

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 30 日現在

機関番号：54502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501078

研究課題名(和文)ものづくり教育への活用を目的とした簡易プラスチック成形機の開発

研究課題名(英文)Development of injection molding machine for engineering education

研究代表者

尾崎 純一(OZAKI, Jun-ichi)

神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：70245976

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：ものづくり教育教材としてプラスチック成形機を開発した。開発した射出成形機は構造がシンプルで持ち運びが可能である。また、成形時に必要となる簡易型の製作プロセスの構築を行った。簡易型には石膏およびシリコンを用いた。石膏型は脆性的な性質が問題となるため脆性の改善を図った。曲げ試験の結果から水溶性ボンドを混合した石膏は、脆性が改善できた。また、コンクリートを混合した石膏では、硬化時間が大幅に短縮でき、型製作の所要時間が大幅に削減できた。これらの成果から、本成形機と簡易型製作プロセスを組み合わせれば実習授業や公開講座での有用な教材としての活用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The injection molding machine of plastics was developed for engineering education. The structure developed injection molding machine is simple, and the portability is possible for the light weight. The simple mold which was necessary in the injection molding was formed in gypsum or silicon. However, the gypsum is not suitable for the mold for the brittleness. Therefore, the improvement on the brittleness of the gypsum was attempted. The mechanical property of the gypsum which mixed the water-soluble bond was improved in comparison with that of gypsum. And, it was possible that the curing time drastically shortened the gypsum to which mix the cement in comparison with the gypsum. Therefore, injection molding machine and simple manufacturing process can become the teaching material which is useful for engineering education.

研究分野：材料加工・工学教育

キーワード：工学教育 ものづくり プラスチック 射出成形

1. 研究開始当初の背景

(1) 子どもの理科離れとものづくりへの関心の薄れ

近年、若年層の理科離れ、ものづくり離れが指摘されており、各方面で対応策が検討されている。高専や大学でも、理科離れやものづくりへの興味、関心が弱くものづくりの体験が乏しくなっているとされる。その一つの事例として、実習等での学生の“手を動かす能力”の低下が挙げられる。

本校では16歳からものづくり教育を実践しているが、低学年での実習授業においてこれまでは時間内で実施できた作業が終わらなくなってきた。このため、これまでよりも授業内容を削減しなければならない状況に陥っている。この原因としては、①ものづくりに対する興味が無い学生やものづくりの経験がない学生が多数入学している。②幼少期からの原体験が乏しく、いわゆる“手を動かす”経験が絶対的に不足している。この2点が主な要因と思われ、何かしらの対策を講じる必要があると考える。

(2) プラスチック材料に関する教育の現状と課題

工業材料の一つであるプラスチックは、身の回りの製品に限れば今や金属材料よりも多く使用されているといっても過言ではない。しかしながら、機械工学分野の既存カリキュラムでは、工業材料といえば昔から金属材料がメインであり、金属材料中心の学習がベースとなっていてプラスチックに関する基礎知識を学習する機会がほとんどない。小中学校の学校教育の場も同様に、プラスチックに関する知識を習得する機会はまったくないものと思われる。このため、本校専攻科生にアンケート調査をしても金属に対しては多くの材料名を挙げるができるが、プラスチックに関しては、その中にどのような材料があるのかまったく認識がない学生も見受けられる。プラスチック材料の普及を鑑みれば、プラスチック材料に関する学習をする機会を増やすとともに、プラスチックに関して学ぶことができる教材が必要といえる。

(3) 本校における実践的ものづくり教育

現在、本校機械工学科3年システム制御コースの学生を対象に設計から製作まで一連の工程を体験し、作品を完成させるという実践的ものづくり教育を行っている。ものづくりの楽しさ、難しさ、奥深さ、設計製図能力、加工技術の向上、さらには、グループ活動によるコミュニケーション能力、協調性の育成を目指して授業に取り組んでいる。しかしながら、3年生までの体験と知識が十分とはいえ、授業の取り組みが十分な教育効果を出せていないと感じている。しかしながら、3年生の段階で習得すべき知識としてこれ以上減らすことはできないと考えているため、さらなる教育効果を向上させるためには、

低学年さらには小中学生から少しでもものづくりの楽しさを味わい興味を持たせ能動的に学習できること、かつ前述したように自らが手を動かす原体験を増やすことが教育効果向上のためには不可欠ではないかと考えており、それを実現するための教材開発が望まれる。

2. 研究の目的

(1) 卓上射出成形機の開発

本研究では、まずものづくり教育で活用可能な射出成形機の開発を行う。射出成形は、プラスチック成形の中では最も一般的に利用されている成形法であり、射出成形はプラスチックを加熱して融点以上に温度を上げてから、圧力を負荷して所望の空間を有する金型にプラスチックを圧入し、冷却固化させ形作る成形加工法である。装置は持ち運びができるよう卓上型とし、基本原理が分かるようシンプルな構造とする。また、射出のための動力は人力とし、子どもの力でも十分射出ができるものとする。

(2) 簡易金型製作プロセスの構築

射出成形を行うためには、金型が必要である。金属による金型製作は工作機械をあるレベルで使いこなせる技能が必要であり、授業や公開講座で金型を製作するにはハードルが高い。そこで、本研究では入手しやすい石こうやシリコンを用いて簡便に製作できる型製作プロセスの構築を目指す。

3. 研究の方法

(1) 射出成形機

製作する射出成形機は、①持ち運びができること、②子どもの力でも十分成形が可能であること、③構造がシンプルであること、をコンセプトとして設計した。図1に本射出成形機の模式を示す。まず、試作機の製作を行い、試作機を用いて問題点、課題点を洗い出しを行った後、より使いやすくした改良型を製作した。

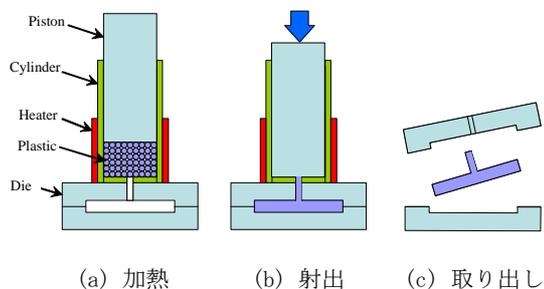


図1 射出成形の模式

(2) 簡易型の製作

射出成形には金型が必要である。まず、製作した射出成形機の有用性について検証するための金型を製作した。金型は、ボルト、

ナット、半球の形状を成形できるものである。次に、授業や公開講座など短時間で製作可能な簡易型の成形プロセスの構築を目指した。型の材料には入手しやすい石こう（家庭化学工業株式会社）およびシリコン（信越シリコン、KE-12）を用いた。型の基本的な製作方法であるが、まず成形品となる原型を粘土に約半分埋め込み、埋め込んだ原型の周囲をブロックで囲んで枠を作り、その後、石こう（もしくはシリコン）を流し込んで下型を製作する。下型が硬化した後、下型から粘土を取り外し、原型と枠を取り付け、下型と同様の手順で枠内に石こうを流し込み上型を製作する。

上記のような製作プロセスをとる簡易型であれば、特別な装置やスキルを必要なくとも製作できることが可能である。

(3) 成形実験

射出成形条件として、シリンダー加熱用のヒーターの設定温度は 150℃を標準とし、型は 100~120℃で保温して用いた。供試材には射出圧力が低くても射出成形ができるよう低粘度の低密度ポリエチレン（SUNTEC-HD、旭化成ケミカル製）を主に用いた。

4. 研究成果

(1) 射出成形機

製作した射出成形機の仕様を表 1 に示す。また、製作した射出成形機の外観を図 2 に示す。製作した装置は、外寸が最大でも 370mm となっており、卓上に設置ができ、かつ持ち運びができるサイズである。装置は主にフレーム、シリンダー、ピストン、ヒーターから構成され、ラック&ピニオンによりピストンが上下動する構造となっている。シリンダー内に投入されたプラスチック材料はシリンダー外周に取り付けられた電気ヒーターにより加熱溶融され、溶融したプラスチックはレバーを引き下げることでピストンが下がりシリンダー下部の穴（直径 3mm）から金型内へ射出される。射出する動力は人力とし、射出圧力はレバー先端に約 500N の力が作用した場合に得られる値としている。これは、小学生高学年程度の子どもでも利用できることを想定して設定した。

表 1 射出成形機の仕様

項目	
質量 (kg)	16
外寸(L×W×H) (mm)	250×180×370
ヒータ容量 (kW)	0.28
ノズル径 (mm)	3
射出ストローク (mm)	100
射出圧力 (MPa)	10
射出容量 (mm ³)	20000

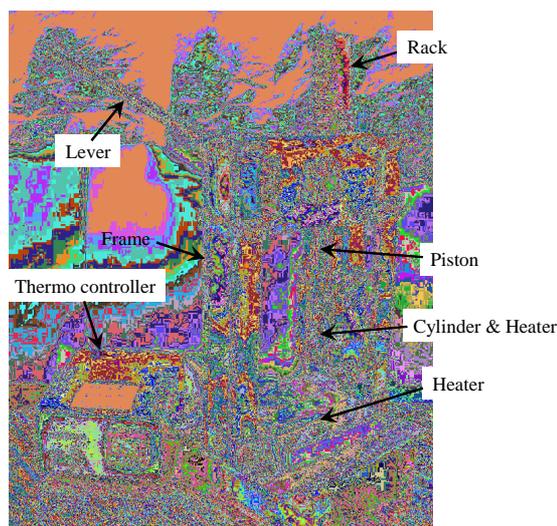
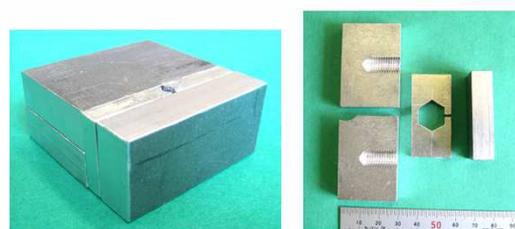


図 2 卓上射出成形機

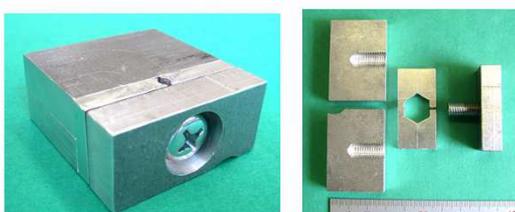
(2) 簡易金型

本射出成形機の有用性を検証するため、まず金属による簡易金型の製作を行った。図 3 にボルト・ナットを成形するための簡易金型を示す。金型の材質はアルミニウム材料とした。金型の部品は 4 点または 5 点から構成されており、ボルト成形用金型のネジ部はタップにより加工し、ナット成形用の金型ではネジ部を成形するために実際のボルトを利用している。このため、M8 ボルト・ナットとしての本来の精度は出せないが、形状の成形には十分なものである。

図 4 にこの型を用いて成形したボルトとナットを示す。ボルトでは金型のネジ部の溝が良好に転写されていることが確認できる。また、ナットのネジ部の成形もできており、本装置により射出成形が十分可能であることが確認できた。図 5 には、リサイクル樹脂を用いて成形したネジを示す。これは、ヨー



(a) ボルト



(b) ナット

図 3 ボルト・ナット成形用簡易金型

グルトのカップをリサイクルして成形したものであるが、このようにプラスチックのリサイクルを行った成形も可能であることが確認できた。

図6には、半球を成形するための金型を示す。成形される製品の直径は40mmである。本金型は、成形条件を変えた場合にどのような成形結果が得られるかを確認するために用いた。図7に成形条件を変えて行った成形結果を示す。上段は樹脂の射出温度の違い、中段は金型のクリアランスの違い、下段は、射出圧力の違いによる成形品を示したものである。このように、射出条件を変化させれば、得られる成形品に影響が生じ、成形条件が成形品の良否に影響することが体験できる。

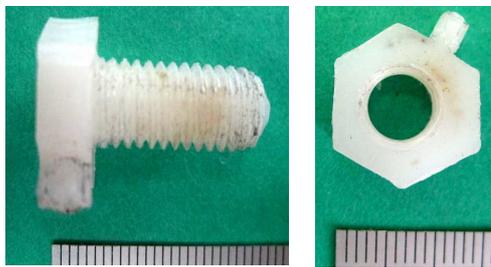


図4 ボルト・ナット成形品

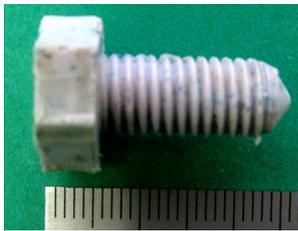


図5 リサイクル樹脂を用いた成形品

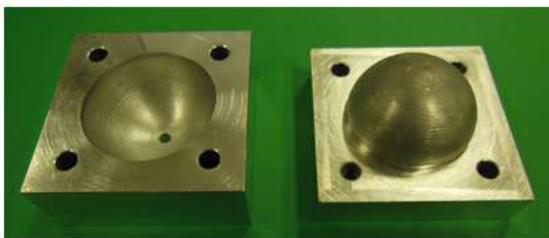


図6 半球成形用金型

(3) 簡易金型成形プロセスの構築

3Dプリンタで造形したプロペラの原型を用いて、簡易型の製作プロセスの構築を行った。図8に一例として石こうにより製作した簡易型を示す。簡易型の製作は、石こう、シリコンいずれの材料でも同様の手順で製作することが可能である。型の製作には、石こう型で約180分、シリコン型で約210分の

時間を要する。

これらの型を用いて実際に成形した成形品を図9に示す。石こう型の場合、その脆性的な性質から、射出により型の細部に欠けが生じたり、離型の際に型の一部が剥離したりしてしまうという問題が生じた。図10には型全体が大きく破損した例を示す。このように、石こうは材料自体が非常に脆性であるため、過度な加重がかかると大きく破損してしまうという欠点がある。

これに対して、シリコン型は、型の破損は一切見られず取扱いが非常に容易である一方、軟質であるために射出時の圧力で型の形状が変形してしまい、成形品の寸法が1mm程度大きくなってしまったことが分かった。しかしながら、教育目的の教材として活用することを考慮すれば、十分成形実験に使用可能であると判断できる。

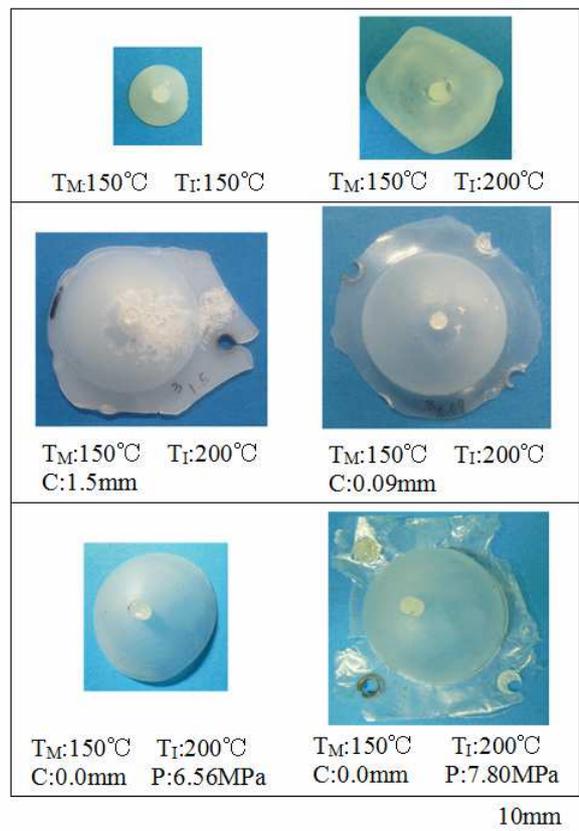


図7 成形品に及ぼす成形条件の影響

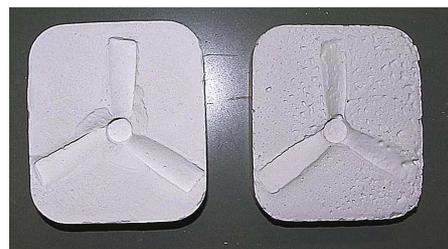
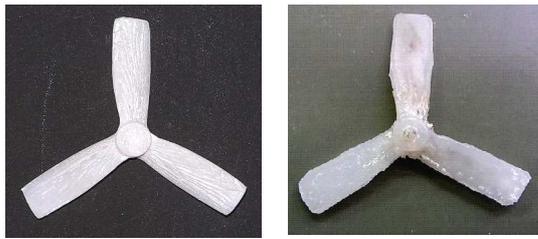


図8 プロペラを原型とした石こうによる簡易型



(a) プロペラ原型 (b) 射出成形品

図9 プロペラの成形例



図10 石こう型の破損例

(4) 石こう材料の脆性改善の検討

石こうはシリコンよりも安価であり、入手もしやすいことから、石こう型の問題点である型の欠損を解決するため、石こう材料の脆性改善を試みた。脆性改善の方法として、石こうにセメントまたは水溶性ボンドを混合させて60×15×5mmの直方体試験片を製作し、3点曲げ試験を行った。曲げ試験条件として、支持スパン40mm、負荷速度1mm/minとした。

図11に曲げ試験結果を示す。これより、石こうのみの試験片では、曲げ強さは約5MPa、破断までのたわみ量は約0.08mmであることがわかる。これに対して、石こうに水溶性ボンドを混合したものでは、曲げ強さと破断までのたわみ量がいずれも約2倍向上していることがわかる。数値的にはまだ十分な値とは言えないが、簡単な工夫で脆性改善ができるのは非常に有効といえる。次に、セメントを混合したものであるが、曲げ試験の結果としては、特に特性に変化が見られず、脆性改善には効果がなかった。ただし、後述するように型の製作時間という点からは石こうにセメントを混合すると硬化時間が大幅に短縮することから型製作の時間短縮という点からは非常に効果的な方法であることが見いだせた。

(5) 簡易型に適した材料の検討

石こうに対して脆性改善を図った材料を含めて、簡易型の製作に必要な時間を工程ごとに見積もりを行った結果を図12に示す。これより、簡易型の製作に要する時間は、石こうで約180分、シリコンで約210分程度で

あることがわかる。機械加工により金属型を製作する必要時間と比較すれば、十分短いと言えるが、授業や公開講座などでの活用を考えた場合、十分短時間であるとは言い難い。そこで、石こうにセメントを混合して型製作を行ったところ、硬化時間が飛躍的に短くなり、型の製作時間が約1/3に短縮できることが分かった。ただし、材料が脆性である点は改善されていないため、型が欠損する等の問題は有しているものの、型製作時間としては大いに評価できるものといえる。今後はこの材料をベースに脆性改善を図っていくことが一つの課題である。

表2に各材料を用いた場合の型としての特性を定性的に評価した結果を示す。これより、本研究で検討した材料の中にはすべての評価項目を満足するものはなかった。現状では、主たる目的に応じて使い分けが必要と考える。簡易型として理想的な材料を見

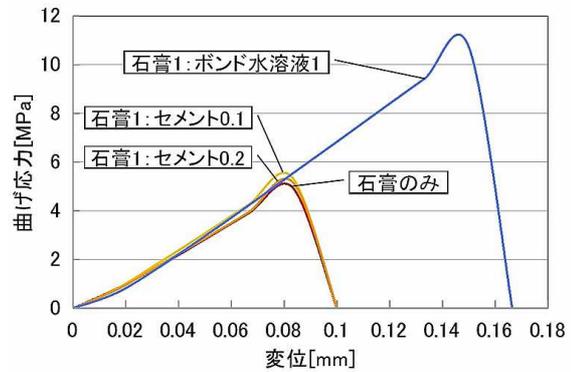


図11 曲げ試験結果

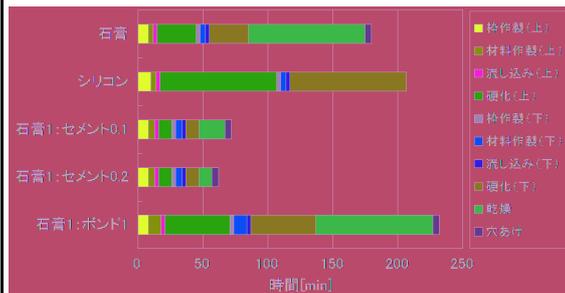


図12 各工程における作業時間の分析

表2 簡易型材料の得失比較

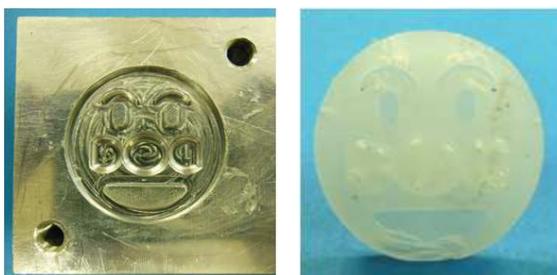
評価項目	製作時間	強度	使用回数	成形品の精度	成形品の表面状態
シリコン	×	△	◎	×	◎
石膏	△	×	×	◎	×
石膏とセメント	◎	×	△	◎	△
石膏とボンド水溶液	×	◎	◎	◎	◎

いやすためには、今後さらなる検討が必要といえるが、本研究で用いた材料でも簡易型としての有用性はある程度確認できたものといえる。

(6) ものづくり教育への展開

本成形機は、プラスチックに関するものづくり教育への活用を目的として開発したが、必要となる金型製作に機械加工の実習を取り入れれば、NCフライス旋盤やマシニングセンタを習得する学習効果も得られると考える。図13はアルミニウム材料をNCフライス盤を用いて型彫り加工した金型と、この金型を用いて射出成形した成形品である。このように、金型を製作するための機械加工からプラスチック成形品が得られるまでのものづくりを体験することが可能になり、総合的なものづくり教育の展開が期待できる。

本研究では、これまで述べてきたような研究成果が得られたが、本成果を実践教育に十分活用するまでには至らなかった。このため、今後はこれらの成果を授業、公開講座などで活用し、プラスチックに関する学習およびものづくり教育の実践的な展開を図っていく予定である。



(a) 金型

(b) 成形品

図13 NCフライス加工による金型と成形例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計4件)

①尾崎純一, :ものづくり教育での活用を目的としたプラスチック成形機の開発, 日本工学教育協会工学教育研究講演会講演論文集, pp.712-713 . (2013.8.30)

②石田圭祐, 馬場雅也, 尾崎純一, ものづくり教育におけるプラスチック成形のための石膏型の検討, 第19回高専シンポジウム, pp.577 (2014.1.25)

③馬場雅也, 石田圭祐, 尾崎純一, 卓上型

プラスチック成形機の開発, 第19回高専シンポジウム, pp.184 (2014.1.25)

④尾崎純一, ものづくり教育のための卓上プラスチック成形機の開発, 日本機械学会2014年度年次大会講演論文集, CD-ROM, (2014.9.8)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

尾崎純一 (Jun-ichi OZAKI)

神戸市立工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号: 70245976