

(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
2022年11月17日(17.11.2022)



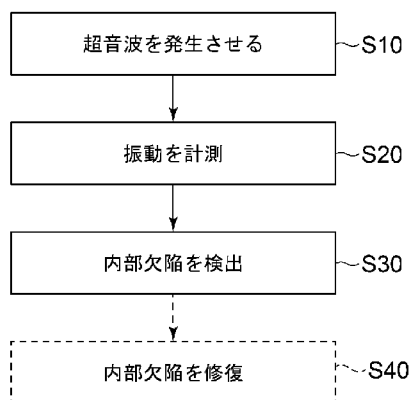
(10) 国際公開番号

WO 2022/239338 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 29/24 (2006.01) *G01N 29/46* (2006.01) 千2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 Kanagawa (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/005545 (72) 発明者: 福山 美咲 (FUKUYAMA, Misaki);
千1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 樋口 暢
(22) 国際出願日: 2022年2月14日(14.02.2022) 浩 (HIGUCHI, Nobuhiro); 千1008332 東京都千
(25) 国際出願の言語: 日本語 代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株
(26) 国際公開の言語: 日本語 式会社内 Tokyo (JP). 渡辺 俊哉(WATANABE,
(30) 優先権データ: Toshiya); 千1008332 東京都千代田区丸の内三
特願 2021-080224 2021年5月11日(11.05.2021) JP 丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (71) 出願人 (KR を除く全ての指定国について): 三菱 (74) 代理人: S S I P 弁理士法人 (SSIP PATENT
重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY ATTORNEY CORPORATION); 千1080073 東
INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 千1008332 東京都 京都港区三田三丁目13番16号 三田4
千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP). 3MTビル13階 Tokyo (JP).
- (71) 出願人 (KR についてのみ): 三菱パワー株 (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
式会社 (MITSUBISHI POWER, LTD.) [JP/JP]; 護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

(54) Title: DEFECT DETECTION METHOD

(54) 発明の名称: 欠陥検出方法



S10 Generate ultrasonic wave
S20 Measure vibration
S30 Detect inner defect
S40 Repair inner defect

(57) Abstract: A defect detection method according to an embodiment comprises: a step for irradiating an object with pulse laser light and generating an ultrasonic wave in the object; and a step for detecting, on the basis of a specific frequency component of a vibration of the object based on the ultrasonic wave, whether a defect is present inside the object.

(57) 要約: 一実施形態に係る欠陥検出方法は、対象物に対して、パルスレーザ光を照射して対象物中に超音波を発生させるステップと、上記超音波に基づく対象物の振動の特定の周波数成分に基づいて、対象物の内部欠陥の有無を検出するステップと、を含む。

[続葉有]

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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))

明 細 書

発明の名称：欠陥検出方法

技術分野

[0001] 本開示は、欠陥検出方法に関する。

本願は、2021年5月11日に日本国特許庁に出願された特願2021-080224号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 近年、複雑構造による性能向上を狙いとして、付加造形（AM：Additive Manufacturing）技術が着目され、電子ビームやレーザービームを使用した積層造形によって3次元造形物（3D造形品）を製造する装置が普及している。例えば、特許文献1には、積層造形において、成長部分の温度を監視し、その温度に基づいて照射するビーム出力を調整する装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2019-73796号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 従来、複雑構造物を構築する際、複数の鋳鍛造品（鋳鍛造部品）を組み立てて構成するのが一般的である。この場合、鋳鍛造品における欠陥（割れ、ひけ巣等）に係る検査は、超音波探傷法、渦流探傷法、放射線透過法等の比較的簡便な方法を、鋳鍛造部品毎に適用することができた。

[0005] しかし、AM技術を用いた3D造形品では、金属粉を材料とした一体同時造形の為、中間生成物が無く、欠陥検査は最終形状で行う必要がある。この場合、前述のような簡便な検査方法では、最終形状の外表面から離隔した位置における欠陥評価は困難である。X線CTの活用による評価も考えられるが、大型な3D造形品には対応できないという問題がある。

また、最終形状で欠陥検査を行うため、内部欠陥の存在が判明した場合、再度最初から造形を行うこととなり、手戻りリスクが発生する。

これらを解決するには、造形中に内部欠陥を検出できることが重要である。特許文献1には、このような内部欠陥の問題を解決するための手法が開示されていない。

[0006] ところで、非接触で内部欠陥を検出する手法として、レーザ超音波法が知られている。レーザ超音波法は、検査対象物の表面にパルスレーザ光を照射することによって検査対象の表面を局所的に加熱し、熱膨張あるいはアブレーション作用によって超音波を発生させ、生じた超音波が検査対象内を伝搬した後、内部欠陥で反射又は散乱し、再び表面へ伝搬してきたものをレーザ干渉計などの検出装置により計測する技術である。

[0007] レーザ超音波法による欠陥検出では、パルスレーザ光を照射した時の欠陥からの反射波を観測する必要がある。しかし、浅い位置にある（表面近傍の）欠陥を検査する場合、入射波による表面振動変位に、欠陥からの反射波が埋もれてしまう。そのため、3D造形中に発生する表面から浅い位置にある欠陥の検出には適用困難である。

[0008] 本開示の少なくとも一実施形態は、上述の事情に鑑みて、3D造形される対象物の内部欠陥の検出に適した欠陥検出方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] （1）本開示の少なくとも一実施形態に係る欠陥検出方法は、
対象物に対して、パルスレーザ光を照射して前記対象物中に超音波を発生させるステップと、
前記超音波に基づく前記対象物の振動の特定の周波数成分に基づいて、前記対象物の内部欠陥の有無を検出するステップと、
を含む。

発明の効果

[0010] 本開示の少なくとも一実施形態によれば、3D造形される対象物の内部欠

陷の検出に適した欠陥検出方法を提供できる。

図面の簡単な説明

- [0011] [図1]実施形態に係る造形装置の構成を概略的に示す図である。
- [図2]実施形態に係る造形装置の構成を概略的に示す図である。
- [図3]実施形態に係る造形装置の構成を概略的に示す図である。
- [図4]実施形態に係る造形装置の構成を概略的に示す図である。
- [図5]実施形態に係る造形装置の構成を概略的に示す図である。
- [図6]幾つかの実施形態に係る欠陥検出方法の手順を示すフローチャートである。
- [図7]対象物の内部欠陥を模式的に示した図である。
- [図8]内部欠陥検出ステップにおける処理に係る検出装置の機能ブロックを示す図である。
- [図9A]検出装置から取得した振動の振幅を示すグラフの一例である。
- [図9B]内部欠陥の有無の検出に必要な情報を抽出した後の振動を示すグラフの一例である。
- [図9C]F F T処理の処理結果を表すグラフの一例である。
- [図10]マップ作成部において作成されたマップの一例を示す図である。

発明を実施するための形態

- [0012] 以下、添付図面を参照して本開示の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本開示の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態である

ことを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

一方、一の構成要素を「備える」、「具える」、「具備する」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

[0013] (欠陥検出装置を備える造形装置の全体構成)

以下、一実施形態に係る造形装置 300 について説明する。図 1 から図 5 は、それぞれの実施形態に係る造形装置 300 の構成を概略的に示す図である。なお、図 1 から図 5 において、コリメートレンズや集光レンズなどの光学系は省略する。以下の説明では、欠陥検出装置 200 を備える造形装置 300 について説明するが、欠陥検出装置 200 は造形装置 300 から独立した装置であってもよい。

[0014] 図 1 から図 5 に示すように、造形装置 300 は、対象物 T を 3D 造形するためのビーム照射装置 100 と、内部欠陥を検出するための欠陥検出装置 200 と、を備える。造形装置 300 は、例えば、パウダーベッド方式の付加造形 (AM) を行う装置である。なお、造形装置 300 は、LMD (Laser Metal Deposition) 方式の造形を行う装置であってもよい。

[0015] ビーム照射装置 100 は、造形装置 300 のベースプレート 301 上にパウダーベッド 302 として敷き詰められた原料粉 303 (例えば合金粉) に対して、エネルギービーム B1 を任意の CAD に基づいた形状に沿って照射するように構成される (図 5 参照)。これにより、ビーム照射装置 100 は、原料粉を溶融固化させて、対象物 T を 3D 造形する。ビーム照射装置 100 は、エネルギービーム B1 として加工用のレーザ光を照射する装置である。また、造形装置 300 は、ガルバノミラー 101 を備えており、エネルギ

ービームB 1の向きを変えてパウダーベッド上を走査させることができる。
ガルバノミラー101は備えていなくてもよい。

[0016] なお、ビーム照射装置100は、上記構成に限られない。例えば、ビーム照射装置100は、エネルギービームB 1として電子ビームを照射する装置であってもよい。この場合、ガルバノミラーに置換して図示しない電子光学系を配してもよい。また、造形装置300は、ガルバノミラー101を備えていない構成であってもよい。例えば、造形装置300は、ビーム照射装置100自体を移動又は回転させてエネルギービームB 1を走査させる構成であってもよい。

[0017] 図1から図5に示す実施形態では、欠陥検出装置200は、対象物Tにパルスレーザ光B 2を照射するように構成されたパルスレーザ照射装置201と、対象物Tの内部欠陥の有無を検出するように構成された検出装置202と、これらを制御するように構成された制御装置203とを備える。検出装置202は、次の各機能ブロックを備える。受信した超音波波形を蓄積する「時間波形蓄積メモリ」、超音波波形に窓関数を掛けて任意の波形を取り出す「窓関数による抽出部」、抽出した波形に対してFFT処理を行う「FFT処理部」、FFT処理結果を分析する「FFT結果分析部」、FFT処理結果値をマップ状にプロットする「計測結果マップ作成部」。FFT結果分析部は、周波数成分の総和、ある周波数範囲の最大振幅値、ある周波数のFFT振幅値、などを抽出する。パルスレーザ照射装置201は、対象物Tに対して、パルスレーザ光B 2を照射して対象物T中に継続的に超音波を発生させる。パルスレーザ照射装置201は、反射波の強度が高くなるように、直上からパルスレーザ光B 2を照射することが好ましい。

[0018] 図1から図5に示す実施形態では、検出装置202は、超音波に基づく対象物Tの表面の振動を検出するように構成される。また、検出装置202は、対象物Tの振動における特定の周波数成分に基づいて、対象物Tの内部欠陥の有無を検出するように構成される。内部欠陥は、空隙など表面からは見えない内部の造形不良である。

[0019] 図1から図3に示す実施形態では、検出装置202は、例えば、レーザ干渉計202Aを備えていてもよい。この場合、検出装置202は、レーザ光B3を対象物Tに照射して、その反射光を受光して対象物Tの表面の振動、すなわち変位を計測するように構成される。

[0020] 図1から図3に示す実施形態では、レーザ干渉計を備える構成に代えて、ドップラ振動計202Bを備えていてもよい。

[0021] 図4及び図5に示す実施形態では、検出装置202は、レーザ干渉計202A等の非接触式の検出装置に代えて、対象物Tに直接接触させて使用することで振動を検出する探触子である接触式トランスデューサ202tと、データロガー202Dと備えていてもよい。

なお、図4に示すように、接触式トランスデューサ202tは、対象物Tの上面に設置してもよい。

また、図5に示すように、接触式トランスデューサ202tは、造形装置300のベースプレート301に設置してもよい。

[0022] 図1から図5に示す実施形態では、欠陥検出装置200は、例えば、フォトディテクタ206を備えていてもよい。フォトディテクタ206は、パルスレーザ光B2が対象物Tに照射されたタイミングを検出するためのものであり、検出信号が後述する制御装置203に入力されるように構成されている。

[0023] 図1から図5に示す実施形態では、欠陥検出装置200は、ガルバノミラー204をさらに備えていてもよい。この場合、ガルバノミラー204によって、パルスレーザ光B2又はレーザ光B3の向きを変えてパウダーベッド上を走査させることができる。

[0024] 図1に示す実施形態では、欠陥検出装置200は、ハーフミラー205を備えていてもよい。この場合、図1に示すように、ハーフミラー205を介してパルスレーザ光B2及びレーザ光B3をガルバノミラー204に入射させ、パルスレーザ光B2及びレーザ光B3の向きを変えるように構成することができる。かかる構成によれば、パルスレーザ光B2の照射位置と同じ位

置にレーザ光B 3を照射する場合に適している。

[0025] なお、欠陥検出装置200は、ガルバノミラー204を備えていない構成であってもよい。例えば、欠陥検出装置200は、パルスレーザ照射装置201自体又は検出装置202自体を移動又は回転させてパルスレーザ光B 2又はレーザ光B 3を走査させる構成であってもよい。

[0026] また、欠陥検出装置200は、ハーフミラー205を備えていない構成であってもよい。例えば、欠陥検出装置200は、ハーフミラー205の代わりにビームスプリッタを備えていてもよい。欠陥検出装置200は、ハーフミラー205及びビームスプリッタを備えていない構成であってもよく、例えば図2に示すように、パルスレーザ光B 2及びレーザ光B 3をそれぞれ独立して走査可能に構成されていてもよい。

図2に示す実施形態では、欠陥検出装置200は、ガルバノミラー204とは異なるガルバノミラー207を備えている。図2に示す実施形態では、ガルバノミラー204によってパルスレーザ光B 2の向きを変えてパウダーベッド上を走査させることができ、ガルバノミラー204とは異なるガルバノミラー207によってレーザ光B 3の向きを変えてパウダーベッド上を走査させることができる。

図2に示す実施形態によれば、パルスレーザ光B 2の照射位置と同じ位置にレーザ光B 3を照射することもできる。

[0027] 図3に示す実施形態では、欠陥検出装置200は、レーザ光B 3を反射させるためのミラー208を備えている。図3に示す実施形態では、検出装置202からのレーザ光B 3の対象物Tにおける照射位置は、予めミラー208の姿勢を調節することで設定された固定位置である。

[0028] 制御装置203は、CPU (Central Processing Unit)、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory) 等から構成される。制御装置203は、例えば、ROM又はRAMに記憶されているプログラムを実行することにより、装置全体の動作を制御する。また、制御装置203は、ROM又は

R A Mに後述する各種データ（例えば、対象物 T の設計情報、後述する欠陥検出方法に関するプログラムや各種の設定値等）を記憶する。

[0029] なお、制御装置 203 は、パルスレーザ照射装置 201 又は検出装置 202 と一体化されていてもよい。また、制御装置 203 は、ガルバノミラー 204、207 を制御するように構成されていてもよい。欠陥検出装置 200 は、制御装置 203 を備えていない構成であってもよい。例えば、制御装置 203 による自動制御の代わりに、ユーザが手動操作してもよい。

[0030] （欠陥検出方法）

以下、幾つかの実施形態に係る欠陥検出方法について説明する。以下に説明する欠陥検出方法は、制御装置 203 の制御処理によって自動的に実行されてもよいし、一部の手順については制御装置 203 ではなくユーザの手動操作によって実行されてもよい。一実施形態に係る欠陥検出方法は、例えば、パウダーベッド方式の付加造形（AM）に適用される。なお、欠陥検出方法は、LMD方式等の他の方法で造形する場合の対象物に適用することも可能である。

[0031] 発明者らが鋭意検討した結果、対象物 T における比較的表面から近い領域における内部欠陥の有無を検出する方法として、パルスレーザ光 B2 を照射して対象物 T 中に超音波を発生させ、この超音波に基づく対象物 T の振動における特定の周波数成分に基づいて、対象物 T の内部欠陥の有無を検出できることが判明した。

[0032] なお、対象物 T にパルスレーザ光 B2 を照射することで、対象物 T に縦振動を生じさせ、対象物 T の表面と内部欠陥との間で発生する縦振動の共振の有無に基づいて、対象物 T の内部欠陥の有無を検出することもできる。

すなわち、対象物 T における比較的表面から近い領域において内部欠陥が存在する場合、対象物 T の表面から検出すべき内部欠陥までの深さによって縦振動の共振周波数が変化する。この共振周波数に対応するようにパルスレーザの繰り返し周波数を設定してパルスレーザを繰り返し照射することで、縦振動の共振を発生させ、対象物 T の表面の振動が大きくなることが検出で

できれば内部欠陥が存在すると推定できる。

[0033] しかし、このような縦振動の共振は、対象物 T における比較的表面から近い領域において内部欠陥が存在する場合に対象物 T に発生するたわみ振動と比べると振幅が小さく、且つ、周波数が高い。したがって、上記のような縦振動の共振は、ノイズに埋もれて検出し難い傾向にある。

そのため、対象物 T におけるたわみ振動を利用すれば、対象物 T における内部欠陥を検出し易くなる。

[0034] 発明者らが鋭意検討した結果、対象物 T における比較的表面から近い領域において内部欠陥が存在する場合、内部欠陥の存在位置、すなわち対象物 T の表面からの距離や、内部欠陥の大きさに応じた固有振動数を有するたわみ振動が発生することを見出した。そして発明者らは、この固有振動数における振幅を抽出し、該振幅の大きさに基づいて、対象物 T の内部欠陥の有無を検出できることを見出した。

そこで、幾つかの実施形態に係る欠陥検出方法では、以下のようにして対象物 T における内部欠陥を検出するようにしている。

なお、後述する内部欠陥を検出する処理は、付加造形によって 3D 造形する場合において、1 層毎に実施する。但し、必ずしも 1 層でなく、複数の層が積層されるごとでもよい。1 層の厚さは、材質毎に異なるが、一般的には 50 μm ~ 100 μm である。「複数の層」とは、例えば、5 層のように任意の数に設定される。

このように、幾つかの実施形態に係る欠陥検出方法では、付加造形によって 3D 造形される途中の対象物 T について内部欠陥の有無を検出するとよい。3D 造形途中で、内部欠陥を検出するため、大きな手戻りが発生するリスクを軽減することができる。

[0035] 図 6 は、幾つかの実施形態に係る欠陥検出方法の手順を示すフローチャートである。一実施形態に係る欠陥検出方法は、超音波発生ステップ S10 と、振動計測ステップ S20 と、内部欠陥検出ステップ S30 と、修復ステップ S40 とを備えている。

図 7 は、対象物 T の内部欠陥を模式的に示した図である。本図において欠陥は空隙の場合を示している。但し、欠陥には図示しない割れ、融合不良など、その他の表面からは見えない内部造形不良の形態も含む。

[0036] (超音波発生ステップ S 1 0)

超音波発生ステップ S 1 0 は、対象物 T に対して、パルスレーザ光 B 2 を照射して対象物 T 中に超音波を発生させるステップである。

超音波発生ステップ S 1 0 では、制御装置 2 0 3 は、パルスレーザ光 B 2 を対象物 T に照射し、パルスレーザ光 B 2 が照射された部位の急激な熱膨張と収縮により超音波を発生させる。

[0037] 超音波発生ステップ S 1 0 におけるパルスレーザ光 B 2 の照射回数は、1 回であるが、複数回であってもよい。なお、パルスレーザ光 B 2 の対象物 T における照射位置は、パルスレーザ光 B 2 の照射期間中、不動である。また、パルスレーザ光 B 2 の照射回数が複数回であっても、各回におけるパルスレーザ光 B 2 の対象物 T における照射位置は同一の位置である。

パルスレーザ光 B 2 のビーム径は、検出しようとする内部欠陥の大きさ S と同程度であるとよく、例えば数百 μm である。ここでいう内部欠陥の大きさとは、内部欠陥を対象物 T の表面から見たときの大きさのことである。なお、パルスレーザ光 B 2 のビーム径を上記の大きさに設定するために、欠陥検出装置 2 0 0 はビーム径調整レンズを備えていてもよいが、ビーム径調整レンズを備えることは必須ではない。

パルスレーザ光 B 2 のパルス幅は、1 0 n 秒以上 1 0 0 0 n 秒以下であるとよい。

[0038] 超音波発生ステップ S 1 0 において、上述したような照射条件でパルスレーザ光 B 2 を対象物 T に照射することで、対象物 T に超音波を発生させることができる。

このようにして発生した超音波は、比較的広帯域の振動である。そのため、対象物 T の表面からの距離 d や内部欠陥の大きさ S に応じて対象物 T の固有振動数が異なっても、この固有振動数のたわみ振動が卓越して発生さ

せることができる。

[0039] (振動計測ステップS 2 0)

振動計測ステップS 2 0は、超音波に基づく対象物Tの表面の振動を検出するステップである。

振動計測ステップS 2 0では、制御装置2 0 3は、対象物Tの表面の振動を検出装置2 0 2に検出させる。

[0040] 図1、図2、及び図3に示す実施形態では、レーザ干渉計2 0 2 A又はドップラ振動計2 0 2 Bによって超音波に基づく対象物Tの表面の振動を非接触で検出できる。

図1に示す実施形態では、パルスレーザ光B 2の照射位置とレーザ光B 3の照射位置とが同じ位置となる。また、図2に示す実施形態では、ガルバノミラー2 0 4、2 0 7の姿勢制御によって、パルスレーザ光B 2の照射位置と同じ位置にレーザ光B 3を照射することができる。

超音波励振点と、受信点の近接化が可能になる為、これにより、対象物Tの検査面が小さい場合や、対象物Tが複雑な場合であっても、対象物Tの表面の振動を検出できる。

また、図1及び図2に示す実施形態において、パルスレーザ光B 2の照射位置とレーザ光B 3の照射位置とが同じ位置であれば、パルスレーザ光B 2の照射位置からレーザ光B 3の照射位置までの振動の伝達時間を考慮しなくてもよくなる。これにより、後述する内部欠陥検出ステップS 3 0における演算負荷を低減できる。

[0041] 図1に示す実施形態では、パルスレーザ光B 2とレーザ光B 3とを同軸で照射できる。これにより、対象物Tが複雑な構造であっても、レーザ光B 3が対象物Tの一部によって遮られることを回避して対象物Tの表面の振動を検出できる。

[0042] 図2に示す実施形態では、ガルバノミラー2 0 4、2 0 7の姿勢制御によって、パルスレーザ光B 2の照射位置とレーザ光B 3の照射位置とが常に一定の距離を保つように照射することができる。これにより、パルスレーザ光

B 2 の照射によるノイズが検出されるタイミングと、上述した固有振動数での振幅が検出されるタイミングとをずらすことができ、固有振動数での振幅を検出し易くなる。また、図 2 に示す実施形態では、パルスレーザ光 B 2 の照射位置とレーザ光 B 3 の照射位置とが常に一定の距離を保つように照射することにより、パルスレーザ光 B 2 の照射位置とレーザ光 B 3 の照射位置との距離が変化する場合と比べて、後述する内部欠陥検出ステップ S 3 0 における演算負荷を低減できる。

[0043] 図 3 に示す実施形態では、上述したように、検出装置 2 0 2 からのレーザ光 B 3 の対象物 T における照射位置は、予めミラー 2 0 8 の姿勢を調節することで設定された固定位置である。そのため、レーザ光 B 3 の対象物 T における照射位置の表面の状態が不変であるため、対象物 T の表面の振動を安定して検出できる。

また、図 3 に示す実施形態では、ガルバノミラー 2 0 7 の姿勢制御を行わなくてもよくなるので、制御装置 2 0 3 における演算負荷を抑制できる。

[0044] このように、幾つかの実施形態に係る欠陥検出方法において、レーザ干渉計 2 0 2 A 又はドップラ振動計 2 0 2 B によって対象物 T の表面の振動を検出するようにしてもよい。

これにより、内部欠陥の有無を非接触で検出することができる。

[0045] 図 4 及び図 5 に示す実施形態では、接触式トランスデューサ 2 0 2 t によって超音波に基づく対象物 T の表面の振動を直接検出できる。これにより、レーザ干渉計 2 0 2 A 又はドップラ振動計 2 0 2 B に対象物 T の表面の振動を非接触で検出する場合と比べて、良好な感度で対象物 T の表面の振動を検出できる。

図 4 に示す実施形態では、接触式トランスデューサ 2 0 2 t を対象物 T の上面に設置するので、パルスレーザ光 B 2 の照射位置と接触式トランスデューサ 2 0 2 t との距離を比較的接近できるので、さらに良好な感度で対象物 T の表面の振動を検出できる。

図 5 に示す実施形態では、接触式トランスデューサ 2 0 2 t を造形装置 3

00のベースプレート301に設置するので、対象物Tの検査面が小さい場合や、対象物Tが複雑な場合等、接触式トランスデューサ202tを対象物Tの上面に設置することが困難な場合であっても、対象物Tの振動を検出できる。

[0046] (内部欠陥検出ステップS30)

内部欠陥検出ステップS30は、超音波に基づく対象物Tの振動の特定の周波数成分の振幅に基づいて、対象物Tの内部欠陥の有無を検出するステップである。

図8は、内部欠陥検出ステップS30における後述する処理に係る検出装置202の機能ブロックを示す図である。検出装置202は、時間波形蓄積メモリ202a、窓関数による抽出部202b、FFT処理部202c、FFT結果分析部202d、マップ作成部(計測結果マップ作成部)202eの各機能ブロックを仮想的に有している。

内部欠陥検出ステップS30では、検出装置202は、次のようにして対象物Tの内部欠陥の有無を検出する。

まず、検出装置202は、時間波形蓄積メモリ202aにて、フォトディテクタ206で検出したパルスレーザ光B2の照射タイミングを基準として、該照射タイミング以降の予め設定された期間内に検出装置202で検出した振動の情報を検出装置202から取得する。

図9Aは、上述のようにして検出装置202から取得した振動の振幅を示すグラフの一例である。

[0047] 次いで、検出装置202は、窓関数による抽出部202bにて、上述のようにして検出装置202から取得した振動の情報から、内部欠陥の有無の検出に必要な振動の情報を抽出する。

図9Bは、内部欠陥の有無の検出に必要な情報を抽出した後の振動を示すグラフの一例である。

[0048] 具体的には、窓関数による抽出部202bは、上述のようにして検出装置202から取得した振動の情報から、第1到達波についての振動の情報を抽

出する。すなわち、窓関数による抽出部 202b は、上述のようにして検出装置 202 から取得した振動の情報から、第 1 到達波を検出した期間に相当する振動の情報を抽出する。図 9B に示す例では、窓関数による抽出部 202b は、上述のようにして検出装置 202 から取得した振動の情報から、フォトディテクタ 206 で検出したパルスレーザ光 B2 の照射タイミングを 0 秒として、該照射タイミング以降、5.0 μ 秒経過時までの振動の情報を抽出する。

なお、上述した第 1 到達波についての振動の情報の抽出方法は一例であり、他の方法で第 1 到達波についての振動の情報を抽出してもよい。

また、窓関数による抽出部 202b は、該照射タイミング以降、5.0 μ 秒経過時までの振動の情報を抽出する際、パルスレーザ光 B2 の照射によるノイズを除くべく、該照射タイミング以降、所定の期間の振動の情報は取得対象から外す。図 9B に示す例では、制御装置 203 は、該照射タイミング以降、0.5 μ 秒経過時までの振動の情報は取得しない。

[0049] 上述のようにして抽出した第 1 到達波についての振動の情報には、対象物 T の表面近傍の内部欠陥の存在に起因した固有周波数によるたわみ振動と、表面波成分とを含んでいる。そこで、検出装置 202 は、FFT 処理部 202c にて、該固有周波数によるたわみ振動を抽出すべく、上述のようにして抽出した第 1 到達波についての振動の情報に対して FFT (Fast Fourier Transform) 処理を行う。

図 9C は、FFT 処理の処理結果を表すグラフの一例である。

対象物 T における比較的表面から近い領域において内部欠陥が存在する場合、比較的低い周波数の範囲内で卓越している周波数成分の振幅が発生する。この周波数の範囲は、内部欠陥の形状、内部欠陥の位置、対象物 T の材質等によって決まるが、例えば 0.5 MHz 以上 5.0 MHz 以下の範囲となることがある。

そこで、FFT 結果分析部 202d は、上述した FFT 処理の処理結果において、上述したような比較的低い周波数の範囲内の振幅のピークを検出し

、そのピーク値を取得する。FFT結果分析部202dは、該ピーク値が予め設定された閾値を超えている場合、パルスレーザ光B2の照射位置の直下に内部欠陥が存在していると判断する。

図9Cに示す例では、1.20MHzにおいて比較的大きな振幅のピークが認められる。

なお、FFT結果分析部202dは、FFT処理部202cにおけるFFT処理の結果の総和や、特定の周波数の時のFFT振幅値等に基づいて内部欠陥の有無を判断するようにしてもよい。

[0050] このように、上述した一実施形態に係る欠陥検出方法において、対象物Tの内部欠陥の有無を検出するステップ(S30)では、内部欠陥の形状、内部欠陥の位置、対象物Tの材質等によって決まる周波数成分に基づいて、対象物Tの内部欠陥の有無を検出するとよい。

これにより、対象物Tにおける比較的表面から近い領域における内部欠陥の有無を検出できる。

[0051] なお、検出装置202は、パルスレーザ光B2の照射位置をずらしながら、上述した超音波発生ステップS10から内部欠陥検出ステップS30を繰り返し実施することで、対象物Tの表面の全面に亘り、比較的表面から近い領域における内部欠陥の有無を検出する。

[0052] 検出装置202は、マップ作成部202eにて、対象物Tの表面上の位置と、FFT結果分析部202dが取得した上記ピーク値との関係を示すマップを作成する。すなわち、マップ作成部202eは、FFT処理結果値をマップ状にプロットすることで上記マップを作成する。

図10は、マップ作成部202eにおいて作成された上記マップの一例を示す図である。図10に示すマップでは、上記ピーク値の分布を上記ピーク値に応じた濃度で表している。

なお、マップ作成部202eは、FFT結果分析部202dがFFT処理部202cにおけるFFT処理の結果の総和を取得した場合には、この総和と、対象物Tの表面上の位置との関係を示すマップを作成する。

また、マップ作成部202eは、FFT結果分析部202dが特定の周波数のFFT振幅値を取得した場合には、このFFT振幅値と、対象物Tの表面上の位置との関係を示すマップを作成する。

[0053] 上述した一実施形態に係る欠陥検出方法は、対象物Tに対して、パルスレーザ光B2を照射して対象物T中に超音波を発生させるステップ(S10)と、上記超音波に基づく対象物Tの振動における卓越している周波数成分の振幅に基づいて、対象物Tの内部欠陥の有無を検出するステップ(S30)と、を含む。

これにより、内部欠陥が対象物Tの表層に位置する場合においても内部欠陥を検出できる。また、パルスレーザ光B2を用いているため、探触子を介して対象物Tに超音波を発生させる方法に比べて、小さなスポット径で超音波を発生させることができる。その結果、照射方向から見た計測面が点、線、面のいずれであっても、内部欠陥を検出可能である。したがって、3D造形される対象物の内部欠陥の検出に適している。

[0054] また、上述した一実施形態に係る欠陥検出方法において、対象物Tの内部欠陥の有無を検出するステップ(S30)では、対象物Tのたわみ振動の領域にある周波数成分の振幅に基づいて、対象物Tの内部欠陥の有無を検出するとよい。

これにより、比較的容易に内部欠陥を検出できる。

[0055] 上述した一実施形態に係る欠陥検出方法において、対象物Tの内部欠陥の有無を検出するステップ(S30)では、対象物Tのたわみ振動の内、内部欠陥に起因する固有振動数における振幅を抽出し、該振幅の大きさに基づいて、対象物Tの内部欠陥の有無を検出するとよい。

これにより、比較的容易に内部欠陥を検出できる。

[0056] 上述した一実施形態に係る欠陥検出方法において、対象物Tの内部欠陥の有無を検出するステップ(S30)では、対象物Tのたわみ振動の内、第1到達波における周波数成分の振幅に基づいて、対象物Tの内部欠陥の有無を検出するとよい。

これにより、対象物 T の内部欠陥の検出精度を向上できる。

[0057] (修復ステップ S 4 0)

修復ステップ S 4 0 は、付加造形の積層によって 3 D 造形される造形中の対象物 T について内部欠陥を検出した場合に、内部欠陥の直上位置で次層を形成するときに内部欠陥を修復するように次層と次層の直下層を溶融するステップである。

幾つかの実施形態に係る欠陥検出方法では、内部欠陥検出ステップ S 3 0 において内部欠陥の存在が検出された場合に修復ステップ S 4 0 を実施する。

すなわち、幾つかの実施形態では、付加造形の積層によって 3 D 造形される造形中の対象物 T について内部欠陥を検出した場合に、内部欠陥の直上位置で次層を形成するときに内部欠陥を修復するように次層と次層の直下層を溶融してもよい。「次層と次層の直下層を溶融する」とは、内部欠陥の上に位置する上層とともに内部欠陥を含む層を溶融することを意味する。

[0058] 表面から深い場所に位置する内部欠陥を修復することは困難である。この点、修復ステップ S 4 0 を実施することで、次層を形成するときに内部欠陥を修復するため、積層が進んで内部欠陥が表面から離れる前に修復を行うため、適切に修復することができる。

[0059] 本開示は上述した実施形態に限定されることはなく、上述した実施形態に変形を加えた形態や、これらの形態を適宜組み合わせた形態も含む。

[0060] 上記各実施形態に記載の内容は、例えば以下のように把握される。

(1) 本開示の少なくとも一実施形態に係る欠陥検出方法は、対象物 T に対して、パルスレーザ光 B 2 を照射して対象物 T 中に超音波を発生させるステップ (S 1 0) と、上記超音波に基づく対象物 T の振動における卓越している特定の周波数成分に基づいて、対象物 T の内部欠陥の有無を検出するステップ (S 3 0) と、を含む。

[0061] 上記 (1) の方法によれば、内部欠陥が対象物 T の表層に位置する場合においても内部欠陥を検出できる。また、パルスレーザ光 B 2 を用いているた

め、探触子を介して対象物 T に超音波を発生させる方法に比べて、小さなスポット径で超音波を発生させることができる。その結果、照射方向から見た計測面が点、線、面のいずれであっても、内部欠陥を検出可能である。したがって、3D 造形される対象物の内部欠陥の検出に適している。

[0062] (2) 幾つかの実施形態では、上記 (1) の方法において、対象物 T の内部欠陥の有無を検出するステップ (S 30) では、対象物 T のたわみ振動の領域にある周波数成分に基づいて、対象物 T の内部欠陥の有無を検出するとよい。

[0063] 上記 (2) の方法によれば、比較的容易に内部欠陥を検出できる。

[0064] (3) 幾つかの実施形態では、上記 (2) の方法において、対象物 T の内部欠陥の有無を検出するステップ (S 30) では、上記周波数成分の総和、又は、特定の周波数成分の FFT 振幅値、の内の少なくとも 1 つに基づいて、対象物 T の内部欠陥の有無を検出するとよい。

[0065] 上記 (3) の方法によれば、比較的容易に内部欠陥を検出できる。

[0066] (4) 幾つかの実施形態では、上記 (2) 又は (3) の方法において、対象物 T の内部欠陥の有無を検出するステップ (S 30) では、対象物 T のたわみ振動の内、内部欠陥に起因する固有振動数における振幅を抽出し、該振幅の大きさに基づいて、対象物 T の内部欠陥の有無を検出するとよい。

[0067] 上記 (4) の方法によれば、比較的容易に内部欠陥を検出できる。

[0068] (5) 幾つかの実施形態では、上記 (2) 乃至 (4) の何れかの方法において、対象物 T の内部欠陥の有無を検出するステップ (S 30) では、対象物 T のたわみ振動の内、第 1 到達波における周波数成分の振幅に基づいて、対象物 T の内部欠陥の有無を検出するとよい。

[0069] 上記 (5) の方法によれば、対象物 T の内部欠陥の検出精度を向上できる。

[0070] (6) 幾つかの実施形態では、上記 (1) 乃至 (5) の何れかの方法において、レーザ干渉計 202A 又はドップラ振動計 202B によって上記超音波に基づく対象物 T の表面の振動を検出するステップ (S 20)、を含むとよ

い。

[0071] 上記（６）の方法によれば、パルスレーザ光Ｂ２を用いて超音波を発生させ、レーザ干渉計２０２Ａ又はドップラ振動計２０２Ｂを用いてその超音波に基づく振動を検出するため、内部欠陥の有無を非接触で検出することができる。

[0072] （７）幾つかの実施形態では、上記（６）の方法において、振動を検出するステップ（Ｓ２０）では、対象物Ｔにおけるパルスレーザ光Ｂ２の照射位置と同じ位置にレーザ干渉計２０２Ａ又はドップラ振動計２０２Ｂのレーザ光Ｂ３を照射するとよい。

[0073] 上記（７）の方法によれば、対象物Ｔの検査面が小さい場合や、対象物Ｔが複雑な場合であっても、対象物Ｔの表面の振動を検出できる。

[0074] （８）幾つかの実施形態では、上記（１）乃至（７）の何れかの方法において、付加造形によって３Ｄ造形される途中の対象物Ｔについて内部欠陥の有無を検出するとよい。

[0075] 上記（８）の方法によれば、３Ｄ造形途中で、内部欠陥を検出するため、大きな手戻りが発生するリスクを軽減することができる。

[0076] （９）幾つかの実施形態では、上記（１）乃至（８）の何れかの方法において、付加造形の積層によって３Ｄ造形される造形中の対象物Ｔについて内部欠陥を検出した場合に、内部欠陥の直上位置で次層を形成するときに内部欠陥を修復するように次層と次層の直下層を溶融するステップ（Ｓ４０）、を含むとよい。

[0077] 表面から深い場所に位置する内部欠陥を修復することは困難である。この点、上記（９）の方法によれば、次層を形成するときに内部欠陥を修復するため、積層が進んで内部欠陥が表面から離れる前に修復を行うため、適切に修復することができる。

符号の説明

[0078] １００ ビーム照射装置
２００ 欠陥検出装置

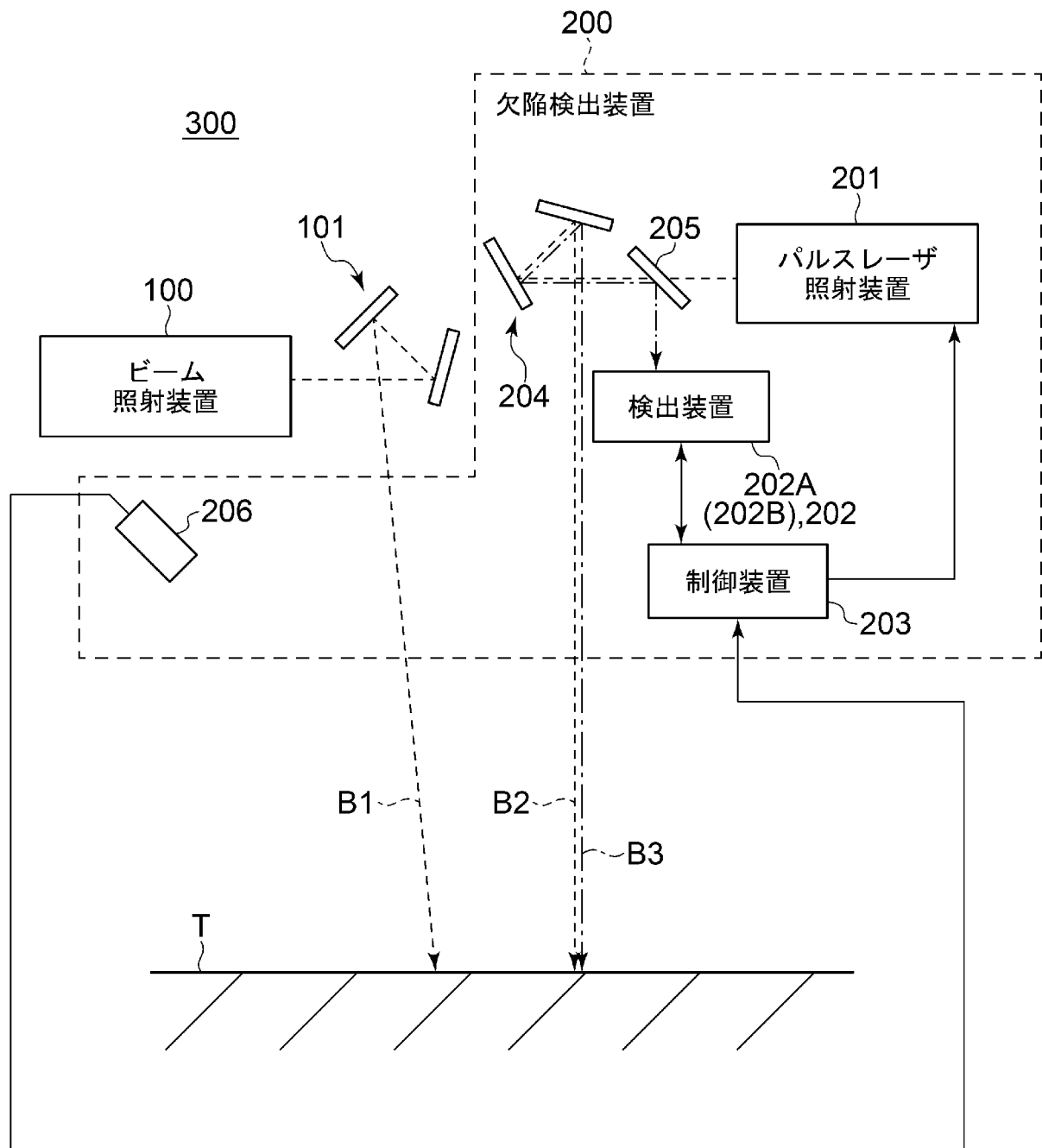
- 201 パルスレーザ照射装置
- 202 検出装置
 - 202A レーザ干渉計
 - 202B ドップラ振動計
 - 202D データロガー
 - 202t 接触式トランスデューサ
- 203 制御装置
- 206 フォトディテクタ
- 300 造形装置

請求の範囲

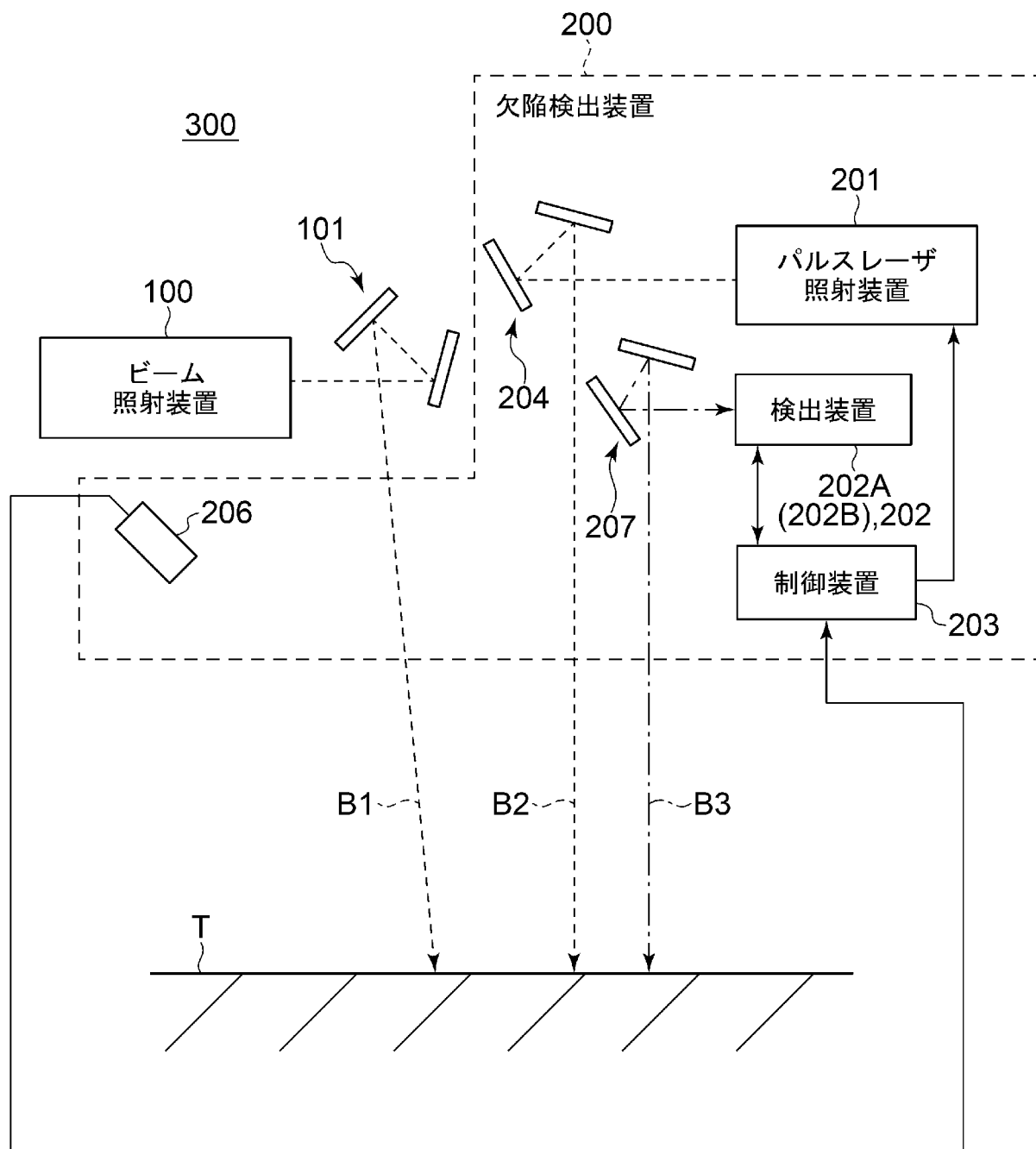
- [請求項1] 対象物に対して、パルスレーザ光を照射して前記対象物中に超音波を発生させるステップと、
前記超音波に基づく前記対象物の振動の特定の周波数成分に基づいて、前記対象物の内部欠陥の有無を検出するステップと、
を含む欠陥検出方法。
- [請求項2] 前記対象物の内部欠陥の有無を検出するステップでは、前記対象物のたわみ振動の領域にある前記周波数成分に基づいて、前記対象物の内部欠陥の有無を検出する
請求項 1 に記載の欠陥検出方法。
- [請求項3] 前記対象物の内部欠陥の有無を検出するステップでは、前記周波数成分の振幅、前記周波数成分の総和、又は、特定の周波数成分の F F T 振幅値、の内の少なくとも 1 つに基づいて、前記対象物の内部欠陥の有無を検出する
請求項 2 に記載の欠陥検出方法。
- [請求項4] 前記対象物の内部欠陥の有無を検出するステップでは、前記対象物のたわみ振動の内、前記内部欠陥に起因する固有振動数における振幅を抽出し、該振幅の大きさに基づいて、前記対象物の内部欠陥の有無を検出する
請求項 2 又は 3 に記載の欠陥検出方法。
- [請求項5] 前記対象物の内部欠陥の有無を検出するステップでは、前記対象物のたわみ振動の内、第 1 到達波における前記周波数成分の振幅に基づいて、前記対象物の内部欠陥の有無を検出する
請求項 2 乃至 4 の何れか一項に記載の欠陥検出方法。
- [請求項6] レーザ干渉計又はドップラ振動計によって前記超音波に基づく前記対象物の表面の振動を検出するステップ、
を含む
請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の欠陥検出方法。

- [請求項7] 前記振動を検出するステップでは、前記対象物における前記パルスレーザ光の照射位置と同じ位置に前記レーザ干渉計又は前記ドップラ振動計のレーザ光を照射する
請求項6に記載の欠陥検出方法。
- [請求項8] 付加造形によって3D造形される途中の前記対象物について前記内部欠陥の有無を検出する
請求項1乃至7の何れか一項に記載の欠陥検出方法。
- [請求項9] 付加造形の積層によって3D造形される造形中の前記対象物について前記内部欠陥を検出した場合に、前記内部欠陥の直上位置で次層を形成するときに前記内部欠陥を修復するように前記次層と前記次層の直下層を溶融するステップ、
を含む
請求項1乃至8の何れか一項に記載の欠陥検出方法。

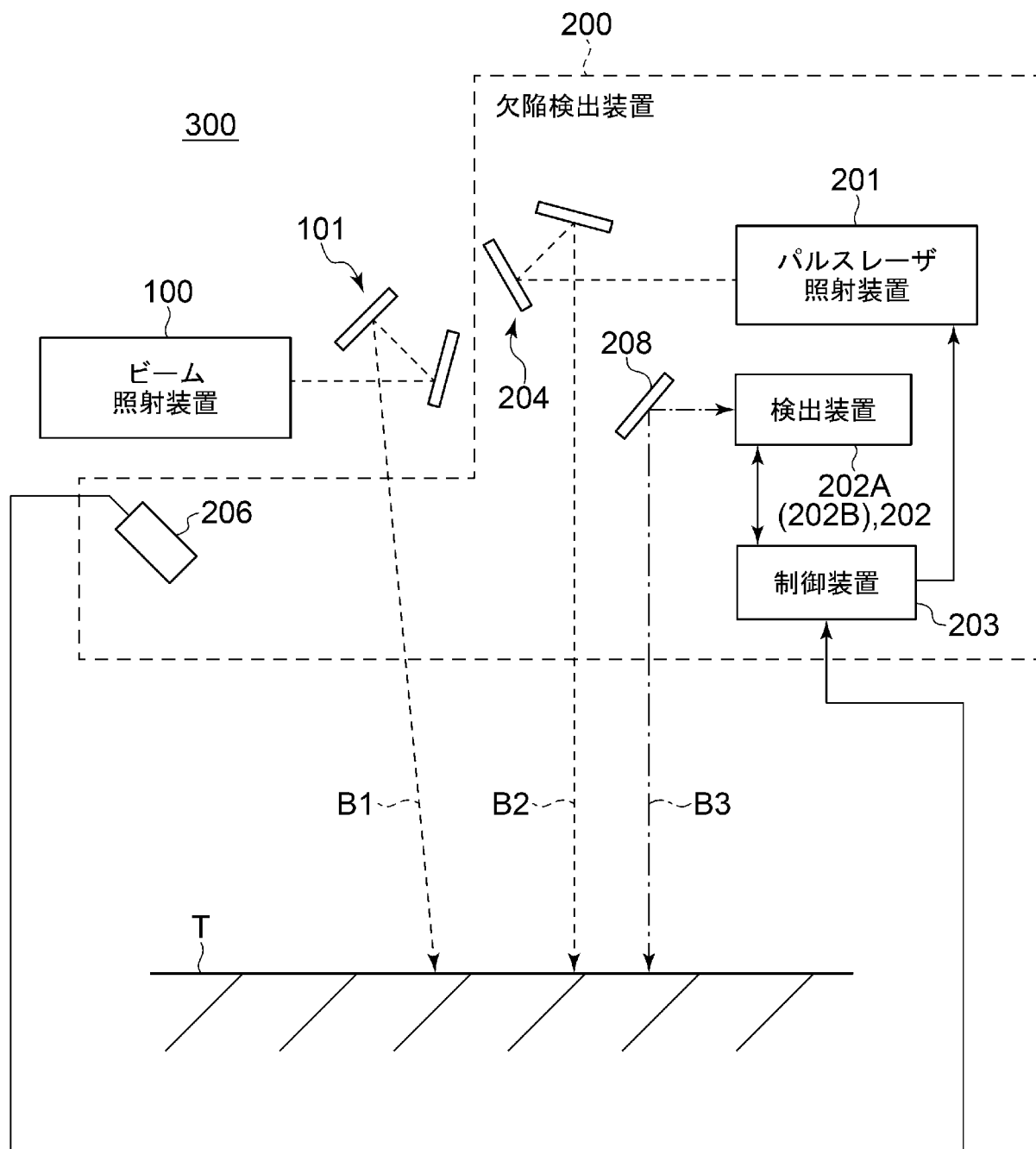
[図1]



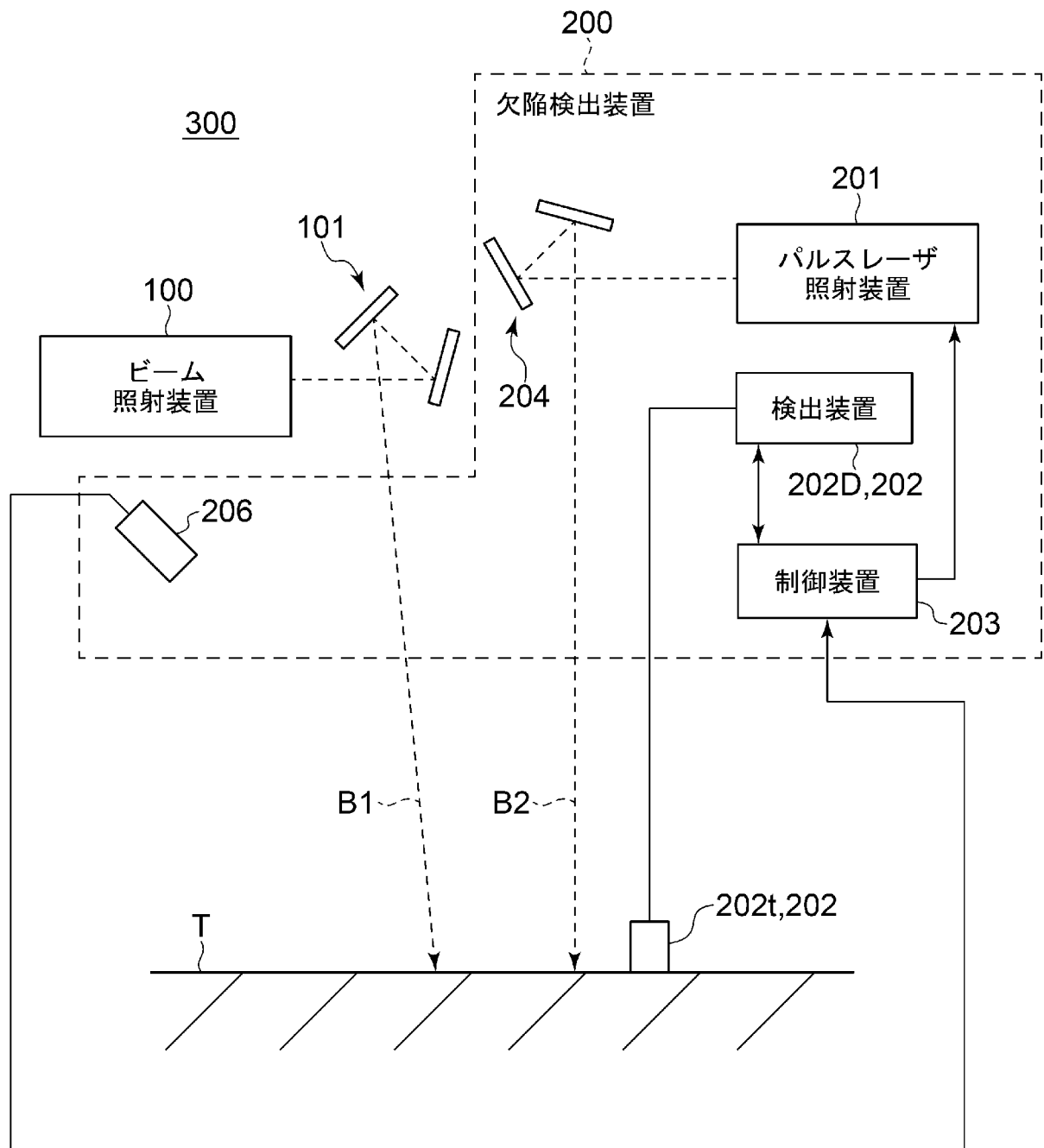
[図2]



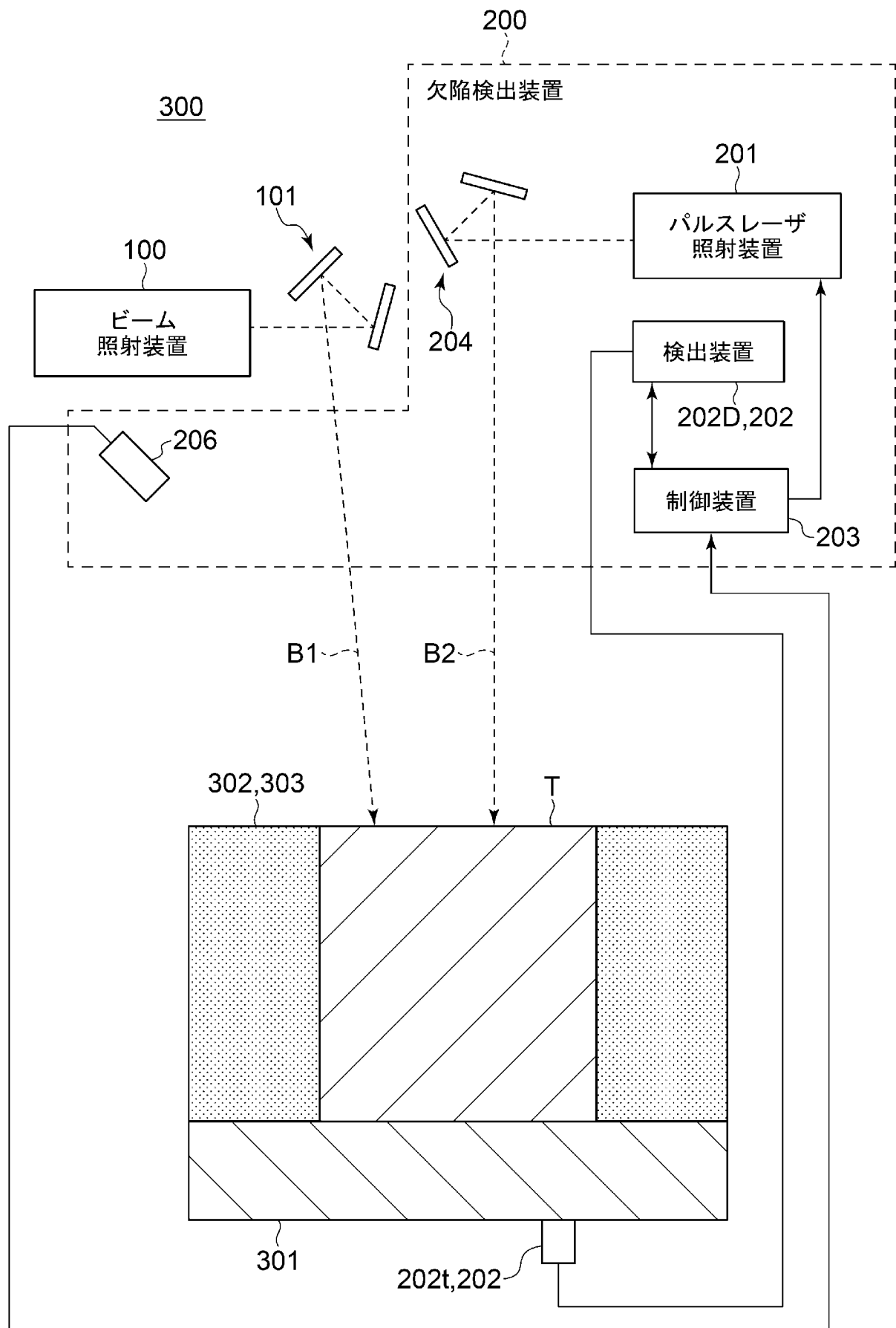
[図3]



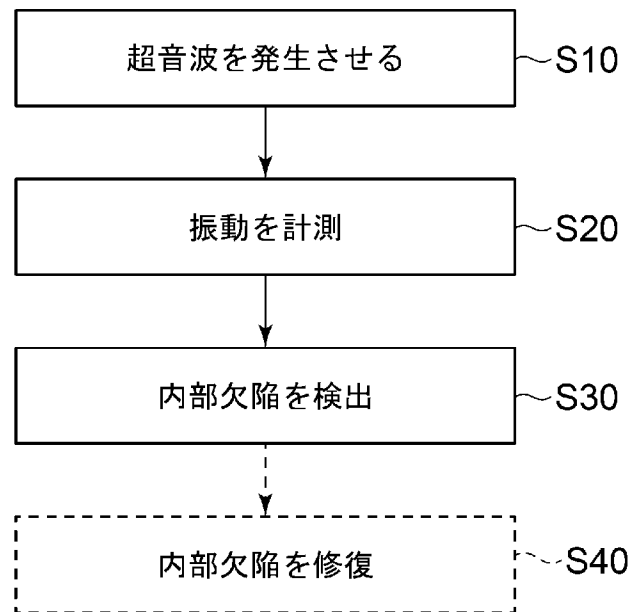
[図4]



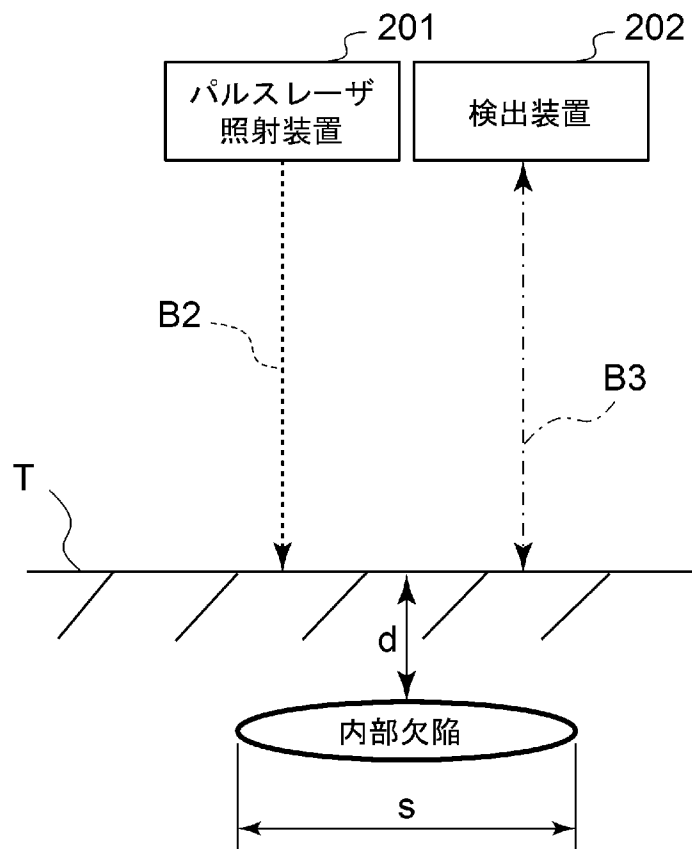
[図5]



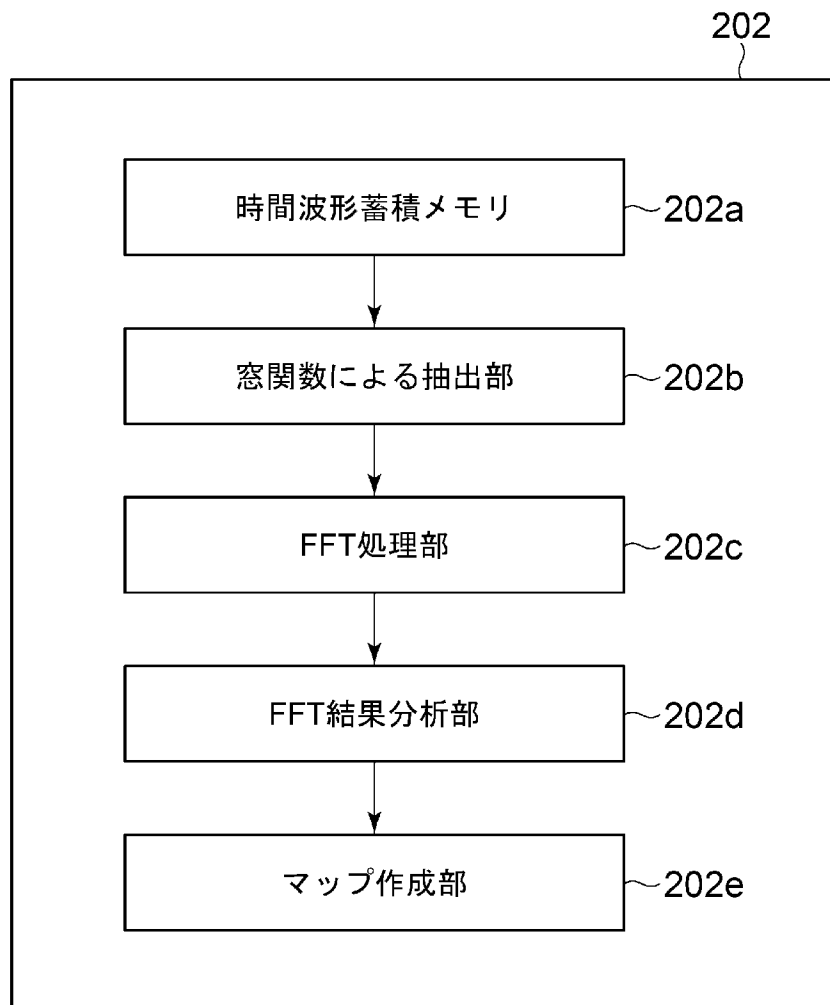
[図6]



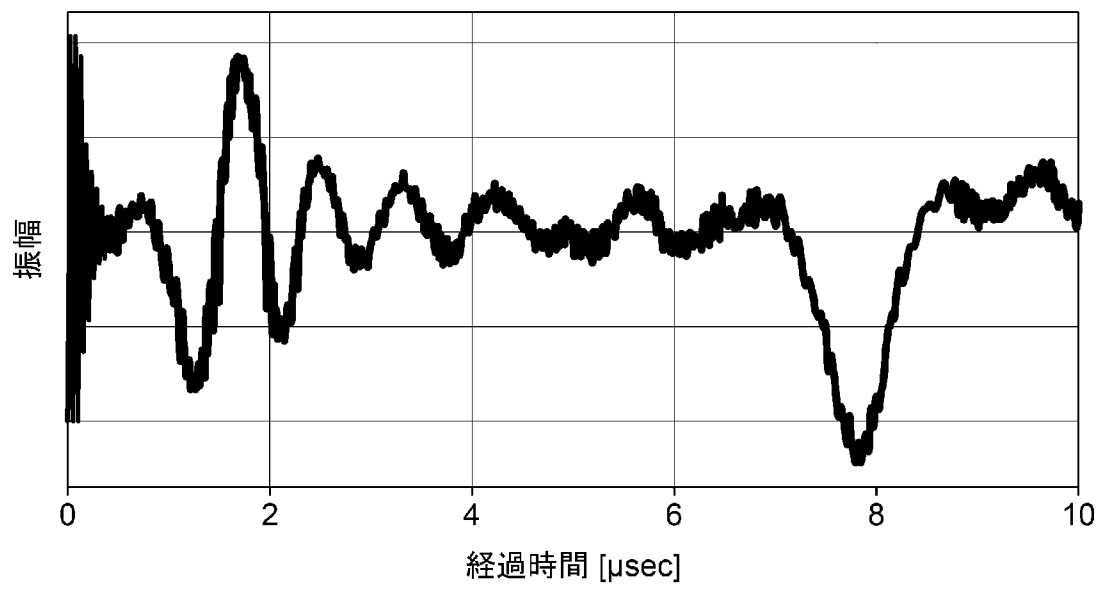
[図7]



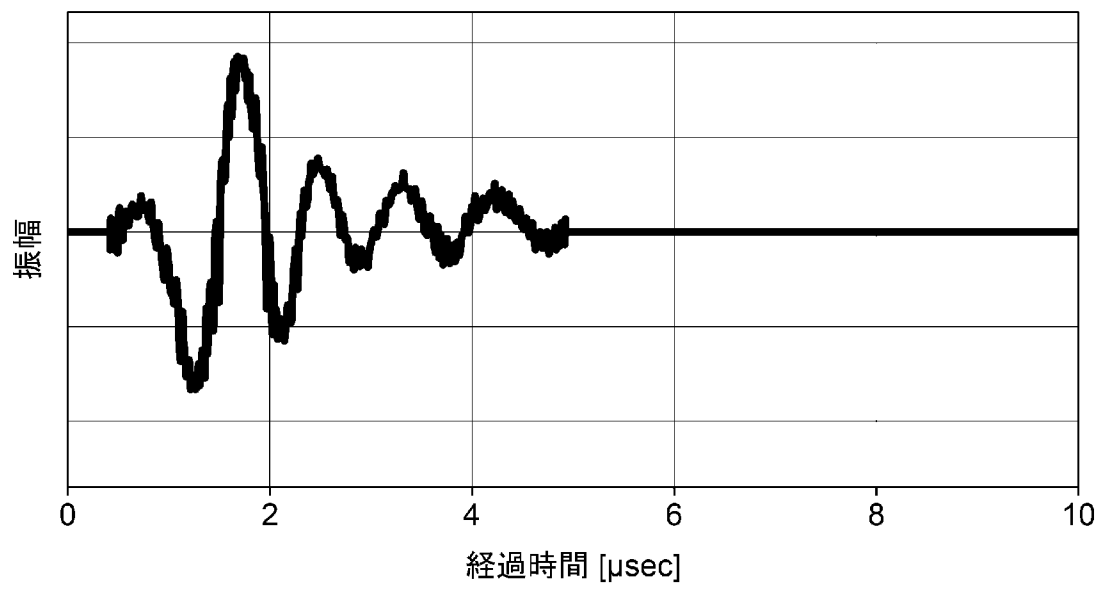
[図8]



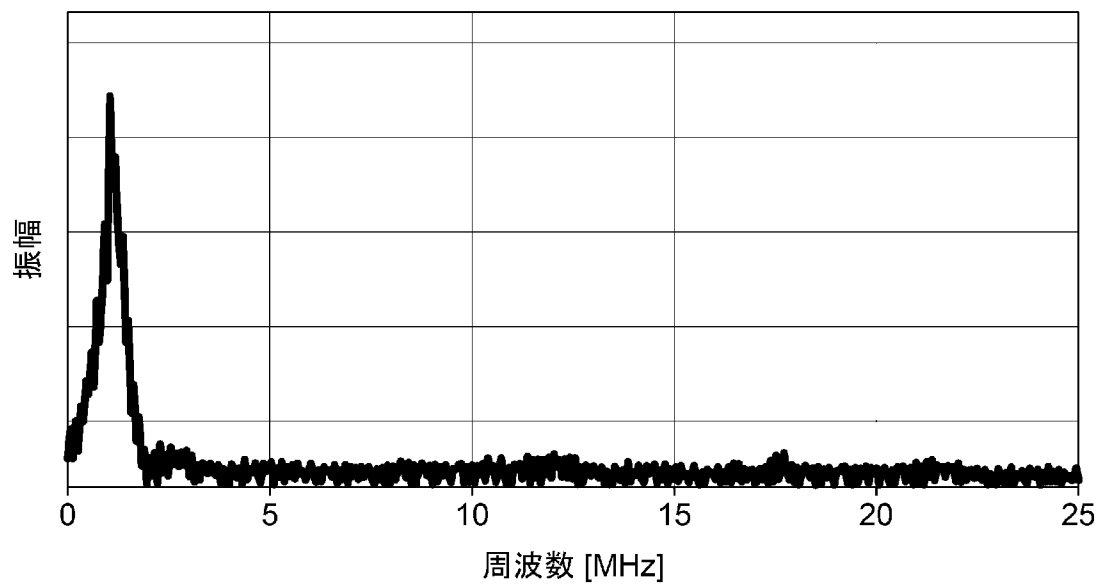
[図9A]



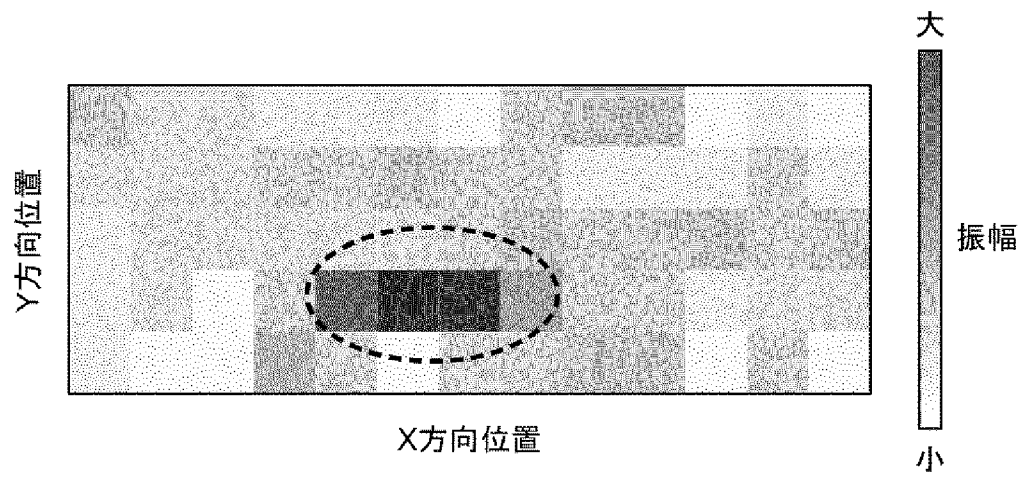
[図9B]



[図9C]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/005545

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01N 29/24**(2006.01)i; **G01N 29/46**(2006.01)i

FI: G01N29/24; G01N29/46

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)

B22F1/00-8/00,10/00-12/90,B29C64/00-64/40,67/00-67/08,67/24-69/02,73/00-73/34,B29D1/00-29/10,
33/00,99/00,B33Y10/00-99/00,C22C1/04-1/05,33/02,G01N29/00-29/52

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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.
X	JP 2011-257163 A (PANASONIC CORPORATION) 22 December 2011 (2011-12-22) paragraphs [0015]-[0040], fig. 1-8	1-4, 6
Y		5-9
Y	JP 2010-223635 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 07 October 2010 (2010-10-07) paragraphs [0017]-[0053], fig. 1-14	5-9
Y	WO 2016/042794 A1 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 24 March 2016 (2016-03-24) paragraphs [0008]-[0076], fig. 1-8	8-9
Y	WO 2019/070034 A1 (IHI CORPORATION) 11 April 2019 (2019-04-11) paragraphs [0001], [0037]-[0038], fig. 5	9
A	JP 2004-69301 A (MORI, Kazuya) 04 March 2004 (2004-03-04) entire text, all drawings	1-9
A	CN 110421169 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 08 November 2019 (2019-11-08) entire text, all drawings	1-9

☐ 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

10 March 2022

Date of mailing of the international search report

22 March 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/005545

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2011-257163	A	22 December 2011	(Family: none)	
JP	2010-223635	A	07 October 2010	(Family: none)	
WO	2016/042794	A1	24 March 2016	JP	2016-60063 A
				US	2017/0266727 A1
				paragraphs [0016]-[0084], fig. 1-8	
				US	2020/0198012 A1
				CN	106604810 A
WO	2019/070034	A1	11 April 2019	US	2020/0247109 A1
				paragraphs [0001], [0041]-[0042], fig. 5	
				EP	3693166 A1
				CN	111148588 A
JP	2004-69301	A	04 March 2004	(Family: none)	
CN	110421169	A	08 November 2019	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01N 29/24(2006.01)i; G01N 29/46(2006.01)i FI: G01N29/24; G01N29/46		
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）） B22F1/00-8/00, 10/00-12/90, B29C64/00-64/40, 67/00-67/08, 67/24-69/02, 73/00-73/34, B29D1/00-29/10, 33/00, 99/00, B33Y10/00-99/00, C22C1/04-1/05, 33/02, G01N29/00-29/52		
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 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022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*	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
X	JP 2011-257163 A（パナソニック株式会社）22.12.2011（2011-12-22） [0015]-[0040], 図1-8	1-4, 6
Y		5-9
Y	JP 2010-223635 A（新日本製鐵株式会社）07.10.2010（2010-10-07） [0017]-[0053], 図1-14	5-9
Y	WO 2016/042794 A1（株式会社東芝）24.03.2016（2016-03-24） [0008]-[0076], 図1-8	8-9
Y	WO 2019/070034 A1（株式会社IHI）11.04.2019（2019-04-11） [0001], [0037]-[0038], 図5	9
A	JP 2004-69301 A（森 和也）04.03.2004（2004-03-04） 全文、全図	1-9
A	CN 110421169 A（HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY）08.11.2019 （2019-11-08） 全文、全図	1-9
☐ 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 “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な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抵触するものではなく、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 10.03.2022		国際調査報告の発送日 22.03.2022
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 岩本 太一 2W 1564 電話番号 03-3581-1101 内線 3216

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/005545

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2011-257163	A	22.12.2011	(ファミリーなし)	
JP	2010-223635	A	07.10.2010	(ファミリーなし)	
WO	2016/042794	A1	24.03.2016	JP 2016-60063	A
				US 2017/0266727	A1
				[0016]-[0084], FIG. 1-8	
				US 2020/0198012	A1
				CN 106604810	A
WO	2019/070034	A1	11.04.2019	US 2020/0247109	A1
				[0001], [0041]-[0042], Fig. 5	
				EP 3693166	A1
				CN 111148588	A
JP	2004-69301	A	04.03.2004	(ファミリーなし)	
CN	110421169	A	08.11.2019	(ファミリーなし)	