

(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9月19日(19.09.2024)



(10) 国際公開番号  
**WO 2024/190031 A1**

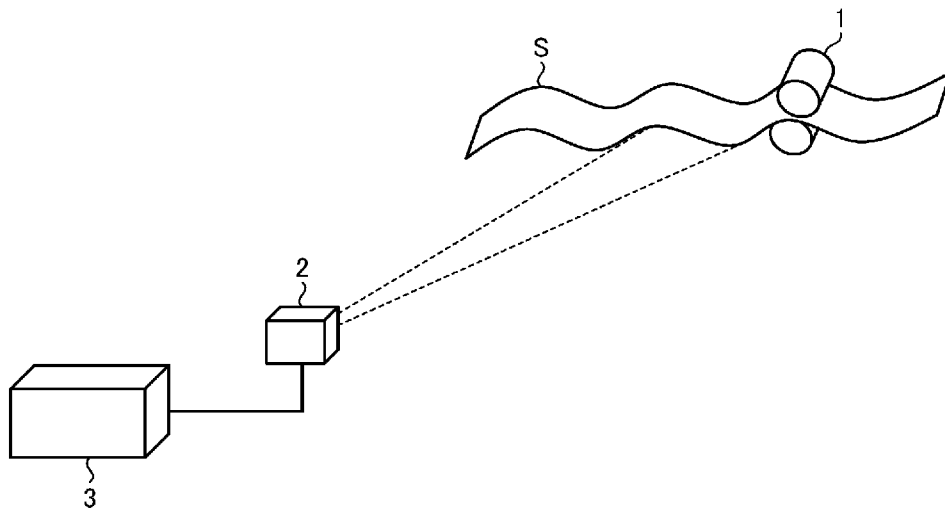
- (51) 国際特許分類:  
*G01B 11/24* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/046079
- (22) 国際出願日: 2023年12月22日(22.12.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2023-037229 2023年3月10日(10.03.2023) JP
- (71) 出願人: J F E スチール株式会社(JFE STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者:大野 紘明(ONO, Hiroaki); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E ス

チール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 赤澤 貴大(AKAZAWA, Takahiro); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 後藤 寛人(GOTO, Hiroto); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 浮田 昂史(UKIDA, Takafumi); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人酒井国際特許事務所(SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎ノ門ダイビルイースト Tokyo (JP).

(54) **Title:** METHOD FOR MEASURING SHAPE OF BELT-LIKE OBJECT, METHOD FOR CONTROLLING SHAPE OF BELT-LIKE OBJECT, METHOD FOR MANUFACTURING BELT-LIKE OBJECT, METHOD FOR CONTROLLING QUALITY OF BELT-LIKE OBJECT, DEVICE FOR MEASURING SHAPE OF BELT-LIKE OBJECT, AND EQUIPMENT FOR MANUFACTURING BELT-LIKE OBJECT

(54) 発明の名称: 带状物体の形状測定方法、带状物体の形状制御方法、带状物体の製造方法、带状物体の品質管理方法、带状物体の形状測定装置および带状物体の製造設備



(57) **Abstract:** This method for measuring the shape of a belt-like object includes: an imaging step for capturing an image of thermal radiation from the belt-like object such that the angle  $\theta$  formed by a plane  $\alpha$  that is a reference plane of the surface of the belt-like object and the optical axis of a camera does not become 90 degrees and the angle  $\phi$  between a regular projection to the plane  $\alpha$  of the optical axis of the camera and the conveyance direction  $p$  of the belt-like object does not become 0 degrees; and an image processing step for calculating an index of the shape of the edge part of the belt-like object by calculating a contour profile of the belt-like object from the obtained image.

WO 2024/190031 A1

(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, 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:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 帯状物体の形状測定方法は、帯状物体の形状を測定する形状測定方法であって、帯状物体の表面の基準面である平面 $\alpha$ とカメラの光軸とがなす角 $\theta$ が、 $90$ 度とならないように、かつ、カメラの光軸の平面 $\alpha$ への正射影と帯状物体の搬送方向 $p$ とがなす角 $\varphi$ が、 $0$ 度とならないように、帯状物体の熱輻射光の画像を撮像する撮像ステップと、得られた画像から帯状物体の輪郭プロファイルを算出することにより、帯状物体のエッジ部の形状の指標を算出する画像処理ステップと、を含む。

## 明 細 書

発明の名称：

帯状物体の形状測定方法、帯状物体の形状制御方法、帯状物体の製造方法、帯状物体の品質管理方法、帯状物体の形状測定装置および帯状物体の製造設備

### 技術分野

[0001] 本発明は、帯状物体の形状測定方法、帯状物体の形状制御方法、帯状物体の製造方法、帯状物体の品質管理方法、帯状物体の形状測定装置および帯状物体の製造設備に関する。

### 背景技術

[0002] 素材産業において帯状の素材の形状管理は重要であり、製品形状の定量化が求められてきた。例えば、鉄鋼プロセスにおける鋼材形状測定は、操業安定、製品品質保証等の観点から高いニーズが存在する。特に、製品を目的の形状に作り込むための圧延中の形状測定は、圧延条件の初期設定や、圧延中に圧延制御のためのフィードバックを行うことで、製品品質向上や操業安定化に繋がるため重要である。

[0003] 例えば、熱延鋼板の製造ラインでは、加熱炉から抽出された高温状態のスラブと呼ばれる直方体の半製品に対し、サイジングミル、粗圧延、仕上げ圧延という工程を経て、シート状に加工され、巻き取られることでコイルとして製品化される。このとき、圧延の状態によっては、鋼板の幅方向に圧下量が不均一になって部分的に伸びることがあり、形状不良となる。

[0004] 例えば、鋼板の中央部（幅方向中央部）と比較して、エッジ部（幅方向端部）のみ延ばされた場合は、当該エッジ部が波打つような形状となる。反対に、中央部のみ延ばされた場合は、中央部が波打つような形状となる。このような形状不良は、製品として不良となるだけでなく、酸洗や冷間圧延等の次工程における通板性が悪化し、トラブルの原因となるため、形状不良を発生させないことが強く求められている。

[0005] 形状不良を改善するためには、圧延時の幅方向の荷重を適切に設定する必要があるが、圧延ロールの摩耗、鋼板の温度分布、材質特性分布のばらつき等の様々な外乱があり、計算だけで最適な圧延条件を求めることは非常に困難であった。そのため、最適な圧延条件を設定するためには、鋼板の形状の測定と圧延モデルとを突き合わせて最適な初期設定を導出してプリセット制御したり、リアルタイムに圧延条件にフィードバック制御したりすることが不可欠である。このような制御を行うことにより、初めて形状不良を抑制することが可能となる。

[0006] しかしながら、ロール状の製品となった後に鋼板の形状を測定することは難しく、特にフィードバック制御では圧延製造中に測定することが必要であるため、最終圧延工程である仕上げ圧延出側直後に形状を測定することが好ましい。例えば、鋼板の中央部に対して、どちらか片方のエッジ部の伸びが顕著である場合、圧延ロールの幅方向の荷重バランスを調整することにより、どちらか一方のエッジ部への伸びの偏りをなくすレベリング制御を行う。なお、ここで述べる形状とは、主に鋼板の圧延時に、当該鋼板の幅方向に局所的に発生する長手方向の板伸びのことを指し、具体的には「中央部の伸び」と、「エッジ部の伸び」とがある。

[0007] 仕上げ圧延出側直後で鋼板の形状を測定する技術としては、棒状光源や磁気センサを用いる方法等、過去に様々な技術が提案されている。その中で特に有力な手法として、例えば特許文献1～3には、レーザーを用いて対象表面に点状または線状の光線を照射し、その反射光を測定することで形状を測定する手法が開示されている。

[0008] 更に、特許文献4には、レーザー照射方式に対して、ラインの長手方向が鋼板の搬送方向に対して直交するような3本のラインレーザーを用いる技術が開示されている。特許文献4で開示された技術では、鋼板の長手方向に対して、等間隔に3本の線となるようにラインレーザーを平行に照射し、その反射画像を取得して各レーザーのプロファイルを比較することで、鋼板の上下振動の影響を除去している。

[0009] また、特許文献5～7および非特許文献1には、強力なLED光源を用いて複数のラインからなる縞パターンを対象表面に照射することで、レーザーよりも安価に照射するライン数を増加させ、鏡面性や対象の傾きによらず安定して形状を測定する技術等が開示されている。

[0010] なお、このような製造中の鋼板の形状測定のニーズは、熱延鋼板だけでなく、赤熱した状態（例えば600℃以上）、温間の状態（例えば300℃～600℃）、冷間状態（例えば常温付近）にかかわらず、他の帯状物体の素材にも存在する。なお、ここで述べる「帯状物体」とは、長尺な素材を指す。帯状物体としては、例えば鉄、紙、布、アルミ等の非鉄金属等のように最終的にロール状に巻き取る製品に加えて、厚鋼板等の長方形の板に成形される製品等も含まれる。

## 先行技術文献

### 特許文献

- [0011] 特許文献1：特開昭56-124006号公報  
特許文献2：特開昭55-40924号公報  
特許文献3：特開昭58-11708号公報  
特許文献4：特開昭61-40503号公報  
特許文献5：特開2008-58036号公報  
特許文献6：特開2011-99821号公報  
特許文献7：特開2016-65863号公報

### 非特許文献

- [0012] 非特許文献1：伊勢居，他3名，“LEDドットパターン投影法による熱延鋼板平坦度計の開発”、鉄と鋼、一般社団法人日本鉄鋼協会、2019年、105巻1号、p. 20-29  
非特許文献2：金重，“放射温度計による熱測定”，成形加工，一般社団法人プラスチック成形加工学会，2020年，32巻4号，p. 121-124

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

- [0013] 特許文献1～7で開示された技術は、いずれも熱延鋼板に対して光源を用いて光を照射し、その反射光をカメラで捉えることで対象の形状を計測する手法である。しかしながら、例えば輻射熱による高温の影響や、蒸気、粉じん、オイル等が鋼板に付着すること等を考慮すると、搬送中の鋼板に光源やセンサを近づけた状態で長期かつ安定的に計測するためには、高度な技術が必要となり、メンテナンスコストも高額となる。
- [0014] これを防ぐには、光源を対象から離すことが考えられるが、光が拡散して光量が低下してしまうため、光量を確保するために安定して集光する光学系の設計が難しい。その他、磁気センサ等を利用する可能性もあるが、測定対象にセンサ自体を近づける必要があり、同様に設置や性能維持が困難である。
- [0015] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、帯状物体のエッジ部を対象として、光源やセンサを測定対象に近づけることなく容易に安定運用でき、メンテナンスコストも抑制することができる帯状物体の形状測定方法、帯状物体の形状制御方法、帯状物体の製造方法、帯状物体の品質管理方法、帯状物体の形状測定装置および帯状物体の製造設備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

- [0016] (1) 本発明に係る帯状物体の形状測定方法は、帯状物体の形状を測定する形状測定方法であって、
- 前記帯状物体の表面の基準面である平面 $\alpha$ とカメラの光軸とがなす角 $\theta$ が、90度とならないように、
- かつ、前記カメラの光軸の前記平面 $\alpha$ への正射影と前記帯状物体の搬送方向 $p$ とがなす角 $\phi$ が、0度とならないように、
- 前記帯状物体の熱輻射光の画像を撮像する撮像ステップと、
- 得られた画像から前記帯状物体の輪郭プロフィールを算出することにより、
- 前記帯状物体のエッジ部の形状の指標を算出する画像処理ステップと、

を含むものである。

[0017] (2) また、本発明に係る帯状物体の形状測定方法は、上記(1)に記載の帯状物体の形状測定方法において、

前記画像処理ステップは、

得られた画像から前記帯状物体の領域を抽出し、

抽出した領域において、前記エッジ部の位置を算出することにより、前記帯状物体の輪郭プロファイルを算出するものである。

[0018] (3) また、本発明に係る帯状物体の形状測定方法は、上記(1)または(2)に記載の帯状物体の形状測定方法において、

前記画像処理ステップは、得られた前記帯状物体の輪郭プロファイルから、前記帯状物体のエッジ部の急峻度、波高さ、波ピッチ、伸び量、伸び率のいずれか一つ以上を、前記指標として算出するものである。

[0019] (4) また、本発明に係る帯状物体の形状測定方法は、上記(1)から(3)のいずれか一項に記載の帯状物体の形状測定方法において、

前記画像処理ステップは、前記カメラと前記帯状物体との位置関係から、波高さ方向および波ピッチ方向の分解能を算出し、実際の寸法に換算するものである。

[0020] (5) また、本発明に係る帯状物体の形状制御方法は、上記(1)から(4)のいずれか一項に記載の帯状物体の形状測定方法によって前記帯状物体の形状を測定し、その測定結果に基づいて前記帯状物体の形状が所望の形状となるように制御するものである。

[0021] (6) また、本発明に係る帯状物体の製造方法は、上記(1)から(4)のいずれか一項に記載の帯状物体の形状測定方法によって前記帯状物体の形状を測定し、その測定結果に基づいて前記帯状物体を製造するものである。

[0022] (7) また、本発明に係る帯状物体の品質管理方法は、上記(1)から(4)のいずれか一項に記載の帯状物体の形状測定方法によって前記帯状物体の形状を測定し、その測定結果に基づいて前記帯状物体の品質を管理するものである。

[0023] (8) また、本発明に係る帯状物体の形状測定装置は、帯状物体の形状を測定する形状測定装置であって、

前記帯状物体の表面の基準面である平面 $\alpha$ とカメラの光軸とがなす角 $\theta$ が、90度とならないように、

かつ、前記カメラの光軸の前記平面 $\alpha$ への正射影と前記帯状物体の搬送方向 $p$ とがなす角 $\phi$ が、0度とならないように、

前記帯状物体の熱輻射光の画像を撮像する撮像手段と、

得られた画像から前記帯状物体の輪郭プロフィールを算出することにより、前記帯状物体のエッジ部の形状の指標を算出する画像処理手段と、

を備えるものである。

[0024] (9) また、本発明に係る帯状物体の製造設備は、上記(8)に記載の帯状物体の形状測定装置を備えるものである。

### 発明の効果

[0025] 本発明に係る帯状物体の形状測定方法、帯状物体の形状制御方法、帯状物体の製造方法、帯状物体の品質管理方法、帯状物体の形状測定装置および帯状物体の製造設備によれば、光源やセンサを測定対象に近づけることなく容易に安定運用でき、メンテナンスコストも抑制することができる。

### 図面の簡単な説明

[0026] [図1]図1は、本発明の実施形態に係る帯状物体の形状測定装置の概略的な構成を示す図である。

[図2]図2は、鋼板の搬送方向とカメラとの位置関係の一例を示す図であり、

(a)は当該位置関係を斜めから見た図であり、(b)は当該位置関係を上から見た図であり、(c)は当該位置関係を(b)の方向 $\delta$ から見た図である。

[図3]図3は、鋼板の搬送方向とカメラとの位置関係の一例であって、鋼板の搬送方向に対してカメラの光軸を垂直に配置した場合を示す図である。

[図4]図4は、鋼板の搬送方向とカメラとの位置関係の一例であって、鋼板の搬送方向に対してカメラの光軸を斜めに配置した場合を示す図である。

[図5]図5は、正常時および形状不良時の鋼板の画像の一例を示す図である。

[図6]図6は、本発明の実施形態に係る帯状物体の形状測定装置の画像処理装置による画像処理ステップの具体的な処理の流れを示すフローチャートである。

[図7]図7は、本発明の実施形態に係る帯状物体の形状測定方法の画像処理ステップにおける二値化処理を説明するための図である。

[図8]図8は、本発明の実施形態に係る帯状物体の形状測定方法の画像処理ステップにおける輪郭プロファイル算出処理を説明するための図である。

[図9]図9は、鋼板に発生したウェーピングの撮影例を示している。

[図10]図10は、鋼板に発生した固定波の撮影例を示している。

[図11]図11は、鋼板の板面と構造物との判別が難しい場合の一例を示す図である。

[図12]図12は、本発明の実施形態に係る帯状物体の形状測定方法において、鋼板の板面と構造物との判別が難しい場合に実施されるローパスフィルタによる処理の一例を示す図である。

[図13]図13は、本発明の実施形態に係る帯状物体の形状測定装置を、形状合否判定に適用した場合の適用例である。

[図14]図14は、本発明の実施形態に係る帯状物体の形状測定装置を、圧延フィードバック制御に適用した場合の適用例である。

[図15]図15は、本発明の実施形態に係る帯状物体の形状測定装置を、機械学習を用いた圧延制御に適用した場合の適用例である。

### 発明を実施するための形態

[0027] 本発明の実施形態に係る帯状物体の形状測定方法、帯状物体の形状制御方法、帯状物体の製造方法、帯状物体の品質管理方法、帯状物体の形状測定装置および帯状物体の製造設備について、図面を参照しながら説明する。なお、下記実施形態における構成要素には、当業者が置換可能かつ容易なもの、あるいは実質的に同一のものが含まれる。

[0028] (形状測定装置)

実施形態に係る帯状物体の形状測定装置について、図1～図12を参照しながら説明する。形状測定装置は、帯状物体の形状を測定するための装置である。以下では、形状測定装置を熱間仕上げ圧延に適用した場合について説明する。また、以下では、測定対象である帯状物体が鋼板である場合について説明する。また、以下では、形状測定装置が測定する形状が、鋼板のエッジ部の伸びである場合について説明する。

[0029] 実施形態に係る形状測定装置は、図1に示すように、カメラ2と、画像処理装置3と、を備えている。まず、カメラ2の詳細について説明する。

[0030] カメラ2は、後記するように、「当該カメラ2の光軸」と「当該帯状物体（鋼板S）の基準面である平面（平面 $\alpha$ ）」とがなす角 $\theta$ が、90度とならないように、かつ「当該カメラ2の光軸の当該平面 $\alpha$ への正射影」と「当該帯状物体（鋼板S）の搬送方向p」とがなす角 $\phi$ が、0度とならないように、配置される（図2参照）。そして、このように配置したカメラ2を用いて、圧延ロール1によって圧延された、熱間仕上げ圧延出側の鋼板Sの熱輻射光の画像を撮像する。

[0031] カメラ2として、一般向けに販売されているデジタルカメラ等を用いると、像にブレが生じたり、画像が粗くなったり等の問題が発生し、鋼板Sの形状を鮮明に撮像することできない。そこで、カメラ2によって鋼板Sの形状を精度よく捉えるための技術的なポイント（1）～（4）について、以下で説明する。

[0032] （1）撮像時の光量の確保

第一に、鮮明な画像を得るための光量を確保する。熱間仕上げ圧延出側では、例えば20m/s以上の速度で鋼板Sが通板されることもあるため、非常に高速である。高速な対象をブレなく鮮明に捉えるためには、露光時間を短くすることが好ましい。例えば20m/sで2mm程度の分解能、画素ブレ量を1画素、すなわち2mm以内で撮像する場合、許容される露光時間はわずか0.1msとなり、露光時間に比例する受光量も非常に小さくなる。

[0033] また、熱間仕上げ圧延出側における鋼板温度は約900℃である。上記の

非特許文献2の図5に示されている通り、約900℃（1200K）の熱輻射光のピーク波長は2.5 $\mu\text{m}$ となり、可視領域（0.4~0.7 $\mu\text{m}$ ）では感度が低い。そのため、カメラ2としては、InGaAs、PbS、PbSe等の撮像素子を備えるものを用いることが好ましい。

[0034] 一方、InGaAs、PbS、PbSe等の撮像素子を用いたカメラは高額であり、更に解像度に応じて価格がより高額となるため、高分解能で撮像しようとする導入コストが高くなる。そこで、カメラ2として、安価なSiの撮像素子を備えたものであって、近赤外感度領域0.8~1.0 $\mu\text{m}$ を使用可能なものを用いることが好ましい。このようなカメラ2を用いることにより、十分な熱輻射光の光量を安価で得ることが可能となる。

[0035] なお、より低温の対象に対して本手法を適用する場合は、より長波長側に感度を持つ撮像素子を備えるカメラ2を用いることが好ましい。例えば測定対象が400℃程度である場合、導入コストを考慮しなければ、1.2~1.7 $\mu\text{m}$ に感度を持つInGaAsの撮像素子を備えるカメラ2を用いることができる。また、測定対象が200℃程度である場合、3~5 $\mu\text{m}$ に感度を持つPbS、PbSe等の撮像素子を備えるカメラ2を用いることができる。これにより、十分な光量を確保することができる。このように、測定対象の搬送速度、分解能、温度、後記する被写界深度等に応じて、適した波長帯に感度を持つ撮像素子を備えるカメラ2を選定することが好ましい。

[0036] (2) 鋼板とカメラとの位置関係

第二に、鋼板Sの形状を鮮明に撮像するために、測定対象の鋼板Sとカメラ2との位置関係を検討する。ここで、鋼板Sのエッジ伸びに着目し、エッジ部の形状変化を鋼板Sの輪郭として捉えることを考える。鋼板Sの搬送方向pとカメラ2との位置関係の一例を図2に示す。図2において、(a)は当該位置関係を斜めから見た図であり、(b)は当該位置関係を上から見た図であり、(c)は当該位置関係を(b)の方向 $\delta_n$ から見た図である。ここで方向 $\delta_n$ は、カメラ2の光軸を真横から見る方向である。このような方向 $\delta_n$ を定義することにより、後述する受光角 $\theta$ の大きさを正確に見

ることができる。

[0037] 図2の(a)、(b)、(c)において、鋼板Sの搬送テーブルと平行な平面を $\alpha$ とし、鋼板Sの搬送方向 $p$ と該搬送テーブルの法線 $n$ とを含む平面を $\beta$ とする。更に、カメラ2の光軸と平面 $\alpha$ とがなす角を $\theta$ （受光角 $\theta$ ）とし、当該カメラ2の光軸の平面 $\alpha$ への正射影と搬送方向 $p$ とがなす角を $\phi$ とする。なお、平面 $\alpha$ は、当該帯状物体（鋼板S）がほぼ平らな形状で安定して搬送された状態での、当該帯状物体（鋼板S）の表面を含む。そのため、平面 $\alpha$ は、当該帯状物体（鋼板S）の表面の基準面ともいう。

[0038] また、搬送テーブルの法線 $n$ の方向は、搬送される鋼板Sがほぼ平らな形状で安定して搬送された状態の、鋼板Sの表面の法線方向と同一である。そのため、平面 $\alpha$ は、当該帯状物体（鋼板S）の搬送方向 $p$ を含むとともに、当該帯状物体（鋼板S）の表面の法線方向に対し直角である。また、平面 $\beta$ は、当該帯状物体（鋼板S）の搬送方向 $p$ と当該帯状物体（鋼板S）の表面の法線方向とを含む平面でもある。また、図2において、平面 $\alpha$ と光軸との交点を点0とする。また、鋼板の搬送方向に垂直な平面を平面 $\gamma$ とする。すなわち、前述の角 $\phi$ が90度に近づく程、平面 $\gamma$ と光軸とが平行に近づく。

[0039] 図2において、測定対象である鋼板Sの位置におけるカメラ2の分解能を「 $r$ （mm／画素）」とした場合、波高さ方向の分解能 $r_n$ （mm／画素）および波ピッチ方向の分解能 $r_p$ （mm／画素）は、下記式（1）および下記式（2）のように示すことができる。なお、分解能は、その数値が小さい程、分解能が高いことを示している。

$$[0040] \quad r_n = r / \cos \theta \quad \dots (1)$$

$$r_p = r / \sin \phi \quad \dots (2)$$

[0041] 受光角 $\theta$ が90度に近い場合、すなわちカメラ2の光軸が、鋼板Sの搬送テーブルと平行な平面 $\alpha$ に対して垂直に近い状態で撮像すると、波高さ方向の分解能 $r_n$ が低下し、エッジ部の輪郭の変化を捉えることが難しくなる。従って、受光角 $\theta$ は0度に近い程好ましい。同様に、角 $\phi$ が0度に近い場合、すなわちカメラ2の光軸が、鋼板Sの搬送方向 $p$ に対して平行に近い状態で

撮像すると、波ピッチ方向の分解能  $r_p$  が低下する。従って、角  $\phi$  は  $90$  度に近い程好ましい。特に、測定したい波高さは、波ピッチと比較して非常に小さいため、精度よく波高さを捉えるためには、受光角  $\theta$  をなるべく小さくし、鋼板  $S$  を低角で撮像することがより好ましい。

[0042] 更に、図 2 に示すように鋼板  $S$  を受光角  $\theta$  に対し低角で覗き込んで撮像することにより、画像内における鋼板  $S$  の両端の距離が小さくなり、より小さい視野で両エッジ部の画像を取得できるようになる。また、対象となる視野が小さくなれば画像サイズも小さくなるため、測定対象の鋼板  $S$  の搬送速度が大きく、高速撮像や画像処理が必要となったときに優位となる。

[0043] また、熱延鋼板において、波ピッチは波高さに比べて十分大きいいため、波ピッチ方向の分解能  $r_p$  を、波高さ方向の分解能  $r_n$  よりも小さくしてもよい。従って、例えば図 3 に示すように、角  $\phi$  を  $90$  度にする、すなわち鋼板  $S$  の搬送方向に対してカメラ 2 を垂直に配置し、横方向から覗き込むことが好ましい。但し、角  $\phi$  が極端に小さくなければ、例えば図 4 に示すように、鋼板  $S$  の搬送方向に対してカメラ 2 を斜めに設置してもよい。

[0044] (3) 鋼板とカメラとの距離

第三として、測定対象の鋼板  $S$  とカメラ 2 との距離を大きくとる。その理由は、カメラ 2 を製造ラインからなるべく離すことにより、良好な環境に設置できるとともに、鋼板  $S$  の板幅方向、すなわち両エッジ部における受光角  $\theta$  や角  $\phi$  等の光学条件の差を小さくすることができるためである。鋼板  $S$  の板幅方向で光学条件に差がある場合、見え方の違いとして現れる。そのため、目視で判断する場合は形状不良の程度を見誤るおそれがあり、画像処理により形状不良の程度を定量化する場合はより大きい補正が要求される。距離を大きくとるには、撮像の際に望遠レンズを用いることが好ましい。望遠レンズを用いることにより、光学条件の差を小さくすることができる。

[0045] (4) 適正な絞り値の設定

第四として、被写界深度を確保するために、カメラ 2 の絞り値を適正に定める。例えば鋼板  $S$  の手前側（下側）および奥側（上側）の両エッジ部に

けて、板全面を撮像しようとした場合を仮定する。この場合、鋼板Sの板幅をd (mm) とすると、カメラ2から手前側のエッジ部までの距離と、カメラ2から奥側のエッジ部までの距離との差 $\Delta L$  (mm) は、下記式(3)により表すことができる。

[0046]  $\Delta L = d \cos \theta / \sin \phi \dots (3)$

[0047] 鋼板Sの両エッジ部にピントが合った画像を取得するためには、少なくとも被写界深度(ピントの合う範囲)が、 $\Delta L d$  (mm) 以上必要となる。絞り値を大きくする程、被写体深度が大きくなるため、絞りを $\Delta L d$  (mm) 以上に設定することが好ましいが、絞り値を大きくすると光量が不足するため、ブレが発生する懸念がある。そこで、測定対象の鋼板Sの搬送速度や必要な分解能に応じて、ブレと被写界深度とを両立できるような絞り値および焦点距離を決定することが好ましい。続いて、画像処理装置3について説明する。

[0048] 画像処理装置3は、例えばワークステーションやパソコン等の汎用コンピュータ等により実現される。この画像処理装置3は、カメラ2の近くに設置してもよく、高速性が不要であれば、クラウド上に設置してもよい。

[0049] 画像処理装置3は、後記するように、カメラ2によって撮像して得られた画像から鋼板Sの輪郭プロファイルを算出することにより、鋼板Sのエッジ部の形状の指標を算出する。また、画像処理装置3は、後記するように、画像から鋼板Sの領域を抽出し(図6のステップS1)、抽出した領域において、エッジ部の位置を算出することにより、鋼板Sの帯状物体の輪郭プロファイルを算出する(図6のステップS4)。また、画像処理装置3は、後記するように、鋼板Sの輪郭プロファイルから、当該鋼板Sのエッジ部の急峻度、波高さ、波ピッチ、伸び量、伸び率のいずれか一つ以上を適宜選択して、上記の指標として算出する。以下では、画像処理装置3を用いてカメラ2から得た画像から鋼板Sのエッジ部の形状の指標を算出する処理について説明する。

[0050] 図5の(a)は、正常時の鋼板Sの画像を示しており、図5の(b)は、

板伸びによる形状不良発生時の鋼板 S の画像を示している。図 5 に示すように、板伸び（中でも帯状物体のエッジ部の伸び）の状況を目視で判断可能である。画像処理装置 3 は、取得した鋼板 S の画像から、例えば図 6 に示す手順により、当該鋼板 S のエッジ部の指標を算出する。なお、以下では、説明の便宜上、画像の縦軸および横軸について、鋼板 S の搬送方向に対して平行に近いほうの軸を横軸とする。

[0051] まず、図 7 に示すように、二値化処理によって鋼板 S の板領域のみを抽出する（図 6 のステップ S 1）。図 7 の（a）は、二値化処理前の画像であり、図 7 の（b）は、二値化処理後の画像である。

[0052] このとき、板面上の水乗りや冷却水の飛沫等により、板面上の輝度が局所的に低下したり、あるいは板上部の空間に飛び散った飛沫が鋼板 S からの熱輻射光を散乱させて明るく光ったりする、等の外乱が生じる場合がある。これらの外乱は、算出したい形状のピッチに対して高周波帯かつ微小であることが多いため、二値化処理ステップで抽出した板領域に対して、膨張・収縮処理やメディアンフィルタ等による連結・孤立点除去（図 6 のステップ S 2）を行うことが望ましい。

[0053] また、連結・孤立点除去の後に、板領域の候補となるブロブ（二値化した際に周囲の画素を連結して認識させた塊）が複数発生する場合がある。この場合は、ブロブを抽出したり（図 6 のステップ S 3）、鋼板 S の大きさや向き等に基づいて板領域であるかどうかを判定したりすることにより、板領域を確定してもよい。

[0054] 続いて、上記のように得た鋼板 S の板領域から、両エッジ部の輪郭プロフィールを算出する（図 6 のステップ S 4）。エッジ部の輪郭プロフィールの算出方法としては様々な方法が考えられるが、一例として、探索によってエッジ部の輪郭を抽出する方法を図 8 に示す。図 8 の（a）は、エッジ部の輪郭を探索する様子を示す図であり、図 8 の（b）は、抽出したエッジ部の輪郭を示す図である。

[0055] 図 8 の（a）のように、画像における板領域外から板領域に向かって探索

を行い、板領域に差し掛かった座標を記録してもよいし、反対に、板領域内から板領域外に探索を行ってもよい。本実施形態では、画像上の横軸各点において、縦方向に輪郭を探索することにより、上側エッジ部および下側エッジ部の輪郭プロファイルを一次元ベクトルとして算出した。

[0056] ここで、撮像ステップで得られた画像は、鋼板Sの搬送方向に対して斜めに撮像されているため、波高さ方向と波ピッチ方向とで分解能が異なる。そこで、得られた画像上の輪郭プロファイルに対して、波高さ方向と波ピッチ方向とで、別々に分解能の補正を行う（図6のステップS5）。

[0057] ステップS5では、具体的には、まず鋼板Sの長手方向と横軸とが一致するように、カメラ2光軸の傾きを回転処理によって補正する。波高さ方向、すなわち縦軸の分解能が「 $r_n$  (mm/画素)」であり、波ピッチ方向、すなわち横軸の分解能が「 $r_p$  (mm/画素)」であるため、鋼板Sの輪郭プロファイルに変換することができる。

[0058] 更に、手前側のエッジ部と奥側のエッジ部とで、カメラ2からの距離が異なるため、実際には分解能が変化する。従って、手前側のエッジ部の位置と、奥側のエッジ部の位置とにおいて、カメラ2からの距離に応じて、分解能を別々に算出して補正してもよい。すなわち、カメラ2と鋼板Sとの位置関係から、波高さ方向および波ピッチ方向の分解能を算出し、実際の寸法に換算してもよい。

[0059] また、得られたエッジ部の輪郭プロファイルに対して上記のような処理を行わず、カメラ2の姿勢パラメータを用いて座標変換を行い、平面 $\beta$ （図2参照）への正射影を求めることにより、鋼板Sの輪郭プロファイルを算出してもよい。これにより、カメラ2の全視野で厳密な幾何補正を行うことが可能となる。

[0060] また、鋼板Sの板伸びの波ピッチや周期はほぼ決まっているため、それら以外の周波数成分を除去するローパスフィルタやバンドパスフィルタをかけることにより、エッジ部の輪郭プロファイルから形状に寄与しないノイズを除去してもよい。

[0061] 続いて、上記のように得た鋼板Sのエッジ部の輪郭プロファイルから、当該エッジ部の形状の指標を算出する（図6のステップS6）。エッジ部の形状の指標は、波高さと波ピッチとの比である急峻度と呼ばれるパラメータで議論されることが多いが、波高さ、波ピッチ、伸び量、伸び率等から一つ以上を適宜選択して指標としてもよい。鋼板Sのエッジ部の形状の指標の算出方法としては、様々な手法が挙げられるが、代表的な方法として例えば以下の(i)～(iii)を挙げることができる。

[0062] (i) 極大点および極小点を算出し、画像の縦方向の距離を波高さ、横方向の距離を波ピッチとする。急峻度は、波高さと波ピッチとの比として算出する。

(ii)  $\sin$ カーブをフィッティングし、振幅および周期から、波高さおよび波ピッチを算出する。急峻度は、波高さと波ピッチの比として算出する。

(iii) 輪郭長さから板伸びの伸び量、伸び率を算出し、上記の非特許文献2の手法により急峻度を直接算出する。

[0063] このようにして得られた鋼板Sのエッジ部の形状の指標を用いることにより、圧延時のパラメータ制御やフィードバック制御、更にコイルの板形状の合否判定を実施することが可能となる。なお、鋼板Sの輪郭プロファイルから形状の指標を算出するだけでなく、例えば画像上の輪郭プロファイルから、波高さ、波周期、急峻度、伸び量、伸び率等を算出し、後から波高さ方向の分解能  $r_n$  (mm/画素) や波ピッチ方向の分解能  $r_p$  (mm/画素) を用いて補正してもよい。

[0064] 更に、鋼板Sの搬送時の挙動として、板伸び（中でも帯状物体のエッジ部の伸び）が発生していなくとも別の曲線を検出してしまう場合がある。例えば、瞬間的に鋼板Sが浮き上がり大きな波となる現象（ウェービングと呼ぶ）や、視野内で波の形態が変わらないまま鋼板Sが搬送され続ける現象（固定波と呼ぶ）等がある。これらの現象は、板伸びとは異なるため、検出結果から除外することが好ましい。そこで、以下では、板伸びとウェービングおよ

び固定波との区別方法について説明する。

[0065] ウェーピングは、搬送中に鋼板Sの搬送速度が加速した時に発生する現象であり、ある板状の点の上流側と下流側とで、下流側の速度が上流側より大きくなったときに、行き所がなくなった板が上部に跳ねて大きな波となる現象である。この現象は、板エッジ部の形状が平らであり、板伸びが発生していなくても起きるため、板伸び起因の形状とは区別する必要がある。

[0066] ウェーピングの特徴として、波ピッチが非常に大きい、波高さが突如非常に大きくなる、前後の波と比較して波ピッチや波高さが急激に大きくなる、等が挙げられる。従って、波ピッチや波高さを直接算出することができる方法であれば、それらが急激に大きくなる場合は板伸びではなくウェーピングである判定することができる。そして、ウェーピングと判定された期間のデータをマスキングする、または前後のデータで穴埋めを行う等の処理を行う。これにより、板伸びの検出結果からウェーピングを除外することができ、当該ウェーピングによる計測結果への影響を低減することが可能となる。

[0067] また、鋼板Sの輪郭から板伸び量を算出する等、波高さや波ピッチを直接算出しない指標に関しても、ウェーピングの特徴を用いて区別することが可能となる。例えば、画像内の視野全体を使わなくとも、例えば図9に示すように、視野内の鋼板Sの長手方向1点の輪郭位置を監視し、当該輪郭位置の変動が極端に大きいときにウェーピングと判定してもよい。

[0068] 輪郭位置の変動を利用したウェーピングの判定方法について、図9を参照しながら説明する。図9の(a)～(e)は、鋼板Sのウェーピングの撮影例を示している。また、図9では、時間順に、(a)、(b)、(c)、(d)、(e)の順に並べている。ウェーピングの判定は、具体的には以下の(1)～(3)のような手順で行うことができる。

[0069] (1) 画像幅方向の位置 $X_t$ を一箇所決定する。

(2) (1)で決定した画像幅方向位置 $X_t$ に対して、各画像の下側輪郭位置 $Y_t$ を算出する。この下側輪郭位置 $Y_t$ は、画像横方向中央における下側の輪郭位置である。

(3) 算出した下側輪郭位置  $Y_t$  の変動を監視し、大きく変動した箇所を検出する。

[0070] 図9の下部の図(f)は、下側輪郭位置  $Y_t$  を時系列順にプロットした模式図を示している。このような模式図を用いて、ウェーピングの有無を判定することができる。また、ウェーピングの判定方法として、下側輪郭位置  $Y_t$  の推移について、一定区間における極大値および極小値の個数を監視し、これらの個数が突然減少した場合にウェーピング有りとして判定してもよい。

[0071] なお、図9の例では、下側輪郭位置  $Y_t$  を用いてウェーピングの有無を判定しているが、上側輪郭位置を用いてウェーピングの有無を判定してもよい。また、ウェーピングは、鋼板Sの両エッジに対して独立して発生する可能性もある。そのため、上側輪郭位置および下側輪郭位置をそれぞれ監視して、ウェーピングの有無を判定することが好ましい。

[0072] 次に、固定波の判定方法について説明する。固定波は、波の形態が変わらないまま、鋼板Sが搬送され続ける現象である。カメラ2の視野内においては、鋼板Sの輪郭の位置および形状が一定時間変化しないように観察される。これは、ウェーピングと同様に、搬送ライン前方の板速が定常的に低下しており、余った鋼板Sが上側に曲がることによって常に輪郭が曲線となる現象である。固定波は、ウェーピングと同様に、板伸びが発生していなくても起きるため、板伸び起因の形状とは区別する必要がある。

[0073] 固定波は、文字通り時間方向に定常的な輪郭（輪郭が変わらない）が発生するため、一定時間前後の輪郭形状を比較し、その変化量を算出することにより、固定波を検出することが可能となる。例えば、輪郭プロファイル間で絶対値の差分をとり、その和や二乗和が閾値を下回った場合に固定波と判定する。そして、固定波と判定された期間のデータをマスキングする、また前後のデータで穴埋めを行う等の処理を行う。これにより、板伸びの検出結果から固定波を除外することができ、当該固定波による計測結果への影響を低減することが可能となる。

[0074] また、ウェーピングと同様に、画像内の視野全体を使わなくとも、例えば

図10に示すように、視野内の鋼板Sの長手方向1点の輪郭位置を監視し、当該輪郭位置の変動が極端に変化しないときに固定波と判定してもよい。

[0075] 輪郭位置の変動を利用した固定波の判定方法について、図10を参照しながら説明する。図10の(a)～(e)は、鋼板Sの固定波の撮影例を示している。また、図10では、時間順に、(a)、(b)、(c)、(d)、(e)の順に並べている。固定波の判定は、具体的には以下の(1)～(3)のような手順で行うことができる。

[0076] (1) 画像幅方向の位置 $X_{2t}$ を一箇所決定する。

(2) (1)で決定した画像幅方向位置 $X_{2t}$ に対して、各画像の上側輪郭位置 $Y_{2t}$ を算出する。この上側輪郭位置 $Y_{2t}$ は、画像横方向中央における上側の輪郭位置である。

(3) 算出した上側輪郭位置 $Y_{2t}$ の変動を監視し、ほぼ変動しない箇所を検出する。

[0077] 図10の下部の図(f)は、上側輪郭位置 $Y_{2t}$ を時系列順にプロットした模式図を示している。このような模式図を用いて、固定波の有無を判定することができる。また、固定波の判定方法として、上側輪郭位置 $Y_{2t}$ の推移について、一定区間における標準偏差を監視し、標準偏差が閾値を下回る箇所を固定波と判定してもよい。更に、一定区間内における最大値と最小値の差を監視し、閾値を下回る箇所を固定波と判定してもよい。

[0078] なお、図10の例では、上側輪郭位置 $Y_{2t}$ を用いて固定波の有無を判定しているが、下側輪郭位置を用いて固定波の有無を判定してもよい。また、固定波は、両エッジに対して独立して発生する可能性がある。そのため、上側輪郭位置および下側輪郭位置をそれぞれ監視して固定波の有無を判定することが好ましい。

[0079] 一方、鋼板Sの形状に波が発生していないフラットな状態の時ににおいても、一定時間前後の輪郭形状は変化しない。このときは固定波でなく、鋼板Sの形状も通板の状態も良好である。固定波は、板詰まりによる通板不良の一種であり、程度がひどいときは設備に接触してトラブルの要因となるため、

自動的に検出できることが好ましい。

[0080] そこで、輪郭形状の変化量を用いた評価に板伸びの発生の有無の情報を加えることにより、固定波が発生しているかどうかを判定することも可能となる。例えば、輪郭形状の変化量が大きくても、板伸びの指標が閾値以下の時は固定波と判定せず、閾値以上の時のみに固定波と判定する等の方法を使用することが可能である。その他にも、評価関数を設計して閾値によって判定する方法や、固定波かどうかを目視で判定させて正解データとし、機械学習を用いて固定波かどうかを判定する判定機を作成して判定してもよい。

[0081] なお、上記のステップS1の二値化処理にあたり、測定対象の温度によって熱輻射光の明るさが異なる。そのため、二値化処理を固定値で実施すると、鋼板Sが明るいときには背景の一部を板領域として検出してしまう、反対に、鋼板Sが暗いときには背景を検出できない、といった課題が存在する。

[0082] このような課題に対しては、輝度補正を実施することが望ましい。輝度補正の方法としては、例えば画像全体の輝度の最大値、平均値、中央値、パーセンタイル等の代表値が目標値となるように、画像全体の輝度に固定値を乗算する方法が挙げられる。また、乗算の前に暗電流補正をしてもよい。

[0083] また、例えば図11に示すように、鋼板Sから発せられた熱輻射光が搬送ロールやテーブルなどの構造物に照射され、構造物が画像内で明るく撮像されることで、板面との区別が難しい場合が存在する。この場合、画像上において、板面は熱輻射光を直接受光するため明るい、構造物は板面から発せられた熱輻射光の反射であるため、板面よりも暗い場合が多い。

[0084] そこで、上記の輝度補正を実施して構造物と板を切り分けることができるような二値化閾値を固定値で決定してもよいが、画像全体のヒストグラムの形状から、谷となる部分を自動で検出することで、より安定して検出することが可能となる。谷となる部分を検出する際は、例えば図12に示すように、輝度ヒストグラムそのものに、ローパスフィルタをかけることにより、微分処理や探索処理等で安定して極小値を算出することが可能となる。図12の(a)は、輝度ヒストグラムの例であり、横軸に輝度、縦軸に画素数Nを

取ったグラフである。図12の(b)は、当該輝度ヒストグラムの輝度方向にローパスフィルタをかけた例である。なお、ヒストグラムで谷となる部分は、板面部および構造物の境界と、構造物および背景の境界との二か所があるため、二つの谷の大きい方を選定することが好ましい。図12の(b)内において、点線で区切った箇所が、二値化閾値に相当する。

[0085] また、本実施形態では、カメラ2の画像を画像処理装置3で処理して鋼板Sのエッジ部の形状の指標を算出する場合の例を説明したが、単純に得られたカメラ画像をそのまま作業者に提示して圧延制御にフィードバックしてもよい。

[0086] また、機械学習による判別機を用いて、画像から鋼板Sのエッジ部の形状の指標を推定してもよい。具体的には、まず得られた鋼板Sの画像に対して、目視または何らかの他の手法で測定したエッジ部の形状の指標を正解として紐づけて学習データを作成する。そして、作成した学習データと機械学習手法を用いて、画像を入力としてエッジ部の形状の指標を出力とする判別機を生成し、この判別機を用いて、対象となる鋼板Sのエッジ部の形状の指標を算出する。また、機械学習および判別機への入力データは、画像以外にも、画像から算出した特徴量でもよい。また、機械学習の手法に制限はないが、リアルタイム性を要しないのであれば、畳み込みニューラルネットワーク等を用いてもよい。

[0087] (形状合否判定への適用例)

実施形態に係る帯状物体の形状測定装置を形状合否判定に適用した例について、図13を参照しながら説明する。図13の合否判定システムは、カメラ2と、画像処理装置3と、合否判定装置6と、を備えている。

[0088] まず、画像処理装置3は、カメラ2で撮像された画像から鋼板Sのエッジ部の形状の指標(形状データ)を算出し、合否判定装置6に送信する。合否判定装置6では、上位システムから取得した鋼板情報(例えば板厚、板幅、鋼種、温度等)、鋼板Sのエッジ部の形状の指標をもとに、形状の合否を判定する。合否判定結果は、上位システムに送信される。上位システムでは、

合否判定結果をもとに、矯正必要性の有無、形状不良部切り落とし、次工程での圧延可否等の判断を実施する。このように、鋼板Sのエッジ部の形状の指標を次工程のアクションに生かすことにより、トラブル抑止や製品品質向上に寄与することができる。

[0089] (圧延フィードバック制御への適用例)

実施形態に係る帯状物体の形状測定装置を圧延フィードバック制御に適用した例について、図14を参照しながら説明する。図14の圧延制御システムは、カメラ2と、画像処理装置3と、圧延制御装置7と、を備えている。

[0090] まず、画像処理装置3は、カメラ2で撮像された画像から鋼板Sのエッジ部の形状の指標を算出し、圧延制御装置7に送信する。圧延制御装置7では、上位システムから取得した鋼板情報（例えば板厚、板幅、鋼種、温度等）、通板位置等の他計測データ、鋼板Sのエッジ部の形状の指標をもとに、エッジ部の形状の指標を用いて制御パラメータを算出する。また、圧延制御装置7は、圧延ロール1に制御信号を送信することにより、レベリング等のフィードバック制御を実施する。このようなフィードバック制御を行うことにより、製品の形状を安定化させ、形状不良そのものを削減することができる。

[0091] (機械学習を用いた圧延制御への適用例)

実施形態に係る帯状物体の形状測定装置を、機械学習を用いた圧延制御に適用した例について、図15を参照しながら説明する。図15の圧延制御システムは、カメラ2と、画像処理装置3と、圧延制御装置7と、データサーバ8と、機械学習装置9と、制御パラメータ推定装置10と、を備えている。

[0092] まず、画像処理装置3は、カメラ2で撮像された画像から鋼板Sのエッジ部の形状の指標を算出し、データサーバ8に送信する。データサーバ8には、上位システムから取得した鋼板情報（例えば板厚、板幅、鋼種、温度等）や、圧延時の制御パラメータと紐付けられた状態でエッジ部の形状の指標が蓄積される。

- [0093] これらの蓄積されたデータは、機械学習装置 9 に送信される。機械学習装置 9 では、形状不良を抑えて圧延する制御パラメータを推定するモデルを、機械学習によって構築する。推定モデルは、制御パラメータ推定装置 10 に送信され、上位システムから取得した鋼板情報をもとに、制御パラメータを推定する。制御パラメータは、圧延制御装置 7 に送信される。圧延制御装置 7 は、圧延ロール 1 に制御信号を送信することにより、レベリング等のプリセット制御を実施する。このようなプリセット制御を行うことにより、製品の形状を安定化させ、形状不良そのものを削減することができる。
- [0094] なお、本適用例では、プリセット制御における制御パラメータについて述べたが、フィードバック制御の制御パラメータを算出する場合も同様に機械学習を適用してもよい。また、プリセット制御とフィードバック制御とを組み合わせるにより、製品の形状品質をより向上させることも可能である。
- [0095] また、上記適用例の他にも、実施形態に係る帯状物体の形状測定装置を、帯状物体の製造設備の一部として設けることもできる。
- [0096] また、実施形態に係る帯状物体の形状測定方法を、帯状物体の形状制御方法に適用することもできる。この場合、上記の帯状物体の形状測定方法によって帯状物体の形状を測定し、その測定結果に基づいて、当該帯状物体の形状が所望の形状となるように制御する。
- [0097] また、実施形態に係る帯状物体の形状測定方法を、帯状物体の製造方法に適用することもできる。この場合、上記の帯状物体の形状測定方法によって帯状物体の形状を測定し、その測定結果に基づいて、当該帯状物体を製造する。
- [0098] また、実施形態に係る帯状物体の形状測定方法を、帯状物体の品質管理方法に適用することもできる。この場合、上記の帯状物体の形状測定方法によって帯状物体の形状を測定し、その測定結果に基づいて、当該帯状物体の品質を管理する。
- [0099] 以上説明した実施形態に係る帯状物体の形状測定方法、帯状物体の形状制

御方法、帯状物体の製造方法、帯状物体の品質管理方法、帯状物体の形状測定装置および帯状物体の製造設備では、以下のような効果を奏する。

[0100] まず、測定対象の鋼板Sの熱輻射光をパッシブに撮像することにより、通板中の鋼板Sの周辺に光源やセンサを設置することなく、離れた良好な設置環境から撮像を行うことができ、鋼板Sのエッジ部の形状を鮮明に捉えることができる。

[0101] また、カメラ2の撮像素子として、対象の温度に適した撮像素子を選定することにより、熱輻射光を効率よく受光することができる。例えば900℃程度の測定対象に対しては、Siの撮像素子の近赤外成分を用いることにより、感度を高めることができ、高速に搬送される鋼板Sに対しても、露光時間を短くすることにより、ブレのない鮮明な画像を取得することができる。

[0102] また、当該帯状物体（鋼板S）の表面の基準面である平面 $\alpha$ とカメラ2の光軸とがなす角 $\theta$ が、90度とならないように、かつ、当該カメラ2の光軸の当該平面 $\alpha$ への正射影と当該帯状物体（鋼板S）の搬送方向 $p$ とがなす角 $\phi$ が、0度とならないように、撮像することにより、鋼板Sの両エッジ部の輪郭を鮮明に捉え、エッジ部の形状の指標を定量的に算出することができるため、板伸びを鮮明に捉えることができる。更に、当該帯状物体（鋼板S）に対して幅方向（すなわち角 $\phi$ が90度に近い方向）から、撮像すれば、より高い効果が得られる。または低角（すなわち角 $\theta$ が0度に近い方向）で撮像することにより、より高い効果が得られる。もちろん、角 $\phi$ が90度に近い方向から、かつ角 $\theta$ が0度に近い方向とすれば、更に高い効果が得られる。

[0103] また、本発明では、熱間圧延工程の仕上げ圧延出側の鋼板Sを対象に説明を行ったが、厚鋼板、スラブといったその他の高温の板状鋼材に対しても適用可能なことはいうまでもない。また、本発明は、測定対象の熱輻射光を得られるのであれば、鉄鋼プロセスの帯状物体だけではなく、材料の異なる様々な帯状の物体に適用できることはいうまでもない。また、本発明は、帯状物体のエッジ部の伸びを形状測定の対象とした場合に、より大きな効果が得

られて、好ましい。

[0104] 以上、本発明に係る帯状物体の形状測定方法、帯状物体の形状制御方法、帯状物体の製造方法、帯状物体の品質管理方法、帯状物体の形状測定装置および帯状物体の製造設備について、発明を実施するための形態および実施例により具体的に説明したが、本発明の趣旨はこれらの記載に限定されるものではなく、請求の範囲の記載に基づいて広く解釈されなければならない。また、これらの記載に基づいて種々変更、改変等したのも本発明の趣旨に含まれることはいうまでもない。

### 符号の説明

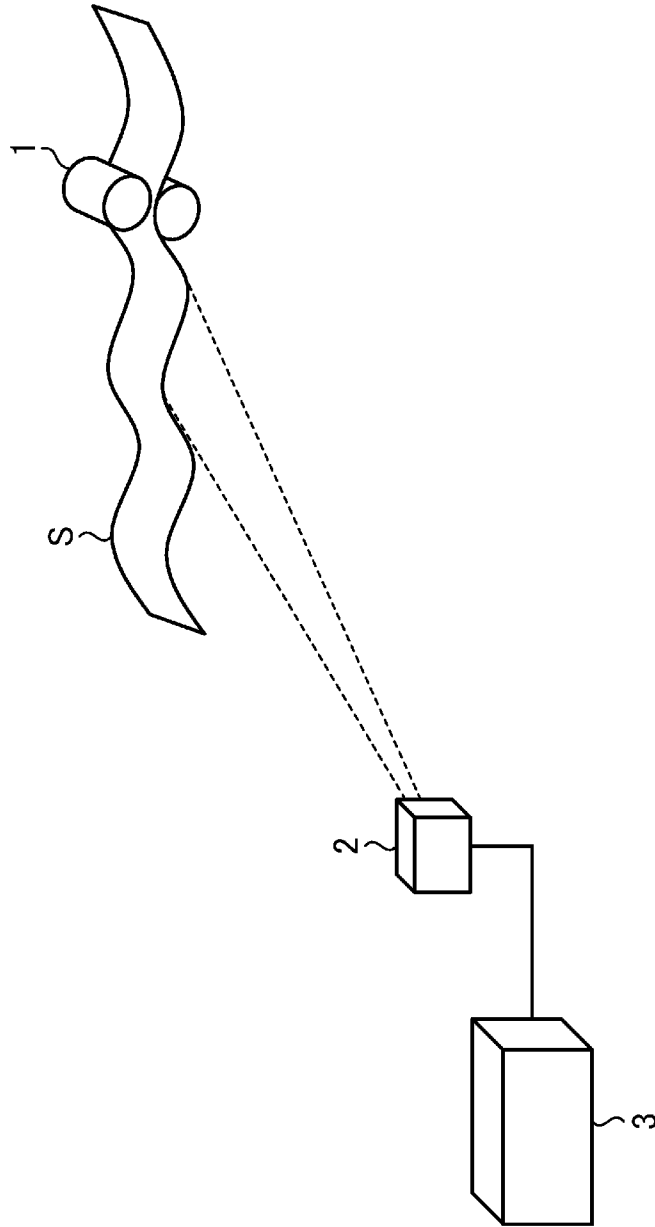
- [0105]
- 1 圧延ロール
  - 2 カメラ
  - 3 画像処理装置
  - 6 合否判定装置
  - 7 圧延制御装置
  - 8 データサーバ
  - 9 機械学習装置
  - 10 制御パラメータ推定装置
  - S 鋼板

## 請求の範囲

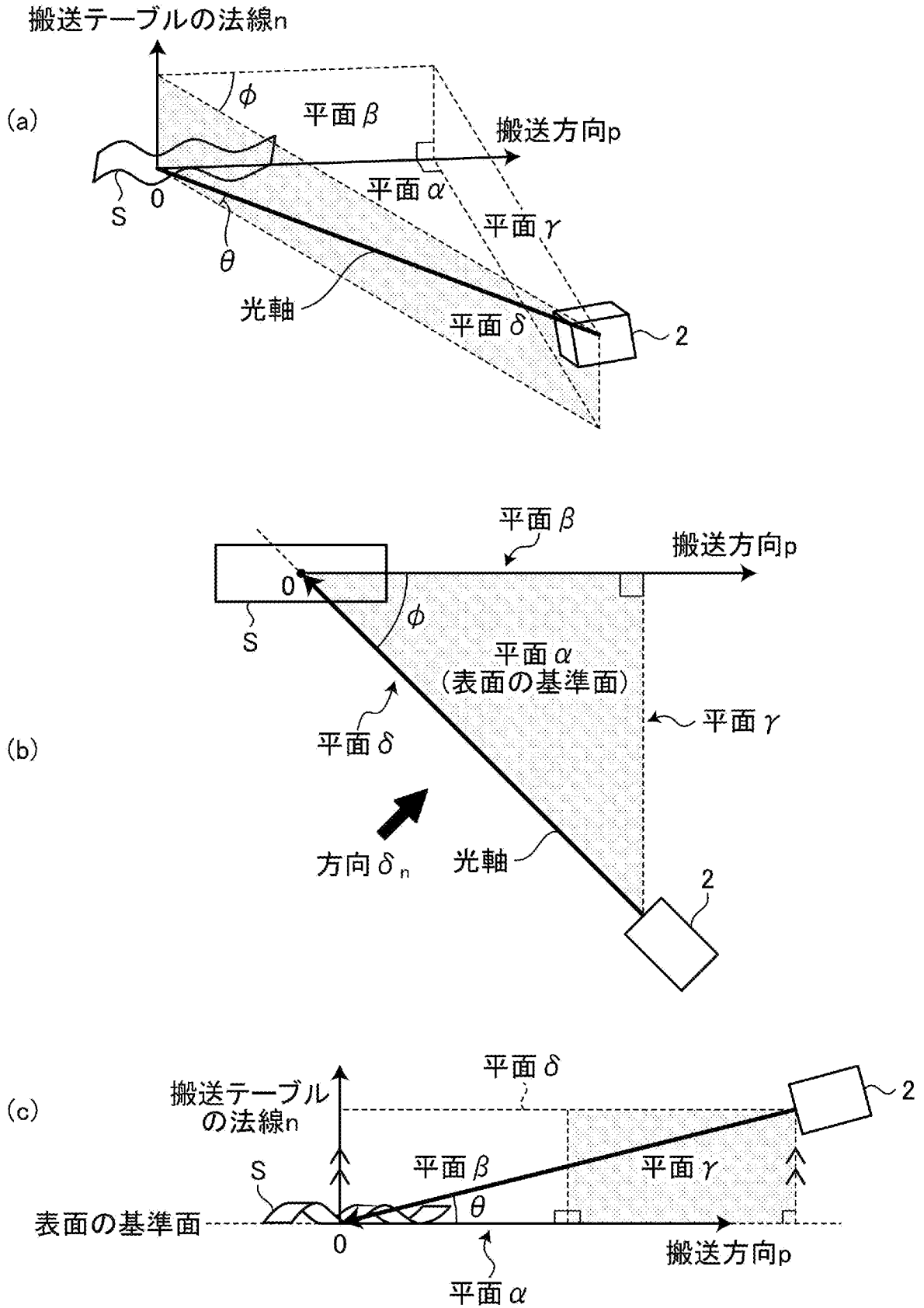
- [請求項1] 帯状物体の形状を測定する形状測定方法であって、  
前記帯状物体の表面の基準面である平面 $\alpha$ とカメラの光軸とがなす角 $\theta$ が、90度とならないように、  
かつ、前記カメラの光軸の前記平面 $\alpha$ への正射影と前記帯状物体の搬送方向 $p$ とがなす角 $\phi$ が、0度とならないように、  
前記帯状物体の熱輻射光の画像を撮像する撮像ステップと、  
得られた画像から前記帯状物体の輪郭プロフィールを算出することにより、前記帯状物体のエッジ部の形状の指標を算出する画像処理ステップと、  
を含む帯状物体の形状測定方法。
- [請求項2] 前記画像処理ステップは、  
得られた画像から前記帯状物体の領域を抽出し、  
抽出した領域において、前記エッジ部の位置を算出することにより、  
前記帯状物体の輪郭プロフィールを算出する、  
請求項1に記載の帯状物体の形状測定方法。
- [請求項3] 前記画像処理ステップは、得られた前記帯状物体の輪郭プロフィールから、前記帯状物体のエッジ部の急峻度、波高さ、波ピッチ、伸び量、伸び率のいずれか一つ以上を、前記指標として算出する請求項1または請求項2に記載の帯状物体の形状測定方法。
- [請求項4] 前記画像処理ステップは、前記カメラと前記帯状物体との位置関係から、波高さ方向および波ピッチ方向の分解能を算出し、実際の寸法に換算する請求項1から請求項3のいずれか一項に記載の帯状物体の形状測定方法。
- [請求項5] 請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の帯状物体の形状測定方法によって前記帯状物体の形状を測定し、その測定結果に基づいて前記帯状物体の形状が所望の形状となるように制御する帯状物体の形状制御方法。

- [請求項6] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の帯状物体の形状測定方法によって前記帯状物体の形状を測定し、その測定結果に基づいて前記帯状物体を製造する帯状物体の製造方法。
- [請求項7] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の帯状物体の形状測定方法によって前記帯状物体の形状を測定し、その測定結果に基づいて前記帯状物体の品質を管理する帯状物体の品質管理方法。
- [請求項8] 帯状物体の形状を測定する形状測定装置であって、  
前記帯状物体の表面の基準面である平面  $\alpha$  とカメラの光軸とがなす角  $\theta$  が、 $90$  度とならないように、  
かつ、前記カメラの光軸の前記平面  $\alpha$  への正射影と前記帯状物体の搬送方向  $p$  とがなす角  $\phi$  が、 $0$  度とならないように、  
前記帯状物体の熱輻射光の画像を撮像する撮像手段と、  
得られた画像から前記帯状物体の輪郭プロフィールを算出することにより、前記帯状物体のエッジ部の形状の指標を算出する画像処理手段と、  
を備える帯状物体の形状測定装置。
- [請求項9] 請求項 8 に記載の帯状物体の形状測定装置を備える帯状物体の製造設備。

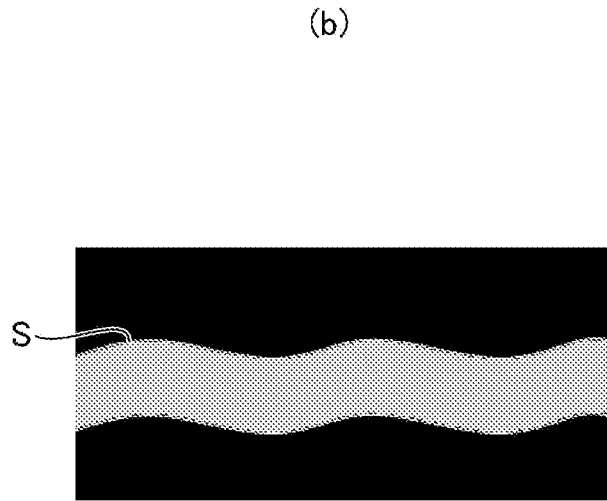
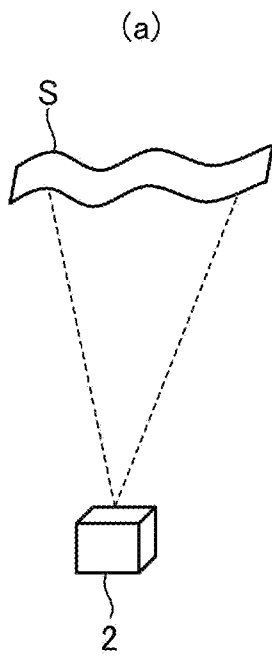
[図1]



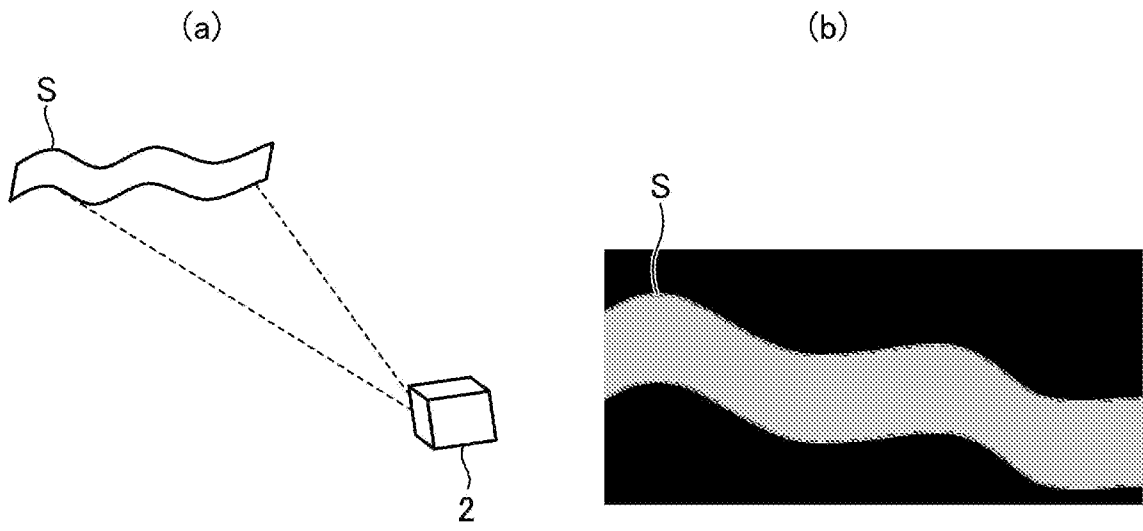
[図2]



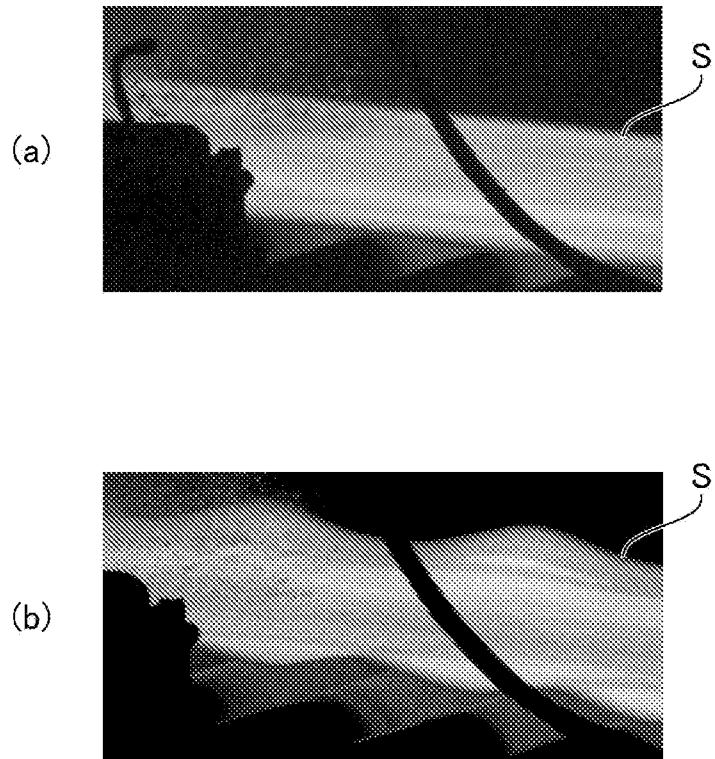
[図3]



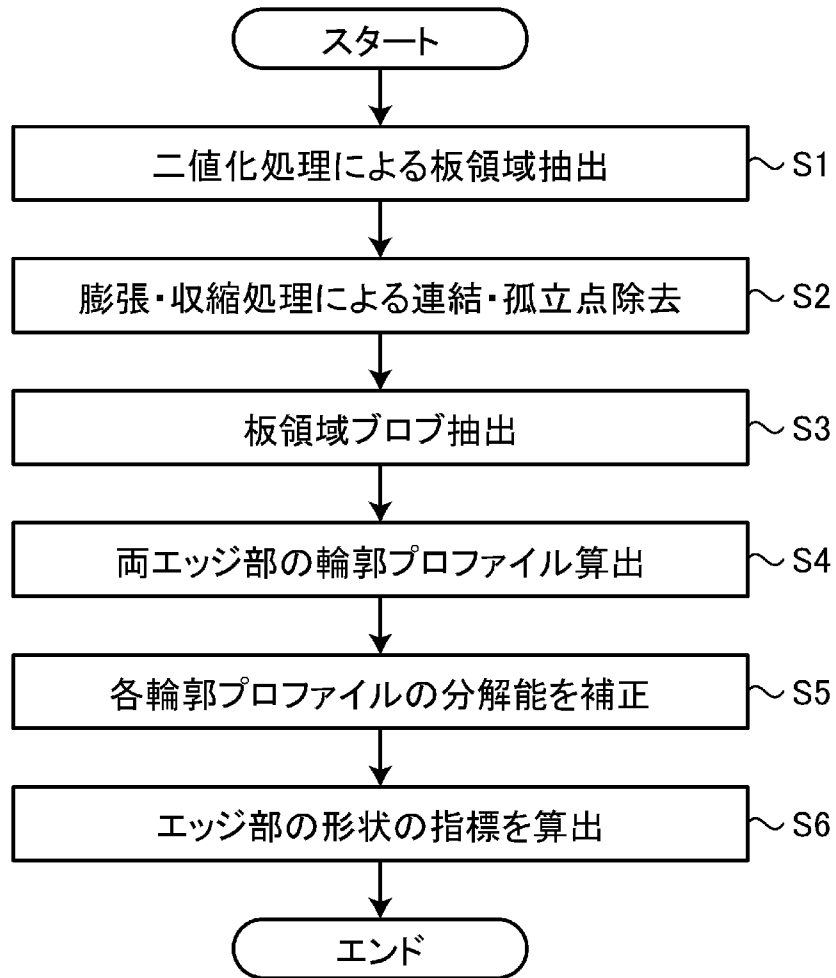
[図4]



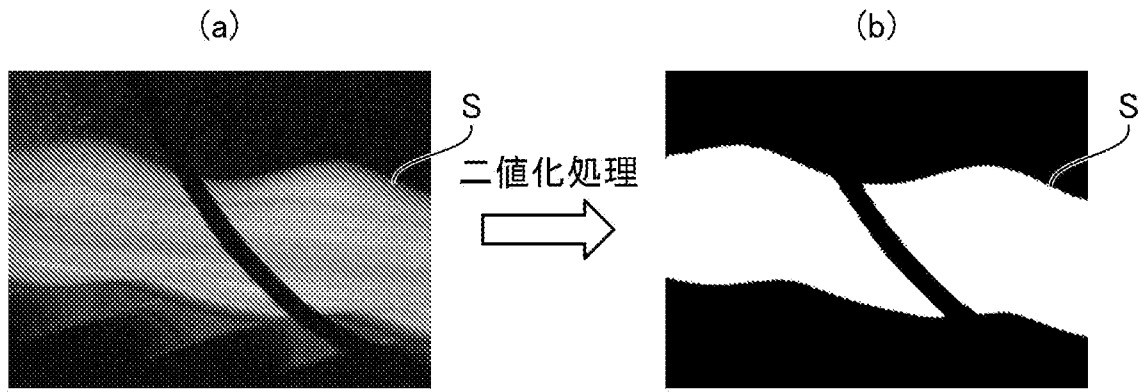
[図5]



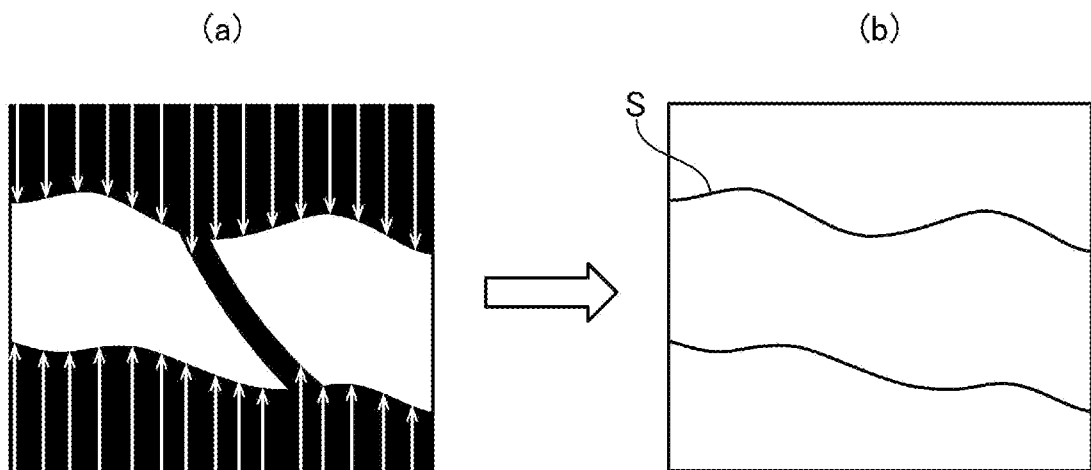
[図6]



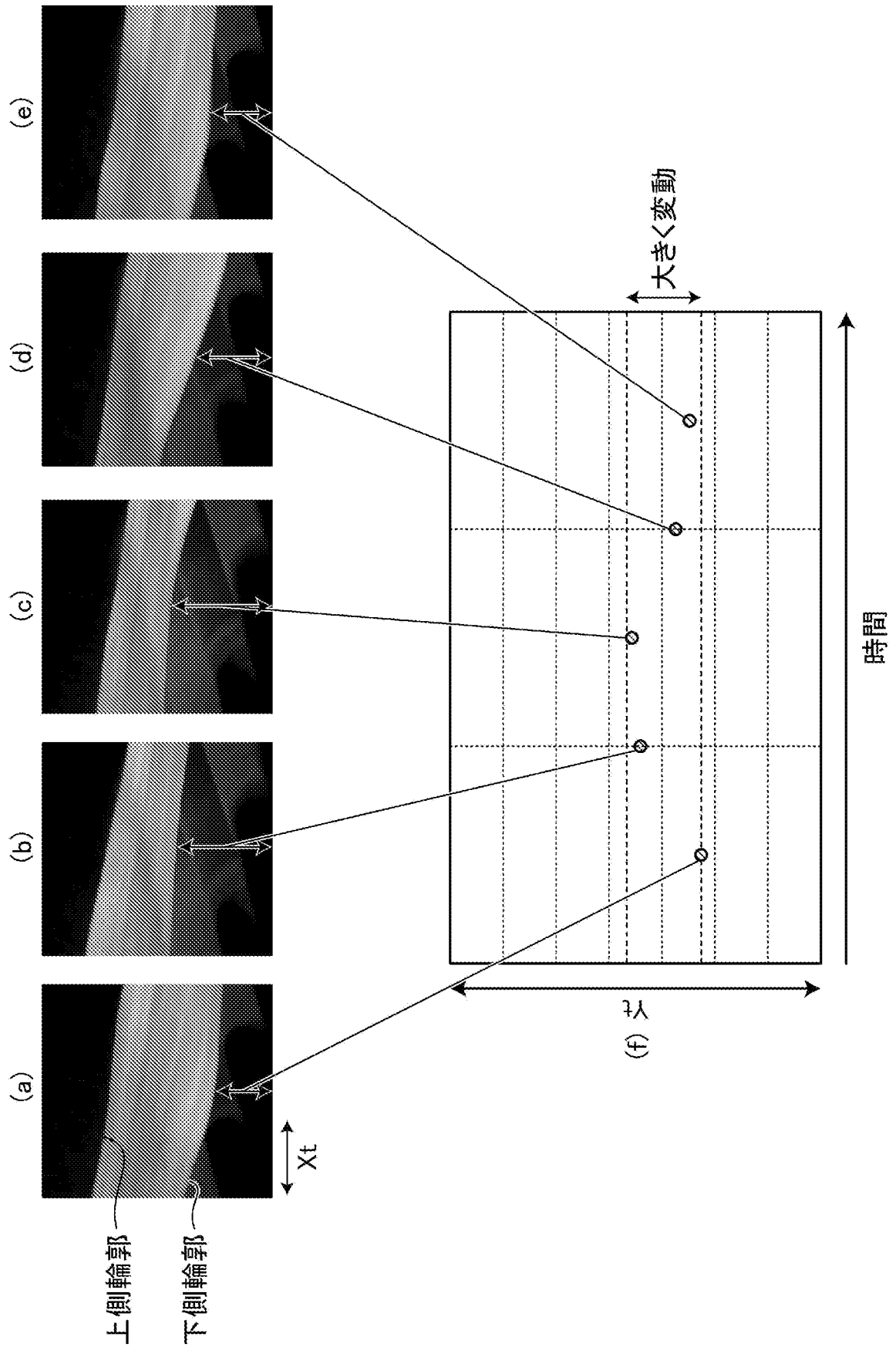
[图7]



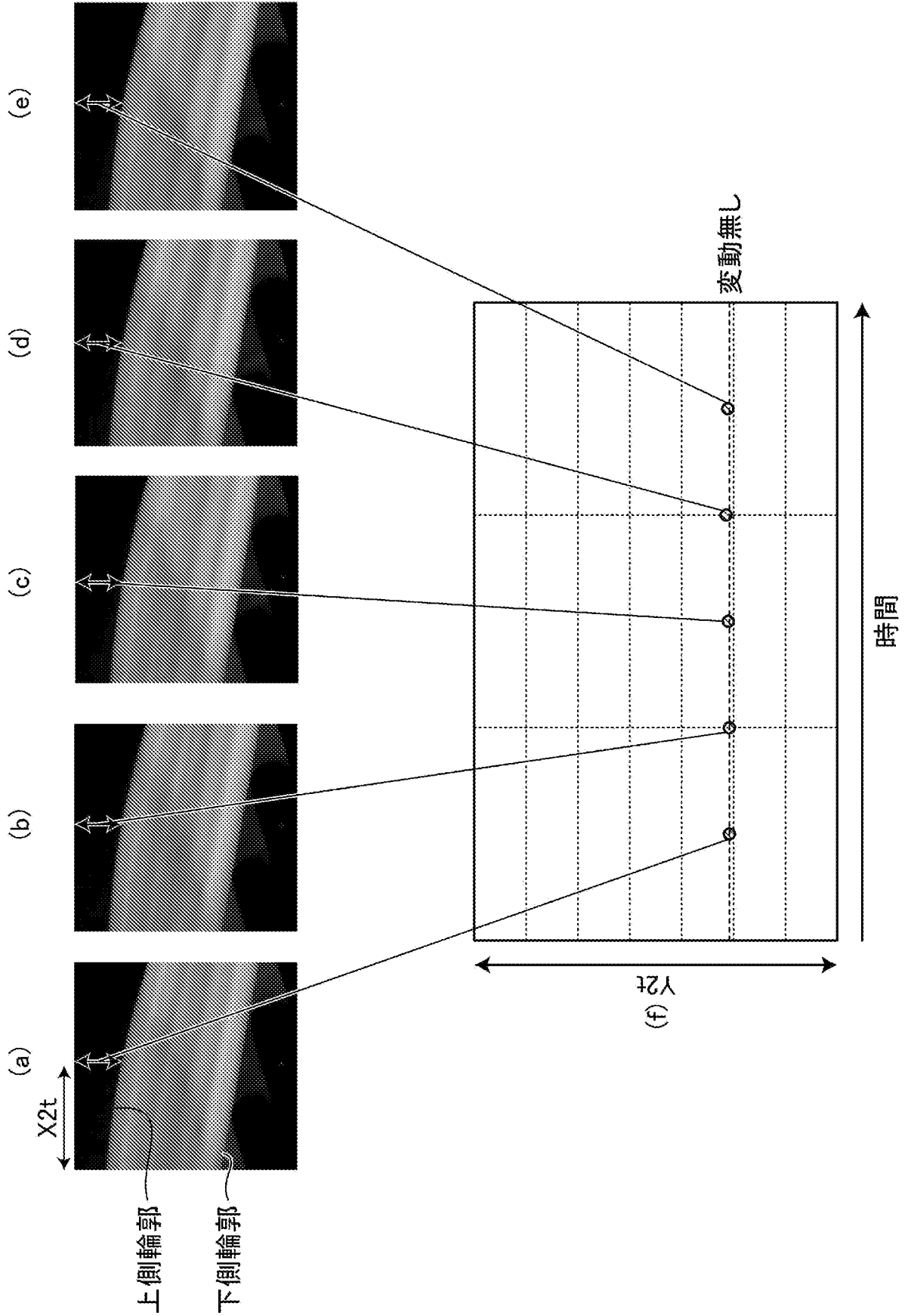
[图8]



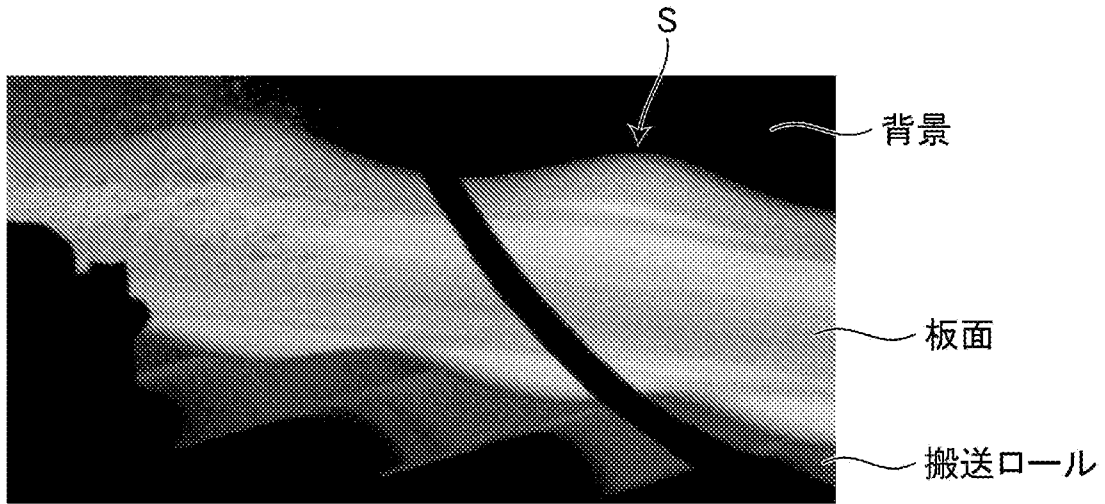
[図9]



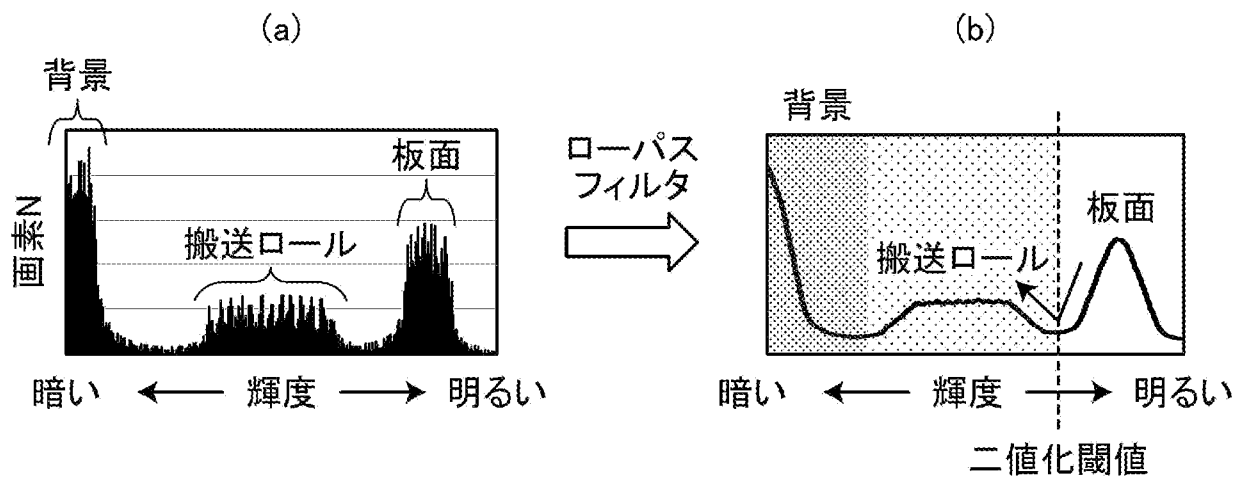
[図10]



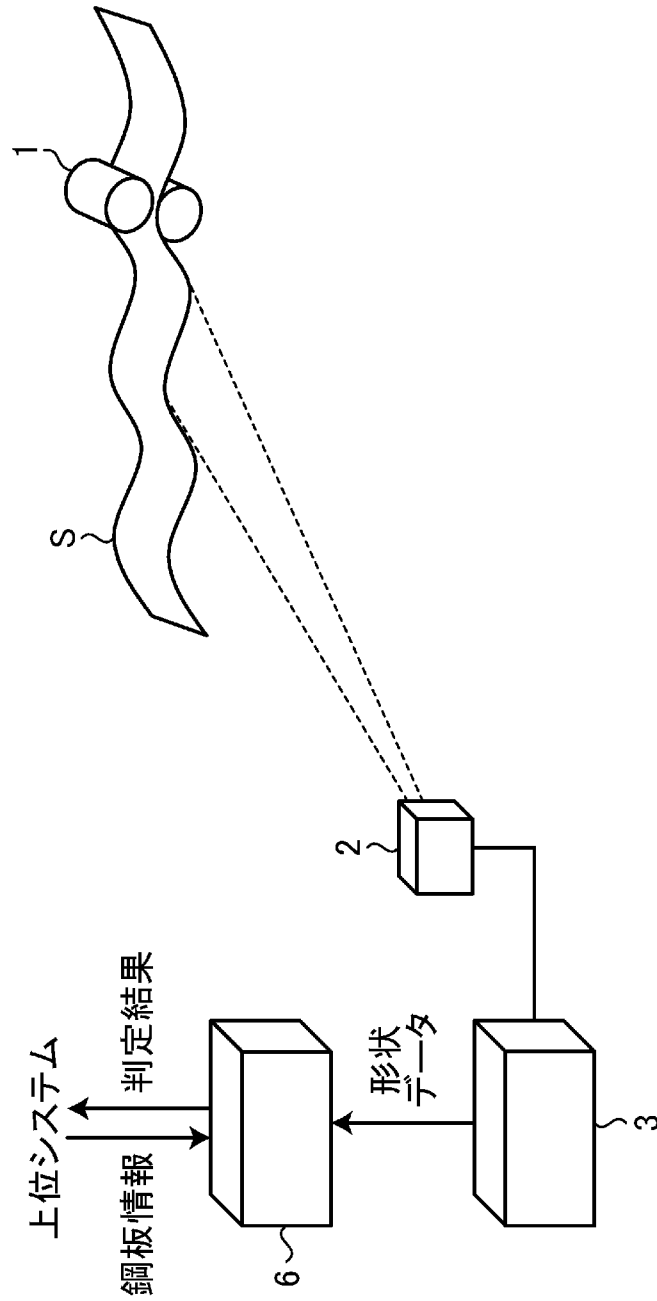
[図11]



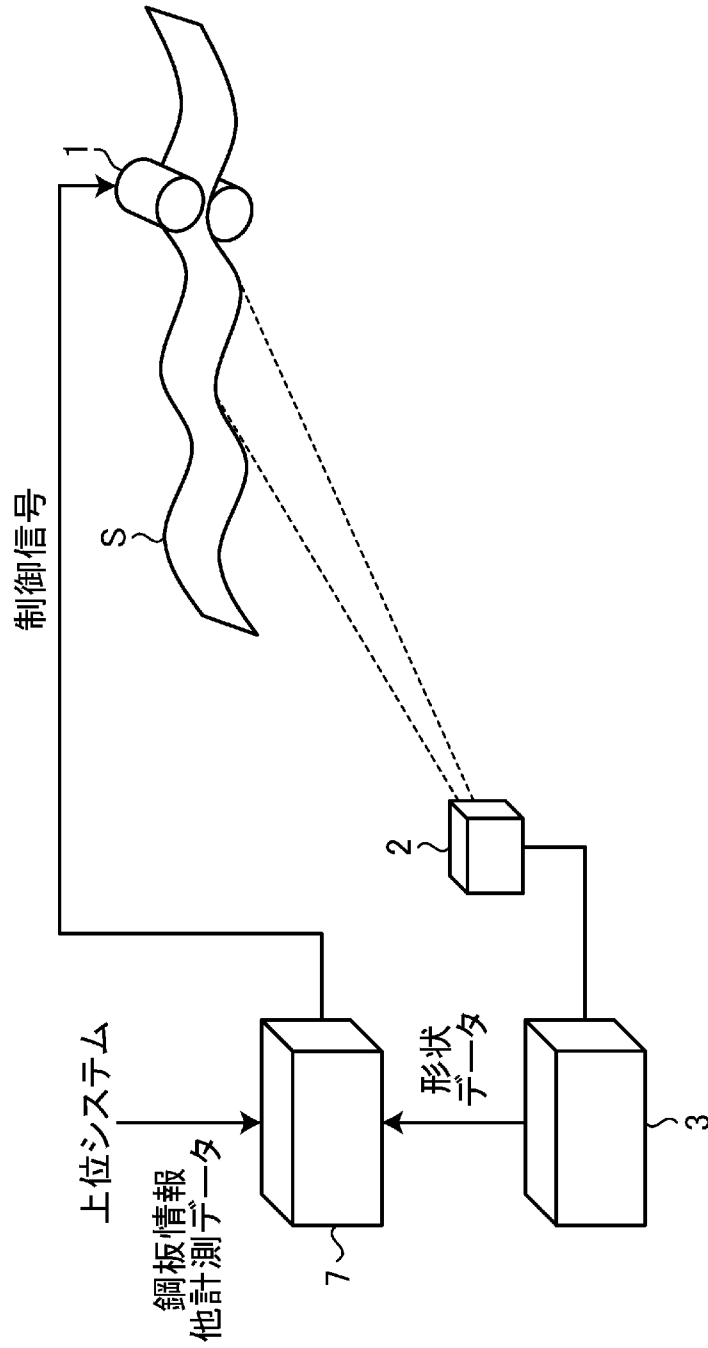
[図12]



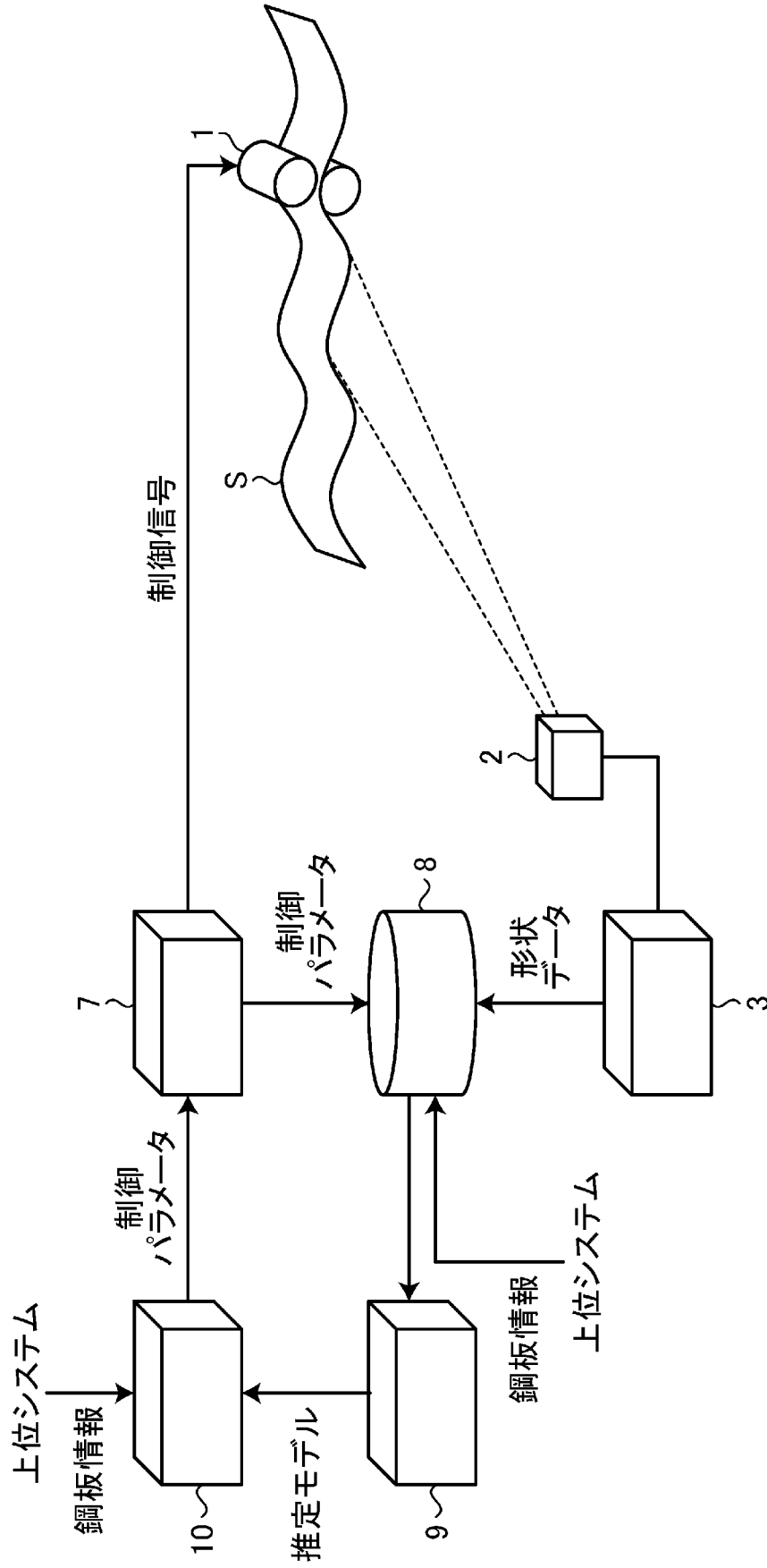
[図13]



[図14]



[図15]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2023/046079**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<b>G01B 11/24</b> (2006.01) FI: G01B11/24 K		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01B11/00-11/30		
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)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2018/168700 A1 (JFE STEEL CORPORATION) 20 September 2018 (2018-09-20) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2019-181562 A (JFE STEEL CORPORATION) 24 October 2019 (2019-10-24) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2000-357228 A (SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.) 26 December 2000 (2000-12-26) entire text, all drawings	1-9
A	JP 10-318719 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 04 December 1998 (1998-12-04) entire text, all drawings	1-9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>28 February 2024</b>		Date of mailing of the international search report <b>12 March 2024</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/JP2023/046079</b>
---

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2018/168700	A1	20 September 2018	US 2020/0082550 A1 whole document	
				EP 3581880 A1	
				CN 110382999 A	
				KR 10-2019-0116403 A	
				TW 201837423 A	
-----					
JP	2019-181562	A	24 October 2019	(Family: none)	
-----					
JP	2000-357228	A	26 December 2000	(Family: none)	
-----					
JP	10-318719	A	04 December 1998	(Family: none)	
-----					

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01B 11/24(2006.01)i FI: G01B11/24 K		
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）） G01B11/00-11/30 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	WO 2018/168700 A1（JFEスチール株式会社）20.09.2018（2018-09-20） 全文全図	1-9
A	JP 2019-181562 A（JFEスチール株式会社）24.10.2019（2019-10-24） 全文全図	1-9
A	JP 2000-357228 A（住友金属工業株式会社）26.12.2000（2000-12-26） 全文全図	1-9
A	JP 10-318719 A（三菱重工株式会社）04.12.1998（1998-12-04） 全文全図	1-9
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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、一般的技术水準を示すもの “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	
28.02.2024	12.03.2024	
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）  櫻井 仁 2S 9008  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/JP2023/046079

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2018/168700	A1	20.09.2018	US	2020/0082550	A1	
				WHOLE DOCUMENT			
				EP	3581880	A1	
				CN	110382999	A	
				KR	10-2019-0116403	A	
				TW	201837423	A	
-----							
JP	2019-181562	A	24.10.2019	(ファミリーなし)			
-----							
JP	2000-357228	A	26.12.2000	(ファミリーなし)			
-----							
JP	10-318719	A	04.12.1998	(ファミリーなし)			
-----							