

金型設計・製作技術の伝承を可能とする 金型エンジニア育成プログラムの開発

研究報告者 鈴木 裕

プロフィール



最終学歴 昭和56年3月
北海道大学大学院 工学研究科
精密工学専攻 博士後期課程
専門分野 金型、CAD/CAM、生産技術
学 位 工学博士
所属団体 一般社団法人ものづくりネットワーク九州
役 職 名 理事長

今後の抱負

平成27年度に、助成をいただき、人材育成に活用できる実用的なテキストの作成をめざし、開発を行ってきました。今回のテーマは、研究助成テーマのうち（2）金型の技術・技能の伝承並びに人材育成に関する活動及び研究に対応するものです。

金型産業において、人材育成は重要な課題となっています。工程分業が進む中、設計、製作、トライとすすむ全行程を理解できる人材は、不足しています。

今回は、プラスチック射出成形金型を対象を絞り、プラスチック射出成形金型の構造と成型技術を学べるように、テキストの構成を工夫しました。

今後は、沖縄県金型技術研究センターと連携し、人材育成講座での活用と、テキストの内容の充実を念頭に開発を継続していきます。

本研究は、実践的プラスチック射出成形金型設計・製作講座の開設をめざし、講座において活用可能なテキストを製作することを目的とした。社会人を対象とした金型教育は、各社の社内教育に頼るところが大きく、企業規模が大きいところを除いて、組織だった教育は確立されていないのが現状である。また大半の企業では、分業制が進み、①仕様決め②設計③生産④組み立て⑤トライとすすむ全行程を理解できるエンジニアの育成も急務となっている。そこで、プラスチック射出成形金型を対象を絞り、金型の設計を独学で学べるテキストの開発を行ったので、報告する。

1. はじめに

日本の教育機関における金型教育は、歴史が浅いことからカリキュラムが十分に検討されてきた訳ではない。現在、金型教育が展開されているのは、岩手大学、岐阜大学だけであり、金型の研究も芝浦工大など数校において行われているのみである。筆者が、九州工業大学に在籍中、学内のプロジェクト募集に応募し、先端金型センターを設立すると同時に、デジタルエンジニアリングコースを開設し、大学院生の金型教育を展開した。図1には、開講した科目群を示す。

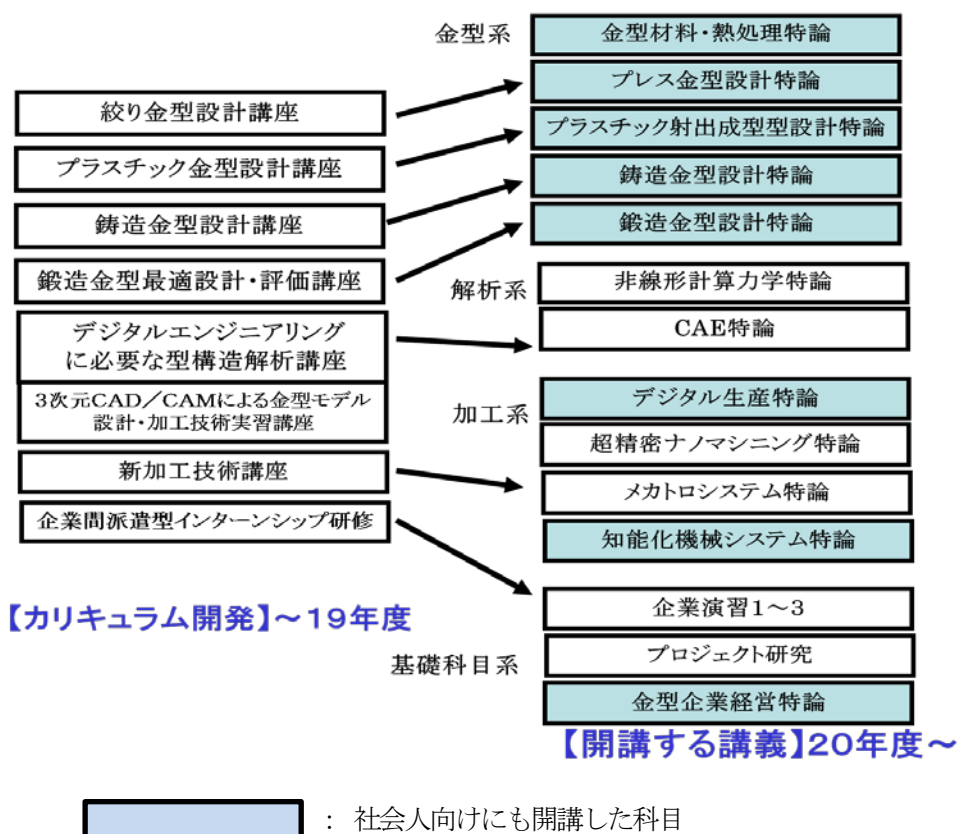


図1 開講した金型教育用科目群

開発された講座内容は、平成20年度より、九州工業大学情報工学部に集約し、デジタルエンジニアリングコースを開設し、学生教育を実施した。一部の科目は、社会人向けとしても開講した。デジタルエンジニアリングコースでは、3次元設計技術と解析技術を駆使できるエンジニアの育成をめざし、プレス金型、プラスチック射出成形金型、鋳造金型、鍛造金型の4種類の金型ごとに、開講した。そのほかにも、金型材料・熱処理、金型企業経営に関する講座も開講した。講師はすべて企業から派遣していただいた。

一方で、社会人を対象とした金型教育は、各社の社内教育に頼るところが大きく、企業規模が大きいところを除いて、組織だった教育は確立されていないのが現状である。また大半の企業では、分業制が進み、①仕様決め②設計③生産④組み立て⑤トライとすすむ全行程を理解できるエンジニアの育成も急務となっている。

そこで、プラスチック射出成形金型を対象を絞り、金型の設計を学べるテキストの開発を行った。沖縄県金型技術研究開発センターにおいて、金型に関する人材育成を積極的に展開しており、同講座で開発したテキストを活用する予定である。

2. 実践的プラスチック射出成形金型設計・製作講座に用いるテキストの製作

2-1 テキストの内容

図2に、テキストの項目を示す。

第1講	射出成型技術の基礎	樹脂の種類、熱硬化性 樹脂、熱硬化性樹脂と成形法	第7講	ブロー成形技術	
第2講	射出成型機の基本構造	横型、縦型	第8講	ダイスライド成形技術	
第3講	射出成型金型の設計手順		第9講	溶融中子を用いた中空成形品の成形技術	
第4講	射出成型金型の構造-1	2プレート、 3プレート、 エジェクタ機構	第10講	スタックモールド	
第5講	射出成型金型の講座-2	冷却管機構、 アンダーカット処理	第11講	インサート成形技術と多色成形	
第6講	射出圧縮成形技術		第12講	ヒート&クール成形技術	
			第13講	ガスアシスト成形技術	
			第14講	成形不良と対策	バリ対策、白化、 ウェルドライン、そり
			第15講	3Dプリンター活用技術	

図2 テキストの項目

テキストは、15項目からなる。プラスチック射出成型に用いる樹脂の種類から始まり、射出成型機の構造、金型の基本構造、プラスチック射出成形金型の設計手順、プラスチック射出成形金型の詳細な構造、主だった成型技術の詳細を紹介したのちに、成型不良と対策、3Dプリンター活用技術といったものを紹介している。

2-2 第1講 射出成型技術の基礎 塑性加工とは

テキストの項目は、樹脂の種類と成型法、から始まっている。熱可塑性樹脂、硬化性樹脂のそれぞれの特性と成型法を紹介している。

図3には、プラスチック射出成型に用いる樹脂の分類を示す。



図3 熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂の分類

<http://www.mpi.co.jp/plus/about2.html> より

熱可塑性樹脂の特徴は、以下のとおりである。

- ・熱可塑性樹脂とは、加熱することで軟化し成形できるようになり、冷却すると固化する特性がある樹脂。
- ・熱だけでなく溶媒にも溶解性がある。
- ・耐熱性や耐薬品性は熱硬化性樹脂に劣るが、実用性が高く、冷却だけで固化するため成形速度が速くコストが安い。
- ・成形速度が速い
- ・生産コストが安価
- ・不良成形品の再利用化が可能（リサイクルに有利）

また、図4に示すように熱可塑性樹脂は結晶性樹脂と非晶性樹脂に分けられる。

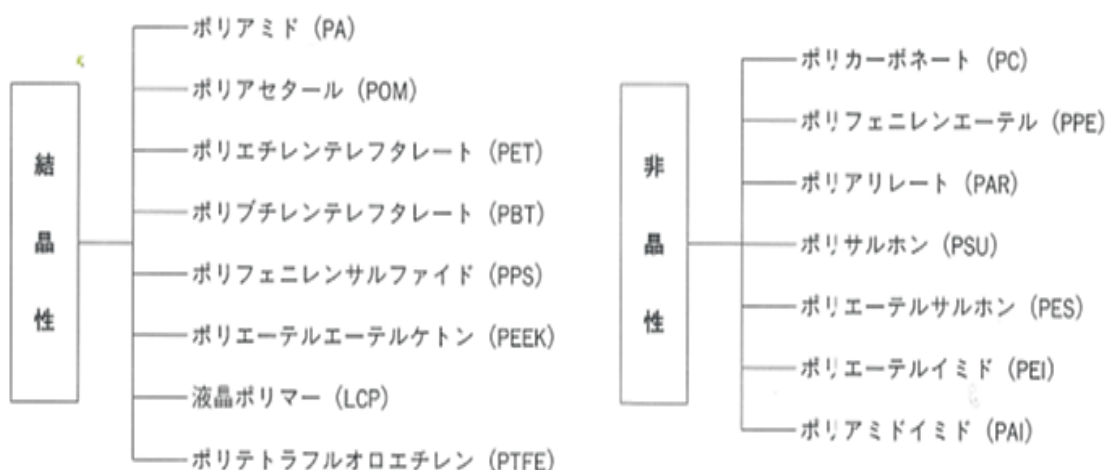


図4 熱可塑性樹脂の分類 <http://enpla.jp/enpla/index02.html> より

結晶性プラスチックは硬くて剛性があり、非晶性プラスチックは耐衝撃性に優れている。特に前者においては、ガラス繊維、炭素繊維、又は種々のフィラー（粒子等の充填剤・添加剤）等を加えることで材料強度や剛性を顕著に上げる手法が広く採用されている。

熱硬化性樹脂の特徴は、以下のとおりである。

- ・熱硬化性樹脂は、加熱を続けると化学反応を起こして硬化する
- ・熱硬化性樹脂の特性はほとんどの場合、分子間の架橋結合の構造によって支配される
- ・熱硬化性樹脂の分子結合の構造は、安定性がある強固で、熱や化学的な影響に対しても耐性を備える
- 耐熱性に優れている 耐薬品性に優れている
- ・溶けない（滴下しない）

- ・硬い（機械的強度が高い）
- ・電気絶縁性、耐熱性、耐燃性、耐薬品性、機械的強度、耐久性、耐水性、耐寒性がある

2-3 第2講 射出成型機の基本構造 横型、縦型

第2講では、金型とともに射出成型機の基本構造を紹介している。

図5に示すように、射出成型機に取り付けた金型により成形品を得るには、金型の様々なパーツが必要になる。溶融した樹脂が、ノズル、スプルー、ランナー、ゲート、キャビティ（成形品）を通過する際に形状と機能が付与され、型内で固化された後に外部へ突き出される。

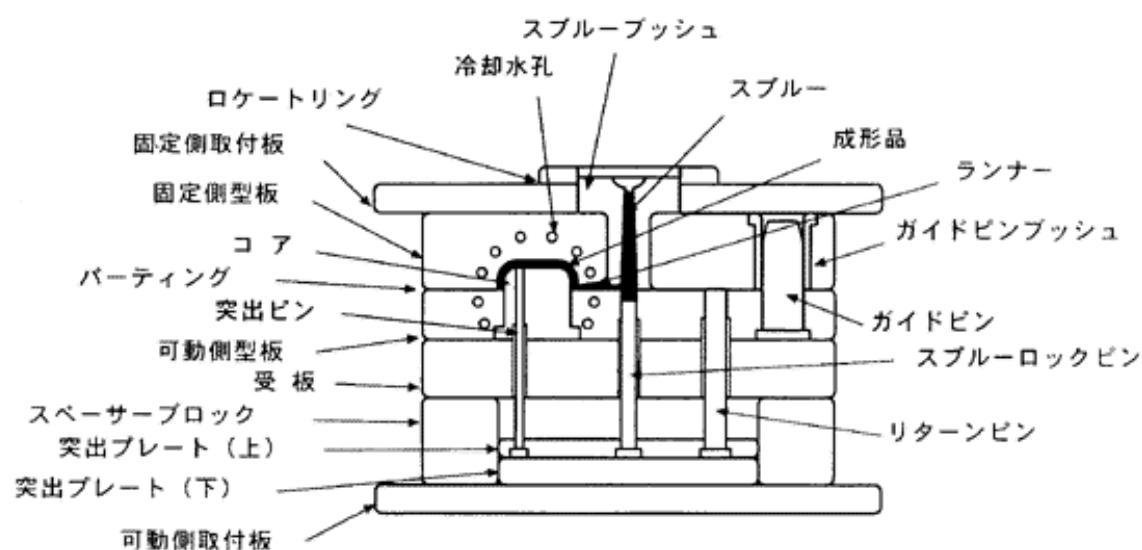


図5 金型の基本構造 <https://www.jpo.go.jp/shiryousonota/map/kikai07/1/1-4-1-2.htm> より

また、図6に示すように射出成型機には、横型、縦型成型機に分けられ、目的に応じて使い分けられる。



図6 横型射出成型機と縦型射出成型機の外観

表1には、横型、縦型成形機の特徴を示す。

表1 横型、縦型成形機の特徴

用途	縦型	横型	縦型から見た理由
ワーク(インサート)成形	○	△	ワーク部分の保持が重力方向のため、確実で安定
金型寿命	○	△	型開閉が重力方向と同じため、ガイドピンに負担がない
製品取出性	△	○	製品取出機が必要
自動化、ロボット化	○	△	4面開放のため、装置レイアウトに規制が少ない
インサート成形サイクル短縮	○	△	ロータリテーブルなどの組み込みで、成形時間内にインサートや取出が行なえサイクル短縮が出来る
型締力のバリエーション	△	○	型締力300トンまで
機械床面積	○	△	横型の1/2のスペース
機械高さ	△	○	型締と射出の組み合わせにより、全高に限界がある
耐地震性	○	△	重心が低いため横転しない

2-4 第6講 射出圧縮成型技術

射出圧縮成形(ICM: injection compression molding)は、射出成形と圧縮成形の技術を組み合わせた製造プロセスであり、コイニング成形、スタンピング成形、圧縮 - 充填成形、ハイブリッド成形とも呼ばれる。射出圧縮成形の工程を図7に示す。

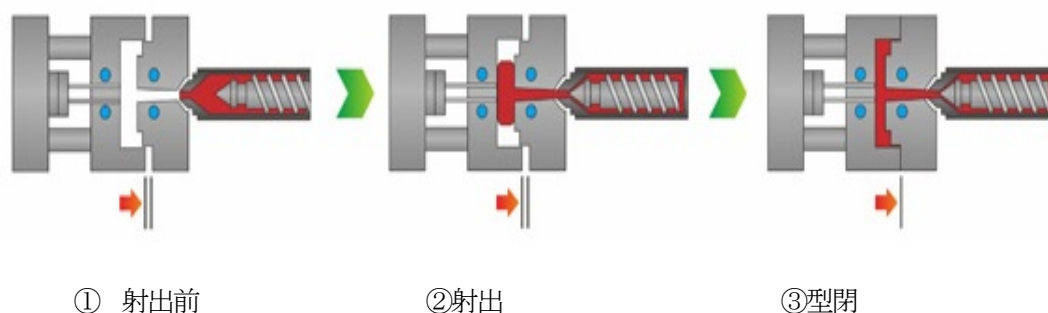


図7 射出圧縮成形の工程

金型は、充填段階では完全に閉じられていない。メルトが部分的に注入された後で、型締機構が起動して金型が完全に閉じられる。その結果、金型表面がキャビティ内のメルトに向かって押し込まれ、充填プロセスが完了する。

キャビティ全体にわたって均一な保圧が生じる。この結果、従来の射出成形に比べ、均質な物理特性を持ち、内部残留応力が少ない成形品が得られる。

射出圧縮成型法の利点として、以下のものが挙げられる。

- ・ 低圧成形が可能
- ・ 成形機のダウンサイジングにつながる
- ・ 反りや歪みの低減が期待できる
- ・ 薄肉成形・表皮インモールド等応用も可能

U-MHI プラスチック(株) より、射出圧縮成型時の成形精度を向上させる技術が開発されている。

4 軸平行射出圧縮制御は、金型の 4 隅に金型位置センサを設置して、金型の型開量を直接検知し、タイバー4 軸を高応答油圧サーボバルブにより、フィードバック制御を行うことにより成形品肉厚を均一化するとともに、そり等の歪みの低減を可能とした。

また、圧縮動作時に金型を傾かずに閉じることができるため、金型嵌め合い部の嚙り摩耗の防止が可能である。図8に4軸平行射出圧縮制御の概観を示す。

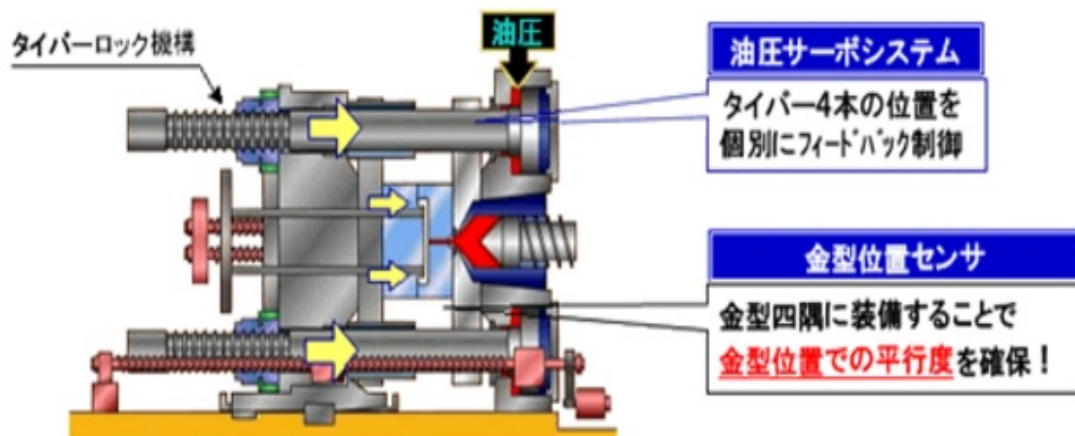


図8 4軸平行射出圧縮制御

2-5 第12講 ヒート&クール成形技術

プラスチック射出成形品の表面外観・品格を高め、高級感を付与する技術のひとつにヒート&クール成形技術がある。ヒート&クール成形技術は、射出成形のサイクル内で金型キャビティ内面温度を上げ下げする技術であり、金型転写を効果的に行う高転写成形技術である。

(秋元技術士事務所 技術レポート ヒート&クール成形技術より)

射出時に金型温度を上昇、離形時には型温度を降下させる成形方法である。ウエルド、金型の転写性、ソリを向上する目的で、射出時には樹脂圧がかからない状況であり、射出時に応力が殆どかからない状況を作る事が出来る。また、ウエルドが無く、金型の転写性が向上する事から優れた外観の製品を作る事ができる。

一方で、以下のような課題もある。

- ・ 急速な型温上昇、下降を行う必要があり、金型の温調に工夫を施さなくては、ならない為、金型製作

費がかかる。

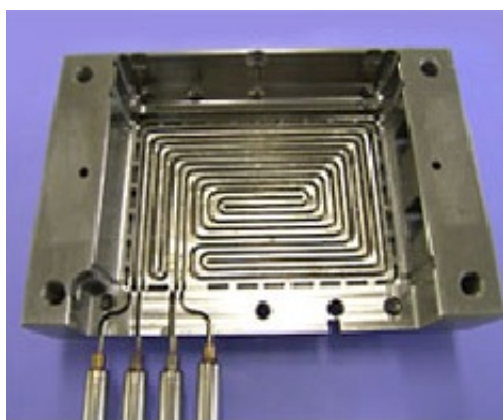
- 成形サイクルが長くなり、光熱費もかかる為、製品単価が上昇する。
- 薄肉の成型品に有効で、若干の偏肉でもソリ、ヒケの原因となる。
- ウエルドが無くなるのではなく、肉眼で見えなくなると言ったほうがよく、
ガラス繊維入りなどの添加剤の入った材料の場合はウエルドの強度不足は解消されない。
- ナチュラル系の材料の場合はウエルド強化に繋がる。

ヒート&クール技術を実現する方法として、表2に示すように、加熱媒体(熱水(2-4)、蒸気(5,6)、オイル(7)等)によるもの、金型キャビティに断熱層を持つもの(8,9)、型閉前にキャビティ表面を電磁誘導(10)やヒーター(11)で加熱する方法、キャビティ面の導電層に通電する方法(12)、金型に電熱ヒーターを仕込む方法(13-15)等がある。

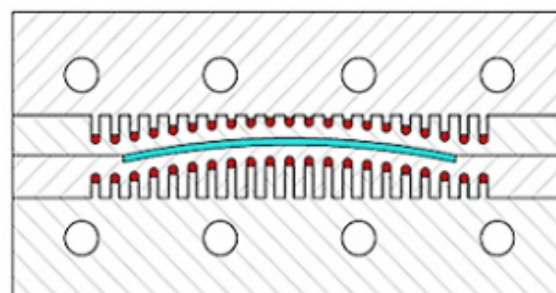
表2 ヒート&クール成形技術の分類

方式の名称	技術の概要	参考文献
熱水冷水切替方式	加圧熱水と冷水を切り替えて加熱・冷却を行う方式	2, 3, 4
蒸気加熱方式	蒸気と冷水を切り替える方式	5, 6
加熱オイル方式	加熱オイルと冷却オイルを切り替える方式	7
金型表面断熱方式	金型キャビティ面にポリイミドやセラミックスの断熱層を設ける方式	8, 9
高周波誘導加熱方式	開いた金型キャビティ面を誘導加熱により昇温する方式	10
輻射加熱方式	開いた金型キャビティ面をハロゲンランプ等で昇温する方式	11
通電加熱方式	金型キャビティ面に設置した導電層に通電して昇温する方式	12
カートリッジヒーター方式	金型に設けたカートリッジヒーターで加熱する方式	13, 14
細管ヒーター方式	キャビティ面の裏に設置した溝に細管ヒーターを配置する方式	15

ヒート&クール成形技術の一つとして、電熱加熱方式を図9に示す。山下電気(株)が開発したもので、電熱ヒータをキャビティ表面近くに設置するという従来に無い金型構造とすることで、急加熱と200℃以上の表面温度を実現している。



キャビティ裏面ヒータ設置状態



ヒータ設置部断面図

(赤：ヒータ 水色：樹脂部)

図9 山下電気(株)が開発した電熱加熱方式

2-6 第14講 成形不良と対策

射出成型時に、成形に必要な項目が満たされていない時に、成形不良が発生する。成形に必要な項目として、図10に示すように、以下の項目が挙げられる。

- ・必要十分な熱と剪断応力と攪拌により粘性を低下させた安定化した溶融樹脂へ
必要十分な剪断応力で流動運動を与え、
- ・金型内の空気と置換しながら溶融樹脂をキャビティに流入し、均一に圧縮充填し、
均一に冷却・固化し、
- ・繰り返し同一の成形品を取り出す

成型不良の現象として、①バリ ②ウエルド ③ショート ④そり ⑤ひけ ⑥ジェットイング ⑦シルバー ⑧ボイド ⑨コンタミ ⑩フローマークがあり、それぞれの成型不良に対する対策が行われている。

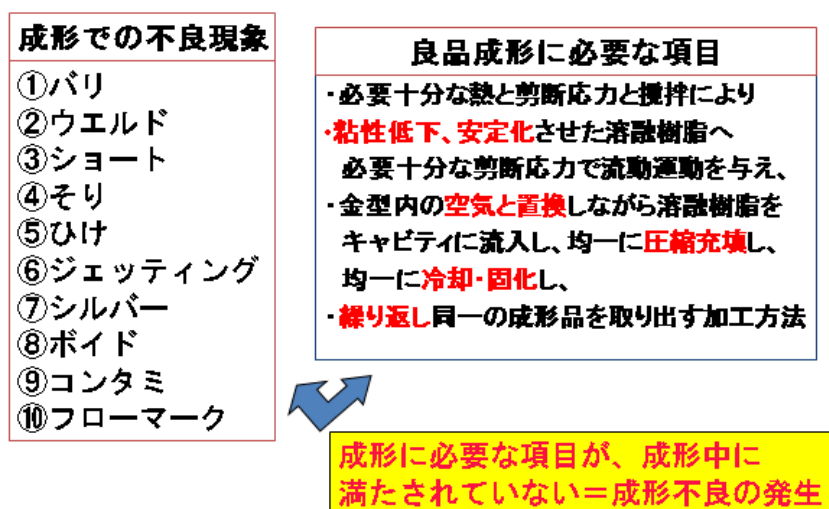


図10 成型不良の発生原因と成型不良の種類

図11に、バリ発生の原因と対策を示す。バリは、図10に示すように、金型のパーティング面、スライド部、入れ子にある間隙に樹脂が流れ込む現象を言う。

- バリ発生主な原因として、以下の項目が挙げられる。
- ・金型のパーティング面に代表される間隙の不良
 - ・成形条件において、射出圧力が高い、材料供給量が多い、
射出速度が早すぎる、樹脂温度が高い
 - ・成形機において、型締め力の不足

対策として、以下の項目が挙げられる。

- ・金型の隙間を適正化する、PL面での「当たり」を確認する
- ・成形条件の見直し
- ・成形機の型締め能力を確認する

バリは、図に示すように、金型のパーティング面、スライド部、入れ子にある間隙に樹脂が流れ込む現象を言う。

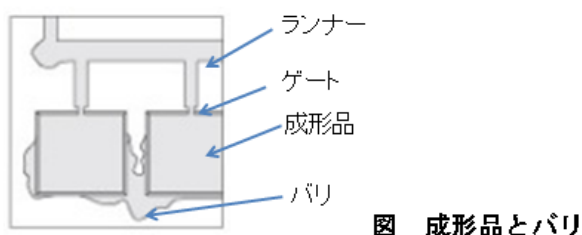


図 成形品とバリ

バリ発生的主要原因

- ・ 金型のパーティング面に代表される間隙の不良
- ・ 成形条件において、射出圧力が高い、材料供給量が多い、射出速度が早すぎる、樹脂温度が高い
- ・ 成形機において、型締め力の不足

対策：

- ・ 金型の隙間を適正化する、PL面での「当たり」を確認する
- ・ 成形条件の見直し
- ・ 成形機の型締め能力を確認する

図1 1 バリ発生の原因と対策

図12に、ウエルドの発生原因と対策を示す。ウエルドは、図12に示すように、樹脂材料が分流し、再度合流する部分で筋となって現れ、強度低下を起こす現象を言う。

ウエルドは、図に示すように、樹脂材料が分流し、再度合流する部分で筋となって現れ、強度低下を起こす現象

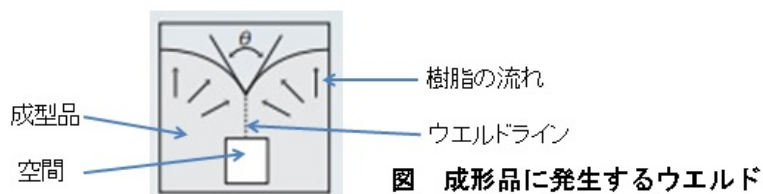


図 成形品に発生するウエルド

ウエルドが発生する主要原因

- ・ 成形品のゲート位置の不良、キャビティ内のガス抜き不良
- ・ 樹脂材料の流動性不足

対策：

- ・ ゲート位置の見直し、ガス発生箇所へガスベントを設置する
- ・ 成形材料の見直し、グレードの変更
- ・ 金型温度、成形条件の見直し

図1 2 ウエルド発生の原因と対策

ウエルドが発生する主要原因として、以下の項目が挙げられる。

- ・ 成形品のゲート位置の不良、
- ・ キャビティ内のガス抜き不良

- ・樹脂材料の流動性不足

その対策として、以下の項目が挙げられる

- ・ゲート位置の見直し、ガス発生箇所へガスベントを設置する
- ・成形材料の見直し、グレードの変更
- ・金型温度、成形条件の見直し

2-7 第15講 3Dプリンター活用技術

金型を用いないで製品を生産する3Dプリンティングの技術が近年注目を浴びている。

一方で、金属粉末を用い金型を直接造形する技術も開発されている。図13に、こうした積層造形法を分類したものを示す。

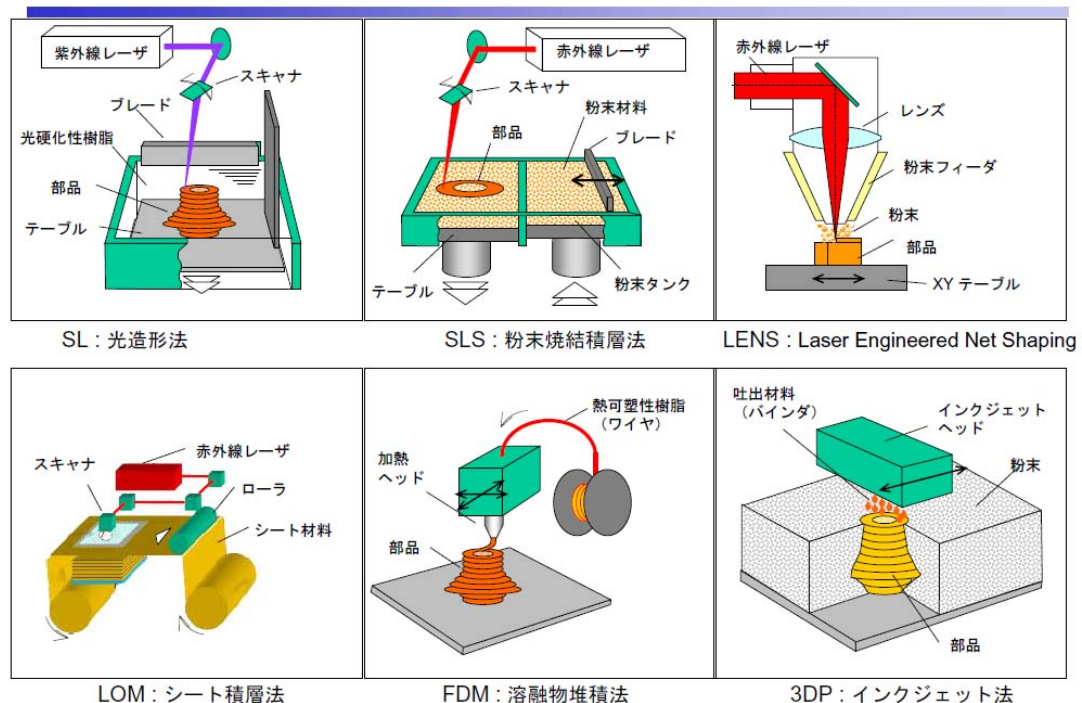


図13 積層造形法の分類

このうち、金属粉末を用いる造形法は、粉末焼結積層法と Laser Engineered Net Shaping である。

日本では、金属粉末を用いた積層造形法とミーリング技術を複合させた造形装置が開発されている。

図14には、造形手順を示す。金属粉末を用いた積層法では、

- ① 属粉末を造形ステージ上に供給する工程
- ② レーザ焼結の工程、
- ③ ミーリングの工程

を繰り返すことで、三次元形状を造形する。

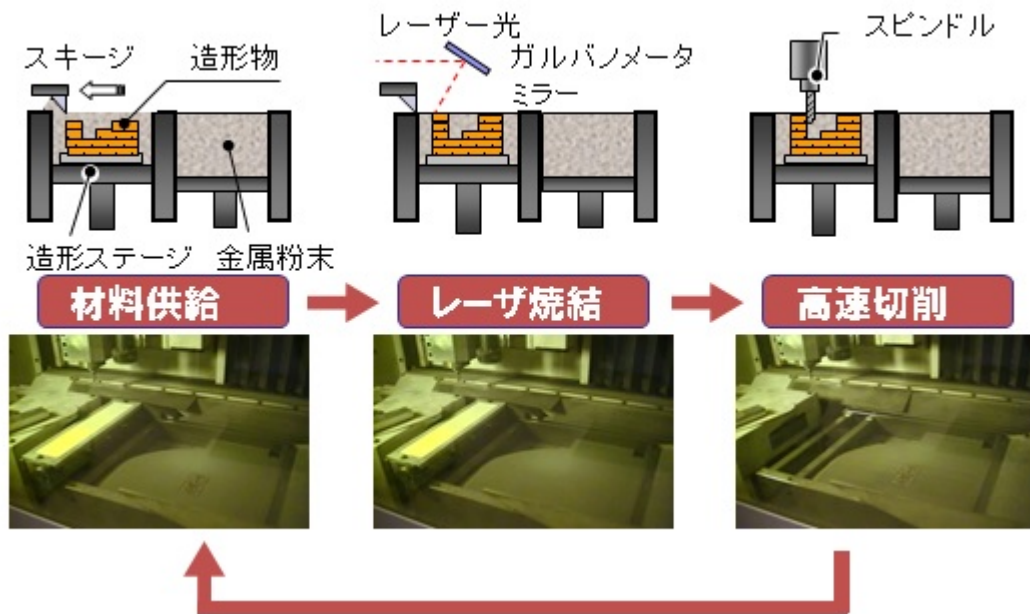


図14 金属造形法の手順

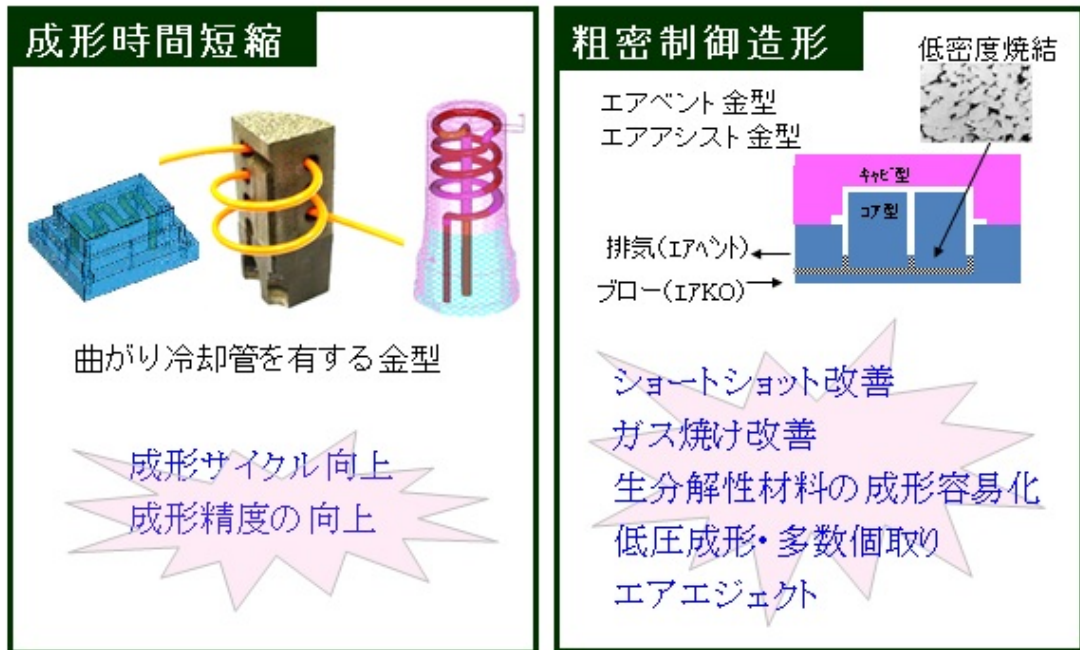


図15 高機能金型の実現

図15に示すように、金属造形法を用いることで、金型内に曲り冷却管やエアVENT機構を造形することが可能で、金型の高機能化が可能になっている。

ただし、装置自体の低価格化、使用可能な金属粉末の開発といった課題がある。

3. まとめ

プラスチック射出成形金型を対象を絞り、実践的プラスチック射出成形金型設計・製作講座で利用可能でかつプラスチック射出成形金型の構造並びに設計手法を独学で学べるテキストの開発を行った。今後は、実践的プラスチック射出成形金型設計・製作講座を沖縄県金型技術研究センターの協力のもと早期に開設し、テキストの内容の確認及び修正・追加作業を行う予定である。

謝辞

本研究開発は、公益財団法人三井金型振興財団による研究助成により実施されたことを記し、感謝の意を表します。