(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 2024/204516 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 33/204 (2019.01) *G06T 7/00* (2017.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2024/012601

(22) 国際出願日： 2024年3月28日(28.03.2024)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

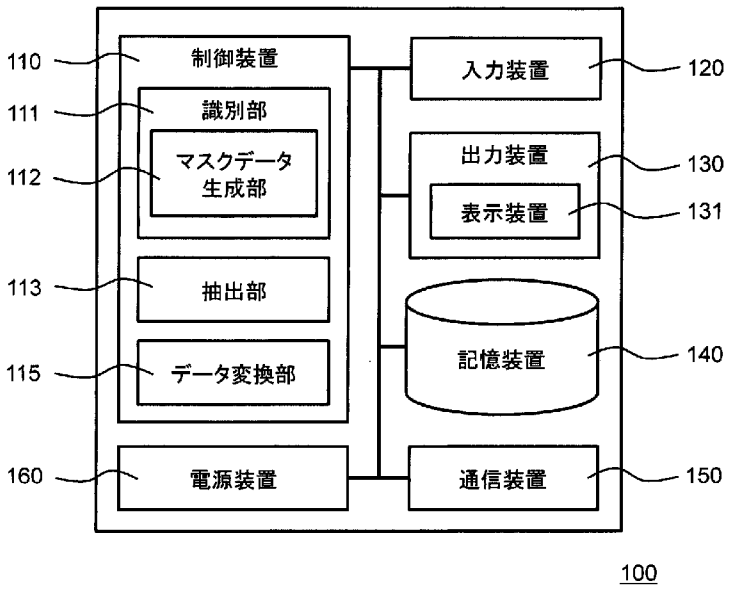
(30) 優先権データ：
特願 2023-058438 2023年3月31日(31.03.2023) JP

(71) 出願人: 日本発條株式会社(**NHK SPRING CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦三丁目１０番地 Kanagawa (JP). 国立大学法人東海国立大学機構(**NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION TOKAI NATIONAL HIGHER EDUCATION AND RESEARCH SYSTEM**) [JP/JP]; 〒4648601 愛知県名古屋市千種区不老町１番 Aichi (JP).

(72) 発明者: 熊井 慎太郎 (**KUMAI Shintaro**); 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦三丁目１０番地 日本発條株式会社内 Kanagawa (JP). 高橋 啓太(**TAKAHASHI Keita**); 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦三丁目１０番地 日本発條株式会社内 Kanagawa (JP). 小沼 功佑(**ONUMA Kosuke**); 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦三丁目１０番地 日本発條株式会社内 Kanagawa (JP). 足立 吉隆(**ADACHI Yoshitaka**); 〒4648601 愛知県名古屋市千種区不老町１番 国立大学法人東海国立大学機構内 Aichi (JP).

(54) **Title:** STEEL MATERIAL CARBIDE MORPHOLOGY DETECTING DEVICE, STEEL MATERIAL CARBIDE MORPHOLOGY DETECTION METHOD, AND STEEL MATERIAL CARBIDE MORPHOLOGY DETECTING PROGRAM

(54) 発明の名称： 鋼材の炭化物形態検出装置、鋼材の炭化物形態検出方法及び鋼材の炭化物形態検出プログラム



110 Control device
111 Identifying unit
112 Mask data generating unit
113 Extracting unit
115 Data converting unit
120 Input device
130 Output device
131 Display device
140 Storage device
150 Communication device
160 Power source device

(57) **Abstract:** Provided are a detecting device capable of properly converting carbide morphology in a steel material into data, a detection method capable of properly converting carbide morphology in a steel material into data, and a detecting program capable of properly converting carbide morphology in a steel material into data. A carbide morphology detecting device according to an embodiment of the present invention comprises: an identifying unit that identifies a cross-sectional region of crystal grains constituting a steel material from a microscope image of a steel material; an extracting unit that extracts image data of the cross-sectional region of the crystal grains from the microscope image on the basis of the

WO 2024/204516 A1

［続葉有］

(74) 代理人: 弁理士法人高橋・林アンドパートナーズ (TAKAHASHI, HAYASHI AND PARTNER PATENT ATTORNEYS, INC.); 〒1440052 東京都大田区蒲田５－２４－２ 損保ジャパン蒲田ビル９階 Tokyo (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, 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)）

identified cross-sectional region of the crystal grains; and a data converting unit for binarizing the extracted image data.

(57) 要約：鋼材中の炭化物形態を適正にデータ化可能な検出装置、鋼材中の炭化物形態を適正にデータ化可能な検出方法又は鋼材中の炭化物形態を適正にデータ化可能な検出プログラムを提供する。本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出装置は、鋼材の顕微鏡像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する識別部と、識別された結晶粒の断面領域に基づいて、顕微鏡像から結晶粒の前記断面領域の画像データを抽出する抽出部と、抽出された画像データを二値化するデータ変換部と、を備える。

明　細　書

発明の名称 ：

鋼材の炭化物形態検出装置、鋼材の炭化物形態検出方法及び鋼材の炭化物形態検出プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、鋼材の炭化物形態検出装置に関する。または、本発明は、鋼材の炭化物形態検出方法に関する。または、本発明は、鋼材の炭化物形態検出プログラムに関する。

背景技術

[0002] 鋼材の特性評価のための指標の１つとして、炭化物形態が用いられている。例えば、特許文献１には、組織中の炭化物形態をアスペクト比が平均で３以下の球状化炭化物とする鋼を、Ａｃ$_3$点－１０℃～Ａｃ$_3$点での平均加熱速度を０．５℃／ｓ以上、Ａｃ$_3$点以上Ａｃ$_3$点＋１３０℃以下で、Ａｃ$_3$点以上の保持時間が５００秒以下で加熱後、焼入れを行うことにより疲労特性に優れた軸受用鋼部品を製造する方法が記載されている。

[0003] 一般に、鋼材中の炭化物形態は、エッチングにより鋼材の組織を露出させ、走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）を用いた観察により評価される。しかし、組織を露出させた鋼材の表面には、炭化物形態が観察可能な結晶粒の内部構造の他に、結晶粒の表面や、結晶粒の粒界を含む様々な構造物が観察される。このため、鋼材中の炭化物形態は、観察者の経験に基づいた評価となり、客観的な数値化されたデータとしては提供されていなかった。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００７－０６３６２６号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 鋼材中の炭化物形態に基づいて鋼材の特性を評価するためには、鋼材中の炭化物形態を数値化されたデータとして取得する必要があるが、組織を露出させた鋼材の表面には様々な構造物が観察されるため、ＳＥＭ像を単純に二値化するような処理では鋼材中の炭化物形態を適切にデータ化するのは困難である。

[0006] 本発明の一実施形態は、鋼材中の炭化物形態を適正にデータ化可能な検出装置を提供することを目的の一つとする。または、本発明の一実施形態は、鋼材中の炭化物形態を適正にデータ化可能な検出方法を提供することを目的の一つとする。または、本発明の一実施形態は、鋼材中の炭化物形態を適正にデータ化可能な検出プログラムを提供することを目的の一つとする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出装置は、鋼材の顕微鏡像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する識別部と、識別された結晶粒の断面領域に基づいて、顕微鏡像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出する抽出部と、抽出された画像データを二値化するデータ変換部と、を備える。

[0008] 本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出装置は、鋼材の顕微鏡像の画像データを二値化するデータ変換部と、二値化された画像データから鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する識別部と、識別された結晶粒の断面領域に基づいて、二値化された画像データから結晶粒の断面領域の画像データを抽出する抽出部と、を備える。

[0009] 識別部は、鋼材の顕微鏡像又は二値化された画像データからマスクデータを生成するマスクデータ生成部を備え、マスクデータ生成部は、顕微鏡像又は二値化された画像データにおいて、第１の所定値以下の輝度値を有する部分をマスクする部分に設定して、マスクデータを生成し、識別部は、マスクデータに基づいて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別してもよい。

[0010] 識別部は、複数の学習用の鋼材の顕微鏡像又は複数の学習用の二値化された画像データを用いて、機械学習モデルを学習させる機械学習部を備え、識別部は、学習した機械学習モデルに鋼材の顕微鏡像又は前記二値化された画

像データを入力して、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別してもよい。

[0011] 抽出部は、顕微鏡像又は二値化された画像データから、結晶粒の断面領域の画像データを抽出してもよい。

[0012] データ変換部は、結晶粒の断面領域の画像データ又は顕微鏡像において、第２の所定値を基準として断面領域の画像データを二値化してもよい。

[0013] 本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法は、識別部と、抽出部と、データ変換部と、を備える炭化物形態検出装置を用い、識別部が、鋼材の顕微鏡像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別し、抽出部が識別された結晶粒の断面領域に基づいて、顕微鏡像から断面領域の画像データを抽出し、データ変換部が、抽出された画像データを二値化し、炭化物の構造体を決定する。

[0014] 本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法は、識別部と、抽出部と、データ変換部と、を備える炭化物形態検出装置を用い、データ変換部が、鋼材の顕微鏡像の画像データを二値化し、識別部が、二値化された画像データから鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別し、抽出部が識別された結晶粒の断面領域に基づいて、二値化された画像データから結晶粒の前記断面領域の画像データを抽出し、炭化物の構造体を決定する。

[0015] 識別部が、マスクデータ生成部を備え、マスクデータ生成部が、顕微鏡像又は二値化された画像データにおいて、第１の所定値以下の輝度値を有する部分をマスクする部分に設定して、マスクデータを生成し、識別部が、マスクデータに基づいて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別してもよい。

[0016] 識別部が、機械学習部を備え、機械学習部が、複数の学習用の鋼材の顕微鏡像又は複数の学習用の二値化された画像データを用いて、機械学習モデルを学習させ、識別部が、学習した機械学習モデルに鋼材の顕微鏡像又は二値化された画像データを入力して、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別してもよい。

[0017] 抽出部が、顕微鏡像又は二値化された画像データから、結晶粒の断面領域の画像データを抽出してもよい。

[0018] データ変換部が、結晶粒の断面領域の画像データ又は顕微鏡像において、第２の所定値を基準として断面領域の画像データを二値化してもよい。

[0019] 本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出プログラムは、コンピュータに、鋼材の顕微鏡像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させ、コンピュータに、識別された結晶粒の断面領域に基づいて、顕微鏡像から断面領域の画像データを抽出させ、コンピュータに、抽出された画像データを二値化させ、炭化物の構造体を決定する。

[0020] 本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出プログラムは、鋼材の顕微鏡像の画像データを二値化させ、コンピュータに、二値化された画像データから鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させ、コンピュータに、識別された結晶粒の断面領域に基づいて、二値化された画像データから断面領域の画像データを抽出させ、炭化物の構造体を決定する。

[0021] コンピュータに、鋼材の顕微鏡像又は二値化された画像データからマスクデータを生成させ、コンピュータに、顕微鏡像又は二値化された画像データにおいて、第１の所定値以下の輝度値を有する部分をマスクする部分に設定させて、マスクデータを生成させ、コンピュータに、マスクデータに基づいて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させてもよい。

[0022] コンピュータに、複数の学習用の鋼材の顕微鏡像又は複数の学習用の二値化された画像データを用いて、機械学習モデルを学習させ、コンピュータに、学習した機械学習モデルに鋼材の顕微鏡像又は二値化された画像データを入力して、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させてもよい。

[0023] コンピュータに、顕微鏡像又は二値化された画像データから、結晶粒の断面領域の画像データを抽出させてもよい。

[0024] コンピュータに、結晶粒の断面領域の画像データ又は顕微鏡像において、第２の所定値を基準として断面領域の画像データを二値化させてもよい。

発明の効果

[0025] 本発明の一実施形態は、鋼材中の炭化物形態を適正にデータ化可能な検出装置を提供する。または、本発明の一実施形態は、鋼材中の炭化物形態を適

正にデータ化可能な検出方法を提供する。または、本発明の一実施形態は、鋼材中の炭化物形態を適正にデータ化可能な検出プログラムを提供する。

図面の簡単な説明

[0026] [図1A]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出装置１００を示すブロック構成図である。

[図1B]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出装置１００Ａを示すブロック構成図である。

[図2A]エッチングにより鋼材の組織を露出させ鋼材の表面のＳＥＭ像である。

[図2B]左図は領域Ａの拡大図であり、左図に示した領域Ａを二値化した図である。

[図2C]左図は領域Ｂの拡大図であり、左図に示した領域Ｂを二値化した図である。

[図3A]本発明の一実施例のエッチングにより鋼材の組織を露出させ鋼材の表面のＳＥＭ像である。

[図3B]本発明の一実施例のマスクデータを示す図である。

[図3C]本発明の一実施例の結晶粒の断面領域を抽出した図である。

[図4]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図5]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図6]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図7]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図8]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図9]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図10]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図11]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図12]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図13]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図14]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図15]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図16]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図17]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図18]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

[図19]本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。

発明を実施するための形態

[0027] 以下、本発明の一実施形態について、図面を参照しながら説明する。以下に示す実施形態は本発明の実施形態の一例であって、本発明はこれらの実施形態に限定されるものではない。

[0028] 上述したように、組織を露出させた鋼材の表面のＳＥＭ像においては、様々な構造物が観察される。ここで、図２Ａを参照する。図２Ａは、エッチングにより鋼材の組織を露出させた鋼材の表面のＳＥＭ像である。図２Ａにおいて、領域Ａは、結晶粒の内部構造を示している。一方、領域Ｂは、結晶粒の表面や結晶粒の粒界を含む構造物が混在した状態を示している。図２Ｂの左図は領域Ａの拡大図であり、図２Ｃの左図は領域Ｂの拡大図である。図２Ａ及び図２Ｂの左図から明らかなように、結晶粒の内部構造を示す領域Ａにおいては、白色の線状の粒子が観察される。この白色の線状の粒子が結晶粒の内部に存在する炭化物を示している。一方、図２Ａ及び図２Ｃの左図から明らかなように、領域Ｂにおいては、白色の線状の粒子が観察はされるものの、周囲の構造物との識別が困難である。

[0029] 図２Ｂの右図に、図２Ｂの左図に示した領域Ａを二値化した結果を示す。図２Ｂの左図と図２Ｂの右図を比較すると、図２Ｂの右図においては、二値化された炭化物は、図２Ｂの左図の形状を適切に反映していることが明らかである。炭化物の構造を二値化したことにより、炭化物の情報のみが適切に抽出され、鋼材の特性を評価するための指標として二値化された炭化物の情報を利用可能であることが理解される。

[0030] 図２Ｃの右図に、図２Ｃの左図に示した領域Ｂを二値化した結果を示す。二値化された炭化物を示す図２Ｂの右図と、領域Ｂを二値化した図２Ｃの右

図を比較すると、白色で示された構造は明らかに異なっており、領域Ｂにおいては結晶粒の表面や結晶粒の粒界等の情報がノイズとして含まれていることが理解される。

[0031] 炭化物の構造を鋼材の特性を評価するための指標として利用するためには、ノイズを含まない結晶粒の内部の領域を適切に選択して、その領域の画像データを二値化する必要がある。以下の実施形態においては、ＳＥＭ像から適切な領域を選択して、炭化物の構造を二値化したデータとして取得するための装置、方法及びそれを実行するためのプログラムについて説明する。

[0032] ［炭化物形態検出装置］

図１Ａは、本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出装置１００を示すブロック構成図である。炭化物形態検出装置１００は、例えば、制御装置１１０、入力装置１２０、出力装置１３０、記憶装置１４０、通信装置１５０及び電源装置１６０を備える。また、一実施形態において、炭化物形態検出装置１００は、例えば、識別部１１１、抽出部１１３及びデータ変換部１１５をさらに備える。

[0033] 制御装置１１０は、炭化物形態検出装置１００を制御するための公知の中央処理装置（ＣＰＵ）、オペレーティングシステム（ＯＳ）及び制御プログラム又はモジュールで構成される。または、制御装置１１０は、ＯＳと制御プログラム又はモジュールを含む１つのプログラムとして提供されてもよい。制御装置１１０を構成する制御プログラム又はモジュールは、記憶装置１４０に格納されてＣＰＵで実行される。

[0034] 図１Ａにおいては、一実施形態として、制御装置１１０が、識別部１１１、抽出部１１３及びデータ変換部１１５を備える構成を示すが、識別部１１１、抽出部１１３及びデータ変換部１１５は、制御装置１１０に包含されずに、制御装置１１０と併設されていてもよい。

[0035] 識別部１１１は、鋼材のＳＥＭ像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別するためのプログラム又はモジュールで構成される。識別部１１１を構成するプログラム又はモジュールは、記憶装置１４０に格納されてＣＰＵで

実行される。一実施形態において、識別部１１１は、マスクデータ生成部１１２を備える。マスクデータ生成部１１２は、鋼材のＳＥＭ像からマスクデータを生成するためのプログラム又はモジュールであり、記憶装置１４０に格納されてＣＰＵで実行される。図１Ａにおいては、識別部１１１が、マスクデータ生成部１１２を備える構成を示すが、マスクデータ生成部１１２は、識別部１１１に包含されずに、識別部１１１と併設されていてもよい。本実施形態において、識別部１１１は、マスクデータ生成部１１２が生成したマスクデータに基づいて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別することができる。

[0036] 本明細書において、「マスクデータ」とは、鋼材のＳＥＭ像において、上述した領域Ａに相当する鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別するために、鋼材のＳＥＭ像から除外される領域を示すデータである。鋼材のＳＥＭ像から除外される領域とは、上述した領域Ｂに相当する結晶粒の表面や結晶粒の粒界等のノイズとなる構造を含む領域である。一実施形態において、マスクデータ生成部１１２は、ＳＥＭ像において、所定値（以下、第１の所定値とも称する）以下の輝度値を有する部分をマスクする部分に設定して、マスクデータを生成することができる。一実施形態において、第１の所定値は、鋼材のＳＥＭ像の観察から事前に設定された輝度値であってもよく、ユーザが表示装置１３１により確認したマスクデータ生成部１１２が処理する実際の鋼材のＳＥＭ像について、ユーザが設定した輝度値であってもよい。一実施形態において、注目画素の輝度とその周囲の画素の輝度との平均値を第１の所定値として設定してもよい（適応的二値化）。

[0037] 抽出部１１３は、識別部１１１により識別された結晶粒の断面領域に基づいて、ＳＥＭ像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出するためのプログラム又はモジュールで構成される。抽出部１１３を構成するプログラム又はモジュールは、記憶装置１４０に格納されてＣＰＵで実行される。一実施形態において、抽出部１１３は、識別部１１１により識別された鋼材を構成する結晶粒の断面領域に基づき、ＳＥＭ像から結晶粒の断面領域の画像データ

を抽出する。換言すると、抽出部１１３は、マスクデータ生成部１１２により生成されたマスクデータに基づき、ＳＥＭ像からノイズとなる構造を含む領域を減算して、結晶粒の断面領域の画像データを抽出する。

[0038] データ変換部１１５は、抽出部１１３により抽出された画像データを二値化するためのプログラム又はモジュールで構成される。データ変換部１１５を構成するプログラム又はモジュールは、記憶装置１４０に格納されてＣＰＵで実行される。一実施形態において、データ変換部１１５は、結晶粒の断面領域の画像データにおいて、所定値（以下、第２の所定値とも称する）を基準として、結晶粒の断面領域の画像データを二値化する。より具体的には、画像データにおいて第２の所定値以上（又は第２の所定値より大きい）の輝度を有する部分の輝度値を１に変換し、第２の所定値未満（又は第２の所定値以下）の輝度を有する部分の輝度値を０に変換する。このような処理により、データ変換部１１５は、輝度値１を有する部分を炭化物の構造体として識別することができる。なお、第２の所定値は、鋼材のＳＥＭ像の観察から事前に設定された輝度値であってもよく、ユーザが表示装置１３１により確認したデータ変換部１１５が処理する実際の鋼材のＳＥＭ像について、ユーザが設定した輝度値であってもよい。一実施形態において、注目画素の輝度とその周囲の画素の輝度との平均値を第２の所定値として設定してもよい（適応的二値化）。

[0039] 入力装置１２０は、炭化物形態検出装置１００を操作するための装置であり、キーボード、マウス及び表示装置（例えば、液晶ディスプレイや有機ＥＬディスプレイ）に配置されたタッチパネル等の公知の入力装置を用いることができる。一実施形態において、入力装置１２０は、上述したＳＥＭ像を取得するための走査型電子顕微鏡を含んでもよい。または、入力装置１２０は、ＳＥＭ像の画像データを格納したメディアを接続可能なＣＤドライブ、ＤＶＤドライブ、メモリーカードリーダ等のドライブやリーダを含んでもよい。

[0040] 出力装置１３０は、炭化物形態検出装置１００により生成される各種画像

を表示する表示装置１３１を含む。表示装置１３１は、例えば、ＳＥＭ像、マスクデータ、鋼材を構成する結晶粒の断面領域、二値化された画像データ等を表示することができる。表示装置１３１として、例えば、液晶ディスプレイや有機ＥＬディスプレイ等を用いることができるが、これらに限定されるものではない。また、出力装置１３０は、表示装置１３１が表示した画像を印刷するプリンタを含んでもよい。

[0041] 記憶装置１４０は、制御装置１１０を構成するオペレーティングシステム（ＯＳ）及び制御プログラム又はモジュール、識別部１１１を構成するプログラム又はモジュール、マスクデータ生成部１１２を構成するプログラム又はモジュール、抽出部１１３を構成するプログラム又はモジュール、及びデータ変換部１１５を構成するプログラム又はモジュールから選択される１つ以上のプログラム又はモジュールを格納する装置である。記憶装置１４０は、例えば、ランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）等の公知の主記憶装置と、リードオンリーメモリ（ＲＯＭ）、ハードディスク、又はソリッドステートドライブ（ＳＳＤ）及びメモリーカード等の公知の補助記憶装置とにより構成される。なお、補助記憶装置は、炭化物形態検出装置１００の外部に配置され、通信装置１５０を介して通信可能なサーバやネットワークドライブに配置されてもよい。

[0042] 通信装置１５０は、制御装置１１０により制御可能な公知の有線又は無線の通信装置である。通信装置１５０は、ローカルエリアネットワーク（ＬＡＮ）、ワイドエリアネットワーク（ＷＡＮ）及びインターネット等の通信ネットワークに接続することができる。通信装置１５０は、例えば、Ｗｉ－Ｆｉ（登録商標）（ＩＥＥＥ　８０２．１１規格を使用する通信手段）やＢｌｕｅｔｏｏｔｈ（登録商標）等の無線通信規格に適合した通信装置であってもよい。通信装置１５０は、炭化物形態検出装置１００の外部に配置されたサーバやネットワークドラブとのデータ通信を行ってもよい。一実施形態において、通信装置１５０は、ユニバーサル・シリアル・バス（ＵＳＢ）、ＰＣｌ　Ｅｘｐｒｅｓｓ及びシリアルＡＴＡ（ＳＡＴＡ）等のシリアルバス、

及びスモールコンピュータシステムインタフェース（ＳＣＳＩ）及びペリフェラル　コンポーネント　インターコネクト（ＰＣＩ）等のパラレルバスを含んでもよい。

[0043]　電源装置１６０は、炭化物形態検出装置１００の各装置に外部からの電力を供給する装置であって、特に限定されない。

[0044]［炭化物形態検出装置の変形例］

上記の実施形態においては、鋼材の走査型電子顕微鏡像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別部が識別し、識別された結晶粒の断面領域に基づいて、走査型電子顕微鏡像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出部が抽出し、抽出された画像データをデータ変換部が二値化することにより炭化物の構造体を決定する例を説明した。しかし、本発明に係る炭化物形態検出装置においては、鋼材の走査型電子顕微鏡像を二値化してから、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別することもできる。

[0045]　データ変換部１１５は、鋼材のＳＥＭ像を二値化するためのプログラム又はモジュールで構成されてもよい。データ変換部１１５は、鋼材のＳＥＭ像において、所定値（以下、第２の所定値とも称する）を基準として、鋼材のＳＥＭ像を二値化する。より具体的には、鋼材のＳＥＭ像において第２の所定値以上（又は第２の所定値より大きい）の輝度を有する部分の輝度値を１に変換し、第２の所定値未満（又は第２の所定値以下）の輝度を有する部分の輝度値を０に変換する。このような処理により、データ変換部１１５は、輝度値１を有する部分を炭化物である可能性のある構造体として決定することができる。なお、第２の所定値は、鋼材のＳＥＭ像の観察から事前に設定された輝度値であってもよく、ユーザが表示装置１３１により確認したデータ変換部１１５が処理する実際の鋼材のＳＥＭ像について、ユーザが設定した輝度値であってもよい。一実施形態において、注目画素の輝度とその周囲の画素の輝度との平均値を第２の所定値として設定してもよい（適応的二値化）。

[0046]　一実施形態において、識別部１１１は、データ変換部１１５が二値化した

画像データから鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別するためのプログラム又はモジュールで構成される。一実施形態において、マスクデータ生成部１１２は、二値化した画像データからマスクデータを生成するためのプログラム又はモジュールである。本実施形態において、識別部１１１は、マスクデータ生成部１１２が生成したマスクデータに基づいて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別することができる。

[0047] 抽出部１１３は、識別部１１１により識別された結晶粒の断面領域に基づいて、二値化した結晶粒の断面領域の画像データを抽出するためのプログラム又はモジュールで構成される。一実施形態において、抽出部１１３は、識別部１１１により識別された鋼材を構成する結晶粒の断面領域に基づき、二値化した画像データから結晶粒の断面領域の画像データを抽出する。換言すると、抽出部１１３は、マスクデータ生成部１１２により生成されたマスクデータに基づき、二値化した画像データからノイズとなる構造を含む領域を減算して、結晶粒の断面領域の画像データを抽出する。このような処理により、抽出部１１３は、抽出した領域を炭化物の構造体が存在する領域として決定することができる。

[0048] ［機械学習を用いた炭化物形態検出装置］

上記の実施形態においては、マスクデータ生成部１１２が生成したマスクデータに基づき、ＳＥＭ像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出する例を説明した。しかし、本発明に係る炭化物形態検出装置は、機械学習を用いて、ＳＥＭ像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出するように構成することもできる。

[0049] 図１Ｂは、本発明の一実施形態に係る炭化物形態検出装置１００Ａを示すブロック構成図である。炭化物形態検出装置１００Ａは、例えば、制御装置１１０Ａ、入力装置１２０、出力装置１３０、記憶装置１４０、通信装置１５０及び電源装置１６０を備える。また、本実施形態においては、炭化物形態検出装置１００Ａは、例えば、識別部１１１Ａ、抽出部１１３及びデータ変換部１１５をさらに備える。なお、炭化物形態検出装置１００Ａにおいて

、入力装置１２０、出力装置１３０、記憶装置１４０、通信装置１５０、電源装置１６０、抽出部１１３及びデータ変換部１１５の構成は、炭化物形態検出装置１００について説明した各装置の構成とそれぞれ同じ構成であるため、詳細な説明は省略する。

[0050] 制御装置１１０Ａは、炭化物形態検出装置１００を制御するための公知の中央処理装置（ＣＰＵ）、オペレーティングシステム（ＯＳ）及び制御プログラム又はモジュールで構成される。または、制御装置１１０Ａは、ＯＳと制御プログラム又はモジュールを含む１つのプログラムとして提供されてもよい。制御装置１１０Ａを構成する制御プログラム又はモジュールは、記憶装置１４０に格納されてＣＰＵで実行される。

[0051] 図１Ｂにおいては、一実施形態として、制御装置１１０Ａが、識別部１１１Ａ、抽出部１１３及びデータ変換部１１５を備える構成を示すが、識別部１１１Ａ、抽出部１１３及びデータ変換部１１５は、制御装置１１０Ａに包含されずに、制御装置１１０Ａと併設されていてもよい。

[0052] 識別部１１１Ａは、鋼材のＳＥＭ像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別するためのプログラム又はモジュールで構成される。識別部１１１Ａを構成するプログラム又はモジュールは、記憶装置１４０に格納されてＣＰＵで実行される。一実施形態において、識別部１１１Ａは、機械学習部１１２Ａを備える。機械学習部１１２Ａは、機械学習モデルを学習させるためのプログラム又はモジュールであり、記憶装置１４０に格納されてＣＰＵで実行される。図１Ｂにおいては、識別部１１１Ａが、機械学習部１１２Ａを備える構成を示すが、機械学習部１１２Ａは、識別部１１１Ａに包含されずに、識別部１１１Ａと併設されていてもよい。本実施形態において、識別部１１１Ａは、機械学習部１１２Ａが学習させた機械学習モデルに基づいて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別することができる。

[0053] 機械学習部１１２Ａは、複数の学習用の鋼材のＳＥＭ像を用いて、機械学習モデルを学習させる。機械学習部１１２Ａが実行する機械学習は、教師あり学習、教師なし学習、又は強化学習の何れでもよいが、一実施形態におい

て、学習に用いるＳＥＭ像において鋼材を構成する結晶粒の断面領域を与える教師あり学習により機械学習モデルを学習させてもよい。

[0054] 一実施形態において、機械学習部１１２Ａは、ニューラルネットワークを用いた深層学習を行ってもよい。また、一実施形態において、機械学習部１１２Ａは、Ｔｒａｉｎａｂｌｅ Ｗｅｋａ Ｓｅｇｍｅｎｔａｔｉｏｎ（ＴＷＳ）法を用いて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別するための機械学習を行ってもよい。例えば、複数のフィルタを用いてＳＥＭ像から特徴を抽出し、それぞれの画素について特徴ベクトルを作成する。作成した特徴ベクトルを用いて、機械学習モデルとして決定木を訓練し、ランダムフォレスト法に基づいた分類子を作成する。なお、ランダムフォレスト法は、フィルタリングにより得られた複数の特徴ベクトルの中からランダムに複数を選択し、それを複数個の決定木で得られる重み付き平均確率に基づいて識別する手法である。作成した分類子をＳＥＭ像に適用することにより、クラスごとの分類を実行する。

[0055] 炭化物形態検出装置１００Ａにおいては、識別部１１１Ａが、機械学習部１１２Ａにより学習した機械学習モデルを利用することにより、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を自動的に識別することができる。

[0056] ［機械学習を用いた炭化物形態検出装置の変形例］

上述したように、本発明に係る炭化物形態検出装置においては、鋼材の走査型電子顕微鏡像を二値化してから、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別することもできる。

[0057] つまり、識別部１１１Ａは、データ変換部１１５が二値化した画像データから鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別するためのプログラム又はモジュールで構成されてもよい。一実施形態において、機械学習部１１２Ａは、複数の学習用の鋼材のＳＥＭ像をデータ変換部１１５が二値化した画像データを用いて、機械学習モデルを学習させる。機械学習部１１２Ａが実行する機械学習は、教師あり学習、教師なし学習、又は強化学習の何れでもよいが、一実施形態において、学習に用いる二値化した画像データにおいて鋼材を

構成する結晶粒の断面領域を与える教師あり学習により機械学習モデルを学習させてもよい。

[0058] 一実施形態において、機械学習部１１２Ａは、複数のフィルタを用いて二値化した画像データから特徴を抽出し、それぞれの画素について特徴ベクトルを作成する。作成した特徴ベクトルを用いて、機械学習モデルとして決定木を訓練し、ランダムフォレスト法に基づいた分類子を作成してもよい。作成した分類子を二値化した画像データに適用することにより、クラスごとの分類を実行することができる。

[0059] 炭化物形態検出装置１００Ａにおいて、識別部１１１Ａが、機械学習部１１２Ａにより学習した機械学習モデルを利用することにより、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を自動的に識別することができる。

[0060] ［炭化物形態検出方法］

上述した本発明に係る炭化物形態検出装置１００を用いた炭化物形態検出方法について説明する。

[0061] 図４～図７は、一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。識別部１１１は、鋼材のＳＥＭ像を読み込む（Ｓ１１０）。鋼材のＳＥＭ像は、入力装置１２０を介して読み込まれてもよく、記憶装置１４０に格納されたＳＥＭ像を識別部１１１が読み込んでもよい。また、通信装置１５０に接続するネットワークを介して、サーバやネットワークドライブに格納されたＳＥＭ像を識別部１１１が読み込んでもよい。

[0062] 識別部１１１は、読み込んだ鋼材のＳＥＭ像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する（Ｓ１３０）。一実施形態において、マスクデータ生成部１１２は、ＳＥＭ像を構成する画素について、第１の所定値以下の輝度値を有するか否かを判断する（Ｓ１３１）。マスクデータ生成部１１２は、第１の所定値以下の輝度値を有する画素をマスクする部分に設定する（Ｓ１３３）。また、マスクデータ生成部１１２は、第１の所定値より高い輝度値を有する画素をマスクしない部分に設定する（Ｓ１３５）。このようにして設定された部分を合成し、マスクデータ生成部１１２は、ＳＥＭ像からマスク

データを生成する（Ｓ１３７）。識別部１１１は、マスクデータに基づいて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別することができる（Ｓ１３９）。

[0063] 抽出部１１３は、識別部１１１により識別された結晶粒の断面領域に基づいて、ＳＥＭ像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出する（Ｓ１５０）。具体的には、抽出部１１３は、マスクデータ生成部１１２により生成されたマスクデータに基づき、ＳＥＭ像からノイズとなる構造を含むマスク領域を減算して（Ｓ１５１）、結晶粒の断面領域の画像データを抽出する（Ｓ１５３）。

[0064] データ変換部１１５は、抽出部１１３により抽出された画像データを二値化する（Ｓ１７０）。具体的には、データ変換部１１５は、抽出された結晶粒の断面領域の画像データを構成する画素ごとに、第２の所定値を基準として、結晶粒の断面領域の画像データを二値化する（Ｓ１７１）。より具体的には、データ変換部１１５は、画像データにおいて第２の所定値以上（又は第２の所定値より大きい）の輝度を有する部分の輝度値を１に変換し（Ｓ１７３）、第２の所定値未満（又は第２の所定値以下）の輝度を有する部分の輝度値を０に変換する（Ｓ１７５）。このようにして設定された部分を合成し、データ変換部１１５は、結晶粒の断面領域の画像データから結晶粒の断面領域を二値化した画像データを生成する（Ｓ１７７）。その結果、データ変換部１１５は、輝度値１を有する部分を炭化物の構造体として識別することができる。なお、第２の所定値は、鋼材のＳＥＭ像の観察から事前に設定された輝度値であってもよく、ユーザが表示装置１３１により確認したデータ変換部１１５が処理する実際の鋼材のＳＥＭ像について、ユーザが設定した輝度値であってもよい。一実施形態において、注目画素の輝度とその周囲の画素の輝度との平均値を第２の所定値として設定してもよい（適応的二値化）。

[0065] ［炭化物形態検出方法の変形例］

上記の実施形態においては、鋼材の走査型電子顕微鏡像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別部が識別し、識別された結晶粒の断面領域に基づ

いて、走査型電子顕微鏡像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出部が抽出し、抽出された画像データをデータ変換部が二値化することにより炭化物の構造体を決定する例を説明した。しかし、本発明に係る炭化物形態検出方法においては、鋼材の走査型電子顕微鏡像を二値化してから、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別することもできる。

[0066] 図８～図１１は、一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。データ変換部１１５は、鋼材のＳＥＭ像を読み込む（Ｓ２１０）。ＳＥＭ像を読み込む工程は、上述したＳ１１０の工程と同様の工程であるため、詳細な説明は省略する。データ変換部１１５は、鋼材のＳＥＭ像を二値化する（Ｓ２３０）。データ変換部１１５は、鋼材のＳＥＭ像において、所定値（以下、第２の所定値とも称する）を基準として、鋼材のＳＥＭ像を二値化する（Ｓ２３１）。より具体的には、鋼材のＳＥＭ像において第２の所定値以上（又は第２の所定値より大きい）の輝度を有する部分の輝度値を１に変換し（Ｓ２３３）、第２の所定値未満（又は第２の所定値以下）の輝度を有する部分の輝度値を０に変換する（Ｓ２３５）。このような処理により、データ変換部１１５は、輝度値１を有する部分を炭化物である可能性のある構造体として決定することができる（Ｓ２３９）。なお、第２の所定値は、鋼材のＳＥＭ像の観察から事前に設定された輝度値であってもよく、ユーザが表示装置１３１により確認したデータ変換部１１５が処理する実際の鋼材のＳＥＭ像について、ユーザが設定した輝度値であってもよい。一実施形態において、注目画素の輝度とその周囲の画素の輝度との平均値を第２の所定値として設定してもよい（適応的二値化）。

[0067] 識別部１１１は、データ変換部１１５が二値化した画像データから鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する（Ｓ２５０）。一実施形態において、マスクデータ生成部１１２は、二値化した画像データを構成する画素について、第１の所定値以下の輝度値を有するか否かを判断する（Ｓ２５１）。マスクデータ生成部１１２は、第１の所定値以下の輝度値を有する画素をマスクする部分に設定する（Ｓ２５３）。また、マスクデータ生成部１１２は、

第１の所定値より高い輝度値を有する画素をマスクしない部分に設定する（Ｓ２５５）。このようにして設定された部分を合成し、マスクデータ生成部１１２は、二値化した画像データからマスクデータを生成する（Ｓ２５７）。識別部１１１は、マスクデータに基づいて、二値化した画像データにおいて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別することができる（Ｓ２５９）。

[0068] 抽出部１１３は、識別部１１１により識別された二値化した画像データの結晶粒の断面領域に基づいて、二値化した画像データから結晶粒の断面領域の画像データを抽出する（Ｓ２７０）。具体的には、抽出部１１３は、マスクデータ生成部１１２により生成されたマスクデータに基づき、二値化した画像データからノイズとなる構造を含むマスク領域を減算して（Ｓ２７１）、結晶粒の断面領域の画像データを抽出する（Ｓ２７３）。その結果、抽出部１１３は、二値化された画像データから抽出された結晶粒の断面領域を炭化物の構造体として識別することができる。

[0069] ［機械学習を用いた炭化物形態検出方法］

上記の実施形態においては、マスクデータ生成部１１２が生成したマスクデータに基づき、ＳＥＭ像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出する例を説明した。しかし、本発明に係る炭化物形態検出方法は、機械学習を用いて、ＳＥＭ像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出するように構成することもできる。

[0070] 図１２～図１５は、一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。識別部１１１Ａは、鋼材のＳＥＭ像を読み込む（Ｓ３１０）。ＳＥＭ像を読み込む工程は、上述したＳ１１０の工程と同様の工程であるため、詳細な説明は省略する。識別部１１１Ａは、読み込んだ鋼材のＳＥＭ像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する（Ｓ３３０）。

[0071] 機械学習部１１２Ａは、複数の学習用の鋼材のＳＥＭ像を用いて、機械学習モデルを学習させる（Ｓ３３１）。機械学習部１１２Ａが実行する機械学習は、教師あり学習、教師なし学習、又は強化学習の何れでもよいが、一実

施形態において、学習に用いるＳＥＭ像において鋼材を構成する結晶粒の断面領域を与える教師あり学習により機械学習モデルを学習させてもよい。

[0072] 一実施形態において、機械学習部１１２Ａは、ニューラルネットワークを用いた深層学習を行ってもよい。また、一実施形態において、機械学習部１１２Ａは、ＴＷＳ法を用いて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別するための機械学習を行ってもよい。例えば、複数のフィルタを用いてＳＥＭ像から特徴を抽出し、それぞれの画素について特徴ベクトルを作成する。作成した特徴ベクトルを用いて、機械学習モデルとして決定木を訓練し、ランダムフォレスト法に基づいた分類子を作成する。なお、ランダムフォレスト法は、フィルタリングにより得られた複数の特徴ベクトルの中からランダムに複数を選択し、それを複数個の決定木で得られる重み付き平均確率に基づいて識別する手法である。作成した分類子をＳＥＭ像に適用することにより、クラスごとの分類を実行する（Ｓ３３３）。その結果、機械学習部１１２Ａは、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する（Ｓ３３５）。

[0073] 抽出部１１３は、識別部１１１Ａにより識別された結晶粒の断面領域に基づいて、ＳＥＭ像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出する（Ｓ１５０）。具体的には、抽出部１１３は、識別部１１１Ａにより識別された結晶粒の断面領域に基づき、結晶粒の断面領域の画像データを抽出する（Ｓ３５１）。

[0074] データ変換部１１５は、抽出部１１３により抽出された画像データを二値化する（Ｓ３７０）。具体的には、データ変換部１１５は、抽出された結晶粒の断面領域の画像データを構成する画素ごとに、第２の所定値を基準として、結晶粒の断面領域の画像データを二値化する（Ｓ３７１）。より具体的には、データ変換部１１５は、画像データにおいて第２の所定値以上（又は第２の所定値より大きい）の輝度を有する部分の輝度値を１に変換し（Ｓ３７３）、第２の所定値未満（又は第２の所定値以下）の輝度を有する部分の輝度値を０に変換する（Ｓ３７５）。このようにして設定された部分を合成し、データ変換部１１５は、結晶粒の断面領域の画像データから結晶粒の断

面領域を二値化した画像データを生成する（Ｓ３７７）。その結果、データ変換部１１５は、輝度値１を有する部分を炭化物の構造体として識別することができる。なお、第２の所定値は、鋼材のＳＥＭ像の観察から事前に設定された輝度値であってもよく、ユーザが表示装置１３１により確認したデータ変換部１１５が処理する実際の鋼材のＳＥＭ像について、ユーザが設定した輝度値であってもよい。一実施形態において、注目画素の輝度とその周囲の画素の輝度との平均値を第２の所定値として設定してもよい（適応的二値化）。

[0075] ［機械学習を用いた炭化物形態検出方法の変形例］

上述したように、本発明に係る炭化物形態検出方法においては、鋼材の走査型電子顕微鏡像を二値化してから、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別することもできる。図１６～図１９は、一実施形態に係る炭化物形態検出方法のフロー図である。データ変換部１１５は、鋼材のＳＥＭ像を読み込む（Ｓ４１０）。ＳＥＭ像を読み込む工程は、上述したＳ１１０の工程と同様の工程であるため、詳細な説明は省略する。データ変換部１１５は、鋼材のＳＥＭ像を二値化する（Ｓ４３０）。データ変換部１１５は、鋼材のＳＥＭ像において、所定値（以下、第２の所定値とも称する）を基準として、鋼材のＳＥＭ像を二値化する（Ｓ４３１）。より具体的には、鋼材のＳＥＭ像において第２の所定値以上（又は第２の所定値より大きい）の輝度を有する部分の輝度値を１に変換し（Ｓ４３３）、第２の所定値未満（又は第２の所定値以下）の輝度を有する部分の輝度値を０に変換する（Ｓ４３５）。このような処理により、データ変換部１１５は、輝度値１を有する部分を炭化物である可能性のある構造体として決定することができる（Ｓ４３９）。なお、第２の所定値は、鋼材のＳＥＭ像の観察から事前に設定された輝度値であってもよく、ユーザが表示装置１３１により確認したデータ変換部１１５が処理する実際の鋼材のＳＥＭ像について、ユーザが設定した輝度値であってもよい。一実施形態において、注目画素の輝度とその周囲の画素の輝度との平均値を第２の所定値として設定してもよい（適応的二値化）。

[0076] 識別部１１１Ａは、データ変換部１１５が二値化した画像データから鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する（Ｓ４３０）。機械学習部１１２Ａは、複数の学習用の二値化した画像データを用いて、機械学習モデルを学習させる（Ｓ４３１）。機械学習部１１２Ａが実行する機械学習は、教師あり学習、教師なし学習、又は強化学習の何れでもよいが、一実施形態において、学習に用いるＳＥＭ像において鋼材を構成する結晶粒の断面領域を与える教師あり学習により機械学習モデルを学習させてもよい。

[0077] 一実施形態において、機械学習部１１２Ａは、ニューラルネットワークを用いた深層学習を行ってもよい。また、一実施形態において、機械学習部１１２Ａは、Ｔｒａｉｎａｂｌｅ Ｗｅｋａ Ｓｅｇｍｅｎｔａｔｉｏｎ（ＴＷＳ）法を用いて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別するための機械学習を行ってもよい。例えば、複数のフィルタを用いてＳＥＭ像から特徴を抽出し、それぞれの画素について特徴ベクトルを作成する。作成した特徴ベクトルを用いて、機械学習モデルとして決定木を訓練し、ランダムフォレスト法に基づいた分類子を作成する。なお、ランダムフォレスト法は、フィルタリングにより得られた複数の特徴ベクトルの中からランダムに複数を選択し、それを複数個の決定木で得られる重み付き平均確率に基づいて識別する手法である。作成した分類子を二値化した画像データに適用することにより、クラスごとの分類を実行する（Ｓ４３３）。その結果、機械学習部１１２Ａは、二値化した画像データにおいて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する（Ｓ４３５）。

[0078] 抽出部１１３は、識別部１１１Ａにより識別された二値化した画像データの結晶粒の断面領域に基づいて、二値化した画像データから結晶粒の断面領域の画像データを抽出する（Ｓ３７０）。具体的には、抽出部１１３は、識別部１１１Ａにより識別された結晶粒の断面領域に基づき、二値化した画像データから結晶粒の断面領域の画像データを抽出する（Ｓ３５１）。その結果、抽出部１１３は、二値化された画像データから抽出された結晶粒の断面領域を炭化物の構造体として識別することができる。

[0079] ［炭化物形態検出プログラム］

本発明の一実施形態において、上述した炭化物形態検出方法を実行するためのプログラムを提供することができる。または、一実施形態において、プログラムを格納した記録媒体として提供することもできる。図４～図７を参照して説明する。

[0080] 本プログラムは、識別部１１１に、鋼材のＳＥＭ像を読み込ませる（Ｓ１１０）。鋼材のＳＥＭ像は、入力装置１２０を介して読み込ませてもよく、記憶装置１４０に格納されたＳＥＭ像を識別部１１１が読み込ませてもよい。また、通信装置１５０に接続するネットワークを介して、サーバやネットワークドライブに格納されたＳＥＭ像を識別部１１１に読み込ませてもよい。

[0081] 本プログラムは、識別部１１１に、読み込んだ鋼材のＳＥＭ像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させる（Ｓ１３０）。一実施形態において、本プログラムは、マスクデータ生成部１１２に、ＳＥＭ像を構成する画素について、第１の所定値以下の輝度値を有するか否かを判断させる（Ｓ１３１）。本プログラムは、マスクデータ生成部１１２に、第１の所定値以下の輝度値を有する画素をマスクする部分に設定させる（Ｓ１３３）。また、本プログラムは、マスクデータ生成部１１２に、第１の所定値より高い輝度値を有する画素をマスクしない部分に設定させる（Ｓ１３５）。本プログラムは、このようにして設定された部分を合成させ、マスクデータ生成部１１２に、ＳＥＭ像からマスクデータを生成させる（Ｓ１３７）。本プログラムは、識別部１１１に、マスクデータに基づいて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させることができる（Ｓ１３９）。

[0082] 本プログラムは、抽出部１１３に、識別部１１１により識別された結晶粒の断面領域に基づいて、ＳＥＭ像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出させる（Ｓ１５０）。具体的には、本プログラムは、抽出部１１３に、マスクデータ生成部１１２により生成されたマスクデータに基づき、ＳＥＭ像からノイズとなる構造を含むマスク領域を減算させて（Ｓ１５１）、結晶粒の

断面領域の画像データを抽出させる（Ｓ１５３）。

[0083] 本プログラムは、データ変換部１１５に、抽出部１１３により抽出された画像データを二値化させる（Ｓ１７０）。具体的には、本プログラムは、データ変換部１１５に、抽出された結晶粒の断面領域の画像データを構成する画素ごとに、第２の所定値を基準として、結晶粒の断面領域の画像データを二値化させる（Ｓ１７１）。より具体的には、本プログラムは、データ変換部１１５に、画像データにおいて第２の所定値以上（又は第２の所定値より大きい）の輝度を有する部分の輝度値を１に変換させ（Ｓ１７３）、第２の所定値未満（又は第２の所定値以下）の輝度を有する部分の輝度値を０に変換させる（Ｓ１７５）。本プログラムは、このようにして設定された部分を合成させ、データ変換部１１５に、結晶粒の断面領域の画像データから結晶粒の断面領域を二値化した画像データを生成させる（Ｓ１７７）。その結果、本プログラムは、データ変換部１１５に、輝度値１を有する部分を炭化物の構造体として識別させることができる。なお、第２の所定値は、鋼材のＳＥＭ像の観察から事前に設定された輝度値であってもよく、ユーザが表示装置１３１により確認したデータ変換部１１５が処理する実際の鋼材のＳＥＭ像について、ユーザが設定した輝度値であってもよい。一実施形態において、注目画素の輝度とその周囲の画素の輝度との平均値を第２の所定値として設定してもよい（適応的二値化）。

[0084] ［炭化物形態検出プログラムの変形例］

上記の実施形態においては、鋼材の走査型電子顕微鏡像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別部に識別させ、識別させた結晶粒の断面領域に基づいて、走査型電子顕微鏡像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出部に抽出させ、抽出させた画像データをデータ変換部に二値化させることにより炭化物の構造体を決定させる例を説明した。しかし、本発明に係る炭化物形態検出プログラムにおいては、鋼材の走査型電子顕微鏡像を二値化させてから、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させることもできる。

[0085] 図８～図１１を参照する。本プログラムは、データ変換部１１５に、鋼材

のＳＥＭ像を読み込ませる（Ｓ２１０）。ＳＥＭ像を読み込ませる工程は、上述したＳ１１０の工程と同様の工程であるため、詳細な説明は省略する。本プログラムは、データ変換部１１５に、鋼材のＳＥＭ像を二値化させる（Ｓ２３０）。本プログラムは、データ変換部１１５に、鋼材のＳＥＭ像において、所定値（以下、第２の所定値とも称する）を基準として、鋼材のＳＥＭ像を二値化させる（Ｓ２３１）。より具体的には、本プログラムは、鋼材のＳＥＭ像において第２の所定値以上（又は第２の所定値より大きい）の輝度を有する部分の輝度値を１に変換させ（Ｓ２３３）、第２の所定値未満（又は第２の所定値以下）の輝度を有する部分の輝度値を０に変換させる（Ｓ２３５）。本プログラムは、このような処理により、データ変換部１１５に、輝度値１を有する部分を炭化物である可能性のある構造体として決定させることができる（Ｓ２３９）。なお、第２の所定値は、鋼材のＳＥＭ像の観察から事前に設定された輝度値であってもよく、ユーザが表示装置１３１により確認したデータ変換部１１５が処理する実際の鋼材のＳＥＭ像について、ユーザが設定した輝度値であってもよい。一実施形態において、注目画素の輝度とその周囲の画素の輝度との平均値を第２の所定値として設定してもよい（適応的二値化）。

[0086] 本プログラムは、識別部１１１に、データ変換部１１５が二値化した画像データから鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させる（Ｓ２５０）。一実施形態において、本プログラムは、マスクデータ生成部１１２に、二値化した画像データを構成する画素について、第１の所定値以下の輝度値を有するか否かを判断させる（Ｓ２５１）。本プログラムは、マスクデータ生成部１１２に、第１の所定値以下の輝度値を有する画素をマスクする部分に設定させる（Ｓ２５３）。また、本プログラムは、マスクデータ生成部１１２に、第１の所定値より高い輝度値を有する画素をマスクしない部分に設定させる（Ｓ２５５）。本プログラムは、このようにして設定された部分を合成させ、マスクデータ生成部１１２に、二値化した画像データからマスクデータを生成させる（Ｓ２５７）。本プログラムは、識別部１１１に、マスクデー

タに基づいて、二値化した画像データにおいて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させることができる（Ｓ２５９）。

[0087] 本プログラムは、抽出部１１３に、識別部１１１により識別された二値化した画像データの結晶粒の断面領域に基づいて、二値化した画像データから結晶粒の断面領域の画像データを抽出させる（Ｓ２７０）。具体的には、本プログラムは、抽出部１１３に、マスクデータ生成部１１２により生成されたマスクデータに基づき、二値化した画像データからノイズとなる構造を含むマスク領域を減算させて（Ｓ２７１）、結晶粒の断面領域の画像データを抽出させる（Ｓ２７３）。その結果、本プログラムは、抽出部１１３に、二値化された画像データから抽出された結晶粒の断面領域を炭化物の構造体として識別させることができる。

[0088] ［機械学習を用いた炭化物形態検出プログラム］

上記の実施形態においては、マスクデータ生成部１１２に生成させたマスクデータに基づき、ＳＥＭ像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出させる例を説明した。しかし、本発明に係る炭化物形態検出プログラムは、機械学習を用いて、ＳＥＭ像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出させるように構成することもできる。

[0089] 図１２～図１５を参照する。本プログラムは、識別部１１１Ａに、鋼材のＳＥＭ像を読み込ませる（Ｓ３１０）。ＳＥＭ像を読み込ませる工程は、上述したＳ１１０の工程と同様の工程であるため、詳細な説明は省略する。本プログラムは、識別部１１１Ａに、読み込ませた鋼材のＳＥＭ像から鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させる（Ｓ３３０）。

[0090] 本プログラムは、機械学習部１１２Ａに、複数の学習用の鋼材のＳＥＭ像を用いて、機械学習モデルを学習させる（Ｓ３３１）。機械学習部１１２Ａに実行させる機械学習は、教師あり学習、教師なし学習、又は強化学習の何れでもよいが、一実施形態において、学習に用いるＳＥＭ像において鋼材を構成する結晶粒の断面領域を与える教師あり学習により機械学習モデルを学習させてもよい。

[0091] 一実施形態において、本プログラムは、機械学習部１１２Ａに、ニューラルネットワークを用いた深層学習を行わせてもよい。また、一実施形態において、本プログラムは、機械学習部１１２Ａに、ＴＷＳ法を用いさせ、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別するための機械学習を行わせてもよい。例えば、本プログラムは、複数のフィルタを用いてＳＥＭ像から特徴を抽出させ、それぞれの画素について特徴ベクトルを作成させる。本プログラムは、作成させた特徴ベクトルを用いて、機械学習モデルとして決定木を訓練させ、ランダムフォレスト法に基づいた分類子を作成させる。作成させた分類子をＳＥＭ像に適用させることにより、クラスごとの分類を実行させる（Ｓ３３３）。その結果、本プログラムは、機械学習部１１２Ａに、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させる（Ｓ３３５）。

[0092] 本プログラムは、抽出部１１３に、識別部１１１Ａにより識別させた結晶粒の断面領域に基づいて、ＳＥＭ像から結晶粒の断面領域の画像データを抽出させる（Ｓ１５０）。具体的には、本プログラムは、抽出部１１３に、識別部１１１Ａにより識別させた結晶粒の断面領域に基づき、結晶粒の断面領域の画像データを抽出させる（Ｓ３５１）。

[0093] 本プログラムは、データ変換部１１５に、抽出部１１３により抽出させた画像データを二値化させる（Ｓ３７０）。具体的には、本プログラムは、データ変換部１１５に、抽出させた結晶粒の断面領域の画像データを構成する画素ごとに、第２の所定値を基準として、結晶粒の断面領域の画像データを二値化させる（Ｓ３７１）。より具体的には、本プログラムは、データ変換部１１５に、画像データにおいて第２の所定値以上（又は第２の所定値より大きい）の輝度を有する部分の輝度値を１に変換させ（Ｓ３７３）、第２の所定値未満（又は第２の所定値以下）の輝度を有する部分の輝度値を０に変換させる（Ｓ３７５）。本プログラムは、このようにして設定させた部分を合成させ、データ変換部１１５に、結晶粒の断面領域の画像データから結晶粒の断面領域を二値化させた画像データを生成させる（Ｓ３７７）。その結果、本プログラムは、データ変換部１１５に、輝度値１を有する部分を炭化

物の構造体として識別させることができる。なお、第２の所定値は、鋼材のＳＥＭ像の観察から事前に設定された輝度値であってもよく、ユーザが表示装置１３１により確認したデータ変換部１１５が処理する実際の鋼材のＳＥＭ像について、ユーザが設定した輝度値であってもよい。一実施形態において、注目画素の輝度とその周囲の画素の輝度との平均値を第２の所定値として設定してもよい（適応的二値化）。

[0094] ［機械学習を用いた炭化物形態検出プログラムの変形例］

上述したように、本発明に係る炭化物形態検出プログラムにおいては、鋼材の走査型電子顕微鏡像を二値化させてから、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別することもできる。図１６～図１９を参照する。本プログラムは、データ変換部１１５に、鋼材のＳＥＭ像を読み込ませる（Ｓ４１０）。ＳＥＭ像を読み込ませる工程は、上述したＳ１１０の工程と同様の工程であるため、詳細な説明は省略する。本プログラムは、データ変換部１１５に、鋼材のＳＥＭ像を二値化させる（Ｓ４３０）。本プログラムは、データ変換部１１５に、鋼材のＳＥＭ像において、所定値（以下、第２の所定値とも称する）を基準として、鋼材のＳＥＭ像を二値化させる（Ｓ４３１）。より具体的には、本プログラムは、鋼材のＳＥＭ像において第２の所定値以上（又は第２の所定値より大きい）の輝度を有する部分の輝度値を１に変換させ（Ｓ４３３）、第２の所定値未満（又は第２の所定値以下）の輝度を有する部分の輝度値を０に変換させる（Ｓ４３５）。本プログラムは、このような処理により、データ変換部１１５に、輝度値１を有する部分を炭化物である可能性のある構造体として決定させることができる（Ｓ４３９）。なお、第２の所定値は、鋼材のＳＥＭ像の観察から事前に設定された輝度値であってもよく、ユーザが表示装置１３１により確認したデータ変換部１１５が処理する実際の鋼材のＳＥＭ像について、ユーザが設定した輝度値であってもよい。一実施形態において、注目画素の輝度とその周囲の画素の輝度との平均値を第２の所定値として設定してもよい（適応的二値化）。

[0095] 本プログラムは、識別部１１１Ａに、データ変換部１１５に二値化させた

画像データから鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させる（Ｓ４３０）。本プログラムは、機械学習部１１２Ａに、複数の学習用の二値化させた画像データを用いて、機械学習モデルを学習させる（Ｓ４３１）。機械学習部１１２Ａに実行させる機械学習は、教師あり学習、教師なし学習、又は強化学習の何れでもよいが、一実施形態において、学習に用いるＳＥＭ像において鋼材を構成する結晶粒の断面領域を与える教師あり学習により機械学習モデルを学習させてもよい。

[0096] 一実施形態において、本プログラムは、機械学習部１１２Ａに、ニューラルネットワークを用いた深層学習を行わせてもよい。また、一実施形態において、本プログラムは、機械学習部１１２Ａに、Ｔｒａｉｎａｂｌｅ Ｗｅｋａ Ｓｅｇｍｅｎｔａｔｉｏｎ（ＴＷＳ）法を用いて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させるための機械学習を行わせてもよい。例えば、本プログラムは、複数のフィルタを用いてＳＥＭ像から特徴を抽出させ、それぞれの画素について特徴ベクトルを作成させる。本プログラムは、作成させた特徴ベクトルを用いて、機械学習モデルとして決定木を訓練させ、ランダムフォレスト法に基づいた分類子を作成させる。本プログラムは、作成させた分類子を二値化させた画像データに適用させることにより、クラスごとの分類を実行させる（Ｓ４３３）。その結果、本プログラムは、機械学習部１１２Ａに、二値化させた画像データにおいて、鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させる（Ｓ４３５）。

[0097] 本プログラムは、抽出部１１３に、識別部１１１Ａにより識別させた二値化させた画像データの結晶粒の断面領域に基づいて、二値化させた画像データから結晶粒の断面領域の画像データを抽出させる（Ｓ３７０）。具体的には、本プログラムは、抽出部１１３に、識別部１１１Ａにより識別させた結晶粒の断面領域に基づき、二値化させた画像データから結晶粒の断面領域の画像データを抽出させる（Ｓ３５１）。その結果、本プログラムは、抽出部１１３に、二値化させた画像データから抽出させた結晶粒の断面領域を炭化物の構造体として識別させることができる。

実施例

[0098] 上述した炭化物形態検出装置１００を用いて炭化物形態検出した例を以下に示す。図３Ａは、エッチングにより鋼材の組織を露出させ鋼材の表面のＳＥＭ像である。識別部１１１は、図３ＡのＳＥＭ像を読み込み、マスクデータ生成部１１２が、ＳＥＭ像からマスクデータを生成した。図３Ｂは、本発明の一実施例のマスクデータを示す図である。抽出部１１３は、マスクデータ生成部１１２により生成されたマスクデータに基づき、ＳＥＭ像からノイズとなる構造を含むマスク領域を減算して、結晶粒の断面領域の画像データを抽出した。図３Ｃは、本発明の一実施例の結晶粒の断面領域を抽出した図である。このように抽出された結晶粒の断面領域をデータ変換部１１５により二値化し、図２Ｂの右図に示したような炭化物の構造体を識別することができた。

[0099] 上述の実施形態及び実施例においては走査型電子顕微鏡による鋼材のＳＥＭ像を用いる場合について説明した。走査型電子顕微鏡以外であっても、鋼材の結晶粒の観察が可能である透過電子顕微鏡（ＴＥＭ）、走査透過電子顕微鏡（ＳＴＥＭ）、原子間力顕微鏡（ＡＦＭ）等の顕微鏡を用いることも可能である。

[0100] 以上、本発明の一実施形態について図面を参照しながら説明したが、本発明は上記の実施形態に限られるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。例えば、本実施形態の鋼材の炭化物形態検出装置、鋼材の炭化物形態検出方法及び鋼材の炭化物形態検出プログラムを基にして、当業者が適宜構成要素の追加、削除若しくは設計変更を行ったものも、本発明の要旨を備えている限り、本発明の範囲に含まれる。さらに、上述した各実施形態は、相互に矛盾がない限り適宜組み合わせが可能であり、各実施形態に共通する技術事項については、明示の記載がなくても各実施形態に含まれる。

[0101] 上述した各実施形態の態様によりもたらされる作用効果とは異なる他の作用効果であっても、本明細書の記載から明らかなもの、又は、当業者におい

て容易に予測し得るものについては、当然に本発明によりもたらされるものと解される。

符号の説明

[0102] １００　炭化物形態検出装置、１００Ａ　炭化物形態検出装置、１１０　制御装置、１１０Ａ　制御装置、１１１　識別部、１１１Ａ　識別部、１１２　マスクデータ生成部、１１２Ａ　機械学習部、１１３　抽出部、１１５　データ変換部、１２０　入力装置、１３０　出力装置、１３１　表示装置、１４０　記憶装置、１５０　通信装置、１６０　電源装置

請求の範囲

[請求項1] 鋼材の顕微鏡像から前記鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する識別部と、

識別された前記結晶粒の断面領域に基づいて、前記顕微鏡像から前記結晶粒の前記断面領域の画像データを抽出する抽出部と、

抽出された前記画像データを二値化するデータ変換部と、を備える、炭化物形態検出装置。

[請求項2] 鋼材の顕微鏡像の画像データを二値化するデータ変換部と、

二値化された画像データから前記鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する識別部と、

識別された前記結晶粒の断面領域に基づいて、二値化された画像データから前記結晶粒の前記断面領域の画像データを抽出する抽出部と、を備える、炭化物形態検出装置。

[請求項3] 前記識別部は、前記鋼材の顕微鏡像又は前記二値化された画像データからマスクデータを生成するマスクデータ生成部を備え、

前記マスクデータ生成部は、前記顕微鏡像又は前記二値化された画像データにおいて、第１の所定値以下の輝度値を有する部分をマスクする部分に設定して、前記マスクデータを生成し、

前記識別部は、前記マスクデータに基づいて、前記鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する、請求項１又は２に記載の炭化物形態検出装置。

[請求項4] 前記識別部は、複数の学習用の鋼材の顕微鏡像又は複数の学習用の二値化された画像データを用いて、機械学習モデルを学習させる機械学習部を備え、

前記識別部は、学習した前記機械学習モデルに前記鋼材の顕微鏡像又は前記二値化された画像データを入力して、前記鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する、請求項１又は２に記載の炭化物形態検出装置。

[請求項5] 前記抽出部は、前記顕微鏡像又は前記二値化された画像データから、前記結晶粒の前記断面領域の画像データを抽出する、請求項１又は２に記載の炭化物形態検出装置。

[請求項6] 前記データ変換部は、前記結晶粒の前記断面領域の画像データ又は前記顕微鏡像において、第２の所定値を基準として前記断面領域の画像データを二値化する、請求項１又は２に記載の炭化物形態検出装置。

[請求項7] 識別部と、抽出部と、データ変換部と、を備える炭化物形態検出装置を用い、

前記識別部が、鋼材の顕微鏡像から前記鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別し、

前記抽出部が識別された前記結晶粒の断面領域に基づいて、前記顕微鏡像から前記結晶粒の前記断面領域の画像データを抽出し、

前記データ変換部が、抽出された前記画像データを二値化し、炭化物の構造体を決定する、炭化物形態検出方法。

[請求項8] 識別部と、抽出部と、データ変換部と、を備える炭化物形態検出装置を用い、

前記データ変換部が、鋼材の顕微鏡像の画像データを二値化し、

前記識別部が、二値化された画像データから前記鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別し、

前記抽出部が識別された前記結晶粒の断面領域に基づいて、前記二値化された画像データから前記結晶粒の前記断面領域の画像データを抽出し、炭化物の構造体を決定する、炭化物形態検出方法。

[請求項9] 前記識別部が、マスクデータ生成部を備え、

前記マスクデータ生成部が、前記顕微鏡像又は前記二値化された画像データにおいて、第１の所定値以下の輝度値を有する部分をマスクする部分に設定して、マスクデータを生成し、

前記識別部が、前記マスクデータに基づいて、前記鋼材を構成する

結晶粒の断面領域を識別する、請求項７又は８に記載の炭化物形態検出方法。

[請求項10] 前記識別部が、機械学習部を備え、

前記機械学習部が、複数の学習用の鋼材の顕微鏡像又は複数の学習用の二値化された画像データを用いて、機械学習モデルを学習させ、

前記識別部が、学習した前記機械学習モデルに前記鋼材の顕微鏡像又は前記二値化された画像データを入力して、前記鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別する、請求項７又は８に記載の炭化物形態検出方法。

[請求項11] 前記抽出部が、前記顕微鏡像又は前記二値化された画像データから、前記結晶粒の前記断面領域の画像データを抽出する、請求項７又は８に記載の炭化物形態検出方法。

[請求項12] 前記データ変換部が、前記結晶粒の前記断面領域の画像データ又は前記顕微鏡像において、第２の所定値を基準として前記断面領域の画像データを二値化する、請求項７又は８に記載の炭化物形態検出方法。

[請求項13] コンピュータに、鋼材の顕微鏡像から前記鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させ、

前記コンピュータに、識別された前記結晶粒の断面領域に基づいて、前記顕微鏡像から前記断面領域の画像データを抽出させ、

前記コンピュータに、抽出された前記画像データを二値化させ、炭化物の構造体を決定する、炭化物形態検出プログラム。

[請求項14] コンピュータに、鋼材の顕微鏡像の画像データを二値化させ、

前記コンピュータに、二値化された画像データから前記鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させ、

前記コンピュータに、識別された前記結晶粒の断面領域に基づいて、前記二値化された画像データから前記断面領域の画像データを抽出させ、炭化物の構造体を決定する、炭化物形態検出プログラム。

[請求項15] 前記コンピュータに、前記顕微鏡像又は前記二値化された画像データにおいて、第１の所定値以下の輝度値を有する部分をマスクする部分に設定させて、マスクデータを生成させ、

前記コンピュータに、前記マスクデータに基づいて、前記鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させる、請求項１３又は１４に記載の炭化物形態検出プログラム。

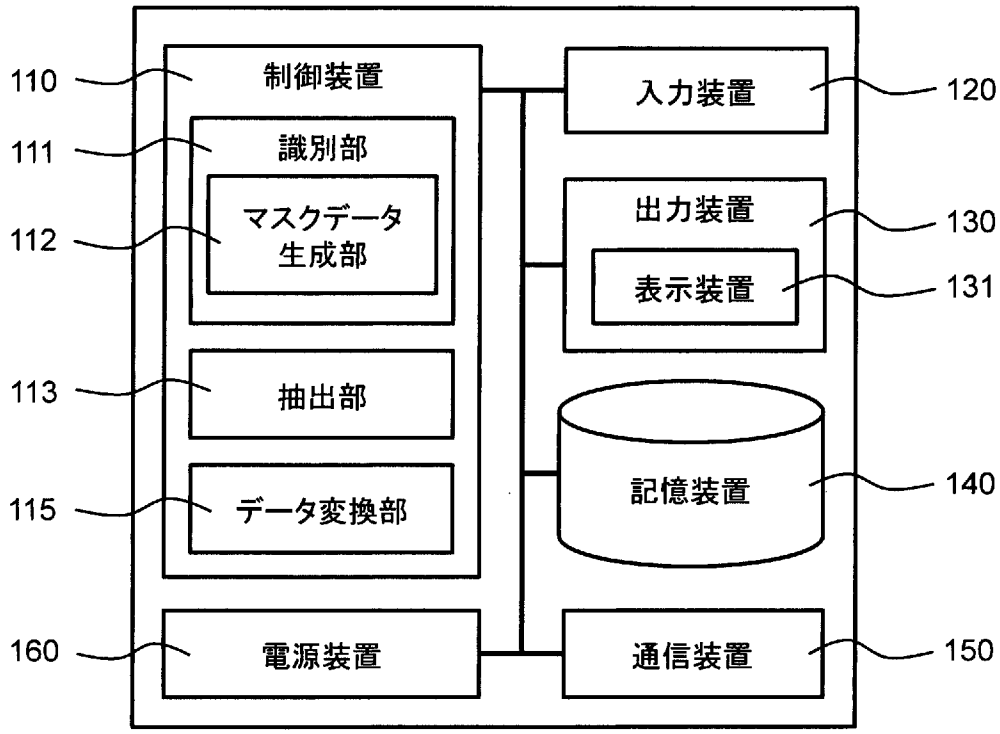
[請求項16] 前記コンピュータに、複数の学習用の鋼材の顕微鏡像又は複数の学習用の二値化された画像データを用いて、機械学習モデルを学習させ、

前記コンピュータに、学習した前記機械学習モデルに前記鋼材の顕微鏡像又は前記二値化された画像データを入力して、前記鋼材を構成する結晶粒の断面領域を識別させる、請求項１３又は１４に記載の炭化物形態検出プログラム。

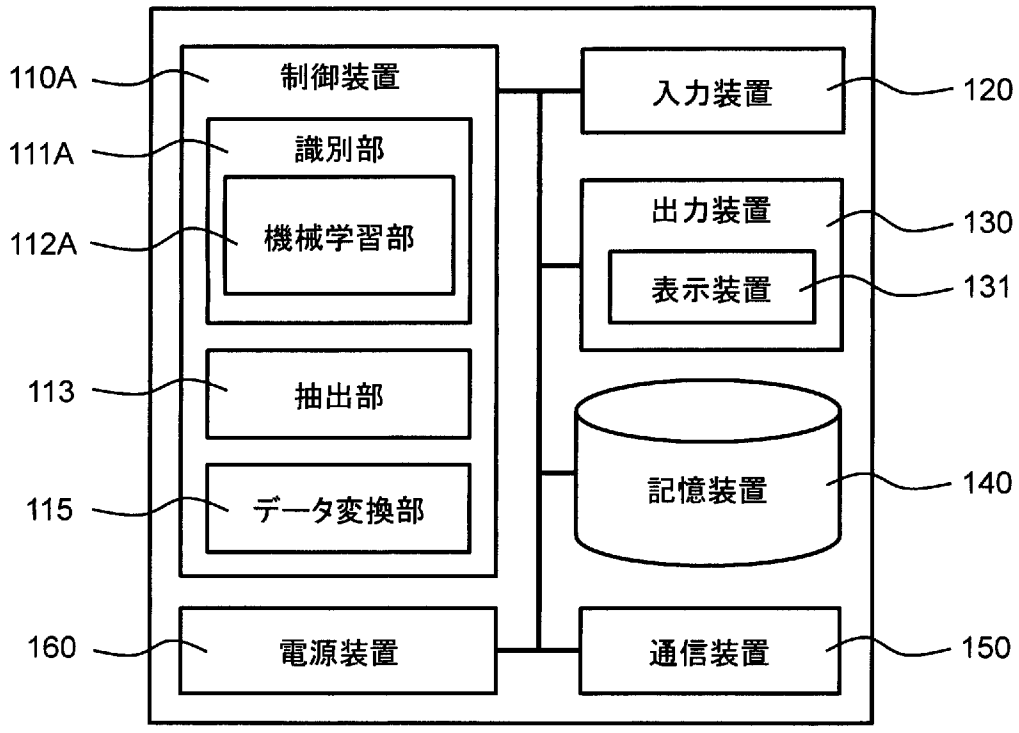
[請求項17] 前記コンピュータに、前記顕微鏡像又は前記二値化された画像データから、前記結晶粒の前記断面領域の画像データを抽出させる、請求項１３又は１４に記載の炭化物形態検出プログラム。

[請求項18] 前記コンピュータに、前記結晶粒の前記断面領域の画像データ又は前記顕微鏡像において、第２の所定値を基準として前記断面領域の画像データを二値化させる、請求項１３又は１４に記載の炭化物形態検出プログラム。

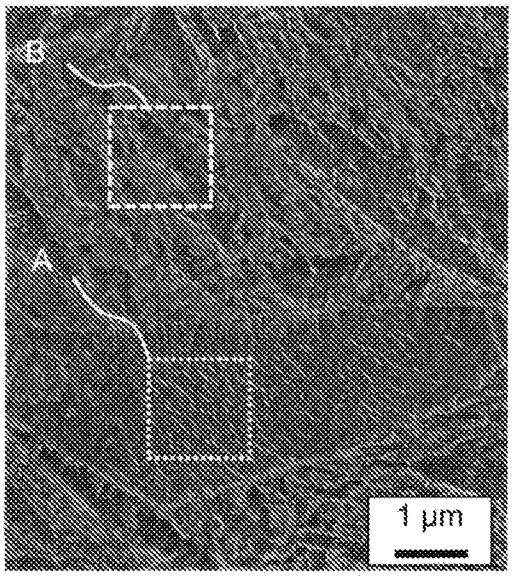
[図1A]


110
制御装置
111
識別部
112
マスクデータ
生成部
113
抽出部
115
データ変換部
160
電源装置
入力装置
120
出力装置
130
表示装置
131
記憶装置
140
通信装置
150
100

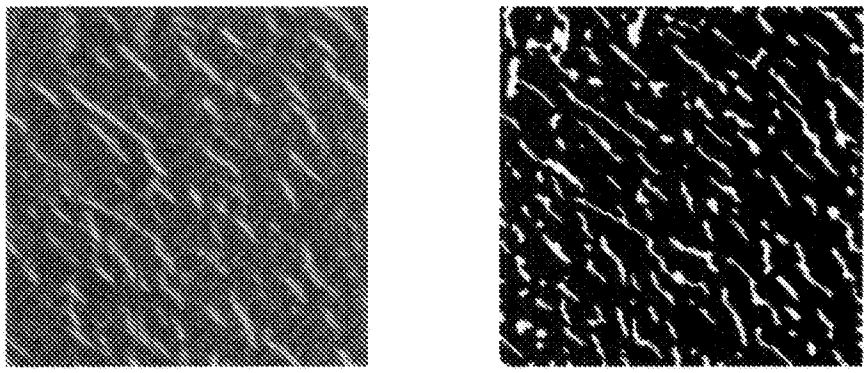
[図1B]


110A
制御装置
111A
識別部
112A
機械学習部
113
抽出部
115
データ変換部
160
電源装置
入力装置
120
出力装置
130
表示装置
131
記憶装置
140
通信装置
150
100A

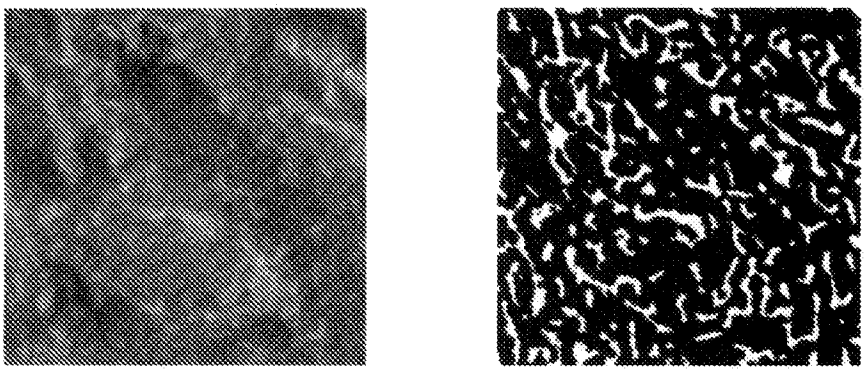
[図2A]



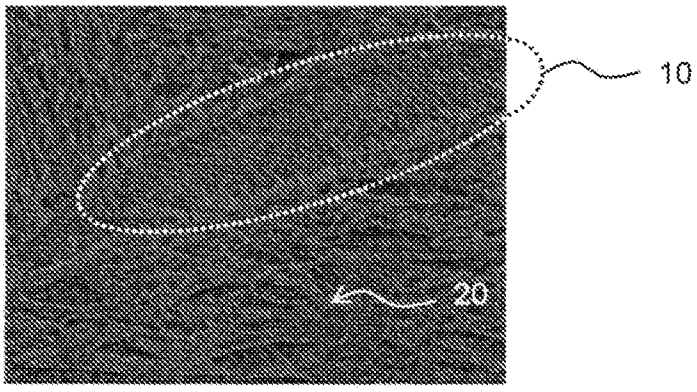
[図2B]



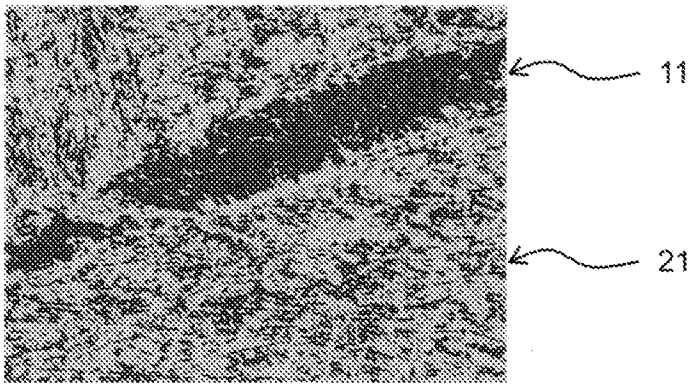
[図2C]



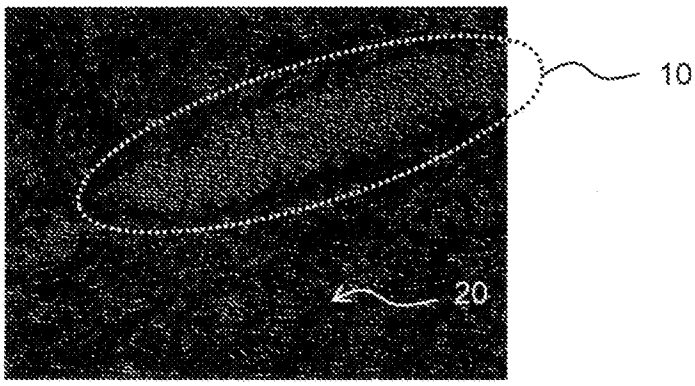
[図3A]



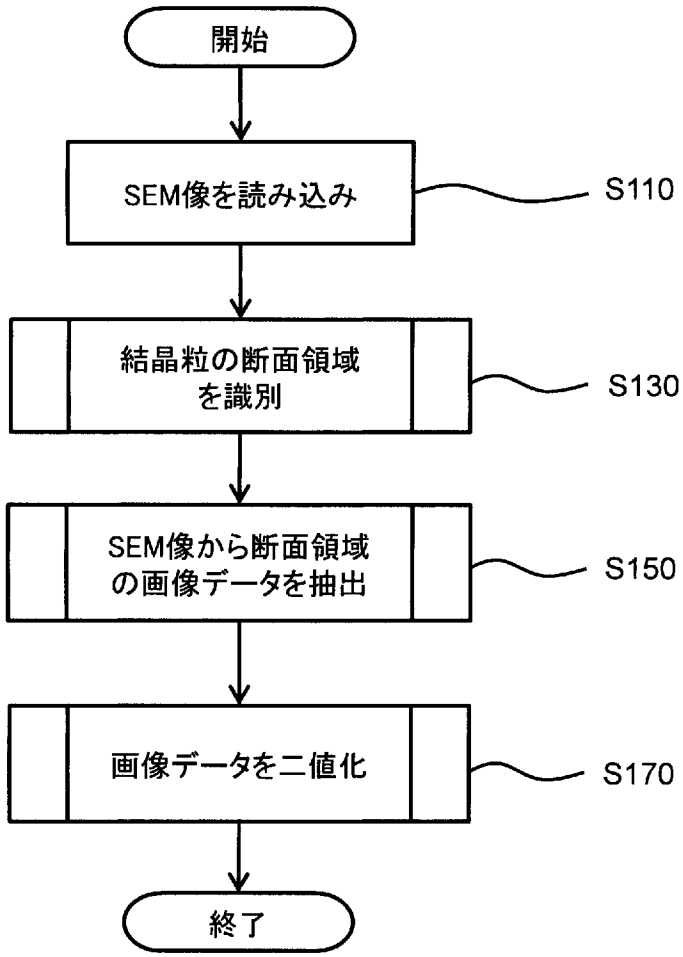
[図3B]



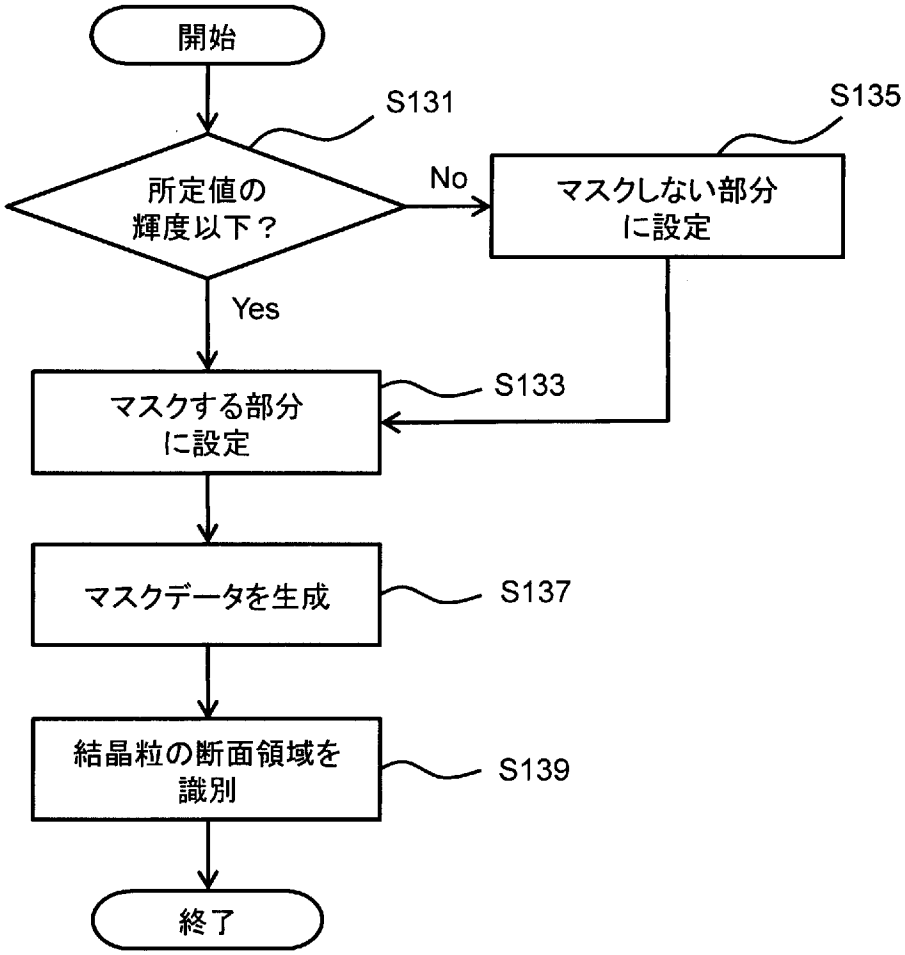
[図3C]



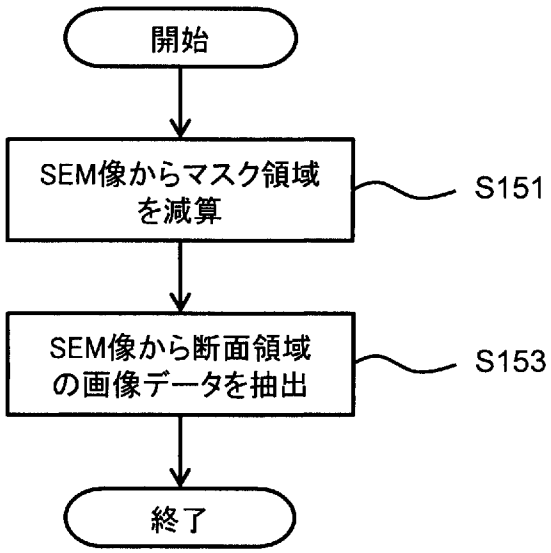
[図4]


開始
SEM像を読み込み
S110
結晶粒の断面領域を識別
S130
SEM像から断面領域の画像データを抽出
S150
画像データを二値化
S170
終了

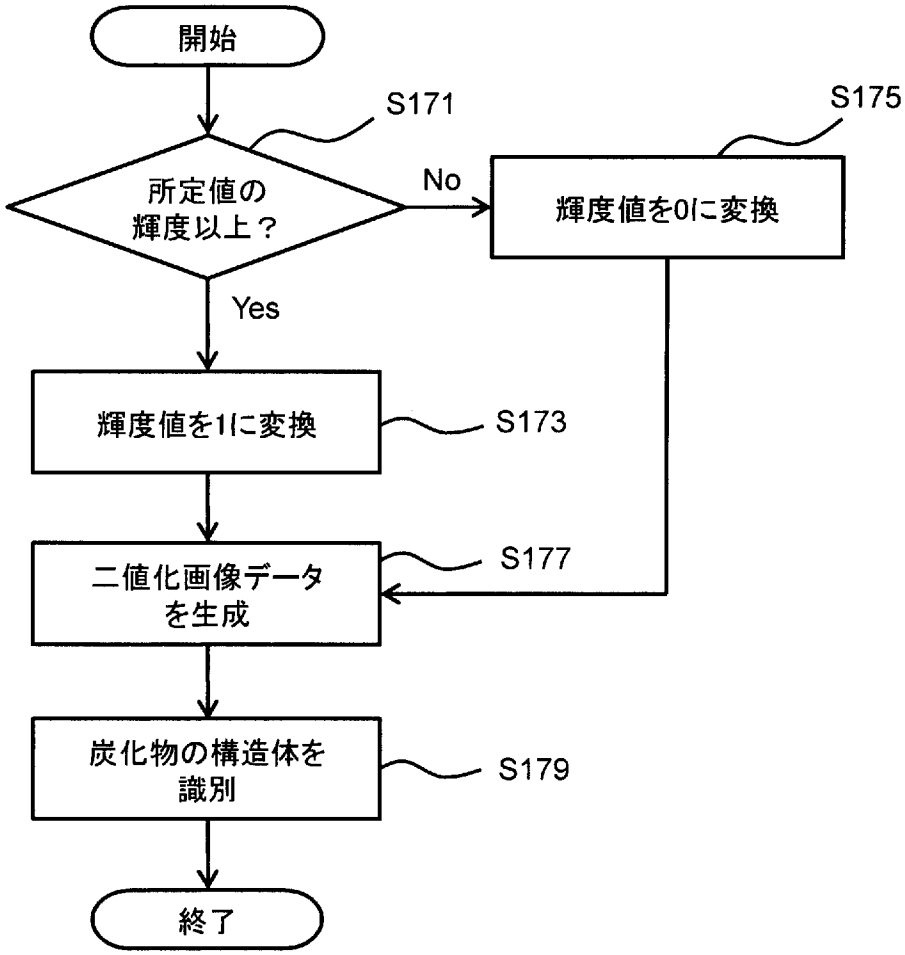
[図5]


開始
S131
所定値の
輝度以下？
No
S135
マスクしない部分
に設定
Yes
S133
マスクする部分
に設定
マスクデータを生成
S137
結晶粒の断面領域を
識別
S139
終了

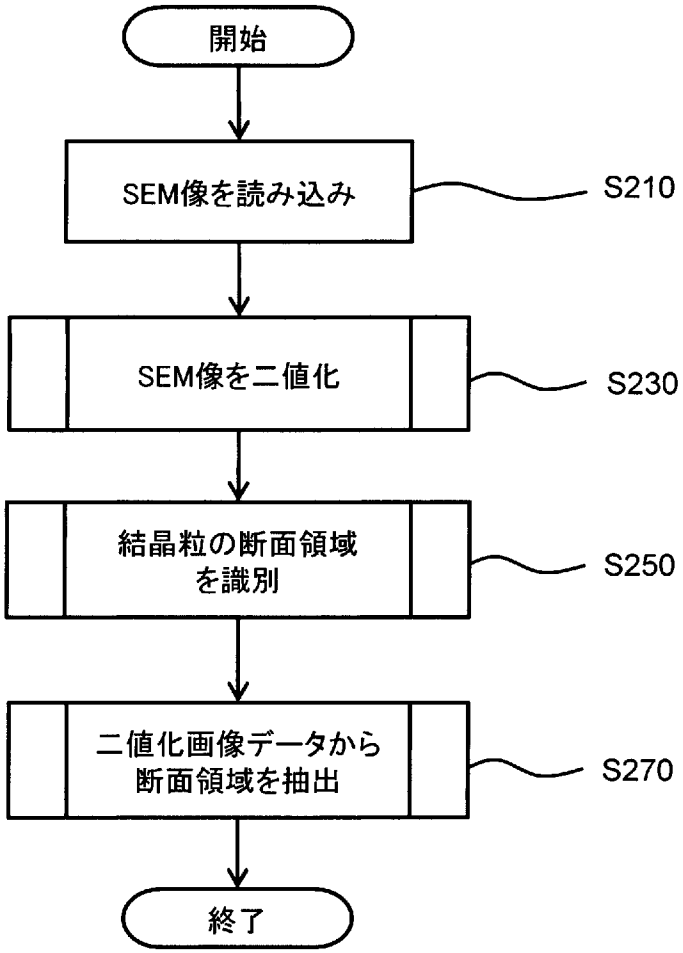
[図6]


開始
SEM像からマスク領域
を減算
S151
SEM像から断面領域
の画像データを抽出
S153
終了

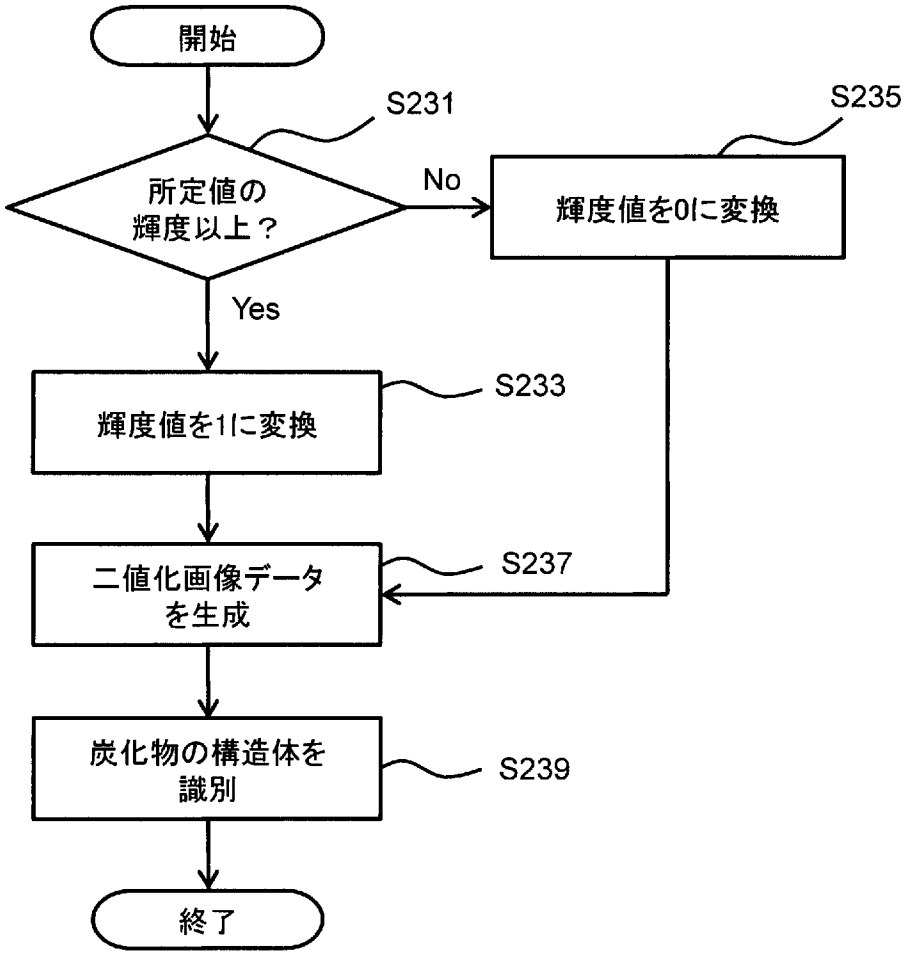
[図7]


開始
S171
所定値の
輝度以上？
No
S175
輝度値を0に変換
Yes
輝度値を1に変換
S173
二値化画像データ
を生成
S177
炭化物の構造体を
識別
S179
終了

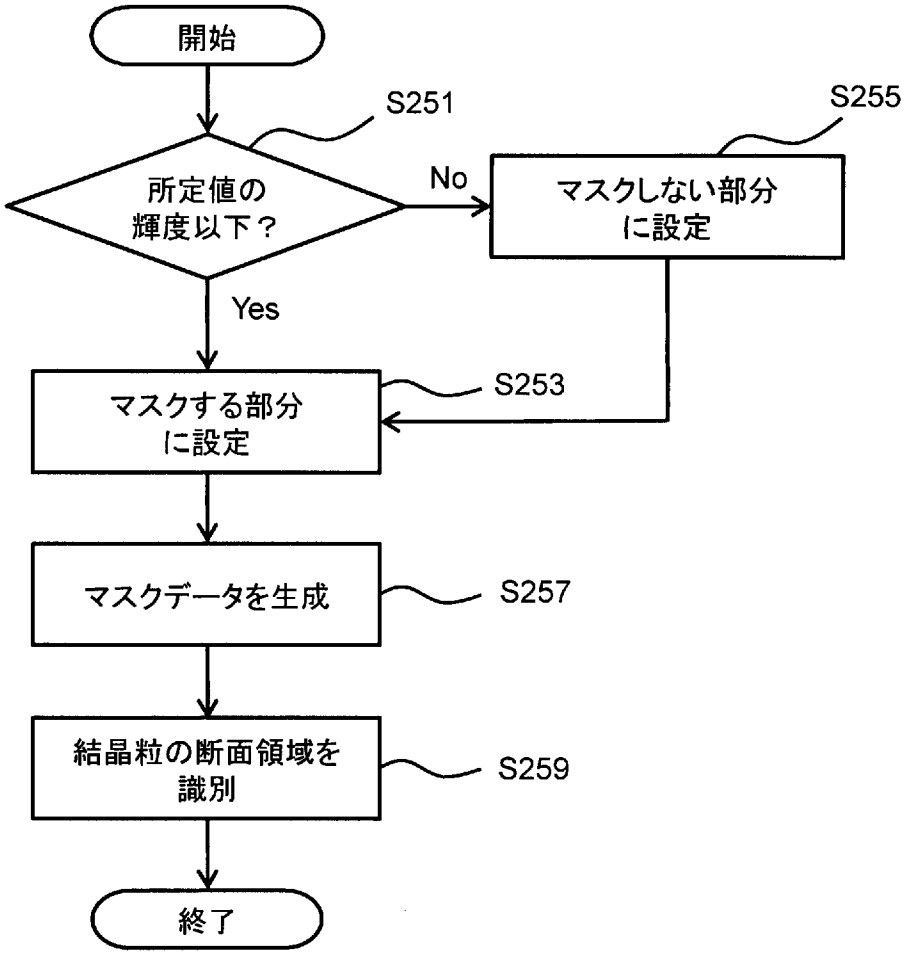
[図8]


開始
SEM像を読み込み
S210
SEM像を二値化
S230
結晶粒の断面領域
を識別
S250
二値化画像データから
断面領域を抽出
S270
終了

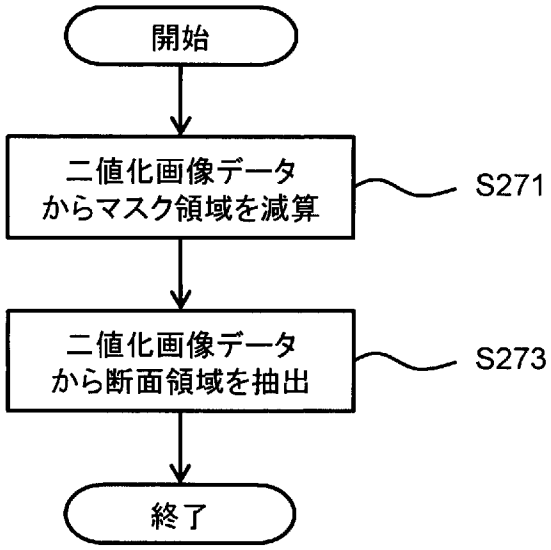
[図9]


開始
S231
所定値の
輝度以上？
No
S235
輝度値を0に変換
Yes
S233
輝度値を1に変換
S237
二値化画像データ
を生成
炭化物の構造体を
識別
S239
終了

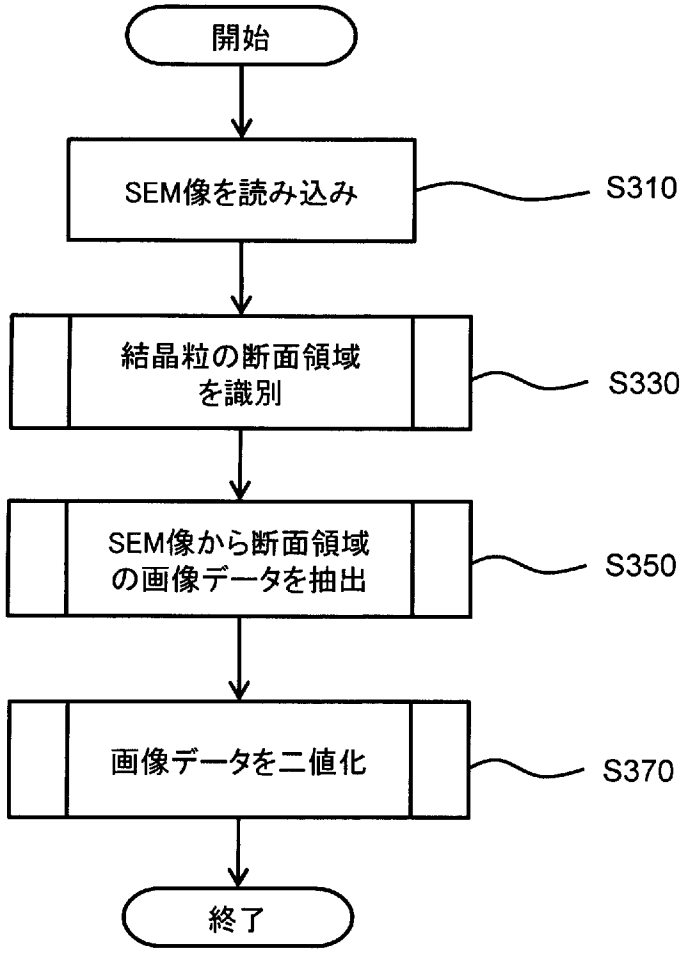
[図10]


開始
S251
所定値の
輝度以下？
No
S255
マスクしない部分
に設定
Yes
マスクする部分
に設定
S253
マスクデータを生成
S257
結晶粒の断面領域を
識別
S259
終了

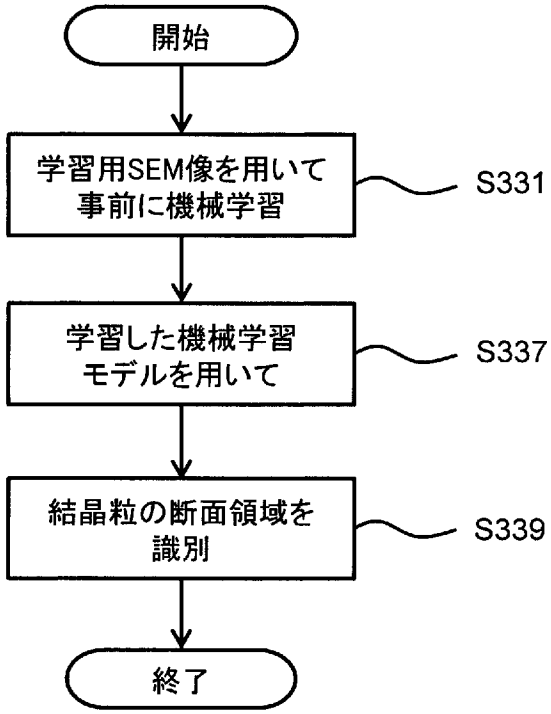
[図11]


開始
二値化画像データ
からマスク領域を減算
S271
二値化画像データ
から断面領域を抽出
S273
終了

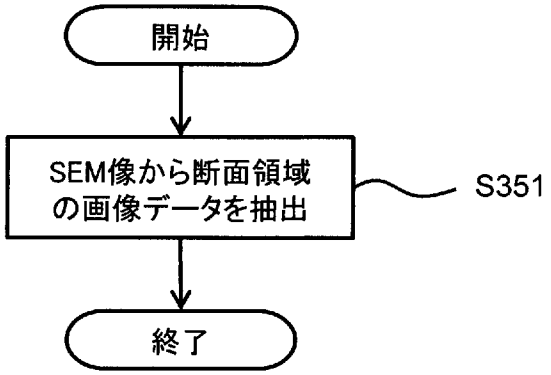
[図12]


開始
SEM像を読み込み
S310
結晶粒の断面領域を識別
S330
SEM像から断面領域の画像データを抽出
S350
画像データを二値化
S370
終了

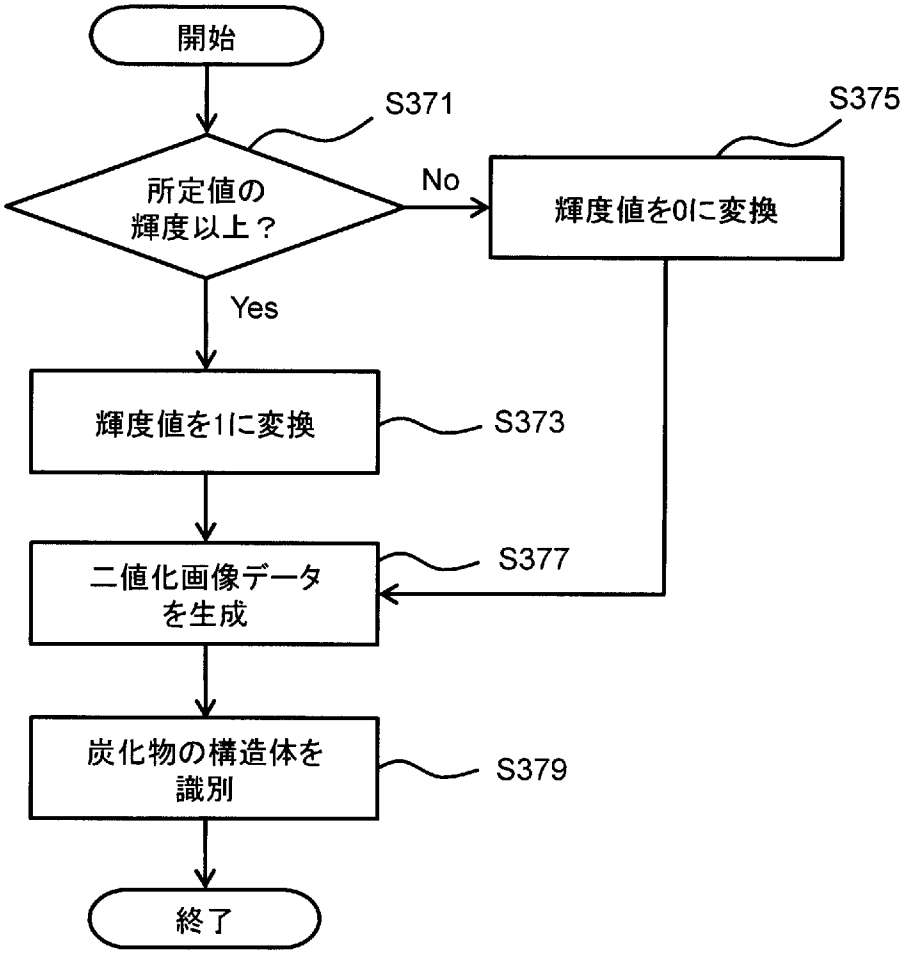
[図13]


開始
学習用SEM像を用いて
事前に機械学習
S331
学習した機械学習
モデルを用いて
S337
結晶粒の断面領域を
識別
S339
終了

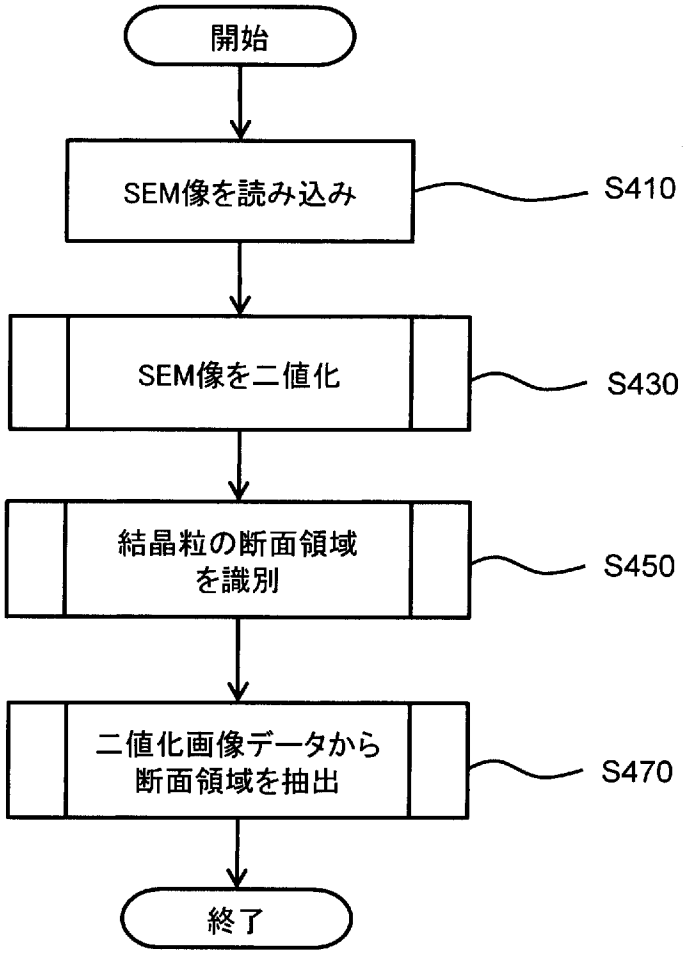
[図14]


開始
SEM像から断面領域
の画像データを抽出
S351
終了

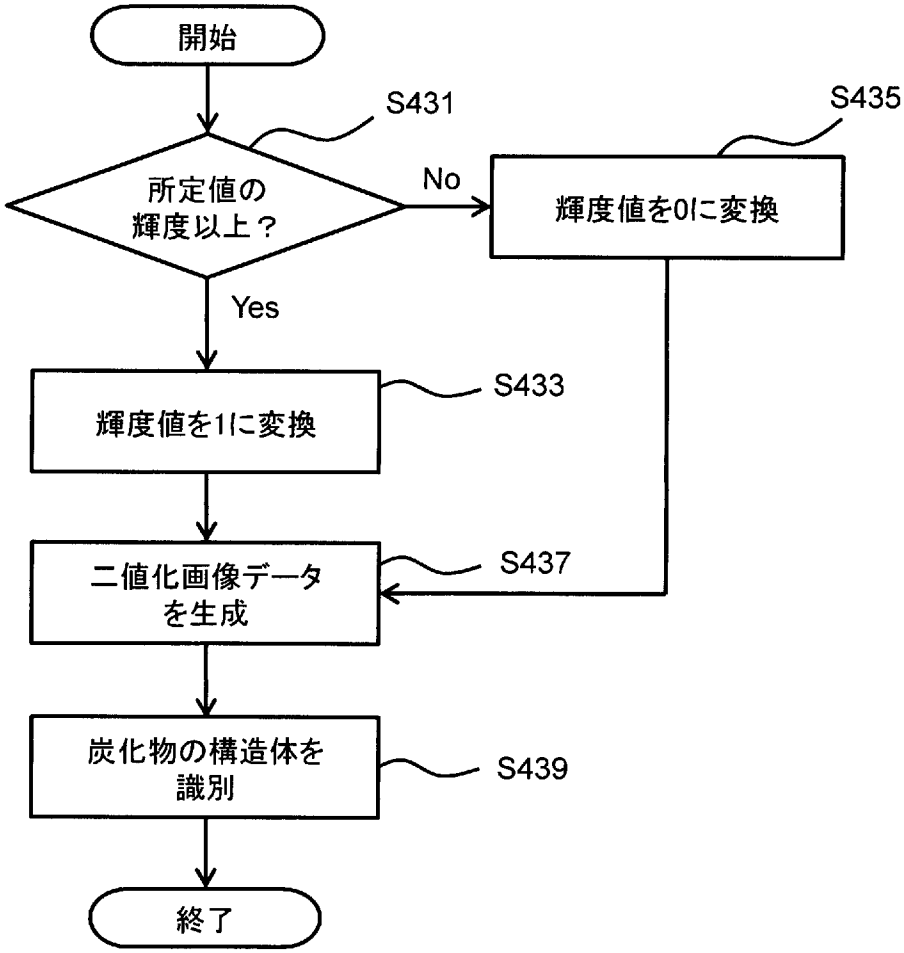
[図15]


開始
S371
所定値の
輝度以上？
No
S375
輝度値を0に変換
Yes
輝度値を1に変換
S373
二値化画像データ
を生成
S377
炭化物の構造体を
識別
S379
終了

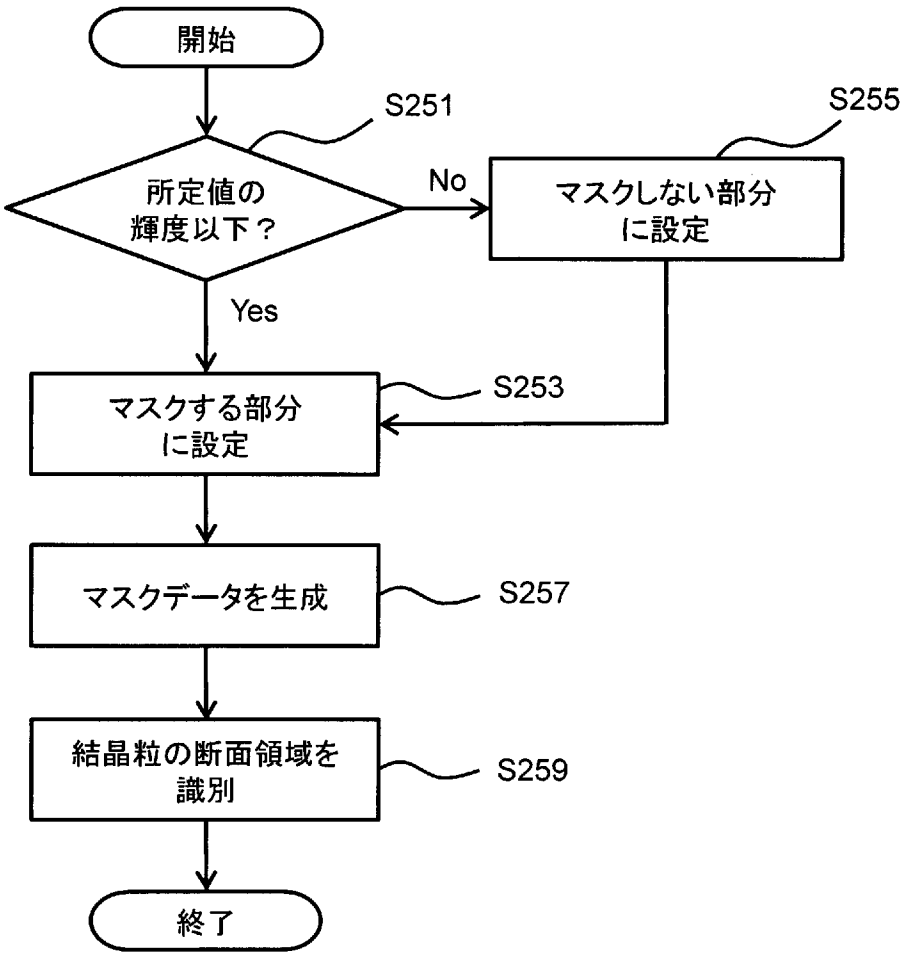
[図16]


開始
SEM像を読み込み
S410
SEM像を二値化
S430
結晶粒の断面領域
を識別
S450
二値化画像データから
断面領域を抽出
S470
終了

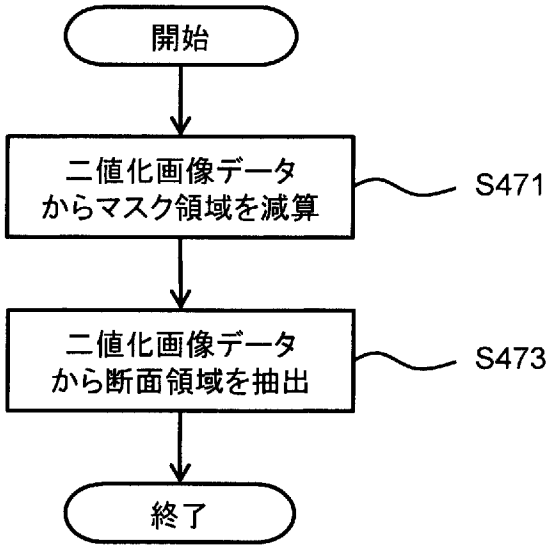
[図17]


開始
S431
所定値の
輝度以上？
No
S435
輝度値を0に変換
Yes
S433
輝度値を1に変換
S437
二値化画像データ
を生成
炭化物の構造体を
識別
S439
終了

[図18]


開始
S251
所定値の
輝度以下？
No
S255
マスクしない部分
に設定
Yes
マスクする部分
に設定
S253
マスクデータを生成
S257
結晶粒の断面領域を
識別
S259
終了

[図19]


開始
二値化画像データ
からマスク領域を減算
S471
二値化画像データ
から断面領域を抽出
S473
終了

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/012601

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 33/204(2019.01)i; ***G06T 7/00***(2017.01)i
FI: G01N33/204; G06T7/00 350B

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)

G01N33/204; G06T7/00

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)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-197515 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 31 July 1998 (1998-07-31) paragraphs [0011]-[0012]	1-18
A	JP 2021-099257 A (DAIDO STEEL CO., LTD.) 01 July 2021 (2021-07-01) claims 1, 2, paragraphs [0002], [0009]	1-18
A	WO 2023/282043 A1 (JFE STEEL CORPORATION) 12 January 2023 (2023-01-12) claim 1, paragraph [0004]	1-18

☐ 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
30 April 2024	**14 May 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/JP2024/012601

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 10-197515 A	31 July 1998	(Family: none)	
JP 2021-099257 A	01 July 2021	(Family: none)	
WO 2023/282043 A1	12 January 2023	KR 10-2024-0008931 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/012601

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01N 33/204(2019.01)i; G06T 7/00(2017.01)i
FI: G01N33/204; G06T7/00 350B

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））

G01N33/204; G06T7/00

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）

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

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 10-197515 A (三菱重工業株式会社) 31.07.1998 (1998-07-31) 段落[0011]～[0012]	1-18
A	JP 2021-099257 A (大同特殊鋼株式会社) 01.07.2021 (2021-07-01) 請求項１、２、段落 [0002]、[0009]	1-18
A	WO 2023/282043 A1 (ＪＦＥスチール株式会社) 12.01.2023 (2023-01-12) 請求項１、段落[0004]	1-18

☐ 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
30.04.2024	14.05.2024

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）
海野　佳子 2J 3906
電話番号 03-3581-1101 内線 3252

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/JP2024/012601

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 10-197515 A	31.07.1998	（ファミリーなし）	
JP 2021-099257 A	01.07.2021	（ファミリーなし）	
WO 2023/282043 A1	12.01.2023	KR 10-2024-0008931 A	