

実践 CAD/CAM 技術科での金型製作 第3回 (25期生：缶キャップ)

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カ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 突き出し

突き出しにはいくつかの方法があり、エジェクターピン（以降「EP」と記す）と呼ばれるピンを使用して突き出すことがよく見られる（図1）。他にも、ストリッパープレート、エアー、2段突き出しなどがあげられる。

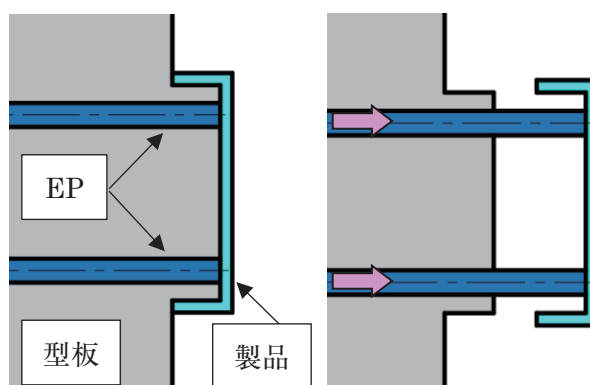


図1 EPでの突き出し（抜き方向左右）

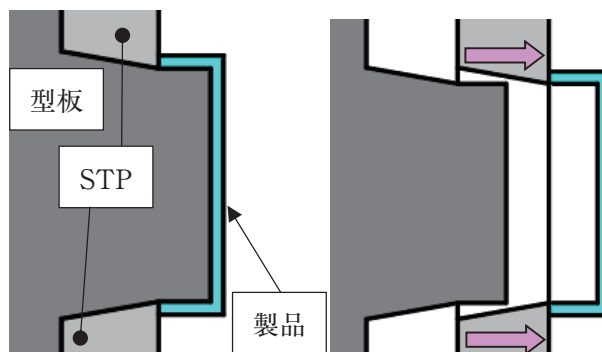


図2 STP（後述）での突き出し（抜き方向左右）

2.3 ストリッパープレート

突き出しには、ピンではなく型板で突き出す方法も見られる。突き出しに使用する型板をストリッパープレート（以降「STP」と記す）と呼び、EPに

対するメリットとしては、丸い跡が製品に残らないことなどが上げられる（図2）。デメリットとしては、製品の縁しか押せないため、箱などの単純形状に限定される。（複雑な形状には適さない。EPの場合は、抜けにくい場所を狙ってEPを配置することが可能である。）

EPの丸い跡に水垢などが付着しやすいため、食品容器などではSTPを用いることがよく見られる。

2.4 アンダーカット処理

製品を金型から取り出す際に、引っかかる場所をアンダーカットと呼ぶ。製品を取り出す方向を「抜き方向」とする。製品を抜き方向から見たとき、製品自身の影となって見えない場所がアンダーカットである。図3は、円筒形状をした製品の断面である。赤いハッチングが、アンダーカットである。

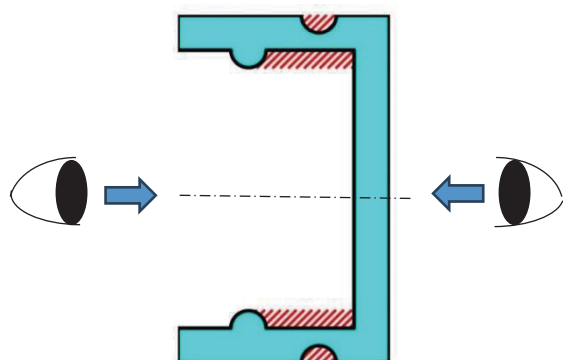


図3 アンダーカットを探す（抜き方向左右）

プラスチックを流す際は可塑化しているため、アンダーカットが存在しても問題はない。しかし固化した状態で取り出すことができないと、以降は製品を成形することができなくなる。そのため何らかの方法で、アンダーカットを処理する必要がでてくる。以下のような方法が、考えられる。

- 製品形状の変更
- 無理抜き（場合によっては「2段突き出し」を検討）
- スライドコアの使用

2.5 無理抜き

プラスチックのたわむ性質を利用し、無理やり金

型から離型する方法である。プラスチックの種類によって、処理できるアンダーカットの大きさが変わってくる。また製品形状によってたわみ量が変化するため、無理抜きでの対応が可能か否かの判断がととも困難となる。

今回使用するプラスチックは、LDPEである。LDPEは、胡椒の中蓋やタッパー容器の蓋などに使われており、たわみ量が大きく、結晶性樹脂のため「引きちぎろうとする力」にも強い。今回の缶キャップのアンダーカット形状であれば、無理抜きでの処理も問題ないであろうと判断した。

2.6 どこを突き出すか

製品を金型から取り出すときの抵抗を、「離型抵抗」と呼ぶ。この離型抵抗は、抜き方向に平行な場所ほど大きくなる。この離型抵抗を少なくするために、抜き勾配を製品に付けている。しかし今回はアンダーカットを設けるため、離型抵抗が通常に比べてかなり増加することになる。

それでは抜けにくい製品のどこを押せば、効率よく力を伝えることができるだろうか。以下の3つを比較してみる。

- ① 抜けにくい部分から離れたところを押す。
- ② 抜けにくい部分の近くを押す。
- ③ 抜けにくい部分の真下を押す。

図4は金型と製品の断面図であり、抜き方向は左右方向である。よって離型抵抗が大きい場所は、図で赤く色づけした場所となる。

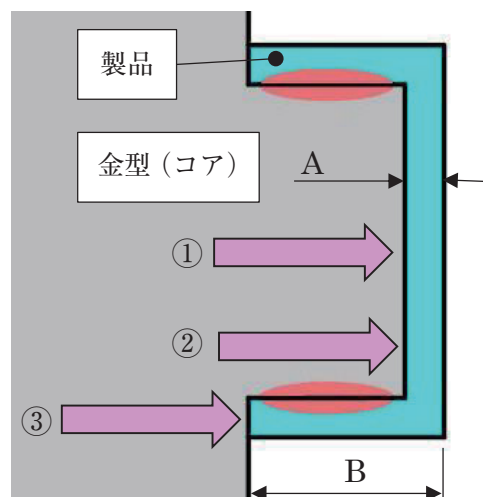


図4 突き出す場所（抜き方向左右）

抜けにくい部分の近くを押した方が、突き出しの力が効率よく伝わることは想像できる。実際、離れたところを突き出すと、離型抵抗に対して力がうまく働かずに、製品が変形して白い跡が残るなどの不良が発生する。（「白化」と呼ばれる成形不良である。）

それでは②と③では、どうなのだろうか。抜けにくい部分からの距離は、ほぼ同じである。ただし、力を受け止める製品の厚みが異なる。③のほうが厚いため変形に対して強く、より大きい突き出しの力を受け止めることができる。（図4 AよりBが厚く、変形に対して強い。）

しかし、いろいろな金型を見てみると、②にEPが配置されることが圧倒的に多い。その理由は、③は金型の加工がとても困難だからである。図5は、金型のコア（凸形状）にEP用のリーマ穴を加工した図である。立壁の近くに細い穴をあけることは、とても大変であり、かつEPと固定側の部品が直接当たる構造は、金型寿命が短くなるため望ましいことではない。

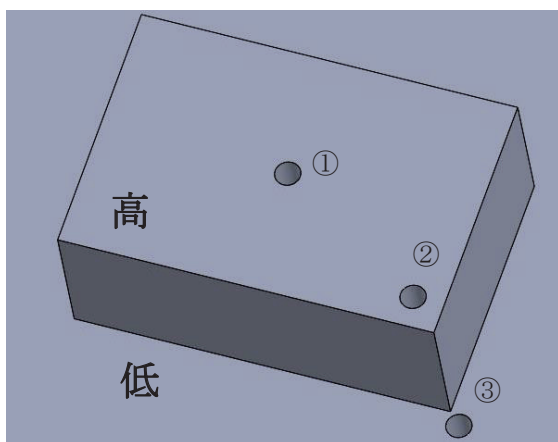


図5 金型のコア（凸形状）と穴加工

3 缶キャップ

訓練生が考えた製品コンセプトは、以下の内容である。

缶コーヒーなどを飲む際にプルトップを開けたままの状態では放置すると、ゴミや埃が缶の中に入ってしまう。これを防ぐためのキャップを作成する。（この時点では、炭酸飲料水のことは、全く想定していなかった。）

製品断面を図6に、使用例を図7に示す。

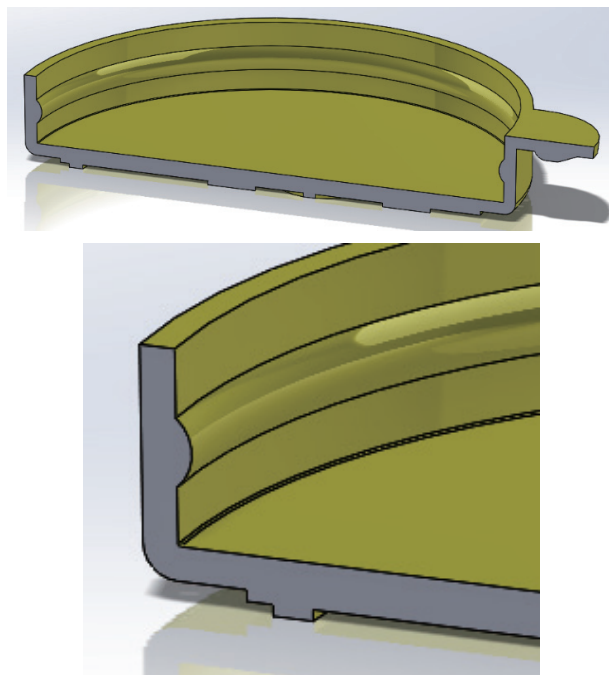


図6 製品断面およびアンダーカット拡大



図7 製品使用例

4 設計・加工時に工夫した点

4.1 突き出しにSTPを使用する

訓練生が選んだ製品が「缶キャップ」という単純形状のため、実践CAD/CAM技術科において初めてSTPの金型を製作することとなった。この製品は、缶との合わせ部分にはアンダーカットを設け、キャップが簡単にはずれないよう設計している。そのため、抜けにくい部分の真下を押すSTPは、最適な突き出し方法である。

4.2 可動側の入れ子と STP との合わせ

STP の金型で一番困難な作業は、可動側入れ子と STP との合わせである。これらは「成形時には密着、突き出しの際に離れる」を繰り返す。そのため EP のように勾配 0° で合わせると、すぐにかじりが発生し金型が破損する。以前に埼玉職業能力開発促進センターで金型を製作した際は、3° の勾配で合わせている。今回は、「射出成形金型の最適設計術」(日刊工業新聞社)を参考に角度を決定した。(勾配で 8° 以上)ただし今回は工具の関係もあり、入れ子で 7° (テーパエンドミルで加工)、STP で 7.5° (ワイヤーカットで加工)の勾配とした。勾配に 0.5° の差を設けているのは、金型部品同士の密着が、製品側でより強くなることを狙っている。図 8 に型図の一部を記す。矢印 A が STP と入れ子の合わせである。

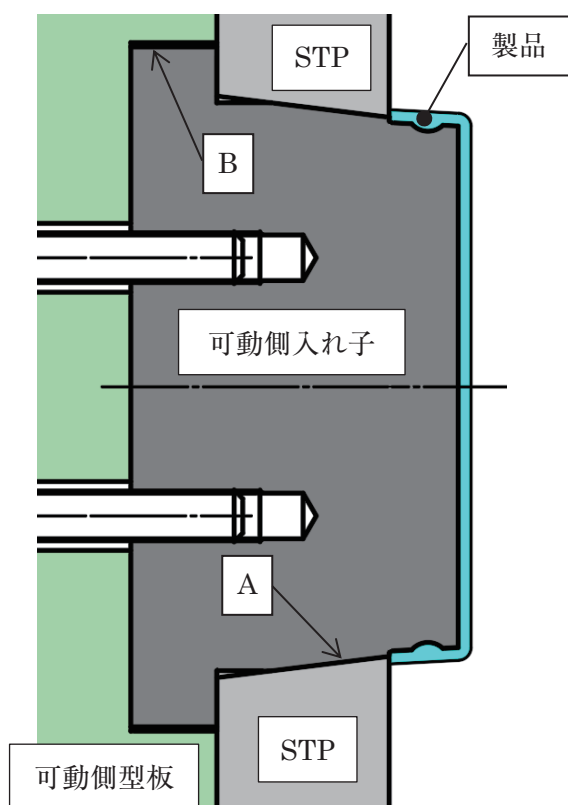


図 8 金型組み立て図 (可動側の一部の断面)

4.3 入れ子と STP の寸法調整

前述のように、「可動側入れ子と STP の合わせ」が金型製作の重要ポイントとなる。そのため今回は、以下の手順で可動側入れ子の寸法調整を行った。

最初にワイヤーカットで STP に 7.5° の穴加工を行った。この時の径補正は、機械取扱説明書に従った値としている。

次に STP と同じ材質で 5mm 薄いプレートを用意し、全く同じ条件で加工を行った。(図 9 以降「はめあい治具」と記す。)

最後にマシニングセンタでテーパエンドミルを使用し、入れ子の 7° 勾配を加工した。加工後、はめあい治具を入れ子に組み込み、バイスに固定したままの状態です法確認を行った。はめあい治具を STP より 5mm 薄くしたのは、ブロックゲージで隙間が何mmかを確認するためである。例えば、加工後に 5.4mm 隙間があったとすると、

$$(5.4 - 5.0) \times \tan 7^\circ = 0.049$$

よって工具径補正で 0.049 追い込めばよい。

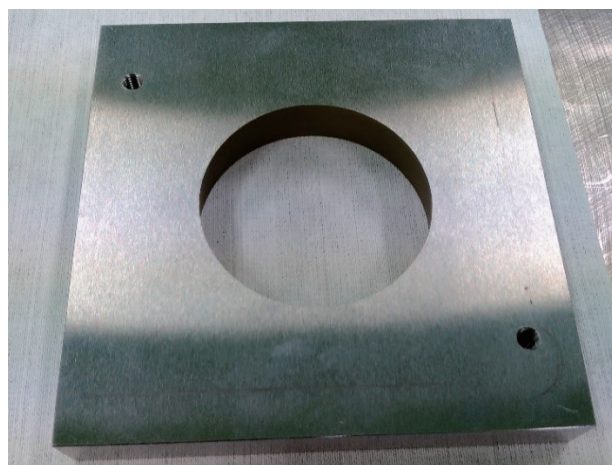


図 9 はめあい治具

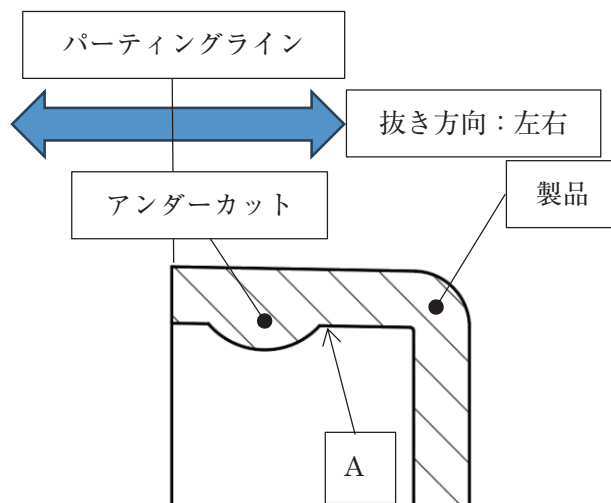


図10 アンダーカットの形状

4.4 アンダーカットの形状

製品内側のアンダーカット形状を図10に示す。寸法が入っていないが、内側の凸の寸法は、半径2mmで最大0.75mm段差（片側）を設ける形状としている。（正確には、金型製作時は段差0.6mmで加工を行っている。試作品成形後に、0.15mm追い込み0.75mmを最終寸法としている。）

また図10の矢印 A 部分だが、図では角になっているが、実際には R0.5程度の丸みを付けている。これは離型の際に、少しでもスムーズに製品が外れることを目的としている。

4.5 アンダーカットの加工

図10のアンダーカットの加工を、旋盤ではなくマシニングセンタで行った。この理由は、先ほどの7°部分と連続して加工を行いたかったこともある。が、一番大きな理由は、実践 CAD/CAM 技術科では旋盤関連の授業を行わないことがあげられる。そのため、ねじれ角0°のエンドミルを図11の形状に加工した工具を使用した。ワイヤーカットで形状と逃げを加工した後、グラインダーでさらに逃げを加工すればよいのだが、時間の関係で今回はメーカーに注文し、それを使用している。

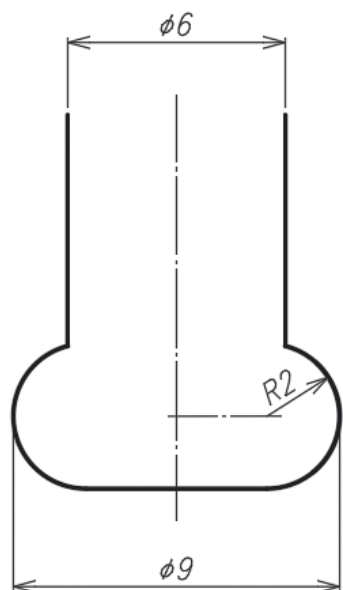


図11 エンドミル形状

この工具で、径補正を使用して円弧補間で加工を

行い、何回かに分けて追い込み寸法調整を行った。（図12）完成した可動側入れ子を図13に示す。

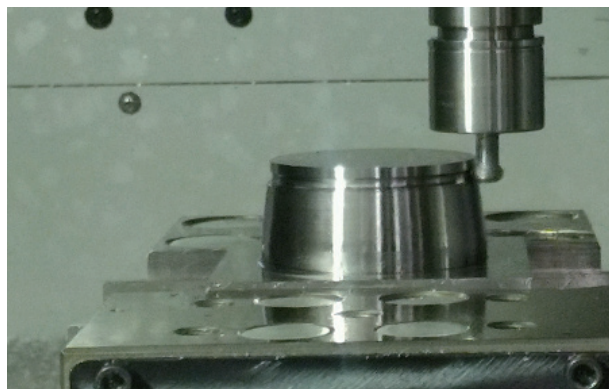


図12 入れ子にアンダーカットを加工



図13 完成した可動側入れ子

4.6 可動側入れ子と可動側型板のはめあい

図8の矢印 B が、可動側入れ子と可動側型板のはめあいとなる。この部分は、片側0.1mmの隙間が空くように加工を行った。金型の合わせでは、プラスチックが漏れない0.02mm以下の隙間を用いることが多いが、この部分は例外となる。以下の理由により、この隙間としている。

今回の金型で重要なのは、STP と可動側入れ子のはめあいである。そのため型組みを行った際に、可動側入れ子の位置がSTPになじむように、意図して0.1mmの隙間を設けている。

図14は、可動側型板に右側のみ可動側入れ子を組み込んだ様子である。左側のポケット加工内に穴が

4つあるが、これは入れ子を固定するためのねじの逃がし穴である。この状態では、固定用のねじは軽く締めた状態であり、入れ子はまだ位置が決まっていない。図15は、さらにSTPを組み込んだ状態であり、成形機で型締めを行った際と同じように、4つのクランプ治具で締付けを行っている。STPで入れ子の位置合わせを行い、この状態でねじを締付けて、入れ子の位置決めを行っている。

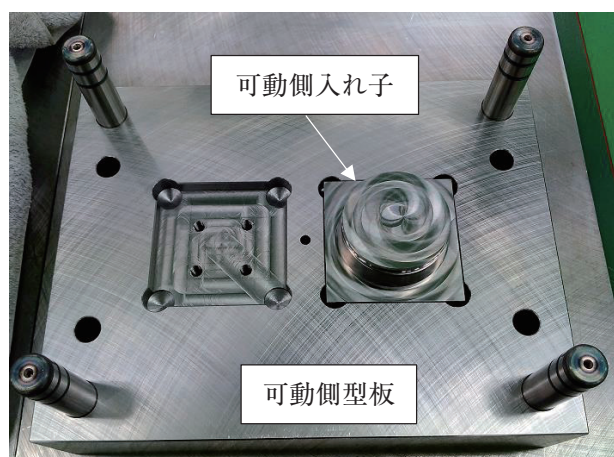


図14 可動側型板に入れ子を組込む

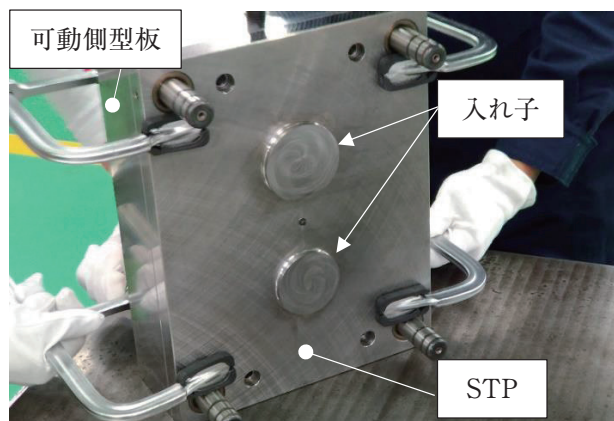


図15 STP、可動側型板、入れ子を組み込む

5 製品に不具合が発生した点

1stトライで成形した缶キャップを缶に取り付け、はめあいを確認した。その後、先に述べたようにアンダーカットの深さを調整した。これにより、缶とのはめあいはぴったりとなり、液体だけでなく気体も通さないほどのはめあいとなった。缶を倒しても内容物がこぼれない状態である。

しかしこれが理由で、新たな問題が発生した。この缶キャップを炭酸飲料水に使用した場合、炭酸の逃げが無く、1分程度するとキャップが吹き飛ぶのである。(図16) また缶を倒した場合は、キャップが吹き飛ぶまでの時間が数秒間と短くなるだけでなく、吹き飛ぶ際に炭酸飲料水までも周りに飛散することがわかった。(図17)

対策として、金型にピンを組み込み製品に穴をあけたが、缶を倒した場合は液体が穴をふさぎ、液体が飛び散ることを防ぐことはできなかった。そのため炭酸飲料水では使用しないよう、注意書きの文字を彫りこむことにした。



図16 炭酸によりキャップが飛ぶ直前

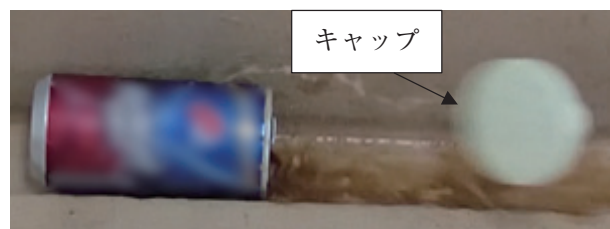


図17 缶を倒したとき（液体が飛散）

6 あとがき

コーヒー缶とのはめあわせは、当初の想定以上の優れた製品が完成したのだが、それが逆に問題になるとは思ってもみなかった。非常に残念である。

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〉

鈴木次郎：『射出成形金型の最適設計術』日刊工業新聞社（2015）