59（本開示に係る取得部の一例）とを含む。機器インタフェース58は、USB（Universal Serial Bus）、HDMI（登録商標）（High Definition Multimedia Interface）、IEEE1394等に準拠してデータ等の通信を行う通信モジュール（回路）である。ネットワークインタフェース59は、IEEE802.11、WiFi、Bluetooth（登録商標）等の規格に準拠してデータ通信を行う通信モジュール（回路）である。
- [0023] コントローラ51（本開示に係る演算部の一例）はCPU（Central Processing Unit）やMPU（Micro Processing Unit）で構成され、データ格納部57に格納された所定の制御プログラム57aを実行することにより所定の機能を実現する。コントローラ51で実行される制御プログラムはネットワーク200を介して提供されてもよいし、CD-ROM等の記録媒体を介して提供されてもよい。
- [0024] RAM56はプログラムやデータを一時的に格納する記憶素子であり、コントローラ51の作業領域として機能する。
- [0025] データ格納部57は機能を実現するために必要なパラメータ、データ及びプログラムを記憶する記録媒体であり、コントローラ51で実行される制御プログラムや各種のデータを格納している。データ格納部57は、例えば、ハードディスクドライブ（HDD）、SSD（Solid State Drive）、光ディスク媒体で構成される。データ格納部57には制御プログラム57aがイン

ストールされている。コントローラ 51 はこの制御プログラム 57a を実行することで後述する機能を実現する。データ格納部 57 はコントローラ 51 の作業領域としても機能する。

[0026] 図 3 は、測定対象物である試験片 1 を説明した図である。試験片 1 は、幅 B、厚み t の短冊状部材であり、長さ方向の中央に両側から中心に向かって深くなるノッチ 25 が形成されている。ノッチ 25 の曲率半径は r_{h0} である。ノッチ 25 の深さ d は、応力集中部であるノッチ 25 の最小幅部分の幅の $1/2$ の長さである。長さ b は、ノッチ 25 の幅方向の中央からノッチの最も深い部分までの長さである。長さ b はノッチ 25 の深さ d と等しい。

[0027] [1-2. 動作]

以上のように構成された疲労限度応力特定システム 100 の動作を以下に説明する。疲労限度応力特定システム 100 において、情報処理装置 50 (コントローラ 51) は、散逸エネルギー測定工程 21 と、疲労限度応力特定工程 22 とを実施する。

[0028] 散逸エネルギー測定の原理について説明する。繰り返し負荷を受けた試験片 1 は、熱弾性効果によって、加振機 10 による加振周波数と同一周波数の繰り返し温度変化を生じる。それに加えて、繰り返し負荷を受けた試験片 1 は、材料内部のエネルギー散逸によって平均温度上昇を生じる。ただし、熱弾性効果による温度変化および散逸エネルギーによる平均温度上昇は、たとえば風や周囲の温度変化等の外的要因によって生じる温度変化に比べて小さい。このため試験片 1 の温度変化量 ΔT を表すと下記 (式 1) のようになる。

[0029]
$$\Delta T = r_e - T_c + D + T_e \quad \dots \dots \dots (1)$$

ΔT : 温度変化量

r_e : 外的要因 (風や周囲の温度変化)

T_c : 熱の伝導 (温度の高い箇所と低い箇所が均一化を図る働き)

D : 散逸エネルギー (繰り返しサイクルにおける温度上昇

量)

T_e : 熱弾性効果

実際の散逸エネルギーの測定では、情報処理装置 50 は、赤外線カメラ 30 で試験片 1 の温度測定を行うと同時に、加振機 10 から制御信号である同期入力信号を取り込む。そして、情報処理装置 50 は、同期入力信号に基づく特定の周波数成分についてフーリエ変換による赤外線応力画像処理を行う。これにより、情報処理装置 50 は、加振周波数に対応する温度変化量成分を抽出することで外的要因の影響を除外して、試験片 1 を加振することによって生じた熱弾性効果による温度変化を測定する。

[0030] 熱弾性効果による温度上昇と温度下降から、さらに小さな繰り返しサイクル毎の機械的現象に基づく材料内部の散逸エネルギーによる温度上昇量を分離して測定すると、繰り返しサイクルにおける温度上昇量の散逸エネルギー D の測定画像が得られる。散逸エネルギー D の測定画像から試験片 1 の疲労限度応力を算出する。

[0031] 図 4 に示すフローチャートを用いて疲労限度応力の特定処理を説明する。本処理は主として情報処理装置 50 のコントローラ 51 により実行される。

[0032] コントローラ 51 は、まず、赤外線カメラ 30 で撮影した画像に基づき疲労限度応力を求める際に使用するピクセルを特定する（ステップ S 11）。以下、ステップ S 11 の処理を具体的に説明する。

[0033] 図 5 A は、赤外線カメラ 30 で撮影した画像から得られる、試験片 1 の散逸エネルギーを測定するための画像を示す図である。図 5 B は、図 5 A の破線領域 R 1 の部分を拡大して示した図である。図 5 A 及び図 5 B は、加振の基本周波数 $1f$ の 2 倍の周波数 $2f$ （以下「第二高調波」という）の成分（以下「第二高調波成分」という）の温度振幅（以下「第二高調波振幅」という）の画像を示す図である。

[0034] 図 5 A 及び図 5 B を参照すると、試験片 1 のノッチ 25 付近に非常に第二高調波振幅が大きくなっている部分が見られる。コントローラ 51 は、第二高調波振幅が大きくなっている部分を含む領域 R 2 内のピクセルを特定する

。

- [0035] そしてコントローラ 51 は、特定した領域 R2 内の各ピクセルに対して、荷重振幅に対する、加振における基本周波数の温度振幅（以下「基本波振幅」という）のグラフを作成し、グラフの傾きを求める。グラフの傾き（傾き＝基本波振幅の変化量／荷重振幅の変化量）が最大となるピクセルが、主応力 and の大きさが最大であり、最大応力集中部に対応するピクセルである。よって、第二高調波振幅が比較的大きい領域 R2 内のピクセルのうち、荷重振幅と加振による基本周波数の温度振幅（基本波振幅）のグラフの傾きが最大のピクセルを選択することにより、疲労損傷と応力集中の両方が発生している位置に対応するピクセルを選択できる。
- [0036] この処理は、散逸エネルギー測定工程 21 においてコントローラ 51 により次のように処理される。
- [0037] ステップ 1：赤外線カメラ 30 で撮影した画像に基づき、各荷重振幅について第二高調波成分の温度振幅（第二高調波振幅）の分布画像を作成する。
- [0038] ステップ 2：試験片 1 の領域において第二高調波成分の温度振幅（第二高調波振幅）が比較的大きい領域である領域 R2 を特定する。
- [0039] ステップ 3：特定した領域 R2 内のすべてのピクセルにおいて、荷重振幅に対する加振周波数の温度振幅（基本波振幅）のグラフを作成する。
- [0040] ステップ 4：ステップ 3 で求めたグラフの傾きが最大となるピクセルを、疲労限度応力の特定に用いるピクセルとして決定する。
- [0041] 以上のようにして、ステップ S11 において疲労限度応力の特定に用いるピクセルを決定すると、コントローラ 51 は疲労限度応力特定工程 22 を実行する。具体的には、コントローラ 51 は、特定したピクセルについて、基本波振幅に対する第二高調波振幅のグラフ（図 8C 参照）を生成する（ステップ S12）。以下、ステップ S12 の処理を具体的に説明する。
- [0042] 図 6A は、赤外線カメラ 30 の画像を解析して得られる、加振による試験片 1 の時間に対する温度変動を示した図である。図 6B は、図 6A の破線領域を拡大して示した図である。図 6A 及び図 6B は、切欠き半径 r_{h0} が 5

、0 mmの試験片に対して、荷重振幅7.0 kN、加振周波数25 Hzで加振したときの測定結果を示している。

[0043] 図6 A及び図6 Bに示すような時間に対する温度変動のデータをフーリエ変換することで、図7 Aに示すような、温度振幅に対する周波数スペクトルを求めることができる。図7 Bは、図7 Aに示す破線領域を拡大して示した図である。この周波数スペクトルにおいて、基本周波数成分(1 f)の温度振幅(基本波振幅)と、第二高調波成分(2 f)の温度振幅(第二高調波振幅)に着目する。

[0044] 複数の荷重振幅のそれぞれについて、基本波振幅(1 f)と第二高調波振幅(2 f)を求める。これにより、図8 Aに示すような、荷重振幅に対する基本波振幅(1 f)のグラフと、図8 Bに示すような、荷重振幅に対する第二高調波振幅(2 f)のグラフとを得る。そして、荷重振幅に対する基本波振幅のグラフ(図8 A参照)と、荷重振幅に対する第二高調波振幅のグラフ(図8 B参照)とから、図8 Cに示すような基本波振幅に対する第二高調波振幅のグラフ(本開示に係る関係の一例)を生成する。

[0045] 図4のフローチャートに戻り、コントローラ51は、基本波振幅に対する第二高調波振幅のグラフ(図8 C参照)に対して2つの近似線を決定する(ステップS13)。すなわち、図9に示すように、基本波振幅に対する第二高調波振幅の関係をフィッティングする2つの近似線(第一の近似線L1及び第二の近似線L2)を求める。ステップS13の処理の詳細については後述する。

[0046] 第一の近似線L1及び第二の近似線L2が決定されると、コントローラ51は、第一の近似線L1と第二の近似線L2の交点を算出する(ステップS14)。その交点に基づいて疲労限度応力を決定する(ステップS15)。ステップS14およびステップS15の処理の詳細については後述する。以上のようにして試験片1の疲労限度応力が求められる。

[0047] 以下、上記のステップS13～ステップS15の処理の詳細について説明する。

[0048] まず、ステップS 1 3 の処理を詳細に説明する。本実施形態では、図 9 に示すように、基本波振幅の領域において境界 B を設定し、境界 B 以下の領域と境界 B 以上の領域において第一の近似線 L 1 及び第二の近似線 L 2 を設定する。ここで、第一の近似線 L 1 及び第二の近似線 L 2 は次式のように二次曲線（二次関数）で表される。

[0049] 第一の近似線 L 1 （境界 B 以下の範囲）： $y = a x^2 + b$ (2)

第二の近似線 L 2 （境界 B 以上の範囲）： $y = a x^2 + c x + d$ (3)

ここで、 x は基本波振幅であり、 y は第二高調波振幅である。また、 a 、 b 、 c 、 $d \neq 0$ である。

[0050] 境界 B 以下の範囲に対する第一の近似線 L 1 は、基本波振幅の二次の項と定数項からなり、一次の項は含まない多項式である。一方、境界 B 以上の範囲に対する第二の近似線 L 2 は、基本波振幅の二次の項、一次の項および定数項からなる多項式である。第二の近似線 L 2 は、境界 B 以下の範囲で第一の近似線 L 1 ($y = a x^2 + b$) によって定まった定数 a を用いて、境界 B 以上の範囲で近似線 L 2 ($y = a x^2 + c x + d$) をフィッティングさせて c と d を求めることによって定まる。あるいは、境界 B 以上の範囲のデータから第一の近似線 L 1 の延長線 ($y = a x^2 + b$) の値を差し引いたデータに対して、境界 B 以上の範囲で直線 ($y = c x + d'$) をフィッティングさせて c と d' を求めることによって定めてもよい ($y = a x^2 + c x + b + d' = a x^2 + c x + d$)。

[0051] 本願発明者らは、荷重振幅制御において、ロードセル、アクチュエータ及びひずみゲージから出力される荷重信号、変位信号及びひずみ信号について調査したところ、荷重信号に第二高調波成分が含まれていることがわかった。このことから、本願発明者らは、試験片 1 には必ずしも完全な正弦波の荷重波形が付加されておらず、荷重を制御する過程で荷重波形に歪みが生じていると考えた。また、変位信号とひずみ信号においても第二高調波成分が含

まれていることが確認された。これは荷重信号に含まれる第二高調波成分による影響であると考えられる。さらに、第二高調波成分には、赤外線カメラのセンサから生じる暗電流や周囲環境からのノイズに起因するものもあると考えられる。本願発明者らは、温度の第二高調波成分には、以上のような原因によって発生する第二高調波成分（第一の近似線 L_1 及びその延長線）が含まれていると考えた。このような知見に基づき本願発明者らは、式（２）、（３）に示すように二次曲線（二次関数）である第一の近似線 L_1 及び第二の近似線 L_2 によりフィッティングを行ったところ、疲労限度応力を精度良く求めることができた。

[0052] 図１０のフローチャートを参照し、基本波振幅に対する第二高調波振幅のグラフ（図８Ｃ参照）から第一の近似線 L_1 及び第二の近似線 L_2 を決定する処理を説明する。

[0053] コントローラ５１（図２参照）は、まず、境界Ｂ（図９参照）を開始点に設定する（ステップＳ２１）。そして、全範囲の測定データを用いて、設定された境界Ｂで第一の近似線 L_1 及び第二の近似線 L_2 を求める（ステップＳ２２）。具体的には、図１１Ａに示すように境界Ｂ以下の領域のデータについて第一の近似線 L_1 でフィッティングし、境界Ｂ以上の領域のデータについて第二の近似線 L_2 でフィッティングし、測定値と計算値との残差二乗和が最小となるよう第一の近似線 L_1 及び第二の近似線 L_2 の係数を求める。

[0054] 境界Ｂを移動させる範囲は事前に設定されている。事前に設定された所定の範囲内全域で境界Ｂの移動が終了するまで、コントローラ５１は、図９に示すように境界Ｂの位置を段階的に変化させながら（ステップＳ２３でＮＯ、ステップＳ３０）、各境界に対して第一の近似線 L_1 及び第二の近似線 L_2 を求めていく（ステップＳ２２）。事前に設定された所定の範囲内全域で境界Ｂの移動が終了すると（ステップＳ２３でＹＥＳ）、各境界で得られた第一の近似線 L_1 及び第二の近似線 L_2 に対して算出された残差二乗和が最小となる一つの境界を特定する（ステップＳ２４）。これにより、第一の近

似線 L_1 が適用されるデータ範囲と第二の近似線 L_2 が適用されるデータ範囲の境界が特定される。

[0055] 図11Bは、各境界に対して算出された残差二乗和を示した図である。横軸は、境界を示す境界番号であり、境界番号は境界の位置に比例した値をとる。図11Bのグラフの例では、境界番号が「92」の境界において残差二乗和が最小となっている。このため、境界番号「92」に対応する基本波振幅の位置が境界として特定される。

[0056] 図10のフローチャートに戻り、境界が決定されると、コントローラ51は、疲労限度応力の算出に使用するデータの適切な範囲（上限）を決定する（ステップS25～ステップS28、ステップS31）。

[0057] 荷重振幅が大きい範囲では、測定データにおいて、図12A及び図12Bの破線領域R11及び破線領域R12に示すように、疲労限度応力の算出に使用するのに不適切なデータが含まれる。この原因としては微小亀裂の発生や進展、ひずみ誘起マルテンサイト変態の発生などが考えられる。そこで、本実施の形態では、破線領域R11および破線領域R12に含まれるデータのような、疲労限度応力の算出に使用するのに不適切なデータを除去するため、自由度調整済み決定係数を使用してデータ範囲の上限を設定する。

[0058] このため、コントローラ51はまず、データ範囲の上限を最大値に設定する（ステップS25）。すなわち、データ範囲を全データを含むように設定する。そして、設定されたデータ範囲内のデータを用いて、先に特定した境界に基づき第一の近似線 L_1 及び第二の近似線 L_2 を算出する（ステップS26）。すなわち、設定されたデータ範囲内のデータを用いて残差二乗和が最小となる第一の近似線 L_1 及び第二の近似線 L_2 を算出する。

[0059] 次に、コントローラ51は、算出した第一の近似線 L_1 及び第二の近似線 L_2 に対する自由度調整済み決定係数を算出する（ステップS27）。自由度調整済み決定係数は図12Cに示す式により算出される。

[0060] ここで、データ範囲の上限を変更する範囲は予め決められている。予め決められた範囲内でデータ範囲の上限の変更が終了するまで、データ範囲の上

限を変更する（ステップS 2 8でNO、ステップS 3 1）。そして新たなデータ範囲について第一の近似線L 1及び第二の近似線L 2を求める（ステップS 2 6）。さらに第一の近似線及び第二の近似線L 2に対する自由度調整済み決定係数を算出する（ステップS 2 7）。データ範囲の上限の変更は、データ範囲を狭めるように、データ範囲の上限を第二高調波振幅の高い側から1つずつ低い方にシフトしていくことにより行われる。

[0061] 図1 3 Aから図1 3 Hは、データ範囲の上限を1データずつ変更しながら算出された第一の近似線L 1、第二の近似線L 2および自由度調整済み決定係数の変化を示した図である。図1 3 Aは、データ範囲の上限を最大に設定したときの全データ（N個分のデータ）に対する近似線のフィッティング結果と自由度調整済み決定係数の値を示した図である。図1 3 Bは、上限を全データの場合から1データ分シフトしたとき、すなわち、N-1個分のデータに対する近似線のフィッティング結果と自由度調整済み決定係数の値を示した図である。図1 3 Cは、上限を2データ分シフトしたとき、すなわち、N-2個分のデータに対する近似線のフィッティング結果と自由度調整済み決定係数の値を示した図である。図1 3 D～図1 3 Hは、同様にデータ範囲の上限を1つずつ変更しながら求めた近似線のフィッティング結果と自由度調整済み決定係数を順次示している。

[0062] 予め決められた範囲内でデータ範囲の上限の変更が完了すると（ステップS 2 8でYES）、コントローラ5 1は、自由度調整済み決定係数が最大となるときのデータ範囲の上限を特定し、その特定したデータ範囲の上限の範囲で算出された第一の近似線L 1及び第二の近似線L 2を特定する（ステップS 2 9）。図1 3 A～図1 3 Hに示す例では、図1 3 Gに示すケースが、自由度調整済み決定係数が最大（ $R^2=0.849057$ ）となっている。よって、全データの場合から6データ分シフトした位置をデータ範囲の上限とし、第一の近似線L 1 a及び第二の近似線L 2 aが特定される。

[0063] 以上のようにして、基本波振幅に対する第二高調波振幅のグラフ（図8 C参照）から第一の近似線L 1及び第二の近似線L 2を求めることができる。

[0064] 次に、ステップS 1 4 およびステップS 1 5 の処理を詳細に説明する。コントローラ5 1 は、第一の近似線L 1 及び第二の近似線L 2 の交点に基づき、次のようにして、疲労限度応力を算出する。図1 4 Aに示すように第一の近似線L 1 及び第二の近似線L 2 が求められると、第一の近似線L 1 と第二の近似線L 2 の交点が求められる。図1 4 Aの例では、第一の近似線L 1 と第二の近似線L 2 の交点の基本波振幅の値として0. 4 2 [K] が求められる（ステップS 1 4）。そして、コントローラ5 1 は、荷重振幅に対する基本波振幅のグラフ（図1 4 B参照）を参照し、交点の基本波振幅値0. 4 2 [K] に基づいて荷重振幅値6. 2 6 6 [N] を求め、この値を疲労限度応力とする（ステップS 1 5）。

[0065] 以上のようにして、試験片1 の疲労限度応力を求めることができる。

[0066] 図1 5～図1 7 は、実施の形態1 の方法により求めた疲労限度応力と、従来の方法により求めた疲労限度応力とを比較した図である。実施の形態1 の方法では、第一の近似線及び第二の近似線の双方を二次曲線（二次関数）としている。これに対して、従来の方法では、第一の近似線を二次曲線（二次関数）とし、第二の近似線を直線としている。

[0067] 図1 5 は、切欠き半径が5. 0 mmである5 個の試験片1 について、実施の形態1 の方法（図1 5 において「二次曲線と二次曲線」と示す）により求めた疲労限度応力と従来の方法（図1 5 において「二次曲線と直線」と示す）により求めた疲労限度応力値の比較を示す。同じ条件の試験片1 に対して疲労試験から求めた疲労限度応力の測定値は、6. 4 k Nであった。図1 6 は、切欠き半径が2. 0 mmである5 個の試験片1 について、実施の形態1 の方法（図1 6 において「二次曲線と二次曲線」と示す）と従来の方法（図1 6 において「二次曲線と直線」と示す）とにより求めた疲労限度応力値を示す。同じ条件の試験片1 に対して疲労試験から求めた疲労限度応力の測定値は、5. 7 k Nであった。そして、図1 7 は、実施の形態1 の方法により求めた疲労限度応力と、従来の方法により求めた疲労限度応力との比較を示す図である。

[0068] 図15～図17を参照すると、切欠き半径が5.0mmの場合（図15）も2.0mmの場合（図16）も、二次曲線と二次曲線でフィッティングした場合（実施の形態1の方法）の方が、二次曲線と直線でフィッティングした場合（従来の方法）よりも、疲労試験から得られた値により近い疲労限度応力の値が得られている。

[0069] 以上のようにして、情報処理装置50は、荷重を段階的に増加しながら各荷重を所定の周波数で付加した測定対象物の温度画像から試験片1の疲労限度応力を求めることができる。

[0070] [1-3. 効果等]

以上のように、本実施の形態の疲労限度応力特定システム100は、試験片1（本開示に係る測定対象物の一例）に作用させる荷重を段階的に増加させながら測定された各段の荷重に対して発生する温度振幅に基づいて試験片1の疲労限度応力を測定する。疲労限度応力特定システム100は、加振機10と、赤外線カメラ30（本開示に係る温度センサの一例）と、情報処理装置50と、を備える。加振機10は、試験片1に対して荷重を所定の周波数で繰り返し加える。赤外線カメラ30は、試験片1の温度変動を取得する。情報処理装置50は、赤外線カメラ30から取得した試験片1の温度変動に基づき試験片1の疲労限度応力を求める。情報処理装置50は、赤外線カメラ30から取得した温度変動から、試験片1に関する、加振の基本周波数成分の温度振幅に対する第二高調波成分の温度振幅の関係（図9のグラフ）を求める。情報処理装置50は、その関係を、二次曲線である第一の近似線L1と二次曲線である第二の近似線L2によりフィッティングし、第一の近似線L1と第二の近似線L2の交点に基づき測定対象物の疲労限度応力を求める。

[0071] このような疲労限度応力特定システム100によれば、フィッティングに使用する2つの近似線（第一の近似線L1および第二の近似線L2）に二次曲線を用いる。これにより、フィッティング過程において、加振の制御過程で生じる荷重の波形の歪みや試験片に生じる歪み、外乱ノイズ等の影響を加

味した近似線を得ることができる。そのため、精度よく疲労限度応力を求めることができる。

[0072] 第一の近似線L 1は、基本周波数成分の温度振幅が境界B（本開示に係る所定値の一例）以下の範囲のデータに対するフィッティングに使用される。第二の近似線L 2は、基本周波数成分の温度振幅が境界B以上の範囲のデータに対するフィッティングに使用される。

[0073] 第一の近似線L 1は $y = a x^2 + b$ で表される。第二の近似線L 2は $y = a x^2 + c x + d$ で表される。xは基本周波数成分の温度振幅である。yは第二高調波成分の温度振幅である。a、b、c、dは係数（a、b、c、d ≠ 0）である。

[0074] 第一の近似線L 1及び第二の近似線L 2は、複数のデータ範囲におけるそれぞれの近似線に対する自由度調整済み決定係数の中で最大の自由度調整済み決定係数が得られる場合のデータ範囲を用いることによって求められる。これにより、疲労限度応力の算出のために、適切なデータを用いて疲労限度応力を求めることができる。そのため、疲労限度応力の特定精度を向上できる。

[0075] また、本開示は、荷重を段階的に増加させながら測定対象物（試験片1）を加振したときに発生する測定対象物の温度変動に基づいて測定対象物の疲労限度応力を測定する疲労限度応力特定装置を提供する。この疲労限度応力特定装置は、取得部と、演算部とを備える。取得部は、測定対象物の温度変動を取得する。演算部は、温度変動を解析して測定対象物の疲労限度応力を測定する。演算部は、温度変動から、加振の基本周波数の成分の温度振幅に対する第二高調波成分の温度振幅の関係を求め、その関係を、二次曲線である第一の近似線と二次曲線である第二の近似線によりフィッティングする。そして、第一の近似線L 1と第二の近似線L 2の交点に基づき測定対象物の疲労限度応力を求める。

[0076] このような疲労限度応力特定装置によっても、基本周波数成分の温度振幅に対する第二高調波成分の温度振幅の関係が二次曲線である第一の近似線L

1 及び第二の近似線 L 2 によってフィッティングされる。そのため、精度よく疲労限度応力を求めることができる。

[0077] また、本開示は、荷重を段階的に増加させながら測定対象物（試験片 1）を加振したときに発生する測定対象物の温度変動に基づいて測定対象物の疲労限度応力を測定する疲労限度応力特定方法を提供する。この疲労限度応力特定方法では、荷重を段階的に増加させながら所定の周波数で繰り返し測定対象物に加え、荷重が加えられている測定対象物の温度変動を取得する。そして、温度変動から、加振の基本周波数成分の温度振幅に対する第二高調波成分の温度振幅の関係を求め、その関係を二次曲線である第一の近似線 L 1 と二次曲線である第二の近似線 L 2 によりフィッティングする。そして、第一の近似線 L 1 と第二の近似線 L 2 の交点に基づき測定対象物の疲労限度応力を求める。

[0078] このような疲労限度応力特定方法によっても、基本周波数成分の温度振幅に対する第二高調波成分の温度振幅の関係が二次曲線である第一の近似線 L 1 及び第二の近似線 L 2 によってフィッティングされる。そのため、精度よく疲労限度応力を求めることができる。

[0079] （他の実施の形態）

以上のように、本出願において開示する技術の例示として、実施の形態 1 を説明した。しかしながら、本開示における技術は、これに限定されず、適宜、変更、置き換え、付加、省略などを行った実施の形態にも適用可能である。また、上記実施の形態 1 で説明した各構成要素を組み合わせ、新たな実施の形態とすることも可能である。

[0080] 以上のように、本開示における技術の例示として、実施の形態を説明した。そのために、添付図面および詳細な説明を提供した。

[0081] したがって、添付図面および詳細な説明に記載された構成要素の中には、課題解決のために必須な構成要素だけでなく、上記技術を例示するために、課題解決のためには必須でない構成要素も含まれ得る。そのため、それらの必須ではない構成要素が添付図面や詳細な説明に記載されていることをもっ

て、直ちに、それらの必須ではない構成要素が必須であるとの認定をするべきではない。

[0082] また、上述の実施の形態は、本開示における技術を例示するためのものであるから、特許請求の範囲またはその均等の範囲において種々の変更、置き換え、付加、省略などを行うことができる。

[0083] 上述の実施の形態においては、温度センサとして温度分布画像を取得することができる赤外線カメラを使用した。そして、赤外線カメラによって撮影した画像から最大応力集中部に対応するピクセルを選択し、選択したピクセルの温度変動に基づいて疲労限度応力を求めた。しかし、本開示における温度センサは、赤外線カメラに限定されない。たとえば、測定対象物の最大応力集中部があらかじめ特定できている場合には、接触式または非接触式の温度センサを用い、特定の点の温度変動に基づいて疲労限度応力を求めてもよい。

産業上の利用可能性

[0084] 本開示は、測定対象物の疲労限度応力を精度よく測定できる疲労限度応力特定システムに適用できる。

符号の説明

- [0085]
- 1 試験片（測定対象物）
 - 10 加振機
 - 30 赤外線カメラ（温度センサ）
 - 50 情報処理装置（疲労限度応力特定装置）
 - 51 コントローラ（演算部）
 - 58 機器インタフェース（取得部）
 - 60 モニタ
 - 100 疲労限度応力特定システム
 - L1 第一の近似線
 - L2 第二の近似線

請求の範囲

- [請求項1] 荷重を段階的に増加させながら測定対象物を加振したときに発生する測定対象物の温度変動に基づいて前記測定対象物の疲労限度応力を測定する疲労限度応力特定システムであって、
- 測定対象物に対して各荷重を所定の周波数で繰り返して加える加振機と、
- 荷重が加えられている測定対象物の温度変動を取得する温度センサと、
- 前記温度センサから取得した前記温度変動に基づき前記測定対象物の疲労限度応力を求める情報処理装置と、を備え、
- 前記情報処理装置は、
- 前記温度センサから取得した温度変動から、前記測定対象物に関する、加振の基本周波数成分の温度振幅に対する第二高調波成分の温度振幅の関係を求め、
- 前記関係を、二次曲線である第一の近似線と二次曲線である第二の近似線によりフィッティングし、
- 前記第一の近似線と前記第二の近似線の交点に基づき前記測定対象物の疲労限度応力を求める、
- 疲労限度応力特定システム。
- [請求項2] 前記第一の近似線は、前記基本周波数成分の温度振幅が所定値以下の範囲のデータに対するフィッティングに使用され、
- 前記第二の近似線は、前記基本周波数成分の温度振幅が前記所定値以上の範囲のデータに対するフィッティングに使用される、
- 請求項1に記載の疲労限度応力特定システム。
- [請求項3] 前記第一の近似線は $y = a x^2 + b$ で表され、
- 前記第二の近似線は $y = a x^2 + c x + d$ で表され、
- x は前記基本周波数成分の温度振幅であり、 y は前記第二高調波成分の温度振幅であり、 a 、 b 、 c 、 d は係数である、

請求項 2 に記載の疲労限度応力特定システム。

[請求項4]

前記第一の近似線及び前記第二の近似線は、複数のデータ範囲における前記第一の近似線及び前記第二の近似線に対する自由度調整済み決定係数の中で最大の自由度調整済み決定係数が得られる場合のデータ範囲を用いることによって求められる、

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の疲労限度応力特定システム。

[請求項5]

荷重を段階的に増加させながら測定対象物を加振したときに発生する測定対象物の温度変動に基づいて前記測定対象物の疲労限度応力を測定する疲労限度応力特定装置であって、

前記測定対象物の温度変動を取得する取得部と、

前記温度変動を解析して前記測定対象物の疲労限度応力を測定する演算部と、を備え、

前記演算部は、

前記温度変動から、加振の基本周波数の成分の温度振幅に対する第二高調波成分の温度振幅の関係を求め、

前記関係を、二次曲線である第一の近似線と二次曲線である第二の近似線によりフィッティングし、

前記第一の近似線と前記第二の近似線の交点に基づき前記測定対象物の疲労限度応力を求める、
疲労限度応力特定装置。

[請求項6]

荷重を段階的に増加させながら測定対象物を加振したときに発生する測定対象物の温度変動に基づいて前記測定対象物の疲労限度応力を測定する疲労限度応力特定方法であって、

荷重を段階的に増加させながら所定の周波数で繰り返し測定対象物に加え、

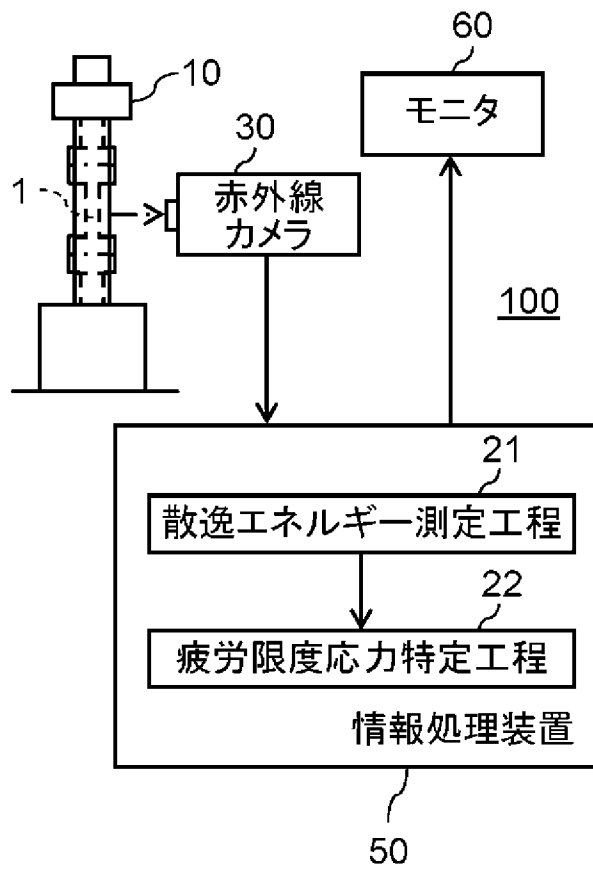
前記荷重が加えられている測定対象物の温度変動を取得し、

前記温度変動から、加振の基本周波数成分の温度振幅に対する第二高調波成分の温度振幅の関係を求め、

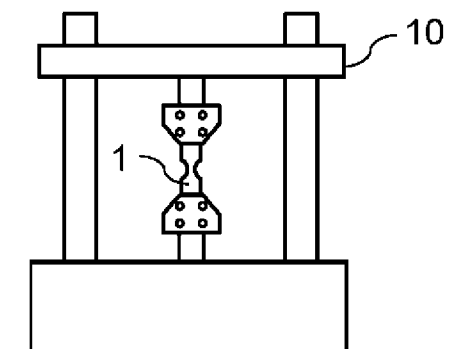
前記関係を、二次曲線である第一の近似線と二次曲線である第二の近似線によりフィッティングし、

前記第一の近似線と前記第二の近似線の交点に基づき前記測定対象物の疲労限度応力を求める、
疲労限度応力特定方法。

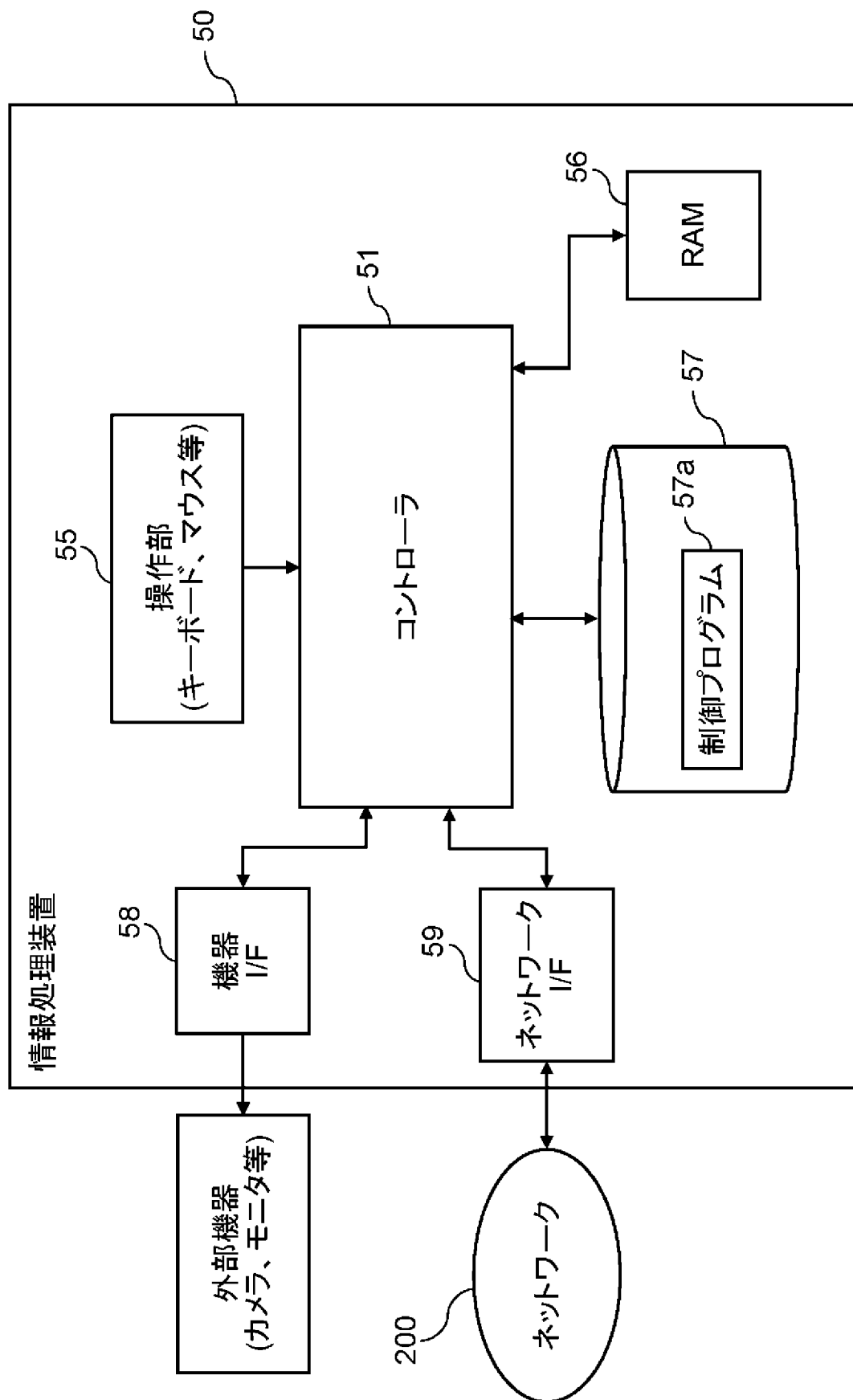
[図1A]



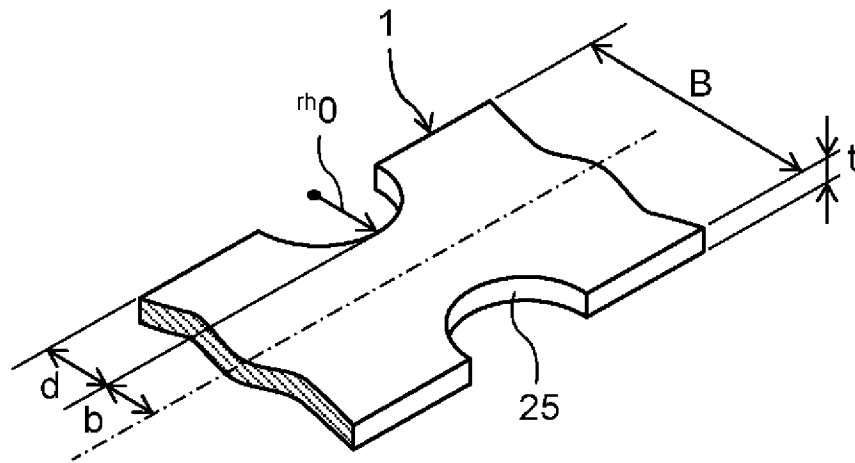
[図1B]



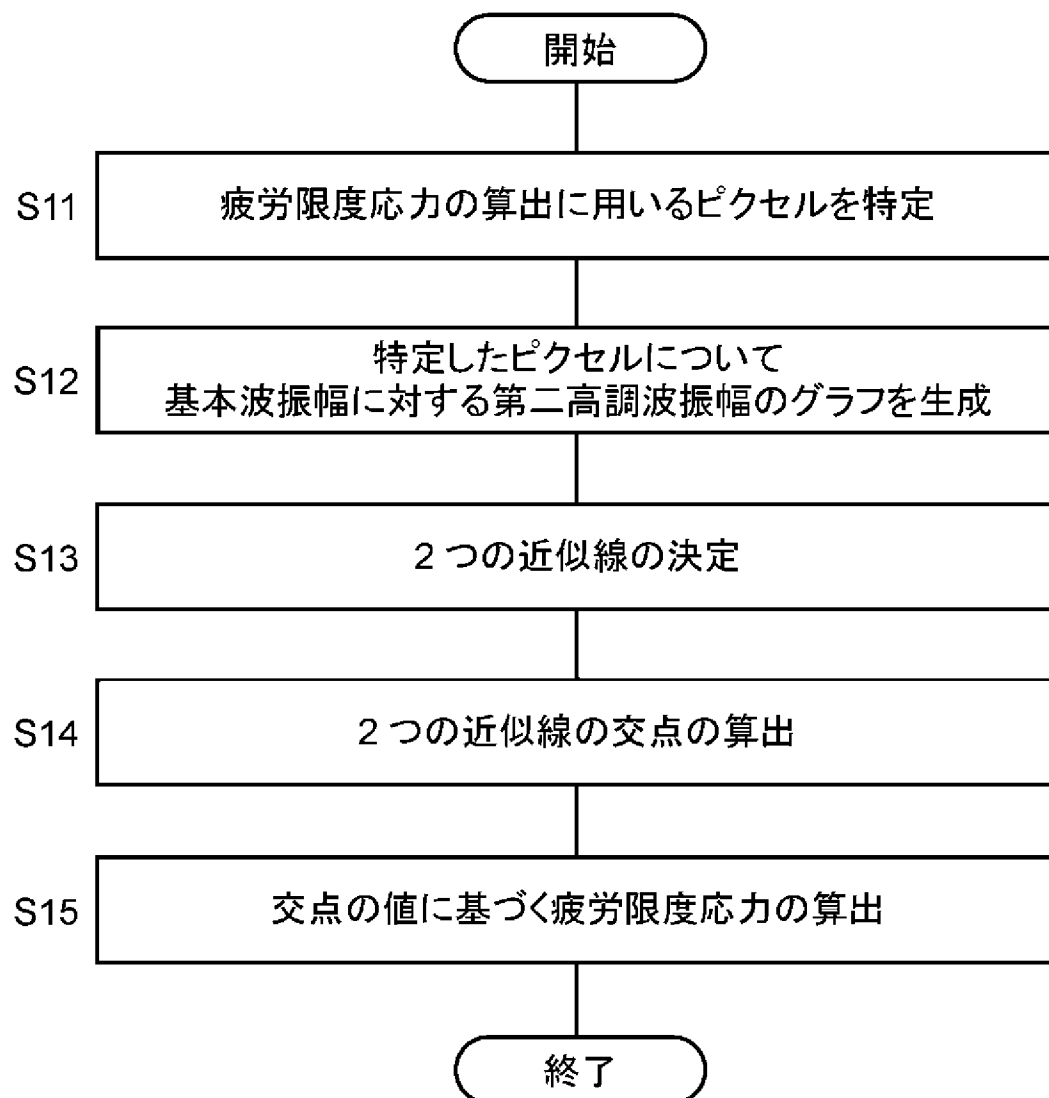
[図2]



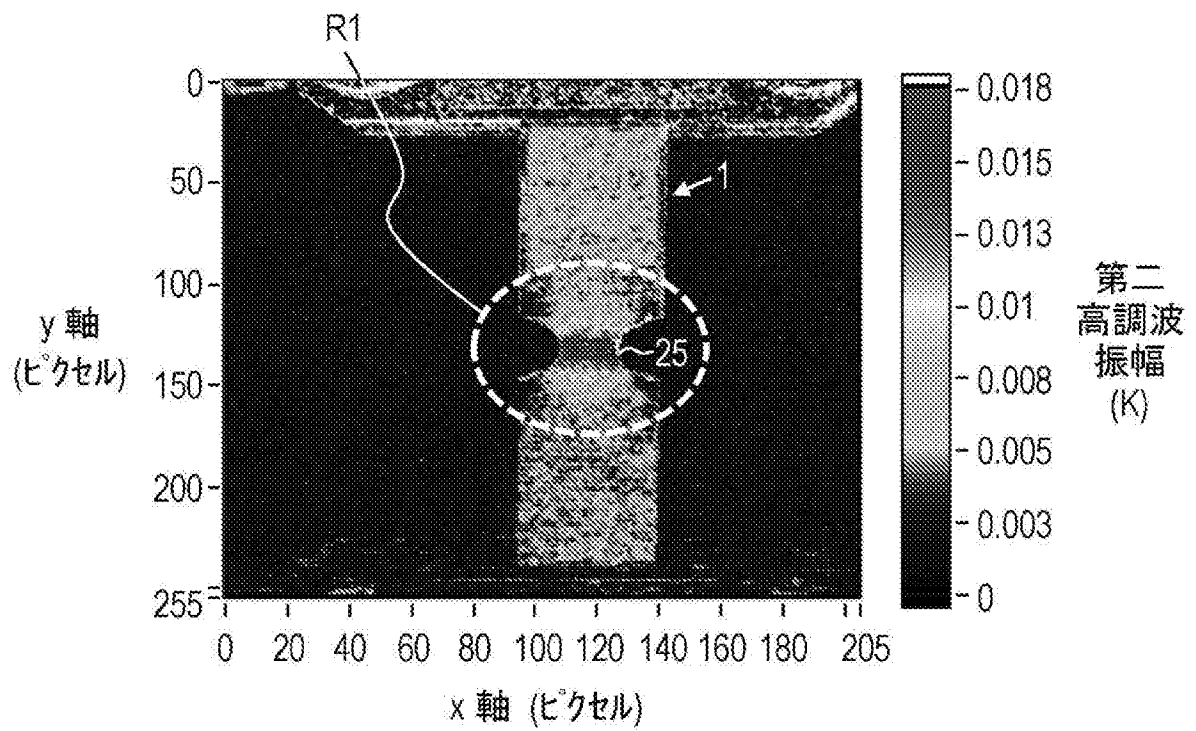
[図3]



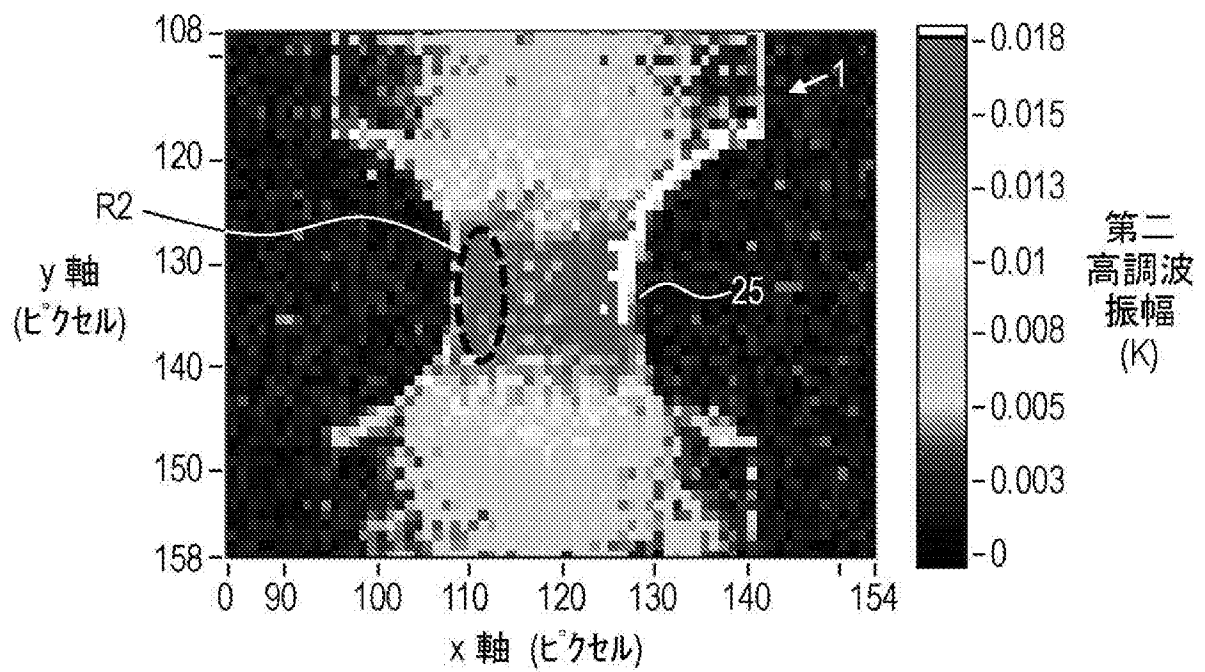
[図4]



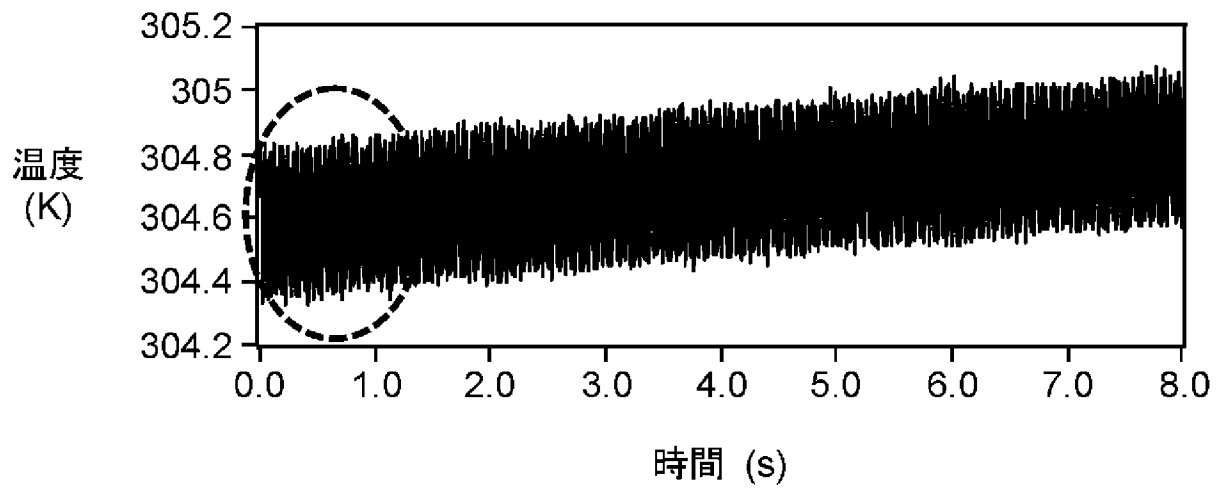
[図5A]



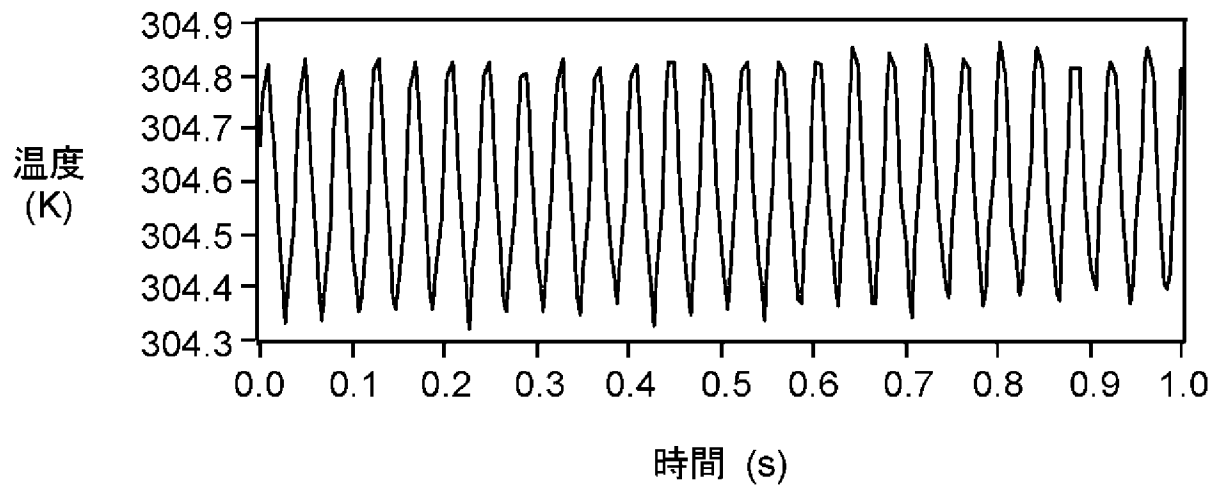
[図5B]



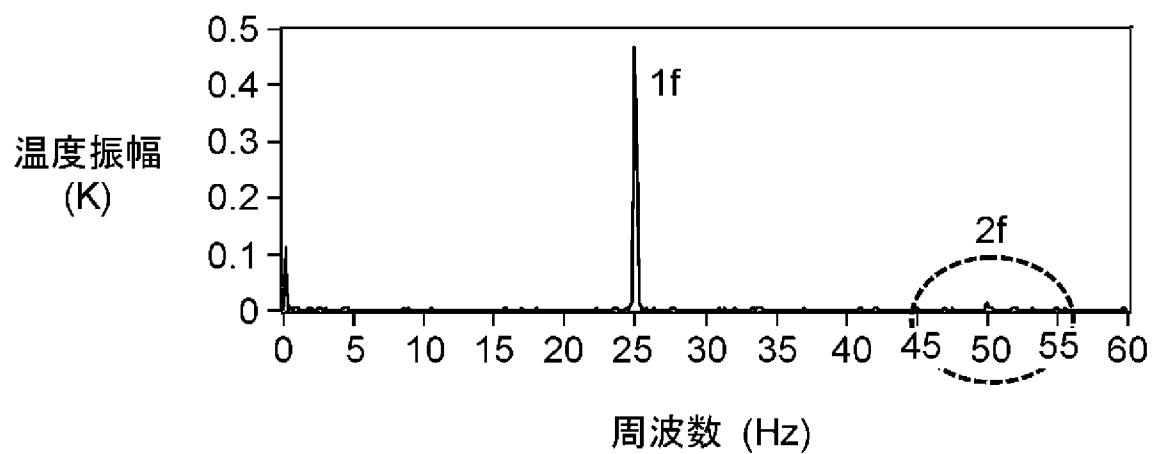
[図6A]



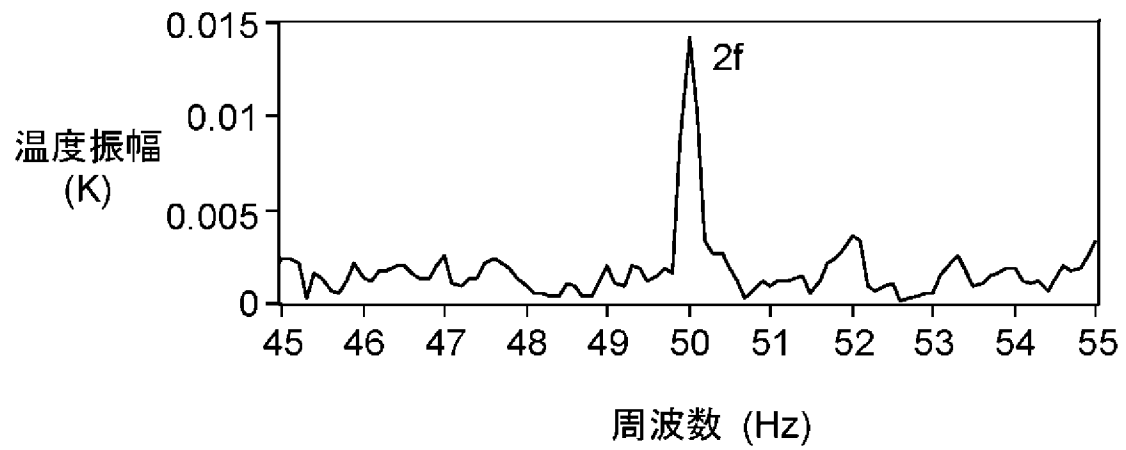
[図6B]



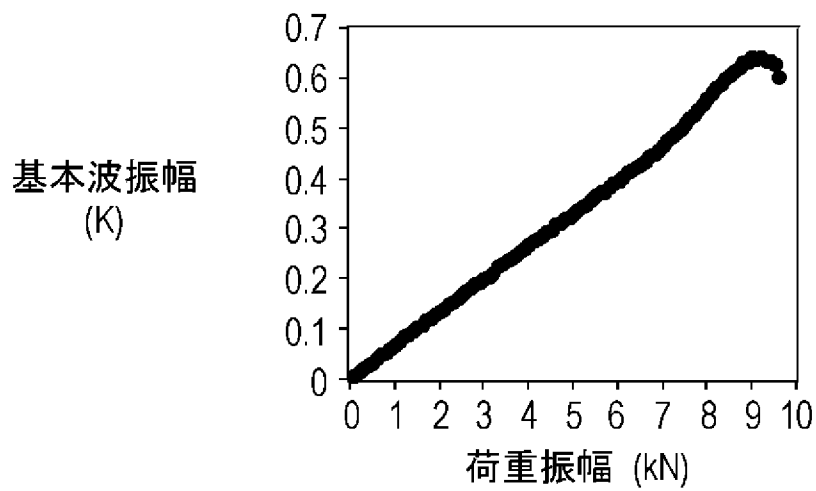
[図7A]



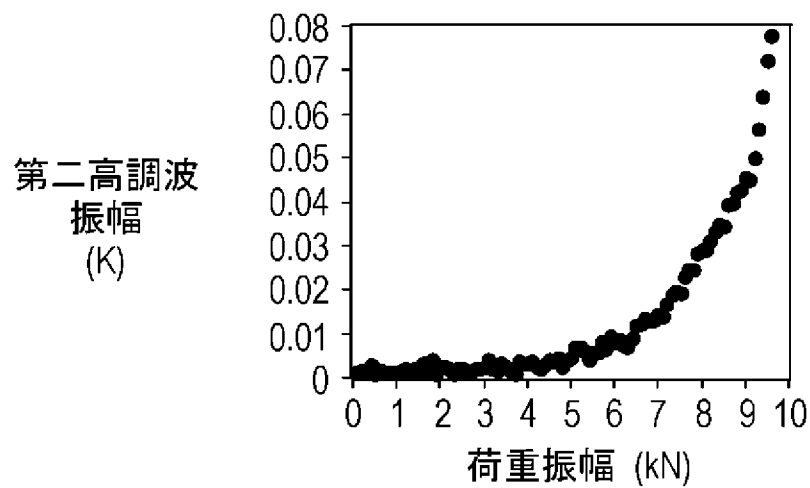
[図7B]



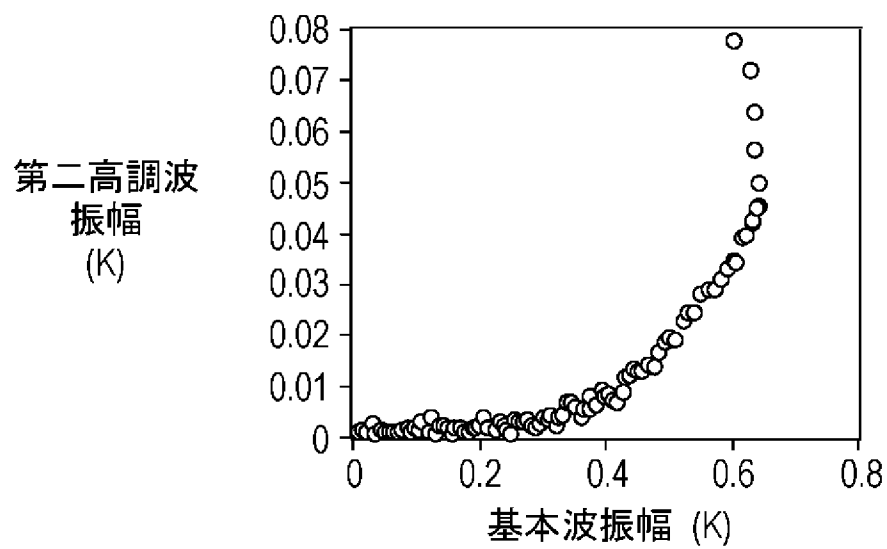
[図8A]



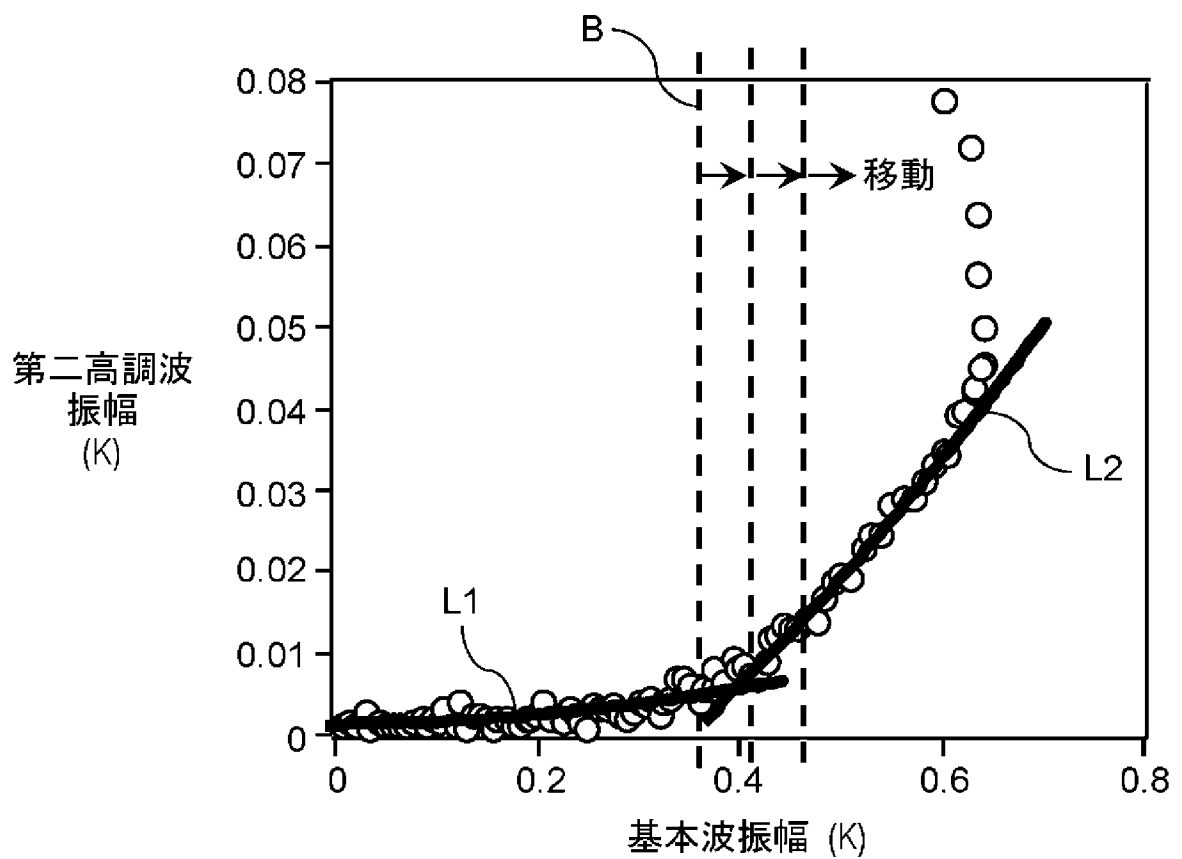
[図8B]



[図8C]



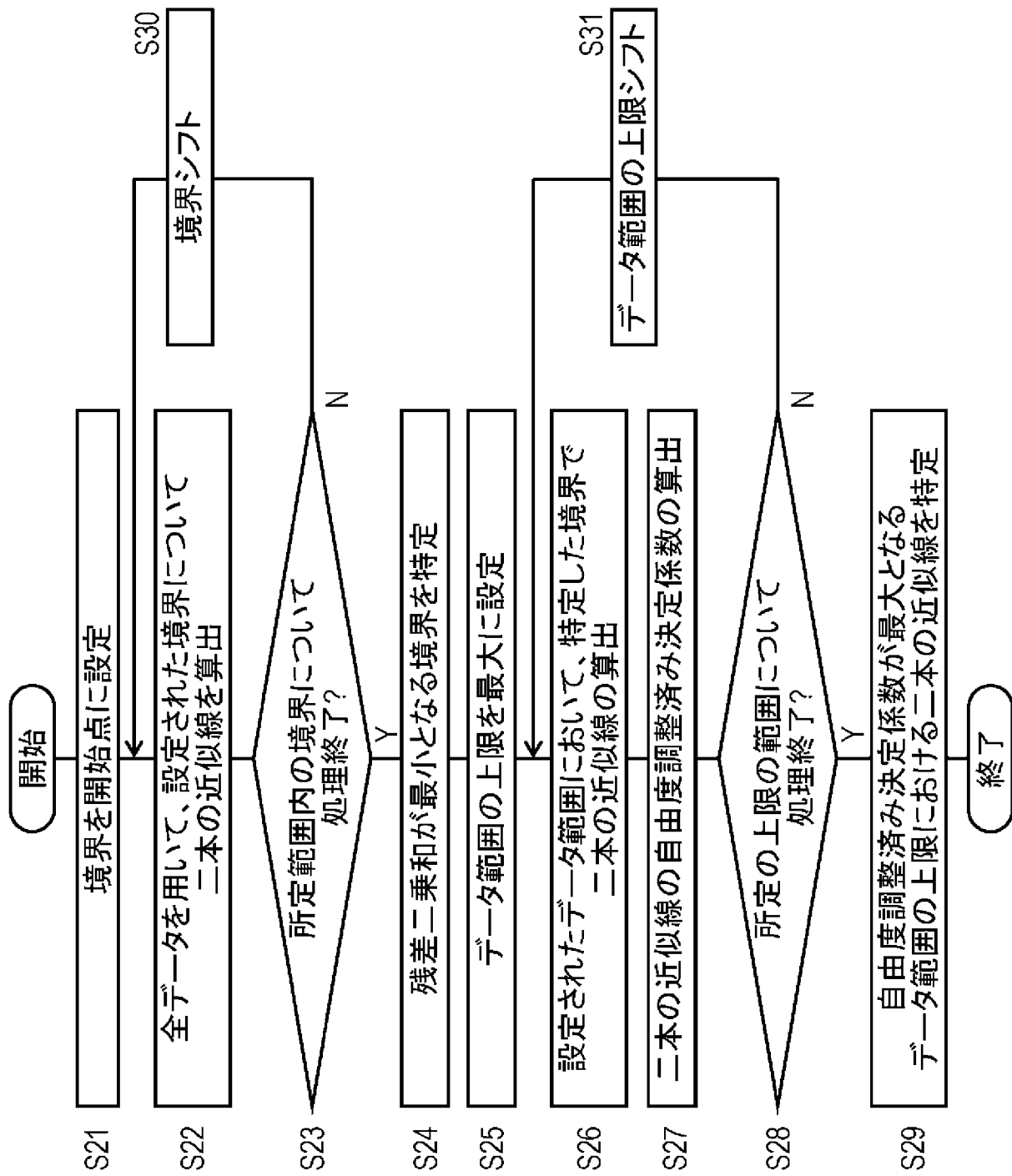
[図9]



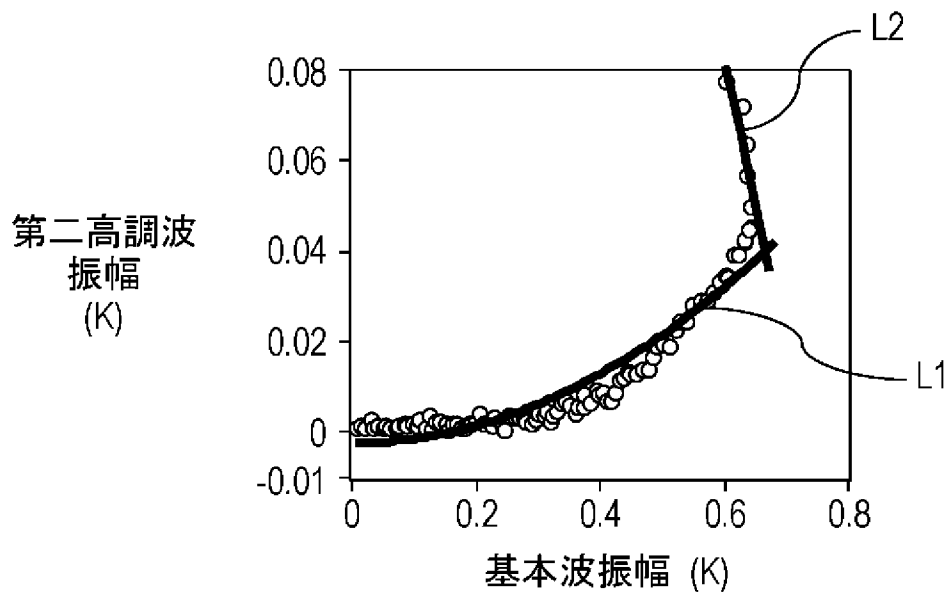
境界以下の領域: $L1=ax^2+b$

境界以上の領域: $L2=ax^2+cx+d$

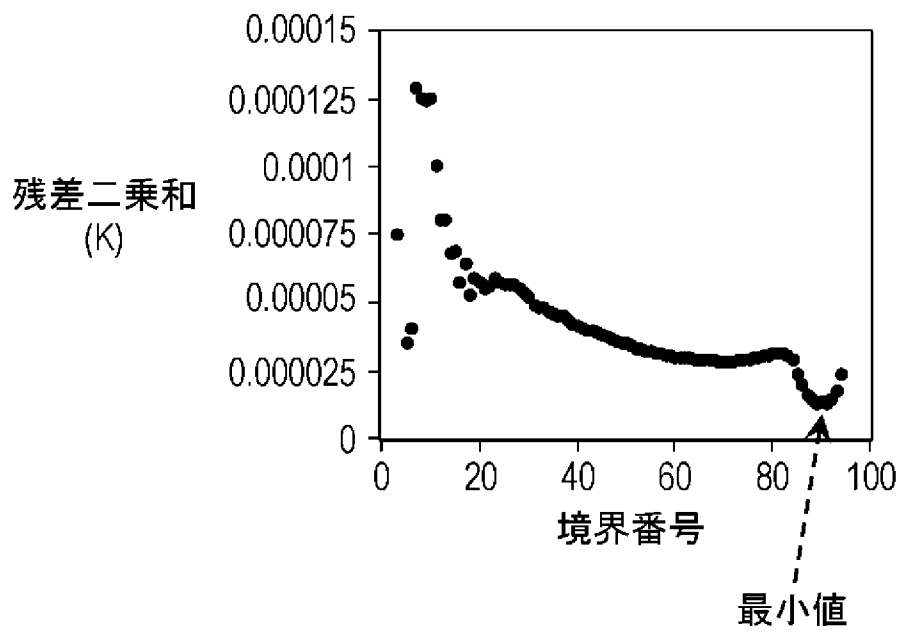
[図10]



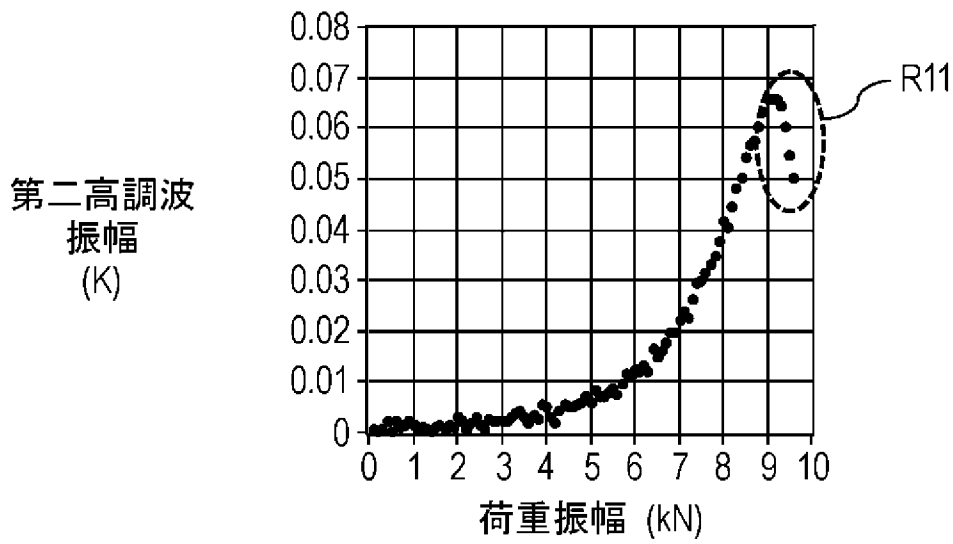
[図11A]



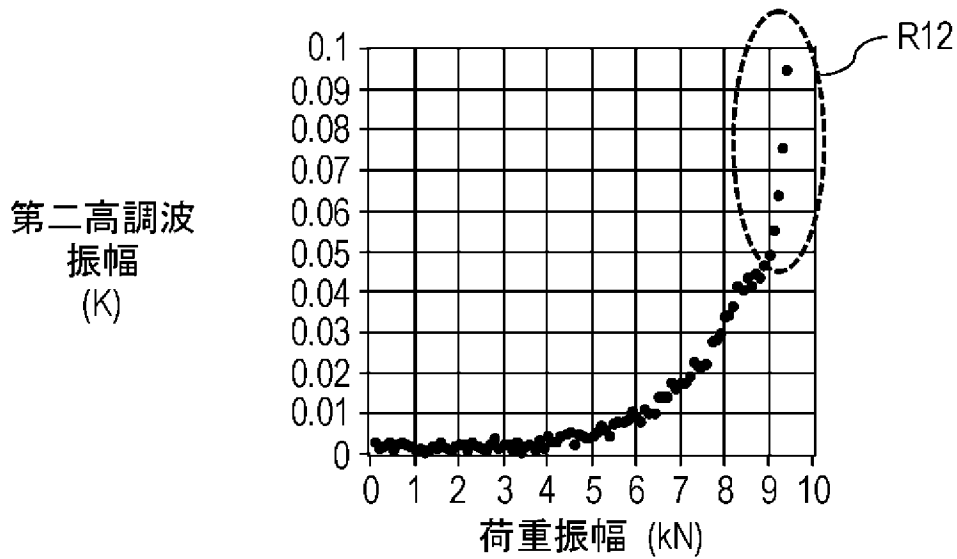
[図11B]



[図12A]



[図12B]

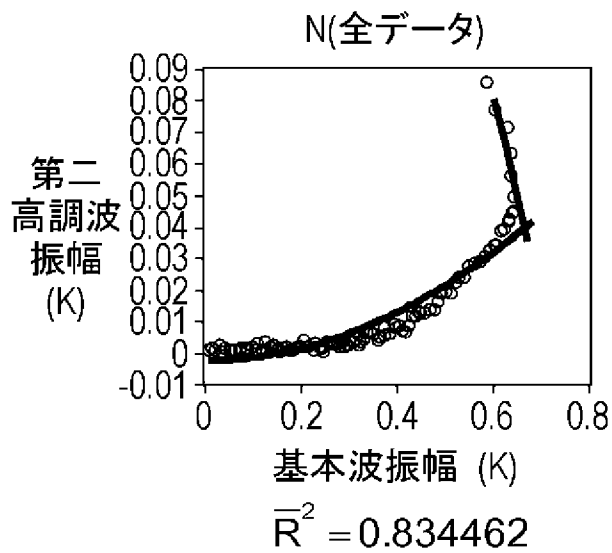


[図12C]

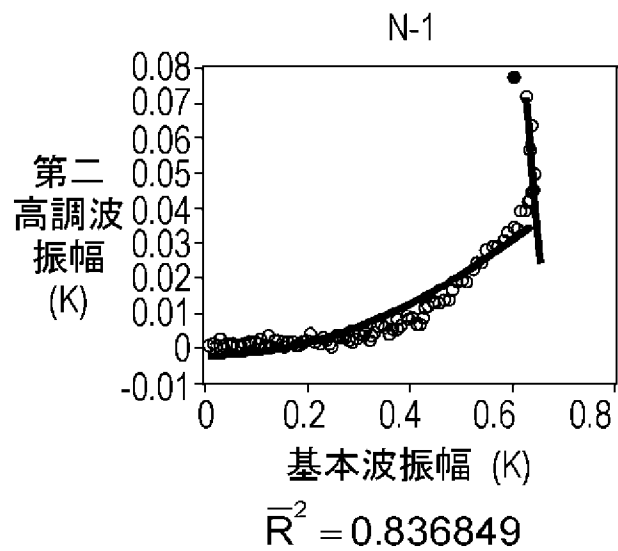
$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \right)$$

$\bar{R}^2$: 自由度調整済み決定係数 $\hat{y}_i$: 近似関数の値 n : データの数
 y_i : 温度振幅の幅 $\bar{y}$: y_i の平均値 k : 近似関数の次数

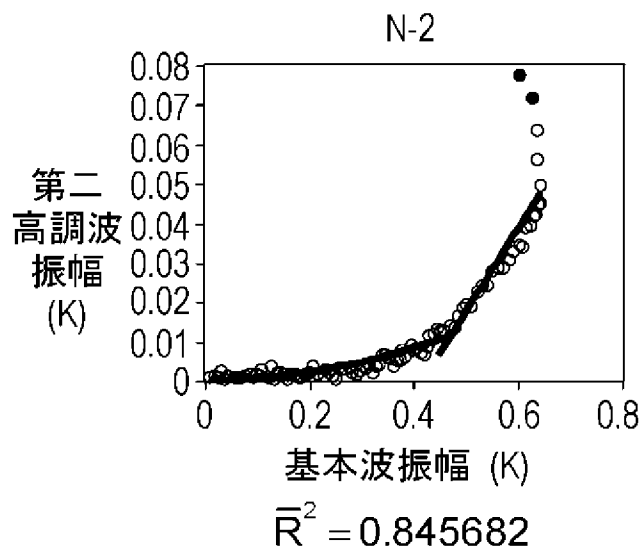
[図13A]



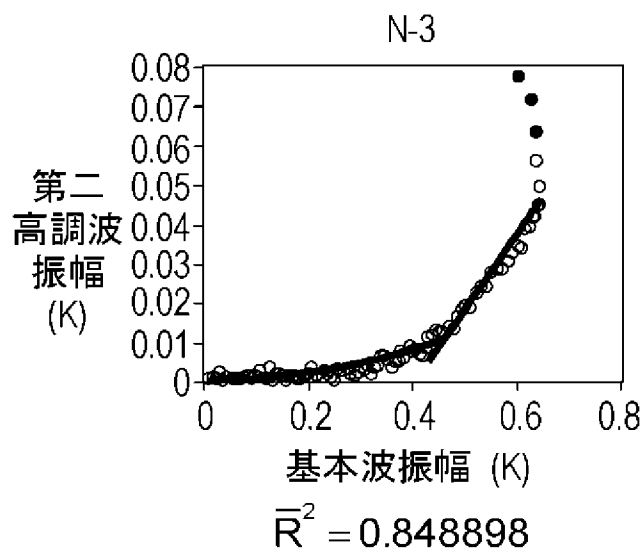
[図13B]



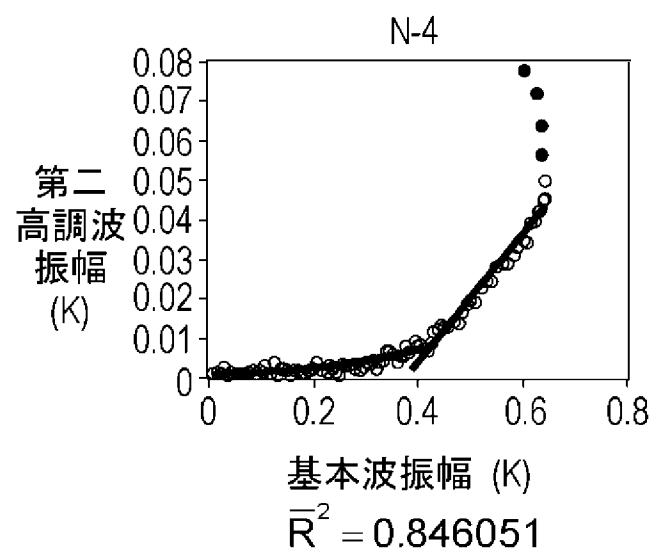
[図13C]



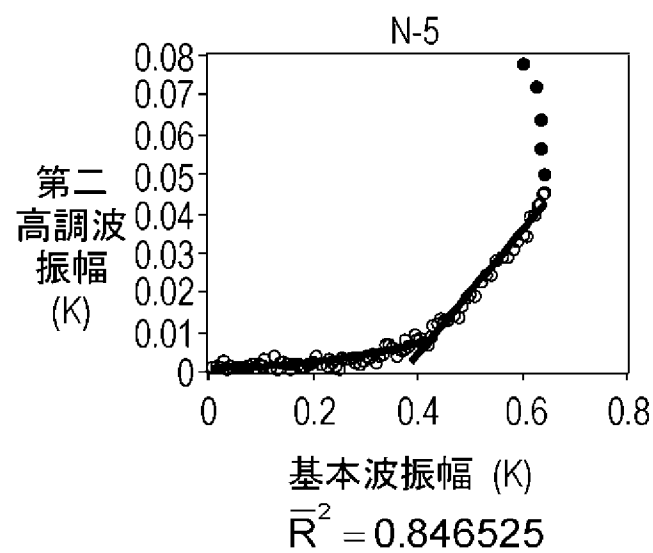
[図13D]



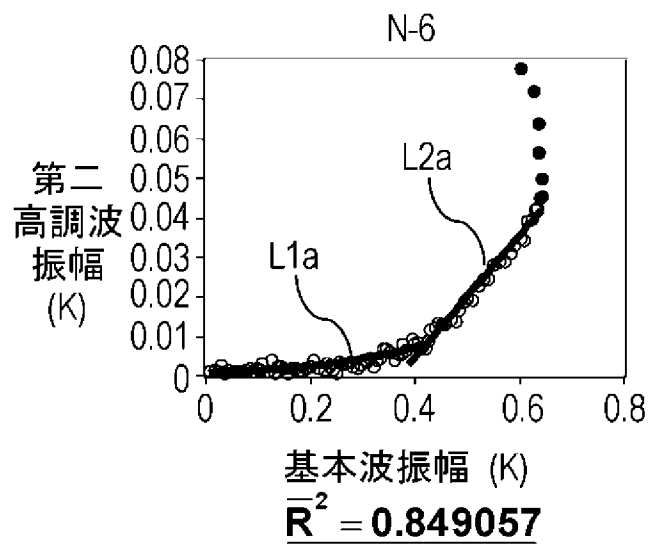
[図13E]



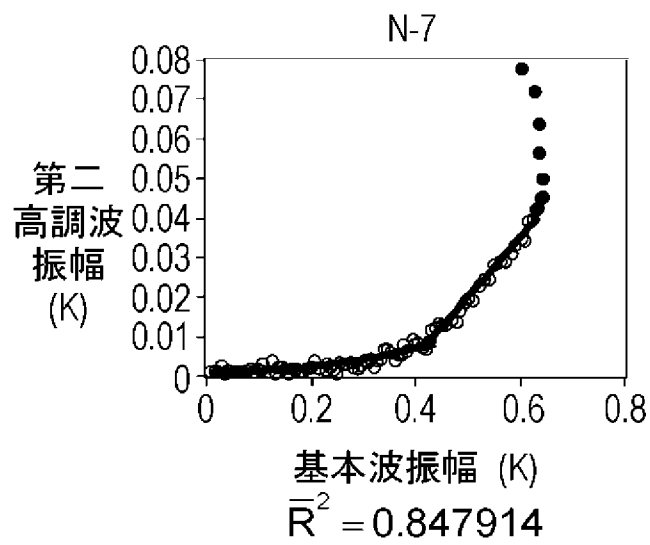
[図13F]



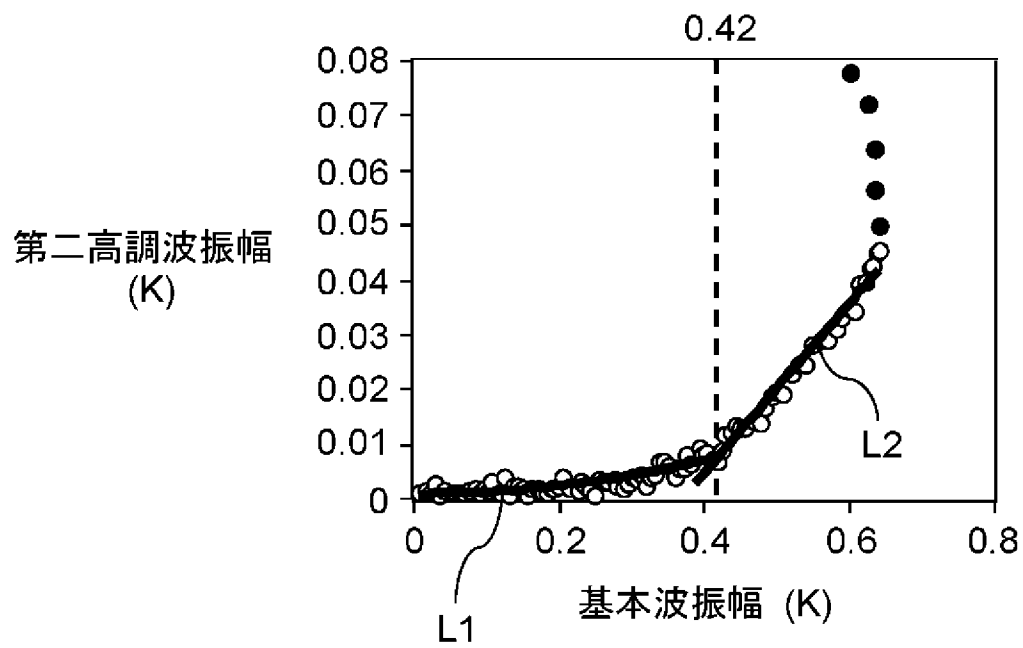
[図13G]



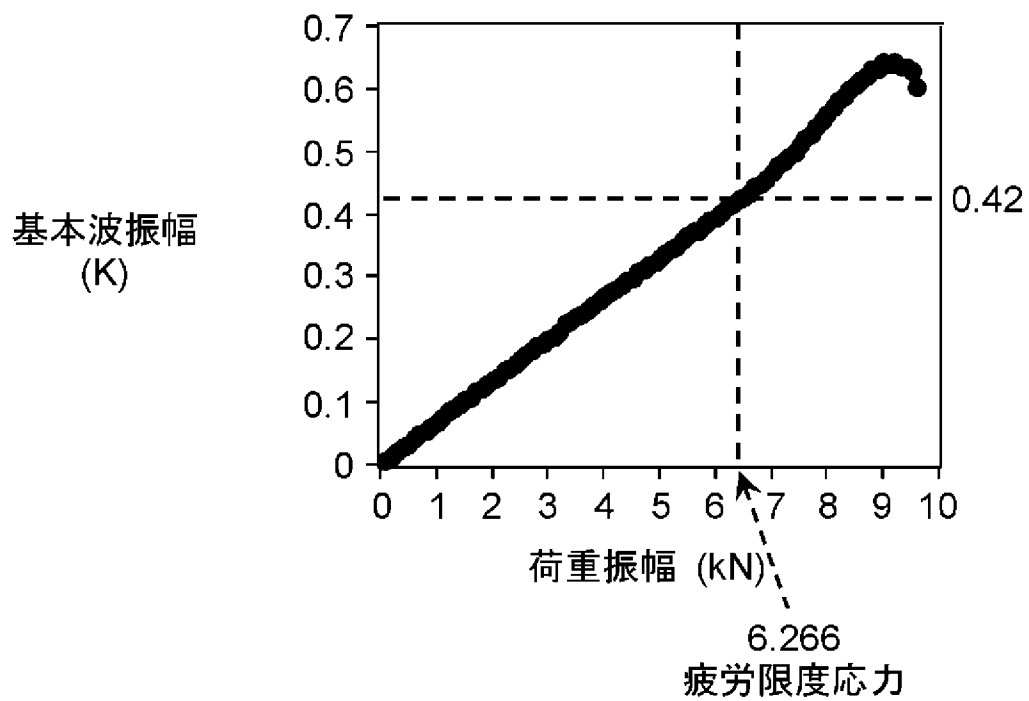
[図13H]



[図14A]



[図14B]



[図15]

切欠き半径 5.0mm

(単位: kN)

	二次曲線と二次曲線	二次曲線と直線
データ 1 評価値	6.445	6.476
データ 2 評価値	6.266	6.379
データ 3 評価値	6.200	6.239
データ 4 評価値	6.574	6.581
データ 5 評価値	6.425	6.461
平均値	6.382	6.427

疲労試験で求めた疲労限度:6.4kN

[図16]

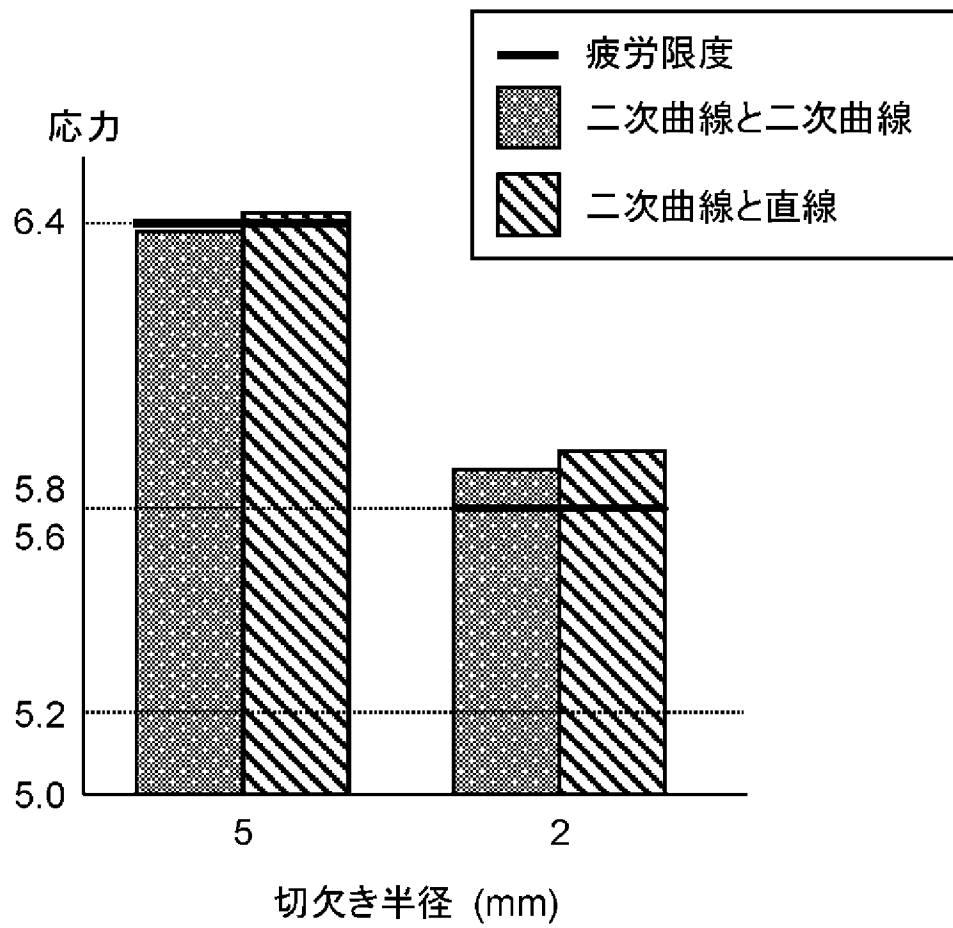
切欠き半径 2.0mm

(単位: kN)

	二次曲線と二次曲線	二次曲線と直線
データ 1 評価値	5.490	5.524
データ 2 評価値	5.760	5.811
データ 3 評価値	5.931	5.978
データ 4 評価値	5.920	5.947
データ 5 評価値	5.891	5.925
平均値	5.798	5.837

疲労試験で求めた疲労限度: 5.7kN

[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/029846

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N3/34(2006.01)i, G01N3/06(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N3/34, G01N3/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2016-24056 A (Panasonic Corp.), 08 February 2016 (08.02.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2012-163420 A (Panasonic Corp.), 30 August 2012 (30.08.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2010-223957 A (Panasonic Corp.), 07 October 2010 (07.10.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 November 2017 (01.11.17)

Date of mailing of the international search report
14 November 2017 (14.11.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/029846

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2016-197080 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 24 November 2016 (24.11.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2006-250683 A (Toyota Motor Corp.), 21 September 2006 (21.09.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N3/34(2006.01)i, G01N3/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N3/34, G01N3/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2016-24056 A（パナソニック株式会社）2016.02.08, 全文全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2012-163420 A（パナソニック株式会社）2012.08.30, 全文全図 (ファミリーなし)	1-6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01.11.2017

国際調査報告の発送日

14.11.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

素川 慎司

2 J

4844

電話番号 03-3581-1101 内線 3252

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2010-223957 A (パナソニック株式会社) 2010. 10. 07, 全文全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2016-197080 A (三菱重工業株式会社) 2016. 11. 24, 全文全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2006-250683 A (トヨタ自動車株式会社) 2006. 09. 21, 全文全図 (ファミリーなし)	1-6