

加工事例の画像検索に基づく加工支援システム

Development of a Manufacturing Supporting System Based on Searching of Manufacturing Case Image

大谷成子¹ 綿貫啓一¹ 小島俊雄² 小林秀雄² 瀬渡直樹² 江塚幸敏²

Shigeko Ohtani¹, Keiichi Watanuki¹, Toshio Kojima², Hideo Kobayashi²,
Naoki Seto², and Yukitoshi Ezuka²

¹ 埼玉大学大学院

¹ Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

² 産業技術総合研究所

² National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Abstract: We have developed an XML schema of manufacturing case data and visualizing methods of manufacturing knowledge. The manufacturing case data is composed of material specifications, processing conditions, machine specifications and evaluation results, which are basically represented in text to share and to compare the associated knowledge. The data is including multimedia data partly, but it is difficult to handle directly the visual data in XML for the purpose. In the paper, we proposed an image search method and examined its possibility through the experiments on the appearance images of laser cutting surface and beads of arc welding.

1. はじめに

加工技術を伝承するには、加工技術の正確な再現情報が必須である。加工事例を再現性があるレベルの詳しさを記述できれば、ユーザの加工時に参考条件として利用でき、幅広い経験に基づく技術伝承が可能となる。しかし実際には、加工品形状、材料履歴、加工機械や加工現場状況、作業者の手業など、数値化できない情報が多く、加工条件のすべてを記述することは容易ではない。そこで、加工条件の一部であっても有効な加工技術のパラメータを抽出して定義し、それらを情報共有の容易な XML によって記述した[1][2]。そして、それをを用いてこれまでの実験を加工事例として記述、データベースに蓄積し、加工技術データベースとして WWW で公開した[3]。加工事例は単に文字や数字を羅列表示するばかりではなく、数値をグラフ化するなど、意味のある表示方法を行い、加工の知見の可視化を目指した。これまで、筆者らは熟練工とユーザの加工事例の数値をグラフ上で比較し、加工技能の提示を行った[4][5][6]。また、加工事例にはテキスト情報だけではなく、写真、画像、動画などのマルチメディア情報も含まれる。今回は、画像検索によって、加工知識を可視化する加工支援について研究した。具体的には、加工技術データベースに含まれるレーザー切断面画像と

アーク溶接のビード外観画像を検索し、最適加工条件を見出すための比較表示をする加工支援システムを開発した。

2. 加工事例定義

加工技術データベースにおける加工事例はすべて XML で記述されている。XML は、コンピュータの特定の OS やアプリケーションに依存しない永続的データの記述様式である。更に、XML は人と機械の可読性があり、人がデータをブラウザで確認するほか、計算機がデータを直接データベースに蓄積したり演算することが可能である。XML は構造が柔軟であり、加工条件項目の変化に応じてデータの変更が可能である。また、事例 XML として記述することにより、他の事例と比較することが容易になる。

本研究で定義したレーザー切断加工事例の XML 構造を図 1 に示す。各ブロックを上から述べると、加工事例は WWW で情報共有するデータのため、「メタデータ」として Dublin Core の書誌情報規約を用いた。次のブロックの「材料情報」は、工作物について記述し、材料のための語彙である MatML(Material Markup Language)を用いた。以下のブロックについては、独自に XML 語彙を定義した。「加工情報」の最初には「総合条件」がある。レーザー切断の場合の

加工目標として、形状精度を記載した。次の「前処理」情報には、切削面の表面状態やジグ固定状況などを記した。また「加工条件」の「レーザ条件」としてはレーザの種類、発振器出力、加工点出力、発振状態（連続/パルス）、加工速度など、多くの機械への設定値が存在する。また、「シールドガス条件」にはガス種類、流量、圧力、ノズルに関する情報が含まれる。「評価」は加工終了後に行われ、加工条件とは独立になるため、事例の構造は非常に単純である。評価の種類には、複数点における面粗さ、カーブ幅、テーパ、切断面画像、試験片全体画像などがある。

3. 加工事例の画像検索

3.1 レーザ切断面画像

レーザ切断は自動機械で行われるために、アーク溶接のような人為的影響は少ない。しかし、技能者は新しい材料を切断する際、過去に行った条件で切断した後、パラメータを微調整していく。その加工パラメータが多いため、一般ユーザにとっては、どの条件を変化させれば最適加工条件になるかを見つけることが難しい。

また、レーザ切断の評価には、切断面の表面の計測値と、切断面画像などがある。粗さは表面状態の異なる何点かで計測するが、それでも局所的な評価でしかない。一方、切断面画像は面全体を評価でき、不具合の原因も判断することができる重要な情報である。実際の加工現場では、加工条件を変えた試験片の切断面を並べて最適加工条件を見出すが、本研究ではこれらにかわるものとして、切断面画像のマトリクス表示を用いた。切断面画像を検索し、加

工条件でソートして、切断面画像を表示するシステムは Eagle Search[7]で構築した。図2にその画面を示す。Eagle Searchとは、加工事例検索のために開発した Web ブラウザ上の GUI で、JavaScript によるソフトウェアである。検索に際し、選択項目のボタンを押す度に検索結果を更新するため、条件を絞り込むときに、有効な選択項目ボタンだけが押下可能になる。通常のデータベース検索では、複数項目の選択肢を選んで検索実行し、結果が空集合になることがある。しかし、本 GUI では毎回選択肢のフィードバックを行うので、空集合になることはない。加工事例の場合、条件の組み合わせによっては加工が実行不可能な場合がある。このような、網羅的に項目の組み合わせデータを集められない母集団に対する検索には本 GUI が必須である。これまでの Eagle Search はテキストの検索結果リストを表示していたが、今回は、画像表示用に改良した。

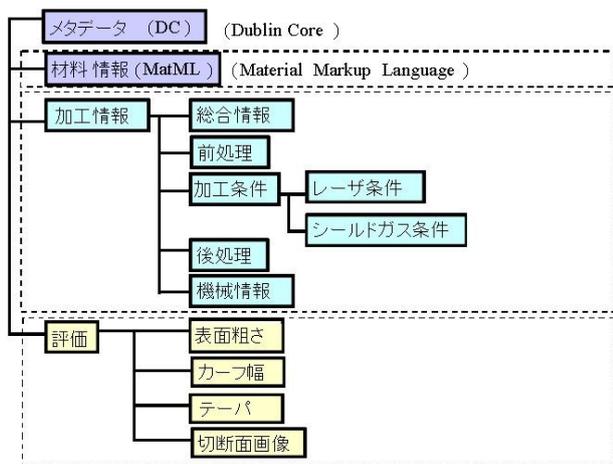


図1 レーザ切断加工の XML 事例構造



図2 レーザ切断面の Eagle Search 検索画面

本検索項目には特に加工に影響を与えるパラメータとして、材料 (JIS 記号)、板厚、レーザの種類 (CO₂/YAG)、発振状態 (連続/パルス)、シールドガス種類 (Air, N₂, O₂)、レーザ出力、切断速度などを用いた。対象材料は、アルミニウム合金 A5052, A6061、冷間圧延鋼材 SPCC、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 について、板厚 0.5mm から 6mm 程度までの 5 種類を用いた。データ総数は 2815 件である。これまでの研究では、レーザ切断では切断速度が重要加工条件であることが分かっており [8]、画像を並べて表示する際は、X 軸に切断速度、Y 軸にレーザ出力の変化をとった。図 2 の選択項目ボタンで、材料、レーザ種類、発振状態、ガス種類までを選択し、レーザ出力と切断速度を無選択にすれば、切断面画像をマトリックスに表示することができる。図 2 の左については材料 SPCC, YAG レーザの切断面表示、右については CO₂ レーザの切断面表示である。左下に、各画像にリンクする個別事例の画面を示す。このように切断面画像を俯瞰することによって、最適加工条件を目視で検出することが可能になった。切断速度大、レーザ出力大となる右下になるに従って、表面粗さが大きくなるのが、画面より明らかである。また、切断速度の違いで、断面の状態は大きく変化し、最適条件となる範囲は狭いことが分かった。

3.2 チタン材溶接ビード外観画像

純チタンは、鋼材に比べ酸化しやすい材料である。そのため、溶接は母材の表裏の両面共にシールドを行い、大気中の酸素から遮断する必要がある。チャンバー内で溶接する方法もあるが、一般的には、バックシールド、トーチシールド、アフターシールドのジグを用いて、溶接ビード表面が 400°C 以下に冷えてから大気に触れるように、低速で溶接を行う。純チタンを大気中で加熱すると温度や時間に依存して表面の酸化膜が厚くなり、その厚さによって金属表面が色々な色に発色する特徴がある。チタン溶接部の品質管理は、溶接部の発色状況を基に行われることがある。日本溶接協会が実施するチタン溶接技能者検定も、ビード外観色で可否の判定をする。

純チタンの実験事例は、3 種類のシールドガスの量を変えたり、チャンバーの中で酸素濃度を 6 段階に変化させたデータである。ビード外観の検索をする Eagle Search 画面を図 3 に示す。この画面は、母材が純チタン (TP340C)、ビードオンプレートのティグ溶接、トーチシールド 10L/min のデータを検索し、チャンバー内の酸素濃度順に並べて表示したものである。画面一番上の酸素濃度は 20ppm と少なく、下に向かうほど多くなり、一番下の酸素濃度は 10000ppm である。上 4 例は合格ビード色、下の 2

例は不合格ビード色である。ここで検索対象とした実験事例は全部で 30 件である。この程度の事例数ならば、溶接ビードを一覧表にまとめた Web ページを作ることも可能である。しかし、ユーザが溶接条件を実際にボタンで絞り込むことで、加工条件と結果の関係を把握できるため、学習効果がある。

3.3 溶接技能試験におけるビード外観画像

前節までは、加工条件の数値でソートし、画像を並べることで、加工知識を可視化してきた。しかし、数値で表現できない加工条件もある。そのような例について本節で述べる。鋼材の場合の溶接技能者資格試験は、溶接継手の曲げ試験と溶接ビード外観の検査がある。すなわち、手溶接の技能評価として、継手の機械的性質と、外面的なビード外観の両面からの判定を行う。ビード外観画像には重要な加工技能情報が存在するため、約 100 件のビード外観画像を収集し、データベース化した。このビード外観を詳細に観察すると、電流電圧の加工条件の不適合、ウィービングなどトーチ運棒の熟達度合いを判断することが可能である。これらは、熟練作業者の経験的知見から得られるものであり、初心者が分析することは不可能である。そこで、本システムによってユーザがビード外観画像を視覚的に検索することにより、技能向上のための加工知見を得ることを目標にした。

検索システムの画面を図 4 に示す。上部項目ボタンは、溶接方法、板厚、溶接姿勢、裏板有無など、

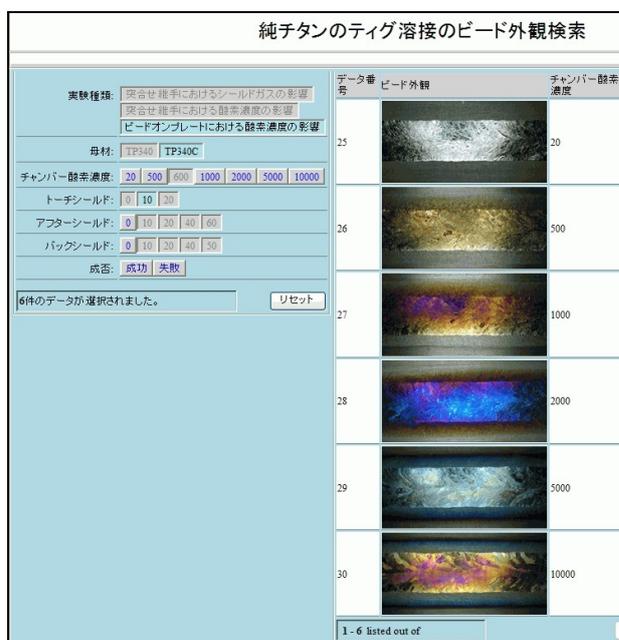


図 3 チタン材ビード外観の Eagle Search 検索画面

項目表現が可能で、ユーザが溶接時に決定する既知パラメータである。一方、欠陥条件はウィービング方法や、溶融池形状の不具合など、数値化が困難である。そこで、ビード画像に良/不良の項目を与え、不良結果に影響を与えたパラメータ（アーク長、ウィービング、運棒、電流、溶接速度など）の情報を付与した。初心者はこれらの項目ボタンを繰り返し押し、項目による画像リストの違いを見ることで、ビード外観の評価や欠陥の原因を知ることが可能である。尚、ここで検索できるビード外観画像は、96例で、良好なもの47件、不良なもの49件である。検索項目である溶接方法は、被覆アーク溶接、マグ溶接、ティグ溶接の3種、板厚は3種類、溶接姿勢の大半は下向きと横向きであるが、4件の上向きを含んでいる。ビード表裏項目については、15件の裏ビードを検索できる。限定的ではあるが、ユーザの加工支援に役立つように、溶接不良の種類を多く収集している。また、図4下に示すように、リストの各ビード画像には各事例ページがリンクしている。そこには、ビードの拡大図と、欠陥事例の場合は欠陥対策方法が記載されている。欠陥対策方法は技能者の知見によるものである。ユーザはまず自分のビードと似た画像をみつけ、その後このリンク先の

情報で、加工を改善する方法を学習することができる。現在のところ事例数も限られているが、引き続きデータを収集して、広くユーザの状況に対応する予定である。

4. まとめ

本研究では、次のような結果を得た。

- (1) Eagle Search を改良した視覚的検索手法で、加工画像を絞り込み検索できるようになった。
- (2) レーザ切断の加工条件の違いによる切断面画像のソート表示により、最適加工条件を求める過程が把握できた。
- (3) アーク溶接のビード外観検索から、加工知見を提示した。

今後、本加工支援システムを実際の加工現場へ適用し、その有効性を実証する予定である。また、単に最適条件の表示だけではなく、その根拠文書もあわせて提示し、ユーザに加工理解を促すことが、真の加工支援だと考えている。

参考文献

- [1] 大谷成子, 小島俊雄, 大橋隆弘, “分散情報源の加工事例データに基づくアーク溶接加工支援手法の定式化”, 精密工学会誌, Vol.71, No. 5, pp.613-617, (2005)
- [2] ものづくり先端技術研究センター, “加工事例記述のためのXML定義—スキーマ及びその設計書 第1.0版—”, 産業技術総合研究所 DMRC レポート, No.6, (2005).
- [3] 産業技術総合研究所, “加工技術データベース”, <http://www.monozukuri.org/db-dmrc/index.html>, (2012)
- [4] 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄, “XMLで記述した溶接加工事例による溶接設計支援手法の研究”, 設計工学, Vol. 43, No.10, pp.569-574, (2008)
- [5] 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄, “XML溶接加工事例の比較による溶接加工支援”, 設計工学, Vol. 45, No. 2, pp. 94-99, (2010)
- [6] 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄, 清宮絃一, 江塚幸敏, “加工事例のXML記述と加工支援の検討”, 精密工学会誌, Vol.77, No. 11, pp.1039-1043, (2011)
- [7] 瀬渡直樹, 森和男, 廣瀬伸吾, “タグチメソッドを用いたレーザー切断における切断条件最適化と技能抽出の試行”, 溶接学会全国大会講演概要, 88, pp.164-165, (2011)
- [8] O.Ryabov, et al., “DB Navigation by an Eagle View User Interface”, 精密工学会大会学術講演会講演論文集, 2, pp.626, (2002)

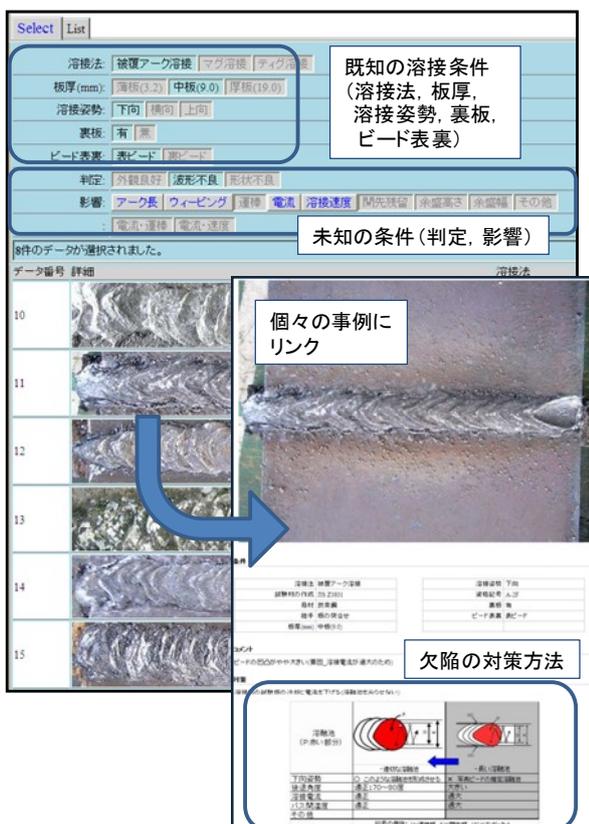


図4 ビード外観画像のEagle Search画面