

## 溶接部外観検査装置の開発 —システム構築とソフトウェアの開発—

Development of the Weld Inspection System  
— Construction of Systems and Software —

河田直樹 Naoki KAWADA  
遠藤翔太 Shota ENDO  
浅井マリア Maria ASAI

sustina に代表される当社のステンレス鋼製車両は、耐食性に優れているため、車体の大部分が無塗装のまま一定の美観を保ち、保守性を大幅に軽減している。しかし無塗装であるために、溶接の際にはできるだけ車体の外皮側に溶接によるひずみや焼け、スパッタ等がつかないように気をつける必要がある。また、溶接の焼けやスパッタ等の評価は人によって、あるいは日によってばらつくことが考えられる。そこで、当社でこれまで開発してきた画像処理技術を組み合わせ、溶接施工時のみならず、溶接教育時の評価にも活用できるような外観検査装置の開発に着手した。本稿では、全体システムの構築とアルゴリズム開発について解説する。

### 1 はじめに

sustinaに代表される当社のステンレス鋼製車両<sup>(1)</sup>は、耐食性に優れているため、車体の大部分が無塗装でよく、表面に研磨を施すなどして、一定の美観を保ちながらも保守性を大幅に軽減している。

しかし、無塗装であるということは、製造面でみると溶接部の丁寧な後処理が必要となるため、溶接の際にできるだけ車体の外皮側に溶接によるひずみや焼け、スパッタ等がつかないように気をつける必要がある。製造現場では厳しいチェックとひずみやスパッタの除去が行なわれているが、溶接の焼けやスパッタ等の評価は人によって、あるいは日によってばらつき、検査時間のばらつきやひずみやスパッタ除去の工数のばらつきにつながると考える。

そこで、当社でこれまで開発してきた画像処理技術<sup>(2)</sup>を組み合わせ、前述した溶接施工時のばらつきを最小化し、さらに、溶接作業者の教育時の評価にも活用できるような外観検査装置の開発に着手した。

本稿では、全体のシステム構成とその開発環境を利用して作成したアルゴリズムの概要と処理結果を解説する。

### 2 システム概要

本システムは、溶接部の外観を定量化し、問題の発生を作業者に知らせ、問題が発生した場合には、作業者に的確な作業指示を行い、最終的な溶接品質を良好に保つことを目標として開発した。

ここでいう問題とは、①溶接装置の不具合や被溶接材

料の部材精度の悪化等で発生する未溶接部や溶け落ち、②材料表面の性状や溶接条件の変動により発生したスパッタの付着、③溶接部の酸化による焼け、④物理的に発生した被溶接材料表面のキズを示している。

#### 2. 1 基本構成

図1に装置の構成を示す。撮像装置（カメラ）と演算装置（PC上で画像処理と判定を行なう）をコアとして、溶接部の画像を安定して取得するための架台と移動装置、および溶接物の固定治具からなる。

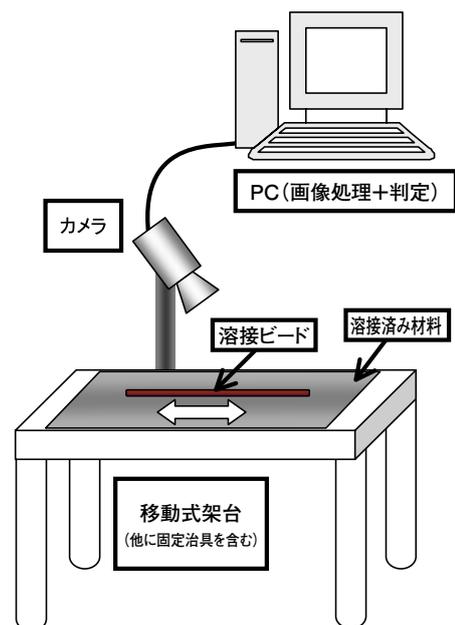


図1 外観検査装置の基本構成

検査対象とするステンレス鋼板をはじめとする金属板の多くは、光沢のある表面であるために光を反射しやすく、撮像の際にノイズになり、検査結果にばらつきを生じやすい。このため、画像処理や判定アルゴリズムにもこういったノイズをキャンセルする機能を持たせているが、できるだけ撮像時のノイズを低減するために、カメラ装置に陰影や反射を低減する照明装置を付加している。

## 2.2 主な機能とソフトウェアの構造

当社で開発した4つのアルゴリズムを中心に、画像取得からノイズ除去、画像処理、統計処理、定量化、しきい値との比較による判定までを行う機能を有している。

試作機には柔軟性を持たせるために、各処理をブロック単位に分割し、ブロック間でデータの受け渡しを行い、PC上で外観検査アルゴリズムを開発できるようになっている。

図2にその一例をわかりやすいイメージで示す（実機の開発環境はこれとは異なるものである）。このアルゴリズムは、あらかじめ取得してあった画像ファイルを読み込み、所定の画像処理サイズにし、その画像から2値化を行うために必要となるパラメータを取得して、2値化を行い、処理後の画像と数値化したデータを保存する機能を有している。

図3は図2を包括したアルゴリズムであるが、図2の2値化処理に正規化処理を加え、撮像装置から得た画像ファイルを並列に処理し、処理後の画像と数値化したデータを保存できるようになっている。この方法で、2つの処理を見かけ上、同時並行で行うことができる。こういったアレンジもブロック単位のプログラムをつなぎ合わせる感覚でできるのも本装置の特徴の一つである。

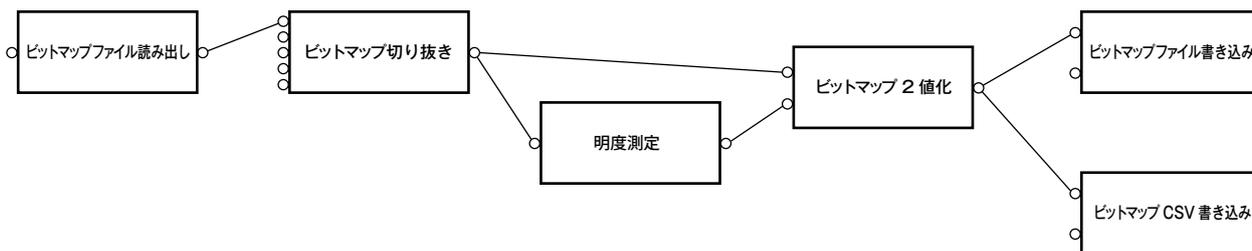


図2 2値化処理用アルゴリズム（概念図）

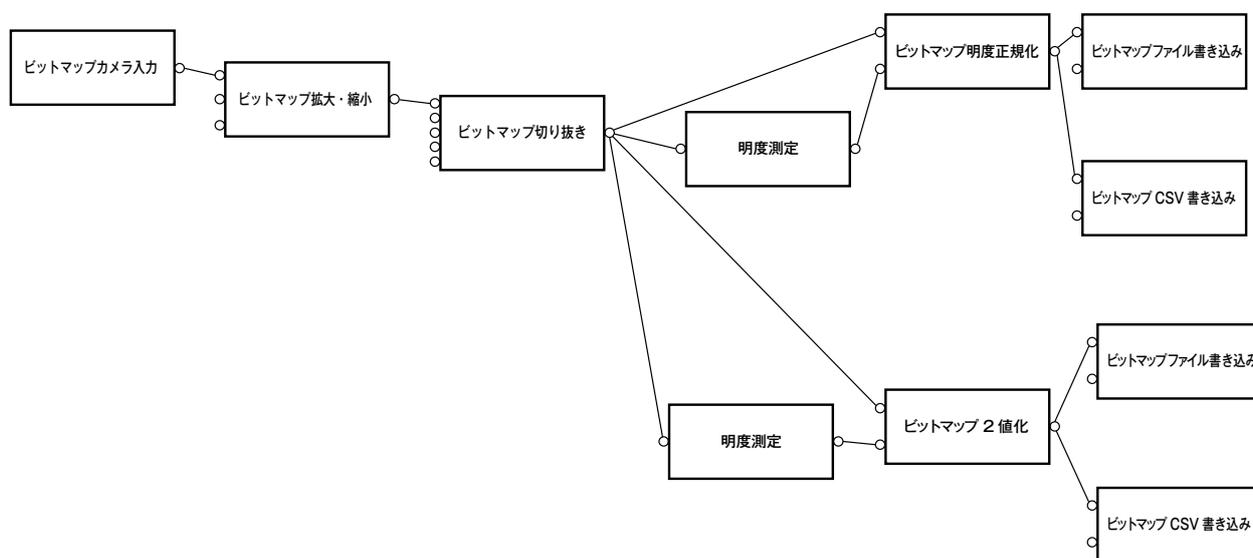


図3 正規化・2値化処理用アルゴリズム（概念図）

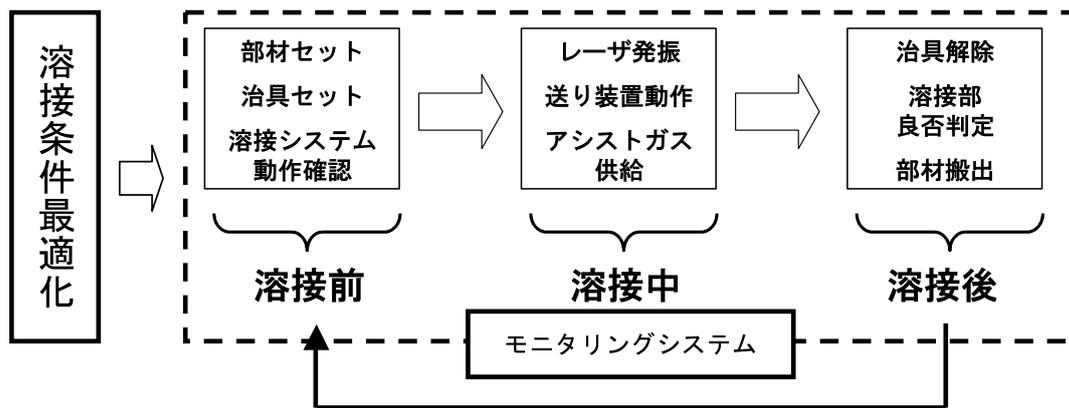


図4 レーザ溶接モニタリングシステム

### 2. 3 レーザ溶接モニタリングシステムとの組み合わせ

本稿の溶接部外観検査装置は、当社で開発したレーザ溶接モニタリングシステムと組み合わせることで、さらなる効果を得ることができる。モニタリングシステムの概要を図4に示す。これは、レーザ溶接プロセスを「溶接前」、「溶接中」、「溶接後」の3つのプロセスに分け、あらかじめ最適化したレーザ溶接条件を維持するために、各プロセスで機器等の状態監視を行なうシステムである。

溶接部外観検査装置の役割は、3つのプロセスのうち「溶接後」の被溶接物の状態監視に有効であると考えられる。加えて、一部機能を利用すれば被溶接材料の「溶接前」より上流工程で生じたキズや汚れを監視することも可能である。

溶接部の品質管理は、外観検査だけでは不十分であるが、既存のモニタリングシステムや生産現場で培ってきた日常管理のノウハウと組み合わせれば、より高い溶接品質を保つことができると考える。

## 3 ソフトウェア構成

外観検査装置では開発環境をベースに、ブロック単位のソフトウェアを組み合わせることで画像処理・画像判定などを行なうしくみとなっており、この構造はベース部、ツールライブラリ部、実行ファイル生成部からなる。以下に詳細を示す。

### 3. 1 ベース部

開発環境としてのソフトウェアがベースとして用意されており、「ツール」と呼ばれるブロック単位のさまざまなプログラムを呼び出し、組み合わせることで、簡単な処理から複雑な処理までを同一環境で作成し、保存することができる。

オフラインで実行することができ、ツールを一つ一つ実行していく「逐次実行」と、各ツールとベース部とで

通信を行ないながら実行する「協調実行」の2モードの動作をさせることができる。

このうち、逐次実行は検査対象物の画像を取得するところから、画像処理までを一つひとつ実行していく方式で、どちらかといえば開発用の動作環境である。

一方、協調実行はデータ長の長い連続した画像を分割することなく、一連の流れとして処理する方式で、鉄道車両のように長尺な溶接部を持つ製品の検査に有効な手段であるといえる。逐次実行との違いは、「データの読み込み→画像処理→判定」のように一つひとつの作業が完了してから次の作業に移るのではなく、データの読み込みから判定までが一連の流れとして継続して処理されるという点にある。

さらにベース部は、ツールを組み合わせることで構成したプログラムを実行形式のファイルとして生成することができる機能を有している。実行形式のファイルは、ベース部を介することなく、それぞれ単独で稼働させることができるので、検査項目に合わせたファイルを個別に用意することができる。

### 3. 2 ツール部

開発環境が有する主なツールを表1に示す。大きく分類すると、汎用、画像処理、自動実行に分けられ、外観検査のための主要なプログラムは画像処理ツールに含まれている。画像処理の大半は画像変換、画像測定に関するプログラムであり、後述する溶接部の酸化状態、スポット溶接部の外観、レーザ水密溶接の良否判定などのアルゴリズムの構築にも利用している。

人によらない定量的な判定を行なうには、画像処理ツールに含まれている統計処理ツール群を利用するのが適しており、上記の画像変換、画像測定と組み合わせると良い。

### 3.3 実行形式ファイル生成部

ベース部にてツールを組み合わせて開発したアルゴリズムや判定処理ソフトウェアは、実行形式のファイルとして生成することで、ファイルごとに特定の判定処理を行えるようになる。

実際の生産ライン上では、実行形式プログラムと画像処理用パラメータを記憶したファイルを用意すれば、撮

像装置をPCに接続し、このファイルを起動するだけで、画像取得から判定するまでの動作を自動で行なうことができるようになる。開発環境では、さまざまな処理と操作が必要になるが、オンラインではPCと撮像装置が起動していれば、ソフトウェアの立ち上げのみの操作で済むため、検査時のヒューマンエラーを極力少なくできると期待している。

表1 外観検査装置に用意された主なツール

大分類	中分類	小分類	主な機能	
汎用	ファイル読み書き	ファイル読み出し	ビットマップファイルの読み込み	
		ファイル書込み	ビットマップファイルの書込み	
		オープンダイアログ	読み出し時にファイル名指定ができる	
		セーブダイアログ	書込み時にファイル名指定できる	
	その他	伝送	データを伝送する	
画像処理	ファイル読み書き	ビットマップファイル読み出し	ビットマップ形式で読み込む	
		ビットマップファイル書込み	ビットマップ形式で書込む	
		ビットマップオープンダイアログ	ビットマップファイル読み出し時にファイル名指定ができる	
		ビットマップセーブダイアログ	ビットマップファイル書込み時にファイル名指定できる	
		CSV→ビットマップファイル変換	CSVをビットマップに変換	
		ビットマップ→CSVファイル変換	ビットマップをCSVに変換	
	画像変換	グレースケール変換	グレースケール画像に変換	
		2値化	2値化画像に変換	
		正規化	明度で正規化した画像に変換	
		切り抜き	指定範囲の画像を切り抜く	
		切り抜きダイアログ	画像上で切り抜き範囲を指定する	
		拡大・縮小	画像の拡大・縮小	
		極座標変換	画像を直交座標配列から、極座標配列に変換する	
		極座標変換ダイアログ	画像上で領域指定した部分の極座標変換を行なう	
	画像測定	明度測定	画像の明度を測定する	
		交差点測定	画像上にゲージを置き、ゲージと交差した点の明度を測定する	
	カメラ入力	カメラ入力	撮像装置から画像情報を取得する	
	ビットマップ伝送	ビットマップ伝送	ビットマップファイルを伝送する	
	統計処理	MT法	マハラノビスの距離をもとめる	
		波形解析	波形を特徴化する解析を行なう	
		しきい値判定	定められたしきい値で判定する	
	自動実行	ファイルドロップボックス	ファイルドロップボックス	ファイルをドラッグアンドドロップする
		ファイル名変換	ファイル名作成(実行回数)	ファイル名に実行回数を付加する
			ファイル名作成(接頭辞)	ファイル名に接頭辞を付加する

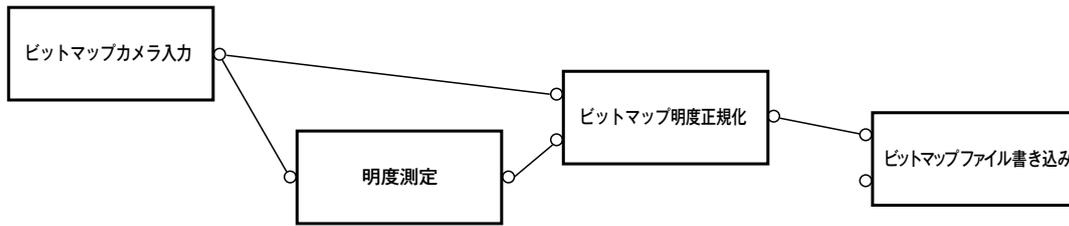


図5 特徴化アルゴリズム（突合せ溶接用）

#### 4 実験による溶接部外観判定結果

当社では、既に基本的なアルゴリズムを開発し、いくつかのアルゴリズムの検討を行ってきた。ここでは、これらの処理を行えるアルゴリズムと、処理前後の画像を示し、処理の過程から結果までを解説する。

##### 4.1 突合せ溶接部の酸化状態の特徴化アルゴリズム

レーザ突合せ溶接は、主に車両の外板の接合に使用されているが、ステンレス車両は無塗装のため、後工程で焼け取りや研磨加工の仕上げが必要となる。

図5に突合せ溶接継手の溶接部の酸化状態を特徴化（強調）するアルゴリズムを示す。画像を取得し、画像の特徴量の1つである明度を測定し、その値を基にして正規化を行ない、画像ファイルとして保存するアルゴリズムである。

図6にビード部を中心に撮像した結果を示す。図7には、図5のアルゴリズムで処理した結果を示す。図6の陰影が消え、酸化状態が強調される画像が得られている。図8は、明度のパラメータを調整して得られた画像である。視覚的にはグレーの成分が抜けた画像のような印象を受ける。

このように、目的に応じてパラメータを調整することで、画像として視覚的にさまざまな特徴を浮かび上がらせることができ、数値に変換することで、多変量解析や波形解析による良否判定に役立てることができる。



図6 突合せ溶接部撮像画像（元画像）

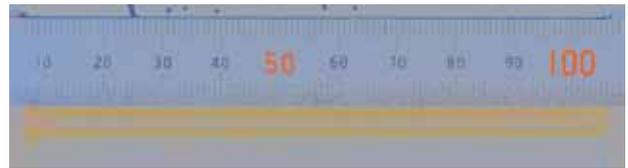


図7 明度による正規化結果



図8 明度による正規化結果（パラメータの調整あり）

##### 4.2 抵抗スポット溶接のナゲットの特徴化アルゴリズム

図9は抵抗スポット溶接のナゲットの圧痕（溶接痕）を撮像し、極座標変換という数値処理によって良否を判定するための特徴化を行なうアルゴリズムである。撮影時の陰影除去のため、図5の明度による正規化を行ない、その結果を極座標変換し、さらに2値化を行なうことで判別のための特徴化ができる。表2は、特徴化の過程とその過程で取得した画像をまとめたものである。①はカメラによって得られた撮像画像であるが、正常の方が暗く、溶接痕の輪郭もはっきりしていないように見える。これを②の明度による正規化によって浮かび上がらせ、③の極座標変換で溶接痕の輪郭を直線上に並べ替える。最後にこの変換画像の明度を測定し、④の2値化処理によってその違いを浮かび上がらせる流れとなる。

正常の溶接痕は円形をしているので、極座標変換によって焼けと陰影が画像の中心に直線となって表れる。一方の異常の溶接痕は、いびつな円形をしており、その中心が焼けている。このため、極座標変換を行なうと、中心ではなく画面の端に焼けや陰影が偏る傾向がある。2値化後の黒色（または白色）を示す成分を数値化して数列を作り、この分布を定量化することで良否判定が可能となる。

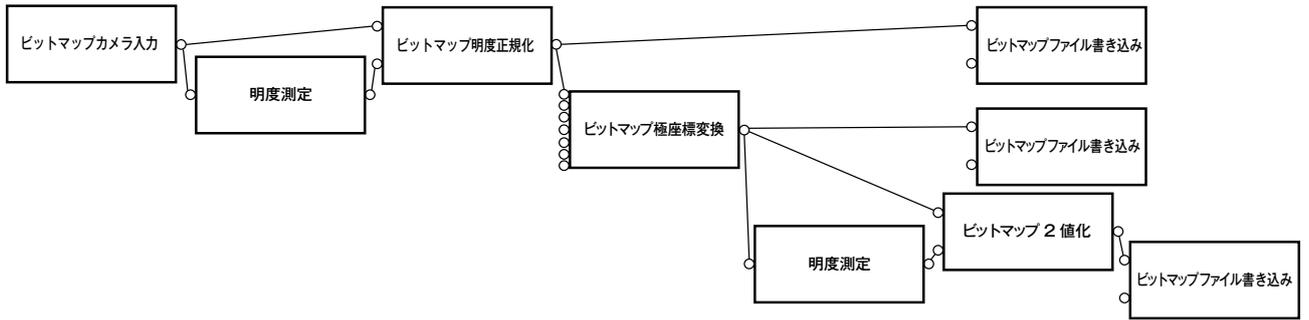


図9 特徴化アルゴリズム (スポット溶接用)

表2 抵抗スポット溶接部の画像処理の流れと結果

処理	①画像取得 (元画像)	②明度正規化	③極座標変換	④2値化
正常				
異常				

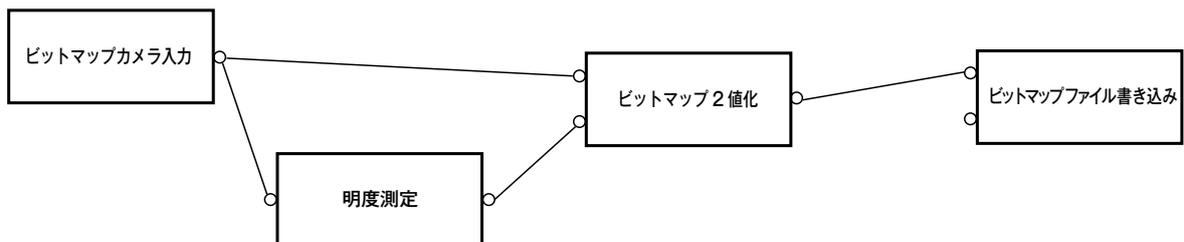


図10 特徴化アルゴリズム (水密溶接用)

#### 4.3 レーザ水密溶接の特徴化アルゴリズム

図10はレーザー水密溶接の未溶接部や十分な溶け込みが得られていない部分を特徴化するアルゴリズムである。カメラ撮影によって得られた画像から明度を測定し、それをしきい値として2値化を行ない、特徴化する比較的シンプルなものである。

図11は、溶接実験にてあえて中央部を溶接せずに残したサンプルを撮影した画像である。光源がカメラの手前にあり、未溶接部で比較的強い反射が見られる。この画像の明度を測定し、そのピーク値をしきい値として2値化した結果が図12である。この結果を見ると、未溶接部がはっきりと浮かび上がっており、特徴化されていることがわかる。

図13は、材料表面の凹凸の影響を受けて溶接中に発生した2箇所の未溶接部を含むサンプルを撮影した画像である。図11と比較すると撮影の距離が遠いなどの差異があるが、光源は同じようにカメラの手前にある状態で撮影を行なっている。



図 11 レーザ水密溶接撮像元画像（未溶接部あり）

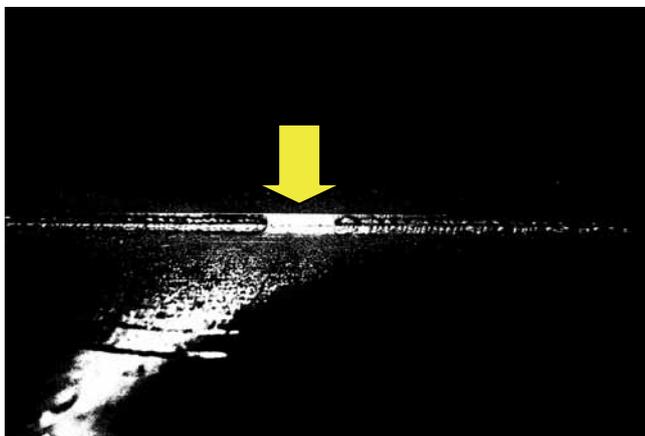


図 12 2値化画像（中央に未溶接部あり）

同様の処理を行なった結果を図14に示す。この結果を見ると、溶接ビードの輪郭が黒色となっており、その輪郭が途切れているところが未溶接部として表れていて、図12と同等の特徴化ができていていることがわかる。しかし、この画像の場合には、画像の左側の未溶接部は判別がやや難しく、2値化画像を数値化した後で、波形解析などの数値処理を必要とすると考える。



図 13 レーザ水密溶接撮像元画像（2箇所未溶接部あり）

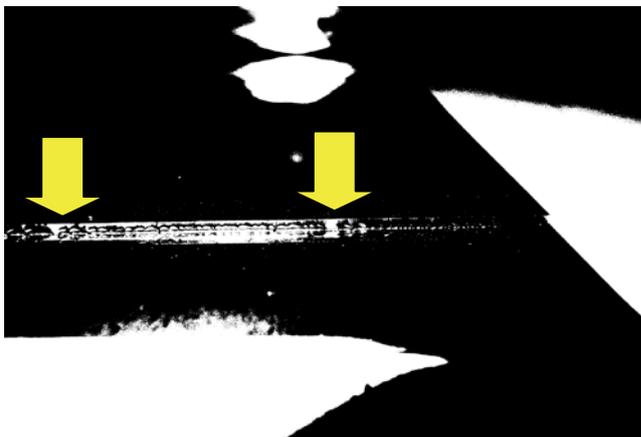


図 14 2値化画像（2箇所未溶接部あり）

## 5 まとめ

カメラで撮影した画像処理による外観検査装置のシステムを構築し、開発環境を使って溶接部の良否判定につながるアルゴリズムを構築した。

レーザーの突合せ溶接部、抵抗スポット溶接部、レーザー水密溶接部の3種類の良否判定のための特徴化アルゴリズムを構築し、画像にて確認したところ、判別可能なレベルの特徴化ができた。

また、開発環境そのもののソフトウェアの機能も良好で、アルゴリズムのデバッグも視覚的に行うことができ、比較的簡単に扱えることが確認できた。

今後は、これらの特徴化した画像を数値に変換し、MT法や波形解析、統計解析を利用して、定量的な判別ができるシステムの構築を目指す。

最後に本稿を執筆するにあたり、多大なご協力をいただいた(株)イマジオム 高木氏に感謝の意を述べる。

#### 参考文献

- (1) 浅賀哲也, 他: 「[sustina] 国内第1号車両の開発」, 総合車両製作所技報 第2号, 4-6, (2013), (株)総合車両製作所
- (2) 遠藤翔太, 他: 「溶接部外観判定アルゴリズムの開発」, 総合車両製作所技報 第3号, 52-55, (2014), (株)総合車両製作所

#### 著者紹介

---



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



遠藤翔太  
生産本部  
技術部 (接合技術センター)



浅井マリア  
生産本部  
技術部 (接合技術センター)