

ディスク外観検査技術の開発

株式会社 ジャパンテクニカルソフトウェア
○手島 昌一 坂東 友則 金 丹

株式会社 ダイナックス 小山内 弘

本研究では、マハラノビス距離を適用した新たな外観検査技術の開発を行った。この開発では画像データを波形パターン¹⁾の集合として扱う。波形から微分特性・積分特性を計算し、欠陥はマハラノビス距離として求められる。従来、検査自動化が困難であったクラッチディスクに適用し、人間の検査と同等の結果を得ることができた。

1. 概要

円盤形状を有する部品、特に自動車のクラッチディスクなどは表面が均質ではなくパターンを有しており、その検査は自動化が困難である。これは、要求検査精度などに対して十分な画像獲得条件の設定が困難なこと、円盤形状であるため照合処理を行うための基準位置が特定しにくいことなどによる。しかし、検査作業の自動化は部品ハンドリングを含めた製造工程の知能化に不可欠な要素であり、信頼性確保のためにも外観検査自動化が強く望まれている。

一方、さまざまなパターンの有効な認識方法として、微分特性などの特徴量を抽出し、マハラノビス距離を求めて認識を行う手法が提案されている [1]。これは、正常データ群が作る空間の中で、空間原点からの距離を求めることにより、異常の有無を判定しようとするものである。この手法は、プリント基板外観検査にも応用され優れた認識能力が確認されているが [2]、さらに振動波形パターンの異常診断にも適用し、基礎実験において有効な結果を得ており、さまざまな検査課題に対して汎用性の高い方法と考えられる。画像データも、濃度方向に振動する波形の集合として扱うことが可能であり、波形パターン認識と同様の手法が適用可能と考えられる。

本研究では、ラインCCDカメラを用いてディスク部品の高精度な画像データを獲得し、これに波形パターン認識技術²⁾を適用して欠陥検出を行った。その結果、さまざまな欠陥に対して感度が高く有効な外観検査が可能なることを確認した。

2. 画像と波形データ

2.1 クラッチディスクの概要

従来検査自動化が望まれながら困難であった円盤形状部品の一例として、自動車のクラッチディスクがある。本研究開発では、このクラッチディスクを対象として外観検査自動化を試みた。

クラッチディスクでは、伝達トルク等の仕様によりさまざまな大きさや形状がある。今回対象としたディスクは外径約 180mm、幅約 15mm の基材（鉄系板金）の両面に特殊な紙を母材とした摩擦素材が接着されている。また摩擦材表面にはスリット状のパターンが刻印されて

いる。クラッチディスクが回転しながら面方向に接触・離間することにより駆動力の伝達や解除がなされる。ディスクの品質は直接的に自動車の駆動性能や燃費効率あるいは乗り心地に影響するため、特に摩擦面の品質は厳密に管理されなければならない。

2.2 画像と波形データ

図.1 に示すように、クラッチディスクを一定速度で回転するテーブル上で偏芯なく回転させ、CCDカメラにより1周分の画像を撮影した。このようにして撮影した画像は、ディスクの被検査部幅分の画素数×1周分の画素数という非常に細長い画像データとなる。

また、ラインCCDカメラの1画素における濃度変化データを図.2 に示す。横軸がディスク回転位置に対応しており、この図では一部のみ表示しているが、全体ではディスク1周分の長さとなる。また、縦軸が濃度である。このような波形がディスクの幅画素分獲得される。

このように獲得した波形パターン群では、欠陥のない部品から得た波形と欠陥を有する波形とでは、振幅や振動数あるいは波形の偏りなども異なると考えられる。

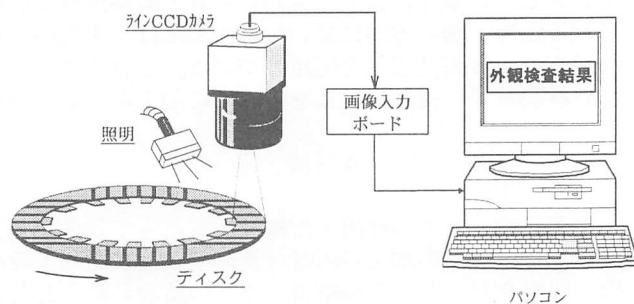


図.1 外観検査システムの構成



図.2 画像データから求めた波形パターン

3. 波形パターンの特徴量と

マハラノビス距離による欠陥認識

3. 1 マハラノビス空間の作成

欠陥は、正常データ群との差異の大きさであり、その値がしきい値を越えたときに欠陥と判断される。そこで、2項で記した正常データ群から特徴量を抽出し、それらが作る基準空間をマハラノビス空間として求め、検査対象のこの空間原点からの距離で、欠陥の程度を表現する。

マハラノビス距離では一般に、距離が4を越えた場合正常である確率が極めて小さくなり、欠陥ありと判定することが可能である。

ここで欠陥のない正常なディスク群について考えると、これらの特徴量（基準データ）はある程度のばらつきはあっても、ほぼ均質な空間内に分布すると考えられる。そこで、欠陥のないディスク群から獲得した基準データから、以下のように相関行列 R の逆行列であるマハラノビス行列 A を求める。これが正常パターンの特徴値空間となる。

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$r_{ij} = (\sum \chi_{i1} \times \chi_{j1}) / n \quad (1:1 \sim n)$$

χ は特徴量から求めた規準化値

$$A = R^{-1} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \cdots & a_{kk} \end{pmatrix} \quad (2)$$

3. 2 特徴量の抽出とマハラノビス距離

波形パターンの特徴量として、微分特性と積分特性とを用いる。微分特性は、画像のパターン変化頻度であり、積分特性はパターン間隔の大きさである。本実験では、こうした特性を1個の波形について数十設定した。

これら特性値から(2)式のマハラノビス行列を求めておき、欠陥検査を行う場合は、検査対象の微分・積分特性から規準化値 Y を求め、以下の式によりマハラノビス距離 D^2 を求める。

$$D^2 = Y^T A Y / k \quad (3)$$

なお、 k は全ての特性値の数である。

4. 欠陥検査結果

基準データとして、欠陥のない1,000個のディスクから特性値を採取し、正常パターンの特性値空間（マハラノビス行列）を作成した。そして、正常・欠陥のディスクについて検査を行った。検査結果の一例を図.3に示す。横軸はディスクの幅方向の位置に対応している。縦軸はマハラノビス距離であり、値が大きいくほど正常と見なされる確率が小さくなる。すなわち、ディスク1周のどこかに欠陥があれば幅方向の位置に対応した x 座標における値が大きくなる。

図(a)は基準データに関する認識結果である。すなわち、欠陥のない1,000個のデータの1個であり、基準データのマハラノビス距離の平均は1である。(b)~(d)は基準データ以外のテストデータの認識結果である。(b)は欠陥のないディスクの認識結果である。このディスクでは、幅（横軸）方向に対してほとんどがマハラノビス距離2以下である。(c)はわずかに欠陥のあるディスクの結果である。(d)は大きな欠陥のあるディスクの認識結果であり、全体に大きな値となっている。特に左側に大きな山があるが、実際のディスクではこの山に相当する箇所が目立った欠陥が存在している。

一般にマハラノビス距離が4を越えると、正常データ群の間である確率が極めて小さくなる。正常データの間であればマハラノビス距離は平均が1となる。したがって、この値が4を越える箇所が多い場合にはそのディスクは欠陥を持つ可能性が高いと言え、本実験でもその因果関係を反映した結果を得ることができた。

このほかにも、さまざまなディスクについて欠陥認識を行ったが、人間の目視と同程度以上の検査を安定して実現可能なことが確認された。

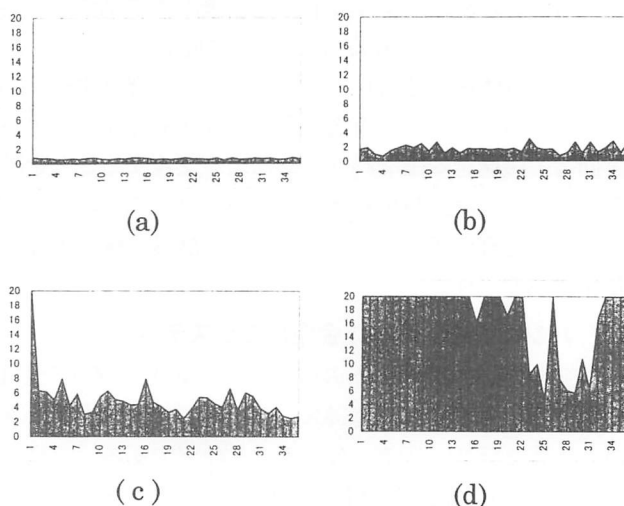


図.3 認識結果

5. まとめ

クラッチディスクについて、1周分の画像データを波形データの集合として扱うことで感度が高く、有効な欠陥検査が可能であることを確認した。また、今回の実験で採用した特性値数でも実用的に十分な処理時間であったが、さらに有効な特性値の絞り込みを行い、処理時間の短縮・欠陥検出能力の向上が可能と考えられる。

本研究の成果は円盤形状部品だけではなく、長尺形状部品などにも適用可能であり、これまで検査の困難であった多くの外観検査問題が解決されるものと考えられる。

なお、本研究は財団法人 北海道科学・産業技術振興財団の助成を受け推進している。

参考文献

- [1] 田口玄一：パターン認識のための品質工学(3), 品質工学, vol. 3, No. 4, pp. 2-5
- [2] 桜井、渡邊、金、手島：CADパターンとの直接比較によるプリント基板欠陥検査技術の研究, 平成9年度精密工学会全国大会予稿集