

平成26年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「難加工薄板材のバリ無し打ち抜き加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成27年3月

委託者： 東北経済産業局

委託先： 公益財団法人山形県産業技術振興機構

目 次

第1章 研究開発の概要	
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究員氏名、協力者）	2
1-3 成果概要	5
1-6 当該プロジェクト連絡窓口	7
第2章 本論	
2-1 振動及び衝撃の軽減	
(1)-1 金型の衝撃・振動の計測	8
(1)-2 鋳鉄を利用した金型の防振対策	10
(1)-3 金型構造と成形条件による衝撃・防振対策	12
(1)-4 金型の衝撃・振動対策の効果検証	14
2-2 難加工薄板材に対応した加工技術	
(2)-1 基礎技術開発	16
(2)-2 シーズ技術の高延性材料への応用	18
(2)-3 シーズ技術の六方晶材料への応用	20
(2)-4 試作と評価	22
2-3 バリ検査技術	
(3)-1 独自照明技術及びエリア画像処理によるバリ検出技術の確立	24
(3)-2 OCTによる立体情報評価によるバリ検出技術の確立	26
(3)-3 エリアOCTによる特定断面の高速計測による全数検査への応用	28
(3)-4 プレス工程における計測精度評価	31
第3章 総括	33
専門用語等の解説	34

1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

日本のものづくり産業の国際競争力強化及び新たな事業の創出を図るために、ものづくりの基盤を支える金属プレス加工技術の重要性が掲げられており、様々な不良の原因となるバリの抑制技術が求められている。特に、激化する新興国企業との競争に対応するため、バリ無し部品を低コスト、短納期で供給することを要求されている。

本研究では、医療機器、車載用電子機器関連の川下産業の金属プレス加工で、近年特に要望が多くなりつつある難加工薄板材のバリ無し打ち抜き加工技術を開発すること等によって、バリ取り作業などの工程を削減し、バリ無し部材の供給を、短納期かつ低コストで実現することを目的とする。

本研究では、1.0mm以下の薄板での適用が困難とされてきた平押し法に、金型構造の改良と防振対策を施すことにより、薄板材のバリ無し打ち抜き加工技術を開発する。また、加工部品のバリ無しを保証する検査技術を確認し、安全、安心な製品供給を図る。研究開発においては、3つの課題を設けた。

課題（1） 平押し法を薄板材へ適用するための振動及び衝撃の軽減

振動がバリの生成に大きな影響を及ぼすことは容易に想像できるが、金型の振動の実態がよくわかっていない。そのため、1回の打ち抜き加工で発生する振動並びに連続的な打ち抜き加工により合成される振動を正確に把握する必要がある。その上で、金型材料や金型構造、加工条件により振動を減衰させる技術を開発する。

課題（2） 難加工薄板材のバリ無し打ち抜き加工技術の確立

ステンレス鋼、チタンなどは、板厚にかかわらず、バリの抑制が困難な難加工材料として知られている。また、材料物性によって成形条件が変動する可能性も高い。そこで、一般的な材料である冷間圧延鋼板SPCC(標準調質)を基準材料とし、難加工薄板材の材料物性を把握した上で成形条件を絞り込むことで効率的に研究を実施する。

課題（3） 打ち抜きバリの高精度検査技術の開発

金属光沢を有する部品の微細なバリの観察は目視では難しく、拡大鏡下で角度を変えながら触覚も併用して人手に頼った検査が行われている。したがって従来のカメラ・照明を用いた単純な画像処理だけでは微細バリの検出は困難である。また、接触式の形状計測法は計測に時間がかかり、被測定物の形状依存性が高く現場では使いにくい手法である。本研究開発では、バリの高速、高精度、低コスト検出手法を確立するため、3種類の検査技術を用いる。

各課題の開発目標は、表1の目標達成を目指した。

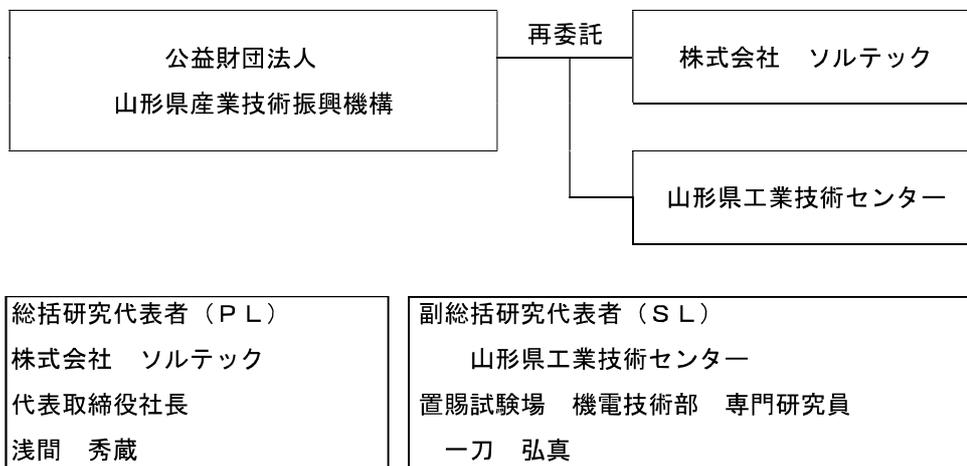
表1 開発目標

課題（1） 振動及び衝撃の軽減	
・ 金型の衝撃・振動の計測	金型の衝撃・振動の現状把握
・ 鋳鉄を利用した金型の防振対策	「残留振幅/初期振幅」を0.2以下に抑える。
・ 金型構造と成形条件による衝撃・防振対策	水平方向の振動を製品板厚5%以下に抑える。 垂直方向の振動を製品板厚5%以下に抑える。
・ 金型の衝撃・振動対策の効果検証	金型寿命10万ショット

課題（２） 難加工薄板材に対応した加工技術	
・基礎技術開発	成形条件検討手法の確立
・シーズ技術の高延性材料への応用	製品モデル形状バリ無し良品率99.5%の達成
・シーズ技術の六方晶材料への応用	製品モデル形状バリ無し良品率99.5%の達成
・試作と評価	試作品実体での評価
課題（３） バリ検査技術	
・独自照明技術及びエリア画像処理によるバリ検出技術の確立	検出精度：95%（バリレベル100um） 検査時間：100ms以内
・OCTによる立体情報評価によるバリ検出技術の確立	計測エリア：□3mm ² ×D1mm以上 測定分解能：100um以下（バリ検出レベル） 計測時間：10s以内
・エリアOCTによる特定断面の高速計測による全数検査への応用	測定エリア：□3mm ² 以上 測定分解能：100um以下（バリ検出レベル） 計測時間：1s以内
・プレス工程における計測精度評価	工程での画像計測時間：100ms 工程での画像計測精度：95%以上 工程でのOCT計測時間：1s以内 工程でのOCT計測精度：95%以上

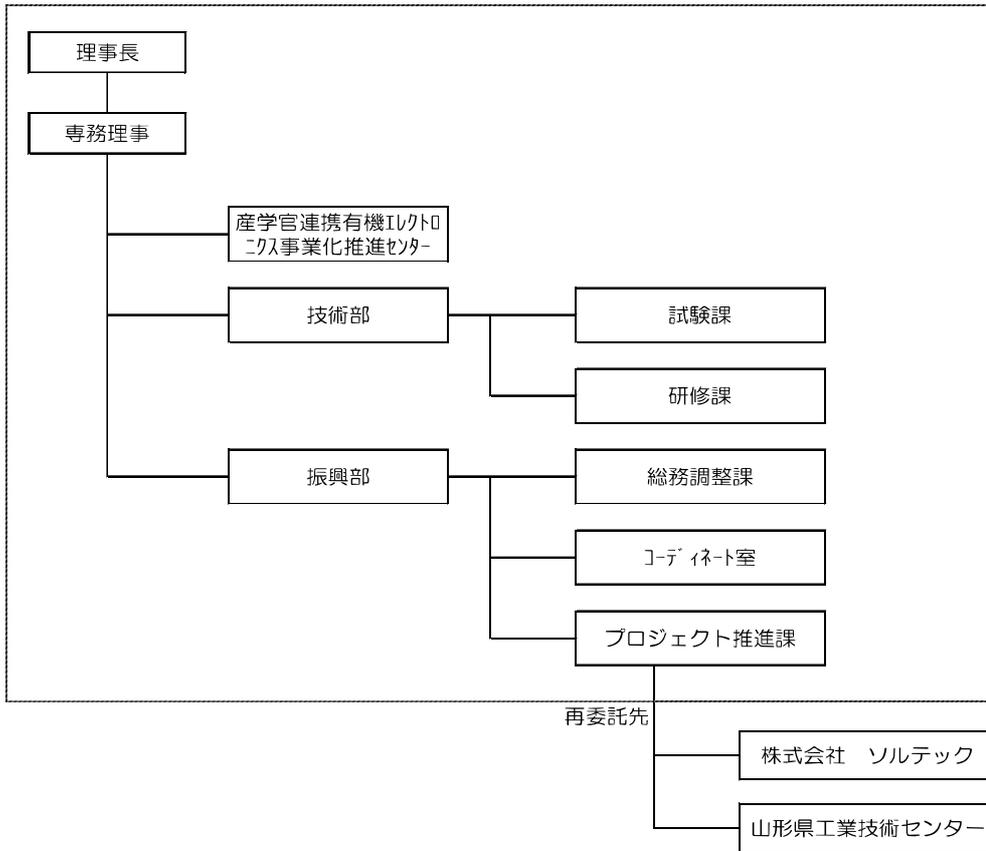
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究員氏名、協力者）

（１）研究組織（全体）



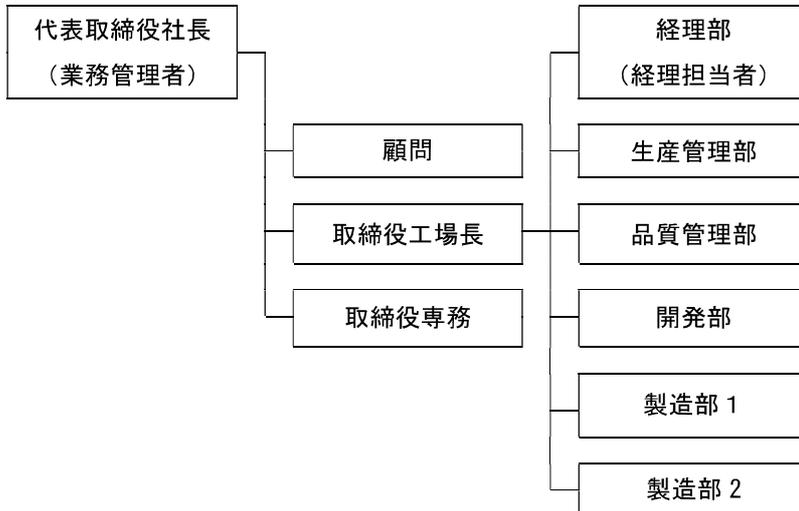
(2) 管理体制

① 事業管理機関 [公益財団法人 山形県産業技術振興機構]

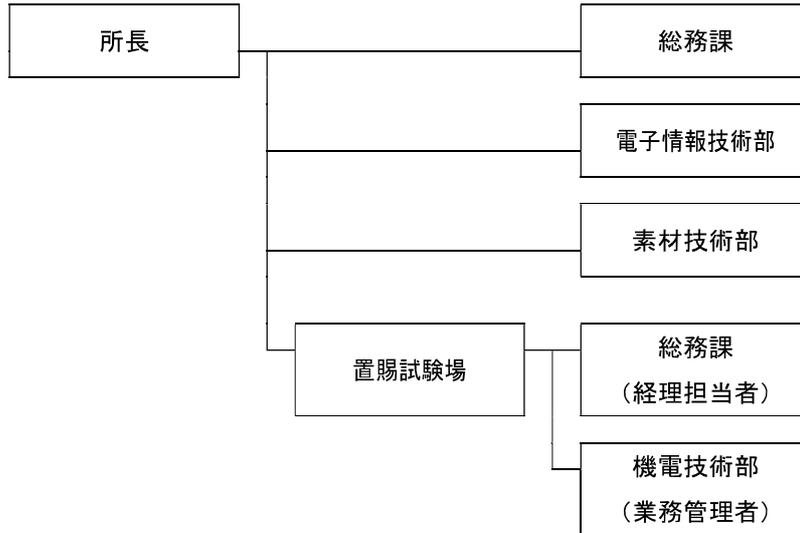


② (再委託先)

[株式会社 ソルテック]



[山形県工業技術センター]



(3) 研究員

株式会社ソルテック

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
浅間 秀蔵	代表取締役社長	課題(1),(2),(3),PL
小野 幹雄	取締役専務	課題(2)
五十嵐 力	取締役工場長	課題(2)
渡辺 毅	顧問	課題(2)
金子 修博	開発部生産技術リーダー	課題(1),(2),(3)
中川 浩幸	開発部サポインリーダー	課題(1),(2),(3)
渋谷 秀雄	製造部2	課題(1),(2),(3)
浅間 勇人	開発部	課題(1),(2),(3)
島貫 正弘	品質管理部リーダー	課題(1),(2),(3)
羽角 隆雄	開発部	課題(2)
青木 政幸	製造部1 リーダー	課題(1),(2),(3)
佐藤 敏弘	製造部2 リーダー	課題(1),(2)
桜井 幸男	製造部1 サブリーダー	課題(1),(2)
植竹 一馬	製造部2	課題(1),(2)
窪田 寿光	製造部2	課題(1),(2)

山形県工業技術センター

氏名	役職・所属	実施内容(番号)
一刀 弘真	置賜試験場機電技術部専門研究員	課題(1),(2),(3),SL
中野 哲	置賜試験場機電技術部開発研究専門員	課題(2)
中村 修	置賜試験場機電技術部専門研究員	課題(1)
金子 誠	置賜試験場機電技術部専門研究員	課題(1)
熊倉 和之	置賜試験場機電技術部研究員	課題(2)

泉妻 孝迪	置賜試験場機電技術部研究員	課題(2)
松木 俊朗	素材技術部専門研究員	課題(1),(2)
齋藤 壹実	素材技術部研究員	課題(1),(2)
高橋 義行	電子情報技術部主任専門研究員	課題(3)
橋本 智明	電子情報技術部主任専門研究員	課題(3)
今野 俊介	電子情報技術部専門研究員	課題(3)

(3) 協力者 (研究推進委員会委員)

氏名	所属・役職	備考
浅間 秀蔵	株式会社ソルテック 代表取締役社長	PL委
渡辺 毅	株式会社ソルテック 顧問	委
五十嵐 力	株式会社ソルテック 取締役工場長	委
小野 幹雄	株式会社ソルテック 取締役専務	委
金子 修博	株式会社ソルテック 開発部生産技術リーダー	委
中川 浩幸	株式会社ソルテック 開発部サポインリーダー	委
向 俊弘	山形県工業技術センター 置賜試験場 場長	
二宮 啓次	山形県工業技術センター 置賜試験場 機電技術部 部長	
高橋 義行	山形県工業技術センター 電子情報技術部 主任専門研究員	
今野 俊介	山形県工業技術センター 電子情報技術部 専門研究員	
松木 俊朗	山形県工業技術センター 素材技術部 専門研究員	
一刀 弘真	山形県工業技術センター 置賜試験場 機電技術部 専門研究員	S L
近藤 一義	豊田工業大学 客員教授	アドバイザー
池田 圭介	株式会社鳥羽洋行 顧問 (元・東北大学 教授)	アドバイザー
委員 A	T社 常務取締役	アドバイザー
委員 B	T社 顧問	アドバイザー
委員 C	T社 研究開発部	アドバイザー
委員 D	F社 事業部長	アドバイザー
渡部 裕輝	山形大学大学院理工学研究科 応用生命システム工学専攻 准教授	アドバイザー
山田 享	有限会社渡辺鋳造所 技術顧問 (元・山形県工業技術センター)	アドバイザー

1-3 成果概要

(1) 振動及び衝撃の軽減

(1) -1 金型の衝撃・振動の計測

金型に加速度センサを取り付け、打ち抜き加工条件、金型の構造等と発生する衝撃・振動との関係を調査した。そして、現状の金型の衝撃・振動を把握し、以降の課題で振動や衝撃の軽減対策の参考となる知見を得た。

(1) - 2 鋳鉄を利用した金型の防振対策

黒鉛の性状及び基地組織を種々組み合わせた鋳鉄試験片で減衰特性を調べ、金型材料として最適な鋳鉄材料を検討した。その結果、炭素、けい素量が多く、かつ比較的硬い材料が最も良好な減衰特性を示し、「残留振幅/初期振幅」を0.2以下とする数値目標を達成した。

(1) - 3 金型構造と成形条件による衝撃・防振対策

金型構造の改良と、プレス速度のプログラム制御などの成形条件の検討を行い、金型への衝撃軽減を目指した。その結果、数値目標としていた被加工材板厚の5%以下に振動の振幅を軽減できた。

(1) - 4 金型の衝撃・振動対策の効果検証

課題(1) - 1～3の成果を利用して、金型寿命が量産に耐えるか確認する実験を実施した。その結果、目標の10万ショット加工後もバリ無し加工が安定して実施できることを確認した。

(2) 難加工薄板材に対応した加工技術

(2) - 1 基礎技術開発

難加工薄板材へのバリ無し打ち抜き加工技術の応用を目指し、シーズ技術を冷間圧延鋼板SPCC薄板(t0.5mm)に応用する検討を行なった。まず、課題(1)の成果を用いて振動軽減対策を施し、バリ無し打ち抜き加工ができる金型パラメータを確認した。そして、成形条件を評価するための検討手法を確立した。

(2) - 2 シーズ技術の高延性材料への応用

本課題では、延性が高いために打ち抜き加工が難しいオーステナイト系ステンレス鋼SUS316薄板のバリ無し打ち抜き加工を検討する。まず、課題(2) - 1の成果を応用し、バリのない打ち抜き加工ができる金型パラメータを確認した。そして、バリ無し加工を実施し、数値目標としていた良品率の99.5%以上を達成した。

(2) - 3 シーズ技術の六方晶材料への応用

本課題では、六方晶材料であるために打ち抜き加工が難しい純チタンTP270C薄板のバリ無し打ち抜き加工を検討する。課題(2) - 1の成果を活用して、金型のパラメータと成形条件を検討し、打ち抜き加工を実施した。その結果、圧延直角方向においてバリ無く加工できる条件を確認できた。しかし、全周でのバリ無し加工条件は課題として残った。

(2) - 4 試作と評価

課題(2) - 1、2の結果を応用し、川下企業2社の求める部品を想定した試作を行なった。その結果、川下企業の要求どおりのバリ無し加工が可能であることを確認した。

(3) バリ検査技術

(3) - 1 独自照明技術及びエリア画像処理によるバリ検出技術の確立

本課題では、バー照明を用いた周囲斜方照明によるバリ検査システムの構築とエリア画像処理によるバリ検出アルゴリズムの開発及び実証を行った。実験の結果、目標以上の検査速度を実現し、高さ20 μ m程度のバリまで検出できた。また、熟練検査員が見落とししたバリについても検出することができた。

(3) - 2 OCTによる立体情報評価によるバリ検出技術の確立

本課題では、プレス製品のバリの状態を、OCT(光断層画像化法)計測技術を用いることで、非接触で三次元データを取得し、可視化できる検査技術を検討した。その結果、設定した数値目標を達成できた。

(3) - 3 エリアOCTによる特定断面の高速計測による全数検査への応用

本課題では、プレス加工品の表面状態について特定の断面に限定し、バリ由来の突形状が生じていないかどうかを極短時間で判定を行うことを目的に、実証試験を行なった。その結果、設定した数値目標を達成できた。

(3) - 4 プレス工程における計測精度評価

本課題は、課題(3)-1~3の開発検査設備の現場利用を検討する。まず、開発した画像検査によるバリ検査装置(画像処理検査システム)及びOCTによるバリ形状計測装置(OCT検査システム)を製造現場に持ち込み、プレス加工による振動や現場の照明による外乱光が検査結果に影響がないことを確認した。そして、現場で生産していた形状の異なる複数種類のワークについてバリ検出を検討し、性能評価を実施した。その結果、設定した数値目標達成できた。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

公益財団法人 山形県産業技術振興機構 プロジェクト推進課

〒990-2473 山形県山形市松栄二丁目2番1号

山形県高度技術研究開発センター内

電話番号： 023-647-3163

FAX番号： 023-647-3139

E-mail： pro-yamagata@ypoint.jp

第2章 本論

2-1 (1) 振動及び衝撃の軽減

(1)-1 金型の衝撃・振動の計測

目的と目標

本課題では、以降の課題で振動及び衝撃の軽減対策を実施するために参考とする基礎的データ収集を目的とし、金型で実際に発生している衝撃・振動の現状把握を目指す。

方法

衝撃及び振動の計測技術を確立した上で、生産現場で計測を行った。そして、通常、生産に利用している条件で加工を行い、サーボプレス加工機で実際に発生する振動・衝撃の現状把握を行なった。

実験に用いた加工機は、圧力能力が200tのAMADA製サーボプレス加工機である(図1-1-1)。この加工機に、平押し加工実験用の6工程順送金型を設置した。

計測には、日本ナショナルインスツルメンツ株式会社製の音響/振動計測システム「NI cDAQ-9178+NI 9234」を用いた。



図1-1-1 AMADA (200tサーボプレス)

検討した加工条件を表1-1-1に示す。

表 1-1-1 加工条件

加工速度	50 SPM
材質	SPCC
板厚	0.5 mm
加工液	なし
金型	平押し加工実験用順送金型
加工機	AMADA (200tサーボプレス)

計測ソフトは、LabVIEWにより作成し利用した。サンプリング周波数は25.6kHzに設定し、3軸の加速度データを取得した。そして、1計測につき、100サンプル分のデータを計測した。図1-1-2は、センサ取り付け位置である。

計測したデータは、3軸の衝撃及び振動の加速度、振動の変位の2種類の解析を行い、評価した。

結果・考察

図1-1-3に金型に加わる衝撃加速度を示す。各軸とも、1ストローク分のデータである。波形から6工程分の衝撃や振動のピーク位置が時間的に若干ズレて重なっていることがわかる。図より加速度を比較するとZ軸の加速度が最も大きいことがわかる。その際、Z軸では200G程度の衝撃が観測された。



図 1-1-2 センサ取付位置 (上型)

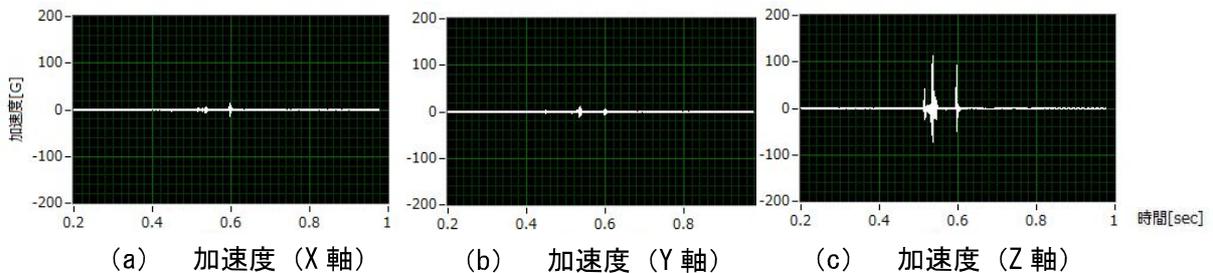


図 1-1-3 金型に加わる衝撃加速度 [8]

図1-1-4に、金型で発生するXYZ各軸の振動の変位を示す。Z軸では最大1.5mm程度、つまり、板厚の300%程度の振幅が観測された。

平押し法を薄板材に適用するためには、振動振幅を5%以下にする必要があると考えており、以降の課題で軽減対策を実施する必要があることが確認できた。

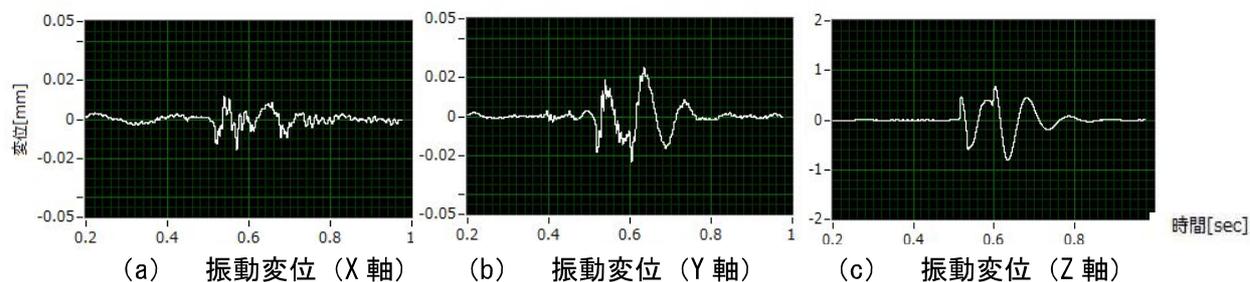


図 1-1-4 金型で発生する各軸方向の振動変位

図1-1-5に、金型で発生するY軸方向の振動変位を示す。これらは、100データ評価したうち、特徴的な波形を抽出したものである。図より形や振幅がばらついていることが確認できる。これは、毎回不規則に金型が振動していることを表している。これにより、本研究のシーズ技術である下死点位置決め機構を用いた平押し加工が安定して行うことができない原因の1つ、金型の不規則な振動が確認できた。安定した量産を目指すため、以後の課題で振動対策を実施する。

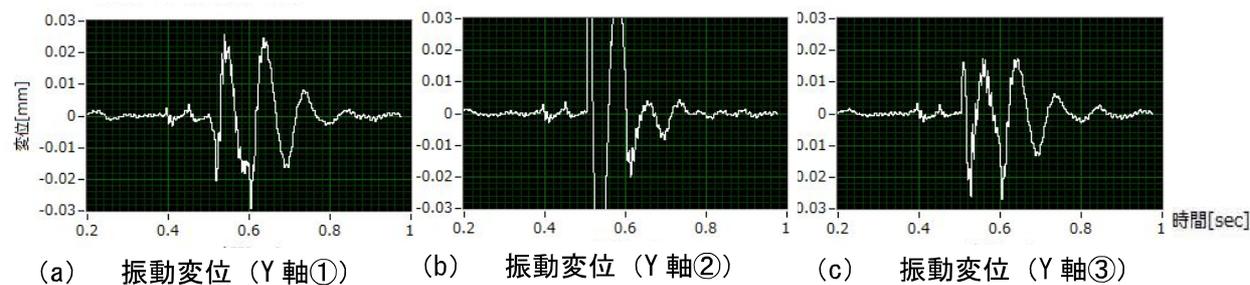


図 1-1-5 金型構造の影響

(1) — 2 鋳鉄を利用した金型の防振対策

目的と目標

本課題では、鋳鉄を利用して加工時の金型の振動を早く減衰させることを目的とし、鋳鉄試験片を試作して減衰特性を調べ、金型材料として最適な鋳鉄材料を検討した。まず、黒鉛量の異なる鋳鉄試験片を試作して、良好な減衰特性を有する材料を選定した。次に、鋳鉄試験片を熱処理することにより材質の調整を行うことで減衰能の向上と機械的性質の両立を図った。そして、基地組織について詳細な検討を行い「残留振幅/初期振幅」を0.2以下とする数値目標達成を目指した。

方法

供試材の形状及び寸法を図1-2-1に示す。得られた鋳物を切断・加工し、100mm×100mm×t30及びt50mmのブロック試験片を作製した。



図 1-2-1 鋳鉄素材の形状及び寸法

図1-2-2に振動吸収特性評価の状況を示す。加速度センサを取り付けた試験片に、所定の高さよりハンマを落下させ、そのときの加速度及び変位の変化を測定した。データの解析は、初期振幅に対する50ms後の残留振幅の比をとることとした。

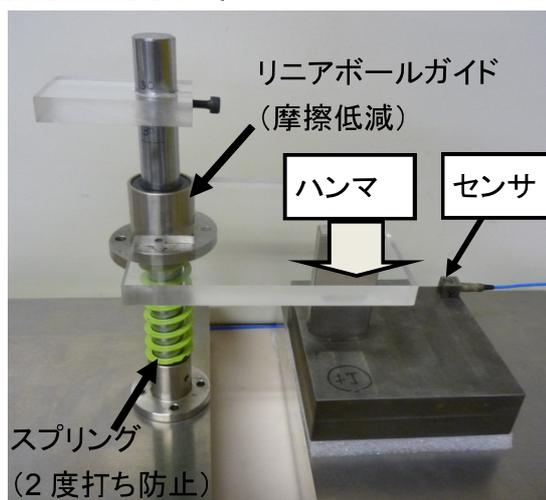


図 1-2-2 振動吸収特性評価の実施状況

結果・考察

図1-2-3にハンマで振動を付加したときの加速度及び振幅変化を示す。図より、目標とした50ms経過後の「残留振幅/初期振幅」0.2以下を達成した。また、熱処理、合金元素の調整による効果、板厚の影響についても明らかとなった。実用化に当たっては、材料の剛性なども勘案しながら材質を選択することが重要と考えられる。

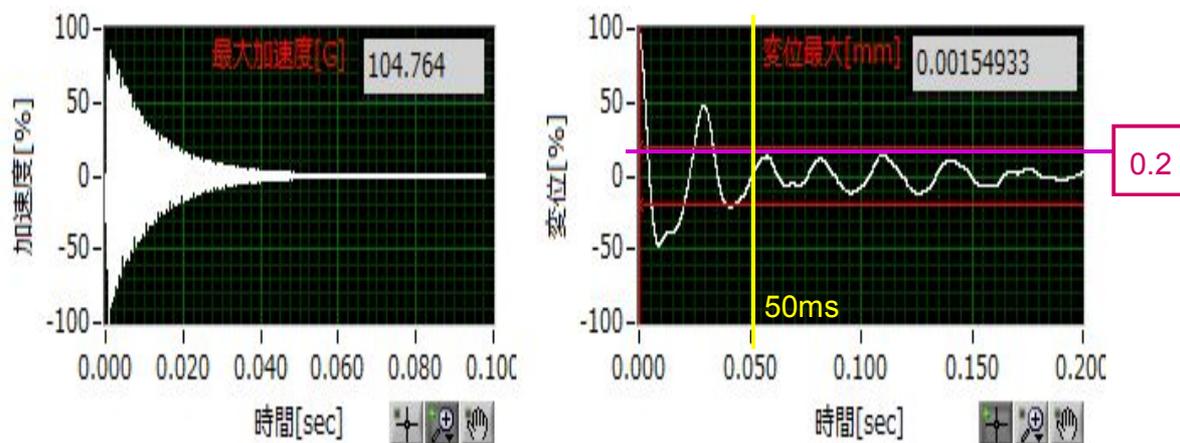


図 1-2-3 開発材料の振動吸収特性

(1) — 3 金型構造と成形条件による衝撃・防振対策

目的と目標

本課題では、金型の衝撃・防振対策を目指し、金型構造の改良とプレス速度のプログラム制御などの成形条件の検討を行った。そして、加工時の金型の振動計測結果を基に条件検討を行い、金型への衝撃軽減を目指した。本課題の目標は、被加工材板厚の5%以下に金型振動を抑えることである。

方法

金型の衝撃・防振対策を目指し、形状改良下死点位置決め機構の検討、防振鋳鉄の金型部材への利用、プレス速度のプログラム制御の検討を行なった。

検討した金型構造と加工条件を表1-3-1に示す。プレス速度は、クランクモーションとプログラムモーションの2条件、金型構造は、3条件で実験を実施した。

計測、実験にかかわる設備、計測方法、解析の内容は、課題(1)-1と同様である。

結果・考察

[形状改良下死点位置決め機構の検討]

図1-3-1に形状改良下死点位置決め機構の検討についての振動の変位を示す。図では、従来形状、改良形状について振動の変位をXY軸で比較しているが、改良形状のほうが、変位が大きくなり、振動を抑制できていない。これにより、考案した下死点位置決め機構形状では、振動を拘束する効果が得られないことがわかった。

表 1-3-1 金型構造と加工条件

プレス速度	クランクモーション プログラムモーション
材質	SPCC
板厚	0.5 mm
金型構造	6工程順送金型(標準) 6工程順送金型(形状改良下死点位置決め機構) 6工程順送金型(鋳鉄金型部材)
加工機	AMADA(200tサーボプレス)

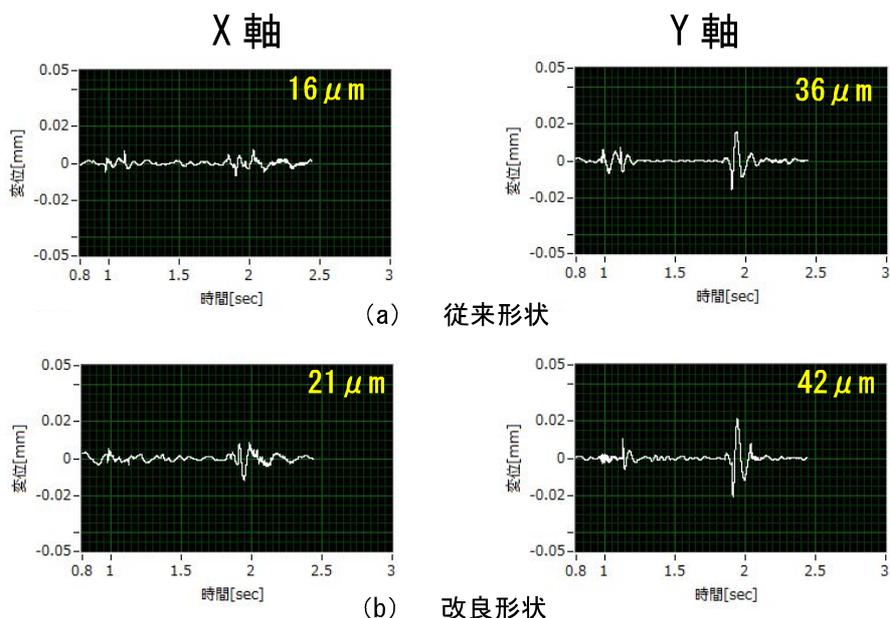


図 1-3-1 形状改良下死点位置決め機構の検討

[防振鋳鉄製金型部材の利用]

図1-3-2に防振鋳鉄製金型部材の利用前後の振動の変位を示す。図1-3-2(a)(b)より、X軸、Y軸共に、発生した振動の変位が、改善していることがわかる。以上により、鋳鉄製金型部材の利用により、金型への衝撃・振動を軽減できることが知見として得られた。

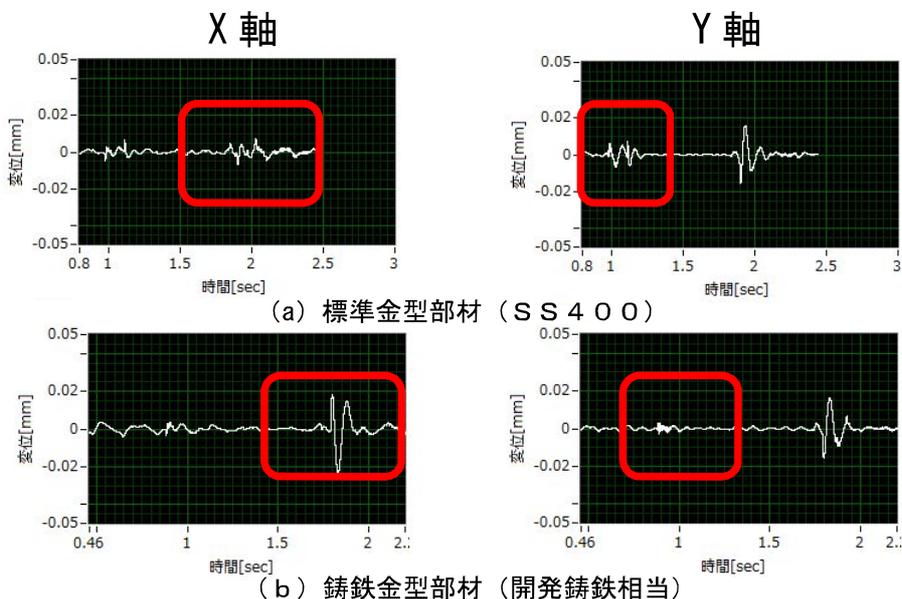
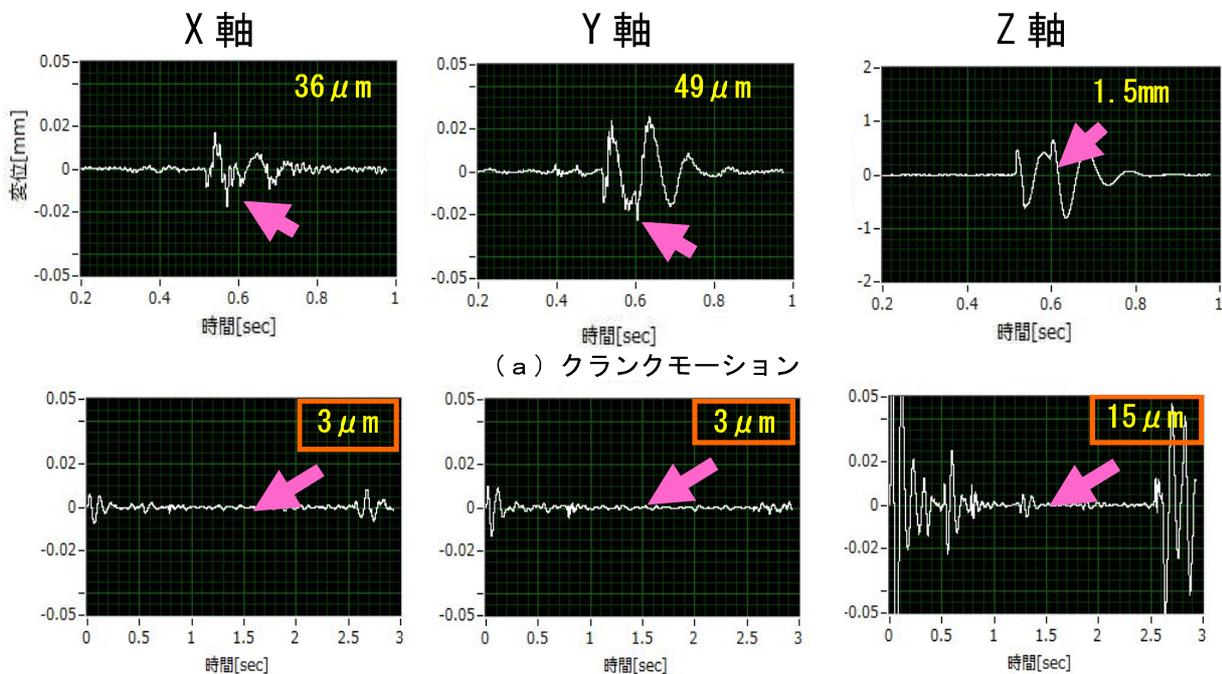


図 1-3-2 防振鋳鉄製金型部材の利用

[プレス速度のプログラム制御の検討]

図1-3-3に検討したプログラムモーションごとの振動の変位を示す。矢印の位置が下死点であり、平押し加工が行なわれる。図より、クランクモーションでは、Z軸方向で最大1.5mm程度の大きい振動が発生したが、プログラムモーションでは、数値目標である板厚の5%以下に振動の変位を軽減できた。



(d) プログラムモーション3

図 1-3-3 金型の振動変位

(1) — 4 金型の衝撃・振動対策の効果検証

目的と目標

本課題では 課題(1) — 1～3の実験結果を応用し、金型寿命を量産に利用できる水準まで向上させる。本課題では、金型寿命10万ショット(従来の2倍)を目標とする。

方法

実験は、課題(1) — 1～3の成果を応用した金型と加工条件で、量産に利用できる金型寿命を満たすか試験し、目標に至らない場合に対策を行い、実験を繰り返すこととした。

金型は、課題(1) — 3の成果を用い、防振対策のため改良を行なった平押し加工実験用の6工程順送金型を用いた。金型パラメータは、課題(2) — 1の成果を参考にしている。加工機は、課題(1) — 1 で用いたものと同様である。検討した加工条件を表1-4-1に示す。今回は、加工油を用いず、金型が磨耗しやすい条件で試験を実施した。図1-4-1は、評価対象の半押し工程の金型コマ(パンチ)である。材質は、DC53 焼入れ鋼(HRC60程度)、金型上面は、研削加工で仕上げ、刃角に磨耗のない状態から実験を開始した。金型側面は、ワイヤカットにより加工し、放電加工の加工影響層の除去などは行わず、鏡面研磨、表面コートなど処理を行なわない磨耗しやすい条件とした。

検討した評価は、主に金型刃角の観察、金型刃角の磨耗量計測、被加工材の断面形状観察の3項目である。被加工材の抜き取り検査を1万ショット毎に行いつつ、金型の磨耗評価2項目は、2万ショット毎に評価を行う。また、必要に応じて、断面形状観察による半押し・平押し工程の検査も行うこととした。金型の刃角の観察は図1-4-1の矢印の方向から、測定顕微鏡を用いて行なった。刃角の磨耗量は、図1-4-2のダレについて計測を行なった。金型刃角の観察、金型刃角の磨耗量計測は、ミットヨ社製の測定顕微鏡MF-B4020を、被加工材の断面形状観察は、丸本ストルアス社製試料切断機ディスクトム6、ビューラー社製試料埋め込み器シンプリメット3000、ビューラー社製自動研磨機エコメット250により埋め込み試料を作成した後、オリンパス製金属顕微鏡GX51Fにて観察を行なった。



図 1-4-1 金型コマ (パンチ)

表 1-4-1 寿命試験加

プレス速度	寿命試験用プログラムモーション
被加工材材質	冷間圧延鋼板SPCC
板厚	0.5 mm
金型構造	6工程順送金型(改造)
加工機	AMADA (200tサーボプレス)

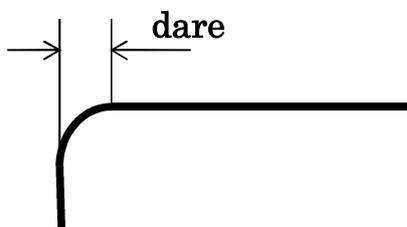


図 1-4-2 磨耗評価

結果・考察

実験では、1万ショット毎にサンプルの抜き取り検査を行なったが、10万ショットまでバリは発生しなかった。図1-4-3は、パンチの刃角の観察写真であり、摩耗が進行していることがわかる。



図 1-4-3 パンチの刃角の観察

図1-4-4は、パンチの刃角摩耗量の計測結果である。ダレは3箇所で計測を行なった。図より2万ショットまでは初期磨耗で大きく磨耗が進むものの、2万ショット以降は、定常磨耗で緩やかに磨耗が進行する。10万ショットでの、ダレ量は約30 μm 程度であった。

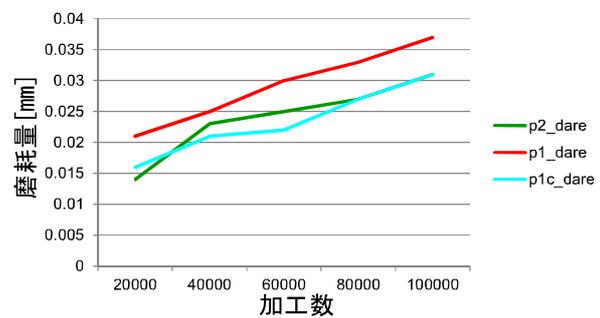
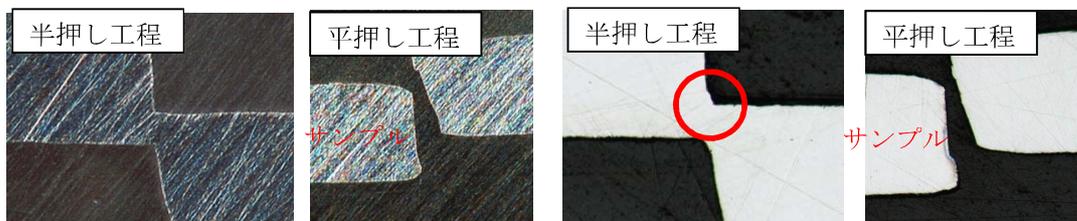


図 1-4-4 金型磨耗量 (ダレ)

図1-4-5は、寿命試験前後の、半押し工程と、平押し工程の断面である。図より寿命試験後の半押し工程では、刃先の磨耗形状が転写されていることがわかる。しかし、平押し工程の断面では、量産前同様、良好なバリ無し加工が出ていることが確認できた。



(a) 量産前

(b) 10万ショット加工後

図 1-4-5 断面観察

2-2 (2) 難加工薄板材に対応した加工技術

(2)-1 基礎技術開発

目的と目標

本研究課題「難加工薄板材に対応した加工技術」では、まず一般的な材料である冷間圧延鋼板 SPCC (標準調質) を基準材料とし、ステンレス鋼やチタンなどの難加工薄板材の材料物性を把握した上で成形条件を絞り込み、効率的に研究を実施する。そこで、難加工薄板材へのバリ無し打ち抜き加工技術の応用を目指し、シーズ技術を冷間圧延鋼板 SPCC 薄板 (t0.5mm) に応用する検討を行なった。本課題の目標は、成形条件検討手法の確立である。

方法

課題 (1) の成果を用いて、振動軽減対策を施し、シーズ技術によりバリのでない打ち抜き加工ができる金型パラメータを確認する。比較検討のため課題 (1) の成果を用いない条件で予備実験も実施した。まず、実験材料の材料物性を把握するため材料試験を実施した (表2-1-1)。

その結果、材料に異方性がないことが確認された。

表2-1-1 材料試験結果

		引張強さ [MPa]	破断伸び [%]
SPCC	X	345.8	46.1
[基準材料]	Y	346.7	47.5

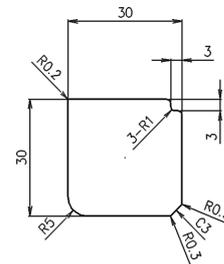


図 2-1-1 加工形状

加工形状は、図2-1-1に示す 30mm^2 とした。金型条件は、金型変数Aを4条件、金型変数Bの5条件選定し、2つのパラメータの組み合わせで、13条件の実験を行った。

加工条件は、課題 (1) - 3で考案したプログラムモーションを用いた。試作金型は、「半押し」「平押し」「抜き落とし」の3工程を含む、6工程で構成されている。実験にかかわる加工設備は、課題 (1) - 1と同様である。

評価は、断面形状測定、観察、サンプルのせん断面観察を行った。評価に用いた評価設備は、課題 (1) - 4 の設備に加え、ミットヨ製画像測定機 QV-H404L1L、ハイロクス製デジタルマイクロスコープを用いた。断面形状測定は、「半押し工程」について埋め込み試料を作成し、画像測定機により計測を行なっている。評価方向は、X、Y方向の2方向である。断面形状観察は「半押し工程」と「平押し工程」について、各工程での成形状態を埋め込み試料を用い、デジタルマイクロスコープにより評価した。

結果・考察

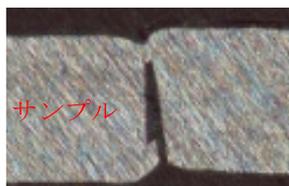
[断面形状測定]

半押し工程での X、Y 方向断面を測定した結果、金型変数の設定値と実際の成形品の計測値に誤差が見られた。課題 (1) の成果を用いない検討では、金型変数 A では $49\mu\text{m}$ 、変数 B では、 $33\mu\text{m}$ の誤差が発生し、目的とする加工が行なえていない。また、再現性などをみても、ばらつきが大きい傾向が確認された。しかし、成果を用いた検討では、誤差に改善が見られ、大きなばらつきも無く加工ができることがわかった。課題 (1) - 3の振動振幅の結果では、プログラムモーションは、振動振幅を小さく抑えられ、振動振幅のばらつきも少ないという結果が得られており、それらの効果により改善した可能性が考えられる。

[断面形状観察]

図 2-1-2 に半押し工程の断面写真を示す。検討した 13 条件では、X 方向、Y 方向は、共に半押し工程については問題になる断面形状は見られなかった。SPCC は比較的成形しやすい材料であるため、割れなどが発生しなかったものと考えられる。

図 2-1-3 に平押し工程の断面写真を示す。図 2-1-3 (a) は課題 (1) の成果を用いない検討になるが、内側にめくれる巻きバリが発生している。しかし、図 2-1-3 (b) の成果を用いた検討では、13 条件ではすべてにおいて巻きバリが無いことが確認できた。



(a) 巻きバリ発生

(b) バリ無し断面

図 2-1-2 半押し断面形状観察

図 2-1-3 平押し断面形状観察

[サンプルのせん断面観察]

せん断面観察の結果、9 条件で図 2-1-4 (a) に示す良好なバリ無し加工を示す断面を確認できた。図の上下の黒い箇所は、両面にダレが発生していることを示すものである。しかし、4 条件で図 2-1-4 (b) に示すようなバリが確認された。図では下の黒い箇所だけに、ダレが発生しているが、上面はバリが確認できる。これらの結果より安定してバリ無し加工が可能な金型条件パラメータを確認できた。

以上の実験により、成形条件を評価するための検討手法を確立した。



(a) バリ無しサンプル断面



(b) バリ発生サンプル断面

図 2-1-4 せん断面評価

(2) — 2 シーズ技術の高延性材料への応用

目的と目標

課題(2) — 1の成果を応用し、延性が高いために打ち抜き加工が難しいオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316 薄板のバリ無し打ち抜き加工を検討する。また、川下企業の製品を想定した形状のバリ無し加工を実施し、数値目標である良品率の99.5%以上の達成を目指す。

方法

表 2-2-1 材料試験結果

[適正金型条件の検討]

検討する金型条件は、課題(2) — 1の成果である基準材料(冷間圧延鋼板 SPCC)との物性の違いを参考にして、絞り込み、効率的に研究を実施する。本実験で用いる材料ステンレス鋼 SUS316 の材料試験結果を表 2-2-1 に示す。SPCC と比較して引張り強さと伸びが大きいたことが確認できる。このような物性の材料は、巻きバリが発生しやすい傾向が見られる。そこで、金型パラメータ金型変数 A、B の組み合わせにより、6 条件に絞って実験を行なった。実験にかかわる加工設備(加工機、金型等)、評価設備は、課題(2) — 1と同様である。また、実験方法、評価方法も同じ方法で行なった。

		引張強さ [MPa]	破断伸び [%]
SPCC [基準材料]	X	345.8	46.1
	Y	346.7	47.5
ステンレス鋼 SUS316	X	655.1	68.2
	Y	658.6	62.7

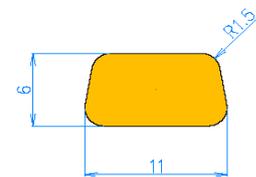


図 2-2-1 サンプル形

[良品率確認実験]

検討では、まず川下企業の製品を想定したサンプル形状を選定した。そして、バリ無し金型条件を用い、サンプルを 1000 個作製し、良品率を評価した。サンプル形状を、図 2-2-1 に示す。選定した形状は、医療部品を参考に考案した。材質は、想定した製品で用いられる SUS316、板厚は 0.3mm である。評価は、ソルテックの検査員が担当し、1 サンプルごとに表裏全周のバリを目視検査した。

結果・考察

[適正金型条件の検討]

図 2-2-2 に半押し工程の断面写真を示す。検討した 6 条件では、X 方向、Y 方向は、共に半押し工程については問題になる断面形状は見られなかった。SUS316 は、伸びが大きいため割れなどが発生しなかったものと考えられる。

図 2-2-3 に平押し工程の断面写真を示す。検討した 6 条件すべてにおいて、X 方向、Y 方向は、共に巻きバリなども無く、良好な断面が確認できた。これは、課題(2) — 1の成果を用いることで、効果的にバリ無し加工条件を選定できたためと考えられる。また、せん断面観察においても、図 2-2-4 に示すとおりすべての条件でバリの無いことが確認できた。



図 2-2-2 半押し工程形状観察



図 2-2-3 平押し工程形状観察

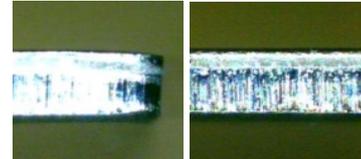


図 2-2-4 せん断面観察写真

[良品率確認実験]

評価は、サンプル 1000 個を全数検査し、検査員の目視によりバリの有無を判別した。結果としてバリは確認されず、バリ無し良品率は 100% だった (図 2-2-5)。図より、全周に渡ってダレが発生しておりバリの無いサンプルに仕上がっている。



図 2-2-5 サンプルの表面(左)と裏面(右)

(2) — 3 シーズ技術の六方晶材料への応用

目的と目標

課題(2) — 1の成果を活用して、金型のパラメータと成形条件を検討して、打ち抜き加工を実施する。そして、川下企業の製品を想定した形状のバリ無し加工を実施し、数値目標である良品率の99.5%以上の達成を目指す。

方法

[適正金型条件の検討]

検討する金型条件は、課題(2) — 1の成果である基準材料(冷間圧延鋼板 SPCC)との物性の違いを参考に、絞り込み、効率的に研究を実施する。本実験で用いる材料純チタン TP270CND15(板厚 0.5mm)の材料試験結果を表 2-3-1 に示す。表より、SPCCと比較して引張り強さが大きく、破断伸びが若干小さい。

また、図 2-3-1 の荷重伸び曲線より、X 軸方向(圧延方向)と Y 軸方向で降伏点以降の荷重に違いがある。選定した材料は異方性が大きい材料であること、SPCC に比べ材料が流れにくいことがわかる。そのため、X 軸方向と Y 軸方向の適正金型条件は、それぞれ範囲が異なると予想できる。

そこで、検討する金型パラメータ金型変数 A、B の組み合わせにより、12 条件で実験を行なった。実験にかかわる加工設備(加工機、金型等)、評価設備は、課題(2) — 1と同様である。また、実験方法、評価方法も同じ方法で行なった。

[良品率確認実験]

金型は、課題(2) — 2の良品率検証実験で利用したものを流用した。ただし、金型条件については、チタンのバリ無し加工条件に変更している。また、扱う材料の異方性を考慮して、影響を軽減するため、金型レイアウトは、サンプルを 45 度傾けて配置した。実験方法、評価方法は、課題(2) — 2と同じ方法を用いた。

結果・考察

[断面形状観察]

半押し工程 X 方向において、検討した 12 条件すべてで、図 2-3-2 のような割れが発生し、平押し工程で、図 2-3-3 のようにダレの無い鋭利な形状が形成された。このような断面は、立ちバリではないものの、問題となる。

しかし、Y 方向において、2 条件で割れない断面形状が確認できている。この 2 条件のうち 1 条件で、図 2-3-4 のように良好な平押し工程断面が確認できた。以上の実験により、異方性の問題により全周のバリ無し加工は行なえていないが、Y 軸方向では適正な条件を確認できた。

表 2-3-1 材料試験結果

		引張強さ [MPa]	破断伸び [%]
SPCC [基準材料]	X	345.8	46.1
	Y	346.7	47.5
チタン TP270CND15	X	374.3	41.1
	Y	374.9	44.0

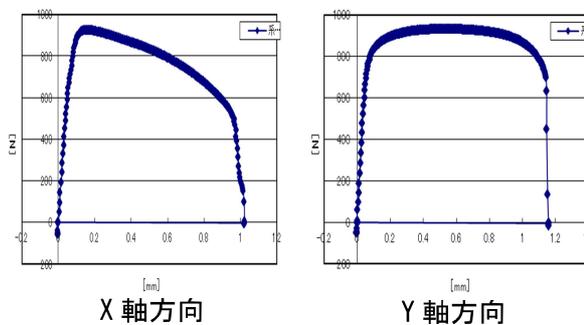


図 2-3-1 荷重伸び曲線



図 2-3-2 半押し断面形状観察

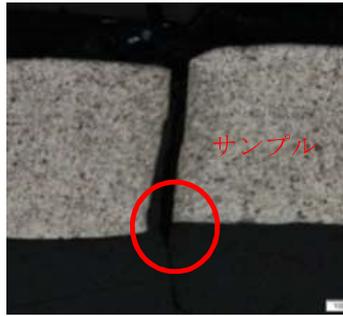


図 2-3-3 断面形状観察

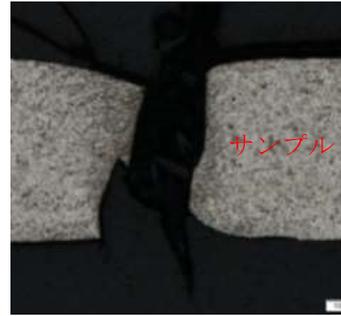


図 2-3-4 断面形状観察

[良品率確認実験]

評価の結果、検査員の目視ではバリは確認されなかった。しかし、ステンレスのように全周に渡るダレは発生しておらず、触診によりわずかにバリと思われる感触が検出された。バリの有無について、目視、触診では評価が困難であるため、断面観察にて確認することとした。図 2-3-5、2-3-6 に、埋め込み試料を作成し観察した断面形状観察写真を示す。半押し工程において、微細なクラックが確認された。また、平押し工程でバリが確認された。これがバリと思われる感触の原因と考えられる。以上のことから、レイアウトを 45 度に傾斜させる対策を行なっても、純チタン薄板材で平押し法によるダレを有するバリ無し加工が実現できなかった。

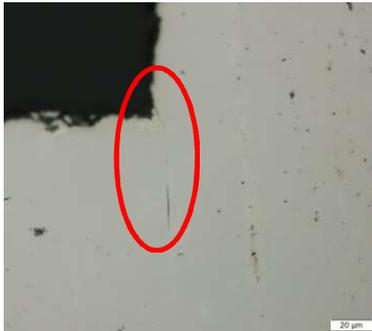


図 2-3-5 半押し断面形状観察



図 2-3-6 平押し断面形状観察

(2) — 4 試作と評価

目的と目標

課題(2) — 1、2の結果を応用し、川下企業の要求を満たすバリ無し加工の実現を目指す。川下企業2社の求める部品を想定した試作を行ない、試作サンプルについて、川下企業より評価を受ける。

方法

[車載用電子機器サンプル試作]

選定した試作対象は、車載用電子部品のホーロー基板である。本製品は、SPCC相当材打ち抜き部品にホーロー被覆を施した電子基板で、打ち抜き部品にバリが発生すると、ホーロー被膜の工程でピンホールが発生し、漏電や異常放電の原因となる。そのためバリ無し加工が求められており、現状ではその対処として金型にバリ押し工程を設け対応している。しかし、この工法では、刃先の劣化等が原因でバリが残存する。そこで、現状は安全を見てホーロー被覆を厚くコーティングしている。本研究のダレを有するバリ無し加工により、ホーロー被覆を薄くできれば、被覆のコーティング時間短縮による短納期化の実現や、コスト削減、部品の軽量化など多くのメリットがある。

試作に用いた材料は、F社より提供頂いた特殊SPCCである。基準材料SPCCの材料試験結果を比較し、加工条件を選定し、金型を起工した後、試作を行なった。

評価は、ソルテックで検査を実施した後、川下企業Fからも協力を受けた。F社は、株式会社ソルテックが提供した加工サンプルにホーロー皮膜をコーティングし、性能評価を実施した。

[医療機器サンプル試作]

選定した試作対象は、医療器具部品で、専用ホルダーに取り付け利用する。選定された背景には二つの問題があり、一つ目は専用ホルダーに固定する長穴形状にバリ、又は鋭利な端面形状があると金属製ホルダーでは取り付けが困難で、樹脂製ホルダーでは樹脂部が削られる問題が発生する。現状では、最終ユーザーが方向を確認して使用している。二つ目は部品の先端形状に丸みがある場合、使用用途に支障が出るという問題である。医療製品であるため、バレル研磨は必須とのことだが、部品にバリがあると、バレル研磨の時間が長引き、先端に丸みが出る。

本研究のダレを有するバリ無し加工により、先端部以外の箇所バリ無しにできれば、バレル研磨の時間を短縮し、適正な先端形状を得られるものと期待し、選定に至った。

試作に用いた材料は、医療用途のステンレス鋼である。金型条件は、課題(2) — 2の成果を参考に選定し、金型を起工した後、試作を行なった。

結果・考察

[車載用電子機器サンプル試作]

ソルテックでは、まず、平押し工程の断面形状観察を行なった。5箇所検査し、**図 2-4-1** のとおり両面にダレが形成され良好な断面が形成されていることを確認した。また、巻きバリも発生していない。

次に、バリが出やすいコーナー部を観察し、**図 2-4-2** のとおりバリの無いせん断面が観察できた。

川下企業の評価では、まず、川下企業の設備にて破断面形状の評価を受けた (**図 2-4-3**)、図のとおりバリの発生も無く、良好な断面形状であるとの報告を受けた。

さらに、製品と同じ工程でホーロー被覆を行ない、3種類の性能評価試験を受け、すべての項目で合格判定を受けた。以上の検査を受け、現在、川下企業で生産を行っているC面バリ押しの製品と同等の性能があるとの評価を受けた。

また、川下企業の現在の工法では10万ショット程度でバリが発生し始めるため金型のメンテナンスが必要とのことだった。課題(1)〜4の実験により、厳しい加工条件においても10万ショットでも安定したバリ無し加工が可能であることを報告し、本研究の加工技術に期待する旨の感想を受けた。

[医療機器サンプル試作]

図 2-4-4 に試作した医療部品サンプルを示す。図より表裏とも長穴にダレが発生し、バリ無し加工が行なえていることがわかる。次に、試作サンプルのホルダーへの脱着検査を実施した。その結果、表裏10回程度の脱着でも樹脂が削られることが無いことが確認できた。

以上の検査について川下企業に報告を行ない、サンプル提供を行なった。その結果、一つ目の問題については、バリがなくダレがあるため、容易に嵌め込むことができる。また樹脂製ホルダーの場合も削れることがなくなったとの評価を受けた。

二つ目の問題についても、バレル研磨が短縮でき、先端部のRが適正化したとの評価を受けた。



図 2-4-1 断面形状観察



図 2-4-2 コーナー部の観察

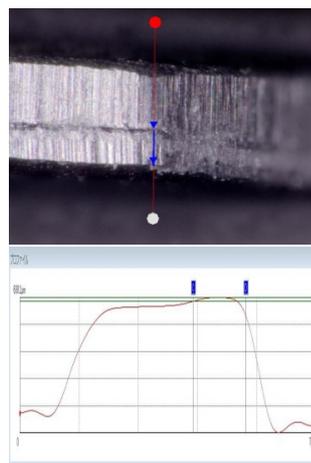


図 2-4-3 破断面形状評価



図 2-4-4 医療部品試作サンプル

2-3 (3) バリ検査技術

(3)-1 独自照明技術及びエリア画像処理によるバリ検出技術

目的と目標

斜光照明による撮影を、多方向から複数回行うことでバリ頂点での散乱光を高感度に検出できる可能性がある。これをもとに、検査用照明の最適化と高速な画像処理技術を応用することで、プレス製品の全数検査に対応可能な、画像処理によるバリ検査技術の開発を行う。開発する検査システムの目標値は、処理速度100ms以内、検出精度95%、検出バリレベル100 μ mである。

方法

図3-1-1にバリ検査方式の説明図を示す。検査対象としているバリは立バリである。ワークに対して斜め上方向から照明し、バリによって生じる乱反射をワークの頭上に配置したカメラにより撮影する。バリの無い部分はダレとなっており、照明方向がワーク側である場合は正規反射により反射光が頭上のカメラには入射しない。一方、バリの部分では照明方向がワーク側である場合にも乱反射により反射光が頭上のカメラに入射する。つまり、照明方向と光った部分のエッジの方向を考慮してバリを検出する。

図3-1-2にバリ検査システムの模式図を示す。LED光源によるバー照明を検査対象サンプルの四方を取り囲むように配置した。各バー照明はPCに搭載したデジタル入出力ボード（インタフェース社製PCI-2758A）により独立に点灯消灯の制御を可能とした。バー照明を点灯させるための電源として市販の安定化電源（メトロニクス社製572C）を用いた。検査対象サンプルの頭上にフルフレームシャッターカメラ（竹中システム機器社製FSM2MPL）を配置した。カメラで撮像した画像をPCに搭載した画像入力ボード（アバールデータ社製APX-3323）により取得した。PCには高速な画像処理を実現するためにGPU（Graphics Processing Unit）を搭載した。

結果・考察

[試作した光源を用いたバリ試料の撮像結果]

試作した光源を斜光照明として設置し、サンプルの画像を撮像した。用いたのは円板状の薄板サンプルである。片面のエッジはダレ形状で、その裏面は全周にわたりバリが生じている。サンプルの表面（バリ無し面）と裏面（バリ有り面）を通常の正面からの照明光を用いて撮像した画像を図3-1-3および図3-1-4に示す。バリがある面も無い面もエッジの部分が照明光により光っており、バリの有無の判定は難しいことがわかる。

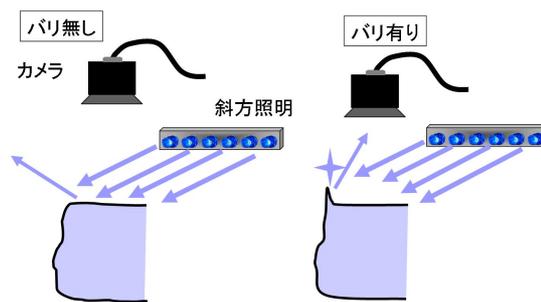


図3-1-1 バリ検査方式

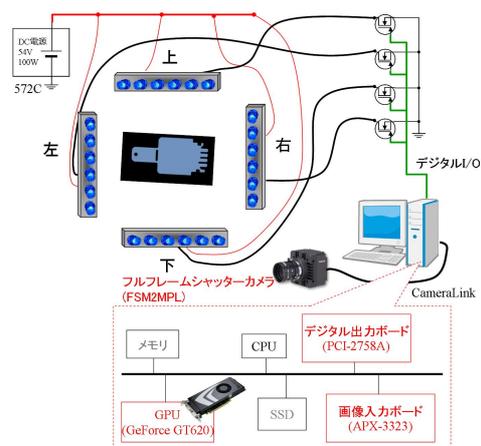


図3-1-2 バリ検査システムの模式図

図3-1-5、図3-1-6に斜方照明による撮像結果を示す。照明は図示のように矢印の方向から照射し、画像を得た。照明があたるエッジ部はダレが生じていることで、カメラ側に光を反射して写っている。一方、反対側のエッジは照明光をカメラ側に反射しないため写っていない。

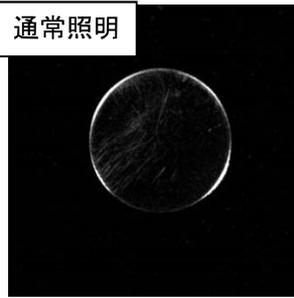


図3-1-3 バリ無し面

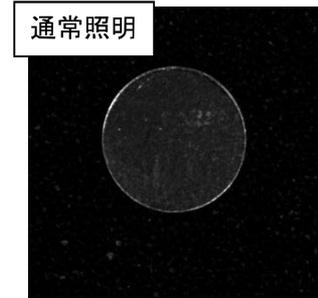


図3-1-4 バリ有り面

図3-1-7、図3-1-8にバリが有る面の斜方照明による撮像結果を示す。照明は図示のように矢印の方向から照射し画像を得ている。照明があたるエッジ部がカメラ側に光を反射して写っているのはバリが無い面と同一であるが、反対側のエッジもバリによる反射光がカメラ側に照射されるため輪郭として写り込んでいることがわかる。この特徴を利用すれば、エッジの向きと斜方照明の方向が判っていれば、バリの検出は可能であると考えられる。



図3-1-5 バリ無し面

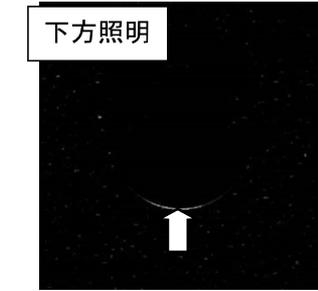


図3-1-6 バリ無し面

[バリ検査システムの検出能力]

熟練検査員がバリ有無検査を行った15個のサンプルについて本バリ検査方式を行い、結果を比較した。本システムでは取得した画像のバリと判定されたエリアを赤い四角で表示し、バリと判定された総画素数を出力する。

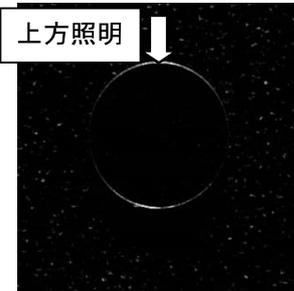


図3-1-7 バリ有り面

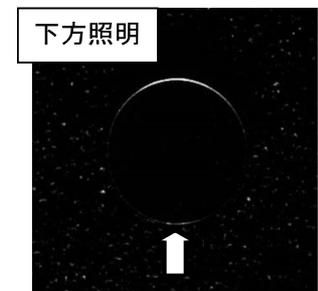


図3-1-8 バリ有り面

表3-1-1 検査結果の比較

表3-1-1に検査結果を示す。熟練検査員がバリ有りと判定したサンプルについては全て複数画素のバリ画素を検出することができた。熟練検査員がバリ無しと判定したサンプルについては1つのサンプル(番号OK1)を除いて誤ってバリと判定する画素は皆無であった。番号OK1のサンプルについて本方式でバリと判定されていた部分を触診にて検査したところ、バリが有ることがわかった。本方式では熟練検査員が目視では見逃してしまうバリについても検出できる結果が得られた。しかし、触診ではバリと確認できるもので本方式で検出されないバリが存在した。

番号	熟練検査員	エリア画像処理	
		判定結果	バリ判定画素数
NG1	有	有	194
NG2	有	有	56
NG3	有	有	171
NG4	有	有	118
NG5	有	有	61
NG6	有	有	66
NG7	有	有	29
OK1	無	有	4
OK2	無	無	0
OK3	無	無	0
OK4	無	無	0
OK5	無	無	0
OK6	無	無	0
OK7	無	無	0
OK8	無	無	0

また、検出されたバリ部とされなかったバリ部の中から数箇所選び、レーザー干渉計システム(Zygo社製 GPI-XP)を用いて高さの測定を行った。その結果、検出されたバリの中には高さ約20 μ mのものもあり、目標である100 μ mより小さいバリを検出する能力があることが確認された。また、撮影時間を含めた合計検査時間は目標である100ms以内を達成できている。

(3) — 2 OCTによる立体形状評価によるバリ検出技術の開発

目的と目標

本課題では、プレス加工製品のバリ検査とそのバリの状態の把握を目的としたバリの高さの計測まで行える様な検出技術の開発を目的として、最終的に $3\text{mm}^2 \times D1\text{mm}$ 以上のエリアについて、 $100\ \mu\text{m}$ 以下の検出分解能の計測を10s以内で実現できるシステムの構築を目指す。まず、バリのあるサンプルを対象にして、立体情報を取得して、実際のバリの高さ情報が取得可能であることを確認した。そして、現場での利用を想定したOCTシステムを構築し、OCTカメラシステムの制御部分を開発することで、数値目標に対しての実力評価を行う。

方法

本課題における計測手法はOCT (Optical Coherence Tomography) と呼ばれる手法で、光を使った断層画像計測法である。計測原理は、通常の光干渉計にコヒーレンス性の低い光源を用いることで、干渉計がバランスした時にのみ特異的に干渉するという現象を利用して絶対距離を取得するというものである。一般に、この干渉信号を得る手法としては、リファレンスの光学距離を機械的に走査しながら光検出を行うことで干渉信号を取得するタイムドメイン (TD) 方式と、干渉計は固定の状態ですべての干渉光を分光解析すること位置情報を取得するスペクトルドメイン (SD) 方式がある。本事業ではOCTカメラシステムとして、NED製のラインスキャンカメラであるXCM2080を導入し、OCTシステムの構築を行った。計測システムの概要を図3-2-1に示す。

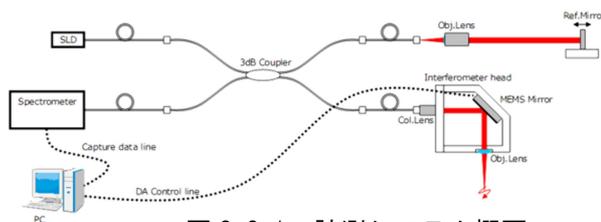


図 3-2-1 計測システム概要

[計測エリア評価]

構築したOCTシステムの性能評価として、ミラーを用いて光軸方向のプロファイルを取得し、そのミラーを変位させた際のプロファイル上のミラー由来のピークの動きと、光軸方向の分解能を確認する。

[計測分解能評価]

次に、バリのあるサンプルを用いて、Zygo社の三次元光学プロファイラNewView7300とOCTでそれぞれバリ寸法を計測し、その測定値の比較を行った。

[計測ソフトウェア機能確認]

ソフトウェアへ実装した各機能の動作や性能について評価を実施する。断層画像計測から得られたピークデータを基に、反射点群を抽出して最小二乗近似により直性を推定する。更に、各点データとこの直線との垂直距離を算出し、最も離れた位置にある点をバリの頂点と定義して、バリ高さを推定して画面への出力を行うようにし、その動作を確認する。

結果・考察

[計測エリア評価]

最初に、USAFターゲット1951を用いて計測エリアを確認した。これより、最大計測エリアは約 3mm^2 であることが確認された。また、測定的全深さ 1.6mm 、データ分解能 $1.56\ \mu\text{m}$ であることが確認された。ミラ

一走査の安定化のための時間を含め計測時間は4sとなる。

[計測分解能]

本研究で使用したSLD (Super luminescent diode) は高分解能化のために比較的波長幅の広いものを使用した。しかし、その代償として、分光波形が双頭になってしまうことから、そのまま干渉解析に使用した場合、波形はいびつになり感度も若干低下することが懸念される。このため、光源のスペクトルを計測して記録し、これに補正曲線を重畳して理想的なガウス波形に変換するなど、対策をおこなった。その結果、分解能は $1.56 \times 5 = 7.8 \mu\text{m}$ となることが分かった。

次に、バリのあるサンプルを、三次元光学プロファイラーとOCTでそれぞれ計測し、その測定値の比較を行った。その測定結果を表3-2-1に、測定値の相関を図3-2-2に示す。測定における相関係数0.983と非常に高い相関が確認された。これらの結果から、本システムで、三次元光学プロファイラーとほぼ同等の計測が実現できることが確認された。

表 3-2-1 バリサンプル測定結果

No.	検査判定	Zygo[mm]	OCT[mm]
1	NG	35	30
2	NG	40	37.5
3	NG	37	35
4	NG	47	30
5	NG	30	22.5
6	NG	60	60
7	NG	127	157.5
8	OK	25	30

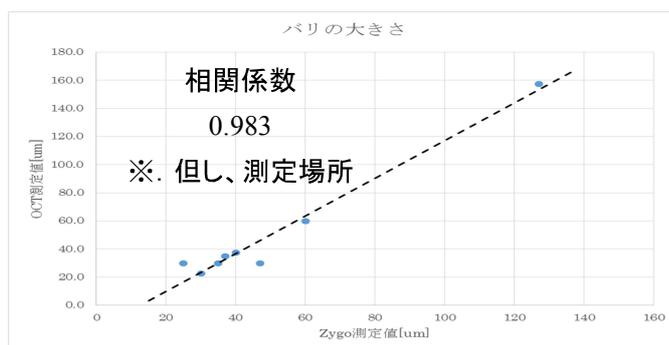


図 3-2-2 測定結果相関図

[計測ソフトウェア機能確認]

最初にバリ高さ計測機能の確認を行った。これは、OCT計測により得られた断層画像から、試料の表面情報を表す点群データを収集して、この点群から最小二乗近似で直線を推定する。この直線を試料の表面として定義し、次にこの直線から各点の垂直距離を算出し、この値が最大となった点をバリの頂点と定義することとした。実際にバリの生じたサンプルを用意し計測値の比較を行った。初めに三次元光学プロファイラーでバリ高さを計測した。この結果、バリ高さは約 $25 \mu\text{m}$ であることが確認された。OCT計測では表面の推定直線とバリ頂点の距離からバリ高さを算出する。その結果、測定値は $24.73 \mu\text{m}$ であった。この計測結果から、相互に非常に近い値となっており、この精度でOCTによってバリ高さがリアルタイムで得られることが確認された。

(3) — 3 エリアOCTによる特定断面の高速計測による全数検査への応用

目的と目標

本課題では、プレス加工品の表面状態について特定の断面に限定して、そこにバリ由来の突形状が生じていないかどうかを極短時間で判定を行うことを目的に、タイムドメイン型OCTによる計測技術を応用したエリアOCTシステムを構築し、エリアOCT計測法によるバリ検査の可能性について検討を行う。目標は、 3 mm^2 以上のエリアについて、 $100\text{ }\mu\text{ m}$ 以下の検出分解能の計測を1s以内で実現できるシステムの構築である。

方法

本課題における計測手法はOCT (Optical Coherence Tomography) と呼ばれる手法で、光を使った断層画像計測法だが、バリなどの三次元データを取得する計測では比較的計測時間が長くなることから、OK・NGを判定する検査への導入には課題がある。そこで、本課題では、検査する断面を特定断面に限定することで計測時間を圧縮して検査への応用の可能性を検討する。計測原理は、通常の光干渉計にコヒーレンス性の低い光源を用いることで、干渉計がバランスした時のみ特異的に干渉するという現象を利用して絶対距離を取得するというものである。この開発では、空間干渉計を構築し、エリアカメラを用いて試料表面を観察しながら、干渉計が干渉した際に生じる干渉縞画像を取得して解析することで表面形状評価を行う、エリア型OCTを計測の基本とする。計測システムの概要を図3-3-1に示す。

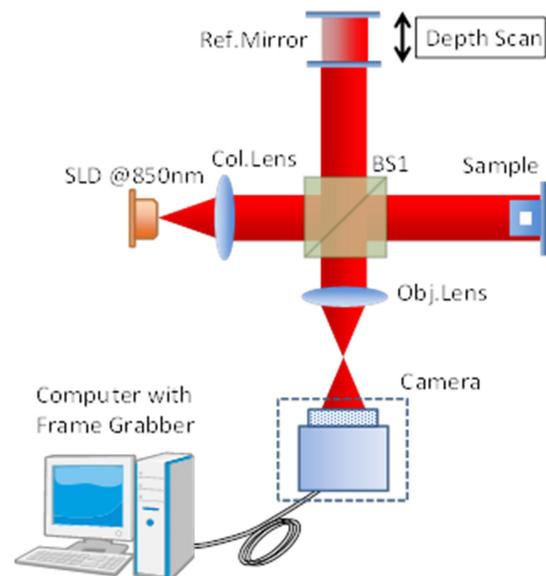


図 3-3-1 計測システム概要

[計測エリアと計測時間の評価]

構築したエリアOCTシステムの性能評価として、最初にカメラの画角を確認し、目標のエリアの計測ができることを確認する。また、この際の計測に要する時間を評価する。

[エリア型OCT計測評価]

次に実際のプレスサンプルを用意し、三次元光学プロファイラNewView7300でバリ形状の測定を行い、同サンプルをエリアOCTで計測を行う。

[フルフィールド型OCT計測評価]

カメラのフレーム1ショットを用いた計測の場合には、短時間で計測処理が実現できる一方で、試料をリファレンスミラーの面と比較的高精度に角度を合わせておく必要があることや、計測できる範囲が光源のコヒーレンス長である数十 $\mu\text{ m}$ に制限されることから、測定範囲が限られる。このため、比較的広い範囲の深さ情報を計測する方法として、リファレンスミラーの深さ走査を行いながら、時系列で干渉による輝度変化を計測して可視化するフルフィールド型OCTとしての計測実験も行い、バリ高さの可視化と、計測精度と計測時間の評価を行う。

結果・考察

[計測エリアと計測時間の評価]

最初に、スケールをサンプルとしてカメラの画角を調査した結果、幅6.7mm、高さ5mmの範囲で撮影できることが確認でき、目標である 3 mm^2 以上を達成した。カメラの分解能はVGA (640×480画素) であるため、横方向分解能は約 $10\text{ }\mu\text{m}$ であるが、これはレンズ選定により柔軟に変更可能である。また、計測時間は基本的に干渉縞画像1フレームで可能であることから、カメラのフレームレート (30fps) より33msであるが、演算時間は約51msで完了しており、若干演算時間が撮影時間を超過していることが確認された。

[エリア型OCT計測評価]

次にバリサンプルを用意し、干渉画像の確認を行った。まず、三次元光学プロファイラーで表面プロファイルを計測し、バリ高さが約 $82\text{ }\mu\text{m}$ であることを確認した。同様にこの試料をエリア型OCTで観察した結果を図3-3-2に示す。干渉縞画像の観察結果から板金表面位置からバリ先端部の間の距離が約 $85\text{ }\mu\text{m}$ であることが確認された。三次元光学プロファイラーの測定値と若干違いがあるが、三次元光学プロファイラーでは観察面の特定の1ラインしか計測しておらず全く同一箇所の測定でないこと、干渉縞の生じる区間が約 $10\text{ }\mu\text{m}$ 程度あることなどが考えられる。一方、板金表面の干渉画像を見ると干渉縞は観察されず、面全体にランダムな位相振幅が表れていることが確認された。これは、板金表面が粗面であるために面内での位相変化が激しく生じているためと思われる。今回、対象とした試料では想定していた位相解析の手法の適用が困難であることを示している。

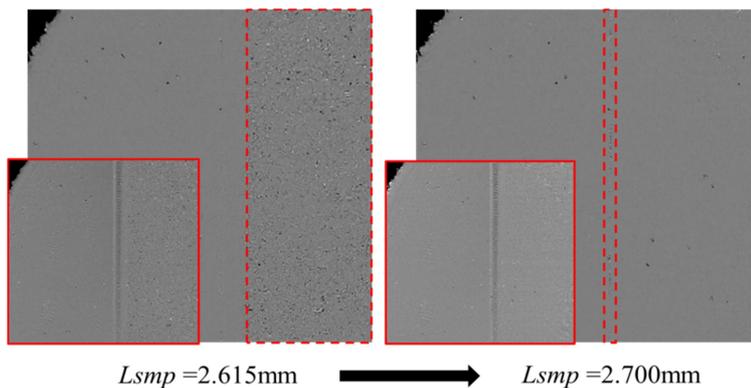


図 3-3-2 エリア型OCTによる干渉縞観察結果

[フルフィールド型OCT計測評価]

このため、単一画像からの位相解析手法から、面全体の位相変化をとらえるフルフィールド型OCT方式に変更し、計測可能性について検討を行うこととした。これは、干渉計の片側のアームの距離を走査しながら画像を取得し、時系列に干渉による輝度変化を計測することによって、干渉部分だけを抽出して高さ情報を取得し高さ画像を再構築する手法である。この手法で、バリのあるサンプルについて同様の計測を行った結果を図3-3-3に示す。図から、NG2が約 $40\text{ }\mu\text{m}$ 、NG6が約 $60\text{ }\mu\text{m}$ 、NG7が約 $127\text{ }\mu\text{m}$ であることが確認できる。この測定結果から、三次元光学プロファイラーでバリが確認されたサンプルについて、本計測手法で可視化できることが確認された。

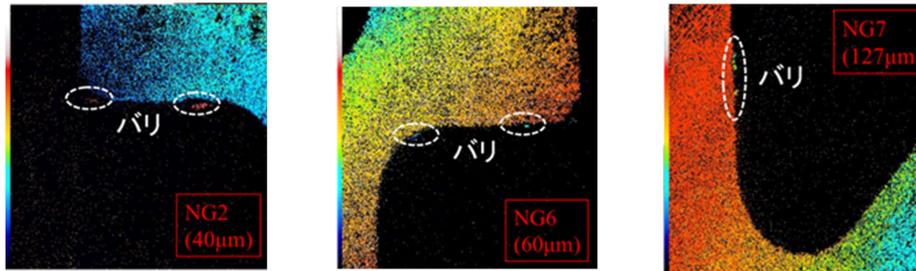


図 3-3-3 サンプル計測結果画像

さらに、干渉計の深さ走査アームをリニアステージ (KS101-20HD, 榎駿河精機製) に交換し、リニアステージによる自動送りで、同様の計測実験を行った。これにより他のサンプルを計測した結果を図3-3-4に示す。

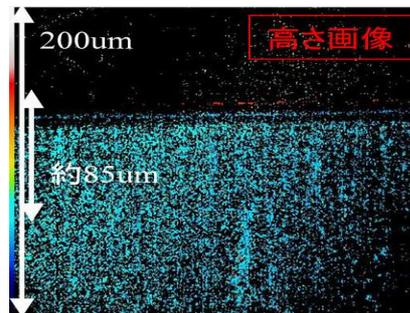


図 3-3-4 OCT 測定画像例

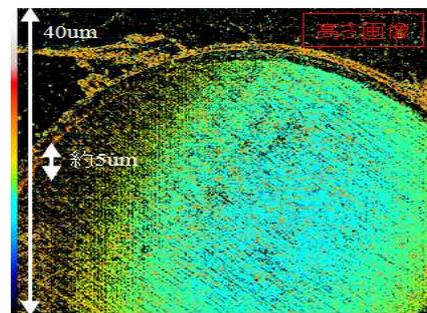


図 3-3-5 微小バリ計測

この際の送り距離は $200\mu\text{m}$ で、輝度変化が生じた部分に時系列に図の左端にある黒から白へのカラーチャートの色を載せて画像化している。この結果、板金の基準面が水色でバリ頂点部が赤く着色されており、この間が約 $85\mu\text{m}$ 相当となることから、三次元光学プロファイラーによる測定値と非常に近い値であることが分かった。尚、この $200\mu\text{m}$ の深さ走査時の送り時間は約 5s であり、これが実質の計測時間となる。次に、比較的小さいバリの試料を対象に同様の計測を行った。この結果を図3-3-5に示す。バリの推定サイズに合わせ、深さ走査距離を約 $40\mu\text{m}$ に設定し、輝度変化点を時系列順に黒から白のカラーチャートで着色した。図から、板金の基準面が黄緑でフランジ部のバリがオレンジとなっており、チャートから約 $5\mu\text{m}$ であることが確認できる。また、送り時間は 1s となっており、こちらも目標とした計測時間を達成することができた。

(3) — 4 プレス工程における計測精度評価

目的と目標

画像処理検査システム並びにOCT検査システムについて、実際のプレス工程へ導入し、検出精度や検査レベルについての評価を行う。開発する画像処理検査システムの目標性能は、処理速度が100ms以内、検出性能は95%である。OCT検査システムの目標性能は、処理速度が1s以内、検出性能は95%である。

方法

開発した画像処理検査システム並びにOCT検査システムについて、実際のプレス工程現場に持ち込み、プレス工程時に発生する振動や外乱光によって検出性能に影響が無いか検証する。そして、現場で生産していた形状の異なる複数種類のワークについてバリ検出を検討し、性能評価を実施した。さらに、画像処理検査システムについては、照明ブースを用いたシステムを用いて検証を行なった。

結果・考察

[試作システムの検証]

プレス工程現場に画像処理検査システム並びにOCT検査システムを持ち込み、複数種類のワークに対して検査を行った。図3-4-1に現場実証の様子を示す。プレス工程に隣接して検査ブースを設け、プレス工程を行なっている中、画像処理検査システム及びOCT検査システムによるバリ検査を行った。プレス工程による振動はほとんど無いためどちらのシステムに対しても影響は無かった。検査方式の性質上、画像処理検査システムについては外乱光を遮断する必要性があり、現場の照明が検査ブースに入射しないように敷布を用いた。OCT検査システムは光学系の性質上、外乱光による影響は少ないことから特別な対策は必要なかった。また、プレス工程で生産していた形状の異なる複数種類のワークについて検査を行ったところ、全てのワークでバリを検出することができ、それぞれ検査システムで数値目標を達成できた。



(a) 画像処理検査システムの実証



(b) OCT検査システムの実証

図3-4-1 現場実証の様

[照明ブースを用いたシステムの実証試験]

加工現場でのバリ検査を簡便に行うために照明ブースの設計を行なった。製作した照明ブースの外観を図3-4-2に示す。計測対象サンプルを検査台の所定の位置に配置することで検査を行うことができる。図3-4-3に現場での検証風景を示す。複数の形状の計測対象サンプルでバリが有るサンプルとバリが無いサンプルで有意差がある結果が得られた。サンプルの形状によって照明数と照明配置位置を考慮する必要がある結果が得られた。

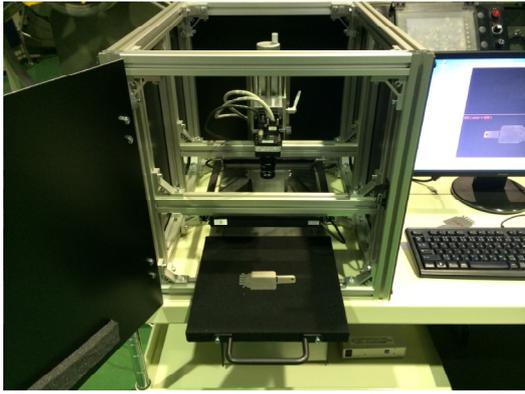


図3-4-2 製作した照明ブース

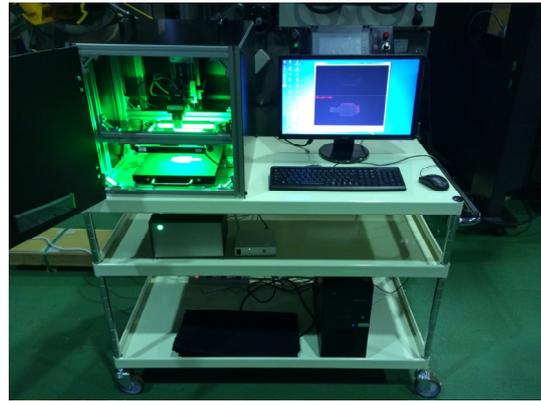


図3-4-3 加工現場での実証試験

3章 総括

本研究では、1.0mm以下の薄板での適用が困難とされてきた平押し法に、金型構造の改良と防振対策を施すことにより、薄板材のバリ無し打ち抜き加工技術の確立を目指した。また、加工部品のバリ無しを保証する検査技術についても検討した。そのために、3つの課題を設け研究開発を行い、各課題について以下の成果を得た。

課題（1） 平押し法を薄板材へ適用するための振動及び衝撃の軽減

本課題では、まず、金型に加速度センサを取り付け、現状の金型の衝撃・振動を把握し、振動や衝撃の軽減対策の参考となる知見を得た。その結果を基に、黒鉛の性状及び基地組織を種々組み合わせた鋳鉄試験片で減衰特性を調べ、金型材料として最適な鋳鉄材料を検討した。さらに、金型構造の改良と、プレス速度のプログラム制御などの成形条件の検討を行い、金型への衝撃軽減を目指した。その結果、数値目標としていた被加工材板厚の5%以下に振動の振幅を軽減できた。最後に、金型の衝撃・振動対策の効果検証を行い、金型寿命が量産に耐える水準であることを確認した。

課題（2） 難加工薄板材のバリ無し打ち抜き加工技術の確立

本課題では、難加工薄板材へのバリ無し打ち抜き加工技術の応用を目指し、シーズ技術を冷間圧延鋼板SPCC薄板（t0.5mm）に応用する検討を行なった。その結果、バリのでない打ち抜き加工ができる金型パラメータを確認し、成形条件を評価するための検討手法を確立した。その成果を用い、延性が高いために打ち抜き加工が難しいオーステナイト系ステンレス鋼SUS316薄板のバリ無し打ち抜き加工を検討し、バリのでない打ち抜き加工ができる金型パラメータと成形条件を確認した。また、良品率の99.5%以上を達成した。そして、SPCC、ステンレス鋼について、川下企業2社の求める部品を想定した試作を行ない、川下企業の要求を満たすバリ無し加工が可能であることを確認した。最後に、六方晶材料であるために打ち抜き加工が難しい純チタンTP270C薄板のバリ無し打ち抜き加工についても検討を行なった。しかし、圧延直角方向においてはバリ無く加工できる条件を確認できたものの、全周でのバリ無し加工については課題を残した。

課題（3） 打ち抜きバリの高精度検査技術の開発

本課題では、目視でも確認が困難な薄板の微細なバリを検査するため、3つの検査技術を検討した。まず、周囲斜方照明によるバリ検査システムの構築とエリア画像処理によるバリ検出アルゴリズムの開発及び実証を行った。この検査技術では、数値目標を達成した上で、熟練検査員が見落とししたバリについても検出することができた。次に、プレス製品のバリの状態を、OCT（光断層画像化法）計測技術を用いることで、非接触で三次元データを取得し、可視化できる検査技術を検討した。さらに、プレス加工品の表面状態について特定の断面に限定し、バリ由来の突形状が生じていないかどうかを極短時間で判定を行うことを目的に、エリアOCTの実証試験を行なった。その結果、設定した数値目標を達成できた。最後に、開発検査設備の現場利用を検討し、プレス加工による振動や現場の照明による外乱光が検査結果に影響を受けず、装置を利用できることを確認した。

いずれの課題も、概ね目標としていた成果を得ているものの、達成に至らない課題もある。また、本研究によって新たに発展させるべき課題も見出された。今後も補完研究を実施し、産学官一体となって事業化に向けた取り組みを継続してゆく予定である。

専門用語等の解説	
下死点	ストロークの最下端位置
S P M	Strokes per minute、1分間で加工できる数、プレス加工スピードの単位
O C T	Optical Coherence Tomography、光を使った断層画像計測法
コヒーレンス	互いに干渉することができる光波の性質のこと