

プレス金型の往復運動を利用した高圧エア発生装置の開発 およびその実用化に関する研究

研究報告者 高(GAO) 峰(Feng)

～プロフィール～



最終学歴	平成14年3月 九州工業大学情報工学研究科 博士後期課程 満期退学
専門分野	生産技術分野
学位	博士(情報工学)
所属団体名	西日本工業大学 工学部総合システム工学科 機械工学系
役職名	教授

今後の抱負

近年、金型業界を取り巻く環境は大きく変化しています。AIや電気自動車の普及、半導体需要の拡大に加え、原材料費および人件費の高騰により、金型の設計・製作には短納期化と高機能・高付加価値化の両立が強く求められています。このような状況の中で、従来技術の延長のみでは競争力を維持することが困難となっており、新たな発想に基づく技術開発の重要性が一層高まっています。今回の助成研究では、プレス機の余剰エネルギーに着目し、金型内で高圧エアを生成して成形カスの除去および補助加工に活用する技術を提案しました。研究助成の支援を受けて実験装置を設計・製作し、試作機による検証実験を実施した結果、高圧エアによる抜きカス除去効果を確認するとともに、薄板金属への微小穴あけへの応用可能性を明らかにしました。

今後は、装置の信頼性向上および最適設計をさらに進めるとともに、実際の生産ラインへの適用条件を明確化し、省エネルギー化と自動化を同時に実現できる金型技術としての実用化を推進していきます。

1. はじめに

自動車や家電などに用いられる金属部品の加工に使用されるプレス加工では、成形性の確保および生産性の向上が強く求められている。新技術の開発や新素材の導入により、高品質化および高能率化は相当程度実現されてきた。一方で、プレス機のエネルギーを十分に有効活用できているとは言い難く、効率的な複合工程の創出にはなお検討の余地がある。

一般に、プレス機は数十トンから数百トンの定格加圧能力を有しており、金型による成形に必要な力を供給している。しかし、多くの場合、その出力には余裕があり、十分に活用されていない部分が存在する。複雑なプレス加工を行う際には、小規模な補助加工や材料供給、製品の取り出しといった補助動作が必要となるが、これらには主駆動系とは別に、電力や圧縮空気などの動力源を要する。したがって、プレス機の出力を効率的に利用するとともに、補助加工へ簡潔に動力を供給する方法の確立が重要な課題である。

本研究では、プレス機の上下往復運動と高出力特性に着目し、金型内に設置可能で、プレス機の上下運動を利用して高圧エアを発生させる圧縮ユニットを開発した。試作した高圧エア圧縮ユニットを用いて、直径5 mm、板厚0.1~1.0 mmの銅合金シートに対する穴抜き実験を実施した結果、発生させた高圧エアにより抜きカスを確実に除去できることを確認した。

さらに、提案技術の生産現場への適用を目標として、令和5年度より三井金型振興財団の研究助成を受け、継続的な開発を進めている。圧縮エアの圧力を一層高めることで、微小突起の成形や小径穴のパンチングなど、プレス加工工程における補助加工の実現を目指す。また、本技術は補助動作の動力源としても活用可能であり、生産性の向上およびエネルギー消費の削減に寄与することが期待される。

本稿では、提案技術の実用化に向けて取り組んだ装置構造の改良、機能強化、動作安定性の向上および耐久性評価の結果について報告する。

2. 金型内自発高圧エアの動作原理および本研究の目標

2. 1. 金型内自発高圧エアの動作原理

本研究は、金型内に装着可能な高圧エア圧縮ユニットの開発に着手し、その応用方法の検証までを研究内容とする。プレス機の稼働時には、スライドに固定された金型上型が一定のストローク数で上下往復運動を行うという特徴を有する。この直線的な往復運動は、ピストン・シリンダー機構によるエア圧縮動作に極めて適している。さらに、プレス機は大きな加圧能力を備えているため、高圧エアの発生が可能である。圧縮ユニットを小型化し金型内に組み込むことで、多様な応用展開が期待される。

これまでの研究では、抜き加工におけるかす上がり問題の解決を目的として、金型内に設置可能な小型圧縮ユニットの試作を行い、発生させた高圧エアにより抜きカスをダイ内に残留させることなく除去できることを実験により確認した。その際、圧縮エアの圧力は最大6.8 MPaに達した。

図1に高圧エア圧縮ユニットの動作原理を示す。本ユニットは、上部のシリンダーと下部のピストンによりエア圧縮機構を構成している。プレス機のスライドが上死点から下死点へ移動する過程において、圧縮室となるピストン先端面とシリンダー底面との間の空間体積が減少し、内部のエアが圧縮される。圧縮されたエアは、ピストン側に設けたエアタンクへと導入される。シリンダー上部に設置したバルブおよびピストン内エアタンク入口に設置したバルブによりエア流路を制御し、圧縮過程にお

ける一方向流れを確保している。さらに、ユニット下部に安全バルブを設置することで、過剰な昇圧が生じた場合にはエアを排出し、装置の安全性を確保する構造とした。本実験用圧縮ユニットは、ピストン直径54 mm、圧縮ストローク100 mmとして設計した。

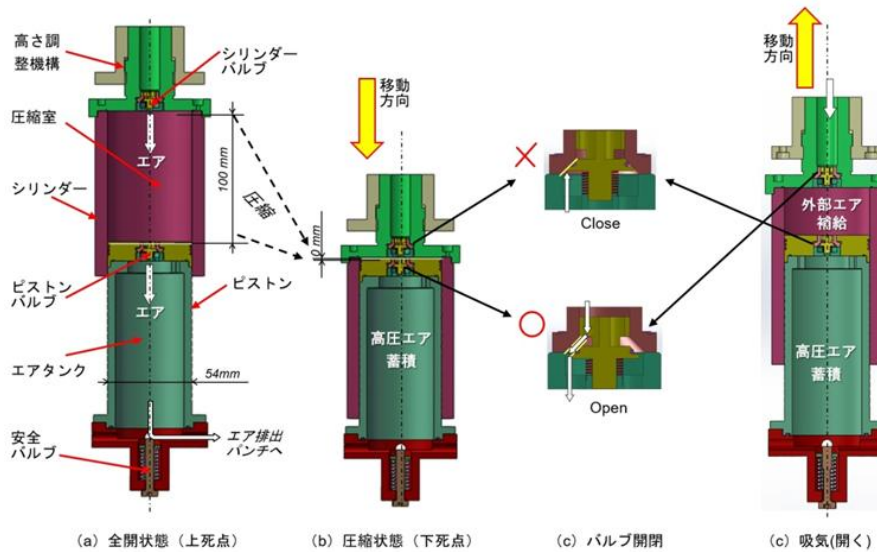


図1. 高圧エア圧縮ユニットの動作原理

2. 2. 本研究の目標および内容

これまでの実験成果を踏まえ、金型内で発生させた高圧エアの用途拡大を図り、金型機能の高度化および加工工程の集約化によって生産効率の向上を目指す。金型の主工程を実施しながら、小径穴の抜き加工や微小成形などの2次加工を同時に行う加工プロセスの概念を図2に示す。さらに、本助成研究を含めた今後の展開として、高圧エアを動力源として活用する構想およびその技術的特徴について、図3に示す。

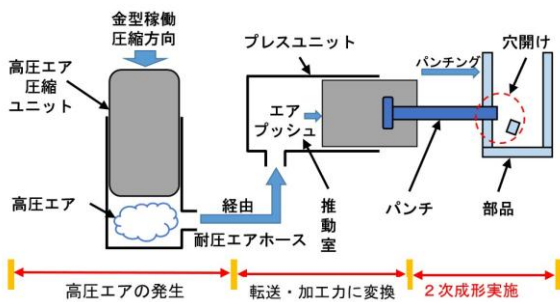


図2. 高圧エアを利用する2次加工の実現

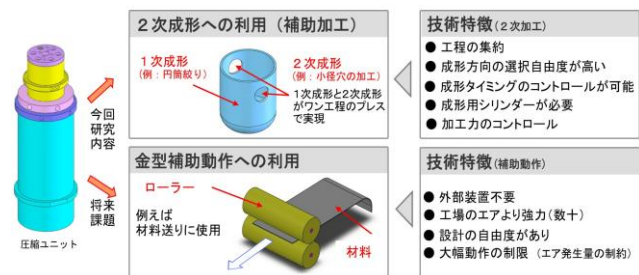


図3. 今回助成研究の目標

2次加工への適用を実現するため、金型内で圧縮した高圧エアを利用し、その圧力を加工力へ変換することで、小規模なプレス加工への適用を試みる。高圧エア発生装置の開発内容は、以下のとおりである。

(1) 試作機の課題を改良する。耐久性および動作安定性を向上させ、加工力の発生に必要な圧力を安定して供給可能な圧縮ユニットを試作する。実用レベルの圧縮エア圧力は20 MPaを想定する。

(2) 実用化を想定し、高圧エアの圧力を加工力へ変換するプレスユニットを開発する。

(3) 実験用金型を設計・製作する。主要プレス工程に対して、成形形状が小さく、必要加工力が比較的低い工程、あるいは成形を補助する動作を、本研究では「補助プレス加工」と定義する。その検証実験として、小径穴加工を対象とする金型ユニットを設計・製作する。

(4) 検証実験を実施する。大学が保有するサーボプレス機に開発した実験装置を取り付け、高圧エアの発生から補助プレス加工の実施まで、一連の検証実験を行う。

(5) 実験結果を評価する。実験結果の分析に加え、装置改良および再実験を含めて検討を行い、本技術の実用化に資する有用なデータを取得する。

本研究では、金型の往復運動を利用して高圧エアを発生させる金型内装着型の圧縮装置を開発する。さらに、高圧エア圧力を加工力へ変換し、主要プレス工程に対する補助加工として小径穴加工や微小成形を実現することで、加工の生産性向上およびエネルギーの有効利用を図ることを目的とする。

3. 高圧エア圧縮ユニットの開発

3. 1. 初期の金型一体型の圧エア圧縮ユニットの開発

プレス機の往復上下運動を利用して高圧エアを発生させる研究は、今回の助成申請（令和5年度）以前より先行研究として実施してきた。初期設計では、金型と一体化した高圧エア圧縮ユニットを構想し、パンチを固定するパンチプレート内部にエア流路を設けた試作機を製作した。

図4(a)に、初期設計による金型一体型高圧エア圧縮ユニットを組み込んだ金型試作機を示す。図4(b)は圧縮ユニットの断面図であり、上部にピストン（エアタンク部）、下部にシリンダーを配置した構造となっている。発生した高圧エアはパンチ先端から噴出させる構成とし、そのためダイセット内部にエア流路を設計した。さらに、エア漏れを防止するためにパッキンを設置し、気密性を確保する固定構造を採用した。

本試作機により得られた最大圧力は6.8 MPaであった。また、本ユニットを用いてカス上がり問題の解決を試み、穴抜き加工時に発生する抜きカスをエア噴射によって吹き落とすことに成功し、本技術の有用性を確認した。

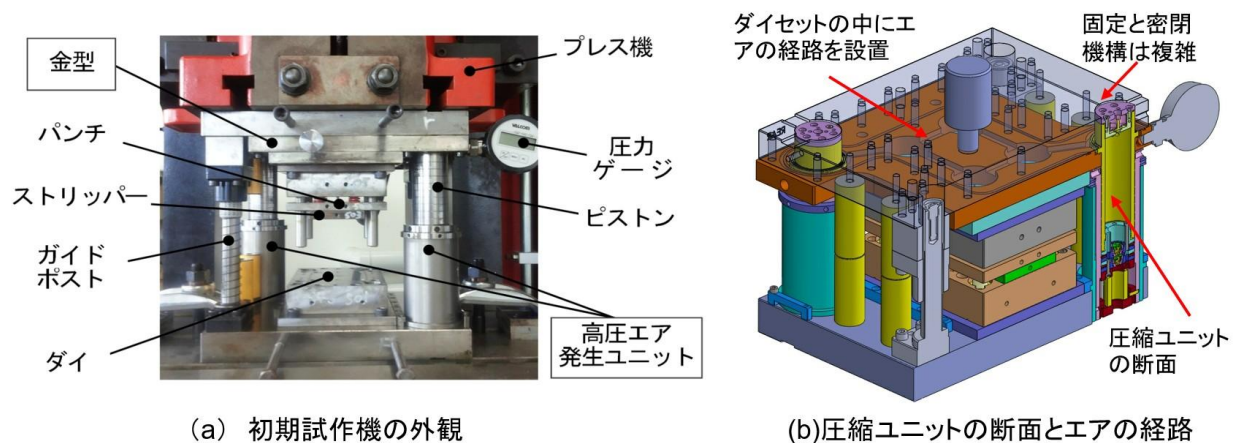


図4. 金型と一体型の高圧エア圧縮ユニットおよび金型の試作機

3. 2. 実用化上の問題点

カス除去用途にとどまらず、金型内で自発的に発生する高圧エアを動力源として拡張し、実用化を図るためには、以下の課題を解決する必要がある。

(1) 高圧エア圧縮ユニット構造の独立化

高圧エア圧縮ユニットを金型構造から独立させ、市販のダイセットに容易に装着可能な構成とする必要がある。また、金型内部にエア通路を設けることは、加工上および気密確保の観点から困難であるため、高圧エアの転送には耐圧ホースを用いた方式を採用する必要がある。

(2) 小加工力の二次成形に必要な圧力の増加

動力源としての利用を想定し、金型の主要加工工程を実施しながら、小径穴加工や微小突起成形などの二次成形を、発生した高圧エアによって行う。そのためには、高圧エア圧縮ユニットの構造を改良し、必要な加工力を発生可能な圧力を安定して供給できるようにする必要がある。

(3) ピストンリングおよびエアバルブの耐久性向上

初期試作機では、カス除去に必要なエア圧力を得ることができたものの、エア漏れが確認され、さらなる高圧化は困難であった。特に、ピストン側およびシリンダー側に設置したバルブのOリングは、数千～数万ショットで損傷が生じ、連続生産への適用が困難である。そのため、密封部材の耐久性向上が不可欠である。

(4) 圧力値の制御

プレス機の連続稼働を想定した場合、理論上、圧縮ユニット内部の圧力は上昇し続ける。必要以上のエアを蓄積することなく、安全性を確保しつつ、所定の圧力範囲内で安定動作させるため、圧力値を制御可能な圧力弁の開発が必要である。

(5) 二次成形用プレスユニットの新規開発

カス除去のようにエアを直接噴射する用途とは異なり、二次成形ではエア圧力を加工力へ変換する機構が必要となる。先行研究で製作した小規模成形用プレスユニットを基に、性能向上および構造の簡素化を図るとともに、取付けが容易な新たなプレスユニットを開発する必要がある。

本研究では、これまでの先行開発を踏まえ、特に課題(3)から(5)の解決に重点を置き、設計・製作および検証実験を主として今回の助成研究(令和5年度)において実施した。

3. 3. 密閉性および増圧のためのバルブおよびピストンリングの改良

まず、圧縮ユニット内の重要部品であるバルブについて改善設計を行った。従来構造ではバルブプッシュ先端が円錐面形状であったが、密閉性および耐久性向上の観点からこの形状を廃止し、図5に示す新構造のシート蓋式バルブを設計した。

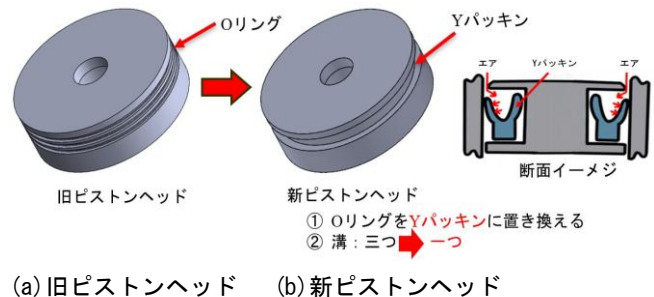
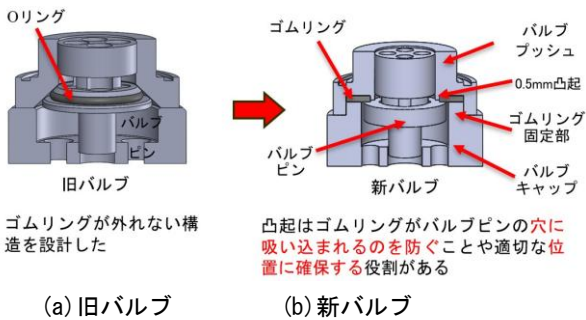
新構造のバルブは、バルブプッシュ、バルブピン、バルブキャップの3部品から構成される。バルブに取り付けたゴムリングが確実に押さえ込まれ、脱落しない構造とした。具体的には、バルブプッシュに、ゴムリングが位置するバルブピン孔に対応する高さ0.5 mmの凸部を設けた。この凸部は、ユニット作動時にゴムリングがバルブピン孔へ吸い込まれることを防止し、所定位置に保持する役割を果たす。さらに、バルブキャップ側にも段差を設け、ゴムリングが安定して固定される構造とした。これにより、ユニット作動中のシール不良や脱落といった問題を最小限に抑制できる。

次に、高圧エア圧縮ユニットの耐久性向上を目的として、図6に示す新しいピストンヘッドを設計し

た。従来はOリングを装着する3本の溝を設けていたが、構造簡素化および耐久性向上のため、溝を1本に変更する設計とした。ただし、溝を1本とすることで圧縮室の密閉性低下が懸念されたため、OリングをYパッキンへ変更した。

高圧エア圧縮ユニットの作動時には、シリンダー内圧が上昇し、図6に示すようにYパッキンが内圧によって押し広げられることで高い密閉性を発揮する。Yパッキンは耐久性および耐摩耗性に優れ、潤滑性も有するため、長期間の使用においても安定した性能が期待できる。これにより、シール部材の交換頻度低減および高圧下での安定した密閉性の確保が可能となる。さらに、Yパッキンとピストンヘッド溝との位置決めを安定させるため、バックリングを併用した。

今回設計した部品の製作において、ピストンヘッドは熱処理を必要とするため外部業者に製作を依頼した。その他の部品は、研究に参加した大学院生および学部卒業研究生が製作した。バルブ部品については、大学実習工場の加工条件および必要強度を考慮し、材料には真鍮を採用した。主な加工にはNC旋盤およびNCフライス盤を使用した。図7に、研究グループの学生が製作したバルブ関連部品を示す。



(a)バルブピン (b)バルブプッシュ (c)バルブキャップ (d)ピストンヘッド (e)ゴムリング
図7. 研究グループの学生らが製作したバルブの部品

3. 4. バルブの耐久性を向上するための対策

高圧エア圧縮ユニットのピストンヘッドおよびシリンダーヘッドには、独自に開発したバルブを組み込んでいる。本バルブは、圧縮エアの蓄積および外部エアの吸入過程において一方向流を確保する重要な機構である。その性能および耐久性は、本技術の実用化を左右する主要因の一つである。

これまでに複数回の構造改良を重ね、安定動作を実現するまでに、多くの試作および検証実験を繰り返してきた。圧力値の上昇に伴い、密閉性の確保および部品寿命の低下が顕在化し、これらが重要な技術課題となった。

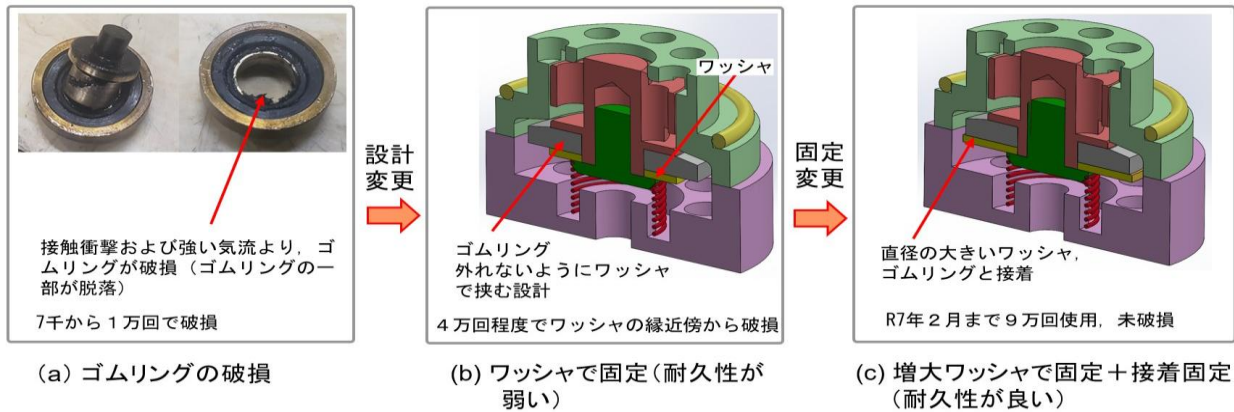
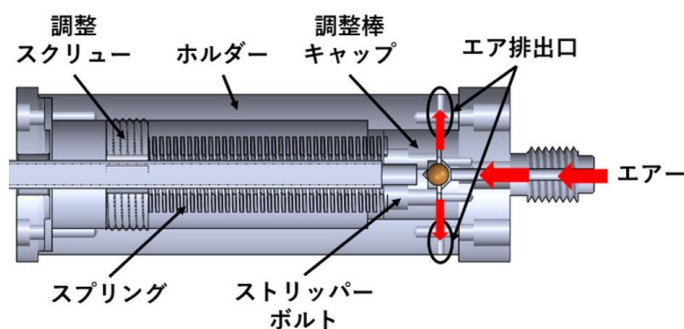


図8. バルブの耐久性を向上するための対策

図8に、バルブの耐久性向上を目的とした最近の改良事例を示す。図8(a)に、バルブ構成の主要部品であるバルブピンおよびその受け部であるバルブピンホルダーに装着したゴムリングの破損状況を示す。往復運動に伴う衝撃により、ゴムリングの接触部が摩耗・損傷し、さらに強い気流の作用によって一部が引き裂かれ、脱落する現象が確認された。この対策として設計を変更し、ゴムリングをバルブピン側に配置し、図8(b)に示すワッシャにより挟む構造とした。その結果、耐久性の改善が確認され、使用寿命は約4万回まで向上した。さらに、図8(c)に示すワッシャの直径を拡大し、ゴムリング全体を支持する構造とすることで、使用寿命は約9万回（プレス稼働回数による概算）に達した。

3. 5. 圧力値のコントロールに関する開発



(a) 圧力調整弁の構造と動作原理



(b) 製作した圧力制御弁

図9. 圧力調整弁の開発

発生した高圧エアの圧力は、用途に応じて適切に制御する必要がある。そこで、本研究では専用の圧力制御弁を新たに開発した。図9(a)に試作した圧力制御弁の断面3Dモデル図を、図9(b)に試作機を示す。ねじ部は専用エアホースを介してエアタンクと接続する構造とした。

本圧力制御弁は、調整棒、ホルダー、調整棒キャップ、ボールホルダー、ホルダーキャップ、調整スクリー、スプリング、ボールから構成される。エア止め用ボールの脱落を防止するため、調整棒キャップとボールホルダーをガイドボルトで連結した。ホルダー内壁にはピッチ1.5 mmの雌ねじを加工し、調整スクリーの回転によってスプリングの押圧力を調整可能とした。さらに、調整スクリーには四角穴を設け、内部に通した四角断面の調整棒により回転角度の微調整を可能とした。

本ユニットの動作原理は以下のとおりである。エア圧力が設定値以下の場合、調整棒キャップおよびボールはスプリング力により押し付けられ、密閉状態を保持する。一方、エア圧力が設定値を超えると、スプリングが圧縮され、調整棒キャップおよびボールが移動して隙間が生じ、エアはホルダーの排出口から排出される。

圧力制御弁の動作検証実験にはTP45C型プレス機を用いた。金型の4本のガイドポストのうち1本を高圧エア圧縮ユニットに置き換え、ユニット両端を金型上型および下型に固定し、プレス機の上下往復運動により高圧エアを発生させた。エア漏れ防止のため、圧力制御弁およびコネクターのねじ部にはシールテープを巻いた。エアホースの一端を圧力制御弁のねじ部に接続し、他端はコネクタによりエアタンクに接続した。デジタル圧力ゲージはメーター変換アダプターを用いてエアタンクに装着した。

まず、金型の加圧能力および保圧性能を検証した。金型稼働ストロークの増加に伴う圧力上昇の挙動を圧力ゲージで観察した。また、稼働停止時における圧力低下の挙動を目視確認し、圧力値を記録した。次に、圧力制御弁の性能検証を行った。圧力制御弁を高圧エア圧縮ユニットに接続し、調整棒を締め込むことで設定圧力を10 MPa付近に設定した。その後、加圧を行い、圧力ゲージが10 MPaに達した時点で調整棒を緩め、エアが排出口から排出されて圧力が低下することを確認した。再度調整棒を締め込み、圧力が10 MPaに復帰することを確認した。

圧力制御弁を接続しない場合には、圧力は20 MPa以上まで上昇することを確認した。一方、圧力制御弁を接続した場合には、設定値に応じて圧力を制御でき、10 MPa以内で任意の圧力値に微調整が可能であることを確認した。

3. 6. 高圧エアの圧力の加工力への変換

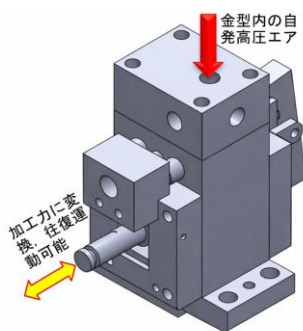


図10. 2次加工用プレスユニット

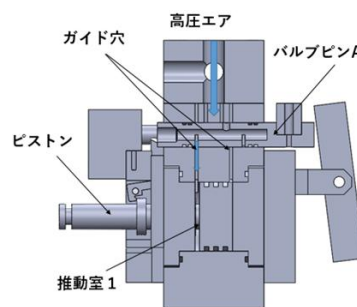


図11. 後退状態

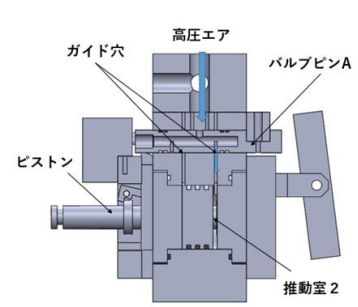


図12. 前進状態

プレス機の稼働力を利用して強力な高圧エアを発生できることを確認した。これを2次加工の動力源として利用するためには、エアの圧力エネルギーを機械的運動へ変換するアクチュエーターが必要となる。本研究では、小径穴のパンチング加工を想定し、パンチが短ストロークで往復摺動するプレ

スユニットを応用例として設計・製作し、その検証を行った。

図10に、圧縮エアの圧力を2次加工用の加工力へ変換するプレスユニットの外観設計を示す。本ユニットでは、発生した高圧エアを上面または側面の流入口から内部へ導入し、その圧力によって前方に設置したピストンピンを一定ストロークで往復運動させる構造とした。

ユニット内部には、加工力を発生させるピストンと、圧力制御を担う2本のバルブピンを配置している。バルブピンの開閉動作によりエア流路を制御するとともに、ピストンの作動タイミングも調整可能である。プレスブロック内部には円筒面構造を設け、シリンダーとして機能させている。

本プレスユニットは、耐圧エアホースにより高圧エア圧縮ユニットと接続される。発生した高圧エアはトップカバーを經由して制御機構部へ導かれる。初期の後退状態を図11に示す。この状態では、バルブピン孔とピストン前方のガイド孔が一致し、エアが左側の推動室1に流入してピストンを待機位置に保持する。

稼働時の前進状態を図12に示す。バルブピン孔とピストン後方のガイド孔が一致すると、エアが右側の推動室2へ流入し、ピストンが左方向へ移動する。さらに、2本のバルブピンのガイド開口部を逆方向に設計することで、ピストンの往復運動を実現している。

製作したプレスユニットは実験用ダイセットに固定し、被加工材に対して水平方向に加工力を付与できる構成とした。加工対象の形状や材料特性に応じて、加工方向の変更が可能である。なお、本ユニットは一定ストロークおよび一定加工力を発生する機構であるため、実際の加工に用いるパンチおよびダイなどの金型部品は製品形状に応じて別途設計・製作する必要がある。

3. 7. 改良型高圧エア圧縮ユニットを装着した金型システムの構成

実用化に向けて、金型に装着可能な高圧エア圧縮ユニットの応用モデルを提案する。本モデルでは、圧縮ユニットを金型に取り付け、金型の往復運動を利用して高圧エアを発生させる。さらに、その高圧エアはアクチュエーターを介して加工力へ変換し、2次加工装置へ供給することで、高度化された複合プレス加工の実現を目指す。

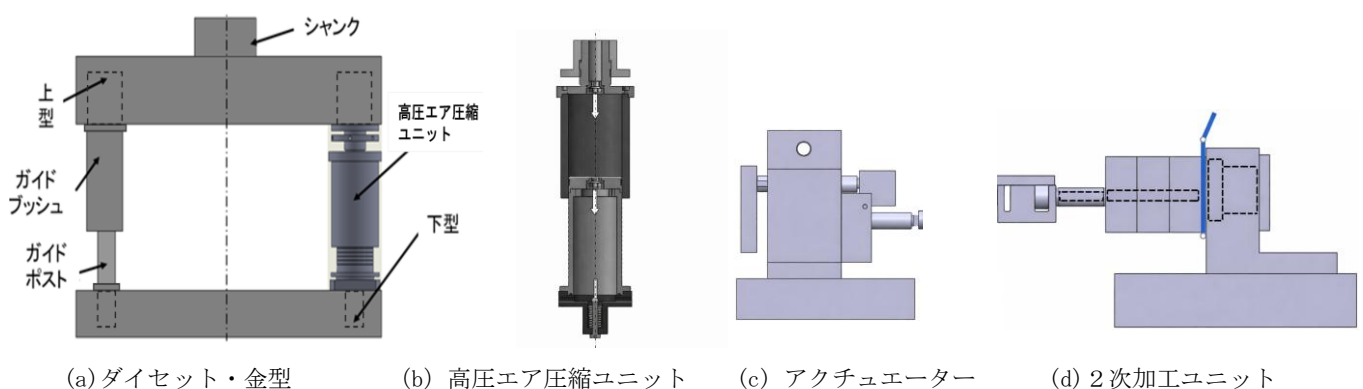


図 1 3. 高圧エア圧縮ユニットを装着した金型システムの構成

金型システムの構成を図13に示す。構成要素(a)～(d)の役割および技術要件を以下に示す。

(a) ダイセット・金型

市販の標準ダイセットの使用を想定する。ダイセット内部には、ダイ、パンチなど主要成形工程を

担う金型部品を配置する。あらかじめ高圧エア圧縮ユニットの設置スペースを確保する必要がある。本研究で提案する設置位置の一例はガイドポスト部である。ただし、ガイド機能への影響や荷重バランスを考慮する必要がある場合には、固定位置を変更する。

(b) 高圧エア圧縮ユニット

本ユニットは、高圧エアの発生および蓄積を担う装置であり、小型化と金型への容易な取り付けを実現する一体構造として開発した。試作機では、上下の接続部をガイドポスト径に合わせて設計し、ガイドポスト穴へ挿入後、補助ボルトで固定する方式とした。固定位置および固定方法は、金型の構造レイアウトに応じて変更可能である。図14に改良型高圧エア圧縮ユニットの外観を示す。

(c) アクチュエーター

アクチュエーターは、圧縮エアの圧力を2次加工の加工力、あるいは他の補助動作へ変換するための装置である。本研究では、薄板への穴加工を想定し、小ストローク往復運動が可能なピストン・シリンダー構造のアクチュエーターを設計した。

(d) 2次加工ユニット

2次加工ユニットは、小加工力による成形加工を想定し、縦方向に作動する主要プレス工程に対し、必要な方向から補助加工を行う金型セットである。本研究では、水平方向から穴あけ加工を行うサイドプレスユニットを実施例として設計・製作した。図15に、プレスユニットおよび水平方向穴あけ用簡易金型の試作機を示す。



図14. 改良した高圧エア圧縮ユニット

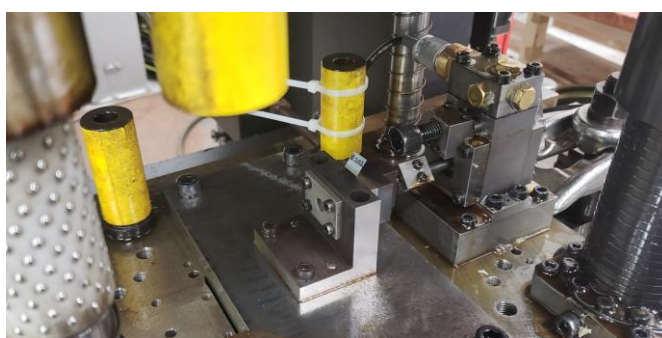


図15. プレスユニットと水平方向穴あけ簡易金型

3. 8. 昇圧能力の実検証

改良後の高圧エア圧縮ユニットを実験用ダイセットに取り付け、以下の条件で圧縮能力の検証を行った。

- AMADA社製45トンプレス機を使用する。
- ストロークは100 mmとする。
- サイクルタイムは1秒とする。
- 圧力計測にはバルコム社製VPG8シリーズの圧力ゲージを使用する。
- 時間計測にはストップウォッチを使用する。
- 圧縮ユニット表面温度の計測には赤外線カメラを使用する。
- 異音の発生状況は実験者の聴覚により確認する。

図16に圧力検証実験の様子を示す。図17に、異なる時間帯で実施した3回の増圧実験結果を示す。い

ずれの試験においても圧力は目標値である25 MPaに到達し、到達までのストローク数はそれぞれ290回、315回および318回であった。最大圧力は目標の20 MPaを上回り、圧縮能力の向上が確認された。

また、圧力が25 MPaに到達した時点におけるユニット表面温度は、実験時の環境温度14 °Cに対して37.2 °Cであった。これは、過去年度に実施したほぼ同条件下の実験で記録された約60 °Cと比較して大幅に低い値である。この温度範囲は、ゴム材質のOリング類および潤滑油の性能維持の観点からも良好な条件であると考えられる。さらに、実験中に異常な摩擦音は確認されず、機械的作動は安定していた。高圧エア圧縮ユニットの底部に、安全バルブを設置しており、圧力は25MPaに達したら、自動作動を避けるため、増圧のプレス運動は手動で停止した。

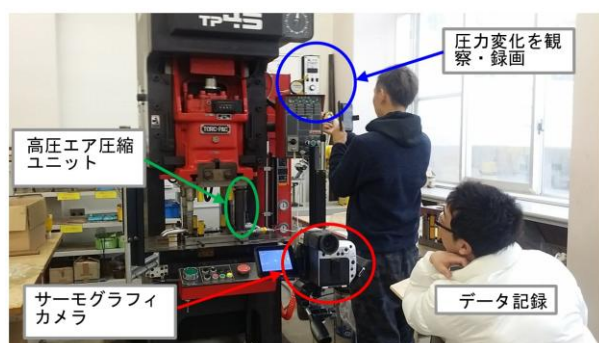


図16 圧力検証実験の様子

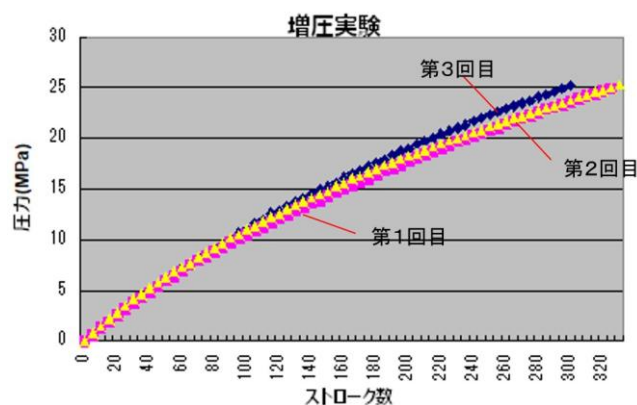


図17 昇圧検証実験の結果 (R7.1実験)

4. 本技術の応用に関する応用実験

4. 1. 金型内の自発高圧エアの応用方向

発生した高圧エアの応用は、大きく二つの方向が考えられる。一つは、エアの直接利用である。例えば、高圧エアの噴射力を利用して抜きカスを除去する用途や、工場の圧縮エアを導入できない金型内部・金型表面の清掃などへの適用が挙げられる。もう一つは、間接利用である。高圧エアを各種アクチュエーターにより往復運動や回転運動へ変換し、加工力の小さい成形加工や材料送り、製品搬送などの動力源として利用する方法である。本節では、本研究において実験的に検証済みである二つの応用例について述べる。

4. 2. カス上がり対策の応用実験

開発した高圧エア圧縮ユニットは、プレス機の稼働を利用することで、通常工場に設置されている圧縮エアと比較して数十倍の圧力を得られることを確認した。本高圧エアの応用例の一つとして、従来のプレス抜き加工における代表的課題である「カス上がり」問題への適用を検討した。

穴あけなどのプレス加工では、切り落とされたカス（スクラップ）がダイ穴内部に残留することがある。材料の反力や摩擦力の影響により、複数枚のカスが重なって滞留し、ショットごとに下層から順次ダイ下方へ落下する。しかし、油膜や負圧の影響により、上層のカスが金型表面へ浮き上がり、次に送り込まれた材料と重なることで打痕などの成形不良が発生する。さらに、状況によってはパンチ刃先の欠損や金型破損を招く恐れがある。

本研究では、抜き加工用パンチ内部にエア流路を設け、プレス下死点においてバルブ制御により瞬間的に超高圧エアを噴射する構造とした。これにより、抜きカスをダイ内部に残留させることなく、

一括してダイ下方へ排出することが可能となる。ダイ内部にカスが滞留しないため、カス上がり問題の根本的解決が期待できる。

応用実験として、図18に高圧エアによる穴抜き加工のカス除去実験装置、金型および実験材料を示す。プレス機にはAMADA製TP45クランク式プレスを使用し、実験用金型をセットした。ガイドポスト部に開発した高圧エア圧縮ユニットを取り付けた。図18(a)は研究グループ学生による実験の様子を示し、図18(b)は穴抜きダイ表面および実験材料を示す。

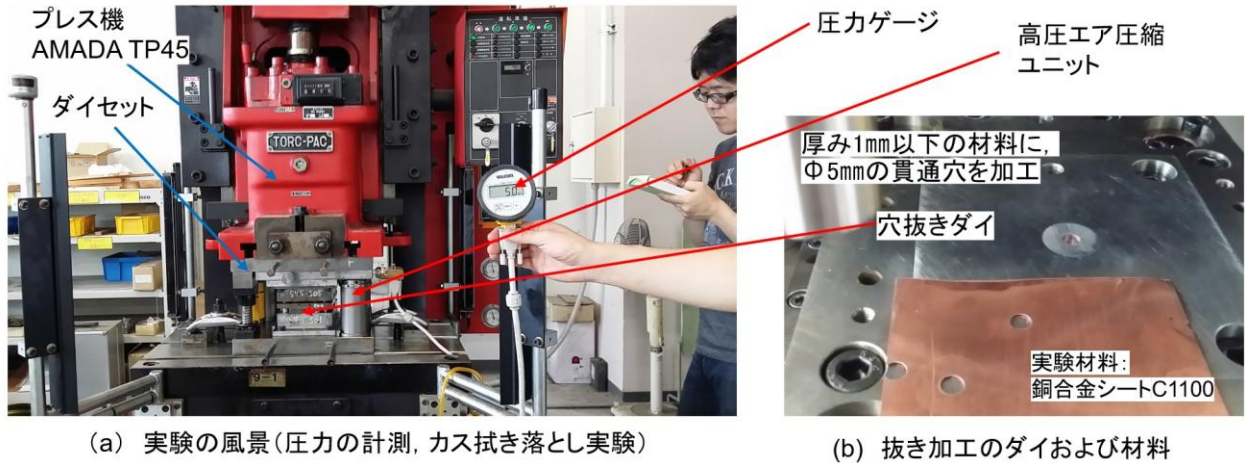


図18. 高圧エアによる穴抜き加工のカス除去実験

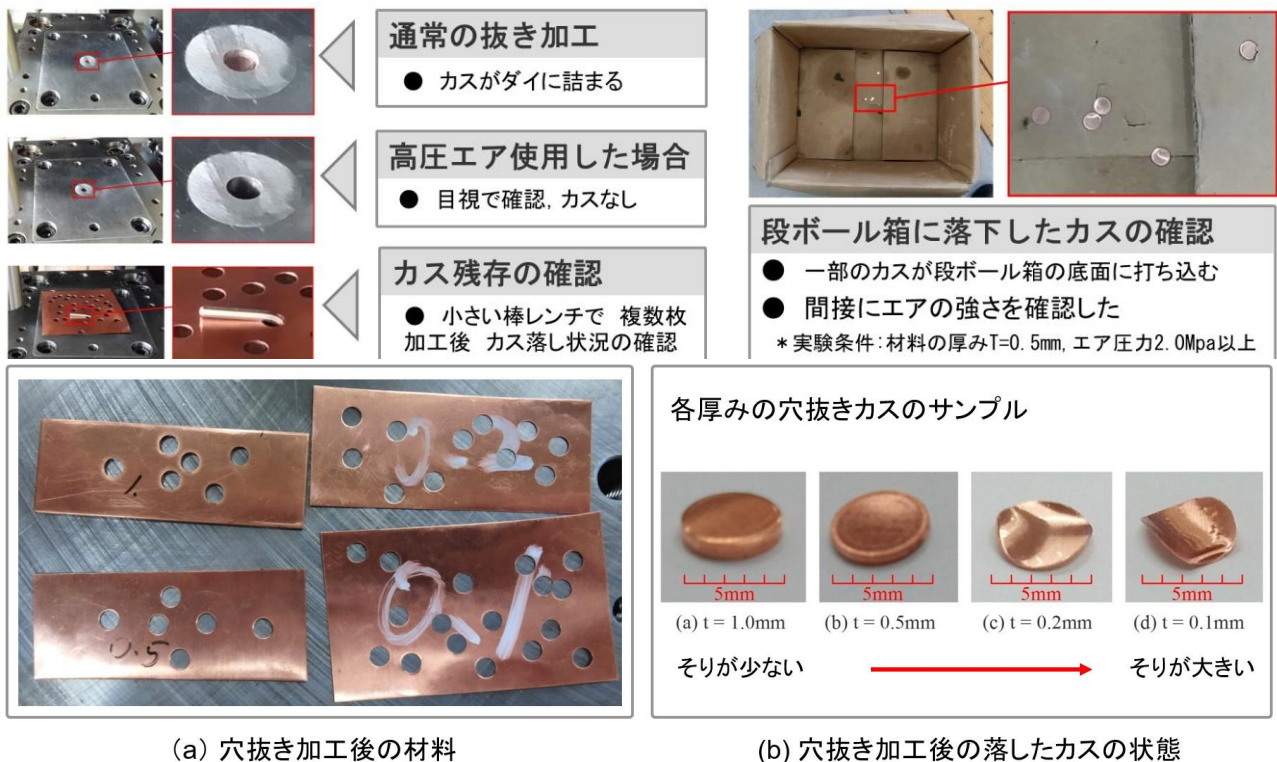


図19. 穴抜き加工で吹き落したカスの状態確認

図19にカス除去実験の結果を示す。図19(a)は、通常の抜き加工後のダイ表面と、高圧エアを用いた

抜き加工直後のダイ表面を比較したものである。通常加工では抜きカスがダイ内部に滞留している様子が確認できるのに対し、高圧エアを使用した場合にはカスが完全に排出され、ダイ内部に残存していないことが確認された。

図19(b)は、プレス機下方に設置したカス回収用段ボール箱内の様子を示す。ショットごとにカスが確実に落下していることが確認できる。さらに、直径5 mmのカスがエア噴射の力によって段ボール箱底面に食い込む現象も観察された。

実験材料として使用した銅合金C1100シート（各板厚）のカス形状を観察した結果、板厚1 mmの場合はカスの反りが比較的小さい一方、板厚が薄くなるほどカスの反りが大きくなる傾向が確認された。これは、高圧エアの噴射力の影響によるものと考えられる。

4. 3. 高圧エアによる2次加工の応用実験

開発した高圧エア圧縮ユニットは改良を重ねた結果、発生圧力20 MPa以上を実現した。この高圧エアをシリンダー・ピストン機構により加工力へ変換することで、穴加工や微小成形などの動力源として利用できる。

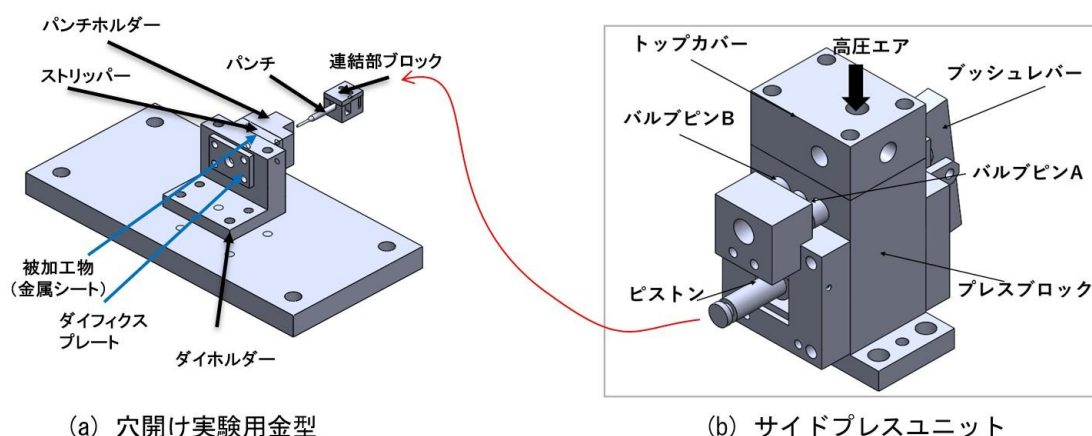


図 20. 小径穴加工実験用の金型および加工力変換用サイドプレスユニット

図20(a)に小径穴加工実験用の金型および図20(b)に加工力変換用サイドプレスユニットを示す。プレス金型の稼働により、高圧エア圧縮ユニットで生成された高圧エアは耐圧エアホースを経由してプレスユニットの推動室へ供給される。推動室内のピストンに圧力が作用し、加工力が発生する。ピストンはジョイントを介してパンチと連結され、2次加工を実現する。

高圧エア圧縮ユニットで生成された高圧エアを小荷重のプレス加工力へ変換するため、小径穴加工が可能な2次加工用プレスユニットを試作した。

本プレスユニットの主要構造は、シリンダーブロックおよびピストンから構成される推動室である。内部には、加工力を発生させるピストンと、圧力制御を担う2本のバルブピンを配置している。バルブピンの開閉動作によりエア流路を制御し、ピストンの作動タイミングを調整する。プレスブロック内部には円筒面構造を設け、シリンダーとして機能させた。ピストンはジョイントを介して2次加工用パンチと連結され、小径穴加工用パンチへ加工力を伝達する。さらに、動作制御用バルブピンの特殊構造により、ピストンの連続往復運動を実現した。

2次加工技術の実用性を検証するため、試作したプレスユニットを用いて小径穴のパンチング加工

実験を実施した。実験では、プレス機の上下往復運動により圧力ゲージで5 MPa以上に達したことを確認後、高圧エアを耐圧エアホースを介してプレスユニットへ供給した。その後、プッシュレバーを操作し、連動したパンチにより板厚0.05～0.25 mmの5種類のSUS304板材に対してφ1.6 mmの穴加工を行った。図21(a)に小径穴パンチング加工実験装置を、図21(b)に加工結果を示す。5種類すべてのSUS304板材においてφ1.6 mmの貫通穴加工が可能であった。実験サンプルには板厚を明記した。

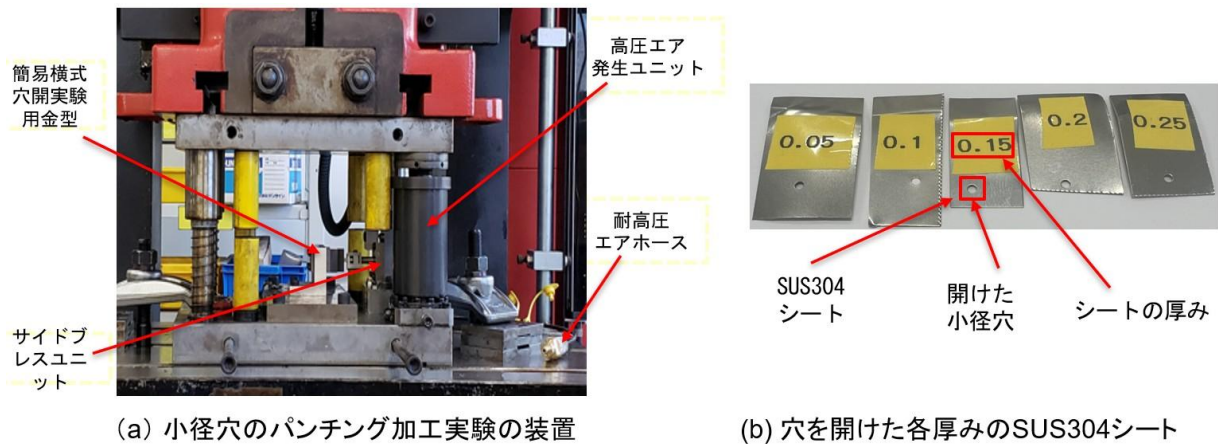


図 2 1. 小径穴のパンチング加工実験の装置および結果

5. 今後の課題脱着式圧縮ユニットの提案

5. 1. 脱着式圧縮ユニットの提案

これまでの実験ではTP-45C型プレス機を使用してきた。しかし、高圧エア圧縮ユニットは当該機種のスローク条件に合わせて設計されているため、スローク長が異なる他機種へのプレス機へ適用するためには、対応可能な調整機構が必要となる。そこで、本研究では異なるスローク条件に対応可能なスローク調整機構の設計を提案する。

図22(a)にスローク調整機構の構造を、図22(b)に動作原理を示す。本機構は、リミットスペーサーホルダー、リミットスペーサー、ベアリング、リフトボード、バイスブロック、ハンマーなどから構成される。本機構により、プレス機のスローク長に応じて有効作動範囲を機械的に調整することが可能となり、高圧エア圧縮ユニットを多様なプレス機へ適用できる拡張性を確保する。

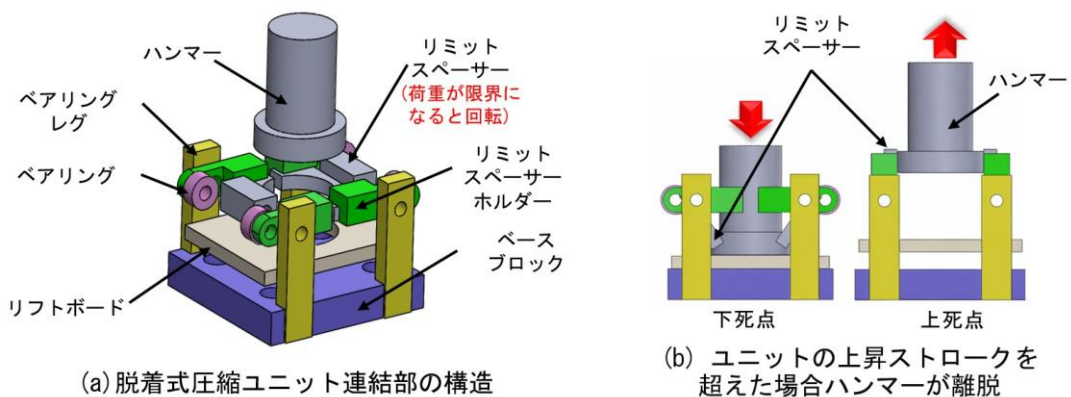


図 2 2. 脱着式圧縮ユニット連結部の構造および離脱動作

本機構の動作原理は以下のとおりである。ハンマーが下降する際、リミットスペーサーが押し下げ

られ、所定位置でハンマーがロックされる。一方、上昇時には、引張力がリミットスペーサーホルダー内部に設置したスプリング力を上回ると、リミットスペーサーホルダーが上昇し、ハンマーは自動的に解除される。設定された作動範囲内では、機構全体がハンマーと一体となって上死点まで上昇する構造である。

ストローク調整機構の設計目標は、高圧エア圧縮ユニットの汎用性向上を図ることである。これにより、ストローク長の異なるプレス機へ容易に適用でき、実験および応用展開の幅を拡大できると期待される。さらに、ストローク調整機構をユニットに組み込むことで、実験条件変更への迅速な対応が可能となる。本機構の詳細最適化は、今後の課題とする。

5. 2. 応用範囲の展開

本研究は、当初、カス上がり問題の有効な解決方法として、工場常備エアの約10倍の圧力をプレス機の力によって増幅し、抜きカスを完全にダイから除去する技術の開発から出発した。その後、改良を重ねることで、工場常備エアの数十倍に相当する高圧エアの発生を実現し、さらにエアの圧力を加工力へ変換することで、小規模な金属加工の実証実験にも成功した。エアタンクに蓄積された高圧エアのエネルギーは用途の柔軟性が高く、本研究で実験的に検証した応用例にとどまらない。アクチュエーターの構成次第では、成形品の取り出し、材料送りなどの補助動作への応用も可能であると考えられる。さらに、強力な往復運動を有する機械はプレス機に限らず、例えば射出成形機や鍛造装置などにも同様の動作特性が存在する。これらの機械においても駆動力に余裕がある場合、本研究で提案した高圧エア圧縮ユニットを組み込むことで、多様な機能の付加が期待できる。

6. まとめ

本研究は、プレス機の往復運動特性を利用し、金型に装着可能な高圧エア圧縮ユニットの開発および改良を行い、本技術の実用化を目指して検討を行った。その結果、以下の成果を得た。

- (1) プレス機の往復運動および駆動力を利用して高圧圧縮エアを発生させ、加工動力源として利用可能であることを実証した。
- (2) プレス機の稼働エネルギーの一部を圧縮エアの圧力エネルギーへ変換し、エネルギーの有効活用を実現した。
- (3) 2次加工手法として、高圧エアの発生から加工力への変換機構を構築し、自動復帰機能を有するプレスユニットを提案した。その結果、ステンレスシートへの小径穴パンチング加工を実現した。
- (4) 工場常備エア圧の数十倍に相当する高圧エアを安定的に利用するため、複数の構造的改良を施したバルブ機構を開発し、実用レベルの耐久性を達成した。
- (5) 発生した高圧エアの圧力を制御する圧力制御弁を開発し、実験的検証により圧力の精密調整が可能であることを確認した。
- (6) 汎用性向上を目的として、プレス機のストローク変化に対応可能な脱着式圧縮ユニット接続機構を提案した。

今後の課題として、用途拡張を見据え、機能性および耐久性のさらなる向上を図るとともに、金型への取り付け性を一層高めた構造へ改良し、生産現場への実装を推進する。