

溶接部外観判定アルゴリズムの開発

Development of Evaluation for the Weld Zone by the Visual Inspection System

遠藤翔太 Shota ENDO
河田直樹 Naoki KAWADA
七里マリア Maria SHICHIRI

近年のステンレス製車両は、レーザ溶接等を導入し外観の見栄え向上を図る動きが見られる。溶接部の検査には従来方法として、放射線透過試験、超音波探傷試験および磁粉探傷試験などがあるが、外観検査は主観的なところが大きい。そこで、客観的に溶接部の良・不良を判定できるように正規化アルゴリズム、二値化アルゴリズム、極座標変換アルゴリズムを組み合わせた、溶接部の外観判定アルゴリズムを開発し、その妥当性を確認したので報告する。

1 はじめに

近年のステンレス車両は、図1に示すように外板の溶接構造に関してレーザ溶接を適用したり、抵抗スポット溶接等を適用したりと、外観の見栄え向上を図る動きが見られる。

溶接部の検査には従来方法として、放射線透過試験、超音波探傷試験および磁粉探傷試験などの方法があるが、外観検査は主観的なところが大きい。そのため、誰でも客観的に溶接部の良・不良の判定を可能にするために、異なる三つのアルゴリズムを組み合わせた外観判定アルゴリズムを開発した。

今回は外観判定アルゴリズムを用いた溶接部画像検査ソフトウェアの概要と、外観判定アルゴリズムを形成する各アルゴリズムの概念について報告する。



図1 レーザ溶接を適用した sustina 車両外観⁽¹⁾

2 溶接部画像検査ソフトウェアの概要

図2に溶接部画像検査ソフトウェアの概要を、図3に装

置の構成を示す。本システムは、溶接後の溶接部をカメラにより撮影し、撮影画像に対して判定処理を行い、OK/NGを判定する。判定結果がNGの場合には、所定の方法で通知するシステムである。

なお今回は、「OK/NGを判定する画像処理」のアルゴリズムに関してのみ開発を行った。

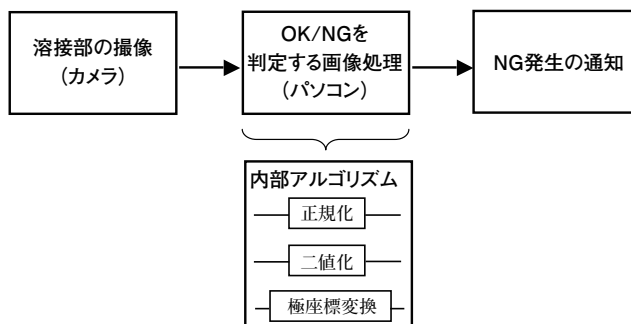


図2 溶接部画像検査ソフトウェアの概要

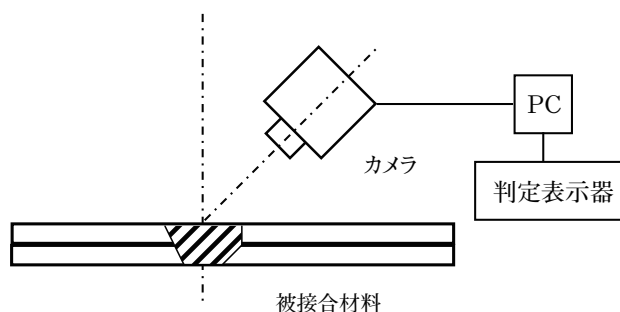


図3 溶接部画像検査装置構成

3 溶接部の色判定（正規化アルゴリズム）

溶接部外観判定アルゴリズムを構成している溶接部の色判定（正規化アルゴリズム）について述べる。

先で述べたように、近年のステンレス車両は外観の見栄え向上を図る動きが見られる。そこで、溶接部の溶接焼けなどを溶接後の溶接部の画像から判定できないか考えた。

まず、スキャナ等を用いて画像をコンピュータに取り込み、デジタル化を行う。次に、色相を数値化する必要があるため、RGBカラーモデルを用いる。しかし、RGBカラーモデルはR、G、B各色成分を256通りの組合せで構成しているため、256の3乗の1677万色となり、膨大なパターンが生ずることとなる⁽²⁾。また、図4に示すように画像取得時のノイズ（明暗）が影響し、物体が本来持っている色相とノイズを分離して処理することが難しいため判定において課題となる。



図4 色相評価におけるノイズ⁽²⁾

次に、ノイズ（明暗）の影響を除去する方法について述べる。RGBカラーモデルではグレースケール変換後の画像のRGB値は各成分が同じ値となる。このことに着目し、これをAc値とする。Ac値は色の明るさを表しているため、図5に示すようにRGB各成分をAc値で基準化し、RGB/Ac値を用いることで色相のみを評価できると考えた⁽²⁾⁽³⁾。

RGB/Ac値を用いた評価シミュレーションについて述べる。図6にカラー画像のシミュレーションモデルの例を示し、図7に図6のシミュレーションモデルをAc値で基準化した例を示す。図6のモデルでは色相の明暗に応じて、RGB値が変動していることがわかるが、Ac値で基準化した図7のモデルでは色相の明暗が変化してもRGB/Ac値は一定の値を示していることがわかる。

次に溶接後の溶接部の画像を使用したシミュレーションの例を示す。図8に光の反射を除去する前の画像を、図9に光の反射を除去した後の画像を示す。溶接部の溶接焼けに注目した場合、図9の結果から、光の反射の影響が除去され、溶接部の溶接焼けが強調されていることがわかる。また図10に表面に研磨目が付いたステンレス材の溶接部に対する色判定の例を示す。光の反射の影響の除去前と除去後を比べると研磨目の影響が除去され、溶接部の溶接焼けが強調されて判別可能であることがわかる。

この結果からRGB/Ac値を用いることで色相に対する

ばらつきを評価できると考えられる。

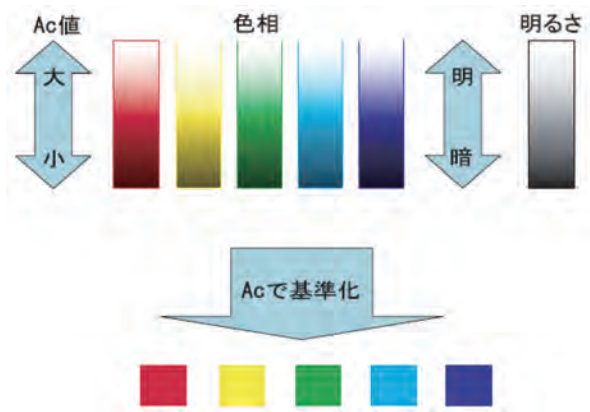


図5 Ac値による基準化⁽²⁾

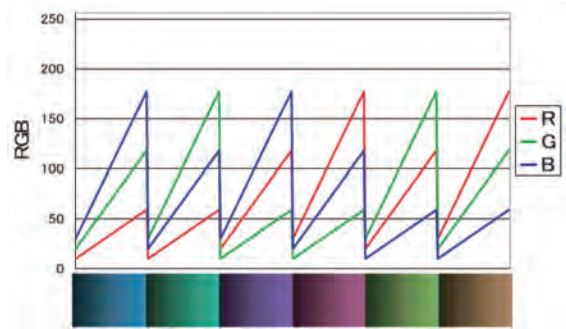


図6 カラー画像のシミュレーションモデル⁽²⁾

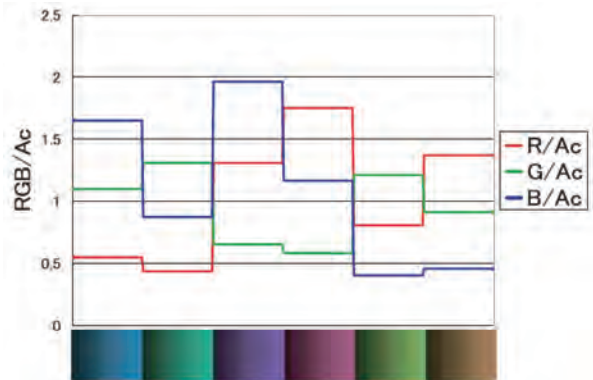


図7 カラー画像のAc値による基準化⁽²⁾

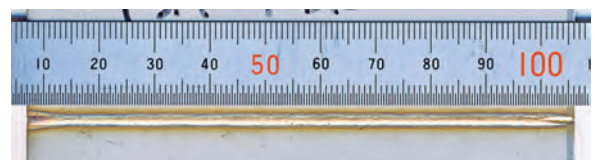
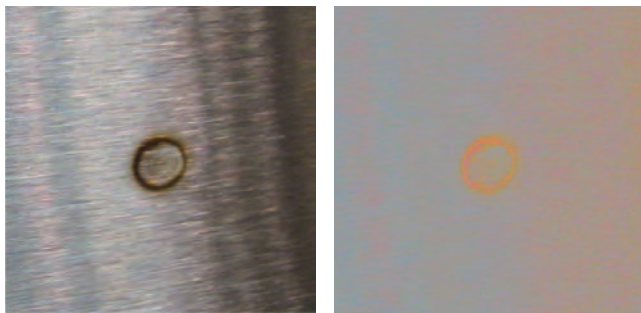


図8 光の反射の影響除去例（除去前）



図9 光の反射の影響除去例（除去後）



除去前 除去後
図 10 光の反射の影響除去（研磨目の影響除去）

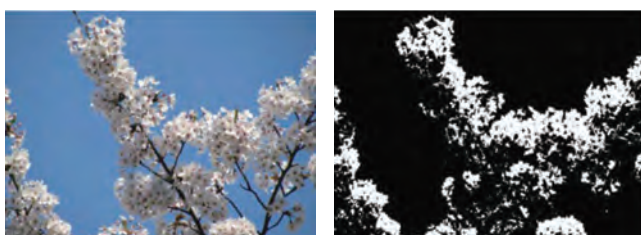
4 溶接部の画像欠陥判定（二値化アルゴリズム）

溶接部の画像欠陥判定（二値化アルゴリズム）について述べる。

溶接部の画像から欠陥判定が可能か否かを検討し、X線透過画像を用いて内部欠陥の抽出を試みた。内部欠陥の抽出を行うにあたって、二値化処理の方法に着目した。

二値化とは、画像のある明るさより明るい部分を白、暗い部分を黒に置き換え、白と黒でのみ構成された画像に変換する画像処理の一種である。二値画像の明るい方の画素を白画素、暗い方の画素を黒画素といい⁽⁴⁾、その濃度レベルを二値化レベルという。

サンプルの画像を用いて二値化処理のシミュレーションを行った。図11に二値化処理前の画像と二値化処理後の画像を示す。花びらの部分が二値化処理後の画像では白く変換され、その他の部分は黒く変換されていることがわかる。



二値化処理前の画像 二値化処理後の画像

図 11 二値化処理例⁽⁴⁾

次に、X線透過画像を用いた二値化処理の方法について述べる。

X線透過画像は、対象物を透過したX線量で画像の濃度が変化する。対象物が厚くなると透過するX線量が減り、フィルムが感光しないため、X線透過画像では白く写る。反対に対象物が薄い場合は感光が高まり、黒く写る⁽⁴⁾。図12に示すように、溶接部は対象物が厚くなるため、フィルムは感光しにくく白く写り、母材部などは対象物が薄いため、感光しやすく黒く写る。

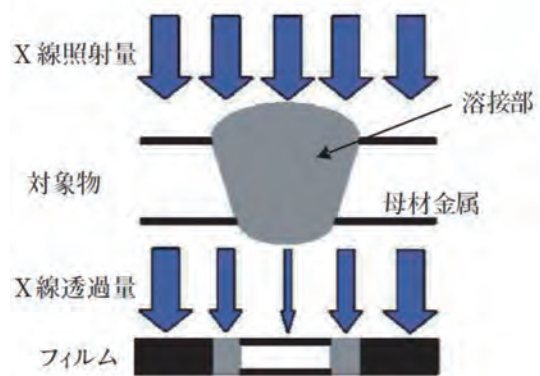


図 12 X線透過画像撮影原理⁽⁴⁾

上記で説明したようにX線透過画像の原理から、X線の透過量が減り白く写る溶融凝固部と、欠陥がある分だけX線の透過量が増えやや黒く写る内部欠陥部を二値化処理し、内部欠陥の抽出を行った。サンプル画像から内部欠陥のみを抽出できる二値化レベルを検討した結果、図13に示すように内部欠陥のみを抽出することに成功した。

この結果から二値化処理を行うことでX線透過画像から内部欠陥を抽出することができ、溶接部の画像欠陥判定が可能であると考えられる。

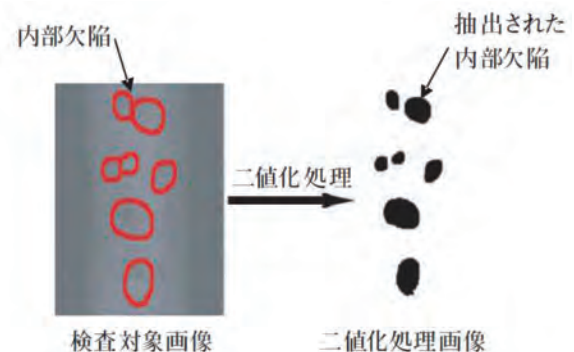


図 13 二値化処理による内部欠陥の特徴化⁽⁴⁾

5 抵抗スポット溶接部の良・否判定（極座標変換アルゴリズム）

抵抗スポット溶接の溶接痕は、正常な場合ほど円に近い形状となり、正常ではない場合は歪な円形状になる場合があるため、真円の円弧を直線として表せる極座標変換を採用した。これによりスポット溶接部の真円度を一定のしきい値で判断することができるようになった。

図14に極座標変換の概念図を示す。これはスポット中心まわりの角度 (θ) と、スポット中心からの距離 (r) をそれぞれ行・列とし、それらによって決まるピクセル輝度を成分とするマトリックスである。このマトリックスを、プログラムで処理することで、表1のような視点で定量化することが可能であると考えられる。

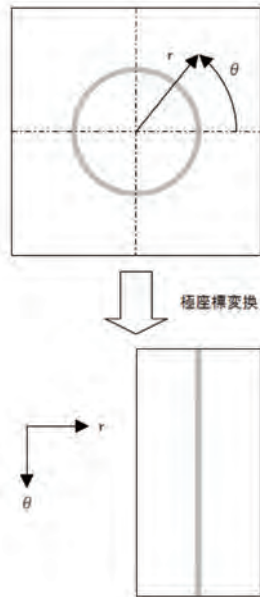


図 14 極座標変換の概念図

表 1 定量化の項目

周に沿った輝度の平均・分散・最大値・最小値
半径に沿った輝度の平均・分散・最大値・最小値
周に沿った色相・彩度の平均・分散・最大値・最小値
半径に沿った色相・彩度の平均・分散・最大値・最小値

表2に抵抗スポット溶接画像の良・否判定例を示す。スポット溶接の溶接痕が正常の場合のように円に近いほど、極座標変換処理後の画像が直線に近くなることがわかる。

この結果から、溶接後の溶接部の画像を極座標変換することにより、溶接部の良・否判定が可能であると考えられる。

また、システムを構築する際には、図3で示したようにカメラ光軸が溶接面に対して斜めであることを補正するアオリ変換、照明の不均一を補正する輝度変換、酸化皮膜のみを抽出する色分解などを必要に応じて検証し、最適な条件を探索する必要がある。

6 まとめ

主観的ではなく客観的な溶接部の外観検査を目標として、良・不良の判定ができるよう各アルゴリズム（正規化・二値化・極座標変換）を組み合わせた外観判定アルゴリズムを開発した。そして、それぞれにシミュレーションを行った結果、各アルゴリズムの外観判定に対する有効性を確認したことで本手法の妥当性を確認した。

今後は外観判定アルゴリズムを盛り込んだ溶接部画像検査ソフトウェアの構築を進めていきたい。

最後に本解説を執筆するにあたり多大なご協力を頂い

た、(株)イマジオム 高木様に感謝の意を述べる。

表 2 抵抗スポット溶接画像の良・否判定例

番号	処理	OK	NG
1	スポット中心の決定とROIの抽出		
2	ピクセル値の標準化		
3	極座標変換		

参考文献

- (1) 遠藤翔太, 他:「sustina構体構造へのSmartRSWの適用」, 総合車両製作所技報 第2号, 23, (2013), (株)総合車両製作所
- (2) 河田直樹, 他:「ステンレス鋼板のレーザー溶接部の変色に関する定量的評価方法の開発」, 東急車輛技報 第59号, 14-19, (2009), 東急車輛製造(株)
- (3) 七里マリア, 他:「レーザー溶接部変色を適用した溶接特性評価の基礎研究」, 2009年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, 621-622, (2009), (公社)精密工学会
- (4) 七里マリア, 他:「デジタル画像による溶接部評価方法の開発」, 東急車輛技報 第60号, 44-49, (2010), 東急車輛製造(株)

著者紹介



遠藤翔太
生産本部
技術部（接合技術センター）



河田直樹
博士（工学）
生産本部
技術部（接合技術センター） 主査



七里マリア
生産本部
生産管理部（生産技術）