(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
2024年10月3日(03.10.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/202744 A1

(51) 国際特許分類:
B23K 26/03 (2006.01) *B23K 26/00* (2014.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2024/006388

(22) 国際出願日： 2024年2月21日(21.02.2024)

(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 2023-049726 2023年3月27日(27.03.2023) 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]; 〒5710057 大阪府門真市元町２２番６号 Osaka (JP).

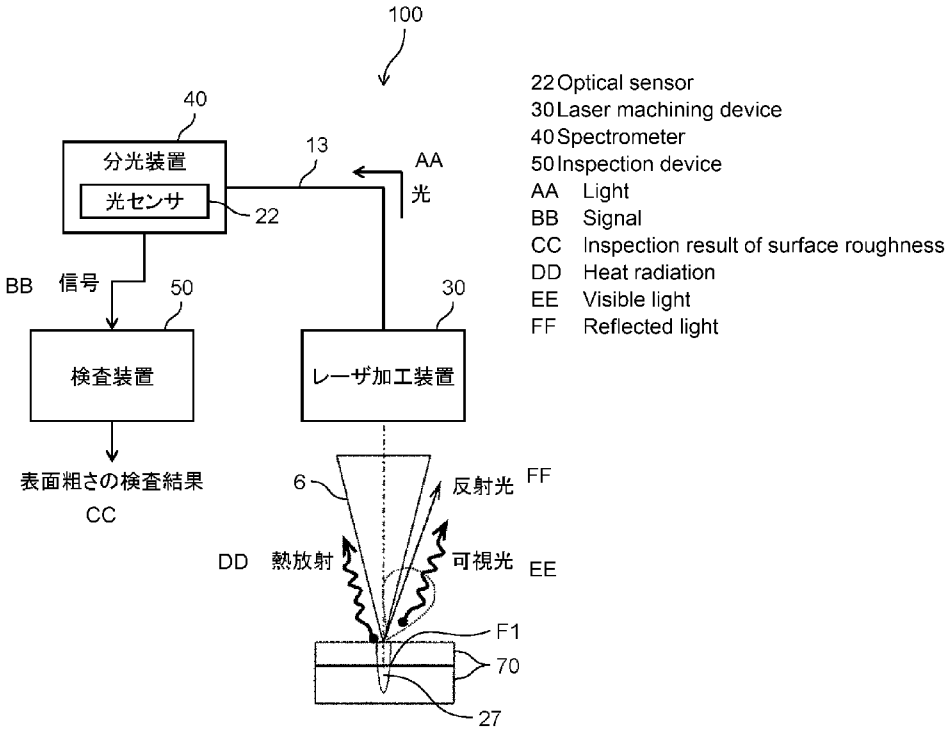
(72) 発明者:藤原 和樹(**FUJIWARA Kazuki**). 船見 浩司(**FUNAMI Koji**). 中井 出(**NAKAI Izuru**). 白石 竜朗(**SHIRAISHI Tatsuro**).

(74) 代理人:鎌田 健司, 外(**KAMATA Kenji** et al.); 〒5710057 大阪府門真市元町２２番６号 パナソニックＩＰマネジメント株式会社内 Osaka (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,

(54) **Title:** INSPECTION METHOD AND INSPECTION DEVICE FOR WORKPIECE IN LASER MACHINING

(54) 発明の名称： レーザ加工における被加工物の検査方法及び検査装置



(57) **Abstract:** This inspection method includes: a step for acquiring a signal that is generated by detecting, with an optical sensor, at least one component of components of heat radiation, visible light, and reflected light generated by irradiating a workpiece with laser light, and that indicates a change in the component during a period corresponding to the machining time of each workpiece; a step for calculating a feature amount indicating a feature of the signal in a predetermined period within the period; a step for inputting the calculated feature amount into a determination model, which determines

WO 2024/202744 A1

[続葉有]

LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

surface roughness representing surface texture of a surface of the workpiece irradiated with the laser light, and determining the surface roughness of the workpiece; and a step for outputting a calculated surface roughness predicted value as an inspection result.

(57) 要約:検査方法は、被加工物へのレーザ光の照射で発生する熱放射、可視光、及び反射光の各成分のうち少なくとも1つの成分を光センサで検出して生成され、被加工物毎の加工時間に応じた期間における成分の変化を示す信号を取得する工程と、当該期間内の所定の期間において信号の特徴を示す特徴量を算出する工程と、レーザ光が照射される被加工物の表面の表面性状を示す表面粗さ判定する判定モデルに、算出した特徴量を入力して、被加工物の表面粗さを判定する工程と、算出した表面粗さの予測値を検査結果として出力する工程とを含む。

明　細　書

発明の名称 ：

レーザ加工における被加工物の検査方法及び検査装置

技術分野

[0001]　本開示は、レーザ加工における被加工物の検査方法及び検査装置に関する。

背景技術

[0002]　特許文献１は、パルス状に発生するレーザ光をワークに照射して溶接を行うレーザ溶接に適用されてワークにおける溶接の良／不良等の溶接状態を判定する方法を開示している。特許文献１の方法は、レーザ溶接時にワークから放出されるプラズマ光および反射光の強度を検出し、レーザ光の１パルスに対応する１周期のうち予め設定した抽出区間の検出光強度に基づいて、パルス毎特徴値をレーザ光のパルス毎に抽出する。パルス毎特徴値としては、検出光強度の平均値、差分処理による変化量、および差分処理による振幅などが算出される。特許文献１の方法は、パルス毎特徴値の下限値または上限値と所定のしきい値とを比較し、ワーク毎の溶接状態として溶接欠陥の発生を判定する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０００－１５３３７９号公報

発明の概要

[0004]　溶接などのレーザ加工において、被加工物（ワーク）の状態は、加工精度及び加工後の品質等に影響し得る。例えばレーザ溶接では、被加工物の状態として表面粗さが異なると溶接品質に影響する場合があり、こうした影響の原因究明には、加工部分の断面観察など表面粗さ以外の原因も含めた詳細の把握に時間がかかる。また、生産数の多い設備などで加工を繰り返す状況では、加工毎に表面粗さを測定すると生産時間のロスが増加し、更に表面粗さ

の測定には高精度の測定器が必要なため、生産設備等で毎回の加工前に表面粗さの測定により被加工物を検査することは現実的ではない。

[0005] 本開示は、レーザ加工における被加工物の表面粗さを検査し易くすることができる検査装置及び検査方法を提供する。

[0006] 本開示の一態様によると、レーザ加工における被加工物の検査方法が提供される。

[0007] 検査方法は、

被加工物へのレーザ光の照射により発生する熱放射、可視光及び反射光の各成分のうちの、少なくとも１つの成分を光センサで検出して生成され、被加工物ごとの加工時間に対応した時間区間における成分の変化を示す信号を取得する工程と、

時間区間のうち所定の区間において、信号の特徴を示す特徴量を算出する工程と、

レーザ光が照射される被加工物の表面の表面性状を示す表面粗さ判定する判定モデルに、算出した特徴量を入力して、被加工物の表面粗さを判定する工程と、

算出した表面粗さの予測値を検査結果として出力する工程と、を含む。

[0008] 判定モデルは、表面粗さを変動させた複数の条件における各条件のもとで、レーザ加工を行って検出された成分の信号から算出される特徴量と、各条件の表面粗さと、を関連付けて含む訓練データに基づいて構築される。

[0009] 本開示の一態様によると、レーザ加工における被加工物の検査装置が提供される。検査装置は、演算回路と、被加工物へのレーザ光の照射により発生する熱放射、可視光及び反射光の各成分のうち、少なくとも１つの成分を光センサにより検出して生成された信号を受け付ける通信回路と、を備える。当該信号は、被加工物ごとの加工時間に対応した時間区間における成分の変化を示す信号である。演算回路は、通信回路により、信号を取得し、時間区間のうち所定の区間において、信号の特徴を示す特徴量を算出し、レーザ光が照射される被加工物の表面の表面性状を示す表面粗さ判定する判定モデル

に、算出した特徴量を入力して、被加工物の表面粗さを判定し、算出した表面粗さの予測値を検査結果として出力する。判定モデルは、表面粗さを変動させた複数の条件における各条件のもとで、レーザ加工を行って検出された成分の信号から算出される特徴量と、各条件の表面粗さと、を関連付けて含む訓練データに基づいて構築される。

[0010] 本開示における検査方法及び検査装置によると、レーザ加工における被加工物の表面粗さを検査し易くすることができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本開示の実施形態１に係る検査システムの概要を示す図

[図2]検査システムにおけるレーザ加工装置の構成を例示する図

[図3]検査システムにおける分光装置の構成を例示する図

[図4]検査システムにおける検査装置の構成を例示するブロック図

[図5]検査装置における検査処理を例示するフローチャート

[図6]検査装置において取得される信号を説明するための図

[図7]検査装置において算出される特徴量と表面粗さとの関係を説明するための図

[図8]検査処理で用いられる判定モデルの訓練処理を例示するフローチャート

[図9]判定モデルの訓練データを説明するための図

[図10]訓練データの生成処理を例示するフローチャート

発明を実施するための形態

[0012] 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。なお、発明者は、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、これらによって特許請求の範囲に記載の主題は限定されることはない。

[0013] （実施形態１）

実施形態１では、本開示に係る検査方法及び検査装置を用いる一例として、重ね合わせ溶接のためのレーザ加工において発生する光の成分を検出し、検出した成分に基づく信号を取得して、被加工物の表面粗さを検査する検査システムについて説明する。

[0014] １．構成

実施形態１に係る検査システムについて、図１を用いて説明する。図１は、本実施形態に係る検査システム１００の概要を示す図である。

[0015] １－１．システムの概要

検査システム１００は、重ね合わせ溶接のためのレーザ加工を行うレーザ加工装置３０と、光の成分を検出するための分光装置４０と、検査装置５０とを備える。レーザ加工の被加工物７０は例えば金属からなり、レーザ光６が照射されると温度上昇による近赤外線領域の熱放射、及び主に可視光成分である金属固有の発光またはプラズマ発光（以下では「可視光」という）が発生する。また、レーザ光６は、加工に寄与しない一部が戻り光として反射する。このように、レーザ加工装置３０から、レーザ光６が被加工物７０に照射されると、例えば被加工物７０に金属の溶融で形成される溶融部２７において、熱放射、可視光及び反射光が発生する。

[0016] これらの発生した光は、レーザ加工装置３０において集光され、レーザ加工装置３０と分光装置４０を接続する光ファイバ１３を通して、分光装置４０に伝送される。分光装置４０に伝送された光は、熱放射、可視光及び反射光の各成分に分光され、分光装置４０の光センサ２２により検知されて、信号に変換される。検査装置５０は、分光装置４０から信号を受信すると、受信した信号に基づいて被加工物７０の表面粗さを判定し、判定した表面粗さを被加工物７０の検査結果として出力する。

[0017] １－２．レーザ加工装置の構成

図２は、本実施形態のレーザ加工装置３０の構成を例示する図である。レーザ加工装置３０は、レーザ発振器１と、レーザ伝送用ファイバ２と、鏡筒３と、コリメートレンズ４と、集光レンズ５、１１と、第１ミラー７と、第

２ミラー８とを備える。

[0018] レーザ発振器１は、例えば波長が約１０７０ナノメートル（ｎｍ）のパルス状のレーザ光６を発生するための光を供給する。レーザ発振器１から供給された光は、レーザ伝送用ファイバ２により伝送される間に増幅され、平行なビームを得るためのコリメートレンズ４を通り、レーザ光６を形成して、鏡筒３内を直進する。鏡筒３は、レーザ加工装置３０における加工ヘッドを構成する。

[0019] レーザ光６は、第１ミラー７において透過する一部を除いて反射し、集光レンズ５により集光されて、例えば走査テーブル上に押さえ治具２６で固定された被加工物７０に照射される。これにより、被加工物７０の重ね合わせ溶接のためのレーザ加工が行われる。なお、レーザ光６の波長は特に１０７０ｎｍに限らず、材料の吸収率が高い波長を用いることが好ましい。

[0020] レーザ光６が照射されると、溶融部２７において被加工物７０からの熱放射、プラズマ発光による可視光、及びレーザ光６の反射光が発生する。これらの光の成分は、第１ミラー７を透過し、第２ミラー８で反射して、集光レンズ１１により集光された後、光ファイバ１３を通って分光装置４０に伝送される。本実施形態のレーザ加工装置３０は、さらに光センサ２５を備え、第２ミラー８において一部透過する光を光センサ２５で検出する。光センサ２５は、検出した光の強度に応じた電気信号を生成する。生成された電気信号は、例えばレーザ加工装置３０と分光装置４０と接続する伝送ケーブル等を介して、後述する分光装置４０のコントローラ２４に送信されてもよい。

[0021] 光センサ２５による透過光の検出位置として、例えばレーザ光６が被加工物７０に到達する前の位置で検出することで、検出結果の信号強度とレーザ発振器１の出力との相関を精度良く取ることが出来るが、検出位置は特にこれに制限されない。

[0022] １－３．分光装置の構成

図３は、本実施形態の分光装置４０の構成を例示する図である。分光装置４０は、筐体２８の内部に、コリメートレンズ１５と、第３ミラー１６と、

第４ミラー１７と、第５ミラー１８と、集光レンズ１９、２０、２１と、光センサ２２と、伝送ケーブル２３と、コントローラ２４とを備える。筐体２８は、分光装置４０の外部から雑光が内部に入ることを防ぎ、内部からの光漏れを防止する。

[0023] コリメートレンズ１５は、レーザ加工装置３０から光ファイバ１３を通して伝送された光を平行光に戻す。第３ミラー１６は、例えば波長が４００ｎｍ～７００ｎｍの可視光を透過し、それ以外の成分を反射する。第４ミラー１７は、例えば波長が約１０７０ｎｍのレーザ光６の反射光を反射し、それ以外の成分を透過する。第５ミラー１８は、例えば波長が１３００ｎｍ～１５５０ｎｍの熱放射を反射する。

[0024] コリメートレンズ１５を通った光は、第３ミラー１６、第４ミラー１７、及び第５ミラー１８により、可視光、反射光、及び熱放射の各成分に分光され、それぞれ集光レンズ１９～２１により集光される。なお、第３ミラー１６、第４ミラー１７、及び第５ミラー１８の後の光路に、それぞれ任意の帯域通過フィルタを配置することで、通過させる波長を選択可能としてもよい。

[0025] 光センサ２２は、例えば各々が異なる波長に高い感度を有する光センサ２２ａ、２２ｂ、２２ｃを備える。光センサ２２ａ、２２ｂ、２２ｃは、それぞれ各集光レンズ１９～２１により集光された可視光、反射光、及び熱放射の成分を検出して、検出した光の強度に応じた電気信号を生成する。なお、光センサ２２は、波長ごとの強度を検出可能な１つの光センサにより構成されてもよい。

[0026] 光センサ２２により生成された電気信号は、伝送ケーブル２３を介してコントローラ２４に伝送される。コントローラ２４は、ハードウェアコントローラであり、分光装置４０全体の動作を統括制御する。コントローラ２４は、ＣＰＵ及び通信回路等を含み、光センサ２２から受けとった電気信号を、検査装置５０に送信する。コントローラ２４は、例えばＡ／Ｄ変換器を備えて、アナログの電気信号をデジタル信号（単に「信号」ともいう）に変換す

る。デジタル信号に変換する際のサンプリング周期は、加工プロセスの特徴及び物理量の局所的な値の傾向を捉えるために十分なサンプル数を確保する観点から、例えばレーザ光６の出力制御を行う時間の１００分の１以下が好ましい。

[0027] １－４．検査装置の構成

図４は、本実施形態の検査装置５０の構成を例示するブロック図である。検査装置５０は、例えばコンピュータのような情報処理装置で構成される。検査装置５０は、演算の処理を行うＣＰＵ５１と、他の機器と通信を行うための通信回路５２と、データ及びコンピュータプログラムを記憶する記憶装置５３とを備える。

[0028] ＣＰＵ５１は、本実施形態における検査装置５０の演算回路の一例である。ＣＰＵ５１は、記憶装置５３に格納された制御プログラム５６の実行により、判定モデル５７の構築及び構築された判定モデル５７による被加工物７０の検査を含む所定の機能を実現する。例えば、ＣＰＵ５１が制御プログラム５６を実行することで、本実施形態の検査装置５０としての機能が実現される。本実施形態ではＣＰＵ５１として構成される検査装置５０の演算回路は、ＭＰＵまたはＧＰＵ等の種々のプロセッサで実現されてもよく、１つまたは複数のプロセッサで構成されてもよい。

[0029] 通信回路５２は、例えばＩＥＥＥ８０２．１１、４Ｇ、または５Ｇ等の規格に準拠して通信を行う通信回路である。通信回路５２は、例えばイーサネット（登録商標）等の規格に従って有線通信を行ってもよい。通信回路５２は、インターネット等の通信ネットワークに接続可能である。また、検査装置５０は、通信回路５２を介して他の機器と直接通信を行ってもよく、アクセスポイント経由で通信を行ってもよい。なお、通信回路５２は、通信ネットワークを介さずに他の機器と通信可能に構成されてもよい。例えば、通信回路５２は、ＵＳＢ（登録商標）端子及びＨＤＭＩ（登録商標）端子等の接続端子を含んでもよい。

[0030] 記憶装置５３は、検査システム１００の機能を実現するために必要なコン

ピュータプログラム及びデータを記憶する記憶媒体である。記憶装置５３は、ＣＰＵ５１で実行される制御プログラム５６、及び各種のデータを格納しており、判定モデル５７の構築後は判定モデル５７を格納する。判定モデル５７は、被加工物７０の表面粗さが異なる複数の加工条件について、各条件でのレーザ加工時に検出される信号の特徴を示す特徴量と、各条件において測定で得られる表面粗さとを関連付けて含む訓練データに基づいて、機械学習により構築される。

[0031] 本実施形態において、判定モデル５７は、例えば線形回帰、ラッソ回帰、リッジ回帰、決定木、ランダムフォレスト、勾配ブースティング、サポートベクトル回帰、ガウス過程回帰、ｋ近傍法、またはニューラルネットワーク等により実現される回帰モデルである。本実施形態の判定モデル５７は、表面粗さの判定結果として、被加工物７０における基準表面からの垂直方向の変位を示す数値を出力する。判定モデル５７の構築について詳細は後述する。

[0032] 記憶装置５３は、例えば、ハードディスクドライブ（ＨＤＤ）のような磁気記憶装置、光ディスクドライブのような光学的記憶装置またはソリッドステートドライブ（ＳＳＤ）のような半導体記憶装置で構成される。記憶装置５３は、例えばＤＲＡＭまたはＳＲＡＭ等のＲＡＭにより構成される一時的な記憶素子を備えてもよく、ＣＰＵ５１の内部メモリとして機能してもよい。

[0033] ２．動作

以上のように構成される検査システム１００において、例えば図１に示すように、分光装置４０は、光センサ２２により、レーザ光６の照射により溶融部２７において発生する熱放射、可視光及び反射光の成分を検出する。分光装置４０は、検出した各成分の強度に応じた信号を検査装置５０に送信する。本システム１００における検査装置５０の動作を、以下に説明する。

[0034] ２－１．検査処理

以下では、検査装置５０において、レーザ加工装置３０による被加工物７

０の加工時に表面粗さを検査する検査処理について、図５及び図６を用いて説明する。

[0035] 図５は、本実施形態の検査装置５０における判定処理を例示するフローチャートである。本フローチャートに示す各処理は、例えば検査装置５０のＣＰＵ５１により実行される。本フローチャートは、例えば、通信回路５２を介して接続された入力装置から、検査システム１００のユーザ等により検査処理を開始するための所定の操作が入力されることで開始される。

[0036] まず、ＣＰＵ５１は、通信回路５２により、分光装置４０の光センサ２２で検知された熱放射、可視光及び反射光の各成分に対応する信号を取得する（Ｓ１）。

[0037] 図６は、検査装置５０において取得される信号を説明するための図である。図６（Ａ）、（Ｂ）、（Ｃ）は、それぞれ熱放射、可視光及び反射光の強度に応じた信号波形を示す。図６（Ｄ）は、被加工物７０に照射されたレーザ光６の出力を示す。図６（Ａ）～（Ｃ）の各信号は、当該レーザ出力により発生した熱放射、可視光及び反射光に対応する。図６（Ａ）～（Ｄ）において、横軸は時間を示し、縦軸は信号強度（図６（Ａ）～（Ｃ））またはレーザ出力（図６（Ｄ））を示す。また、図６（Ａ）～（Ｄ）において、時間区間Ｔ１は、レーザ光６の１パルスに相当する時間区間を示し、時間区間Ｔ２は、レーザ出力の立ち上がりと立下りを除くピーク出力の時間区間を示す。

[0038] ここで、本実施形態のレーザ加工装置３０では、レーザ光６の１パルスに相当する時間区間Ｔ１において、被加工物７０ごとの溶接が行われる。図５のステップＳ１においてＣＰＵ５１は、図６（Ａ）～（Ｃ）に示すように、被加工物７０ごとの溶接時間に対応した時間区間Ｔ１における熱放射、可視光及び反射光の各成分の変化を示す信号を取得する。

[0039] 次に、ＣＰＵ５１は、取得した信号から、判定モデル５７に入力する特徴量を算出する（Ｓ２）。特徴量は、例えば各成分の信号強度の時間変化を示す信号波形から算出され、時間区間Ｔ２における信号強度の平均値を示す平

均強度、及び時間区間Ｔ２における信号強度の積分値を含む。

[0040] ＣＰＵ５１は、被加工物７０の加工時に検出された各成分の信号から算出した特徴量を判定モデル５７に入力して、被加工物７０の表面粗さを判定する判定モデルの処理（Ｓ３）を行う。本実施形態の判定モデルの処理（Ｓ３）において、ＣＰＵ５１は、レーザ光６が照射される被加工物７０上面の表面粗さを示す数値の予測値を算出する。こうした特徴量と表面粗さとの関係について、詳細は後述する。

[0041] ＣＰＵ５１は、判定モデルの処理（Ｓ３）により算出された、被加工物７０上面の表面粗さの数値を、被加工物７０の検査結果として出力する（Ｓ４）。ＣＰＵ５１は、例えば記憶装置５３に検査結果を書き出してもよく、通信回路５２により検査装置５０の外部に検査結果を送信してもよい。検査結果は、例えば検査装置５０の外部の情報処理装置または表示機器等により受信されて、表示され得る。また、検査装置５０がＣＰＵ５１と通信可能な表示装置（例えばディスプレイ）を備え、当該表示装置に検査結果を表示させてもよい。

[0042] その後、ＣＰＵ５１は、図５のフローチャートを終了する。図５のフローチャートは、例えば、被加工物７０ごとの溶接加工を行う度に繰り返し実行される。

[0043] 以上の検査処理によると、本実施形態の検査装置５０は、分光装置４０の光センサ２２により生成された信号を取得して（Ｓ１）、信号から特徴量を算出し（Ｓ２）、特徴量に基づいて被加工物７０の表面粗さを検査する判定モデル５７の処理を行う（Ｓ３）。このように、レーザ加工において加工時に発生する光の信号から、レーザ光６の照射面である被加工物７０上面の表面粗さを、直接測定しなくても検査することができる。これにより、表面粗さが検査し易くなり、例えば加工毎に表面粗さの変動による加工状態への影響を把握することが可能となる。

[0044] また、以上のような検査装置５０をレーザ加工による製品の製造現場で使用する際に、例えば溶接不良品が後工程に流出しないよう、表面粗さに関し

て溶接不良を生じるか否かの判定基準を設けることで、検査結果に応じて溶接不良品を排出することが出来る。

[0045] ２－２．特徴量と表面粗さについて

以上のような検査処理でレーザ加工時に検出された光の信号強度に基づいて算出される特徴量と、表面粗さとの関係について、図７を用いて、本開示における技術の発明者らによって得られた知見を説明する。

[0046] 図７は、検査装置５０において算出される特徴量と表面粗さとの関係を説明するための図である。図７（Ａ）は、被加工物７０の表面粗さが異なる各場合の加工毎に検出される反射光について、それぞれ信号強度の時間変化を示す。図７（Ｂ）は、図７（Ａ）と同様の各場合に検出される熱放射または可視光について、信号強度の時間変化を示す。図７（Ｃ）は、被加工物７０の表面粗さと、加工時に形成される溶融部２７との関係を概略的に示す。

[0047] 被加工物７０において、表面粗さが異なると、被加工物７０でのレーザ光６の表面反射、及び／又は溶融部２７の湯流れが変化して、溶融部２７の形状に影響を及ぼす。例えば、図７（Ｃ）に示すように、表面粗さが変化すると溶融部２７の形状が変化して、溶融部２７での発光及び散乱光による光量が変化することに応じて、図７（Ａ），（Ｂ）に示すように、検出される信号強度が変化する。

[0048] 表面粗さが小さいと、溶融部２７では、例えばレーザ光６による溶融金属が溶融幅方向、すなわち走査方向と直交する方向に広がりにくく、形状を保持しながら投入熱量が集中し得る。このため、溶融温度が上昇し、溶融部２７の表面温度が高くなって、発光量及び対応する信号強度が比較的大きいと想定される。一方、表面粗さが大きいと、溶融部２７での溶融金属は溶融幅方向に広がりやすく、熱量が分散し得る。このため、溶融部２７の表面温度が低くなり、発光量及び対応する信号強度が比較的小さいと想定される。

[0049] 本実施形態の検査装置５０では、上記の知見に基づき、後述する訓練処理により、加工時の熱放射、可視光及び反射光の少なくとも１つの成分に対応する信号から、信号強度に応じた特徴量を用いて被加工物７０の表面粗さを

判定する判定モデル５７が構築される。こうした判定モデル５７に入力される特徴量について以下説明する。

[0050] 例えば検査装置５０のＣＰＵ５１は、レーザ加工装置３０のレーザ発振器１による加工毎のピーク出力の期間に対応する時間区間Ｔ２において、特徴量として各信号の平均強度を算出する。時間区間Ｔ２は、例えばレーザ発振器１の出力波形から決定できる。

[0051] また、上述のように、被加工物７０の表面粗さが増減すると、溶融部２７の形状に影響を及ぼす他、被加工物７０においてレーザ光６が照射される部分の温度も変化して、溶融部２７からの反射光、熱放射、及び可視光の光量に変化が生じる。本実施形態の検査装置５０では、こうした光量の変化に応じた特徴量として、例えばＣＰＵ５１は、平均強度の他に、レーザ光６がピーク出力の時間区間Ｔ２において信号強度の積分値を算出する。

[0052] ２－３．判定モデルの訓練処理

以下、判定モデル５７を構築するための訓練処理について、図８及び図９を用いて説明する。

[0053] 図８は、検査処理で用いられる判定モデル５７の訓練処理を例示するフローチャートである。本フローチャートの各処理は、例えば検査装置５０のＣＰＵ５１により実行される。

[0054] まず、ＣＰＵ５１は、例えば記憶装置５３に予め格納された訓練データを取得する（Ｓ１１）。

[0055] 図９は、判定モデル５７の訓練データＤ１を説明するための図である。訓練データＤ１は、被加工物７０の加工毎の特徴量と、例えば当該加工前に測定された、被加工物７０の表面粗さの実測値とを対応付けたデータである。訓練データＤ１は、例えば溶接時の加工条件を変化させた複数の条件における各条件下で、レーザ加工装置３０によりレーザ加工を行い、分光装置４０を介してそれぞれ検出された信号等のデータ、及び表面粗さの実測値を取得することで構築される。

[0056] 図９の訓練データＤ１は、熱放射、可視光、及び反射光の各成分の信号に

基づいて算出された平均強度及び積分値の特徴量に加え、レーザ発振器１の出力も各条件に関連付けて記録している。表面粗さの実測値として、例えば、形状測定器等による被加工物７０上面の測定結果から、二次元的な表面性状を示す線粗さの算術平均高さＲａ又は最大高さＲｚ、あるいは三次元的な表面性状を示す面粗さの算術平均高さＳａ又は最大高さＳｚが算出される。表面粗さは、こうした指標のうちの複数を含んでもよい。また、各条件で複数回、測定及びレーザ加工を行い、取得された複数回のデータの平均値等を当該条件の実測値及び特徴量としてもよい。

[0057] 表面粗さとして、例えば、被加工物７０の表面を異なる番手のサンドペーパー等により研磨することで、所定の基準表面からの高さ方向の変位が変更される。また、表面粗さの条件は、こうしたサンドペーパーの番手ごとに複数設けられてもよいが、これに制限されない。さらに重ね合わせ溶接のレーザ加工では、加工後の被加工物７０が所望の接合強度を有するか否かと、被加工物７０の表面粗さとを対応付けて管理する観点から、各条件での加工後に接合強度の測定結果が取得されてもよい。訓練データＤ１の生成について詳細は後述する。

[0058] 図８に戻り、ＣＰＵ５１は、取得した訓練データＤ１を用いて機械学習を行い、特徴量から対応する表面粗さを算出するように判定モデル５７を生成する（Ｓ１２）。ステップＳ１２において、ＣＰＵ５１は、訓練データＤ１における各条件の特徴量から判定モデル５７により判定した表面粗さと、当該各条件の訓練データＤ１における表面粗さとの誤差を最小化するように、判定モデル５７の機械学習を行う。

[0059] 以上の訓練処理によると、レーザ加工において検出された熱放射、可視光及び反射光の各成分の信号から算出された特徴量から、表面粗さの予測値を算出する学習済みモデルとして、判定モデル５７を生成することができる。

[0060] なお、判定モデル５７の訓練処理は、検査装置５０とは別の情報処理装置において実行されてもよい。検査装置５０は、例えば通信ネットワークを介して、通信回路５２により構築済みの判定モデルを取得してもよい。また、

訓練データＤ１は、図９の例に限らず、例えば熱放射、可視光及び反射光のうちの一部の成分について算出された特徴量を含んでもよいし、平均強度及び積分値の一方のみを含んでもよい。

[0061] ２－４．訓練データの生成処理

本実施形態の検査装置５０は、例えば上述した判定モデル５７の生成処理の前に、判定モデル５７の訓練データＤ１を生成する処理を行う。当該処理は、例えば当該処理で得られた訓練データＤ１に基づいて判定モデル５７を精度良く生成するための前処理を含む。こうした訓練データＤ１の生成処理を、図１０を用いて説明する。

[0062] 図１０は、訓練データＤ１の生成処理を例示するフローチャートである。例えば本フローチャートの処理は、検査対象と同様の被加工物７０の表面粗さを変化させた複数の条件において、加工前に測定された表面粗さの測定結果と、レーザ加工時に検出された反射光等の各成分の信号とが得られた状態で開始される。このような各加工条件での表面粗さの測定結果及び信号は、例えば検査装置５０の記憶装置５３に格納される。複数の加工条件は、例えば予め設定され、記憶装置５３に格納される。また、本フローチャートの各処理は、例えば検査装置５０のＣＰＵ５１により実行される。

[0063] さらに、本実施形態では、より高精度な判定モデル５７を構築可能な訓練データＤ１を生成する観点から、表面粗さの測定結果、及び検出された信号について、訓練データＤ１の生成前に、所定の前処理が実行される（Ｓ２３，Ｓ２５～Ｓ２７等）。例えば、加工時の信号は、被加工物７０における表面粗さの変化だけでなく、表面に付着した汚れなどの異物により変動する場合がある。このような表面粗さとは別の要因で変化する信号が訓練データＤ１に多数含まれると、当該訓練データＤ１により訓練される判定モデル５７では、信号の特徴量と表面粗さとの相関を学習し難いことが懸念される。本実施形態の前処理は、こうした信号が訓練データＤ１に含まれることを抑制するための処理を含む。

[0064] 図１０の処理では、まず、ＣＰＵ５１は、例えば記憶装置５３から、１つ

の加工条件で形状測定器等により測定された表面粗さの測定結果を取得する（Ｓ２１）。測定器の精度は、ナノメートル（ｎｍ）オーダーまで測定可能であると好ましいが、マイクロメートル（μｍ）オーダーの精度であれば特に制限はない。被加工物７０の表面で測定される領域は、溶接形状に応じて決定すればよく、例えばレーザ光６が照射される範囲に応じた領域に決定される。表面粗さが異なる被加工物７０は、例えば、加工前の被加工物７０表面を研磨するサンドペーパーの番手を１００番ごとに変化させて、作成されてもよい。

[0065] また、表面粗さの測定に加えて溶接された被加工物７０の接合強度が測定されてもよい。例えば、引張試験機による引張り強度の測定、またはトルク強度などが測定され得るが、測定方法は特に制限されない。この場合、接合強度の測定結果から、訓練データＤ１とともに、例えば各条件について所望の接合強度が確保されているか否かを関連付けて管理することができる。

[0066] 次に、ＣＰＵ５１は、表面粗さの測定結果から、算術平均高さ及び最大高さを算出する（Ｓ２２）。例えば、測定方法に応じて、線粗さの算術平均高さＲａ及び最大高さＲｚ、または面粗さの算術平均高さＳａ及び最大高さＳｚの各パラメータが算出される。面粗さのパラメータＳａ，Ｓｚは、測定結果による輪郭曲線から算出される線粗さのパラメータＲａ，Ｒｚを三次元的に拡張したパラメータである。例えば、算術平均高さＲａ，Ｓａは、それぞれ以下の計算により求められる。

[0067] [数1]

$$Ra = \frac{1}{b}\int_0^b |Z(x)|dx$$

[0068]

[数2]

$$Sa = \frac{1}{A}\iint_A |Z(x,y)|dxdy$$

[0069] ここで、ｂは線粗さの測定における輪郭曲線の基準長さ、Ａは面粗さの測定における基準領域、Ｚは測定結果による高さ方向の座標値を示す。

[0070] 以下では、ステップＳ２２において面粗さの算術平均高さＳａ及び最大高さＳｚが算出される例を用いて説明する。また、算術平均高さを単に「平均高さ」という場合がある。最大高さＳｚは、基準領域Ａにおける最大山高さと最大谷深さとの和により算出される。

[0071] ＣＰＵ５１は、算出した最大高さＳｚが、平均高さＳａに所定値を乗じた値以下であるか、すなわち最大高さＳｚと平均高さＳａとが、「Ｓｚ≦Ｓａ×所定値」の関係にあるか否かを判断する（Ｓ２３）。表面粗さを測定する際、被加工物７０の表面おける測定領域内に異物などが付着していると、実際の表面粗さに対して測定結果の数値に変動を生じる可能性がある。異物の種類は、例えば樹脂材または砥粒などであるが、特に制限されない。

[0072] 最大高さＳｚと平均高さＳａとが「Ｓｚ≦Ｓａ×所定値」の関係にある場合（Ｓ２３でＹＥＳ）、ＣＰＵ５１は、各パラメータＳｚ，Ｓａの算出に用いた測定結果が取得された加工条件について、加工時に光センサ２２により検出された信号を取得する（Ｓ２４）。

[0073] 一方、「Ｓｚ≦Ｓａ×所定値」の関係ではない、すなわち最大高さＳｚが平均高さＳａに所定値を乗じた値よりも大きい場合（Ｓ２３でＮＯ）、ＣＰＵ５１は、ステップＳ２４の処理を行わず、ステップＳ３０に進む。例えば、ＣＰＵ５１は、当該パラメータＳｚ，Ｓａが算出された加工条件を再測定の対象に設定するか、または処理対象の加工条件を、予め設定された複数の加工条件において当該加工条件の次に加工が実施される条件に遷移させる（Ｓ３０）。

[0074] ＣＰＵ５１は、例えば複数の加工条件において再測定または次の加工条件

があるか否かを判断し（Ｓ３１）、再測定または次の加工条件があれば（Ｓ３１でＹＥＳ）、ステップＳ２１に戻る。ＣＰＵ５１は、再測定された表面粗さの測定結果、または次の加工条件での測定結果を取得して（Ｓ２１）、ステップＳ２２以降の処理を繰り返す。

[0075] 上記の処理によれば、所定値を用いて、最大高さＳｚと平均高さＳａとの関係に応じて（Ｓ２３）、各パラメータＳｚ，Ｓａが算出される加工条件での信号が取得されるか（Ｓ２４）、または再測定等が行われる（Ｓ３０）。このように、例えば異物などの外乱要因による測定結果の外れ値等を除外でき、表面粗さが精度良く測定された得られた加工条件での測定結果と、当該加工条件での加工時に検出された信号とを対応付けて、訓練データＤ１を構築することができる。

[0076] ステップＳ２３の所定値は、上記のような外乱要因による各パラメータＳｚ及びＳａの変動を考慮して、実験的に設定されてもよい。また、各パラメータＳｚ，Ｓａ間の関係を判断するための演算は、ステップＳ２３の例に限らない。例えば、表面粗さの測定に加えて、被加工物７０の表面をカメラで撮影した画像において画像処理により表面の異物または汚れなどを検出すると、当該測定結果を訓練データＤ１から除外するようにステップＳ３０が実行されてもよい。また、ステップＳ３０の後、表面粗さを再測定する場合、溶接後の溶融部２７の近傍における表面粗さを測定してもよいが、再測定前と同様の被加工物７０及び加工条件において溶接される領域で表面粗さを測定後、再度溶接を行って以降の処理が実行してもよい。溶融部２７とその近傍では表面粗さは概ね同様と考えられ、表面粗さの測定位置は、被加工物７０においてレーザ光６が照射される表面であれば特に制限されないが、溶融部２７が形成される溶接前の領域がより好ましい。

[0077] ＣＰＵ５１は、信号を取得後（Ｓ２４）、例えばステップＳ２４の実行毎に取得される複数の信号間で信号波形の立上り開始時間（すなわち開始時刻）を統一するように、信号の開始時間を補正する処理を実行してもよい（Ｓ２５）。例えば、図６（Ａ）～（Ｃ）に示すような信号の開始時間は、検査

装置５０によりレーザ加工装置３０からレーザ光６の発振時に出力されるトリガー信号を受信して、その受信時刻に設定され得る。この際に、トリガー信号の開始時刻の誤差などに起因して、開始時間に誤差を生じる場合があり得る。

[0078] ステップＳ２５において、ＣＰＵ５１は、例えば信号波形の立上り時において信号強度が所定値（例えば０．２Ｖ）に到達した時間に応じて、信号の開始時間をオフセットするように補正を行う。こうした補正によれば、例えば後述の特徴量を算出する処理（Ｓ２６）において、算出時の条件を信号間で統一でき、判定モデル５７を更に精度良く構築可能な訓練データＤ１が得られる。

[0079] 次に、ＣＰＵ５１は、例えば加工毎の信号における所定の時間区間として、レーザ出力のピーク出力に対応する時間区間Ｔ２を設定し、取得した信号に基づいて、時間区間Ｔ２のうち信号強度が所定の閾値を超える期間の割合を算出する（Ｓ２６）。所定の閾値は、例えば予め反射光、熱放射及び可視光の成分毎に、平均的な信号波形、すなわち平均波形に基づいて設定され、記憶装置５３に格納される。平均波形は、例えば加工条件毎に予め複数回のレーザ加工を行い、各回に取得された信号の信号強度を平均した波形として算出される。例えば、平均波形の時間区間Ｔ２における信号強度の平均値に、当該信号強度の標準偏差を加算した値が上限閾値、減算した値が下限閾値として設定される。

[0080] ステップＳ２６では、ＣＰＵ５１は、取得した信号の信号強度が上述のような平均波形の閾値を超える（即ち上限閾値より大きい、又は下限閾値より小さい）割合（「ＮＧ割合」ともいう）を算出する。ＮＧ割合は、下記の計算式（１）による計算値に「１００」を乗じて百分率により算出されてもよい。下記の計算式（１）では、時間区間Ｔ２及び閾値を超える期間として、それぞれ対応する信号のサンプリング点の数が用いられてもよい。

[0081] ＮＧ割合＝時間区間Ｔ２内の閾値を超える期間／時間区間Ｔ２ （１）

ＣＰＵ５１は、取得した信号のＮＧ割合を算出すると（Ｓ２６）、算出したＮＧ割合が所定値（例えば２０％）未満であるか否かを判断する（Ｓ２７）。

[0082] 算出したＮＧ割合が所定値未満であれば（Ｓ２７でＹＥＳ）、ＣＰＵ５１は、取得した信号に基づいて特徴量を算出する（Ｓ２８）。ＣＰＵ５１は、例えば上述のように、時間区間Ｔ２における信号強度の平均値及び積分値を特徴量として算出する。ステップＳ２８では、検査処理（図５）で用いられる特徴量に応じて、他の特徴量が算出されてもよい。

[0083] 一方、算出したＮＧ割合が所定値以上であれば（Ｓ２７でＮＯ）、ＣＰＵ５１は、特徴量の算出（Ｓ２８）を特に実行せず、表面粗さの平均高さＳａと最大高さＳｚとが所定の関係にない場合（Ｓ２３でＮＯ）と同様に、ステップＳ３０に進む。例えば、ＣＰＵ５１は、当該割合が算出された加工条件を再測定の対象に設定するか、または処理対象の加工条件を次の加工条件に遷移させる（Ｓ３０）。

[0084] 上記の処理によれば、信号強度が所定の時間区間において平均波形の閾値を超える割合に応じて（Ｓ２７）、当該信号強度から特徴量を算出するか（Ｓ２８）、または再測定等が行われる（Ｓ３０）。このように、訓練データＤ１の生成において、例えば外乱の発生等による異常な波形の信号を除外する一方、外乱の影響が比較的小さいと考えられる信号から特徴量を算出して用いることができる。

[0085] ＣＰＵ５１は、ステップＳ２８で算出した特徴量と、当該特徴量が算出された加工条件での測定結果から算出され、各パラメータＳａとＳｚとがステップＳ２３の所定の関係にある表面粗さの算出値とを関連付けて、訓練データＤ１に追加する（Ｓ２９）。表面粗さの算出値は、検査処理（図５）で出力させる検査結果に応じて、平均高さＳａと最大高さＳｚとの一方でもよく、両方が追加されてもよい。ＣＰＵ５１は、記憶装置５３において、追加した訓練データＤ１を格納または更新する。

[0086] 訓練データＤ１に特徴量及び表面粗さの算出値を追加すると（Ｓ２９）、

ＣＰＵ５１は、ステップＳ３１の判断に進み、複数の加工条件において次の加工条件があれば（Ｓ３１でＹＥＳ）、次の加工条件についてＳ２１以降の処理を繰り返す。

[0087] 一方、再測定または次の加工条件がなければ（Ｓ３１でＮＯ）、ＣＰＵ５１は、本フローチャートの処理を終了する。

[0088] 以上の処理によると、加工条件毎に、表面粗さの測定結果から算出される算出値と（Ｓ２１，Ｓ２２）、加工時に検出される反射光等の信号から算出される特徴量と（Ｓ２４，Ｓ２８）が関連付けて、訓練データＤ１に追加される（Ｓ２９）。このような生成処理により生成された訓練データＤ１を用いて、判定モデル５７の訓練処理（図８）が実行可能である。さらに、本実施形態における訓練データＤ１の生成処理では、取得した表面粗さ及び信号について、外乱等による変動の可能性が高いデータの除外（Ｓ２３，Ｓ２６～Ｓ２７）、及び信号の開始時間を統一する補正（Ｓ２５）が前処理として行われる。これにより、例えば訓練データＤ１に含まれるデータの質を向上させることができる。

[0089] ステップＳ２６における平均波形の閾値は、ステップＳ２５と同様の処理で開始時間を補正後の信号に基づいて設定されてもよく、ステップＳ２４で取得した信号の平均値及び標準偏差に基づいて設定されてもよい。また、標準偏差に代えて、標準偏差に所定の比率を乗じた値が用いられてもよい。また、ステップＳ２６での閾値を超える割合の算出期間は、時間区間Ｔ２に限らず、例えば検査装置５０のユーザにより通信回路５２等を介して設定されてもよい。

[0090] また、ステップＳ２７における所定値は、例えばユーザが任意に変更できると好ましいが、検査装置５０において自動で設定されてもよい。所定値は、レーザ出力について設定されてもよく、反射光、熱放射及び可視光について、それぞれ設定されると好ましいが、共通の値に設定されてもよい。

[0091] ３．効果等

以上のように、本実施形態にかかる検査処理（Ｓ１～Ｓ４）は、レーザ加

工における被加工物７０の検査方法を提供する。本方法は、被加工物７０へのレーザ光６の照射により発生する熱放射、可視光及び反射光の各成分のうちの、少なくとも１つの成分を光センサ２２で検出して生成され、被加工物７０ごとの溶接時間に対応した時間区間Ｔ１における当該成分の変化を示す信号を取得する工程（Ｓ１）と、時間区間Ｔ１のうちの時間区間Ｔ２（所定の区間の一例）において、当該信号の特徴を示す特徴量を算出する工程（Ｓ２）と、レーザ光６が照射される被加工物７０の表面の表面性状を示す表面粗さを判定する判定モデル５７に、算出した特徴量を入力して、被加工物７０の表面粗さを判定する工程（Ｓ３）と、判定した表面粗さを検査結果として出力する工程（Ｓ４）とを含む。判定モデル５７は、表面粗さを変動させた複数の条件における各条件のもとで、レーザ加工を行って検出された成分の信号から算出される特徴量と、各条件の表面粗さとを関連付けて含む訓練データＤ１に基づいて構築される（図８及び図９参照）。

[0092] 以上の方法によると、被加工物７０へのレーザ光６の照射により発生した熱放射、可視光及び反射光の１つ又は複数の成分を検出して生成される信号が取得され（Ｓ１）、信号に基づいて特徴量が算出される（Ｓ２）。そして、訓練データＤ１に基づいて構築された判定モデル５７により特徴量から表面粗さの予測値が算出される（Ｓ３）。このように、判定モデル５７を用いて、例えば表面粗さを直接測定しなくても、予測値に基づいて表面粗さの検査を行うことができ、表面粗さを検査し易くすることができる。

[0093] 本実施形態において、訓練データＤ１の表面粗さは、各条件下で（検査対象と同様の）被加工物７０の表面にレーザ光６が照射される範囲に応じた領域において測定される。例えば重ね合わせ溶接のレーザ加工では、被加工物７０の上材における、レーザ光６が照射される側の表面のうちの、溶接により溶融部２７が形成される領域について、表面粗さが測定されてもよい。

[0094] 本実施形態において、時間区間Ｔ２は、被加工物７０ごとにレーザ光６がピーク出力において照射される期間に対応し（図６参照）、特徴量は、信号の時間区間Ｔ２における平均強度を含む。図７に例示するように、表面粗さ

の変化に応じて、特にピーク出力時の信号強度が変わり得る。したがって、時間区間Ｔ２の平均強度を特徴量に用いることで、表面粗さを精度良く予測し得ると考えられる。

[0095] 本実施形態において、特徴量は、さらに、信号の時間区間Ｔ２における積分値を含む。図７に関して上述したように、表面粗さは、加工時に形成される溶融部２７の形状に影響し得ることから、レーザ光６の照射による投入熱量が変化して、溶融部２７の表面温度の変動ともに表面からの光量が増減し得る。積分値を用いると、こうした光量の変化を特徴量に反映して、表面粗さを精度良く予測し得ると考えられる。

[0096] 本実施形態において、表面粗さは、被加工物７０における基準表面（被加工物の表面における基準面の一例）からの垂直方向の変位に基づいて算出される算術平均高さＳａ及び最大高さＳｚを含む。本方法は、訓練データＤ１に基づいて判定モデル５７が構築される前に、各条件の被加工物７０において表面粗さの測定により算出される算術平均高さＳａ及び最大高さＳｚが、所定の関係の一例として「最大高さＳｚ≦算術平均高さＳａ×所定値」の関係にある否かを判定する工程（Ｓ２３）と、複数の条件のうちの当該関係にある条件の表面粗さと、当該条件での特徴量とを選択的に含めて、訓練データＤ１を生成する工程（Ｓ２３でＹＥＳ，Ｓ２４，Ｓ２９）と、をさらに含む。これにより、例えば被加工物７０の表面に異物などが付着している際に表面粗さの測定結果が変動するといった、外乱要因による影響を抑制しながら訓練データＤ１を生成できる。こうした訓練データＤ１によれば、高精度な判定モデル５７が構築し得る。

[0097] 本実施形態における本方法は、訓練データＤ１に基づいて判定モデルが構築される前に、平均波形の閾値（複数の条件における各条件のもとで検出された成分の信号について、信号強度に対して設定される閾値の一例）により、時間区間Ｔ２（所定の区間の一例）における、取得した信号の強度が閾値を超える区間の割合を算出する工程と（Ｓ２６）、算出したＮＧ割合と、所定値（所定の割合の一例）との比較により、複数の条件から、選択的に特徴

量を算出して含めるように、訓練データＤ１を生成する（Ｓ２７～Ｓ２９）、をさらに含む。例えば、各種の外乱要因が信号強度に変動を与えると、異常な信号波形が生じ得る。以上の処理によれば、こうした場合にも、例えば閾値を超える割合が所定の割合以上であれば異常な信号波形として、当該信号からの特徴量を訓練データＤ１に含めないように、複数の条件から選択的に訓練データＤ１を生成することができる。これによっても、訓練データＤ１において外乱要因による影響が抑制できる。

[0098] 本実施形態において、判定モデル５７は、機械学習により、訓練データＤ１における各条件の特徴量に基づいて判定した表面粗さと、訓練データＤ１における各条件の表面粗さとの誤差を最小化するように生成される（Ｓ１１，Ｓ１２）。このように各条件の特徴量と、当該条件で測定された表面粗さとが関連付けられた訓練データＤ１を用いた機械学習により、被加工物７０の加工時に検出された信号に基づいて算出される特徴量から、被加工物７０の表面粗さを判定する判定モデル５７が得られる。

[0099] 本実施形態において、表面粗さは、被加工物７０の表面における基準面からの垂直方向の変位を示す数値の一例として、算術平均高さＳａ又はＲａ及び／又は最大高さＳｚ又はＲｚを含む。判定モデル５７により判定される表面粗さは、これらに限らず、他の面粗さ又は線粗さのパラメータを含んでもよい。

[0100] 本実施形態の検査システム１００において、検査装置５０は、レーザ加工における被加工物７０の検査装置の一例である。検査装置５０は、演算回路の一例としてＣＰＵ５１と、通信回路５２とを備える。通信回路５２は、被加工物７０へのレーザ光６の照射により発生する熱放射、可視光、及び反射光の各成分のうち、少なくとも１つの成分を光センサ２２により検出して生成された信号を受け付ける。信号は、被加工物７０ごとの溶接時間に対応した時間区間の一例として時間区間Ｔ１における当該成分の変化を示す信号である。ＣＰＵ５１は、通信回路５２により、信号を取得し（Ｓ１）、時間区間Ｔ１のうちの時間区間Ｔ２（所定の区間の一例）において、当該信号の特

徴を示す特徴量を算出し（Ｓ２）、レーザ光６が照射される被加工物７０の表面の表面性状を示す表面粗さを判定する判定モデル５７に、算出した特徴量を入力して、被加工物７０の表面粗さを判定し（Ｓ３）と、判定した表面粗さを検査結果として出力する（Ｓ４）。判定モデル５７は、表面粗さを変動させた複数の条件における各条件のもとで、レーザ加工を行って検出された成分の信号から算出される特徴量と、各条件の表面粗さとを関連付けて含む訓練データＤ１に基づいて構築される。

[0101] 以上の検査装置５０によると、上述した検査方法を実行して、被加工物７０の表面粗さを検査し易くすることができる。

[0102] （他の実施形態）

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、上記の実施の形態を説明した。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、上記の各実施の形態で説明した各構成要素を組み合わせて、新たな実施の形態とすることも可能である。

[0103] 上記の実施形態１では、訓練データＤ１の生成処理（図１０）において、被加工物７０の表面粗さの測定結果と、加工時に検出された信号とを取得する例を説明した（Ｓ２１，Ｓ２４）。本実施形態では、これらに加えて、例えば溶接後の被加工物７０における溶融部２７の幅、長さ及び／又は面積の測定結果、及び／又は溶け込み深さの測定結果などが、更に取得されてもよい。例えば、表面粗さの予測における精度向上に活用する観点から、こうした追加の測定結果が判定モデル５７の特徴量として用いられてもよい。

[0104] 上記の各実施形態では、訓練データＤ１の生成処理において、各加工条件での加工時に検出された信号を取得する例を説明した（Ｓ２４）。本実施形態では、各加工条件で複数回の加工を行うことで、ステップＳ２４において、それぞれの加工時に検出される複数の信号が取得されてもよい。この場合、例えばステップＳ２５と同様に、各信号の開始時間を補正後、複数回の信号の平均波形に基づいて以降の処理が実行されてもよい。これにより、例え

ば信号から算出される特徴量において、各信号の光を検出する際の外乱による信号波形の変動の影響を小さくすることができる。

[0105] 上記の各実施形態では、訓練データＤ１の生成処理において、信号強度が時間区間Ｔ２内で閾値を超える割合としてＮＧ割合を算出する例を説明した（Ｓ２６）。本実施形態では、時間区間Ｔ２に限らず、例えばレーザ光６の１パルスに相当する時間区間Ｔ１（図６参照）において算出されてもよく、特に区間を設けずに信号の１波形に対応した取得期間において算出されてもよい。

[0106] 上記の各実施形態では、訓練データＤ１の生成処理において、検査装置５０が取得した表面粗さ及び信号について前処理を行う例を説明した（Ｓ２３，Ｓ２５～Ｓ２７）。こうした前処理は、より高精度な判定モデル５７を構築するための訓練データＤ１を生成する上で好ましいが、本実施形態では、特に実行されなくてもよく、ユーザの任意選択により実行されてもよい。

[0107] 上記の各実施形態では、検査装置５０において、訓練データＤ１の生成処理を実行する例を説明した。本実施形態では、訓練データＤ１の生成処理は、検査装置５０に限らず、外部の情報処理装置で実行されてよい。

[0108] 上記の各実施形態では、本開示におけるレーザ加工として、重ね合わせ溶接の例を説明したが、本開示は、各種の溶接加工における被加工物の表面粗さの判定に適用可能である。また、本開示は、溶接以外のレーザ加工として、レーザ光による切断または穴開け加工について適用されてもよい。こうした加工の場合にも、例えば、被加工物において加工中にレーザ光が照射される表面について、上記の各実施形態と同様に表面粗さの判定モデルを構築して、加工される領域の表面粗さを検査し易くすることができる。

[0109] 本開示は上述した実施形態に限定されるものではなく、種々の変更が可能である。すなわち、当業者が適宜変更した技術的手段を組み合わせて得られる実施形態についても本開示の範疇である。

[0110] （本開示の態様）

以上説明したように、本開示は、下記の態様を含む。

[0111] （第１態様）

レーザ加工における被加工物の検査方法であって、

前記被加工物へのレーザ光の照射により発生する熱放射、可視光及び反射光の各成分のうちの、少なくとも１つの成分を光センサで検出して生成され、前記被加工物ごとの加工時間に対応した時間区間における前記成分の変化を示す信号を取得する工程と、

前記時間区間のうち所定の区間において、前記信号の特徴を示す特徴量を算出する工程と、

前記レーザ光が照射される前記被加工物の表面の表面性状を示す表面粗さ判定する判定モデルに、算出した前記特徴量を入力して、前記被加工物の表面粗さを判定する工程と、

算出した前記表面粗さの予測値を検査結果として出力する工程と、を含み、

前記判定モデルは、前記表面粗さを変動させた複数の条件における各条件のもとで、前記レーザ加工を行って検出された前記成分の信号から算出される特徴量と、前記各条件の表面粗さと、を関連付けて含む訓練データに基づいて構築される。

[0112] （第２態様）

前記訓練データの表面粗さは、前記各条件下で被加工物の表面にレーザ光が照射される範囲に応じた領域において測定される、

第１態様に記載の検査方法。

[0113] （第３態様）

前記所定の区間は、前記被加工物ごとにレーザ光がピーク出力において照射される期間に対応し、

前記特徴量は、前記信号の前記所定の区間における平均強度を含む、

第１態様または第２態様に記載の検査方法。

[0114] （第４態様）

前記所定の区間は、前記被加工物ごとにレーザ光がピーク出力において照

射される期間に対応し、

前記特徴量は、前記信号の前記所定の区間における積分値を含む、

第１態様から第３態様のいずれかに記載の検査方法。

[0115] （第５態様）

前記表面粗さは、前記被加工物の表面における基準面からの垂直方向の変位に基づいて算出される算術平均高さ及び最大高さを含み、

前記訓練データに基づいて前記判定モデルが構築される前に、

前記各条件の被加工物において表面粗さの測定により算出される算術平均高さ及び最大高さが、所定の関係にある否かを判定する工程と、

前記複数の条件のうちの、前記所定の関係にある条件の表面粗さとして前記算出される算術平均高さ及び最大高さと、前記条件での特徴量とを選択的に含めて、前記訓練データを生成する工程と、をさらに含む、

第１態様から第４態様のいずれかに記載の検査方法。

[0116] （第６態様）

前記訓練データに基づいて前記判定モデルが構築される前に、

前記複数の条件における各条件のもとで検出された前記成分の信号について、信号強度に対して設定される閾値により、前記所定の区間における、前記信号の強度が前記閾値を超える区間の割合を算出する工程と、

算出した割合と、所定の割合との比較により、前記複数の条件から、選択的に前記特徴量を算出して含めるように、前記訓練データを生成する工程、をさらに含む、

第１態様から第５態様のいずれかに記載の検査方法。

[0117] （第７態様）

前記判定モデルは、機械学習により、前記訓練データにおける各条件の特徴量から判定した表面粗さと、前記訓練データにおける各条件の表面粗さとの誤差を最小化するように生成される、

第１態様から第６態様のいずれかに記載の検査方法。

[0118] （第８態様）

前記表面粗さは、前記被加工物の表面における基準面からの垂直方向の変位を示す数値を含む、

第１態様から第７態様のいずれかに記載の検査方法。

[0119] （第９態様）

レーザ加工における被加工物の検査装置であって、

演算回路と、

前記被加工物へのレーザ光の照射により発生する熱放射、可視光及び反射光の各成分のうち、少なくとも１つの成分を光センサにより検出して生成された信号を受け付ける通信回路と、を備え、

前記信号は、前記被加工物ごとの加工時間に対応した時間区間における前記成分の変化を示す信号であり、

前記演算回路は、

前記通信回路により、前記信号を取得し、

前記時間区間のうち所定の区間において、前記信号の特徴を示す特徴量を算出し、

前記レーザ光が照射される前記被加工物の表面の表面性状を示す表面粗さ判定する判定モデルに、算出した前記特徴量を入力して、前記被加工物の表面粗さを判定し、

算出した前記表面粗さの予測値を検査結果として出力し、

前記判定モデルは、前記表面粗さを変動させた複数の条件における各条件のもとで、前記レーザ加工を行って検出された前記成分の信号から算出される特徴量と、前記各条件の表面粗さと、を関連付けて含む訓練データに基づいて構築される、

検査装置。

[0120] （第１０態様）

前記判定モデルは、機械学習により、前記訓練データにおける各条件の特徴量から判定した表面粗さと、前記訓練データにおける各条件の表面粗さとの誤差を最小化するように生成される、

第９態様に記載の検査装置。

産業上の利用可能性

[0121] 本開示は、重ね合わせ溶接といった各種のレーザ加工において、レーザ光が照射される被加工物の表面の表面粗さを判定する、被加工物の検査方法及び装置に適用可能である。

符号の説明

[0122] １　レーザ発振器
２　レーザ伝送用ファイバ
３　鏡筒
４　コリメートレンズ
５、１１　集光レンズ
６　レーザ光
７　第１ミラー
８　第２ミラー
１３　光ファイバ
１５　コリメートレンズ
１６　第３ミラー
１７　第４ミラー
１８　第５ミラー
１９、２０、２１　集光レンズ
２２　光センサ
２３　伝送ケーブル
２４　コントローラ
２５　光センサ
２６　押さえ治具
２７　溶融部
３０　レーザ加工装置
４０　分光装置

５０　検査装置

５１　ＣＰＵ

５２　通信回路

５３　記憶装置

５６　制御プログラム

５７　判定モデル

７０　被加工物

Ｄ１　訓練データ

１００　検査システム

請求の範囲

[請求項1] レーザ加工における被加工物の検査方法であって、

前記被加工物へのレーザ光の照射により発生する熱放射、可視光及び反射光の各成分のうちの、少なくとも１つの成分を光センサで検出して生成され、前記被加工物ごとの加工時間に対応した時間区間における前記成分の変化を示す信号を取得する工程と、

前記時間区間のうち所定の区間において、前記信号の特徴を示す特徴量を算出する工程と、

前記レーザ光が照射される前記被加工物の表面の表面性状を示す表面粗さ判定する判定モデルに、算出した前記特徴量を入力して、前記被加工物の表面粗さを判定する工程と、

算出した前記表面粗さの予測値を検査結果として出力する工程と、を含み、

前記判定モデルは、前記表面粗さを変動させた複数の条件における各条件のもとで、前記レーザ加工を行って検出された前記成分の信号から算出される特徴量と、前記各条件の表面粗さと、を関連付けて含む訓練データに基づいて構築される、

検査方法。

[請求項2] 前記訓練データの表面粗さは、前記各条件下で被加工物の表面にレーザ光が照射される範囲に応じた領域において測定される、

請求項１に記載の検査方法。

[請求項3] 前記所定の区間は、前記被加工物ごとにレーザ光がピーク出力において照射される期間に対応し、

前記特徴量は、前記信号の前記所定の区間における平均強度を含む、

請求項１に記載の検査方法。

[請求項4] 前記所定の区間は、前記被加工物ごとにレーザ光がピーク出力において照射される期間に対応し、

前記特徴量は、前記信号の前記所定の区間における積分値を含む、

請求項１に記載の検査方法。

[請求項5] 前記表面粗さは、前記被加工物の表面における基準面からの垂直方向の変位に基づいて算出される算術平均高さ及び最大高さを含み、

前記訓練データに基づいて前記判定モデルが構築される前に、

前記各条件の被加工物において表面粗さの測定により算出される算術平均高さ及び最大高さが、所定の関係にある否かを判定する工程と、

前記複数の条件のうちの、前記所定の関係にある条件の表面粗さとして前記算出される算術平均高さ及び最大高さと、前記条件での特徴量とを選択的に含めて、前記訓練データを生成する工程と、をさらに含む、

請求項１に記載の検査方法。

[請求項6] 前記訓練データに基づいて前記判定モデルが構築される前に、

前記複数の条件における各条件のもとで検出された前記成分の信号について、信号強度に対して設定される閾値により、前記所定の区間における、前記信号の強度が前記閾値を超える区間の割合を算出する工程と、

算出した割合と、所定の割合との比較により、前記複数の条件から、選択的に前記特徴量を算出して含めるように、前記訓練データを生成する工程、をさらに含む、

請求項１に記載の検査方法。

[請求項7] 前記判定モデルは、機械学習により、前記訓練データにおける各条件の特徴量から判定した表面粗さと、前記訓練データにおける各条件の表面粗さとの誤差を最小化するように生成される、

請求項１に記載の検査方法。

[請求項8] 前記表面粗さは、前記被加工物の表面における基準面からの垂直方向の変位を示す数値を含む、

請求項１に記載の検査方法。

[請求項9] レーザ加工における被加工物の検査装置であって、

演算回路と、

前記被加工物へのレーザ光の照射により発生する熱放射、可視光及び反射光の各成分のうち、少なくとも１つの成分を光センサにより検出して生成された信号を受け付ける通信回路と、を備え、

前記信号は、前記被加工物ごとの加工時間に対応した時間区間における前記成分の変化を示す信号であり、

前記演算回路は、

前記通信回路により、前記信号を取得し、

前記時間区間のうち所定の区間において、前記信号の特徴を示す特徴量を算出し、

前記レーザ光が照射される前記被加工物の表面の表面性状を示す表面粗さ判定する判定モデルに、算出した前記特徴量を入力して、前記被加工物の表面粗さを判定し、

算出した前記表面粗さの予測値を検査結果として出力し、

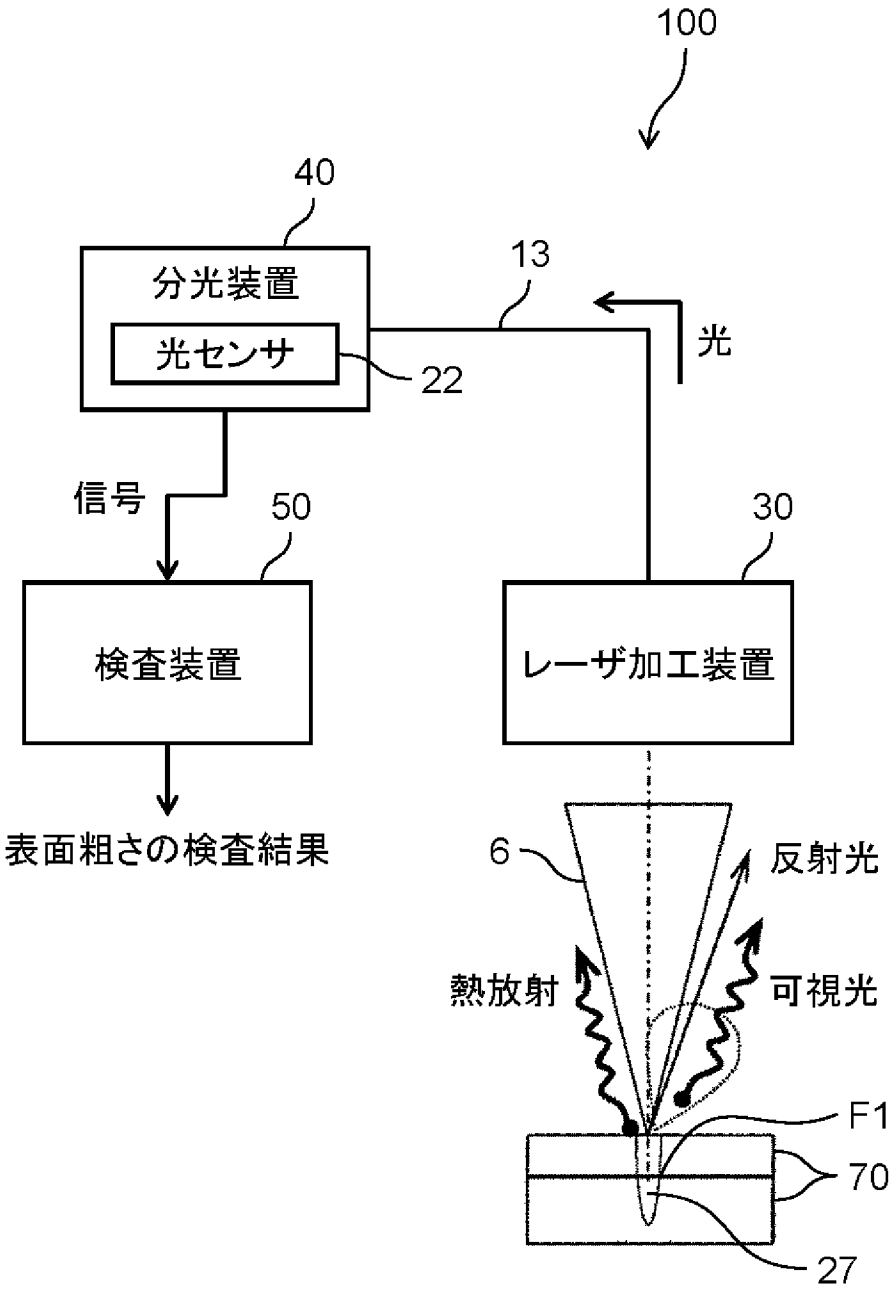
前記判定モデルは、前記表面粗さを変動させた複数の条件における各条件のもとで、前記レーザ加工を行って検出された前記成分の信号から算出される特徴量と、前記各条件の表面粗さと、を関連付けて含む訓練データに基づいて構築される、

検査装置。

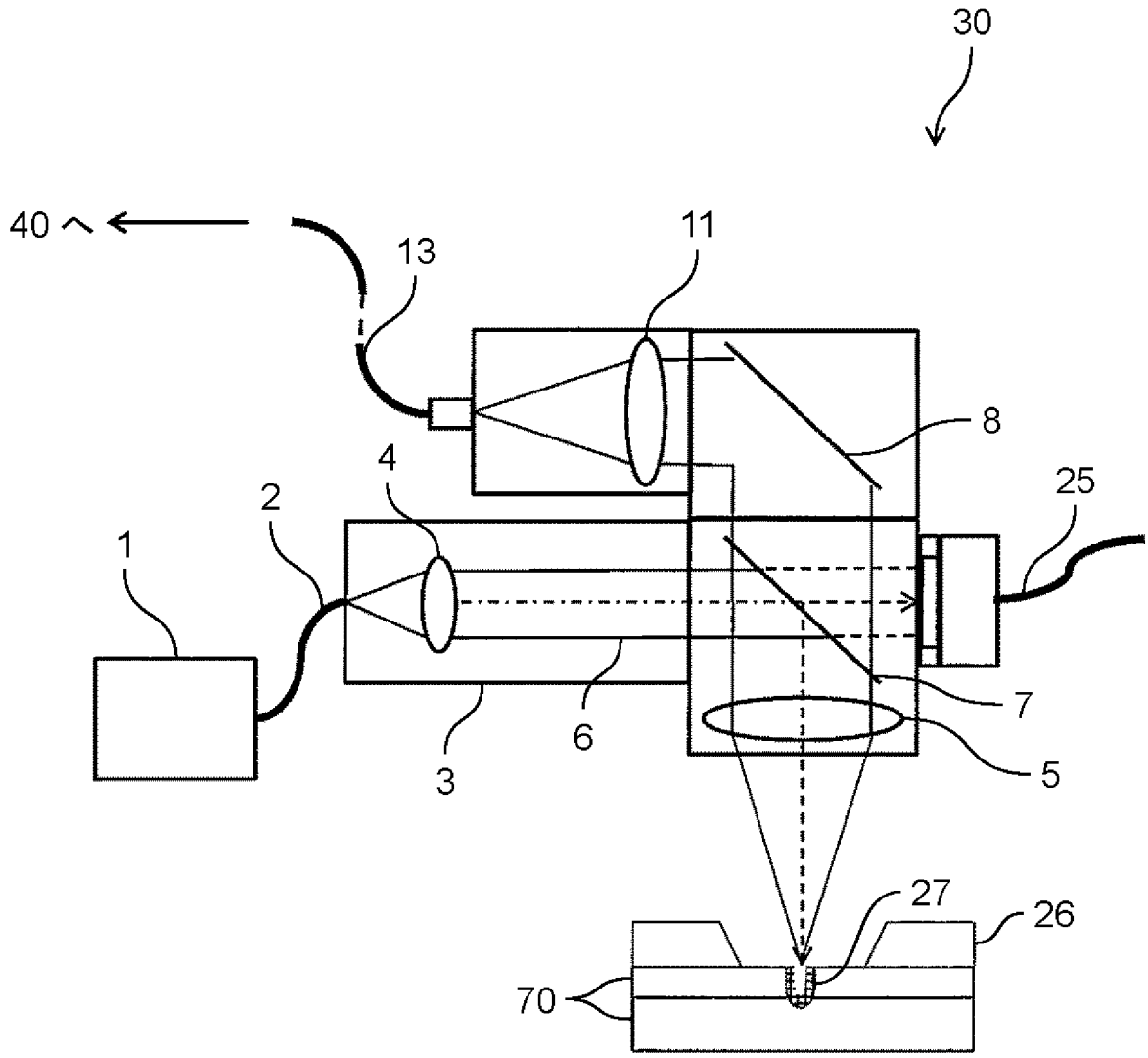
[請求項10] 前記判定モデルは、機械学習により、前記訓練データにおける各条件の特徴量から判定した表面粗さと、前記訓練データにおける各条件の表面粗さとの誤差を最小化するように生成される、

請求項９に記載の検査装置。

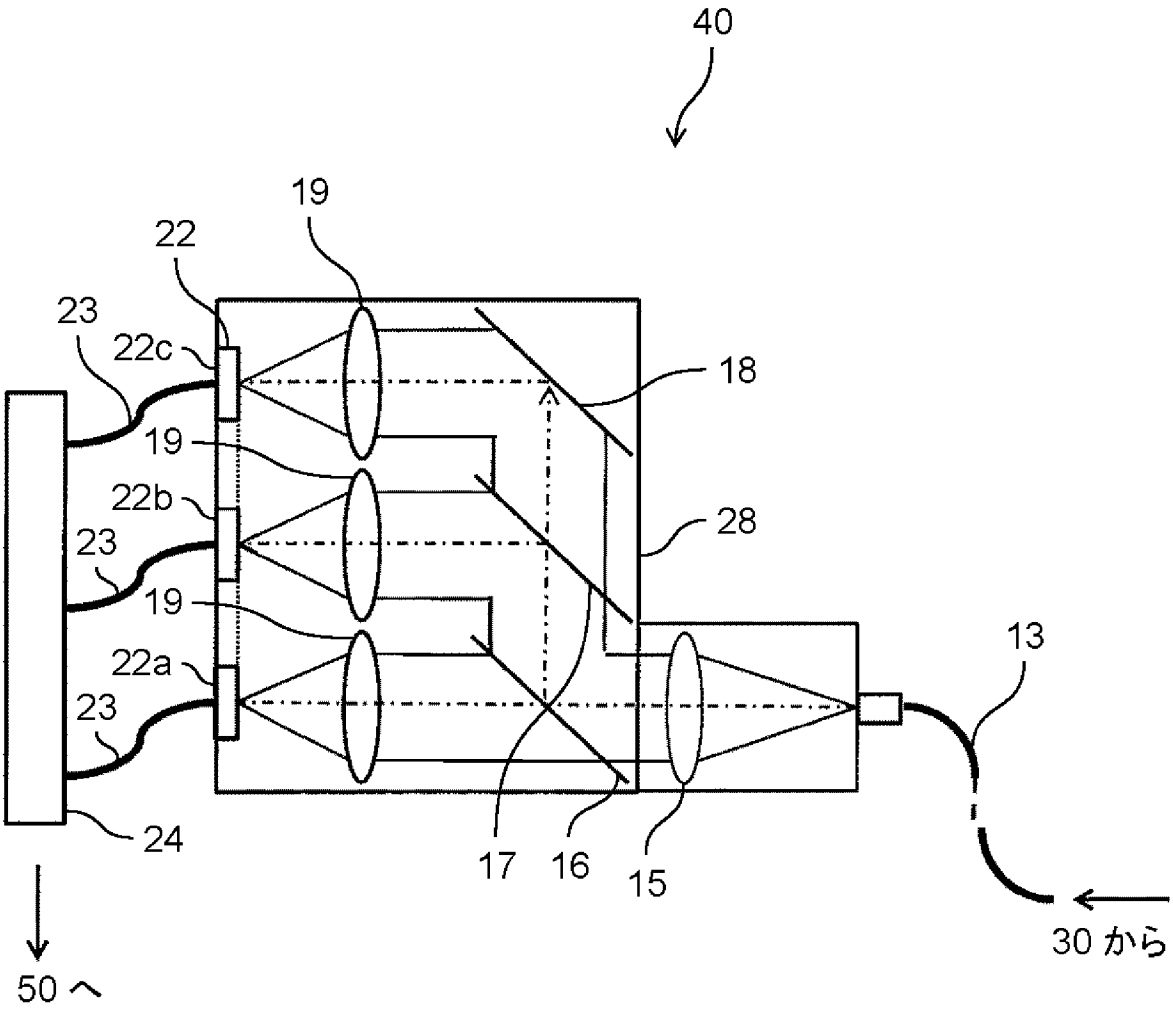
[図1]


100
40
分光装置
光センサ
22
13
光
信号
50
30
検査装置
レーザ加工装置
表面粗さの検査結果
6
反射光
熱放射
可視光
F1
70
27

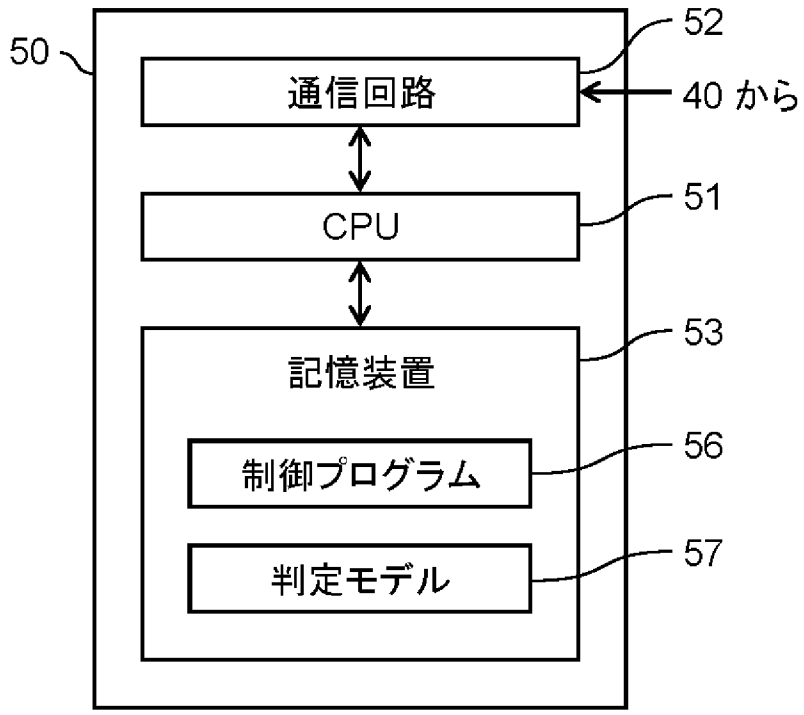
[図2]



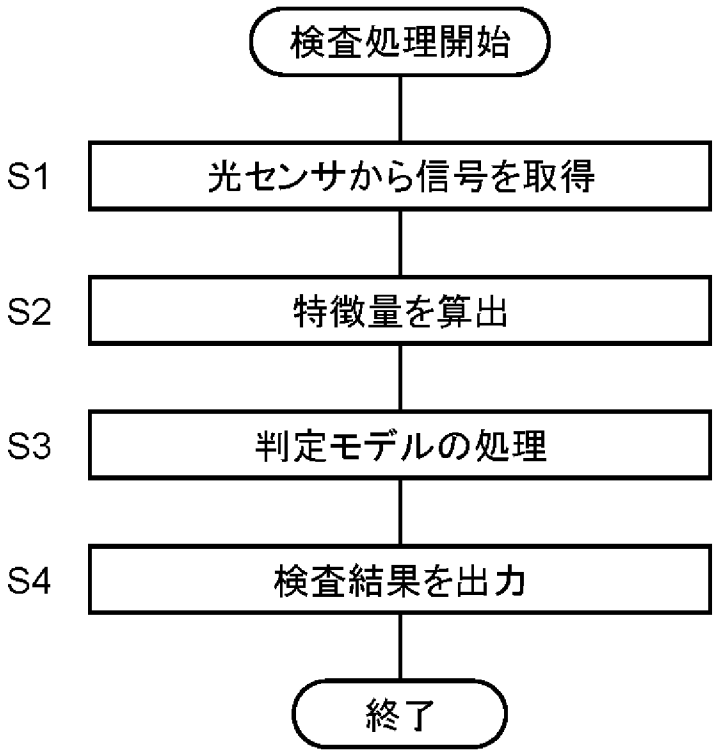
[図3]



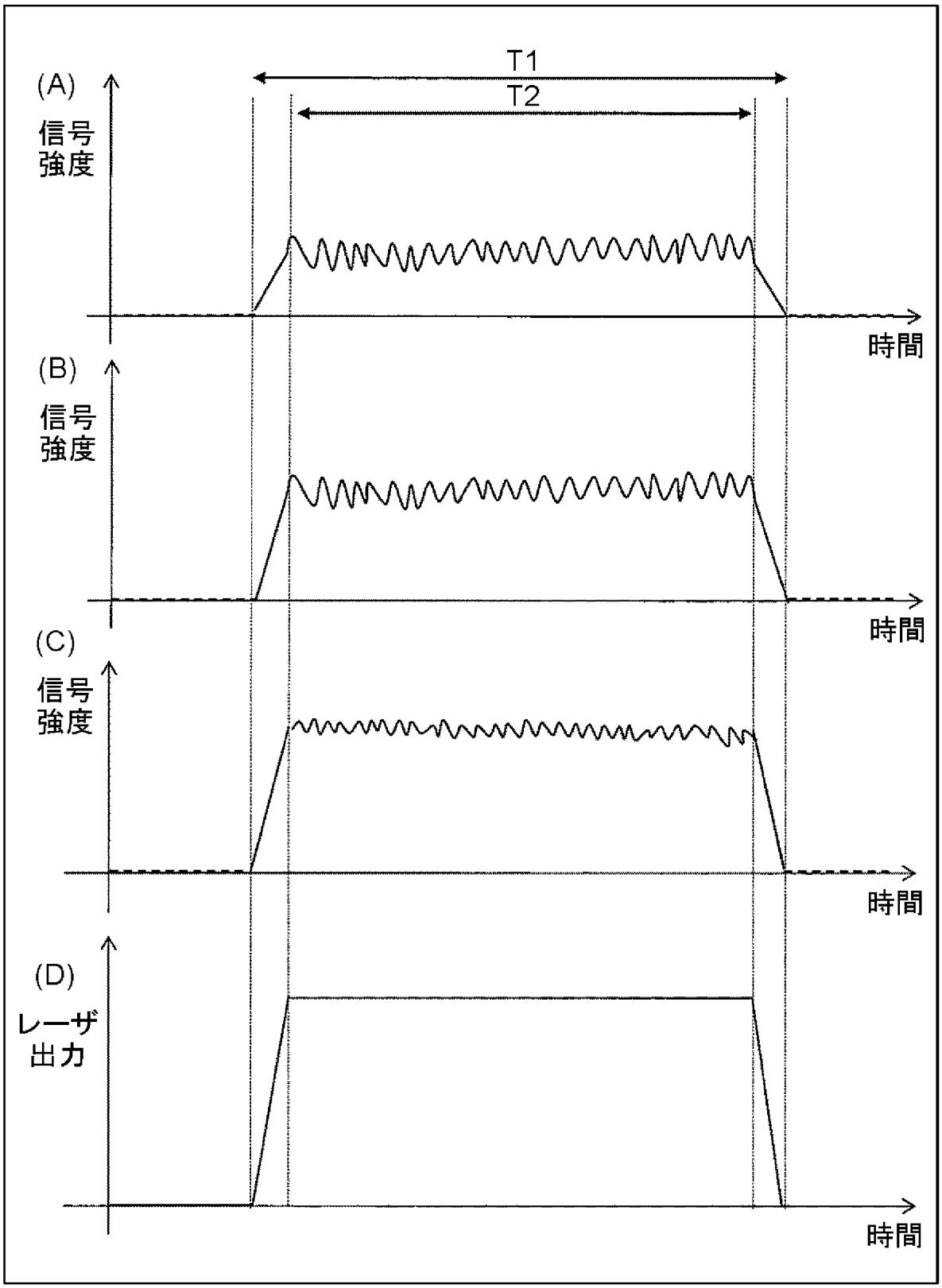
[図4]


50
52
通信回路
40 から
CPU
51
記憶装置
53
制御プログラム
56
判定モデル
57

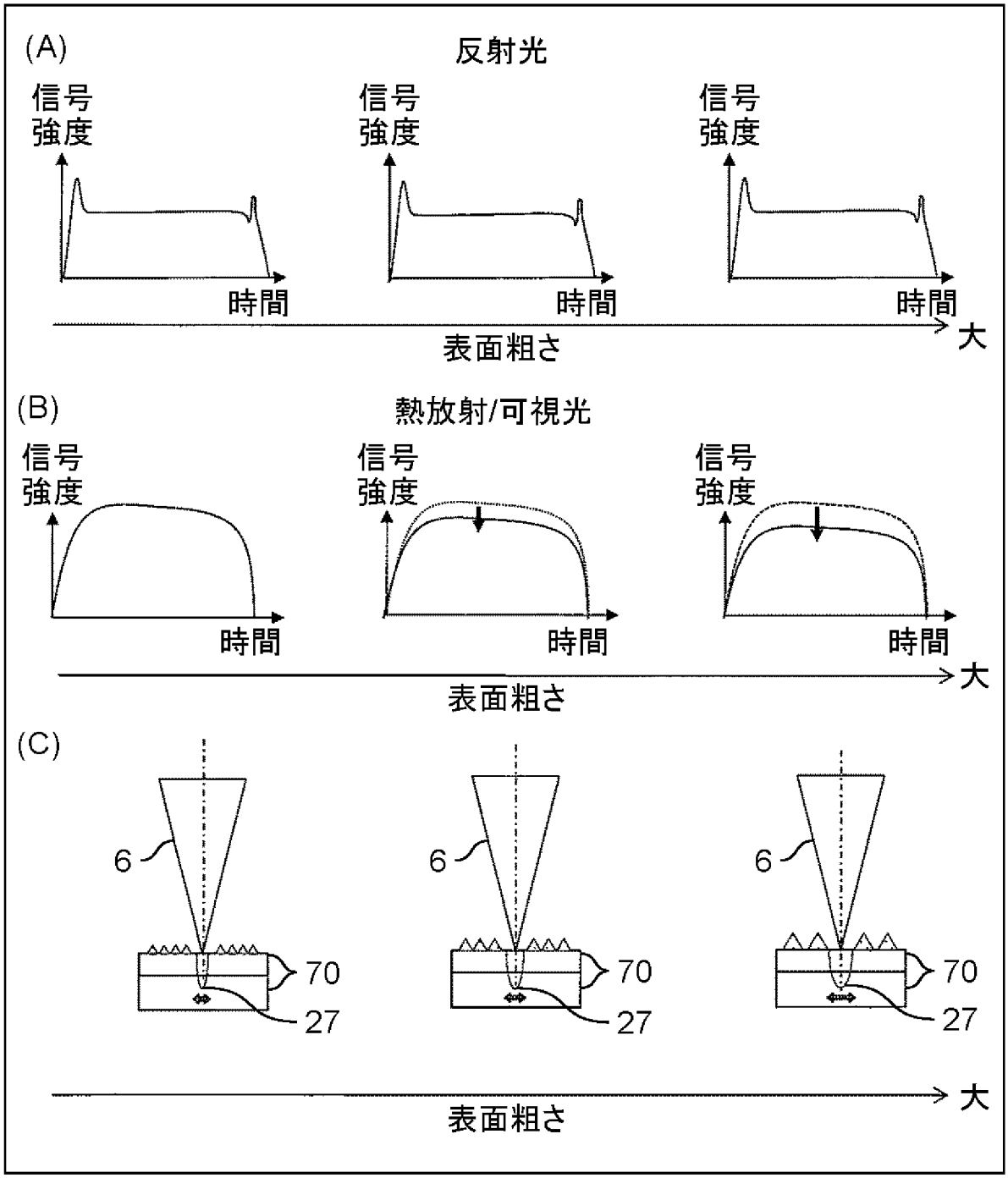
[図5]


検査処理開始
S1
光センサから信号を取得
S2
特徴量を算出
S3
判定モデルの処理
S4
検査結果を出力
終了

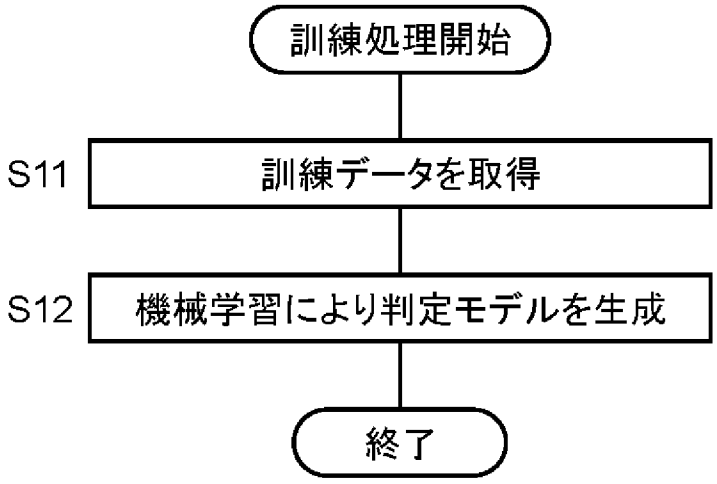
[図6]



[図7]


(A)
反射光
信号
強度
時間
信号
強度
時間
信号
強度
時間
表面粗さ
大
(B)
熱放射/可視光
信号
強度
時間
信号
強度
時間
信号
強度
時間
表面粗さ
大
(C)
6
70
27
6
70
27
6
70
27
表面粗さ
大

[図8]

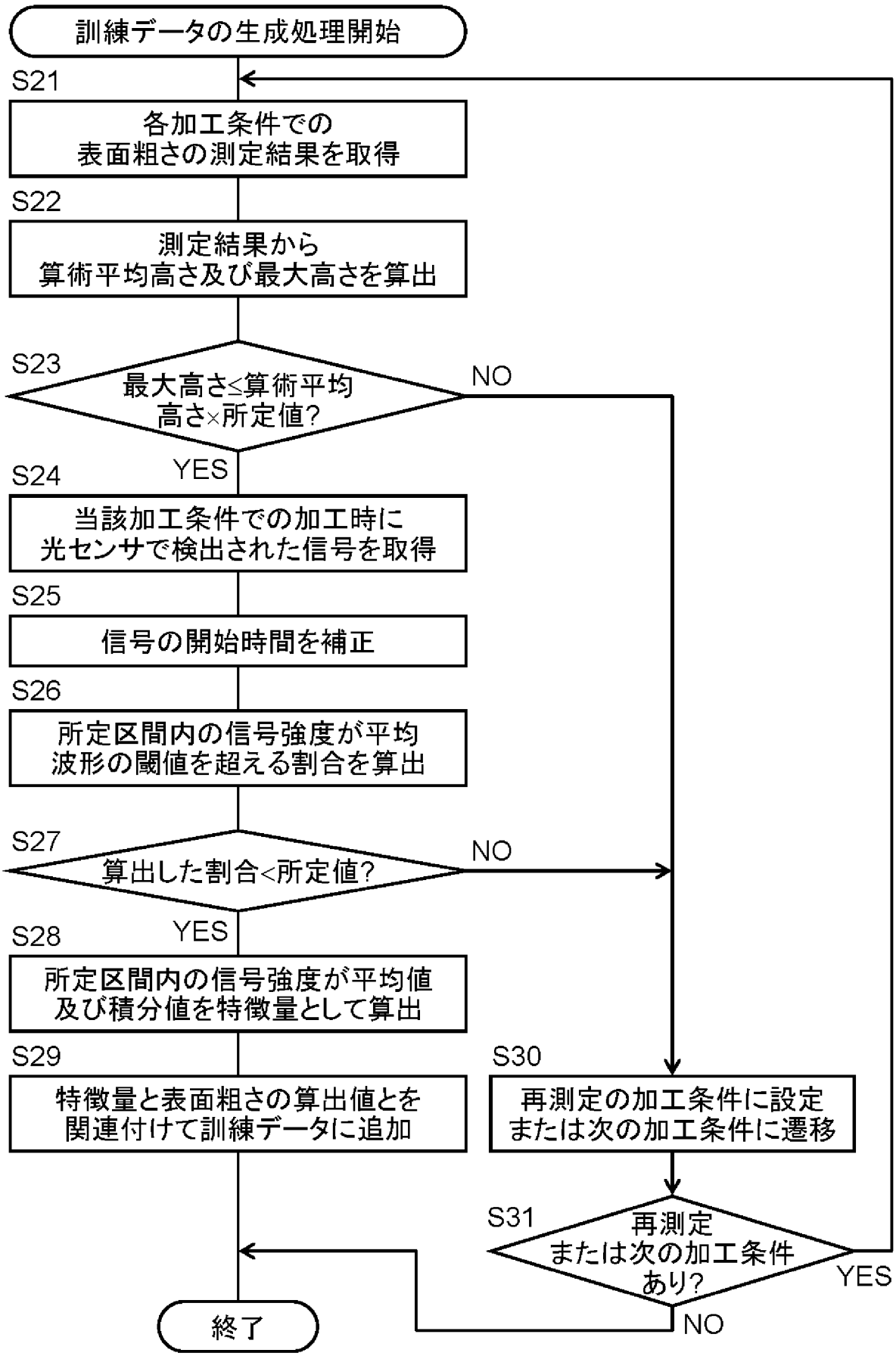


[図9]

D1

平均強度			積分値			…	レーザ出力	表面粗さの実測値
反射光	熱放射	可視光	反射光	熱放射	可視光			
0.4	0.2	0.3	200	100	150	…	250	1.1
0.5	0.3	0.4	210	150	200	…	250	0.4
…	…	…	…	…	…	…	…	…

[図10]


訓練データの生成処理開始
S21
各加工条件での
表面粗さの測定結果を取得
S22
測定結果から
算術平均高さ及び最大高さを算出
S23
最大高さ≦算術平均
高さ×所定値?
NO
YES
S24
当該加工条件での加工時に
光センサで検出された信号を取得
S25
信号の開始時間を補正
S26
所定区間内の信号強度が平均
波形の閾値を超える割合を算出
S27
算出した割合<所定値?
NO
YES
S28
所定区間内の信号強度が平均値
及び積分値を特徴量として算出
S29
特徴量と表面粗さの算出値とを
関連付けて訓練データに追加
S30
再測定の加工条件に設定
または次の加工条件に遷移
S31
再測定
または次の加工条件
あり?
YES
NO
終了

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/006388

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K 26/03(2006.01)i; ***B23K 26/00***(2014.01)i
FI: B23K26/03; B23K26/00 P

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)

B23K26/03; B23K26/00

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 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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 62-124085 A (KAWASAKI STEEL CORP.) 05 June 1987 (1987-06-05) entire text, all drawings	1-10
A	JP 59-087993 A (INOUE JAPAX RESEARCH INC.) 21 May 1984 (1984-05-21) entire text, all drawings	1-10
A	WO 2009/078231 A1 (TOKYO SEIMITSU CO., LTD.) 25 June 2009 (2009-06-25) all drawings	1-10
A	US 2013/0270234 A1 (GENERAL LASERTRONICS CORPORATION) 17 October 2013 (2013-10-17) entire text, all drawings	1-10

☐ 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
"D" document cited by the applicant in the international application
"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	Date of mailing of the international search report
26 March 2024	**02 April 2024**

Name and mailing address of the ISA/JP	Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/006388

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 62-124085 A	05 June 1987	(Family: none)	
JP 59-087993 A	21 May 1984	(Family: none)	
WO 2009/078231 A1	25 June 2009	US 2011/0163079 A1 all drawings KR 10-2010-0102120 A	
US 2013/0270234 A1	17 October 2013	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/006388

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

B23K 26/03(2006.01)i; B23K 26/00(2014.01)i
FI: B23K26/03; B23K26/00 P

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））

B23K26/03; B23K26/00

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	１９７１－２０２４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２４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 62-124085 A (川崎製鉄株式会社) 05.06.1987 (1987-06-05) 全文,全図	1-10
A	JP 59-087993 A (株式会社井上ジャパックス研究所) 21.05.1984 (1984-05-21) 全文,全図	1-10
A	WO 2009/078231 A1 (株式会社東京精密) 25.06.2009 (2009-06-25) 全図,全図	1-10
A	US 2013/0270234 A1 (GENERAL LASERTRONICS CORPORATION) 17.10.2013 (2013-10-17) 全文,全図	1-10

☐ 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
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“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	国際調査報告の発送日
26.03.2024	02.04.2024

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）
柏原　郁昭 3P 3113

電話番号 03-3581-1101 内線 3363

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/JP2024/006388

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 62-124085 A	05.06.1987	（ファミリーなし）	
JP 59-087993 A	21.05.1984	（ファミリーなし）	
WO 2009/078231 A1	25.06.2009	US 2011/0163079 A1 全図,全図 KR 10-2010-0102120 A	
US 2013/0270234 A1	17.10.2013	（ファミリーなし）	