

(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
2018年8月30日(30.08.2018)

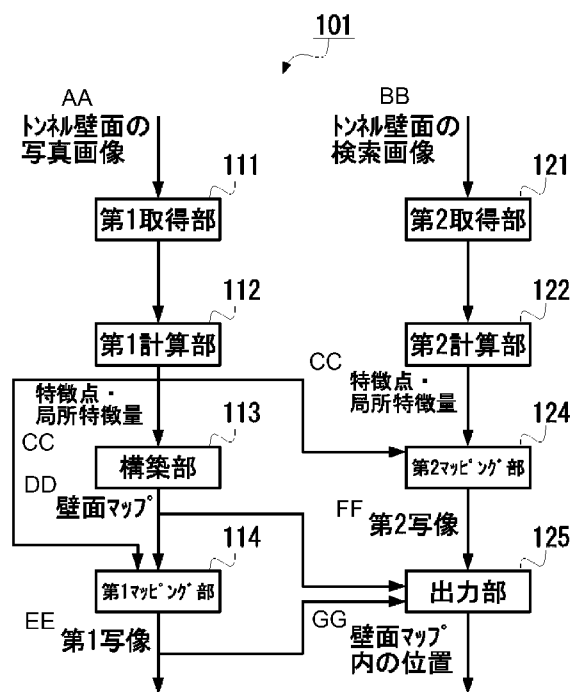


(10) 国際公開番号
WO 2018/155590 A1

- (51) 国際特許分類:
G01C 11/06 (2006.01) *G06T 7/00* (2017.01)
G01B 11/24 (2006.01) *G06T 17/20* (2006.01)
G01C 7/06 (2006.01) *G06T 19/00* (2011.01)
G01C 15/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/006576
- (22) 国際出願日: 2018年2月22日(22.02.2018)
- (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 2017-033771 2017年2月24日(24.02.2017) JP
- (71) 出願人: 国立研究開発法人理化学研究所
(RIKEN) [JP/JP]; 〒3510198 埼玉県和光市広
 沢2番1号 Saitama (JP).
- (72) 発明者: 緑川 克美 (**MIDORIKAWA, Katsumi**);
 〒3510198 埼玉県和光市広沢2番1号 国立研
 究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP). 和
 田 智之 (**WADA, Satoshi**); 〒3510198 埼玉
 県和光市広沢2番1号 国立研究開発法人理
 化学研究所内 Saitama (JP). 斎藤 徳人 (**SAITO,**
Norihito); 〒3510198 埼玉県和光市広沢2番1
 号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama
 (JP). 加瀬 究 (**KASE, Kiwamu**); 〒3510198 埼
 玉県和光市広沢2番1号 国立研究開発法
 人理化学研究所内 Saitama (JP). 道川 隆士
 (**MICHIKAWA, Takashi**); 〒3510198 埼玉

(54) Title: IDENTIFYING DEVICE, IDENTIFYING METHOD AND PROGRAM FOR IDENTIFYING POSITION OF WALL SURFACE INSIDE TUNNEL APPEARING IN PHOTOGRAPHIC IMAGE

(54) 発明の名称: 写真画像に映ったトンネル内の壁面の位置を同定する同定装置、同定方法、ならびに、プログラム



- 111 First acquiring unit
- 112 First calculating unit
- 113 Constructing unit
- 114 First mapping unit
- 121 Second acquiring unit
- 122 Second calculating unit
- 124 Second mapping unit
- 125 Output unit
- AA Photographic image of tunnel wall surface
- BB Search image of tunnel wall surface
- CC Feature point, local feature quantity
- DD Wall surface map
- EE First image
- FF Second image
- GG Position in wall surface map

(57) Abstract: In an identifying device (101), a first acquiring unit (111) acquires a plurality of photographic images obtained by capturing images of a wall surface inside a tunnel. A first calculating unit (112) calculates a position of a feature point and a local feature quantity in the photographic images. A constructing unit (113) constructs a three-dimensional



WO 2018/155590 A1

光市広沢 2 番 1 号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP). 小町 祐一(KOMACHI, Yuichi); 〒3510198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP). 岡村 幸太郎(OKAMURA, Kotaro); 〒3510198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP). 村上 武晴(MURAKAMI, Takeharu); 〒3510198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP). 坂下 亨男(SAKASITA, Michio); 〒3510198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP). 木暮 繁(KOGURE, Shigeru); 〒3510198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP).

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 :

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(74) 代理人: 木村 満(KIMURA, Mitsuru); 〒1010054 東京都千代田区神田錦町二丁目 7 番地 協販ビル 2 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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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,

polygonal model of the wall surface to generate a wall surface map. A first mapping unit (114) associates each pixel in the photographic images with a position in the wall surface map. A second acquiring unit (121) acquires a search image obtained by newly capturing an image of the wall surface. A second calculating unit (122) calculates a position of a feature point and a local feature quantity in the search image. A second mapping unit (124) compares the positions of the feature points and the local feature quantities in the photographic images and the search image to associate each pixel in the search image with one of the pixels in the photographic images. An output unit (125) outputs the positions in the wall surface map to which the pixels in the photographic images associated with each pixel in the search image are associated.

(57) 要約: 同定装置(101)にて、第1取得部(111)は、トンネル内の壁面が撮影された複数の写真画像を取得する。第1計算部(112)は、写真画像の特徴点の位置及び局所特徴量を計算する。構築部(113)は、壁面の3次元ポリゴンモデルを構築して壁面マップを生成する。第1マッピング部(114)は、写真画像の各画素と、壁面マップ内の位置と、を対応付ける。第2取得部(121)は、壁面が新たに撮影された検索画像を取得する。第2計算部(122)は、検索画像の特徴点の位置及び局所特徴量を計算する。第2マッピング部(124)は、写真画像及び検索画像の特徴点の位置及び局所特徴量を対比することにより、検索画像の各画素と、写真画像のいずれかの画素と、を対応付ける。出力部(125)は、検索画像の各画素に対応付けられた写真画像の画素が対応付けられた壁面マップ内の位置を出力する。

明 細 書

発明の名称：

写真画像に映ったトンネル内の壁面の位置を同定する同定装置、同定方法、ならびに、プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、写真画像に映ったトンネル内の壁面の位置を同定する同定装置、同定方法、ならびに、プログラムに関する。

背景技術

[0002] 従来から、トンネルの壁面の状況を把握するための調査装置が提案されている。

[0003] たとえば、特許文献1には、

壁面と正対させた複数のビデオカメラを、壁面と略垂直な平面上に、壁面までの距離が各々等しく、かつ、隣り合うビデオカメラの視野の端部が重なり合うようにカメラ設置用架台に取り付け、計測車両を壁面と略一定の距離を保ちつつ移動させながら壁面を撮影することで、

ビデオカメラを壁面と正対させ、壁面までの距離を等しくし、かつ撮像視野の端部を重なり合うようにすることにより、縮尺が均一な壁面画像を撮影し、

画像のラップ率が低い場合や、撮像手段と辺面との距離が変化して画像の縮尺が変わるような場合には、INS(Inertial Navigation System)、走行距離計、レーザスキャナによる計測データを利用することで接合を可能とし、縮尺が均一な展開画像を作成する

という技術が提案されている。

[0004] また、非特許文献1には、3次元の対象を異なる位置から撮影した複数の2次元画像もしくは2次元動画画像から、当該対象の3次元情報を取得するSfM(Structure from Motion)技術が開示されている。

[0005] 特許文献1に開示される技術により得られる壁面画像に対して、非特許文献

2に開示される技術を適用することにより、トンネル内の壁面の3次元形状の情報を得ることができる。さらに非特許文献3に開示される技術を適用することにより、トンネル内の壁面の2次元展開図を得ることができる。

[0006] ここで、トンネル内のひび割れ、水漏れ、空洞等の変状を発見するには、定期的な点検を行い、適切に補修をする必要がある。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2004-12152号公報

非特許文献

[0008] 非特許文献1：Wikipedia, 「Structure from motion」の項, https://en.wikipedia.org/wiki/Structure_from_motion, 2017年2月11日に取得

非特許文献2：Calakli F. and Taubin G., "SSD: Smooth Signed Distance Surface Reconstruction", Computer Graphics Forum, Volume 30, Number 7, 2011年9月

非特許文献3：Michael S. Floater, "Mean value coordinates", Computer Aided Geometric Design, Volume 20, Numer 1, Pages 19-27, ISSN 0167-8396, [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8396\(03\)00002-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8396(03)00002-5), 2003年

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、トンネル内では、GPS(Global Positioning System)を利用することができないため、トンネルの壁面に変状が発見された位置を適切に同定する必要がある。特に、点検と補修が異なる日に行われる場合には、以前に点検者が発見した変状の位置と、現在補修者が観察している位置と、が一致しているか否か、どのような位置関係にあるかを、高速に判定することで、作業の効率化を図ることが求められている。

[0010] このほか、トンネル壁面全体の観察は低い頻度(たとえば5年あるいは10年毎)で行い、過去に発見された変状の経過観察は高い頻度(たとえば毎年)で行

うような点検手法を採用することも多い。変状の経過観察においては、点検者が現在観察している位置を同定して、経過観察すべき変状との位置関係を把握させ、点検者を目的箇所まで導く必要がある。

[0011] また、トンネルの壁面において変状が発見された場合には、当該変状を撮影した画像と、以前に点検したときのトンネルの情報と、から、当該変状が発見された位置を高速に同定する技術が強く求められている。

[0012] 本発明は、上記の課題を解決するもので、写真画像に映ったトンネル内の壁面の位置を同定する同定装置、同定方法、ならびに、プログラムに関する。

課題を解決するための手段

[0013] 本発明に係る同定装置は、
トンネル内の壁面が撮影された複数の写真画像を取得し、
前記複数の写真画像のそれぞれの特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算し、
前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量を参照して前記壁面の3次元ポリゴンモデルを構築し、前記構築された3次元ポリゴンモデルに基づく壁面マップを生成し、
前記複数の写真画像のそれぞれの各画素と、前記壁面マップ内の位置と、
を対応付け、
前記トンネル内の壁面が新たに撮影された検索画像を取得し、
前記取得された検索画像の特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算し、
前記検索画像について前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、
前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、
を対比することにより、前記検索画像の各画素と、前記複数の写真画像のいずれかの画素と、
を対応付け、
前記検索画像の各画素に対応付けられた前記複数の写真画像のいずれかの画素が対応付けられた前記壁面マップ内の位置を出力する。

発明の効果

[0014] 本発明によれば、写真画像に映ったトンネル内の壁面の位置を同定する同定装置、同定方法、ならびに、プログラムを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本発明の実施形態に係る同定装置の概要構成を示す説明図である。

[図2]初期化処理の制御の流れを示すフローチャートである。

[図3]トンネルの壁面を撮影した複数の写真画像を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。

[図4]トンネルの壁面を撮影した複数の写真画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図5]SfMにより得られた点群を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。

[図6]SfMにより得られた点群を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図7]3次元ポリゴンモデルを256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。

[図8]3次元ポリゴンモデルを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図9]3次元ポリゴンモデルの頂点を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。

[図10]3次元ポリゴンモデルの頂点を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図11]3次元ポリゴンモデルの点を2次元の展開図に射影する様子を説明する説明図である。

[図12]トンネル内の壁面の展開図を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。

[図13]トンネル内の壁面の展開図を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図14]同定処理の制御の流れを示すフローチャートである。

[図15]実験1において、検索画像の例を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。

[図16]実験1において、検索画像の例を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図17]実験1において、検索画像にマッチする写真画像を256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図18]実験1において、検索画像にマッチする写真画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図19]実験1において、検索画像が検索された3次元ポリゴンモデルを256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図20]実験1において、検索画像が検索された3次元ポリゴンモデルを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図21A]実験2において、検索したいひび割れの写真画像Aの例を256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図21B]実験2において、検索したいひび割れの写真画像Bの例を256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図21C]実験2において、検索したいひび割れの写真画像Cの例を256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図21D]実験2において、検索したいひび割れの写真画像Dの例を256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図21E]実験2において、検索したいひび割れの写真画像Eの例を256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図22A]実験2において、検索したいひび割れの写真画像Aの例を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図22B]実験2において、検索したいひび割れの写真画像Bの例を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図22C]実験2において、検索したいひび割れの写真画像Cの例を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図22D]実験2において、検索したいひび割れの写真画像Dの例を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図22E]実験2において、検索したいひび割れの写真画像Eの例を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図23A]実験2において、写真画像Aに対する検索画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図23B]実験2において、写真画像Bに対する検索画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図23C]実験2において、写真画像Cに対する検索画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図23D]実験2において、写真画像Dに対する検索画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図23E]実験2において、写真画像Eに対する検索画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図24A]実験2において、検索画像Aにマッチした写真画像Aを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図24B]実験2において、検索画像Bにマッチした写真画像Bを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図24C]実験2において、検索画像Cにマッチした写真画像Cを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図24D]実験2において、検索画像Dにマッチした写真画像Dを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図24E]実験2において、検索画像Eにマッチした写真画像Eを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図25A]実験2において、検索画像Aにマッチした写真画像Aを256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図25B]実験2において、検索画像Bにマッチした写真画像Bを256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図25C]実験2において、検索画像Cにマッチした写真画像Cを256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図25D]実験2において、検索画像Dにマッチした写真画像Dを256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図25E]実験2において、検索画像Eにマッチした写真画像Eを256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図26]実験2において、トンネル内の壁面の展開図において検索画像A-Eが検索された結果を拡大して、256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図27]実験2において、トンネル内の壁面の展開図において検索画像A-Eが検索された結果を拡大して、2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[図28]実験2において、検索画像A-Eが検索された3次元ポリゴンモデルを256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。

[図29]実験2において、検索画像A-Eが検索された3次元ポリゴンモデルを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下に、本発明の実施形態を説明する。なお、本実施形態は、説明のためのものであり、本発明の範囲を制限するものではない。したがって、当業者であれば、本実施形態の各要素もしくは全要素を、これと均等なものに置換した実施形態を採用することが可能である。また、各実施例にて説明する要素は、用途に応じて適宜省略することも可能である。このように、本発明の原理にしたがって構成された実施形態は、いずれも本発明の範囲に含まれる。

[0017] (概要構成)

図1は、本発明の実施形態に係る同定装置の概要構成を示す説明図である。以下、本図を参照して概要を説明する。

[0018] 本図に示すように、本実施形態に係る同定装置101は、コンピュータにおいて所定のプログラムを実行することにより実現され、第1取得部111、第1計算部112、構築部113、第1マッピング部114、第2取得部121、第2計算部122、第2マッピング部124、出力部125を備える。

- [0019] ここで、第1取得部111は、トンネル内の壁面が撮影された複数の写真画像を取得する。
- [0020] 複数の写真画像は、たとえば特許文献1に開示されるようなビデオカメラやスチルカメラによって撮影される。
- [0021] 一方、第1計算部112は、複数の写真画像のそれぞれの特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算する。
- [0022] 非特許文献1に開示されるSfM技術を適用した態様では、特徴点におけるSIFT(Scale-Invariant Feature Transform)やSURF(Speeded Up Robust Features)等の局所特徴量を利用する。
- [0023] さらに、構築部113は、複数の写真画像のそれぞれについて計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量を参照して壁面の3次元ポリゴンモデルを構築し、構築された3次元ポリゴンモデルに基づく壁面マップを生成する。
- [0024] 3次元ポリゴンモデルの構築には、たとえば非特許文献1に開示されるSfM技術を利用する。
- [0025] SfM技術では、複数の写真画像から、特徴点の3次元的位置を表す点群データと、各写真画像がどの撮影位置でどの撮影方向に撮影されたものであるかを表す撮影データと、が推定されて、出力される。
- [0026] ここで点群データに含まれる特徴点の分布には粗密があるため、写真画像の任意の画素に対する3次元的位置を特定するために、たとえば非特許文献2に開示される曲面再構成を行う。
- [0027] ここで、壁面マップとしては、当該3次元ポリゴンモデルにより表現された3次元マップを採用することもできるし、当該3次元ポリゴンモデルを展開した展開図により表現された2次元マップを採用することもできる。2次元マップの生成には、たとえば非特許文献3に開示される技術を適用することができる。
- [0028] そして、第1マッピング部114は、複数の写真画像のそれぞれの各画素と、壁面マップ内の位置と、を対応付ける。この対応付けを、「第1写像」と呼ぶ。
- 。

- [0029] 以上説明した第1取得部111、第1計算部112、構築部113、第1マッピング部114による処理は、「初期化」と呼ぶこともあり、トンネル内の壁面の全体を、低い頻度で時間をかけて点検する際に実行される。
- [0030] 初期化の際に計算された複数の写真画像内のそれぞれの特徴点の位置ならびに局所特徴量、および、壁面マップは、後述する処理において検索画像を検索したり位置を同定したりするため、各種記録媒体やハードディスク、データベース等に保存される。
- [0031] 初期化が終わった後、比較的高い頻度で、対象となる箇所を絞り込んだ上で点検を行うための処理は、以下のように、第2取得部121、第2計算部122、第2マッピング部124、出力部125によって、実行される。これらの処理をまとめて「検索」と呼ぶことがある。
- [0032] すなわち、第2取得部121は、トンネル内の壁面が新たに撮影された検索画像を取得する。
- [0033] 第1取得部111にて取得される複数の写真画像は、トンネル内の壁面を覆うことができるように撮影されるが、第2取得部121にて取得される検索画像は、点検者が現在注目している壁面内の位置を撮影した写真である。
- [0034] 一方、第2計算部122は、取得された検索画像の特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算する。
- [0035] 第2計算部122は、第1計算部112と同様のアルゴリズムにより特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算する。
- [0036] さらに、第2マッピング部124は、検索画像について計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、複数の写真画像のそれぞれについて計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、を対比することにより、検索画像の各画素と、複数の写真画像のいずれかの画素と、を対応付ける。
- [0037] 具体的には、第2マッピング部124は、検索画像内の各特徴点に対する局所特徴量と類似する局所特徴量を有する複数の写真画像内の特徴点を選び出して、検索画像内の各特徴点を複数の写真画像内のいずれかの特徴点に対応付ける。特徴点以外の位置については、De launay三角形分割を利用することに

よって、対応付けを行う。この対応付けを、「第2写像」と呼ぶ。

[0038] そして、出力部125は、検索画像の各画素に対応付けられた複数の写真画像のいずれかの画素に対応付けられた壁面マップ内の位置を出力する。

[0039] すなわち、出力部125は、検索画像の各画素の位置に対して第2写像を適用することにより、初期化時に撮影された複数の写真画像における位置を取得する。そして、当該位置に対して、第1写像を適用することにより、検索画像の各画素の壁面マップにおける位置を求めるのである。

[0040] 初期化処理と同定処理は、異なる時期、頻度に行うことができる。したがって、初期化処理を実行するコンピュータは、同定処理を実行するコンピュータと、同一であっても良いし異なっても良い。したがって、初期化処理を実行するためのプログラムと、同定処理を実行するためのプログラムとは、まとめて一つのプログラムとして用意しても良いし、独立したプログラムとして用意することも可能である。

[0041] 典型的には、当該プログラムは、記録媒体に記録され、コンピュータが有するメモリ内にロードされて、コンピュータが有するプロセッサにより実行される。当該プログラムは、同定装置101の各部を実現するためのコードの集合体として表現される。

[0042] なお、GPU(Graphics Processing Unit)を効率良く利用することで、計算の高速化を図ることもできる。たとえば、OpenGLのレンダリング機能を用いることで、複数の写真画像の各画素に対する座標を容易に計算することができる。

[0043] すなわち、第1マッピング部114は、3次元ポリゴンモデルの各点の3次元座標そのものや、当該各点の展開図における2次元座標を色情報に変換し、得られた色情報を、当該各点の色に割り当てることにより、3次元有色モデルを構築する。

[0044] そして、第1マッピング部114は、SfMによって推定された撮影位置、撮影方向から、3次元有色モデルをレンダリングする。レンダリング結果を各写真画像と同じサイズとすると、レンダリング結果において、各写真画像における

各画素と同じ位置に配置された画素の色情報を取得し、座標への逆変換を行えば、当該各画素の座標情報を得ることができる。

[0045] 各画素の色情報は、OpenGLのFB0(Frame Buffer Object)等を用いることで浮動小数点精度で計算することができ、GPUを利用して計算ができるので、高い精度の座標値を高速かつ頑健に計算することが可能となる。

[0046] このほか、FPGA(Field Programmable Gate Array)などの技術を適用すれば、当該プログラムを、電子回路の設計図とすることも可能である。この態様においては、当該プログラムに基づいて、初期化処理を行うための電子回路、あるいは、同定処理を行うための電子回路がハードウェアとして実現されることになる。

[0047] 以下では、理解を容易にするため、コンピュータが初期化用プログラムや同定用プログラムを実行することにより、全体として同定装置101を実現する例について説明する。

[0048] (初期化処理)

図2は、初期化処理の制御の流れを示すフローチャートである。以下、本図を参照して説明する。

[0049] 本処理が開始されると、初期化用プログラムを実行するコンピュータは、まず、トンネル内の壁面を撮影した複数の写真画像を取得する(ステップS201)。

[0050] 図3は、トンネルの壁面を撮影した複数の写真画像を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図4は、トンネルの壁面を撮影した複数の写真画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図示された画像は、ステップS201において取得される複数の写真画像の一部である。これらの写真画像は、車載のビデオカメラを回転させながら撮影した動画の各フレームを採用しても良いし、スチルカメラを移動、回転させながら撮影した画像を利用しても良い。

[0051] ついで、コンピュータは、SfMにより、複数の写真画像から、これらに含まれる特徴点群を用いて、3次元の点群および各写真画像におけるカメラの撮影

位置ならびに撮影方向を、推定する(ステップS202)。図5は、SfMにより得られた点群を256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。図6は、SfMにより得られた点群を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[0052] SfMでは、推定結果として、3次元点群に含まれる各点に対して、当該各点の3次元の座標値と、当該各点が各写真画像において撮影されたときの撮影位置ならびに撮影方向と、が対応付けられて出力される。

[0053] 次に、コンピュータは、曲面再構成法を用いて、3次元点群を通過するポリゴンを生成して、3次元ポリゴンモデルを構築し、これに基づいて壁面マップを生成する(ステップS203)。点群は、写真画像内の特徴点を3次元的に表現したものであるから、曲面を再構成することによってトンネル内の壁面上の任意の点の3次元座標が推定できるようになる。

[0054] 曲面再構成では、法線付きの点群データを入力とし、陰関数曲面によって符号付きのスカラ場を定義して、その等値面を抽出する手法が広く用いられている。図7は、3次元ポリゴンモデルを256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。図8は、3次元ポリゴンモデルを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。

[0055] 本図には、非特許文献2に開示されるSmooth Signed Distance Surface Reconstruction法によって、写真画像に撮影されたトンネル内の壁面に対して生成された3次元ポリゴンモデルが示されている。

[0056] 各ポリゴンは、3次元点群を通過するように構築させているため、3次元点群とポリゴンとは、恒等変換写像によって対応付けられることになる。

[0057] 生成された3次元ポリゴンモデルは、そのまま、トンネル内の壁面上の各点の3次元座標値を表現する3次元マップである。この3次元マップを、壁面マップとして利用することができる。

[0058] さらに、必要に応じて、トンネル内の壁面を展開した展開図を壁面マップとして利用することもできる。展開図には、トンネル内の壁面上の各点の2次元座標値が表現されることになる。

[0059] 展開図の生成は、3次元ポリゴンを2次元へ埋め込むパラメータ化問題に帰

着される。たとえば、非特許文献3に開示されるMean Value Coordinates法では、3次元ポリゴンの各頂点に2次元座標値を付与する。Mean Value Coordinates法では、ポリゴンデータの頂点を、境界頂点と内部頂点に分類してパラメータ化を行う。

[0060] まず、境界頂点のうち、角となる頂点を多角形の角となる位置に配置する。それ以外の境界頂点は、境界稜線の長さを用いて直線上に配置する。図9は、3次元ポリゴンモデルの頂点を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図10は、3次元ポリゴンモデルの頂点を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。本図左側には、ポリゴンPの断面が円弧状に描かれており、その端点が、境界頂点に相当する。

[0061] 一方、内部頂点 v_i は、その近傍頂点 $v_{i,j}$ を用いて、線形結合による局所的なパラメータ化を行う。

[0062] パラメータ化後の座標値は、内部頂点の座標値を未定数とした連立方程式となる。これを解くことにより、ポリゴンから展開図への写像が定義できる。

[0063] この写像を用いれば、入力された写真画像 M_i 上のピクセル(画素) m_j の2次元座標 s_j および3次元座標 p_j は、以下のように計算ができる。図11は、3次元ポリゴンモデルの点を2次元の展開図に射影する様子を説明する説明図である。

[0064] まず、写真画像 M_i の撮影位置 C_i と、ピクセル m_j と、により、視線が定義される。この視線と、ポリゴンPと、の交点の位置が、3次元座標 p_j である。以下、理解を容易にするため、適宜、座標により当該点そのものを表すこととする。

[0065] 次に、交点 p_j を含む三角形 t_k を取得し、当該三角形 t_k の頂点の重み付き平均をとることで、当該三角形 t_k の重心座標を求める。

[0066] 最後に、求められた重心座標と、展開図上に射影された三角形 t_k の頂点座標値と、を、組み合わせることで、交点 p_j に対する展開図上の座標値 s_j を取得できる。図12は、トンネル内の壁面の展開図を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図13は、トンネル内の壁面の展開図を2階調のモノクロ

で表す図面代用写真である。

[0067] このように、コンピュータは、写真画像 M_i 内の画素 m_j に対する3次元ポリゴンモデルにおける3次元座標 p_j 、や2次元展開図における2次元座標 s_j と、を計算して、第1写像を取得する(ステップS204)。

[0068] そして、コンピュータは、この計算結果に基く対応付けを各画素から壁面マップを対応付ける第1写像としてメモリやハードディスク等に保存するとともに、複数の写真画像の特徴点の位置や局所特徴量もメモリやハードディスク等に保存して(ステップS205)、本処理を終了する。

[0069] (同定処理)

上述の通り、初期化処理と、同定処理と、は、典型的には異なる時期に実行される。同定処理では、トンネル内の壁面を撮影することにより得られた検索画像が、初期化処理によって構成されたい壁面マップ内のいずれの位置に相当するものか、を同定する。図14は、同定処理の制御の流れを示すフローチャートである。以下、本図を参照して説明する。

[0070] 同定処理は、コンピュータが、同定処理用のプログラムを実行することによって実現される。同定処理が開始されると、まず、コンピュータは、検索画像を取得する(ステップS301)。

[0071] 点検者からすると、検索画像を撮影すると、撮影された領域の壁面マップ内における位置が直ちに判明することが望ましい。このためには、検索画像は、コンピュータに直結されたカメラから取得されることとするのが望ましい。

[0072] すると、点検者は、カメラで検索画像を撮影するごとに、壁面マップ内のどの地点を現在観察しているのか、を、得ることができる。また、ひび割れなどを発見した場合にも、これを撮影すれば、これが新たに発生した変状であるのか、過去に発見された変状であるのか、を識別することが可能となる。

[0073] 次に、コンピュータは、取得された検索画像における特徴点の位置ならびに局所特徴量を算定する(ステップS302)。特徴点の位置ならびに局所特徴量

の計算は、初期化処理と同定処理で同様のアルゴリズムを用いる。上記のように、SIFTやSURFなどを採用することができる。

[0074] そして、コンピュータは、検索画像に対して算定された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、初期化処理において複数の写真画像に対して算定された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、を対比して、複数の写真画像から、検索画像にマッチする写真画像を検索する(ステップS303)。この処理により、検索画像と、マッチする画像と、の画素同士の対応関係を表す第2写像が得られる。

[0075] 検索は、以下のように行う。まず、検索画像に対して算定された各特徴点と、複数の写真画像に対して算定されたいずれかの特徴点と、を組み合わせた特徴点ペアを探す。

[0076] すなわち、1つの特徴点ペアは、検索画像内の1つの特徴点と、複数の写真画像のいずれかの写真画像内の1つの特徴点と、を対にしたものであり、この2つの特徴点に対して計算された局所特徴量が互いに類似するものである。

[0077] そして、特徴点ペアによって得られた特徴点が多く出現する写真画像を、検索画像にマッチする画像であるとみなす。

[0078] なお、特徴点ペアの中には、不正なペアが含まれることがあるが、RANSAC法を用いることで、不正なペアを除去することができる。

[0079] RANSAC法を用いた座標変換では、まず、一方の画像からランダムに4つの特徴点を選択し、この4つの特徴点と対になる他方の画像の特徴点を取得して、特徴点同士の座標を対比して、一方の画像を他方の画像に変換する座標変換を求める。

[0080] 次に、一方の画像で残った他の特徴点に対して、この座標変換を適用して、他方の画像で対応する特徴点の近傍に座標が変換される成功度合を求める。

[0081] そして、これらのランダム選択ならびに座標変換の成功度合を求める処理を繰り返して実行し、成功度合が最も高い座標変換を選択する。

[0082] そして、当該座標変換によって座標が近傍に変換されない特徴点ペアは、

不正なものとして除去する。

[0083] この処理において求められた座標変換が、検索画像の各画素を、複数の写真画像のいずれかの写真画像のいずれかの画素に対応付ける第2写像に相当する。

[0084] なお、検索画像の特徴点を用いてDe launay三角形分割を構築し、接続関係をマッチした画像の特徴点に適用することで、一層精度の高い第2写像を得ることもできる。

[0085] すなわち、特徴点ペアのうち、検索画像に含まれる特徴点に対して、De launay三角形分割を用いて三角形メッシュを生成し、特徴点で囲まれる三角形領域のパラメータ化を行う。

[0086] 得られたメッシュの位相をそのまま、マッチ画像に適用すると同様の三角形がマッチする領域に構築できる。

[0087] 検索画像の三角形Tを構成する3つの頂点 t_0 , t_1 , t_2 を用いれば、三角形T内の点pに対する重心座標(x, y, z)が、

$$p = x \cdot t_0 + y \cdot t_1 + z \cdot t_2$$

のように、一意に定義できる。

[0088] 特徴点ペアにより、検索画像における三角形T(頂点 t_0 , t_1 , t_2)がマッチ画像における三角形T'(頂点 t'_0 , t'_1 , t'_2)に対応付けられているときには、三角形T内の点pは、三角形T'内の点p'へ、

$$p' = x \cdot t'_0 + y \cdot t'_1 + z \cdot t'_2$$

のように座標変換されることになる。

[0089] このように、特徴点で囲まれる三角形に基づいて第2写像を定義することで、より正確な第2写像を得ることができる。

[0090] 第2写像が得られたら、コンピュータは、検索画像内の各画素に対して、第2写像および第1写像を適用して、壁面マップ内における座標値を計算する(ステップS304)。上述の通り、ここで得られる座標値は、3次元座標とすることもできるし、2次元座標とすることもできる。

[0091] 最後に、コンピュータは、検索画像内の各画素に対して計算された座標値

を、壁面マップ内における位置を出力して(ステップS305)、本処理を終了する。

[0092] なお、各画素に対して計算された位置を出力するのではなく、検索画像内の所望の画素を点検者が指定したり、画像認識によって推定された変状が描画されている画素を与えると、当該画素に対する壁面マップ内の位置が計算、出力されるようにしても良い。この場合には、検索画像内の全画素について第1、第2写像を適用して出力する処理の大半を省略することができるので、処理の高速化を図ることができる。

[0093] (GPUの利用)

上記の計算において、たとえば、点 p のマッピング先 p' を計算するには、点 p が含まれる三角形 T を求める必要がある。点 p がどの三角形に包含されるかは自明ではない。

[0094] すべての三角形に対して包含関係をチェックする単純な手法では、三角形の数に比例した計算時間がかかり、非効率である。

[0095] また、任意の頂点からスタートして、 p に近い方向の隣接する三角形をたどっていく方法もあるが、隣接関係をグラフ構造で持たせる必要がある。

[0096] そこで、本実施形態では、GPUを用いてOpenGLのFBOを描画し、その結果を参照することで、画素単位で簡単かつ高速な写像の計算を頑健に実現する。

[0097] たとえば、3次元ポリゴンモデルに含まれる全ポリゴンの表面の各点には、当該各点の3次元座標や、当該各点を展開図に表した場合の2次元座標を、RGB (Red Green Blue)化した値を色として付与する。

[0098] そして、当該3次元ポリゴンモデルを、SfMの結果として得られた撮影位置および撮影方向から透視投影する。すると、レンダリングの結果は、元の写真画像と同じ構図で、各画素の色は、壁面マップにおける座標を色に変換した結果で描画された画像が得られる。この画像によって、第1写像を容易に表すことができる。

[0099] また、検索画像とマッチ画像を三角形分割した場合には、三角形の頂点に互いに重複しない色を与え、三角形の内部には頂点色を重心座標によって案

分した色を与える。たとえば、頂点色として、当該頂点の2次元座標値を色に変換したものを利用することができる。

[0100] そして、この三角形を座標変換によって、一方から他方へ変換すると、三角形の内部には頂点色もしくはこれの線形和の色が描かれ、三角形の外部は色が描かれないことになる。

[0101] このように、色の有無によって、三角形の内部か外部かを容易に判定することができるようになる。

[0102] なお、OpenGLでは、色のRGB成分は、それぞれ、0以上1以下の浮動小数点数で表現される。そこで、3次元座標値は、3次元の各要素を0以上1以下の値になるように正規化して、R, G, Bの各要素に割り当てて、色に変換すれば良い。2次元座標値の場合には、最も容易には、R, G, Bのうち2つの成分のみ使うこととすれば良い。

[0103] (レーザスキャナの利用)

たとえば特許文献1に開示されるような、トンネルの壁面検査に従来から利用されているレーザスキャナでは、時速50kmで走行する自動車から1mm以上のオーダーのひび割れを計測できている。しかしながら、トンネル内の壁面より微細なひび割れや段差、水分の有無の検出をするためには、より高精細、高精度なレーザスキャナを利用する必要がある。たとえば、5m程度離れた箇所から、0.2mm-0.3mm程度のひび割れや、0.1mm程度の段差を検知するには、水平解像度が0.2mm以下、奥行(測距)解像度が0.1mm以下の分解能が必要となる。

[0104] ここで、高精細、高精度なレーザスキャナを用いれば、動画や静止画の撮影に比べて、より詳細な情報を取得できる。しかしながら、高精細、高精度なレーザスキャナを用いた検出には、計測に時間を要するため、高精細、高精度なレーザスキャナを用いてトンネル内の壁面全体を点検することは事実上困難である。

[0105] また、分解能の高低にかかわらず、レーザスキャナによる計測では、動画や静止画を撮影する点検と同様に、撮影位置、撮影方向、撮影対象の位置を

取得することが難しい。

[0106] そこで、継続して監視を続ける必要がある変状およびその周辺を計測範囲として、当該計測範囲をレーザスキャナで計測する際に、上記実施形態を応用すれば、レーザスキャナで計測された範囲が壁面マップ内のどこであるかを、取得できるようになる。以下説明する。

[0107] 本手法では、検索画像を撮影する際に、カメラにて、撮影位置および撮影方向を所定の誤差範囲内でほぼ維持して、トンネル内の壁面を連写する。

[0108] この連写の際に、途中から、レーザスキャナによるレーザ光を、計測範囲に照射する。

[0109] すると、連写の前半で得られる写真には、壁面をそのまま撮影した様子が現れ、後半で得られる写真には、壁面の一部がレーザ光で明るくなっている様子が現れる。

[0110] そこで、連写の前半で得られる写真を、上記の検索画像として利用する。連写の後半で得られる写真は、レーザスキャナによるスキャン領域を表すもので、以下ではこれをスキャン画像と呼ぶ。スキャン画像は、検索画像とほぼ重ね合わせることが可能であり、画素同士の対応関係を容易に定めることができる。

[0111] なお、撮影位置や撮影方向のずれがある程度大きい場合であっても、SfMにおける特徴点抽出およびマッチの技術を使うことで、検索画像とスキャン画像との各画素の対応関係を求めることができる。これを第3写像と呼ぶこととする。

[0112] すると、スキャン画像における計測範囲の各点に対して、第3写像、第2写像および第1写像を適用することで、壁面マップ内における位置を容易に得ることができる。

[0113] なお、まず検索画像を撮影し、次にスキャン画像を撮影する、という順序とすることで、カメラにおける残像の影響を避け、連写時間を短縮することができる。

[0114] (実験1)

以下では、静岡県富士市にある施工技術総合研究所内の模擬トンネルの一部に対して、本実施形態を適用した実験の結果について説明する。

- [0115] カメラとしてPanasonic社DMC-GF6を利用し、トンネル内の壁面全体を被覆するように、250枚の写真画像を撮影した。各写真画像の解像度は1148×862ピクセルである。この写真画像から、3次元モデルを生成した。
- [0116] また、同じカメラを利用して、解像度4592×3598ピクセルの検索画像を撮影した。検索画像は、壁面に対して接写したもので、解像度は初期化で撮影された写真画像よりも高いが、撮影される視野は狭いものである。
- [0117] 図15は、実験1において、検索画像の例を256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。図16は、実験1において、検索画像の例を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。これらの図に示す検索画像においては、横に広いT字型のひび割れを強調して描いてある。
- [0118] 図17は、実験1において、検索画像にマッチする写真画像を256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。図18は、実験1において、検索画像にマッチする写真画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。これは、初期化時に使用した写真画像のうち、検索画像にマッチする写真画像(マッチ画像)である。マッチ画像には、横に広いT字型のひび割れが存在するので、これを強調して描いてある。また、T字型のひび割れの周囲に配置された壁面の模様は、検索画像と、マッチ画像と、で一致している。
- [0119] 図19は、実験1において、検索画像が検索された3次元ポリゴンモデルを256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。図20は、実験1において、検索画像が検索された3次元ポリゴンモデルを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。この3次元ポリゴンモデルには、初期化時に参照した写真画像をテクスチャとして貼り付けてあり、トンネル縁のU字型の間には、検索画像と同様の模様を持った位置が検索結果として同定されており、T字型のひび割れがマッピングされている。
- [0120] これらの図に示す通り、検索画像にあるひび割れ情報が、該当する3次元ポリゴンモデルのほぼ同じ位置に同定できたことが確認できる。位置の精度はS

fMのデータ精度に依存するが、相対的な位置関係は保存されているため、検索画像のトンネル壁面における位置を適切に同定することができる。

[0121] (実験2)

以下では、上記研究所内の模擬トンネル(全長80m)に対して、SfMについてはOpenMVGを採用し、パラメータ化についてはlibiglを採用し、曲面再構成についてはSSDを採用した実験の結果について説明する。

[0122] SfMによる再構成においては、572枚の画像を使用した。各画像のサイズは1124×750ピクセルであり、Nikon(登録商標)社製のカメラD5500にて撮影された。全写真を撮影するのに、約1時間を要した。

[0123] 画像検索については、まず、Panasonic(登録商標)社製のカメラDMC-GF6によりひび割れを撮影して、1148×862ピクセルの写真を5枚取得した。図21Aは、実験2において、検索したいひび割れの写真画像Aの例を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図21Bは、実験2において、検索したいひび割れの写真画像Bの例を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図21Cは、実験2において、検索したいひび割れの写真画像Cの例を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図21Dは、実験2において、検索したいひび割れの写真画像Dの例を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図21Eは、実験2において、検索したいひび割れの写真画像Eの例を256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図22Aは、実験2において、検索したいひび割れの写真画像Aの例を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図22Bは、実験2において、検索したいひび割れの写真画像Bの例を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図22Cは、実験2において、検索したいひび割れの写真画像Cの例を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図22Dは、実験2において、検索したいひび割れの写真画像Dの例を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図22Eは、実験2において、検索したいひび割れの写真画像Eの例を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。なお、実際に撮影された写真は、カラー画像である。

[0124] 次に、各写真から、手作業によってクラック(ひび割れ)を抽出することに

よって、検索画像とした。図23Aは、実験2において、写真画像Aに対する検索画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図23Bは、実験2において、写真画像Bに対する検索画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図23Cは、実験2において、写真画像Cに対する検索画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図23Dは、実験2において、写真画像Dに対する検索画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図23Eは、実験2において、写真画像Eに対する検索画像を2階調のモノクロで表す図面代用写真である。これらの図に示すように、検索画像は、モノクロ画像となっている。

[0125] そして、572枚の写真から、上記の手法により、検索画像にマッチする写真画像を検索した。図25Aは、実験2において、検索画像Aにマッチした写真画像Aを256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図25Bは、実験2において、検索画像Bにマッチした写真画像Bを256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図25Cは、実験2において、検索画像Cにマッチした写真画像Cを256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図25Dは、実験2において、検索画像Dにマッチした写真画像Dを256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図25Eは、実験2において、検索画像Eにマッチした写真画像Eを256階調のグレースケールで表す図面代用写真である。図24Aは、実験2において、検索画像Aにマッチした写真画像Aを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図24Bは、実験2において、検索画像Bにマッチした写真画像Bを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図24Cは、実験2において、検索画像Cにマッチした写真画像Cを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図24Dは、実験2において、検索画像Dにマッチした写真画像Dを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図24Eは、実験2において、検索画像Eにマッチした写真画像Eを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。なお、実際に撮影された写真は、カラー画像である。

[0126] 本実験では、上記の検索手法をコンピュータMacBook(登録商標) Pro (2016, Core i7 2.9GHz, 16GB RAM)上で動作させることとした。図27は、実験2において、トンネル内の壁面の展開図において検索画像A-Eが検索された結果を

拡大して、2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図26は、実験2において、トンネル内の壁面の展開図において検索画像A-Eが検索された結果を拡大して、256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。これらの図は、トンネル内面の展開図であり、検索結果である写真画像の位置を楕円で囲み、その横にひび割れを拡大した様子を示している。検索においては、データのロードに6.7秒を要し、検索そのもには平均して16.7秒を要した。したがって、1枚に検索画像を検索するのに、平均23.4秒を要し、実用的な時間で検索ができることがわかった。

[0127] また、3次元モデルの再構成には約3時間を要した。図29は、実験2において、検索画像A-Eが検索された3次元ポリゴンモデルを2階調のモノクロで表す図面代用写真である。図28は、実験2において、検索画像A-Eが検索された3次元ポリゴンモデルを256階調のグレイスケールで表す図面代用写真である。これらの図の各点は、展開図の各点と対応付けられているため、ひび割れのある箇所の様子を3次元的に確認することができる。また、3次元モデルの再構成も、合理的な時間でなされていることがわかる。

[0128] (まとめ)

以上説明したように、本実施形態に係る同定装置は、
トンネル内の壁面が撮影された複数の写真画像を取得する第1取得部、
前記複数の写真画像のそれぞれの特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算する第1計算部、
前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量を参照して前記壁面の3次元ポリゴンモデルを構築し、前記構築された3次元ポリゴンモデルに基づく壁面マップを生成する構築部、
前記複数の写真画像のそれぞれの各画素と、前記壁面マップ内の位置と、を対応付ける第1マッピング部、
前記トンネル内の壁面が新たに撮影された検索画像を取得する第2取得部、
前記取得された検索画像の特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算する第2計算部、

前記検索画像について前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、を対比することにより、前記検索画像の各画素と、前記複数の写真画像のいずれかの画素と、を対応付ける第2マッピング部、

前記検索画像の各画素に対応付けられた前記複数の写真画像のいずれかの画素に対応付けられた前記壁面マップ内の位置を出力する出力部

を備える。

[0129] また、本実施形態に係る同定装置において、

前記第2取得部は、前記検索画像の撮影に引き続き、撮影位置ならびに撮影方向を所定の誤差範囲内で維持したまま、連写されたスキャン画像であって、前記壁面内のスキャン領域をレーザスキャナによりスキャンした様子が撮影されたスキャン画像を取得し、

前記第2マッピング部は、前記スキャン画像と、前記検索画像と、を対比することにより、前記スキャン画像の各画素と、前記検索画像のいずれかの画素と、を対応付け、

前記出力部は、前記スキャン画像に撮影された前記スキャン領域内の各画素に対応付けられた前記検索画像のいずれかの画素に対応付けられた前記複数の写真画像のいずれかの画素に対応付けられた前記壁面マップ内の位置を出力する

ように構成することができる。

[0130] また、本実施形態に係る同定装置において、

前記壁面マップは、前記3次元ポリゴンモデルにより前記壁面の3次元の座標値を表現する3次元マップである

ように構成することができる。

[0131] また、本実施形態に係る同定装置において、

前記壁面マップは、前記3次元ポリゴンモデルを展開した展開図により前記壁面の2次元の座標値を表現する2次元マップである

ように構成することができる。

- [0132] また、本実施形態に係る同定装置において、
前記第1マッピング部は、
前記座標値を色情報に変換し、
前記変換された色情報を前記3次元ポリゴンモデルの前記座標値に対応付けられる点の色として割り当て、
前記複数の写真画像のそれぞれが撮影された撮影位置ならびに撮影方向から、前記色が割り当てられた前記3次元ポリゴンモデルをレンダリングして、前記複数の写真画像のそれぞれと同じサイズの対応画像を生成し、
前記生成された対応画像における各画素に描画された色を座標値に逆変換することにより、
前記複数の写真画像のそれぞれの各画素と、前記壁面マップ内の位置と、を対応付ける
ように構成することができる。
- [0133] また、本実施形態に係る同定装置において、
前記レンダリングは、GPU(Graphics Processing Unit)により実行されるように構成することができる。
- [0134] 本実施形態に係る同定方法では、同定装置が、
トンネル内の壁面が撮影された複数の写真画像を取得し、
前記複数の写真画像のそれぞれの特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算し、
前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量を参照して前記壁面の3次元ポリゴンモデルを構築し、前記構築された3次元ポリゴンモデルに基づく壁面マップを生成し、
前記複数の写真画像のそれぞれの各画素と、前記壁面マップ内の位置と、を対応付け、
前記トンネル内の壁面が新たに撮影された検索画像を取得し、
前記取得された検索画像の特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算し、
前記検索画像について前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と

、前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、を対比することにより、前記検索画像の各画素と、前記複数の写真画像のいずれかの画素と、を対応付け、

前記検索画像の各画素に対応付けられた前記複数の写真画像のいずれかの画素に対応付けられた前記壁面マップ内の位置を出力する。

[0135] 本実施形態に係るプログラムは、

第1コンピュータを、

トンネル内の壁面が撮影された複数の写真画像を取得する第1取得部、

前記複数の写真画像のそれぞれの特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算する第1計算部、

前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量を参照して前記壁面の3次元ポリゴンモデルを構築し、前記構築された3次元ポリゴンモデルに基づく壁面マップを生成する構築部、

前記複数の写真画像のそれぞれの各画素と、前記壁面マップ内の位置と、を対応付ける第1マッピング部

として機能させる第1プログラムと、

第2コンピュータもしくは前記第1コンピュータを、

前記トンネル内の壁面が新たに撮影された検索画像を取得する第2取得部、

前記取得された検索画像の特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算する第2計算部、

前記検索画像について前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、を対比することにより、前記検索画像の各画素と、前記複数の写真画像のいずれかの画素と、を対応付ける第2マッピング部、

前記検索画像の各画素に対応付けられた前記複数の写真画像のいずれかの画素に対応付けられた前記壁面マップ内の位置を出力する出力部

として機能させる第2プログラムと、

を備える。

[0136] 当該プログラムは、非一時的なコンピュータ読取可能な情報記録媒体に記録して配布、販売することができる。また、コンピュータ通信網等の一時的な伝送媒体を介して配布、販売することができる。

[0137] 本発明は、本発明の広義の精神と範囲を逸脱することなく、様々な実施の形態及び変形が可能とされるものである。また、上述した実施の形態は、この発明を説明するためのものであり、本発明の範囲を限定するものではない。すなわち、本発明の範囲は、実施の形態ではなく、特許請求の範囲によって示される。そして、特許請求の範囲内及びそれと同等の発明の意義の範囲内で施される様々な変形が、この発明の範囲内とみなされる。

本願においては、日本国に対して平成29年(2017年)2月24日(金)に出願した特許出願特願2017-033771を基礎とする優先権を主張するものとし、指定国の法令が許す限り、当該基礎出願の内容を本願に取り込むものとする。

産業上の利用可能性

[0138] 本発明によれば、写真画像に映ったトンネル内の壁面の位置を同定する同定装置、同定方法、ならびに、プログラムを提供することができる。

符号の説明

- [0139] 101 同定装置
 - 111 第1取得部
 - 112 第1計算部
 - 113 構築部
 - 114 第1マッピング部
 - 121 第2取得部
 - 122 第2計算部
 - 124 第2マッピング部
 - 125 出力部

請求の範囲

[請求項1]

トンネル内の壁面が撮影された複数の写真画像を取得する第1取得部、

前記複数の写真画像のそれぞれの特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算する第1計算部、

前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量を参照して前記壁面の3次元ポリゴンモデルを構築し、前記構築された3次元ポリゴンモデルに基づく壁面マップを生成する構築部、

前記複数の写真画像のそれぞれの各画素と、前記壁面マップ内の位置と、を対応付ける第1マッピング部、

前記トンネル内の壁面が新たに撮影された検索画像を取得する第2取得部、

前記取得された検索画像の特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算する第2計算部、

前記検索画像について前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、を対比することにより、前記検索画像の各画素と、前記複数の写真画像のいずれかの画素と、を対応付ける第2マッピング部、

前記検索画像の各画素に対応付けられた前記複数の写真画像のいずれかの画素に対応付けられた前記壁面マップ内の位置を出力する出力部

を備える同定装置。

[請求項2]

前記第2取得部は、前記検索画像の撮影に引き続き、撮影位置ならびに撮影方向を所定の誤差範囲内で維持したまま、連写されたスキャン画像であって、前記壁面内のスキャン領域をレーザスキャナによりスキャンした様子が撮影されたスキャン画像を取得し、

前記第2マッピング部は、前記スキャン画像と、前記検索画像と、を対比することにより、前記スキャン画像の各画素と、前記検索画像のいずれかの画素と、を対応付け、

前記出力部は、前記スキャン画像に撮影された前記スキャン領域内の各画素に対応付けられた前記検索画像のいずれかの画素に対応付けられた前記複数の写真画像のいずれかの画素に対応付けられた前記壁面マップ内の位置を出力する

ことを特徴とする請求項1に記載の同定装置。

[請求項3] 前記壁面マップは、前記3次元ポリゴンモデルにより前記壁面の3次元の座標値を表現する3次元マップである

ことを特徴とする請求項1に記載の同定装置。

[請求項4] 前記壁面マップは、前記3次元ポリゴンモデルを展開した展開図により前記壁面の2次元の座標値を表現する2次元マップである

ことを特徴とする請求項1に記載の同定装置。

[請求項5] 前記第1マッピング部は、

前記座標値を色情報に変換し、

前記変換された色情報を前記3次元ポリゴンモデルの前記座標値に対応付けられる点の色として割り当て、

前記複数の写真画像のそれぞれが撮影された撮影位置ならびに撮影方向から、前記色が割り当てられた前記3次元ポリゴンモデルをレンダリングして、前記複数の写真画像のそれぞれと同じサイズの対応画像を生成し、

前記生成された対応画像における各画素に描画された色を座標値に逆変換することにより、

前記複数の写真画像のそれぞれの各画素と、前記壁面マップ内の位置と、を対応付ける

ことを特徴とする請求項3または4に記載の同定装置。

[請求項6] 前記レンダリングは、GPU(Graphics Processing Unit)により実行

される

ことを特徴とする請求項5に記載の同定装置。

[請求項7]

同定装置が、

トンネル内の壁面が撮影された複数の写真画像を取得し、

前記複数の写真画像のそれぞれの特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算し、

前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量を参照して前記壁面の3次元ポリゴンモデルを構築し、前記構築された3次元ポリゴンモデルに基づく壁面マップを生成し、

前記複数の写真画像のそれぞれの各画素と、前記壁面マップ内の位置と、を対応付け、

前記トンネル内の壁面が新たに撮影された検索画像を取得し、

前記取得された検索画像の特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算し、

前記検索画像について前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、を対比することにより、前記検索画像の各画素と、前記複数の写真画像のいずれかの画素と、を対応付け、

前記検索画像の各画素に対応付けられた前記複数の写真画像のいずれかの画素に対応付けられた前記壁面マップ内の位置を出力する

ことを特徴とする同定方法。

[請求項8]

第1コンピュータを、

トンネル内の壁面が撮影された複数の写真画像を取得する第1取得部、

前記複数の写真画像のそれぞれの特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算する第1計算部、

前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量を参照して前記壁面の3次元ポリゴンモデルを構築し、前記構築された3次元ポリゴンモデルに基づく壁面マップを生成する構築部、

前記複数の写真画像のそれぞれの各画素と、前記壁面マップ内の位置と、を対応付ける第1マッピング部

として機能させる第1プログラムと、

第2コンピュータもしくは前記第1コンピュータを、

前記トンネル内の壁面が新たに撮影された検索画像を取得する第2取得部、

前記取得された検索画像の特徴点の位置ならびに局所特徴量を計算する第2計算部、

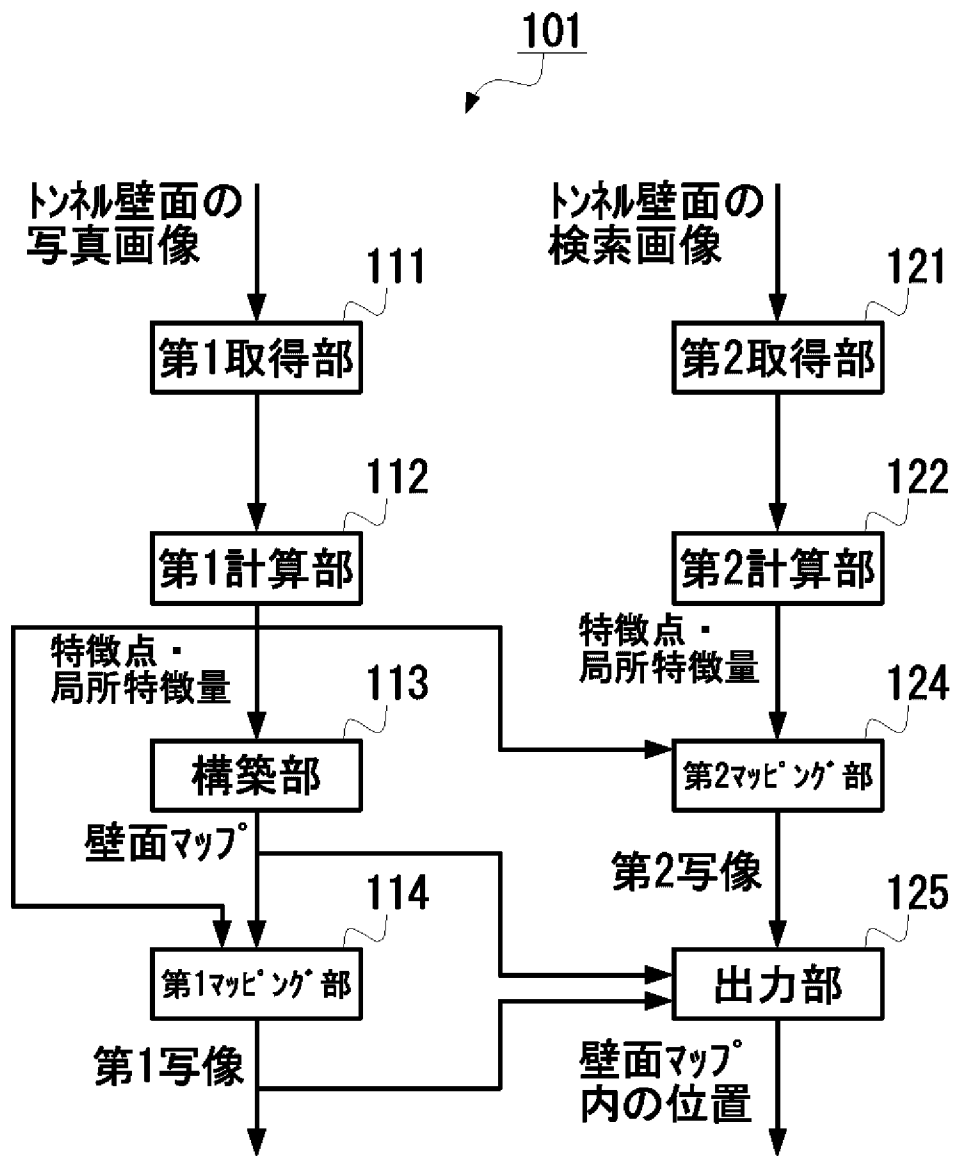
前記検索画像について前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、前記複数の写真画像のそれぞれについて前記計算された特徴点の位置ならびに局所特徴量と、を対比することにより、前記検索画像の各画素と、前記複数の写真画像のいずれかの画素と、を対応付ける第2マッピング部、

前記検索画像の各画素に対応付けられた前記複数の写真画像のいずれかの画素に対応付けられた前記壁面マップ内の位置を出力する出力部

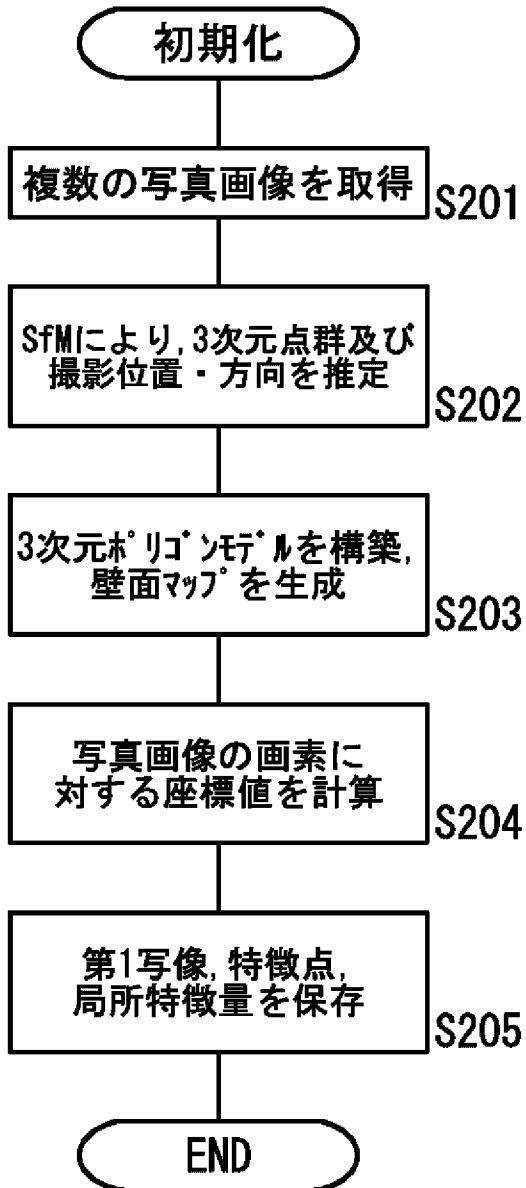
として機能させる第2プログラムと、

を備えることを特徴とするプログラム。

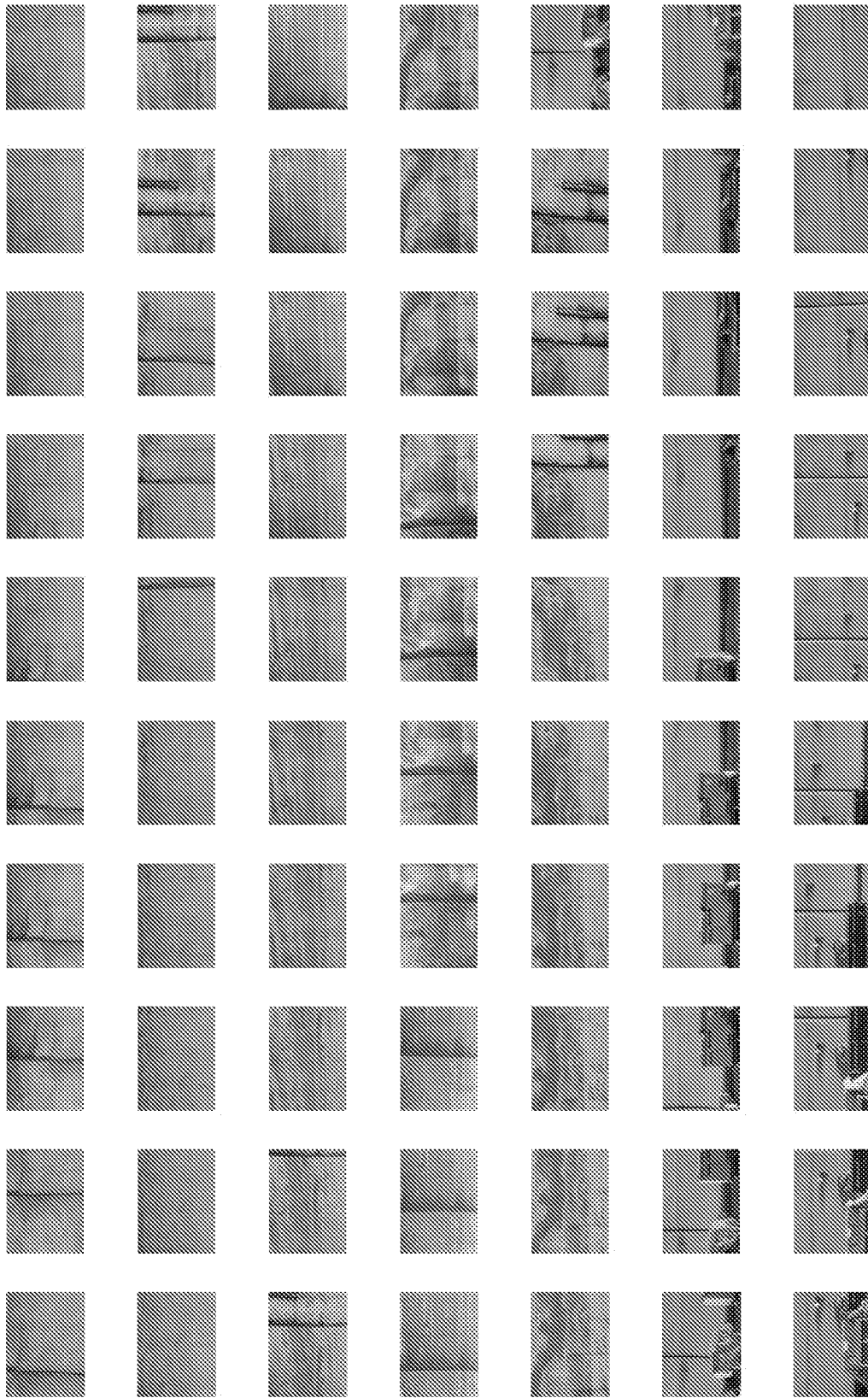
[図1]



[図2]



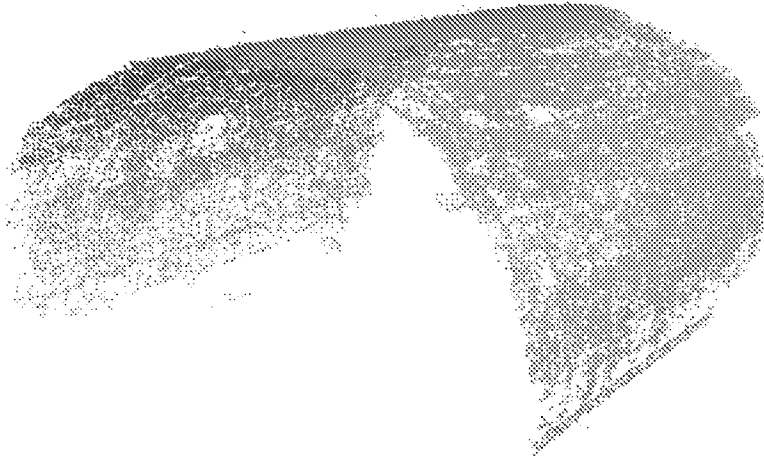
[図3]



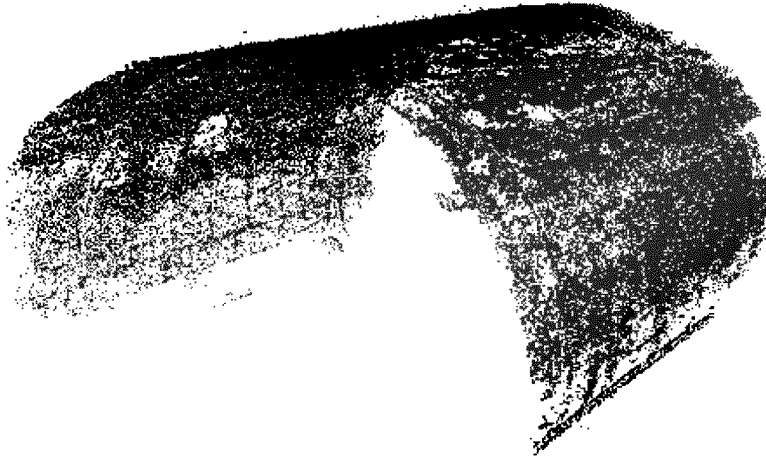
[図4]



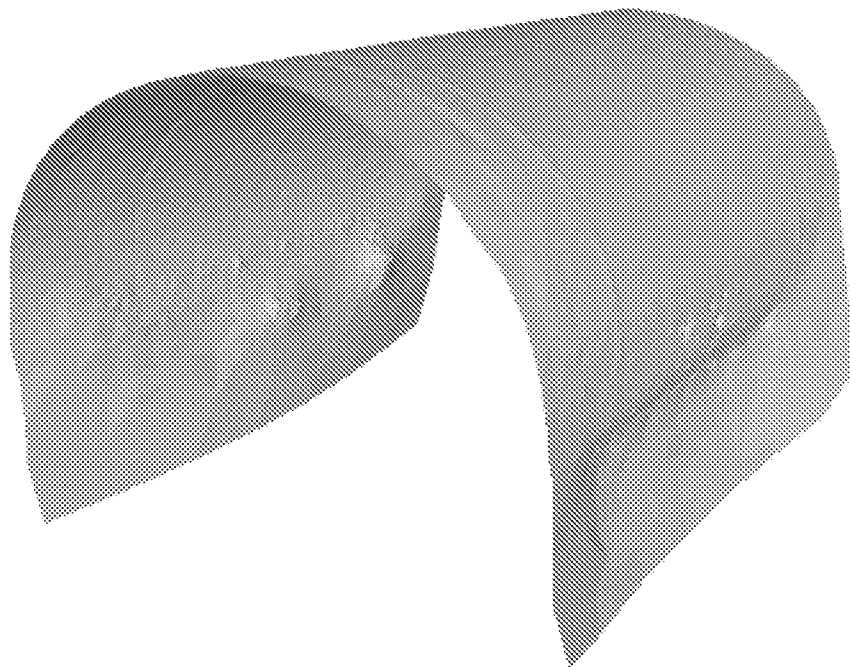
[図5]



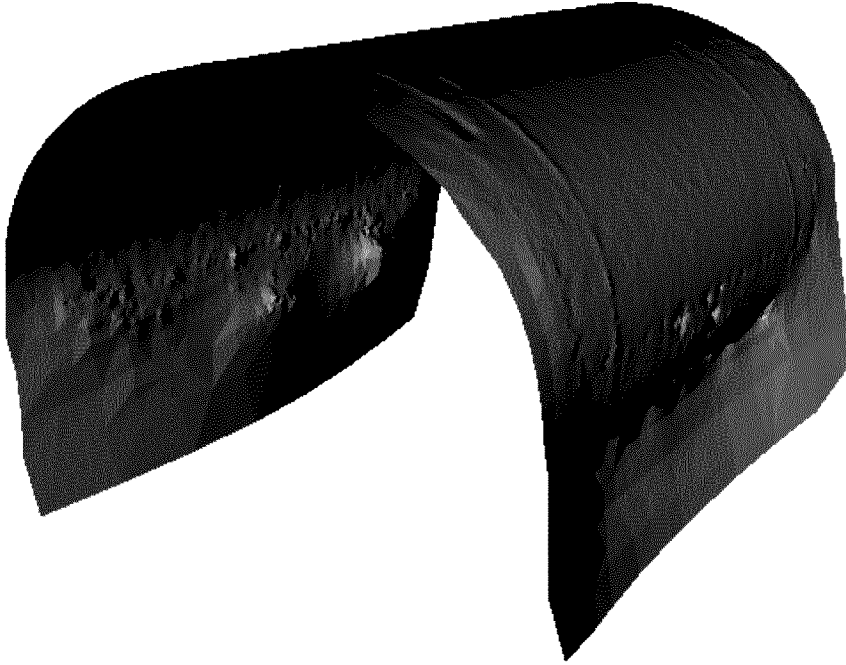
[図6]



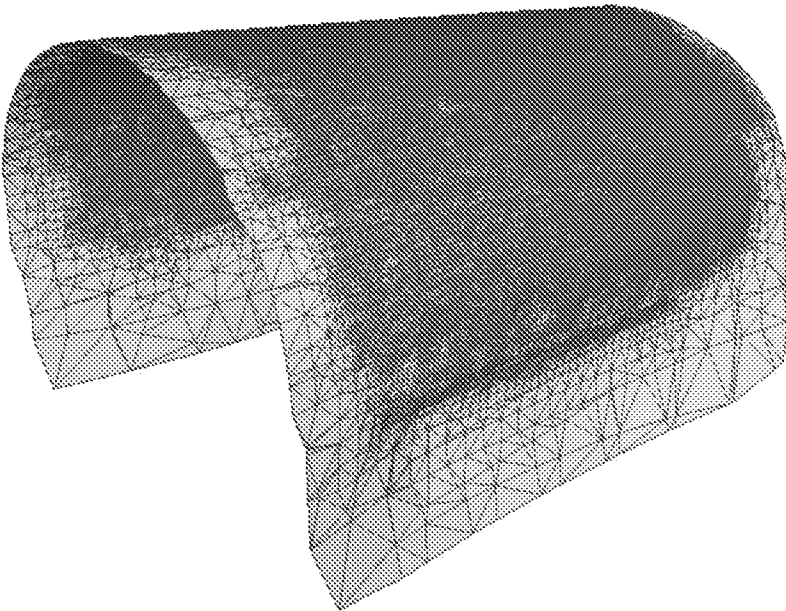
[図7]



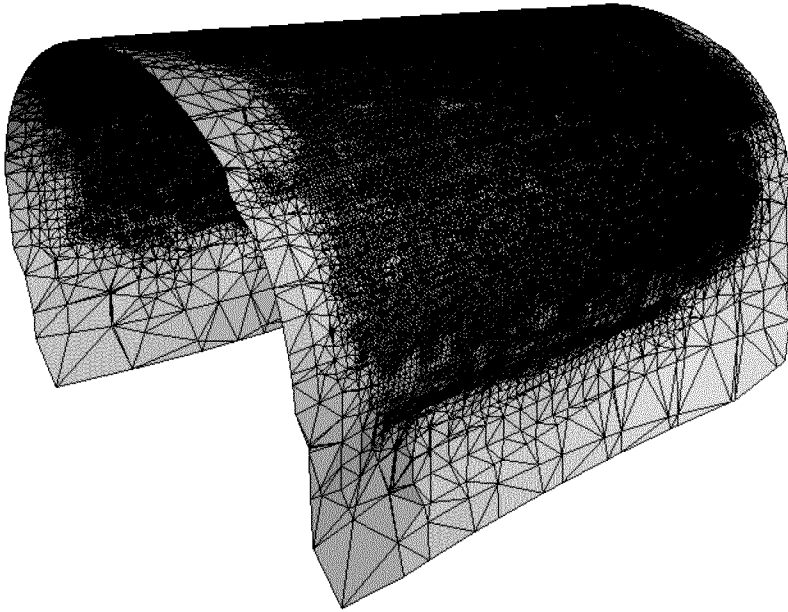
[图8]



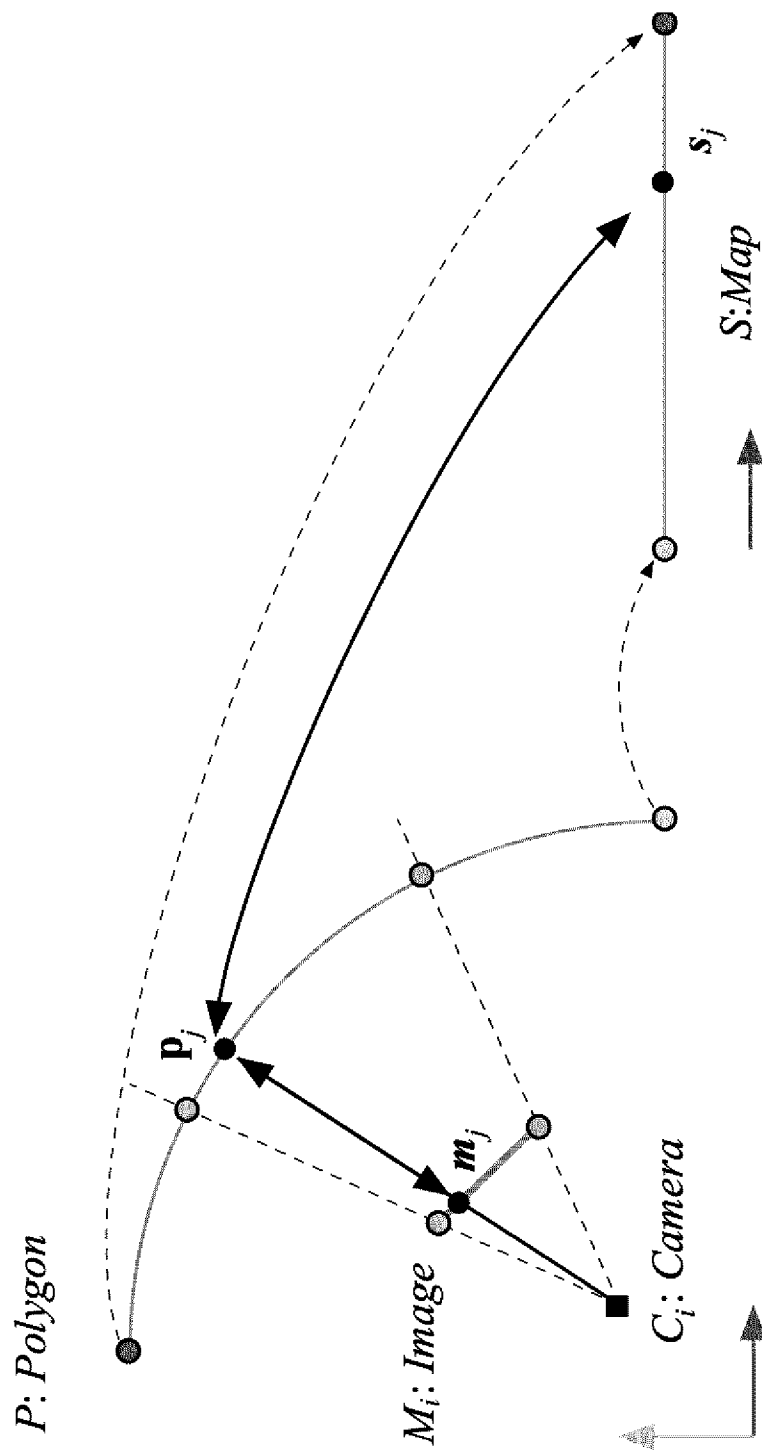
[图9]



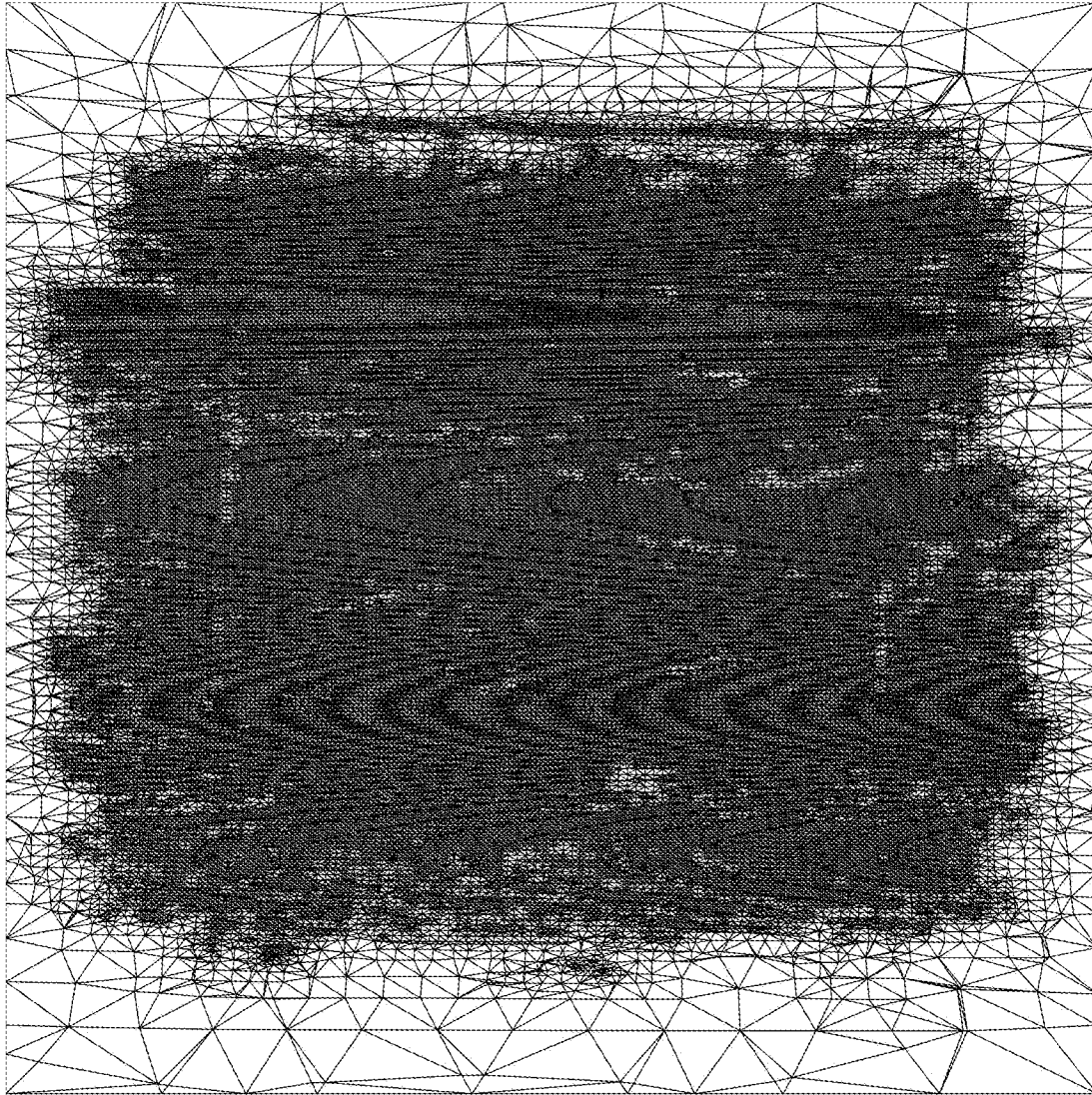
[図10]



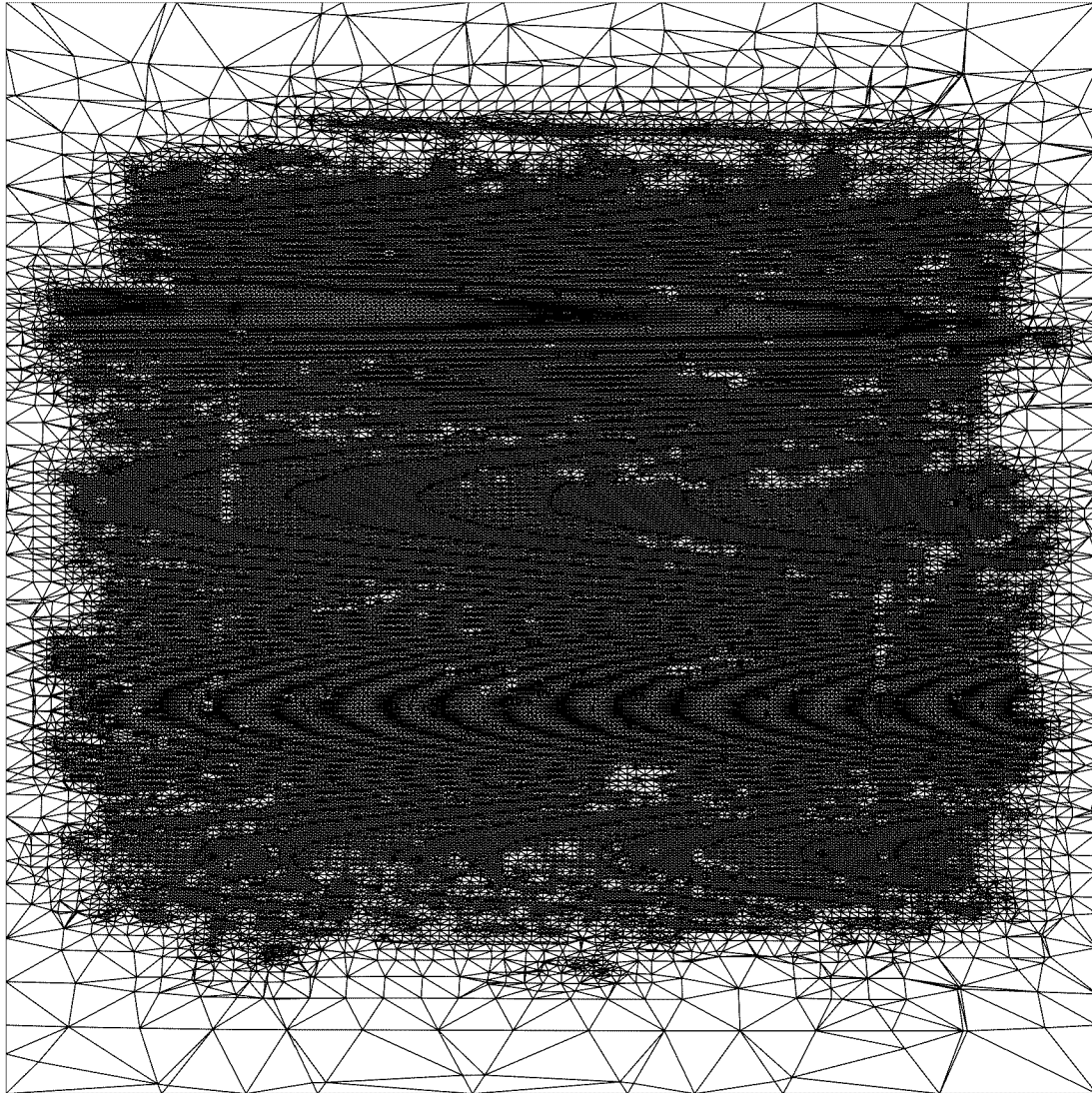
[図11]



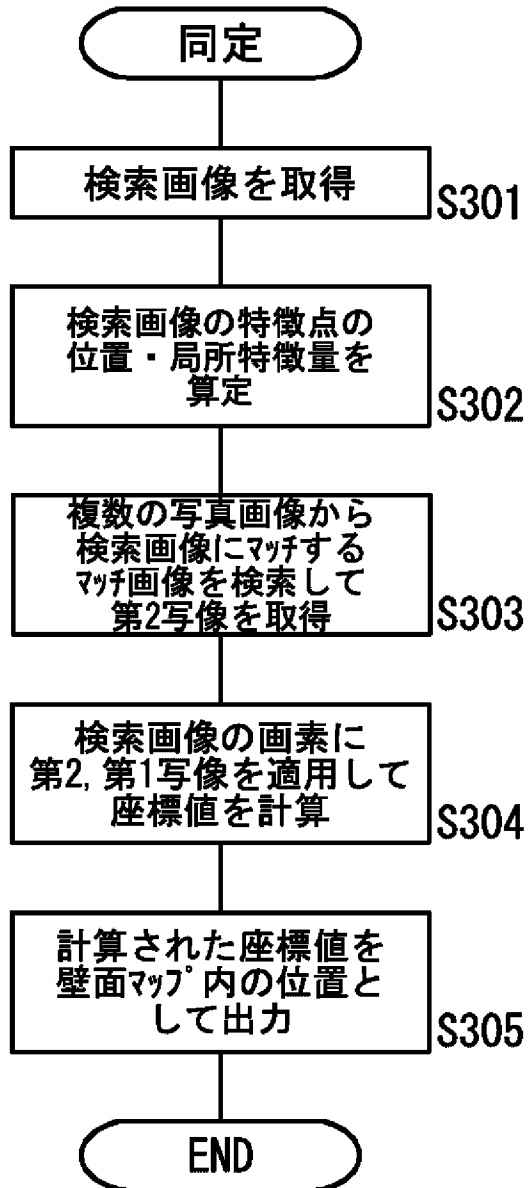
[図12]



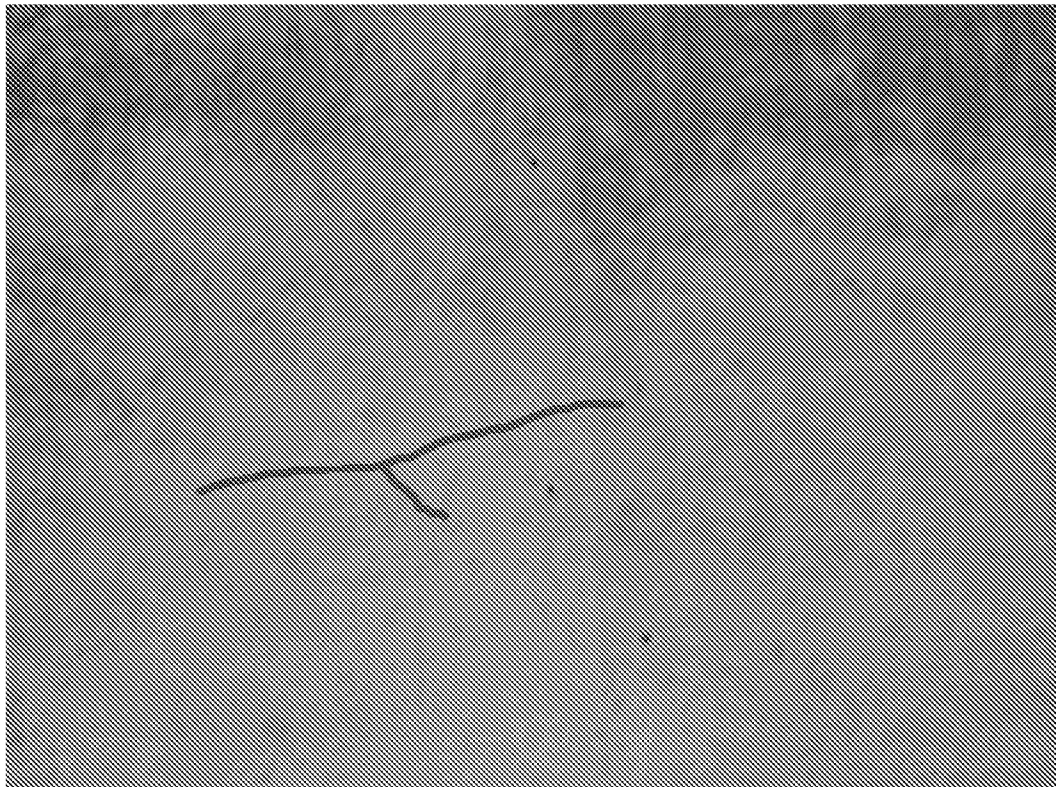
[図13]



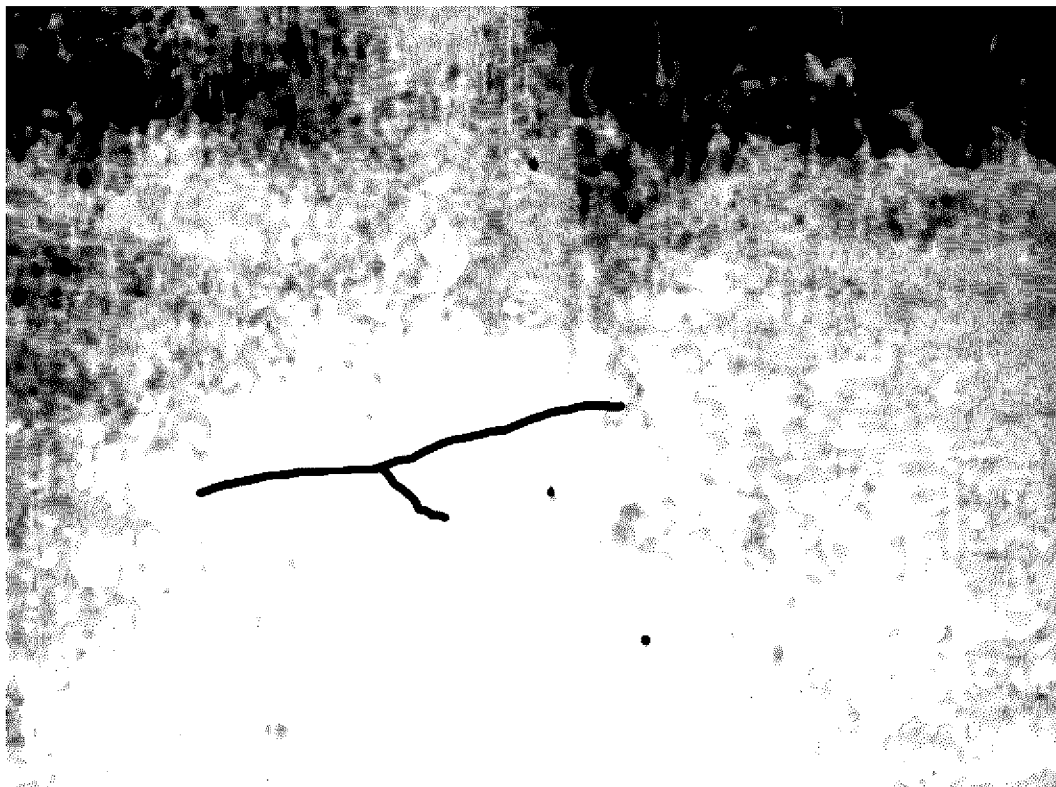
[図14]



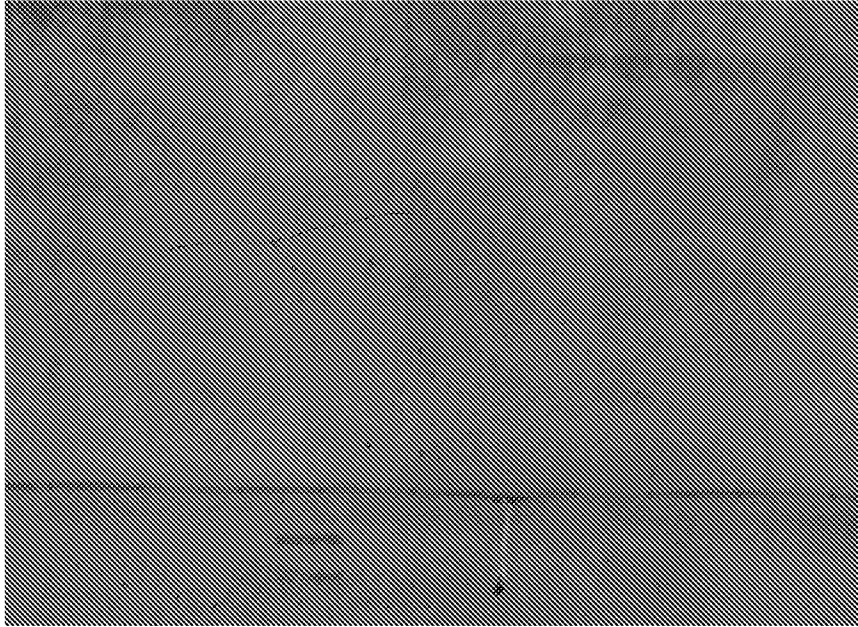
[図15]



[図16]



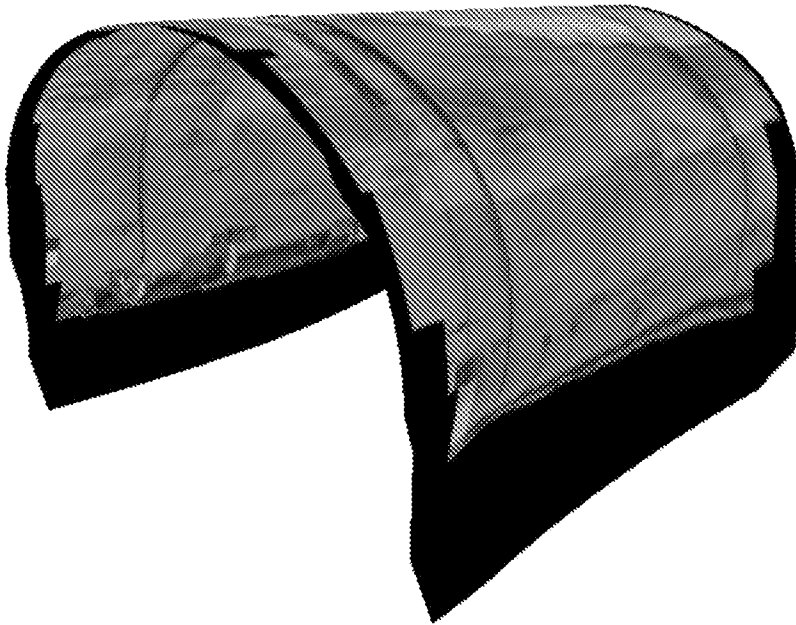
[図17]



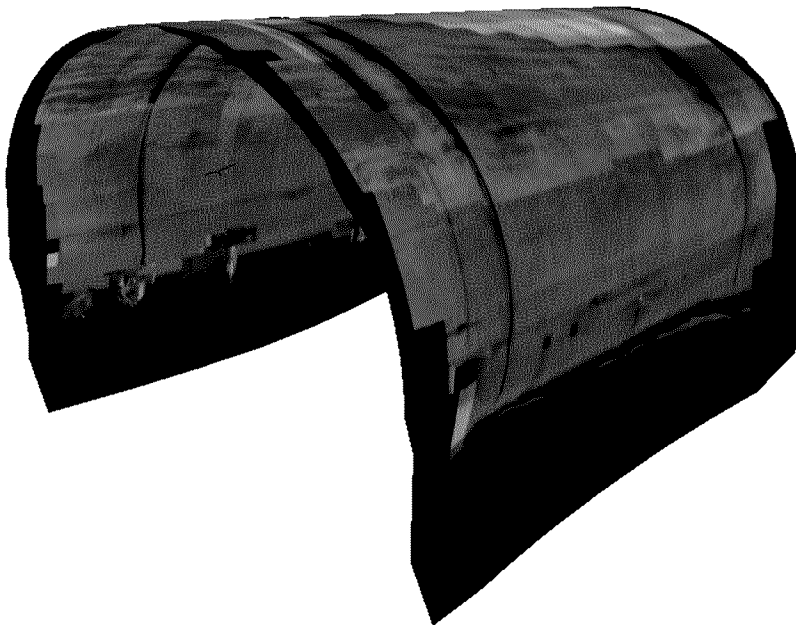
[図18]



[図19]



[図20]




[図21A]



[図21B]



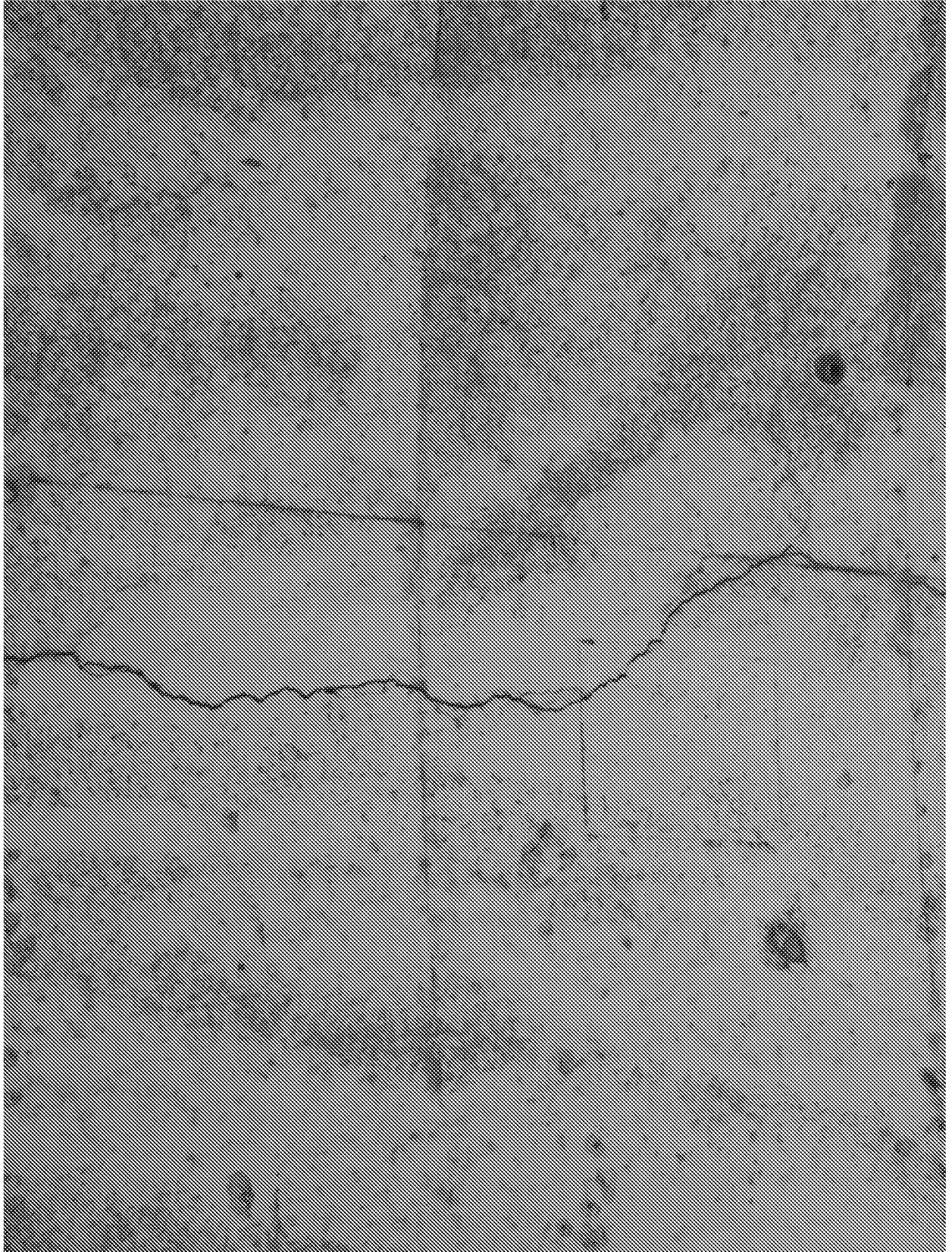
[21C]




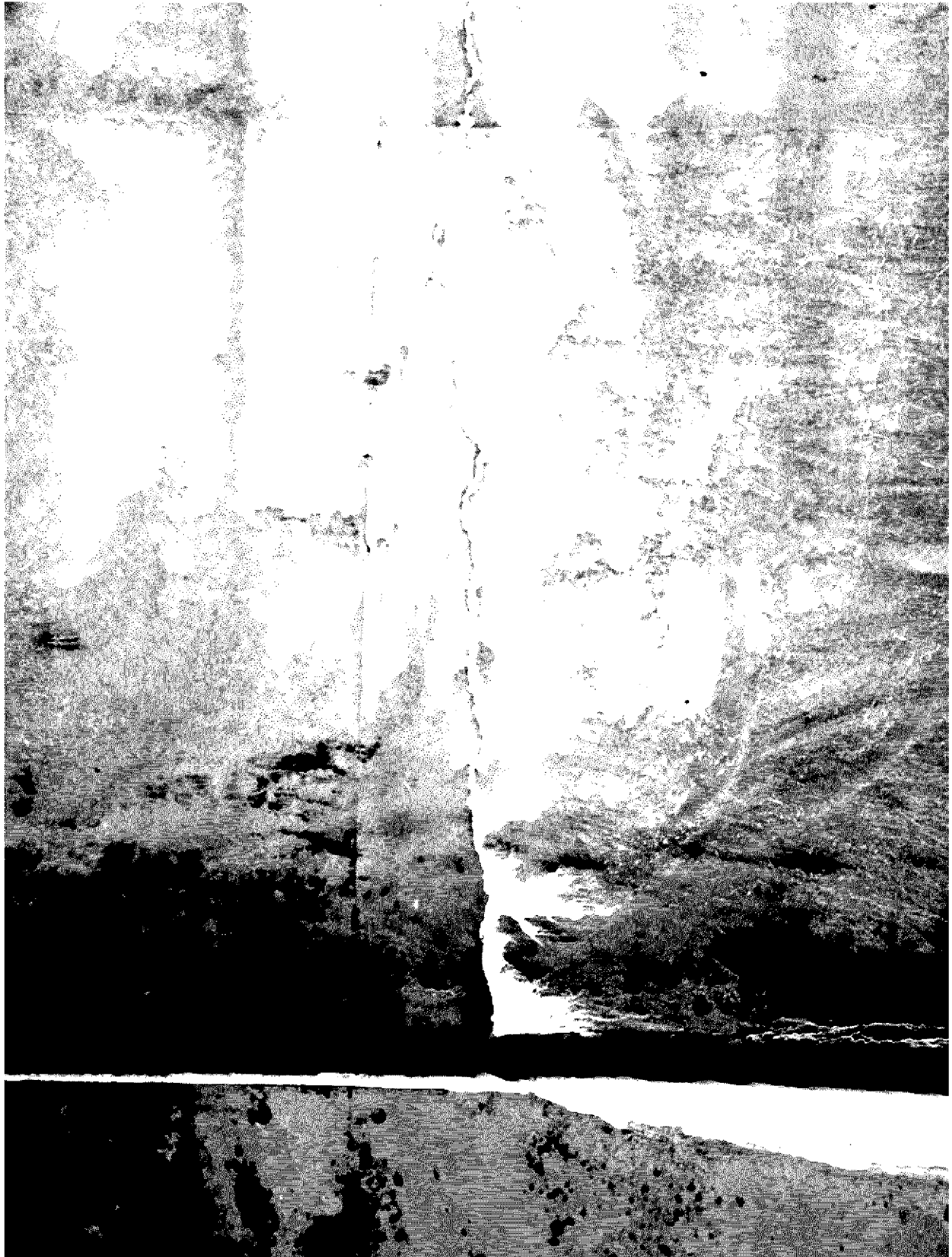
[図21D]



[図21E]




[ 22A]



[図22B]



[ 22C]




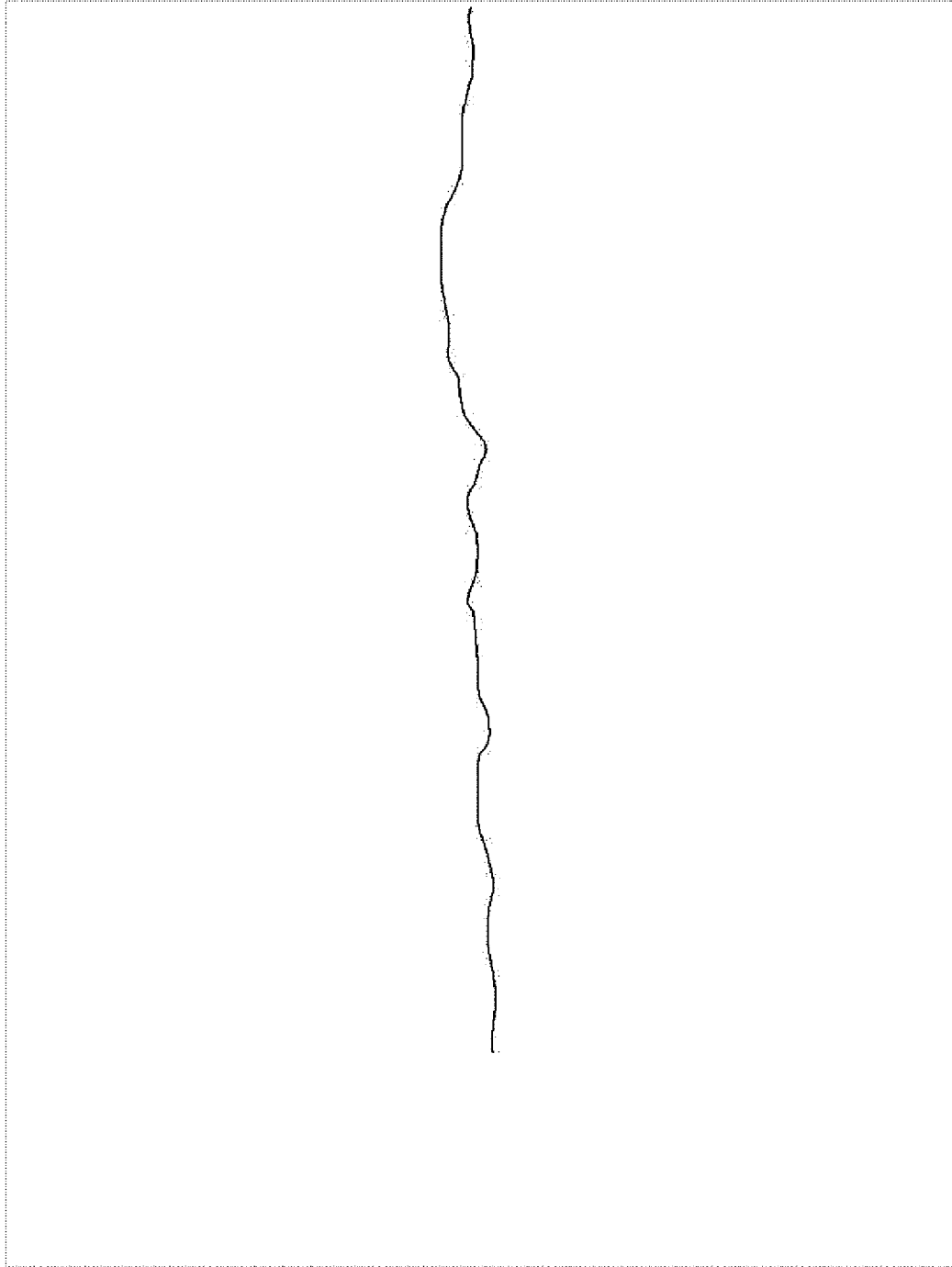
[図22D]



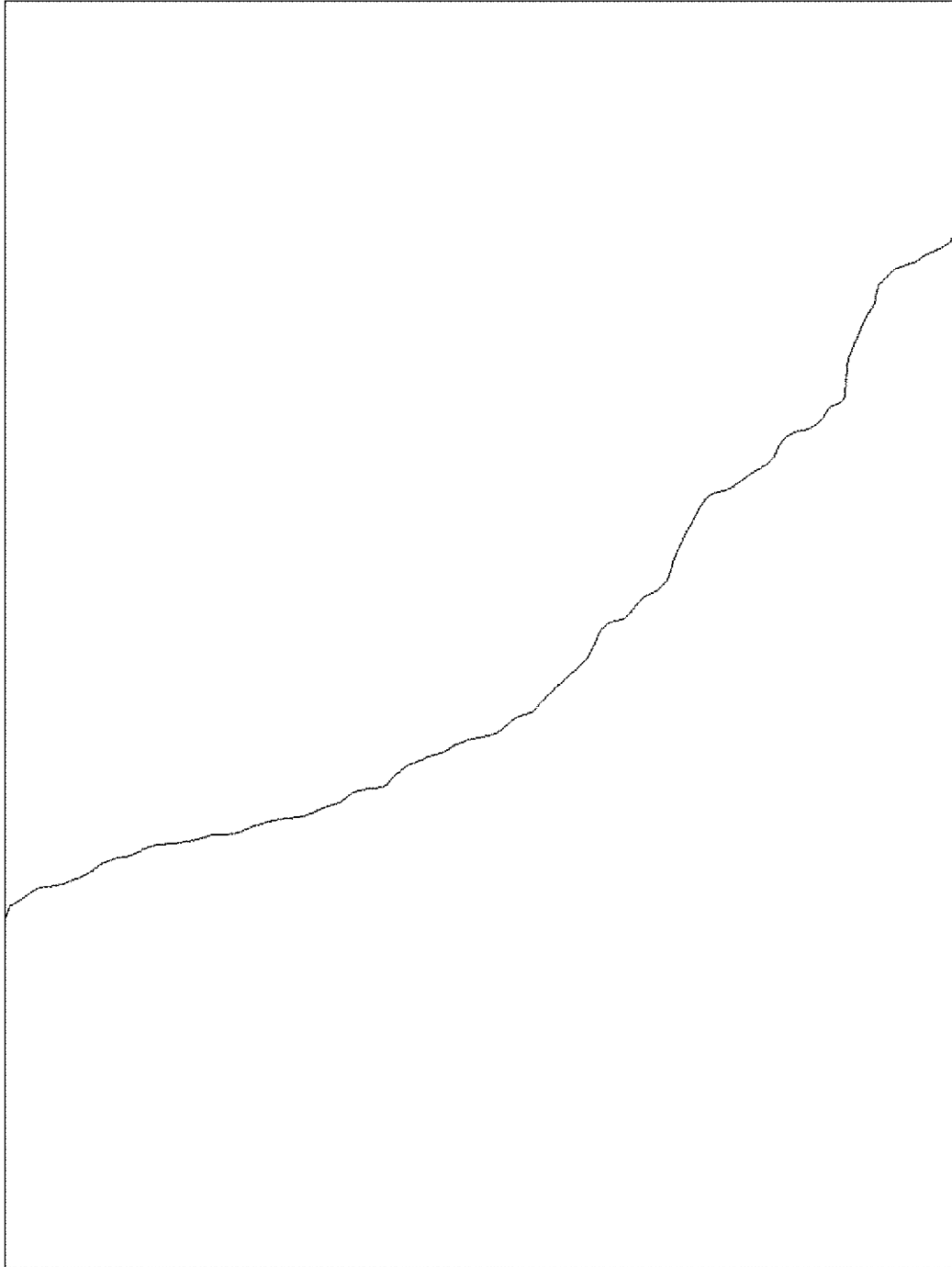
[図22E]



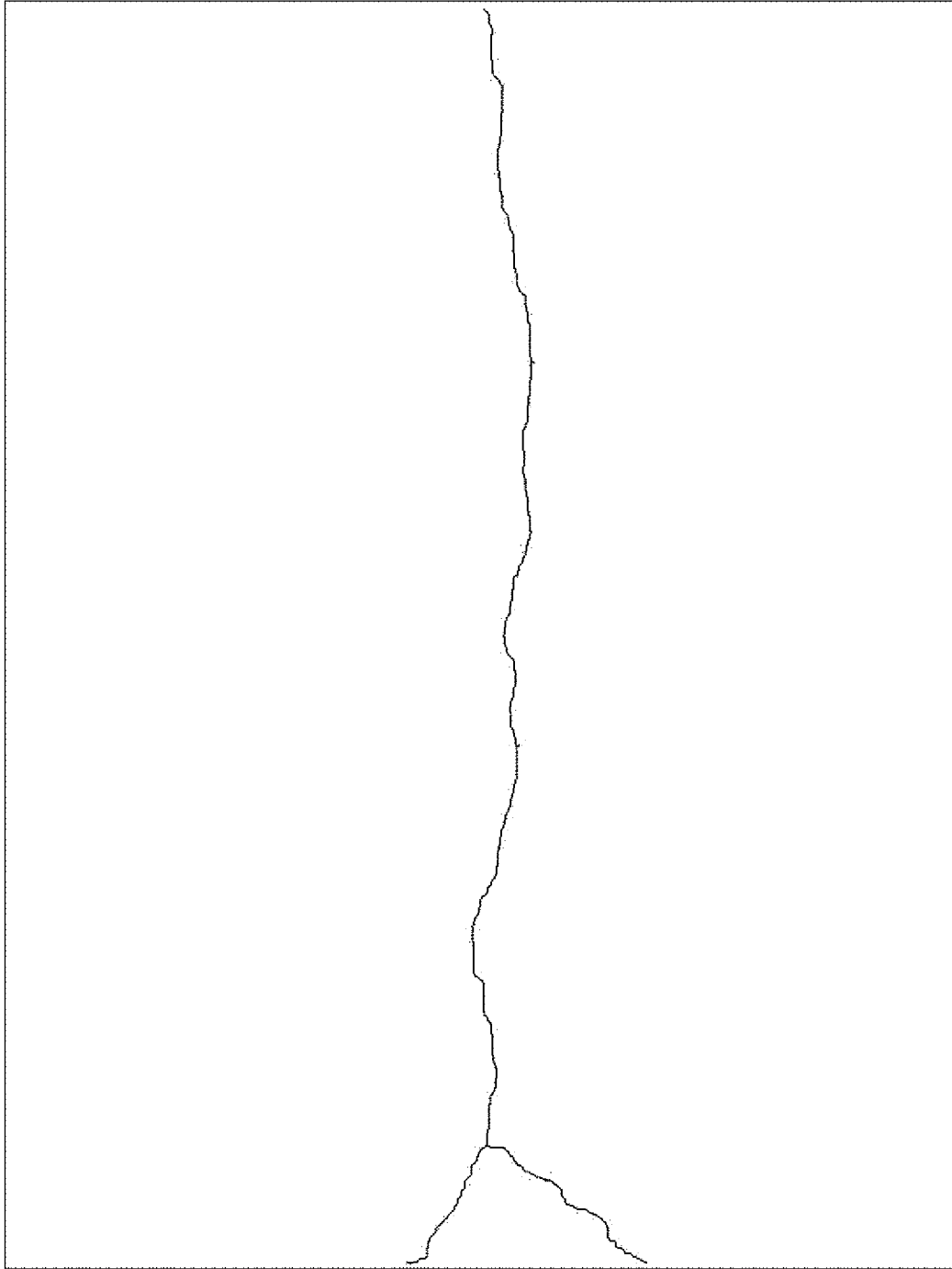
[23A]



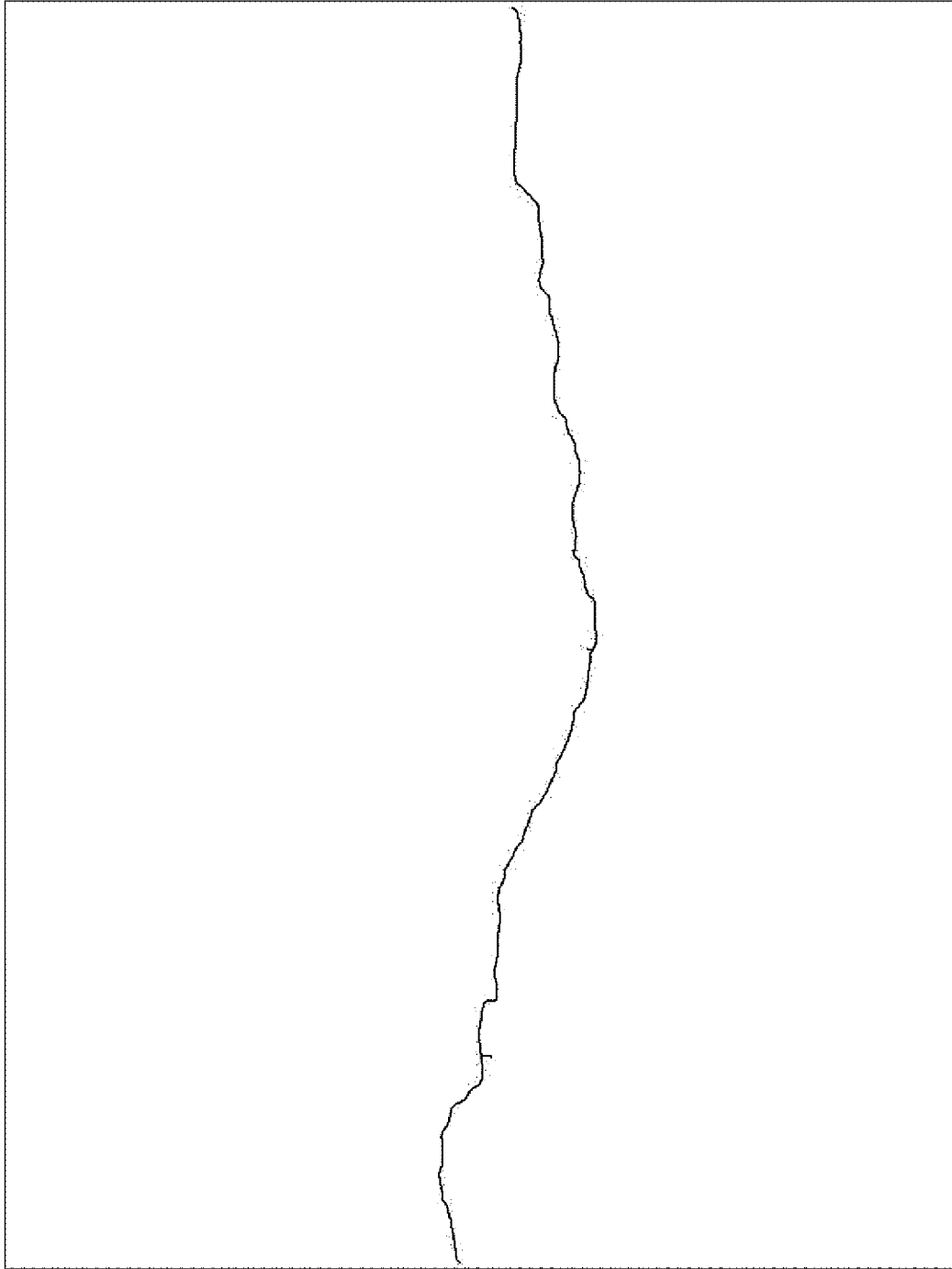
[図23B]



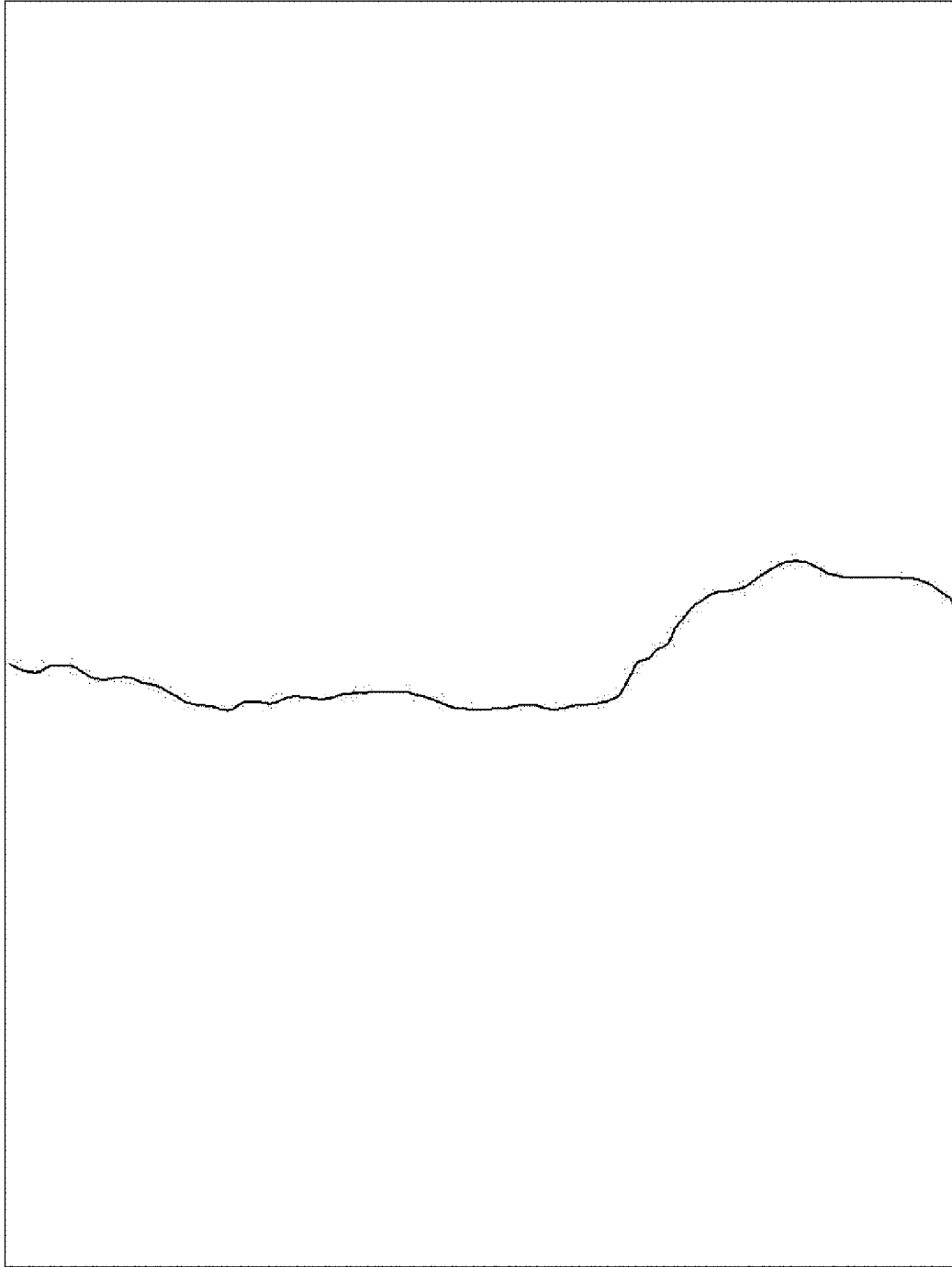
[図23C]



[図23D]



[図23E]




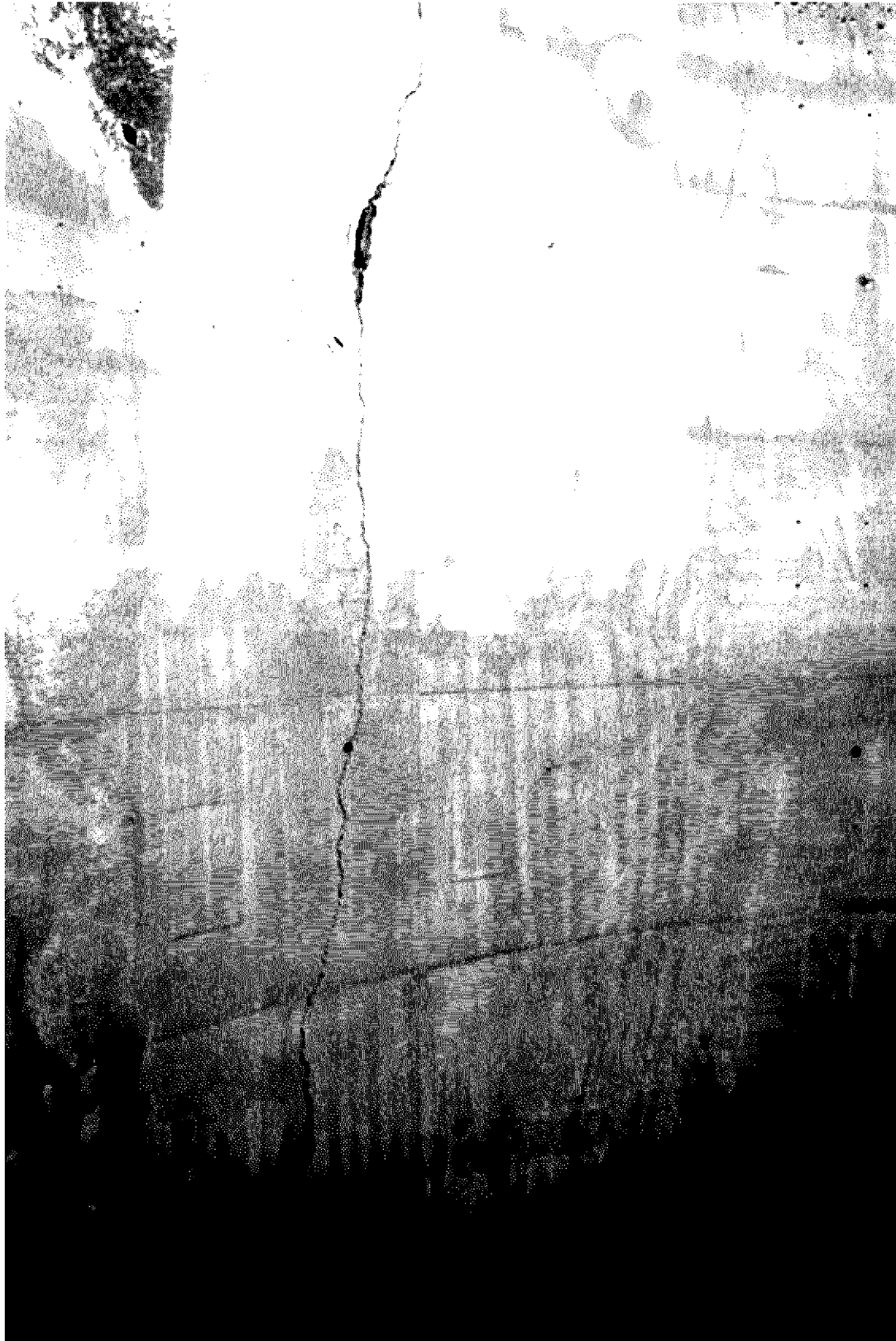
[ 24A]



[図24B]



[24C]



[図24D]




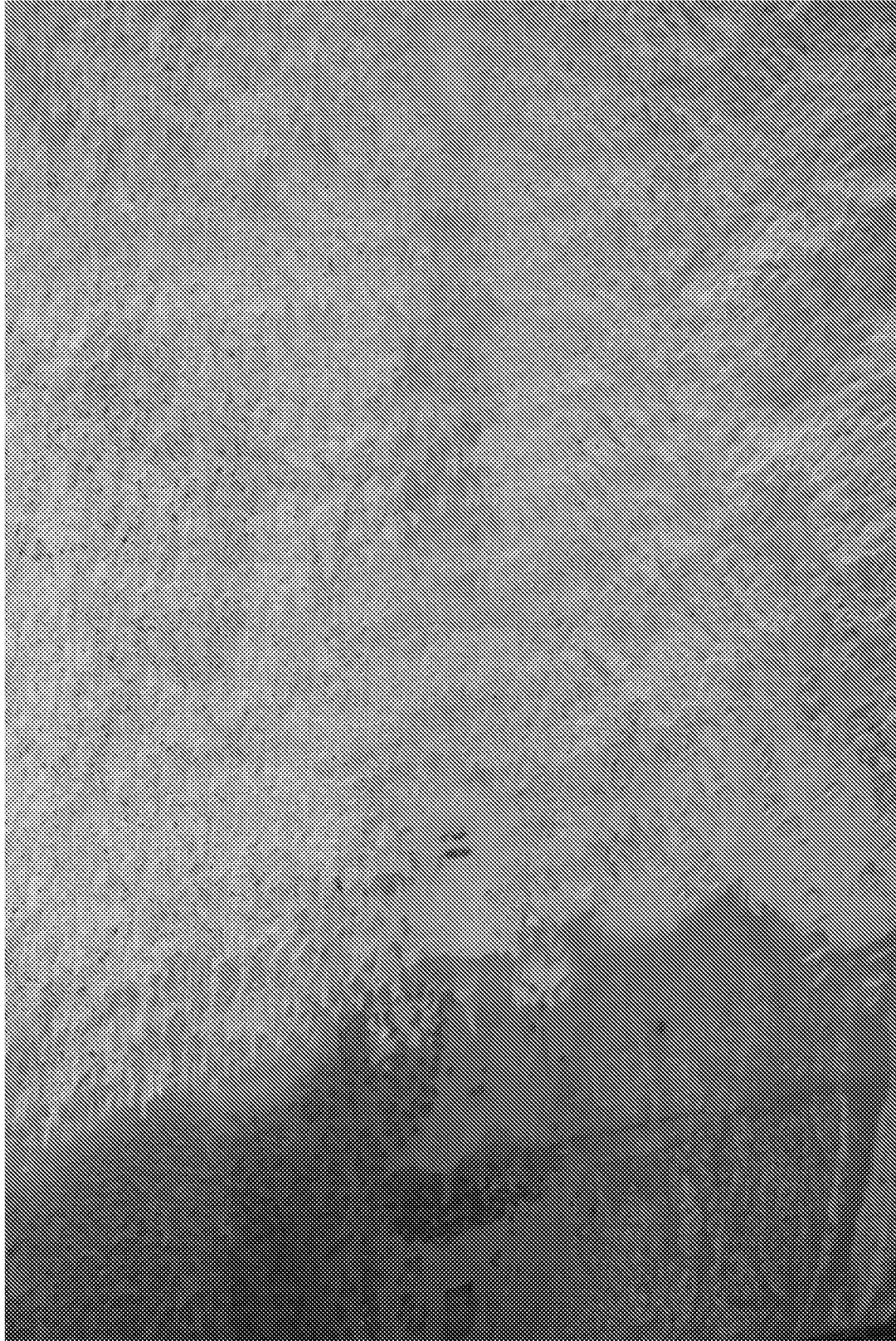
[図24E]




[図25A]



[25B]



[25C]



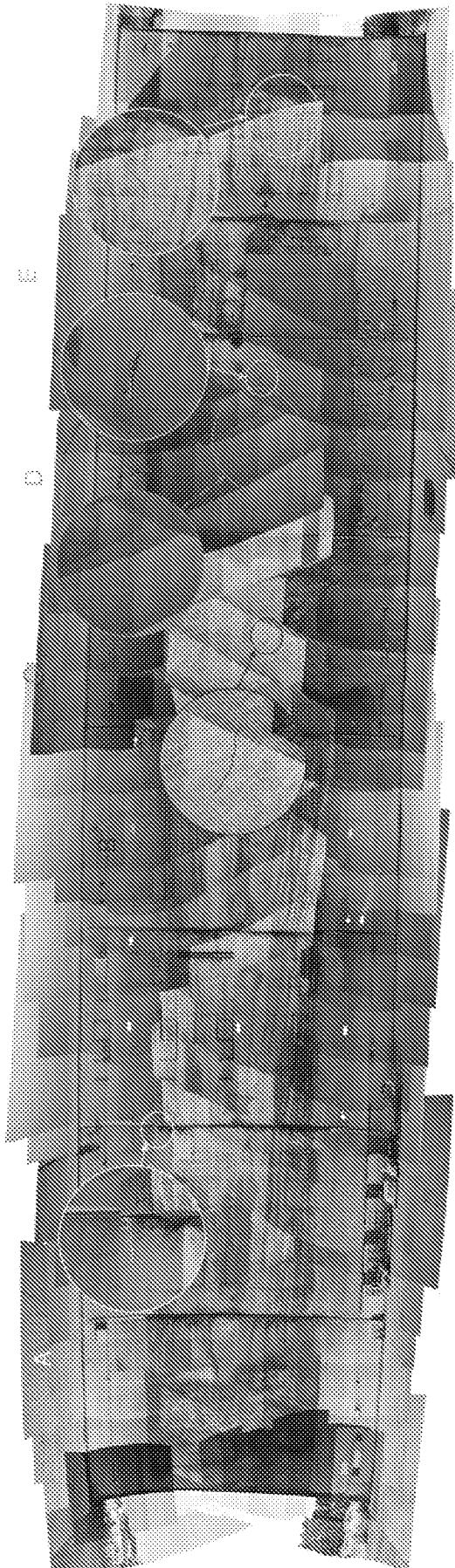
[図25D]



[図25E]



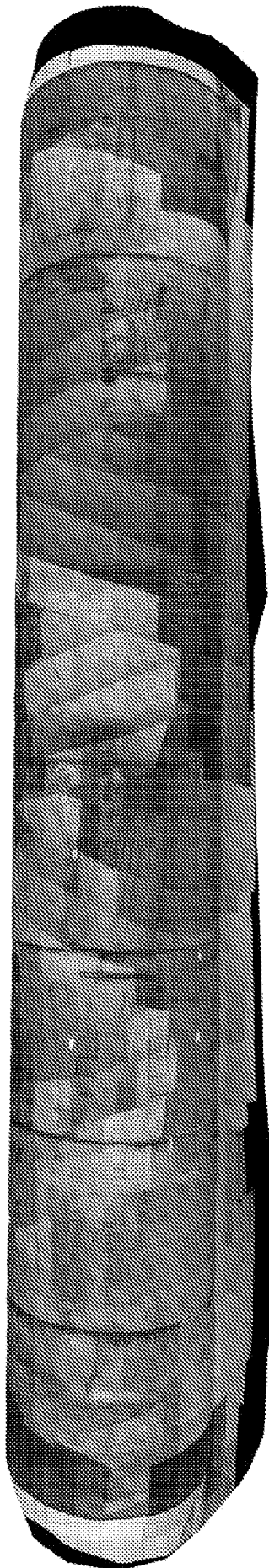
[図26]



[図27]



[図28]



[図29]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/006576

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. G01C11/06 (2006.01) i, G01B11/24 (2006.01) i, G01C7/06 (2006.01) i, G01C15/00 (2006.01) i, G06T7/00 (2017.01) i, G06T17/20 (2006.01) i, G06T19/00 (2011.01) i 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. G01C11/00-11/36, G01B11/00-11/30, G01C7/06, G01C15/00, G06T7/00, G06T17/20, G06T19/00 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 1971-2018 Registered utility model specifications of Japan 1996-2018 Published registered utility model applications of Japan 1994-2018 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), IEEE Xplore, Japio-GPG/FX, Scopus		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-503100 A (SANDVIK MINING AND CONSTRUCTION OY) 26 January 2017, paragraphs [0066]-[0068], fig. 4, 5 & US 2016/0341041 A1, paragraphs [0102]-[0104], fig. 4, 5 & EP 3094805 A1 & AU 2015206033 A1 & CA 2936683 A1 & CL 2016001754 A1 & CN 105917067 A & KR 10-2016-0106753 A & EA 201691137 A1 & PE 9752016 A1	1-8
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "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 28.03.2018		Date of mailing of the international search report 10.04.2018
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

International application No.

PCT/JP2018/006576

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-20972 A (TOKYU CONSTRUCTION CO., LTD.) 26 January 2017, paragraphs [0029]-[0037] (Family: none)	1-8
A	EP 1176393 A2 (INCO LIMITED) 30 January 2002, paragraphs [0045]-[0050], fig. 3, 4 & US 6608913 B1 & AU 5428801 A & CA 2347569 A1	1-8
A	CN 102564393 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 11 July 2012, paragraphs [0024]-[0032] (Family: none)	1-8
P, A	JP 2017-129508 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 27 July 2017, paragraphs [0018]-[0026], fig. 7-10 (Family: none)	1-8

<p>A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int.Cl. G01C11/06(2006.01)i, G01B11/24(2006.01)i, G01C7/06(2006.01)i, G01C15/00(2006.01)i, G06T7/00(2017.01)i, G06T17/20(2006.01)i, G06T19/00(2011.01)i</p>											
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int.Cl. G01C11/00-11/36, G01B11/00-11/30, G01C7/06, G01C15/00, G06T7/00, G06T17/20, G06T19/00</p>											
<p>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</p> <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:30%;">日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2018年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2018年	日本国実用新案登録公報	1996-2018年	日本国登録実用新案公報	1994-2018年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2018年										
日本国実用新案登録公報	1996-2018年										
日本国登録実用新案公報	1994-2018年										
<p>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)</p> <p>JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), IEEE Xplore, Japio-GPG/FX, Scopus</p>											
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:10%;">引用文献の カテゴリー*</th> <th style="width:70%;">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</th> <th style="width:20%;">関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align:center;">A</td> <td> JP 2017-503100 A (サンドヴィック マイニング アンド コンストラクション オーワイ) 2017.01.26, [0066]-[0068], [図4], [図5] & US 2016/0341041 A1, [0102]-[0104], FIG. 4, FIG. 5 & EP 3094805 A1 & AU 2015206033 A1 & CA 2936683 A1 & CL 2016001754 A1 & CN 105917067 A & KR 10-2016-0106753 A & EA 201691137 A1 & PE 9752016 A1 </td> <td style="text-align:center;">1-8</td> </tr> </tbody> </table>				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 2017-503100 A (サンドヴィック マイニング アンド コンストラクション オーワイ) 2017.01.26, [0066]-[0068], [図4], [図5] & US 2016/0341041 A1, [0102]-[0104], FIG. 4, FIG. 5 & EP 3094805 A1 & AU 2015206033 A1 & CA 2936683 A1 & CL 2016001754 A1 & CN 105917067 A & KR 10-2016-0106753 A & EA 201691137 A1 & PE 9752016 A1	1-8		
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 2017-503100 A (サンドヴィック マイニング アンド コンストラクション オーワイ) 2017.01.26, [0066]-[0068], [図4], [図5] & US 2016/0341041 A1, [0102]-[0104], FIG. 4, FIG. 5 & EP 3094805 A1 & AU 2015206033 A1 & CA 2936683 A1 & CL 2016001754 A1 & CN 105917067 A & KR 10-2016-0106753 A & EA 201691137 A1 & PE 9752016 A1	1-8									
<p>☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。</p>		<p>☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>									
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「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)</p> <p>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</p>		<p>の日の後に公表された文献</p> <p>「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「&」 同一パテントファミリー文献</p>									
<p>国際調査を完了した日</p> <p style="text-align:center;">28.03.2018</p>		<p>国際調査報告の発送日</p> <p style="text-align:center;">10.04.2018</p>									
<p>国際調査機関の名称及びあて先</p> <p style="text-align:center;">日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>		<p>特許庁審査官 (権限のある職員)</p> <p style="text-align:center;">清水 靖記</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3216</p>									

C (続き) . 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 2017-20972 A (東急建設株式会社) 2017.01.26, [0029]-[0037] (ファミリーなし)	1-8
A	EP 1176393 A2 (INCO LIMITED) 2002.01.30, [0045]-[0050], FIG. 3, FIG. 4 & US 6608913 B1 & AU 5428801 A & CA 2347569 A1	1-8
A	CN 102564393 A (北京工業大学) 2012.07.11, [0024]-[0032] (ファミリーなし)	1-8
P, A	JP 2017-129508 A (三菱電機株式会社) 2017.07.27, [0018]-[0026], [図7]-[図10] (ファミリーなし)	1-8