

★★★やさしい技術解説★★★

★★プラスチック射出成形と金型のワンポイントアドバイス総集編★★

青葉 堯（技術士・化学）

★プラスチック射出成形の理論は、実験値を整理したのが実情である。

実験者によって理論が異なるのはやむをえない。他材料に比べ、プラスチックの歴史が浅いためであるが、現実では、プラスチック成形材料のわずかな違いで、射出成形金型内の流れが大きく違ってくるからである。

★可塑化された成形材料（本編ではメルトと言う）は、「とけて」と表現するが、氷がとけて水になるのとは全く異なる。

水なら噴水になるが、メルトはお餅に似て、順次金型内を進む。進む抵抗は大きく、メルト先端の圧力はゼロであるが、メルトの根元（ゲート付近）には高い圧力がかかる。

金型の末端に到達したとき、メルト全体の圧力が非常に高くなる（通常40MPa）。これが射出成形の特徴である。その高い圧力がかかることで、成形品の品質（とくに寸法）が安定する。

★金型の価値ないし問題点は、成形してみてはじめてわかる。

型を使う生産方式は、古代からあるが、何時の時代でも先端技術である。

プラスチック射出成形は、「丈夫な金型で易しい成形」をするのが基本である。成形時の高い圧力でずれたり変形したりしない丈夫な金型を製作すること、それにはある程度時間と手間がかかる。金型に手抜きはありえないことをすべての関係者に徹底すべきである。

★成形工場でのトラブルは、過去にもあったものである。

トラブルの解決は、その場だけのことではなく、再発防止の手立てを講じることがポイントである。

サンプルを集めて展示する場所（極秘）を設けることがノウハウの蓄積になる。

金型は実物を集めることはできないが、成形品は集めることができる。

他社製品でも最終製品を分解して成形品を調査することができる。

成形品を見れば金型構造の見当がつく。

★プラスチック成形技術の内容は、成形材料50%、金型40%、成形技術10%程度と理解する。

機械、化学、電気などの境界を設けては対応困難になる。1人でできると思っても、他の人を巻き込んで、協力体制を作つておくことが、いざというときに威力を發揮する。

★トラブル対策は、材料、金型、成形の順にする。

まず、材料に問題がないかを確かめる。材料メーカー窓口に相談することが重要である。日常的に、ごく小さなことでも、材料メーカー窓口と即時電話相談ができる体制を作つておく。

材料に問題がなければ、次に、金型に問題がないかを確かめる。実際に金型を観察することが重要である。

金型に問題がなければ、成形に問題がないかを確かめる。

自分はわかっていると思い込んでこの順序を省略すると、大きな問題を見逃す。

★金型のトラブルは、金型設計の不適切が主な原因である。

金型構想図の段階でわかる。とくに重要なポイントは、成形時の高い圧力（通常40Mpa）で、ずれ

たり変形したりしない構造にする。いんろう合わせは日本独自の言葉であるが、非常に重要なノウハウである。

構想図を提示してグループ討議することでトラブルはかなり防げる。外国に金型を発注する場合でも同様である。一人で決めないことがポイントである。

アンダーカットの抜きかたは、故障の少ない丈夫な構造に絞り込む。グループ討議で慎重に決める。

★金型のトラブルは工作の不適切が次の主な原因である。

工作法（切削、高速切削、放電加工、研削、みがきなど）の指定が重要である。「手抜き」に用心する。見えない部分に気配りする（例えばランナーの鏡面みがき）。

ここで重要な工作法について補足する。

高速切削加工機（マシニングセンター方式）は、硬度の高い鋼材（焼き入れした鋼材）を高速、高精度に切削する。この加工機を持っていない工場では、切削加工後に焼き入れし、研削加工で精度を上げるが、高速切削加工機で直接に高精度金型を作る工場に比べれば不利である。ただし、高速切削加工機は高価である。

★射出成形は、複雑な形状が一体化成形できるが、単純な形状が知恵の結晶である。

単純な形状は、成形時の流れが単純で収縮も単純だから、成形品の寸法精度が良く、品質が均一になる。良い循環になるのだ。

★金型に冷却水（冷水または温水）を通して成形サイクルを短くする。

金型の冷却水孔は、成形品の表面積と同程度の冷却水孔面積を目安とする。

成形機個別の金型冷水（温水）機が必要である。

金型の温度を直接に測定しなければ精密調整はできない。金型に熱電対をさしこむ。

海外の工場では大型の冷却水装置を設け、各成形機に配管しているところがあるが、精密な成形は困難である。

金型温度は冷却水の水量ではなく水温で、精密にコントロールする。

★みがき工程は金型製作工程の最後で、最も重要な工程である。

金型工場では、社内に高度の技能者を育成する。

世界の多くの金型工場では、みがき工程の技能者が不足している。みがき作業には忍耐と体力が要る。見た目には単純に見えるが、高度の技術である。

★金型設計・製作は、成形品の設計・製作と密接にリンクしている。

金型の項目と成形の項目は一体化している。設計の技術能力の高さは、製作時の問題を熟知しているかどうかによる。

金型がつくれるか、金型から成形品が取り出せるか、成形材料が流れるか、肉ひけが問題にならないかなどである。とくに肉ひけの防止は、金型設計の基本である。

肉ひけは、国際的にはsinkmark（シンクマーク）と言う。

★射出成形では金型の不備を成形技術でカバーすることはできない。

エアーベントは金型に設けるものである。

成形現場の緊急対策として、金型のパーティングラインに紙を挟んでエアーベントをつくったことがある。

お勧めできることではないが、エアーベントの原理がわかったような気がした。

★射出成形金型ではエアーベントが最大のポイント

成形材料が流れ出ない（バリが出ない）で、ガス（またはエアー）が抜けるすきまで、精密な工作が必要である。金型内で成形材料が最後に到達した場所に、エアーベントをつける。

多くの現場では、成形してみて、金型職人が手仕上げで調整する。

★成形品に少しでもバリが出たら、すぐに金型を補修する。

型締力不足（成形機の型締力より高い射出圧力をかけた場合）ではバリが出るが、バリの問題は多分そうではない。金型の問題である。量産開始時からバリが出るときは、金型の工作精度不足、金型の剛性不足などである。量産中にバリが出るときは、金型材料の硬度不足などである。

なお、バリは、国際的にはflash（フラッシュ）と言う。

★ゲート付近のトラブル対策は、メルト流れの基本を理解することから。

その基本は、金型内のメルト流れのショートショットステージにある。そこで流れは、成形材料のわずかな違い（色が変われば違う）によってチキソトロピーやダイラタンシーが起きる複雑な流れである。

ショートショットステージ（筆者独自の表現）は、メルトが流れの終点（金型の終点）に到達する寸前までの状態（メルト先端の圧力はゼロ）を言う。

チキソトロピーは速度を上げると粘度が下がる。ダイラタンシーは速度を上げると粘度が上がる。

★金型標準部品はカタログが良く整備されている。

ノックピンその他多数の部品がある。高機能のものが安価に入手できる。とくに、迅速に入手できる。

金型の設計者は、標準部品のカタログと照合しながら設計を進める。

★金型製作を早く着手する。

新製品は市場に一刻も早く出さなければならない。しかし、金型製作に時間がかかることがいつでも大きな制約になる。

そこで、新製品を計画したできるだけ早い時期に、金型を作り始めることをする。

具体的には、成形品の図面と金型の図面を同時に作成することである。

長年の経験がある工場では、新製品も過去の類似製品のノウハウがある。成形品の図面と金型の図面を同時に作成することは可能である。

金型を外注するときは、その金型工場が、当社社内金型工場と同等以上の連携ができることが前提になる。見積もり合わせしている余裕はない、と割り切るべきである。

★金型の材質（鋼材の品番）は、成形品の表面状況を左右する。

熱伝導率が低い材質では、成形品の表面光沢が良くなる。成形品の表面がぬれたような感じになると言われている。

鏡面仕上げをすると、金属結晶構造までも問題になるので、鋼材の選定が非常に重要である。

ある工場の事例では、ステンレス鋼プロテリアルHPM38（鏡面仕上げ性に優れ熱伝導率が低い）を使用している。焼き入れしない金型をつくることができるが、焼き入れて、高速切削加工機（別項）で高精度の金型を作るのに適している。

★金型交換回数増加の対策をする。

市場の多様化にともない金型交換の回数が増えている。

ただし、百個だけ成形するというような極端な議論ではなく、1日何回交換できるのか、という現実的な検討をすべきである。

以下はある工場の現状で、参考事例として紹介する。

金型交換は、多くても1日1回程度にしている。射出成形は、成形条件の安定にある程度時間がかかるからである。

実際には、多様化と言っても、主力機種が数の大部分を占めている。主力機種以外は、品揃えだけのこともある。

工場での射出成形は、主力機種の生産だけをすれば、金型交換をしないで長い月日を連続して安定な成形ができる。

主力機種以外の生産は別の方を考えた。試作を専門とする外注工場に小ロットを発注している。成形品単価は高くなる。

★金型交換の時間を短縮する。

金型交換は、内段取り（生産を止めて行なう段取り）になるので、金型交換時間の短縮はただちに成形コストを下げる事になる。

油圧クランプやワンタッチニップルなどで、金型の取付け時間を短縮するだけでなく、金型の予熱などをして、成形条件の安定化の時間を短縮することが重要である。

★成形品の仕上げ作業を減らす。

成形品の仕上げは、ゲートカット、ゲート跡の仕上げ、バリ取りなどで、成形品の二次加工とは区別している。

仕上げ作業を、成形作業の1つと考えていた時代がある。

人が成形作業をしているときには、成形サイクルの中で仕上げ作業もすれば、作業者の生産性を高めるとしていた。

しかし、現在では、成形作業そのものが機械化されている。

ゲートカットも、金型の中、あるいは取出し機で自動的に行なう。

ただし、人による仕上げ作業が全くなくなるまではできていない。

仕上げ作業を減らすには、バリの防止がポイントである。バリの防止は別項目にある。

★成形品の検査は、外観、寸法、強度の順にする。

成形品の欠陥はまず外観にあらわれる。成形現場では、照明拡大鏡（テーブルスタンド型）で見る。外観に問題がなければ、寸法を検査する。寸法に問題がなければ強度を検査する。自分はわかっていると思い込んでこの順序を省略すると、大きな問題を見逃す。

寸法の測定機は高精度のものが必要で、三次元測定機を備えている工場もある。

寸法測定は温度を一定にした測定ブースが要る。測定温度を記録することがポイントである。

強度検査は、実用を想定した落球試験もある。

★状況の変化に応じてフレキシブルに対応できる小形・軽量の工場にする。

まずは、故障機や老朽機などの設備を維持しないことである。

メンテナンス不足のために機械の性能が低下していることがある。

設備の能力不足と判断して、設備を増強したりすることがあるが、設備を十分にメンテナンスして、設備投資を少なくすべきである。

固定的なコンベアライン、ハンガーライン、パイプラインなど、融通かきかない設備はできるだけ減らすことだ。

例えば、大型の冷却水装置を作り、各成形機に冷却水をパイプで送るなどを生産性向上だとする海外の工場、また、成形材料を大型のタンクに入れ、各成形機にパイプラインで送るなどを生産性向上だとする海外の工場、これらは融通がきかなくなる事例である。

★成形品の出荷時についての特別な注意。

プラスチック成形は、少なくとも24時間経過しなければ品質が安定しない原理である。それより前に二次加工をすれば不良がおきる。

ある成形工場の公開しないノウハウを紹介する。

客先から発注がされなくても、長年の付き合いでわかるので、先行して成形を始める。

成形したら倉庫に運ぶ。そこで、24時間以上経過してから、サンプル検査をする。とくに寸法が図面に合っているかを詳しく測定する。二次加工したら再び倉庫に運ぶ。そこで24時間以上保管する。

客先の発注があつたら、倉庫から出し、「全数」を目視検査する。成形品の欠陥は目視でわかるとの長い経験がある。

全数目視検査がこの工場のノウハウであるが、口外してはならないことではある。

客先からは、いつでも納期に遅れることなく、良品だけが納入されると非常に高く評価されている。

★プラスチックの劣化についての特別な注意

プラスチックは、熱で劣化する。紫外線で劣化する。荷重で劣化する。何もなくても劣化する。これらはプラスチックを扱う基本中の基本で、その注意を一時的でも失念すると大きなトラブルになる。

プラスチックの種類、グレードによって大きく異なるので、材料メーカー窓口に日常的に相談することが重要である。

★環境応力亀裂について特別な注意

ストレスクラック、ソルベントクラックとも言う。

成形品に油や薬品（とくに洗剤に注意）がついた状態で力がかかるて起きたクラックである。

プラスチックの種類とグレード、付着する油や薬品の種類、成形品にかかる力（成形時の歪みを含む）によって、クラックがおきたりおきなかつたりする面倒で非常に多いトラブルである。

プラスチックには応力を支える力がある。薬品、たとえば油が作用すると、この力が低下する。

環境応力亀裂は、製品を出荷してから1ヶ月くらいたって、10%程度にクラックが見つかるというようなことである。

金属同志のしゅう動では、油を付けるのが常識である。しかし、プラスチック成形用金型ではそうもいかない。その油が成形品（とくにポリスチレン系とポリカーボネート系）に付くと、クラックを生じることがあるからである。

とくに問題となるポリスチレン系には、ABS、ポリスチレンアロイのPPEもある。ポリカーボネート系も多種

ある。

安全とされるプラスチックは、ポリアセタール、ポリプロピレンなどである。油を付けたくなる歯車はポリアセタールを使い、ポリカーボネートを使ってはならない。

★経験が必要なこともある。

ホットランナの部品また装置は優れたものを入手できる。

しかし、その使い方は相當に経験を要する。はじめはごく簡単なものからはじめて、経験を積むべきである。

世の中には、経験が必要なこともあることを理解することだ。

★人材の育成は日常的にする後継者の育成。

客先との交渉、社外団体との交流などは幹部の仕事で、1人で間に合うものであっても、若い人を同行して、育成の場とすることである。

そのときは足手まといと思っても、何年もたてば、代行ができるようになり、やがては幹部になることもできる。

★アンダーカット成形品を人が成形する場合には、金型を単純化する便法もある。

金型を、手でハンドルを回してコアをスライドさせる方式、また、置き駒式などで、単純にすることができる。

成形技術としては、時代に合わないものであっても、実用的には考慮する。

★環境保護の立場からすると、不良が最大のエネルギーの損失である。

会社経営でも、不良を作るくらいなら休業した方がましである。

不良を作らないこと、もし作りそうになったら、自社の実力を過大評価して、むずかしいことをしたことが間違っていたのだ、と反省すべきである。

不良が発生したとき、そのときの損害を計算して、一喜一憂（先月より不良が減ったから良かったなど）しても意味はないのだ。

それよりも、再発防止の対策をすることが重要である。ただし、今後気を付けるなどでは、対策にならないことに注意する。

★プラスチック成形技術では有効数字が2桁程度のことが多い。

電卓で10桁出たとしても、有効数字を考えて表現しなければならない。

計算尺しかなかった時代では、自然に有効数字を意識していた。

計算道具の進歩が、かえって数字を粗末にすることにもなった。

★成形と金型の担当者が常時持っているもの。

（1）拡大鏡 虫めがね（10倍）。成形品の欠陥は、肉眼では見えない。

微少なクラックを見逃さないことがポイントである。とくに、コーナを詳しく見る。シャープコーナになっていることがある。

（2）電卓 統計計算のついたもの。安価で軽量のファンクション電卓。その場ですぐに計算する。

（3）ノギス プラスチック製のデジタルノギスがある。その場ですぐに測ってみる。