碍子検査用画像処理技術の開発

広岡 美和子* 八木 康史** 川戸 慎二郎***

Visual Inspection System for Insulators in Power Plant

Miwako HIROOKA Yasushi YAGI Shinjiro KAWATO

In this paper, we present a robust and flexible automatic inspection method of insulators in outdoor power plants. In outdoor environment, images of the objects to be inspected are varied both by weather and by time of inspection. To overcome this difficulty, we introduced two features to our method. One is that geometric features of insulators and their relations are modeled both for finding insulators and for detecting foreign articles on them. The other is that fifteen features are integrated into one inspection result. These two features make our method robust even in the outdoor environment.

Our method consists of three steps; (1) extraction of each insulator from a scene. (2) extraction of features such as projection, histogram, line fitting etc, and (3) detection of defective regions by integrating belief value of these features.

Though outdoor real image experiments, we confirmed that our method has as much reliable as human inspectors for detecting articles attached on the insulators.

Key Words: Image processing, Visual inspection, Plant patrol, Mobile robot, Insulator

1. はじめに

発電所・変電所では、安定した電力供給を維持するために定期的な点検・保守のための巡視作業が行われている。巡視点検作業とは、機器を運転状態のまま事故原因となり得る異常を発見し、事故を未然に防止することである。

これらの作業は、運転員・保守員が構内を巡回する目視作業によって行われてきたが、構内全域を点検するには多くの時間と注意力を要する。

これに対して作業者の負担軽減、作業品質・安全性の向上を目的とした自動化ニーズがあり、様々な開発が行われている^{1),2),3)}。1つは、観測したい場所にカメラを設置し、モニタ観測により異常を検知する方法

である。一部の無人変電所などでは、このモニタ観測により変電所構内全体の監視を行っている。監視員は、遠方の監視室よりモニタで全体に異常がないか確認し、異常らしい場合は、カメラ操作で、その部分をズームアップし観測する。しかし、このシステムでは、全機器を観測するには多数のカメラを必要とするため、コスト面や観測点の柔軟な変更などの面で問題がある。それに対し、移動ロボット上にカメラ等のセンサを搭載した点検システムは、自由に移動できるため、人の代わりに構内を巡視点検でき、自動化に適するといえる。

従来、屋内施設用では、通産省の大型プロジェクト「極限作業ロボット」など自律移動ロボットによる点検システムの開発例がある^{4)~7)}。屋内では、天候等による環境変化も少なく、自動検査が比較的行いやすい。現に研究段階ではあるが、水・蒸気漏れ検査、計器読み取り、バルブの抽出などをカメラからの入力画像を画像処理することで実現する実用的研究が報告されて

原稿受付 1992年11月19日

* 三菱電機株式会社

** 大阪大学基礎工学部

*** 株式会社エイ・ティ・アール

いる^{8)~12)}。筆者らも、屋内用の巡視点検ロボットシステムを開発し、水・蒸気漏れ検査、計器読み取りなどの自動検査技術の開発を行った¹²⁾。一方、屋外環境では日照条件等の天候要素により、観測条件が一定しないため、屋内で利用した画像処理方法では安定した点検を行うことができない。変電所などの点検システムとして、カメラを積載した自走車がレール上を移動するシステムの開発例があるが、このシステムでも作業者やモニタで監視するレベルで、点検の全自動化は行っていない。そこで我々は、移動ロボット上に搭載されたカメラからの入力画像を処理することで、変電所等の屋外環境で適用可能な巡視点検方法を検討している。

変電所における巡視点検の代表的項目としては、以下の4つが挙げられる。

- (1) 外観検査 (碍子、電線、鉄塔などの破損、異物付着の発見)
- (2) 漏れ検査 (水、油などの漏れ)
- (3) 計器読み取り (油圧、水圧計、電圧計など)
- (4) 侵入監視 (人、鳥、小動物、飛来物など)

これらの異常が原因で地絡などの事故が起きた場合、異常原因が特定できるまで復旧できず、その社会的影響、損害は甚大である。本論文では、これらの点検項目のうち碍子の外観検査方法について報告する。

移動ロボットの停止位置や姿勢は、ある程度誤差があるため、あらかじめ各観測位置での対象物の観測方向を教示しておいても、画像への射影位置は点検のたびに異なる。したがって、単純な基準画像との差分処理では、検査画像と基準画像との撮像位置のずれによって、正常な対象物でも差分値が発生し、異常と判定される。

また、屋外環境では、日照条件が日々または時刻により変化するため、点検時の入力画像の濃淡や対象物、対象物の影、背景のコントラストや大きさは変化する。そのため、あらかじめ記憶させておいた基準画像との差分値または相関値を計算する方法では、正しい位置でも輝度値が異なり、正常対象物を異常と誤判定する可能性がある。さらに基準画像を用いる方法では、各々に対して幾つかの方向から見た基準画像を用意する必要がある。また、日照条件の違いによる基準画像も用意する場合、点検対象となる碍子はプラント内に数百、数千と存在するため、膨大な基準画像を必要とする。ゆえに碍子検査では、基準画像との比較を利用するのではなく、碍子が本来持つ共通な形状的特徴をすることが望ましい。

本論文では、碍子の絶対的大きさは利用せず、その幾何学的特徴である円盤状のひだが、ほぼ等間隔に積み重ねられた形状をしていることを利用し、外観検査を行う手法を提案する。異常検出に当たっては、円盤状のひだの繰返し性と各ひだの輪郭の連続性を評価する^{13),14)}。次節以降では、前処理である碍子領域の切り出し手法、各種異常の検出手法、データの統合化手法について述べる。また、碍子のサンプル画像での実験結果により本手法の有効性を示す。

2. 碍子不良の特徴

碍子の異常状態は、Fig. 1に示すように、主に飛来物の付着と碍子自身の破損による割れ欠けの2種類に大別される。また、異常の大きさ、位置、形状、付着物の場合はさらに材質などによって異常の現れ方は様々である。

付着物の場合、特に異常の現れ方が異なる。Fig. 1(a)に示すように大きな異物が付着している場合、1つのひだ全体または複数のひだを覆い隠すことがある。このような場合、周期的に繰返されるはずのひだが、異物によりその周期性が失われることが多い。しかし、Fig. 1(b), (c)に示すように異物の大きさが小さくなるにつれ、全体としての周期性が失われることよりも、局所的に見た場合の周期性が失われる意味が大きくなる。また、ひだに異物が付着しているような場合は、ひだの滑らかさ、連続性が失われている。すなわち、付着物の大きさにより検査項目を変更する必要がある。大きい付着物では、全体を眺めるような巨視的検査を必要とし、小さくなればなるほど局所の特徴をとらえやすい微視的検査を必要とする。また、形状、位置、材質についても同様に考えられる。すなわち、Fig. 1(d)に示すひだの間に付着した紐状の細長い異物に対しては、ひだの連続性、滑らかさの評価から検出することは難しいが、紐の存在により、ひだの周期性に対して影響を及ぼす。しかし、ひだに対して垂直に付着する場合は、周期性の評価から異物を検出するのは困難であるが、ひだの輪郭の滑らかさを評価すれば、容易に検出できる。材質では、Fig. 1(e)のように半透明ないしは透明なビニールが付着した場合、ビニール自身がつくる陰影により周期性に影響を及ぼす場合もあれば、ビニールが引掛かっている領域だけ濃度密度が低くなる場合もある。

割れ欠けについては、飛来物の衝突などでFig. 1(f), (g)のように碍子の円盤状のひだが欠ける場合やFig. 1(h)のようにひび割れが入る場合がある。両

Fig. 1 Classification of insulator defects

者とも、周期性に関してはあまり影響を与えないが、ひだの輪郭の連続性や滑らかさに異常を来す。前者については、割れた部分で表面状態、面の方向も異なるため、影になるなど濃度値が正常な部分と異なる。

したがって、すべての異常を検出するためには、単一の処理で対応するのは困難であり、複数の処理を用

意し総合判定を行う必要がある。次章以降で検査方法の詳細について述べる。

3. 碍子検査の概要

処理全体の流れを Fig. 2 に示す。カメラを搭載した台車は固定ルートを移動し、点検を行う位置で停止する。この停止位置及びカメラの観測姿勢は、あらかじめ教示しておく。ロボットの停止精度の問題等により、画像中での碍子位置は点検のたびに異なる。そこで、検査画像から碍子の映し出されている位置を計算する。抽出された碍子が画像面の端に存在する場合、碍子の一部が画面からはみ出ることがある。そこでこのような場合は、画像中心部に碍子がくるようにカメラを回転させる。さらに本来碍子が映るべき位置で碍子が発見できない場合には、左右上下に所定カメラを回転し、碍子抽出処理を繰り返し、碍子領域を発見する。発見できない場合は、検査不能として変電所の監視員に警告する。

本論文では、画像面中央付近に碍子が映し出されたものとして、以降の検査方法の話を進める。また、ここで扱う碍子画像は、基本的に点検対象の画像を真横から撮像したもので、視野は碍子 1 本がちょうど入る 1 m^2 から碍子 2 本が入る 50 cm^2 の範囲になるように

Fig. 2 Process sequence

撮像する。さらにカメラから碍子の距離を碍子の長さより十分大きくとり、碍子が多少傾いていても碍子の円盤状のひだの大きさが最上段と最下段で大きく変化しないように撮像する。

検査画像から碍子領域を切り出した後、その領域内の画像について異物検査を行う。検査処理は、エッジ画像、濃淡画像双方に対し、巨視的及び微視的变化を観測する方法を複数個用意し、総合的に評価する。具体的には、投影法、濃度ヒストグラム法、ラインフィッティング法、輪郭線トラッキング法、濃度周期法と名付けた5つの手法で碍子の形状的特徴であるひだの周期性と輪郭線の連続性を評価する。さらに各手法ごとに求めた確信度をまとめ総合判定を行う。

4. 碍子領域の抽出手法

カメラを搭載した台車は、所定位置まで移動し検査するが、停止の際に停止位置誤差やカメラ回転台の回転角度を生ずるため、あらかじめティーチング座標から碍子領域を切り出すことができるほど、再現性の高い検査画像は得られない。そこで、碍子の形状的特徴を利用して、画像中から碍子の領域を切り出すこととした。以下 Fig. 3 に示す領域切り出し処理の概要を説明する。

碍子は Fig. 4 に示すように、同じ大きさの円盤が同心円上に重なったような形をしているので、水平方向にひだの凹凸が現れ、凹の影の部分と凸の明るい部分ができる。そこで Fig. 5 に示すように入力画像を

Fig. 3 Extracting insulator region

微分し、水平方向のエッジ成分のみを抽出し2値化する。次に Fig. 6 に示す水平方向以外の方向成分を抽出し、水平方向成分の領域に対しマスクングを行う。一般に画像の背景部分は、水平以外の方向のエッジ成分を持つので、上記のマスクング処理の段階で背景はほぼ取り除くことができる。さらに Fig. 7 のように碍子が2つ以上重なって見える場合も、マスクングにより両碍子の境界領域のエッジ成分が排除されるので分離できる。架線などの水平エッジ成分に対しては、次の垂直方向への投影により排除する。

Fig. 8 のように、碍子領域では水平エッジ成分が密に存在するので垂直方向の投影は大きな値を取る。架線などのケーブル部は、碍子領域と比べてエッジの本

Fig. 4 Input image

Fig. 5 Horizontal edge element

Fig. 6 Other edge element

Fig. 7 Subtracting Fig. 6 from Fig. 5

Fig. 8 Projection in the vertical direction

Fig. 9 Projection in the horizontal direction

数が少ないので投影値も小さくなる。したがって所定のしきい値以上となる範囲を碍子領域として切り出し背景と分離することができる。さらに Fig. 9 のように、切り出された各領域ごとで水平方向に投影をとり、所定のしきい値以上の範囲を垂直方向の碍子領域とし、各碍子領域を決定する。

5. 異物検出法

Fig. 10 に示すように異物検出処理は、次の 2 段階からなる。

(特徴量抽出処理)

入力及び微分画像に対して、複数の処理を施すことで特徴量を抽出し、その値から異常の度合を表す異常評価値、確からしさを表す異常確信度/正常確信度を求める処理。

(総合判定処理)

個別の特徴量から出た異常確信度を統合し、総合判定を行う処理。

5.1 特徴量抽出処理

検査は、全体を大まかに見る巨視的検査と微細な部分のチェックを行う微視的検査に分けられる。巨視的検査として投影法、濃度ヒストグラム法、微視的検査

Fig. 10 Process sequence

として輪郭線トラッキング法、濃度変化法、その中間的なものとしてラインフィッティング法がある。

5.1.1 投影法

ひだは周期的に平行に並んでおり、そこに日光が照射すると、ひだの明暗は凹凸に伴って明るい箇所と影になって暗い箇所ができる。この明暗の変化はひだの形状と同様に周期的である。したがって、微分画像の水平方向への投影値は、周期的にピークを作る。そこで、投影法では、このピークの位置や高さ、幅等の形状の特徴を計測し、碍子の外観検査を行う。処理手順の概要を以下に述べる。

Fig. 11 に示すような入力検査画像に対し、Sobel 等のエッジの方向性を保持した微分処理を施し、Fig. 12 のように暗から明へ変化した正の微分画像と、明から暗へ変化した負の微分画像を作り、それぞれ 2 値化しエッジ画像を得る。以下の処理(次章以下を含む)については、正負双方の画像に同様の処理を行うものとする。

次に微分画像を水平方向に投影し、Fig. 13 のようなひだの周期・高さ・幅の特徴量を計算する。ここで i 番目のひだに対する投影値のピーク値を p_i 、ピーク値における y 座標をひだ位置を y_i 、所定のしきい値における投影値の幅を w_i と、 i 番目と $i+1$ 番目のひだ間隔を d_i とする。このとき、特徴量と標準値からそれぞれの特徴量について式(1)～(6)の異常評価値が得られる。

Fig. 11 Input image

Fig. 12 Edge picture & horizontal projection data

Fig. 13 Extracting feature from projection data

- 標準のピーク間隔と比較

$$k1_i = \frac{|y_i - y'_i|}{d_s} \quad (1)$$

ただし、 y'_i は正常時のピーク位置。

- 隣接した領域のピーク間隔と比較

$$k2_i = \frac{|d_i - d_{i-1}|}{d_s} \quad (2)$$

ただし、 $d_i = y_{i+1} - y_i$

belief function of each criteria

Fig. 14 Belief function

- 標準のピーク値と比較

$$k3_i = \frac{|p_i - p_s|}{p_s} \quad (3)$$

- 隣接した領域のピーク値と比較

$$k4_i = \frac{|p_i - p_{i-1}|}{p_s} \quad (4)$$

- 標準のピーク幅と比較

$$k5_i = \frac{|w_i - w_s|}{w_s} \quad (5)$$

- 隣接した領域のピーク幅と比較

$$k6_i = \frac{|w_i - w_{i-1}|}{w_s} \quad (6)$$

なお標準値 (d_s, p_s, w_s) は着目中の碍子特徴量の最多値を用いている。すなわち、ひだ間隔データ $d_1, d_2, \dots, d_n$ のうち最も多い値をひだ間隔標準値 d_s とする。ひだの高さ標準値 p_s 、有意投影値の幅、すなわちひだの幅 w_s も同様に最多値を採用している。

これは、一般に碍子の異常はせいぜいひだ数個にのみ及んでおり、ほかの大部分の領域は正常であることがほとんどなので、値のそろった最多値の領域を正常値、すなわち、標準値とみなすことができるからである。この方式を採用すると、点検対象の碍子ごとに碍子の大きさや幅をティーチングすることなしに点検を実行できる。

次に異常評価値を異常確信度/正常確信度に変換する。例えば Fig. 14 のような確信度定義関数をあらかじめ定義し、異常確信度/正常確信度を求める。 $k1_i \sim k6_i$ に対応する異常確信度を $e1_i \sim e6_i$ 、正常確信度を $c1_i \sim c6_i$ とする。

投影法は巨視的な検査手法として有効であるだけでなく、ノイズに対して安定した判定が行えるので検査画像全体をひだごとに区切り、個々のひだ領域に分割する手法として有効である。そこで本システムでは投影法による領域情報を基準領域として、各領域ごとに

Fig. 15 Separating each folds of insulator

Fig. 16 Gray-level histogram

良否の評価を行う。すなわち投影法以外の手法での評価もこの領域ごとに行い、総合判定もこの領域ごとに行う。Fig. 15 に示すようにひだの領域化は、各投影値のピーク位置間の中点を用いて行う。

5.1.2 濃度ヒストグラム法

Fig. 16 を用いて濃度ヒストグラム法を説明する。正常な碍子の場合、投影法により分割された各ひだ領域内の濃度は本来同じような分布を示す。Fig. 16 では3つのひだ領域の濃度ヒストグラムを例示しているが、上段グラフと下段グラフのように異物を含まないひだ領域では濃度ヒストグラムは似ている。それに対して、異物などがあると Fig. 16 中段のグラフのように濃度ヒストグラムが変化する。濃度ヒストグラム法ではこの2つのひだ領域それぞれの濃度ヒストグラムの相関値を評価することで碍子の状態を検査する。

入力された検査画像に対し、各ひだ領域ごとに濃度ヒストグラムを求める。隣接した領域の濃度ヒストグラム間で相関値を求め、これを特徴量とする。相関値 r_i は、

Fig. 17 Boundary image

Fig. 18 Defect extraction by line fitting

$$r_i = \frac{\sum (h_i \cdot h_{i+1} - h_{s_i} \cdot h_{s_{i+1}})}{\sqrt{\sum (h_i - h_{s_i})^2 \cdot \sum (h_{i+1} - h_{s_{i+1}})^2}} \quad (7)$$

で表現される。ただし h_{s_i} は領域 i における濃度平均である。このとき異常評価値は、次式で与えられる。

$$k7_i = 1 - r_i \quad (8)$$

そして投影法と同様に異常評価値を、異常確信度/正常確信度に変換し、 $k7_i$ に対応する異常確信度を $e7_i$ 、正常確信度を $c7_i$ とする。

5.1.3 ラインフィッティング法

正常な碍子では、ひだの輪郭部は同一形状である。そこで、ラインフィッティング法では、ひだの輪郭線を隣接間で比較することによって、輪郭線上の不良状態を検査する。処理の概略は、以下の通りである。

Fig. 12 で示すエッジ画像を細線化し、Fig. 17 のような輪郭線画像を作る。領域内で最長の輪郭線をテンプレートとし、各ひだ領域内でテンプレートと最も一致する輪郭線の位置を求める。異常評価値は、テンプレートと一致する画素数と不一致なものとを計算し、特徴量とする。

$$\text{一致度 } k8_i = 1 - \frac{\text{不一致点数}}{\text{全長}} \quad (9)$$

$$\text{不一致度 } k9_i = \frac{\text{不一致点数}}{\text{全長}} \quad (10)$$

特徴量 $k8_i \sim k9_i$ に対応する異常確信度を $e8_i \sim e9_i$ 、正常確信度を $c8_i \sim c9_i$ とする。

5.1.4 輪郭線トラッキング法

正常な碍子のひだの輪郭線は周期的に現れ、規則正しく並ぶ。この輪郭線の位置や連続性・方向性等の形状の特徴を計測し、異常部を抽出するのが輪郭線トラッキング法である。処理の概略は以下の通りである。

ラインフィティング法と同様な方法で入力画像から輪郭線画像を作る。次に **Fig. 19** に示すように等間隔に垂直な基準線を設定し、輪郭線との交点をトラッキングの始点とし、各輪郭線をトラッキング（追跡）する。ひだ方向には投影法の領域分けを用い、縦には基準線を中心に区切ることによって小領域を作り、この小領域ごとに異常評価を行う。領域の名前は縦・水平の番号 (i, j) で区別する。ひだの領域座標を基に各領域に輪郭線を割り当て、各領域に対し、**Fig. 20** に示すような方向性・連続性・周期性の評価を行う。周期性については、投影法で求めたひだの標準周期と比較する場合、並びに、隣接領域間で比較する場合の2通りで評価を行う。すなわち、式(11)～(14)に示す4つ

の異常評価値を求める。

・方向性

$$k10_{ij} = \begin{cases} 0 & (\text{正常時}) \\ 1 & (\text{異常時}) \end{cases} \quad (11)$$

・標準の輪郭線の長さと比較

$$k11_{ij} = \frac{l - l_i}{\text{正常時の長さ}} \quad (12)$$

・標準の輪郭線の間隔と比較

$$k12_{ij} = \frac{|y_i - y_i'|}{d_s} \quad (13)$$

・隣接した領域の輪郭線の間隔と比較

$$k13_{ij} = \frac{|d_i - d_{i-1}|}{d_s} \quad (14)$$

そして異常評価値を異常確信度/正常確信度に変換し、 $k10_{ij} \sim k13_{ij}$ に対応する異常確信度を $e10_{ij} \sim e13_{ij}$ 、正常確信度を $c10_{ij} \sim c13_{ij}$ とする。

5.1.5 濃度周期法

碍子のひだは周期的な凹凸にあわせて、影の部分と明るい部分が交互に現れるので、垂直方向にスキャンすると濃度は明るい箇所から暗い箇所へと規則正しく変化する。正常な碍子の場合、ひだごとの濃度列は同じように変化するので、2つの濃度列の相関値は高い。それに対し、異物によって濃度の変化がほかのひだの濃度列と大きく異なる場合、2濃度列間の相関値

Fig. 19 Region for boundary tracking

Fig. 20 Defect extraction by boundary tracking

Fig. 21 Gray value on each vertical baselines

Fig. 22 Gray value on each folds of insulator

は低くなる。

この相関値からひだの状態を検査するのが濃度周期法である。処理の概略は以下の通りである。

Fig. 21 のように輪郭線トラッキング法のとき用いた基準線ごとの濃度列を作る。 j 番目の基準線と $j+1$ 番目の基準線との相関値 r_j を求める。各基準線をひだごとに分割して **Fig. 22** のような小濃度列を作る。 j 番目の基準線の i 番目のひだの小濃度列と $i+1$ 番目のひだの小濃度列との相関値 s_{ij} を求め、異常評価値を計算する。

$$k14_{ij}=1-r_j \quad (15)$$

$$k15_{ij}=1-s_{ij} \quad (16)$$

そして異常評価値を異常確信度/正常確信度に変換し、 $k14_{ij} \sim k15_{ij}$ に対応する異常確信度を $e14_{ij} \sim e15_{ij}$ 、正常確信度を $c14_{ij} \sim c15_{ij}$ とする。

5.2 総合判定法

式(1)～(6), (8)～(16)に示す各異常評価値 $k1_{i,j} \sim k15_{i,j}$ は **Fig. 14** に示すような確信度評価関数により、異常確信度 $e1_{i,j} \sim e15_{i,j}$ 、及び正常確信度 $c1_{i,j} \sim c15_{i,j}$ に変換される。**Fig. 23** に示すように最終的判定はこれら得られた異常・正常確信度のデータを統合することで行う。

総合異常確信度 e は、各手法の異常確信度の中の最大値、総合正常確信度 c は、各手法の正常確信度の中の最小値とする。

このとき、しきい値を設定して、総合異常確信度 e と総合正常確信度 c の差がしきい値 th より大きく、

Fig. 23 Process sequence of total judgement by integrating right & wrong brief value

かつ総合異常確信度が総合正常確信度より大きい場合は「異常あり」と判定する。また総合異常確信度 e と総合正常確信度 c の差がしきい値 th より大きく、かつ総合正常確信度が総合異常確信度より大きい場合は、「正常」と判定する。さらに総合異常確信度と総合正常確信度の差が、しきい値 th より小さい場合は、「結果不明」と判定する。

6. 実験結果と検討

入力画像から碍子の領域を切り出す処理と異物検出処理の一連の動作について、適用した結果を検討する。

Fig. 24 は碍子領域切り出しの処理例、**Fig. 25** は異物検出処理例の写真である。白線で示す領域は本手法によって抽出された異常箇所、黒線は目視による異常箇所、及び原画像の重ね表示である。

実験の画像は VTR で撮像したものをイメージメモリにラッチしたもので、垂直視野は 1 m、分解能 512×480 画素、256 階調、撮像日の天候は晴れて、午後 2 時から 3 時の時間帯に撮像を行った。また、異物のサンプルは、淡いピンクの画用紙を直径 3.5 cm、4.0 cm、5.0 cm、6.0 cm、8.0 cm、10.0 cm の円形にそれぞれ切ったものを用いた。結果を **Fig. 26** に示す。

Fig. 27 のグラフの横軸は異物の大きさで、縦軸は異常確信度である。**Fig. 28** 上には総合判定の結果を太い線で、統合化する前の各異常確信度の代表例を細い線で表している。

このグラフから分かるように、総合異常評価を行うことで、個別手法の異常評価値よりも安定した評価ができ、さらに検出精度が向上した。

次に、異常確信度と正常確信度の差のしきい値、すなわち、総合判定処理の流れを示した **Fig. 23** 中のしきい値 th は実験的に 0.2 と設定し、総合異常確信度による異物検出能力と各手法の個別段階での異物検出能力、目視による異物検出能力を比較した。これを **Table 1** に示す。表中、○印は異物部検出が正しくできた場合、△印は結果不明の場合、×印で検出できなかった場合である。

この表から、以下の 2 点を確認できた。

- (1) 総合異常評価値を導入することによって、直径 4.0 cm 以上の異物は確実に検出できる。
- (2) 目視能力と同程度、またはそれ以上の検出能力である。

(a) Input image

(b) Horizontal edge element

(c) Other edge element

(d) Extracting insulator region

Fig. 24 An example of extracting insulator region

(a) Input image

(b) Edge image

(c) Thinning image

(d) Result of inspection for a defective insulator

Fig. 25 An example of inspection for a defective insulator

Table 1 Comparing the ability of defecting a foreign article

Size of matter	Human eyes	Our method
3.5 cm	×	△
4.0 cm	△	○
5.0 cm	○	○
6.0 cm	○	○
8.0 cm	○	○
10.0 cm	○	○

Fig. 26 Relation between brief value and size of a foreign article

7. む す び

本報告では、屋外環境に設置された碍子の外観検査の手法について報告した。本手法は、碍子の形状的特徴であるひだの周期性及び各ひだの輪郭形状の連続性などを評価基準としている。そのため、対象となる碍子の位置や検査を行う時刻、季節、天候の違いによる影など入力画像における見かけの碍子形状の変化に対してある程度柔軟に対応できるものと考えられる。

また、異常評価値を異常確信度/正常確信度に変換することによって、様々な評価値を1つの尺度で表現

できる。よって、検査手法の数にかかわらず、各手法から得られた評価結果の統合を容易に行える。さらに、各手法の評価結果を統合化して良否判定を行うので、相補的に安定した評価ができる。実験から直径4 cm以上の異物を検出できることが確認できた。これは、目視と同程度の能力であり、実用可能なレベルであると考えられる。

この実験時の異常確信度・正常確信度の確信度関数の定義や総合判定に用いるしきい値などのパラメータの調整は、基礎実験の結果に基づいて行った。

エッジ画像を生成する際の2値化のしきい値は、現在、判別法を用いているが、環境変化に対してどの程度信頼性よくエッジ画像が生成できるかは重要なポイントであり、今後実験を重ねる中で評価する予定である。

さらに実用化に向けて、ほかの構造物の影になった碍子や移動台車が、碍子の正面へ移動できないような位置へ設置されている碍子の検査への対応などの問題があり、今後の課題となる。

参 考 文 献

- 1) 亀井, 中島, “プラント点検用複合化計測”, 計測と制御, Vol. 26-4, pp. 45-48 (1987)
- 2) 福田, “プラント検査メンテナンスロボット”, 日本ロボット学会誌, Vol. 4-5, pp. 554-559 (1986)
- 3) 西沢, “光ガス・油漏れセンサ”, 0 plus E, No. 84, pp. 89-96 (1986)
- 4) 竹原, “原子力発電関連検査ロボット”, 日本ロボット学会誌, Vol. 4-5, pp. 554-559 (1986)
- 5) 竹中他, “プラント自動巡視点検ロボットの開発—システム概要—”, 電気学会全国大会予稿集, 1592, pp. 12-41 (1989)
- 6) 中山, 佐藤, “原子力発電用自律知能作業ロボットの開発”, 日本ロボット学会誌, Vol. 5-5, pp. 413-418 (1987)
- 7) 宮沢他, “原子力におけるロボット開発—ロボット知能化段階—”, 原子力工業, Vol. 34-4, pp. 7-33 (1988)
- 8) 中島, 亀井, “移動ロボット搭載用蒸気漏れ検査器”, 日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3101, pp. 277 (1985)
- 9) 星野, 久野, “原子力プラント用ロボット視覚装置”, 映像情報(I), pp. 45-50 (1986)
- 10) 久野他, “原子力発電所へのロボットビジョンの適用”, 東芝レビュー, Vol. 41-1, pp. 75-78 (1986)
- 11) 沼野, “温度分布画像によるプラント状態推定”, 計装, Vol. 32-5, pp. 43-45 (1989)
- 12) 八木他, “プラント自動巡視点検ロボットの開発—画像処理手法(漏れ検査)—”, 電気学会全国大会予稿集, 1593, pp. 12-42 (1989)
- 13) 広岡他, “電力プラント巡視点検用画像処理—碍子外観検査—”, 電子情報通信学会全国大会予稿集, D-529, pp. 7-281 (1990)
- 14) 広岡他, “碍子検査用画像処理技術の開発”, 電子情報通信学会技術資料 PRU 90-56, pp. 23-30 (1990)

広岡美和子
(Miwako HIROOKA)

1963年3月21日生。1985年甲南大学理学部応用数学科卒業。同年三菱電機(株)入社。生産技術研究所にて画像処理技術の産業応用の研究・開発に従事。現在、産業システム研究所にて画像処理システムの研究・開発に従事。情報処理学会会員。(日本ロボット学会正会員)

川戸慎二郎
(Shinjiro KAWATO)

1947年10月14日生。1970年名工大・計測卒。1972年阪大・基礎工・修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。生産技術研究所にて画像処理技術の産業応用の研究・開発に従事。産業システム研究所を経て、1991年ATR視聴覚機構研究所。1992年よりATR人間情報通信研究所。電子情報通信学会、情報処理学会、計測自動制御学会、IEEE各会員。

八木康史 (Yasushi YAGI)

1959年9月27日生。1983年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1985年同大学院修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。同社産業システム研究所にてロボットビジョンの研究に従事。1990年大阪大学基礎工学部情報工学科助手。1993年同学部システム工学科講師。工学博士。IEEE。電子情報通信学会会員。(日本ロボット学会正会員)