

テーマ「多様で柔軟な職業能力開発の推進」

副題「地域ニーズによるレーザー加工技術向上の取り組み」

所属施設 独立法人 高齢・障害・求職者雇用支援機構

執筆者 小田 浩司（中国職業能力開発大学校附属島根職業能力開発短期大学校）

1. はじめに

製品の多様化が進む製造業において、加工部品には少量多品種が要求されている昨今、加工形状の複雑化、加工精度の厳粛化、加工品質の高度化および加工材料の多品種化にタイムリーに対応することが迫られている。特に、加工材料においては、さまざまな分野で加工効率の向上や製品の軽量化を実現するために、新規材料および既存材料からの転換が試行されている。

このような時流の中、当短大校が隣接する地域から、プラスチック材料を素材とした薄板形状の切断加工について相談依頼があった。その加工方法にレーザ加工機を用いることとしたが、これまで主として加工してきた金属材料と異なり、プラスチック材料では溶融や切りくず処理などの不具合が生じてきたため、高品位な加工が可能な加工条件を検討した。この知見をもとに、能力開発セミナーを実施して地域の要望に対応したことを報告する。

また、ここで得られたノウハウを活かし、短期間で新型コロナウイルス感染症の飛沫対策用フェイスシールドの製作に繋がった事例を述べる。

2. ポリエチレンシートの加工

2. 1 背景

当校近隣の浜田市は 2019 年に開府 400 年となる節目の年を迎えるにあたり、様々な記念イベントを計画している。その中の 1 つとして、毎年 4 月に行われる「浜っ子春まつり」では、江戸時代の参勤交代を再現した大名行列に数十人規模の甲冑隊を加える予定である。その甲冑の材料は、装着者の負担軽減から、金属ではなく厚紙やプラスチックが材料として採用されている。現在、浜田市ではその製作方法が主に手作業となっているため、開催までに複数の製作が困難な状況になっている。そこで、当校の炭酸ガスレーザ加工機を用いて、甲冑部品の製作の機械加工化を試みた。本報告では、使用する材料に対して、高品位な加工が可能な加工条件を検討した結果を報告する。また、加工する部品の配置から、効率的な加工方法を検討した結果を報告する。

2. 2 材料物性とその加工特性

浜田市より提供されたプラスチック材料は、成形タイプの異なる 2 種類のポリエチレンである。一方がソリッドタイプ（材料 A とする）であり、他方が気孔を有する発泡タイプ（材料 B とする）である。それぞれの材料物性値を表 1 に示す。どちらの材料も低温で軟化・溶解が起こり、熱に極めて耐性がないことがわかる。

これらの材料を、 $\square 30\text{mm}$ の中に $\phi 3.5\text{mm}$ の穴がある形状にテストカットをおこなった。その加工条件は、従来から使用しているアクリル樹脂の値（出力電流値：30mA、アシストガス：エア-0.03MPa、加工速度：4500mm/min、焦点深度：材料表面）を用いた。そのとき得られた加工物をレーザ光が射出された側、すなわち裏面からの外観を図 1 に示す。図に示すように、アクリル樹脂の加工条件で切断は可能であったが、切断面に必要以上に溶け込みが発生している。特に穴の外周は深く溶融しており、大きさ・形状とも良好とはいえない。

この原因の 1 つとして、過大な加工出力が挙げられる。レーザ加工機は図 2 に示すように、薄板鋼板を用いた楕円形状の治具の上に加工材料を設置する。上方から照射されるレーザ光は加工材料だけでなく、その下の治具の一部も加工することになる。特に加工出力が大きくなると、治具への損傷も大きくなり火花が発生する。その火花が熱に対して弱いポリエチレン材料の溶融に影響している。このことから、材料裏面の溶け込みをなくすためには、加工出力を下げ、材料のみが加工できるような適正な加工条件を検討する必要がある。

表 1 ポリエチレンの物性値

	材料A	材料B
成形タイプ	ソリッド	発泡
比重	0.94	0.65
引張強度 MPa	23.1	11.6
伸び %	39	41
柔軟温度 °C	61~72	65~70



図 1 テストカットした加工物の外観

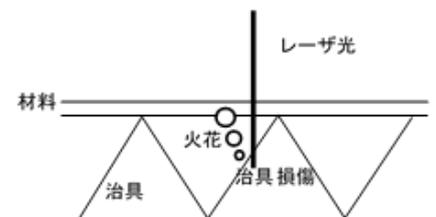


図 2 材料溶融の模式図

2. 3 加工条件の検討

加工出力が加工物の表面品位に影響をおよぼすことが明らかになったため、加工出力を制限する発振器の電流値を変化させてテストカットをおこなった。使用する各種材料および板厚に対して、加工が可能な電流値の下限値を見出すことにした。その結果を表 2 に示す。表の×印は出力が小さく、切断されずに素材のシートから取り除かれなかったことを示している。△印は切断されたが、切断面にバリが多く発生しており、不適格な条件である。○印は切断面がシャープなエッジであるとともに、図 1 に示したような過大な溶け込みも見受けられなかった。このことから、それぞれの材料において、高品位に加工できる電流値の下限値を明らかにすることができた。

テストカットした加工物の穴部に、図 3 に示すように切断した材料の溶け残った塊（以下、切りくずとする）が付着している。この切りくずの付着を防止しかつ除去するために、アシストガスの圧力を段階的に変化させた。圧力のある値まで高くすると、切りくずは検知されなかった。しかし、より高い圧力では酸素の供給が多くなり、酸化・燃焼反応が促進されて、切断面に溶け込みが発生するようになった。このことから、実験的にアシストガスの適正な圧力値を求めることができ、本実験では 0.06MPa を最適な値とした。

以上のように、実験より求めた高品位加工が可能な最適条件を表 3 に示す。

表 2 加工品位におよぼす電流値の影響

電流値 mA	材料A 板厚1.5mm	材料B 板厚1.5mm	材料B 板厚2.0mm
25	○	○	○
20	△	○	△
18	×	○	×
16	×	△	×
14	×	×	×

○：切断可能

△：切断可能（バリ発生）

×：切断不可



図 3 溶融した切りくずの付着

表 3 加工条件

発振器定格	2000 W
ビームモード	シングルモード
電流値	25 18 mA
アシストガス	エア
ガス圧力	0.06 MPa
加工速度	4500 mm/min
レーザ焦点	材料表面

2. 4 部品配置の検討

今回製作する甲冑は、多くの部品を組み合わせて成形する。図 4 は胴部分に用いる部品図を示しており、大小さまざまな曲面を有した部品となっている。これらを提供された 1000×1000mm の大きさのポリエチレンシートを材料として製作する。その際、部品の大きさや形状を考慮して配置を検討した。おおまかな配置は CAM のネスティング機能を使用して、その後、手動にて修正をおこない調整した。

その結果を図 5 に示す。部品以外の余白部分が減少され、材料の歩留まりが高くなり、経済的な効果をもたらした。また、部品間の移動距離が短くなることで、加工時間が短縮されることがあげられる。さらに、シート 1 枚から製作できる部品の個数が増えるため、今回のように複数製作する場合においては、材料交換の段取り時間も低減することができる。

2.5 シートの加工

高品位に加工が可能な条件および効率的な配置を用いて、ポリエチレンシートを加工したところ、図6に示すように、加工ヘッドと切断した部品が衝突し加工機が停止した。これは加工した部品の下部に材料を支える治具が存在しなかったため、図のように加工が完了した部品が立ち上がり、次の部品加工に向かう加工ヘッドと衝突した。特に図2で示した治具損傷の熱影響を避けることを目的に、治具を可能な限り少なくしたため、衝突現象が顕著化した。そこで、これまでジョイント（加工部品に故意に加工しない数mm程度の部分）を2カ所設けていたが、4カ所に増加させる対策を施した。これにより加工部品はシート材料から立ち上がることなく、1000×1000mmの広範囲なシート全体でスムーズな自動運転による連続加工が可能となった（図7参照）。

図8は図7で製作した部品を曲げ、紐通しして組立てた甲冑である。従来製作していた厚紙製の甲冑に比較して、0.7kg軽くなっている。また、塗装・防水処理の必要もなく、完成までの時間が大幅に短縮できるようになった。

ここまで得られた知見を盛り込み、薄板材料のプラスチック製品の切断加工について相談依頼があった方々を対象に、能力開発セミナー「レーザ加工技術（精密切断加工）」を実施した。従来の金属材料の加工と比較して、プラスチック材料特有の加工現象や相違点を実物を用いて提示した。また、高品位かつ高能率な加工方法として、最適な加工条件やジョイントの追加の必要性などを講義・実演した。その結果、セミナーアンケートでは「レーザ加工の利点と欠点がよく理解できた」「新たな内容であったので、大変勉強になった」というコメントが得られた。

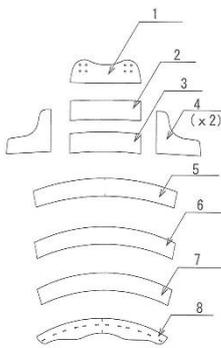


図4 甲冑の部品図（胸部）

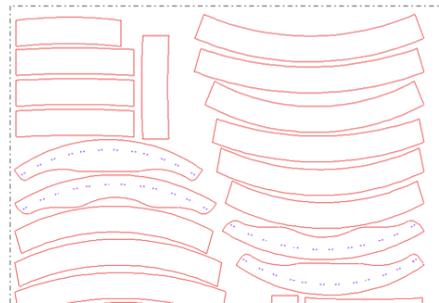


図5 ネスティング

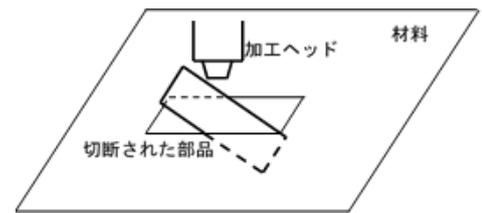


図6 衝突の模式図

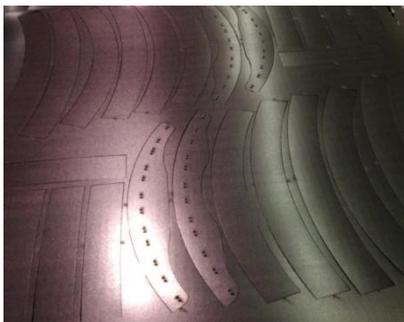


図7 切断した甲冑部品



図8 製作したプラスチック製の甲冑

3. フェイスシールドフレームの製作

3. 1 背景

新型コロナウイルスが蔓延してきた 2020 年当初、世界および日本中でマスク、アルコール消毒液および体温計などの医療品・日用品が欠乏してきた。特に医療現場では新型コロナウイルス感染症の対策上、必要不可欠な構成要素であるマスク、フェイスシールドおよびガウンといった個人防護具が先進国、新興国を問わず不足する事態となる。当短大校が位置する島根県内においても例外ではなく、この状況を危惧した大田食支援研究会に所属する歯科医師から、フェイスシールドの製作依頼の問い合わせが寄せられた。本来ならば共同研究などの事業として検討・実施するところではあるが、緊急性、地域貢献およびボランティア活動の観点から校として取り組むこととした。

3. 2 デザインの検討

製作依頼されたフェイスシールドは複数の学術機関が、ホームページ上でデータを公開¹⁾しており、3D プリンタを使用して製作する手法となっている。その中から 3D プリンタによる製作時間と、医療従事者が実装した時の装着感に違和感のない品質の形状を、図 9 に示すように設計した。取り換えを必要とするシールド部の穴は、身近にあるものでかつ簡便に加工ができるように、文房具の穴あけパンチを用いることにした。パンチ穴に適合するように、フレームの突起の大きさと間隔を決定した。また、医療現場や福祉現場など使用用途において必要な防護性が異なるため、シールドの大きさに合わせて対応可能なように突起を左右 3 個とした。さらにフレームの厚みは、装着性、パンチ穴の大きさととの適合、強度、コストおよび加工時間を考慮して 5 mm とした。

3. 3 加工方法の検討

フレームとシールド部の結合部分を極小にした図 9 のモデルにおいて、当短大校既存の FDM(熱溶解積層)型 3D プリンタを用いて製作すると、1 個およそ 60 分程度製作に費やされる。平日日中のみの稼働では、100 個の製作に 2 週間程度の時間が必要である。緊急事態宣言が発令されて当短大校においても就業人数の制限がある中、より迅速に製作する手法としてレーザ加工機を用いることを検討した。特に新規に設計したモデルが、高さ方向に段差のない 1 平面内にあるため、一様な厚みの板材からレーザ加工機による切断加工で製作が可能となる。その結果、1 個の製作時間が 1 分程度となり、大幅な時間短縮となった。



図 9 設計したフェイスシールド

3. 4 材料の検討

フェイスシールドは頭部と脱着を反復するため、フレーム部分の材質は弾性に富み、しなやかな特性が必要不可欠となる。また、軽量、強度、低コストの特長に加え、繰り返し使用するため消毒が簡単におこなえる衛生性が求められる。

軽量で安価な MDF (Medium Density Fiberboard) を一考にしたが、衛生面に対応するには塗装・乾燥工程などが増え生産性が低下するため、今回はプラスチック材料とした。プラスチック材料の中では、表 4 に示すようにアクリル樹脂に比較して、ひずみ、引張弾性率および衝撃強さなど弾性特性がより顕著な特長²⁾を有する ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 樹脂を選択することにした。

3. 5 配置を考慮した設計変更

前項で設計した形状は 1 部品となっており、レーザ加工機で板材から製作するには図 10 (a)で示すように部品以外の余剰部分が多くなり、材料の損失が大きくなる。飛沫防止の遮蔽板・衝立などでプラスチック材料の入手が極めて困難になっている中、材料の歩留まりを高くするため、形状を 1 部品から分割して、2 部品形状にすることにした。2 部品にすることで、組立に必要とする時間が積算されてくることを憂慮したが、図 10 (b)に示すように、歩留まりの改善に明確に大きな効果をもたらし、板材を効率的に使用して隙間なく多数の部品を製作することが可能となった。

表 4 プラスチックの物性値

	アクリル	ABS
比重	1.2	1.05
引張強さ MPa	74	48
ひずみ %	4.5	20
引張弾性率 MPa	2900	2600
衝撃強さ J/m	16	147



(a) 1 部品による配置 (b) 2 部品による配置

図 10 形状分割による効率的な配置

3. 6 加工条件の検討

従来から使用している厚み 5 mm の樹脂の切断条件 (出力電流値: 35 mA、アシストガス: エアー 0.03 MPa、加工速度: 4500 mm/min、焦点深度: 材料表面) で加工した。そのとき得られた加工物をレーザ光が射出された側、すなわち裏面からの外観を図 11 に示す。

図中の上方に示す部品は、特定部分の切断面に必要以上に溶け込みが発生している。良好に切断された図中の下方に示す部品と比較すると、その差異は明らかである。特に深く溶融した部分は薄くなり、強度不足が否めない。



図 11 テストカットした加工物の外観

この対策として、前項のポリエチレンシートの高品位切断加工と同様に加工出力を下げるこゝがあげられる。材料支持部品を切断せずに、プラスチック材料のみが加工可能な電流値の下限値を見出すことにした。

また ABS の切断加工ではアクリルやポリエチレンとは異なり、加工時に多くの粉塵が煙状に発生する。この粉塵がレーザ加工機の集光レンズに付着しないようにするため、アシストガスを高く設定した。以上のように検討した結果、厚み 5 mm の ABS の加工条件を表 5 に示す。

表 5 加工条件

発振器定格	2000 W
ビームモード	シングルモード
電流値	32 mA
アシストガス	エアー
ガス圧力	0.1 MPa
加工速度	4500 mm/min
レーザ焦点	材料表面

3. 7 組立

材料の歩留まりを高くする観点から、前述のように部品を 2 分割して製作した。その分割部分は、接着剤で固定する際に、より効果的になるように楕円形状にした。接着剤で仮止めした後、固定部の補強のためテープと熱収縮チューブで接合部を覆った。組立前のフレーム部品と接合したフレームを図 12 に示す。熱収縮チューブを収縮させるには、一般的に温風器やドライヤで個々に加熱させるが、組立にかかる時間を短縮するために、恒温器を用い複数を一括で組立可能にした。

凹凸のないデザインの設計変更、レーザ加工機を用いた製作手法および組立方法の考慮から、本来提案されていた 3D プリンタでの製作方法に比較して、20 倍以上の効率で製作が可能となった。4 月 10 日に受けた相談依頼から、短大校として実施する決定、設計、部品製作、組立および各工程での修正・変更を経て、5 月中旬までの極めて短期間の間に約 360 個を製作した。特に部品製作においては、最適な加工条件から高品質な加工が実現でき、適正な配置による材料や加工時間のムダ取りのノウハウは、ポリエチレンシートの加工の知見を活用して円滑・迅速な対応が取れた。

製作したフェイスシールドは図 13 に示すように、大田食支援研究会を通じて、西部島根医療福祉センターや江津市医師会などへ寄贈された。



図 12 製作したフェイスシールドフレーム



図 13 医療機関への配布

4 おわりに

当短大校が隣接する地域からの相談依頼をもとに、プラスチック材料を用いた製品製作について、レーザ加工機による加工技術の高度化を図った。その結果、プラスチック材料特有の加工現象を把握し、適正な加工条件を見出すことができた。また、製作する部品の配置を整然とすることで、時間と材料の歩留まりを縮減させ、効率的な加工が可能となった。さらに、ジョイントの個数を増加することで、加工時に部品が加工ヘッドに干渉することなくスムーズな連続加工が実現できるようになった。これらの得られた知見を盛り込んだ能力開発セミナーを実施することで、地域でのレーザ加工技術の向上につながった。この成果が図 14 に示すように、地域の歴史的なイベントに製品として使用され、技術向上の見える化を示すことができた。

同じく隣接する地域から、新型コロナウイルス感染症の飛沫対策用フェイスシールドの製作の依頼に対して、今回培ったレーザ加工技術のノウハウを糧に、高品位かつ短期間で緊急的なものづくりが可能となった。また、この一連の活動が島根県内で注目され、図 15 に示すように、当短大校で製作している様子がマスコミに報道され、レーザ加工における技術力の向上をアピールすることができた。



図 14 活用されたレーザ加工製品



図 15 マスコミによる報道の様子

謝辞

ポリエチレンシート of 加工にあたり、材料の提供と助言をいただいた浜田市産業経済部観光交流課開府 400 年推進室、浜田手づくり甲冑愛好会に感謝の意を表す。

フェイスシールドの製作にあたり、医療現場からの貴重な助言・提言をいただいた前田憲邦医師、極めて入手が困難の中、材料の提供をいただいた永井建設株式会社に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 神奈川大学, <https://www.kanagawa-u.ac.jp>, 2021 年 7 月 1 日現在
- 2) 三ツ星ベルト株式会社, エンジニアプラスチックカタログ