加工事例の XML 記述と加工支援の検討*

大谷成子** 綿貫啓一** 小島俊雄*** 清宮紘一† 江塚幸敏††

A XML Definition of Manufacturing Case Data and its Function as a Manufacturing Supporting Method

Shigeko OHTANI, Keiichi WATANUKI, Toshio KOJIMA, Kouichi SEIMIYA and Yukitoshi EZUKA

We have defined an XML schema of polishing case data, which are composed of material specifications, processing conditions, polishing material, machine specifications and evaluation results. More than one hundred parameters are dominant. Polishing processes are repeated during the variation of the associated parameters until the specified surface property is obtained. The structure of the case data becomes more complicated than that of arc welding, as polishing phenomena are not made clear physically and chemically. Thus, we proposed an effective method and examined it through case inquiries and evaluated it to be applicable as a manufacturing supporting method.

Key words: polishing, welding, WWW, XML, case database, manufacturing supporting

1. 緒 言

国内の製造業は、熟練技能者の高齢化、若年人口の減少、人件費が安い周辺国への工場移転などの問題によって、従来の技術力維持が困難になっている。この問題を解決する一つの方法として、人から人への直接技能伝承の代わりに、IT を介して間接技能伝承する方法が検討されている。本研究では、加工技能は加工事例の中に存在するとし、加工を忠実に記述する加工事例のデジタル化について検討した。加工再現性がある詳細さで記述できれば、ユーザが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、工作物形状、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、加工の一部ではあるが有効なパラメータを抽出し、加工事例とした。記述形式には XML を用いた¹⁾²⁾。XML はタグ言語で、人と機械の可読性があり、情報共有に適している。構造が柔軟で変更が容易なため、加工の進化による項目変化に対応できる。また、XML は他のデータとの比較が容易である。そこで、事例 XML を作成するツールを開発し、これまでの加工実験を XML 事例としてデータベースに蓄積した。そして、加工に適した検索システムで比較を行い、加工条件の可視化による加工支援の可能性を示した。

現在、加工事例としては機械技術振興協会の加工事例ネットワーク³⁾より切削研削事例が WWW で公開されている。その内容は加工条件とその説明を文書形式でまとめたものである。国内外の工具メーカーは工具を適切に使用するための推奨切削条件検索システムを公開している。これら推奨加工条件は、加工事例を汎化したものといえる。産業技術総合研究所の加工技術データベース⁴⁾には 15 加工の基本的情報が蓄積されているが、ユーザからは加工事例の要望が高い。一方、XML はデジタルデ

ータ記述の基盤技術として、製造分野にも普及している。例えば、生産計画情報用 PSLX⁵⁾、生産管理用 MESX、加工機器用 FAOP-XML 等が定義されている。製品データ表現の国際標準である STEP も XML 化 (ISO10303-28) されている。切削加工では、この STEP-XML や、独自 XML 定義による加工支援の研究が行われた⁶⁾⁷⁾。このように、加工事例や XML が適用されているのは切削のような全自動機械加工が主体である。これまで筆者らは、伝承が難しいとされるアーク溶接加工について XML 事例と加工支援の研究を行ってきた^{8)~10)}。本論文では、伝承が困難で、アーク溶接加工に比べて複雑な、加工と評価が反復する電解砥粒研磨加工を対象として研究を行った。

2. 研磨加工事例と溶接加工事例の違い

2.1 研磨加工の特徴と溶接加工との比較

研磨加工は製品の表面仕上げに用いられ、加工方法や記述に関して厳密な規約は存在しない。研磨加工は古代から長い歴史を持ち、これまでに工作物材料や研磨剤の変化、機械による自動化、電気的・化学的・反応の複合加工など、非常に多くの進歩をとげている。本研究の対象である電解砥粒研磨加工も研磨の複合加工の一種である。従来の手作業による研磨加工では、技能は属人的情報として扱われ、加工条件を記録した試みはほとんどない。そこで、電解砥粒研磨加工の事例は、専門書¹¹⁾や論文^{12)~15)}の実験の記録から項目を抽出し定義した。表 1 は電解砥粒研磨加工の事例項目の一例である。表の上から 9 行の灰色の Category は電解加工に関わるものである。具体的には電圧、電流、加工間隙、電極配置、電解液の成分、濃度、流量、電源の入力電圧、最大出力電流などである。次の白色の Category は研磨加工に関わるもので、押し付け圧、送り速度、回転数、加工時間、研磨剤の粒径、濃度、化学記号、工具タイプ、粒度、形状などである。ここで工具タイプとは不織布や発泡ウレタン系研磨パッドのことをさす。最後の行は、研磨機械の種類である。研磨機械は平面研磨機、オスカー式研磨機、円筒研磨機など工作物の形状毎に開発されている。それぞれの機械によって多少設定項目は異なる。本研究では機械による自動研磨のため、再現性のある事例記述が可能であった。しかし、手動研磨加工では押し付け圧、送り速度、回転数などは手加減で変化するもので数値化が難しい。したがって、厳密な事例記述は困難である

* 原稿受付 平成23年7月20日

** 正 会 員 埼玉大学大学院 (埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

*** 正 会 員 (独)都立産業技術研究センター (東京都北区西が丘 3-13-10)

† 株式会社トップテクノ (茨城県つくば市千現 2-1-6)

†† 正 会 員 (独)産業技術総合研究所 (茨城県つくば市並木 1-2-1)

Table 1 Parameters of polishing process

Category	Parameters	Example Data
electrolysis condition	voltage	10V
	electric current	100mA/cm ²
	gap	0.2mm
electrode	electrode shape	radial gap
electrolysis solution	electro polishing solution	NaNO ₃
	density	20wt%
	flow rate	1L/min
power-supply equipment	input	100V16A
	output	max 30A
polishing condition	pressure	8kPa
	speed	4.4mm/s
	revolution time	800rpm 60 sec, 5pass
	direction	vertical
abrasive grain	diameter	1μm
	density	1wt%
	chemical composition	Al ₂ O ₃
polishing tool	type	nylon nonwoven
	grain number	#600
	outer diameter	200mm
polishing equipment	type	plane polishing

が、加工者を限定する範囲においては、研磨剤や工具などの静的項目のみの事例記述でも有効であると思われる。なお、評価の種類は、表面粗さ、光沢度、除去量、工作物の重さ、目視による外観検査などがある。評価対象は工作物本体で、試験片加工の必要はない。また、試験機器本体も比較的小型な計測器で、据え置き型からハンディタイプのものであり、測定は高頻度で行うことができる。

一方、アーク溶接加工は、溶接構造物の欠陥が社会的に大きな事故につながることから、加工事例記述や、加工評価試験に厳密な規約が存在する。例えば、压力容器を製造する場合、国外では ASME¹⁶⁾や ISO 国際標準¹⁷⁾、国内では JIS¹⁸⁾¹⁹⁾で加工承認方法が決まっている。具体的には、压力容器の溶接部毎に溶接条件の詳細を記した文書と、その溶接条件による溶接継手の評価試験結果の文書を作成して承認を得ることが必要である。これまで研究したアーク溶接事例の加工情報はこれらの規約にそって重要な項目を記述した。また、加工評価試験についても引張試験、曲げ試験、じん性試験、放射線透過試験など、試験片の形状、試験方法、評価基準について細かく定められている。したがって、アーク溶接事例の試験評価は、溶接加工後、これらの規格にそって試験片を切り出し、専用の試験装置による計測を行い記録した。アーク溶接加工と比較した研磨加工の特徴は、以下のようにまとめられる。

- 1) 加工条件記述の定義や、加工評価の規約が存在しない。
- 2) 仕上げ加工のため、工作物表面の状態が評価対象である。評価機器は比較的簡便であるが、精度を必要とするために、加工と評価を繰り返しながら慎重に行う。評価結果によって加工条件を調節することがある。一方、アーク溶接加工では溶接継手内部の性質が重要な評価対象であり、試験片加工や試験設備を必要とする。非破壊検査もあるが、いずれも評価は加工後に行い、加工とは独立に行う。
- 3) 調整する加工条件項目が多いので、ユーザが最適条件を求めるのが難しい。アーク溶接加工にも色々な種類があるが、基本的には同一原理であり、調節する加工条件は多くない。

このように、研磨は色々な要因から、事例定義が遅れていた。しかし、人から人への伝承が困難になった場合、3)の理由から加工支援システムが必須である。本研究は、加工事例によってそれを実現しようとするものである。

2.2 研磨加工の XML 事例記述

事例のデータ記述形式として、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である XML を用いた。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したり、そのデータを直接データベースに蓄積や演算したりできる。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容易である。そして、最も重要な特徴は、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可能になることである。

本研究で定義した電解砥粒研磨加工事例の XML 構造を図 1 に示す。本事例構造の特徴は、2.1 節の 2)にある加工情報と評価情報が混在するデータを記述するところである。図中、灰色のブロックは加工情報を示す。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²⁰⁾を用いた。次のブロックの工作物情報は、材料記述のための MatML(Material Markup Language)²¹⁾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。加工情報部の最初には総合条件がある。研磨加工は仕上げ目標に加工法が依存するため、鏡面、キズ取り、スケール除去、形状精度などの加工目標を記述した。次の前処理情報には、切削面や溶接部などの前工程を明記した。また加工情報は粗、中、仕上げという加工精度の異なる工程から構成される。そして、複合加工の場合は、電解条件、研磨条件など複数の加工条件を記述した。加工工程で特徴的なことは、一定時間加工をしてから評価を行い、その結果によって条件を調節して加工を反復することである。あらかじめ加工終了時間を予測することはできず、常に評価結果をフィードバックしながら、加工終了の判定を行う。その反復加工を記述するため、図 1 のように、加工条件と評価が混在する構成として定義した。評価は前述のように粗さ、光沢度などがあるが、特に粗さには Ra, Ramax, Ramin Ry, Rymax, Rymin など種類が多い、測定点は工作物の 1 点のみでは無く、表面状態の異なる何点かで計測する。加工間隔は絶対時間で記録されることもあるが、その時間は加工面積に比例するため、比較評価のためには単位面積当たりの時間に正規化するか、あるいはパス回数などで記述する。加工情報部の最後のブロックには、用いた機械情報を明記する。対比として、図 2 に以前定義したアーク溶接事例の XML 構造を示す^{8)~10)}。アーク溶接は、2.1 節の 2)にあるように試験評価は加工終了後に行う。そのため、灰色ブロックの加工情報部と、白色の試験評価部は分離しており、事例構造は単純である。電解砥粒研磨加工の加工と評価の反復処理は、この構造では記述することができなかったため、新たな定義が必要であった。

具体的 XML 定義について述べる。XML は<要素 属性="A">B</要素>の形式でデータを記述する。要素と属性にどの項目を用いるかは制約がない。また、ツリーの形式で、データの継承関係を表現できる。今回、試験評価部として設計したツリー構造を図 3 に示す。試験評価部は時間やパス間隔で、加工条件と複数評価を記述する。そのため、任意のサンプリング軸で、任意の場所や種類データを記述できるように拡張性をもたせた。試験評価部は 1)軸種類、2)評価観測点の詳細情報、3)評価や加工条件サンプリングデータの 3 つのサブツリーより成る。

Fig.1 Tree diagram of the polishing case XML

Fig.2 Tree diagram of the welding case XML⁸⁾

Fig.3 Tree diagram of evaluation XML

各サブツリーを 1)~3) で説明する。

1) 軸種類ではサンプリング軸をあらかじめ宣言する。具体的には、`axis-def` 要素の子要素の `sampling-point-axis` 要素でサンプリング単位を定義した。以下の例では、時間である。評価種類は `sampling-result-axis` という要素名とした。以下では、粗さ Ra と表面画像であるが、Ra を複数点で計測するので、Y1, Y2 の属性で区別した。

```
<dmrc:axis-def>
  <dmrc:sampling-point-axis title="時間" name="X" unit="minute"/>
  <dmrc:sampling-result-axis title="Ra" name="Y1" unit="nm"/>
  <dmrc:sampling-result-axis title="Ra" name="Y2" unit="nm"/>
  <dmrc:sampling-result-axis title="表面画像" name="Y3" />
</dmrc:axis-def>
```

2) 評価観測点の詳細は、`result-conditions` 要素の子要素 `result-condition` に記録した。以下は、参照名称 Y1 の Ra は A

点、参照名称 Y2 の Ra は B 点で測定することを示している。

```
<dmrc:result-conditions>
  <dmrc:result-condition axis-ref="Y1" >A</dmrc:result-condition>
  <dmrc:result-condition axis-ref="Y2" >B</dmrc:result-condition>
</dmrc:result-conditions>
```

3) 評価や加工条件データは、サンプリング点毎に束ねて記した。すなわち、`sampling-data` 要素以下にサンプリング点 `sampling-point` と複数の評価や加工条件として `sampling-result` を記録した。

```
<dmrc:sampling-data>
  <dmrc:sampling-point axis-ref="X">
    1</dmrc:sampling-point>
    <dmrc:sampling-result axis-ref="Y1">
      <dmrc:sampling-value>0.2</dmrc:sampling-value>
    </dmrc:sampling-result>
    <dmrc:sampling-result axis-ref="Y2">
      <dmrc:sampling-value>0.4</dmrc:sampling-value>
    </dmrc:sampling-result>
    <dmrc:sampling-result axis-ref="Y3">
      <dmrc:image_info xlink:href="images/sus_p001.jpg"/>
    </dmrc:sampling-result>
  </dmrc:sampling-data>
  <dmrc:sampling-data>
    ...
  </dmrc:sampling-data>
```

以上が、電解砥粒研磨加工事例の XML 記述の中の特徴的な部分である。

3. 加工支援手法の開発

3.1 加工事例データの作成支援

電解砥粒研磨加工は 2 章で示したように、複雑な事例入力が必要である。このデータ入力には柔軟性や拡張性が重要になる。そこで、表計算ソフト (Microsoft Excel) を用いた事例作成ツールを開発した。XML の出力機能は VBA プログラムで実装した。図 4 にツールの画面の一部を示すが、本ツールの特徴は多数の加工項目に対応できるように、入力シートの背景に加工項目リストシートを持たせたことである。ユーザは入力の初回だけ、自分用の事例項目を加工項目リストシートから選んで作成する。また、加工項目リストシートに定義されていない新たな項目が必要になった場合は、項目の追加拡張を行う。ツールの出力である XML 事例は XSLT を適用して WWW ブラウザで閲覧ができ、そのまま XML データベースに蓄積が可能である。

3.2 加工事例の比較と評価の支援

加工事例 XML に基づく加工支援を検討した。ここで加工支援とは、加工熟練者の知見である「どの加工項目を調節しながら進むか」というルートや、「どこが最高点か」という目標値を示す加工地図の実現を目指している。

まず、既存の実験結果を前節のツールで加工事例 XML に記述し、Apache Project 開発の XML データベース Xindice²²⁾に蓄積した。そして、データベースから、加工事例の分布状態を示すことができる検索方法である Eagle Search²³⁾を作った。図 5 に検索画面を示す。Eagle Search は WWW ブラウザ上で動作する直感的検索インターフェースで、データベースから抽出したインデックス XML と検索機能を実装した JavaScript で構成される。検索選択肢はボタンとして表示され、ユーザがボタンを押す毎にボタンのアクティブ状態が更新され、次の選択可能なボタン条件を絞ることができる。対象データを俯瞰的に把握しながら検索できるため、Eagle Search という名称にした。一般に多様な選択肢があるデータベース検索で、全項目を指定

Fig.4 Polishing case input tool

図 5(a)の無選択状態は、189 件ある全事例の分布状況を表している。インデックス XML はデータベースから全事例分の式(1)を抽出し連結したものである。次に、ユーザが「ステンレス鋼」と「平面研磨機」の選択肢ボタンを押し、事例を AND 検索した画面を図 5(b)に示す。P(工作物|ステンレス鋼) $\cap$ Q(加工機械|平面研磨機)であらわされる積集合の結果分布は、電解溶液ボタンは「硝酸ナトリウム」、研磨剤ボタンは「アルミナ」「コロイダルシリカ」となる。データベース内にあるのはその組み合わせの事例のみであり、他の選択肢ボタンは非アクティブになり押すことができない。本集合の事例数は 19 件で、加工条件は「回転数」、「圧力」、「工具」、「研磨剤」、「電圧」、「電流」、「電解溶液濃度」を変えた事例が存在することが分かった。Select タブの裏の List タブを選ぶと、図 5(c)上図のように結果集合のリストが表示できる。各リスト行からは図 5(c)

(a) Eagle Search select tab (not selected)

(b) Eagle Search select tab (“stainless steel” and “plane polishing” selected)

(c) List tab and each polishing case XML with XSLT

Fig.5 Eagle Search of polishing case XML

下図に示す事例XMLがリンクしている。また、リストの左端のチェックボックスを選択し、右下の比較ボタンを押すと、図6のように指定した評価項目でグラフ表示が可能である。この比較は縦軸が加工評価である粗さRa、横軸は時間である。図6は6種類の金属の工作物における粗さの時間変化の違いを表示した。電解砥粒研磨は、金属表面の酸化皮膜を利用して加工する。金属の種類によって酸化皮膜の特性が異なるため、加工結果が大きく異なることがグラフより明らかである。

このようにいくつかの事例を比較することで、既存研磨技術における粗さの状況が分かり、加工地図の「現状ではどこが最高値か」という目標値を確認することができた。さらに、同じ金属だけに対象を絞れば、加工条件の調整による粗さの改善状況も比較できる。例えば、早く加工できても面粗さが改良されなかったり、加工に時間がかかっても最良な粗さが得られるなど、「加工条件ルート」の把握に効果がある。比較による加工条件の可視化は、アーク溶接加工事例による加工支援でも用いた。アーク溶接加工の基本加工条件である溶接電流、アーク電圧、溶接速度を3軸に用いて、3D表示で事例比較を行い、加工支援に有効な結果が得られた。しかし、電解砥粒研磨加工では、加工条件の種類が多いために、アーク溶接加工のように比較軸を一意に決定することはできない。今後、比較に適した加工軸の選択が検討課題である。

4. 結 言

本論文では、これまで研究したアーク溶接加工事例と比較しながら、電解砥粒研磨加工事例について述べた。本研究では、次のような結果を得た。

- (1) 加工と評価が反復する複雑な研磨加工を記述する事例XMLを定義した。
- (2) 加工条件項目が多い研磨加工のために、事例作成ツールを開発し、これまでの加工実験を事例XMLとして蓄積した。
- (3) Eagle Searchによる加工事例検索と、比較による加工条件の可視化システムを構築した。事例を比較することで、加工条件の調節状況を示すことができ、研磨加工支援が可能となった。

今後、加工事例の比較に最適な加工パラメータの検討を行い、加工支援に用いる。また、ユーザの加工事例データとの比較についても実装し、実際の加工現場に適用し、本システムの有効性を実証する予定である。

参 考 文 献

- 1) S. Ohtani and T. Kojima: XML in Manufacturing Engineering, J. Jpn. Soc. Precis. Eng., **70**, 7, (2004) 908 (in Japanese).
- 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版一, 産業技術総合研究所DMRCレポート, 6 (2005) (in Japanese).

Fig.6 Graph comparison

- 3) manufacturing case network, <http://www.mmjp.or.jp/kskmdf/network/index.html> accessed 2011.5.10
- 4) Digital Manufacturing Database, <http://www.monozukuri.org/db-dmrc/index.html> accessed 2010.5.10
- 5) Y. Nishioka: PSLX Standard Specifications of Production Scheduling Originated from Japan, J. Jpn. Soc. artif. intell., **19**, 1, (2004) 59 (in Japanese).
- 6) S. Mitsui, F. Tanaka and T. Kishinami: EXPRESS/XML Based Cutting Tool Information Model and Tool Life Cycle Support, J. Jpn. Soc. Precis. Eng., **68**, 10, (2002) 1321 (in Japanese).
- 7) Y. Sato and K. Morishige: Development of Operation Planning Support System using XML Database of Machining Information, J. Jpn. Soc. Precis. Eng., **74**, 1, (2008) 92 (in Japanese).
- 8) S. Ohtani, T. Kojima and T. Ohashi: A Formulation of Welding Support System based on Welding Case Data of Distributed Information Sources, J. Jpn. Soc. Precis. Eng., **71**, 5, (2005) 613 (in Japanese).
- 9) S. Ohtani, K. Watanuki and T. Kojima: A Design Support System Using Welding Cases Described in XML, J. Jpn. Soc. Design Eng., **43**, 10, (2008) 59 (in Japanese).
- 10) S. Ohtani, K. Watanuki, T. Kojima, H. Kobayashi and I. Kawashima: A Welding Design Support System Using the Comparison of XML Cases, J. Jpn. Soc. Design Eng., **45**, 2, (2010) 94 (in Japanese).
- 11) 河西敏雄, 安永暢男: 高付加価値のための精密研磨, 日刊工業新聞社, (2010) (in Japanese).
- 12) 清宮紘一: 電解砥粒鏡面仕上げ方法および装置, J. Jpn. Soc. Abras. Technol., **37**, 4, (1993) 219 (in Japanese).
- 13) 清宮紘一: 電解砥粒鏡面研磨技術とその応用, J. Jpn. frict. weld. assoc., **3**, 4, (1996) 163 (in Japanese).
- 14) K. Seimiya: Electroabrasive Mirror Finishing of the Inner Surface of Stainless Steel Pipes of Small Diameter, J. Vac. Soc. Jpn., **40**, 6, (1997) 523 (in Japanese).
- 15) 森沢祐二, 清宮紘一, 原口浩: オスカー式研磨機によるステンレス鋼の電解砥粒研磨, J. Jpn. Soc. Abras. Technol., **41**, 1, (1997) 32 (in Japanese).
- 16) ASME: Boiler and Pressure Vessel Code Section IX, (2010).
- 17) ISO15607: Specification and approval of welding procedures for metallic materials.
- 18) JIS Z3040: 溶接施工方法の確認試験方法 (in Japanese).
- 19) JIS B8285: 圧力容器の溶接施工方法の確認試験 (in Japanese).
- 20) The Dublin Core Metadata Initiative: <http://dublincore.org/documents/dces/> accessed 2011.4.14.
- 21) MatML, <http://www.matml.org/> accessed 2011.4.14.
- 22) Xindice: <http://xml.apache.org/xindice/> accessed 2011.4.14.
- 23) O. Ryabov, et al.: DB Navigation by an Eagle View User Interface, 2002 JSPE Autumn Meeting, (2002) 626.