

実践 CAD/CAM 技術科での金型製作 第4回 (26期生：バインダー・イン・バインダー)

千葉職業能力開発促進センター 齊藤 総一

1 まえがき

私が以前所属していた関東職業能力開発促進センターには、実践 CAD/CAM 技術科という独自コースがあり、機械加工部品の設計製造に関する技術技能習得に加え、プラスチック射出成形金型に関する内容も学び、6 か月目の総合課題では金型を設計製作する内容となっている。

私が担当した7年間に、約十数型の金型を製作している。設計時に工夫した点、実際に成形してみると不具合が発生した点、不具合への対処等、さまざまな出来事があったので、これらをまとめてみた。

2 成形の工程および金型

2.1 成形の工程

金型といってもいろいろな種類があるが、射出成形金型（以降「金型」と記す）に限定して話を進めることとする。射出成形は、以下の工程を繰り返すことで製品を連続で生産する。

- ① 金型を高压で締め付ける。(型締め)
- ② 高速・高压でプラスチックを流す。(射出)
- ③ 末端まで流れた後も収縮を抑えるため、圧力をかける。(保圧)
- ④ プラスチックを冷却し固める。(冷却) 次の成形のため、プラスチックを溶かす。
- ⑤ 製品を取り出すため、金型を開く。(型開き)
- ⑥ ピンなどで製品を突き出し、金型から取り出す。(突き出し)

2.2 パーティングライン

金型を簡単に述べると、「製品の形を彫り込んだ2枚の板（以降「型板」と記す）」である。（実際の金型にはさまざまな仕組みが付加され、もっと複雑な構造となっている。）

2つ型板の合わせ目が、製品の表面に線となって表れることがある。これをパーティングライン（以降「PL」と記す）と呼ぶ。（図1）金型の合わせ面のことも PL と呼び、会社によっては面のため PL 面と呼ぶこともある。成形機に金型を取り付けて成形を行うと、PL を境に動く部分と動かない部分がある。動かない部分を「固定側」、動く部分を「可動側（または移動側）」と呼ぶ。一般的に、固定

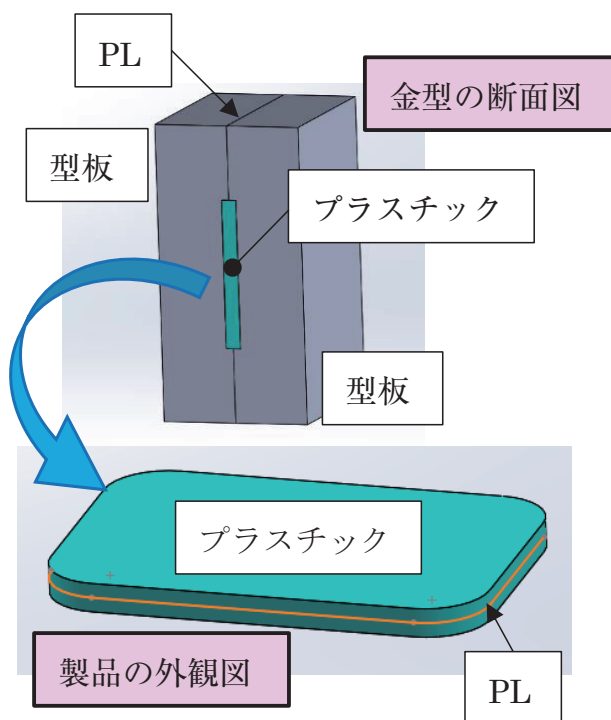


図1 金型断面図と製品

側はプラスチックを流す仕組みがあり、可動側は製品を突き出す仕組みがある。

2.3 結晶性および非晶性樹脂

一口にプラスチックと言っても、さまざまな種類がある。射出成形で主に使用されるプラスチックは、熱可塑性樹脂と呼ばれるものである。（ここでは、「樹脂＝プラスチック」として考えていただきたい。）そして、この熱可塑性樹脂は、「結晶性樹脂」と「非晶性樹脂」に分類できる。

熱を加えられ可塑化した状態（粘土のような状態）では、結晶は存在しない。冷えて固まる際に、結晶が生じるプラスチック（結晶性樹脂）と結晶が生じないプラスチック（非晶性樹脂）に分かれる。可塑化したプラスチックの構造は、糸状の長い分子（ポリマー）が絡まった状態だと考えていただきたい。そして冷えて固まる際に、部分的にこの糸がきれいに整列する。これが結晶である。ただし、プラスチック全体が結晶化するわけではない。結晶化した部分と、しない部分が混在する。そしてその割合は、プラスチックの種類や固まるときの条件で、変わることになる。

非晶性樹脂に対して、結晶性樹脂は一般的に以下のような特徴がある。（例外の場合もある。）

- 分子がきれいに整列するため、収縮する割合が大きい。
- 引きちぎろうとする力などに対して、強度が大きい。
- 結晶が光を通さないため、透明な樹脂ではない。（成形条件などにより、透明品を作ることとは可能ではある。）

結晶性樹脂の代表的なものとして、ポリプロピレン（PP）、高密度ポリエチレン（HDPE）、低密度ポリエチレン（LDPE）、ポリアミド（PA）、ポリエチレンテレフタレート（PET）、などがあげられる。

図2は、可塑化したナチュラルのHDPEを、冷却したときの形状や色の変化である。（「ナチュラル」とは、着色していない材料本来の色である。）可塑化しているときは結晶が生じていないため、下

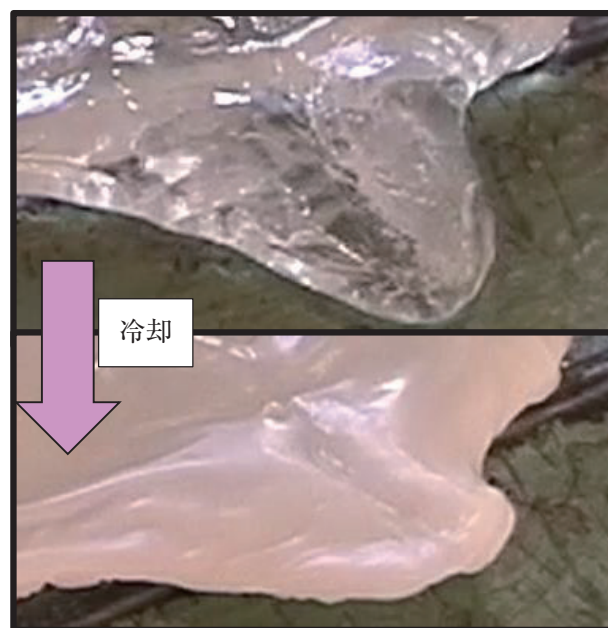


図2 HDPEを冷却したときの変化

のプレートの色が透けて見えている。しかし冷却後は不透明で、収縮により形状が変化しているのがわかる。

2.4 成形収縮率

プラスチックを可塑化させるのに、通常200℃から300℃程度の温度が必要となる。これが金型内で冷却され、製品として使用されるときは常温となる。プラスチックは、この温度差で収縮し、小さくなる。この割合を成形収縮率（以降「収縮率」と記す）と呼び、数値が大きくなるほどたくさん縮むことになる。以下は、収縮率を求める式である。

$$\text{収縮率} = (\text{金型寸法} - \text{製品寸法}) / (\text{金型寸法})$$

プラスチックが収縮することを見込んで、金型は製品に対して大きく作る必要がある。それでは、収縮率をいくつにすればよいのだろうか？これはプラスチックの種類や成形条件によって変化するため、一概にいくつと言うことはできない。材料メーカーが提示しているデータや、成形工場や金型工場の経験値を参考に決めることになる。

2.5 成形条件と収縮率

収縮率に対して、成形条件の中で特に影響が大きいのは、「保圧」と「金型温度」だと考えている。

「保圧」は、可塑化したプラスチックが金型内に充填される直前から充填後数秒間まで、成形機がプラスチックを加圧する圧力である。この値が大きいと、より多くのプラスチックを金型内に押し込むことが可能となる。プラスチックを、ぎゅうぎゅうに詰めることで、収縮率を小さくすることができる。保圧を大きくすることで、「ひけ」と呼ばれる製品表面のへこみを抑えることができるが、代わりに「離型不良」や残留応力の増加による「製品の変形」のリスクが高まる。

もう一つの条件である「金型温度」は、可塑化したプラスチックと接する部分の表面温度である。(成形条件表の金型温度は温調器の設定値であり、厳密に言うと若干異なる。) 金型から取り出された直後の製品の温度は、この金型温度になっており、それが常温まで冷却され収縮される。そのため、金型温度が高い場合は収縮率が大きくなり、その結果、製品は小さくなる。温度が低い場合は収縮率が小さくなり、製品は大きくなる。(図3)

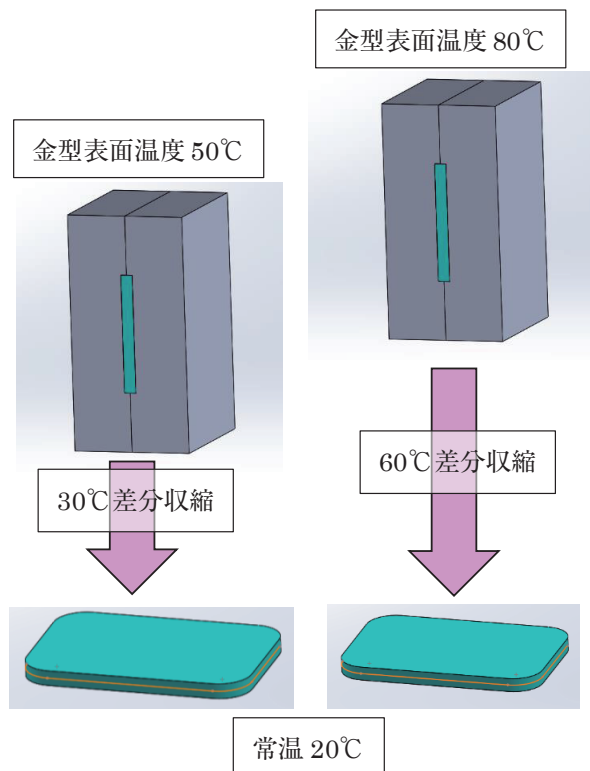


図3 金型表面温度の違い

製品の収縮に影響を与える「保圧」や「金型の表面温度」は、型内では均一ではなくムラが生じる。保圧は、プラスチックが固まる時間差により、均一にはならない。また金型の表面温度も、温調穴との距離や熱の逃げ方などにより、均一にはならない。そのため製品に変形が生じ、金型通りにならない場合がある。対処の一例として金型の温度調節があり、固定側と可動側の金型温度を上下したり差をつけたりすることで、修正を行う。金型温度の違いによって、板形状製品に反りが発生する例を図4に記す。製品に反りが発生した場合、この原理を応用すれば反りや変形に対する修正が可能となる。

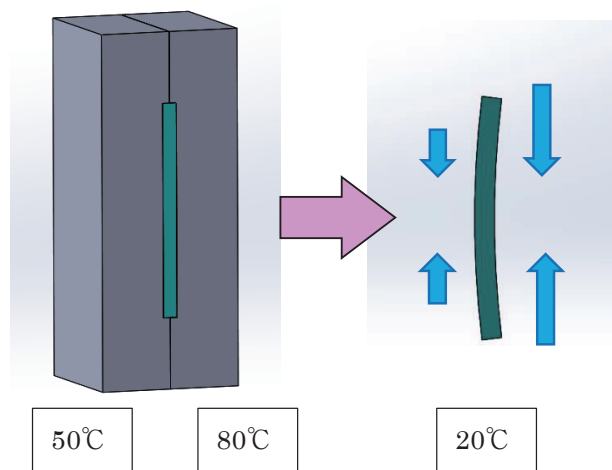


図4 金型の温度差による製品の反り

2.6 ガイドピンおよびブッシュ

先ほど、金型は固定側と可動側で構成されていると説明した。これら2つの位置合わせを行うのが、ガイドピンとガイドブッシュである。当たり前のことだが、固定側と可動側の位置がずれば、製品の寸法は出ない。最悪の場合は、固定側と可動側の金型部品が干渉して破損につながる。このようなことが発生しないよう、型締めを行う際に最初にガイドピンとガイドブッシュが組み合うような構造となっている。

ガイドピンとガイドブッシュは、位置決めを行うだけでなく、型開閉時には摺動する部分でもある。今回はφ30mmのガイドピンを使用するが、双葉電子のカタログを参照すると以下のようなサイズ公差になっている。(表1)

表1 サイズ公差

[mm]

	基準寸法	許容差
ガイドピン	φ30	-0.033~-0.020
ガイドブッシュ	φ30	+0.007~+0.020

はめあいの公差域クラスでみると、ガイドピンは「f6」、ガイドブッシュは「G6」だと思われる。これらを見て、「すき間が大きい」と思われるかもしれない。これには以下のような理由がある。

先ほど製品の変形を防ぐために、固定側と可動側で金型温度に差をつける場合があると説明した。この温度差は、型板にも影響を与える。固定側と可動側で型板の熱膨張量に差がでて、ガイドピンとガイドブッシュの摺動が悪くなる。極端に温度差をつけると、型締めの際にカチンという音が聞こえ始め、最悪金型の開閉ができなくなる。金型の温度差に、ある程度対応できるようすき間が設定されていると考えている。

図5右は固定側型板に組み込まれたガイドブッシュ、左は可動側型板に組み込まれたガイドピンである。（ともに四隅に配置されている。）

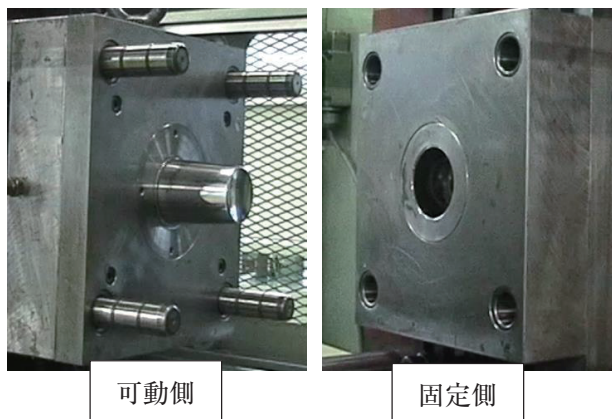


図5 ガイドピンとガイドブッシュ

2.7 位置合わせの一例

それでは、ガイドピンおよびブッシュの精度以上の位置合わせを行うときは、どのようにするのだろうか。代表的な方法として、以下の2つの方法を提示する。

1つ目は、「テーパ付き部品」の利用である。テーパの付いた凸と凹の組み合わせ部品を、それぞれ固定側と可動側に配置し、これにより位置合わせを行う。形状としては2つに大別でき、「テーパ付きピ

ン」と「テーパ付きブロック」がある。1型において、ピンの場合は2組、ブロックの場合4組の部品を使用する。固定側および可動側で金型温度の差が発生した場合、ピンの場合は線当たりとなり、ブロックの場合は面あたりとなるため、個人的にはブロックを使用したほうが金型寿命に関しては有利であると考えている。図6左はテーパ付きピンの外観図と断面図、図6右はテーパ付きブロックの外観図である。図7はテーパ付きピンの使用例で、赤丸の中がテーパ付きピンである。（図はわかりやすいように、極端に角度を設けている。）

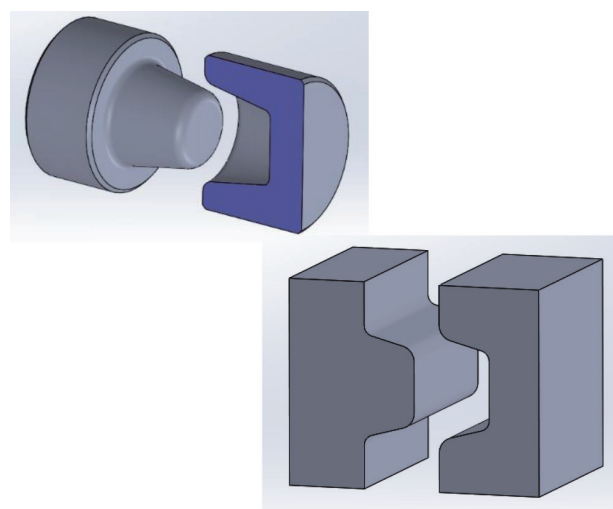


図6 テーパ付きピンとテーパ付きブロック

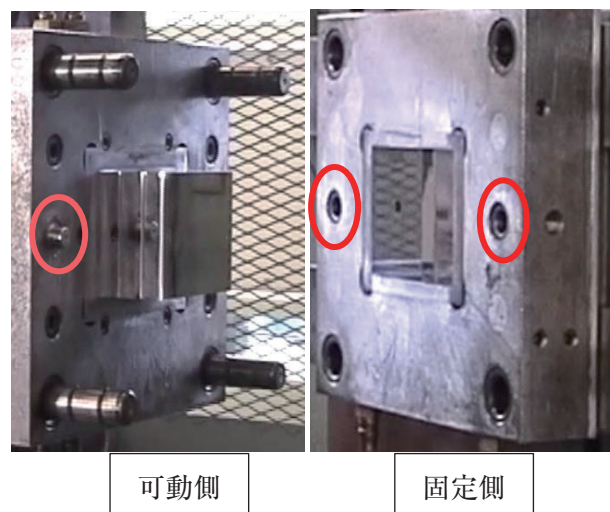


図7 テーパ付きピンの使用例

2つ目は、入れ子に直接テーパの合わせを設けることである。これは前記の方法に対して、金型全体をコンパクトにできるというメリットがある反面、入れ子の加工に手間がかかるというデメリット

がある。

2.8 コア（凸）とキャビティ（凹）

射出成形では、板状の製品しか作成することができない。プラスチックの塊を作ろうとすると、冷却に時間がかかるだけでなく、場所によって大きく収縮し、製品の精度が全くでない。よってレンガのような直方体を作成する場合は、箱形状を作成して蓋と組み合わせることになる。

箱形状を作成する場合、図8のように金型は凸形状と凹形状の組み合わせとなり、凸部分をコア、凹部分をキャビティと呼ぶ。（プラスチックが流れる製品部分全体を、キャビティと呼ぶ場合もある。）板形状を作成する場合は、両方とも凹部分となる。

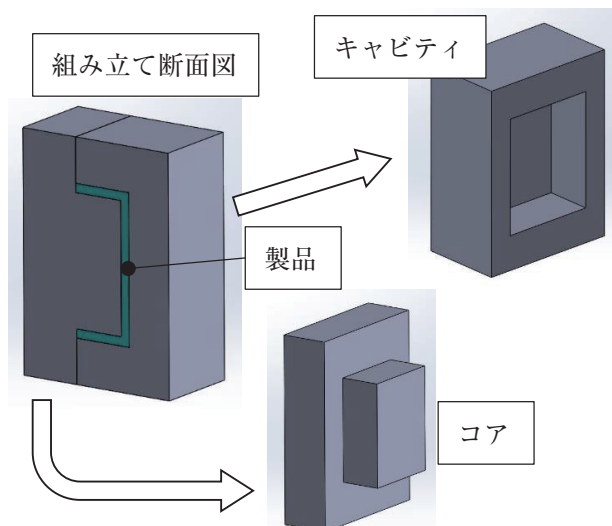


図8 箱形状のコアとキャビティ

製品を金型から取り出すときに生じる抵抗を、「離型抵抗」と呼ぶ。（図9）製品を金型から取り出す方向を「抜き方向」とすると、抜き方向に平行な部分ほど離型抵抗が大きい。また離型抵抗は、プラスチックが金型に密着しようとする力の大きさに比例し、かつ密着する面積に比例する。金型がコアとキャビティの組み合わせの場合、この離型抵抗の関係で通常は可動側がコアとなり固定側がキャビティとなる。少し詳しく、以下に述べることにする。

型開きを行う際、製品は突き出し側に残る必要がある。突き出し側に残らないと、作業者が手で製品を取り出さなくてはならない。通常、突き出し側は

可動側である。そうすると、離型抵抗は「可動側 > 固定側」にする必要がある。単純に面積だけを考慮すると、離型抵抗は「コア < キャビティ」となる。しかし、収縮によりプラスチックはコアに抱き着き、密着する力はコアのほうが大きくなる。そのため「可動側がコア、固定側がキャビティ」として設計を行う。箱形状の金型において、射出条件の保圧を上げてプラスチックを限界以上にぎゅうぎゅうに押し込むと、金型を開いた際に製品はキャビティ側に取り残られてしまう。これはコア側もキャビティ側も密着する力がほぼ同等になったため、面積の大きいキャビティ側の離型抵抗が製品を離さないからである。

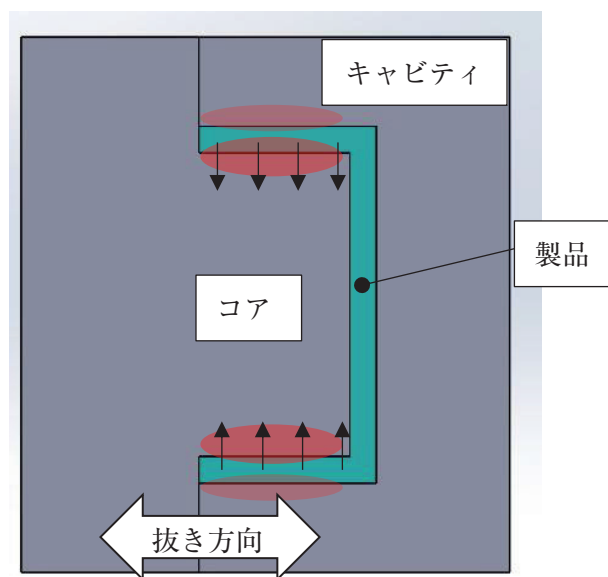


図9 コアとキャビティの離型抵抗

2.9 ガイドピンのもう一つの役割

先ほどのガイドピンに話を戻したい。ガイドピンには、もう一つ重要な役割がある。それは組み立ての際に、コアを守ることである。図5や図7の可動側のように、四隅にコアより長いガイドピンを配置することで、他の型板との干渉からコアを守っている。つまり、通常可動側にガイドピンを配置することになる。

3 バインダー・イン・バインダー

今回は、用紙をまとめるバインダーを作成した。

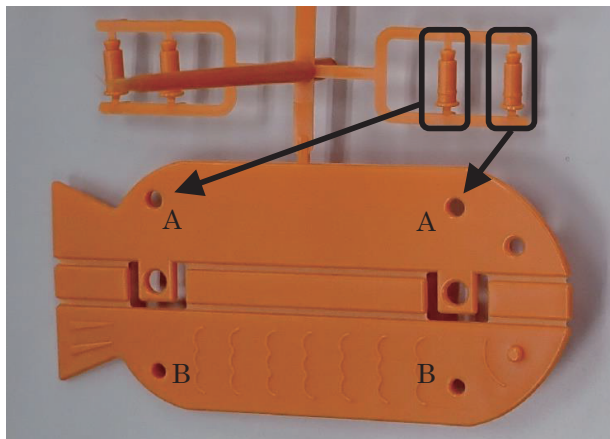


図10 金型から取り出した直後



図11 組み立て後の製品外観

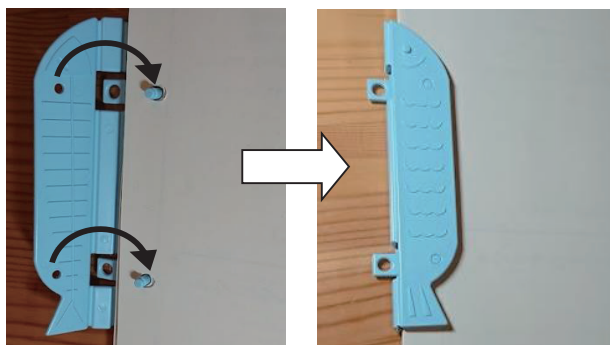


図12 単体で使用する場合

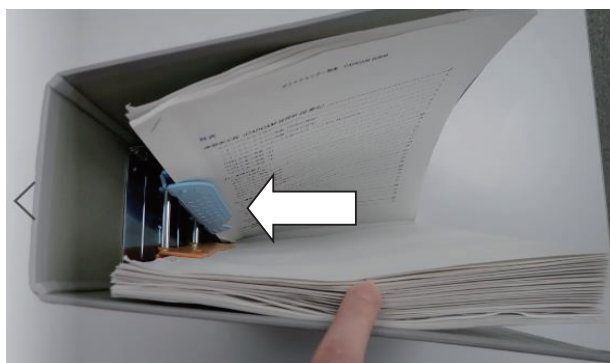


図13 厚手のファイルに綴じる場合

単体で使用するときは、よく見られる一般的なバインダーである。さらにこれらを、市販の厚手のファイルに綴じられるようにする。これにより項目ごとにまとめることが可能となる。

組み立て前の製品外観を図10に、バインダー本体に丸棒を組み立てた後の外観を図11に示す。また、使用例を図12および図13に示す。

4 設計時に工夫した点

4.1 固定側にガイドピンを取り付ける

前記のように、通常ガイドピンは可動側に取り付けられている。しかし、これにはデメリットもある。製品を金型から突き出す際に、ガイドピンに当たる可能性がある。ガイドピンは摺動のためグリスなどが塗布されており、これが製品を汚す原因となる。(実際には自動落下だと製品に傷がつく恐れがあるため、ロボットなどで取出すことが多いと思われる。しかし、ガイドピンがロボットの動きの障害となる場合もある。)

今回は板状の製品のため、金型は「凹と凹形状の組み合わせ」となり、コアがない。そのためモールドベース発注時に、オプションでガイドピンを固定側に取り付ける形式を選択し、突き出しの際のリスクを防ぐ設計としている。図14は固定側 PL 面である。矢印の部分がガイドピンである。

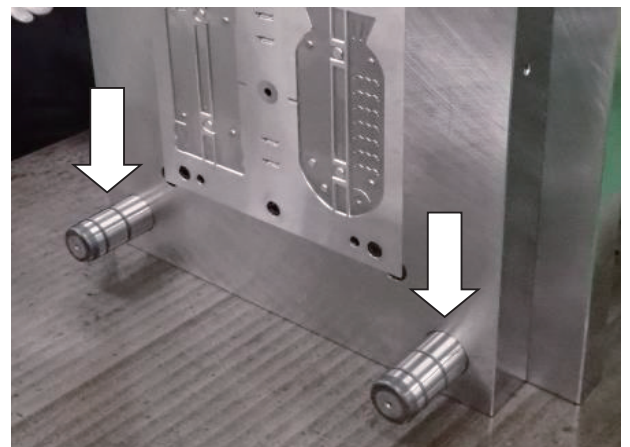


図14 金型（固定側）の様子

4.2 穴の寸法調整

バインダーは、本体1つに対して2本の丸棒も

成形し、それらを組み立てて使用する。そのため、本体には精度の高い穴が4か所ほど開いている。図10におけるAとBである。Aは丸棒の根元まで嵌合し、Bは丸棒の先端が嵌合する。A部は嵌合後には極力外れないはめあいが、B部はある程度の力で外れるはめあいが求められる。今回は、丸棒の寸法を先に決め、穴側で寸法調整を行うこととした。

成形した丸棒の外観を、図15に示す。金型での寸法は測定できないため、加工するNCデータ（CAMデータ）の値を記す。A= $\phi 4.9\text{mm}$ 、B= $\phi 3.93\text{mm}$ でモデリングし、加工データを作成している。

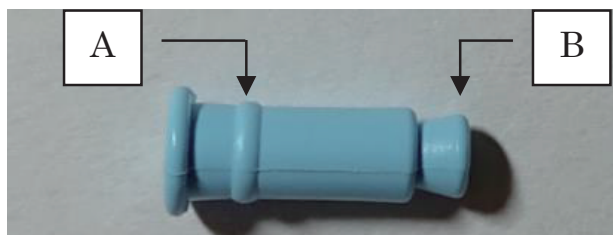


図15 丸棒の形状

製品で凹形状は、金型では凸形状となる。よって本体で穴を作成するために、金型では図16のように穴をあけ、図17のコアピンと呼ばれる部品を組み込んでいる。一体構造にしなかったのは、コアピンを交換することで穴の寸法調整を容易にするためである。いくつかの異なったコアピンを組み込み、

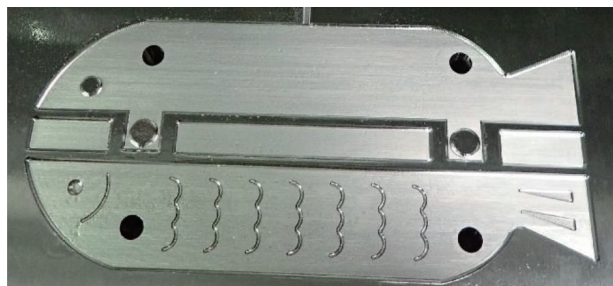


図16 コアピンを組み込む穴



図17 コアピン外観（ $\phi 3.7\text{mm}$ と $\phi 4.6\text{mm}$ ）

成形を行い、はめあいを確認した。そして最終的に、A= $\phi 4.50\text{mm}$ 、B= $\phi 3.90\text{mm}$ の先端径のコアピンを、金型に組み込んでいる。

4.3 穴径の差 $\phi 0.03\text{mm}$ （ずれ対策）

先ほどガイドピンとブッシュには隙間があり、それ以上の精度を求める場合は、位置合わせ部品が必要だと説明した。今回は、位置合わせ部品は使用しない。そのため隙間分だけ可動側と固定側で、位置合わせがずれる可能性がある。

本体の穴は、可動側と固定側のコアピンの合わせにより成形している。これは穴の入り口にRを付けるためである。（図18）よって穴のずれ対策として、可動側と固定側で穴径に $\phi 0.03\text{mm}$ の差を設けている。もし同じ径にすると図19左のように成形される可能性があり、精度と外観に問題が発生するからである。図19右は穴径に差をつけているため、ずれが発生しても穴径や外観が変化することはない。

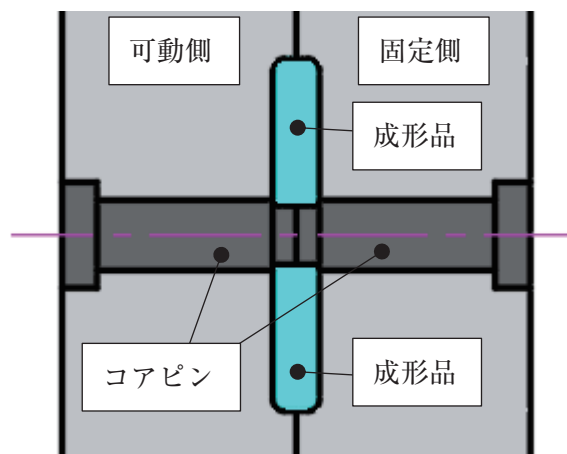


図18 本体穴部分の金型断面図

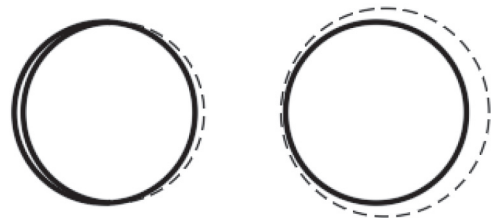


図19 金型の位置がずれたときの穴形状

4.4 丸棒の突き出し

金型の突き出しには、エジェクターピン（以降「EP」と記す）を使用した。しかし丸棒をEPで突き出すとすると、EPの先端を円弧にする必要があ

り、かつ EP には回り止めが必要となる。加工工程がかなり増えるため、製品を突き出すのではなく、プラスチックを流す流路（以降「ランナー」と記す）を突き出す形式で設計を行った。図20は金型の可動側の写真であり、黒い丸が EP を組み込むための穴である。

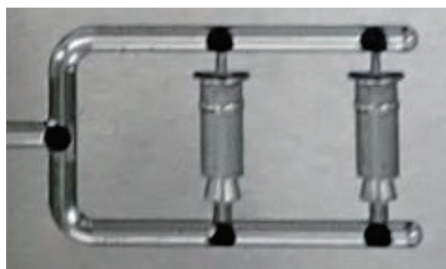


図20 金型の EP 穴

5 成形時に発生した突き出しの問題

成形に使用したプラスチックは、ポリプロピレンである。これは結晶性樹脂であり、先のような特徴を持ち、特にヒンジ部分の耐久性に富む。

成形を行うと、丸棒が金型から抜ける前にランナーが変形し、離型ができないという不良が発生した。（図21）これは丸棒の抜けが悪く離型抵抗が大きいため、その力でランナーが変形したと思われる。このままでは自動成形ができないので、以下の

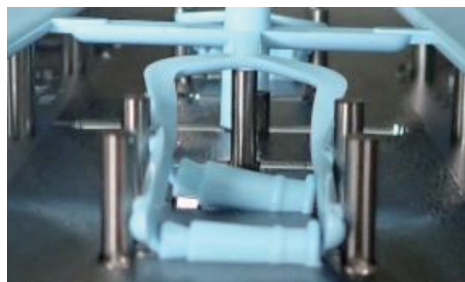


図21 突き出し不良

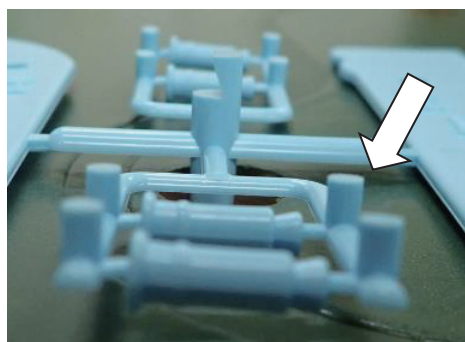


図22 改良後のランナー形状

ような対策を行った。

突き出しを行う EP の先端を、5 mm ほどカットした。短くした分、穴の中にプラスチックが流れ込み、離型時にプラスチックが穴から抜けるまで、EP は確実にランナーを突き出すことが可能となる。（図22 矢印）つまり 5 mm は丸棒の半径より少し大きい値であり、製品が完全に離型するまで確実に突き出しが行えるように修正を行った。図22は修正後の成形品である。図21と比較すると上下が逆になっていることに注意していただきたい。この対策は、22期生の Consent キャップを製作した際に得られた考察をもとに、行っている。

6 あとがき

ポリテクセンター埼玉で成形を行った際は、ABSなどの非晶性樹脂を使用していた。非晶性樹脂は収縮率が小さいため、「ひけ」と呼ばれる外観不良が目立ちにくい。よって単体での見栄えが優れている。しかし、成形前に乾燥が必要といったデメリットもあった。

ポリテクセンター関東では、ポリプロピレンやポリエチレンなどの結晶性樹脂を主に使用している。外観は非晶性樹脂に劣るが、今回のように、「組み立てる」、「折り曲げる」といった性能は結晶性の方が優れており、訓練生が企画するさまざまな製品に対応可能なのではないかと感じた。

初任地としてポリテクセンター関東に配属された木下先生が、初めて主担当となったのが今回の金型である。特に先生は本体と丸棒の「はめあい」にこだわり、3Dプリンタで試作を行い、成形後に製品を使用し、訓練生とともに製品を作り込んだため、とても使いやすい品物となっている。

最後に、当時の実践 CAD/CAM 技術科講師の皆さま（津嶋先生、木下先生）および訓練生に感謝申し上げます。

参考文献：双葉電子 WEB

<https://www.futabaordersite.jp/estimations?categoryid=220101>

<https://www.futabaordersite.jp/estimations?categoryid=220301>