

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5113810号  
(P5113810)

(45) 発行日 平成25年1月9日(2013.1.9)

(24) 登録日 平成24年10月19日(2012.10.19)

(51) Int.Cl.	F I		
<b>G06T 7/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G06T 7/00	350C
<b>G06T 1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G06T 1/00	300
<b>G01N 22/02</b>	<b>(2006.01)</b>	G01N 22/02	A
<b>G01V 3/12</b>	<b>(2006.01)</b>	G01V 3/12	Z
<b>G01S 13/88</b>	<b>(2006.01)</b>	G01S 13/88	Z

請求項の数 4 (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2009-184901 (P2009-184901)  
 (22) 出願日 平成21年8月7日(2009.8.7)  
 (65) 公開番号 特開2011-39690 (P2011-39690A)  
 (43) 公開日 平成23年2月24日(2011.2.24)  
 審査請求日 平成23年9月2日(2011.9.2)

(73) 特許権者 000004226  
 日本電信電話株式会社  
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号  
 (74) 代理人 100083806  
 弁理士 三好 秀和  
 (74) 代理人 100129230  
 弁理士 工藤 理恵  
 (72) 発明者 岡 宗一  
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
 本電信電話株式会社内  
 (72) 発明者 望月 章志  
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理方法、画像処理装置及びひび割れ検知システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンピュータにより、  
 電磁波を用いて撮像された被撮像体の透視画像の各画素にそれぞれ対応し、ニューロン間の相互作用を対称とする2次元のニューロン配列を備え、  
 各ニューロンにおいて、  
 対応画素が前記被撮像体に生じたひび割れを撮像した領域に該当するか否かを識別する識別情報を第1記憶手段に記憶しておく第1ステップと、  
 当該ニューロンのエネルギー値を第2記憶手段に記憶しておく第2ステップと、  
 前記対応画素から規定値の範囲内に存在する複数の周辺画素の輝度値と、前記対応画素の輝度値との輝度変化量に基づいて、前記対応画素のエッジ度を算出する第3ステップと、  
 前記対応画素から規定値の範囲内に存在し、識別情報がひび割れを撮像した領域に該当することを示した周辺ニューロンに対応する周辺画素の位置と、前記対応画素の位置との間のユークリッド距離に基づいて、前記周辺画素に対する前記対応画素の連結度を算出する第4ステップと、  
 前記エッジ度と前記連結度とに基づいて、当該ニューロンのエネルギー値を算出する第5ステップと、  
 算出された当該エネルギー値を用いて、前記第2記憶手段に記憶されているエネルギー値を更新する第6ステップと、

10

20

更新後のエネルギー値が、同一列における他ニューロンのエネルギー値以上の場合には、前記第 1 記憶手段の識別情報をひび割れを撮像した領域に該当することを示すように更新し、前記他ニューロンのエネルギー値未満の場合には、ひび割れを撮像した領域に該当しないことを示すように更新する第 7 ステップと、

前記第 3 ステップから前記第 7 ステップまでを所定の上限回数まで繰り返し、更新後の識別情報を出力する第 8 ステップと、

を有することを特徴とする画像処理方法。

【請求項 2】

電磁波を用いて撮像された被撮像体の透視画像の各画素にそれぞれ対応し、ニューロン間の相互作用を対称とする 2 次元のニューロン配列を備え、

10

各ニューロンは、

対応画素が前記被撮像体に生じたひび割れを撮像した領域に該当するか否かを識別する識別情報を記憶しておく第 1 記憶手段と、

当該ニューロンのエネルギー値を記憶しておく第 2 記憶手段と、

前記対応画素から規定値の範囲内に存在する複数の周辺画素の輝度値と、前記対応画素の輝度値との輝度変化量に基づいて、前記対応画素のエッジ度を算出するエッジ度算出手段と、

前記対応画素から規定値の範囲内に存在し、識別情報がひび割れを撮像した領域に該当することを示した周辺ニューロンに対応する周辺画素の位置と、前記対応画素の位置との間のユークリッド距離に基づいて、前記周辺画素に対する前記対応画素の連結度を算出する画素連結度算出手段と、

20

前記エッジ度と前記連結度とに基づいて、当該ニューロンのエネルギー値を算出するエネルギー値算出手段と、

算出された当該エネルギー値を用いて、前記第 2 記憶手段に記憶されているエネルギー値を更新するエネルギー値更新手段と、

更新後のエネルギー値が、同一列における他ニューロンのエネルギー値以上の場合には、前記第 1 記憶手段の識別情報をひび割れを撮像した領域に該当することを示すように更新し、前記他ニューロンのエネルギー値未満の場合には、ひび割れを撮像した領域に該当しないことを示すように更新する識別情報更新手段と、

更新後の識別情報を出力する識別情報出力手段と、を有し、

30

前記エッジ度算出手段と、前記画素連結度算出手段と、前記エネルギー値算出手段と、前記エネルギー値更新手段と、前記識別情報更新手段との各機能を、所定の上限回数まで繰り返すことを特徴とする画像処理装置。

【請求項 3】

ミリ波を被撮像体に照射する照射装置と、

前記被撮像体で反射した反射波及びノ又は散乱波を検波する検波装置と、

検波された検波情報と位置情報に基づいて前記被撮像体の透視画像を形成する撮像装置と、

請求項 2 に記載の画像処理装置と、

を有することを特徴とするひび割れ検知システム。

40

【請求項 4】

可視光線、赤外線、紫外線のいずれかを用いて被撮像体を撮像する撮像装置と、

請求項 2 に記載の画像処理装置と、

を有することを特徴とするひび割れ検知システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電磁波を用いて構造物を診断する技術に関する。更に詳しくは、建物やトンネル等のコンクリート構造物の表層が被覆にて隠匿されている場合であっても、その表層に生じたひび割れの有無を検知する技術に関する。

50

## 【背景技術】

## 【0002】

現在、戦後の高度成長期に建設された老朽化した高速道路や近年の施工不良マンション等のコンクリート構造物に対する不安が社会問題化している。コンクリート構造物の耐久性を検査する際の最重要項目の一つに、コンクリート表面のひび割れ検査を挙げることができる。ひび割れは、一般的には、地震等によって構造物に応力が加わることによりコンクリートが破断して生じるものであるが、コンクリート表面にひび割れが発生した場合、そのひび割れた箇所から雨水等が侵入し、コンクリート内部の鉄筋に到達すると腐食が始まり、鉄筋の強度が落ちて構造物の耐久性を低下させる。このような構造物の耐久性低下を未然に防止するには、コンクリート表面のひび割れを早期に発見し、補修や補強を適宜実施することが必要である。

10

## 【0003】

そして、補修を要するひび割れの程度を判断する際には、コンクリート表面に現れたひび割れの「幅」を指標とする場合が多い。鉄筋への到達と直接的に関わる「深さ」も重要な指標ではあるが、ひび割れ幅から深さのある程度予測できるため、表面のひび割れ幅を用いて補修実施の要否を判断することが一般的となっている。なお、構造物の耐久性に関する許容ひび割れ幅については、地理的な位置によって地質性・環境性が異なるため、各国の提案基準によって若干のバラツキがある。大凡ではあるが、乾燥空気中であれば幅0.3～0.4mm、湿空中であればそれ以下の値を許容ひび割れ幅と規定しているものが多い。また、幅が0.2mm以上に到達したひび割れについては、充填材や被覆による補修、或いは鋼製アンカー等による補強の実施対象としている（非特許文献1参照）。

20

## 【0004】

さて、現在のひび割れ診断は目視による検査が主流であるが、実際の構造物の壁には塗装や壁紙装飾、或いは補修材等によって被覆されている場合が多く、常に目視検査が可能とは限らない。そこで、従来技術の一つにX線を使用する検査方法もあるが、測定構造物を挟んで送受信センサを対向配置して透視像を得るため、マンション等のような大型の測定構造物の場合には裏側に回り込むことが困難であり、更にはX線による人体への影響等の安全面に関する問題も誘発する。また、ひび割れ発生の要因はコンクリートの材料・施工・環境・構造・外力等またはその組み合わせの条件によって多岐に渡るため、ひび割れが生じる箇所や時間を予測したり制御することは不可能に近い。従って、ひび割れ点検作業は構造物の広範囲に渡って行うことが望ましいものの、超音波のように探触子を当てて探る方法では作業時間が掛かり、実施上の課題を抱えている。以上のように、既存技術によっては、被覆されたコンクリート表面のひび割れを迅速に検査することは困難であった。

30

## 【0005】

これに対し、特許文献1及び特許文献2によれば、コンクリート表面のひび割れを迅速に検索するために、ミリ波を媒体としてイメージングする技術が開示されている。ミリ波とは、通常、周波数が30～300GHz、波長が1～10mmの電磁波であり、壁紙や塗装等の被覆を透過しやすく、且つコンクリート内部には入り難いため、被覆されている場合であってもコンクリート表面のみを検査することができる。コンクリート表面に対して斜め方向にミリ波を照射すると、反射波は、ひび割れが無い平坦な部分では一方向に集中し、ひび割れが有る部分ではひび割れているエッジにて四方八方に散乱する。ゆえに、反射強度の違いによってひび割れ部分を検知することが可能となる。

40

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0006】

【特許文献1】特開2007-121214号公報

【特許文献2】特開2007-121230号公報

## 【非特許文献】

## 【0007】

50

【非特許文献1】「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」、社団法人日本コンクリート工学協会編著、2003年、p274-279

【非特許文献2】中野馨編、「ニューロコンピュータの基礎」、コロナ社、1990年、p127-134。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記特許文献に開示された技術によれば、現場作業者が画面に映し出された透視像を見て、ひび割れの有無を判断するようになっている。しかしながら、波長が数ミリメートルのミリ波によって得られた透視像のひび割れ幅はサブミリメートルであるため、映し出された透視像はピンボケし、ひび割れの他にコンクリート表層付近の骨材・細骨材・気泡等のノイズも映っており、ミリ波透視像内におけるひび割れの視認性が悪く、現場作業者の見落としの危険性があるという問題がある。更に、人間が画面を見てひび割れの有無を判断するため、大規模な範囲の検査では時間が掛かり、迅速に実施することが困難であるという問題もある。

10

【0009】

また、可視光線、赤外線、紫外線のカメラを用いた場合であっても、コンクリート表面のみを撮像することができるが、やはりひび割れの視認性が悪く、現場作業者がひび割れを見落とすことが危惧されるという問題がある。

【0010】

本発明は、上記課題を鑑みてなされたものであり、電磁波を用いて撮像された透視画像から被撮像体に生じたひび割れを高い精度で検知することを課題とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0011】

請求項1に記載の本発明は、コンピュータにより、電磁波を用いて撮像された被撮像体の透視画像の各画素にそれぞれ対応し、ニューロン間の相互作用を対称とする2次元のニューロン配列を備え、各ニューロンにおいて、対応画素が前記被撮像体に生じたひび割れを撮像した領域に該当するか否かを識別する識別情報を第1記憶手段に記憶しておく第1ステップと、当該ニューロンのエネルギー値を第2記憶手段に記憶しておく第2ステップと、前記対応画素から規定値の範囲内に存在する複数の周辺画素の輝度値と、前記対応画素の輝度値との輝度変化量に基づいて、前記対応画素のエッジ度を算出する第3ステップと、前記対応画素から規定値の範囲内に存在し、識別情報がひび割れを撮像した領域に該当することを示した周辺ニューロンに対応する周辺画素の位置と、前記対応画素の位置との間のユークリッド距離に基づいて、前記周辺画素に対する前記対応画素の連結度を算出する第4ステップと、前記エッジ度と前記連結度とに基づいて、当該ニューロンのエネルギー値を算出する第5ステップと、算出された当該エネルギー値を用いて、前記第2記憶手段に記憶されているエネルギー値を更新する第6ステップと、更新後のエネルギー値が、同一列における他ニューロンのエネルギー値以上の場合には、前記第1記憶手段の識別情報をひび割れを撮像した領域に該当することを示すように更新し、前記他ニューロンのエネルギー値未満の場合には、ひび割れを撮像した領域に該当しないことを示すように更新する第7ステップと、前記第3ステップから前記第7ステップまでを所定の上限回数まで繰り返し、更新後の識別情報を出力する第8ステップと、を有することを特徴とする。

30

40

【0012】

請求項2に記載の本発明は、電磁波を用いて撮像された被撮像体の透視画像の各画素にそれぞれ対応し、ニューロン間の相互作用を対称とする2次元のニューロン配列を備え、各ニューロンは、対応画素が前記被撮像体に生じたひび割れを撮像した領域に該当するか否かを識別する識別情報を記憶しておく第1記憶手段と、当該ニューロンのエネルギー値を記憶しておく第2記憶手段と、前記対応画素から規定値の範囲内に存在する複数の周辺画素の輝度値と、前記対応画素の輝度値との輝度変化量に基づいて、前記対応画素のエッジ度を算出するエッジ度算出手段と、前記対応画素から規定値の範囲内に存在し、識別情

50

報がひび割れを撮像した領域に該当することを示した周辺ニューロンに対応する周辺画素の位置と、前記対応画素の位置との間のユークリッド距離に基づいて、前記周辺画素に対する前記対応画素の連結度を算出する画素連結度算出手段と、前記エッジ度と前記連結度とに基づいて、当該ニューロンのエネルギー値を算出するエネルギー値算出手段と、算出された当該エネルギー値を用いて、前記第2記憶手段に記憶されているエネルギー値を更新するエネルギー値更新手段と、更新後のエネルギー値が、同一列における他ニューロンのエネルギー値以上の場合には、前記第1記憶手段の識別情報をひび割れを撮像した領域に該当することを示すように更新し、前記他ニューロンのエネルギー値未満の場合には、ひび割れを撮像した領域に該当しないことを示すように更新する識別情報更新手段と、更新後の識別情報を入力する識別情報出力手段と、を有し、前記エッジ度算出手段と、前記画素連結度算出手段と、前記エネルギー値算出手段と、前記エネルギー値更新手段と、前記識別情報更新手段との各機能を、所定の上限回数まで繰り返すことを特徴とする。

10

## 【0013】

請求項3に記載の本発明は、ミリ波を被撮像体に照射する照射装置と、前記被撮像体で反射した反射波及び/又は散乱波を検波する検波装置と、検波された検波情報と位置情報に基づいて前記被撮像体の透視画像を形成する撮像装置と、請求項2に記載の画像処理装置と、を有することを特徴とする。

## 【0014】

請求項4に記載の本発明は、可視光線、赤外線、紫外線のいずれかを用いて被撮像体を撮像する撮像装置と、請求項2に記載の画像処理装置と、を有することを特徴とする。

20

## 【発明の効果】

## 【0015】

本発明によれば、電磁波を用いて撮像された透視画像から被撮像体に生じたひび割れを高い精度で検知することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0016】

【図1】ひび割れ検知システムを構成する画像処理装置の機能ブロックを示す図である。

【図2】ニューロンにおける信号の流れを示す図である。

【図3】ニューロンの機能ブロックを示す図である。

【図4】透視画像におけるひび割れのニューラルネット表現を示す図である。

30

【図5】ひび割れ検知アルゴリズムのフローを示す図である。

【図6】エッジ関数及び画素連結関数の作用を説明する図である。

【図7】透視画像内に映るひび割れ幅の測定実験を説明する図である。

【図8】エッジ関数のパラメータMとひび割れ幅の関係をj示す図である。

【図9】第1のひび割れ検知システムの全体構成を示す図である。

【図10】第2のひび割れ検知システムの全体構成を示す図である。

【図11】ひび割れの撮像例を示す図である。

【図12】画像処理結果例を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0017】

40

以下、一実施の形態におけるひび割れ検知システム、及びひび割れ検知システムに用いる画像処理装置について説明する。

## 【0018】

図1は、ひび割れ検知システムを構成する画像処理装置の機能ブロックを示す図である。この画像処理装置1は、電磁波を用いて撮像された透視画像から被撮像体の表面にひび割れが含まれているか否かを識別可能に表示するものであって、入力部11と、記憶部12と、処理部13と、表示部14とを備えている。

## 【0019】

入力部11は、ミリ波、可視光線、赤外線、紫外線等の電磁波を用いて撮影されたコンクリート等の構造物の透視画像を入力する機能を有している。また、記憶部12は、入力

50

部 1 1 で入力された透視画像を一時的に記憶しておく機能を有している。

【 0 0 2 0 】

処理部 1 3 は、記憶部 1 2 に記憶されている透視画像を読み出して、その透視画像に撮像されている構造物の表面にひび割れが含まれているか否かを識別する機能を有している。具体的には、図 2 に示すように、透視画像を画素毎に分解し、各画素にそれぞれ対応するよう 2 次元のニューロン配列を生成し、全てのニューロン間の相互作用を対称として、ニューラルネットワークによる画像処理を行う。各ニューロンは、対応する画素がひび割れを撮像した領域に該当するか否かを識別するニューロン値（識別情報に相当）と、自身のニューロンに対するエネルギー値とをそれぞれ記憶しておき、対応画素や周辺画素の輝度値を入力すると共に、他ニューロンとの間でニューロン値及びエネルギー値を交換し、後述する一定の処理を実施した後に、自身のニューロン値（1：ひび割れ候補に該当、0：ひび割れ候補に非該当）を出力する。

10

【 0 0 2 1 】

ここで、本実施の形態では、上記一定の処理において、ニューラルネットワークにおけるエネルギー関数を利用し、更に、ニューロン間の相互作用を対称、すなわち神経回路網の結合（シナプス荷重）を対称とすることを特徴としている。また、画像の輝度変化量やニューロン値を上記エネルギー関数の計算に反映させることも特徴としている。神経回路網の結合を対称とすることにより、ニューラルネットワークの演算処理を繰り返す毎にエネルギー関数が増大又は減少して平行点に達するので（非特許文献 2 参照）、構造物に生じたひび割れを高い精度で識別して検知することが可能となる。

20

【 0 0 2 2 】

表示部 1 4 は、各ニューロンから出力されたニューロン値が 1 である画素のみを色付けした画像や、0, 1 からなる 2 値のニューロン値を各ニューロンの位置に対応付けた画像を表示する機能を有している。なお、表示部 1 4 で表示される画像は、ひび割れに該当する箇所を特徴付けるように処理を施した画像であればどのようなものであってもよい。

【 0 0 2 3 】

なお、このような画像処理装置 1 は、CPU 等の演算処理装置やメモリ等の記憶装置を備えたコンピュータにより構成可能なものであり、各部の処理はプログラムによって実行される。このプログラムは記憶装置に記憶されており、記録媒体に記録することも、ネットワークを通して提供することも可能である。

30

【 0 0 2 4 】

続いて、処理部 1 3 で生成された各ニューロンの機能について説明する。図 3 は、各ニューロンの機能ブロックを示す図である。各ニューロンは、エッジ度算出部 1 3 a と、画素連結度算出部 1 3 b と、エネルギー値算出部 1 3 c と、エネルギー値更新部 1 3 d と、ニューロン値更新部 1 3 e と、ニューロン値出力部 1 3 f と、ニューロン値記憶部 1 3 g と、エネルギー値記憶部 1 3 h とを備えている。

【 0 0 2 5 】

ニューロン値記憶部 1 3 g は、各ニューロンに対応している対応画素が、構造物に生じたひび割れを撮像した領域に該当するか否かを識別するニューロン値を記憶しておく機能を有している。エネルギー値記憶部 1 3 h は、各ニューロンのエネルギー値を記憶しておく機能を有している。

40

【 0 0 2 6 】

エッジ度算出部 1 3 a は、対応画素から一定範囲（規定値の範囲内）に存在する複数の周辺画素の輝度値と、対応画素の輝度値との輝度変化量に基づいて、対応画素のエッジ度を算出する機能を有している。

【 0 0 2 7 】

画素連結度算出部 1 3 b は、対応画素から一定範囲（規定値の範囲内）に存在し、ニューロン値がひび割れを撮像した領域に該当することを示した周辺ニューロンに対応する周辺画素の位置と、対応画素の位置とのユークリッド距離に基づいて、周辺画素に対する対応画素の連結度を算出する機能を有している。

50

## 【 0 0 2 8 】

エネルギー値算出部 1 3 c は、エッジ度算出部 1 3 a で算出されたエッジ度と、画素連結度算出部 1 3 b で算出された連結度とに基づいて、そのニューロンのエネルギー値を算出する機能を有している。

## 【 0 0 2 9 】

エネルギー値更新部 1 3 d は、エネルギー値算出部 1 3 c で算出されたエネルギー値を用いて、エネルギー値記憶部 1 3 h に記憶されているエネルギー値を更新する機能を有している。

## 【 0 0 3 0 】

ニューロン値更新部 1 3 e は、エネルギー値更新部 1 3 d で更新された更新後のエネルギー値が、同一列（例えば、x 軸）における他ニューロンのエネルギー値以上の場合には、ニューロン値記憶部 1 3 g のニューロン値を 1 に更新し、その同一列における他ニューロンのエネルギー値未満の場合には、そのニューロン値を 0 に更新する機能を有している。

10

## 【 0 0 3 1 】

なお、同一列においてエネルギーの最大値が全く同じとなるニューロンが複数存在した場合、ニューロンの特性上それらのニューロン値が全て同時に 1 になる場合が確率的に存在する。その場合、後述のすべてのニューロン値配列がひび割れ画素の候補を意味する 1 となることから、ひび割れを一意に特定できないことになる。そのようなケース発生した場合、エネルギーが最大値を取り得るニューロンのどれかひとつをランダムに選んでニューロン値を 1 とし、他のニューロンには 0 の値を与えることにより、同一列において同時に複数のニューロン値が 1 となることを回避する。

20

## 【 0 0 3 2 】

ニューロン値出力部 1 3 f は、ニューロン値更新部 1 3 e で更新された更新後のニューロン値を出力する機能を有している。

## 【 0 0 3 3 】

次に、処理部 1 3 の画像処理手順について説明する。まず、処理部 1 3 は、得られた透視画像の画素位置に対応付けた 2 次元のニューロン値配列  $V_{x,y}$  を生成する。このニューロン値配列  $V_{x,y}$  とは、各ニューロンにおけるニューロン値記憶部 1 3 g の 2 次元配列であって、図 4 に示すように、ひび割れ画素の候補を意味する 1 と、非ひび割れ画素の候補を意味する 0 とで構成されている。次に、ニューロン値配列  $V_{x,y}$  に対応するようエネルギー値配列  $U_{x,y}$  を生成し、図 5 に示された以下の手順に従って、ニューロン値配列  $V_{x,y}(t)$  の各ニューロン値及びエネルギー値配列  $U_{x,y}(t)$  の各エネルギー値を更新する。なお、t は繰り返し回数を意味している。

30

## 【 0 0 3 4 】

まず、処理部 1 3 が、エネルギー値配列  $U_{x,y}(0)$  を乱数値で初期化する (S 1)。次に、処理部 1 3 が、以下の式 (1) 及び式 (2) の判別式を用いて、ニューロン値配列  $V_{x,y}(1)$  の初期状態を決める (S 2)。

## 【 数 1 】

$$V_{xy}(t+1)=1 \text{ (if } U_{xy}=\max[U_{ky}(t); \nabla:k]) \quad \dots \text{式(1)}$$

$$V_{xy}(t+1)=0 \text{ (その他)} \quad \dots \text{式(2)}$$

40

## 【 0 0 3 5 】

続いて、エッジ度算出部 1 3 a が、式 (3) のエッジ関数を用いてエッジ度を計算すると共に、画素連結度算出部 1 3 b が、式 (4) の画素連結関数を用いて画素の連結度（画素連結の滑らかさを数値化）を計算する (S 3)。

【数2】

$$p(x, y) = \sum_{m=x-M}^x \{I_{m-1,y} - I_{m,y}\} + \sum_{m=x}^{x+M} \{I_{m+1,y} - I_{m,y}\} \quad \dots \text{式(3)}$$

$$q(x, y) = \sum_{b=y-B}^{y-1} \|(x, y) - (a, b)\| + \sum_{b=y+1}^{y+B} \|(x, y) - (a, b)\|, \text{ where } V_{ab} = 1 \quad \dots \text{式(4)}$$

【0036】

なお、 $I_{x,y}$  は、画素  $(x, y)$  の輝度値であり、 $(x, y) - (a, b)$  は、画素  $(x, y)$  の位置と画素  $(a, b)$  の位置との間のユークリッド距離である。また、 $B$  は、画素連結を考慮するひび割れの長さを決める定数である。

10

【0037】

式(3)では、 $y$  値を固定して  $x$  値を変化させてエッジ度を計算することにより、左右の画素に対する各画素のエッジ度を計算している。また、式(4)では、where  $V_{ab} = 1$  を条件、即ち、ひび割れに該当するニューロンのみを連結度計算の対象とし、 $x$  値を固定して  $y$  値を変化させて連結度を計算することにより、上下の画素に対する各画素の連結度を計算している。

【0038】

すなわち、式(3)及び式(4)は、主に、縦方向( $y$  方向)に生じたひび割れに対するエッジ度及び連結度を計算するのに適しているが、横方向( $x$  方向)や斜め方向に生じたひび割れについても応用することは無論可能である。

20

【0039】

その後、エネルギー値算出部13cが、式(5)のエネルギー関数(線形連結関数)を用いてエネルギー値  $U_{x,y}$  を計算し、エネルギー値更新部13dが、式(6)の加算式を用いてエネルギー値配列  $U_{x,y}(t)$  を更新する(S4)。なお、 $\alpha$  と  $\beta$  は、それぞれエッジ度と連結度がひび割れ検知に寄与する程度を決める定数である。

【数3】

$$\Delta U_{xy} = \alpha \cdot p(x, y) - \beta \cdot q(x, y) \quad \dots \text{式(5)}$$

$$U_{xy}(t+1) = U_{xy}(t) + \Delta U_{xy} \quad \dots \text{式(6)}$$

30

【0040】

そして、ニューロン値更新部13eが、S2で用いた判別式を用いて、ニューロン値配列  $V_{x,y}(t)$  を更新する(S5)。なお、ニューロン値が1となるのは式(1)のifの条件式を満たす場合であって、この条件式によれば、 $y$  値が同じである同一列内の複数のエネルギー値のうち最もエネルギー値が高いニューロンのみニューロン値を1としている。一方、同一列における他ニューロンのニューロン値は0となる。これにより、ひび割れた位置を同一列内で1つの画素に特定することが可能となり、高い精度でひび割れを検知することができる。

【0041】

なお、同一列においてエネルギーの最大値が全く同じとなるニューロンが複数存在した場合、ニューロンの特性上それらのニューロン値が全て同時に1になる場合が確率的に存在する。その場合、前述のすべてのニューロン値配列がひび割れ画素の候補を意味する1となることから、ひび割れを一意に特定できないことになる。そのようなケース発生した場合、エネルギーが最大値を取り得るニューロンのどれかひとつをランダムに選んでニューロン値を1とし、他のニューロンには0の値を与えることにより、同一列において同時に複数のニューロン値が1となることを回避する。

40

【0042】

その後、処理部13が、繰り返し回数  $t$  を1つ加算し(S6)、加算後の繰り返し回数  $t$  と本アルゴリズムの繰り返しの上限回数  $T$  とを比較する(S7)。

【0043】

50

S 7での比較の結果、 $t < T$ の場合には、 $U > K$ （収束を判断する際に用いるエネルギー値の閾値）を満たす画素数が一定値N以上であるか否かを判定する（S 8）。

【0044】

S 8での比較の結果、 $U > K$ を満たす画素数が一定値N以上の場合には、ニューロン値配列 $V_{x,y}$ が1である画素をひび割れと最終判定して処理を終了し（S 9）、 $U > K$ を満たす画素数が一定値N未満の場合には、S 3に戻る。

【0045】

一方、S 7での比較の結果、 $t > T$ の場合には、透視画像中にひび割れは無いと最終判定して処理を終了する（S 10）。

【0046】

次に、式（5）で定義されるニューロンのエネルギー値 $U_{x,y}$ を決定するエッジ関数 $p(x,y)$ 及び画素連結関数 $q(x,y)$ の作用を図6に示す。式（3）で定義されるエッジ関数 $p(x,y)$ は、画像においてひび割れの探査方向となるx方向のエッジ度を算出し、その値が大きいほど、画素 $(x,y)$ がひび割れ候補である可能性が高い。一方、式（4）で定義される画素連結関数 $q(x,y)$ は、ひび割れ画素候補の連結の滑らかさを算出し、その値が小さいほど、画素 $(x,y)$ がひび割れ候補である可能性が高い。従って、式（5）で与えられるエネルギー値 $U_{x,y}$ が大きいほど、画素 $(x,y)$ がひび割れ候補である可能性が高いことになる。

【0047】

そして、エッジ関数 $p(x,y)$ を効果的に機能させるには、式（3）におけるMの値を予め実験によって最適値を求めておくことが重要である。その実験方法を以下に説明する。図7に示すように、電磁波の送信器及び受信器（検波器）をひび割れに対して直交走査すると、得られる反射特性は吸収の谷となって現れる。コンクリートの誘電率に近いアルミナの板を用いてひび割れを模擬した0.06mm幅のスリットを作成し、76.5GHz帯のミリ波を照射し、検波器をアルミナ板の表面から10mmの距離において走査すると、0.06mmのスリットは幅7mmの反射波の吸収の谷となって観測されることが分かる。

【0048】

この吸収の谷の幅は、照射する電磁波の周波数と、検波器から観測面までの距離と、ひび割れの幅という3つの要素によって決定されるものである。一般に、電磁波の周波数が低くなると波長が長くなって吸収谷の幅が広くなり、検波器から観測面までの距離が長くなると電磁波が拡散して吸収谷の幅が広くなり、ひび割れの幅が広くなると構造が大きくなって吸収谷の幅が広くなるという特性がある。式（3）におけるMの最適値とは、画像中に現れるひび割れの吸収谷の幅と等しい画素数である。以下、この値がMの最適値となる理由を説明する。

【0049】

図8（a）のように、幅が異なるA、B、Cという3つの吸収谷があり、それぞれ、気泡、ひび割れ、骨材の反射パターンを模擬的に表しているものとする。このデータに対して、 $M = 3$ 、 $M = 15$ 、 $M = 50$ という設定値によってエッジ関数の処理を施した結果が、それぞれ図8（b）（c）（d）である。 $M = 3$ のときはAにおいてエッジ関数が最も大きい値となり、 $M = 15$ のときはBにおいてエッジ関数が最も大きい値となり、 $M = 50$ のときはCにおいてエッジ関数が最も大きい値となっている。ゆえに、図8（a）に対しては、 $M = 15$ とすれば、ひび割れに対してエッジ関数が最大値を返すように働かせることができる。なお、M以外の幅を持つ吸収谷を完全に排除するようなエッジ関数は避けるべきであることを付言しておく。その理由は、ひび割れの幅にはバラツキがあり、気泡より狭く、骨材より広い吸収谷を形成する箇所が存在するケースがあるからである。

【0050】

続いて、本実施の形態における第1のひび割れ検知システムについて説明する。図9は、第1のひび割れ検知システムの全体構成を示す図である。このひび割れ検知システム100aは、ミリ波発生器2と、1次元検波器アレイ3と、フィルタ回路4と、AD変換器

10

20

30

40

50

5と、距離センサ6と、警報器7とを有するスキャナ筐体50と、画像処理装置1の機能を備えた制御器8とを備えている。また、このようなスキャナ筐体50は、片手で操作できる数十センチ四方程度の大きさであって、測定対象物200の表面に対して一定の間隔を保持した状態で走査可能となるよう、底面に車輪51が具備されている。

【0051】

まず、ホーンアンテナ等が取り付けられたミリ波発生器2が、スキャナ筐体底面の開口部からターゲット面（コンクリート等の測定対象物200）に対して電磁波を拡散照射する（S100）。なお、このようなミリ波発生器2としては、30～300GHz帯の電磁波を発生するGUNN発振器を一例に用いることができる。

【0052】

次に、ターゲット面に対して受信アンテナを取り付けた1次元検波器アレイ3が、そのターゲット面で反射した反射波や散乱波を検知し、検知した反射波強度をダイオードの整流作用によって電圧値に変換する（S101）。なお、このような1次元検波器アレイ3としては、例えば、電磁波を受信するための平面スロットアンテナ等に、電磁波の反射強度を検知するためのショットキーダイオード等を接続したものを複数個用意し、一列に並べたものを用いることができる。

【0053】

その後、フィルタ回路4が、1次元検波器アレイ3から出力された検知信号からノイズ成分を除去し、AD変換器5が、除去後の検知信号から反射波強度を数値化して制御器8に伝送する（S102）。

【0054】

一方、スキャナ筐体50が走査されるに従って、距離センサ6が、車輪51の回転数からスキャナ筐体50の移動距離を検知し、制御器8に移動距離を伝送する（S103）。

【0055】

制御器8は、距離センサ6からの移動距離を受信すると共に、1次元検波器アレイで検知した反射波強度値を受信し、その移動距離に合わせて反射波強度値を次々と描画することでターゲット面内部の2次元透視画像を生成し（撮像装置に相当）、図1や図3を用いて説明した画像処理装置の機能により、生成された透視画像からひび割れを識別する（S104）。このような制御器8には、例えばパーソナルコンピュータ等を利用することができる。なお、制御器8は、処理後の画像を画面に表示するが、特にひび割れがあると識別した場合には、警報器7に警報信号を出力して、赤色点滅や警告音を出力させることも可能である。

【0056】

次に、第2のひび割れ検知システムについて説明する。図10は、第2のひび割れ検知システムの全体構成を示す図である。このひび割れ検知システム100bは、可視光線、赤外線、紫外線のいずれかを用いて測定対象物200を撮像するカメラ9と、画像処理装置1の機能を備えた制御器8とを備えている。このカメラ9にて画像が撮像されると、各画素の輝度信号と画素位置信号が制御器8に伝送される。その後、制御器8により、撮像された透視画像からひび割れが識別されて処理後の画像が画面に表示される。

【0057】

最後に、本実施の形態におけるひび割れ検知システムを用いてコンクリートのひび割れを撮像した結果について具体的に説明する。図11(a)に示すコンクリートの表面には、幅0.2mmのひび割れが発生している。このコンクリート表面に厚さ7mmのセラミックタイルを被せた状態で撮像したミリ波透視画像が図11(b)である。しかしながら、このミリ波透視画像には骨材等のノイズが含まれているため、視認によりひび割れの有無を判断することは困難である。

【0058】

ここで、図11(b)のAA'上の画素輝度値をプロットすると図11(c)のようになり、ひび割れの谷と骨材の谷が混在しており、結果として画像中のひび割れの視認性が悪いことが分かる。このミリ波透視画像に対して、上述した画像処理を施すと図12に示

10

20

30

40

50

すような結果を得ることができる。検出されたひび割れの形状は図 1 1 ( b ) のひび割れの形状と一致しており、図 5 を用いて説明したアルゴリズムが正しく動作していることを示している。なお、この入力画像のサイズは  $250 \times 200$  画素であり、パラメータ値はそれぞれ  $\alpha = 2000.0$  ,  $\beta = 1.0$  ,  $M = 20$  ,  $B = 20$  ,  $T = 30$  とし、 $t = 8$  のときにアルゴリズムは収束した。このアルゴリズムによって検知されるひび割れは図 4 において y 方向に生じているものであるが、入力画像を回転させて処理を行えば、全方向に生じたひび割れ検知に対応することが可能である。

#### 【 0 0 5 9 】

本実施の形態によれば、ミリ波、可視光線、赤外線、紫外線のいずれかの電磁波を用いて撮像された構造物の透視画像の各画素にそれぞれ対応し、ニューロン間の相互作用を対称とする 2 次元のニューロン配列を備え、各ニューロンにおいて、エッジ度算出部 1 3 a により対応画素のエッジ度を算出し、画素連結度算出部 1 3 b により周辺画素に対する対応画素の連結度を算出し、エネルギー値算出部 1 3 c によりエッジ度と連結度とに基づいてニューロンのエネルギー値を算出し、エネルギー値更新部 1 3 d により既存のエネルギー値を更新して、更新後のエネルギー値が、同一列における他ニューロンのエネルギー値以上の場合には、ニューロン値を 1 に更新し、他ニューロンのエネルギー値未満の場合には、0 に更新するので、視認性の悪いミリ波像、可視光線像、赤外線像、又は紫外線像から構造物表層に隠匿されたひび割れを検知することが可能となり、現場作業者がひび割れを見落とす危険性の低減と、作業効率の向上を実現することができる。

#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 0 6 0 】

- 1 ... 画像処理装置
- 1 1 ... 入力部
- 1 2 ... 記憶部
- 1 3 ... 処理部
- 1 3 a ... エッジ度算出部 ( エッジ度算出手段 )
- 1 3 b ... 画素連結度算出部 ( 画素連結度算出手段 )
- 1 3 c ... エネルギー値算出部 ( エネルギー値算出手段 )
- 1 3 d ... エネルギー値更新部 ( エネルギー値更新手段 )
- 1 3 e ... ニューロン値更新部 ( 識別情報更新手段 )
- 1 3 f ... ニューロン値出力部 ( 識別情報出力手段 )
- 1 3 g ... ニューロン値記憶部 ( 第 1 記憶手段 )
- 1 3 h ... エネルギー値記憶部 ( 第 2 記憶手段 )
- 1 4 ... 表示部
- 2 ... ミリ波発生器 ( 照射装置 )
- 3 ... 1 次元検波器アレイ ( 検波装置 )
- 4 ... フィルタ回路
- 5 ... A D 変換器
- 6 ... 距離センサ
- 7 ... 警報器
- 8 ... 制御器
- 9 ... カメラ ( 撮像装置 )
- 5 0 ... スキャナ筐体
- 5 1 ... 車輪
- 1 0 0 a ... 第 1 のひび割れ検知システム
- 1 0 0 b ... 第 2 のひび割れ検知システム
- 2 0 0 ... 測定対象物
- S 1 ~ S 1 0、S 1 0 0 ~ S 1 0 4 ... ステップ

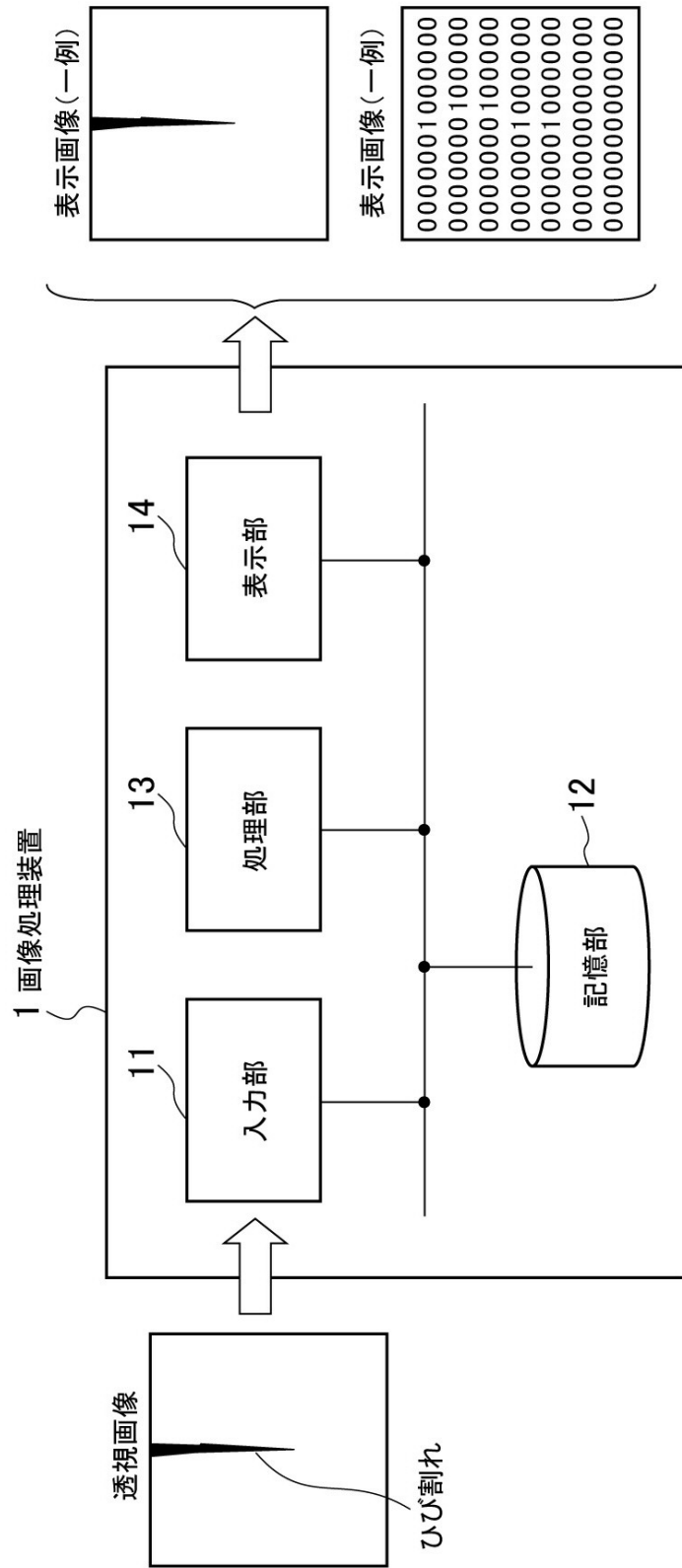
10

20

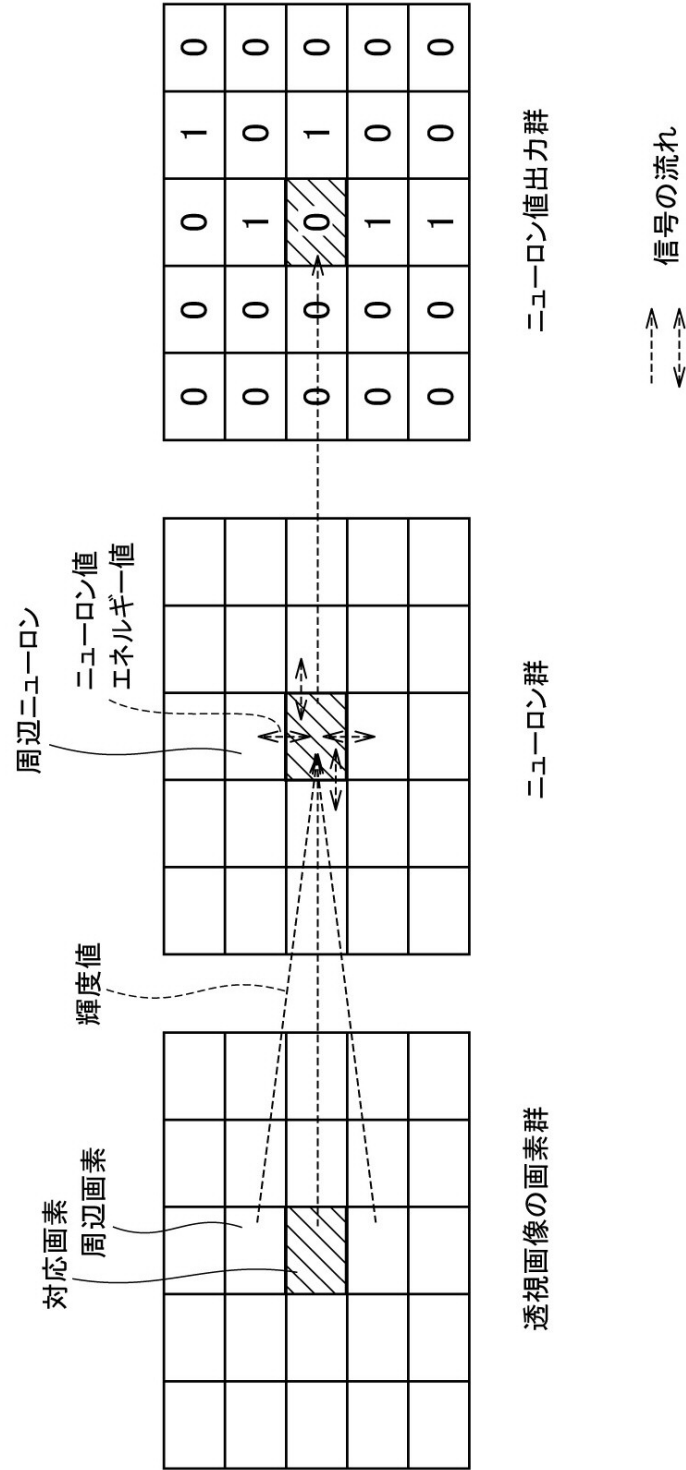
30

40

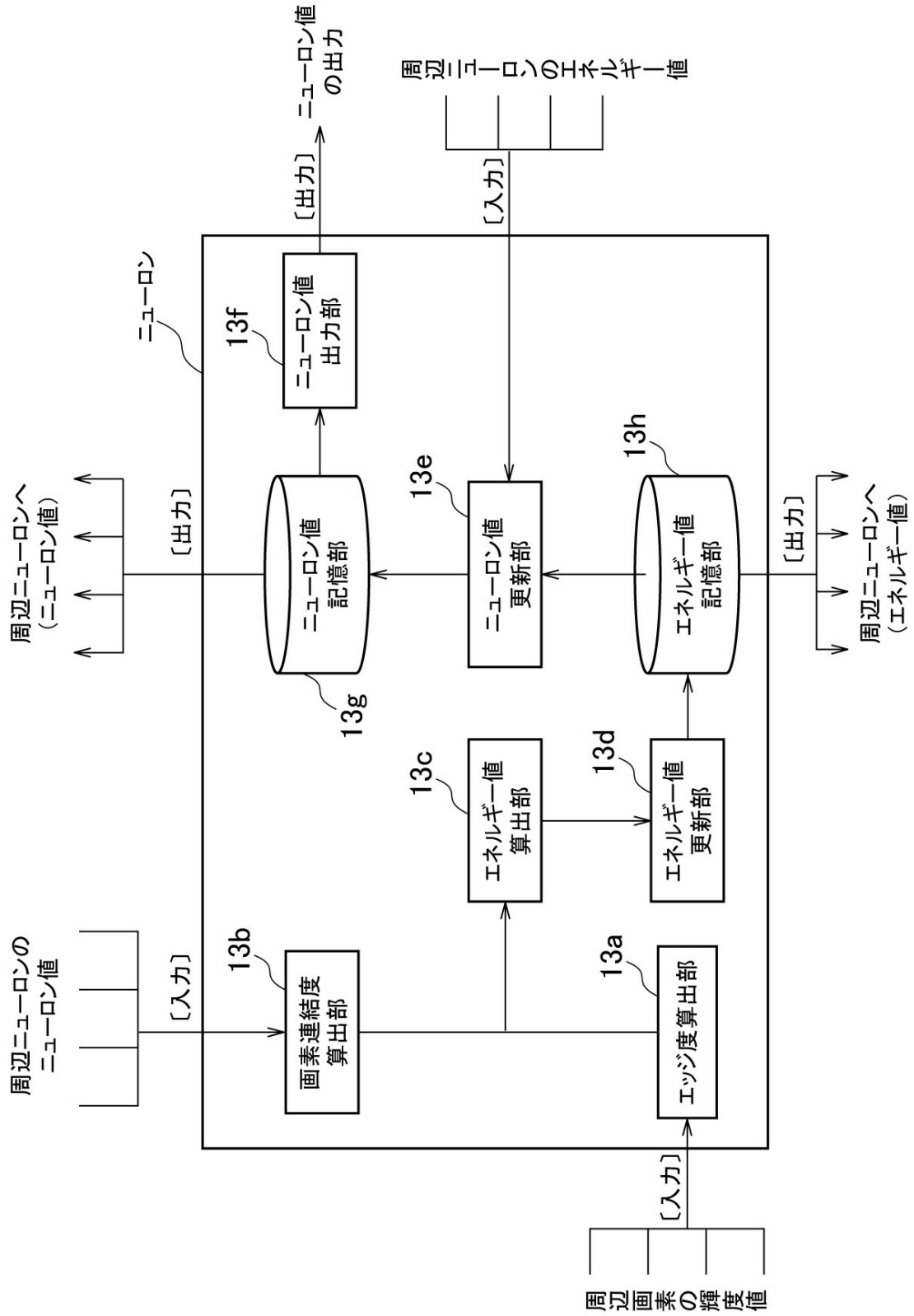
【図1】



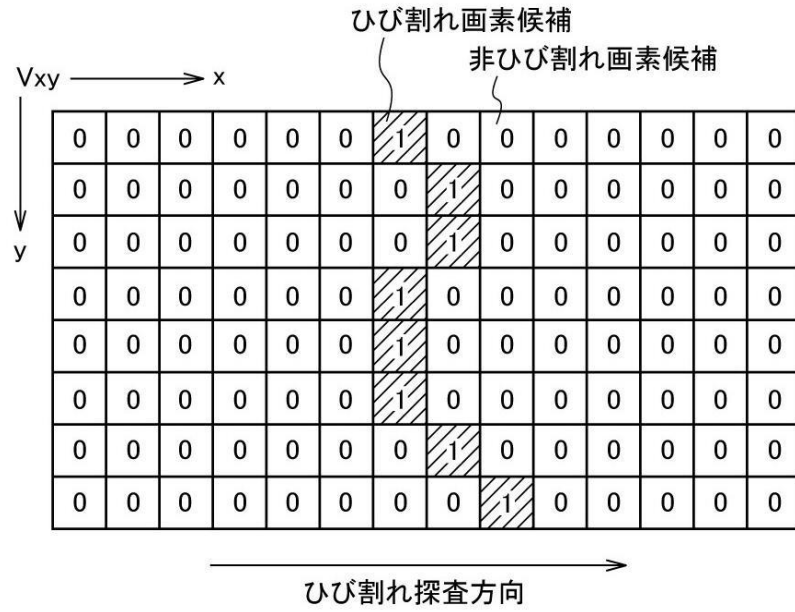
【図2】



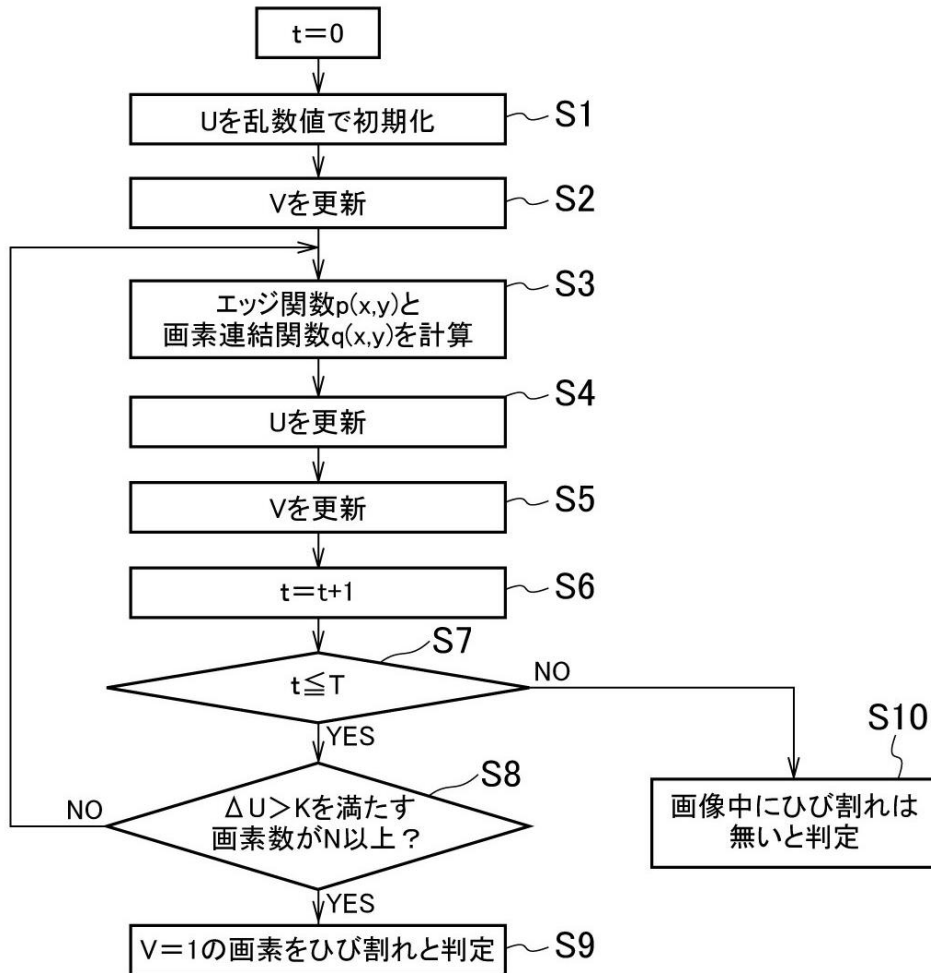
【 図 3 】



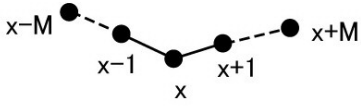
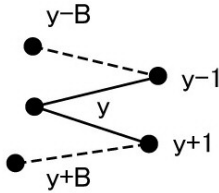
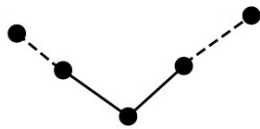

【図4】



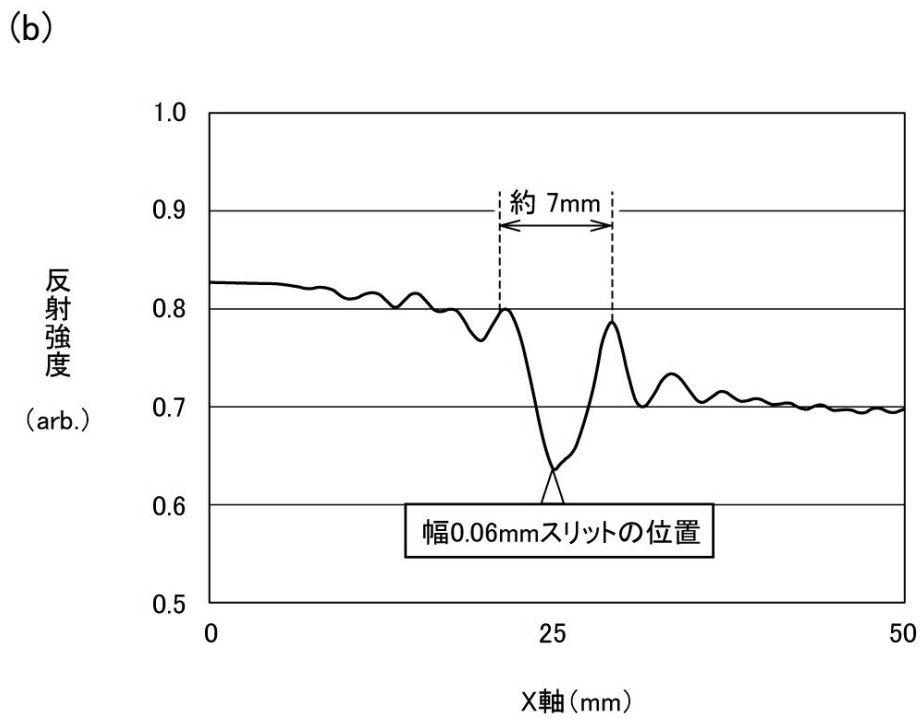
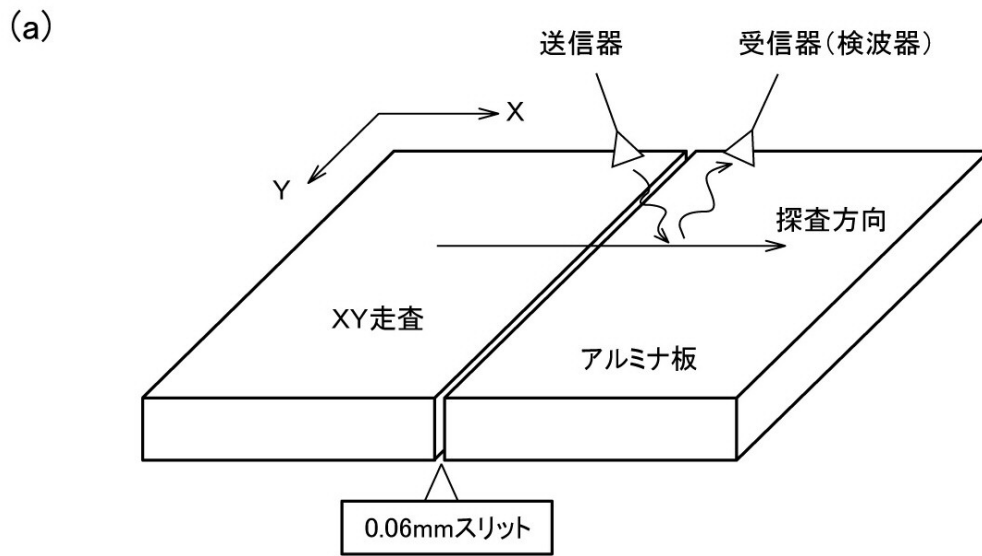
【図5】



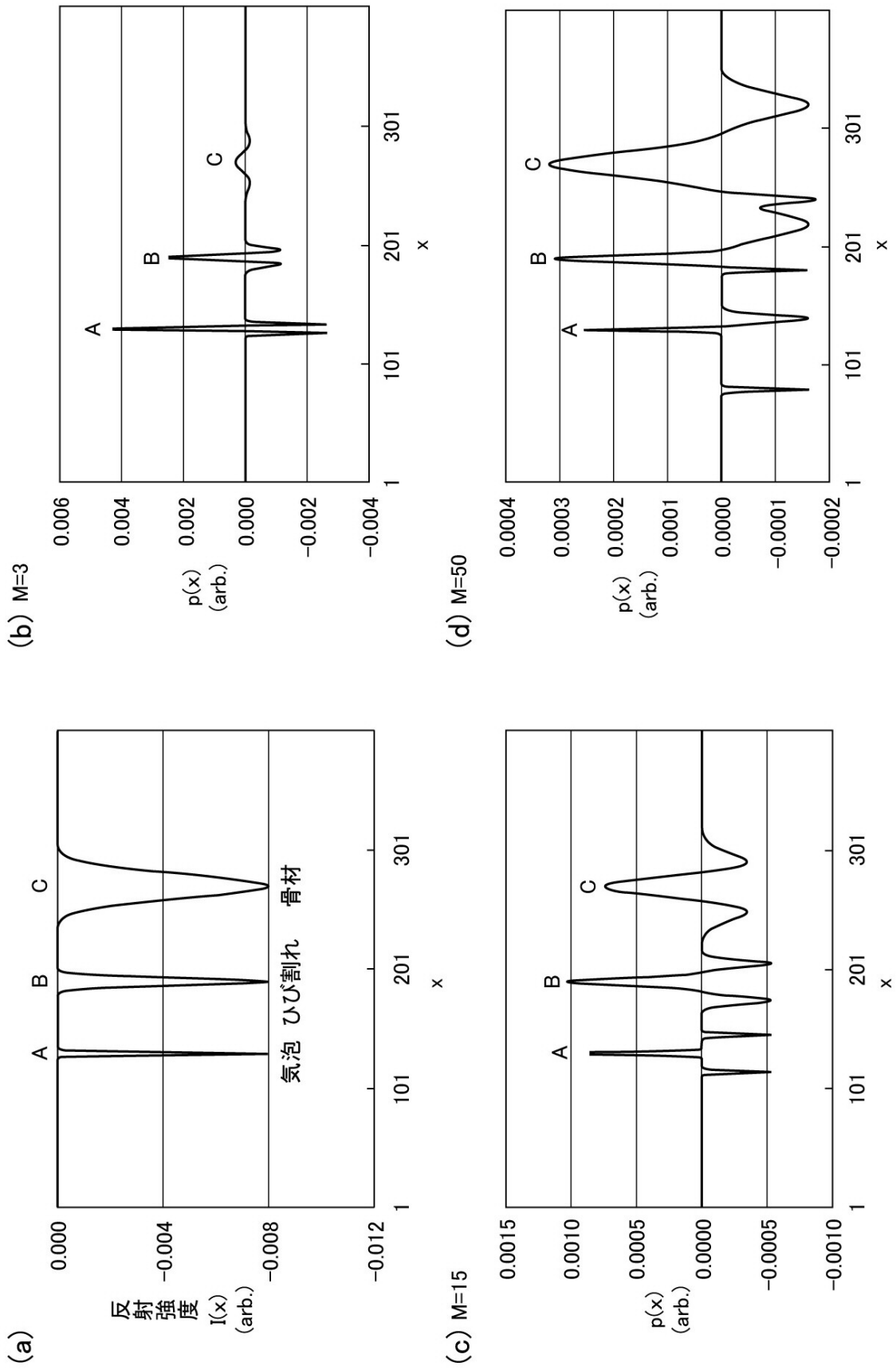
【 図 6 】

	$p(x,y)$ : エッジ関数	$q(x,y)$ : 画素連結関数
非 ひ び 割 れ 候 補	$p(x,y)$ の値が小さい 	$q(x,y)$ の値が大きい 
ひ び 割 れ 候 補	$p(x,y)$ の値が大きい 	$q(x,y)$ の値が小さい 

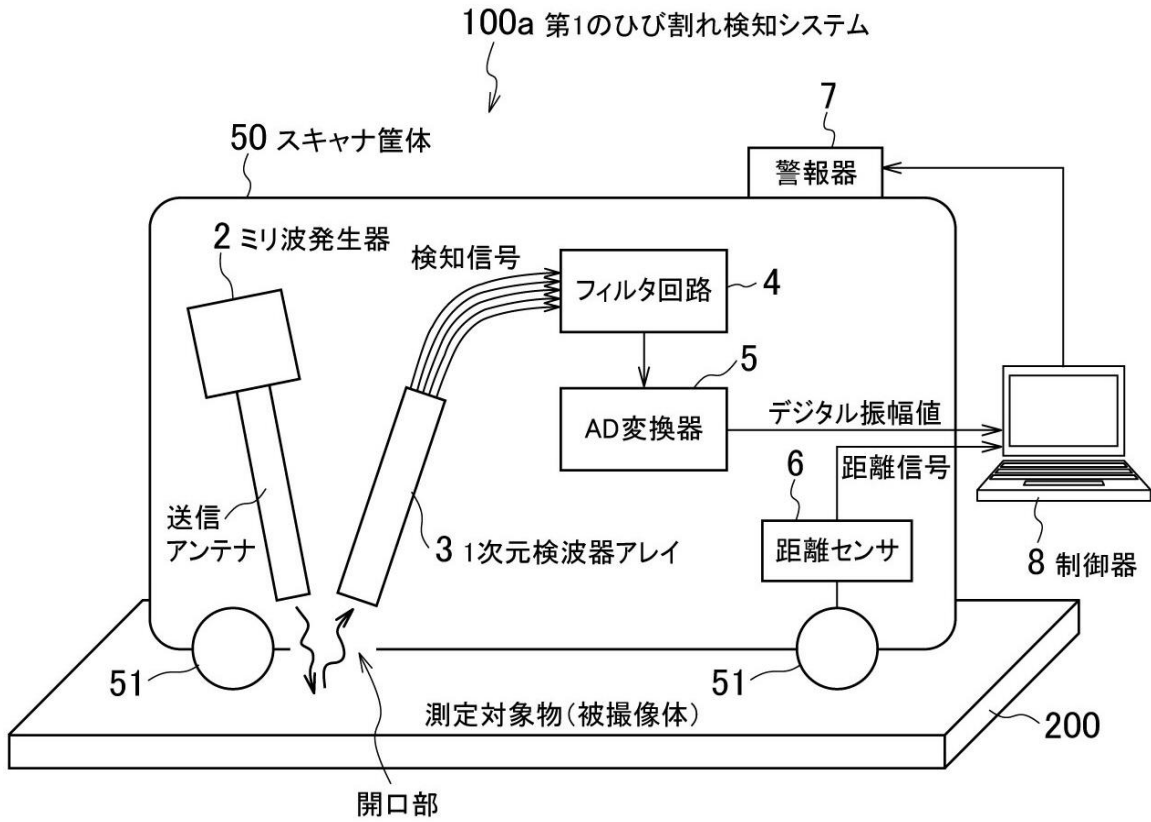
【図7】



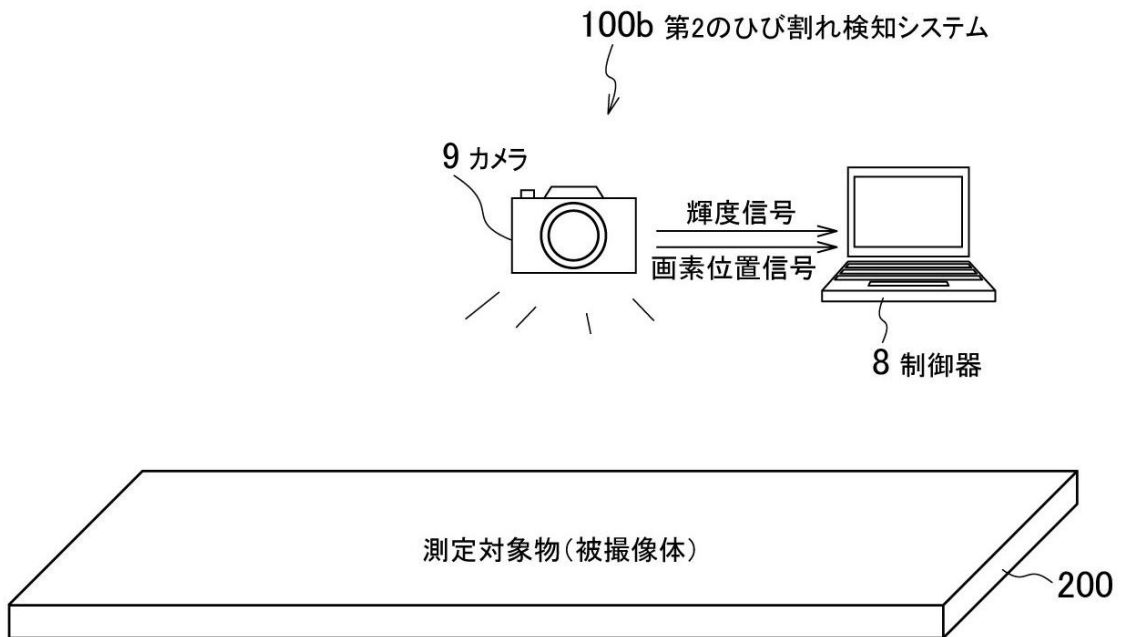
【 図 8 】



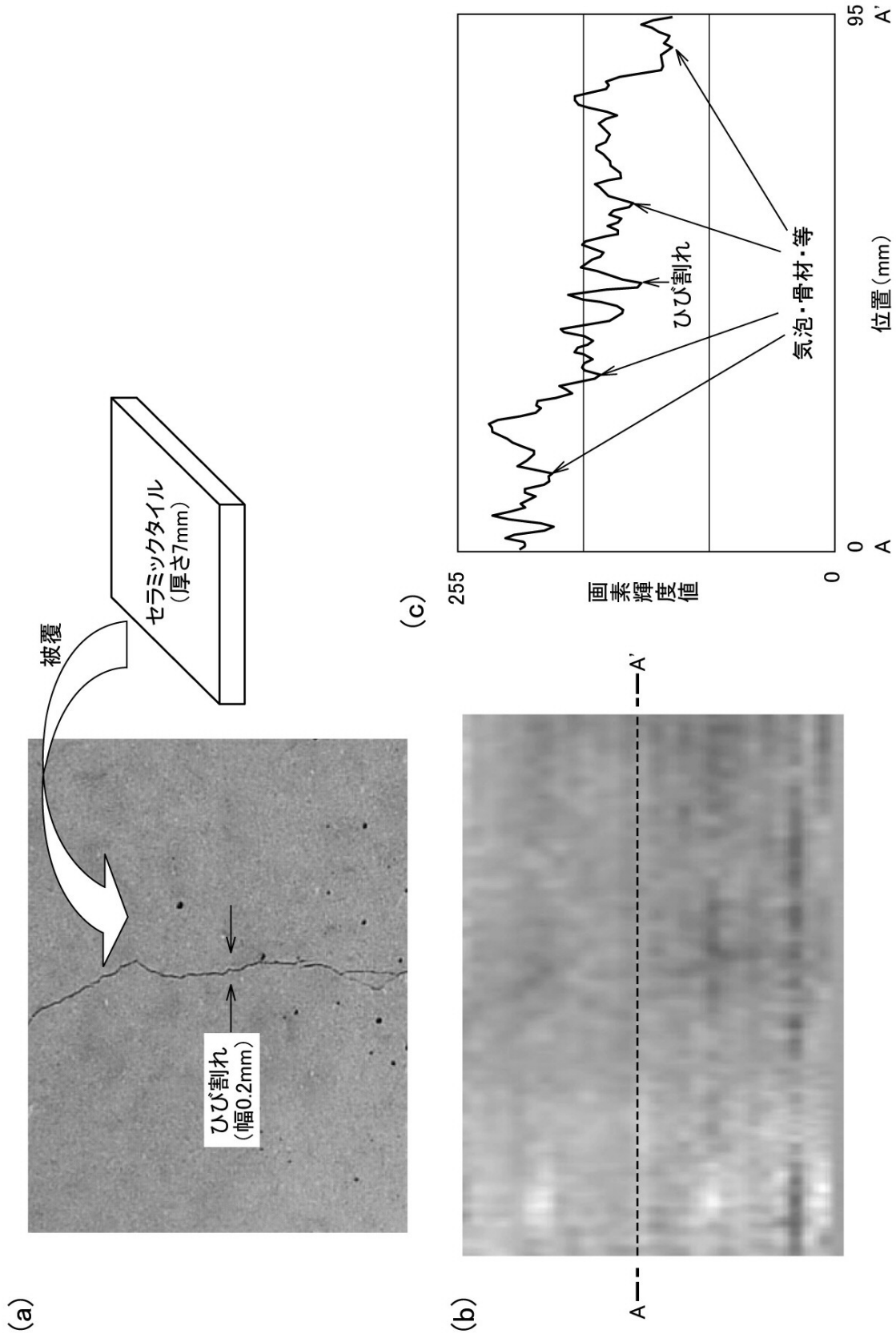
【図9】



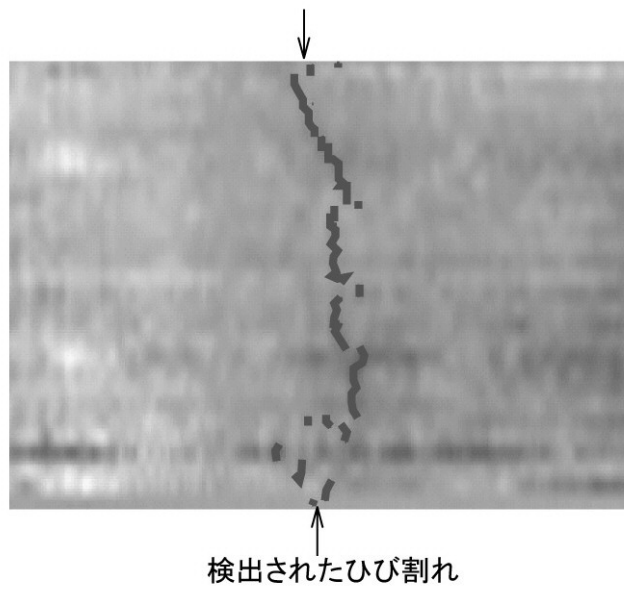
【図10】



【 図 1 1 】



【図 12】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 0 6 T 1/40 (2006.01) G 0 6 T 1/40

(72)発明者 都甲 浩芳  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 久々津 直哉  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 佐藤 実

(56)参考文献 特開平8-221567(JP,A)  
特開2009-133085(JP,A)  
特開平8-116446(JP,A)  
岡宗一 外2名,ニューラルコンピューティングの遊び方 12 自己組織化モデルによるMRI画像処理, bit, 共立出版株式会社, 1996年10月 1日, 第28巻 第10号, 第79~82  
頁

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G 0 6 T 7 / 0 0  
G 0 1 N 2 2 / 0 2  
G 0 1 S 1 3 / 8 8  
G 0 1 V 3 / 1 2  
G 0 6 T 1 / 0 0  
G 0 6 T 1 / 4 0