

(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
2021年10月7日(07.10.2021)



(10) 国際公開番号
WO 2021/199937 A1

- (51) 国際特許分類:
G06T 7/00 (2017.01) G01N 21/17 (2006.01)
G01N 33/204 (2019.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/009006
- (22) 国際出願日: 2021年3月8日(08.03.2021)
- (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 2020-063414 2020年3月31日(31.03.2020) 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: 清 兼 直 哉 (KIYOKANE, Naoya); 〒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). 小幡 美絵(OBATA, Yoshie); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E

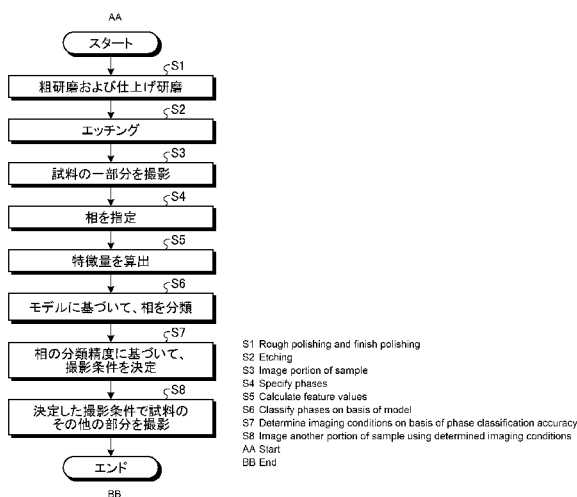
スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 石川 伸(ISHIKAWA, Shin); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 山下 孝子(YAMASHITA, Takako); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 西山 武志(NISHIYAMA, Takeshi); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務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 虎の門三井ビルディング 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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,

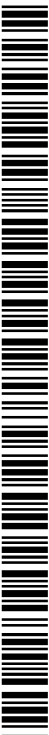
(54) Title: METHOD FOR DETERMINING CONDITION FOR IMAGING OF METALLOGRAPHIC STRUCTURE, METHOD FOR IMAGING METALLOGRAPHIC STRUCTURE, METHOD FOR CLASSIFYING PHASES OF METALLOGRAPHIC STRUCTURE, DEVICE FOR DETERMINING CONDITION FOR IMAGING OF METALLOGRAPHIC STRUCTURE, DEVICE FOR IMAGING METALLOGRAPHIC STRUCTURE, DEVICE FOR CLASSIFYING PHASES OF METALLOGRAPHIC STRUCTURE, METHOD FOR PREDICTING MATERIAL PROPERTIES OF METALLIC MATERIAL, AND DEVICE FOR PREDICTING MATERIAL PROPERTIES OF METALLIC MATERIAL

(54) 発明の名称: 金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置、金属組織の撮影装置、金属組織の相分類装置、金属材料の材料特性予測方法および金属材料の材料特性予測装置



S1 Rough polishing and finish polishing
S2 Etching
S3 Image portion of sample
S4 Specify phases
S5 Calculate feature values
S6 Classify phases on basis of model
S7 Determine imaging conditions on basis of phase classification accuracy
S8 Image another portion of sample using determined imaging conditions
AA Start
BB End

(57) Abstract: This method for determining conditions for imaging of a metallographic structure comprises: an imaging



WO 2021/199937 A1

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

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

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

step for imaging a portion of a metallographic structure of a metallic material; a phase specifying step for assigning labels of phases to pixels of the metallographic structure; a feature value calculation step for calculating feature values for the pixels assigned the labels of phases; a phase classification step for classifying phases by inputting feature values to a model pre-trained using the feature values assigned the labels of phases as input and the labels of phases as output, and acquiring the labels of phases; and an imaging condition determination step for determining imaging conditions for imaging another portion of the metallographic structure on the basis of classification results in the phase classification step.

(57) 要約 : 金属組織の撮影条件決定方法は、金属材料の金属組織の一部分を撮影する撮影工程と、金属組織の画素に対し、各相のラベルを付与する相指定工程と、各相のラベルを付与した画素について、特徴値を算出する特徴値算出工程と、各相のラベルが付与された特徴値を入力とし、各相のラベルを出力として予め学習されたモデルに対して特徴値を入力し、相のラベルを取得することにより、相を分類する相分類工程と、相分類工程の分類結果に基づいて、金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件を決定する撮影条件決定工程と、を含む。

明 細 書

発明の名称：

金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置、金属組織の撮影装置、金属組織の相分類装置、金属材料の材料特性予測方法および金属材料の材料特性予測装置

技術分野

[0001] 本発明は、金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置、金属組織の撮影装置、金属組織の相分類装置、金属材料の材料特性予測方法および金属材料の材料特性予測装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、地球環境の保全という観点から、排出される汚染物質の低減のために排気ガス規制が実施されている。また、自動車に対しては車体の軽量化による燃費向上が強く要求されている。車体を軽量化するための有力な手法の一つに、車体に使用する薄鋼板の高強度化があり、自動車では高強度鋼板の使用量が年々増加している。

[0003] 一般に、鋼板等の金属材料は、同一の組成を有していても、光学顕微鏡または電子顕微鏡レベルでのスケール（mm～ μ mスケール）の金属組織に特性が強く依存する。そのため、高強度鋼板を開発する場合、固溶強化元素の添加による固溶強化を利用する方法や、析出強化元素の添加による析出物を利用する析出強化方法等の組成を変える方法が用いられる。また、これらの方法の他に、同一組成で熱処理条件を変えることで、最終的に実現する金属組織を変化させ、機械特性を向上させる方法が用いられる。

[0004] このように、高強度鋼板を開発するためには、組成の制御のみならず、金属組織の制御が重要であり、そのために金属材料を光学顕微鏡または電子顕微鏡等で観察し、その金属組織を定量評価することが重要である。実際に、素材開発の現場においては、熱処理条件を変えた金属材料の組織観察が日常

的に実施されている。

[0005] 鋼板等の金属材料に対して、公知の研磨方法およびエッチング方法等の試料調整を実施した後に、電子顕微鏡等の公知の撮影装置で金属組織の観察を行うと、一般的には相ごとにコントラストが異なるため、各相の判別を行うことができる。例えば、鉄鋼材料のハイテン材として代表的に使用されている、フェライト相およびマルテンサイト相からなるDP鋼板（Dual Phase鋼板）の金属組織を観察する場合、まず粗研磨を行った後に、 $0.05\mu\text{m}\sim 2\mu\text{m}$ の研磨剤を用いた仕上げ研磨を行う。続いて、 $0.5\sim 8\%$ のナイトール溶液を用いてエッチングを行う。そして、走査型電子顕微鏡を用いてその金属組織を500倍以上の倍率で観察すると、フェライト相とマルテンサイト相とが異なるコントラストで観察され、両相を識別することができる。熱処理条件によって、軟質なフェライト相と硬質なマルテンサイト相とからなる金属組織の各相の体積分率や金属組織の形状が変化し、機械特性が大きく変化する。そのため、金属組織の各相の体積分率と金属組織の形状とを制御することにより、素材として要求される機械特性の実現を試みた素材開発が日常的に行われている。

[0006] 機械特性と金属組織との関係を明確に導くためには、観察した金属組織を構成する相を正確に特定し、各相の体積分率や金属組織の形状を定量的に評価することが重要となる。金属組織を撮影した画像（以下、「組織画像」という）から相を特定（分類）して抽出することを一般的には「セグメンテーション」と呼ぶが、従来のセグメンテーションでは、組織画像の各相を作業者が手塗により色分けして分類していた。しかしながら、この方法は、一枚の組織画像を解析するだけでも膨大な時間を要するのみならず、作業者によって相の認識が異なるため、手塗を実施する作業者によって大きな誤差が存在していた。そのため、実際には、手塗によるセグメンテーションはほとんど行われず、組織画像の評価は定性的な評価に留まっているのが実情であった。

[0007] このような大きな誤差、また膨大な時間を要する手塗に代わる公知のセグ

メンテーションの方法としては、輝度値の二値化が挙げられる。この方法は、撮影した金属組織の画像データに対して輝度値のしきい値を定め、二色となるようにコンピュータ等を用いて画像を変換することにより、特定の相のみを抽出し、各色の面積を求めることで相分率を測定する。この方法は、金属組織の相ごとに輝度値が明確に異なる場合は、正確に相の分類を実施することができる。また、作業としては輝度値のしきい値を定めるのみであるため、前述の手塗に比べるとはるかに高速に金属組織を定量評価することができる。しかしその一方で、金属材料では、相ごとの輝度値の違いが明確ではないケースが多く、輝度値の違いが明確でない場合は誤差が大きくなるため、精度よく分類できないケースが多かった。

[0008] また、たとえ相ごとに輝度値が明確に異なる場合であっても、金属材料では、撮影前に実施する試料調整において、制御が困難な 10^{-2} s オーダのエッチング時間に依存してその輝度値が変化する。そのため、同一の相であっても、撮影した組織画像ごとに二値化のしきい値を決め直さなければならないという問題があった。また、エッチング条件以外にも、例えば光学顕微鏡では光源の強さを変化させることにより画像の輝度値を変化させることができる。しかし、その設定は撮影者に依存するため、撮影者ごとに二値化のしきい値をその都度決め直さなければならないという問題があった。

[0009] コンピュータの性能が飛躍的に向上した昨今では、上記に挙げた手塗、あるいは単純な輝度値の二値化ではなく、より高度な計算技術を用いて、人為的な要素を含めずに画像を解析する技術が開発されている。例えば、特許文献1では、以下のような技術が開示されている。まず、人体表面の部位の画像を反対色空間における画像に変換し、反対色空間における画像の反対色空間の成分のそれぞれを異なる空間周波数のサブバンド画像に分解する。そして、このサブバンド画像について、人体表面の部位に応じた特徴値を算出し、この特徴値に基づいて人体表面の部位の外観を評価する。この技術を用いることにより、人肌の画像から肌の状態、質感等を客観的かつ高速に評価することができる。

[0010] また、特許文献2では、以下のような技術が開示されている。まず、組織を撮影した1枚の組織画像に対して、二値化の基準値を異ならせながら複数回の二値化処理を行うことにより、複数の二値化画像を生成する。続いて、この複数の二値化画像のそれぞれについて、穴形状の領域の数を算出し、複数の二値化の基準値と穴形状の領域の数との対応関係の特徴づける特徴数を特定し、この特徴数に対応した出力情報を生成する。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：特開2018-121752号公報

特許文献2：国際公開第2017/010397号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] しかしながら、特許文献1で開示された技術は、あくまでも皮膚組織を評価するための技術であるため、鋼板等の金属材料の組織に適用することは困難である。ましてや、制御困難なエッチング条件によって変動するコントラスト差等に対応することは困難である。また、特許文献2で開示された技術についても同様に、生体細胞の画像を解析するための技術であり、金属材料のようにエッチングによってコントラストが大きく変動する組織画像の解析に適用することは困難である。

[0013] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、エッチング条件、撮影手段または撮影者によって撮影条件が変動する場合においても、金属組織の相を精度よく分類することが可能な金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置、金属組織の撮影装置、金属組織の相分類装置、金属材料の材料特性予測方法および金属材料の材料特性予測装置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

[0014] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る金属組織の

撮影条件決定方法は、金属材料の金属組織を撮影する際の撮影条件決定方法であって、所定の試料調整が施された前記金属材料の金属組織の一部を、予め定めた撮影条件の下で撮影する撮影工程と、前記撮影工程で撮影した画像について、前記金属組織の予め定めた一または複数の相に対応する画素に対し、各相のラベルを付与する相指定工程と、前記相指定工程で各相のラベルを付与した画素について、一つ以上の特徴値を算出する特徴値算出工程と、各相のラベルが付与された特徴値を入力とし、各相のラベルを出力として予め学習されたモデルに対して、前記特徴値算出工程で算出した特徴値を入力し、入力した特徴値に対応する画素の相のラベルを取得することにより、前記画像の金属組織の相を分類する相分類工程と、前記相分類工程の分類結果に基づいて、前記金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件を決定する撮影条件決定工程と、を含む。

[0015] また、本発明に係る金属組織の撮影条件決定方法は、上記発明において、前記撮影工程が、前記金属組織の一部を、予め定めた複数の撮影条件の下で撮影し、前記撮影条件決定工程が、前記撮影工程で用いた複数の撮影条件のうち、前記相分類工程における各相の分類精度が最も高くなる撮影条件を、前記金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件として決定する。

[0016] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る金属組織の撮影条件決定方法は、金属材料の金属組織を撮影する際の撮影条件決定方法であって、所定の試料調整が施された前記金属組織の一部を、撮影条件を変更しながら連続的に撮影する撮影工程と、前記撮影工程で撮影した画像について、一つ以上の特徴値を算出する特徴値算出工程と、前記金属組織の予め定めた一または複数の相のラベルが付与された画素の特徴値を入力とし、各相のラベルを出力として予め学習されたモデルに対して、前記特徴値算出工程で算出した特徴値を入力し、入力した特徴値に対応する画素の相のラベルを取得することにより、前記画像の金属組織の相を分類する相分類工程と、前記相分類工程の分類結果に基づいて、前記撮影工程で用いた複数の撮影条件の中から、前記金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件を決定

する撮影条件決定工程と、を含む。

[0017] また、本発明に係る金属組織の撮影条件決定方法は、上記発明において、前記撮影条件決定工程が、前記撮影工程で用いた撮影条件のうち、前記相分類工程における各相の分類精度が最も高くなる撮影条件を、前記金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件として決定する。

[0018] また、本発明に係る金属組織の撮影条件決定方法は、上記発明において、前記撮影条件が、コントラスト値、ブライトネス値および光源の強さのうちの少なくとも一つを含む。

[0019] また、本発明に係る金属組織の撮影条件決定方法は、上記発明において、前記撮影工程の前に、前記金属材料を粗研磨した後に、 $0.05\ \mu\text{m}\sim 2\ \mu\text{m}$ の研磨材を用いたバフ研磨を行う研磨工程と、エタノールおよび硝酸を混合して作成された、硝酸濃度が $0.5\%\sim 8\%$ のナイトール溶液を用いて前記金属材料をエッチングするエッチング工程と、を含む。

[0020] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る金属組織の撮影方法は、上記の金属材料の撮影条件決定方法の後に、前記金属材料の金属組織のその他の部分を、前記撮影条件決定方法で決定された撮影条件の下で撮影する。

[0021] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る金属組織の相分類方法は、上記の金属組織の撮影方法により金属組織を撮影し、該金属組織の金属組織の相を分類する。

[0022] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る金属組織の撮影条件決定装置は、金属材料の金属組織を撮影する際の撮影条件決定装置であって、所定の試料調整が施された前記金属材料の金属組織の一部を、予め定めた撮影条件の下で撮影する撮影部と、前記撮影部で撮影した画像について、前記金属組織の予め定めた一または複数の相に対応する画素に対し、各相のラベルを付与する相指定部と、前記相指定部で各相のラベルを付与した画素について、一つ以上の特徴値を算出する特徴値算出部と、各相のラベルが付与された特徴値を入力とし、各相のラベルを出力として予め学習さ

れたモデルに対して、前記特徴値算出部で算出した特徴値を入力し、入力した特徴値に対応する画素の相のラベルを取得することにより、前記画像の金属組織の相を分類する相分類部と、前記相分類部の分類結果に基づいて、前記金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件を決定する撮影条件決定部と、を備える。

[0023] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る金属組織の撮影条件決定装置は、金属材料の金属組織を撮影する際の撮影条件決定装置であって、所定の試料調整が施された前記金属組織の一部を、撮影条件を変更しながら連続的に撮影する撮影部と、前記撮影部で撮影した画像について、一つ以上の特徴値を算出する特徴値算出部と、前記金属組織の予め定めた一または複数の相のラベルが付与された画素の特徴値を入力とし、各相のラベルを出力として予め学習されたモデルに対して、前記特徴値算出部で算出した特徴値を入力し、入力した特徴値に対応する画素の相のラベルを取得することにより、前記画像の金属組織の相を分類する相分類部と、前記相分類部の分類結果に基づいて、前記撮影部で用いた複数の撮影条件の中から、前記金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件を決定する撮影条件決定部と、を備える。

[0024] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る金属組織の撮影装置は、前記金属材料の金属組織のその他の部分を、上記の撮影条件決定装置によって決定された撮影条件の下で撮影する。

[0025] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る金属組織の相分類装置は、上記の金属組織の撮影装置により金属組織を撮影し、該金属組織の金属組織の相を分類する。

[0026] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る金属材料の材料特性予測方法は、金属材料の材料特性を予測する金属材料の材料特性予測方法であって、上記の金属組織の相の分類方法の後に、分類した各相の大きさ、面積率または形状を算出することにより、金属組織の定量評価値を算出する定量評価工程と、前記定量評価値と、予め用意された前記金属材料の

材料特性との中から、前記金属材料の材料特性の予測に使用するデータを選択するデータ選択工程と、選択したデータを用いて、前記金属材料の材料特性を予測する予測モデルを生成するモデル生成工程と、生成した予測モデルを用いて前記金属材料の材料特性を予測する材料特性予測工程と、を含む。

[0027] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る金属材料の材料特性予測装置は、金属材料の材料特性を予測する金属材料の材料特性予測装置であって、金属組織の相の分類が行われた画像を入力する入力部と、分類した各相の大きさ、面積率または形状を算出することにより、金属組織の定量評価値を算出する定量評価部と、前記定量評価値をデータベースに記録するデータ記録部と、前記データベースに記録された前記定量評価値および前記金属材料の材料特性の中から、前記金属材料の材料特性の予測に使用するデータを選択するデータ選択部と、選択したデータを用いて、前記金属材料の材料特性を予測する予測モデルを生成するモデル生成部と、生成した予測モデルを用いて前記金属材料の材料特性を予測する材料特性予測部と、予測した前記金属材料の材料特性を出力する出力部と、を備える。

発明の効果

[0028] 本発明に係る金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置、金属組織の撮影装置および金属組織の相分類装置によれば、次のような効果を奏する。すなわち、機械特性や腐食特性等の種々の材料特性に大きな影響を与える重要な金属組織の相を分類するセグメンテーションにあたり、エッチング条件、撮影手段または撮影者に応じて撮影条件が変動する場合においても、金属組織の相を精度よく分類することができる。加えて、定量的な評価を行うことができる撮影条件を決定することができる。

[0029] また、本発明に係る金属材料の材料特性予測方法および金属材料の材料特性予測装置によれば、金属組織の相の分類結果から定量評価を効率的に実施できる。そのため、定量評価値と金属材料の材料特性との相関を導くことにより、金属材料の材料特性を正確に予測することができる。これにより、金

属組織の画像を見ると同時に、金属材料の材料特性を把握することができるため、金属材料（例えば鋼板）開発の効率性を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]図1は、本発明の第一実施形態に係る金属組織の撮影条件決定装置および撮影装置の概略的な構成を示すブロック図である。

[図2]図2は、本発明の第一実施形態に係る撮影条件決定方法および撮影方法の流れを示すフローチャートである。

[図3]図3は、走査型電子顕微鏡を用いて撮影したDP鋼板の組織写真と、ラインL1上の輝度値プロファイルを示す図である。

[図4]図4は、本発明の第二実施形態に係る金属組織の撮影条件決定装置および撮影装置の概略的な構成を示すブロック図である。

[図5]図5は、本発明の第二実施形態に係る撮影条件決定方法および撮影方法の流れを示すフローチャートである。

[図6]図6は、本発明の実施形態に係る金属材料の材料特性予測装置の概略的な構成を示すブロック図である。

[図7]図7は、本発明の実施形態に係る金属材料の材料特性予測方法の流れを示すフローチャートである。

[図8]図8は、本発明の第一実施形態に係る撮影条件決定方法および撮影方法の実施例であって、データベースを構築する際に指定した金属組織の相を示す図である。

[図9]図9は、本発明の第一実施形態に係る撮影条件決定方法および撮影方法の実施例であって、相指定工程で指定した金属組織の相を示す図である。

[図10]図10は、本発明の第一実施形態に係る撮影条件決定方法および撮影方法の実施例であって、相分類工程で分類した結果を示す図である。なお、図10の(b)、(d)では、正しく分類できた領域を灰色で示している。

[図11]図11は、本発明の第一実施形態に係る撮影条件決定方法および撮影方法の実施例であって、第二の撮影工程でコントラスト値を調整して撮影した組織画像について、相分類工程で分類した金属組織の相を示す図である。

[図12]図12は、本発明の第一実施形態に係る撮影条件決定方法および撮影方法の比較例であって、コントラスト値を調整することなく撮影した組織画像について、相分類工程で分類した金属組織の相を示す図である。

[図13]図13は、本発明の第二実施形態に係る撮影条件決定方法および撮影方法の実施例であって、方法Aで試料調整を行った試料について、第一の撮影工程でコントラスト値を変更しながら連続的に撮影した組織画像と、当該組織画像に対応する相分類画像とを示す図である。

[図14]図14は、本発明の第二実施形態に係る撮影条件決定方法および撮影方法の実施例であって、方法Bで試料調整を行った試料について、第一の撮影工程でコントラスト値を変更しながら連続的に撮影した組織画像と、当該組織画像に対応する相分類画像とを示す図である。

[図15]図15は、本発明の第二実施形態に係る撮影条件決定方法および撮影方法の比較例であって、コントラスト値を変更せずに撮影した組織画像と、当該組織画像に対応する相分類画像とを示す図である。

[図16]図16は、本発明に係る金属材料の材料特性予測方法の実施例であり、図11の(a)の組織画像から算出したフェライト相およびマルテンサイト相の真円度のヒストグラムを示す図である。

[図17]図17は、本発明に係る金属材料の材料特性予測方法の実施例であり、図11の(b)の組織画像から算出したフェライト相およびマルテンサイト相の真円度のヒストグラムを示す図である。

[図18]図18は、本発明に係る金属材料の材料特性予測方法の実施例であり、予測モデル生成部で生成した予測モデル（ニューラルネットワークモデル）による引張強度の予測結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0031] [第一実施形態]

本発明の第一実施形態に係る金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置、金属組織の撮影装置および金属組織の相分類装置について、図1および図2を参照しな

から説明する。

[0032] 本実施形態に係る金属組織の撮影条件決定方法および撮影条件決定装置は、構造部材、自動車用部材等の様々な製品の素材として使用される金属材料の特性を制御する上で重要な情報となる金属組織の相を学習する際に、金属組織の撮影条件を決定する手法および装置である。また、本実施形態に係る金属組織の撮影方法および撮影装置は、撮影条件決定方法および撮影条件決定装置によって決定された撮影条件の下で、金属組織を撮影する手法および装置である。

[0033] 本実施形態で用いる金属材料は、例えばフェライト相およびマルテンサイト相からなるDP鋼板である。以下では、金属組織の撮影条件決定装置および撮影装置の構成について説明した後、これらの装置を用いた撮影条件決定方法および撮影方法と、モデル生成方法とについて説明する。そして、金属材料の材料特性予測装置の構成について説明した後、この装置を用いた材料特性予測方法について説明する。

[0034] (撮影条件決定装置／撮影装置)

金属組織の撮影条件決定装置（以下、「撮影条件決定装置」という）1について、図1を参照しながら説明する。撮影条件決定装置1は、撮影部10と、記憶部20と、演算部30と、出力部40と、を備えている。なお、本実施形態に係る撮影装置は、同図に示した撮影条件決定装置1と同一の構成によって実現される。

[0035] 撮影部10は、金属材料の組織画像を撮影し、演算部30に対して入力する手段である。撮影部10は、例えば組織画像の撮影に広く用いられている光学顕微鏡または走査型電子顕微鏡等の公知の撮影装置で構成される。

[0036] 記憶部20は、EPROM (Erasable Programmable ROM)、ハードディスクドライブ (Hard Disk Drive : HDD)、ソリッドステートドライブ (Solid State Drive : SSD) およびリムーバブルメディア等の記録媒体から構成される。リムーバブルメディアとしては、例えばUSB (Universal Serial Bus) メモリ、CD (Compact Disc)、DVD (Digital Versatil

e Disc)、BD (Blu-ray (登録商標) Disc) のようなディスク記録媒体が挙げられる。また、記憶部 20 には、オペレーティングシステム (Operating System: OS)、各種プログラム、各種テーブル、各種データベース等が格納可能である。

[0037] 記憶部 20 には、例えば特徴値算出部 32 によって算出された特徴値のデータベース、各相のラベルが付与された特徴値を入力とし、各相のラベルを出力として予め学習されたモデル (学習済みモデル) 等が格納されている。このモデルの生成方法については後記する。

[0038] 演算部 30 は、例えば CPU (Central Processing Unit) 等からなるプロセッサと、RAM (Random Access Memory) や ROM (Read Only Memory) 等からなるメモリ (主記憶部) と、によって実現される。演算部 30 は、プログラムを主記憶部の作業領域にロードして実行し、プログラムの実行を通じて各構成部等を制御することにより、所定の目的に合致した機能を実現する。また、演算部 30 は、前記したプログラムの実行を通じて、相指定部 31、特徴値算出部 32、相分類部 33 および撮影条件決定部 34 として機能する。なお、各部の詳細は後記する。

[0039] 出力部 40 は、演算部 30 による演算結果を出力する出力手段である。出力部 40 は、例えばディスプレイ、プリンタまたはスマートフォン等で構成される。出力部 40 は、例えば、相指定部 31 によって指定された金属組織の相、特徴値算出部 32 によって算出された金属組織の相の特徴値、相分類部 33 による金属組織の相の分類結果、撮影条件決定部 34 によって決定された撮影条件等を出力する。なお、出力部 40 による出力形式は特に限定されず、例えばテキストファイルや画像ファイル等のデータや、出力装置に投影する形式で出力してもよい。

[0040] (撮影条件決定方法／撮影方法)

撮影条件決定装置 1 を用いた撮影条件決定方法および撮影装置を用いた撮影方法について、図 2 を参照しながら説明する。撮影条件決定方法では、研磨工程 S1 と、エッチング工程 S2 と、第一の撮影工程 S3 と、相指定工程

S 4 と、特徴値算出工程 S 5 と、相分類工程 S 6 と、撮影条件決定工程 S 7 と、をこの順で行う。また、撮影方法では、撮影条件決定方法の各工程の後に、第二の撮影工程 S 8 を行う。以下、各工程について説明する。

[0041] <研磨工程 S 1 >

研磨工程 S 1 では、観察対象の金属材料に対して、粗研磨および仕上げ研磨を順に行う。粗研磨では、例えば紙に砥粒を塗布した市販の紙やすりを用い、肉眼レベルで見える傷を除去する。続いて、仕上げ研磨では、 $0.05\ \mu\text{m}$ ～ $2\ \mu\text{m}$ の研磨材を用いたバフ研磨を行う。研磨剤としては、例えばダイヤモンドやシリカ等の公知の研磨剤を用いることができる。また、仕上げ研磨では、例えば光学顕微鏡によって10倍～500倍で観察した際に傷が見えなくなるまでバフ研磨を行う。また、研磨傷が多く残っているとエッチングむらの原因となり、相を分類する際の誤差の要因となるため、可能な限り傷が残らないように研磨を行う。仕上げ研磨では、好ましくは光学顕微鏡によって1000倍以下で観察した際に傷が見えなくなるためバフ研磨を行う。

[0042] <エッチング工程 S 2 >

金属材料では、フェライト相やマルテンサイト相等の相によって腐食量が異なるため、エッチングを行うことにより、相ごとにコントラストを付けることができ、相の分類が可能となる。エッチング工程 S 2 では、エタノールおよび硝酸を混合して作成された、硝酸濃度が0.5%～8%のナイトール溶液を用い、金属材料（試料）を0.5 s～10.0 sの間ナイトール溶液に浸漬させた後、蒸留水によって洗浄を行う。

[0043] エッチング工程 S 2 では、金属材料をナイトール溶液に浸漬させる代わりに、ナイトール溶液を霧吹きにより金属材料に吹き付け、0.5 s～10.0 s経過した後に蒸留水で洗浄してもよい。また、エッチング工程 S 2 では、金属材料をナイトール溶液に浸漬させる代わりに、ガーゼ等の柔らかい布を用いてナイトール溶液を金属材料に付着させ、0.5 s～10.0 s経過した後に蒸留水で洗浄してもよい。なお、エッチング工程 S 2 では、モデル

を生成した際のエッチング工程のエッチング溶液との硝酸濃度差が0.1%未満、かつ浸漬時間差が2.0s未満の条件でエッチングを行うことが好ましい。これにより、後記する相分類工程S6における分類精度を向上（分類誤差を減少）させることができる。

[0044] <第一の撮影工程S3>

第一の撮影工程S3では、撮影部10が、所定の試料調整（上記研磨工程S1およびエッチング工程S2）が施された金属材料の金属組織の一部（金属組織の一部の視野）を、予め定めた撮影条件の下で撮影する。前記した「撮影条件」としては、撮影部10が走査型電子顕微鏡である場合は、コントラスト値およびブライトネス値が含まれ、撮影部10が光学顕微鏡である場合は、光源の強さが含まれる。

[0045] 第一の撮影工程S3では、具体的には、金属組織の一部を、予め定めた複数の撮影条件の下で撮影する。すなわち、撮影部10が走査型電子顕微鏡である場合は、コントラスト値またはブライトネス値を変化させながら、金属組織の同一部分の画像を複数枚撮影する。また、撮影部10が光学顕微鏡である場合は、光源の強さを変化させながら、金属組織の同一部分の画像を複数枚撮影する。

[0046] <相指定工程S4>

相指定工程S4では、相指定部31が、第一の撮影工程S3で撮影した組織画像について、金属組織の予め定めた一または複数の相に対応する画素に対し、各相のラベルを付与することにより相を指定する。「組織画像の各相の画素に各相のラベルを付与する」とは、例えばDP鋼板の場合、組織画像内でフェライト相およびマルテンサイト相に対応する画素を特定し、組織画像の画素とフェライト相およびマルテンサイト相とを対応付けることを示している（図8参照）。なお、各相の指定は、組織画像の画素一点一点をポイントで複数点指定してもよく、あるいは結晶粒サイズ程度の大きさを囲うことにより面で指定してもよい。また、相指定工程S4では、後記する第二の撮影工程S8における相の分類精度を向上（分類誤差を減少）させるために

、各相二つ以上の領域を面で指定することが好ましい。

[0047] <特徴値算出工程 S 5 >

特徴値算出工程 S 5 では、特徴値算出部 3 2 が、相指定工程 S 4 で各相のラベルを付与した画素について、一つ以上の特徴値を算出する。例えば以下の特徴値 (1) ~ (8) のうちの一つ以上の特徴値を算出する。

[0048] (1) 恒等特徴値

恒等特徴値は、組織画像の輝度値そのものを示す特徴値である。

[0049] (2) Mean 特徴値

Mean 特徴値は、組織画像の所定の範囲における輝度値の平均値を示す特徴値である。すなわち、Mean 特徴値は、組織画像の各相から所定の範囲「画素数 x × 画素数 y 」を取り出し、その中の輝度値を平均したものである。「画素数 x 」および「画素数 y 」は、同一のサイズでもよく、異なるサイズでもよい。また、「画素数 x 」および「画素数 y 」は、例えば組織画像に含まれるノイズよりも大きく、かつ金属組織の複数の相のうち、結晶粒径が小さい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。また、異方性がある場合は、各 x 方向、 y 方向の結晶粒サイズの大きさ程度に設定することが好ましい。また、 x 画素 × y 画素の領域は、長方形である必要はなく、例えば組織画像が球状の形状である場合は、 x 画素 × y 画素の領域も球状にすることが好ましい。また、Mean 特徴値は、複数の画素数 x 、 y について算出してもよい。なお、画素の範囲を大きくしすぎると、粒界の影響や隣接する他相の影響を受ける。そのため、画素の範囲は、結晶粒径が大きい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。

[0050] ここで、「組織画像に含まれるノイズ」とは、例えば組織画像の中で輝度値が急に高くなるような部分を示している（例えば図 3 の (b) の A 部参照）。そして、「画素数 x 、 y をノイズより大きく」とは、ノイズの幅（同図の (b) の B 部参照）より大きくすることを示している。なお、図 3 の (a) は、走査型電子顕微鏡で撮影した組織画像（原画像）を、(b) は、

この組織画像の中心部（L 1 線の位置）の輝度値のラインプロファイルを示している。

[0051] (3) Gaussian特徴値

Gaussian特徴値は、組織画像の所定の範囲において、中心に近いほど重みを大きくした輝度値の平均値を示す特徴値である。すなわち、Gaussian特徴値は、組織画像の各相から所定の範囲「画素数 x ×画素数 y 」を取り出し、中心の画素ほど重みを大きくした平均値を取り出したものである。「画素数 x 」および「画素数 y 」は、同一のサイズでもよく、異なるサイズでもよい。また、「画素数 x 」および「画素数 y 」は、例えば組織画像に含まれるノイズよりも大きく、かつ金属組織の複数の相のうち、結晶粒径が小さい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。また、異方性がある場合は、各 x 方向、 y 方向の結晶粒サイズの大きさ程度に設定することが好ましい。また、 x 画素× y 画素の領域は、長方形である必要はなく、例えば組織画像が球状の形状である場合は、 x 画素× y 画素の領域も球状にすることが好ましい。また、Gaussian特徴値は、複数の画素数 x 、 y について算出してもよい。なお、画素の範囲を大きくしすぎると、粒界の影響や隣接する他相の影響を受ける。そのため、画素の範囲は、結晶粒径が大きい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。

[0052] また、Gaussian特徴値を算出する際に、中心の画素にどの程度の重みをつけるかは、作業者が任意に設定することができるが、下記式(1)に示したガウス関数を用いることが好ましい。

[数1]

$$A \cdot \exp(-(\Delta x^2 + \Delta y^2)) \quad \dots(1)$$

[0053] なお、上記式(1)の Δx および Δy は、下記式(2)、(3)のように示すことができる。

[数2]

$$\Delta x = x_i - x_c \quad \dots (2)$$

$$\Delta y = y_i - y_c \quad \dots (3)$$

但し、 x_c, y_c : 矩形中心座標

x_i, y_i : 矩形位置座標

[0054] (4) Median特徴値

Median特徴値は、組織画像の所定の範囲における輝度値の中心値を示す特徴値である。すなわち、Median特徴値は、組織画像の各相から所定の範囲「画素数 x ×画素数 y 」を取り出し、その中の輝度値から中心地を取り出したものである。「画素数 x 」および「画素数 y 」は、同一のサイズでもよく、異なるサイズでもよい。また、「画素数 x 」および「画素数 y 」は、例えば組織画像に含まれるノイズよりも大きく、かつ金属組織の複数の相のうち、結晶粒径が小さい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。また、異方性がある場合は、各 x 方向、 y 方向の結晶粒サイズの大きさ程度に設定することが好ましい。また、 x 画素× y 画素の領域は、長方形である必要はなく、例えば組織画像が球状の形状である場合は、 x 画素× y 画素の領域も球状にすることが好ましい。また、Median特徴値は、複数の画素数 x 、 y について算出してもよい。なお、画素の範囲を大きくしすぎると、粒界の影響や隣接する他相の影響を受ける。そのため、画素の範囲は、結晶粒径が大きい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。

[0055] (5) Max特徴値

Max特徴値は、組織画像の所定の範囲における輝度値の最大値を示す特徴値である。すなわち、Max特徴値は、組織画像の各相から所定の範囲「画素数 x ×画素数 y 」を取り出し、その中の輝度値から最大値を取り出したものである。「画素数 x 」および「画素数 y 」は、同一のサイズでもよく、異なるサイズでもよい。また、「画素数 x 」および「画素数 y 」は、例えば組織画像に含まれるノイズよりも大きく、かつ金属組織の複数の相のうち、

結晶粒径が小さい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。また、異方性がある場合は、各 x 方向、 y 方向の結晶粒サイズの大きさ程度に設定することが好ましい。また、 x 画素 \times y 画素の領域は、長方形である必要はなく、例えば組織画像が球状の形状である場合は、 x 画素 \times y 画素の領域も球状にすることが好ましい。また、 Max 特徴値は、複数の画素数 x 、 y について算出してもよい。なお、画素の範囲を大きくしすぎると、粒界の影響や隣接する他相の影響を受ける。そのため、画素の範囲は、結晶粒径が大きい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。

[0056] (6) Min 特徴値

Min 特徴値は、組織画像の所定の範囲における輝度値の最小値を示す特徴値である。すなわち、 Min 特徴値は、組織画像の各相から所定の範囲「画素数 $x \times$ 画素数 y 」を取り出し、その中の輝度値から最小値を取り出したものである。「画素数 x 」および「画素数 y 」は、同一のサイズでもよく、異なるサイズでもよい。また、「画素数 x 」および「画素数 y 」は、例えば組織画像に含まれるノイズよりも大きく、かつ金属組織の複数の相のうち、結晶粒径が小さい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。また、異方性がある場合は、各 x 方向、 y 方向の結晶粒サイズの大きさ程度に設定することが好ましい。また、 x 画素 \times y 画素の領域は、長方形である必要はなく、例えば組織画像が球状の形状である場合は、 x 画素 \times y 画素の領域も球状にすることが好ましい。また、 Min 特徴値は、複数の画素数 x 、 y について算出してもよい。なお、画素の範囲を大きくしすぎると、粒界の影響や隣接する他相の影響を受ける。そのため、画素の範囲は、結晶粒径が大きい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。

[0057] (7) $Derivative$ 特徴値

$Derivative$ 特徴値は、組織画像の各相から所定の範囲「画素数 $x \times$ 画素数 y 」を取り出し、そのうちの端の画素に対して x 方向および y 方

向の微分値を計算したものであり、各方向ごとに特徴値を演算する。「画素数 x 」および「画素数 y 」は、同一のサイズでもよく、異なるサイズでもよい。また、「画素数 x 」および「画素数 y 」は、例えば組織画像に含まれるノイズよりも大きく、かつ金属組織の複数の相のうち、結晶粒径が小さい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。また、異方性がある場合は、各 x 方向、 y 方向の結晶粒サイズの大きさ程度に設定することが好ましい。また、 x 画素 \times y 画素の領域は、長方形である必要はなく、例えば組織画像が球状の形状である場合は、 x 画素 \times y 画素の領域も球状にすることが好ましく、複数の方向の微分値を演算することが望ましい。また、Derivative 特徴値は、複数の画素数 x 、 y について算出してもよい。なお、画素の範囲を大きくしすぎると、粒界の影響や隣接する他相の影響を受ける。そのため、画素の範囲は、結晶粒径が大きい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。

[0058] (8) Derivative 加算特徴値

Derivative 加算特徴値は、上記の Derivative 特徴値に対して、上記の Mean 特徴値、Gaussian 特徴値、Median 特徴値、Max 特徴値および Min 特徴値のいずれは、またはこれらから選択した複数の特徴値を演算することにより、1 方向または複数の方向の Derivative 特徴値を加算したものである。前記した「画素数 x 」および「画素数 y 」は、同一のサイズでもよく、異なるサイズでもよい。また、「画素数 x 」および「画素数 y 」は、例えば組織画像に含まれるノイズよりも大きく、かつ金属組織の複数の相のうち、結晶粒径が小さい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。また、異方性がある場合は、各 x 方向、 y 方向の結晶粒サイズの大きさ程度に設定することが好ましい。また、 x 画素 \times y 画素の領域は、長方形である必要はなく、例えば組織画像が球状の形状である場合は、 x 画素 \times y 画素の領域も球状にすることが好ましい。また、Derivative 加算特徴値は、複数の画素数 x 、 y について算出してもよい。なお、画素の範囲を大きくしすぎると

、粒界の影響や隣接する他相の影響を受ける。そのため、画素の範囲は、結晶粒径が大きい方の結晶粒径の $1/2$ 未満の大きさが含まれる範囲とすることが好ましい。

[0059] ここで、上記の特徴値 (1) ~ (8) は、各相の多数の画素に対して演算を行うため、同一の相であっても異なる特徴値を有し、各相に対して特徴値のヒストグラムを作成することができる。また上記の特徴値 (1) ~ (8) を全て算出してもよく、一部の特徴値のみを算出してもよい。また、各特徴値の演算を組み合わせた特徴値を追加してもよく、必要に応じて上記に挙げていない特徴値を追加してもよい。これらの選択は、相の分類精度が向上するように作業者が選択することが好ましく、各相の特徴値の差異が大きい特徴値を採用することが好ましい。

[0060] なお、上記の特徴値 (1) ~ (8) を算出する際は、所定の範囲「画素数 x × 画素数 y 」を取り出して特徴値を算出するが、この「画素数 x × 画素数 y 」の中心の画素に対して畳み込まれた特徴値を算出する。そして、組織画像上で「画素数 x × 画素数 y 」を動かしながら、各位置の特徴値を算出する。また、「画素数 x × 画素数 y 」が組織画像上の端（上下左右の端）に位置している場合は、境界条件を課すか、あるいは画素数を中心から端までに限定して特徴値の算出を行う。また、境界条件として、「画素数 x × 画素数 y 」の中心から外側の画素については、「画素数 x × 画素数 y 」の中心と同じ特徴値であるとする。あるいは中心から外側に向かって線形関数、指数関数、スプライン関数等の補間関数を用いて外挿することにより、特徴値の算出を行う。

[0061] <相分類工程 S 6 >

相分類工程 S 6 では、相分類部 33 が、予め生成されたモデル（例えば決定木）を用いてセグメンテーションを行う。すなわち、相分類工程 S 6 では、各相のラベルが付与された特徴値を入力とし、各相のラベルを出力として予め学習されたモデル（例えば決定木）に対して、特徴値算出工程 S 5 で算出した特徴値を入力する。そして、入力した特徴値に対応する画素の相のラ

ベルを取得することにより、組織画像の金属組織の相を分類する。

[0062] <撮影条件決定工程 S 7>

撮影条件決定工程 S 7 では、撮影条件決定部 3 4 が、相分類工程 S 6 の分類結果に基づいて、第一の撮影工程 S 3 で撮影した部分とは異なる金属組織のその他の部分（金属組織のその他の視野）を撮影する際の撮影条件を決定する。撮影条件決定工程 S 7 では、具体的には、第一の撮影工程 S 3 で用いた複数の撮影条件のうち、相分類工程 S 6 における各相の分類精度が最も高くなる撮影条件を、金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件として決定する。

[0063] 撮影条件決定工程 S 7 では、例えば、二つの相（フェライト相およびマルテンサイト相）の正答率にそれぞれ所定の重み付けを行った重み付き平均化正答率が最大となるように、撮影条件を決定する。なお、二つの相のうち、一方の相の正答率をより重視する場合は、当該一方の相の正答率に付与する重みを大きくする。また、両方の相の正答率を均等とする場合は、両方の相の正答率に付与する重みを同じ値とする。

[0064] また、撮影条件決定工程 S 7 では、相指定工程 S 4 で指定した相が 8 0 % 以上の精度で分類されるような撮影条件を選択する。好ましくは、9 5 % 以上の精度で分類されるような撮影条件を選択する。なお、相の分類にあたっては、前記した決定木からなるモデルを用いて分類する手法以外の方法を用いてもよく、例えば特徴値からなる特徴ベクトルの内積を算出することにより相の分類を行ってもよい。

[0065] <第二の撮影工程 S 8>

第二の撮影工程 S 8 では、撮影部 1 0 が、金属組織のその他の部分を、撮影条件決定工程 S 7 で決定された撮影条件の下で撮影する。以上により、本フローは終了する。なお、第二の撮影工程 S 8 の後は、例えば撮影した組織画像に対して、前記した相分類工程 S 6 を実施し、組織画像の金属組織の相を分類する。

[0066] ここで、前記した特徴値算出工程 S 5 を実施した後に、特徴値の算出結果

を出力部40から出力してもよい。その際の出形式は特に限定されず、テキストファイル（例えば数値の集合）または画像ファイル（例えばヒストグラム画像、特徴値を示す組織画像）のいずれの形式で出力してもよい。また、相分類工程S6を実施した後に、相の分類結果を出力部40から出力してもよい。その際の出形式は特に限定されず、テキストファイルまたは画像ファイル（例えば組織画像に対して、分類した相を色分けして示した画像（以下、「相分類画像」という））のいずれの形式で出力してもよい。また、この相分類画像を、第一の撮影工程S3で撮影した組織画像に重ねて、あるいは当該組織画像と並べて出力部40から出力してもよい。

[0067] （モデル生成方法）

前記した撮影条件決定方法および撮影方法の相分類工程S6で用いるモデルの生成方法について説明する。なお、このモデルは、前記した撮影条件決定方法および撮影方法の実施前に予め生成しておけばよい。モデル生成方法は、研磨工程と、エッチング工程と、撮影工程と、相指定工程と、特徴値算出工程と、モデル生成工程と、をこの順で行う。なお、研磨工程、エッチング工程、撮影工程、相指定工程および特徴値算出工程の具体的な手法は、前記した撮影条件決定方法の各工程と同様である。

[0068] 研磨工程およびエッチング工程では、観察対象の金属材料（以下、「観察試料」という）と同種の相を有する金属材料に対して、観察対象の金属材料となるべく同一の研磨およびエッチングを行う。なお、エッチング工程では、前記したエッチング工程S2のエッチング溶液との硝酸濃度差が0.1%未満、かつ浸漬時間差が2.0s未満の条件でエッチングを行うことが好ましい。これにより、前記した相分類工程S6における相の分類精度を向上（分類誤差を減少）させることができる。

[0069] 撮影工程では、金属材料の金属組織を撮影する。相指定工程では、撮影工程で撮影した組織画像について、金属組織の予め定めた一または複数の相に対応する画素に対し、各相のラベルを付与することにより相を指定する。特徴値算出工程では、相指定工程で各相のラベルを付与した画素について、前

記した特徴値（１）～（８）のうちの一つ以上の特徴値を算出し、金属組織の相ごとの特徴値を蓄積したデータベースを構築する。

[0070] モデル生成工程では、各相のラベルが付与された画素について特徴値算出工程で算出された特徴値（データベースに蓄積された金属組織の相ごとの特徴値）を入力とし、各相のラベルを出力として学習（機械学習）することにより、モデルを生成する。モデル生成工程では、具体的には、特徴値が分岐条件として設定された決定木を生成する。なお、モデル生成工程における機械学習の手法は、決定木に限定されず、例えばランダムフォレストまたはニューラルネットワーク等であってもよいが、本実施形態では決定木を一例に説明を行う。

[0071] モデル生成工程では、具体的には、特徴値算出工程で算出した各相の特徴値から、二値化を複数回繰り返すことにより、金属組織の相を分類する。この場合、予め、作業者が指定した相と特徴値算出工程で算出した各相の特徴値から、どの程度の精度で各相の分類を行うのかを設定し、その設定した数値情報に基づいて、二値化による分岐の学習を行う。

[0072] 例えば、８０％の精度で二値化の分岐が実施されるように設定した場合、指定した相とその特徴値から、８０％以上の確率で相の分類が実施されるように、特徴値の二値化を複数繰り返して学習することにより、決定木を作成する。前記した精度の設定は、作業者によって任意に設定すればよいが、下限を８０％以上とすることが好ましい。精度を８０％未満にすると、分類精度が低下する。また逆に、精度を高くしすぎると過学習により、学習後の画像分類において分類精度が却って悪化する。そのため、精度の上限は９９％未満とすることが好ましい。

[0073] モデル生成工程において、二値化を複数回実施する際の各特徴値の二値化の順序（分岐の順序）は、予め作業者によって指定してもよく、あるいは乱数を用いてランダムに決定してもよい。各特徴値の二値化の最適な順序は予め不明な場合が多いため、乱数を用いて、前記した精度以上で分類できる各特徴値の二値化の順序を、コンピュータで探索させることが好ましい。同様

に、各特徴値の二値化の最適な回数は予め不明な場合が多いため、前記した精度以上で分類できる各特徴値の二値化の回数を、コンピュータで探索させることが好ましい。また、二値化の際の分岐条件として用いる特徴値は、分岐条件として複数回用いてもよい。

[0074] (相分類方法)

本実施形態に係る金属組織の相分類方法は、前記した撮影方法により金属組織を撮影し、該金属組織の金属組織の相を分類する。相分類方法を実行する相分類装置は、撮影条件決定装置1と同一の構成によって実現してもよく、撮影条件決定装置1と別の構成によって実現してもよい。

[0075] 以上説明したような本実施形態に係る金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置1、金属組織の撮影装置および金属組織の相分類装置によれば、次のような効果を奏する。すなわち、機械特性や腐食特性等の種々の材料特性に大きな影響を与える重要な金属組織の相を分類するセグメンテーションにあたり、エッチング条件、撮影手段または撮影者に応じて撮影条件が変動する場合においても、金属組織の相を精度よく分類することができる。加えて、定量的な評価を行うことができる撮影条件を決定することができる。

[0076] 本実施形態に係る金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置1、金属組織の撮影装置および金属組織の相分類装置では、試料調整後の金属材料の組織画像を撮影するにあたり、次のような処理を行う。まず、予め分類する相を複数指定し、指定した領域を、予め用意したモデルに基づいて精度良く分類できる撮影条件（例えばコントラスト値）に自動的に調整する。そして、このように調整された撮影条件のもとで残りの金属材料を撮影することにより、わずかなエッチング条件の変化によって変動するコントラスト値の差に対応することができる。

[0077] また、撮影者または撮影手段が異なる場合においても、自動で精度よくセグメンテーションを行うことができる。例えば従来手法では、観察試料の

観察時に、モデルを生成した際と同じ条件で研磨・エッチングを実施しなければ精度よくセグメンテーションを行うことができなかった。一方、本発明に係る手法を用いることにより、モデル生成時の研磨・エッチング条件から外れた場合においても、精度よくセグメンテーションを行うことができる。これにより、制御が困難な研磨・エッチング条件を揃える必要がなくなり、組織画像を効率的に分類することが可能となる。

[0078] 本実施形態に係る金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置 1、金属組織の撮影装置および金属組織の相分類装置では、次のような条件下でも組織画像の相の分類を精度よく行うことができる。例えば研磨工程における仕上研磨の研磨材の粗さが $0.05\mu\text{m}\sim 2\mu\text{m}$ の範囲内であり、エッチング工程におけるエッチング溶液の硝酸濃度が $0.5\%\sim 8\%$ の範囲内である場合においても、組織画像の相の分類を精度よく行うことができる。

[0079] [第二実施形態]

本発明の第二実施形態に係る金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置、金属組織の撮影装置および金属組織の相分類装置について、図 4 および図 5 を参照しながら説明する。

[0080] (撮影条件決定装置／撮影装置)

撮影条件決定装置 1 A は、図 4 に示すように、撮影部 10 と、記憶部 20 と、演算部 50 と、出力部 40 と、を備えている。なお、本実施形態に係る撮影装置は、同図に示した撮影条件決定装置 1 A と同一の構成によって実現される。

[0081] 撮影部 10、記憶部 20 および出力部 40 は、前記した第一実施形態に係る撮影条件決定装置 1 の撮影部 10、記憶部 20 および出力部 40 と同一であるため、説明を省略する。演算部 50 は、プログラムの実行を通じて、特徴値算出部 51、相分類部 52 および撮影条件決定部 53 として機能する。なお、各部の詳細は後記する。

[0082] (撮影条件決定方法／撮影方法)

撮影条件決定装置 1 A を用いた撮影条件決定方法および撮影装置を用いた撮影方法について、図 5 を参照しながら説明する。撮影条件決定方法では、研磨工程 S 1 1 と、エッチング工程 S 1 2 と、第一の撮影工程 S 1 3 と、特徴値算出工程 S 1 4 と、相分類工程 S 1 5 と、分類精度判定工程 S 1 6 と、撮影条件決定工程 S 1 7 と、をこの順で行う。また、撮影方法では、撮影条件決定方法の各工程の後に、第二の撮影工程 S 1 8 を行う。

[0083] ここで、研磨工程 S 1 1、エッチング工程 S 1 2、特徴値算出工程 S 1 4、相分類工程 S 1 5 および第二の撮影工程 S 1 8 は、第一実施形態の研磨工程 S 1、エッチング工程 S 2、特徴値算出工程 S 5、相分類工程 S 6 および第二の撮影工程 S 8 と同様である。そのため、説明を省略する。また、相分類工程 S 1 5 で用いるモデルについても、前記した第一実施形態の相分類工程 S 6 で用いるモデルと同様である。

[0084] なお、エッチング工程 S 1 2 では、モデルを生成した際のエッチング工程のエッチング溶液との硝酸濃度差が 0.1% 未満、かつ浸漬時間差が 2.0 s 未満の条件でエッチングを行うことが好ましい。これにより、第二の撮影工程 S 1 8 での分類精度を向上（分類誤差を減少）させることができる。また、上記の条件でエッチングを行うことにより、第一の撮影工程 S 1 3 における撮影条件（例えばコントラスト値）の変更幅で小さくすることができるため、連続撮影する画像の枚数を減らすことができる。

[0085] <第一の撮影工程 S 1 3>

第一の撮影工程 S 1 3 では、撮影部 1 0 が、所定の試料調整（上記研磨工程 S 1 1 およびエッチング工程 S 1 2）が施された金属材料の金属組織の一部（金属組織の一部の視野）を、撮影条件を変更しながら連続的に撮影する。すなわち、第一の撮影工程 S 1 3 では、前記した「撮影条件」としては、撮影部 1 0 が走査型電子顕微鏡である場合は、コントラスト値およびブライトネス値が含まれる。また、前記した「撮影条件」としては、撮影部 1 0 が光学顕微鏡である場合は、光源の強さが含まれる。

[0086] 第一の撮影工程 S 1 3 では、撮影部 1 0 が走査型電子顕微鏡である場合は、0.5 kV ~ 20 kV の加速電圧を用いる。そして、撮影者が最初に設定したコントラスト値およびブライトネス値を基準として、コントラスト値およびブライトネス値を前後に変更させながら、自動で 5 枚以上の連続撮影を行う。また、撮影部 1 0 が光学顕微鏡である場合は、撮影者が最初に設定した光源の強さを中心として、光源の強さを前後に変更しながら、自動で 5 枚以上の連続撮影を行う。なお、光学顕微鏡の光源としては、例えば反射ミラー、タングステンランプまたはハロゲンランプを用いることができる。第一の撮影工程 S 1 3 では、後記する相分類工程 S 1 5 における相の分類精度を向上（分類誤差を減少）させるために、なるべく多くの組織画像を撮影することが望ましい。但し、撮影画像が多すぎるとセグメンテーションに多大な時間を要するため、撮影枚数は 20 枚以下とすることが好ましい。

[0087] <分類精度判定工程 S 1 6 >

分類精度判定工程 S 1 6 では、撮影条件決定部 5 3 が、相分類工程 S 1 5 におけるセグメンテーションの分類精度が所定以上であるか否かを判定する。そして、撮影条件決定部 5 3 は、分類精度が所定以上である場合は撮影条件決定工程 S 1 7 に進み、分類精度が所定以上である場合は第一の撮影工程 S 1 3 に戻る。

[0088] <撮影条件決定工程 S 1 7 >

撮影条件決定工程 S 1 7 では、撮影条件決定部 5 3 が、相分類工程 S 1 5 の分類結果、すなわち分類精度判定工程 S 1 6 の判定結果に基づいて、撮影条件を決定する。撮影条件決定工程 S 1 7 では、第一の撮影工程 S 1 3 で用いた複数の撮影条件の中から、第一の撮影工程 S 1 3 で撮影した部分とは異なる金属組織のその他の部分（金属組織のその他の視野）を撮影する際の撮影条件を決定する。撮影条件決定工程 S 1 7 では、具体的には、第一の撮影工程 S 1 3 で用いた撮影条件のうち、相分類工程 S 1 5 における各相の分類精度が最も高くなる撮影条件を、金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件として決定する。

[0089] ここで、前記した特徴値算出工程 S 1 4 を実施した後に、特徴値の算出結果を出力部 4 0 から出力してもよい。その際の出力量形式は特に限定されず、テキストファイル（例えば数値の集合）または画像ファイル（例えばヒストグラム画像、特徴値を示す組織画像）のいずれの形式で出力してもよい。また、相分類工程 S 1 5 を実施した後に、相の分類結果を出力部 4 0 から出力してもよい。その際の出力量形式は特に限定されず、テキストファイルまたは画像ファイル（例えば相分類画像）のいずれの形式で出力してもよい。また、この相分類画像を、第一の撮影工程 S 1 3 で撮影した組織画像に重ねて、または当該組織画像の隣に並べて出力部 4 0 から出力してもよい。

[0090] また、前記した撮影条件決定工程 S 1 7 では、撮影条件決定装置 1 A および撮影装置を扱う撮影者からの入力を受け付けて撮影条件を決定してもよい。この場合、撮影条件決定部 5 3 は、複数の相の分類後の組織画像を、第一の撮影工程 S 1 3 で撮影した複数の組織画像にそれぞれ重ねて、または複数の組織画像の隣にそれぞれ並べて出力部 4 0 から出力する。撮影者は、この出力結果に基づいて、各相の分類精度が最も高いと思われる組織画像（相の分類後の組織画像）を、図示しない入力部を介して選択する。これを受けて、撮影条件決定部 5 3 は、撮影者によって選択された組織画像に対応する撮影条件を、金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件として決定する。

[0091] （相分類方法）

本実施形態に係る金属組織の相分類方法は、前記した撮影方法により金属組織を撮影し、該金属組織の金属組織の相を分類する。相分類方法を実行する相分類装置は、撮影条件決定装置 1 と同一の構成によって実現してもよく、撮影条件決定装置 1 と別の構成によって実現してもよい。

[0092] 以上説明したような本実施形態に係る金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置 1 A、金属組織の撮影装置および金属組織の相分類装置によれば、次のような効果を奏する。すなわち、機械特性や腐食特性等の種々の材料特性に大きな影

響を与える重要な金属組織の相を分類するセグメンテーションにあたり、エッチング条件、撮影手段または撮影者に応じて撮影条件が変動する場合においても、金属組織の相を精度よく分類することができる。加えて、定量的な評価を行うことができる撮影条件を決定することができる。

[0093] 本実施形態に係る金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置 1 A、金属組織の撮影装置および金属組織の相分類装置では、次のような処理を行う。まず、試料調整後の金属材料の組織画像を撮影するにあたり、撮影条件（例えばコントラスト値）を変化させながら連続的に撮影し、撮影した複数の組織画像の中から、予め用意したモデルに基づいて精度良く分類できる撮影条件を選択する。そして、このように調整された撮影条件のもとで残りの金属材料を撮影することにより、わずかなエッチング条件の変化によって変動するコントラスト値の差に対応することができる。

[0094] また、本実施形態に係る金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置 1 A、金属組織の撮影装置および金属組織の相分類装置によれば、撮影者または撮影手段が異なる場合においても、精度よくセグメンテーションを行うことができる。例えば従来手法では、観察試料の観察時に、モデルを生成した際と同じ条件で研磨・エッチングを実施しなければ精度よくセグメンテーションを行うことができなかった。一方、本発明に係る手法を用いることにより、モデル生成時の研磨・エッチング条件から外れた場合においても、精度よくセグメンテーションを行うことができる。これにより、制御が困難な研磨・エッチング条件を揃える必要がなくなり、組織画像を効率的に分類することが可能となる。

[0095] (金属材料の材料特性予測装置)

金属材料の材料特性予測装置（以下、「材料特性予測装置」という）3について、図6を参照しながら説明する。材料特性予測装置3は、入力部70と、出力部80と、演算部90と、記憶部100と、を備えている。

- [0096] 入力部70は、演算部90に対して、金属組織の相の分類が行われた画像（以下、「分類画像」という）を入力する入力手段である。この分類画像は、上記の金属組織の相の分類方法によって金属組織の相の分類が行われた画像、あるいはその他の輝度値の二値化等の手法によって金属組織の相の分類が行われた画像等である。
- [0097] 出力部80は、演算部90による演算結果を出力する出力手段である。出力部80は、例えばディスプレイ、プリンタまたはスマートフォン等で構成される。出力部80は、例えば、定量評価部91によって算出された金属組織の定量評価値、記憶部100のデータベースに記録されたデータ、材料特性予測部95による予測結果（金属材料の材料特性）等を出力する。なお、出力部80による出力形式は特に限定されず、例えばテキストファイルや画像ファイル等のデータや、出力装置に投影する形式で出力してもよい。
- [0098] 演算部90は、演算部30、60と同様に、例えばCPU等からなるプロセッサと、RAMやROM等からなるメモリと、によって実現される。演算部90は、プログラムを主記憶部の作業領域にロードして実行し、プログラムの実行を通じて各構成部等を制御することにより、所定の目的に合致した機能を実現する。また、演算部90は、前記したプログラムの実行を通じて、定量評価部91、データ記録部92、データ選択部93、モデル生成部94および材料特性予測部95として機能する。なお、各部の詳細は後記する（図7参照）。
- [0099] 記憶部100は、記憶部20と同様に、EPROM、ソリッドステートドライブおよびリムーバブルメディア等の記録媒体から構成される。記憶部100には、例えば所定のデータが記録されたデータベースや、モデル生成部94によって生成された予測モデル（学習済みモデル）等が格納される。前記したデータベースには、例えば定量評価部91によって算出された金属組織の定量評価値、予め機械試験等によって得られた金属材料の材料特性値（鋼板データ）、金属材料の成分組成、金属材料等が記録されている。
- [0100] （金属材料の材料特性予測方法）

材料特性予測装置 3 を用いた金属組織の相の学習方法について、図 7 を参照しながら説明する。金属組織の相の学習方法は、前記した金属組織の相の分類方法を行った後に、その分類結果（分類画像）を用いて実施する。金属組織の相の学習方法は、画像入力工程 S 2 1 と、定量評価工程 S 2 2 と、データ記録工程 S 2 3 と、データ選択工程 S 2 4 と、モデル生成工程 S 2 5 と、材料特性予測工程 S 2 6 と、予測結果出力工程 S 2 7 と、をこの順で行う。

[0101] <画像入力工程 S 2 1 >

画像入力工程 S 2 1 では、入力部 7 0 が、分類画像を演算部 9 0 に入力する。

[0102] <定量評価工程 S 2 2 >

定量評価工程 S 2 2 では、定量評価部 9 1 が、分類画像に含まれる各相を定量評価することにより、金属組織の定量評価値を算出する。定量評価工程 S 2 2 では、例えば以下の（１）～（５）に示すような定量評価値を算出する。

[0103] （１）面積率

分類した相の面積を求めることにより、相の面積率を算出する。

[0104] （２）長径、短径、アスペクト比

分類した相の各粒の形状を楕円近似することにより、楕円体の長径、短径、またはアスペクト比を算出する。

[0105] （３）フェレー径

分類した相の各粒の界面から直線を引き、その直線の距離が最大となるフェレー径を算出する。

[0106] （４）平均径

分類した相の各粒の面積を求め、その面積の平方根を取ることにより、粒の平均径を導出する。

[0107] （５）真円度

分類した相の各粒の面積および周長を求め、下記式（４）により粒の真円

度を算出する。なお、真円度は、粒が真円の場合は 1.0 となり、反対に粒が真円の形状から離れるほど、1.0 よりも小さくなる。

[0108] [数3]

$$C = 4\pi \frac{S}{P^2} \quad \dots (4)$$

但し、 C : 真円度

S : 面積

P : 周長

[0109] ここで、上記の定量評価値 (2) ~ (5) は、各粒に対して算出するため、1枚の組織画像に対しても複数の数値を得ることができ、各定量評価値のヒストグラムを作成することができる。

[0110] <データ記録工程 S 2 3 >

データ記録工程 S 2 3 では、データ記録部 9 2 が、定量評価工程 S 2 2 で算出した金属組織の定量評価値を、記憶部 1 0 0 のデータベースに記録する。

[0111] <データ選択工程 S 2 4 >

データ選択工程 S 2 4 では、データ選択部 9 3 が、データベースに記録された金属組織の定量評価値と、金属材料の材料特性のデータの中から、金属材料の材料特性の予測に使用するデータを選択 (抽出) する。

[0112] なお、定量評価値は、粒ごとに算出するため、1枚の組織画像について複数の数値が得られるものがある。例えば、定量評価値 (4) の平均径は、粒ごとに1つの平均径が得られるため、1枚の画像に対し、複数の数値が得られる。これらの複数の数値情報のうち、平均値を算出し、当該平均値のみを材料特性の予測に用いてもよく、標準偏差を材料特性の予測に用いてもよい。また、データ選択工程 S 2 4 では、後記する予測モデル生成工程 S 2 5 において、材料特性の予測精度のよい定量評価値を選択することが望ましい。そのため、例えば後記する材料特性予測工程 S 2 6 において、予測精度が悪い場合は、本工程に戻り、再度データの選択を実施することが好ましい。な

お、金属組織の定量評価値の他に、金属材料の成分組成や熱処理条件を入力してもよい。

[0113] <予測モデル生成工程 S 2 5 >

予測モデル生成工程 S 2 5 では、モデル生成部 9 4 が、データ選択工程 S 2 4 で選択したデータを用いて、金属材料の材料特性を予測する予測モデルを生成する。予測モデル生成工程 S 2 5 では、具体的には、データ選択工程 S 2 4 で選択した定量評価値、金属材料の成分組成、熱処理条件等を用いて、材料特性を予測する予測モデルを生成する。その際、同じくデータ選択工程 S 2 4 で選択した金属材料の材料特性のデータも用いて予測モデルを生成する。

[0114] 予測モデルは、ニューラルネットワーク、サポートベクトル回帰、ガウス過程回帰等のモデルを用いて生成してもよく、線形回帰等の単純な回帰式をとして生成してもよい。また、予測モデルの生成では、複数の予測モデルを用いて材料特性の予測を行い、最も予測精度の高い予測モデルを採用することが好ましい。

[0115] 材料特性の予測精度は、例えば測定値を X 軸に、予測値を Y 軸に取り、両者のデータがどの程度一致しているのかを二次元のグラフで確認するか、あるいは各データの予測誤差を加え、データ数で除したパラメータ等で評価する。また、材料特性の予測精度は、例えば以下のような手順で評価することが好ましい。まず、データベースから選択したデータを、予測モデルにおけるパラメータフィッティングに用いるデータ（訓練データ）と、フィッティングに用いないデータ（テストデータ）とに分割する。そして、テストデータの予測値と実測値の一致度に基づいて材料特性の予測精度を評価する。なお、データベースから選択したデータを訓練データとテストデータとに分割する場合、作業者が選択して分割してもよく、あるいは訓練データおよびテストデータの割合を決めた後、乱数等を用いてランダムに決めてもよい。

[0116] <材料特性予測工程 S 2 6 >

材料特性予測工程 S 2 6 では、材料特性予測部 9 5 が、予測モデル生成工

程 S 2 5 で生成した予測モデルを用いて、金属材料の材料特性を予測する。材料特性予測工程 S 2 6 では、具体的には、データ選択工程 S 2 4 で選択した定量評価値を、予測モデル生成工程 S 2 5 で生成した予測モデルに入力することにより、金属材料の材料特性を予測する。

[0117] <予測結果出力工程 S 2 7 >

予測結果出力工程 S 2 7 では、出力部 8 0 が、材料特性予測工程 S 2 6 における予測結果、すなわち金属材料の材料特性を出力する。

[0118] ここで、従来の方法では、効率的な金属組織の相の分類や、相を分類した画像を用いた金属組織の定量評価が困難であったため、組織画像から正確な材料特性の予測が困難であった。一方、本実施形態に係る金属材料の材料特性予測方法および金属材料の材料特性予測装置によれば、金属組織の相の分類結果から定量評価を効率的に実施できる。そのため、定量評価値と金属材料の材料特性との相関を導くことにより、金属材料の材料特性を精度よく予測することができる。これにより、金属組織の画像を見ると同時に、金属材料の材料特性を把握することができるため、金属材料（例えば鋼板）開発の効率性を向上させることができる。

[0119] また、本実施形態に係る金属材料の材料特性予測方法および金属材料の材料特性予測装置によれば、組織画像の効率的なセグメンテーションにより、これまでと異なり効率的に金属組織の定量評価が可能となる。また、このように定量化した指標を用いることにより、撮影した組織画像の材料特性を精度よく予測することができる。

実施例

[0120] (実施例 1)

本発明の第一実施形態に係る撮影条件決定方法および撮影方法の実施例について、図 8 ~ 図 1 2 を参照しながら説明する。本実施例では、まずフェライト相およびマルテンサイト相の特徴値のデータベースを構築するために、D P 鋼板（以下、「試料」という）を粗研磨後、光学顕微鏡によって 5 0 0 倍で観察した際に傷が見えなくなるまで、0. 0 6 μ m のアルミナを研磨剤

として仕上げ研磨を行った（研磨工程）。続いて、仕上げ研磨後の試料に対して、硝酸濃度1%のナイトール溶液を染み込ませたガーゼで3 s 擦った後に、蒸留水で洗浄することでエッチングを行った（エッチング工程）。続いて、走査型電子顕微鏡を用いて、エッチング後の試料の組織画像を撮影した（撮影工程）。

[0121] 続いて、図8に示すように、組織画像において、フェライト相およびマルテンサイト相を指定した（相指定工程）。続いて、指定した二つの相について、恒等特徴値、2 pixel ~ 32 pixel の Mean 特徴値、Gaussian 特徴値、Median 特徴値、Max 特徴値、Min 特徴値、Derivative 特徴値および Derivative 加算特徴値を算出し、相ごとの特徴値のデータベースを構築した（特徴値算出工程）。続いて、先に指定したフェライト相およびマルテンサイト相が95%以上の精度で分類されるよう、二値化を繰り返し行うことにより、フェライト相とマルテンサイト相とを分類する決定木を作成した（モデル生成工程）。

[0122] 続いて、データベースを構築した際の試料とは異なる試料を粗研磨した後、以下の表1に示した、データベースを構築した際とは異なる二通りの方法（方法Aおよび方法B）で仕上げ研磨およびエッチングを行った（研磨工程およびエッチング工程）。続いて、走査型電子顕微鏡を用いて、エッチング後の二つの試料の一部分の組織画像を、複数のコントラスト値で撮影した（第一の撮影工程）。続いて、撮影後の2種類の試料の組織画像について、それぞれ図9の（a）および（b）に示すように、フェライト相およびマルテンサイト相を複数指定した（相指定工程）。続いて、指定した領域に対して、データベースの構築時と同様の特徴値を算出し（特徴値算出工程）、決定木に基づいて相の分類を行った（相分類工程）。

[0123]

[表1]

(表1)

	仕上げ研磨	エッチング
方法A	研磨剤: 0.06 μm アルミナ 研磨方法: 光学顕微鏡で500倍 観察時に傷がなくなるまで研磨。	エッチング液: 1% ナイタール エッチング方法: ナイタールを 染み込ませたガーゼで試料を 5s 擦った後、蒸留水で洗浄。
方法B	研磨剤: 0.5 μm ダイヤモンド 研磨方法: 光学顕微鏡で1000倍 観察時に傷がなくなるまで研磨。	エッチング液: 5% ナイタール エッチング方法: 試料を5s 浸漬させた後、蒸留水で洗浄。

[0124] 続いて、図10の(a)～(d)に示すように、撮影時のコントラスト値のうち、最も精度よく分類できるコントラスト値を決定した(撮影条件決定工程)。なお、図10の(b)では、(a)で正しく分類できた領域を灰色で示している。また、図10の(d)では、(c)で正しく分類できた領域を灰色で示している。続いて、決定したコントラスト値の下で、二つの試料のその他の部分の組織画像を撮影した(第二の撮影工程)。

[0125] 表1の方法Aによって試料調整した試料の組織画像についてセグメンテーションを行った結果を図11の(a)に、方法Bによって試料調整した試料の組織画像についてセグメンテーションを行った結果を図11の(b)に、それぞれ示す。また、比較のため、表1の方法Aおよび方法Bによって試料調整した試料について、本発明の手法によるコントラスト調整を行うことなく撮影した組織画像のセグメンテーション結果を、図12の(a)および(b)にそれぞれ示す。

[0126] 図11の(a)および(b)に示すように、本発明の手法によるコントラスト調整を行うことにより、精度よく分類することができることがわかる。一方、図12の(a)および(b)に示すように、本発明の手法によるコントラスト調整を行わない場合、精度よく分類することができないことがわかる。

[0127] このように、本発明の手法を用いることにより、データベースの構築時と

は異なるエッチング条件で調整した試料に対しても、セグメンテーション時の分類精度が高くなるコントラスト値を求めることができるため、セグメンテーションを精度よく行うことが可能となる。

[0128] (実施例2)

本発明の第二実施形態に係る撮影条件決定方法および撮影方法の実施例について、図8、図13～図15を参照しながら説明する。本実施例では、まずフェライト相およびマルテンサイト相の特徴値のデータベースを構築するために、DP鋼板（以下、「試料」という）を粗研磨後、光学顕微鏡によって500倍で観察した際に傷が見えなくなるまで、 $0.06\mu\text{m}$ のアルミナを研磨剤として仕上げ研磨を行った（研磨工程）。続いて、仕上げ研磨後の試料に対して、硝酸濃度1%のナイトール溶液を染み込ませたガーゼで3s擦った後に、蒸留水で洗浄することでエッチングを行った（エッチング工程）。続いて、走査型電子顕微鏡を用いて、エッチング後の試料の組織画像を撮影した（撮影工程）。

[0129] 続いて、図8に示すように、組織画像において、フェライト相およびマルテンサイト相を指定した（相指定工程）。続いて、指定した二つの相について、恒等特徴値、 $2\text{pixel}\sim 32\text{pixel}$ のMean特徴値、Gaussian特徴値、Median特徴値、Max特徴値、Min特徴値、Derivative特徴値およびDerivative加算特徴値を算出し、相ごとの特徴値のデータベースを構築した（特徴値算出工程）。続いて、先に指定したフェライト相およびマルテンサイト相が95%以上の精度で分類されるよう、二値化を繰り返し行うことにより、フェライト相とマルテンサイト相とを分類する決定木を作成した（モデル生成工程）。

[0130] 続いて、データベースを構築した際の試料とは異なる試料を粗研磨した後、前記した表1に示した、データベースを構築した際とは異なる二通りの方法（方法Aおよび方法B）で仕上げ研磨およびエッチングを行った（研磨工程およびエッチング工程）。続いて、走査型電子顕微鏡を用いて、15kVの加速電圧でコントラスト値を自動で連続的に変化させながら、エッチング

後の二つの試料の一部の組織画像を、5枚連続撮影した（第一の撮影工程）。続いて、2種類×5枚の試料の組織画像について、データベースの構築時と同様の特徴値を算出し（特徴値算出工程）、決定木に基づいて相の分類を行った（相分類工程）。

[0131] 表1の方法Aによって試料調整した試料の組織画像についてセグメンテーションを行った結果を図13に、方法Bによって試料調整した試料の組織画像についてセグメンテーションを行った結果を図14に、それぞれ示す。また、比較のため、第一の撮影工程で連続撮影をせずに一枚のみ撮影し、セグメンテーションを行った結果を図15の(a)および(b)に示す。なお、図13および図14では、左から順番に、第一の撮影工程で撮影した組織画像、相分類工程における相の分類結果を示す相分類画像、分類精度の良否を示している。

[0132] 図13のセグメンテーション結果では、(e)の場合に相の分類精度が最もよい。そのため、第二の撮影工程において、(e)の組織画像を撮影した際のコントラスト値を用いて、金属組織のその他の部分を撮影すればよいことがわかる。また、図14のセグメンテーション結果では、(c)の場合に相の分類精度が最もよい。そのため、第二の撮影工程において、(c)の組織画像を撮影した際のコントラスト値を用いて、金属組織のその他の部分を撮影すればよいことがわかる。一方、図15のセグメンテーション結果では、相の分類精度が悪いため、第二の撮影工程において、同図の組織画像を撮影した際のコントラスト値を用いて撮影した場合、相の分類精度は当然悪いことが予想される。

[0133] このように、本発明の手法を用いることにより、データベースの構築時とは異なるエッチング条件で調整した試料に対しても、セグメンテーション時の分類精度が高くなるコントラスト値を求めることができるため、セグメンテーションを精度よく行うことが可能となる。

[0134] (実施例3)

本発明に係る金属材料の材料特性予測方法および金属材料の材料特性予測

装置の実施例3について、図16～図18を参照しながら説明する。

- [0135] 本実施例では、まず前記した実施例1の分類結果（図11の（a）、（b）参照）を用いて、金属組織の定量評価を行った（定量評価工程）。その際、フェライト相およびマルテンサイト相に対し、面積率および真円度のヒストグラムを算出した。図16の（a）は、実施例1の分類結果（図11の（a）参照）から算出したフェライト相の真円度のヒストグラムを示している。また、図16の（b）は、実施例1の分類結果（図11の（a）参照）から算出したマルテンサイト相の真円度のヒストグラムを示している。また、図17の（a）は、実施例1の分類結果（図11の（b）参照）から算出したフェライト相の真円度のヒストグラムを示している。また、図17の（b）は、実施例1の分類結果（図11の（b）参照）から算出したマルテンサイト相の真円度のヒストグラムを示している。
- [0136] 続いて、上記で算出した定量評価値のうちのフェライト相およびマルテンサイト相の面積率と真円度の平均値、また定量評価値以外に、金属材料の成分組成を選択し（データ選択工程）、これらのデータを材料特性の予測に用いた。
- [0137] 続いて、組織画像、金属材料の成分組成および引張強度からなるDP鋼板のデータベースから、100鋼種分のデータをランダムで抽出した。そして、抽出したこれらのデータに対して、同様に相の分類を行った後、前記したフェライト相およびマルテンサイト相の面積率と真円度の平均値を算出した。
- [0138] 続いて、前記した定量評価値および金属材料の成分組成から引張強度を予測する予測モデルを生成した（予測モデル生成工程）。なお、ここでは、抽出したデータを9：1の割合でランダムに訓練データとテストデータとに分割した。また、ニューラルネットワークモデルを用いて、引張強度を予測する予測モデルを生成した。
- [0139] 続いて、予測モデルの予測精度を検証するために、引張強度の実測値および予測値の比較を行った。図18は、モデル生成部で生成したニューラルネ

ットワークモデルによる引張強度の予測結果を示している。同図において、横軸は、データベースから抽出した引張強度の平均値と標準偏差を用いて規格化した引張強度の実測値を示している。また、縦軸は、データベースから抽出した引張強度の平均値と標準偏差を用いて規格化した引張強度の予測値を示している。また、同図において、丸いプロット点は、ニューラルネットワークモデルにおけるパラメータ調整に用いたサンプル(訓練データ)の引張強度の予測結果を示している。また、四角いプロット点は、パラメータ調整に使用していないサンプル(テストデータ)の引張強度の予測結果を示している。

[0140] 図18に示すように、訓練データ、テストデータともに、材料特性の予測精度がよく、フェライト相およびマルテンサイト相の面積率、真円度の平均値および金属材料の成分組成を用いることにより、引張強度を精度よく予測できていることがわかる。

[0141] また、予測モデルの構築後、算出した定量評価値および金属材料の成分組成を用いて、図11の(a)および(b)の金属組織に対応する引張強度の予測値を算出した。組織画像から算出した定量評価値、引張強度の予測値および実測値を表2に示す。表2に示すように、引張強度を精度よく予測できていることがわかる。

[0142] [表2]

(表2)

組織画像	マルテンサイト		フェライト		規格化引張強度(予測値)	規格化引張強度(実測値)
	面積率(%)	真円度(平均値)	面積率(%)	真円度(平均値)		
図11(a)	55	0.522	45	0.519	1.13	1.09
図11(b)	53	0.461	47	0.475	1.06	1.09

[0143] 以上、本発明に係る金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法、金属組織の撮影条件決定装置、金属組織の撮影装置、金属組織の相分類装置、金属材料の材料特性予測方法および金属材料の材

料特性予測装置について、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。

[0144] ここで、本発明に係る金属組織の撮影条件決定方法、金属組織の撮影方法、金属組織の相分類方法および金属材料の材料特性予測方法は、当該方法を実装したソフトウェアを、一般に市販されているコンピュータに導入することにより実現してもよい。一般に市販されているコンピュータとは、例えば各機能を実現するソフトウェアであるプログラムの命令を実行するCPU、上記ソフトウェアおよび各種データがコンピュータ（またはCPU）で読み取り可能な形で記録された記録媒体（例えばハードディスク、USBメモリ）、上記プログラムを展開するRAM、画像処理に特化したプロセッサであるGPU等を備えた演算器である。また市販されているコンピュータのみならず、ネットワーク上のクラウドコンピュータにソフトウェアを導入することにより、実現してもよい。

[0145] また、本発明に係る撮影条件決定装置1、撮影装置、相分類装置および材料特性予測装置3は、図1および図6に示すように、一つの構成として説明したが、別々の装置によって実現してもよく、あるいは一つの装置によって実現してもよい。

[0146] また、本実施形態では、二相鋼板を例に説明を行ったが、三相以上の鋼板に対しても、適用することは可能である。

符号の説明

[0147] 1, 1A 撮影条件決定装置

3 材料特性予測装置

10 撮影部

20 記憶部

30 演算部

- 3 1 相指定部
- 3 2 特徴値算出部
- 3 3 相分類部
- 3 4 撮影条件決定部
- 4 0 出力部
- 5 0 演算部
- 5 1 特徴値算出部
- 5 2 相分類部
- 5 3 撮影条件決定部
- 7 0 入力部
- 8 0 出力部
- 9 0 演算部
- 9 1 定量評価部
- 9 2 データ記録部
- 9 3 データ選択部
- 9 4 モデル生成部
- 9 5 材料特性予測部
- 1 0 0 記憶部

請求の範囲

- [請求項1] 金属材料の金属組織を撮影する際の撮影条件決定方法であって、
所定の試料調整が施された前記金属材料の金属組織の一部を、予め定めた撮影条件の下で撮影する撮影工程と、
前記撮影工程で撮影した画像について、前記金属組織の予め定めた一または複数の相に対応する画素に対し、各相のラベルを付与する相指定工程と、
前記相指定工程で各相のラベルを付与した画素について、一つ以上の特徴値を算出する特徴値算出工程と、
各相のラベルが付与された特徴値を入力とし、各相のラベルを出力として予め学習されたモデルに対して、前記特徴値算出工程で算出した特徴値を入力し、入力した特徴値に対応する画素の相のラベルを取得することにより、前記画像の金属組織の相を分類する相分類工程と、
前記相分類工程の分類結果に基づいて、前記金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件を決定する撮影条件決定工程と、
を含む金属組織の撮影条件決定方法。
- [請求項2] 前記撮影工程は、前記金属組織の一部を、予め定めた複数の撮影条件の下で撮影し、
前記撮影条件決定工程は、前記撮影工程で用いた複数の撮影条件のうち、前記相分類工程における各相の分類精度が最も高くなる撮影条件を、前記金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件として決定する、
請求項1に記載の金属組織の撮影条件決定方法。
- [請求項3] 金属材料の金属組織を撮影する際の撮影条件決定方法であって、
所定の試料調整が施された前記金属組織の一部を、撮影条件を変更しながら連続的に撮影する撮影工程と、
前記撮影工程で撮影した画像について、一つ以上の特徴値を算出す

る特徴値算出工程と、

前記金属組織の予め定めた一または複数の相のラベルが付与された画素の特徴値を入力とし、各相のラベルを出力として予め学習されたモデルに対して、前記特徴値算出工程で算出した特徴値を入力し、入力した特徴値に対応する画素の相のラベルを取得することにより、前記画像の金属組織の相を分類する相分類工程と、

前記相分類工程の分類結果に基づいて、前記撮影工程で用いた複数の撮影条件の中から、前記金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件を決定する撮影条件決定工程と、

を含む金属組織の撮影条件決定方法。

[請求項4]

前記撮影条件決定工程は、前記撮影工程で用いた撮影条件のうち、前記相分類工程における各相の分類精度が最も高くなる撮影条件を、前記金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件として決定する、

請求項3に記載の金属組織の撮影条件決定方法。

[請求項5]

前記撮影条件は、コントラスト値、ブライトネス値および光源の強さのうちの少なくとも一つを含む請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の金属組織の撮影条件決定方法。

[請求項6]

前記撮影工程の前に、

前記金属材料を粗研磨した後に、 $0.05\mu\text{m}$ ～ $2\mu\text{m}$ の研磨材を用いたバフ研磨を行う研磨工程と、

エタノールおよび硝酸を混合して作成された、硝酸濃度が0.5%～8%のナイトール溶液を用いて前記金属材料をエッチングするエッチング工程と、

を含む請求項1から請求項5のいずれか一項に記載の金属組織の撮影条件決定方法。

[請求項7]

請求項1から請求項6のいずれか一項に記載の金属組織の撮影条件決定方法の後に、

前記金属材料の金属組織のその他の部分を、前記撮影条件決定方法で決定された撮影条件の下で撮影する金属組織の撮影方法。

[請求項8] 請求項7に記載の金属組織の撮影方法により金属組織を撮影し、該金属組織の金属組織の相を分類する金属組織の相分類方法。

[請求項9] 金属材料の金属組織を撮影する際の撮影条件決定装置であって、
所定の試料調整が施された前記金属材料の金属組織の一部を、予め定めた撮影条件の下で撮影する撮影部と、

前記撮影部で撮影した画像について、前記金属組織の予め定めた一または複数の相に対応する画素に対し、各相のラベルを付与する相指定部と、

前記相指定部で各相のラベルを付与した画素について、一つ以上の特徴値を算出する特徴値算出部と、

各相のラベルが付与された特徴値を入力とし、各相のラベルを出力として予め学習されたモデルに対して、前記特徴値算出部で算出した特徴値を入力し、入力した特徴値に対応する画素の相のラベルを取得することにより、前記画像の金属組織の相を分類する相分類部と、

前記相分類部の分類結果に基づいて、前記金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件を決定する撮影条件決定部と、

を備える金属組織の撮影条件決定装置。

[請求項10] 金属材料の金属組織を撮影する際の撮影条件決定装置であって、
所定の試料調整が施された前記金属組織の一部を、撮影条件を変更しながら連続的に撮影する撮影部と、

前記撮影部で撮影した画像について、一つ以上の特徴値を算出する特徴値算出部と、

前記金属組織の予め定めた一または複数の相のラベルが付与された画素の特徴値を入力とし、各相のラベルを出力として予め学習されたモデルに対して、前記特徴値算出部で算出した特徴値を入力し、入力した特徴値に対応する画素の相のラベルを取得することにより、前記

画像の金属組織の相を分類する相分類部と、

前記相分類部の分類結果に基づいて、前記撮影部で用いた複数の撮影条件の中から、前記金属組織のその他の部分を撮影する際の撮影条件を決定する撮影条件決定部と、

を備える金属組織の撮影条件決定装置。

[請求項11] 前記金属材料の金属組織のその他の部分を、請求項9または請求項10に記載の撮影条件決定装置によって決定された撮影条件の下で撮影する金属組織の撮影装置。

[請求項12] 請求項11に記載の金属組織の撮影装置により金属組織を撮影し、該金属組織の金属組織の相を分類する金属組織の相分類装置。

[請求項13] 金属材料の材料特性を予測する金属材料の材料特性予測方法であって、

請求項8に記載の金属組織の相分類方法の後に、

分類した各相の大きさ、面積率または形状を算出することにより、金属組織の定量評価値を算出する定量評価工程と、

前記定量評価値と、予め用意された前記金属材料の材料特性との中から、前記金属材料の材料特性の予測に使用するデータを選択するデータ選択工程と、

選択したデータを用いて、前記金属材料の材料特性を予測する予測モデルを生成するモデル生成工程と、

生成した予測モデルを用いて前記金属材料の材料特性を予測する材料特性予測工程と、

を含む金属材料の材料特性予測方法。

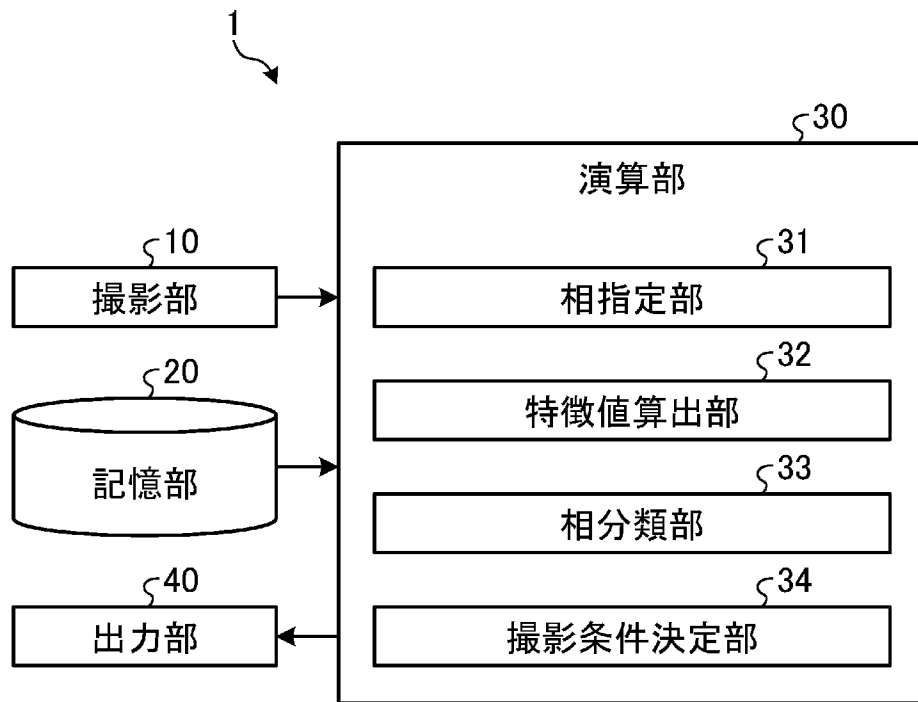
[請求項14] 金属材料の材料特性を予測する金属材料の材料特性予測装置であって、

金属組織の相の分類が行われた画像を入力する入力部と、

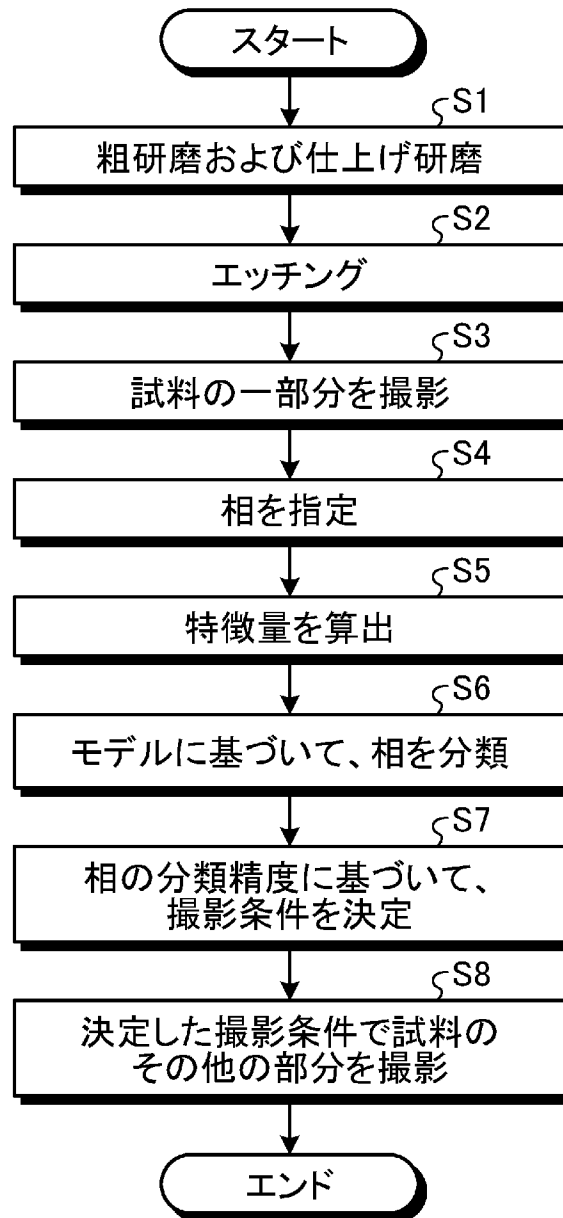
分類した各相の大きさ、面積率または形状を算出することにより、金属組織の定量評価値を算出する定量評価部と、

前記定量評価値をデータベースに記録するデータ記録部と、
前記データベースに記録された前記定量評価値および前記金属材料の材料特性の中から、前記金属材料の材料特性の予測に使用するデータを選択するデータ選択部と、
選択したデータを用いて、前記金属材料の材料特性を予測する予測モデルを生成するモデル生成部と、
生成した予測モデルを用いて前記金属材料の材料特性を予測する材料特性予測部と、
予測した前記金属材料の材料特性を出力する出力部と、
を備える金属材料の材料特性予測装置。

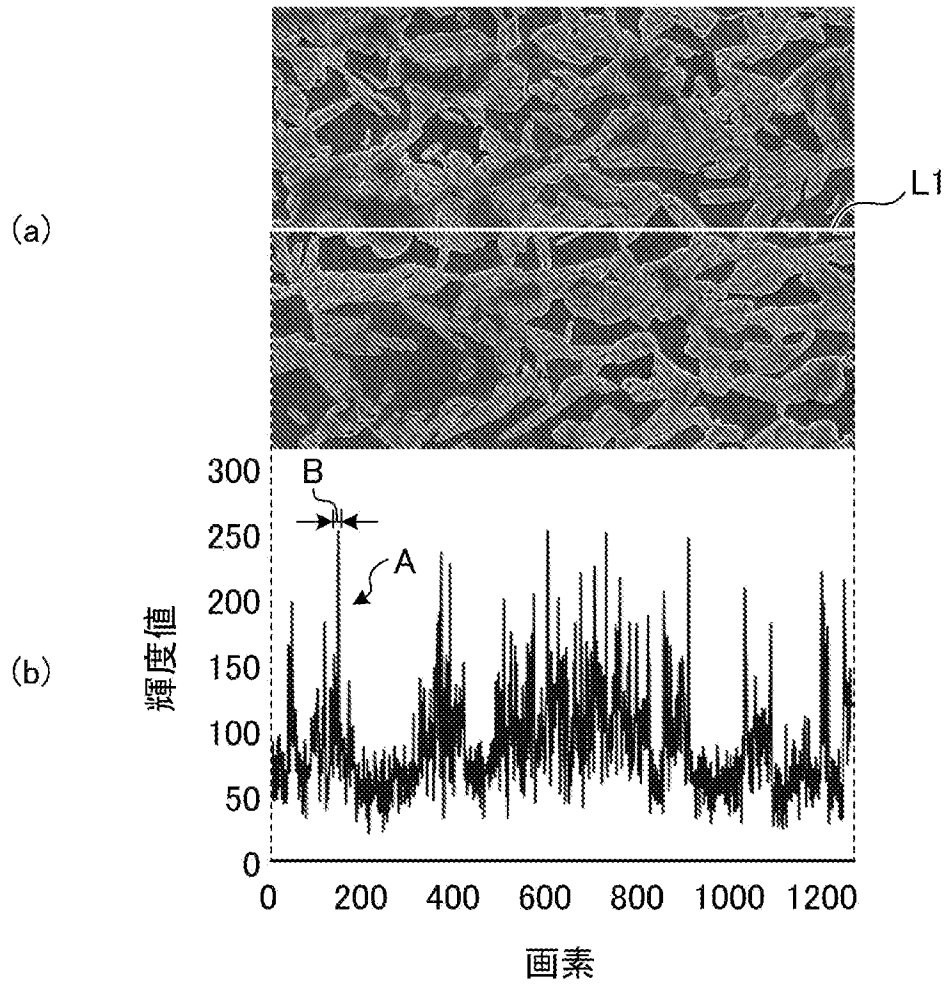
[図1]



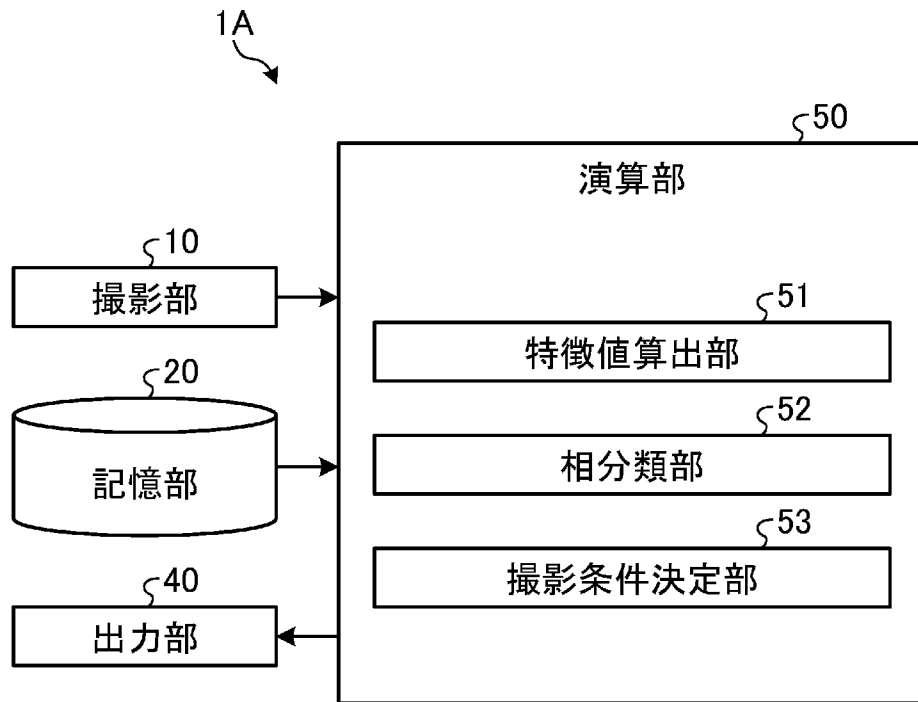
[図2]



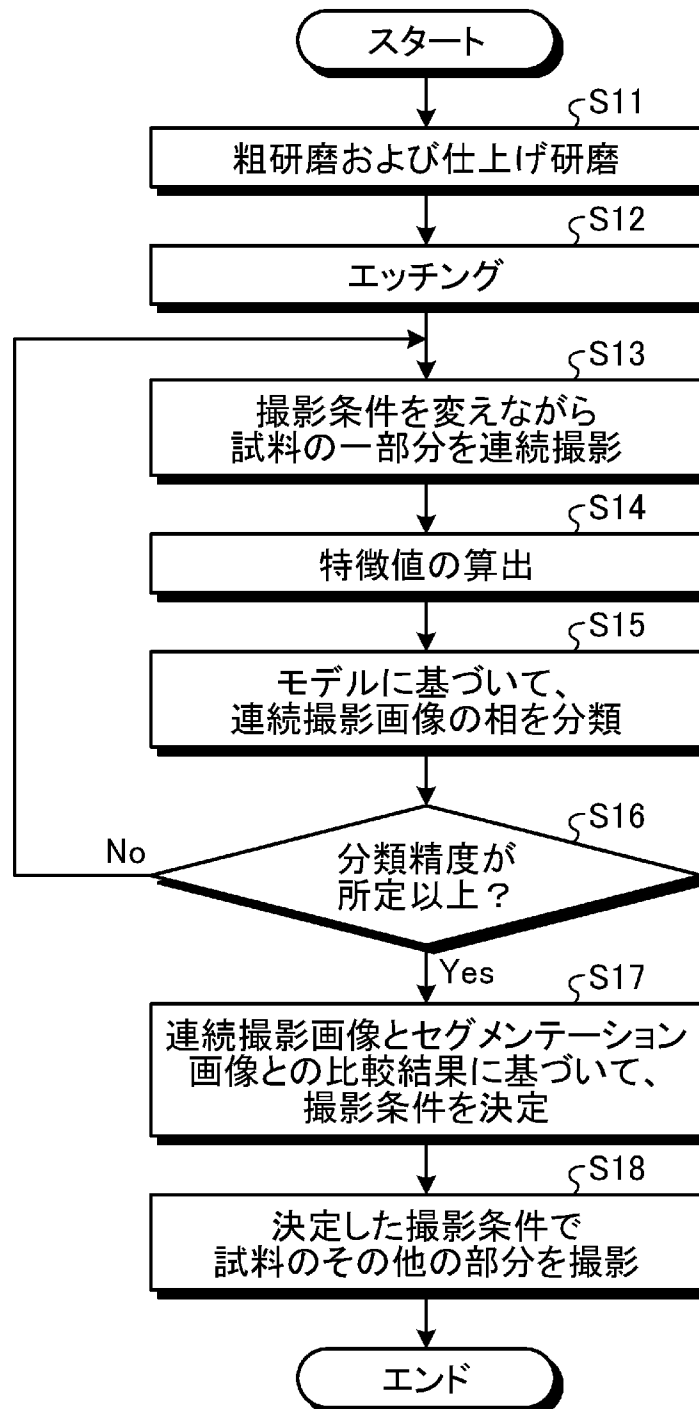
[図3]



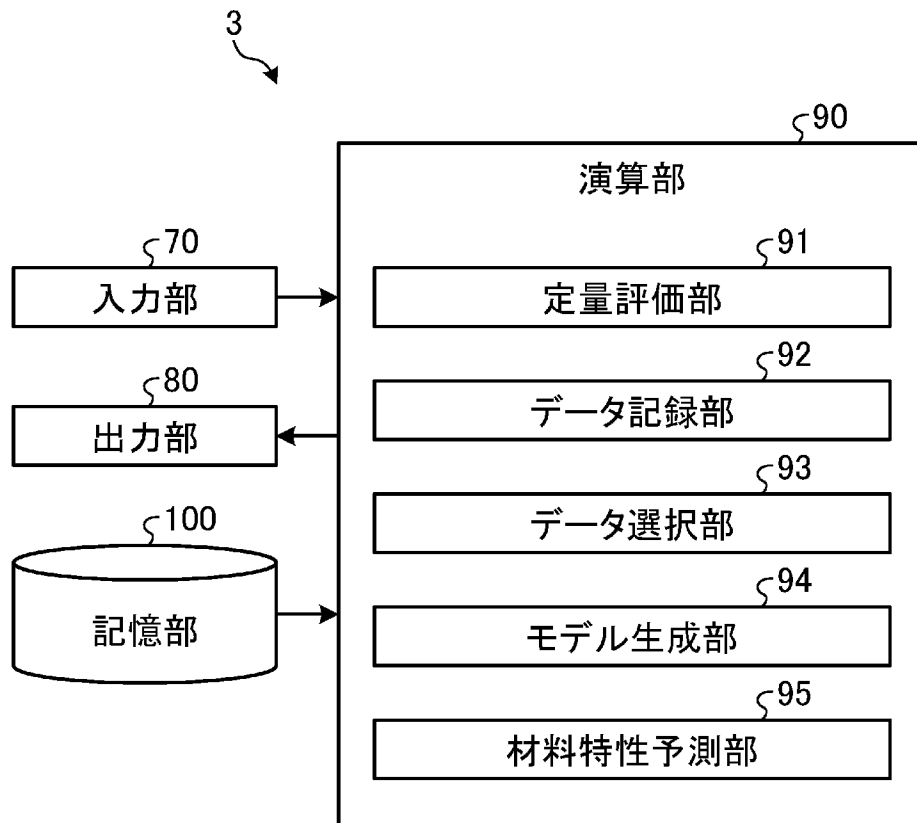
[図4]



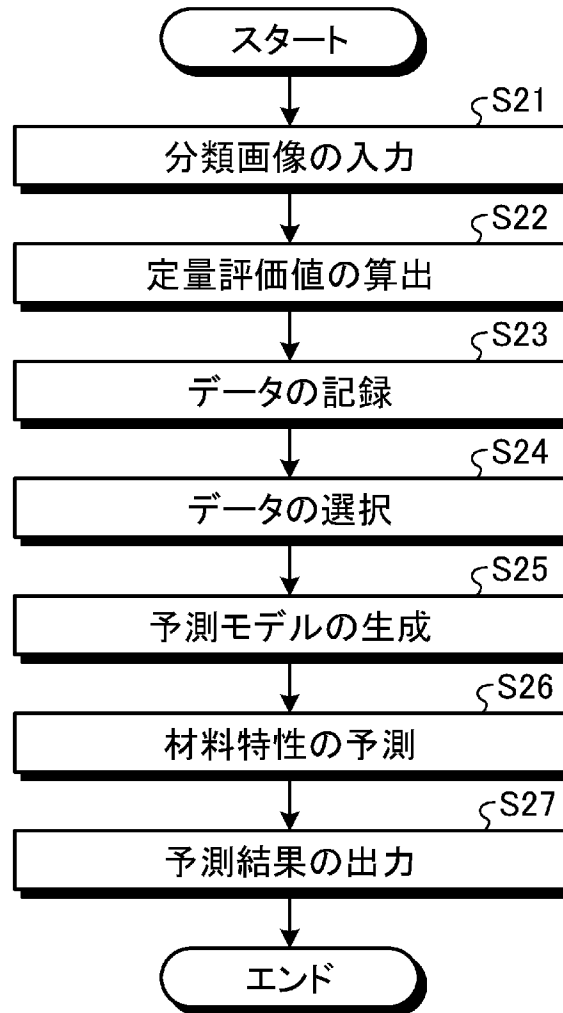
[図5]



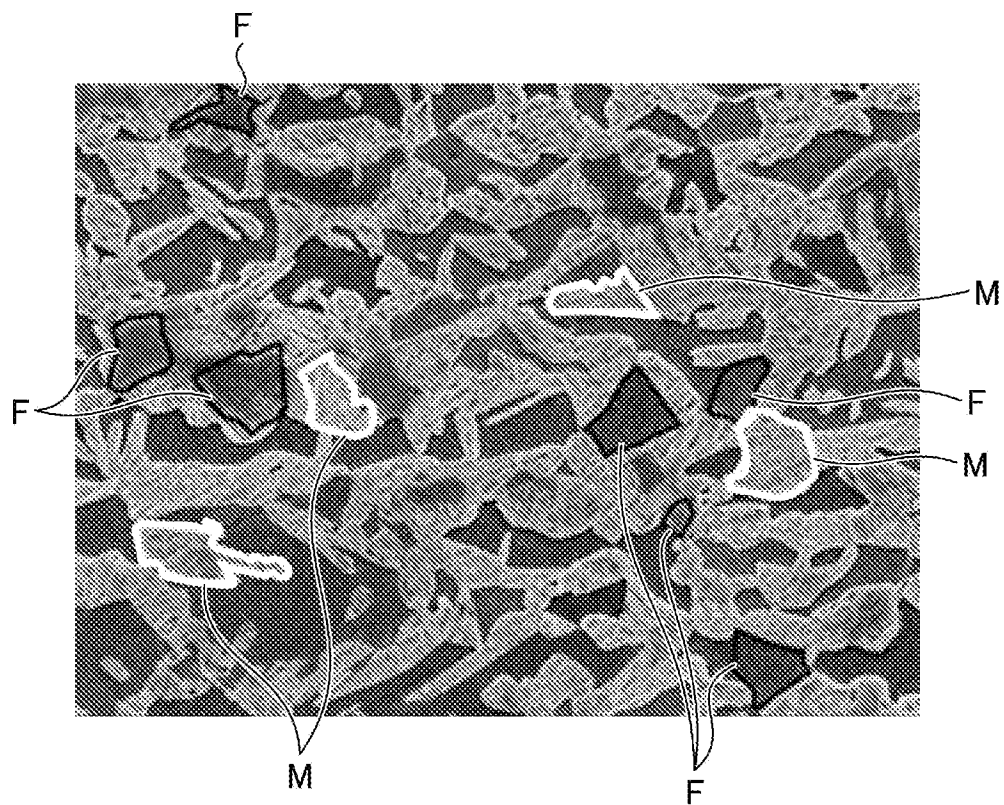
[図6]



[図7]



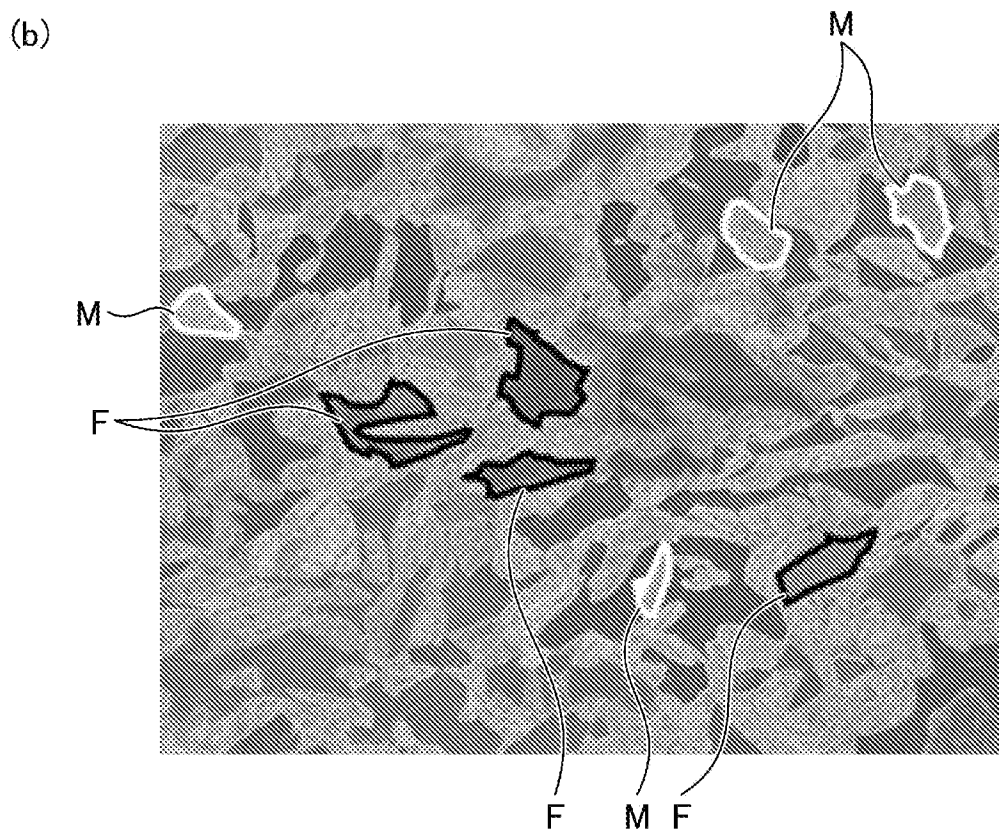
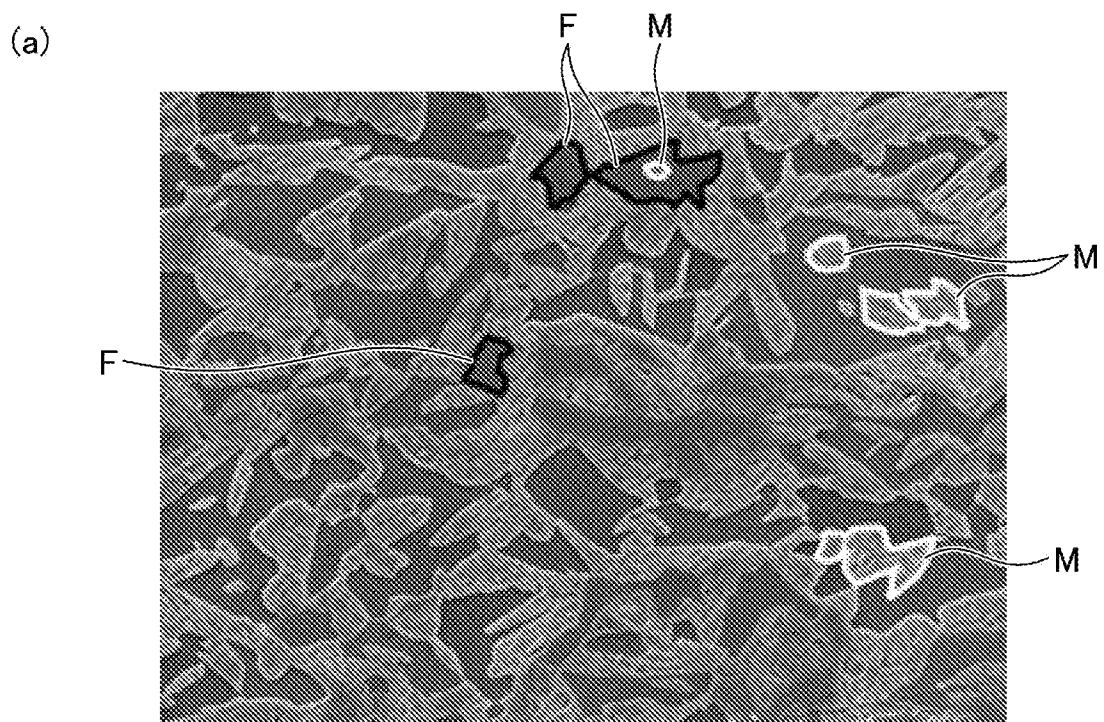
[図8]



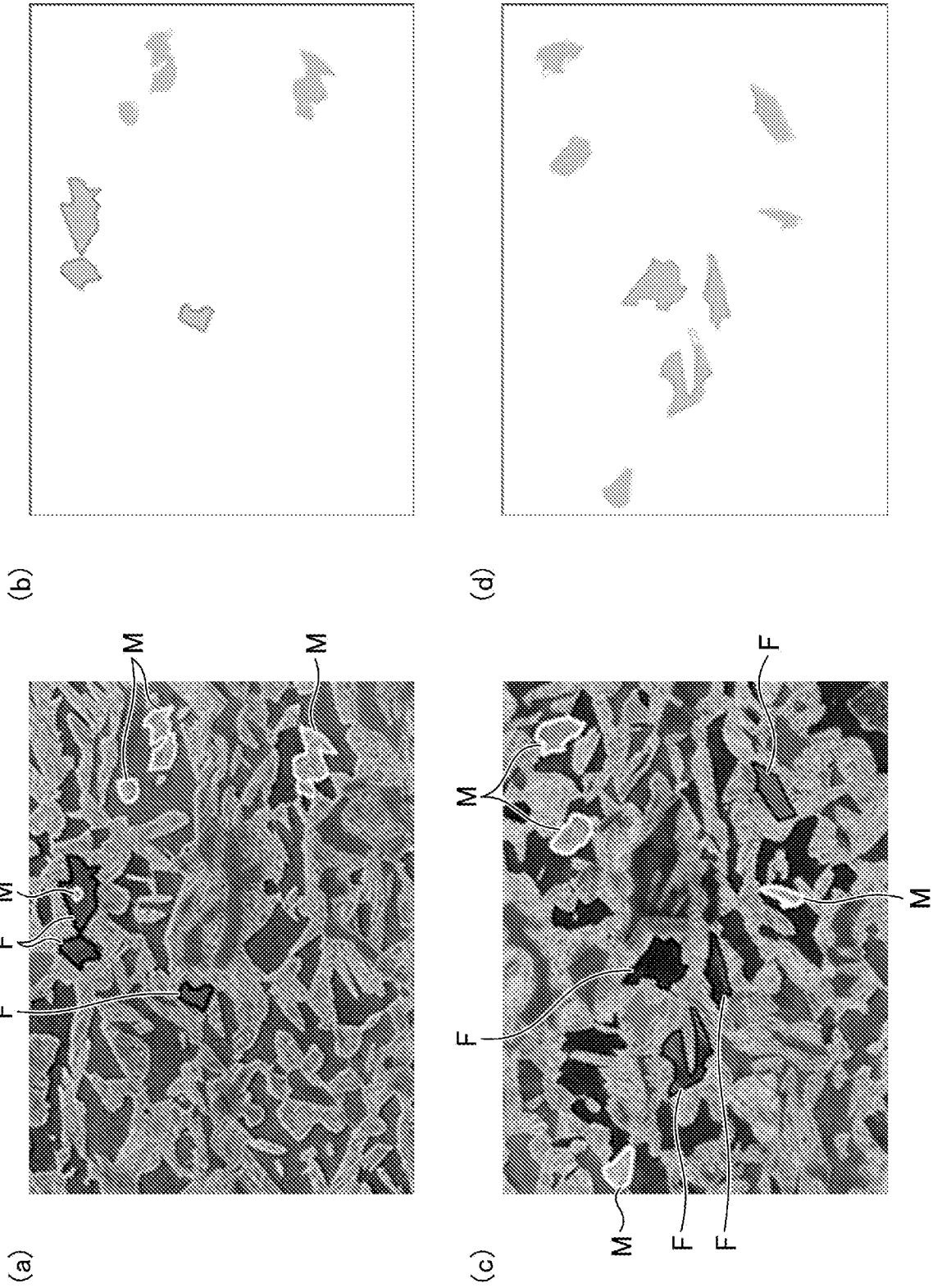
F: フェライト相

M: マルテンサイト相

[図9]

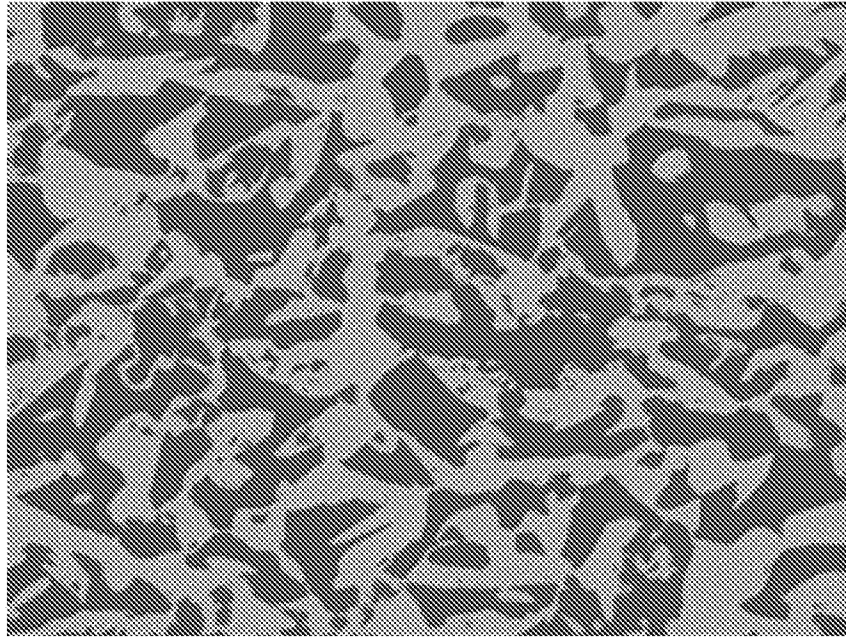


[図10]


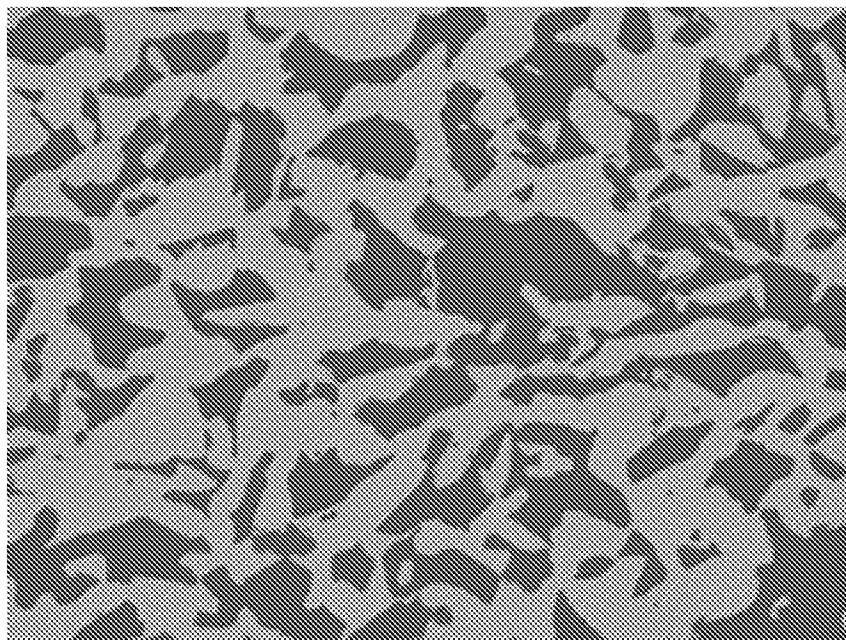



[図11]

(a)

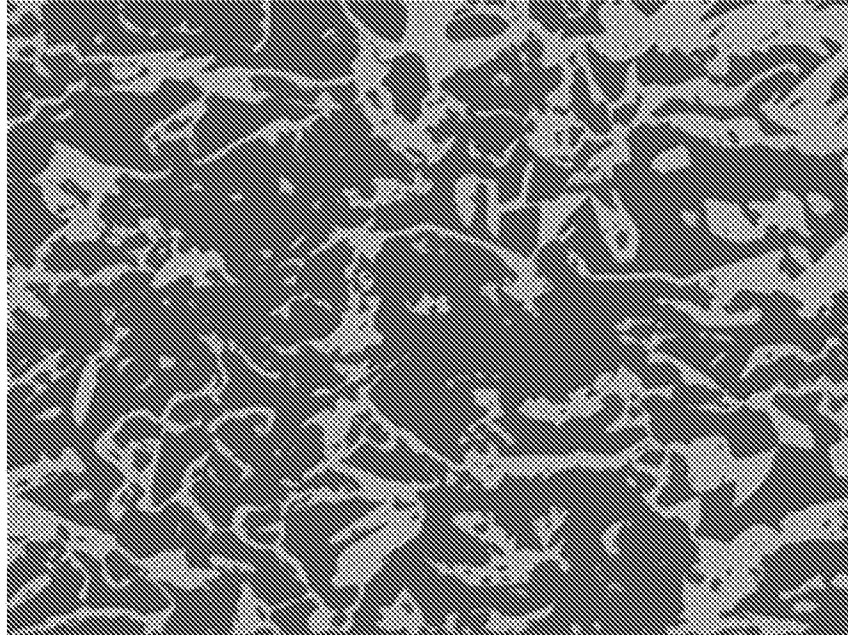


(b)

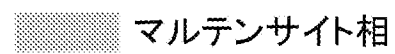
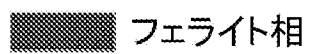
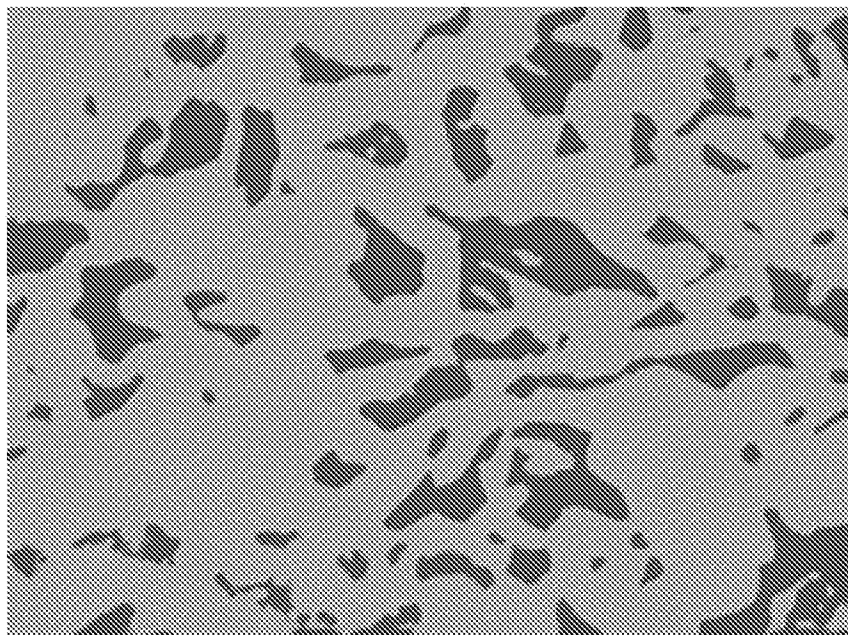
 フェライト相 マルテンサイト相

[図12]

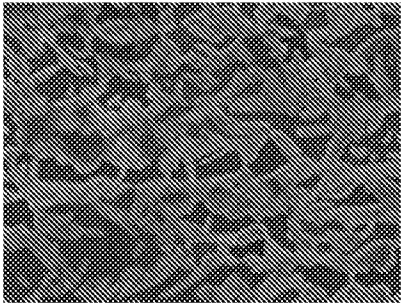
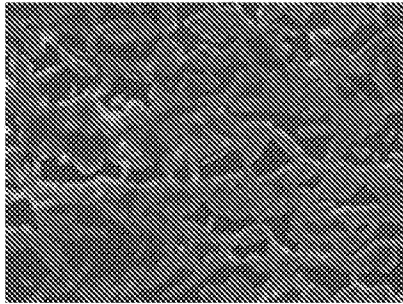
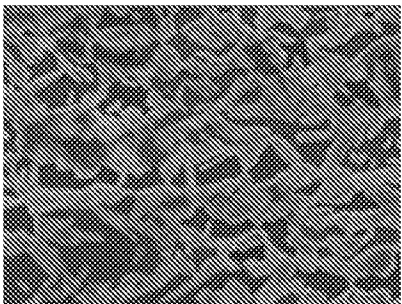
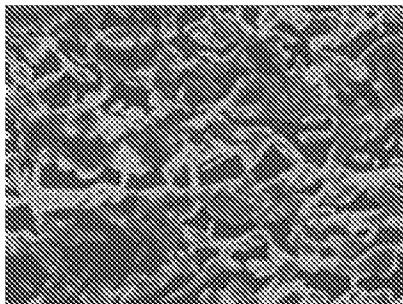
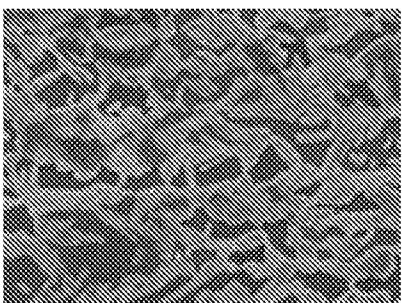
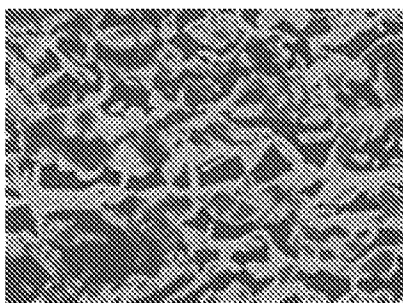
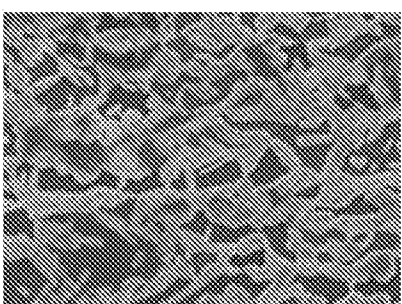
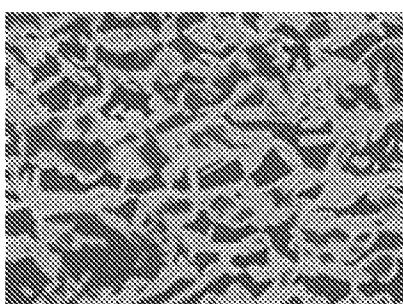
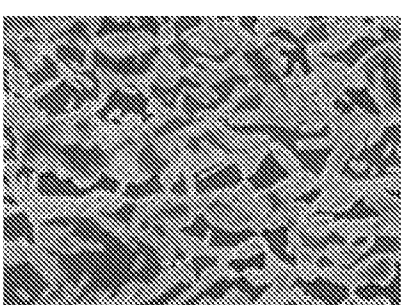
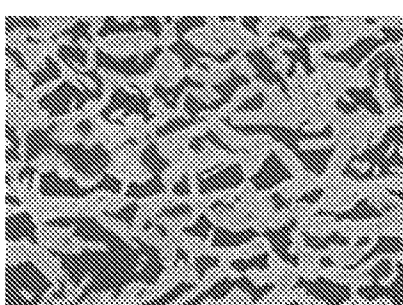
(a)



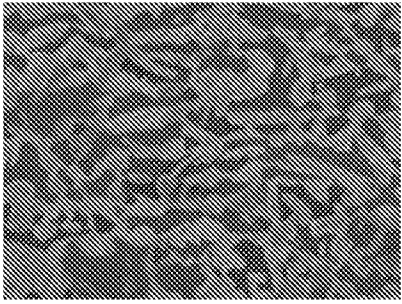
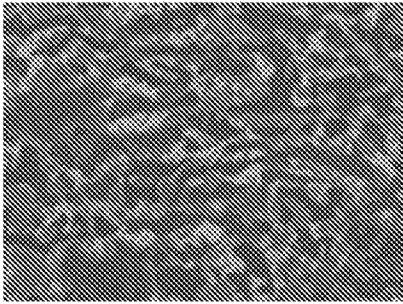
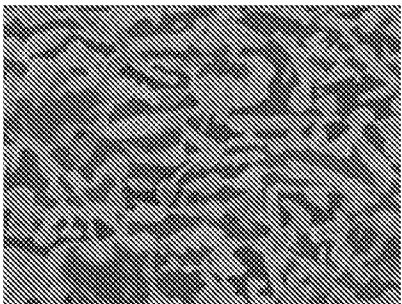
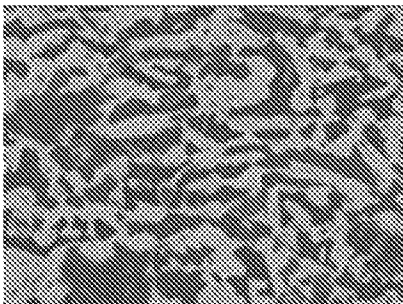
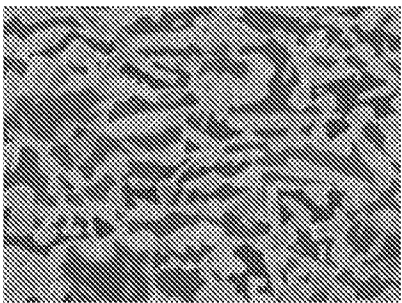
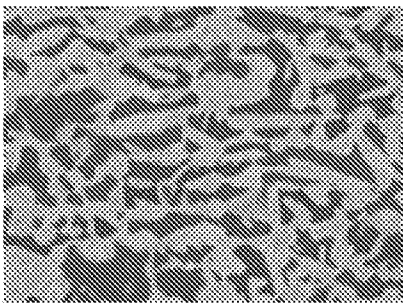
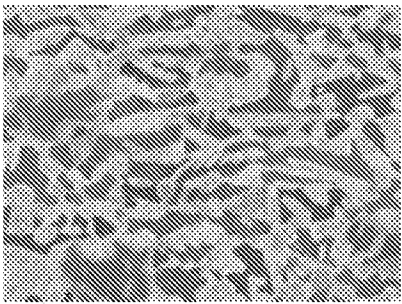
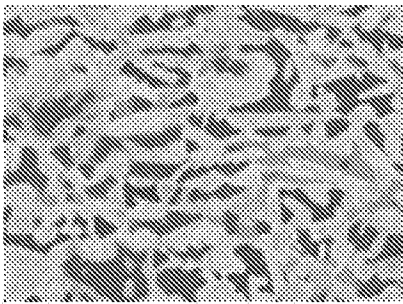
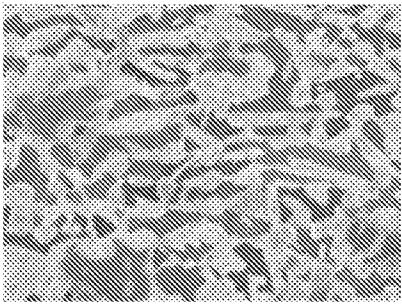
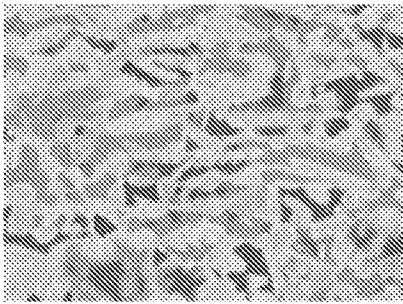
(b)



[図13]

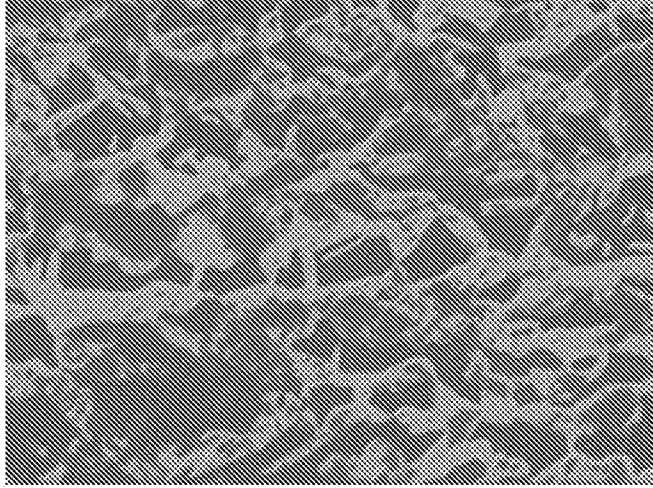
	元画像	分類結果	分類精度
(a)			×
(b)			×
(c)			×
(d)			×
(e)			○

[図14]

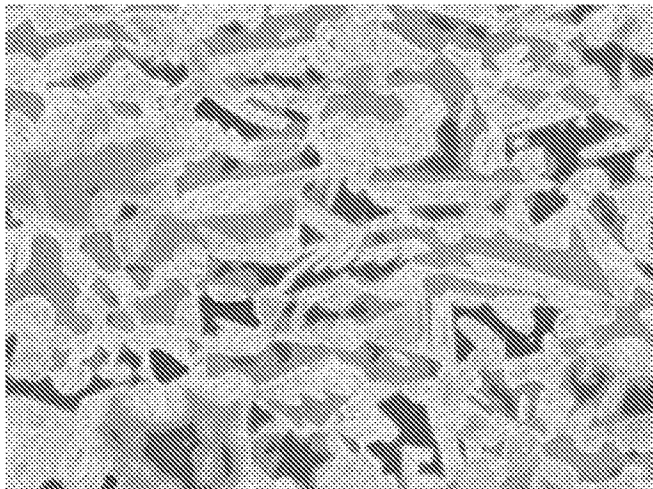
	元画像	分類結果	分類精度
(a)			×
(b)			×
(c)			○
(d)			×
(e)			×

[図15]

(a)

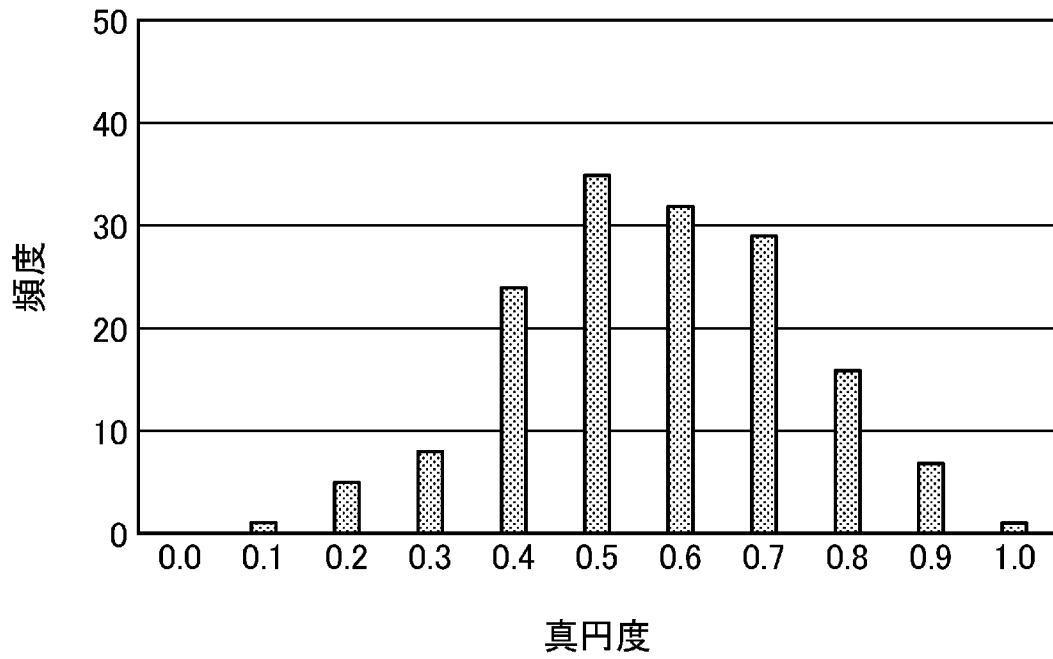


(b)

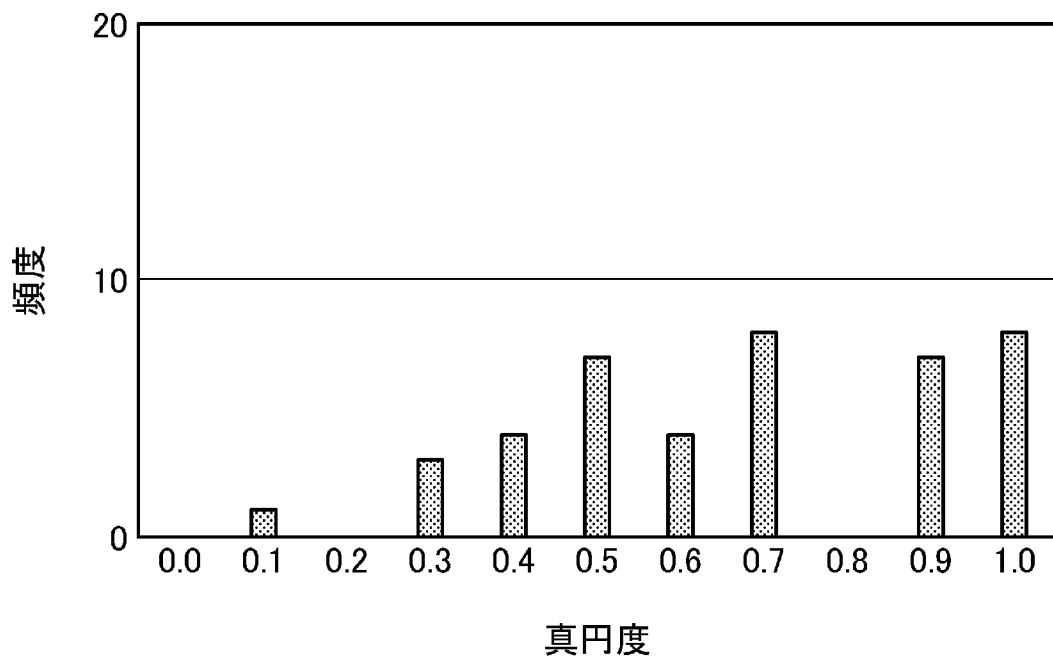


[図16]

(a)

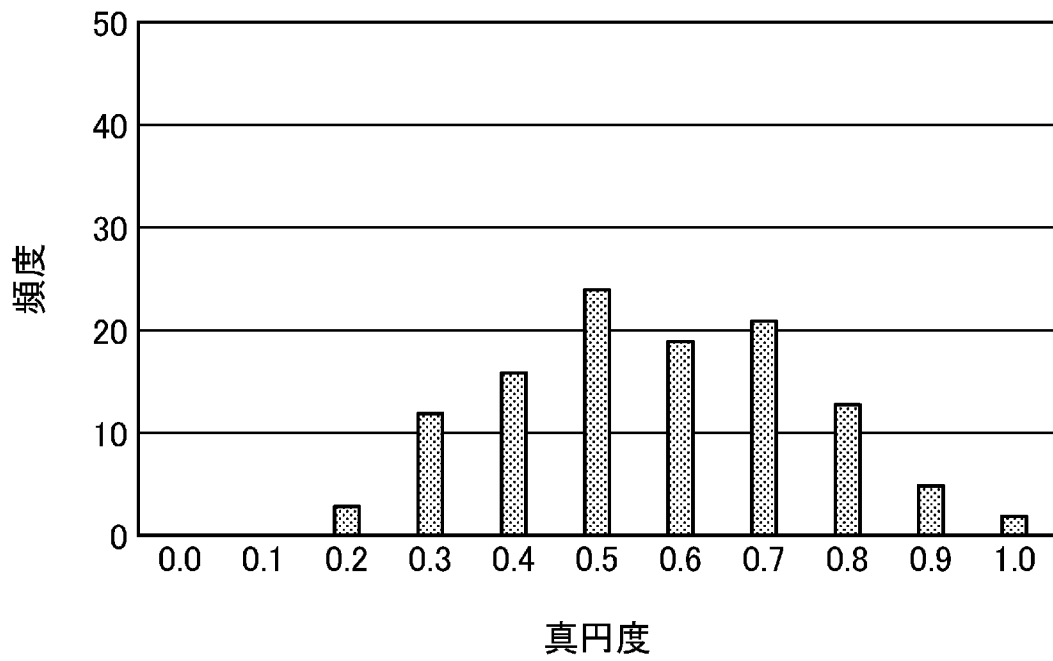


(b)

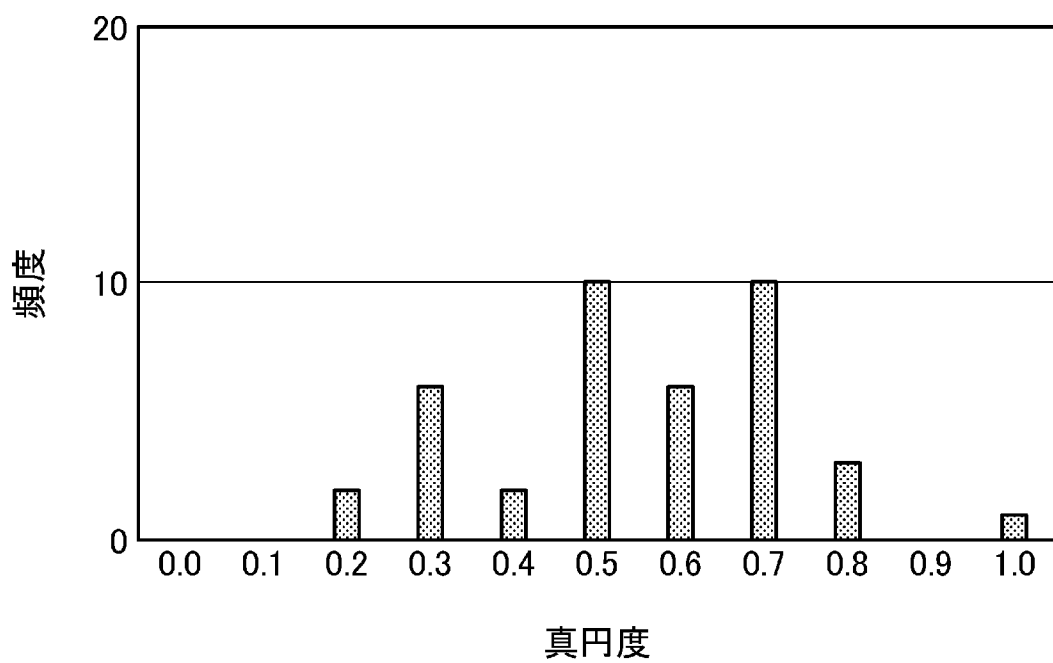


[図17]

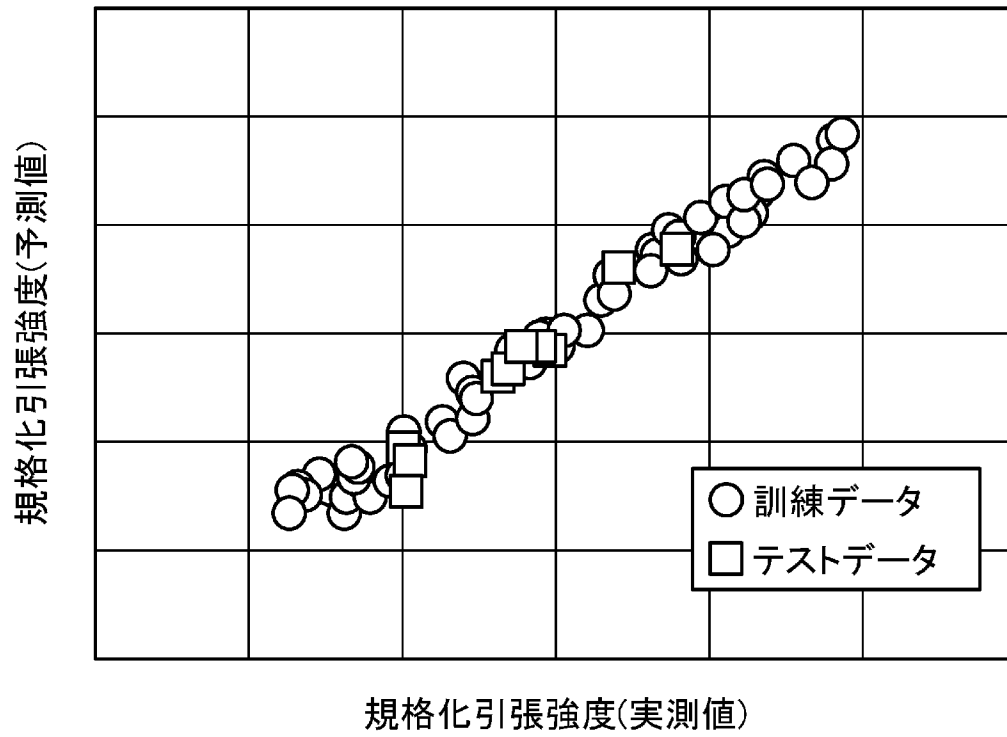
(a)



(b)



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/009006

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G06T7/00 (2017.01) i, G01N33/204 (2019.01) i, G01N21/17 (2006.01) i
 FI: G01N33/204, G06T7/00 350B, G06T7/00 300F, G01N21/17 A, G06T7/00 610C

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)

Int. Cl. G06T7/00, G01N33/204, G01N21/17

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 1971-2021
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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.
Y	JP 2019-012037 A (JFE STEEL CORP.) 24 January 2019, paragraphs [0011]-[0051], fig. 1-11	14
Y	JP 2007-204772 A (JFE STEEL CORP.) 16 August 2007, paragraphs [0008]-[0030], fig. 1-6	14
Y	US 4548903 A (WEISS, I.) 22 October 1985, column 2, line 23 to column 4, line 13, fig. 1-4	14
Y	JP 06-148062 A (SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.) 27 May 1994, p. 2, upper left column, line 3 to lower right column, line 5, fig. 1, 2	14
A	JP 62-079361 A (DAIDO STEEL CO., LTD.) 11 April 1987, entire text, all drawings	1-14

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
 "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 30.04.2021	Date of mailing of the international search report 18.05.2021
---	--

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/009006

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2019-012037 A	24.01.2019	(Family: none)	
JP 2007-204772 A	16.08.2007	(Family: none)	
US 4548903 A	22.10.1985	(Family: none)	
JP 06-148062 A	27.05.1994	(Family: none)	
JP 62-079361 A	11.04.1987	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G06T 7/00(2017.01)i; G01N 33/204(2019.01)i; G01N 21/17(2006.01)i FI: G01N33/204; G06T7/00 350B; G06T7/00 300F; G01N21/17 A; G06T7/00 610C		
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）） G06T7/00; G01N33/204; G01N21/17 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 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021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 (JDreamII)		
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
Y	JP 2019-012037 A (JFEスチール株式会社) 24.01.2019 (2019-01-24) [0011]-[0051], 図1-11	14
Y	JP 2007-204772 A (JFEスチール株式会社) 16.08.2007 (2007-08-16) [0008]-[0030], 図1-6	14
Y	US 4548903 A (WEISS, I.) 22.10.1985 (1985-10-22) 第2欄第23行-第4欄第13行, 図1-4	14
Y	JP 06-148062 A (住友金属工業株式会社) 27.05.1994 (1994-05-27) 第2頁左上欄第3行-右下欄第5行, 図1-2	14
A	JP 62-079361 A (大同特殊鋼株式会社) 11.04.1987 (1987-04-11) 全文, 全図	1-14
<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、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 30.04.2021	国際調査報告の発送日 18.05.2021	
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） 西浦 昌哉 2J 5704 電話番号 03-3581-1101 内線 3252	

国際調査報告
特許ファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/009006

引用文献	公表日	特許ファミリー文献	公表日
JP 2019-012037 A	24.01.2019	(ファミリーなし)	
JP 2007-204772 A	16.08.2007	(ファミリーなし)	
US 4548903 A	22.10.1985	(ファミリーなし)	
JP 06-148062 A	27.05.1994	(ファミリーなし)	
JP 62-079361 A	11.04.1987	(ファミリーなし)	