

# 実践CAD/CAM技術科での金型製作 第1回 (16期生：スマホスタンド)

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。センターやカレッジでは金型製作を行っている施設もあり、同じ不具合が発生しないよう、これらの出来事をまとめてみた。

## 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 金型を高圧で締め付ける。（型締め）
- ② 高速・高圧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 金型

金型を簡単に述べると、「製品の形を彫り込んだ2枚の板」である。これらの板（型板）を合わせ、製品の形をした隙間に溶けたプラスチックを流し、冷えて固まったら取り出すと製品が完成する。（図1）実際は、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。また型板を区別するために、片方を「固定側」他方を「可動側」と呼ぶ。

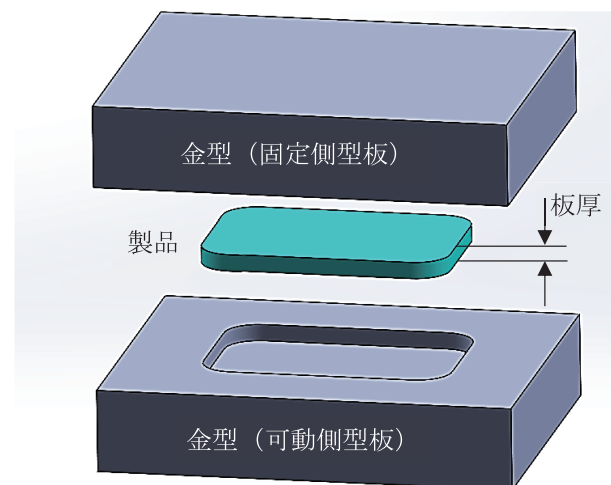


図1 金型の略図

### 2.3 入れ子

金型には型板にポケット加工を行い、別の鋼材を取り付けた。（以降「入れ子」と記す）（図2）その理由を以下に記す。

- ① 成形の際にプラスチックが流れる部分には良質な鋼材を用い、加工面の品質を向上し、硬く摩耗を防ぐなど寿命延長を図りたい。ただし、金型全体を良質な鋼材とするとコストがかかるので、別部品とした。
- ② 加工が失敗した際の被害を、部分的に抑えたい。などがあげられる。

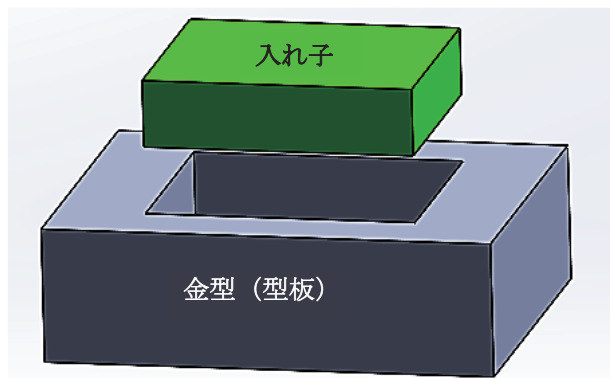


図2 型板と入れ子

### 3. プラスチックの流れ (1)

プラスチックは、「製品の形をした隙間」を流れる。また、流れやすい方に優先的に流れる。つまり、製品の厚み（以降「板厚」と呼ぶ。図1）が流路の広さになり、厚い部分に優先的に流れることになる。

理想を言えば、金型で成形する製品の板厚は、均一なことが望ましい。それは以下の理由による。

- ① プラスチックの流速（以降「流動速度」と記す）は、速すぎても遅すぎても不良の原因となる。板厚が不均一だと、流動速度も不均一となり、製品全体で不良が発生しない速度を探ることが難しくなる。
- ② プラスチックは、金型に熱を奪われて固まる。またプラスチックに対して、鋼材の熱伝導率は大きい。よって板厚が厚い部分の中央は熱の逃げが悪く、製品全体でプラスチックが固まる時間にばらつきが生じる。また、固まる際にはプラスチックが収縮する。固まる時間のばらつきは製品内部の圧力のばらつき

を生み、さらに圧力のばらつきは収縮のばらつきを生む。収縮の量が場所によって異なると、製品にはゆがみや反りが発生し、金型が図面通りでも製品が図面通りにはならない。

## 4. プラスチックの流れ (2)

### 4.1 3層で流れる

それでは、プラスチックが金型内を流れるとき、どのような状態になるのだろうか。金型に接触した部分はすぐに固まるため、固まった層の内側が流動層となり、計3層の状態となる。（図3右端を参照）

流れの先端はどのようなのだろうか。これは条件によって異なる。（参考書などを見ると諸説あるようだ。）これらを説明する前に、提示したいことは「可塑化したプラスチックは流れが悪い」ということである。今までイメージしやすいように「溶けた」と表現してきたが、正確には「可塑化した」である。つまり水のようにサラサラでなく、ホットケーキのたねのようにドロドロでもなく、粘土のような状態なのである。そのため少しでも流れが良くなるよう、高温および高圧で金型の中に押し込む必要がある。

### 4.2 適切な流動速度 (図3)

金型に触れた部分から固化が始まり、固化層の厚みは時間とともに増える。プラスチックの流れは悪いため、流れの先端では風船を膨らますように広がり金型に押し付けられる。この状態を繰り返しながら、末端に向かって流れていく。プラスチックは流れが悪いのだが、そのおかげで金型に密着し、金型の面が正確に転写されると、私は考えている。

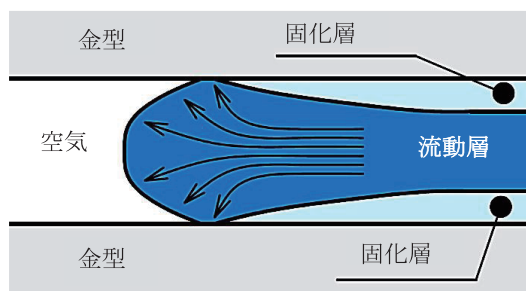


図3 適切な流動速度

### 4.3 遅すぎる流動速度 (図4)

流れが遅すぎると、流れに対して固化層の成長が早いことになる。これにより上記では回り込めていたプラスチックが回り込むことが難しくなり、隙間ができる。これを繰り返すことで、製品の表面に細かな波のような模様が発生する。〔「フローマーク」と呼ばれる不良である。〕

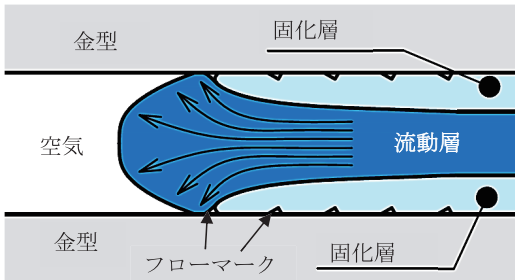


図4 遅すぎる流動速度

### 4.4 速すぎる流動速度 (図5)

流れが速すぎると、とある距離だけプラスチックが金型に触れることなく飛び出す。その後、遅れてきたプラスチックと合わさるのだが、時間差があるため完全に融合せず跡が残る。〔「ジェットイング」と呼ばれる不良である。〕

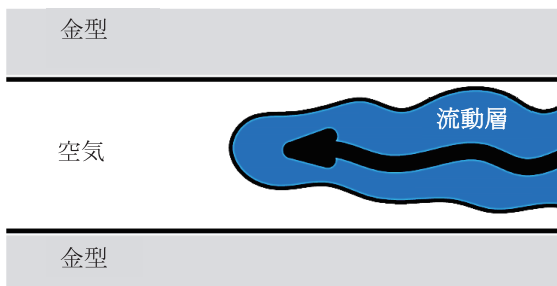


図5 速すぎる流動速度

### 4.5 射出速度とは

成形条件の中に「射出速度」という設定があるが、これは成形機のプラスチックを押し出す部品〔「スクリュウ」と呼ばれる〕の速度設定である。(図6)つまり「流動速度=射出速度」ではない。流動速度が極力一定になるよう、射出速度をいろいろ変化させた成形条件を設定する必要がある。

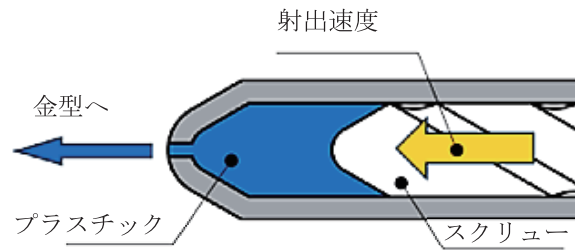


図6 成形機射出部の断面 (略図)

例えば、円盤形状の製品の中央からプラスチックを射出して、成形することを考えてみる。射出速度が一定の場合、射出される時間当たりのプラスチックの体積も一定となる。すると図7の左のように流動速度は徐々に落ちることになる。図7の右のように流動速度を一定にするためには、射出速度は徐々に上げる必要がある。

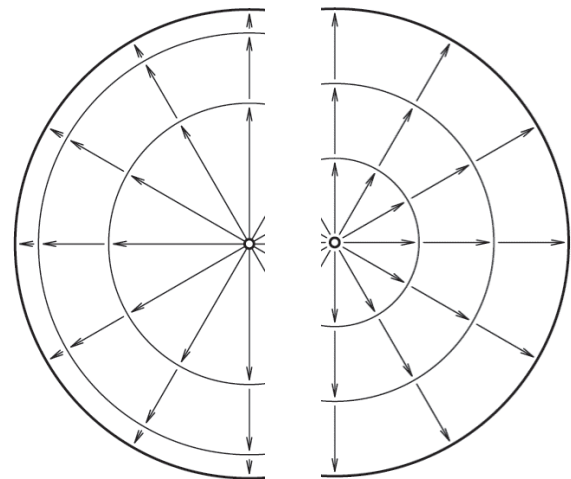


図7 円盤を成形

### 4.6 流動速度の確認方法 (一例)

成形に必要なプラスチックの量が90cm<sup>3</sup>の製品の場合、以下の手順で流動速度を確認する。

図8では、中央の円(水色)からプラスチックを流している。①成形機から金型へ、10cm<sup>3</sup>のプラスチックを流して成形を行う。②流す量を20cm<sup>3</sup>、30・90cm<sup>3</sup>と増やす。③それぞれの時に、どこまでプラスチックが流れたかを製品図に記録する。④線と線の間が広い場所は、流動速度が速いと判断できる。逆に狭い場所は、遅いと判断できる。図8を見ると、Bの部分が速くAの部分が遅いということになる。

(今回の製品は、板厚の違いでこのような現象が発生している。)

上記の方法で、もう一つ判明することがある。それはプラスチックが何cm流れた場所で、不良が発生しているかである。

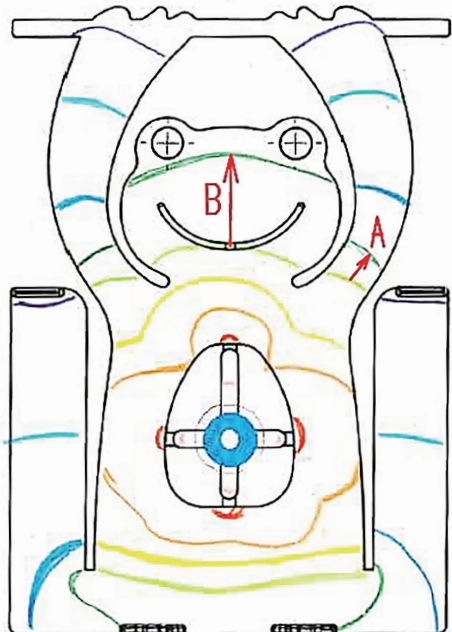


図8 プラスチックの流れ方

## 5. スマホスタンド

テーブルの上に製品を置いたとき、テーブル面から製品の一番高い場所までの距離を「厚み」と呼ぶことにする。(「板厚」と区別するためである。)

製品の厚みは、金型製作において作業工程などに大きな影響を与える。製品の厚みが厚いほど、入れ子の厚み、型板の厚みが増すことになる。それにより製品形状の加工時間がかかり、金型のポケット加工に時間がかかることになる。また金型の重量が増すことで、各部品の移動方法などを検討する必要が出てくる。

16期生たちは、図9と図10にあるようなカエルのスマホスタンドを作成した。何か所かにヒンジを備え、成形後に製品を組み立てて使用する。これにより成形時には製品の厚みが薄く、製品使用時には高くなり見栄えのある製品になったと考えている。

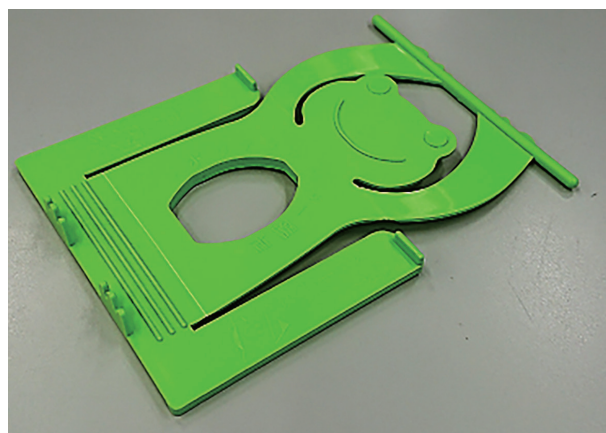


図9 成形機から取り出した状態



図10 組み立てた状態

## 6. 設計時に工夫した点

### 6.1 使用したプラスチックとヒンジ形状

今回使用したプラスチックは、ポリプロピレン(製品名：ノバテック、型番：MA3H、日本ポリプロ社製)である。ポリプロピレンは、「ヒンジ耐性(折曲げと元に戻すことを繰り返しても、ちぎれにくい性質)」に優れている材料である。

今回の製品では、下腹部と両肩の3カ所にヒンジを配置している。(図10の折り曲げているところ)ヒンジ部分の断面形状を図11に記す。



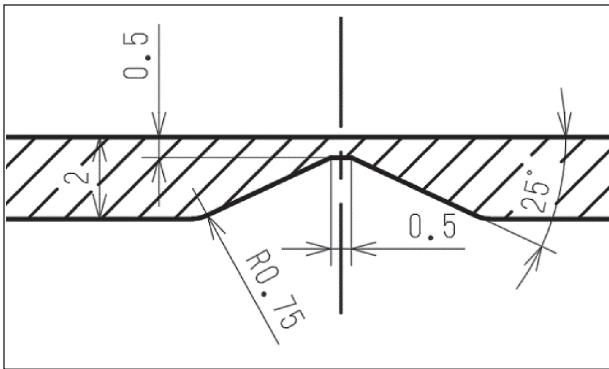


図11 ヒンジ部分の断面形状

## 6.2 入れ子形状

足は深めのリブとなるため、空気の逃げが問題になる。また型彫り放電加工機がないので、加工も困難である。(図12)

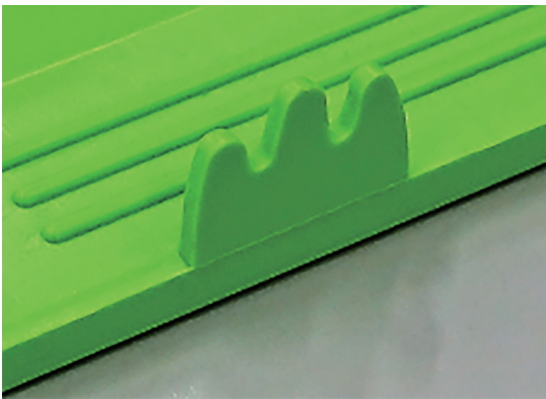


図12 カエルの足の拡大

型板と型板の間をプラスチックが流れる場合は、型板の合わせ目から空気を逃がすことができる。しかし、足の部分は空気の逃げ場がない。逃げ場のない空気は、製品の表面に線状の跡を残したり、断熱圧縮されることで高温となりプラスチックを焼いてしまう。図13は、丸い容器のプラスチックの流れを確認しているところである。左から二番目の製品を見ると、空気が残される場所がわかる。一番右では、「焼け」と呼ばれる黒い不良を見ることができる。

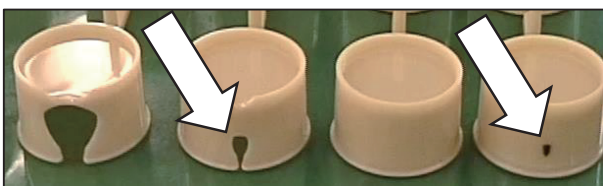


図13 「焼け」の発生

今回は、固定側の入れ子を2部品とし、入れ子の間から空気が逃げるようにした。(図14矢印部分) 固定側入れ子②を半透明化して表示した断面図が、図15である。

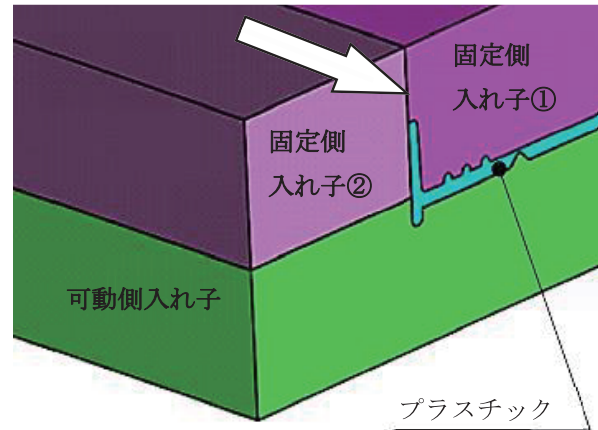


図14 入れ子の断面図

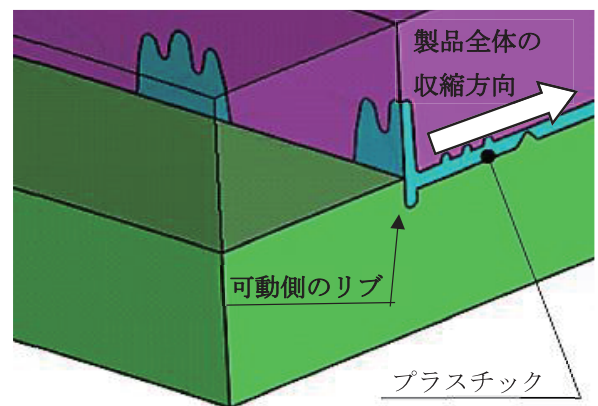


図15 入れ子②を半透明化した断面図

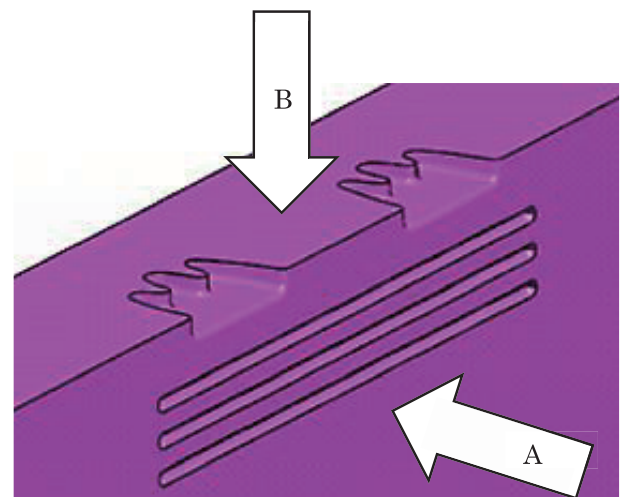


図16 固定側入れ子①の加工方向

また足の部分を加工する際に、入れ子を立ててMCにて加工を行った。(図16) 製品部分の加工は、ほとんどが矢印A側から加工を行っている。ただし足の部分のみ、矢印B側から加工を行っている。これだと足の裏側には抜き勾配が付かないが、製品の冷却時に金型から離れる方向で収縮するため、問題ないと判断した。(図15白矢印) また足の部分の可動側にはリブがあるため、型開き工程で問題が発生した場合は、可動側のリブ(図15)に若干のアンダーカットを設ければ対応できると判断した。

## 7. 成形時に不具合が発生した点

### 7.1 抜き勾配

目の部分の抜き勾配を訓練生に提案したが、厚みが薄いので0°でも大丈夫と彼らは判断した。しかし、図17に示すように、若干のカエリが発生している。その後、2°のエンドミルで追加工を行ったが、直らなかった。成形収縮の影響と思われる、特に製品の中央側(目の下側)のカエリがひどい。

対策としては、ラジラスエンドミルなどを使用し、角Rを付けた製品形状に変更する必要があると思われる。また目の根元側にもR付けが必要と思われる。

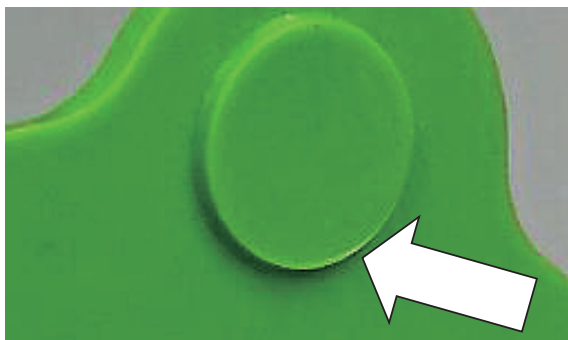


図17 目の部分のカエリ

### 7.2 滑り止め付近の模様

製品の足部分には、スマホが滑らないように凸の線を3本付加している。この両脇に模様が発生し、困っていた。はっきりとした模様ではなく、光に反射すると製品の表面にうっすらと浮かび上がる模様である。(図18矢印) 考えられる原因は、以下の2つのどちらかであろうと推測した。

- ① 今回ヒンジの関係で板厚を変更したため、流動速度が一定にならない。そのため他の部分にプラスチックが流れこむことで、この場所では流動速度が遅くなりフローマークが発生した。
- ② 凸の線を付加したことで、部分的に板厚が厚くなり、その関係で流動速度が速まり、ジェットイングが発生した。

プラスチックの流量を変更し、図8から流速を確認しようとしたが、不良の模様が小さすぎてよくわからなかった。仕方がないので図8の形状から、模様が発生している部分の射出速度を極端に上げ下げすることで、模様の変化を確認した。その結果、射出速度を下げることにより解決したため、模様は②のジェットイング(の一種)であることが判明した。(流動速度と射出速度はイコールではないが、比例の関係にある。射出速度を上げれば流動速度も上がり、逆も同様である。)

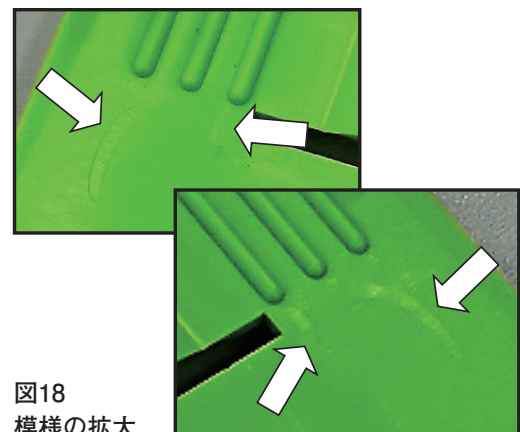


図18 模様の拡大

## 8. あとがき

私が転勤して初めて担当したのが、16期生であった。彼らが、いくつものデザイン候補を作成し、その中から今回のカエルを選択していた。その他のことも含め、よりよいものを作ろうとする情熱に驚いたことを覚えている。またその後、いくつかの製品を作成したが、このスマホスタンドは広報などでとても人気がある製品のひとつである。

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