

ミニチュア塑性加工機の開発と技術教育への応用

埼玉大学 教育学部 技術教育講座
准教授 内海能亜
(平成 21 年度一般研究開発助成 AF-2009003)

キーワード：塑性加工機，技術教育，教材

1. 研究の目的と背景

本研究では塑性加工を体験的に学ぶことができる教材としてのミニチュア塑性加工機の開発を試みた。一般的に塑性加工機は大型で高価であり，その取扱いの安全性を十分配慮し，専門的な技能の習得が必要となる。そのため，専門的教育機関以外では装置の設置は難しく，体験的に塑性加工を学ぶ機会が少なくなる。そこで，各種塑性加工機の動作や加工過程が安全に確認でき，教室などの机上で加工体験ができるミニチュアサイズの機械を設計することとした。本研究の期間では一次加工としては圧延機および押し出し機，二次加工はロール曲げ機および絞り・鍛造が体験できるプレス機を製作した。また，塑性加工に関する教材の必要性，本機の加工特性と利用方法，本機を用いた実験授業とその効果について調査した^{1)~6)}のでここに報告する。

2. 塑性加工に関する教材の必要性

2.1 中学校と高等学校の技術教育

技術教育に含まれる普通教育としての中学校技術・家庭における技術分野（以降，技術科）の教育では，平成 24 年度から新学習指導要領解説による授業が開始される。そこでは，「材料と加工に関する技術」，「エネルギー変換に関する技術」，「生物育成に関する技術」，「情報に関する技術」の 4 つの教育内容が示されている。これらのうち，塑性加工に直接関連する内容は「材料と加工に関する技術」で，材料の特徴を知るために，「木材，金属及びプラスチックなどの生活で利用されている材料を取り上げ，かたさ・強度・比重などの測定や，熱・電気・光・音・水などに対する実験や観察からその特徴を気付かせる」とある。また，加工法については，「木材，金属及びプラスチックの切断，切削，金属の鋳造，鍛造など，材料によって使用する工具や加工法が違うことを，実験や観察を通じて知ることができるようにすることが考えられる」とある⁷⁾。近年，脱ゆとり教育で授業時間が見直されてはいるが，技術科の授業時間数は 20 年前に比べおよそ 29%削減されている。また，技術科の教科書は現在 2 つの出版社から発行（計 2 冊）されているが，過去の内容⁸⁾と比較すれば，塑性加工法の例が少なくなり，実習における具体的な板金製品が記されなくなった⁹⁾。

専門教育あるいは職業教育として位置付けられる工業高校の学習指導要領解説工業編の科目に「材料製造技術」

「工業材料」「材料加工」がある。それぞれの目標は各科目においての知識と技術を習得させ，実際に活用する能力と態度を育てるとある。具体的に「材料加工」の材料の加工法では，「金属の塑性加工によって製品を作る方法を取り上げ，その材料の特性から力や熱を加えて製品を作る加工方法について理解させ，実際に加工できるようにする」とある¹⁰⁾。工業高校は大学工学部などの専門教育（特殊な加工や最新の加工を除く）とほぼ同様の教育内容で，文部科学省著作教科書¹¹⁾が用いられる。

その他の教材として，実際の塑性加工が動画として写しだされているビデオや e-learning，設備の整った機関であれば実習工場がありプレス機などを備えているわけである。大型機械以外に，人力の塑性加工機として図 1 のような加工機がある。それぞれ V 曲げ機，ひも出しロール機，ロール曲げ機，足踏み式せん断機，エキセンプレス，ロールミルなどであり，人力でテコ式またはハンドルを回して塑性加工ができる。これらは大型機に比べ安全に取り扱え軽量ではあるが基本的に実習場に固定して使う機械で，教室などに持ち込み机上で作業ができる重量ではない。何れにしても実機を有さない教育機関では，各種塑性加工法を体験する教材は少ない。

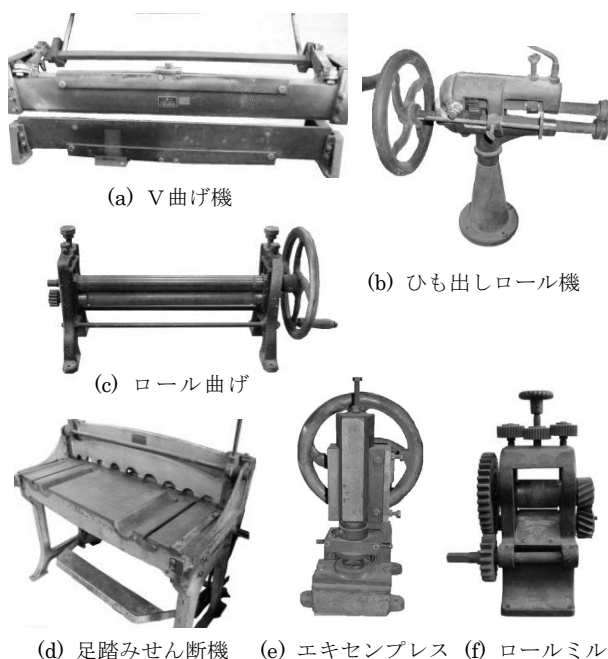


図 1 人力の塑性加工機

2.2 アンケート調査

異なる複数の大学の学生（男 44 名女 26 名計 70 名）に対して、学部学年不問で中学校技術科に関するアンケート調査を行った。その内容は次の、a)中学校技術の授業で受けたことのある分野は何ですか（複数選択式）、b)実習における具体的な内容を挙げてください（自由複数記述式）、c)技術科の金属加工に関する授業で取り上げられていた工具と加工法を挙げてください（複数選択式）、の 3 件とした。アンケート結果を図 1 に示す。大学生が中学校時に受けた技術科の授業内容として、ほとんどの学生が木材加工の分野を挙げた。これに対し、金属加工は 44%と低い値となった。実習で行ったことのある具体的な内容を分野別に分類すると、金属加工はわずか 5%が実習を行ったという結果となった。数年前のことなので忘れていた学生もいると推測できるが、明らかに木材

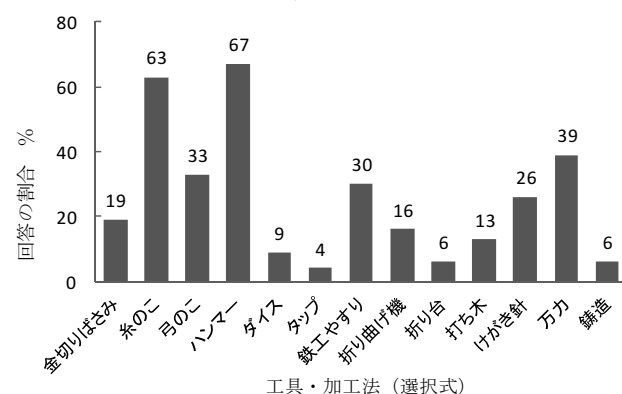
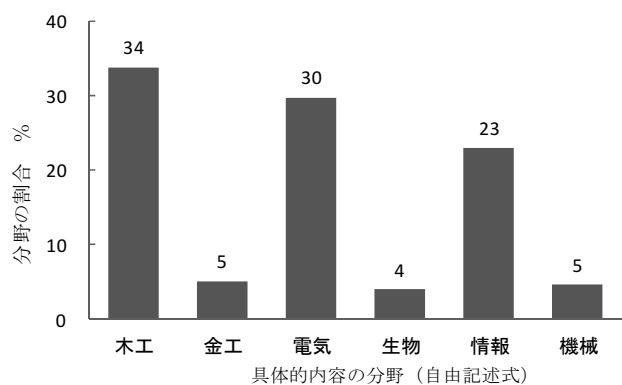
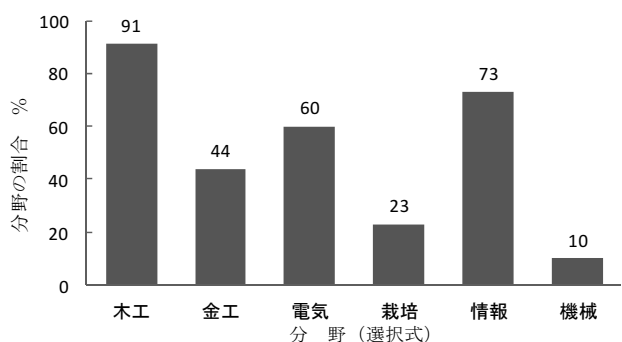


図 2 アンケート結果

加工や電気の分野に比べその値は低い。実習の具体的な内容は自由記述式で計 179 件挙げられていたが、塑性加工に関する実習内容はチリトリの 2 件（約 1%）であった。さらに、金属加工の授業の中で取り上げていた工具と加工法を選択式で回答させた結果は、塑性加工に関連する金切りばさみ、折り曲げ機、打ち木、折り台は 6~19%であった。これらの結果より、高校を経て大学に進学し 3 年以上経つ学生らには、金属加工の分野は印象づけられていないことがわかる。

身のまわりにある様々な金属製品は、その生産性や材料歩留まりの良さから塑性加工法が適用されている。にもかかわらず、中学校の技術教育の現場では塑性加工の紹介や実習などの体験学習が省略されている。学習指導要領解説や教科書の内容の省略、授業時間数削減、安全性の問題、社会情勢に応じた産業界の経済的な問題のように複数の原因が考えられるが、近年、塑性加工に関する技術教育が軽く取り扱われていることは見逃してはならない。このような問題を解消する一つの手立てとして、易しい作業・安全・安価に体験学習が可能な教材用のミニチュア塑性加工機の開発が必要であると考えた。

3. ミニチュア塑性加工機

機械や金属加工の分野におけるこれまでの教材には、4 サイクルなどのエンジンの構造、歯車などの各種機械要素、ロボットの製作を通じてリンク機構や制御を学習するための教材があり、実際にキット化され、販売されている。また、金属加工では日常生活に利用できる製品、例えば、ペン立てや工具などの製作に関する教材が販売されている。その他、実機を使った教材としてのへら絞りに関する研究¹²⁾、工作機械等の安全に関する研究¹³⁾がなされているものの、塑性加工機を扱った各種成形法の学習に関する研究は少なく、加工機をミニチュア化し、これを教材として扱っている教材は見当たらない。

3.1 ロール曲げ加工機

3.1.1 加工機の仕様

開発した加工機を図 3 に示す。筐体はすべてアクリル

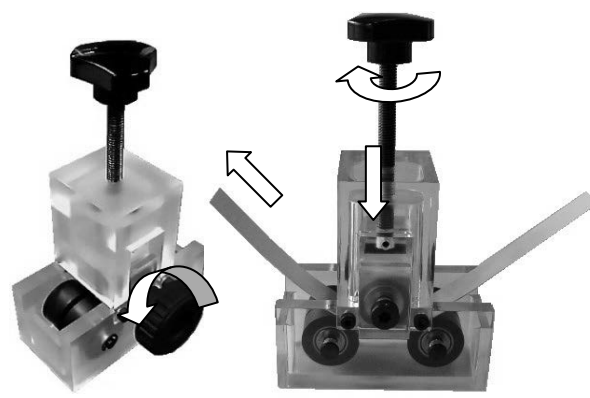


図 3 ミニチュアロール曲げ加工機

製で成形過程が見えるよう設計した。アクリルを切削すればすりガラスのように白色化し透明性を損ねてしまう。透明性を確保するために（若干、黄色を帯びる）熱処理を施すが、公差の厳しい箇所ではその設計に注意が必要である。加工機の質量は 499 g で筐体の全長は 102mm 手のひらに乗るサイズで、部品点数は締結用ネジも合わせ全 22 点、一般的な工具で分解組立が可能である。

3.1.2 加工機による実験

曲げ加工で適用した素材は中学校技術科の教科書や金属加工分野の教材として適用されている材質を選択した。適用した材料は A1050, A5052, 亜鉛鉄板, C2801, 肉厚 $t=0.3\sim1.2\text{mm}$, 長さ $L=150\text{mm}$, 幅 $B=10, 15, 20\text{mm}$ の帯板とした。曲げ加工は図 3 に示す上ローラと 2 つの下ローラで材料を挟み込む。そして、ネジで押込み、ハンドルにて素材を送り出す方式となっている。

3.1.3 加工機の特性

ネジの押込み量 δ と素材の曲率 ρ の関係を図 4 に示す。グラフより押込み量によって曲率が変化し、材質の違いによっても変化することが確認できる。また、曲率が得られない弾性域と塑性域の確認ができる。さらに、上下ローラとブランク接触部 3 点座標から計算できる曲率と実験で得た製品の曲率が異なる現象、すなわち、スプリングバックを確認することができる。

3.2 プレス機

筐体がアクリル製のクランクプレスを図 5 に示す。パンチホルダはボルトでラムに固定され、パンチホルダに接着した面ファスナーでパンチを取り付けることができ、容易にダイの芯を合わせることができる。加工機は全長 $270\times$ 幅 $110\times$ 奥行き 115mm , オープンハイト 160mm , ラムの推力は設計値でおよそ 500N , ストローク 85mm , 質量は 3.3kg としたので、容易に持ち運び、安全に加工ができる仕様となっている。また、ブランクはしわ押えで拘束して絞り加工が可能である。ダイやしわ押えもアクリル材を適用しているため、成形過程が可視化されている。

3.2.1 絞り

絞り用のブランクとしてアルミニウム A1050 およびタフピッチ銅 C1100 を適用し、厚さ $t=0.3\text{mm}$, 直径 $D=30\text{mm}$ とした。ブランクは金切りばさみで切り出した。絞り用の金型は黄銅を適用し、パンチ直径 $D_p=13.05\text{mm}$ とした。ダイは黄銅とアクリル製の 2 種類を製作した。ダイ直径 $D_d=14\text{mm}$, パンチ先およびダイ肩部半径はそれぞれ 2mm , しわ押えは絞り過程が見えるようアクリルプレート (5mm) を適用した。図 6 に示すように絞りによる典型的な不良現象としてパンチ肩部の割れ, しわなどが本機によって確認できる。

3.2.2 鍛造

鍛造用の素材には一般的に市販されている油粘土, 加工硬化の傾向を示す塑性加工シミュレーション用モデル材「Floss」(以降, モデル材)¹⁴⁾を適用した。また, 型

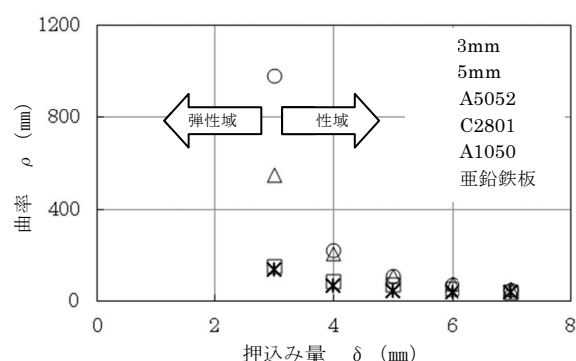


図 4 押込み量と曲率の関係

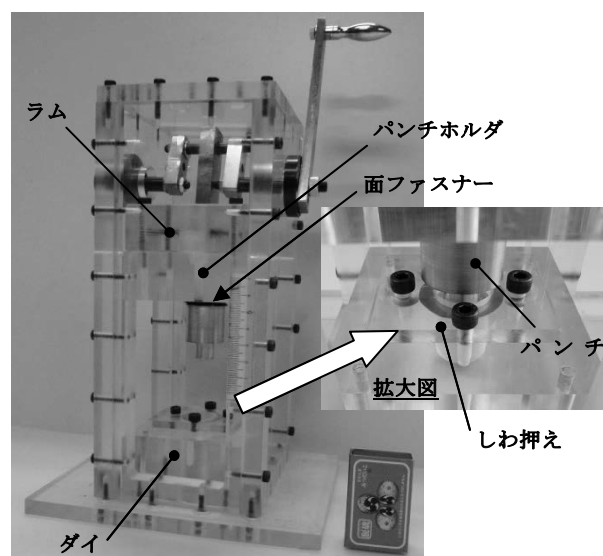
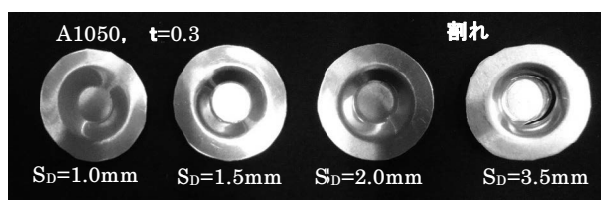


図 5 クランクプレス機



a) しわ押え力が少ない条件 ($t=0.3$)



b) しわ押え有りの条件

図 6 絞りによる不良現象

からの取り出しを容易にするため粘土にワセリンを塗布し成形した。工程は図 7 のように、下型は同一の金型 (ダイス穴径 6mm), 上型は多段工程の利点が加工によって確認できるように 2 工程とした。図 8 は本機による成形品で, 2 工程のみの鍛造に比べ, 1, 2 工程を経ることによって座屈の発生が抑えられることが観察できる。ただし, 1, 2 工程を経ても若干の肉の引けが確認された。

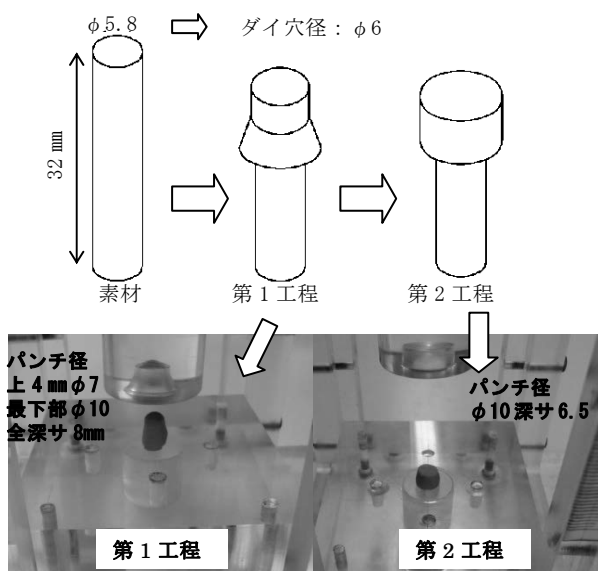


図7 鍛造用金型

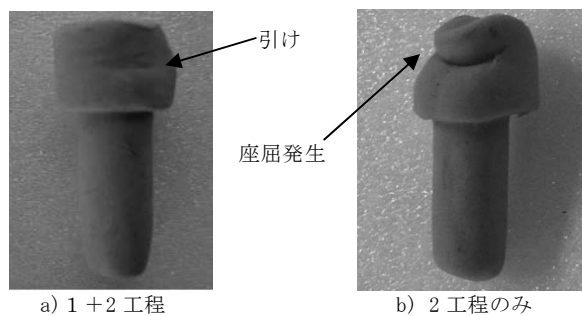


図8 鍛造による不良現象

3.3 押し機

図9に円筒形状の亚克力製コンテナとした押し加工機を示す。コンテナおよびダイス部を亚克力としたため、押し加工で材料が流動する過程を見ることができる。本機の質量は475g、ミニチュアボールねじにより押し出す機構とし、ねじ部を含めないで全長190mm、部品点数は24点である。前述した鍛造の素材用にφ5.8棒材を成形するダイスとチャンネル形状（高さ8×幅12×厚さ2mm）の成形用ダイスの2種類を作製した。材料は鍛造と同様にモデル材を適用した。

現在、押し加工後ダイス出口から曲がりが発生するので、直線的な長尺製品を得るためにはダイス形状の修正が課題となっている。

3.4 圧延機

図10にモデル材による圧延機を示す。本機の部品点数は42点、質量4.8kg、アルミニウム合金製の上下ローラはMCナイロン製の歯車により手動で回転することで材料が圧延される。上ローラの押込みは、歯車で同期された両側のネジで押し込む機構とした。

素材形状は長さ76mm、幅30mm、厚さ6mmとし、ローラの押込み量δは1から5mm（減肉率17～83%）の範囲で圧延した。図11に油粘土およびモデル材の圧

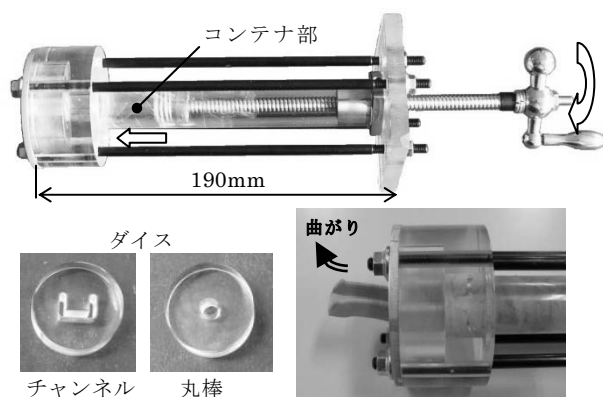


図9 押し加工機

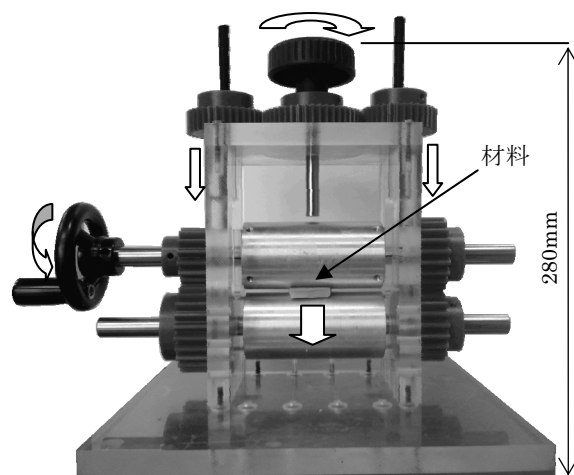


図10 圧延機

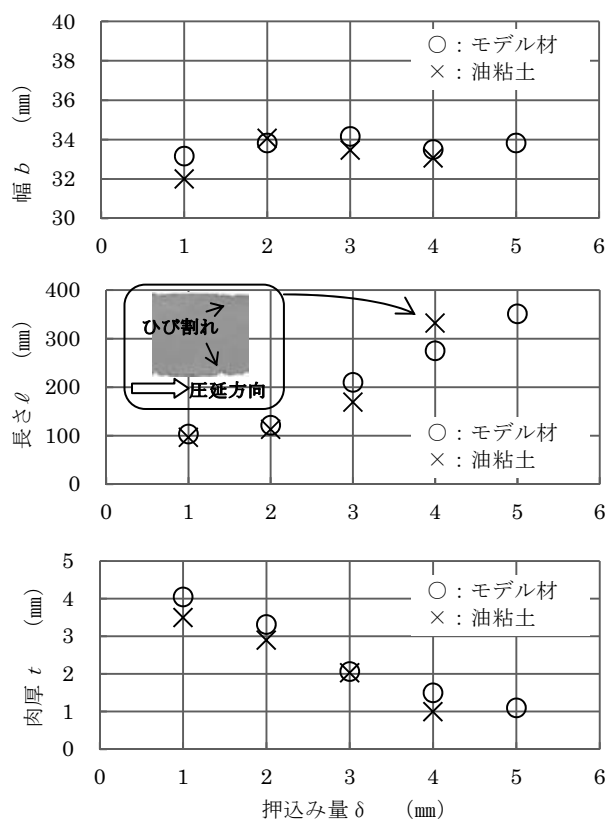


図11 加工特性

延後の寸法値と押込み量 δ の関係を示す。圧延前の幅 30mm から圧延後幅 34mm にほぼ一定値へ増加するが、油粘土ではそのバラツキがモデル材よりも大きいことがわかる。また、ローラ押込み量の増加に伴って長さおよび肉厚ともに 1 次的に増加していることがわかる。油粘土は押込み量 δ が 4mm 以上から材料幅両端部にひび割れ (図 11 参照) が発生し、5mm 以上圧延するとローラに粘土がはりついてしまう。モデル材では、ひび割れなどの不良現象は発生しなかった。

4. 実験授業と公開講座

4.1 実験授業

工学部機械系，教育学部技術系（中学校技術科教員志望）の学生（工学部 19 名，教育学部 16 名，計 35 名）を対象に本プレス機による絞り加工を体験させた。金属材料の加工法に関連する授業科目の 1 コマ（90 分）で実施した後に，本機についてアンケート調査を行った。その結果を図 12 に示す。アンケート結果より，成形過程が見えることで塑性加工法の理解がしやすく，安全に加工ができていることがわかる。

この他，本機とビデオ教材や工場見学を比較して，プレス機の仕組みや加工法が最も理解できる教材に 2 点，2 番目の教材に 1 点をつけさせた。その結果を図 13 に示す。工場見学が最も点数が高く，ビデオ教材は最も低い値となった。工場見学は実機が稼働しているところを見ることができるが，時間調整や旅費などの問題がある。ビデオ教材は実際に体験学習するわけではないので点数が少なくなったと思われる。

これらの結果より，ミニチュア塑性加工機は塑性加工を実際に安全に机上で体験でき，各種加工法を学習することのできる教材として有効であると考えられる。

4.2 小学生対象の公開講座

さいたま市教育委員会と埼玉大学が連携して，平成 23 年度「金属を変身させよう」という題目で，小学生 5，6 年生の児童 50 名を対象にものづくり体験講座を開催した。この中の一部でミニチュアロール曲げ加工機とハンマーによる曲げ加工を比較させた。図 14 に示すように，本学の学生がロール曲げの使い方，ハンマーによる曲げ加工法を小学生に対して説明し，それぞれの加工を体験させた。加工後，それぞれの加工について児童から感想を述べさせた。その内容を以下に列举する。

- ①曲げ加工機を使って金属を曲げてみたい。
 - ②手加工よりも加工機の方が簡単。
 - ③手加工よりも加工機の方が，加工時間が短い。
 - ④加工機の方が材料の表面がきれい。
 - ⑤加工機の方が疲れない
 - ⑥手加工の方がいい(自分自身で苦労して作ったから)
- ①は加工機に対する興味関心がうかがえる。②～⑥は加工に対して気付いたことであるが，主に加工機を使う意義が体験授業によって理解できていると判断できる。

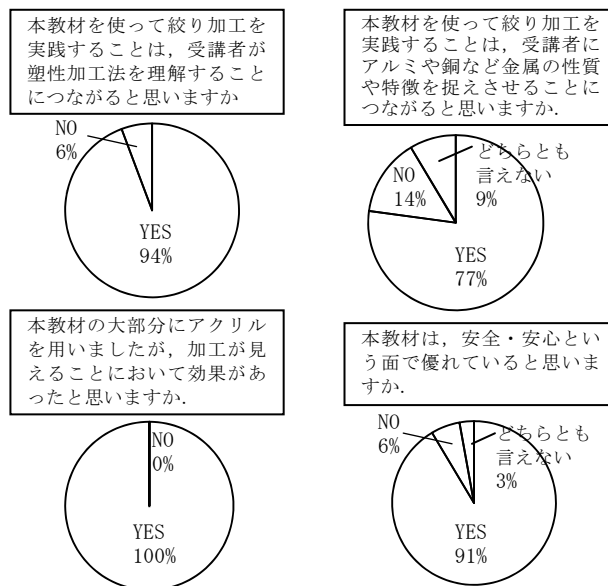


図 12 プレス機のアンケート結果（平成 23 年度分）

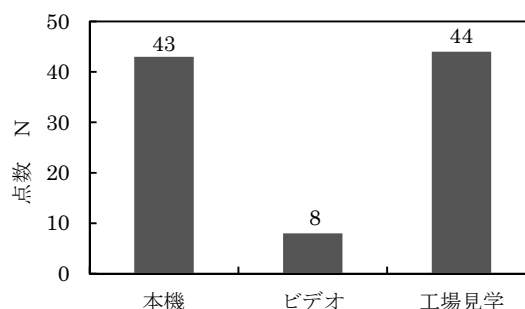


図 13 教材の比較（平成 23 年度分）



(a) 小学生に対して指導している様子



(b) 手加工の体験



(c) 曲げ加工機の体験

図 14 ものづくり体験講座（対象：小学校 5・6 年生）

4.3 ミニチュア塑性加工機の利用法

普通教育の中学校技術科教育および工業高校などの職業・専門教育では、材料の特徴とその利用法、そして、金属材料による塑性加工法を知ることが目的の一部として挙げられている。

実際に、ミニチュア塑性加工機を用いた授業や公開講座での活動内容とその効果について表 1 にまとめる。金属材料の性質や材料の違いによって、加工特性が異なることなどが塑性加工の体験で知ることができる。これら以外に、材料の歩留まりや生産性が高いなどの塑性加工の利点がわかるよう工夫した活動も考えられる。図 15 のように製品ができるまでのプロセスを学ぶこともできる。高校生以上のレベルの高い受講者には、自ら本機で加工できる製品を考えさせ、設計・製作などさせることもできる。図に示すたて琴は、実際に学生が考えた作品例である。

5. おわりに

本件の当初計画では、普通教育として技術分野を学ぶ中学生および技術科教員を目指す大学生を対象にミニチュア塑性加工機を開発していた。しかしながら、研究を進め各種学会、エンジニアの意見を聞いた結果、工学部での導入教育や製造業の社員研修など専門および職業教育に利用価値があるのではないかという意見が多くあった。そのため、ミニチュア塑性加工機は広い意味での技術教育の教材として応用が期待できる。

本件の研究成果を以下にまとめる。

- (1) 教材としての塑性加工機の必要性をアンケートなどによって調査し、実際に加工が体験できる教材としての塑性加工機の模型を開発した。本研究期間では、押出し加工機、圧延機、曲げ加工機、プレス機を製作した。
- (2) 本機の適用によって加工機を使う意義、各種塑性加工法の理解、そして、金属材料の性質を学ぶことができる。また、本機は取り扱い易く安全に加工体験が可能で、軽量で持ち運びができるため教室など机上で体験することができる。
- (3) 本機を組み合わせることで、前素形材を加工する一次加工、製品を加工する二次加工が体験できる。また、創造性を養う学習としては、製品設計をさせ実際に本機を用いて加工させる。この他、塑性加工で発生する不良現象を抑制する方法を自ら考えさせ、金型や治具などの設計製作をさせることもできる。

謝 辞

ミニチュア塑性加工機の開発は天田金属加工機械技術振興財団の一般研究開発助成（AF-2009003）によって実施されました。ここに深く感謝の意を表します。

表 1 塑性加工機の利用法

適用する加工機	活動内容	期待できる効果
ロール曲げ加工機	手加工と加工機による加工を比較させる	加工機を使う意義が確認できる
	板材の曲げ加工で押込み量と曲率の相関を求めさせる	金属材料の性質が確認できる
圧延機とロール曲げ加工機	各加工機における加工体験させる	塑性加工には一・二次加工があることを確認できる
全ての加工機		塑性加工の典型的な不良現象が観察できる。興味関心を育む
プレス機	金型や治具の設計製作、試加工をさせる	不良現象の抑制方法を実験によって見つけることができる。問題解決能力育成
ロール曲げ加工機、プレス機	製品の設計製作を体験させる	達成感や創造性が養える

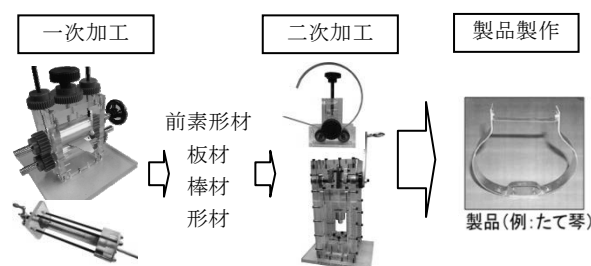


図 15 製品ができるまでの工程

参考文献

- 1) 譜久村航・内海能亜：日本産業技術教育学会第 53 回全国大会講演要旨集，(2010)，61.
- 2) 内海能亜：平成 23 年度塑性加工春季講演会講演論文集，(2011)，307-308.
- 3) 内海能亜：平成 23 年度工学教育研究講演会講演論文集，(2011)，376-377.
- 4) 齋藤麻紀子・内海能亜：日本産業技術教育学会第 54 回全国大会講演要旨集，(2011)，104.
- 5) 内海能亜・吉田昌史：日本産業技術教育学会誌，54-1(2012)，29-34.
- 6) 内海能亜：塑性と加工，53-616(2012)，404-407.
- 7) 文部科学省：中学校学習指導要領解説技術・家庭編，(2008)，11-22.
- 8) 石毛フミ子・林雅子・馬場信雄監：新しい技術・家庭上，(1981)，57-78，東京書籍.
- 9) 加藤幸一・永野和男ほか 58 名：技術・家庭技術分野，(2012)，62-63，東京書籍.
- 10) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説工業編，(2010)，170-181.
- 11) 文部科学省：高等学校用 材料加工，(2009)，実教出版.
- 12) 木田健太・安田健一：日本産業技術教育学会第 53 回全国大会講演要旨集，(2010)，62.
- 13) 中澤 剛・金井 三十男・川島 俊美・松原 雅昭：工学教育，59-1(2011)，81-87.
- 14) 日本ハードウェア株式会社：
<http://www.jhw.co.jp/product/19.html>.