

# 溶接における研磨仕上げ部の自動欠陥検出技術の開発（第2報）

## Development of automatic defect detection technology for polishing finish part in welding (2nd Report)

いわき技術支援センター 機械・材料科 佐藤善久  
タニコー株式会社 渡部秀紀 中野光太郎

プログラムを作成して画像探傷装置に組み込むことで、欠陥の自動検出システムを構築した。構築したシステムを用いて欠陥の自動検出実験を行った結果、疑似欠陥や、それに相当する窪みや汚れを自動的に検出できた。今後の開発に向けて、目視検査の担当者から意見を求めた。その結果、構築したシステムは十分に小さな欠陥まで検出できるが、実用化には、溶接線のトレース方法の確立等も必要であることが分かった。

**Key words:** 溶接、研磨仕上げ、目視検査、欠陥、自動検出

### 1. 緒言

平成30年度に引き続き、人による検査よりも高速で見落としがちな自動検査システムを開発して製造現場に導入することを目指して、要素技術の開発に取り組んだ。

今年度は第1報で得た成果を基に、欠陥を自動で検出するための自動検出システムを構築した。自動検出システムは、NATIONAL INSTRUMENTS社のLabVIEWで作成したプログラムを、画像探傷装置に組み込むことで構築した。今回作成したプログラムは、画像処理を行った画像の表示等、検査に必要な機能を有する。また、検査を支援するため、自動で照明を調整する調光機能や、液体レンズで焦点位置を調整する焦点調整機能を有する。そして、自動検出システムを用いて疑似欠陥の自動検出実験を行った結果、欠陥が自動で検出できることが分かった。

その後、生産工程での検証として、目視検査の担当者に、自動検出システムについての感想や改善すべき点に関する意見を求めた。その結果、実用化に向けた要望が得られた。

### 2. 自動検出システムの構築

#### 2. 1. 自動検出システム用プログラム

##### 2. 1. 1. 欠陥の表示と自動検出機能

目視検査は長時間に及び集中を要するので、担当者の負担は心身共に大きい。ヒューマンエラーによる検査結果や生産への影響も排除できないため、最終的には完全自動化が理想である。しかし、完全自動化には検査に対する高い信頼が必要であり、完全自動化の前には、関係者による十分な検証が必要である。そこで、自動検出システム用プログラム（以下、「プログラム」と呼ぶ）は、自動で欠陥を検出すると同時に、検査の結果を担当者が検証できるものにした。

今回作成したプログラムは、二つの画像を並べて同時に表示できる。一方は画像処理をせずに、画像探傷

装置のカメラからの画像を表示するものである。もう一方は、三段階の画像処理を加えて、欠陥を自動検出した結果を表示するものである。一段階では、欠陥の可能性のある画素を選択している。欠陥のグレースケール値は、研磨面に比べて小さくなる。そこで、グレースケール値に閾値を設けることによって、閾値以下の画素を選択している。しかし、一段階だけでは、欠陥の大きさを考慮できない。カメラで観察している領域の広さと、画像センサーの画素数は決まっている。そのため、図1に示すように、隣り合っている画素の集合体を一つの粒子とすると、欠陥の大きさは粒子に含まれる画素数に大凡等しいと考えた。そこで二段階では、一段階の結果に加えて、粒子を選別する。選別では、粒子が含む画素数に閾値を設けることによって、閾値以上の数の画素が含まれる粒子を欠陥として選択する。三段階では、担当者が欠陥の存在を確認するために、当初は、二段階で選択した粒子に着色することにした。しかし、粒子に含まれる画素はわずか数画素で小さい場合もあるため、検査の担当者が見落としとして検証できない恐れがあると考えた。そこで、三段階では、図2に示すように、粒子の周りに画素を加えることによって、欠陥をハイライトすることにした。なお、ハイライトする際には、加える画素数と着色に用いる色は任意に指定できる。以上のように、並べて同時に表示される二つの画像によって、担当者は自動検出の結果を検証できる。

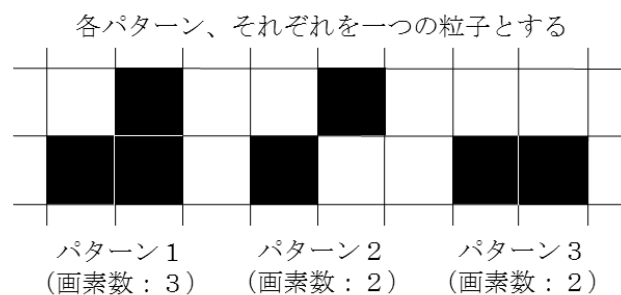


図1 粒子の例

加える画素数が1、着色に用いる色が■の場合

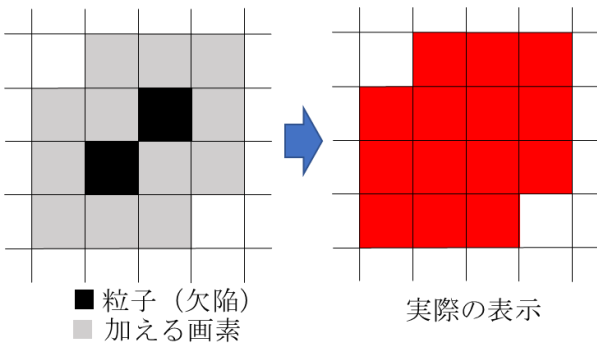


図2 欠陥のハイライト

## 2. 1. 2. 調光機能

画像探傷装置のカメラは、入射する光の量に応じて、画素ごとに信号を出力する。しかし、光の量が画素の上限以上になった場合、出力も上限に達して変化せずに飽和する。飽和すると光の量に応じた信号が出力できないので、飽和しないように照明を調整する必要がある。また、今回のように、グレースケール値の差を利用して画素や粒子を選択する場合は、グレースケール値の差を最大にすることが、検査精度の向上に重要である。しかし、グレースケール値を監視しながら、担当者が検査中に照明を調整することは、作業効率の点からも難しい。そこで本プログラムでは、照明の出力を自動的に調整する調光機能について検討した。

適正な照明の調整について検討するため、画像探傷装置と、研磨面上に疑似欠陥を設けた試験片を用いて、照明の設定値とグレースケール値との関係を検討した。その結果、図3に示すように、飽和する直前と考えられる照明の設定値で、グレースケール値の最大値（研磨面）と最小値（疑似欠陥）との差を最大にできることが分かった。よって、飽和しない範囲でグレースケール値が最大となるように、照明の出力を調整する必要があることが分かった。

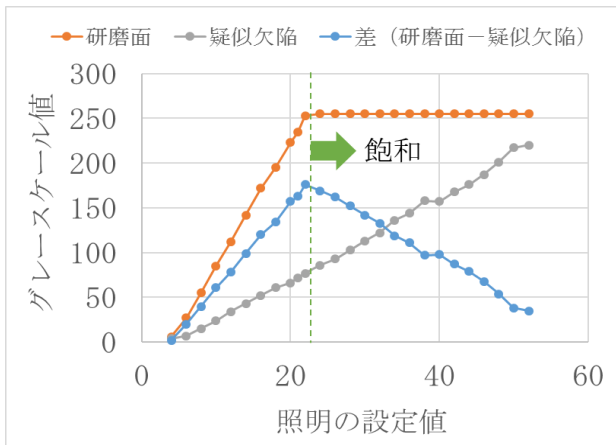


図3 照明とグレースケール値の関係

当初は、グレースケール値が飽和するまで、照明の設定値を自動的に一段階引き上げることで光の量を増加させ、逆に、飽和した場合は自動的に一段階引き下げて、光の量を減少させるようにした。しかし、この動作では、飽和した瞬間に光量は減少するが、次には光量を増加させて飽和する動作を繰り返すため、頻繁に光量に変化して検査に支障があることが分かった。そのため、照明の設定値の一段階あたりの変化量を考慮したうえで、下限値も設定することで、グレースケール値が適切な範囲に調整されるようにした。これによって、調光機能を起動している間は、飽和しない範囲でグレースケール値がほとんど最大となるように、照明の出力を自動的に調整することができる。

## 2. 1. 3. 焦点調整機能

自動検出システムでは、画像を用いて欠陥を検出するため、焦点位置を適正に調整する必要がある。当初は、固定焦点レンズのみを用いたため、レンズまたは検査対象を移動させることによって焦点位置を調整した。しかし、焦点位置の調整には、検査箇所を移動する度に、精密な位置決めが必要なため、検査の担当者にも大きな負担となる。そこで、液体レンズを用いた自動の焦点調整機能について検討した。液体レンズは、印加する電圧に伴って焦点位置が移動する、エドモンド・オプティクス・ジャパン社の液体レンズ実装固定焦点レンズ（焦点距離 50[mm]）を用いた。

液体レンズの焦点位置を決定するパラメータを検討するため、画像探傷装置に装着した液体レンズの印可電圧を固定して、研磨面上に疑似欠陥を設けた試験片を観察した。はじめに、疑似欠陥の画像が最も鮮明に見えるように、研磨面を移動することで焦点位置を調整し、その位置のデフォーカス量を 0[mm]とした。なお、デフォーカス量は、研磨面をレンズから遠ざける方向を正とした。同じく、研磨面をレンズに近づける方向を負とした。

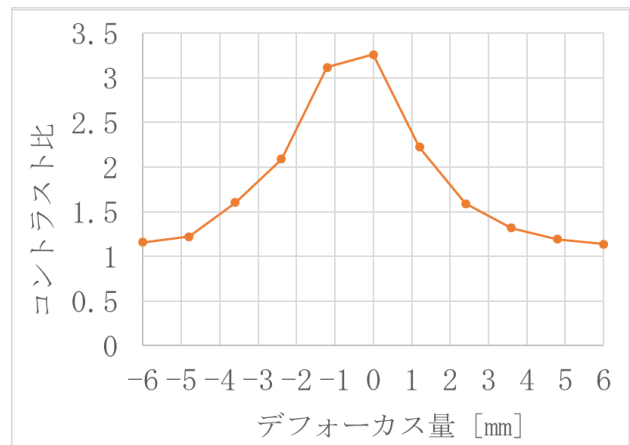


図4 コントラスト比と焦点位置の関係

各画素のグレースケール値から求めた、画像のコントラスト比（最大値／最小値）とデフォーカス量との関係を図4に示す。その結果、コントラスト比はデフォーカス量0 [mm]で最大となることが分かった。そこで本プログラムでは、コントラスト比によって焦点位置を調整する焦点調整機能を設けた。焦点調整機能は、起動する度に、次の（1）～（2）の動作を一回のみ行う。

- （1）液体レンズに印加する電圧を変化させて、焦点位置を移動させる度に、コントラスト比を比較する。なお、焦点位置を移動させる範囲は任意に設定できる。また、移動させるピッチは約0.01 [mm]である。
- （2）コントラスト比が最大となる位置を焦点位置として、その時の電圧を液体レンズに印加することによって、自動で焦点位置を設定する。

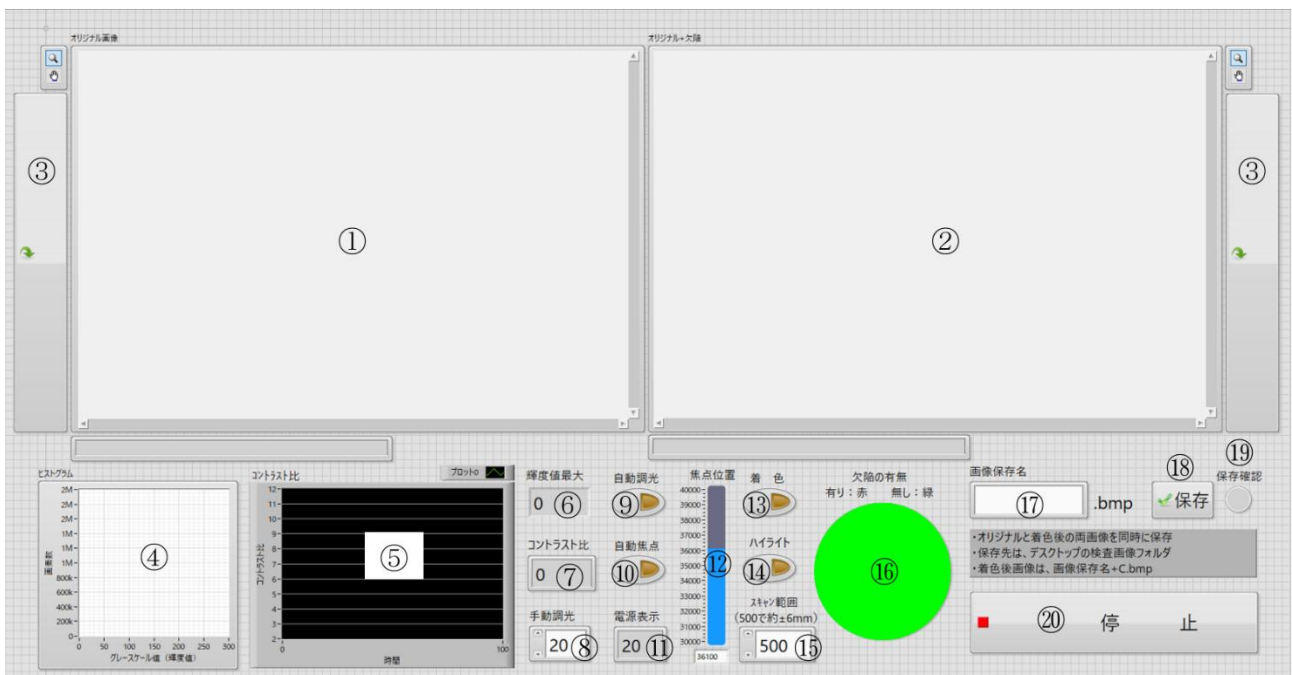
### 2. 1. 4. 実行画面と主な操作方法

図5にプログラムの実行画面である、フロントパネルを示す。（以下、丸数字は図5に示す名称または機能のこと）

①は画像探傷装置のカメラからの画像を、画像処理

を加えずに表示する。②は、三段階の画像処理を加えて、欠陥を自動検出した結果を表示する。欠陥が検出された場合は、⑩が緑色から赤色に変わることで、欠陥の存在が分かる。⑨の起動によって、照明の設定値が自動で調整される。⑫をマウスで操作することで、大凡の焦点位置が設定できる。⑩によって、焦点調整機能が起動する。焦点位置を移動させる範囲は⑮で設定する。焦点位置が設定されると、⑩が解除され、焦点位置の調整が終了する。

①と②に表示された各画像は、⑮をマウスでクリックすることによって、⑮に登録した名称で同時に保存される。特に②の画像は、名称の末尾に「+C」が加えられる。ファイルの保存が成功した場合には、⑮が青色に点灯することで、画像が確実に保存されたことを確認できる。⑮は登録したショートカットを用いることでも、同等の保存動作ができる。自動検出した結果の検証を支援するため、①及び②の画像は拡大表示もできる。画像の任意の箇所にマウスカーソルを合わせてクリックする度に、クリック箇所を中心に拡大される。そして、拡大された画像は、③をクリックすることによって、初期の大きさに復帰できる。



- |               |              |              |               |
|---------------|--------------|--------------|---------------|
| ① 画像表示部(処理無し) | ⑥ 最大グレースケール値 | ⑪ 照明出力表示     | ⑯ 欠陥無(緑)→有(赤) |
| ② 画像表示部(処理有り) | ⑦ コントラスト比    | ⑫ 手動焦点調整     | ⑰ ファイル名指定欄    |
| ③ 画像復帰        | ⑧ 手動調光       | ⑬ 欠陥着色起動・停止  | ⑱ ファイル保存      |
| ④ グレースケール値の分布 | ⑨ 調光起動・停止    | ⑭ ハイライト起動・停止 | ⑲ 保存確認        |
| ⑤ コントラスト比-時間  | ⑩ 焦点調整起動     | ⑮ スキャン範囲設定   | ⑳ 緊急停止        |

図5 フロントパネルと各部の名称または機能

### 2. 2. 自動検出実験

検出能力を確認するため、構築した自動検出システ

ムを用いて、疑似欠陥が設けられた研磨面の自動検出実験を行った。自動検出実験には、第1報の検出実験

と同様に、研磨仕上げを行ったステンレス鋼板上に目印並びに目印の内側に直径約 50 [ $\mu\text{m}$ ] の疑似欠陥を設けた試験片を用いた。図 6 に実験の様子を示す。

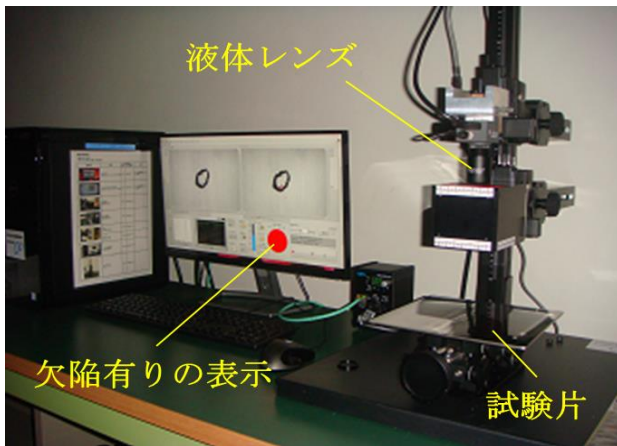


図 6 自動検出実験の様子

実験は、次の (1) ~ (4) の手順で、暗室にて行った。

- (1) 照明の出力を自動的に調整 (⑨を起動)
- (2) 手動操作による、焦点位置の設定 (⑫を操作)
- (3) 焦点位置を自動的に調整 (⑩を起動)
- (4) 欠陥の自動検出

はじめに、画像処理を加えない①画像表示部の画像を、図 7 に示す。図 7 から、目印の内側に疑似欠陥が確認できる。他にも、グレースケール値が小さい、いくつかの点があることが分かる。

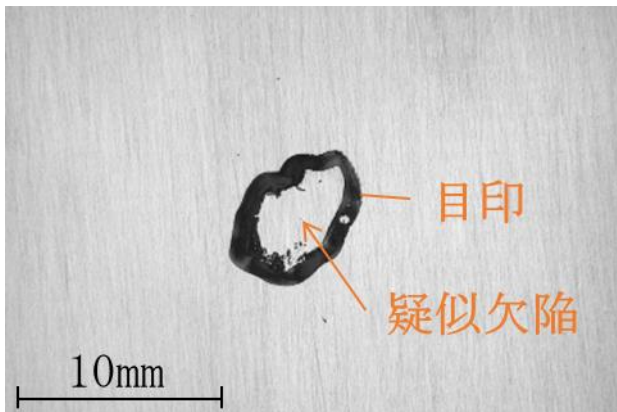


図 7 検出実験の結果 (画像処理無し)

次に、画像処理を加えた②画像表示部の画像を図 8 に示す。疑似欠陥が自動検出され、指定した色である赤でハイライトされていることが分かる。欠陥が存在する場合は緑から赤に点灯する⑬も赤く点灯している。また、疑似欠陥以外にも数か所がハイライトされ、欠陥として検出されていることが分かる。

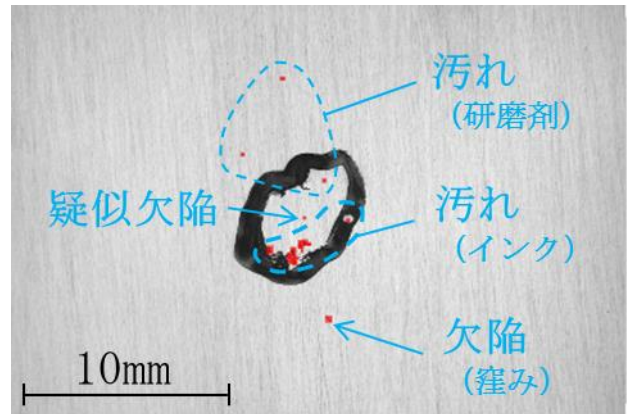


図 8 検出実験の結果 (画像処理有り)

それらの欠陥は、グレースケール値が小さい点として、図 7 でも確認できる。更に、実体顕微鏡等での観察によって、それぞれ、窪み・インク・研磨剤であることが分かった。窪みは欠陥に相当するものであった。インクは、油性ペンを用いて目印を書き込んだ際の滲みであった。目印や滲みは実験のために特別に設けたものであり、通常は存在しない。また、試験片は実験用に試作したため、洗浄工程が省かれていた。そのため、本来は洗浄で取り除かれる研磨剤が残存したものであった。しかし、残存して欠陥に相当する場合は、研磨剤も検出する必要がある。以上より、自動検出システムは、疑似欠陥と欠陥に相当する窪みや汚れを自動検出したことが分かった。

### 3. 生産工程での検証

企業から、実際に目視検査を行っている担当者 7 名を含む、計 10 名が出席した会議を開催して意見を求めた。その結果、主に次のような意見や実用化に向けた要望を得た。

- ・構築したシステムが、十分に小さな欠陥まで検出できることが分かった。
- ・溶接線のトレース方法の確立、ハンド（携帯）タイプの開発並びに曲面への対応も必要である。

### 4. 結言

平成 30 年度に引き続き、要素技術の開発に取り組んだ。プログラムを作成して画像探傷装置に組み込むことで、欠陥の自動検出システムを構築した。構築したシステムを用いて欠陥の自動検出実験を行った結果、疑似欠陥や、それに相当する窪みや汚れを自動的に検出できた。今後の開発に向けて、目視検査の担当者から意見を求めた。その結果、構築したシステムは十分に小さな欠陥まで検出できるが、実用化には、溶接線のトレース方法等の検討も必要であることが分かった。